

ISSN 2786-6955

UDC 57:54:664

BHT ³ 2024

BIOTA. HUMAN. TECHNOLOGY

International Scientific Journal

Electronic Edition





BTH

2024 | 3

International Scientific Journal

This is an international open-access, peer-reviewed electronic journal founded by the T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium».

The Journal publishes original research papers, review articles and short communication papers in the fields of Biological Sciences, Health, Food and Chemical Technologies.

The journal Biota. Human. Technology is included in the List of specialized scientific publications of Ukraine (category «B») in biological and technical sciences, in specialties **091 (Biology and biochemistry)**, **101 (Ecology)**, **161 (Chemical technologies and engineering)** (the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 220 of February 21, 2024), **181 (Food technologies)** (the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 582 of April 24, 2024).

Responsibility for facts, quotations, private names, enterprises and organizations titles, geographical locations etc. to be barred by the authors.

The Editorial Office and Board do not always share the views and thoughts expressed in the articles published.

The journal is governed by the provisions of an open permissive license [Creative Commons Attribution 4.0 \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Journal is reflected in the following databases and archives:

Crossref
Google Scholar
V.I. Vernadskiy National Library of Ukraine
EuroPub
Scilit
PSIref
ICI Journals Master List (2023)

Languages: English, Polish, Ukrainian

Frequency: 3 numbers a year

Founder: T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

Publisher: T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

Address of Editorial Office: 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tel. +38(067)507-8805 (Oleksandr Lukash)

Email: bht.journal.nuchc@gmail.com

EDITORIAL BOARD

Oleksandr V. LUKASH
(Editor-in-Chief)

T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», Ukraine
Doctor of Biological Sciences, Professor

Iryna M. KURMAKOVA
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Olga I. SYZA
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Technical Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Olena S. BONDAR

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National
University «Chernihiv Colehium»,
Ukraine

Yulia V. BONDARENKO

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Technical University of Ukraine «Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

Olena E. CHYHYRYNETZ

Doctor of Technical Sciences, Professor
National Technical University of Ukraine «Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

Nataliia R. DEMCHENKO

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Natalia V. GREVTSEVA

Ph.D. in Technical Sciences, Professor
V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

Olena V. HORODYSKA

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Vasyl V. HRUBINKO

Doctor of Biological Sciences, Professor
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University, Ukraine

Yuri O. KARPENKO

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Olena Yu. KUPCHYK

Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Natalia M. KURCHALUK

Doctor of Biological Sciences, Professor
Pomeranian University in Slupsk, Poland

Svitlana V. KYRIIENKO

Ph.D. in Biological Sciences
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Nadiia V. LAPITSKA

Ph.D. in Technical Sciences
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Halina M. TKACZENKO
(Deputy Editor-in-Chief)

Doctor of Biological Sciences, Professor
Pomeranian University in Slupsk, Poland

Nataliia V. TKACHUK
(Deputy Editor-in-Chief, Managing Editor)

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Olga B. MEKHED

Doctor of Pedagogical Sciences,
Ph.D. in Biological Sciences, Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Tetiana V. MOROZOVA

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
National Transport University,
Kyiv, Ukraine

Svitlana H. OLIINYK

Ph.D. in Technical Sciences,
Associate Professor
State Biotechnological University, Ukraine

Lee T. OSTROM

Ph.D., Professor
University of Idaho, USA

Olga V. SAMOKHVALOVA

Ph.D. in Technical Sciences, Professor
State Biotechnological University, Ukraine

Olesia M. SAVCHENKO

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», Ukraine

Mariia I. SHANAIDA

Doctor in Pharm. Sciences, Associate Professor,
Ph.D. in Biological Sciences
I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

Nataliia O. SMOLIAR

Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
National University «Yuri Kondratyuk
Poltava Polytechnic», Ukraine

Stepan N. VADZYUK

Doctor of Medical Sciences, Professor
I. Horbachevsky Ternopil National Medical
University, Ukraine

Viktoria I. VOROBYOVA

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

Liubov B. ZELENA

Ph.D. in Biological Sciences, Senior Research Fellow
Danylo Zabolotny Institute of Microbiology
and Virology, NAS of Ukraine, Ukraine

Foreword

from the Editor-in-Chief

There is no need to convince readers of the first our issue that the natural environment is created and maintained by living organisms, the totality of which is biota. The study of the diversity of living, which began since the day of Hippocrates, Aristotle, and Theophrastus, has not lost its relevance in the modern scientific world. In the 21st century, the search for scientists in quite diverse – from inventory species diversity of ecosystems to the study of adaptation mechanisms of organisms and biota metagenomic studies.

The biota, for which there are no administrative boundaries, compensates for any environmental disturbances that do not exceed the threshold of destruction of the biota itself. This implies the need for international cooperation in various fields of living research. In order to bring together scholars who study different aspects of biotic potential of the environment and its conservation, we are launching the international scientific journal Biota. Human. Technology. We are the part of the Editorial Board of the Journal attracted scientists from different countries, who carry out scientific research in various fields of Biology, Ecology, Health, Food and Chemical Technologies.

We expect from our potential authors original articles dedicated to the results of diverse studies of living matter at different levels of the organization – from molecular to biosphere. We look forward to articles on the problems of the functioning of biological systems (including the human body), biodiversity protection of the environment, as well as healthy human nutrition and technological processes.

The BHT Journal pages always have a place to cover the results of scientific discussions which were made by researchers from all the world.

Respectfully Yours,
Prof. O. Lukash



CONTENTS

PHYTOBIOTA ФІТОБІОТА

Iryna Shyndanovina

DESMIDIALES (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
OF THE QUARRY POND ZAVODSKE – A HOTSPOT OF DESMIDS DIVERSITY
IN CHRENIHIV POLESIE, UKRAINE

Ірина Шиндановіна

DESMIDIALES (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
КАР'ЄРНОЇ ВОДОЙМИ ЗАВОДСЬКЕ – «ГАРЯЧОЇ ТЕРИТОРІЇ» БІОРІЗНОМАНІТТЯ
ДЕСМІДІЄВИХ ВОДОРОСТЕЙ В ЧЕНІГІВСЬКОМУ ПОЛІССІ, УКРАЇНА

[in English]

– 9 –

ENVIRONMENTAL POLLUTION STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ

Nataliia Tkachuk, Liubov Zelena, Yaroslav Novikov, Veronika Taranenko

PHYTOTOXICITY OF DIMETHYL SULFOXIDE IN THE GROWTH TEST

Наталія Ткачук, Любов Зелена, Ярослав Новіков, Вероніка Тараненко

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ У РОСТОВОМУ ТЕСТІ

[in English]

– 51 –

*Дарія Любчикова, Павло Нагорний, Валентин Дедович,
Юрій Дятлов, Олександр Третяк*

MUTAGENIC INFLUENCE OF NANOPARTICLES OF NICKEL, SILICON, TITANIUM
ON ONTOGENESIS *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*Dariia Liubchykova, Pavlo Nahornyi, Valentyn Dedovych,
Yurii Diatlov, Oleksandr Tretiak*

MUTAGENIC INFLUENCE OF NANOPARTICLES OF NICKEL, SILICON,
TITANIUM ON ONTOGENESIS *DROSOPHILA MELANOGASTER*

[in Ukrainian]

– 61 –

Lidiia Polotnianko, Olha Mekhed

CHANGES IN THE MORPHOLOGICAL INDICATORS
OF CARP UNDER THE ACTION OF MYCOTOXIN T₂

Лідія Полотнянко, Ольга Мехед

ЗМІНИ МОРФОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРОПА
ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ T₂

[in English]

- 69 -

 **FUNCTIONING OF BIOLOGICAL SYSTEMS** 
ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Serhii Matiushko, Olha Mekhed

ЗМІНИ ВМІСТУ АДЕНІЛАТІВ В ТКАНИНАХ КОРОПА
ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ T₂

Serhii Matiushko, Olha Mekhed

CHANGES IN THE CONTENT OF ADENYLATES IN CARP TISSUES
UNDER THE ACTION OF MYCOTOXIN T₂

[in Ukrainian]

- 78 -

 **MAN AND HIS HEALTH** 
ЛЮДИНА ТА ЇЇ ЗДОРОВ'Я

Małgorzata Gradziuk, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

ZNACZENIE ŻELAZA W DIECIE DAWCÓW KRWI I JEJ SKŁADNIKÓW

Małgorzata Gradziuk, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

THE IMPORTANCE OF IRON IN THE DIET
OF BLOOD DONORS AND ITS COMPONENTS

[in Polish]

- 85 -

Anastassia Rafalskaya, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

ENVIRONMENTAL ENRICHMENT AS A KEY ASPECT
OF HUMAN WELL-BEING DURING THE COVID-19 PANDEMIC

Анастасія Рафальська, Галина Ткаченко, Наталя Кургалюк

ЗБАГАЧЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ЯК КЛЮЧОВИЙ АСПЕКТ ДОБРОБУТУ ЛЮДИНИ
ПІД ЧАС ПАНДЕМІЇ COVID-19

[in English]

- 127 -

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF ECOSYSTEMS

АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ
ЕКОСИСТЕМ

Nataliia Miroshnyk, Olga Tertychna

ASSESSING THE LEVEL OF ANTHROPOGENIC PRESSURE
ON PARK ECOSYSTEMS IN CHERNIHIV

Наталія Мірошник, Ольга Тертична

ОЦІНКА РІВНЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА ПАРКОВІ ЕКОСИСТЕМИ ЧЕРНІГОВА

[in English]

- 149 -

FOOD TECHNOLOGIES ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Надія Лапицька, Анастасія Білобородько

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ШОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Nadiia Lapytska, Anastasiia Biloborodko

DEVELOPMENT OF SHOT TECHNOLOGY USING
BY-PRODUCTS OF JUICE PRODUCTION

[in Ukrainian]

- 160 -

 **CHEMICAL TECHNOLOGIES** 

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

***Юлія Вороніна-Тузівських, Олександр Мікуленко, Олена Бондар,
Ірина Курмакова, Олексій Плешаков***

ХІМІЧНИЙ СКЛАД МАЦЕРАТУ НА ОСНОВІ БУРШТИНУ:
МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

***Yuliya Voronina-Tuzovskykh, Oleksandr Mikulenko, Olena Bondar,
Iryna Kurmakova, Oleksij Pleshakov***

CHEMICAL COMPOSITION OF AMBER-BASED MACERATE:
METHODS OF ANALYSIS AND RESULTS

[in Ukrainian]

- 171-

 **INSTRUCTIONS FOR AUTHORS** 

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

- 181 -



ΡΗΥΤΟΒΙΟΤΑ

ΦΙΤΟΒΙΟΤΑ



UDC 582.263(477.51)

DOI: 10.58407/bht.3.24.1



Copyright (c) 2024 Iryna Shyndanovina

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Iryna Shyndanovina

DESMIDIALES (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
OF THE QUARRY POND ZAVODSKE – A HOTSPOT OF DESMIDS DIVERSITY
IN CHERNIHIV POLESIE, UKRAINE



Ірина Шиндановіна

DESMIDIALES (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)
КАР'ЄРНОЇ ВОДОЙМИ ЗАВОДСЬКЕ – «ГАРЯЧОЇ ТЕРИТОРІЇ» БІОРИЗНОМАНІТТЯ
ДЕСМІДІЄВИХ ВОДОРОСТЕЙ В ЧЕНІГІВСЬКОМУ ПОЛІССІ, УКРАЇНА

ABSTRACT

Purpose. Study of the composition of desmids in Zavodske quarry pond (Chernihiv Polesie, Ukraine), preparation of the taxonomical list. Microphotographs illustrating the cells of desmid algae found Ukrainian and their dimensional characteristics are intended to facilitate their identification and can be used for comparative analysis by both Ukrainian and foreign desmidiologists.

Methodology. As part of the PhD dissertation, several field research trips were conducted and algological samples were collected in Zavodske quarry pond (8,625 m², depth 1.5-2 m), located near the village of Zavodske, Dobryana village community, Chernihiv district and region, Ukraine. From the middle to the end of the last century it was used for extraction of the clay for the needs of the local brick-making plant.

The samples were examined alive as well as fixed with 4 % formalin for further storage and examination. Water chemical variables (pH and electrical conductivity) were determined by H&M COM-100 and H&M PH-200 portable multimeters. Microscopic examination of the samples was carried out using light microscopes Olympus BX-51 (samples 2018–2021) and Zeiss Imager A2 (samples 2021–2022).

The main literature for the definition: Conjugates – *Conjugatophyceae*. Part 2. Desmids – *Desmidiaceae*. In: Identification manual of the freshwater algae of Ukrainian RSR. Palamar-Mordvintseva, 1986; Flora of algae in continental water bodies of Ukraine. Desmid algae. Part 2: *Desmidiaceae*. Palamar-Mordvintseva, 2005; Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3. Lenzenweger, 1999; Desmids of the Lowlands Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European Lowlands. Coesel & Meesters, 2007.

Scientific novelty. This is the first study of the desmid species composition of Zavodske quarry pond. In total 110 taxa were identified, 16 of them recorded for the first time in Ukraine.

Conclusions. Zavodske quarry pond is a unique locality with numerous desmids. The number of identified taxa (110 taxa – 11.4 % of the desmidioflora of Ukraine) and part of the newly found in Ukraine (16 out of 110 taxa – 1.65 % of the desmidioflora of Ukraine) are extraordinary and deserves close attention and protection of their habitat.

Key words: desmid algae, Chernihiv Polesie, quarry pond, biodiversity hotspot

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження складу десмідієвих водоростей кар'єрної водойми Заводське (Чернігівське Полісся). Складання таксономічного списку. Мікрофотографії, що ілюструють знайдені українські клітини десмідієвих водоростей, та їх розмірні характеристики. мають на меті полегшити їх визначення та можуть бути використані для порівняльного аналізу як українськими так і зарубіжними десмідіологами.

Методологія. В рамках дисертаційного дослідження були проведені експедиційні виїзди та відібрані альгологічні зразки в кар'єрній водоймі Заводське (8625 м², глибина 1.5–2 м), що розташована неподалік села Заводське Добрянської селищної громади Чернігівського району Чернігівської області України. З середини до кінця минулого століття з нього добували глину для потреб місцевого цегельного заводу.

Зразки досліджувались живими та були фіксовані 4 % формаліном для подальшого дослідження. рН та електропровідність води визначали портативними приладами H&M COM-100 та H&M PH-200. Мікроскопічне дослідження проб здійснювалось за допомогою світлових мікроскопів Olympus BX-51 (зразки 2018–2021) та Zeiss Imager A2 (зразки 2021–2022). Основна література для визначення: Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Паламар-Мордвінцева 1986; Флора водоростей континентальних водоем України: Десмідієві водорості. Вип. 1, ч. 2 *Desmidiaceae*. Паламар-Мордвінцева, 2005; *Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3*. Lenzenweger, 1999; *Desmids of the Lowlands Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European Lowlands*. Coesel & Meesters, 2007.

Наукова новизна. Вперше досліджено видовий склад десмідієвих водоростей кар'єрної водойми Заводське. Визначено 110 таксонів, з них 16 вперше наводиться для України.

Висновки. Водойма Заводське є унікальним локалітетом різноманіття десмідієвих водоростей, в межах якого кількість визначених таксонів (110 таксонів – 11,4 % флори десмідієвих України), та частка в них знайдених вперше для України (16 з 110 таксонів – 1,65 % флори десмідієвих України) є надзвичайною і ця водойма заслуговує на увагу та охорону.

Ключові слова: десмідієві водорості, Чернігівське Полісся, кар'єрні водойми, «гаряча територія» біорізноманіття

Introduction

Zavodske (Fig. 1) is one of the smallest water bodies in the group of man-made quarry ponds, known as «Blue Lakes». Originally these ponds were quarries for extracting sand with

high silicon dioxide content used for the glass industry. Zavodske originally was used for extraction of the clay for the needs of the local brick-making plant in the period from the middle to the end of the last century.



Fig. 1. Photograph of the quarry pond Zavodske (June)

The area of the pond is 8625 m², the depth is 1.5–2 m. It is located at the distance of 200 meters to the east from Zavodske village, Dobryana village community, Chernihiv district

and region, Ukraine (N 51°96'3"; E 31°18'6") among the massif of pine and oak-pine forests (see Figure 2).

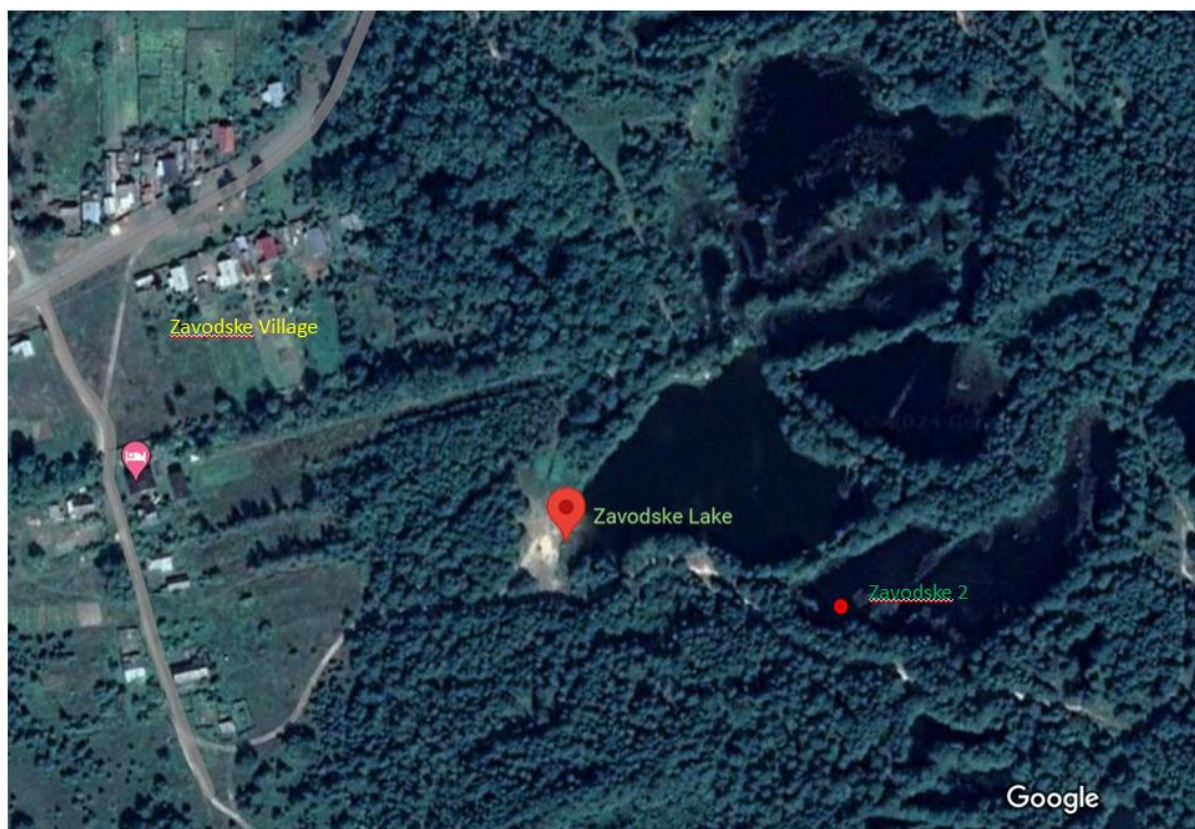


Fig. 2 The map of location of the quarry pond Zavodske (taken from Google Maps; <https://www.google.com/maps>)

Our study is the first investigation of the species composition of desmids of Zavodske quarry pond. The first publication referring to this pond was in 2020 (Shyndanovina, 2020), the next one was issued in 2023 (Shyndanovina & Lukash, 2023). Both these publications were describing new for Ukraine and rare and extremely rare for Europe desmid taxa. One of the described species, *Pleurotaenium simplicissimum* Grönblad 1920, was considered close to extinction (Šťastný, 2009).

Samples were taken during 2018–2022, and 22 samples were collected in total. The results of this study are presented in the form of the taxonomic list with 35 plates of microphotographs providing characteristic illustrations of the newly found and some other taxa. Dimensions of every illustrated taxon are also indicated.

Materials and methods

The samples were examined as alive and fixed with 4 % formalin for further examination. Water chemical variables (pH and electrical conductivity) were determined by H&M COM-100 and H&M PH-200 portable multimeters. Microscopic examination of the samples was carried out using light microscopes Olympus BX-51 (samples 2018–2021) and Zeiss Imager

A2 (samples 2021–2022). Photographs are taken with Canon Rebel XS and Canon R6 cameras.

The locality and the chemical variables of the algae habitat are described in detail in (Shyndanovina & Lukash, 2023). Here is a short resume provided for the convenience of the readers.

The hydrochemical parameters of the algae habitat are: pH: 7.5–7.7; EC: 36–38 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; ion concentrations (mg/L) NO_3^- : 0.017; NH_4^+ : 0.018; PO_4^{3-} : 9.283; Cu^{2+} : 0.057; Zn^{2+} : 0.036, $\text{Fe}^{(2+,3+)}$: 0.016; Mn^{2+} : 0.263.

Main literature used for identification: Palamar-Mordvintseva (1986, 2005), Desmidiaceenflora von Österreich (Lenzenweger, 1999), Desmids of the Lowlands (Coesel & Meesters, 2007).

Results and Discussion

The taxonomic list of the discovered desmid algae of the quarry pond Zavodske is presented in Table 1. There were identified 110 taxa of desmids in total. Sixteen of 110 taxa (14,5 %) are new for desmidi flora of Ukraine. Newly found taxa of desmids represent 1,65 % of the total number of taxa of desmids found in Ukraine.

Table 1

**Taxonomic list of Desmidiaceae (Zygnematophyceae, Streptophyta)
in the quarry pond Zavodske**

Name		Author	№ of figure
Desmidiaceae		Bessey	
A)	Closteriaceae	Bessey	
	I) <i>Closterium</i>	Nitzsch ex Ralfs	
	1 <i>Closterium acerosum</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
	2 <i>Closterium diana</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
	3 <i>Closterium rostratum</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
	4 <i>Closterium striolatum</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
B)	Desmidiaceae	Ralfs	
	I) <i>Actinotaenium</i>	(Nägeli) Teiling	
	1 <i>Actinotaenium capax</i>	(Joshua) Teiling 1954	
	2 <i>Actinotaenium clevei</i>	(P.Lundell) Teiling 1954	
	3 <i>Actinotaenium cucurbita</i>	(Brébisson ex Ralfs) Teiling 1954	
	4 <i>Actinotaenium americanum</i> *	(West & G.S. West) Coesel & Meesters 2023	3
	5 <i>Actinotaenium perminutum</i> *	(G.S.West) Teiling 1954	3
	6 <i>Actinotaenium turgidum</i>	(Ralfs) Teiling 1954	
	7 <i>Actinotaenium wollei</i>	(W. & G.S.West) Teiling 1954	
	II) <i>Cosmarium</i>	Corda ex Ralfs	
	1 <i>Cosmarium alpestre</i> *	J.Roy & Bisset 1893	4
	2 <i>Cosmarium amoenum</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
	3 <i>Cosmarium binum</i>	Nordstedt 1880	5
	4 <i>Cosmarium bireme</i>	Nordstedt 1870	6
	5 <i>Cosmarium blyttii</i>	Wille 1880	
	6 <i>Cosmarium beckii</i>	Gutwinski 1897	
	7 <i>Cosmarium botrytis</i> var. <i>botrytis</i>	Meneghini ex Ralfs 1848	7, 8
	8 <i>Cosmarium botrytis</i> var. <i>tumidum</i>	Wolle 1884	8
	9 <i>Cosmarium brebissonii</i>	Ralfs 1848	
	10 <i>Cosmarium connatum</i>	Ralfs 1848	
	11 <i>Cosmarium contractum</i>	Kirchner 1878	9
	12 <i>Cosmarium neodepressum</i>	G.J.P.Ramos & C.W.N.Moura 2020	10
	13 <i>Cosmarium difficile</i>	Lütkemüller 1892	11
	14 <i>Cosmarium formosulum</i>	Hoff 1888	
	15 <i>Cosmarium gibberulum</i> *	Lütkemüller 1910	12
	16 <i>Cosmarium hornavanense</i>	Gutwinski 1909	13
	17 <i>Cosmarium humile</i>	Nordstedt ex De Toni 1889	14
	18 <i>Cosmarium impressulum</i>	Elfving 1881	15
	19 <i>Cosmarium margaritatum</i>	(P.Lundell) J.Roy & Bisset 1886	16
	20 <i>Cosmarium margaritifera</i>	Meneghini ex Ralfs 1848	17
	21 <i>Cosmarium meneghinii</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
	22 <i>Cosmarium moniliforme</i>	Ralfs 1848	18

Name			Author	No of figure
	23	<i>Cosmarium obsoletum</i>	(Hantzsch) Reinsch 1867	
	24	<i>Cosmarium obtusatum</i>	(Schmidle) Schmidle 1898	19
	25	<i>Cosmarium phaseolus</i> var. <i>notatum</i> *	(Nordstedt) Coesel 1991	20
	26	<i>Cosmarium ordinatum</i> *	(Børgesen) West & G.S.West 1896	21
	27	<i>Cosmarium pachydermum</i>	P.Lundell 1871	22, 23
	28	<i>Cosmarium perforatum</i>	P.Lundell 1871	24
	29	<i>Cosmarium porteanum</i>	W.Archer 1860	
	30	<i>Cosmarium pseudamoenum</i>	Wille 1884	
	31	<i>Cosmarium pseudoconnatum</i>	Nordstedt 1869	
	32	<i>Cosmarium pseudoornatum</i> *	B.Eichler & Gutwinski 1894	25
	33	<i>Cosmarium pseudoprotuberans</i> var. <i>pseudoprotuberans</i>	Kirchner 1878	26
	34	<i>Cosmarium pseudoprotuberans</i> var. <i>saxonicum</i> *	(Raciborski) Krieger & Gerloff 1965	27
	35	<i>Cosmarium pseudoprotuberans</i> var. <i>sulcatum</i> *	(Nordstedt) Coesel 1991	28
	36	<i>Cosmarium punctulatum</i>	Brébisson 1856	
	37	<i>Cosmarium pygmaeum</i>	W.Archer 1864	
	38	<i>Cosmarium quadratum</i>	Ralfs ex Ralfs 1848	
	39	<i>Cosmarium quadrum</i>	P.Lundell 1871	
	40	<i>Cosmarium rectangulare</i> var. <i>hexagonu</i> <i>m</i>	West & G.S.West 1908	
	41	<i>Cosmarium regnellii</i>	Wille 1884	
	42	<i>Cosmarium reniforme</i>	(Ralfs) W.Archer 1874	
	43	<i>Cosmarium reniforme</i> var. <i>compressum</i>	Nordstedt 1887	
	44	<i>Cosmarium retusiforme</i>	(Wille) Gutwinski 1892	
	45	<i>Cosmarium retusiforme</i> var. <i>incrassatum</i>	Gutwinski 1890	
	46	<i>Cosmarium simplicius</i> *	(W. & G.S.West) Grönblad 1931	29
	47	<i>Cosmarium striolatum</i>	(Nägeli) W.Archer 1861	
	48	<i>Cosmarium taxichondriforme</i>	B.Eichler & Gutwinski 1894	
	49	<i>Cosmarium tetraophthalmum</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
	50	<i>Cosmarium tutum</i> *	Shyndanovina 2020	30
	51	<i>Cosmarium thwaitesii</i>	Ralfs 1848	
	52	<i>Cosmarium undulatum</i>	Corda ex Ralfs 1848	
III)		<i>Desmidium</i>	C.Agardh ex Ralfs	
	1	<i>Desmidium swartzii</i>	C.Agardh ex Ralfs 1848	
IV)		<i>Euastrum</i>	Ehrenberg ex Ralfs	
	1	<i>Euastrum ansatum</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
	2	<i>Euastrum dubium</i>	Nägeli 1849	
	3	<i>Euastrum montanum</i>	West & G.S.West 1905	
	4	<i>Euastrum turneri</i>	West 1892	
	5	<i>Euastrum verrucosum</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
V)		<i>Haplotaenium</i>	Bando	
	1	<i>Haplotaenium minutum</i>	(Ralfs) Bando 1988	

Name		Author	№ of figure
VI)	<i>Hyalotheca</i>	Ehrenberg ex Ralfs	
	1 <i>Hyalotheca dissiliens</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
	2 <i>Hyalotheca mucosa</i>	Ralfs 1848	
VII)	<i>Micrasterias</i>	C.Agardh ex Ralfs	
	1 <i>Micrasterias americana</i>	Ehrenberg ex Ralfs 1848	
	2 <i>Micrasterias apiculata</i>	Meneghini ex Ralfs 1848	
	3 <i>Micrasterias crux-melitensis</i>	Ralfs 1848	
	4 <i>Micrasterias furcata</i>	C.Agardh ex Ralfs 1848	
	5 <i>Micrasterias truncata</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
VIII)	<i>Pleurotaenium</i>	Nägeli	
	1 <i>Pleurotaenium coronatum</i>	(Ralfs) Rabenhorst 1868	
	2 <i>Pleurotaenium crenulatum</i>	(Ralfs) Rabenhorst 1868	
	3 <i>Pleurotaenium ehrenbergii</i>	(Ralfs) De Bary 1858	
	4 <i>Pleurotaenium elongatum</i>	(West) Coesel & Meesters 2023	
	5 <i>Pleurotaenium eugeneum</i>	(W.B.Turner) West & G.S.West 1904	
	6 <i>Pleurotaenium simplicissimum</i> *	Grönblad 1920	
	7 <i>Pleurotaenium trabecula</i>	Nägeli 1849	31
	8 <i>Pleurotaenium trabecula</i> var. <i>crassum</i> *	Wittrock 1872	32
	9 <i>Pleurotaenium truncatum</i>	(Brébisson ex Ralfs) Nägeli 1849	
IX)	<i>Sphaerosozma</i>	Corda ex Ralfs	
	1 <i>Sphaerosozma vertebratum</i> var. <i>latius</i> *	West & G.S.West 1897	33
X)	<i>Spondylosium</i>	Brébisson ex Kützing	
	1 <i>Spondylosium luetkemulleri</i>	Grönblad 1938	
XI)	<i>Staurastrum</i>	Meyen ex Ralfs	
	1 <i>Staurastrum avicula</i>	Brébisson 1848	
	2 <i>Staurastrum bacillare</i> var. <i>obesum</i>	P.Lundell 1871	
	3 <i>Staurastrum bieneanum</i>	Rabenhorst 1862	
	4 <i>Staurastrum brevispina</i>	Brébisson 1848	
	5 <i>Staurastrum cosmarioides</i> *	Nordstedt 1870	34
	6 <i>Staurastrum dickiei</i>	Ralfs 1848	
	7 <i>Staurastrum gracile</i>	Ralfs ex Ralfs 1848	
	8 <i>Staurastrum orbiculare</i>	Meneghini ex Ralfs 1848	
	9 <i>Staurastrum tetracerum</i>	Ralfs ex Ralfs 1848	
	10 <i>Staurastrum vestitum</i>	Ralfs 1848	
XII)	<i>Stauroidesmus</i>	Teiling	
	1 <i>Stauroidesmus convergens</i>	(Ralfs) S.Lillieroth 1950	
	2 <i>Stauroidesmus cuspidatus</i>	(Brébisson) Teiling 1967	
	3 <i>Stauroidesmus dejectus</i>	(Brébisson) Teiling 1954	
	4 <i>Stauroidesmus glaber</i>	(Ralfs) Teiling 1948	
XIII)	<i>Teilingia</i>	Bourelly	
	1 <i>Teilingia granulata</i>	(J.Roy & Bisset) Bourelly 1964	
XIV)	<i>Xanthidium</i>	Ehrenberg ex Ralfs	
	1 <i>Xanthidium antilopaeum</i>	Kützing 1849	
	2 <i>Xanthidium cristatum</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	
C)	Gonatozygaceae	G.S.West	

Name		Author	No of figure
I)	<i>Gonatozygon</i>	De Bary	
	1 <i>Gonatozygon aculeatum</i> *	Hastings 1892	35
	2 <i>Gonatozygon brebissonii</i>	De Bary 1858	36
	3 <i>Gonatozygon kinahanii</i>	(W.Archer) Rabenhorst 1868	37
	4 <i>Gonatozygon monotaenium</i> var. <i>pilosellum</i>	Wittrock & Nordstedt 1886	38
D)	Peniaceae	Haeckel	
I)	<i>Penium</i>		
	1 <i>Penium margaritaceum</i>	Brébisson ex Ralfs 1848	

Note: * – New for Ukrainian flora

17 out of 30 genera of desmids represented in Ukraine (Petlovaný & Tsarenko, 2015) were found in Zavodske. The number of desmid taxa found in Zavodske reflects 11,4 % of the total number of the desmid taxa in Ukraine. *Gonatozygon* and *Pleurotaenium* genera present in Zavoske exceed 60 % of the total number of taxa of these genera in Ukraine (see Table 2).

Consequently, Zavodske pond is rich in desmid species and part of them which new for Ukraine, rare and extremely rare species, not only for Ukraine, but also for the whole Europe, is high (see Shyndanovina & Lukash, 2023). Therefore such «hotspot» of desmids diversity deserves attention and conservation.

Table 2

Genera of Desmidiiales (Zygnematophyceae, Streptophyta) present in Ukraine compared to the flora of Desmidiiales in Zavodske

No	Genus name	Number of taxa in Ukraine (Petlovaný & Tsarenko, 2015), pcs	Number of taxa in Zavodske pond, pcs	Part of taxa in Zavodske pond of the total number of taxa in Ukraine (Petlovaný & Tsarenko, 2015), %
1	<i>Actinotaenium</i>	20	7	35.0
2	<i>Bambusina</i>	1		
3	<i>Closterium</i>	101	4	4.0
4	<i>Cosmarium</i>	427	52	12.2
5	<i>Cosmoastrum</i> *	48		
6	<i>Cosmocladium</i>	2		
7	<i>Cylindriastrum</i> *	5		
8	<i>Desmidium</i>	10	1	10.0
9	<i>Docidium</i>	2		
10	<i>Euastrum</i>	56	5	8.9
11	<i>Genicularia</i>	1		
12	<i>Gonatozygon</i>	6	4	66.7
13	<i>Haploaenium</i>	4	1	25.0
14	<i>Heimansia</i>	2		
15	<i>Hyalotheca</i>	5	2	40.0
16	<i>Micrasterias</i>	30	5	16.7
17	<i>Octacanthium</i>	5		
18	<i>Onychonema</i>	3		
19	<i>Oocardium</i>	1		
20	<i>Penium</i>	6	1	16.7

№	Genus name	Number of taxa in Ukraine (Petlovaný & Tsarenko, 2015), pcs	Number of taxa in Zavodske pond, pcs	Part of taxa in Zavodske pond of the total number of taxa in Ukraine (Petlovaný & Tsarenko, 2015), %
21	<i>Pleurotaenium</i>	13	9	69.2
22	<i>Raphidiastrum</i> *	14		
23	<i>Sphaerososma</i>	5	1	20.0
24	<i>Spondylosium</i>	13	1	7.7
25	<i>Staurastrum</i>	107	10	9.3
26	<i>Staurodesmus</i>	52	4	7.7
27	<i>Teilingia</i>	4	1	25.0
28	<i>Tetmemorus</i>	5		
29	<i>Triploceras</i>	1		
30	<i>Xanthidium</i>	20	2	10.0
	Total:	969	110	11.4

Note: * – *Cosmoastrum* P.-M., *Raphidiastrum* P.-M. and *Cylindriastrum* P.-M. are currently regarded as heterotypic synonyms of *Staurastrum* Meyen ex Ralfs (see Guiry, 2013) but traditionally we use them for analysis and characterizations of Ukrainian desmid flora.

The illustrations of 37 taxa are presented in 36 plates of microphotographs that are all made by the author of the article (see Figs. 3–38).

They are presenting all new for Ukraine taxa and some other cells.

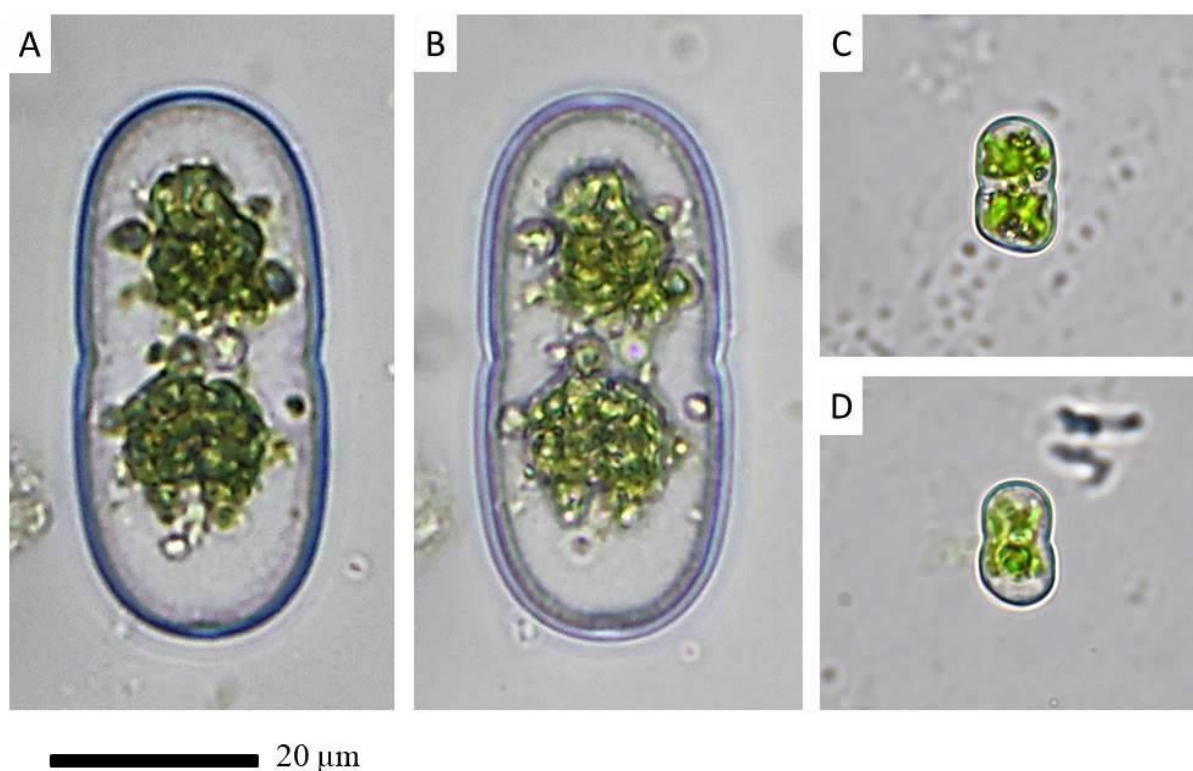


Fig. 3. Photographs A, B – *Actinotaenium americanum* (West & G.S. West) Coesel & Meesters 2023. Cell dimensions: length – 53.22 μm , breadth – 20.89 μm , isthmus – 23.39 μm . Photographs C, D – *Actinotaenium perminutum* (G.S. West) Teiling 1954. Cell dimensions C (D): length – 13.15 (12.05) μm , breadth – 8.02 (7.19) μm , isthmus – 7.19 (6.44) μm

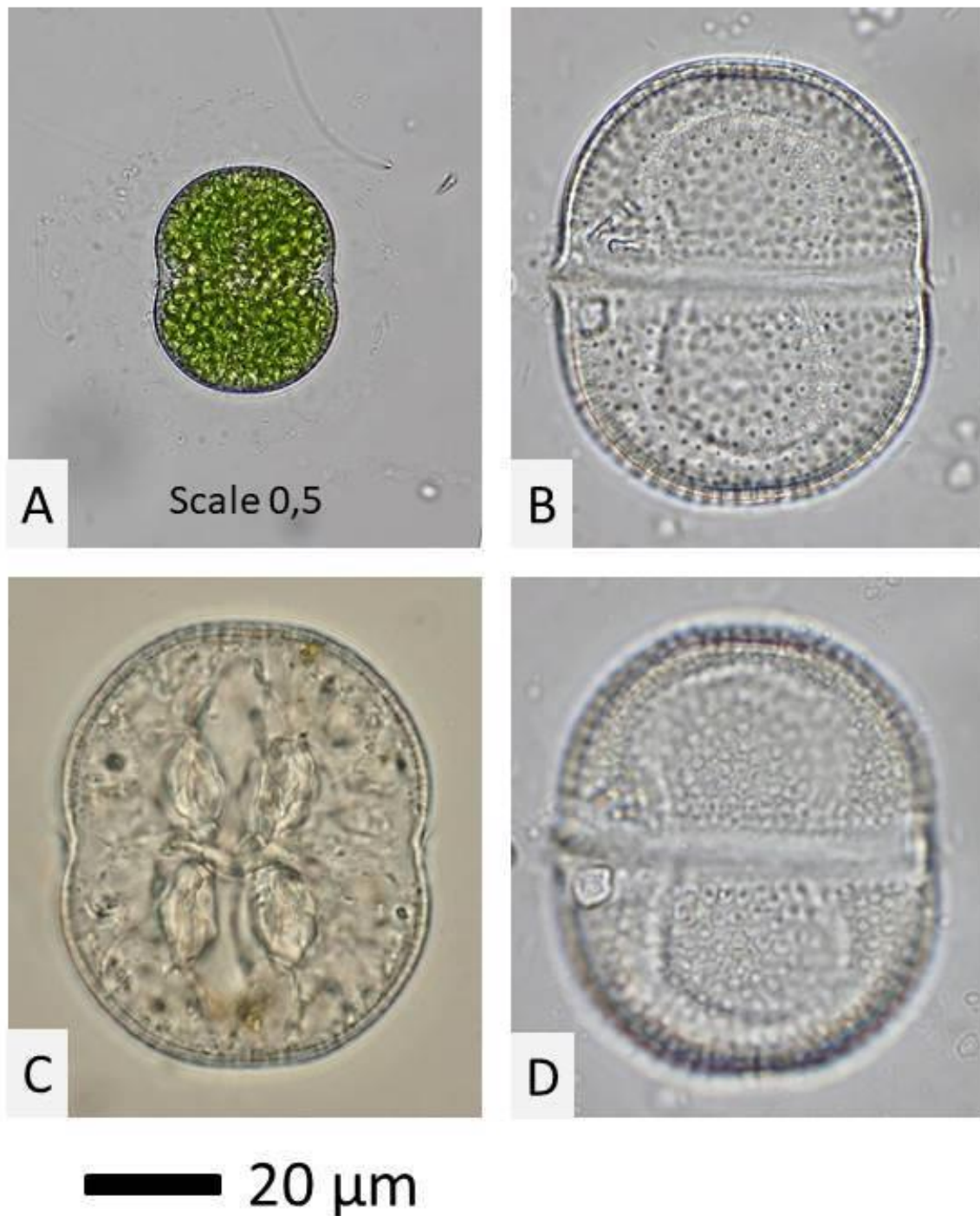


Fig. 4. Photographs of *Cosmarium alpestre* J.Roy & Bisset 1893.

Cell dimensions A: length – 65,93 μm,
 breadth – 52,96 μm,
 isthmus – 50,37 μm.

Cells B, D are deformed under the cover glass.
 The cell with mucilage sheath is on photograph A.
 The scale of photograph A is 0,5 of this figure scale

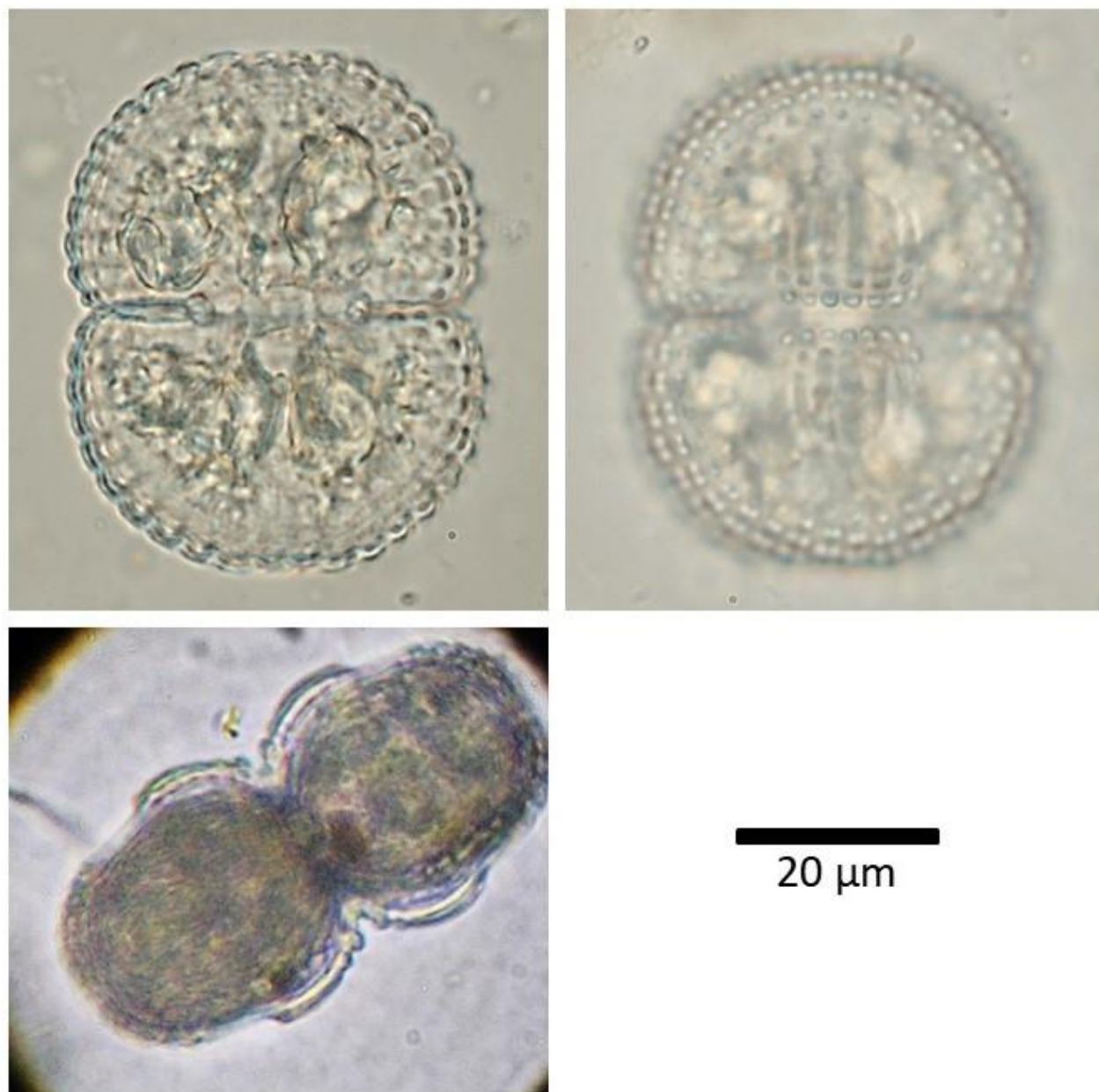


Fig. 5. Photographs of *Cosmarium binum* Nordstedt 1880.

Cell dimensions: length – 52,18 μm,
breadth – 41,98 μm,
isthmus – 15,25 μm

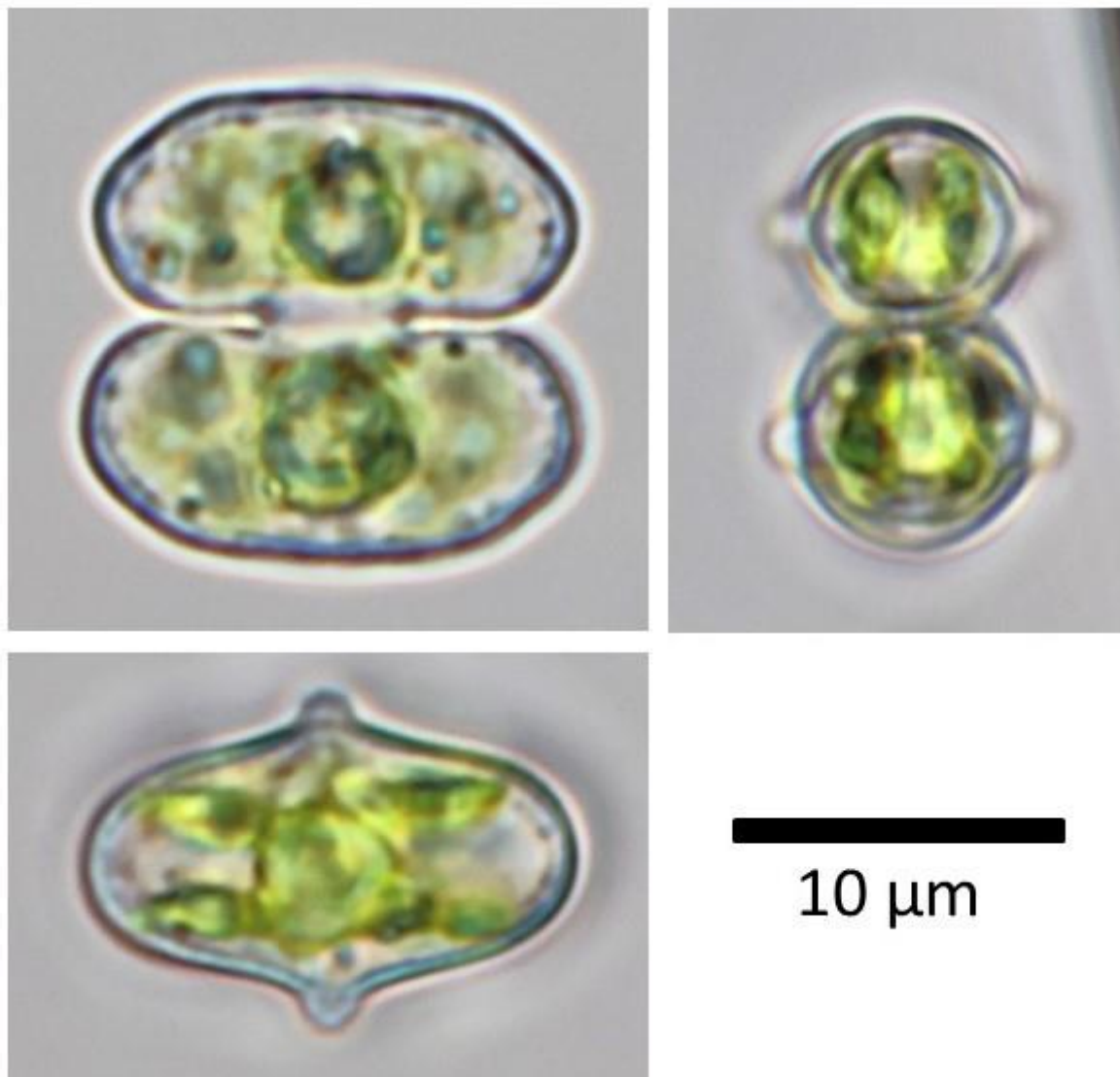


Fig. 6. Photographs of *Cosmarium bireme* Nordstedt 1870.

Cell dimensions: length – 14,43 µm,
breadth – 15,22 µm,
isthmus – 10,40 µm

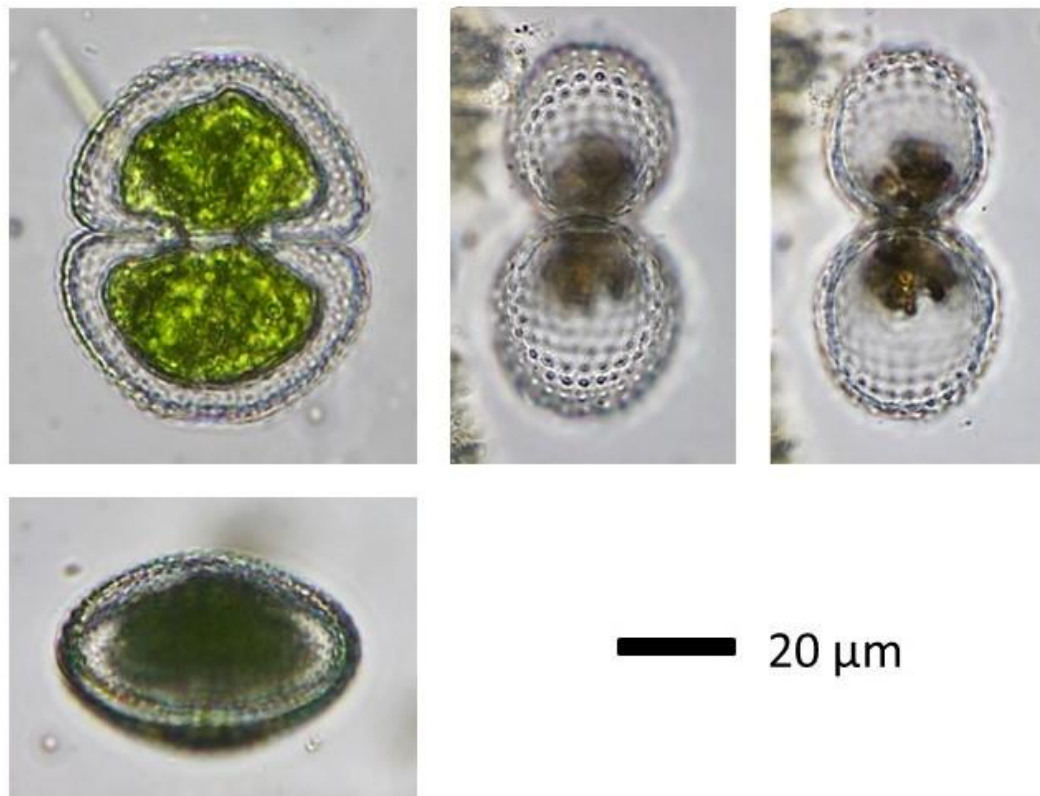


Fig. 7. Photographs of *Cosmarium botrytis* var. *botrytis* Meneghini ex Ralfs 1848. Cell dimensions: length – 63.84 μm, breadth – 53.90 μm, isthmus – 15.48 μm, thickness – 32.60 μm

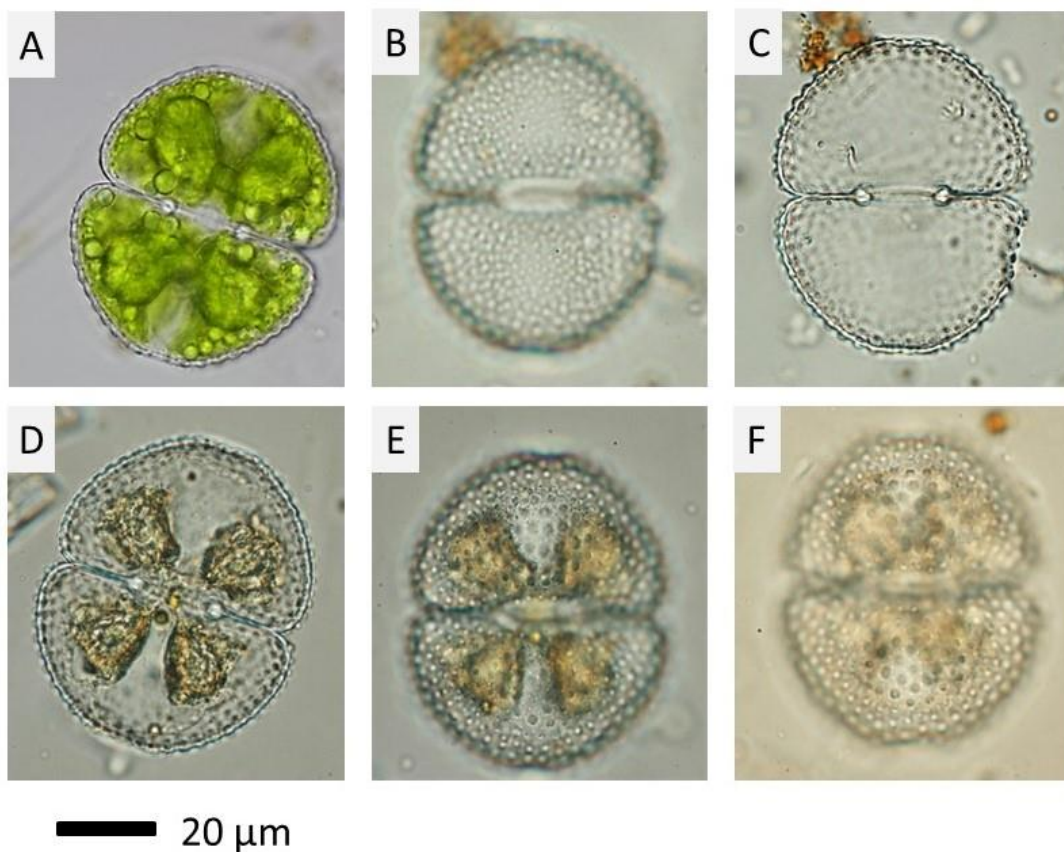


Fig. 8. Photographs of *Cosmarium botrytis* var. *botrytis* Meneghini ex Ralfs 1848 (A, B, C). Photographs of *Cosmarium botrytis* var. *tumidum* Wolle 1884 (D, E, F).

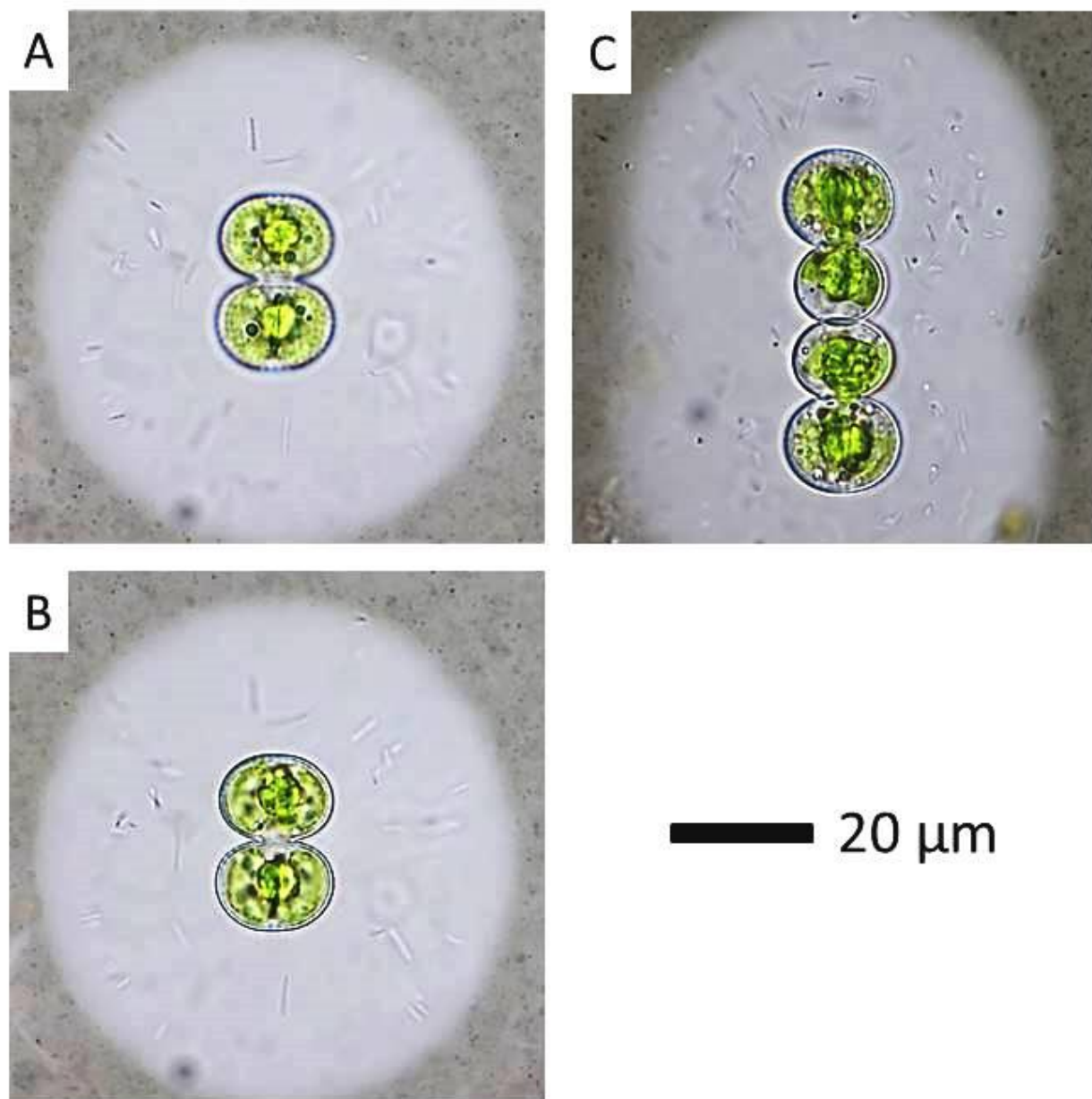


Fig. 9. Photographs of *Cosmarium contractum* Kirchner 1878.

Cell dimensions A (C): length – 25.05 (24.27) μm,
breadth – 16.86 (16.66) μm,
isthmus – 4.37 (4.50) μm

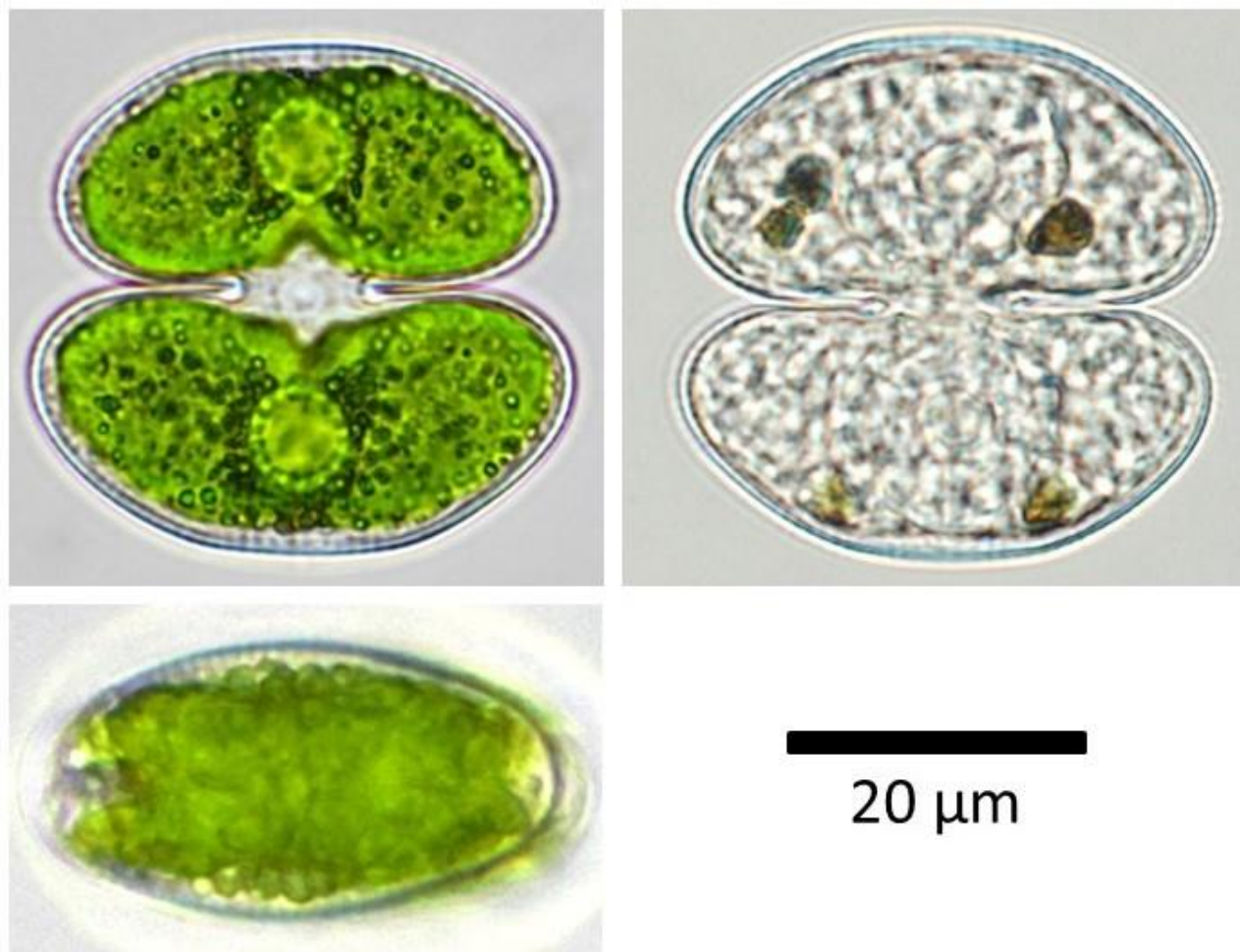
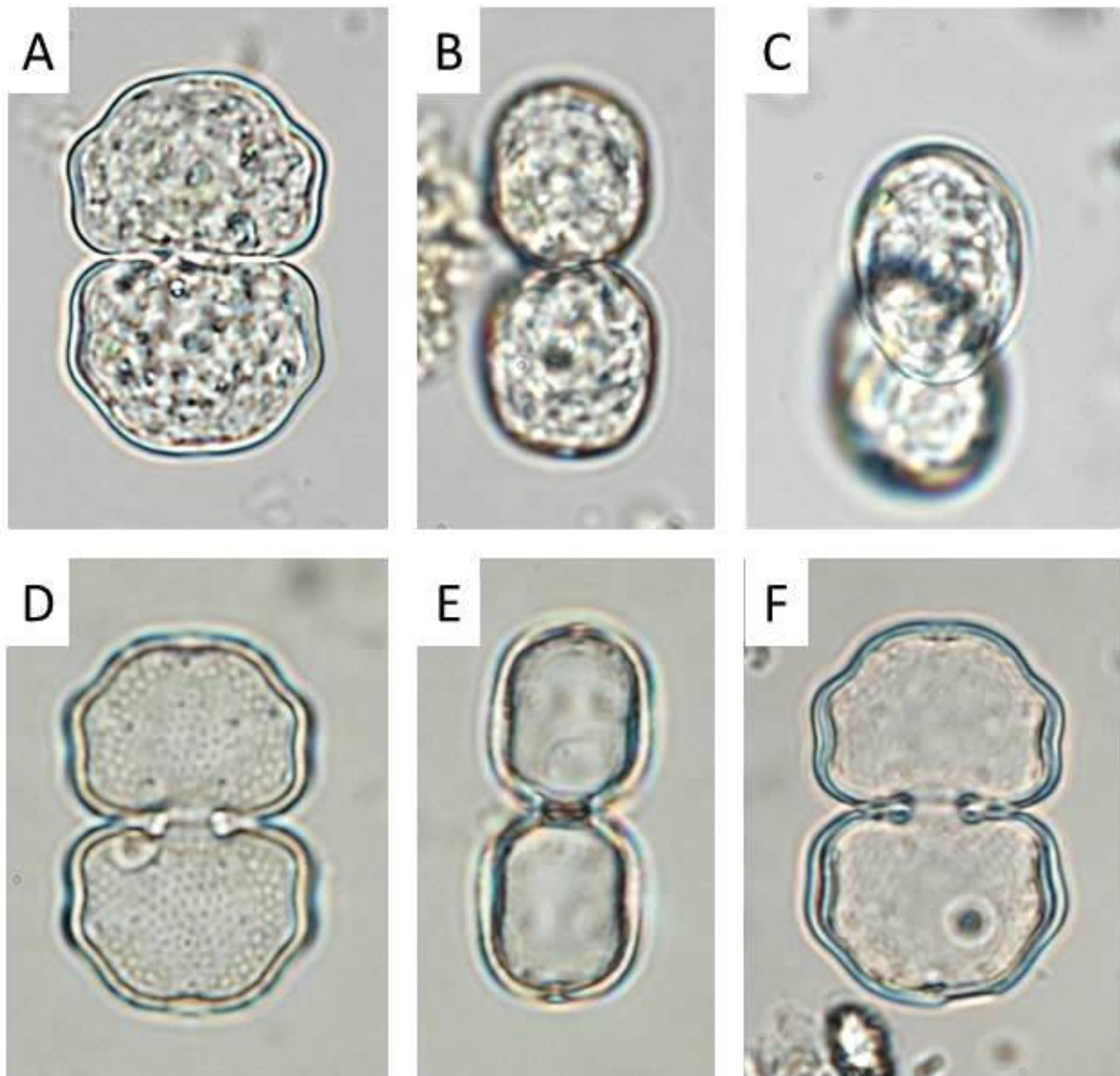


Fig. 10. Photographs of *Cosmarium neodepressum* G.J.P. Ramos & C.W.N. Moura 2020 (synonym: *Cosmarium depressum* (Nägeli) P. Lundell 1871).

Cell dimensions: length – 34.65 μm ,
breadth – 36.93 μm ,
isthmus – 9.70 μm ,
thickness – 18.80 μm



20 µm

Fig. 11. Photographs of *Cosmarium difficile* Lütkemüller 1892.

Cell dimensions A (D): length – 33.33 (32.89) µm,
breadth – 26.67 (21.85) µm,
isthmus – 5.33 (5.85) µm,
thickness (B) – 19.44 µm

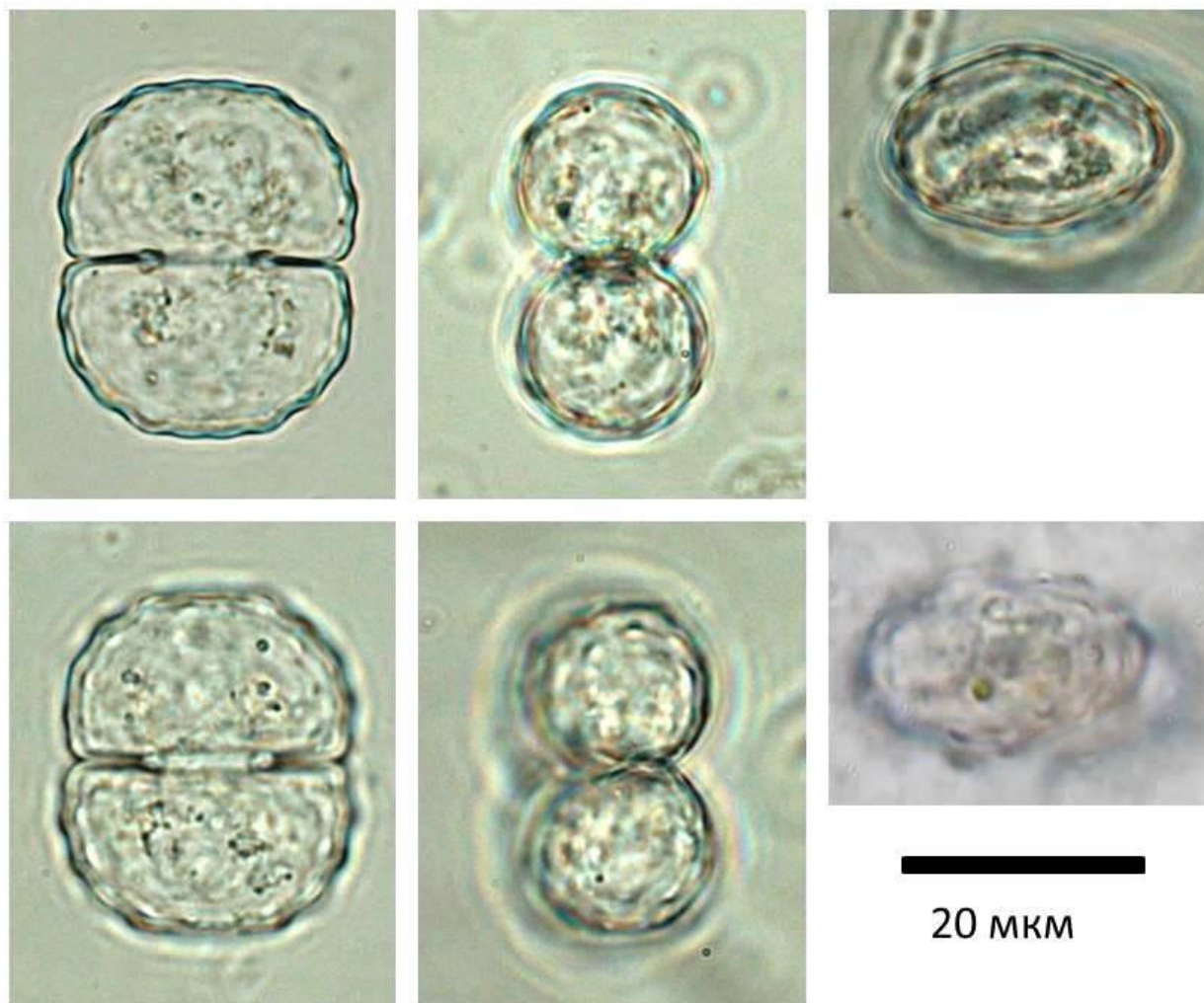


Figure 12. Photographs of *Cosmarium gibberulum* Lütkemüller 1910.

Cell dimensions: length – 29.95 μm ,
breadth – 24.80 μm ,
isthmus – 9.10 μm ,
thickness – 16.53 μm

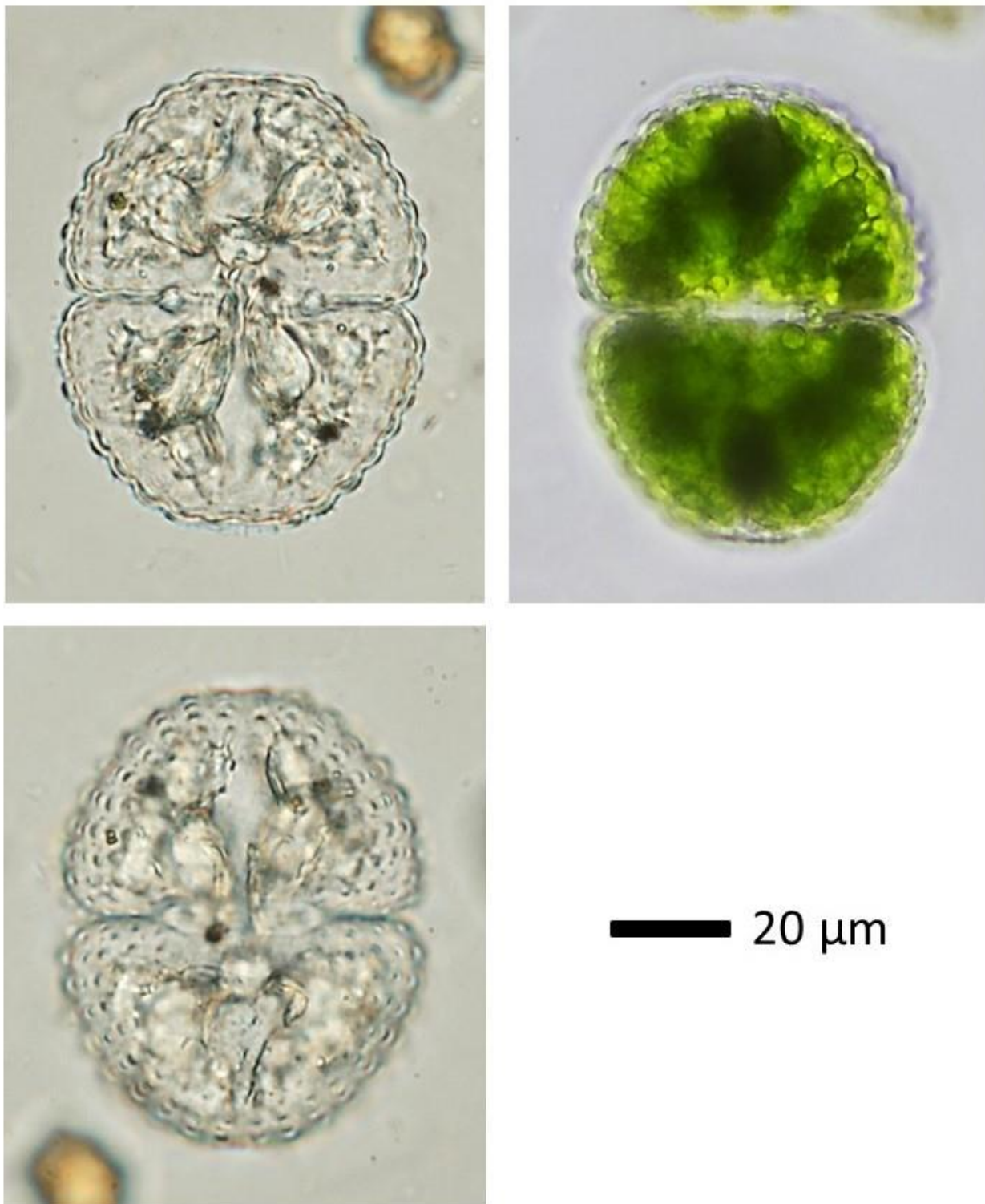


Fig. 13. Photographs of *Cosmarium hornavanense* Gutwinski 1909.

Cell dimensions: length – 77.60 μm,
breadth – 59.06 μm,
isthmus – 18.71 μm

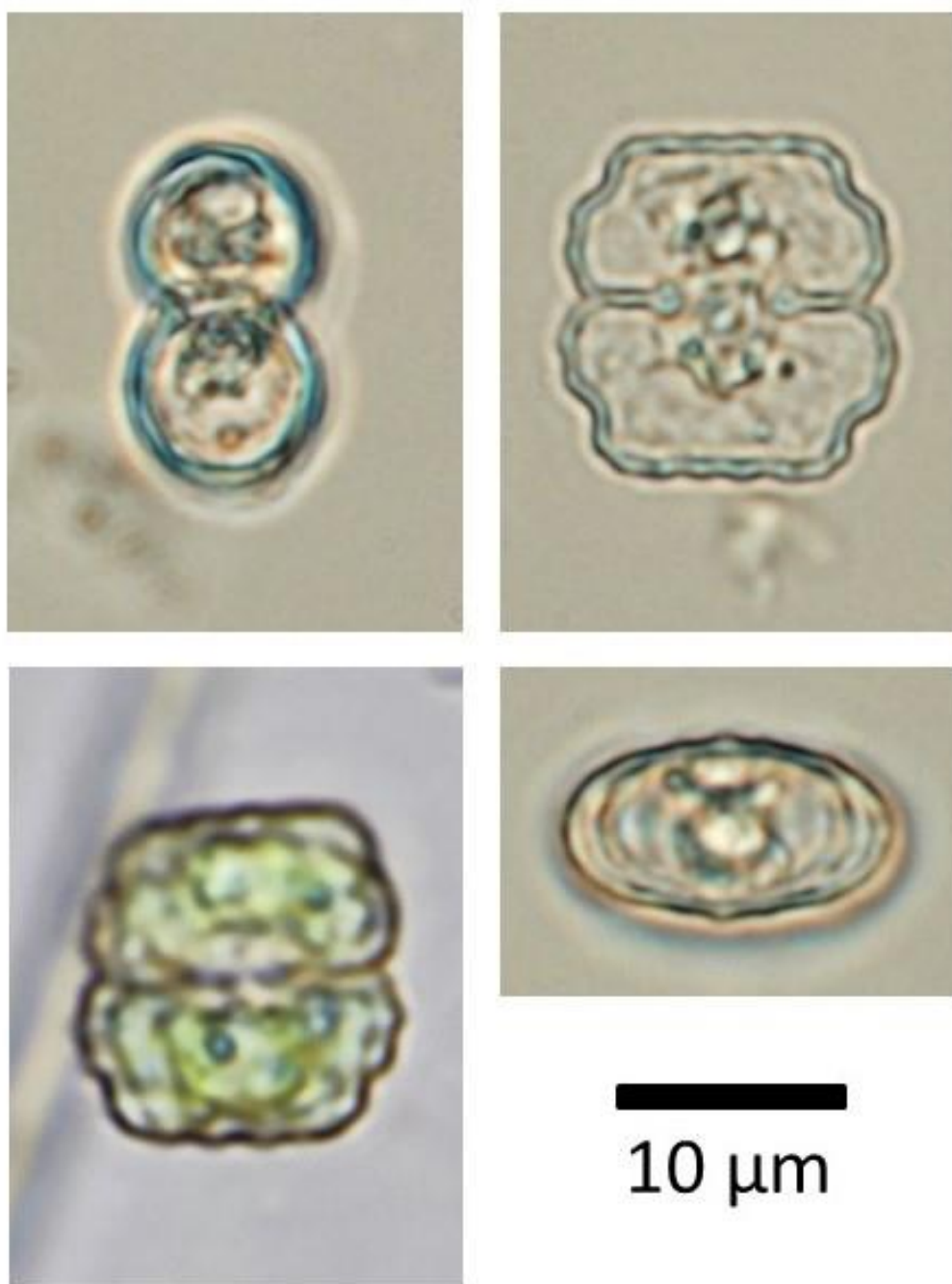


Fig. 14. Photographs of *Cosmarium humile* Nordstedt ex De Toni 1889.

Cell dimensions: length – 15.37 µm,
breadth – 14.07 µm,
isthmus – 3.80 µm

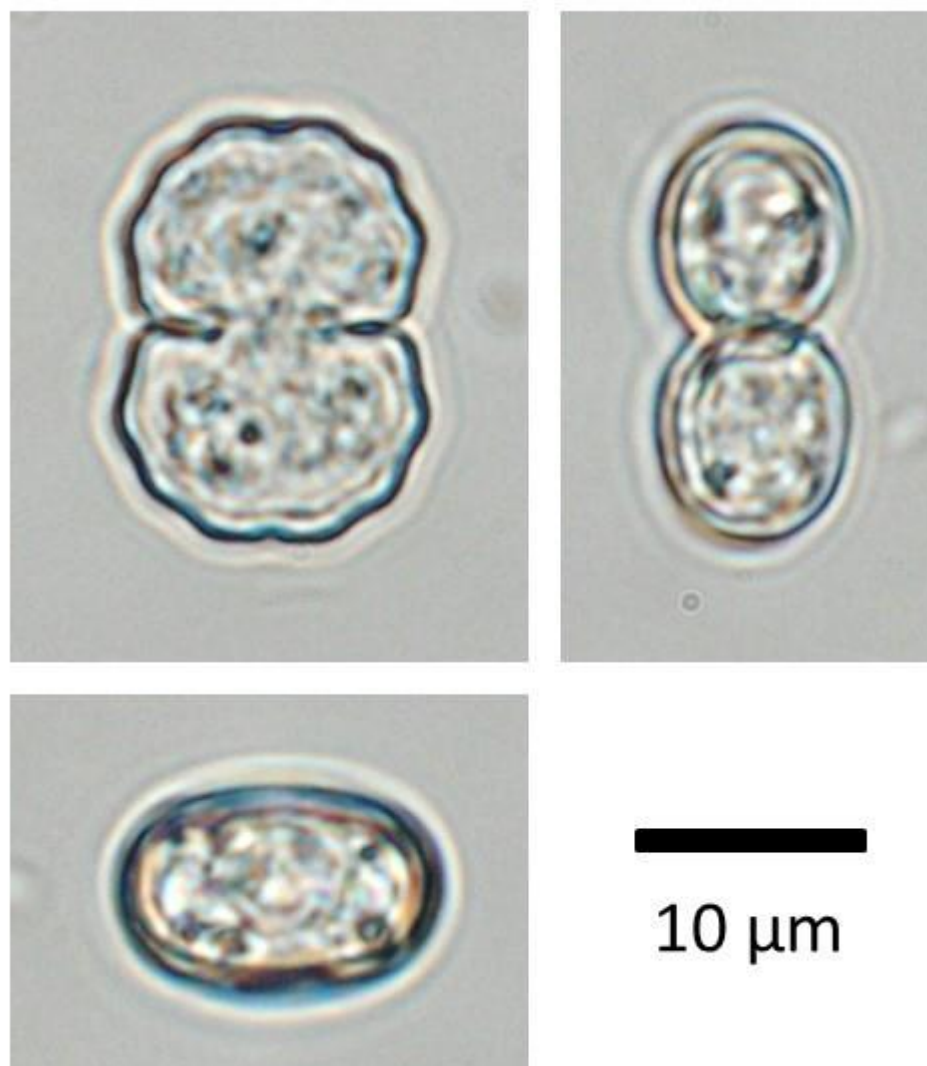


Fig. 15. Photographs of *Cosmarium impressulum* Elfving 1881.

Cell dimensions: length – 18.74 µm,
breadth – 13.82 µm,
isthmus – 4.93 µm

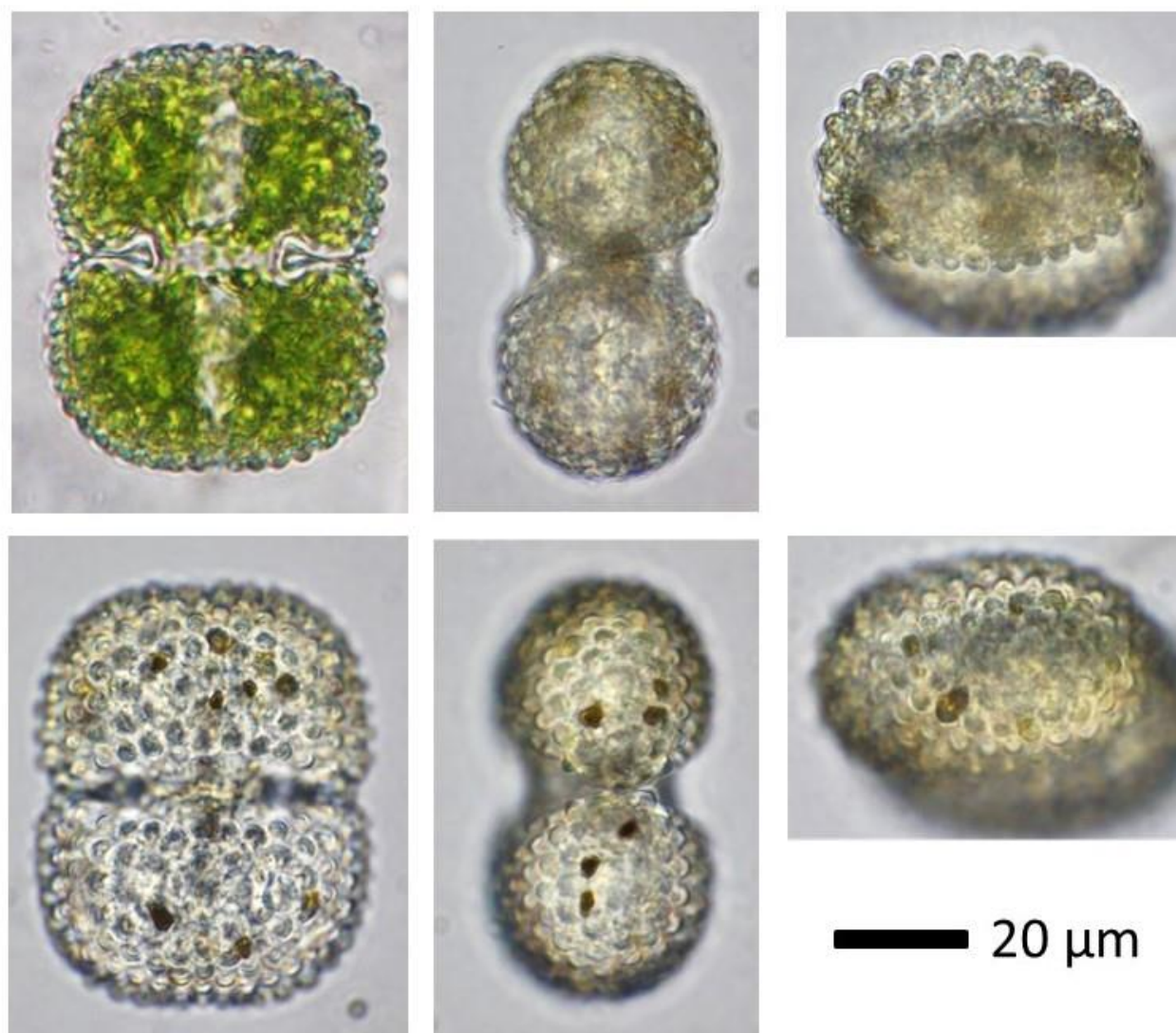


Fig. 16. Photographs of *Cosmarium margaritatum* (P. Lundell) J. Roy & Bisset 1886.

Cell dimensions: length – 65.22 μm,
breadth – 51.72 μm,
isthmus – 18.69 μm,
thickness – 34.93 μm

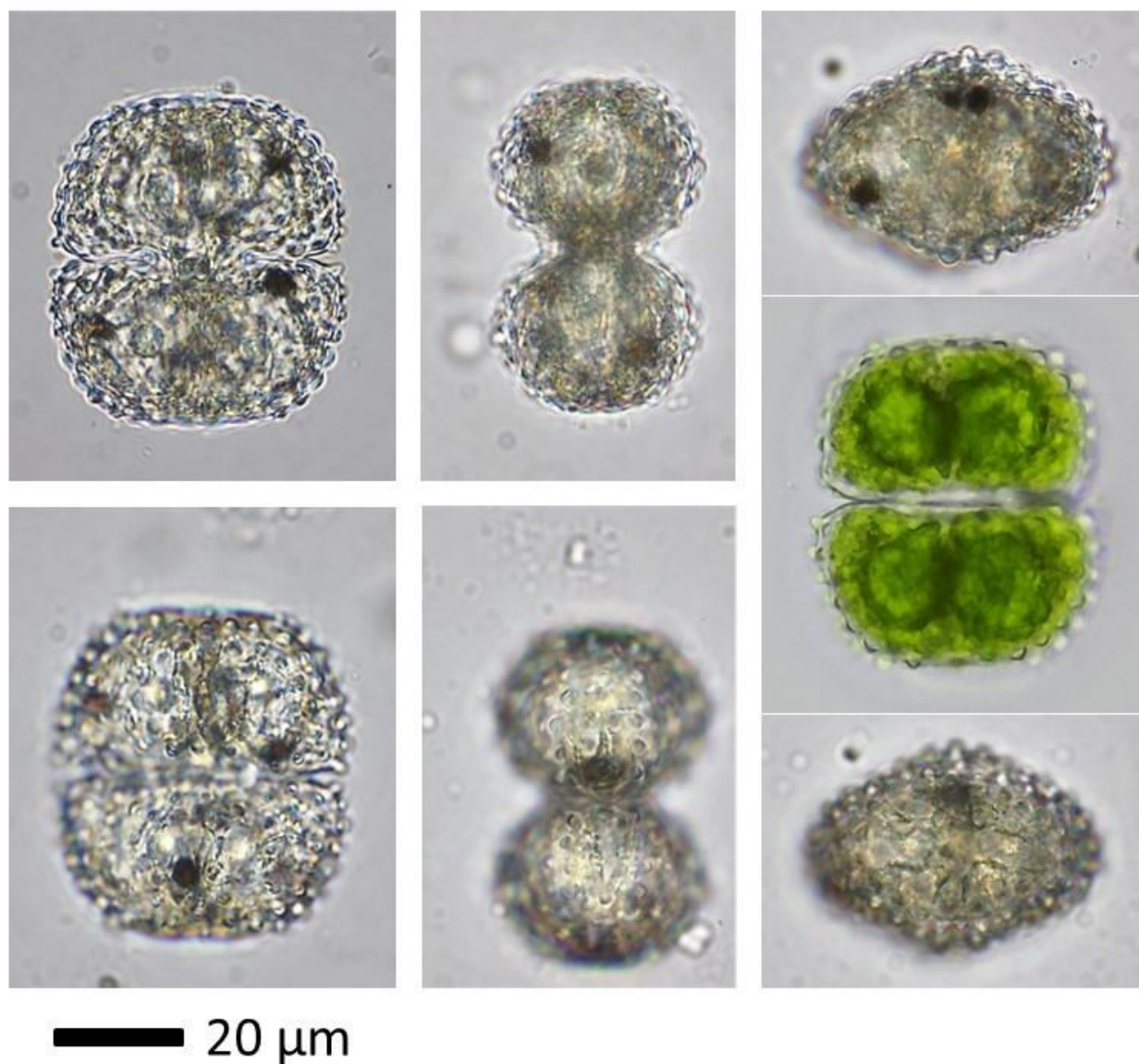


Fig. 17. Photographs of *Cosmarium margaritifera* Meneghini ex Ralfs 1848.

Cell dimensions: length – 52.35 μm,
breadth – 47.30 μm,
isthmus – 14.90 μm,
thickness – 34.04 μm

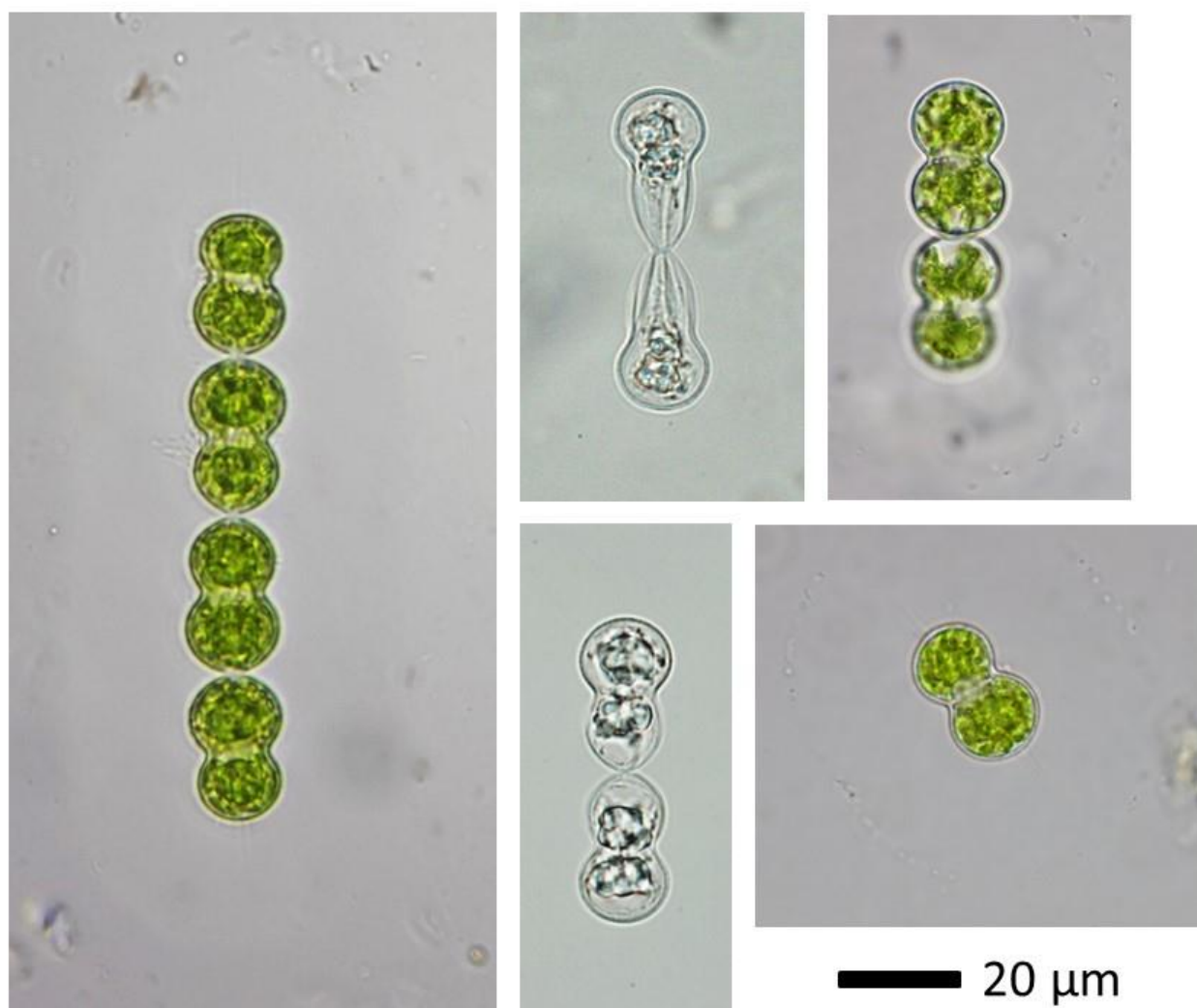


Fig. 18. Photographs of *Cosmarium moniliforme* Ralfs 1848.

Cell dimensions: length – 25.32 µm,
breadth – 15.56 µm,
isthmus – 10.37 µm

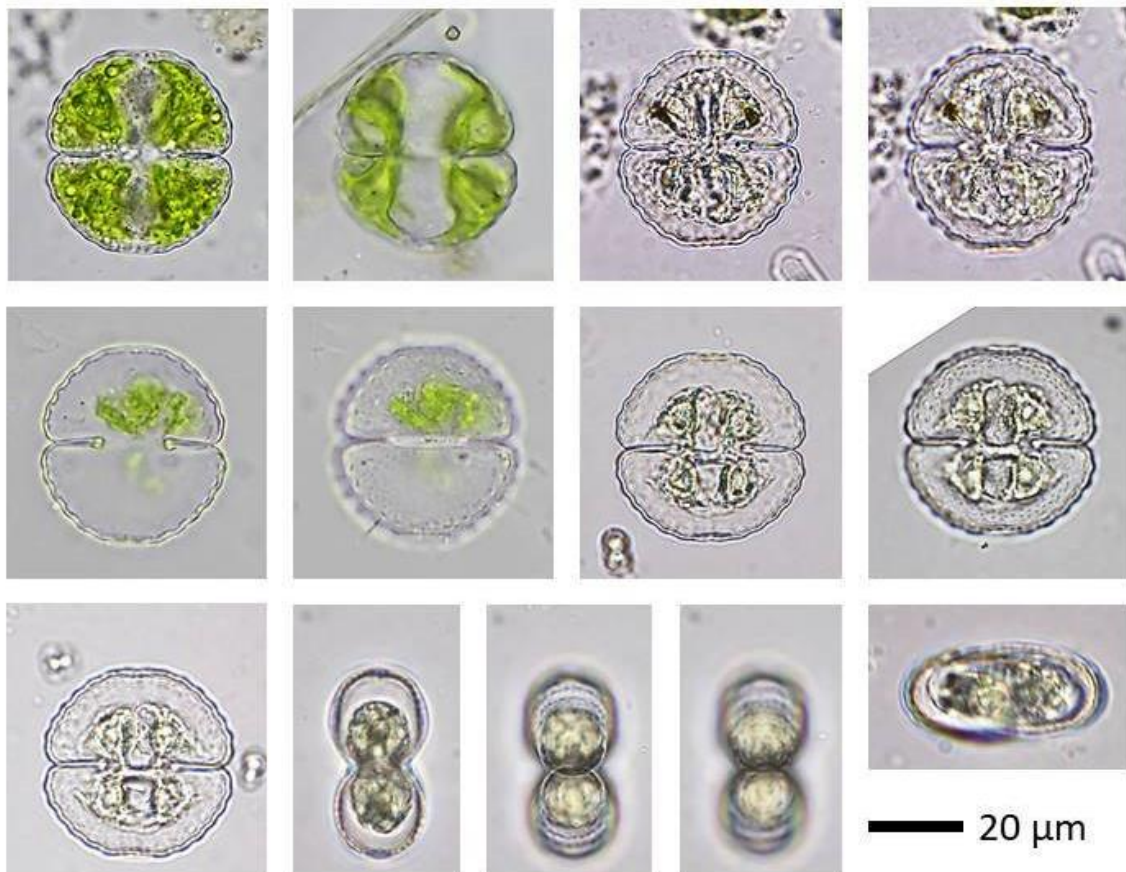


Fig. 19. Photographs of *Cosmarium obtusatum* (Schmidle) Schmidle 1898.
 Cell dimensions: length – 42.20 μm , breadth – 38.33 μm ,
 isthmus – 15.04 μm , thickness – 20.65 μm

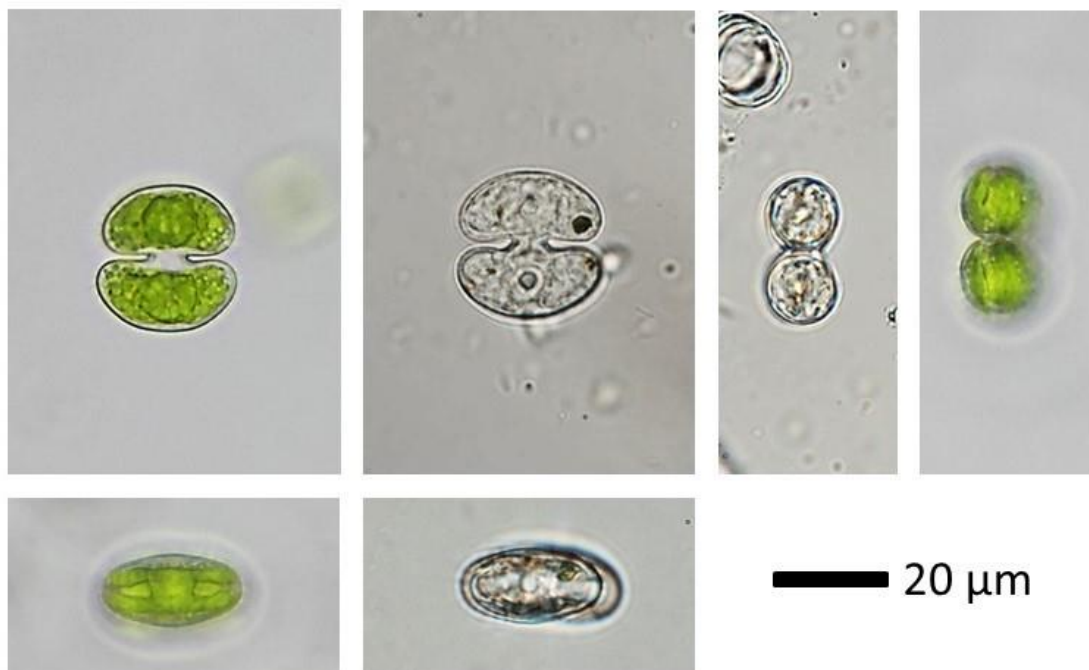


Fig. 20. Photographs of *Cosmarium phaseolus* var. *notatum* (Nordstedt) Coesel 1991
 (synonym: *Cosmarium ocellatum* var. *notatum* (Nordstedt) Willi Krieger & Gerloff 1962).
 Cell dimensions: length – 25.70 μm , breadth – 24.31 μm ,
 isthmus – 6.50 μm , thickness – 12.52 μm

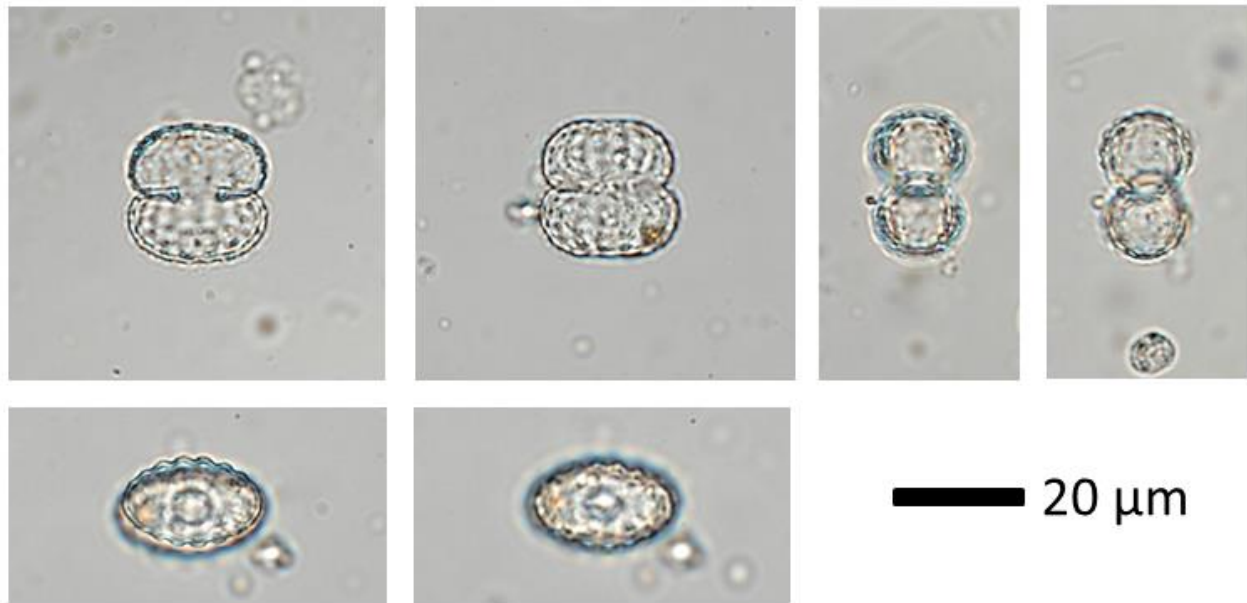


Fig. 21. Photographs of *Cosmarium ordinatum* (Børgesen) West & G.S.West 1896.

Cell dimensions: length – 22.07 µm, breadth – 21.19 µm,
isthmus – 7.63 µm, thickness – 13.78 µm

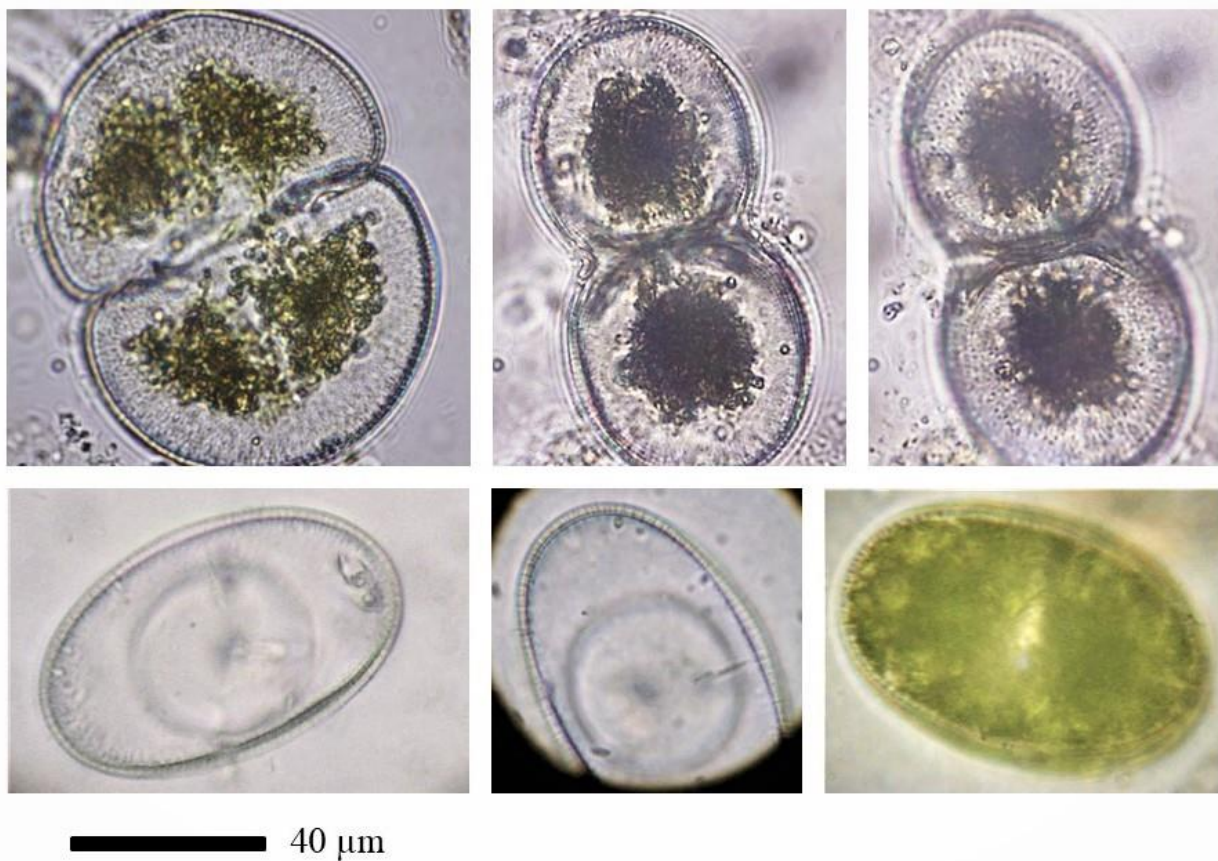


Fig. 22. Photographs of *Cosmarium pachydermum* P.Lundell 1871.

Cell dimensions: length – 95.39 µm, breadth – 74.94 µm,
isthmus – 34.07 µm, thickness – 53.17 µm



Fig. 23. Photographs of *Cosmarium pachydermum* P. Lundell 1871.
Morphological variability of the cells

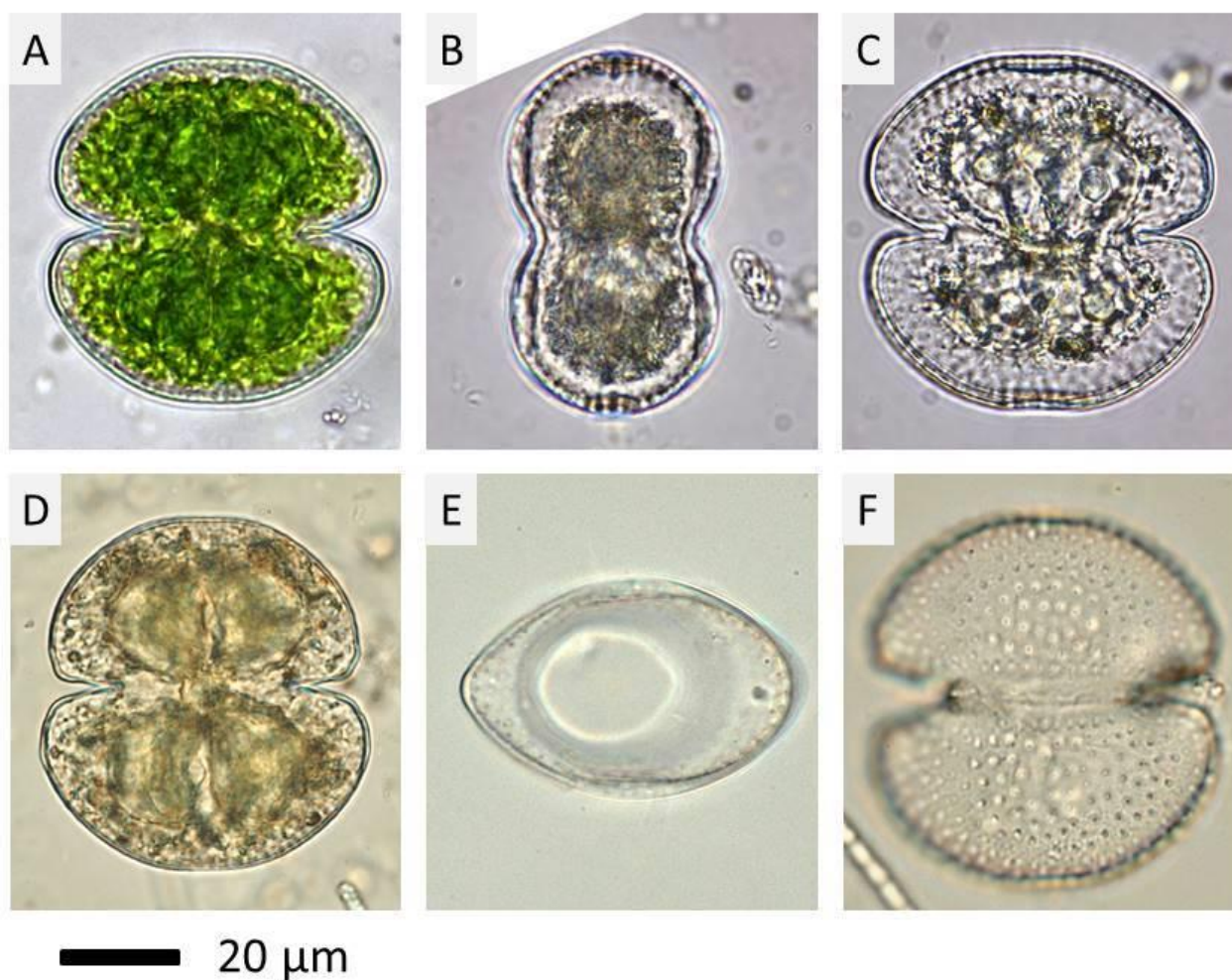


Fig. 24. Photographs of *Cosmarium perforatum* P. Lundell 1871.

Cell dimensions A (C): length – 58.19 (59.82) μm,
breadth – 55.97 (58.58) μm,
isthmus – 29.47 (32.92) μm

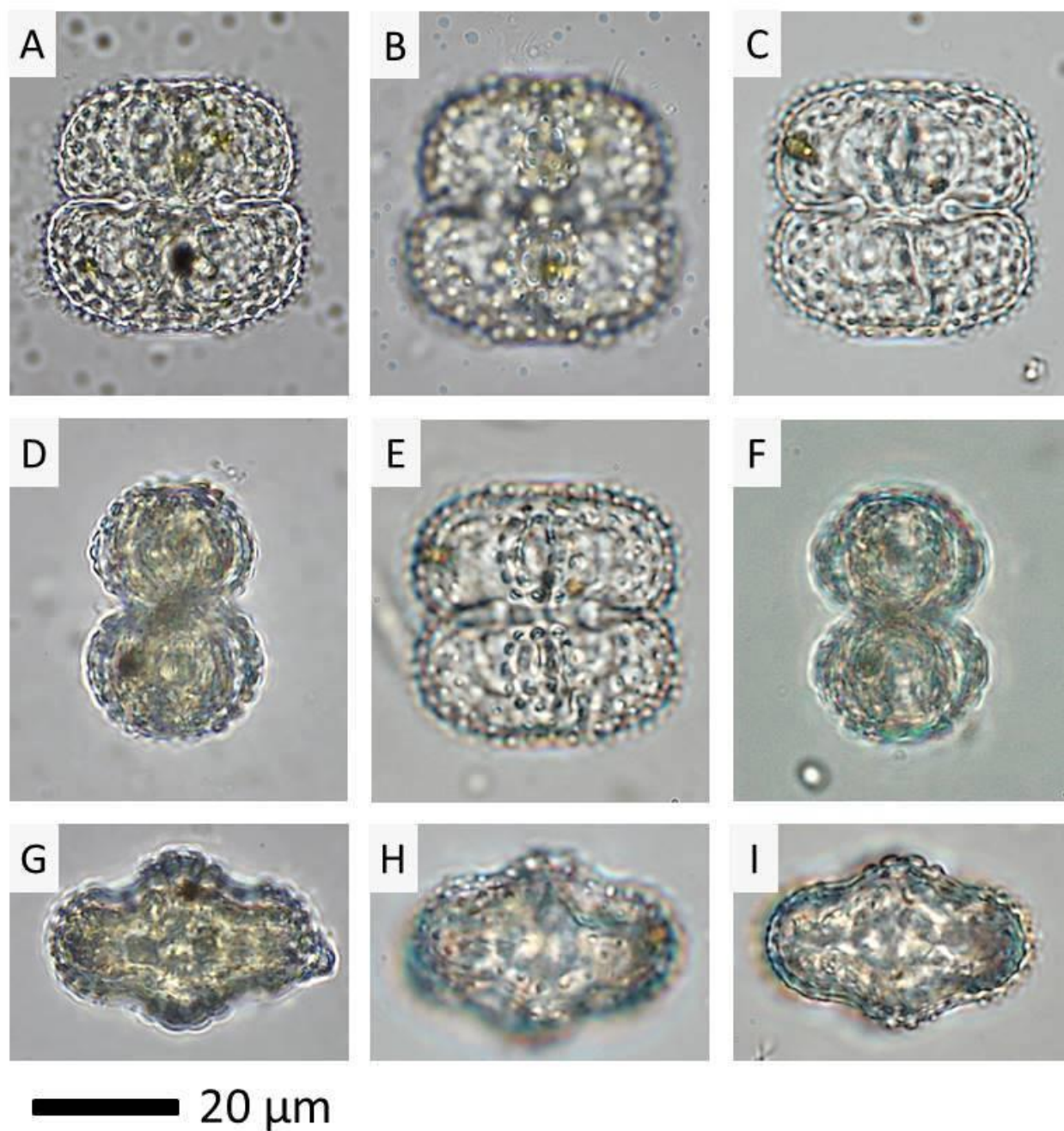


Fig. 25. Photographs of *Cosmarium pseudoornatum* B. Eichler & Gutwinski 1894.

Cell dimensions (A, B, D, G): length – 36.13 μm ,
breadth – 37.11 μm ,
isthmus – 13.13 μm

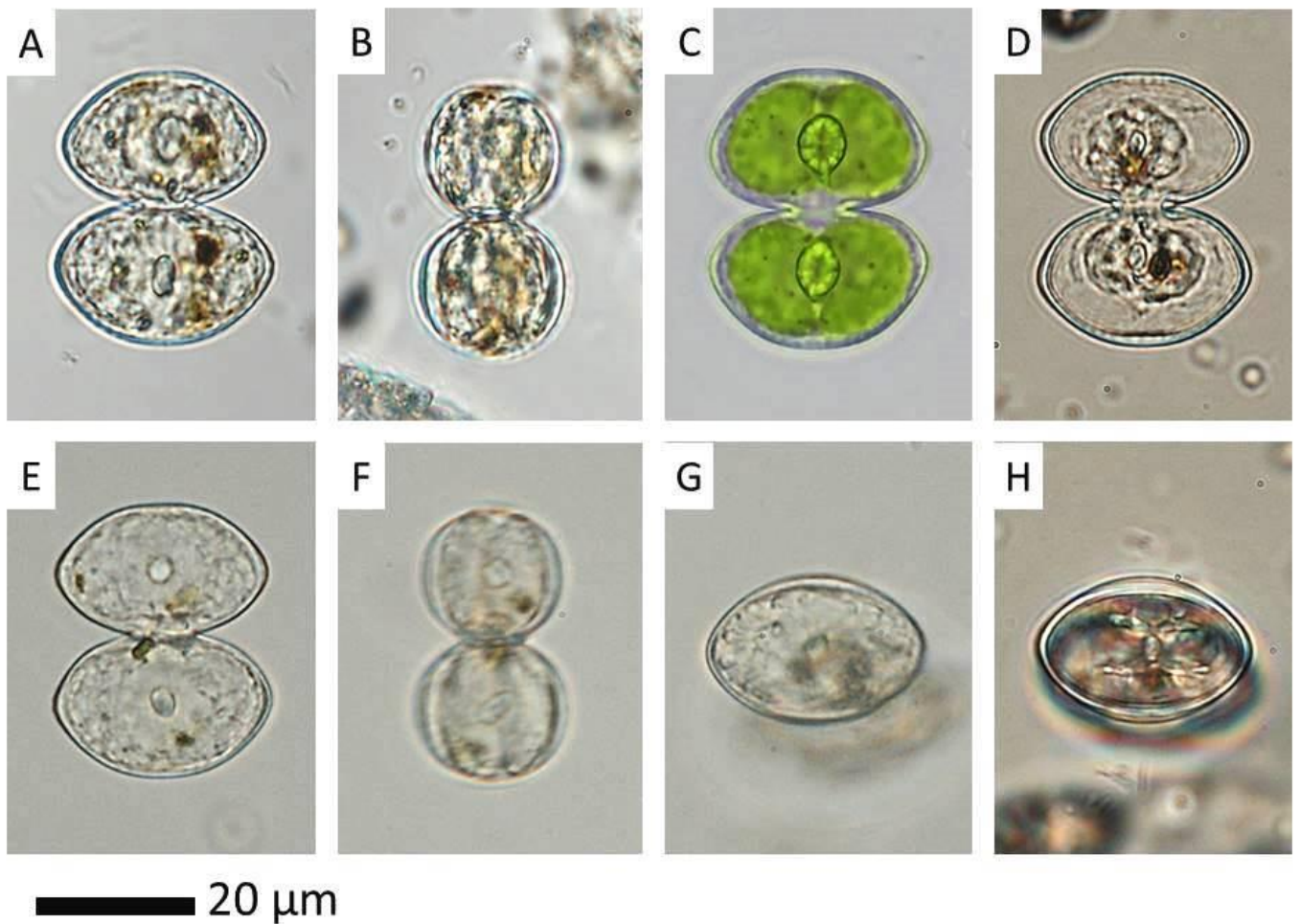


Fig. 26. Photographs of *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *pseudoprotuberans* Kirchner 1878.

Cell dimensions C: length – 36.02 μm ,
breadth – 28.18 μm ,
isthmus – 7.94 μm



Fig. 27. Photographs of *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *saxonicum* (Raciborski) Krieger & Gerloff 1965 (synonym: *Cosmarium elfvingii* var. *saxonicum* Raciborski 1889).

Cell dimensions: length – 29.11 μm, breadth – 25.41 μm,
isthmus – 7.67 μm, thickness – 16.40 μm

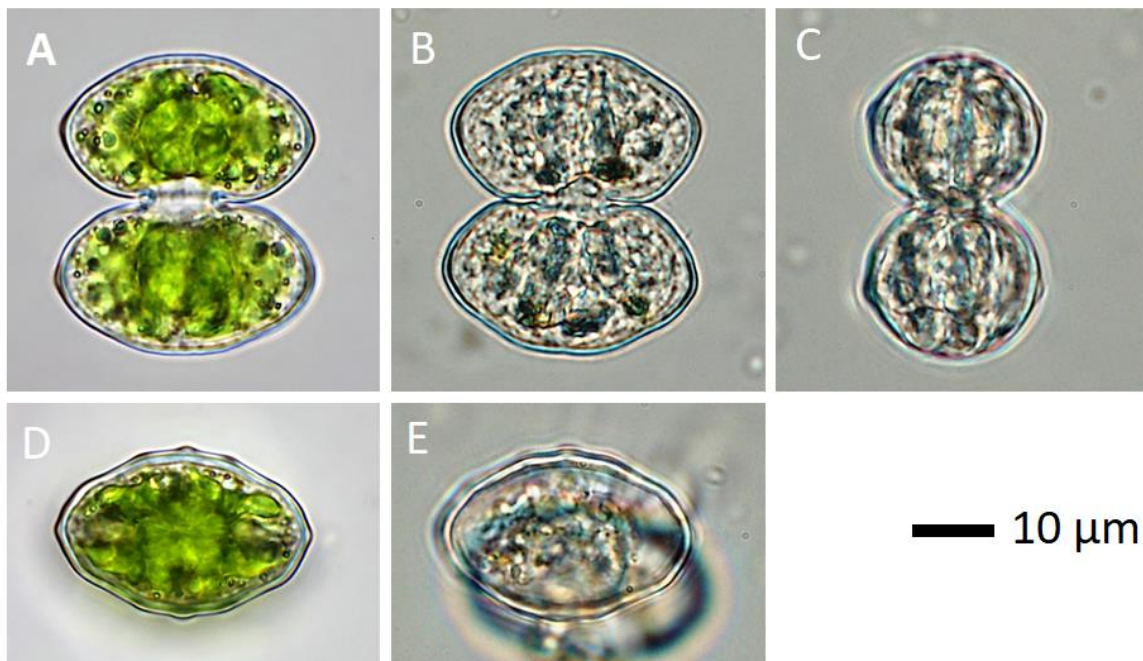


Fig. 28. Photographs of *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *sulcatum* (Nordstedt) Coesel 1991.

Cell dimensions(A, D): length – 35.07 μm, breadth – 30.73 μm,
isthmus – 9.43 μm, thickness – 20.53 μm

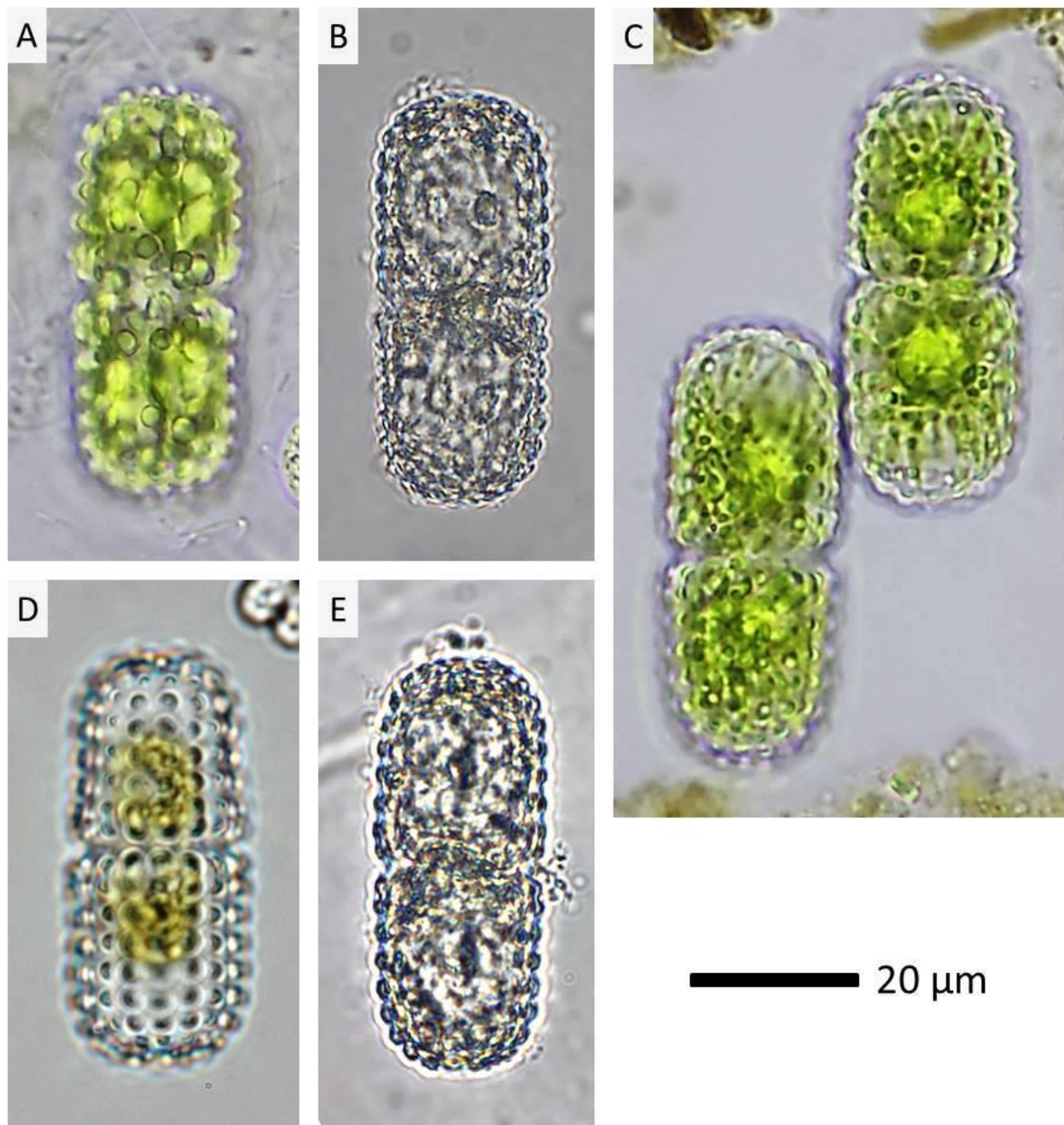
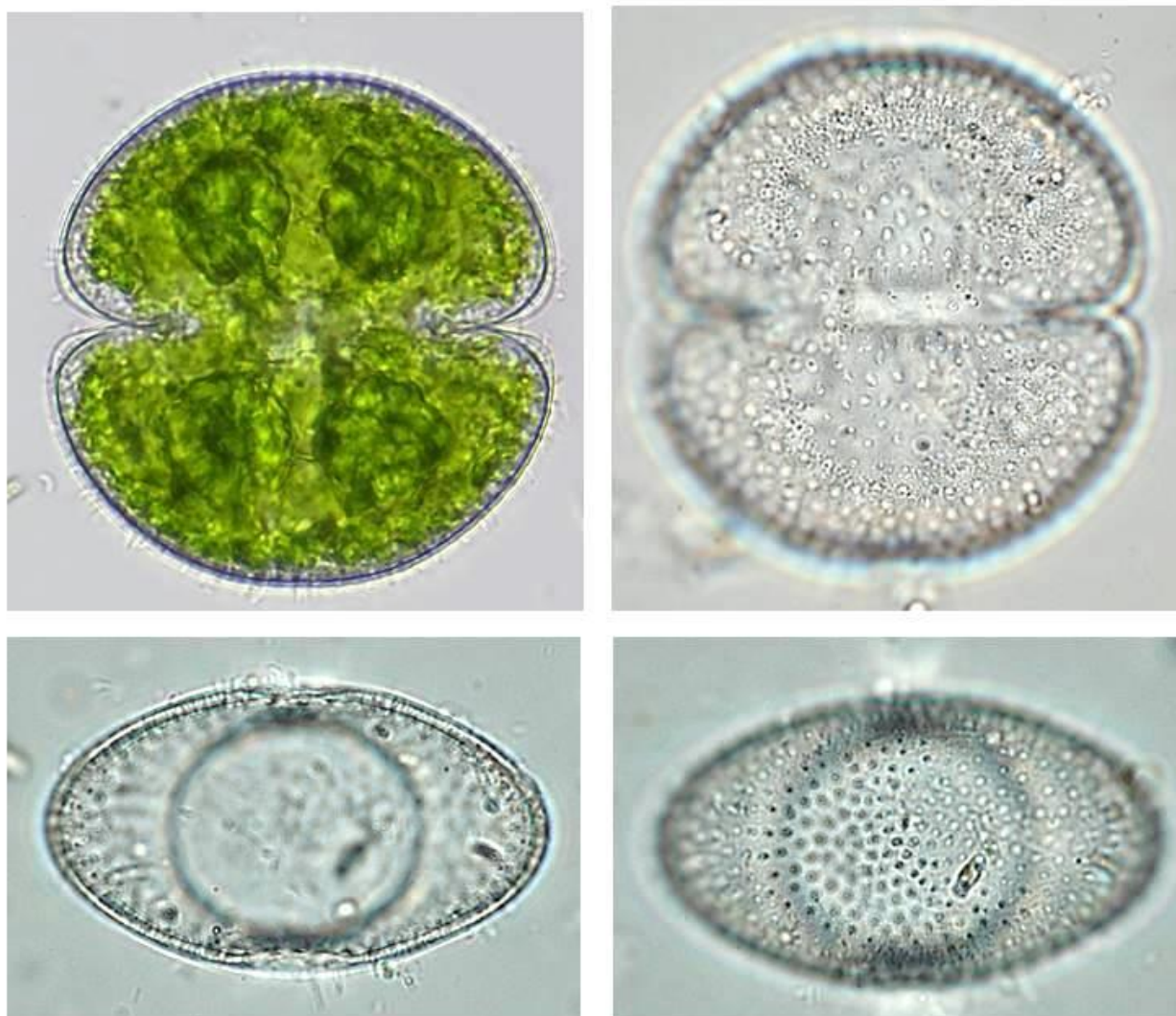


Fig. 29. Photographs of *Cosmarium simplicius* (W. & G.S. West) Grönblad 1931.

Cell dimensions A (C): length – 48.78 (48.88) μm ,
 breadth – 20.79 (20.42) μm ,
 isthmus – 16.26 (16.82) μm .

Front view with 2 pyrenoids (A, B), side view with visible one pyrenoid (C, E)



20 μm

Fig. 30. Photographs of *Cosmarium tutum* Shyndanovina 2020.

Cell dimensions: length – 58.19 μm ,
breadth – 55.97 μm ,
isthmus – 29.47 μm ,
thickness – 36.38 μm



Fig. 31. Photographs of *Pleurotaenium trabecula* var. *trabecula* Nägeli 1849.

Cell dimensions A (B): length – 462.18 (383.98) μ m,
 breadth – 33.73 (27.80) μ m,
 L/Br – 13.7 (13.8)

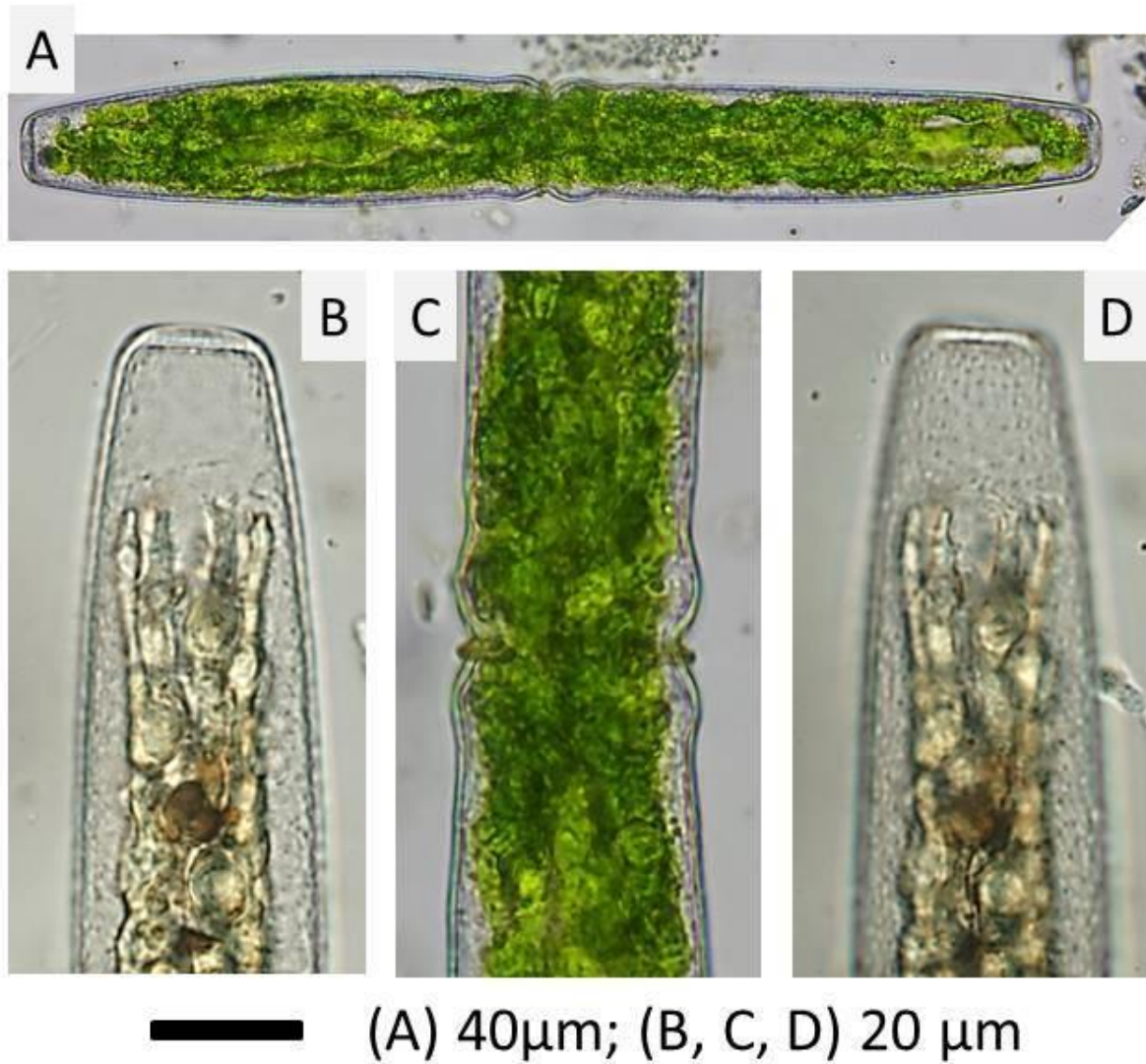


Fig. 32. Photographs of *Pleurotaenium trabecula* var. *crassum* Wittrock 1872.

Cell dimensions A: length – 285.46 µm,
breadth – 34.26 µm,
L/Br – 8,3.

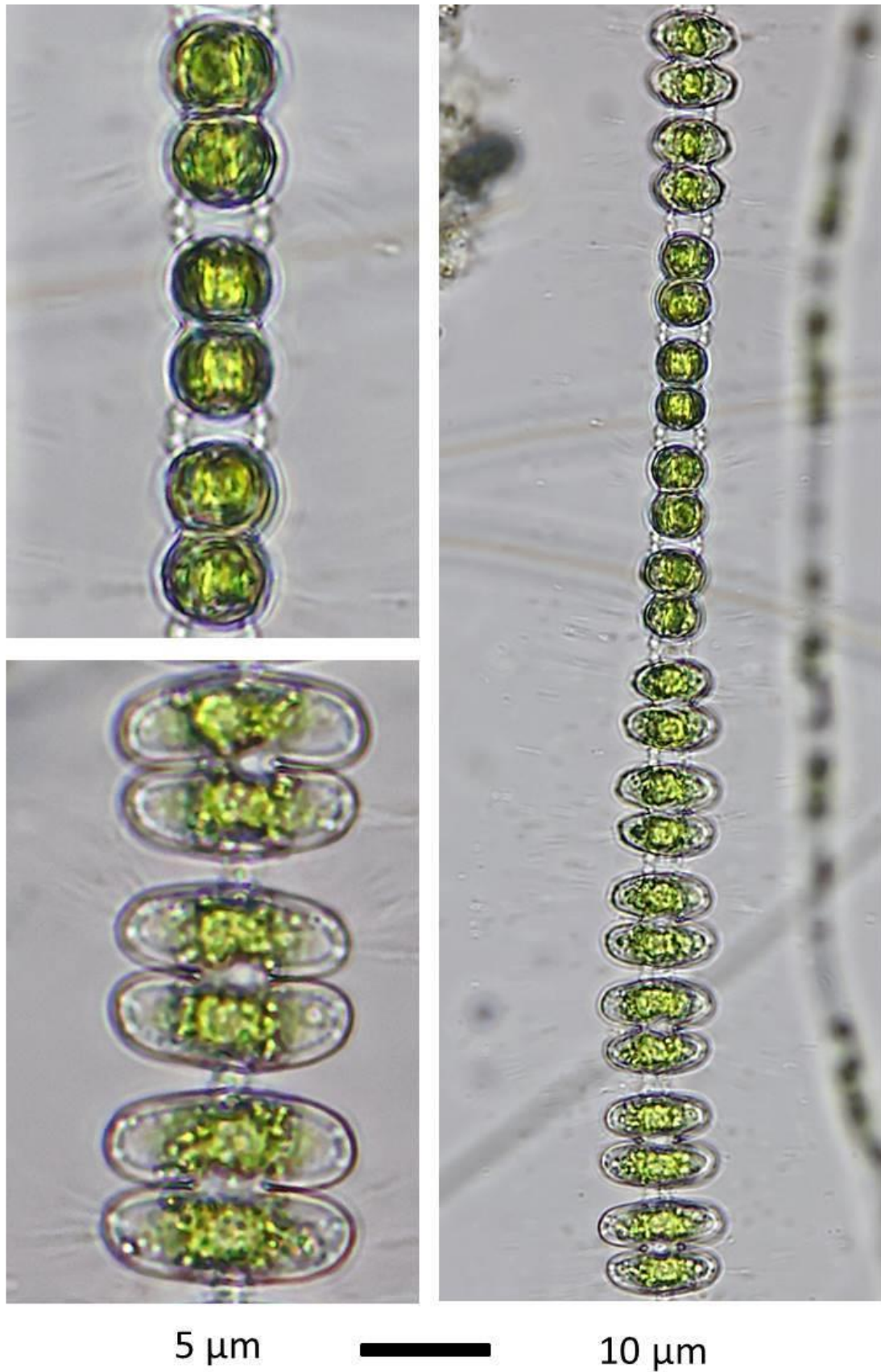


Fig. 33. Photographs of *Sphaerosozoma vertebratum* var. *latius* West & G.S. West 1897.

Cell dimensions: length (without processes) – 7.78 μm,
breadth – 9.83 μm, thickness – 4.13 μm

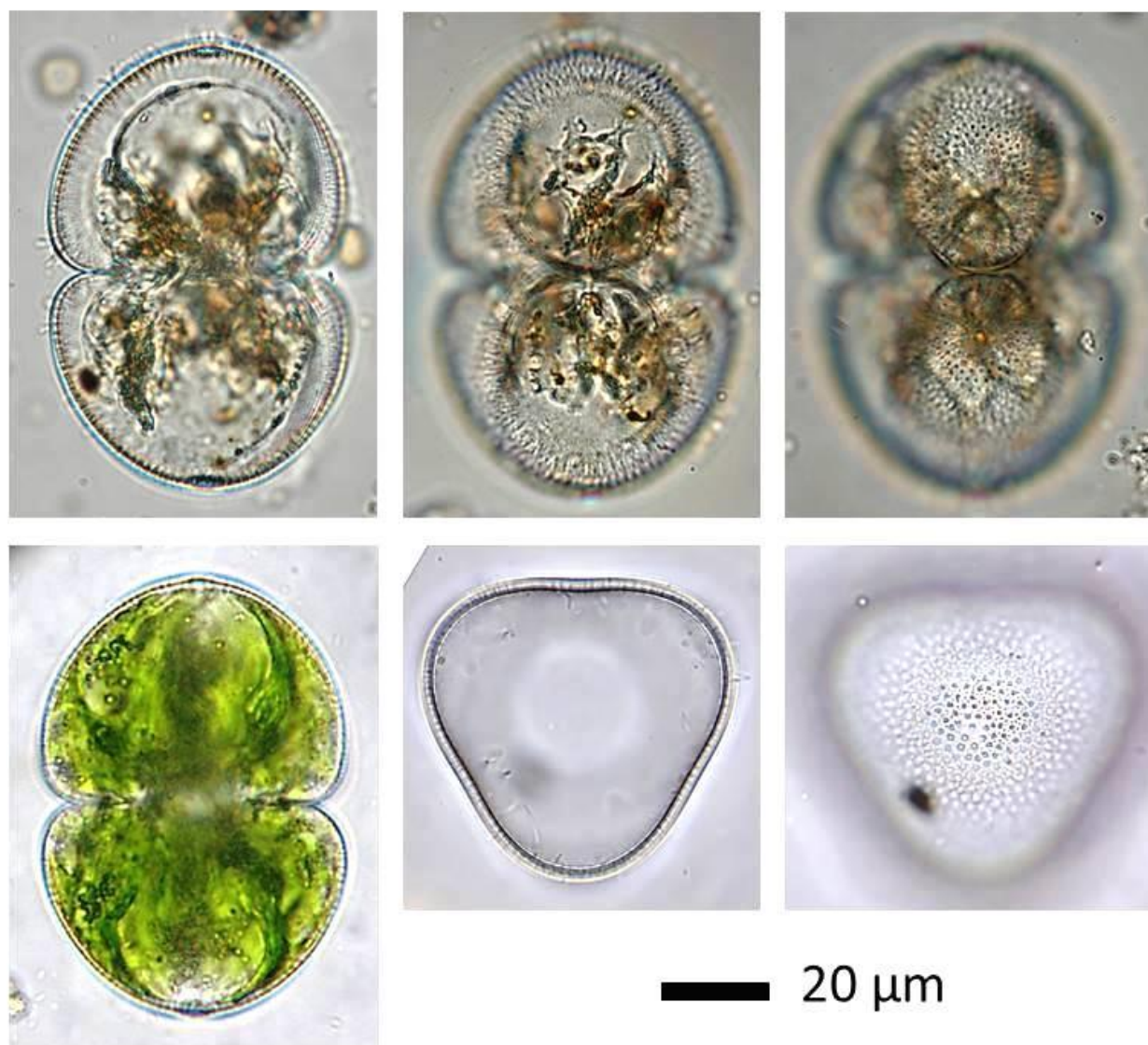


Fig. 34. Photographs of *Staurastrum cosmarioides* Nordstedt 1870.

Cell dimensions: length – 85.80 μm,
breadth – 57.46 μm,
isthmus – 23.69 μm,
thickness – 52.71 × 54.64 μm



Fig. 35. Photographs of *Gonatozygon aculeatum* Hastings 1892.

Cell dimensions A (B): length – 133.37 (76.21) μm ,
 breadth without spines and apices – 7.55 (7.34) μm ,
 breadth with spines – 13.81 – 14.89 μm ,
 apex 1 – 8.42 (9.71) μm ,
 apex 2 – 8.63 (7.34) μm

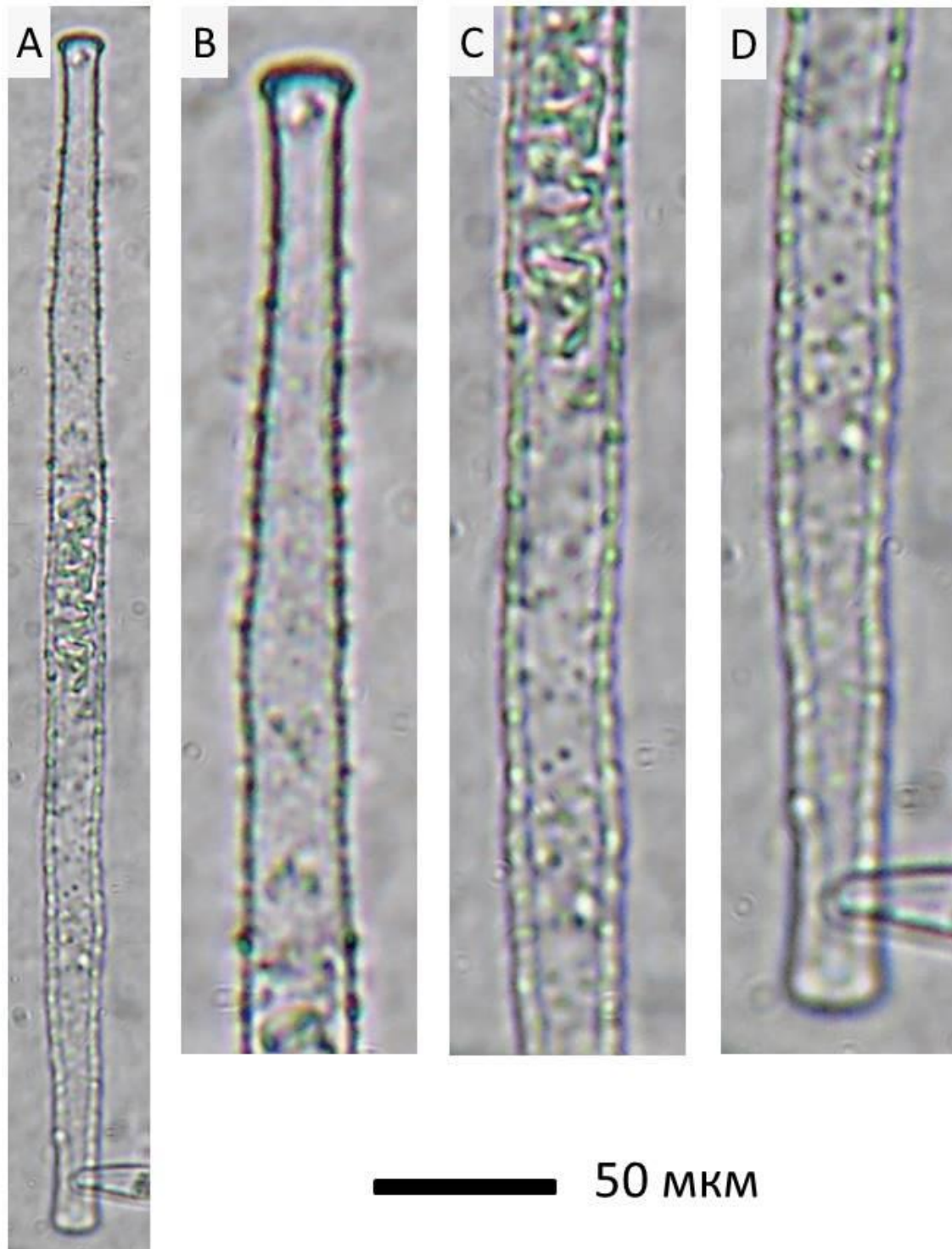


Fig. 36. Photographs of *Gonatozygon brebissonii* De Bary 1858.

Cell dimensions: length – 340.48 μm ,
breadth in the middle – 17.36 μm ,
apex 1 – 13.56 μm , apex 2 – 14.27 μm .
Scale for B, C, D $\times 2$

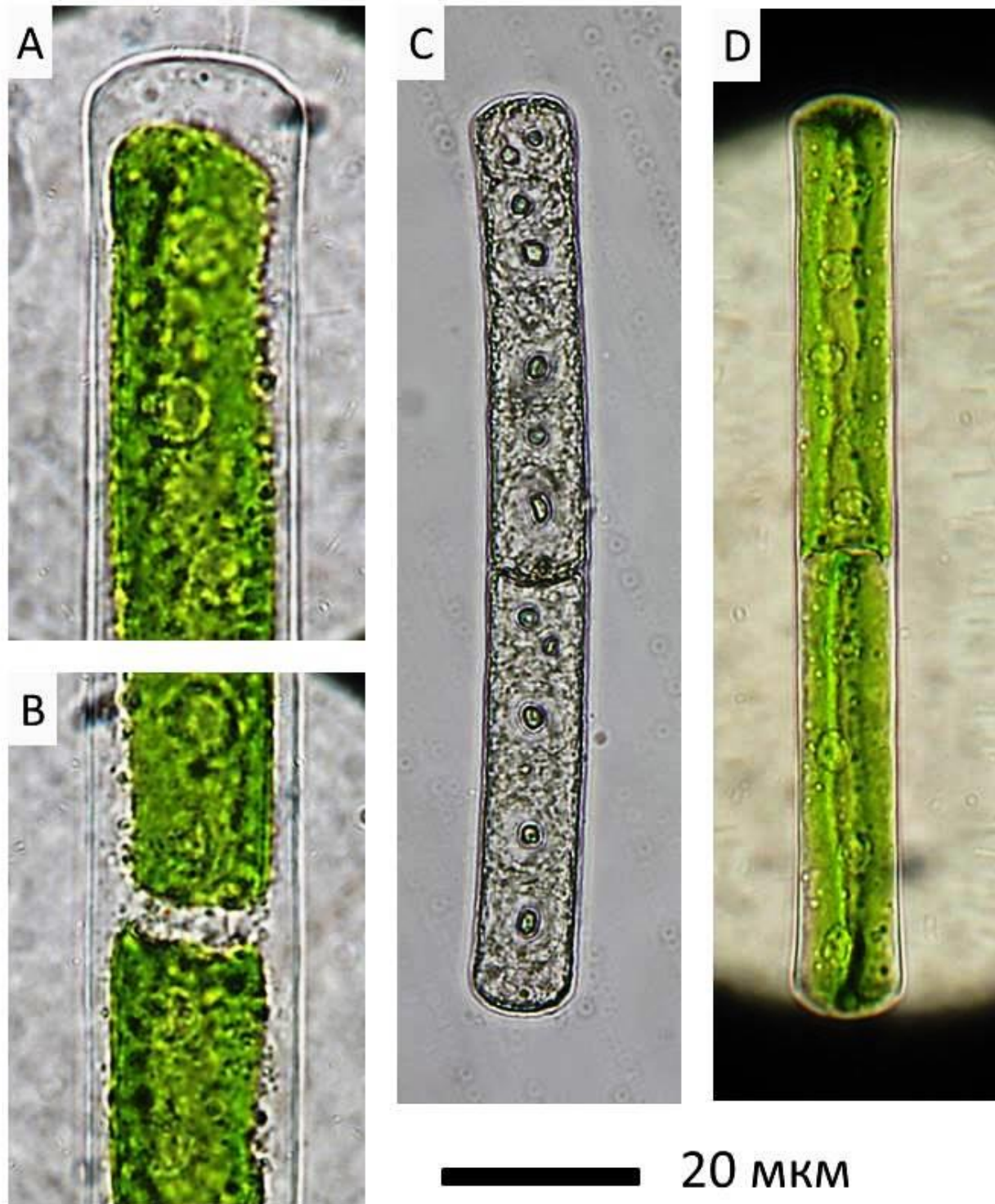


Fig. 37. Photographs of. *Gonatozygon kinahanii* (W.Archer) Rabenhorst 1868.

Cell dimensions: length – 340.48 μm ,
 breadth in the middle – 17.36 μm ,
 apex 1 – 13.56 μm ,
 apex 2 – 14.27 μm .
 Scale for B, C, D $\times 2$

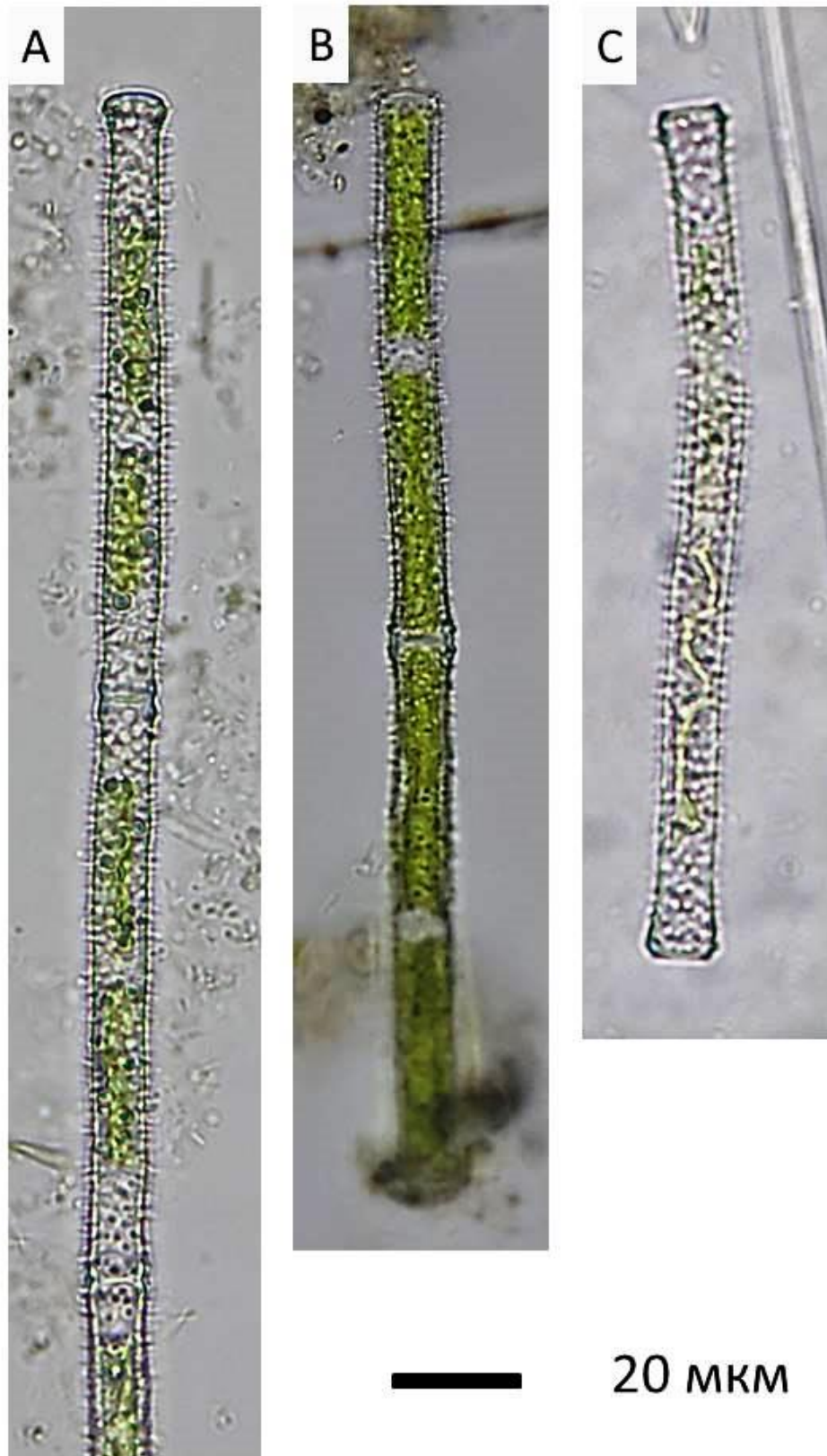


Fig. 38. Photographs of *Gonatozygon monotaenium* var. *pilosellum* Wittrock & Nordstedt 1886.

Cell dimensions B: length – 86.87 μm ,
breadth without spines and apices – 9.42 μm ,
breadth with spines – 11.47 μm ,
apex 1 – 10.79 μm , apex 2 – 10.28 μm

Conclusions

16 new taxa of desmids from Zavodske pond added to the Ukrainian desmidiophora, i.e.: *Actinotaenium americanum* (West & G.S. West) Coesel & Meesters 2023, *Actinotaenium permirutum* (G.S. West) Teiling 1954, *Cosmarium alpestre* J. Roy & Bisset 1893, *Cosmarium gibberulum* Lütke Müller 1910, *Cosmarium phaseolus* var. *notatum* (Nordstedt) Coesel 1991, *Cosmarium ordinatum* (Børgesen) West & G.S. West 1896, *Cosmarium pseudoornatum* B. Eichler & Gutwinski 1894, *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *saxonicum* (Raciborski) Krieger & Gerloff 1965, *Cosmarium simplicius* (W. & G.S. West) Grönblad 1931, *Pleurotaenium trabecula* var. *crassum* Wittrock 1872, *Sphaerosma vertebratum* var. *latius* West & G.S. West 1897, *Staurastrum cosmarioides* Nordstedt 1870, as well as previously published: *Cosmarium tutum* Shyndanovina 2020 (see Shyndanovina, 2020), and *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *sulcatum* (Nordstedt) Coesel 1991, *Pleurotaenium simplicissimum* Grönblad 1920, *Gonatozygon aculeatum* Hastings 1892 (see Shyndanovina & Lukash, 2023).

All newly recorded and some other interesting taxa are illustrated with microphotographs. This publication includes 36 figures with illustrations of 37 taxa. The illustrations of the Ukrainian material of desmids are scarce, and this publication

presents the microphotographs of the Ukrainian populations taken for the first time. This data creates important basis for the morphological comparison and better species delineation in a very variable desmids with their sometimes confusing taxonomy.

Zavodske pond is a water body with extremely rich desmid diversity. A big part of Zavodske desmidiaflora consists of the new for Ukraine, rare and very rare taxa (see Shyndanovina & Lukash, 2023). Therefore, such hotspot of desmids diversity deserves close attention, protection and conservation of this habitat as part of the Ukrainian Polesie ecosystem.

The basics of the science of algae protection (algaesology) in Ukraine were developed by Doctor of Biological Sciences N.V. Kondratyeva (Kondratyeva & Tsarenko, 2008). She emphasized the need to accumulate primary information about the rare species for the purpose of creating algological reserves and conducting monitoring studies within them, as well as creating appropriate search and information systems that include previously accumulated and new information (Kondratyeva & Tsarenko, 2008).

I am planning to prepare the scientific substantiation for protection of Zavodske pond as valuable locality of desmid algae i.e. creation of a hydrological protected object «Algological reserve Desmidian Wealth».

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Coesel, P. F. M., & Meesters, K. J. (2007). *Desmids of the Lowlands Mesotaeniaceae and Desmidaceae of the European Lowlands*. KNNV Publishing.

Guiry, M. D. (2013). Taxonomy and nomenclature of the Conjugatophyceae (=Zygnematophyceae). *Algae. An International Journal of Algal Research*, 28, 1–29.

Kondratueva, N. V., & Tsarenko, P. M. (Eds.) (2008). *Fundamentals of Algosozology*. Akademperiodyka.

Основи альгосозології / под ред. Н.В. Кондратьєва, П.М. Царенко. Київ: «Академперіодика», 2008. 480 с.

Lenzenweger, R. (1999). Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3. – In: Cramer, J. (ed.). *Bibliotheca Phycologica*, 104. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung.

Palamar-Mordvintseva, G. M. (1986). *Conjugates – Conjugatophyceae. Part 2. Desmids – Desmidiales*. In: *Identification manual of the freshwater algae of Ukrainian RSR*. (Issue VIII Part 2). Naukova Dumka. (in Ukrainian).

Паламар-Мордвинцева Г.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР, вип. 8. Кон'югати – *Conjugatophyceae*. Ч. 2. Десмідієві – *Desmidiales* / Відп. ред. М.М. Голлербах. Київ: Наук. думка, 1986. 320 с.

Palamar-Mordvintseva, G. M. (2005). *Flora of algae in continental water bodies of Ukraine. Desmid algae*. Part 2: Desmidiaceae. *Akademperiodica*. (in Ukrainian).

Паламар-Мордвинцева Г.М. Флора водоростей континентальних водойм України: Десмідієві водорості. Вип. 1, ч. 2 Desmidiaceae. Київ: Академперіодика, 2005. 578 с.

Petlovany, O. A., & Tsarenko, P. M. (2015). Desmidiales. In P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, & E. Nevo (Eds.), *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Volume 4: Charophyta*. (pp. 61-448). Ruggell: Koeltz Scientific Books.

Shyndanovina, I. (2020). *Cosmarium tutum nom. nov.* a new name for *Cosmarium perforatum* var. *skujae* (Charophyta, Desmidiaceae), a rare taxon newly found in Ukraine. *Phytotaxa*, 461(4), 243–253. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.461.4.2>

Shyndanovina, I. & Lukash, O. (2023). New European locality of three rare taxa (Zygnematophyceae, Streptophyta): *Cosmarium pseudoprotuberans* var. *sulcatum* (Nordstedt) Coesel, *Gonatozygon aculeatum* W.N. Hastings and *Pleurotaenium simplicissimum* Grönblad. *Ecological Questions*, 34(4), 1-14. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2023.047>

Šťastný, J. (2009). The desmids of the Swamp Nature Reserve and a small neighbouring bog: species composition and ecological condition of both sites. *Fottea*, 9(1), 135-148. <https://doi.org/10.5507/fot.2009.012>.

Received: 11.11.2024. Accepted: 09.12.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Shyndanovina I. *Desmidiales (Zygnematophyceae, Streptophyta)* of the quarry pond Zavodske – a hotspot of desmids diversity in Chernihiv Polesie, Ukraine. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. С. 9-49.

Cite this article in APA style as:

Shyndanovina, I. (2024). *Desmidiales (Zygnematophyceae, Streptophyta)* of the quarry pond Zavodske – a hotspot of desmids diversity in Chernihiv Polesie, Ukraine. *Biota. Human. Technology*, 3, 9-49.

Information about the author:

Shyndanovina I. [in Ukrainian: **Шиндановіна І.**], PhD student., email: i.shyndanovina@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-5683-4894 Scopus-Author ID: 57219437858
 Department of Ecology, Geography and Environmental Management,
 T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine



ENVIRONMENTAL POLLUTION STRESSES AND ORGANISMS' RESPONSE

**СТРЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ
ТА РЕАКЦІЯ ОРГАНІЗМІВ**



UDC 615.9:547.544

DOI: 10.58407/bht.3.24.2



Copyright (c) 2024 Nataliia Tkachuk, Liubov Zelena, Yaroslav Novikov, Veronika Taranenko
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Nataliia Tkachuk, Liubov Zelena, Yaroslav Novikov, Veronika Taranenko

PHYTOTOXICITY OF DIMETHYL SULFOXIDE IN THE GROWTH TEST



Наталія Ткачук, Любов Зелена, Ярослав Новіков, Вероніка Тараненко

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ У РОСТОВОМУ ТЕСТІ

ABSTRACT

Dimethyl sulfoxide (DMSO) is widely used as an industrial solvent and for a variety of medical purposes. Reports of the toxicity of DMSO to living organisms vary. The plants *Lepidium sativum* L. and *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin. are widely used in the biotesting of toxicants. Currently, there is no information on the phytotoxicity of aqueous solutions of DMSO for these test plants, which determined the aim of this study.

Methodology. Phytotoxicity of aqueous DMSO solutions was assessed using a growth test. The following plants were used as test plants: 1) seed radish (*R. raphanistrum* subsp. *sativus*) of the French breakfast variety, 10 seeds of which were placed in a Petri dish on filter paper moistened with distilled water (control) or 0.5 %, 1.0 %, 5.0 %, 10.0 %, 25.0 % or 45.0 % aqueous solution of DMSO (experiment); 2) watercress (*L. sativum*) of the Aphrodite variety, 10 seeds of which were placed in a Petri dish on filter paper moistened with distilled water (control) or a 0.025 %, 0.05 % or 0.1 % aqueous solution DMSO (experiment). The research was carried out in triplicate for 6 days (radish) and 5 days (watercress), during which the energy of seed germination of test plants (%) was determined on the 3rd day, on the 6th day (radish) and on the 5th day (watercress) – seed germination (%) and biometric and morphometric indicators of test plant seedlings (root and aerial part length, mm).

Scientific novelty. In a growth test with *R. raphanistrum* subsp. *sativus* showed extreme phytotoxicity for 5.0-45.0 % aqueous DMSO solutions and no phytotoxicity for 0.025-1.0 % aqueous DMSO solutions in a growth test with *L. sativum* and *R. raphanistrum* subsp. *sativus*.

Conclusions. Aqueous solutions of DMSO in concentrations of 0.025-1.0 % did not show phytotoxic properties according to the growth test with *L. sativum* and *R. raphanistrum* subsp. *sativus*, in contrast to 5.0-45.0 % solutions, which showed extreme phytotoxicity according to the growth test with *R. raphanistrum* subsp. *sativus*. The obtained results indicate that this substance will not inhibit plant growth at concentrations found in wastewater (0.05-0.08 %).

Key words: biotesting, dimethyl sulfoxide, growth test, toxicity, *Lepidium sativum*, *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus*

АНОТАЦІЯ

Диметилсульфоксид (ДМСО) широко використовується як промисловий розчинник і для різноманітних медичних цілей. Повідомлення щодо токсичності ДМСО для живих організмів різняться. У біотестуванні токсикантів широко використовуються рослини *Lepidium sativum* L. та *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin. Наразі відомості щодо фітотоксичності водних розчинів ДМСО за цими тест-рослинами відсутні, що й зумовило мету даної роботи.

Методологія. Оцінку фітотоксичності водних розчинів ДМСО здійснювали за ростовим тестом. Як тест-рослини використано: 1) редьку посівну (*R. raphanistrum* subsp. *sativus*) сорту Французький сніданок, насіння якої у кількості 10 штук розміщували у чашці Петрі на фільтрувальному папері, змоченому дистильованою водою (контроль) або 0,5 %, 1,0 %, 5,0 %, 10,0 %, 25,0 % або 45,0 %-ним водним розчином ДМСО (дослід); 2) крес-салат (*L. sativum*) сорту Афродита, насіння якого у кількості 10 штук розміщували у чашці Петрі на фільтрувальному папері, змоченому дистильованою водою (контроль) або 0,025 %, 0,05 % або 0,1 %-ним водним розчином ДМСО (дослід). Дослідження здійснювали у потрійній повторності 6 днів (редька) та 5 днів (крес-салат), протягом яких на 3-ю добу визначали енергію проростання насіння тест-рослин (%), на 6-у добу (редька) та 5-у добу (крес-

салат) – схожість насіння (%) та біометрико-морфометричні показники проростків тест-рослин (довжину коріння та надземної частини, мм).

Наукова новизна. У ростовому тесті з *R. raphanistrum* subsp. *sativus* показано екстремальну фітотоксичність для 5,0-45,0 %-них водних розчинів ДМСО та відсутність фітотоксичності для 0,025-1,0 %-них водних розчинів ДМСО у ростовому тесті з *L. sativum* та *R. raphanistrum* subsp. *sativus*.

Висновки. Водні розчини ДМСО у концентраціях 0,025-1,0 % не проявили фітотоксичних властивостей за ростовим тестом з *L. sativum* та *R. raphanistrum* subsp. *sativus* на відміну від 5,0-45,0 %-них розчинів, які проявили екстремальну фітотоксичність за ростовим тестом з *R. raphanistrum* subsp. *sativus*. Отримані результати вказують, що дана речовина не гальмуватиме ріст рослин за концентрацій, виявлених у стічних водах (0,05-0,08 %).

Ключові слова: біотестування, диметилсульфоксид, ростовий тест, токсичність, *Lepidium sativum*, *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus*

Introduction

Dimethyl sulfoxide (DMSO) is widely used as an industrial solvent and for a variety of medical purposes (Hatton et al., 1994; Makashova et al., 2017; Volkova et al., 2019). DMSO is a commercially produced dipolar aprotic solvent. It is also a naturally occurring substance and is apparently part of the complex sulfur cycle on Earth (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.).

DMSO occurs naturally in marine and freshwater environments, soil, rainwater, and the atmosphere, as well as in a variety of beverages and foods (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.; Hatton et al., 1994). DMSO has often been detected in industrial wastewater from processes in the manufacture of semiconductors or liquid crystal displays in concentrations 500–800 mg/L (Zhang et al., 2016).

Reports of the toxicity of DMSO to living organisms vary. There are publications that note the low acute and chronic toxicity of DMSO for animals, plants and aquatic organisms, as well as the absence of carcinogenic properties, which led to its use as a neutral solvent in Ames mutagenicity tests (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.). However, there are publications that note the toxic properties of DMSO (Gallardo-Villagrán et al., 2022), in particular, phytotoxic ones (Erdman and Hsieh, 1969; Zhang et al., 2016). Thus, it was noted that a DMSO concentration of more than 0.1 % is toxic to plant (Erdman and Hsieh, 1969). *Lepidium sativum* L. (Liwarska-Bizukojc and Urbaniak, 2007; Pavel et al., 2013; Galli et al., 2019; Bożym, 2020; Martínez Barroso and Vaverková, 2020; Radlińska et al., 2020; Tkachuk and Okulovych, 2021; Tkachuk et al., 2022) and *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin. plants

(Pidkopaylo and Korzh, 2009; Atamaleki et al., 2021; Araniti et al., 2022; Daniel et al., 2022) are widely used in the biotesting of toxicants. Currently, there is no information on the phytotoxicity of aqueous solutions of DMSO for these test plants, which determined the aim of this work.

Materials and methods

Growth test

Phytotoxicity of aqueous DMSO solutions was assessed using a growth test (Tkachuk et al., 2022). The following plants were used as test plants: 1) seed radish (*R. raphanistrum* subsp. *sativus*) of the French breakfast variety, 10 seeds of which were placed in a Petri dish on filter paper moistened with distilled water (control) or 0.5 %, 1 %, 5 %, 10 %, 25 % or 45 % aqueous solution of DMSO (experiment); 2) watercress (*L. sativum*) of the Aphrodite variety, 10 seeds of which were placed in a Petri dish on filter paper moistened with distilled water (control) or 0.025 %, 0.05 % or 0.1 % aqueous solution DMSO (experiment). The research was carried out in triplicate for 6 days (radish) and 5 days (watercress), during which the energy of seed germination of test plants (%) was determined on the 3rd day, on the 6th day (radish) and on the 5th day (watercress) – seed germination (%) and biometric and morphometric indicators of test plant seedlings (root and aerial part length, mm).

Phytotoxic indices

Phytotoxic indexes were calculated – seed germination index (SGI) and root length index (RLI) according to previously given formulas (Bagur-González et al., 2011; Tkachuk and Zelena, 2022).

A toxicity scale was used (Bagur-González et al., 2011):

- 0.25 ≤ SGI or RLI < 0 – slight toxicity;
- 0.5 ≤ SGI or RLI < -0.25 – moderate toxicity;
- 0.75 ≤ SGI or RLI < -0.5 – high toxicity;
- 1 ≤ SGI or RLI < -0.75 – extreme toxicity.

Statistical processing of results

When processing the research results, statistical data processing methods were used. The arithmetic mean, the error of the arithmetic

mean, the reliability of the differences of the arithmetic means were determined as described (Tkachuk and Zelena, 2023).

Results and Discussion

Phytotest with *R. raphanistrum* subsp. *sativus*

The results of the study of phytotoxicity of 0.5-45.0 % aqueous solutions of DMSO according to the growth test with *R. raphanistrum* subsp. *sativus* is presented in Fig. 1-5.

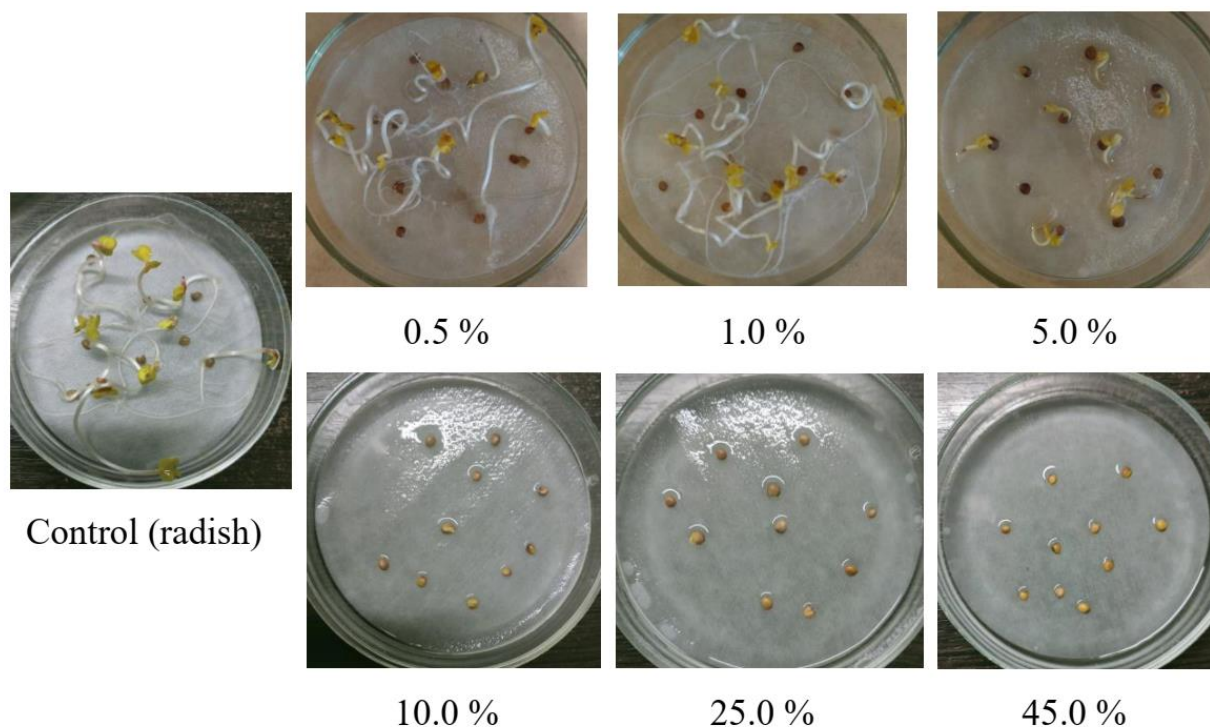


Fig. 1. Radish seedlings (6th day) growing on the tested DMSO solutions

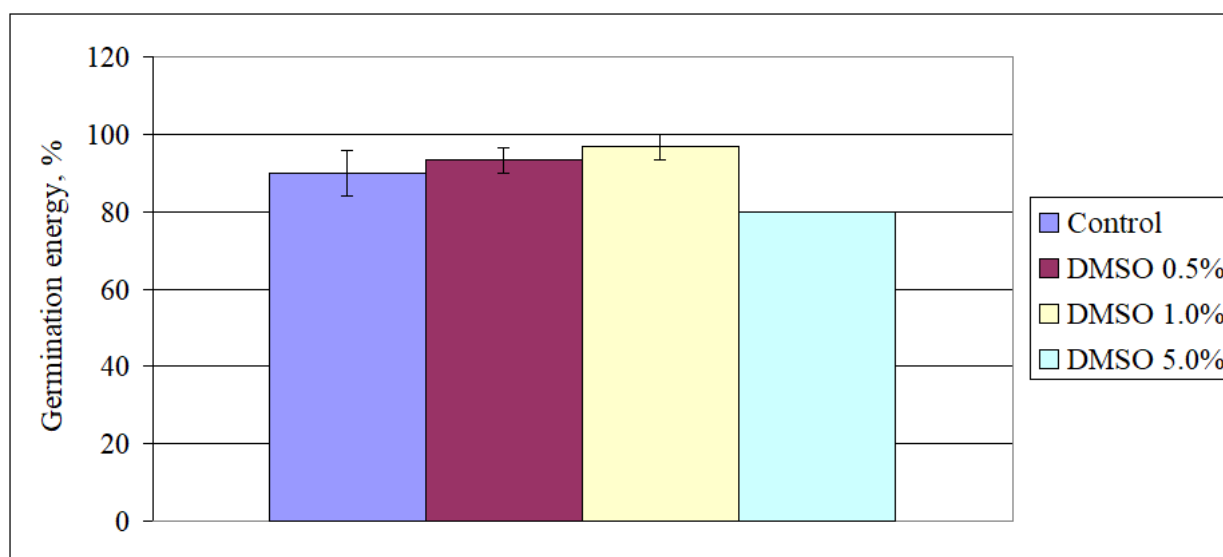


Fig. 2. Germination energy of radish seeds under the influence of different concentrations of DMSO

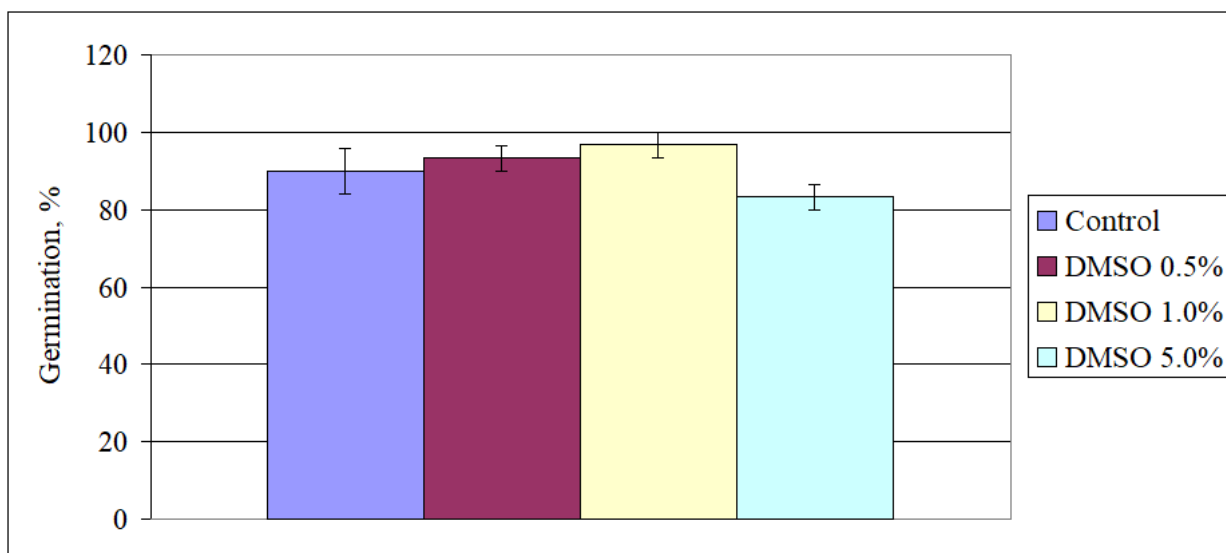


Fig. 3. Germination of radish seeds under the influence of different concentrations of DMSO

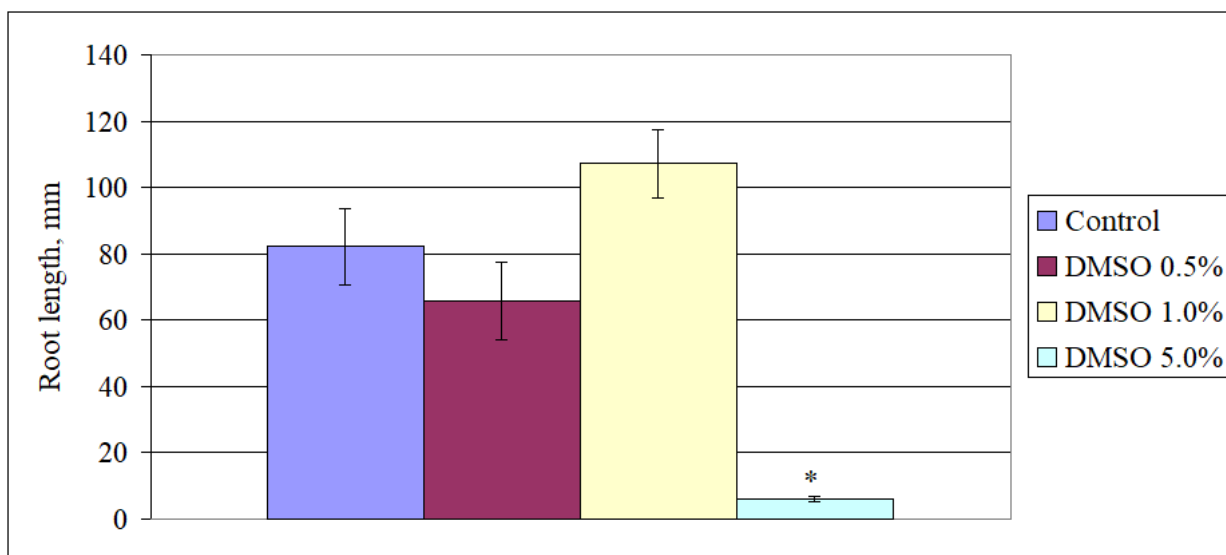


Fig. 4. Root length of radish seedlings under the influence of different concentrations of DMSO
 Note: * – the difference is statistically significant compared to the control ($p \leq 0.05$)

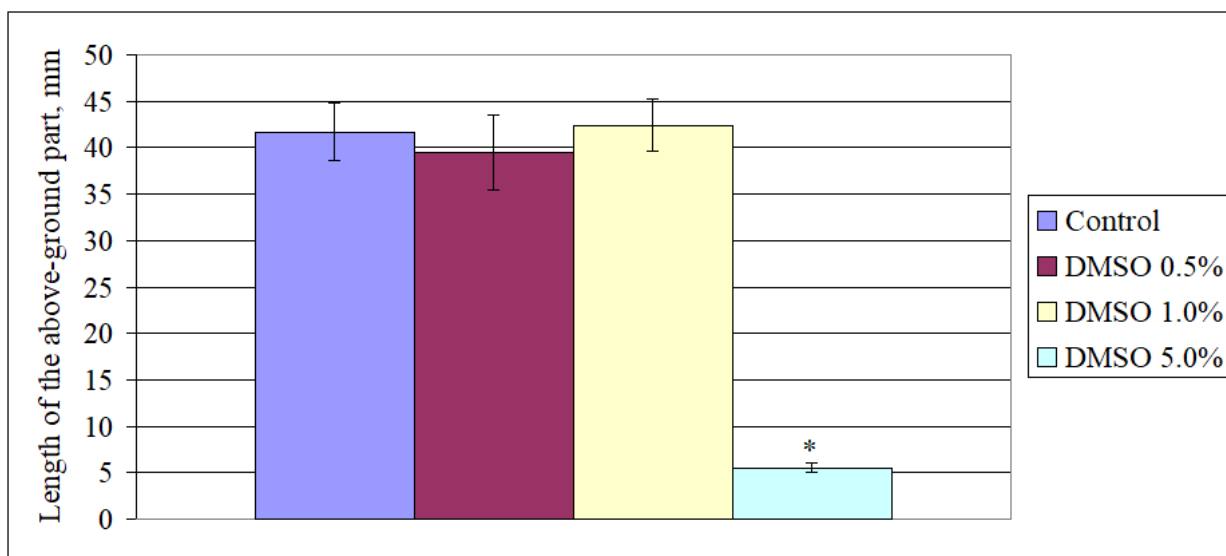


Fig. 5. The length of the above-ground part of radish seedlings under the influence of different concentrations of DMSO
 Note: * – the difference is statistically significant compared to the control ($p \leq 0.05$)

It was established that under the influence of DMSO at 0.5 %, 1.0 %, and 5.0 % concentration, germination energy and seed germination were at the same level as the control, no statistically significant difference in these indicators was noted (Fig. 2-3). The length of the roots and the aerial part of the radish seedlings under the influence of 0.5 % and 1.0 % DMSO solutions were at the same level as the control, no statistically significant difference was noted (Fig. 4-5). However, the 5.0 % DMSO solution significantly reduced the length of the roots and the above-ground part of radish seedlings compared to the control – by 14 times and 8 times, respectively (Fig. 4-5). The calculated phytotoxic indices were: SGI -0.1; RLI -0.9. According to the phytotoxic root length index (RLI), a 5.0 % solution of DMSO is extremely toxic.

Also, extremely toxic according to the growth test with *R. raphanistrum* subsp. *sativus* were DMSO solutions with concentrations of 10.0 %, 25.0 % and 45.0 % (Fig. 1). Thus, under the influence of a 45.0 % aqueous solution of DMSO, the seeds of the test plant did not germinate. At a 25.0 % concentration of DMSO, the energy of seed germination was 3.3 %, seed germination was 10.0 %, and the root length of seedlings was 1 mm (110 times less than in the

control). At a concentration of 10.0 %, DMSO also affected all tested radish functions: germination energy and seed germination were 10.0 %, root length was 1.3 mm (85 times less than in the control). It was noted that under the action of 10.0-45.0 % concentrations of DMSO solutions, the aerial part of radish seedlings did not develop. Our results confirm the previously obtained results of complete inhibition of seed germination of kidney beans, peas, barley and rye under the influence of DMSO concentrations 10.0 % or more, and an insignificant effect of 5 % concentrations or less (Erdman and Hsieh, 1969).

Phytotest with L. sativum

Since high concentrations of DMSO were found to be extremely toxic and considering that the concentration of DMSO in wastewater is from 0.05 % to 0.08 % (Zhang et al., 2016), the phytotoxicity of 0.025-0.1 % aqueous solutions of DMSO was investigated by growth test with *L. sativum*. *L. sativum* was chosen as the test plant because it is used for the bioassay of a large number of toxicants. The results of the study of phytotoxicity of 0.025-0.1 % aqueous solutions of DMSO according to the growth test with *L. sativum* are presented in Fig. 6-10.

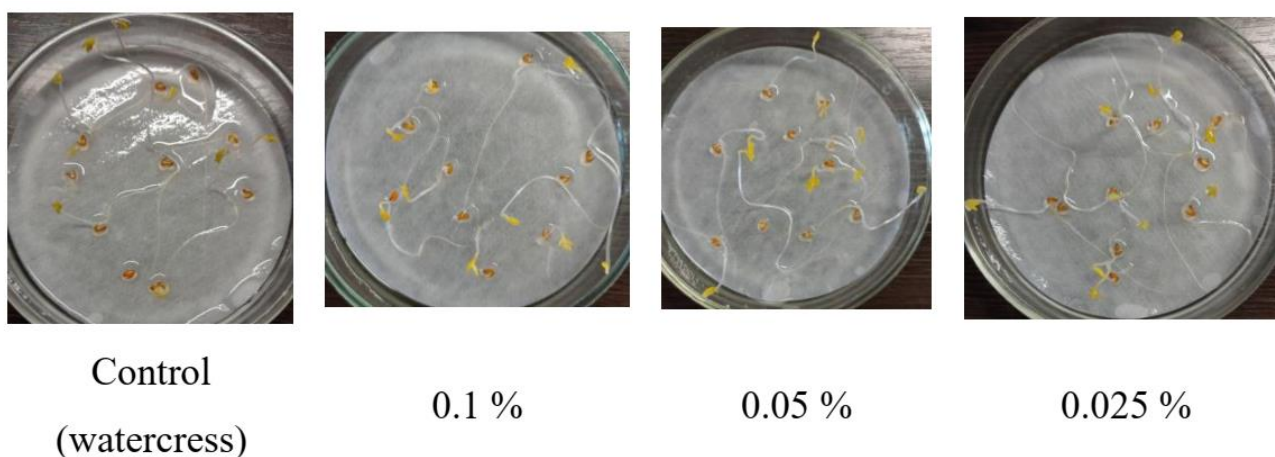


Fig. 6. Watercress seedlings (5th day) growing on the tested DMSO solutions

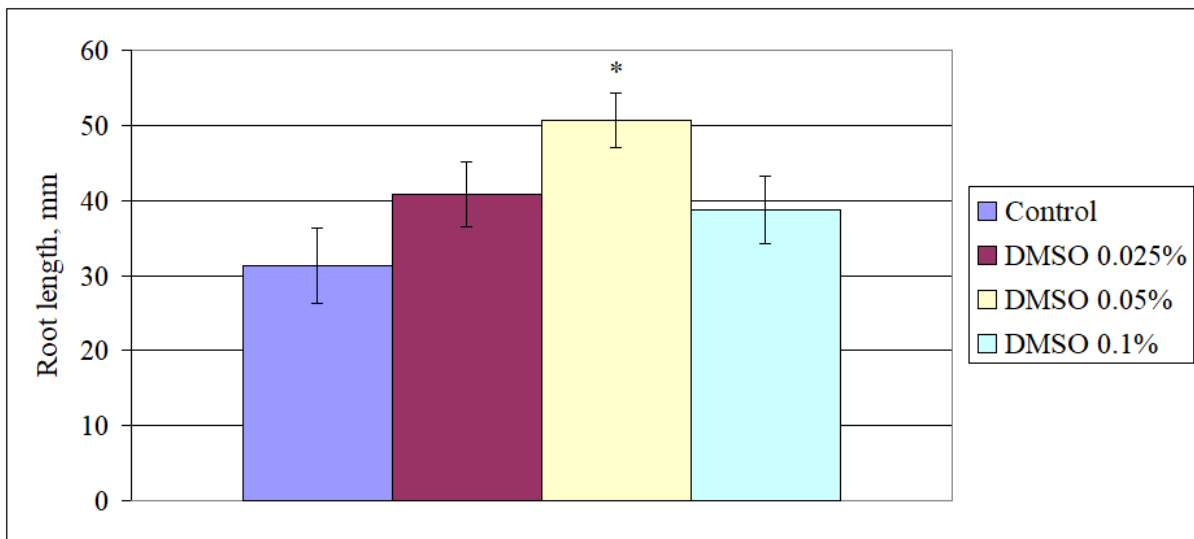


Fig. 7. Root length of watercress seedlings under the influence of different concentrations of DMSO

Note: * – the difference is statistically significant compared to the control ($p \leq 0.05$)

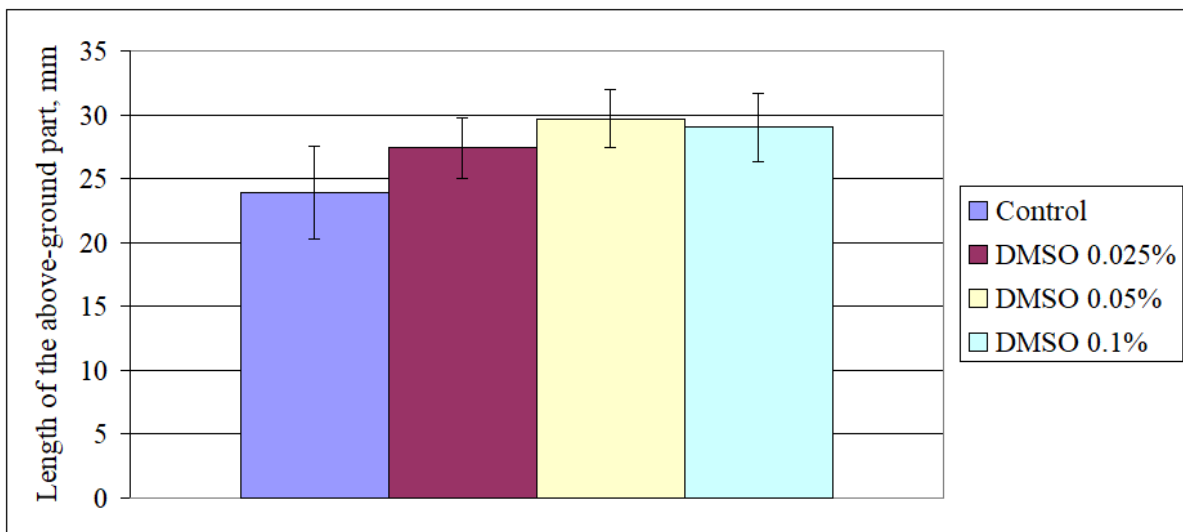


Fig. 8. The length of the above-ground part of watercress seedlings under the influence of different concentrations of DMSO

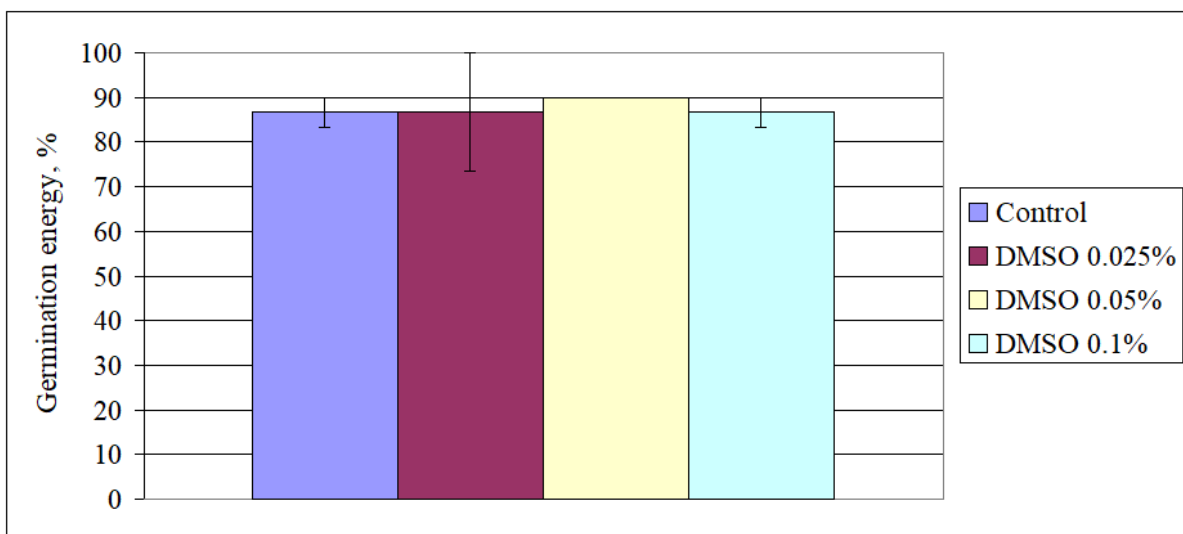


Fig. 9. Germination energy of watercress seeds under the influence of different concentrations of DMSO

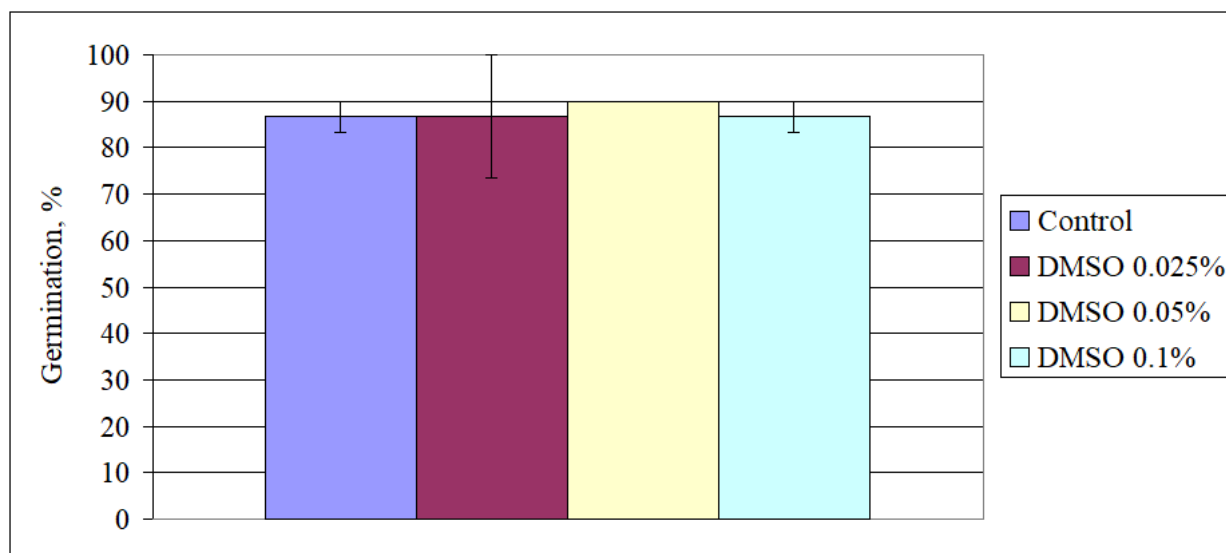


Fig. 10. Germination of watercress seeds under the influence of different concentrations of DMSO

It was established that the changes in indicators of the studied test functions of watercress under the influence of 0.025-0.1 % aqueous solutions of DMSO are statistically insignificant and are within the control limits (Fig. 6-10), except for the root length under the

influence of a 0.05 % DMSO solution (Fig. 7). In the latter case, a significant increase in the indicator (by 1.6 times) was recorded compared to the control (Fig. 7).

The calculated phytotoxic indices are shown in Table 1.

Table 1

Phytotoxic indices of the effect of aqueous solutions of DMSO on watercress

Research option	SGI	RLI	Interpretation of the results of phytotest	Comments
Control (distilled water)	0.00	0.00	No toxicity	No inhibition of growth
DMSO 0.025 %	0.00	0.30	No toxicity	No inhibition of growth
DMSO 0.05 %	0.04	0.62	No toxicity	No inhibition of growth
DMSO 0.1 %	0.00	0.24	No toxicity	No inhibition of growth

Note: SGI – seed germination index; RLI – root length index

The obtained results indicate the absence of phytotoxic properties of DMSO aqueous solutions at concentrations of 0.025-0.1 % for watercress.

In general, reports on the toxicity of DMSO to living organisms vary. Thus, it is noted that DMSO has low acute and chronic toxicity for animals, plants and aquatic organisms, without carcinogenic properties (it is used as a neutral solvent in the Ames tests for mutagenicity) (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.). It does not show teratogenic properties in mice, rats or rabbits (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.). Because of this, DMSO is used as a solvent or co-solvent in pesticides that are applied to

the emergence of crops or to the formation of edible parts of food plants (Gaylord Chemical Company, L.L.C., n.d.). There are also reports that the use of clay minerals and silica with additives of DMSO and plant extracts in the complex treatment of patients with hemophilia reduces the level of endointoxication and increases the procoagulant activity of blood, and in general – accelerates the recovery of the patient's body after a hemorrhagic complication (Kovzun et al., 2008).

However, there are bioassay results with various test organisms that indicate the toxicity of DMSO. Thus, in a study of the effect of DMSO on human fibroblast-like synoviocytes in

rheumatoid arthritis, which included five different samples collected from the joints (fingers, hands and pelvis) of five women with rheumatoid arthritis, induction of caspase-3 and PARP-1 cleavage was shown (two phenomena related to the mechanism of cell death) at high concentrations (>5 %) of DMSO (Gallardo-Villagrán et al., 2022). Even at a 0.5 % concentration of DMSO, analyzes of the antiproliferative test demonstrated strong toxicity after 24 hours of exposure (\approx 25 % cell death). Therefore, to ensure a minimal effect of DMSO on human fibroblast-like synoviocytes in rheumatoid arthritis, the concentration of DMSO to be considered safe must be less than 0.05 % (Gallardo-Villagrán et al., 2022).

Exposure to DMSO (0.56-13.54 mM) caused phytotoxicity for biomass growth and root viability of rice seedlings (Zhang et al., 2016). DMSO induced oxidative stress in rice seedlings, leading to H₂O₂ accumulation in roots.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Araniti, F., Prinsi, B., & Espen, L. (2022). The delay of *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) domin seed germination induced by coumarin is mediated by a lower ability to sustain the energetic metabolism. *Plants*, 11(7), 843.
- Atamaleki, A., Yazdanbakhsh, A., Fakhri, Y., Salem, A., Ghorbanian, M., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). A systematic review and meta-analysis to investigate the correlation vegetable irrigation with wastewater and concentration of potentially toxic elements (PTES): a Case study of spinach (*Spinacia oleracea*) and radish (*Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus*). *Biological trace element research*, 199, 792-799.
- Bagur-González, M. G., Estepa-Molina, C., Martín-Peinado, F., & Morales-Ruano, S. (2011). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments*, 11, 281-289.
- Bożym, M. (2020). Assessment of phytotoxicity of leachates from landfilled waste and dust from foundry. *Ecotoxicology*, 29, 429-443.
- Daniel, D., Dias de Alkimin, G., & Nunes, B. (2022). Plant seeds and their use as test organisms for the assessment of toxicity of a model xenobiotic. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(2), 13.

Erdman, H. E., & Hsieh, J. J. S. (1969). Dimethylsulfoxide (DMSO) Effects on Four Economically Important Crops. *Agronomy Journal*, 61(4), 528-530. <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100040014x>

Gallardo-Villagrán, M., Paulus, L., Leger, D.Y., Therrien, B., & Liagre, B. (2022). Dimethyl Sulfoxide: A Bio-Friendly or Bio-Hazard Chemical? The Effect of DMSO in Human Fibroblast-like Synoviocytes. *Molecules*, 27, 4472. <https://doi.org/10.3390/molecule>

Galli E., Muzzini V., Finizio A., Fumagalli P., Grenni P., Caracciolo A., Rauseo J., & Patrolecco L. (2019). Ecotoxicity of foaming agent conditioned soils tested on two terrestrial organisms. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18, 1703-1710.

Gaylord Chemical Company, L.L.C. (n.d.). Dimethyl Sulfoxide Health & Safety Retrieved July 3, 2024, from <https://www.gaylordchemical.com/environmental-health-safety/dms-health-safety/>

Hatton, A. D., Malin, G., McEwan, A. G., & Liss, P. S. (1994). Determination of dimethyl sulfoxide in aqueous solution by an enzyme-linked method. *Analytical Chemistry*, 66(22), 4093-4096.

Kovzun, I. G., Panko, A. V., Yatskiv, E. V., Nikipelova, O. M., Hrytsenko, V. F., Averyanov, E. V., Burnaeva, S. V., & Semenyaka, V. I. (2008). The use of nanoscale systems of clay minerals in the complex treatment of patients with hemophilia «A». *Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies: Collection. of science works*, 6(2), 613-623. RVV IMF. (in Ukrainian)

Ковзун І. Г., Панько А. В., Яцьків Є. В., Нікіпелова О. М., Гриценко В. Ф., Авер'янов Є. В., Бурнаєва С. В., Семеняка В. І. Застосування нанорозмірних систем глинистих мінералів у комплексному лікуванні хворих на гемофілію «А». *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: Зб. наук. пр.* Київ: РВВ ІМФ, 2008. Т. 6, № 2. С. 613-623.

Liwerska-Bizukojs, E., & Urbaniak, M. (2007). Evaluation of phytotoxic effect of wastewater contaminated with anionic surfactants. *Biotechnologia*, 1, 203-217.

Makashova, O. E., Zubova, O. L., Zubov, P. M., Migunova, R. K., & Babijchuk, L. O. (2017). Cryopreservation of cord blood hematopoietic progenitor cells in cryoprotective media containing different concentrations of DMSO and antioxidants. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*, (2), 234-238. (in Ukrainian)

Макашова, О. Є., Зубова, О. Л., Зубов, П. М., Мігунова, Р. К., & Бабійчук, Л. О. Кріоконсервування гемопоетичних прогеніторних клітин кордової крові в кріозахисних середовищах, що містять різні концентрації ДМСО та антиоксидантів. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2017. № 2. С. 234-238.

Martínez Barroso, P., & Vaverková, M. D. (2020). Fire effects on soils – a pilot scale study on the soils affected by wildfires in the Czech Republic. *Journal of Ecological Engineering*, 21, 248-256.

Pavel, V. L., Sobariu, D. L., Diaconu, M., Statescu, F., & Gavrilescu, M. (2013). Effects of heavy metals on *Lepidium sativum* germination and growth. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12, 727-733.

Pidkopaylo, S.F., & Korzh, O.P. (2009). Comparative analysis of the sensitivity of various test objects to the action of K₂Cr₂O₇ solutions. *Bulletin of Zaporizhzhya National University. Series: Biological Sciences*, (1), 116-122. (in Ukrainian)

Підкопайло С. Ф., Корж О. П. Порівняльний аналіз чутливості різних тест-об'єктів до дії розчинів K₂Cr₂O₇. *Вісник Запорізького національного університету. Серія: Біологічні науки*. 2009. № 1. С. 116-122.

Radlińska, K., Wróbel, M., Stojanowska, A., & Rybak, J. (2020). Assessment of the «Oława» Smelter (Oława, Southwest Poland) on the Environment with Ecotoxicological Tests. *Journal of Ecological Engineering*, 21, 186-191.

Tkachuk, N., & Okulovych, I. (2021). Toxicity of aqueous solutions of cosmetics in phytotest with *Lepidium sativum* L. *Agrobiodiversity for Improving, Nutrition, Health and Life Quality*, 5(2), 348-354.

Tkachuk, N., Zelena, L., & Fedun, O. (2022). Phytotoxicity of the aqueous solutions of some synthetic surfactant-containing dishwashing liquids with and without phosphates. *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, 21(6), 965-970. <https://doi.org/10.30638/eemj.2022.087>.

Tkachuk, N., & Zelena, L. (2022). An onion (*Allium cepa L.*) as a test plant. *Biota. Human. Technology*, (3), 50-59. <https://doi.org/10.58407/bht.3.22.5>.

Tkachuk, N., & Zelena, L. (2023). Toxicity of some household products according to phytotesting with *Lepidium sativum L.* *Biota. Human. Technology*, (2), 99-107. <https://doi.org/10.58407/bht.2.23.7> (in Ukrainian)

Ткачук Н., Зелена Л. Токсичність деяких побутових засобів за фітотестуванням з *Lepidium sativum L.* *Biota, Human, Technology*, 2023. №2. С. 99-107. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.2.23.7>

Volkova, N., Yukhta, M., Chernyschenko, L., Stepaniuk, L., Sokil, L., & Goltsev, A. (2019). The effectiveness of biopolymers application for cryopreservation of the fragments of convoluted seminiferous tubules of prepubertal rat's testis. *Cell and Organ Transplantation*, 7(1), 12-17. <https://doi.org/10.22494/cot.v7i1.92>

Zhang, X. H., Yu, X. Z., & Yue, D. M. (2016). Phytotoxicity of dimethyl sulfoxide (DMSO) to rice seedlings. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 13, 607-614. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0899-6>

Received: 07.10.2024. Accepted: 13.11.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Tkachuk N., Zelena L., Novikov Ya., Taranenko V. Phytotoxicity of dimethyl sulfoxide in the growth test. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. P.51-60.

Cite this article in APA style as:

Tkachuk, N., Zelena, L., Novikov, Ya., & Taranenko, V. (2024). Phytotoxicity of dimethyl sulfoxide in the growth test. *Biota. Human. Technology*, 3, 51-60.

Information about the authors:

Tkachuk N. [in Ukrainian: **Ткачук Н.**]¹, Cand. Sc. (Biol.), Assoc. Prof., email: natalia.smykun@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5115-7716 Scopus-Author ID: 7801574248 ResearcherID: AAB-4448-2020
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Zelena L. [in Ukrainian: **Зелена Л.**]², Cand. Sc. (Biol.), Senior Researcher, email: zelenalyubov@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5148-1030 Scopus-Author ID: 6506970298 ResearcherID: H-7309-2013
Danylo Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, NAS of Ukraine,
154 Akademika Zabolotnoho Street, Kyiv, 03680, Ukraine

Novikov Ya. [in Ukrainian: **Новіков Я.**]³, Ph.D. student, email: silverghost@consultant.com
ORCID: 0009-0004-1576-6444
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Taranenko V. [in Ukrainian: **Тараненко В.**]⁴, Student, email: taranenkoveronika831@gmail.com
ORCID: 0009-0006-8874-2755
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Manuscript preparation.

³ Data collection, statistical analysis.

⁴ Data collection, statistical analysis.

UDC 582.28:504.5

DOI: 10.58407/bht.3.24.3



Copyright (c) 2024 Dariia Liubchikova, Pavlo Nahorni, Valentyn Dedovych, Yurii Diatlov, Oleksandr Tretiak
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Дарія Любчикова, Павло Нагорний, Валентин Дедович,
Юрій Дятлов, Олександр Третяк

МУТАГЕННИЙ ВПЛИВ НАНОЧАСТИНОК НІКЕЛЮ, СИЛІЦІЮ, ТИТАНУ НА ОНТОГЕНЕЗ *DROSOPHILA MELANOGASTER*



Dariia Liubchikova, Pavlo Nahorni, Valentyn Dedovych,
Yurii Diatlov, Oleksandr Tretiak

MUTAGENIC INFLUENCE OF NANOPARTICLES OF NICKEL, SILICON, TITANIUM ON ONTOGENESIS *DROSOPHILA MELANOGASTER*

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження мутагенного впливу різних концентрацій наночастинок титану, нікелю та силіцію на онтогенез *Drosophila melanogaster* (*D. melanogaster*) ліній *Canton S* і *Ebony*.

Методологія. Дослідження проводилося шляхом приготування поживного середовища для *D. Melanogaster* з додаванням наночастинок титану, силіцію, нікелю; схрещенням у даному середовищі експериментальної вибірки комах чистих ліній *Ebony* і *Canton S*, та подальшим обліком змін фенотипу в особин першого та другого покоління. Приготування поживного середовища здійснювалося за методикою Yaschenko et al (2023). Для обробки кількісних даних обліку фенотипових проявів мутацій використано методи описової статистики, непараметричний U-критерій Манна-Уїтні, методи графічної візуалізації даних.

Наукова новизна. Вперше схарактеризовано мутагенну активність наночастинок титану, нікелю, силіцію у концентраціях 0,1 мг/см³ і 0,01 мг/см³ на прикладі індукованих мутацій у експериментальній вибірці особин *D. melanogaster* чистих ліній *Canton S* і *Ebony*, та їх нащадків першого і другого покоління.

Висновки. Виявлено, що наночастинок титану призводять до виникнення мутацій як у концентрації 0,1 мг/см³ (14,8 % мутантних особин у першому поколінні та 19,8 % у другому поколінні), так і в концентрації 0,01 мг/см³ (4,3 % у першому поколінні та 3,7 % у другому). Водночас наночастинок силіцію і нікелю демонструють мутагенну активність лише за більших концентрацій (0,1 мг/см³). Серед піддослідних особин, які розвивалися у середовищі з концентраціями 0,01 мг/см³ наночастинок нікелю і силіцію, фенотипових ознак мутацій не виявлено. Проаналізовано також певні відмінності мутагенезу у вибірках особин ліній *Ebony* та *Canton S*, які пов'язані з впливом досліджуваних речовин на клітинні системи репарації *D. melanogaster*. За підсумками дослідження обґрунтовано практичну недоцільність використання наночастинок титану у фармакологічних цілях, а також необхідність подальшого ґрунтовного дослідження можливості медичного та фармакологічного застосування наночастинок силіцію та нікелю.

Ключові слова: наночастинок, нікель, титан, силіцій, мутації, *Drosophila melanogaster*

ABSTRACT

Objective. Research of the mutagenic effect of various concentrations of nanoparticles of titanium, nickel and silicon on the ontogenesis of *Drosophila melanogaster* (*D. melanogaster*) *Canton S* and *Ebony* lines.

Methodology. The study was conducted by preparing a nutrient medium for *D. melanogaster* with the addition of nanoparticles of titanium, silicon, and nickel; crossing in this environment an experimental sample of insects of the pure lines *Ebony* and *Canton S*, and further accounting for phenotype changes in individuals of the first and second generations. Preparation of nutrient medium was carried out according to the method of Yaschenko et al (2023). Methods of descriptive statistics, non-parametric Mann-Whitney U-test, methods of graphic visualization of data were used to process quantitative data of accounting for phenotypic manifestations of mutations.

Scientific novelty. For the first time, the mutagenic activity of nanoparticles of titanium, nickel, and silicon in concentrations of 0.1 mg/cm³ and 0.01 mg/cm³ was characterized on the example of induced mutations in an experimental sample of *D. melanogaster* pure lines *Canton S* and *Ebony*, and their descendants of the first and second generations.

Conclusions. It was found that titanium nanoparticles lead to mutations both at a concentration of 0.1 mg/cm³ (14.8 % of mutant individuals in the first generation and 19.8 % in the second generation) and at a concentration of 0.01 mg/cm³ (4.3 % in the first generation and 3.7 % in the second). At the same time, silicon and nickel nanoparticles demonstrate mutagenic activity only at higher concentrations (0.1 mg/cm³). No phenotypic signs of mutations were detected among the experimental individuals that developed in an environment with concentrations of 0.01 mg/cm³ of nickel and silicon nanoparticles. Certain differences in mutagenesis in the samples of individuals of the *Ebony* and *Canton S* lines, which are related to the influence of the studied substances on cellular repair systems of *D. melanogaster*, were also analyzed. Based on the results of the research, the practical impracticability of using titanium nanoparticles for pharmacological purposes was substantiated, as well as the need for further thorough research into the possibility of medical and pharmacological use of silicon and nickel nanoparticles.

Key words: nanoparticles, nickel, titanium, silicon, mutations, *Drosophila melanogaster*

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку біотехнологій все більшого значення починають відігравати препарати, засновані на специфічній дії наночастинок (Trakhtenberh, 2013). Так, досить успішно з бактерицидною метою використовуються нанок комплекси ZnO (Androshchuk et al., 2017). Інший приклад: наночастинок Cu мають виражену кардіопротекторну дію (Pedan & Tymchenko, 2014). Протигрипозну активність виявляють також наноструктури TiO₂ (Moskalenko et al., 2009). Загалом, сфера застосування наночастинок досить широка, визначається їх природою та відповідними фізико-хімічними властивостями. У науці в якості наночастинок традиційно розглядаються часточки певної речовини, геометричні розміри яких не перевищують 100 нм за кожним з фізичних вимірів. Такі надзвичайно малі розміри часточок речовини надають їм зовсім інших, особливих властивостей. Наночастинок з легкістю проникають скрізь мембрани дихальних шляхів, шлунково-кишкового тракту (Androshchuk et al., 2017). Результати окремих досліджень свідчать, що наночастинок навіть долають плацентарний бар'єр, можуть досягати ядра клітин. Проте можливість контакту наночастинок з генетичним матеріалом клітин обумовлює невизначеність їх мутагенного впливу (Selivon M. et al., 2012; Solodovnyuk et al., 2011). Саме тому можливість використання наночастинок певної речовини для медико-фармакологічних цілей напряму залежить від вираженості їх мутагенної дії.

Певний потенціал фармакологічного використання мають наночастинок нікелю, титану, силіцію. Проте їх мутагенна активність залишається майже недослідженою. Відповідно метою даного дослідження було виявлення інтенсивності мутагенної дії

різних концентрацій відповідних наноструктур. У якості тест-об'єктів обрано чисті лінії *Drosophila melanogaster* (*D. melanogaster*), враховуючи ґрунтовний рівень дослідження геному та можливих мутацій, а також легкість розведення даних комах (Protsenko & Kozeretka, 2006; Protsenko, 2019).

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводилися протягом червня – грудня 2023 року та травня – вересня 2024 року на базі лабораторії генетики кафедри біології Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Для експерименту було взято близько 2100 статевозрілих особин чистих ліній *Ebony* та *Canton S D. melanogaster* з доміантними проявами ознак кольору очей, форми крил, забарвлення тіла. З метою виявлення фенотипових проявів мутагенної дії наночастинок нікелю, силіцію, титану здійснювався аналіз представників поколінь F1 та F2 при схрещуванні в поживному середовищі за умови додавання досліджуваних речовин. Досліджувався мутагенний вплив концентрацій наночастинок 0,01 мг/см³ та 0,1 мг/см³. Для вирізнення мутаційних змін фенотипу від модифікаційних було виокремлено контрольну групу особин *D. melanogaster*, які схрещувалися в середовищі без додавання наночастинок. В якості поживного середовища використано стандартний цукрово-дріжджовий розчин (Yaschenko et al, 2023). Задля схрещування особин у флакон з поживним середовищем розміщувалися 5 самців та 5 незайманих самок та утримувалися в ньому протягом 5 днів, що цілком достатньо для відкладання яєць. Підрахунок фенотипових змін здійснювався на 3 добу після виходу імаго. Для обліку мутацій досліджуваних комах наркотизували (Pedan & Tymchenko, 2014). Отримані дані щодо кількості виявлених

фенотипових змін статистично обробляли за допомогою описових методів статистики та графічних методів представлення даних.

Результати та їх обговорення

Під час проведеного експериментального дослідження було виявлено низку

мутацій в особин першого та другого поколінь. Окремо розглядалися мутації в *D. melanogaster* ліній *Canton S* та *Ebony*. Кількісні дані щодо фенотипових проявів виявлених мутацій у комах лінії *Canton S* представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Виявлені мутації у досліджуваних особин *D. melanogaster* лінії *Canton S* першого та другого поколінь

Речовина, концентрація	Кількість особин в першому поколінні	Кількість мутацій в першому поколінні	Кількість особин в другому поколінні	Кількість мутацій в другому поколінні
Ti, 0,1 мг/см ³	203	32 ♀ і 14 ♂ (2,3,4)*	239	33 ♀ і 18 ♂ (2,3)
Ti, 0,01 мг/см ³	56	3 ♀ (3)	71	3 ♀ (3)
Ni, 0,1 мг/см ³	85	16 ♀ і 12 ♂ (2,4)	136	8 ♀ і 6 ♂ (2,4)
Ni, 0,01 мг/см ³	39	---	68	---
Si, 0,1 мг/см ³	34	5 ♀ і 1 ♂ (1)	64	8 ♀ і 4 ♂ (1)
Si, 0,01 мг/см ³	51	---	84	---
Контроль	77	---	125	---

Примітка: * тут і далі введено наступні позначення виявлених змін фенотипу: 1 – відсутність забарвлення; 2 – надлишкові антени; 3 – редуковані крила; 4 – видовжений хоботок

Отримані кількісні дані свідчать про наявність мутагенної дії досліджуваних наночастинок на онтогенез *D. melanogaster* лінії *Canton S*, причому вираженість та форма прояву мутагенного ефекту залежить від конкретної речовини та її концентрації. За низьких концентрацій певних наночастинок змін фенотипу піддослідних комах не виявлено взагалі. Водночас за концентрації 0,1 мг/см³ мутації виявляються як у першому, так і у другому поколіннях для всіх трьох досліджуваних речовин.

Можемо бачити, що в контрольній групі фенотипових змін не виявлено ані в першому, ані в другому поколіннях. Відповідно можна стверджувати, що дослідне середовище не має інших факторів впливу на фенотип *D. melanogaster*, окрім як наночастинок нікелю, силіцію, титану. Відповідно виявлені зміни фенотипу є проявами мутацій, а не модифікацій.

Найбільш виражену мутагенну активність мають наночастинок титану, які навіть у малих концентраціях призводять до появи певних фенотипових змін в окремих особин досліджуваної вибірки *D. melanogaster* лінії *Canton S*. Водночас за більших концентрацій титану (0,1 мг/см³) мутації виявляються вже у

22,7 % особин першого покоління та у 21,3 % другого покоління. Найбільш поширений фенотиповий прояв мутацій *D. melanogaster* лінії *Canton S*, спричинених дією наночастинок титану – редуковані крила. Проте зустрічаються також такі зміни фенотипу: надлишкові антени, видовжений хоботок.

Мутагенний вплив наночастинок нікелю та силіцію є менш вираженим. При концентрації 0,01 мг/см³ відповідних речовин зміни фенотипу в особин першого та другого поколінь взагалі не виявлені. Проте за наявності концентрації 0,1 мг/см³ частка мутантних особин суттєво зростає: 32,9 % у першому поколінні та 10,3 % у другому (нікель), 17,6 % у першому поколінні та 18,8 % у другому (силіцій). Найпоширеніші зміни фенотипу *D. melanogaster* лінії *Canton S*, викликані мутагенним ефектом нікелю: надлишкові антени, видовжений хоботок. Серед фенотипових змін особин, які зазнавали впливу наночастинок силіцію, виявлено лише відсутність забарвлення.

На рисунку 1 наведено графічне зображення частки мутантних особин серед піддослідних комах лінії *Canton S* першого та другого поколінь.

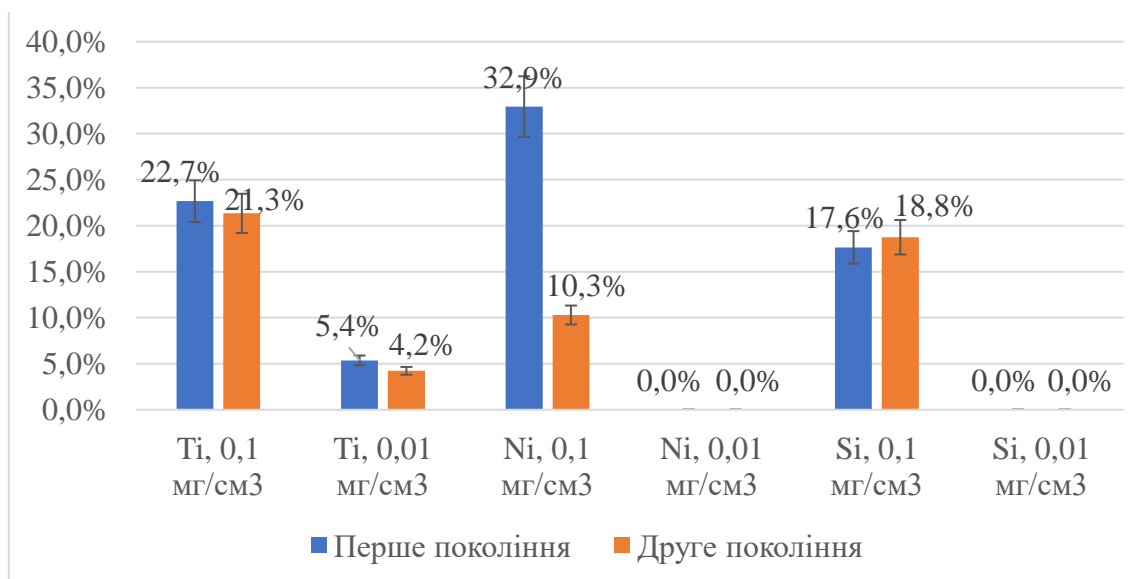


Рис. 1. Відносні показники виявлених мутацій у досліджуваних комах *D. melanogaster* лінії *Canton S* першого та другого покоління

На окрему увагу заслуговує аналіз залежності мутагенного впливу наночастинок титану, нікелю, силіцію на особин *D. melanogaster* лінії *Canton S* залежно від їх статі. Порівняння чисельних показників мутацій у самців та самок дозволяє зробити припущення про їх статистично обґрунтовану нерівнозначність. Дана гіпотеза була статистично підтверджена за допомогою непараметричного U-критерія Манна-Уїтні. Отже, частота фенотипових проявів мутацій у особин чоловічої та жіночої статей не однакова. Водночас можемо спостерігати статистично достовірну меншу частку особин чоловічої статі в першому та другому поколіннях за умови дії досліджуваних наночастинок. Саме тому можна припустити, що мутагенний ефект відповідних наноструктур є більш летальним саме для особин чоловічої статі. Враховуючи особливості генетичного обумовлення статі у комах *D. melanogaster* (стать особини залежить від кількості X-хромосом – Syvolob et al., 2018), цілком ймовірно, що виявлені мутації локалізуються в X-хромосомі та призводять до синтезу дефектних білків. Якщо ж кількість X-хромосом більша ніж 1 (особини жіночої статі), летальний ефект мутацій зменшується внаслідок наявності неушкодженої X-хромосоми.

Схожі кількісні показники фенотипових змін виявлено у піддослідних особин *D. mela-*

nogaster лінії *Ebony*. В таблиці 2 систематизовано відповідні дані для концентрацій 0,1 мг/см³ та 0,01 мг/см³ досліджуваних наночастинок.

Аналізуючи отримані кількісні дані щодо виявлених фенотипових проявів мутацій у комах *D. melanogaster* лінії *Ebony* можемо зробити наступні узагальнення.

Як і у випадку лінії *Canton S*, у контрольній групі не виявлено змін фенотипу ані у першому, ані в другому поколінні. Відповідно саме поживне середовище (без додавання наночастинок) не містить факторів модифікаційної та мутаційної мінливості, а виявлені фенотипові зміни є ознаками мутацій, спричинених додаванням досліджуваних речовин.

Найбільший мутагенний ефект виявляють наночастинок титану, присутність яких у поживному середовищі обумовлює наявність мутацій у першому та другому поколіннях *D. melanogaster* лінії *Ebony* як для менших (0,1 мг/см³), так і для більших концентрацій (0,01 мг/см³). Фенотипові ознаки відповідних мутацій мають схожий вияв як і у випадку змін, зафіксованих при дослідженні комах лінії *Canton S*: редуковані крила (найбільша частка серед виявлених фенотипових проявів мутацій), надлишкові антени, видовжений хоботок.

Таблиця 2

Виявлені мутації у досліджуваних особин *D. melanogaster* лінії *Ebony* першого та другого покоління

Речовина, концентрація	Кількість особин в першому поколінні	Кількість мутацій в першому поколінні	Кількість особин в другому поколінні	Кількість мутацій в другому поколінні
Ti, 0,1 мг/см ³	283	22 ♀ і 4 ♂ (2,3)	124	13 ♀ і 8 ♂ (2,3,4)
Ti, 0,01 мг/см ³	107	4 ♀ (3)	62	2 ♀ (2,3)
Ni, 0,1 мг/см ³	185	6 ♀ і 2 ♂ (2)	136	11 ♀ і 3 ♂ (2)
Ni, 0,01 мг/см ³	59	---	18	---
Si, 0,1 мг/см ³	64	2 ♀ і 1 ♂ (1)	34	6 ♀ і 4 ♂ (1)
Si, 0,01 мг/см ³	61	---	34	---
Контроль	177	---	135	---

Мутагенний вплив наночастинок нікелю та силіцію за малих концентрацій (0,01 мг/см³) на піддослідних особин лінії *Ebony* не виявлений. Водночас за присутності в поживному середовищі відповідних наноструктур у концентрації 0,1 мг/см³ зафіксовано певний відсоток фенотипових ознак мутацій. Так, наявність наночастинок нікелю у концентрації 0,1 мг/см³ призвела до появи 3,7 % мутантних особин у першому поколінні та 3,2 % мутантних особин у другому. Наявність наночастинок силіцію у

концентрації 0,1 мг/см³ призвела до появи 4,7 % мутантних особин у першому поколінні та 15,6 % мутантних особин у другому. Фенотипові прояви мутацій аналогічні як і у досліджуваних особин *D. melanogaster* лінії *Canton S*: надлишкові антени (нікель), відсутність забарвлення (силіцій).

На рисунку 2 наведено графічне зображення частки мутантних особин серед досліджуваних модельних об'єктів лінії *Ebony* першого та другого покоління.

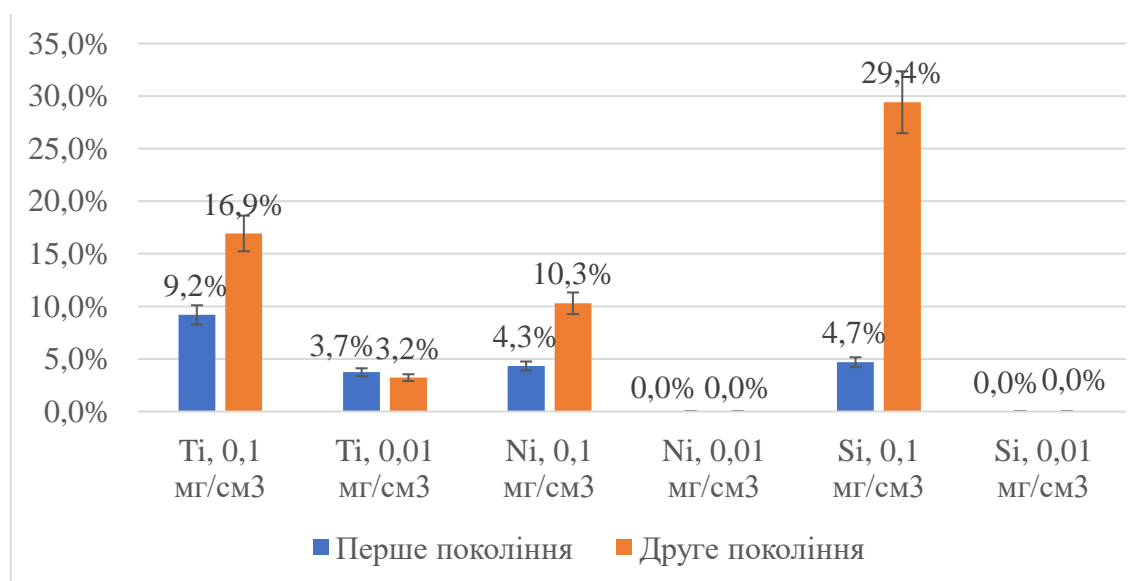


Рис. 2. Відносні показники виявлених мутацій у досліджуваних особин *D. melanogaster* лінії *Ebony* першого та другого покоління

Порівнюючи отримані відносні показники виявлених мутацій у піддослідних комах ліній *Canton S* та *Ebony* першого і другого поколінь можемо помітити переважно менший відсоток мутацій у комах лінії *Ebony*. Використання непараметричного статистичного U-критерія Манна-Уїтні також підтверджує відмінність у кількості мутантних особин в обох досліджуваних лініях. Таким чином, можна припустити, що мутагенний ефект досліджуваних наночастинок меншою мірою виражений на комах лінії *Ebony*. Ґрунтовний порівняльний аналіз генетичних карт *D. melanogaster* ліній *Canton S* та *Ebony* дозволить більш точно локалізувати можливі мутаційні зміни генотипів комах за дії наночастинок нікелю, силіцію, титану. Інше важливе спостереження: у комах лінії *Ebony* частка мутацій у другому поколінні є рівною або більшою для всіх аналізованих концентрацій наночастинок. Відповідно системи репарації особин даної лінії, на відміну від *D. melanogaster* лінії *Canton S*, не індукуються в ході розвитку в поживному середовищі з додаванням досліджуваних наночастинок.

Таким чином, можна зробити висновок, що всі три досліджувані класи наночастинок проявляють тією чи іншою мірою мутагенну активність при додавання у поживне середовище. Водночас такий мутагенний вплив напряму залежить від концентрації відповідної речовини. Так, присутність наночастинок титану як у концентрації 0,01 мг/см³, так і в концентрації 0,1 мг/см³ призводить до виникнення змін фенотипу в обох досліджуваних лініях у першому та другому поколінні. Тому мутагенна активність таких наночастинок є досить значною, а отже перспективи їх фармакологічного застосування вкрай обмежені. Водночас додавання наночастинок силіцію та нікелю в невеликих концентраціях (0,01 мг/см³) не призвело до появи фенотипових проявів мутаціях у жодної особини *D. melanogaster*

ліній *Canton S* та *Ebony*. З іншого боку, вірогідна наявність певного летального ефекту даних наночастинок у згаданих концентраціях у піддослідних комах. Тому можливість та доцільність використання наночастинок силіцію та нікелю у фармакологічних цілях має досліджуватися більш ґрунтовно.

Висновки

За результатами проведеного дослідження виявлено мутагенний вплив наночастинок нікелю, титану і силіцію на експериментальні популяції *D. melanogaster* чистих ліній *Ebony* і *Canton S*. Встановлено, що наночастинок титану проявляють мутагенну активність як у концентрації 0,1 мг/см³ так і в концентрації 0,01 мг/см³. Основні фенотипові прояви зазначених мутацій: надлишкові антени, редуковані крила, видовжений хоботок. Наночастинок нікелю призводять до появи мутацій у формі надлишкових антен і видовженого хоботку в обох піддослідних популяціях лише в концентрації 0,1 мг/см³. Наночастинок силіцію виявляють мутагенну активність, що призводить до відсутності забарвлення в окремих особин обох досліджуваних ліній, так само лише в концентрації 0,1 мг/см³. За концентрацій 0,01 мг/см³ наночастинок нікелю та силіцію змін фенотипу в піддослідних особин ліній *Canton S* і *Ebony* не виявлено. Водночас на підставі статистичного аналізу висунуто гіпотезу про наявність певного летального впливу на особин *D. melanogaster* чоловічої статі всіх трьох розглянутих класів наночастинок у концентраціях 0,1 мг/см³ і 0,01 мг/см³. Таким чином, перспективи використання наночастинок титану в медицині та фармакології вкрай обмежені, а перспективи використання наночастинок нікелю та силіцію потребують подальших ґрунтовних досліджень.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Androshchuk, H. O., Yamchuk, A. V., Berezniak, N. V., Kvasha, T. K., Musina, L. A., & Novitska, H. V. (2017). *Nanotechnology in the 21st century: strategic priorities and market approaches to implementation: monograph*. Kyiv. (in Ukrainian)
Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження : монографія / Г. О. Андрощук та ін. Київ : УкрІНТЕІ, 2017. 275 с.
- Moskalenko, V. F., Lisovyi, V. M., & Chekman, I. S. (2009). Scientific foundations of nanomedicine, nanopharmacology and nanopharmacy. *Scientific Bulletin of Bogomolets NMU*, (2), 17-31. (in Ukrainian)
Наукові основи наномедицини, нанофармакології та нанофармації / В. Ф. Москаленко та ін. *Науковий вісник НМУ ім. О. О. Богомольця*. 2009. № 2. С. 17–31.
- Pedan, L. R., & Tymchenko, O. I. (2014). The influence of external factors on the occurrence of mutations in the *Drosophila* population and their relationship with fertility. *Hygiene of populated places*, (64), 356-367. (in Ukrainian)
Педан Л. Р., Тимченко О. І. Вплив зовнішніх факторів на виникнення мутацій у популяції дрозофіли і їхній зв'язок з плодовитістю. *Гігієна населених місць*. 2014. № 64. С. 356–367.
- Protsenko, O. V. (2009). *Genetic processes in natural populations of *Drosophila Melanogaster* in Ukraine* (author's abstract of the dissertation of the candidate of biological sciences). Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian)
Проценко О. В. Генетичні процеси в природних популяціях *Drosophila Melanogaster* України : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.15. Київ, 2009. 18 с.
- Protsenko, O. V., & Kozeretska, I. A. (2006). Mutational processes in natural populations of *Drosophila melanogaster* in Ukraine. *Collection of scientific works. Factors of experimental evolution of organisms*, 3, 49–53. (in Ukrainian)
Проценко О. В., Козерецька І. А. Мутаційні процеси в природних популяціях *Drosophila melanogaster* України. *Збірник наукових праць. Фактори експериментальної еволюції організмів*. Київ. 2006. Т. 3. С. 49–53.
- Selivon, M., Mekhed, O., & Tretiak, O. (2012). The effect of imidazoazepine derivatives on the biological parameters of *Drosophila melanogaster*. *Chemical and environmental education: state and prospects of development: Collection of materials of the II All-Ukrainian scientific and practical conference*. Vinnytsia: Ukraine. P.179-181 (in Ukrainian)
Селівон М. В., Мехед О. Б., Третяк О. П. Вплив похідних імідазоазепінію на біологічні показники *Drosophila melanogaster*. *Хімічна та екологічна освіта: стан і перспективи розвитку* : Збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції. Вінниця : ФОП Корзун Д.Ю., 2012. С. 179 -181
- Syvolob, A. V., Rushkovskiy, S. R., & Kyriachenko, S. S. (2018). *Genetics: a textbook*. Kyiv. (in Ukrainian)
Сиволоб А. В., Рушковський С. Р., Кир'яченко С. С. Генетика: підручник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2018. 320 с.

Solodovnyk, P., Mekhed, O., & Tretiak, O. (2011). Influence of imidazoazepinium heterocyclic compounds on some biochemical indicators of *Drosophila melanogaster* imago. *Falzfeyn readings*. Collection of scientific papers. Kherson: Ukraine. P. 128-129. (in Ukrainian)

Солодовник П. В., Мехед О. Б., Третьак О. П. Вплив гетероциклічних сполук імідазоазепінію на деякі біохімічні показники імаго *Drosophila melanogaster*. *Фальцфейнівські читання*. Збірник наукових праць. Херсон : ПП Вишемирський, 2011. С. 128 -129.

Trachtenberh, I. M. (2013). Nanoparticles of metals, production methods, fields of application, physicochemical and toxic properties. *Ukraine journal on problems of occupational health*, (4), 62–74. (in Ukrainian)

Трахтенберг І. М. Наночастинки металів, методи отримання, сфери застосування, фізико-хімічні та токсичні властивості. *Укр. журн. з проблем медицини праці*. 2013. № 4 (37). С. 62–74.

Yaschenko, A., Yachna, M., Mekhed, O., & Tretyak, O. (2023). Influence of nanoparticles (Ti, Ni, Si) on indicators of induced mutations of *Drosophila melanogaster*. *Biota. Human. Technology*, (1), 34-40.

Received: 06.11.2024. Accepted: 01.12.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Любчикова Д., Нагорний П., Дедович В., Дятлов Ю., Третьак О. Мутагенний вплив наночастинок нікелю, силіцію, титану на онтогенез *Drosophila melanogaster*. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. С. 61-68.

Cite this article in APA style as:

Liubchykova, D., Nahornyi, P., Dedovych, V., Diatlov, Yu., & Tretiak, O. (2024). Mutagenic influence of nanoparticles of nickel, silicon, titanium on ontogenesis *Drosophila melanogaster*. *Biota. Human. Technology*, 3, 61-68.

Information about the authors:

Liubchykova D. [*in Ukrainian: Любчикова Д.*] ¹, undergraduate student, email: liubchykovadariia@gmail.com

ORCID: 0009-0003-7103-0442

Department of Physics and Astronomy, Т.Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Nahornyi P. [*in Ukrainian: Нагорний П.*] ², Master's student, email: mob8791@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4587-525X

Department of Biology, Т.Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Dedovych V. [*in Ukrainian: Дедович В.*] ³, Cand. Sc. (Pedagogics), Assoc. Prof., email: dedvalcher@ukr.net

ORCID: 0000-0003-1963-1606

Department of Physics and Astronomy, Т.Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Diatlov Yu. [*in Ukrainian: Дятлов Ю.*] ⁴, Cand. Sc. (History), Assoc. Prof., email: dvfilm@ukr.net

ORCID: 0000-0001-5456-2437

Department of Physics and Astronomy, Т.Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tretiak O. [*in Ukrainian: Третьак О.*] ⁵, Cand. Sc. (Biol.), Prof., email: alexandr.tretyak@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8989-1601 Scopus Author ID: 6701474120 ResearcherID: AET-6326-2022

Department of Biology, Т.Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Data collection, statistical analysis.

² Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

³ Manuscript preparation.

⁴ Manuscript preparation.

⁵ Study design.

UDC 597.551.214:582.28-026.86

DOI: 10.58407/bht.3.24.4



Copyright (c) 2024 Lidiia Polotnianko, Olha Mekhed

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Lidiia Polotnianko, Olha Mekhed

**CHANGES IN THE MORPHOLOGICAL INDICATORS
OF CARP UNDER THE ACTION OF MYCOTOXIN T₂**

Лідія Полотнянко, Ольга Мехед

**ЗМІНИ МОРФОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРОПА
ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ T₂****ABSTRACT**

Mycotoxins, toxic substances produced by fungi, are one of the most common contaminants of feed and food products in Ukraine. Favorable climatic conditions and anthropogenic influence contribute to their active development and spread. Contamination with mycotoxins can lead to significant economic losses in the agro-industrial complex and negatively affect the health of animals and people. A complete list and detailed description of poisoning symptoms can be used as indicators to identify poisons as well as non-infectious fish diseases.

The purpose of the work: to investigate the effect of mycotoxin T₂ on the morphological parameters of the carp organism. The object of the study: peculiarities of changes in the morphological indicators of fish under the influence of mycotoxin T₂. The subject of the study: the effect of mycotoxin T₂ on external indicators of organs and tissues of carp.

Methodology. The object of the study were two-year-old carp: scaly and mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) weighing 200-300 g. Experiments to study the effect of mycotoxin were carried out in 200-liter aquariums with settled tap water, in which fish were placed at the rate of 1 specimen per 40 dm³ of water. In all cases, control was carried out and a constant hydrochemical regime of water was maintained. The concentration of mycotoxin corresponding to 2 MPC was achieved by adding calculated amounts of the mycotoxin solution. The zoological (L) and industrial (I) lengths of fish were determined, Fulton's fattening factor (Q). All results were processed statistically.

The scientific novelty of the work is that the complex effect of mycotoxin T₂ and the morphological indicators of mirror carp and scaly carp were studied for the first time.

Conclusions. As a result of the study, a negative effect of mycotoxin T₂ on the morphological parameters of the carp organism was established. Under the influence of T-2 toxin, significant changes in the structure of gills, skin, fins and internal organs were observed in fish. Discoloration of the ends of the petals, the appearance of light spots and numerous hemorrhages were found in the gills, which indicates a violation of oxygen exchange. On the skin of the fish, the formation of whitish mucus was recorded, as well as separate ulcers, which are a sign of dermonecrotic processes. It was also established that mycotoxin T₂ causes disorders of a hemorrhagic nature, manifested in numerous hemorrhages in muscle tissues and organs of the digestive system. A comparative analysis of the effects of the toxin on scaly and mirror carp showed that scaly carp had higher endurance, which may be due to its better growth rates and resistance to adverse conditions. Thus, mycotoxin T₂ poses a significant threat to fish health and can negatively affect aquaculture performance. This study highlights the need to control feed quality and mycotoxin content to prevent intoxication in fish farming.

Key words: scaly carp, morphological indicators, mycotoxin T₂

АНОТАЦІЯ

Мікотоксини, токсичні речовини, що утворюються грибами, є одними з найпоширеніших забруднювачів кормів та продуктів харчування в Україні. Сприятливі кліматичні умови та антропогенний вплив сприяють їхньому активному розвитку та поширенню. Зараження мікотоксинами може призводити до значних економічних втрат в агропромисловому комплексі та негативно впливати на здоров'я тварин і людей. Повний перелік та детальна характеристика симптомів отруєння можуть бути використані як індикатори для визначення отруту, а також незаразних захворювань риб.

Мета роботи: дослідити вплив мікотоксину T₂ на морфологічні показники організму коропа. Об'єкт дослідження: особливості змін морфологічних показників риб за дії мікотоксину T₂. Предмет дослідження: вплив мікотоксину T₂ на зовнішні показники органів та тканин коропа.

Методологія. Об'єктом дослідження були двохлітні коропа: лускатий та дзеркальний (*Cyprinus carpio* L.) масою 200-300 г. Досліди по вивченню впливу мікотоксину проводили у 200-літрових акваріумах з відстояною водопровідною водою, в які рибу розміщували з розрахунку 1 екземпляр на 40дм³ води. В усіх випадках здійснювався контроль та підтримувався постійний гідрохімічний режим води. Концентрацію мікотоксину, що відповідала 2 ГДК досягалася шляхом внесення розрахункових кількостей розчину мікотоксину. Визначали зоологічну (L) та промислово (I) довжини риб, коефіцієнт вгодованості за Фултоном (Q). Усі результати були оброблені статистично.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше вивчено комплексний вплив мікотоксину T2 та морфологічні показники коропа дзеркального та коропа лускатого.

Висновки. У результаті дослідження було встановлено негативний вплив мікотоксину T2 на морфологічні показники організму карпа. Під дією токсину T2 у риб спостерігались суттєві зміни в структурі зябер, шкірних покривів, плавців та внутрішніх органів. У зябрах були виявлені знебарвлення кінців пелюсток, поява світлих плям та численні крововиливи, що вказує на порушення кисневого обміну. На шкірі риб зафіксовано утворення білуватого слизу, а також окремі виразки, що є ознакою дермонекротичних процесів. Також було встановлено, що мікотоксин T2 викликає порушення геморагічного характеру, що проявляється у численних крововиливах у тканинах м'язів та органах травної системи. Порівняльний аналіз впливу токсину на лускатого та дзеркального карпа показав, що лускатий карп має вищу витривалість, що може бути пов'язано з його кращими темпами росту та стійкістю до несприятливих умов. Таким чином, мікотоксин T2 становить значну загрозу для здоров'я риб та може негативно впливати на показники аквакультури. Це дослідження підкреслює необхідність контролю за якістю кормів та вмістом мікотоксинів для попередження інтоксикації в рибному господарстві.

Ключові слова: короп лускатий, морфологічні показники, мікотоксин T2

Formulation of the problem

Fish and fish products are among the main ones human protein foods. Historically, production in the field of aquaculture was one of the most developed sectors of the Ukrainian economy. Pollution of agricultural products mycotoxins are a global problem: 25 % of the world of grain production is affected by mycotoxins, and 36 % of all plant diseases and related products with the effect of mycotoxins. Mycotoxins in feed cause such negative consequences, such as an increase in morbidity, are massive poisoning of farm animals, poultry and fish.

The degree of manifestation of which depends on the degree of infection feed with mycotoxins, as well as age, sex, species characteristics of animals, their physiological state and diet feeding (Fotina et al., 2013).

Mycotoxins are natural toxic compounds synthesized by some types of fungi during their growth on plant material. They can enter the environment through contaminated feed and affect the health of animals and people who consume contaminated products. Carps, which are one of the key commercial species in freshwater and aquaculture, were used in our study.

The purpose of the work: to investigate the effect of mycotoxin T2 on the morphological parameters of the carp organism. The object of the study: peculiarities of changes in the morphological indicators of fish under the influence of mycotoxin T2. The subject of the

study: the effect of mycotoxin T2 on external indicators of organs and tissues of carp.

Materials and methods

The object of the study were two-year-old carp: scaly and mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) weighing 200-300 g. Experiments to study the effect of mycotoxin were carried out in 200-liter aquariums with settled tap water, in which fish were placed at the rate of 1 specimen per 40 dm³ of water. In all cases, control was carried out and a constant hydrochemical regime of water was maintained. The concentration of mycotoxin corresponding to 2 MPC was achieved by adding calculated amounts of the mycotoxin solution. The zoological (L) and industrial (I) lengths of fish (Musiyenko et al., 2005) and Fulton's fattening factor (Q) were determined. All results were processed statistically.

Results and Discussions

The biological effect of T-2 toxin on the body of animals is characterized by a wide spectrum of toxic effects. It includes dermonecrotic, lymphopenic, immunosuppressive, neurotoxic effects and a number of remote effects (Nikolaenko et al., 2023).

The dermonecrotic effect is manifested by exudative dermatitis and hyperkeratosis of the skin around the mouth, necrosis of mucous membranes (Figs.1, 2).



Fig. 1. Hemorrhages on the skin of fish



Fig. 2. Hemorrhages on the skin and fins of fish

Among other important and characteristic signs of T2 toxicosis is hemorrhagic syndrome, which is manifested by numerous hemorrhages in the muscles, under the serous and on the mucous membranes of the alimentary canal (Yatsenko et al., 2017). It is believed that the basis of the hemorrhagic syndrome is a

decrease in the blood clotting process due to a decrease in the level of prothrombin and antithrombin 3, a decrease in the activity of antiplasmin with a simultaneous increase in the content of kinins, which cause the expansion of blood vessels and increase the permeability of capillaries (Fig. 3).

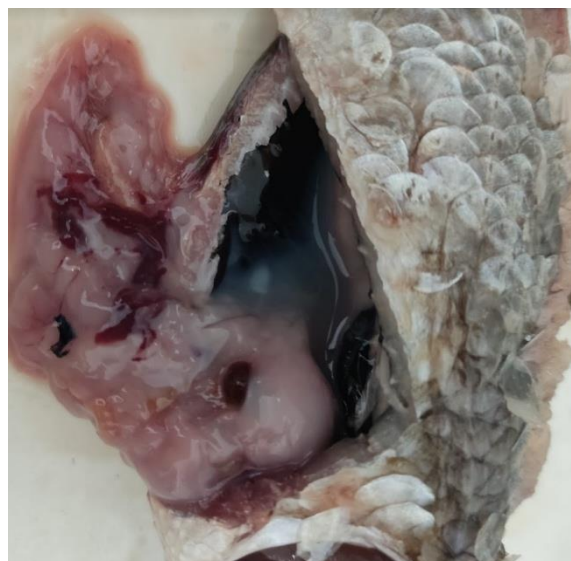


Fig. 3. Hemorrhages in the organs of the digestive tract

T2-toxin damages the intestinal mucosa, which leads to its ulceration, villous atrophy, and necrotic changes. The thickness of the intestinal wall decreases, and areas of destruction and inflammatory infiltration are observed in the epithelium. Violation of the morphology of the digestive tract affects the processes of digestion and assimilation of nutrients.

Disorganization of the structural architecture of the liver lobes, swelling of the intercellular space and destruction of membranes is observed. Pigments such as lipofuscin may accumulate in the cytoplasm of cells, indicating oxidative stress.

Figure 4 shows the liver of a carp exposed to mycotoxin T2.



Fig. 4. Morphological changes of carp organs under the action of mycotoxin

Indicative of T2 toxicosis is a violation of the morphological composition of the blood, manifested by leukopenia, lymphocytopenia, thrombocytopenia, and anemia. Hematological changes in T2 toxicosis are accompanied by degenerative and necrotic processes in immunocompetent organs and an immunosuppressive state. Central and peripheral organs of the immune system (red bone marrow, lymphoid formations of the intestine) are affected.

T2 toxin suppresses the body's immune functions. This is accompanied by a decrease in indicators of non-specific protection of the body (phagocytosis), the titer of natural antibodies, cellular (T lymphocytitis of their subpopulation) and humoral (immunoglobulin) immunity.

It is believed that the main role in the pathogenesis of T2 toxicosis is played by the ability of T2 toxin to disrupt protein and nucleic acid synthesis.

At the molecular level, the inhibition of T2 protein synthesis by the toxin is associated

with the blocking of translation initiation. Moreover, it was established that toxins capable of suppressing the initiation of translation have more pronounced toxic properties compared to those that affect the later stages of protein synthesis in ribosomes. Violation of protein synthesis is the result of the cytotoxic effect of T2 toxin (Mekhed, 2024). First of all, cells capable of active division, including the mucous membrane of the alimentary canal, hematopoietic tissues, ovaries, and testes, are affected by this. The appearance of a number of clinical signs in poisoning with trichothecene mycotoxins, including T2 toxin (hypodynamia, hypothermia, tachycardia) is associated with a violation of energy metabolism (Polotnianko & Mekhed, 2023).

In addition to the mentioned effects of the biological action of T2 toxin, a violation of the functional activity of cellular organelles – mitochondria, lysosomes, endoplasmic reticulum and the interaction of the toxin with the SH-groups of enzymes, as well as stimulation

of lipid peroxidation processes, is also characteristic.

The ability of T2 toxin to interact with the SH-groups of the active centers of enzymes is accompanied by a decrease in the activity of a number of systems that primarily ensure its metabolism and removal from the body (SH-glutathione).

Important importance in the biological action of T2 toxin is assigned to the state of lipid peroxidation (LPO) and the system of antioxidant protection of the body (AOZ). As a result of LPO stimulation, free radicals, lipid peroxides and hydroperoxides, reactive oxygen species (superoxide anion, peroxyxynitrite, nitric oxide, hydrogen peroxide) accumulate in the body, which can disrupt the structure and function of cell membranes. At the same time, the activity of the AOZ system, which is

represented by enzymatic and non-enzymatic links, decreases. Suppression of the enzymatic link of AOZ is manifested by a decrease in the activity of enzymes: superoxide dismutase, glutathione peroxidase, glutathione reductase, catalase, etc. Violation of the non-enzymatic link of the AOZ is accompanied by a decrease in the level of natural antioxidants – tocopherols, vitamin A and carotenoids, vitamin D, ascorbic and uric acids in the blood and tissues of the body.

The differences in the obtained results of the quantitative indicators of the exterior of two-year-old carp when being in conditions of mycotoxin toxicity for 14 days (Table 1) are not reliable. At the same time, there is a tendency to decrease the mass of fish.

Table 1

Changes in carp exterior indicators under conditions of toxicosis ($M \pm m$, $n=5$)

Indicator	Physiological conditions	T2
Q	2,10±0,22	2,14±0,28
L, cm	29,60±2,40	27,70±2,27
l, cm	25,12±2,12	22,72±3,20
m, g	311,80±8,14	252,48±12,26

In order to more thoroughly study the effect of mycotoxin T2 on the body of fish, we studied the external changes of the integuments, fins and internal organs of the carp (Zhelai et al., 2023.). The results of the experiments are presented in Table 2.

Comparing the morphological changes under the action of mycotoxin in representatives of two breeds of carp, it is possible to draw a conclusion about greater endurance of scaly carp compared to mirror carp, which can be explained by better growth rates and endurance of scaly carp.

Conclusions

As a result of the study, a negative effect of mycotoxin T2 on the morphological parameters of the carp organism was established. Under the influence of T2 toxin, significant changes in the structure of gills, skin, fins and internal organs were observed in fish. Discoloration of the ends

of the petals, the appearance of light spots and numerous hemorrhages were found in the gills, which indicates a violation of oxygen exchange. On the skin of the fish, the formation of whitish mucus was recorded, as well as separate ulcers, which are a sign of dermonecrotic processes. It was also established that mycotoxin T2 causes disorders of a hemorrhagic nature, manifested in numerous hemorrhages in muscle tissues and organs of the digestive system. A comparative analysis of the effects of the toxin on scaly and mirror carp showed that scaly carp had higher endurance, which may be due to its better growth rates and resistance to adverse conditions. Thus, mycotoxin T2 poses a significant threat to fish health and can negatively affect aquaculture performance. This study highlights the need to control feed quality and mycotoxin content to prevent intoxication in fish farming.

Table 2

Morphological changes of integuments, fins and internal organs of scaly (S) and mirror (M) carp under the influence of mycotoxin T2

Organ systems	Sign	Physiological conditions	T2	
			S	M
Gill	Discoloration of the ends of the petals	-	+	+
	White slime on the petals	-	+	+
	The presence of light spots	-	±	+
	Color change	-	+	+
	Uneven length of petals	-	+	+
	Hemorrhages on the gill covers	-	+	+
Skin coverings of the body	The presence of whitish mucus on the scales	-	+	+
	Numerous hemorrhages	-	-	-
	Ulcers at the base of the skull	-	-	-
	Ulcers	-	-	±
Fins	The lower blade of the tail is dark behind the upper	-	-	-
	Alone hemorrhages in the calves	-	+	+
	Numbers of hemorrhages in the calves and thoracic	-	-	-
Muscles	Turgor is weak, the body sags, it is pressed under the fingers	-	-	-
Heart	Color unevenness	-	-	-
	Dark red color	+	+	+
Hepatopancreas	Graininess of fabrics	-	±	±
	Pale color	-	-	-
	Disorders of the bile ducts	-	-	-
	Color uniformity	+	+	±
	Size increase	-	-	-
Bilious bladder	Increase in size	-	±	+
	Thin wall	-	±	±
	Changed color of bile	-	-	-
Intestine	The presence of stones	-	-	-

Note: + – sign is clearly expressed in all fish of the group; ± – sign is not present in all fish of the group; - – the sign is not expressed

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Fotina, T. I., Berezovsky, A. V., Petrov, R. V. et al. (2013). Veterinary examination of fish, sea mammals and invertebrates. Vinnytsia.
- Mekhed, O. B. (2024). Effect of T-2 mycotoxin on certain biochemical indicators of hydrobionts. Molluscs: results, problems and perspectives of research. Zhytomyr, 19–21. (in Ukrainian).
Мехед О. Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень. Житомир : Видавець ПП «Євро-Волинь», 2024. С. 19-21.
- Musiyenko, N. H., Zhidenko, A. O., Mekhed, O. B., & Kovalenko, O. M. (2005). Impact of pesticides on morphological indicators of carp. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, (3), 319–321. (in Ukrainian).
Мусяєнко Н.Г., Жиденко А.О., Мехед О.Б., Коваленко О.М. Вплив пестицидів на морфологічні показники коропа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2005. №3 (26). С. 319-321.
- Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in response to water pollution. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv, 99–100. (in Ukrainian).
Ніколаєнко Т., Івашченко М., Івашченко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Десна-Поліграф. 2023. С. 99-100.
- Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv, 105–106. (in Ukrainian).
Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсинам. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106.
- Yatsenko, I. V., Bohatko, N. M., Bulgakova, N. V. et al. (2017). Hygiene and expertise of food hydrobionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook. Kharkiv.
- Zhelai, M. V., Polotnianko, L. V., Yachna, M. H., Mekhed, O. B., & Tretyak, O. P. (2023). Impact of T-2 mycotoxin on ichthyological indicators of carp fish. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, 84(1), 35–40. (in Ukrainian).

Желай М. В., Полотнянко Л. В., Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П. Вплив мікотоксину Т2 на іхтіологічні показники карпових риб. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія.* 2023. Т. 84, №1. С. 35-40.

Zhelai, M., Yachna, M., Mekhed, O., & Tretyak, O. (2023). Adaptive changes in ichthyological indicators of carp fish under the influence of T-2 mycotoxin. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv, 77–78. (in Ukrainian).

Желай М., Ячна М., Мехед О., Третяк О. Адаптивні зміни іхтіологічних показників карпових риб за дії мікотоксину Т2. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату.* Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 77-78.

Received: 06.11.2024. **Accepted:** 01.12.2024. **Published:** 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Polotnianko L., Mekhed O. Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology.* 2024. №3. P. 69-76.

Cite this article in APA style as:

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology,* 3, 69-76.

Information about the authors:

Polotnianko L. [*in Ukrainian: Полотнянко Л.*] ¹, Ph. D. student, email: chreglab@vetmed.gov.ua
ORCID: 0000-0001-8665-2648
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mekhed O. [*in Ukrainian: Мехед О.*] ², Cand. Sc. (Biol.), D. Sc. (Pedagogics), Prof., email: mekhedolga@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994 ResearcherID: AAC-7333-2021
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, manuscript preparation.

² Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.



**FUNCTIONING
OF BIOLOGICAL SYSTEMS**

**ФУНКЦІОНУВАННЯ
БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**



UDC 597.551.214:582.28-026.86

DOI: 10.58407/bht.3.24.5



Copyright (c) 2024 Serhii Matiushko, Olha Mekhed

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Сергій Матюшко, Ольга Мехед

ЗМІНИ ВМІСТУ АДЕНІЛАТІВ В ТКАНИНАХ КОРОПА ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ T2



Serhii Matiushko, Olha Mekhed

CHANGES IN THE CONTENT OF ADENYLATES IN CARP TISSUES UNDER THE ACTION OF MYCOTOXIN T2

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження впливу мікотоксину T2 на вміст аденілатів в тканинах білих м'язів, печінки та мозку коропа.

Методологія. Визначення вмісту АТФ, АДФ та АМФ у тканинах відповідних органів риб проводили методом висхідної одновимірної тонкошарової хроматографії на силікагелевих пластинках «Sorbfil» з використанням системи розчинників: 1,4- діоксан, ізопропанол, аміак, вода у співвідношенні (4:2:1:4). Крім того, для більш повної оцінки стану аденілатної системи різних тканин коропа в умовах навантаження мікотоксином T2 були розраховані такі характеристики енергетичного стану клітини: аденілатний енергетичний заряд (АЕЗ) та відношення мас аденілаткіназної реакції (ДМАК) Також розраховували відсоткове співвідношення аденілових нуклеотидів у тканинах риб. Кількість неорганічного фосфору визначали за методом Фіске–Субароу.

Наукова новизна. Дослідження розкриває специфічні зміни у вмісті аденілатів під впливом мікотоксину T2 в тканинах коропа, що дозволяє глибше зрозуміти тканинну специфічність енергетичного обміну у риб. Встановлено, що досліджуваний мікотоксин значно знижує концентрацію АТФ, АДП та АМФ в білих м'язах і печінці. Ці результати сприяють розумінню впливу мікотоксинів на водні організми та їхню енергетичну регуляцію.

Висновки. Вплив мікотоксину T2 на аденілатний профіль тканин коропа вказує на його тканинну специфічність. Присутність його в кормах призводить до значного зниження концентрацій макроергичних сполук, особливо в білих м'язах, що негативно впливає на енергетичний баланс клітин.

Під дією мікотоксину, внесеному безпосередньо у воду акваріумів, в печінці та мозку спостерігається підтримка рівня АТФ, що свідчить про активізацію енергетичного обміну. Отримані результати підтверджують необхідність контролю вмісту мікотоксинів у кормах риб у сільському господарстві.

Ключові слова: аденілати, енергетичний обмін, короп, мікотоксин T2

ABSTRACT

The purpose of the work. Study of the effect of mycotoxin T2 on the content of adenylates in the tissues of white muscles, liver and brain of carp.

Methodology. Determination of the content of ATP, ADP and AMP in the tissues of the relevant organs of fish was carried out by the method of ascending one-dimensional thin-layer chromatography on silica gel plates «Sorbfil» using the solvent system: 1,4-dioxane, isopropanol, ammonia, water in the ratio (4:2:1:4). In addition, for a more complete assessment of the state of the adenylate system of different carp tissues under pesticide load, the following characteristics of the energy state of the cell were calculated: adenylate energy charge (AEC) and the ratio of the active masses of the adenylate kinase reaction (AAR). The percentage ratio of adenyl nucleotides in fish tissues was also calculated. The amount of inorganic phosphorus was determined by the Fiske-Subarow method.

Scientific novelty. The study reveals specific changes in the content of adenylates under the influence of mycotoxin T2 in carp tissues, which allows a deeper understanding of the tissue specificity of energy metabolism in fish. It was established that the studied mycotoxin significantly reduces the concentration of ATP, ADP and AMP in white muscles. These results contribute to further understanding of the environmental impact of pesticides on aquatic organisms and their energy regulation.

Conclusions. The effect of mycotoxin T2 on the adenylate profile of carp tissues indicates its tissue specificity. Its use in feed leads to a significant decrease in the concentrations of macroergic compounds, especially in white muscles,

which negatively affects the energy balance of cells. Under the mycotoxin introduced directly into the water of the aquariums, the stability of the level of ATP is observed in the liver and brain, which indicates the activation of energy metabolism. The obtained results confirm the need to control the content of mycotoxins in fish feed in agriculture in order to preserve the ecological balance of aquatic ecosystems.

Key words: adenylates, energy metabolism, carp, mycotoxin T2

Постановка проблеми

В умовах розвитку рибного господарства, особливу небезпеку для гідробіонтів становлять мікотоксини, зокрема токсин T2. Цей мікотоксин є одним із найбільш токсичних представників групи трихотеценів, який негативно впливає на організми різних видів, включаючи рибу. Короп (*Cyprinus carpio* L.) як популярний об'єкт аквакультури та модельний вид для екотоксикологічних досліджень є особливо вразливим до таких речовин (Nikolaenko et al., 2023). Одним із ключових біохімічних маркерів, що відображають енергетичний стан організму риби, є вміст аденілатів у тканинах, проте зміни якісних та кількісних показників аденілатів у відповідь на дію токсину T2 залишаються мало дослідженими.

Підвищення продуктивності риб у природних та штучних умовах аквакультури є надзвичайно важливим завданням, яке потребує дослідження впливу забруднювачів на біохімічні та фізіологічні процеси в їх організмах. У попередніх дослідженнях розглядалися різні аспекти впливу забруднювачів на біохімічні показники тканин коропа, що відображають енергетичний стан організму риби. Наприклад, було вивчено особливості енергетичного обміну у тканинах коропа за дії токсичних речовин, що дало змогу оцінити вплив ксенобіотиків на структуру мембранних ліпідів риб (Yachna et al., 2019) та наслідкам токсичного впливу на обмін ліпідів (Symonova et al., 2018). Інше дослідження було присвячено вивченню впливу токсичних речовин на вміст метаболітів в тканинах коропа при різних температурах, що дозволило виявити термозалежні метаболічні зміни під впливом хімічних забруднювачів (Mekhed et al., 2004; Martseniuk et al., 2018). Також вивчались адаптивні зміни показників крові коропа як відповідь на забруднення води мікотоксином, що надало дані про імунну відповідь організму (Nikolaenko et al., 2023). Окрему увагу було приділено накопиченню мікотоксинів в тканинах риб (Polotnyanko &

Mekhed, 2023). Однак, зміни якісних та кількісних показників аденілатів, які відображають стан енергетичного обміну в тканинах коропа під впливом токсину T2, не були предметом детального вивчення.

Отже, дане дослідження є першим, що має на меті аналіз впливу токсину T2 на вміст аденілатів у тканинах коропа. Оцінка змін в енергетичному обміні у відповідь на дію токсичних речовин дозволить краще зрозуміти механізми адаптації риб до екологічного стресу і потенційно розробити заходи щодо зменшення негативного впливу токсичних речовин у аквакультурі (Grubinko, 2005). Вивчення змін аденілатного енергетичного профілю коропа під дією мікотоксину T2 є важливим внеском у галузь екотоксикології та аквакультури, який допоможе сформулювати нові підходи до управління якістю водного середовища та продуктивністю риб.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводилися впродовж червня – грудня 2023 року та травня – вересня 2024 року на базі проблемної науково-дослідної лабораторії екологічної біохімії, іхтіології та біокорозії природничо-математичного факультету Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Роботи із стандартами токсину проводились на базі акредитованої лабораторії Держпродспоживслужби. Досліди по вивченню впливу мікотоксину проводили у 200-літрових акваріумах з відстояною водопровідною водою, в якій рибу розміщували з розрахунку 1 екземпляр на 40дм³ води. В усіх випадках здійснювався контроль та підтримувався постійний гідрохімічний режим води. Концентрацію мікотоксину, що відповідала 2 ГДК досягалася шляхом внесення розрахункових кількостей розчину мікотоксину. Визначення вмісту АТФ, АДФ та АМФ у тканинах відповідних органів риб проводили методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії на силікагелевих пластинках «Sorbfil» з використанням системи розчинників: 1,4-діоксан, ізопропанол,

аміак, вода у співвідношенні (4:2:1:4), описаній в роботі Martsenyuk, 2019. Наважку кожного органу ($0,50 \pm 0,05$ г) змішували з $0,5 \text{ см}^3$ 0,6 Н тетрахлоороцтової кислоти. Далі суміш центрифугували при 4000 об./хв протягом 10 хв і відбирали 0,5 мл супернатанту. Останній нейтралізували змішуванням з 0,06 мл 2М розчину K_2CO_3 . Прозорий надосадовий розчин наносили в кількості 0,03 мл на пластинку для хроматографії. Хроматографію проводили протягом 60–90 хв. Плями нуклеотидів детектували під ультрафіолетовим світлом та елюювали їх із пластин 3 мл 0,1Н хлоридної кислоти протягом 30 хв. Елюат спектрофотометрували при $\lambda=260$ нм. Крім того, для більш

повної оцінки стану аденілатної системи різних тканин коропа в умовах токсичного навантаження були розраховані такі характеристики енергетичного стану клітини: аденілатний енергетичний заряд (АЕЗ) та відношення мас аденілаткиназної реакції (ДМАК). Також розраховували відсоткове співвідношення аденілових нуклеотидів у тканинах риб. Кількість неорганічного фосфору визначали за методом Фіске-Субароу згідно опису методики в роботі (Mekhed et al, 2005).

Результати та їх обговорення

Результати дослідження представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники енергетичного обміну в тканинах коропа за умов токсичного навантаження мікотоксином Т2, мкмоль/г тканини ($M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Показник	Контроль	Т2 у воді акваріуму	Р	Т2 в кормі	Р
Білі м'язи						
1	АТФ	$1,75 \pm 0,36$	$0,78 \pm 0,12$	<0,1	$0,93 \pm 0,414$	
2	АДФ	$2,15 \pm 0,13$	$0,91 \pm 0,30^*$	<0,01	$0,33 \pm 0,01^*$	<0,01
3	АМФ	$2,46 \pm 0,34$	$2,12 \pm 0,33$		$1,24 \pm 0,22^*$	<0,05
4	АТФ/АДФ	0,77	0,86		3,01	
5	Сума аденілатів	6,26	3,81	-	2,50	-
6	АЕЗ	0,45	0,32	-	0,44	-
7	ДМАК	0,88	1,88	-	12,64	-
Печінка						
1	АТФ	$3,54 \pm 0,24$	$3,73 \pm 0,21$		$1,15 \pm 0,14^*$	<0,001
2	АДФ	$1,41 \pm 0,21$	$1,19 \pm 0,28$		$0,92 \pm 0,02$	<0,1
3	АМФ	$4,72 \pm 0,48$	$2,56 \pm 0,12^*$	<0,01	$4,48 \pm 0,24$	
4	АТФ/АДФ	2,51	3,13		1,25	
5	Сума аденілатів	9,67	7,48	-	6,55	-
6	АЕЗ	0,44	0,58	-	0,25	-
7	ДМАК	7,16	7,24	-	6,08	-
Мозок						
1	АТФ	$1,32 \pm 0,63$	$1,55 \pm 0,20$		$0,89 \pm 0,08$	<0,1
2	АДФ	$1,35 \pm 0,22$	$1,36 \pm 0,16$	<0,1	$1,14 \pm 0,09$	
3	АМФ	$1,70 \pm 0,45$	$0,78 \pm 0,04$	<0,01	$2,17 \pm 0,27$	<0,1
4	АТФ/АДФ	0,98	1,14	-	0,78	-
5	Сума аденілатів	4,37	3,69	-	4,20	-
6	АЕЗ	0,46	0,60	-	0,35	-
7	ДМАК	1,20	0,88		0,75	

Результати дослідження, представлені в таблиці, свідчать, що при потраплянні мікотоксину Т2 з кормом у тканинах коропа спостерігалися суттєві зміни в енергетичному обміні. У білих м'язах концентрація АТФ знизилася приблизно на 47 % (з 1,75 мкмоль/г до 0,93 мкмоль/г у порівнянні з контролем), тоді як рівень АДФ впав більш ніж у 6 разів (з 2,15 мкмоль/г до 0,33 мкмоль/г). Рівень АМФ також знизився на 50 % (з 2,46 мкмоль/г до 1,24 мкмоль/г). Сумарна кількість аденілатів зменшилася на 60 % (з 6,26 мкмоль/г до 2,50 мкмоль/г), що свідчить про значне зниження енергетичного резерву. Аденілатний енергетичний заряд залишився майже незмінним, показуючи лише 2 % зниження – з 0,45 до 0,44.

У тканині печінки вміст АТФ зменшився майже в 3 рази (з 3,54 мкмоль/г до 1,15 мкмоль/г), а рівень АДФ знизився на 35 % (з 1,41 мкмоль/г до 0,92 мкмоль/г). Сума аденілатів знизилася на 32 % (з 9,67 мкмоль/г до 6,55 мкмоль/г), що вказує на значне зниження енергетичного потенціалу. АЕЗ також впав на 43 % – з 0,44 до 0,25, що свідчить про суттєве пригнічення енергетичного стану клітин печінки. У мозковій тканині концентрація АТФ знизилася на 33 % (з 1,32 мкмоль/г до 0,89 мкмоль/г), тоді як рівень АМФ зріс на 28 % (з 1,70 мкмоль/г до 2,17 мкмоль/г), що може свідчити про адаптаційний процес у відповідь на токсичний стрес. Сумарний вміст аденілатів залишився майже незмінним, знизившись лише на 4 % (з 4,37 мкмоль/г до 4,20 мкмоль/г). Однак АЕЗ впав на 20 % (з 0,44 до 0,35).

При вмісті мікотоксину Т2 у воді акваріумів також спостерігалися значні зміни в енергетичному обміні коропа, проте реакція тканин була дещо відмінною. У білих м'язах вміст АТФ зменшився до 0,78 мкмоль/г, а рівень АДФ – до 0,91 мкмоль/г, що значно нижче контрольних значень. Сума аденілатів знизилася з 6,26 до 3,81 мкмоль/г, а АЕЗ впав до 0,32. Ці результати вказують на суттєве пригнічення енергетичного обміну в м'язовій тканині під впливом токсину у воді. Тканини печінки виявилися менш чутливими до токсину у воді. Хоча рівні АТФ і АДФ залишалися майже на тому ж рівні, що і в контролі (3,73 та 1,19 мкмоль/г відповідно), рівень АМФ знизився до 2,56 мкмоль/г (у контролі – 4,72 мкмоль/г). Сума аденілатів у печінці зменшилася з 9,67 до 7,48 мкмоль/г, тоді як АЕЗ дещо підвищився до 0,58, що

може свідчити про активацію компенсаторних механізмів. У мозковій тканині при введенні мікотоксину через воду також спостерігалися зміни. Вміст АТФ підвищився до 1,55 мкмоль/г (у контролі – 1,32 мкмоль/г), а рівень АМФ зменшився до 0,78 мкмоль/г (у контролі – 1,70 мкмоль/г). АЕЗ збільшився до 0,60, що може вказувати на адаптаційні процеси, спрямовані на підтримку функціональної активності мозку в умовах токсичного навантаження.

Таким чином, незалежно від шляху потрапляння до організму мікотоксину Т2, у білих м'язах спостерігалось суттєве зниження суми аденілатів та АЕЗ. Це вказує на загальне зниження енергетичного потенціалу і може обмежувати функціональні можливості м'язів, зокрема, в умовах підвищеної фізичної активності. У печінці реакція на мікотоксин відрізнялася залежно від шляху введення. При введенні токсину через корм спостерігалось значне зниження АЕЗ і суми аденілатів, що вказує на енергетичний дисбаланс і можливе пригнічення метаболічних процесів. При токсичному впливі через воду печінка демонструвала ознаки компенсаторної адаптації, що виражалось у збільшенні АЕЗ. Мозкова тканина виявила найбільшу здатність до адаптації за умов токсичного впливу. При введенні мікотоксину через воду спостерігалось зростання АЕЗ, що вказує на активацію адаптаційних механізмів для підтримки енергетичного гомеостазу. Однак при введенні токсину через корм відбувалося зниження АЕЗ, що свідчить про певне енергетичне виснаження.

Висновки

Вплив мікотоксину Т2 на аденілатний профіль тканин коропа вказує на його тканинну специфічність. Наявність його в кормах призводить до значного зниження концентрацій макроергичних сполук, особливо в білих м'язах, що негативно впливає на енергетичний баланс клітин.

Під дією мікотоксину, внесеному безпосередньо у воду акваріумів, в печінці та мозку спостерігається стабільність рівня АТФ, що свідчить про активізацію енергетичного обміну. Отримані результати підтверджують необхідність контролю вмісту мікотоксинів у кормах риб у сільському господарстві з метою збереження екологічного балансу водних екосистем.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Grubinko, V. V. (2005). Integral assessment of toxic damage in biological systems. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology* (3), 111-114. (In Ukrainian).

Грубінко В. В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2005. № 3. С. 111–114.

Grubinko, V. V. (2005). Systemic assessment of metabolic adaptations in hydrobionts. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology* (2), 36-39. (In Ukrainian).

Грубінко В. В. Системна оцінка метаболічних адаптацій у гідробіонтів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2005. № 2. С. 36–39.

Martseniuk, V. M., Potrokhov, O. S. & Zinkovskiy, O. G. (2018). Energy metabolism in organs and tissues of perch *Perca fluviatilis* under changes of water temperature. *Hydrobiological Journal* 54(4), 85–94.

Martsenyuk, V. M. (2019). Features of regulation of energy supply for the adaptation of fish to the influence of abiotic and anthropogenic factors. PhD dissertation in ichthyology. Hydrobiology Institute, NAS of Ukraine, Kyiv. 225. (In Ukrainian).

Марценюк В.М. Особливості регуляції енергозабезпечення адаптації риб до дії абіотичних та антропогенних чинників. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.10 «Іхтіологія». Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019. 225 с.

Mekhed, O. B., Yakovenko, B. V., & Zhidenko, A. O. (2004). The effect of zencore on glucose content and gluconeogenesis enzyme activity in the tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) at different temperatures. *Ukrainian Biochemical Journal* 76(3), 99-103. (In Ukrainian).

Мехед О. Б., Яковенко Б. В., Жиденко А. О. Вплив зенкору на вміст глюкози та активність ферментів глюконеогенезу в тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) при різних температурах. *Український біохімічний журнал*. 2004. 76, №3. С. 99-103.

Mekhed, O. B., Zhidenko, A. O., & Yakovenko, B. V. (2005). Changes in adenylate content in tissues of juvenile and adult carp under the influence of pesticides. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology. Special issue «Hydroecology»* 3(26), 299-302. (In Ukrainian).

Мехед О. Б., Жиденко А. О., Яковенко Б. В. Зміни вмісту аденілатів в тканинах цьоголітки і дволітки коропа при дії пестицидів *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. Спец. випуск «Гідроекологія»*. 2005. №3 (26). С. 299-302.

Nikolaenko, T. M., Ivashchenko, M. O., Ivashchenko, N. V., & Mekhed, O. B. (2023). Biochemical indicators of blood in laboratory animals under the influence of T-2 mycotoxin. *Vin Smart Eco. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (May 18-20, 2023, Vinnytsia, Ukraine)*, 276-277. (In Ukrainian).

Ніколаєнко Т.М., Івашченко М.О., Івашченко Н.В., Мехед О.Б. Біохімічні показники крові лабораторних тварин за дії мікотоксину Т2. *Vin Smart Eco: Збірник матеріалів III Міжн. наук.-практ. конф. (18-20 травня 2023, Вінниця, Україна)*. Вінниця: КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», 2023. С. 276-277.

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) as a response to water pollution. *Natural Resources of Border Territories under Climate Change. VII International Scientific Conference (Ukraine, Chernihiv, September 27–29, 2023)*, 99-100. (In Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Івашченко М., Івашченко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. VII Міжнародна наукова конференція (Україна, Чернігів, 27 – 29 вересня 2023 р.). Чернігів: Десна-Поліграф. 2023. С. 99-100.

Polotnyanko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when feeding contaminated T2 toxin feed. *Natural Resources of Border Territories under Climate Change. VII International Scientific Conference (Ukraine, Chernihiv, September 27–29, 2023)*, 105-106. (In Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсинам. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. VII Міжнародна наукова конференція (Україна, Чернігів, 27 – 29 вересня 2023 р.). Чернігів: Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106.

Symonova, N. A., Mekhed, O. B., Kupchuk, O. Y., & Tretyak, O. P. (2018). Toxicants in the degradation of lipids in the organism of scaly carp. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(4), 6-10.

Mekhed, O. B., Yachna, M. G., Tretyak, O. P., & Yakovenko, B. V. (2019). Phospholipid content in tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) under the influence of sodium lauryl sulfate-containing and phosphate-free synthetic detergents. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology (2-76)*, 48-52. (In Ukrainian).

Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П., Яковенко Б. В. Вміст фосфоліпідів у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії натрій лаурилсульфатвмісного та безфосфатного синтетичних миючих засобів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2019. № 2(76). С. 48-52.

Received: 07.11.2024. Accepted: 20.12.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. С. 78-83.

Cite this article in APA style as:

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, 3, 78-83.

Information about the authors:

Matiushko S. [in Ukrainian: **Матюшко С.**] ¹, Ph.D. student, email: msn@grandwis.com.ua

ORCID: 0009-0000-8655-3201

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mekhed O. [in Ukrainian: **Мехед О.**] ², Cand. Sc. (Biol.), D. Sc. (Pedagogics), Prof., email: mekhedolga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994

ResearcherID: AAC-7333-2021

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Study design, manuscript preparation.



MAN AND HIS HEALTH
ЛЮДИНА ТА ЇЇ ЗДОРОВ'Я



UDC 641.1:615.38

DOI: 10.58407/bht.3.24.6



Copyright (c) 2024 Małgorzata Gradziuk, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Małgorzata Gradziuk, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

ZNACZENIE ŻELAZA W DIECIE DAWCÓW KRWI I JEJ SKŁADNIKÓW



Małgorzata Gradziuk, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk

THE IMPORTANCE OF IRON IN THE DIET OF BLOOD DONORS AND ITS COMPONENTS

STRESZCZENIE

Cel pracy: Niniejsza publikacja jest artykułem przeglądowym i koncentruje się na znaczeniu żelaza w diecie dawców krwi, omawia mianowicie rolę tego mikroelementu w organizmie człowieka, wpływ oddawania krwi na jego poziom oraz zalecenia dotyczące suplementacji i żywienia w celu zapobiegania niedoborom tego pierwiastka. W sytuacji rosnącej liczby dawców krwi oraz wpływu tego zabiegu na ich zdrowie, przedstawione w tym artykule informacje na podstawie wyników badań licznych autorów mają kluczowe znaczenie dla opracowania skutecznych strategii dietetycznych.

Metody wykorzystania źródeł literaturowych. W celu uzyskania wiarygodnych danych do niniejszego artykułu przeszukaliśmy bazy danych PubMed, Scopus, Web of Science, oraz Google Scholar. Bazowałyśmy tylko na kombinacjach słów kluczowych, takich jak «iron supplementation», «blood donors», «iron deficiency», «dietary iron», «anemia prevention», «ferritin levels», odnoszących się do literatury opublikowanej w latach 1970-2024. Ponadto wykorzystaliśmy wyniki badań opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych. Wszystkie zidentyfikowane i wykorzystane artykuły były początkowo oceniane na podstawie tytułów i abstraktów. W wyborze uwzględniano takie informacje jak charakterystyka populacji, interwencje, metody oceny poziomów żelaza, wyniki oraz zgłoszone efekty uboczne. Kluczowe wyniki dotyczące skuteczności suplementacji żelaza, wpływu diety oraz monitorowania poziomów żelaza były omawiane w kontekście ich znaczenia dla dawców krwi.

Nowatorstwo naukowe. W artykule tym proponujemy kompleksowe podejście do roli żelaza w diecie dawców krwi, łącząc najnowsze wyniki badań z praktycznymi zaleceniami dotyczącymi diety i suplementacji. Dodatkowo przedstawiamy w nim zarówno aspekty biologiczne, jak i praktyczne, co stanowi nowatorskie podejście do omawianego tematu, a także łączy wiedzę z różnych dziedzin, takich jak hematologia, dietetyka, biochemia i medycyna prewencyjna i umożliwia kompleksową analizę zagadnienia. Integracja tych dyscyplin prowadzi do lepszego zrozumienia wpływu żelaza na zdrowie dawców krwi. Przegląd niniejszy bazuje na najnowszych badaniach klinicznych i meta-analizach, co zapewnia aktualność i wiarygodność przedstawionych danych. Analiza najnowszych wyników badań pozwala na formułowanie aktualniejszych i precyzyjniejszych zaleceń dotyczących suplementacji żelaza. Sugerujemy również personalizację zaleceń dietetycznych dla dawców krwi, uwzględniając indywidualne potrzeby tych osób i osobnicze różnice metaboliczne. Personalizowane podejście do diety i suplementacji żelaza może zwiększyć skuteczność zapobiegania niedoborom tego pierwiastka. W artykule proponujemy nowe strategie prewencyjne, takie jak programy wsparcia dla dawców krwi, które powinny objąć regularne monitorowanie poziomów żelaza, edukację na temat żywienia i suplementacji oraz dostosowane interwencje dietetyczne. Zwróciliśmy także uwagę na potrzebę długoterminowego monitorowania efektów suplementacji żelaza, co jest często pomijane w badaniach krótkoterminowych, a długoterminowe podejście pozwoli na wiarygodną ocenę trwałości efektów suplementacji i jej wpływu na zdrowie dawców krwi.

Wnioski. Żelazo odgrywa fundamentalną rolę w utrzymaniu zdrowia dawców krwi. Jest niezbędne do produkcji hemoglobiny, transportu tlenu oraz do wielu innych funkcji metabolicznych. Regularne oddawanie krwi powoduje znaczną utratę tego mikroelementu, co może prowadzić do jego niedoborów i anemii, jeśli nie zostanie odpowiednio uzupełniony. Aby zrehabilitować utratę żelaza, dawcy krwi powinni zwracać szczególną uwagę na dietę. Produkty bogate w żelazo hemowe, takie jak mięso i ryby, oraz żelazo niehemowe, takie jak rośliny strączkowe i zielone warzywa liściaste, powinny stanowić podstawę ich diety. Spożywanie dodatkowo witaminy C z posiłkami może zwiększyć wchłanianie żelaza niehemowego. Regularna suplementacja żelaza jest skuteczną metodą zapobiegania niedoborom tego mikroelementu u dawców krwi. Badania kliniczne wykazały, że suplementacja żelaza poprawia poziomy hemoglobiny i ferrytyny, redukując ryzyko anemii. Suplementacja powinna być dostosowana indywidualnie, a dawcy powinni być regularnie monitorowani pod kątem poziomów omawianego pierwiastka. Edukacja dawców krwi na temat jego

znaczenia i właściwej diety jest kluczowa. Programy wsparcia, które obejmują regularne monitorowanie poziomów żelaza, dostarczanie suplementów oraz dostosowane zalecenia dietetyczne, mogą znacznie poprawić zdrowie dawców i ich zdolność do dalszego oddawania krwi. Dalsze badania są konieczne, aby dokładniej określić optymalne strategie suplementacji żelaza i ich długoterminowy wpływ na zdrowie dawców krwi. Badania powinny również skupić się na indywidualnych różnicach w metabolizmie omawianego pierwiastka oraz na opracowaniu personalizowanych zaleceń dietetycznych.

Słowa kluczowe: żelazo, dawcy krwi, suplementacja żelaza, anemia, dieta bogata w żelazo, ferrytyna, hemoglobina, wchłanianie żelaza

ABSTRACT

Purpose: This review focuses on the importance of iron in the diet of blood donors, discussing the role of iron in the body, the impact of blood donation on iron levels, and recommendations for supplementation and diet to prevent deficiency. In the context of the increasing number of blood donors and their impact on health, this research is crucial to the development of effective nutritional strategies.

Materials and methods. PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar databases were searched. Keyword combinations were used, including «iron supplementation», «blood donors», «iron deficiency», «dietary iron», «anaemia prevention» and «ferritin levels». Literature published between 1970 and 2024 was searched. Studies published in peer-reviewed journals were included. All identified articles were initially assessed using titles and abstracts. Data from selected studies were extracted, including information on population characteristics, interventions, methods of assessing iron levels, outcomes and reported adverse effects. Key findings on the efficacy of iron supplementation, the effect of diet, and iron monitoring were discussed in the context of their relevance to blood donors.

Scientific novelty. This article presents a comprehensive approach to the role of iron in the diet of blood donors, combining the latest research with practical recommendations for diet and supplementation. It covers both biological and practical aspects, which is a novel approach to the subject. The article combines knowledge from different fields such as haematology, dietetics, biochemistry and preventive medicine to provide a comprehensive analysis of the issue. The integration of these disciplines leads to a better understanding of the impact of iron on the health of blood donors. The review is based on the most recent clinical trials and meta-analyses, ensuring that the data presented is current and reliable. Analysis of the most recent trials allows for more accurate and up-to-date recommendations regarding iron supplementation. The article introduces the concept of personalising dietary recommendations for blood donors, taking into account individual needs and metabolic differences. A personalised approach to diet and iron supplementation may increase the effectiveness of iron deficiency prevention. The article suggests new prevention strategies, such as blood donor support programmes that include regular monitoring of iron levels, education about diet and supplementation, and tailored dietary interventions. The review emphasises the need for long-term monitoring of the effects of iron supplementation, which is often lacking in short-term studies. A long-term approach makes it possible to assess the durability of the effects of supplementation and its impact on the health of blood donors.

Conclusions. Iron plays a fundamental role in maintaining the health of blood donors. It is essential for the production of haemoglobin, oxygen transport and many other metabolic functions. Regular blood donation causes significant iron loss, which can lead to iron deficiency and anaemia if not adequately replaced. To compensate for iron loss, blood donors should pay particular attention to their diet. Foods rich in haem iron, such as meat and fish, and non-haem iron, such as legumes and green leafy vegetables, should form the basis of their diet. In addition, taking vitamin C with meals can increase the absorption of non-haem iron. Regular iron supplementation is an effective way to prevent iron deficiency in blood donors. Clinical studies show that iron supplementation improves haemoglobin and ferritin levels and reduces the risk of anaemia. Supplementation should be individualised and donors should have their iron levels monitored regularly. Educating blood donors about the importance of iron and proper diet is essential. Support programmes that include regular monitoring of iron levels, provision of supplements and tailored dietary recommendations can significantly improve the health of donors and their ability to continue donating. Further research is needed to better determine optimal iron supplementation strategies and their long-term effects on donor health. Research should also focus on individual differences in iron metabolism and the development of personalised dietary recommendations.

Key words: iron, blood donors, iron supplementation, anaemia, iron-rich diet, ferritin, haemoglobin, iron absorption

Wprowadzenie

Oddawanie krwi i jej składników jest nieocenionym aktem altruizmu, który ratuje życie i wspiera zdrowie pacjentów na całym świecie. Dawcy krwi odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu stabilnych zapasów krwi, niezbędnych do przeprowadzania transfuzji, operacji chirurgicznych oraz leczenia wielu schorzeń,

takich jak anemia, choroby nowotworowe czy urazy wymagające intensywnej opieki medycznej (Zeger et al., 2007; Gammon et al., 2021). Jednakże, aby proces oddawania krwi był bezpieczny i skuteczny zarówno dla dawcy, jak i biorcy, konieczne jest utrzymanie odpowiedniego stanu zdrowia dawców. Kluczowym elementem tego procesu jest właściwe żywienie (Sadowska and Sacharczuk, 2011; Piskin et al.,

2022). Żywnienie odgrywa fundamentalną rolę w przygotowaniu organizmu dawcy do oddania krwi oraz w procesie regeneracji po jej oddaniu. Optymalny stan odżywienia zapewnia nie tylko wystarczający poziom energii i składników odżywczych, ale również wspiera funkcje immunologiczne, procesy regeneracyjne oraz ogólną kondycję zdrowotną. Niewłaściwa dieta może prowadzić do niedoborów mikro- i makroelementów, co może wpłynąć negatywnie na jakość oddawanej krwi oraz na zdrowie samego dawcy (Chen et al., 2018).

Żelazo jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego, odgrywając kluczową rolę w wielu procesach fizjologicznych, w tym w syntezie hemoglobiny, transporcie tlenu i produkcji energii na poziomie komórkowym. Jest ono szczególnie istotne dla zdrowia, gdyż bez odpowiednich jego zasobów organizm nie jest w stanie produkować wystarczającej ilości erytrocytów (Boccio et al., 2003; Chifman et al., 2014).

Edukacja żywieniowa dawców krwi jest kluczowym elementem promowania zdrowia publicznego i zapewnienia jakości zasobów krwi. Świadomość znaczenia odpowiedniego żywienia i praktyczne wskazówki dotyczące diety mogą znacząco wpłynąć na zdrowie dawców oraz na efektywność i bezpieczeństwo procesu oddawania krwi. Poprzez edukację i wsparcie dietetyczne, możemy przyczynić się do zwiększenia liczby zdrowych i regularnych dawców krwi, co bezpośrednio przełoży się na lepsze funkcjonowanie systemów opieki zdrowotnej (Gammon et al., 2023).

Celem tego przeglądowego artykułu jest szczegółowe omówienie roli żelaza w żywieniu dawców krwi i jej składników. W pierwszej części przedstawiamy podstawowe funkcje żelaza w organizmie człowieka oraz jego znaczenie w produkcji krwi. Następnie podajemy analizie wpływ dawstwa krwi na zasoby żelaza oraz procesy regeneracyjne u dawców po donacji. Omawiamy również zalecenia dietetyczne i suplementacyjne dla dawców krwi, a także strategie zapobiegania niedoborom żelaza. W końcowych sekcjach przyglądamy się przypadkom szczególnym, takim jak dawcy o zwiększonym ryzyku niedoboru żelaza, oraz prezentujemy wnioski płynące z przeglądu dostępnej i wykorzystanej literatury.

1. Rola żelaza w organizmie człowieka oraz metabolizm tego mikropierwiastka.

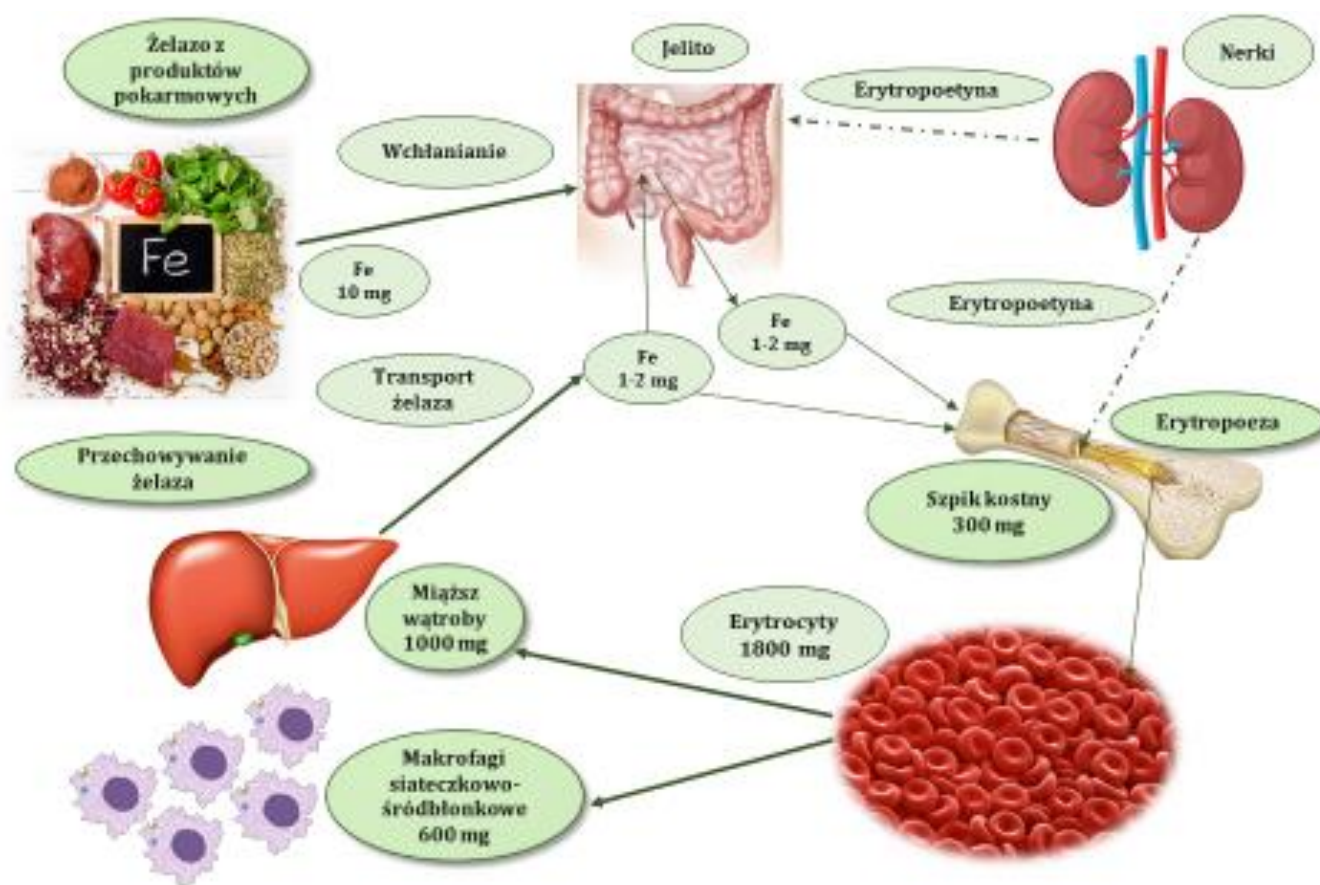
Żelazo jest zasadniczym elementem wielu procesów fizjologicznych w organizmie człowieka (Kiss, 2015), niezbędnym do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania, stanu odporności, wydolności fizycznej i wydajności pracy (Brittenham, 2011; Spencer and Mast, 2022). Jest składnikiem hemu, w połączeniu z którym uczestniczy w odwracalnym wiązaniu tlenu przez krwinkę czerwoną i zarazem kluczowym elementem mioglobiny mięśniowej oraz mitochondrialnych cytochromów (Chifman et al., 2014). Całkowita zawartość żelaza w organizmie wynosi średnio 50 mg/kg u mężczyzn (około 3500 mg u dorosłego mężczyzny) i 35 mg/kg u kobiet (około 2100 mg u dorosłej kobiety). Większość, bo aż 60 % zapasów żelaza znajduje się w krwinkach czerwonych (Kiss, 2015).

Dobrze odżywiony dorosły człowiek zawiera w swoim organizmie około 3-5 g żelaza, z czego prawie 60 % jest włączane do hemoglobiny, a 10 % do mioglobiny mięśniowej. Pozostała część jest magazynowana w hepatocytach i makrofagach siateczkowo-śródbłonkowych. Około 1-2 mg żelaza jest tracone dziennie przez pot, utratę krwi oraz złuszczenie się komórek nabłonka jelitowego. Aby zrekompensować utratę tego pierwiastka, organizm wchłania go z diety w ilości 1-2 mg dziennie, ale sama synteza hemoglobiny wymaga 20-25 mg żelaza dziennie. Aby aktywować syntezę hemoglobiny i inne procesy metaboliczne, żelazo musi być poddawane recyklingowi, a jego poziom w organizmie jest ściśle regulowany. Krążący hormon peptydowy hepcydyna, wraz ze swoim receptorem ferroportyną, przede wszystkim utrzymuje systemową homeostazę żelaza, podczas gdy białka regulujące poziom tego mikroelementu odgrywają główną rolę w kontrolowaniu jego wewnątrzkomórkowej homeostazy. Niedawno zidentyfikowano wewnątrzkomórkowe reakcje biorące udział w metabolizmie żelaza, składające się ze 151 cząsteczek chemicznych i 107 reakcji i etapów transportu (De Domenico et al., 2007; Andrews, 2008; Hower et al., 2009; Hentze et al., 2010).

W normalnych warunkach żelazo w organizmie znajduje się w dynamicznej równowadze (Geisser and Burckhardt, 2011). Z około 10 mg żelaza przyjmowanego z pożywieniem, 1-2 mg jest wchłaniane przez enterocyty dwunastnicy. W krążeniu żelazo jest związane z transferyną (około 3 mg), która transportuje je bezpiecznie do szpiku kostnego w celu syntezy

hemoglobiny. Około dwóch trzecich żelaza w organizmie występuje w postaci hemoglobiny, w czerwonych krwinkach (1800 mg) i prekursorach erytrocytów w szpiku kostnym (300 mg), podczas gdy 10-15 % znajduje się w mioglobinie i różnych enzymach. Żelazo jest magazynowane w komórkach mięsnych wątroby (około 1000 mg). Makrofagi siateczkowo-śródbłon-

kowe tymczasowo przechowują żelazo odzyskane ze starzejących się erytrocytów (600 mg) w łatwo dostępnej formie (Geisser and Burckhardt, 2011). Erytropoetyna, produkowana przez nerki, reguluje absorpcję tego pierwiastka w dwunastnicy i erythropoezę (Ryc. 1).



Ryc. 1. Schemat metabolizmu żelaza w organizmie (Geisser and Burckhardt, 2011)

Nieorganiczne, niehemowe żelazo jest obecne w wielu produktach spożywczych, takich jak jajka i warzywa, i jest wchłaniane przez enterocyty dwunastnicy. Reduktaza żelaza Cybrd1 (DcytB) redukuje niehemowe żelazo do Fe^{2+} zanim zostanie przetransportowane przez błonę komórkową przez dwuwartościowy transporter metali 1, DMT1 (SLC11A2) (Gunshin et al., 1997; Turi et al., 2006). Wchłanianie hemowego żelaza znajdującego się w czerwonym mięsie nie jest w pełni poznane. Po wchłonięciu hemowe żelazo jest transportowane do cytozolu i uwalniane przez

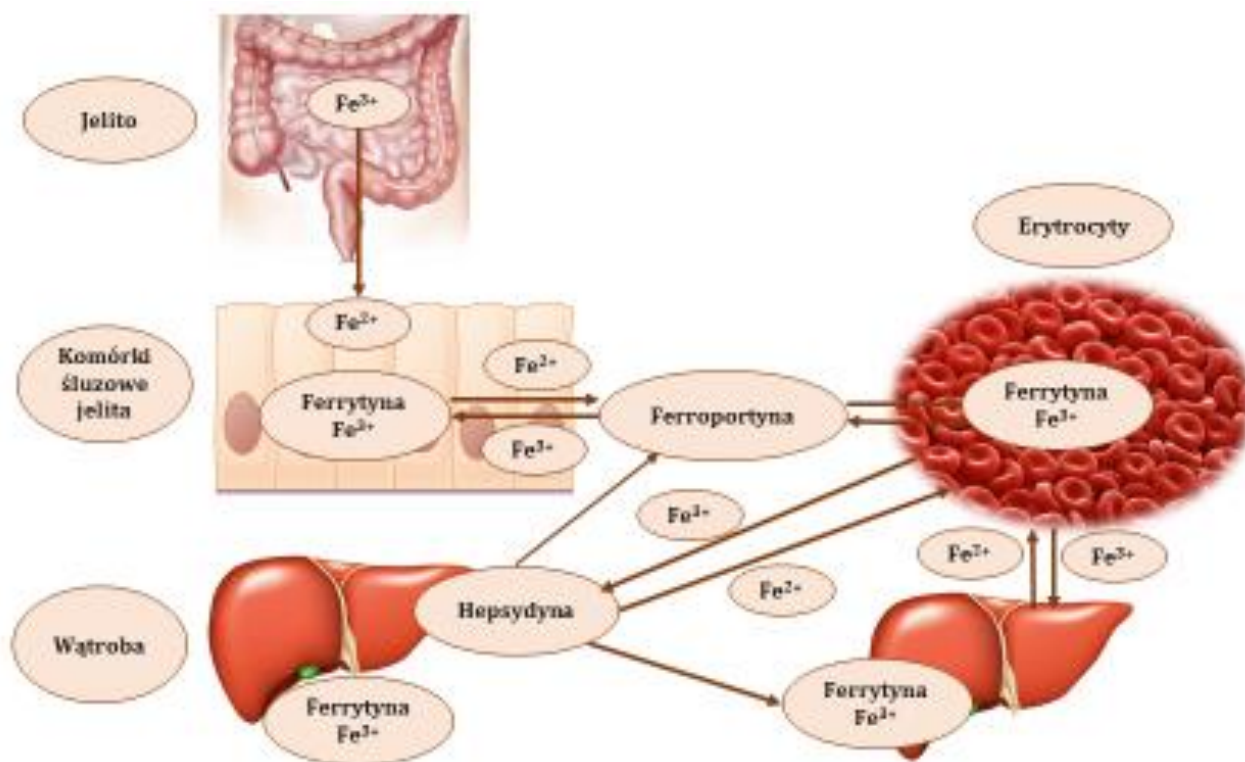
hemową oksydazę 1 (HO1) (Ferris et al., 1999). Nadmiar wewnątrzkomórkowego żelaza jest magazynowany w białku ferrytynie. Ferrytyna utlenia i wiąże nadmiar żelaza w rdzeniu mineralnym zwanym ferrihydrem (Theil, 2003; Arosio and Levi, 2010). Żelazo związane w ferrytynie enterocytów jest traczone po kilku dniach poprzez złuszczenie się komórek nabłonka jelitowego. Cytosolowe żelazo jest eksportowane do osocza przez eksporter żelaza – ferroportynę (Fpn, SLC40A1) (Abboud and Haile, 2000; McKie et al., 2003). Eksport żelaza z enterocytów do krwiobiegu wymaga

ferroksydazy hefajstyny (HEPH), wielomiedziowej oksydazy, która utlenia Fe^{2+} do Fe^{3+} (Vulpe et al., 1999). W osoczu Fe^{3+} krąży związane z transferyną (Tf), glikoproteiną, która ma dwa miejsca wiązania dla żelaza i utrzymuje go w rozpuszczalnej formie. Odkrycie transferyny jako transportera żelaza w osoczu datuje się na 1946 r. (Schade and Caroline, 1946). Transferyna pełni dwie ważne funkcje, mianowicie ogranicza powstawanie toksycznych wolnych rodników i dostarcza żelazo do komórek. U zdrowych osób około 1/3 transferyny jest nasycona żelazem. Stężenia tego mikroelementu u zdrowych dorosłych wynoszą 14-32 $\mu\text{mol/l}$, przy czym praktycznie całe krążące żelazo jest związane z Tf. W warunkach przeciążenia organizmu tym pierwiastkiem gromadzi się on w postaci niezwiązanej z transferyną (NTBI). Uważa się, że NTBI jest głównym czynnikiem przyczyniającym się do patologii związanej z przeciążeniem organizmu żelazem (Hentze et al., 2010).

Głównym «konsumentem» żelaza jest szpik kostny, a większość tego pierwiastka pochodzi z wewnętrznego recyklingu z udziałem makrofagów tkankowych, głównie makrofagów śledziony. Erytroblasty pozyskują żelazo za pośrednictwem białka obecnego powszechnie na powierzchni komórki, receptora transferyny 1, TfR1. Poprzez endocytozę zależną od receptora, TfR1 przenosi obciążoną żelazem Tf (holo-Tf) do zakwaszonych endosomów, gdzie żelazo dysocjuje od transferyny przy pomocy sześciu transbłonowych białek antygenu nabłonka prostaty (STEAP) i opuszcza endosomy za pośrednictwem DMT1 (Ohgami et al., 2006). Transferyna i receptor transferyny są odnawialne na powierzchni komórki. Żelazo jest importowane z przedziałów wewnątrzkomórkowych do mitochondriów przez wewnętrzne białko błonowe mitoferryne 1, tworząc hem, którego większość jest następnie wykorzystywana do produkcji hemoglobiny (Shaw et al., 2006). Ponieważ nadmiar hemu jest toksyczny i może prowadzić do apoptozy, muszą istnieć mechanizmy utrzymujące hem na odpowiednim poziomie. Przypuszcza się, że receptor komórkowy podgrupy C wirusa białaczki kotów (FLVCR) i białko kasety wiążącej ATP G2 (ABCG2) eksportują nadmiar hemu, chociaż nie jest to w pełni zrozumiałe (Krishnamurthy et al., 2007; Keel et al., 2008).

Makrofagi odzyskują żelazo ze starzejących się i uszkodzonych erytrocytów, najpierw fagocytując erytrocyty, a następnie katabolizując hem za pomocą oksydazy hemowej w celu uwolnienia żelaza. Żelazo dwuwartościowe jest eksportowane do osocza za pośrednictwem eksportera żelaza, ferroportyny (SLC40A1), a żelazo niewykorzystane jest magazynowane w makrofagach, głównie w ferrytynie (Donovan et al., 2005; Hentze et al., 2010). Innym ważnym miejscem magazynowania żelaza jest wątroba, ponieważ większość tego pierwiastka trafiającego do wątroby jest magazynowana w ferrytynie i może być mobilizowana, gdy organizm tego potrzebuje. Hepatocyty pozyskują holo-Tf za pośrednictwem dwóch receptorów, TfR1 i TfR2, ale uważa się, że TfR2 działa głównie jako «czujnik» nasycenia transferyny i ma znacznie niższe powinowactwo do holo-Tf niż TfR1 (Robb and Wessling-Resnick, 2004; Johnson and Enns, 2004). Gdy poziom żelaza w surowicy przekracza zdolność wiązania transferyny, wątroba staje się głównym miejscem magazynowania żelaza niezwiązanej z transferyną (NTBI) (Andrews and Schmidt, 2007). Mechanizm, za pomocą którego hepatocyty nabywają NTBI, nie jest w pełni poznany, a jednym z kandydatów na wychwyty NTBI jest transporter cynku Zip14 (SLC39A) (Liuzzi et al., 2006). Inne tkanki, takie jak serce i trzustka również są miejscami gromadzenia się żelaza w przypadku przeciążenia organizmu tym pierwiastkiem i również mają mechanizmy wychwyty NTBI (Chifman et al., 2014).

Aby uniknąć przeciążenia organizmu żelazem lub wystąpienia jego niedoboru, organizm musi utrzymać wewnętrzną równowagę tego pierwiastka, udostępniając go tylko wtedy i tam, gdzie jest potrzebny (Ryc. 2). Krążący hormon peptydowy hepcydyna jest kluczową cząsteczką w regulacji systemowej homeostazy żelaza. Jest ona głównie wytwarzana przez wątrobę, chociaż niektóre badania sugerują, że inne tkanki również produkują hepcydynę (Park et al., 2001; Pigeon et al., 2001). Poziomy hepcydyny ulegają zmianom w odpowiedzi na bodźce fizjologiczne, które wpływają na homeostazę żelaza, takie jak przeciążenie żelazem, zapasy żelaza w wątrobie, stan zapalny, niedobór żelaza, aktywność erytropoetyczna i niedotlenienie. Wyższe poziomy hepcydyny zmniejszają wchłanianie żelaza i odwrotnie (Chifman et al., 2014).



Ryc. 2. Główne tkanki biorące udział w regulacji metabolizmu żelaza (Yiannikourides and Latunde-Dada, 2019)

Hepcydyna moduluje poziom żelaza w surowicy i kontroluje wysycenie transferyny poprzez hamowanie uwalniania żelaza z enterocytów dwunastnicy, makrofagów i hepatocytów. Konkretnie, hepcydyna reguluje odpływ żelaza poprzez wiązanie się z eksporterem żelaza ferroportyną, indukując jego internalizację i degradację w lizosomach (Nemeth et al., 2004). Mechanizm ten jest ułatwiany przez kinazę Janus 2 (Jak2), która wiąże się z kompleksem ferroportyna-hepcydyna, fosforyluje ferroportynę i kieruje ferroportynę do degradacji (De Domenico et al., 2009). Opisano również ścieżkę degradacji ferroportyny za pośrednictwem ubikwityny (Qiao et al., 2012).

Ekspresja hepcydyny w wątrobie jest regulowana przede wszystkim przez mechanizmy transkrypcyjne, za pośrednictwem rodziny czynników transkrypcyjnych białka morfogenetycznego kości (BMP) i innych składników sygnalizacyjnych, które są członkami rodziny ligandów TGF- β (Babitt et al., 2006). Badania sugerują, że kluczowym regulatorem hepcydyny jest BMP6, którego poziom wzrasta w odpowiedzi na zapasy żelaza w wątrobie (Andriopoulos et al., 2009). BMP wiąże się ze

swoim receptorem (BMP-R) i ko-receptorem hemojuwelina (HJV), białkiem powiązaniem z glikozylofosfatydilinozytolem (Babitt et al., 2006). Ta interakcja indukuje fosforylację białek R-SMAD i późniejsze tworzenie aktywnych kompleksów transkrypcyjnych obejmujących ko-regulator SMAD4, które wiążą się z elementami reagującymi na BMP w promotorze hepcydyny (Wang et al., 2005). Receptor błonowy neogeniny (NEO1) wzmacnia sygnalizację BMP i ekspresję hepcydyny, prawdopodobnie poprzez stabilizację HJV (Lee et al., 2010). Transbłonowa serynowa proteaza TMPRSS6 rozszczepia HJV, inaktywując go i tym samym hamując produkcję hepcydyny (Silvestri et al., 2008). Inny mechanizm regulacji hepcydyny obejmuje białka hemochromatozy (HFE). Zaproponowano, że HFE działają jako przełączniki między dwoma czujnikami holo-Tf, Tfr1 i Tfr2. W tym modelu wysokie stężenia holo-Tf wypierają HFE z Tfr1 i umożliwiają interakcję HFE z Tfr2. Kompleks HFE/Tfr2 następnie aktywuje transkrypcję hepcydyny (Gao et al., 2009; Wallace et al., 2009).

Ekspresja hepcydyny jest również indukowana przez cytokinę zapalną – interleukinę-6 (IL-6) i inne cytokiny poprzez aktywację STAT3,

przebiegu sygnału i aktywatora transkrypcji 3 (Wrighting and Andrews, 2006; Verga Falzacappa et al., 2007). STAT3 wiąże się ze specyficznymi sekwencjami w promotorze HAMP. Uważa się, że indukcja hepcydyny za pośrednictwem cytokin przyczynia się do hipoferremii, która często towarzyszy przewlekłej infekcji, ostremu zapaleniu i nowotworom (Andrews, 2004).

Wolne żelazo może być toksyczne, ponieważ przyczynia się do powstawania rodników hydroksylowych w reakcji Fentona. Dlatego poziom żelaza wewnątrzkomórkowego musi być kontrolowany, podobnie jak poziom żelaza systemowego. Mechanizm regulacyjny, który koordynuje wewnątrzkomórkowe pobieranie, wykorzystanie, magazynowanie i wydalanie żelaza, koncentruje się na obecności białek regulujących poziom tego pierwiastka (IRP) i wykorzystuje reagujące na niego elementy (IRE) (Chifman et al., 2014).

Komórki ssaków pozyskują żelazo głównie za pośrednictwem receptora transferyny 1 (TfR1). Po związaniu holo-Tf z TfR1, związane z Tf żelazo jest wchłaniane w procesie endocytozy od receptora do zakwaszonych endosomów, gdzie żelazo trójwartościowe jest redukowane do Fe^{2+} przez transbłonową rodzinę metaloreduktaz (STEAP) (Ohgami et al., 2006). Dwuwartościowy transporter metali 1, DMT1, ułatwia transport żelaza dwuwartościowego z endosomów do cytoplazmy. W niektórych komórkach, np. enterocytach, DMT1 znajduje się również na powierzchni komórki i bierze udział w transporcie żelaza pozakomórkowego. Należy zauważyć, że rola białek STEAP została zbadana i dobrze zdefiniowana w hepatocytach, makrofagach, komórkach erytrocytów i erytroblastach, podczas gdy ich rola w tkankach obwodowych wymaga dalszych badań (Andrews, 2008). Po wyjściu z endosomu żelazo trafia do tzw. «labilnej puli żelaza» (LIP), cytozolowej puli słabo związanego żelaza, dostępnego do różnych interakcji z innymi cząsteczkami (Chifman et al., 2014).

Zasugerowano, że żelazo hemowe jest transportowane przez białko nośnikowe hemu 1 (SLC46A1) (Shayeghi et al., 2005), ale inne badanie wykazało, że SLC46A1 jest głównym transporterem kwasu foliowego (Qiu et al., 2006). Rok później SLC48A1 zidentyfikowano jako potencjalnego kandydata do importu hemu (Rajagopal et al., 2008). Niektóre komórki, takie jak makrofagi, pozyskują hem pośrednio

poprzez fagocytowanie erytrocytów i katabolizację hemu w celu uwolnienia żelaza. Hepatocyty mają kilka mechanizmów wnikania żelaza, w tym TfR2 i możliwy transporter żelaza niezwiązanego z transferyną (NTBI), transporter cynku Zip14 (SLC39A) (Liuzzi et al., 2006).

Chociaż nie jest znany mechanizm wydalania żelaza z organizmu, istnieje dobrze zorganizowana i kontrolowana regulacja wydalania tego pierwiastka z komórek. Ferroportyna, zlokalizowana na błonie plazmatycznej, jest obecna w wielu różnych typach tkanek ludzkich i uważa się, że jest jedynym eksporterem żelaza dwuwartościowego (Abboud et al., 2000; McKie et al., 2000; Donovan et al., 2005). Wymaga skoordynowanych reakcji ferrokazydaz (ceruloplazminy i/lub hefajstyny), aby aktywować utlenianie żelaza i ładowanie transferyny. Jak wspomniano powyżej, komórki eksportują również ten pierwiastek w postaci hemu za pośrednictwem FLVCR i ABCG2 (Krishnamurthy et al., 2007; Keel et al., 2008).

Głównym miejscem wykorzystywania żelaza jest mitochondrium, gdzie ten mikro-pierwiastek jest wykorzystywany do syntezy hemu i grup prostych klastra żelazo-siarka (Fe/S), ale mechanizmy, za pomocą których żelazo jest przemieszczane w komórce, nadal są obiektem badań. Żelazo jest importowane do mitochondrium przez transporter SLC mitoferrynę (SLC25A37) w celu włączenia do bioaktywnego hemu (Shaw et al., 2006). Wewnątrzkomórkowy hem reguluje swoją własną produkcję przez syntazę delta-aminolewulinianową (ALAS) i własną degradację – poprzez indukowanie oksygenazy hemowej (HO1) (Ferreira and Gong, 1995). Po syntezie hem jest eksportowany do cytozolu w celu włączenia go do białek. Żelazo, które nie jest eksportowane ani wykorzystywane, jest magazynowane w ferrytynie, białku cytozolowym, którego główną funkcją jest utlenianie i związanie nadmiaru żelaza w rdzeniu mineralnym ferrihydrytu. Ferrytyna jest polimerem 24-podjednostkowym, złożonym z ciężkich (ferrytyna H) i lekkich (ferrytyna L) łańcuchów polipeptydowych w zmiennych proporcjach. Skład podjednostkowy ferrytyny zależy od rodzaju komórki i stanu fizjologicznego organizmu (Theil et al., 2003). Każde białko ferrytyny może zawierać do 4500 atomów żelaza. Ponieważ wolne żelazo może powodować powstawanie reaktywnych form tlenu,

ferrytyna jest krytycznym białkiem w zapobieganiu uszkodzeniom komórek wywołanych przez żelazo poprzez wiązanie nadmiaru tego pierwiastka w formie niereaktywnej (Chifman et al., 2014).

Homeostaza żelaza wewnątrzkomórkowego jest regulowana post-transkrypcyjnie przez białka regulujące żelazo IRP1 (ACO1) i IRP2 (IREB2) w odpowiedzi na zmieniające się jego poziomy (Hentze and Kühn, 1996; Muckenthaler et al., 2008). IRP1 i IRP2 oddziałują poprzez wiązanie się z elementami reagującymi na żelazo (IRE), strukturami cis-regulacyjnymi zlokalizowanymi w niekodujących regionach (UTR) mRNA zaangażowanych w metabolizm żelaza. mRNA kodujące ferrytynę, ferroportynę, ALAS2, mitochondrialną akonitazę (ACO2) i czynnik indukowany niedotlenieniem 2α (HIF 2α) zawierają pojedynczy IRE w swoich 5'UTR. mRNA kodujące Tfr1 zawiera wiele IRE w obrębie 3' UTR, podczas gdy mRNA kodujące DMT1, homolog A cyklu podziału komórkowego 14 (Cdc14A), hydroksykwasową oksydazę 1 (HAO1) i MRCK α , zawierają pojedynczy IRE w swoich 3'UTR (Chifman et al., 2014).

Gdy wewnątrzkomórkowe poziomy żelaza są niskie, białka regulujące poziom tego pierwiastka wiążą się z IRE z dużym powinowactwem. Wiązanie IRP z 5' UTR IRE hamuje translację ferrytyny i ferroportyny, podczas gdy wiązanie z 3'UTR IRE powoduje stabilizację mRNA importera żelaza Tfr1, zwiększając tym samym poziom żelaza w cytoplazmie. W komórkach bogatych w żelazo efekt regulacyjny IRP jest zniesiony: IRP2 jest celem degradacji, a IRP1 nabywa kompletny klaster żelazowo-siarkowy, który zapobiega wiązaniu IRE (Chifman et al., 2014). Rola regulacji IRP w mechanizmach i funkcjach innych mRNA zawierających IRE jest słabiej poznana.

2. Wpływ dawstwa krwi na zasoby żelaza. Krew jest tkanką, składającą się z części płynnej zwanej osoczem oraz elementów upostaciowionych, morfotycznych – krwinek białych, krwinek czerwonych oraz płytek krwi. Rolą krwi w organizmie są funkcje odżywcze, oddechowe, wydalnicze, transportowe, buforujące, obronne, podtrzymujące i homeostaticzne (Dean, 2005). Objętość krwi u zdrowej, dorosłej osoby wynosi około 5000 ml. Więcej niż 99% krwi stanowią krwinki czerwone, które stanowią zarazem najważniejszą część tej tkanki. Każda krwinka czerwona składa się w

65% z wody oraz w 35% z masy stałej, w której aż 33% stanowi hemoglobina (Hb), a 2% stanowią pozostałe białka (Muzykantor, 2010). Hemoglobina jest zawierającym żelazo pigmentem krwinek czerwonych. Składa się z czterech łańcuchów globiny, z których każdy otacza cząsteczkę porfiryny zawierającą cząsteczkę żelaza zwaną hemem. Atom żelaza w hemoglobinie występuje na drugim stopniu utlenienia i jest to tzw. ferrohemoglobina, która wiąże tlen, działając jako transporter gazów oddechowych (Attaullah et al., 2023).

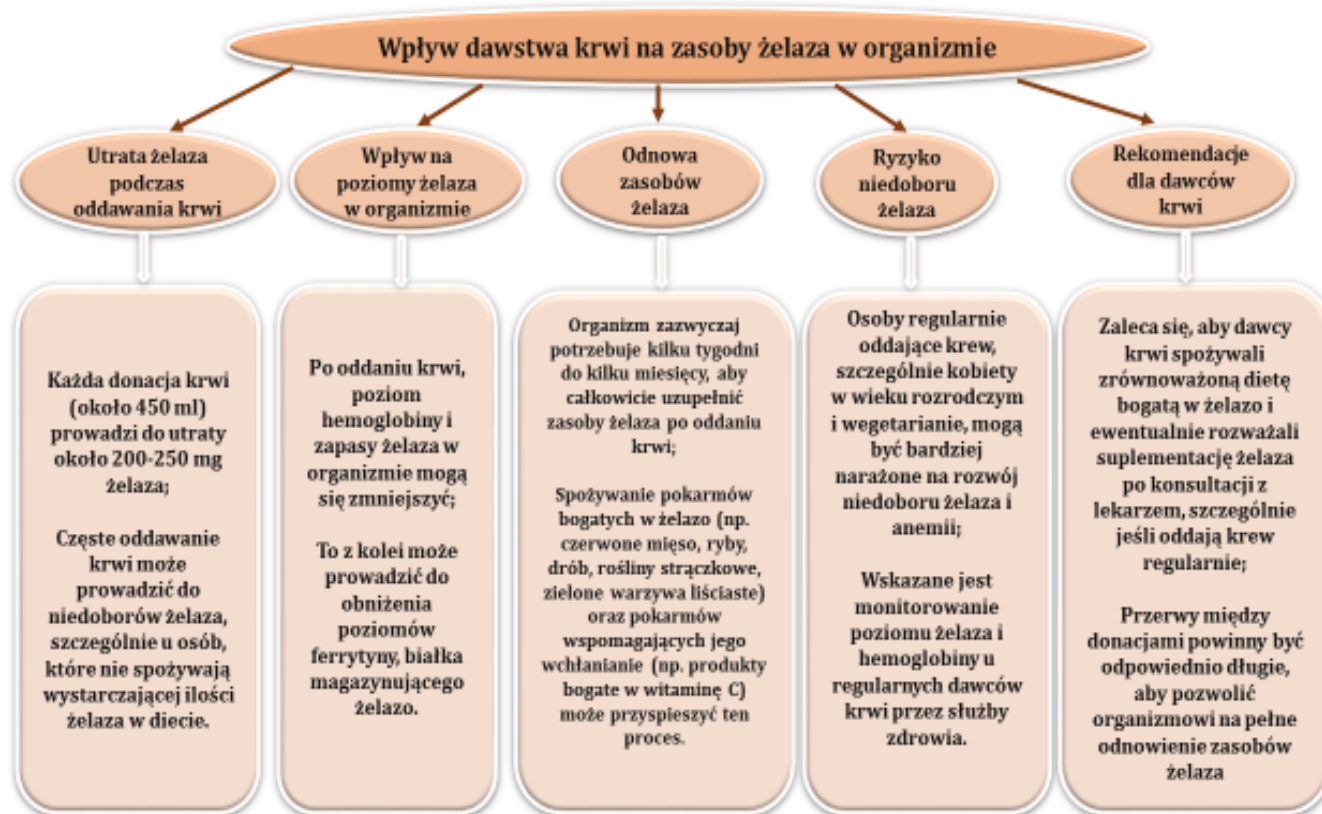
Oddanie jednej jednostki krwi pełnej (450 ml krwi), powoduje utratę od 225-250 mg żelaza (Timmer et al., 2020) oraz niemal 10 % całkowitej objętości krwi znajdującej się w organizmie (ryc. 3). W wyniku tak znaczącej utraty krwi dochodzi do nasilenia procesu erytropoezy (Caulier and Sankaran, 2022). Erytropoeza jest procesem złożonym, wymagającym podaży wielu różnych składników odżywczych i mineralnych tj. aminokwasów, żelaza, witamin (cyjanokobalamina, folacyna, pirydoksyna, niacyna, witamina C) oraz pierwiastków śladowych (miedź, cynk, kobalt, i nikiel), pełniących funkcje katalizatorów reakcji enzymatycznych tego procesu (Sadowska and Sacharczuk, 2011). Kluczowe jest zatem dostarczanie ich wraz z dietą.

Badaniem kwalifikacyjnym do oddania krwi jest oznaczenie poziomu Hb, który tak naprawdę nie jest miarodajnym wskaźnikiem poziomu żelaza w organizmie (*Blood Donor Counselling*, 2014). Minimalny poziom Hb przy którym dawca może oddać krew wynosi 12,5 g/dl w przypadku kobiet i 13,5 g/dl w przypadku mężczyzn. Dawcy mogą oddawać krew od czterech do sześciu razy w roku, co osiem tygodni. Badania wykazały, że częste oddawanie krwi może być powiązane z niedoborem żelaza i obniżeniem poziomu Hb w organizmie dawcy (Mast, 2014; Timmer et al., 2020; Mantadakis et al., 2022), jednakże niewiele badań wyjaśnia jakie czynniki dominują w procesie powstawania tego niedoboru (Lobier et al., 2019).

Kobiety jako dawcy krwi, ze względu na utratę krwi menstruacyjnej, w znacznie większym stopniu niż mężczyźni są narażone na niedokrwistość z powodu niedoboru żelaza. Utrata żelaza zarówno u kobiet jak i mężczyzn, jeżeli nie jest uzupełniana, prowadzi do niedoboru tego pierwiastka, a w konsekwencji do anemii (Boulton, 2004; Mast et al., 2020).

Poziom żelaza w organizmie dawcy jest uzależniony nie tylko od częstości oddawania krwi, ale także od wielu innych czynników, takich jak czynniki fizjologiczne, dieta czy styl życia (Mast et al., 2020). Lobier et al. (2019) wykazali, że na poziom żelaza w organizmie

wpływają wiek, wskaźnik BMI, alkohol czy też spożywanie mięsa, natomiast według Timmera et al. (2020) poziom hemoglobiny w organizmie zależy od wieku, płci, częstości oddawania krwi oraz różnic w sposobie życia dawców.



Ryc. 3. Główne aspekty wpływu dawstwa krwi na zasoby żelaza w organizmie

3. Formy żelaza w żywności. W żywności można znaleźć dwa rodzaje żelaza, w tym żelazo hemowe i niehemowe (Piskin et al., 2022). Żelazo hemowe znajduje się wyłącznie w produktach zwierzęcych, takich jak mięso, ryby i drób, podczas gdy żelazo niehemowe znajduje się w owocach, warzywach, fasoli suszonej, orzechach, produktach zbożowych (Hurrell, 1997) (ryc. 4). Żelazo hemowe jest wchłaniane z jelit wydajniej niż żelazo niehemowe (Roughhead et al., 2002). Ścisła kontrola wchłaniania żelaza z diety jest niezbędna do utrzymania jego poziomu w normalnym zakresie i zmniejszenia ryzyka jego niedoboru.

Biodostępność składników odżywczych w jelitach to proporcja składników odżywczych wchłanianych i wykorzystywanych ze strawionego pokarmu przez komórki enterocytów jelita. Wykazano, że organizm wchłania 25-30%

żelaza ze spożytych podrobów, 7-9 % ze spożytych zielonych warzyw liściastych, 4 % ze spożytych zbóż i 2 % ze spożytych roślin strączkowych, co sugeruje, że rodzaj pożywienia lub inne czynniki dietetyczne mogą wpływać na biodostępność żelaza (Zijp et al., 2000). Na przykład, kwas askorbinowy jest znanym czynnikiem dietetycznym, który poprawia biodostępność żelaza (Cepeda-Lopez et al., 2015); natomiast wapń, polifenole i fitiny zmniejszają wchłanianie tego pierwiastka w jelitach (Lönnerdal, 2010). Dlatego musimy wziąć pod uwagę rodzaj pożywienia w naszej diecie, aby utrzymać równowagę żelaza w organizmie, ponieważ niewystarczające jego wchłanianie prowadzi do niedokrwistości z powodu niedoboru tego mikroelementu (Piskin et al., 2022).



Ryc. 4. Występowanie w żywności oraz przyswajalność żelaza hemowego i niehemowego

Wchłanianie żelaza z diety odbywa się głównie przez enterocyty w dwunastnicy i górnym jelicie czczym jelita cienkiego. Ponieważ u człowieka nie istnieje aktywny układ wydalania żelaza, jego wchłanianie z jelit ma kluczowe znaczenie dla utrzymania równowagi tego pierwiastka w organizmie (Gulec et al., 2014). Typowa dieta zachodnia zawiera 7 mg żelaza na 1000 kcal, ale organizm wchłania dziennie tylko 1-2 mg tego mikroelementu (Johnson-Wimbley and Graham, 2011). W diecie występuje do 90% żelaza niehemowego. Jest obecne w żywności w postaci kompleksów Fe^{3+} , a jego wchłanianie zależy od czynników dietetycznych i jego poziomu w organizmie człowieka. Natomiast żelazo hemowe jest wchłanianie szybko i jest mniej podatne na czynniki dietetyczne. Żelazo hemowe stanowi 10% żelaza w diecie (Fleming and Bacon, 2005; Mackenzie and Garrick, 2005). Wchłanianie żelaza hemowego i niehemowego w jelitach odbywa się za pomocą dwóch różnych mechanizmów molekularnych, jednak obie formy trafiają do tej samej wewnątrzkomórkowej puli co nowo wchłonięte żelazo hemowe lub niehemowe i mogą być magazynowane w białku magazynującym ten pierwiastek (Gulec et al., 2014). Poziom żelaza w organizmie i rodzaje pożywienia mogą wpływać na jego wchłanianie w jelitach. Ponadto żeliwne garnki i naczynia

kuchenne również mogą być źródłem znacznych ilości żelaza w diecie, mianowicie przedostającego się z nich do żywności w formie hemowej lub niehemowej. Spożywanie wystarczającej ilości tego mikroelementu jest jednym z wymogów zdrowego życia (Piskin et al., 2022).

Wartości referencyjne dziennego spożycia (RDA), średniego dziennego spożycia składników odżywczych dla zdrowych ludzi w celu zaspokojenia potrzeb żywieniowych organizmu, zostały ustalone przez *Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (IOM) (Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients, 2001; Swanson, 2003)*. Ponadto ustalono średnie spożycie (AI) żelaza dla niemowląt od urodzenia do szóstego miesiąca życia, odpowiadające średniemu spożyciu żelaza u zdrowych niemowląt karmionych piersią. Według IOM, AI dla niemowląt w wieku do sześciu miesięcy i RDA dla niemowląt w wieku od siedmiu do trzynastu miesięcy wynoszą odpowiednio 0,27 mg/dzień i 11 mg/dzień. Dla dzieci w wieku od jednego roku do trzech lat, od czterech do ośmiu lat i od dziewięciu do trzynastu lat wartości te wynoszą odpowiednio 7 mg/dzień, 10 mg/dzień i 8 mg/dzień. U nastolatków (14-18 lat) wartość RDA jest inna dla chłopców i dziewcząt, mianowicie dla chłopców wynosi 11 mg/dzień, a dla dziewcząt 15 mg/dzień. Dla dorosłych powyżej dziewiętnastego roku życia

RDA wynosi 8 mg/dzień dla mężczyzn i 18 mg/dzień dla kobiet. Ponadto RDA wynosi 10 mg/dzień dla karmiących kobiet poniżej 18. roku życia i 9 mg/dzień dla kobiet powyżej 18. roku życia. Również dla wegetarian RDA ma różne wartości – dla wegetarianina mężczyzny wynosi 14 mg/dzień, a dla wegetarianek w wieku 14-18 lat, 19-50 lat i powyżej 51. roku życia wynosi odpowiednio 26 mg/dzień, 14 mg/dzień i 33 mg/dzień. Niedobór żelaza występuje, gdy zapotrzebowanie organizmu na ten mikroelement nie jest zaspokojone, co może prowadzić do problemów zdrowotnych (Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients, 2001).

Żelazo hemowe stanowi 10-15% całkowitego spożycia żelaza i jest lepiej wchłaniane niż żelazo niehemowe (wchłaniane w ilości 15-35%), w związku z czym ta pierwsza forma pierwiastka może stanowić ponad 40% całkowitego wchłaniania żelaza jelitowego (Hurrell and Egli, 2010). Żelazo niehemowe znajduje się zarówno w źródłach zwierzęcych, jak i roślinnych (tj. w zbożach, fasoli i ziołach) oraz we wzbogaconej w ten mikroelement żywności, takiej jak wzbogacone w żelazo zboża (McDermid and Lönnedal, 2012). Zawartość żelaza w żywności nie wskazuje na jego biodostępność, ponieważ wchłanianie tego mikroelementu zależy od kilku czynników, a przede wszystkim od jego formy. Rośliny zawierają głównie żelazo niehemowe i nawet jeśli zawartość tego pierwiastka w nich jest wysoka, jego wchłanianie jest niskie ze względu na interakcje między nim i cząsteczkami roślin (Rutzke et al., 2004). 30-70% żelaza w czerwonym mięsie występuje w postaci hemu. Głównym źródłem żelaza jest czerwone mięso bogate w żelazo hemowe, które jest wysoce biodostępne (Czerwonka and Tokarz, 2017).

Czerwone mięso jest głównym źródłem żelaza dla ludzi w krajach rozwiniętych. Natomiast w krajach słabo rozwiniętych i rozwijających się spożycie żelaza zależy od diety roślinnej, która zawiera głównie żelazo niehemowe, często wchłaniane w ilości mniejszej niż 10% (Zimmermann and Hurrell, 2007; Czerwonka and Tokarz, 2017). Spożycie produktów zawierających żelazo jest jednym z głównych czynników określających stan tego pierwiastka w organizmie.

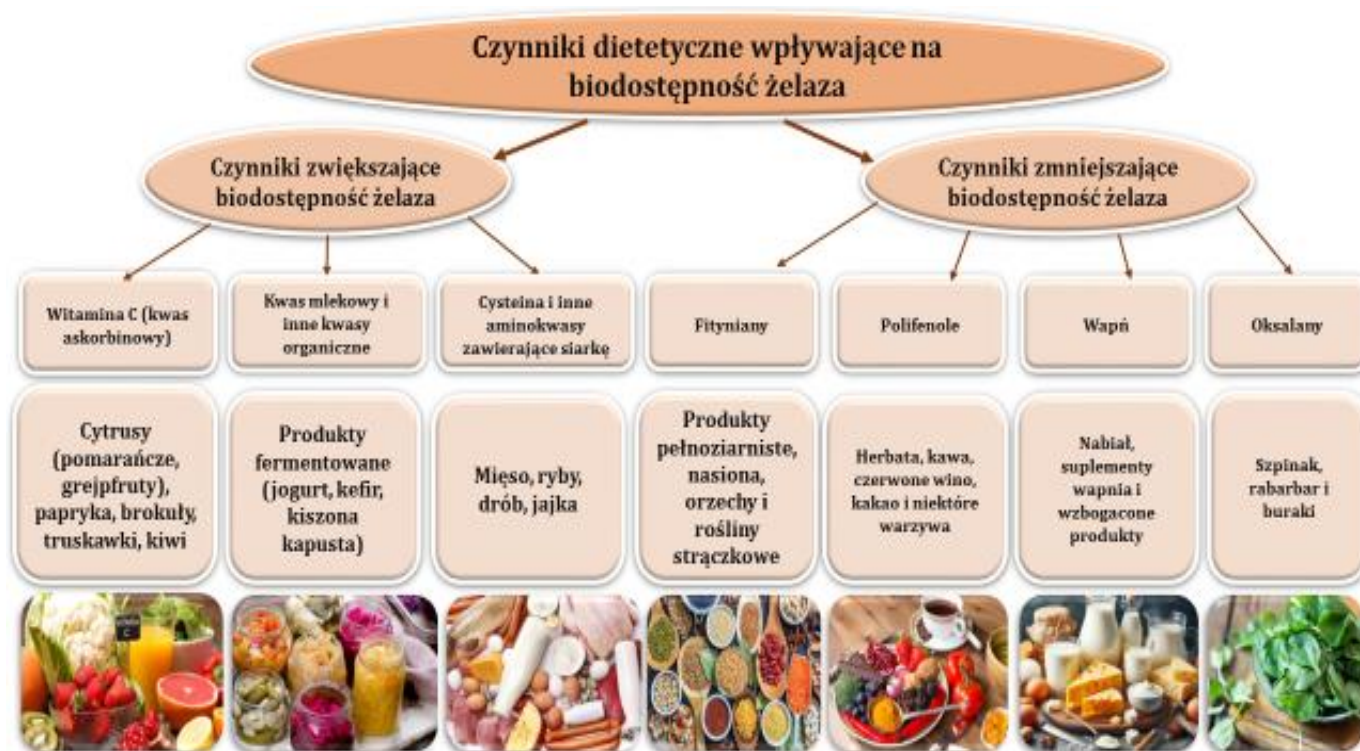
4. Czynniki dietetyczne wpływające na biodostępność żelaza. Żelazo jest obecne w bardzo wielu różnych produktach spożywczych,

zatem ważne jest stosowanie zdrowej i zróżnicowanej diety. Dieta dawcy krwi i jej składników powinna być tak zbilansowana, aby zawarte w niej żelazo oraz elementy ułatwiające jego wchłanianie zapewniały prawidłowe wartości wyników badań morfologicznych oraz umożliwiały odtworzenie rezerwy tkankowej tego mikroelementu (Piskin et al., 2022). Wchłanianie tego pierwiastka jest w dużym stopniu zależne od jego stanu fizycznego – dwuwartościowego i trójwartościowego (Piskin et al., 2022). Żelazo niehemowe w diecie występuje głównie w formie utlenionej lub trójwartościowej, chociaż jest bardziej prawdopodobne, że przez enterocyty zostanie wchłonięte żelazo dwuwartościowe (Gulec et al., 2014). Żelazo trójwartościowe wytrąca się w roztworach o pH powyżej 3, podczas gdy większość żelaza dwuwartościowego pozostaje rozpuszczalna przy pH obojętnym. Dlatego żelazo dwuwartościowe musi najpierw zostać rozpuszczone i schelatowane w żołądku, zanim będzie mogło zostać wchłonięte w mniej kwaśnym, proksymalnym jelicie cienkim (Conrad and Umbreit, 2002). Chelatacja zachodzi szybko przez inne składniki diety, gdy żelazo jest uwalniane do światła jelita. Te chelatory mogą działać jako wzmacniacze i inhibitory, wpływając na wchłanianie żelaza poprzez jego rozpuszczalność (Zijp et al., 2006). Skład diety jest zatem jednym z najważniejszych czynników wpływających na wchłanianie omawianego pierwiastka (Sharp et al., 2010) (ryc. 5).

Kwas askorbinowy. Obecność kwasu askorbinowego w diecie zwiększa wchłanianie żelaza niehemowego (Teucher et al., 2004). Kwas askorbinowy wspomaga wchłanianie żelaza, tworząc chelat z żelazem trójwartościowym Fe^{3+} przy kwaśnym pH żołądka, który to chelat jest rozpuszczalny przy zasadowym pH dwunastnicy (Lynch and Cook, 1980). Ponadto askorbinian, sól kwasu askorbinowego, działa jako pochłaniacz wolnych rodników i redukuje stopnie utlenienia żelaza do Fe^{2+} , które jest jedyną biodostępną formą dla komórek enterocytów (Smirnov, 2018). Fe^{2+} jest jedyną formą żelaza, które może być wchłaniane przez transportery żelaza jelitowych komórek enterocytów (Gulec et al., 2014). Do tej pory opublikowano liczne badania dotyczące wpływu kwasu askorbinowego na wchłanianie żelaza. Niedawno Khoja i in. (2021) donieśli, że gdy kwas askorbinowy został dodany do

produktów roślinnych (kiełki i nasiona kozieradki, miąższ owoców baobabu i liście moringi), zwiększył on wchłanianie żelaza w unieśmiertelnionej linii komórkowej gruczołaków ludzkiego jelita grubego Caco-2. He i in. (2018) zastosowali *in vitro* model komórkowy Caco-2 do zbadania wpływu kwasu fitynowego, szczawianu sodu i krzemianu sodu na biodostępność żelaza niehemowego w obecności i

nieobecności kwasu askorbinowego. Wyniki wykazały, że kwas fitynowy, szczawian sodu i krzemian sodu ograniczają wchłanianie żelaza trójwartościowego, ale kwas askorbinowy przeciwdziała temu hamującemu efektowi i zwiększa wchłanianie żelaza. Podobne wyniki uzyskali Villano i in. (2016), którzy wykazali, że kwas askorbinowy przeciwdziała hamującemu efektowi polifenoli.



Ryc. 5. Czynniki dietetyczne wpływające na biodostępność żelaza

Wykazano, że działanie witaminy C zależy od dawki (Davidsson et al., 1998), i może zwiększać wchłanianie żelaza tylko wtedy, gdy oba składniki odżywcze są przyjmowane razem (Cook and Reddy, 2001). Wchłanianie żelaza stopniowo wzrasta z 0,8% do 7,1%, gdy do płynnej formuły zawierającej 4,1 mg żelaza niehemowego dodawane są coraz większe ilości kwasu askorbinowego w zakresie od 25 do 1000 mg. Wykazano również, że 500 mg kwasu askorbinowego przyjmowanego z jedzeniem zwiększa wchłanianie żelaza sześciokrotnie, jednakże kwas askorbinowy przyjmowany 4-8 godzin wcześniej jest mniej skuteczny (Cook and Mosen, 1977). Włączenie kwasu askorbinowego do diety może wydawać się skuteczne w zwiększaniu wchłaniania żelaza, jednakże, pomijając trudności techniczne związane z przygotowaniem i przechowywaniem dań,

wynikające z niestabilności tego kwasu (Teucher et al., 2004), dodawanie go do całej diety ma raczej nieistotny wpływ na zwiększenie wchłaniania żelaza przez organizm człowieka (Cook et al., 1984; Hunt et al., 1994).

Fityniany. Fityniany i polifenole są głównymi inhibitorami wchłaniania żelaza z produktów roślinnych, ponieważ wiążą się z żelazem w przewodzie pokarmowym (Piskin et al., 2022). Fitynian jest naturalnie występującym składnikiem roślin i ma hamujący wpływ na biodostępność większości minerałów (Harland and Morris, 1995). Fitynian nie może być trawiony przez ludzki organizm i nie może być wchłaniany w jelicie cienkim z powodu braku endofitaz (Bohn et al., 2008). W rezultacie minerały chelatowane w fitynianie nie są biodostępne (Brouns, 2021). Hallberg i in. (1987) usunęli fitynian z otrębów za pomocą

endogennej fitazy, aby zaobserwować, jak jego usunięcie wpływa na wchłanianie i stwierdzili, że wchłanianie żelaza było znacznie zwiększone w przypadku braku fitynianu. Troesch i in. (2013) przeanalizowali dowody z badań na ludziach, oceniając wpływ fitazy na biodostępność żelaza i cynku. Doszli do wniosku, że fitaza wspomaga wchłanianie żelaza i cynku z posiłków bogatych w fityniany i może potencjalnie poprawić wchłanianie magnezu, wapnia i fosforu (Troesch et al., 2013). Dawkozależny, hamujący wpływ fitynianu sodu na wchłanianie żelaza został zbadany przez Hallberga i in. (1989). Podawali oni ludziom bułki pszenne bez fitynianu i z fitynianem (w dawkach od 2 do 250 mg). Wykazali, że hamujący wpływ fitynianu był istotnie zależny od jego ilości w bułkach. Podczas gdy 2 mg hamowały wchłanianie żelaza o 18%, to wartość ta osiągnęła 82% przy dawce fitynianu wynoszącej 250 mg. W badaniu tym ocenili również wpływ kwasu askorbinowego i stwierdzili, że dodatek kwasu askorbinowego przeciwdziałał hamującemu wpływowi fitynianu (Hallberg et al., 1989).

Uważa się, że hamujący wpływ fitynianu na wchłanianie żelaza jest wyolbrzymiony w badaniach nad pojedynczym posiłkiem w porównaniu z badaniami nad pełnowartościową dietą (Gibson et al., 2010). Na przykład, badanie pojedynczego posiłku kobiet w ciąży przeprowadzone przez Al Hasana i in. (2016) wykazało, że spożycie fitynianu hamowało biodostępność żelaza i wapnia. Z kolei Armah i in. (2015) wykazali, że regularne spożywanie diety bogatej w fitynian może zmniejszyć jego hamujący wpływ na wchłanianie żelaza niehemowego u młodych kobiet z niskim poziomem żelaza. Podobnie Hoppe i in. (2019) donieśli, że spożywanie chleba pełnoziarnistego z niską zawartością fitynianu jako części całkowitej diety nie miało znaczącego wpływu na stężenie żelaza w porównaniu ze spożywaniem chleba pełnoziarnistego z wysoką zawartością tego inhibitora. Wcześniej Mendoza i in. (2001) badali wchłanianie żelaza z owsianek zrobionych z genetycznie zmodyfikowanych rodzajów kukurydzy o niskiej zawartości fitynianu i z niemodyfikowanej kukurydzy dzikiego typu, przy czym wykorzystane kukurydze zostały wzbogacone siarczanem żelaza lub EDTA. Nie stwierdzono istotnego wpływu modyfikowanej diety o niskiej zawartości fitynianu na poprawę wchłaniania żelaza (Mendoza et al., 2001).

Polifenole. Polifenole występują w diecie człowieka głównie ze względu na ich obecność w warzywach, zbożach, przyprawach, herbacie, kawie, czerwonym winie i kakao (Pandey and Rizvi, 2009). Polifenole są znanymi inhibitorami biodostępności żelaza i uważa się, że działają podobnie do fitynianu, tworząc kompleksy z żelazem (Scarano et al., 2023). Wykazano, że polifenole mają zdolność do wiązania żelaza, z powodu występowania w nich grup katecholowych i galoilowych. Niektóre badania wykazały, że struktura 6,7-dihydroksylowa, katechol pierścienia B, grupy galoilowe, wiązanie podwójne 2,3 oraz grupy 3- i 5-hydroksylowe współobecne z grupą 4-keto są związane z właściwościami chelatującymi i dlatego są kandydatami na miejsca wiązania żelaza (Perron and Brumaghim, 2009; Wang et al., 2021). Co ciekawe, przy użyciu komórek Caco-2 wykazano, że niektóre polifenole, takie jak katechina i kemferol, wspomagają wchłanianie żelaza, natomiast mirycetyna, mirycetyna-3-glukozyd, kwercetyna i kwercetyna-3-glukozyd były inhibitorami wchłaniania tego pierwiastka (Hart et al., 2015, 2017).

Petry i in. (2010) zbadali wpływ polifenoli fasoli (20, 50 i 200 mg) na wchłanianie żelaza u ludzi. Aby sprawdzić wpływ polifenoli fasoli na wchłanianie żelaza, do mąki chlebowej, w której kwas fitynowy został zniszczony podczas fermentacji ciasta, dodawano coraz większe ilości łupin fasoli czerwonej jako źródła polifenoli. Średnie wchłanianie żelaza z całej fasoli wyniosło 2,5%. Dwadzieścia mg polifenoli fasoli nie miało wpływu na wchłanianie żelaza, natomiast 50 mg i 200 mg polifenoli z fasoli zmniejszyło biodostępność żelaza odpowiednio o 14% i 45%, co pokazuje, że polifenole z czerwonej fasoli hamują biodostępność żelaza w sposób zależny od dawki. Porównanie wyników badań wykazało, że defitynizacja nie zwiększa wchłaniania żelaza w obecności polifenoli, ale w ich nieobecności wchłanianie wzrasta 3,4-krotnie (Petry et al., 2010).

Bioaktywne polifenole w diecie hamują wchłanianie żelaza hemowego w sposób zależny od dawki. Niewielkie ilości związków polifenolowych obecnych w żywności są w stanie zmniejszyć transport żelaza hemowego przez enterocyty jelitowe. Jednak hamującemu wpływowi związków polifenolowych w pożywieniu na wchłanianie żelaza hemowego można przeciwdziałać za pomocą kwasu

askorbinowego i można tego uniknąć, zmniejszając spożycie polifenoli podczas przyjmowania kwasu askorbinowego. Regularne spożywanie kwasu askorbinowego może łatwo przeciwdziałać hamującemu wpływowi niskich stężeń polifenoli w pożywieniu na wchłanianie żelaza hemowego, ale nie może przeciwdziałać hamującemu wpływowi wysokich stężeń polifenoli (Ma et al., 2011). Badanie przeprowadzone przez Ndiaye i in. (2020) wykazało, że herbata bogata w polifenole zmniejszyła wchłanianie żelaza z chleba pszennego wzbogaconego siarczanem żelaza lub fumaranem żelaza o 56-72% u senegalskich matek i ich dzieci. Lazrak i in. (2021) zbadali biodostępność żelaza z NaFe-EDTA dodanego do posiłków na bazie mąki pszennej zarówno u kobiet bez niedokrwistości, jak i u kobiet z niedokrwistością aplastyczną, spożywających tradycyjną marokańską zieloną herbatę, która zawierała 492 mg kwasu galusowego/ml polifenoli na porcję dziennie. Wyniki wykazały, że spożycie herbaty zmniejszyło wchłanianie żelaza z NaFe-EDTA o ponad 85% zarówno u kobiet z niedokrwistością aplastyczną, jak i u kobiet bez niedokrwistości. Frakcyjna absorpcja żelaza z posiłków na bazie mąki pszennej z herbatą i bez herbaty była około dwukrotnie wyższa u kobiet z niedokrwistością aplastyczną niż u kobiet bez niedokrwistości. Suplementacja żelaza w postaci NaFe-EDTA nie może przewyciężyć zahamowania absorpcji tego pierwiastka przez polifenole z herbaty, nawet w niedokrwistości aplastycznej, gdzie absorpcja żelaza jest silnie zwiększona (Lazrak et al., 2021).

Błonnik pokarmowy. Błonnik pokarmowy jest jednym z głównych składników jadalnych części roślin. Jest on odporny na trawienie i wchłanianie w jelicie cienkim człowieka i ulega całkowitej lub częściowej fermentacji w jelicie grubym (Dhingra et al., 2012). Badania analizujące związek między biodostępnością żelaza a zawartością błonnika pokarmowego wykazały niejednoznaczne wyniki (Feltrin et al., 2009). nierozpuszczalny błonnik pokarmowy hamuje biodostępność minerałów. Jednak rozpuszczalny błonnik ma mniejszy wpływ na wchłanianie żelaza w jelitach (Bosscher et al., 2003). Agrizzi Verediano i in. (2023) przeanalizowali dowody dotyczące wpływu błonnika pokarmowego na wchłanianie żelaza i biomarkery związane z poziomem tego pierwiastka. Badania oceniały błonnik pokarmowy w postaci fruktooligosacharydów, galaktooligo-

sacharydów, inuliny, pektyny, gumy guar, oligofruktozy, ksylooligosacharydów i mannanooligosacharydów. Wyniki nie wykazały istotnych powiązań między spożyciem błonnika a biomarkerami związanymi z wchłanianiem i poziomem żelaza (hemoglobina i frakcyjna absorpcja żelaza). Jednak obecne dowody mogą być niewystarczające, aby unieważnić zalecenie błonnika pokarmowego jako środka modyfikującego biodostępność i wchłanianie żelaza w diecie (Agrizzi Verediano et al., 2023).

Weinborn i in. (2017) przeprowadzili badanie dotyczące wpływu mieszanki prebiotycznej rozpuszczalnych włókien (inuliny, polidekstrozy, gumy arabskiej i gumy guar) na poziom żelaza hemowego i niehemowego. Odkryli, że podczas gdy mieszanka prebiotyczna poprawiała wchłanianie żelaza hemowego, wchłanianie żelaza niehemowego nie zostało zmienione (Weinborn et al., 2017). Inne badanie na ludziach dotyczące zwiększenia efektów inuliny przeprowadzili Petry i in. (2012). Jednak zgłosili, że inulina nie wpływa na wchłanianie żelaza u dorosłych kobiet. Niedawne badanie *in vivo* na szczurach na temat biodostępności wzbogaconego żelazem jogurtu uzupełnionego o inulinę długo- i krótkołańcuchową zostało opublikowane przez Mohammeda i in. (2021). Wyniki wykazały, że jogurt wzbogacony inuliną, zwłaszcza inuliną długołańcuchową i żelazem, ma obiecujący wpływ na leczenie niedoboru żelaza poprzez poprawę jego wchłaniania. Możliwym mechanizmem zwiększonego działania prebiotyków może być to, że prebiotyki aktywują wchłanianie żelaza poprzez fermentację prebiotyczną wykonywaną przez pożyteczne mikroorganizmy w okrężnicy, które produkują krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCFA) (You et al., 2022). SCFA mogą pomóc obniżyć pH zawartości światła jelita, poprawić rozpuszczalność żelaza poprzez zwiększenie redukcji Fe(III) do Fe(II) i zwiększyć powierzchnię absorpcyjną poprzez stymulację proliferacji komórek nabłonkowych (Capuano, 2017).

Wapń. Wyniki badań różnych autorów na temat wpływu wapnia na wchłanianie żelaza hemowego i niehemowego nie są zdecydowanie jednoznaczne. Hallberg i in. (1991) ustalili, że 40–300 mg wapnia (w postaci chlorku) miało zależny od dawki efekt hamujący na wchłanianie 5 mg żelaza niehemowego (w postaci siarczanu), ale większe ilości wapnia nie powodowały dalszego hamowania. Wymieniony wyżej zespół ustalił również, że 165 mg wapnia

(w postaci chlorku) zmniejszyło wchłanianie 5 mg żelaza hemowego (w postaci hemoglobiny króliczej), nie ustalono natomiast krzywej dawka-odpowiedź dla wpływu wapnia na wchłanianie żelaza hemowego (Hallberg et al., 1991, 1993). Dowody na wpływ wapnia na wchłanianie żelaza pochodzą głównie z badań Hallberga i in. (1991, 1993) oraz Dawson-Hughes i in. (1986), którzy nie wyizolowali wpływu wapnia od wpływu innych składników diety, a ponadto wyciągnęli wnioski na podstawie pojedynczych posiłków. Natomiast wyniki jedyne badania, w którym przeanalizowało wpływ wapnia (w postaci węglanu) na wchłanianie żelaza niehemowego (w postaci siarczanu) przyjmowanego na pusty żołądek, nie potwierdziły hipotezy hamowania (Cook et al., 1991). W badaniu Gaitán i in. (2011) przyjmowano łącznie 600 mg wapnia i 37 mg żelaza niehemowego lub 300 mg wapnia i 18 mg żelaza niehemowego. Badanie to również nie wykazało krzywej dawka-odpowiedź dla wpływu wapnia na wchłanianie żelaza niehemowego lub hemowego.

Dotychczasowe wyniki badań sugerują, że wapń wpływa na wchłanianie żelaza poprzez regulację białek transportujących żelazo w enterocytach (Lönnerdal, 2010). Mechanizm tych reakcji nie jest w pełni zrozumiały, a w literaturze znaleziono tylko próby jego wyjaśnienia. Sugerowano między innymi, że działanie hamujące wapnia może wystąpić na końcowych etapach transportu z komórek śluzówki do osocza po tym, jak dwie formy żelaza dostaną się do wspólnej puli żelaza komórkowego, prawdopodobnie dlatego, że te dwie formy żelaza mają różne receptory na komórkach śluzówki (Hallberg et al., 1993). Jednak wyniki innych badań potwierdzają, że chociaż istnieją różnice w receptorach dla żelaza hemowego i niehemowego, działanie hamujące wapnia może wystąpić podczas początkowego wejścia żelaza do komórek śluzówki poprzez hamowanie transportu tego pierwiastka (Roughead et al., 2005). Mechanizm ten nie jest w pełni zrozumiały, pomimo iż udokumentowano hamujący wpływ wapnia na biodostępność żelaza. Benkhedda i in. (2010) wykazali mianowicie, że wapń zmniejszył wchłanianie żelaza z 10,2% do 4,8%; jednak wpływ wapnia różnił się znacząco między osobami o podobnych zapasach żelaza. Autorzy doszli do wniosku, że oprócz ilości żelaza skumulowanego w organizmie i rodzaju diety,

osobnicze zmienne fizjologiczne lub genetyczne znacząco wpływają na wchłanianie żelaza u osób o podobnych zapasach tego pierwiastka w organizmie (Benkhedda et al., 2010). W tym kontekście czynniki inne niż status żelaza mogą wpływać na ekspresję jego transporterów, odpowiedzialnych za wchłanianie tego mikroskładnika w jelitach i ich lokalizację komórkową (Lönnerdal, 2010).

Toxqui i in. (2013) zbadali, czy spożywanie produktu mlecznego wzbogaconego żelazem i witaminą D ma dodatkowy wpływ na metabolizm żelaza u kobiet miesiączkujących z niedoborem żelaza w porównaniu ze spożyciem odpowiedniego produktu z dodatkiem wyłącznie tego mikroelementu. Spożywanie wzbogaconego żelazem produktu mlecznego, który zapewniał 100 % wymaganego dziennego spożycia tego mikroelementu, nie poprawiło jego statusu u kobiet z jego niedoborem w ciągu czterech miesięcy w randomizowanym badaniu kontrolowanym. Wyniki wykazały, że spożywanie wzbogaconego żelazem mleka nie poprawiło statusu tego pierwiastka u kobiet z jego niedoborem i miesiączkujących. Autorzy doszli do wniosku, że przyczyną tego efektu była obecność wapnia i kazeiny w produkcie (Toxqui et al., 2013). Walczyk i in. (2014) zbadali wpływ wapnia (0, 100 i 200 mg/posiłek) na wchłanianie żelaza z napoju na bazie kazeiny/serwatki wzbogaconego siarczanem żelaza w nieobecności i obecności kwasu askorbinowego (0, 42,5 i 85 mg/posiłek) w serii randomizowanych badań krzyżowych u dzieci w wieku szkolnym z niedoborem żelaza (IR) oraz z niedokrwistością spowodowaną niedoborem tego pierwiastka (IDA). W przypadku braku wapnia i kwasu askorbinowego wchłanianie żelaza z napoju kazeinowego/serwatkowego było o 20% niższe u dzieci z IR niż u dzieci z IDA. Dodatek wapnia zmniejszył średnie wchłanianie żelaza o 18-27%, przy czym efekt był większy przy dużych dodatkach wapnia. Kwas askorbinowy w stosunku molowym 2:1 lub 4:1 zwiększał wchłanianie żelaza o współczynnik 2-4 i znacznie nadkompensował hamujący wpływ wapnia na wchłanianie żelaza w sposób zależny od dawki. Sole wapnia (stosowane jako suplementy) i mleko/produkty mleczne miały podobne efekty (Walczyk et al., 2014).

Białka. Białka są inhibitorami lub wzmacniaczami wchłaniania żelaza, w zależności od ich źródła. Podczas gdy białka z mięsa występują jako wzmacniacze (Björn-Rasmussen

and Hallberg, 1979; Hurrell et al., 2006), inne białka, takie jak jaja, były zgłaszane jako inhibitory (Ishikawa et al., 2007). Kim i in. (1995) przeprowadzili kompleksowe badanie porównujące wpływ białek z różnych źródeł (wieprzowiny, albuminy jaj, żółtka jaj, soi i kazeiny) na wchłanianie żelaza i jego rozpuszczalność w jelitach. Stwierdzili, że dodatek białka wieprzowego zwiększał biodostępność żelaza i jego rozpuszczalność w jelitach, natomiast dodatek żółtka jaja hamował procesy te w najwyższym stopniu (Kim et al., 1995). Cook i in. (1981) zbadali wpływ różnych półocyszczonych białek, w tym kazeiny, albuminy jaj i izolowanego białka sojowego. Gdy albumina jaj i kazeina zostały zastąpione w półsyntetycznym posiłku w ilościach równoważnych białku pełnowartościowemu, zaobserwowano zbliżoną średnią absorpcję żelaza (2,5% i 2,7%), natomiast izolowane białko sojowe zmniejszyło wchłanianie do 0,5% (Cook et al., 1981). Lynch i in. (1994) ustalili wkład składników izolatu białka sojowego w hamowanie wchłaniania żelaza. Doszli do wniosku, że dwoma głównymi inhibitorami wchłaniania żelaza w izolatach białka sojowego była część związana z białkiem, znajdująca się we frakcjach kwasu fitynowego i konglicyny (7S).

Tkanki zwierzęce, takie jak wołowina, kurczak, ryba, wieprzowina i jagnięcina, mają pozytywny wpływ na wchłanianie niehemowego żelaza z diety (Cook and Monsen, 1976). Wzmacniający wpływ tkanek zwierzęcych na wchłanianie niehemowego żelaza został po raz pierwszy ogłoszony przez Layrisse i in. (1968) – autorzy ci wykazali, że mięśnie cielęce, wątroba cielęca i ryby zwiększają wchłanianie niehemowego żelaza o 150% u ludzi spożywających posiłki z kukurydzy i czarnej fasoli (Layrisse et al., 1968). Później Bjorn-Rasmussen i Hallberg (1979) poinformowali, że dodatek kurczaka, wołowiny, ryby lub grasicy cielęcej do mączki kukurydzianej zwiększa wchłanianie żelaza niehemowego. Badania tych autorów wykazały, że mięso zwiększa wchłanianie żelaza poprzez inaktywację czynników luminalnych, które to czynniki zapobiegają wchłanianiu tego pierwiastka. Ponadto wymienieni autorzy stwierdzili, że najbardziej prawdopodobnym mechanizmem tego efektu jest tworzenie transportera luminalnego, który transportuje żelazo do błony komórek błony śluzowej (Björn-Rasmussen and Hallberg, 1979).

O pozytywnym wpływie różnych gatunków mięsa na biodostępność żelaza informowali

także inni badacze zajmujący się tym problemem. Engelmann i in. (1998) po dodaniu 25 g chudej wołowiny do 80 g puree warzywnego odnotowali wzrost wchłaniania żelaza niehemowego u niemowląt. Bech i in. (2003) ustalili, że niewielka ilość wieprzowiny (>50 g) dodana do posiłku o niskiej biodostępności żelaza, bogatego w inhibitory i ubogiego we wzmacniacze (7,4 mg witaminy C i 220 mg fitynianu) zwiększa biodostępność żelaza w sposób zależny od dawki (Bech et al., 2003). Navas-Carretero i in. (2008) zbadali wpływ rybiego mięsa (łososia) na biodostępność żelaza niehemowego z bogatej w fityniany mączki fasolowej i ustalili, że mięso rybne dodane do tej mączki znacznie poprawiło wchłanianie żelaza u kobiet z niedoborem tego mikroelementu (Navas-Carretero et al., 2008). O'Flaherty i in. (2019) wykazali, że wzbogacenie dziecięcych płatków ryżowych mięsem z nerek, serca i płuc poprawiło wchłanianie żelaza niehemowego odpowiednio do 207,13%, 265,28% i 171,21%.

Mechanizm wzmacniającego wpływu tkanek zwierzęcych, znany jako czynnik mięsny, nie został dotychczas zidentyfikowany. Hurrell i in. (2006) próbowali sklasyfikować czynnik mięsny. Wchłanianie żelaza niehemowego poprawiło się odpowiednio o 180% i 100%, gdy liofilizowane mięso wołowe i mięsień kurczaka porównano z albuminą jaj. Ustalili, że zwierzęca tkanka mięśniowa ma wpływ związany z białkiem i/lub peptydem na wchłanianie żelaza, ale także inne zmienne, takie jak glikozaminy, mogą również odgrywać rolę w procesach wchłaniania tego pierwiastka (Hurrell et al., 2006).

Kwas szczawiowy i szczawiany. Kwas szczawiowy i szczawiany są uważane za niepożądane składniki diety ludzi i zwierząt. Nadmierne spożycie roślin bogatych w szczawiany może prowadzić do hiperoksalurii, która może skutkować kamieniami nerkowymi i pęcherzowymi, a w najgorszym przypadku obrzękiem nerek i zwapnieniem (Garland et al., 2020). Donoszono, że kwas szczawiowy hamuje wchłanianie wapnia (Heaney et al., 1988) i cynku (Kelsay and Prather, 1983). Natomiast jego wpływ na wchłanianie żelaza jest kontrowersyjny. Badania na szczurach wykazały, że wpływ oczyszczonego kwasu szczawowego dodanego do diety jest neutralny (Van Campen and Welch, 1980; Gordon and Chao, 1984). Badanie na ludziach także wykazało, że wpływ kwasu szczawowego na wchłanianie żelaza jest nieistotny. Wymienieni autorzy zasugerowali, że

większość żelaza w posiłku występuje w postaci żelaza w fazie trawienia w żołądku i dwunastnicy. Gdy żelazo występuje w formie dwuwartościowej, np. w produktach bogatych w kwas askorbinowy, to kwas szczawiowy może ograniczać wchłanianie tego pierwiastka poprzez produkcję nierozpuszczalnego szczawianu żelaza (Storcksdieck genannt Bonsmann et al., 2008). Z kolei Gupta i in. (2006) podali, że kwas szczawiowy jest najistotniejszym inhibitorem wchłaniania żelaza i wapnia z zielonych liściastych warzyw.

5. Wymagania żywieniowe dawców krwi. Wymagania żywieniowe dawców krwi są szczególnie istotne w celu zapewnienia zdrowia i dobrego samopoczucia zarówno dawców, jak i osób otrzymujących od nich krew. Dawcy krwi powinni zwracać szczególną uwagę na swoją dietę, aby zapewnić sobie odpowiednią podaż kluczowych składników odżywczych i płynów, żeby mogli po donacji szybko się regenerować i utrzymać optymalne zdrowie (ryc. 6).



Ryc. 6. Wymagania żywieniowe dawców krwi

Ze względu na utratę żelaza wraz z oddawaną krwią, dieta dawcy krwi i wchłanianie z niej żelaza są szczególnie istotne dla zapewnienia homeostazy tego pierwiastka w organizmie, a tym samym dla utrzymania właściwego poziomu Hb. Dużą rolę diety w utrzymaniu homeostazy żelaza w organizmie wykazały badania przeprowadzone na grupie holenderskich dawców (Timmer et al., 2020). Autorzy tych badań ustalili, że u dawców, którzy przyjmowali z pokarmem większe ilości żelaza hemowego i mniejsze ilości żelaza niehemowego poziomy Hb i ferrytyny były wyższe. Żelazo przyjmowane wraz z dietą jest ściśle powiązane z poziomem Hb i ferrytyny. Na podstawie badania wpływu doustnej suplementacji żelaza po oddaniu krwi u uczestników z niedoborem żelaza, którzy nie przyjmowali suplementów stwierdzono duże zróżnicowanie tempa regeneracji Hb, oraz czasu regeneracji

znacznie przekraczającego zalecany minimalny odstęp między donacjami, wynoszący 56 dni. Stały wzrost intensywności regeneracji Hb stwierdzono u uczestników, u których przed donacją poziom ferrytyny był niższy niż 50 ng/ml, przyjmujących 37,5 mg pierwiastkowego żelaza dziennie. Wzrost poziomu Hb powyżej wartości wyjściowych (powyżej 50 ng/ml) u dawców z niedoborem żelaza, którzy otrzymywali jego suplementację po ostatniej donacji, odzwierciedlał wcześniej istniejącą względną anemię, mimo że od poprzedniego oddania krwi minęło co najmniej 120 dni. U dawców, którzy nie przyjmowali suplementów żelaza poziom ferrytyny nie powrócił do poziomu sprzed donacji w ciągu 168 dni. Autorzy tego badania stwierdzili również, że suplementacja żelaza w równym stopniu poprawiła poziom Hb i czas regeneracji tego mikroelementu u dawców płci męskiej i

żeńskiej, a w analizie eksploracyjnej wykazano, że uczestnicy z większym prawdopodobieństwem osiągnęli poziom Hb żylnej wynoszący 12,5 g/dl lub więcej w ciągu 56 dni dzięki suplementacji żelazem (Timmer et al., 2020).

Chociaż bezwzględna wielkość spadku poziomu Hb po pojedynczej donacji krwi była stosunkowo niewielka i miała nieistotne znaczenie kliniczne, to należy podkreślić, że systematyczne oddawanie krwi jest procesem iteracyjnym, który prowadzi do postępującej utraty żelaza i do anemii u niektórych cyklicznych dawców, dlatego ważne jest, aby ubytek Hb po donacji został uzupełniony przed donacją kolejną. Przedstawione wyżej wyniki badań Timmera i in. (2020) są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Simona i in. (1981), którzy wykazali spadek poziomu ferrytyny u częstych dawców przy braku suplementacji żelaza.

Badanie znaczenia suplementacji żelaza u częstych dawców (4-6 razy w roku) wykazało, że właściwy poziom ferrytyny utrzymywał się u dawców przyjmujących 20 mg żelaza pierwiastkowego dziennie, natomiast spadał u dawców w grupach kontrolnych, którym podawano placebo. Tylko u dawców przyjmujących 40 mg suplementu dziennie poziom ferrytyny wzrastał, co skutkowało dodatnim bilansem żelaza (Radtke et al., 2004).

Wyniki badań *The Hemoglobin and Iron Recovery Study (HEIRS)* przeprowadzonych w 2012 r. w czterech amerykańskich centrach krwiodawstwa uczestniczących w programie *National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI)* sugerują, że regeneracja hemoglobiny u wielu dawców trwa znacznie dłużej niż to zgłaszano w badaniach wcześniejszych, na podstawie których ustalono odstęp między donacjami wynoszący 8 tygodni. Jednakże dowody na poparcie ośmiotygodniowego standardu opierały się na badaniach przeprowadzonych na małej liczbie młodych uczestników z wysokim poziomem żelaza (np. Wadsworth, 1955) lub na ograniczonych danych uzyskanych od regularnych dawców (np. Fowler and Barer, 1942), zanim dostępne były wiarygodne pomiary poziomu żelaza. Nowsze badania, wykorzystujące metodę karboksyhemoglobiny do ilościowego określenia całkowitej masy hemoglobiny wykazały, że hemoglobina była uzupełniana średnio 36 dni po donacji, ale badania te miały ograniczoną generalizację,

ponieważ były ograniczone tylko do młodych mężczyzn (Pottgiesser et al., 2008).

Pachikian i in. (2020) przedstawili wyniki nowatorskiego badania, oceniającego wpływ suplementacji żelaza na biomarkery statusu tego mikroelementu i homeostazy oraz na sprawność fizjologiczną dawców. W ich randomizowanym, podłużnym badaniu (sposób prowadzenia badania, który pozwala obserwować te same osoby wielokrotnie, na przestrzeni wielu lat) uczestniczyło czterdziestu czterech umiarkowanie wytrenowanych mężczyzn w wieku 18-40 lat, którzy nigdy nie byli dawcami krwi. Mężczyzn tych przebadano przed i po oddaniu krwi, aby ocenić liczne wskaźniki hematologiczne i biomarkery statusu żelaza oraz sprawności fizjologicznej. Trzy z czterech grup przydzielono do oddania standardowej pełnej krwi (WB) dwukrotnie, w odstępie trzech miesięcznych, natomiast czwarta grupa (kontrolna) – oddała krew pozorowaną dwa razy w odstępie trzech miesięcy (donacja symulowana). Ponieważ badani mieli związane oczy podczas oddawania krwi, żaden z nich nie wiedział, czy ich donacja była prawdziwa, czy symulowana. Grupa kontrolna otrzymała tabletki placebo, bez zawartości żelaza, podobnie jak jedna z trzech grup, która oddała 470 ml WB. Pozostałe dwie grupy otrzymały pigułki zawierające 20 mg lub 80 mg pierwiastkowego żelaza w postaci glukonianu żelazawego, z instrukcją przyjmowania jednej pigułki dziennie przez 28 dni po donacji. Symulowana donacja i tabletki placebo zapewniły istotną ochronę przed zakłóceniem powiązań między donacją, biomarkerami i wydajnością ćwiczeń, a także przed wpływem uzupełniającego żelaza na te powiązania. W rezultacie oceny wpływu donacji na wytrzymałość fizjologiczną i wpływu egzogenego żelaza na wskaźniki wydajności sportowej były odpowiednio kontrolowane. Pomiary wykonywano jeden tydzień przed donacją, a następnie w odstępach dwudniowych oraz jedno-, dwu- i czterotygodniowych. Autorzy stwierdzili, co nie jest zaskakujące, że donacja ma mierzalny wpływ na biomarkery erytrocytarne i na poziom żelaza, obserwowany już po pierwszej donacji i często postępujący po donacjach kolejnych. Mniej oczekiwane okazały się wyniki wykazujące, że ani 20 mg, ani 80 mg żelaza przyjmowanego przez 28 dni po donacji nie wystarczało, aby znacząco uzupełnić jego ilość we krwi po donacji w porównaniu z grupą, która

nie suplementowała tego pierwiastka. Natomiast zarówno niższe, jak i wyższe dawki żelaza łagodziły szkodliwe skutki donacji na wydajność fizjologiczną.

Pachikian i in. (2020) stwierdzili, że kinetyka odzyskiwania masy hemoglobiny i poziomów ferrytyny po czterech tygodniach od donacji nie różniła się między grupami dawców, którzy przyjmowali tabletki o zawartości żelaza 0mg, 20mg i 80 mg. Jednak spadek hepcydyny i wzrost rozpuszczalnego receptora transferyny (sTfR) różnił się u dawców w zależności od ilości żelaza w tabletkach. Odzysk hepcydyny u osób przyjmujących 80 mg żelaza był porównywalny z odzyskiem w grupie z symulowaną donacją, podczas gdy poziom sTfR zmieniał się inaczej u osób przyjmujących 20 mg lub 80 mg żelaza. Autorzy cytowanej publikacji postulowali, że niektóre aspekty homeostazy żelaza i żelaza funkcjonalnego w tkankach są modyfikowane przez suplementację tego pierwiastka po donacji. Ponadto ich badania wykazały, że spośród ośmiu wskaźników sprawności fizjologicznej, maksymalna moc wyjściowa (P_{max}) i szczytowe zużycie tlenu (VO_2 peak) zwiększały się podobnie w grupach suplementujących 20 mg i 80 mg żelaza oraz w grupie placebo (symulowana donacja), natomiast między grupą placebo, a grupą przyjmującą WB wzrost wskaźników był zróżnicowany. Na podstawie uzyskanych wyników doszli do wniosku, że suplementacja żelaza w dawce 20 mg lub większej chroni dawców krwi przed skutkami powtarzanej donacji, co ich zdaniem może być spowodowane zachowaniem aktywności enzymatycznej w mitochondriach mięśni szkieletowych, a nie zdolnością transportu tlenu (Pachikian i in., 2020). Ponadto z wyników badań tych autorów można wyciągnąć dodatkowy wniosek, że w przeciwieństwie do aktualnej w wielu krajach praktyki, polegającej na zalecaniu suplementacji żelaza dla «częstych» dawców oraz dla osób z niskim poziomem hemoglobiny, nawet dawcy z wysokim poziomem tego mikroelementu mogą odnieść korzyści z zażywania żelaza egzogenego.

Wyniki badań Pachikian i in. (2020) sugerują, że należałoby zmienić dotychczasowe poglądy dotyczące suplementacji żelaza, mianowicie odrzucić aktualne stanowisko według którego suplementacja żelaza jest wskazana tylko w przypadku osób, u których wykazano niedobór tego pierwiastka (paradygmat

«ryzyka») lub istnieje u nich ryzyko, że są na niedobór narażeni i przyjąć metodę «uzupełniania żelaza» (paradygmat «uzupełniania żelaza») w celu jego suplementacji (Spencer, 2020).

U dawców krwi spożywanie żelaza jest bardzo ważne dla utrzymania homeostazy tego pierwiastka w organizmie oraz dla utrzymania odpowiedniego poziomu hemoglobiny po utracie żelaza podczas donacji. Pełne oddanie krwi wiąże się z utratą około 225–250 mg tego mikroelementu (O'Brien and Goldman, 2017). Dieta zazwyczaj zawiera żelazo hemowe (znajdujące się w produktach pochodzenia zwierzęcego) o wysokiej biodostępności (15-35 %) i żelazo niehemowe (znajdujące się głównie w produktach roślinnych) o biodostępności 1-20 % (Cao et al., 2014). Żelazo hemowe stanowi zazwyczaj tylko około 15% całkowitego jego spożycia w diecie (Cao et al., 2014).

Dwa badania dawców krwi (Cable et al., 2012; Kotzé et al., 2015) nie wykazały związku między spożyciem produktów bogatych w żelazo a zapasami tego mikroelementu, ani związku z poziomem hemoglobiny, natomiast związek pomiędzy zapasami żelaza a spożyciem mięsa wykazano tylko w jednym badaniu dawców (Rigas et al., 2014). Dotychczas nie wiadomo, czy spożywanie żelaza hemowego i niehemowego w diecie jest pozytywnie związane z poziomem hemoglobiny i zapasami tego pierwiastka u dawców krwi (Timmer et al., 2020).

Aktywność fizyczna może również wpływać na poziom hemoglobiny. W dostępnej literaturze znaleziono dwie ogólne hipotezy dotyczące tego związku. Po pierwsze, aktywność fizyczna może obniżyć poziom Hb poprzez utratę żelaza wraz z potem, moczem i za pośrednictwem przewodu pokarmowego, a także poprzez hemolizę lub hemodylucję wywołane wysiłkiem fizycznym (Hinton, 2014). Po drugie, aktywność fizyczna może zwiększyć poziom hemoglobiny, ponieważ ten rodzaj aktywności wymusza transport większej ilości tlenu przez hemoglobinę w całym organizmie (Otto et al., 2013).

Liczba badań na temat wpływu aktywności fizycznej na poziom ferrytyny (tj. miary zapasów żelaza) jest ograniczona (Strain and Cashman, 2009; Lynch, 2012), szczególnie w przypadku dawców krwi, a wyniki tych badań są niejednoznaczne (Bourque et al., 1997; Milman

and Kirchoff, 1999; Murray-Kolb et al., 2001; Schumacher et al., 2002).

Z kolei badania przeprowadzone na grupie szwajcarskich dawców krwi wykazały, że sugerowana zmiana diety skutkowała u nich zmniejszoną liczbą przypadków anemii oraz przypadków niedoborów żelaza (O'Meara et al., 2011).

Suplementacja żelaza może być zalecana osobom z grup wysokiego ryzyka i stanowi leczenie niedokrwistości pierwszego wyboru, jest skuteczna i niedroga, jeśli jest stosowana prawidłowo (Zimmermann and Hurrell, 2007). Jednakże konwencjonalne metody uzupełniania niedoboru żelaza poprzez jego suplementację mogą powodować żołądkowo-jelitowe skutki uboczne, takie jak bóle brzucha, nudności czy zatwardzenie (Hoppe et al., 2013). Wydaje się zatem, że działania oparte na właściwej diecie stanowią najlepszą metodę uzupełniania niedoborów żelaza we krwi dawcy i są znacznie bezpieczniejsze od suplementacji tego mikroelementa.

6. Zapobieganie niedoborom żelaza u dawców krwi. W Polsce obecnie stosowanym badaniem przesiewowym w celu przyjęcia dawcy krwi do jej oddania jest ocena poziomu hemoglobiny (Hb) metodą kapilarną (z palca): z $Hb \geq 12,5$ g/dl w przypadku kobiet i $13,5$ g/dl w przypadku mężczyzn. Niektóre kraje przyjęły wyższe normy dla mężczyzn (np. $13,0$ lub $13,5$ g/dl), odzwierciedlające wyższy zakres normy dla Hb w ich populacji (Karp and King, 2010). Minimalny dopuszczalny poziom hemoglobiny ma zapobiec pobieraniu krwi od dawców z anemią, ale nie zapobiega pobieraniu krwi od dawców z niedoborem żelaza. Do oceny poziomu żelaza stosowano różne testy laboratoryjne, w tym poziom ferrytyny, stężenie rozpuszczalnego receptora transferyny (sTfR), stosunek sTfR/ferrytyny, protoporfiryny cynkowej (ZPP), parametry erytrocytów i inne (Vuk et al., 2017).

Współczesna norma dla poziomu hemoglobiny obowiązująca w Polsce dla dawców krwi przed jej oddaniem (kobiety $\geq 12,5$ g/dl; mężczyźni $13,5$ g/dl) jest kontrowersyjna. Poziom Hb wynoszący $12,5$ g/dl jest wyższy od dolnej granicy normy dla kobiet i niższy od dolnej granicy normy dla mężczyzn. Raporty sprzed kilkunastu lat informowały, że 10% prób oddania krwi pełnej zostało wykluczonych z powodu niskiego poziomu Hb (Mast, 2014).

Badania przesiewowe wskaźników hemoglobiny i żelaza pomagają rozpoznać dawców narażonych na ryzyko późniejszej anemii i wspomagają strategie zapobiegania tej chorobie. Baart i in. (2013) wykazali, że subkliniczny niedobór żelaza jest powszechny wśród dawców krwi, którzy spełniają kryteria Hb dla donacji.

W stanie ujemnego bilansu żelaza, gdy zapotrzebowanie na ten mikroelement po utracie krwi przekracza zdolność organizmu do jego wchłaniania, morfologia i wskaźniki erytrocytów pozostają prawidłowe, podczas gdy poziom ferrytyny w surowicy jest obniżony. Synteza hemoglobiny pozostaje niezmienną, dopóki poziom żelaza w surowicy utrzymuje się w normie. Uważa się, że zapasy żelaza w szpiku kostnym są całkowicie wyczerpane, gdy poziom ferrytyny w surowicy jest niższy niż 15 $\mu\text{g/l}$. Często określa się to jako stadium utajone lub erytropoeza z niedoborem żelaza (IDE). Gdy poziom ferrytyny spadnie poniżej 15 $\mu\text{g/l}$, rozpoczyna się niedokrwistość spowodowana niedoborem żelaza, a hemoglobina i hematokryt zaczynają spadać (Reddy et al., 2020).

Receptory transferyny znajdują się na powierzchni czerwonych krwinek, a ich synteza wzrasta, gdy dostępność żelaza jest zmniejszona. Są one wydalane do krwi, stąd nazwa stężenie rozpuszczalnego receptora transferyny (sTfR). Jeśli ich poziom jest wyższy od normalnego zakresu referencyjnego, wskazuje to na niedobór żelaza w tkankach przy braku innych dolegliwości, które zwiększają poziom sTfR, a mianowicie stanów zapalnych wątroby, talasemii, niedokrwistości hemolitycznej i stanów niedotlenienia (np., przebywanie na dużej wysokości) (Worwood, 2002). Ze względu na brak standardu odniesienia i zmienność testu, wartości sTfR są łączone z pomiarami ferrytyny w stosunku «log sTfR/ferrytyna». W przypadku wartości o zbyt dużej zmienności, logarytmiczna konwersja sprawia, że dane są bardziej liniowe (Suominen et al., 1998).

Zarówno stosunek sTfR/log ferrytyny, jak i stosunek log (sTfR/ferrytyna) można zastosować do odróżnienia IDE od niedoboru żelaza magazynowanego. Obecnie nie ma wystarczających danych w literaturze dla porównania tych wskaźników. Castel i in. (2012) odkryli, że na podstawie stosunku transferyny (g/l)/log [ferrytyny ($\mu\text{g/l}$)] można oddzielić pacjentów z ferrytyną <20 $\mu\text{g/l}$ (niedobór żelaza) od pacjentów z ferrytyną >100 $\mu\text{g/l}$ (bez niedoboru

żelaza). Mediana stosunku Tf/log (ferr) w grupie bez niedoboru żelaza w ich badaniu wynosiła 0,84 (Castel et al., 2012).

Oszacowanie log sTfR/ferrytyny ma kilka zalet. Wymaga tylko dwóch parametrów, które odzwierciedlają funkcjonalny przedział żelaza i korelują z jego wyczerpanymi zapasami. «Wskaźnik» sTfR/log ferrytyny został użyty do odróżnienia ubytku żelaza od IDE (Suominen et al., 1998). Skikne i in. (1990) oraz Cook i in. (2003) wykazali zaletę stosowania wskaźnika log sTfR/ferrytyny i ocenili zapasy żelaza ilościowo, dokładnie mierząc jego utratę u pacjentów poddawanych seryjnemu pobieraniu krwi, do momentu wyczerpania tego pierwiastka. Metoda ta umożliwia również oszacowanie zapasów żelaza w tkankach, który to zapas można wyrazić jako nadmiar żelaza w magazynach lub niedobór żelaza w tkankach, odpowiednio na podstawie wartości dodatnich i ujemnych. Umożliwia również oszacowanie wchłaniania żelaza u dawców krwi w badaniach longitudinalnych. W badaniu *REDS-II Donor Iron Status Evaluation* (RISE), sTfR nie korelował z IDE ani ferrytyną osocza, $R^2 = 0,54$ w porównaniu z $R^2 = -0,96$. Wartość log sTfR/ferrytyny wynosząca 2,07 odpowiadała poziomowi ferrytyny wynoszącemu 26,7 $\mu\text{g/l}$ w regresji wieloczynnikowej, co sugeruje, że ten poziom ferrytyny odzwierciedla IDE u zdrowych dawców krwi. Przy tym progu poziom ferrytyny miał czułość 95,1 % i swoistość 89,6 % w identyfikacji IDE, a wskaźnik sTfR dodał niewiele dodatkowych informacji diagnostycznych (Kiss et al., 2013).

Radtke i in. (2005) oraz Nadarajan i in. (2008) zastosowali logarytm 95 percentyla (sTfR/ferrytyna) zarówno u mężczyzn, jak i u kobiet, co dało stosunek 2,5–2,6 do zdefiniowania IDE. Metoda ta jest mniej czuła niż ta stosowana w badaniu RISE. Mogło to doprowadzić do niedoszacowania częstości występowania IDE (8,2 % częstości występowania podanej przez Radtke i in. (2005) i 10 % przez Nadarajana i in. (2008) w porównaniu do 42 % ogółu w badaniu RISE w momencie rekrutacji), chociaż wyższa częstość donacji u dawców przyjętych do badania RISE jest również czynnikiem przyczyniającym się do różnicy w częstości występowania niedoboru żelaza. Żelazo w organizmie można zmierzyć z małej próbki krwi włósniczkowej. Badania metabolizmu oraz zmian w stężeniu żelaza w organizmie opiera się na masie ciała, a nie na

wartościach bezwzględnych. Badanie sTfR jest znacznie droższe niż inne parametry (Punnonen and Rajamäki, 1999).

Zmiany w konwencjonalnych parametrach morfologicznych erytrocytów, w tym MCV, MCH i MCHC, pojawiają się późno w rozwoju niedoboru żelaza i są nieczułe w diagnostyce tego schorzenia, co skutkuje słabą korelacją tych zmian ze zmniejszonym poziomem żelaza i niższą od hemoglobiny przydatnością tych parametrów w przewidywaniu późniejszego niedoboru żelaza (Alexander et al., 2000; Stern et al., 2012). Poziom ferrytyny w surowicy jest uważany za «złoty standard» w diagnostyce niedoboru żelaza u dawców krwi (Clark, 2009). W kilku badaniach wykazano, że stężenie ferrytyny w surowicy jest wskaźnikiem zapasów żelaza (Agha and Khan, 1989; Milman, 1996). Według Guyatta i in. (1992), poziom ferrytyny w surowicy $<15 \text{ ng/ml}$ jest zgodny z niedokrwistością spowodowaną niedoborem żelaza, z odpowiednio 59% i 99% czułością i swoistością. RDW zostało zaproponowane jako marker wczesnej diagnozy niedoboru żelaza w porównaniu z MCV lub MCH (Jain et al., 2018).

Badanie przeprowadzone w Malezji na 92 regularnych dawcach krwi i 95 pierwszorazowych dawcach krwi wykazało, że wśród badanych niedobór żelaza wystąpił u 7,4 % dawców pierwszorazowych i u 17,4 % dawców regularnych (Nadarajan and Eow, 2002). Podobne wyniki uzyskali również Mittal i in. (2006), przy czym stwierdzili oni, że poziom ferrytyny w surowicy u 21 %–29 % zbadanych przez nich dawców był niższy niż 15 $\mu\text{g/l}$.

Badanie przeprowadzone na 500 losowo wybranych hiszpańskich dawcach krwi i na 200 osobach ubiegających się o zgodę na oddanie krwi (grupa kontrolna) wykazało, że dawcy ze zwiększonym niedoborem żelaza (stężenie ferrytyny w surowicy $<15 \text{ ng/ml}$) stanowili 7,4 % mężczyzn i 11,8 % kobiet (Hernández Lamas et al., 1994). Według Datta i in. (2013) dawców potencjalnie narażonych na rozwój niedokrwistości z powodu niedoboru żelaza można wykryć tylko poprzez oszacowanie stężenia ferrytyny. W badaniu przeprowadzonym w Sokoto w Nigerii, zapasy żelaza oceniano na podstawie stężenia ferrytyny w surowicy i stwierdzono, że dawcy mieli niższe stężenie ferrytyny w surowicy (mediana 95 $\mu\text{g/l}$), niż osoby nieoddające krwi (mediana 136 $\mu\text{g/l}$) (Erhabor et al., 2014).

U mężczyzn poziom ferrytyny w surowicy wzrasta wraz z wiekiem. Wzrost ten jest szczególnie wyraźny w wieku od 18 do 30 lat. Uważano, że u mężczyzn w tym wieku tworzą się większe zapasy żelaza (Finch et al., 1977). Zapasy żelaza u kobiet już niemiesiączkujących są wyższe niż u kobiet miesiączkujących, pomimo starszego wieku tych pierwszych, i dłuższego czasu poświęconego na wysiłek związany z pracą, wychowaniem dzieci i prowadzeniem domu. Podkreśla to znaczący wpływ utraty krwi menstruacyjnej na zmniejszenie zapasów żelaza w organizmach kobiet.

Mężczyźni po donacji mają najsilniejszy spadek poziomu ferrytyny z powodu wysokich zapasów żelaza przed donacją, a u kobiet częściej występuje problem wyczerpanych zapasów żelaza, co wymaga ponownej oceny kryteriów dopuszczania ludzi do oddawania krwi. Silny spadek poziomu ferrytyny po donacji u mężczyzn może być spowodowany częstym oddawaniem krwi oraz faktem, że leczono tylko dawców płci męskiej z niskim poziomem hemoglobiny. Powyższe fakty są ważnym dowodem na to, że suplementacja żelaza u dawców krwi nie jest stosowana we właściwy sposób.

Ponowna ocena profilaktyki niedoboru żelaza jest konieczna zarówno dla mężczyzn, jak i kobiet. Aby zapewnić gotowość dawcy, terapia zastępcza żelazem wymaga zindywidualizowanego podejścia. Dawcy bez zapasów żelaza (<15 ng/ml) powinni być nim suplementowani, otrzymując 100 mg tego mikropierwiastka dziennie w ciągu 20 dni po oddaniu krwi. U dawców z poziomem ferrytyny niższym niż 15 ng/ml, których leczono żelazem odnotowano szybką poprawę poziomu hemoglobiny (Alvarez-Ossorio et al., 2000).

W badaniu Anju i in. (2022) poziom ferrytyny w surowicy dawców stopniowo spadał wraz z liczbą donacji, co było statystycznie istotne. Różnica poziomu ferrytyny była wyraźna przy porównaniu stałych dawców, którzy oddali krew mniej niż dziesięć razy ze stałymi dawcami, którzy oddali krew więcej niż dziesięć razy. Po dwudziestu i większej ilości donacji poziom tego wskaźnikowego białka pozostawał niezmienny. Powyższe wyniki są zgodne z wynikami uzyskanymi w badaniach dawców krwi w Sokoto w Nigerii (Erhabor et al., 2014), jednakże są sprzeczne z wynikami uzyskanymi przez Mahida i in. (2008), którzy nie znaleźli istotnej różnicy między poziomem

ferrytyny u osób z grupy kontrolnej i u dawców, którzy oddali mniej niż 20 jednostek krwi.

Badanie RISE wykazało 14-krotnie większe ryzyko niedoboru żelaza u dawców, którzy oddali 3-4 jednostki krwi w ciągu poprzednich dwóch lat i 50-krotnie większe ryzyko u tych, którzy oddali dziesięć lub więcej jednostek w porównaniu z dawcami, którzy oddali krew po raz pierwszy (Cable et al., 2011). Badania przeprowadzone w Malezji na 95 regularnych dawcach krwi i na 95 dawcach pierwszorazowych wykazały występowanie niedoboru żelaza u 7,4% dawców pierwszorazowych i u 17,4% dawców regularnych (Norashikin et al., 2006).

Aby określić zapasy żelaza przed ich wyczerpaniem w wyniku donacji, należy zmierzyć poziom ferrytyny na jeszcze wcześniejszym etapie. W przypadku dawców regularnie przyjmujących suplementy żelaza pomiar ferrytyny w surowicy po każdej dziesiątej donacji jest wystarczający, aby śledzić skuteczność terapii. W badaniu Anju i in. (2022), 39,1% dawców z niedokrwistością miało poziom ferrytyny 15–50 ng/ml, podczas gdy 48,3% dawców bez niedokrwistości miało poziom ferrytyny 15–50 ng/ml. 86,7% osób z Hb powyżej 12,5 g/dl miało poziom ferrytyny <100 ng/dl, co było statystycznie istotne. Przedstawione wyżej wyniki potwierdzają konieczność prowadzenia u dawców krwi regularnych badań przesiewowych ferrytyny oraz konieczność prowadzenia systematycznej suplementacji żelaza. Poprzednie raporty sugerują, że oddawanie 2-3 jednostek krwi rocznie zapewnia poziom Hb i ferrytyny przed donacją wynoszący odpowiednio $\geq 14,7$ g/dl i 58,9 $\mu\text{g/l}$ (Djalali et al., 2006).

7. Badania nad suplementacją żelaza u regularnych dawców krwi. W badaniach *Hemoglobin and Iron Recovery Study*, będące częścią *Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study-III* (REDS-III), przeprowadzonych przez *National Heart, Lung, and Blood Institute* w USA, porównano dawców, którzy nie otrzymywali suplementów żelaza, z tymi, którzy je otrzymywali. Używając progę ferrytyny, wynoszącego 26 ng/ml, wykazano, że biorcy suplementów żelaza mieli do 80% krótszy czas regeneracji hemoglobiny zarówno w grupie z niskim, jak i wysokim poziomem tego wskaźnikowego białka (Kiss et al., 2015).

Nawet u dawców z nadmiarem żelaza średni odzysk hemoglobiny wynosił tylko 70% po ośmiu tygodniach, ponieważ wchłanianie żelaza z diety jest czynnikiem ograniczającym uzupełnianie zapasów tego pierwiastka na drodze suplementacji (Kiss et al., 2015). Badanie porównujące reakcję na placebo z reakcją na suplementację żelaza karbonylowego u kobiet w wieku od 18. do 40. lat przez 56 dni po pobraniu krwi wykazało, że suplementacja, dieta lub oba te czynniki były wystarczające do uzupełnienia zapasów żelaza u 85 % osób otrzymujących żelazo karbonylowe w porównaniu do zaledwie 29 % osób otrzymujących placebo. Ponadto wskaźniki odroczenia do ponownego oddania krwi wyniosły odpowiednio 8 % i 36 % (Gordeuk et al., 1990).

W badaniach przeprowadzonych przez Australijską Służbę Krwiodawstwa Czerwonego Krzyża oceniono wpływ codziennej suplementacji żelaza karbonylowego i placebo, podawanych przez osiem tygodni jako terapii uzupełniającej ten mikroelement u osób po oddaniu przez nich krwi. Dawcy otrzymujący żelazo karbonylowe mieli znacznie wyższy poziom ferrytyny oraz wyższy średni poziom hemoglobiny w dwunastym tygodniu od rozpoczęcia kuracji. Ponadto odsetek dawców z niedoborem żelaza był znacznie niższy w grupie otrzymującej żelazo karbonylowe niż w grupie otrzymującej placebo, dzięki czemu zwiększyła się liczba osób zakwalifikowanych do ponownego oddania krwi w dwunastym tygodniu po ostatniej donacji. Około 87% dawców, którzy otrzymali żelazo karbonylowe, zgłosiło, że będą je nadal przyjmować, chociaż znacznie więcej dawców, którzy otrzymali suplementy żelaza doświadczyło co najmniej jednego niepożądanego zdarzenia żołądkowo-jelitowego (Marks et al., 2014). Skuteczność krótkotrwałej suplementacji żelazem karbonylowym w bezpiecznym uzupełnianiu żelaza utraconego podczas oddawania krwi u dawczyń stwierdzili także Mantadakis i in. (2022).

W Szwecji wykonano badania randomizowane z udziałem 120 dawców krwi, którzy byli po co najmniej pięciu wcześniejszych donacjach, w których to badaniach porównywano skuteczność dożylną terapii żelazem z sacharozą ze skutecznością doustnej suplementacji siarczanem żelaza. Wymienione suplementy aplikowano dawcom przez 20 dni po każdej donacji przez jeden cały rok. Oba sposoby leczenia były bezpieczne. U osób, u których

zastosowano dożylną aplikację żelaza z sacharozą zapasy tego pierwiastka zwiększyły się w znacznie wyższym stopniu niż u osób, które otrzymały doustną suplementację siarczanem żelaza. Ponadto, dawczynie płci żeńskiej, a szczególnie panie w wieku poniżej pięćdziesięciu lat, lepiej reagowały na dożylny zastrzyk żelaza niż na preparat doustny (Birgegård et al., 2010).

Bryant i in. (2012) ustalili na podstawie swoich badań, że rutynowe podawanie tabletek siarczanu żelaza przez 60 dni jest bezpieczne i skuteczne w zapobieganiu rozwojowi niedoboru żelaza u dawców krwi. U 21 % badanych przez tych autorów dawców, otrzymujących siarczan żelaza, wystąpiła nietolerancja na ten związek, wymagająca jego zamiany na glukonian żelaza, natomiast brak tolerancji na obydwa produkty wystąpił tylko u 5 % dawców, którzy nie kontynuowali już terapii uzupełniającej niedobór tego pierwiastka (Bryant et al., 2012).

W randomizowanym, podwójnie ślepych, kontrolowanym badaniu kobiety przed menopauzą, z objawami zmęczenia, poziomami ferrytyny w surowicy ≤ 50 ng/ml i hemoglobiny ≥ 12 g/dl zostały losowo przydzielone do otrzymywania 800 mg dożylnego żelaza w sacharozie lub placebo. Zmęczenie i poziom żelaza w surowicy oceniano na początku badania oraz po sześciu i dwunastu tygodniach. Ogółem 82 % pacjentek leczonych żelazem zgłosiło poprawę stanu fizjologicznego w porównaniu do 47 % pacjentek leczonych placebo, co stanowi znaczącą różnicę. Działania niepożądane związane z lekiem obserwowano u 21 % pacjentek leczonych żelazem i u 7 % pacjentek otrzymujących placebo, ale różnice te nie były istotne (Krayenbuehl et al., 2011). Na podstawie wyników badania przeprowadzonego w Danii wykazano, że izomaltozyd żelaza aplikowany przed drugim i trzecim pobraniem krwi był dobrze tolerowany i powodował wzrost poziomu hemoglobiny, poprawę stężenia ferrytyny i wysycenia transferyny w osoczu, a także łagodził objawy zmęczenia (Gybel-Brask et al., 2018).

Wyniki badań randomizowanych, w których porównano wpływ suplementacji glukonianem żelaza z efektami przyjmowania placebo przez 24 tygodnie po oddaniu krwi wykazały, że glukonian żelaza pozytywnie wpływa na uzupełnienie zapasów tego pierwiastka (Cable et al., 2016). Badanie regularnych dawczyń krwi w Tajlandii

wykazało, że dzienna dawka leku złożona z 200 mg fumaranu żelaza i 500 mg kwasu askorbinowego była dobrze tolerowana i skutecznie przyspieszała odzyskiwanie hemoglobiny do poziomu sprzed oddania krwi (Chiamchanya, 2013). W badaniu klinicznym dawców krwi z ferrytyną <30 ng/ml przydzielono losowo do aplikowania im pojedynczej dawki dożylniej karboksymaltozy żelaza lub doustnego fumaranu żelaza. Pojedyncza dawka karboksymaltozy żelaza była wysoce skuteczna w zapobieganiu niedokrwistości, a fumaran żelaza zażywany doustnie był dobrym zamiennikiem (Drexler et al., 2020).

W amerykańskim badaniu (Instytut Badań Krwi i Nauk Medycznych, Centrum Krwi Wisconsin, Milwaukee, Wisconsin) oceniono skuteczność dwóch różnych dawek pierwiastkowego żelaza (38 mg w porównaniu z 19 mg wobec placebo) u 692 częstych dawców krwi. Wycofanie się z badania było częstsze u osób przyjmujących tabletki z żelazem niż w przypadku osób przyjmujących placebo (39 % w porównaniu z 7 %), ale nie zaobserwowano różnicy w zdarzeniach niepożądanych między osobami przyjmującymi żelazo a placebo. Natomiast u osób przyjmujących żelazo nastąpiła poprawa poziomu tego pierwiastka niezależnie od wielkości dawki (Mast et al., 2016). Również wyniki badań przeprowadzonych w Niemczech wykazały, że dzienna dawka wynosząca zaledwie 20 mg pierwiastkowego żelaza w postaci glukonianu żelaza, zażywana przez sześć miesięcy mogła uzupełnić utratę żelaza u dawców, którzy oddawali krew do czterech (kobiety) lub do sześciu (mężczyźni) razy w roku (Radtke et al., 2004a). Radtke i in. (2005) ustalili także, że 20 mg pierwiastkowego żelaza w postaci glukonianu żelaza i 400 mg kwasu askorbinowego dziennie przez zaledwie 30 dni po donacji odpowiednio rekompensowało utratę żelaza u większości dawców krwi obwodowej. Ci sami autorzy badali również wpływ suplementacji 100 mg doustnego kompleksu żelaza-glicyny-siarczanu żelaza w porównaniu z placebo po każdej z trzech dwu-jednostkowych aferez erytrocytów i wykazali skuteczność tego kompleksu w zapobieganiu niedoborowi omawianego mikroelementu (Radtke et al., 2004b).

Na koniec Macher i in. (2020) porównali częstość i nasilenie objawów związanych z niedoborem żelaza przed i po dożylniej lub doustnej suplementacji żelaza u dawców krwi z

niedoborem tego pierwiastka. Objawy kliniczne oceniano za pomocą ankiety przeprowadzonej przed rozpoczęciem terapii i po upływie ośmiu do dwunastu tygodni od rozpoczęcia terapii żelazem. Odnotowano znaczącą poprawę samopoczucia u dawców, zarówno w efekcie doustnej, jak i pozajelitowej terapii tym mikroelementem, natomiast nie odnotowano różnicy między rodzajem suplementacji żelaza a wynikiem klinicznym (Macher et al., 2020).

Panel ds. mikroskładników odżywczych Instytutu Medycyny (*Panel on Micronutrients of the Institute of Medicine*) ustalił dopuszczalny górny limit dziennego spożycia pierwiastkowego żelaza na 45 mg. Odejmując normy średniego dziennego spożycia żelaza w diecie zachodniej wynoszące około 11 mg, pozwala to na około 34 mg dodatkowego żelaza, zanim pojawią się skutki uboczne ze strony przewodu pokarmowego (Vassallo, 2021). Badanie STRIDE dotyczące suplementacji żelaza u dawców krwi potwierdziło tę liczbę (45 mg), ponieważ wykazało, że ilość i rodzaje zdarzeń niepożądanych były podobne u osób otrzymujących 19 lub 38 mg/dzień pierwiastkowego żelaza lub placebo, a suplementy w obu dawkach były skuteczne w łagodzeniu niedoboru żelaza u regularnych dawców krwi (Mast et al., 2016).

Badania nad suplementacją żelaza u regularnych dawców krwi są istotnym zagadnieniem w medycynie transfuzjologicznej, ponieważ regularne oddawanie krwi może prowadzić do utraty żelaza i potencjalnie do jego niedoboru. Regularni dawcy krwi powinni być informowani o korzyściach płynących z suplementacji żelaza i jej wpływie na zdrowie. Niektóre centra krwiodawstwa oferują programy wsparcia, które obejmują monitorowanie poziomów żelaza i dostarczanie suplementów tego pierwiastka.

Edukowanie dawców o znaczeniu diety bogatej w żelazo i o tym, jak radzić sobie z jego ewentualnymi niedoborami, jest ważnym elementem prewencji. Suplementacja żelaza jest efektywnym sposobem na zapobieganie niedoborowi tego mikroelementu oraz zapobiega wystąpieniu anemii u dawców krwi, poprzez poprawę ich zdrowia i komfortu życia. Właściwe dawkowanie i właściwa forma suplementacji powinny być dostosowane do indywidualnych potrzeb dawców i monitorowane przez pracowników medycznych.

Podsumowując należy podkreślić, że badania nad suplementacją żelaza u regularnych dawców krwi wykazały, że jest to skuteczna strategia prewencyjna, ale wymaga indywidualnego podejścia do pacjentów i regularnego monitorowania. Suplementacja żelaza może pomóc w utrzymaniu prawidłowego poziomu tego pierwiastka i umożliwić dalsze oddawanie krwi, zapewniając bezpieczeństwo i dobrostan dawców.

Wnioski

Rola żelaza w organizmie człowieka, szczególnie w kontekście dawstwa krwi, jest niezwykle istotna. Żelazo jest niezbędnym składnikiem hemoglobiny, białka odpowiedzialnego za transport tlenu we krwi. Niedobór tego mikroelementu prowadzi do anemii, osłabienia i zmniejszonej wydolności fizycznej oraz psychicznej. Procesy fizjologiczne związane z absorpcją i metabolizmem żelaza są skomplikowane i zależą od wielu czynników, w tym od diety, wieku, płci i stanu zdrowia.

Regularne dawstwo krwi powoduje w organizmie znaczącą utratę żelaza. Każda donacja krwi pełnej może prowadzić do utraty około 200-250 mg tego pierwiastka. Proces regeneracji zasobów żelaza po donacji może trwać od kilku tygodni do kilku miesięcy, w zależności od indywidualnych predyspozycji i nawyków żywieniowych dawcy. Dawcy krwi powinni dbać o odpowiednią podaż żelaza w diecie, koncentrując się na produktach bogatych w żelazo hemowe (np. mięso, ryby) oraz niehemowe (np. warzywa strączkowe, orzechy, nasiona). Ważne jest zwiększenie biodostępności żelaza poprzez spożywanie witaminy C, która wspomaga jego absorpcję.

W niektórych przypadkach suplementacja żelaza może być konieczna, szczególnie u

dawców o podwyższonym ryzyku niedoboru (np. kobiety w wieku rozrodczym, wegetarianie). Suplementy żelaza powinny być stosowane zgodnie z zaleceniami lekarza, aby uniknąć skutków ubocznych związanych z przedawkowaniem leku. Regularne monitorowanie poziomów żelaza, hemoglobiny i ferrytyny u dawców krwi jest kluczowe dla zapobiegania niedoborom tego ważnego mikroelementu oraz białek pełniących ważne funkcje w organizmie. Edukacja dawców na temat roli żelaza oraz znaczenia odpowiedniej diety i ewentualnej suplementacji jest niezbędna dla ich zdrowia. Szczególną uwagę należy poświęcić dawcom z grup zwiększonego ryzyka niedoboru żelaza, takim jak kobiety w wieku rozrodczym, osoby z restrykcyjnymi dietami oraz sportowcy wytrzymałościowi. Indywidualne podejście do suplementacji i diety w stosunku do osób w tych grupach może znacząco poprawić stan ich zdrowia i zdolność do regularnego oddawania krwi.

Konieczne są dalsze badania nad optymalnymi strategiami żywieniowymi i suplementacyjnymi dla dawców krwi, aby opracować bardziej precyzyjne wytyczne. Badania nad wpływem różnych interwencji dietetycznych na regenerację zasobów żelaza mogą przyczynić się do poprawy zdrowia i dobrostanu dawców krwi.

Podsumowując należy podkreślić, że odpowiednie zarządzanie zasobami żelaza w organizmach dawców krwi jest kluczowe dla ich zdrowia i zdolności do kontynuowania dawstwa. Przemyślana dieta, suplementacja oraz regularne monitorowanie poziomu żelaza są niezbędne, aby minimalizować ryzyko jego niedoboru i wspierać ten ważny akt altruizmu.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Обмін даними не застосовується / Data sharing is not applicable.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Bibliografia

- Abboud, S., & Haile, D.J. (2000). A novel mammalian iron-regulated protein involved in intracellular iron metabolism. *The Journal of biological chemistry*, 275(26), 19906–19912. <https://doi.org/10.1074/jbc.M000713200>
- Agha, F., & Khan, R.A. (1989). Ferritin levels in professional blood donors. *J.P.M.A. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 39(5), 124–126.
- Agrizzi Verediano, T., Agarwal, N., Juste Contin Gomes, M., Martino, H.S.D., & Tako, E. (2023). Effects of dietary fiber on intestinal iron absorption, and physiological status: a systematic review of in vivo and clinical studies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(27), 9017–9032. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2060933>
- Al Hasan, S.M., Hassan, M., Saha, S., Islam, M., Billah, M., & Islam, S. (2016). Dietary Phytate Intake Inhibits the Bioavailability of Iron and Calcium in the Diets of Pregnant Women in Rural Bangladesh: A Cross-Sectional Study. *BMC Nutrition*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40795-016-0064-8>
- Alexander, H.D., Sherlock, J.P., & Bharucha, C. (2000). Red cell indices as predictors of iron depletion in blood donors. *Clinical and laboratory haematology*, 22(5), 253–258. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2257.2000.00323.x>
- Alvarez-Ossorio, L., Kirchner, H., Klüter, H., & Schlenke, P. (2000). Low ferritin levels indicate the need for iron supplementation: strategy to minimize iron-depletion in regular blood donors. *Transfusion medicine (Oxford, England)*, 10(2), 107–112. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3148.2000.00239.x>
- Andrews N.C. (2004). Anemia of inflammation: the cytokine-hepcidin link. *The Journal of clinical investigation*, 113(9), 1251–1253. <https://doi.org/10.1172/JCI21441>
- Andrews N.C. (2008). Forging a field: the golden age of iron biology. *Blood*, 112(2), 219–230. <https://doi.org/10.1182/blood-2007-12-077388>
- Andrews, N.C., & Schmidt, P.J. (2007). Iron homeostasis. *Annual review of physiology*, 69, 69–85. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.69.031905.164337>
- Andriopoulos, B., Jr, Corradini, E., Xia, Y., Faasse, S.A., Chen, S., Grgurevic, L., Knutson, M.D., Pietrangelo, A., Vukicevic, S., Lin, H.Y., & Babitt, J.L. (2009). BMP6 is a key endogenous regulator of hepcidin expression and iron metabolism. *Nature genetics*, 41(4), 482–487. <https://doi.org/10.1038/ng.335>
- Anju, J., Abhishekh, B., Debdatta, B., Bobby, Z., & Sharan, M. (2022). Assessment of iron status in regular blood donors in a tertiary care hospital in Southern India. *Asian journal of transfusion science*, 16(2), 186–193. https://doi.org/10.4103/ajts.ajts_119_21
- Armah, S.M., Boy, E., Chen, D., Candal, P., & Reddy, M.B. (2015). Regular Consumption of a High-Phytate Diet Reduces the Inhibitory Effect of Phytate on Nonheme-Iron Absorption in Women with Suboptimal Iron Stores. *The Journal of nutrition*, 145(8), 1735–1739. <https://doi.org/10.3945/jn.114.209957>
- Arosio, P., & Levi, S. (2010). Cytosolic and mitochondrial ferritins in the regulation of cellular iron homeostasis and oxidative damage. *Biochimica et biophysica acta*, 1800(8), 783–792. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2010.02.005>
- Attaullah, A., Abid A., Niaz, A., Amjad (2023). Diet and Time Related Changes in Hemoglobin and Hematocrit Levels in Blood Donors. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 52, 43862. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2023.52.008277>.
- Baart, A.M., van Noord, P.A., Vergouwe, Y., Moons, K.G., Swinkels, D.W., Wiegerinck, E.T., de Kort, W.L., & Atsma, F. (2013). High prevalence of subclinical iron deficiency in whole blood donors not deferred for low hemoglobin. *Transfusion*, 53(8), 1670–1677. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2012.03956.x>

- Babitt, J.L., Huang, F.W., Wrighting, D.M., Xia, Y., Sidis, Y., Samad, T.A., Campagna, J.A., Chung, R.T., Schneyer, A.L., Woolf, C.J., Andrews, N.C., & Lin, H.Y. (2006). Bone morphogenetic protein signaling by hemojuvelin regulates hepcidin expression. *Nature genetics*, 38(5), 531–539. <https://doi.org/10.1038/ng1777>
- Baech, S.B., Hansen, M., Bukhave, K., Jensen, M., Sørensen, S.S., Kristensen, L., Purslow, P.P., Skibsted, L.H., & Sandström, B. (2003). Nonheme-iron absorption from a phytate-rich meal is increased by the addition of small amounts of pork meat. *The American journal of clinical nutrition*, 77(1), 173–179. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.1.173>
- Benkhedda, K., L'abbé, M.R., & Cockell, K.A. (2010). Effect of calcium on iron absorption in women with marginal iron status. *The British journal of nutrition*, 103(5), 742–748. <https://doi.org/10.1017/S0007114509992418>
- Birgegård, G., Schneider, K., & Ulfberg, J. (2010). High incidence of iron depletion and restless leg syndrome (RLS) in regular blood donors: intravenous iron sucrose substitution more effective than oral iron. *Vox sanguinis*, 99(4), 354–361. <https://doi.org/10.1111/j.1423-0410.2010.01368.x>
- Björn-Rasmussen, E., & Hallberg, L. (1979). Effect of animal proteins on the absorption of food iron in man. *Nutrition and metabolism*, 23(3), 192–202. <https://doi.org/10.1159/000176256>
- Blood Donor Counselling: Implementation Guidelines*. Geneva: World Health Organization; 2014. Annex 1, Haemoglobin and iron: information for blood donors. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK310577/>
- Boccio, J., Salgueiro, J., Lysionek, A., Zubillaga, M., Weill, R., Goldman, C., & Caro, R. (2003). Current knowledge of iron metabolism. *Biological trace element research*, 92(3), 189–212. <https://doi.org/10.1385/BTER:92:3:189>
- Bohn, L., Meyer, A.S., & Rasmussen, S.K. (2008). Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 9(3), 165–191. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710640>
- Bosscher, D., Van Caillie-Bertrand, M., Van Cauwenbergh, R., & Deelstra, H. (2003). Availabilities of calcium, iron, and zinc from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 19(7-8), 641–645. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(03\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(03)00063-7)
- Boulton F. (2004). Managing donors and iron deficiency. *Vox sanguinis*, 87 Suppl. 2, 22–24. <https://doi.org/10.1111/j.1741-6892.2004.00448.x>
- Bourque, S.P., Pate, R.R., & Branch, J.D. (1997). Twelve weeks of endurance exercise training does not affect iron status measures in women. *Journal of the American Dietetic Association*, 97(10), 1116–1121. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(97\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(97)00272-1)
- Brittenham G.M. (2011). Iron deficiency in whole blood donors. *Transfusion*, 51(3), 458–461. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2011.03062.x>
- Brouns F. (2021). Phytic Acid and Whole Grains for Health Controversy. *Nutrients*, 14(1), 25. <https://doi.org/10.3390/nu14010025>
- Bryant, B.J., Yau, Y.Y., Arceo, S.M., Daniel-Johnson, J., Hopkins, J.A., & Leitman, S.F. (2012). Iron replacement therapy in the routine management of blood donors. *Transfusion*, 52(7), 1566–1575. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2011.03488.x>
- Cable, R.G., Brambilla, D., Glynn, S.A., Kleinman, S., Mast, A.E., Spencer, B.R., Stone, M., Kiss, J.E., & National Heart, Lung, and Blood Institute Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study-III (REDS-III) (2016). Effect of iron supplementation on iron stores and total body iron after whole blood donation. *Transfusion*, 56(8), 2005–2012. <https://doi.org/10.1111/trf.13659>

- Cable, R.G., Glynn, S.A., Kiss, J.E., Mast, A.E., Steele, W.R., Murphy, E.L., Wright, D.J., Sacher, R.A., Gottschall, J.L., Tobler, L.H., Simon, T.L., & NHLBI Retrovirus Epidemiology Donor Study-II (REDS-II) (2012). Iron deficiency in blood donors: the REDS-II Donor Iron Status Evaluation (RISE) study. *Transfusion*, 52(4), 702–711. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2011.03401.x>
- Cable, R.G., Glynn, S.A., Kiss, J.E., Mast, A.E., Steele, W.R., Murphy, E.L., Wright, D.J., Sacher, R.A., Gottschall, J.L., Vij, V., Simon, T.L., & NHLBI Retrovirus Epidemiology Donor Study-II (2011). Iron deficiency in blood donors: analysis of enrollment data from the REDS-II Donor Iron Status Evaluation (RISE) study. *Transfusion*, 51(3), 511–522. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2010.02865.x>
- Cao, C., Thomas, C.E., Insogna, K.L., & O'Brien, K.O. (2014). Duodenal absorption and tissue utilization of dietary heme and nonheme iron differ in rats. *The Journal of nutrition*, 144(11), 1710–1717. <https://doi.org/10.3945/jn.114.197939>
- Capuano E. (2017). The behavior of dietary fiber in the gastrointestinal tract determines its physiological effect. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(16), 3543–3564. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1180501>
- Castel, R., Tax, M.G., Droogendijk, J., Leers, M.P., Beukers, R., Levin, M.D., Sonneveld, P., & Berendes, P.B. (2012). The transferrin/log(ferritin) ratio: a new tool for the diagnosis of iron deficiency anemia. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 50(8), 1343–1349. <https://doi.org/10.1515/cclm-2011-0594>
- Caulier, A.L., & Sankaran, V.G. (2022). Molecular and cellular mechanisms that regulate human erythropoiesis. *Blood*, 139(16), 2450–2459. <https://doi.org/10.1182/blood.2021011044>
- Cepeda-Lopez, A.C., Melse-Boonstra, A., Zimmermann, M.B., & Herter-Aeberli, I. (2015). In overweight and obese women, dietary iron absorption is reduced and the enhancement of iron absorption by ascorbic acid is one-half that in normal-weight women. *The American journal of clinical nutrition*, 102(6), 1389–1397. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.099218>
- Chen, Y., Michalak, M., & Agellon, L.B. (2018). Importance of Nutrients and Nutrient Metabolism on Human Health. *The Yale journal of biology and medicine*, 91(2), 95–103.
- Chiamchanya N. (2013). Rapid recovery time of hemoglobin level in female regular blood donors with ferrous fumarate and high dose of ascorbic acid supplement. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangphaet*, 96(2), 165–171.
- Chifman, J., Laubenbacher, R., & Torti, S.V. (2014). A systems biology approach to iron metabolism. *Advances in experimental medicine and biology*, 844, 201–225. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2095-2_10
- Clark S.F. (2009). Iron deficiency anemia: diagnosis and management. *Current opinion in gastroenterology*, 25(2), 122–128. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e32831ef1cd>
- Conrad, M.E., & Umbreit, J.N. (2002). Pathways of iron absorption. *Blood cells, molecules & diseases*, 29(3), 336–355. <https://doi.org/10.1006/bcmd.2002.0564>
- Cook, J.D., & Monsen, E.R. (1976). Food iron absorption in human subjects. III. Comparison of the effect of animal proteins on nonheme iron absorption. *The American journal of clinical nutrition*, 29(8), 859–867. <https://doi.org/10.1093/ajcn/29.8.859>
- Cook, J.D., & Monsen, E.R. (1977). Vitamin C, the common cold, and iron absorption. *The American journal of clinical nutrition*, 30(2), 235–241. <https://doi.org/10.1093/ajcn/30.2.235>
- Cook, J.D., & Reddy, M.B. (2001). Effect of ascorbic acid intake on nonheme-iron absorption from a complete diet. *The American journal of clinical nutrition*, 73(1), 93–98. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.1.93>

- Cook, J.D., Dassenko, S.A., & Whittaker, P. (1991). Calcium supplementation: effect on iron absorption. *The American journal of clinical nutrition*, 53(1), 106–111. <https://doi.org/10.1093/ajcn/53.1.106>
- Cook, J.D., Flowers, C.H., & Skikne, B.S. (2003). The quantitative assessment of body iron. *Blood*, 101(9), 3359–3364. <https://doi.org/10.1182/blood-2002-10-3071>
- Cook, J.D., Morck, T.A., & Lynch, S.R. (1981). The inhibitory effect of soy products on nonheme iron absorption in man. *The American journal of clinical nutrition*, 34(12), 2622–2629. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.12.2622>
- Cook, J.D., Watson, S.S., Simpson, K.M., Lipschitz, D.A., & Skikne, B.S. (1984). The effect of high ascorbic acid supplementation on body iron stores. *Blood*, 64(3), 721–726.
- Czerwonka, M., & Tokarz, A. (2017). Iron in red meat-friend or foe. *Meat science*, 123, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.012>
- Datta, S., Pal, M., & Ghosh, C. (2013). Effect of frequent blood donation on iron status of blood donors in Burdwan, West Bengal, India. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 3, 66–69.
- Davidsson, L., Walczyk, T., Morris, A., & Hurrell, R.F. (1998). Influence of ascorbic acid on iron absorption from an iron-fortified, chocolate-flavored milk drink in Jamaican children. *The American journal of clinical nutrition*, 67(5), 873–877. <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.5.873>
- Dawson-Hughes, B., Seligson, F.H., & Hughes, V.A. (1986). Effects of calcium carbonate and hydroxyapatite on zinc and iron retention in postmenopausal women. *The American journal of clinical nutrition*, 44(1), 83–88. <https://doi.org/10.1093/ajcn/44.1.83>
- De Domenico, I., Lo, E., Ward, D.M., & Kaplan, J. (2009). Hepcidin-induced internalization of ferroportin requires binding and cooperative interaction with Jak2. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(10), 3800–3805. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900453106>
- De Domenico, I., Ward, D.M., & Kaplan, J. (2007). Hepcidin regulation: ironing out the details. *The Journal of clinical investigation*, 117(7), 1755–1758. <https://doi.org/10.1172/JCI32701>
- Dean L. Blood Groups and Red Cell Antigens [Internet]. Bethesda (MD): National Center for Biotechnology Information (US); 2005. Chapter 1, Blood and the cells it contains. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2263/>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R.T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of food science and technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Djalali, M., Neyestani, T.R., Bateni, J., & Siassi, F. (2006). The effect of repeated blood donations on the iron status of Iranian blood donors attending the Iranian blood transfusion organization. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin – und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 76(3), 132–137. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.76.3.132>
- Donovan, A., Lima, C.A., Pinkus, J.L., Pinkus, G.S., Zon, L.I., Robine, S., & Andrews, N.C. (2005). The iron exporter ferroportin/Slc40a1 is essential for iron homeostasis. *Cell metabolism*, 1(3), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2005.01.003>
- Drexler, C., Macher, S., Lindenau, I., Holter, M., Moritz, M., Stojakovic, T., Pieber, T.R., Schlenke, P., & Amrein, K. (2020). High-dose intravenous versus oral iron in blood donors with iron deficiency: The IronWoMan randomized, controlled clinical trial. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 39(3), 737–745. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.03.025>
- Engelmann, M.D., Davidsson, L., Sandström, B., Walczyk, T., Hurrell, R.F., & Michaelsen, K. F. (1998). The influence of meat on nonheme iron absorption in infants. *Pediatric research*, 43(6), 768–773. <https://doi.org/10.1203/00006450-199806000-00009>

- Erhabor, O., Imrana, S., Buhari, H.A., Wase, A., & Ikhuenbor, D.A. (2014). Iron deficiency among blood donors in sokoto, north western, Nigeria. *Open Journal of Blood Diseases*, 4, 33–42.
- Feltrin, C., Batista de Morais, M., de Cássia Freitas, K., Beninga de Morais, T., Fagundes Neto, U., & Silvério Amancio, O.M. (2009). Effect of soluble fiber pectin on growth and intestinal iron absorption in rats during recovery from iron deficiency anemia. *Biological trace element research*, 129(1-3), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8307-4>
- Ferreira, G.C., & Gong, J. (1995). 5-Aminolevulinate synthase and the first step of heme biosynthesis. *Journal of bioenergetics and biomembranes*, 27(2), 151–159. <https://doi.org/10.1007/BF02110030>
- Ferris, C.D., Jaffrey, S.R., Sawa, A., Takahashi, M., Brady, S.D., Barrow, R.K., Tysoe, S.A., Wolosker, H., Barañano, D.E., Doré, S., Poss, K.D., & Snyder, S.H. (1999). Haem oxygenase-1 prevents cell death by regulating cellular iron. *Nature cell biology*, 1(3), 152–157. <https://doi.org/10.1038/11072>
- Finch, C.A., Cook, J.D., Labbe, R.F., & Culala, M. (1977). Effect of blood donation on iron stores as evaluated by serum ferritin. *Blood*, 50(3), 441–447.
- Fleming, R.E., & Bacon, B.R. (2005). Orchestration of iron homeostasis. *The New England journal of medicine*, 352(17), 1741–1744. <https://doi.org/10.1056/NEJMp048363>
- Fowler, W.M., & Barer, A.P. (1942). Rate of hemoglobin regeneration in blood donors. *JAMA*, 118(6), 421–427.
- Gaitán, D., Flores, S., Saavedra, P., Miranda, C., Olivares, M., Arredondo, M., López de Romaña, D., Lönnerdal, B., & Pizarro, F. (2011). Calcium does not inhibit the absorption of 5 milligrams of nonheme or heme iron at doses less than 800 milligrams in nonpregnant women. *The Journal of nutrition*, 141(9), 1652–1656. <https://doi.org/10.3945/jn.111.138651>
- Gammon, R.R., Dubey, R., Gupta, G.K., Hinrichsen, C., Jindal, A., Lamba, D.S., Mangwana, S., Radhakrishnan Nair, A., Nalezinski, S., & Bocquet, C. (2023). Patient Blood Management and Its Role in Supporting Blood Supply. *Journal of blood medicine*, 14, 595–611. <https://doi.org/10.2147/JBM.S387322>
- Gammon, R.R., Rosenbaum, L., Cooke, R., Friedman, M., Rockwood, L., Nichols, T., & Vossoughi, S. (2021). Maintaining adequate donations and a sustainable blood supply: Lessons learned. *Transfusion*, 61(1), 294–302. <https://doi.org/10.1111/trf.16145>
- Gao, J., Chen, J., Kramer, M., Tsukamoto, H., Zhang, A.S., & Enns, C.A. (2009). Interaction of the hereditary hemochromatosis protein HFE with transferrin receptor 2 is required for transferrin-induced hepcidin expression. *Cell metabolism*, 9(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2009.01.010>
- Garland, V., Herlitz, L., & Regunathan-Shenk, R. (2020). Diet-induced oxalate nephropathy from excessive nut and seed consumption. *BMJ case reports*, 13(11), e237212. <https://doi.org/10.1136/bcr-2020-237212>
- Geisser, P., & Burckhardt, S. (2011). The pharmacokinetics and pharmacodynamics of iron preparations. *Pharmaceutics*, 3(1), 12–33. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics3010012>
- Gibson, R.S., Bailey, K.B., Gibbs, M., & Ferguson, E.L. (2010). A review of phytate, iron, zinc, and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability. *Food and nutrition bulletin*, 31(2 Suppl), S134–S146. <https://doi.org/10.1177/15648265100312S206>
- Gordeuk, V.R., Brittenham, G.M., Bravo, J., Hughes, M.A., & Keating, L.J. (1990). Prevention of iron deficiency with carbonyl iron in female blood donors. *Transfusion*, 30(3), 239–245. <https://doi.org/10.1046/j.1537-2995.1990.30390194345.x>

- Gordon, D.T., & Chao, L.S. (1984). Relationship of components in wheat bran and spinach to iron bioavailability in the anemic rat. *The Journal of nutrition*, 114(3), 526–535. <https://doi.org/10.1093/jn/114.3.526>
- Gulec, S., Anderson, G.J., & Collins, J.F. (2014). Mechanistic and regulatory aspects of intestinal iron absorption. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 307(4), G397–G409. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00348.2013>
- Gunshin, H., Mackenzie, B., Berger, U.V., Gunshin, Y., Romero, M.F., Boron, W. F., Nussberger, S., Gollan, J.L., & Hediger, M.A. (1997). Cloning and characterization of a mammalian proton-coupled metal-ion transporter. *Nature*, 388(6641), 482–488. <https://doi.org/10.1038/41343>
- Gupta, S., Lakshmi, J., & Prakash, J. (2006). *In Vitro* Bioavailability of Calcium and Iron from Selected Green Leafy Vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2147–2152. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2589>.
- Guyatt, G.H., Oxman, A.D., Ali, M., Willan, A., McIlroy, W., & Patterson, C. (1992). Laboratory diagnosis of iron-deficiency anemia: an overview. *Journal of general internal medicine*, 7(2), 145–153. <https://doi.org/10.1007/BF02598003>
- Gybel-Brask, M., Seeberg, J., Thomsen, L.L., & Johansson, P.I. (2018). Intravenous iron isomaltoside improves hemoglobin concentration and iron stores in female iron-deficient blood donors: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Transfusion*, 58(4), 974–981. <https://doi.org/10.1111/trf.14521>
- Hallberg, L., Brune, M., & Rossander, L. (1989). Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. *The American journal of clinical nutrition*, 49(1), 140–144. <https://doi.org/10.1093/ajcn/49.1.140>
- Hallberg, L., Brune, M., Erlandsson, M., Sandberg, A.S., & Rossander-Hultén, L. (1991). Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *The American journal of clinical nutrition*, 53(1), 112–119. <https://doi.org/10.1093/ajcn/53.1.112>
- Hallberg, L., Rossander, L., & Skånberg, A.B. (1987). Phytates and the inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *The American journal of clinical nutrition*, 45(5), 988–996. <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.5.988>
- Hallberg, L., Rossander-Hulthén, L., Brune, M., & Gleerup, A. (1993). Inhibition of haem-iron absorption in man by calcium. *The British journal of nutrition*, 69(2), 533–540. <https://doi.org/10.1079/bjn19930053>
- Harland, B.F. & Morris, E.R. (1995). Phytate: A Good or a Bad Food Component?. *Nutrition research (New York, N.Y.)*, 15(5), 733–754. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(95\)00040-P](https://doi.org/10.1016/0271-5317(95)00040-P)
- Hart, J.J., Tako, E., & Glahn, R.P. (2017). Characterization of Polyphenol Effects on Inhibition and Promotion of Iron Uptake by Caco-2 Cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(16), 3285–3294. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05755>
- Hart, J.J., Tako, E., Kochian, L.V., & Glahn, R.P. (2015). Identification of Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Polyphenols That Inhibit and Promote Iron Uptake by Caco-2 Cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(25), 5950–5956. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00531>
- He, W., Li, X., Ding, K., Li, Y., & Li, W. (2018). Ascorbic Acid can Reverse the Inhibition of Phytic Acid, Sodium Oxalate and Sodium Silicate on Iron Absorption in Caco-2 cells. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 88(1-2), 65–72. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000503>

- Heaney, R.P., Weaver, C.M., & Recker, R.R. (1988). Calcium absorbability from spinach. *The American journal of clinical nutrition*, 47(4), 707–709. <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.4.707>
- Hentze, M.W., & Kühn, L.C. (1996). Molecular control of vertebrate iron metabolism: mRNA-based regulatory circuits operated by iron, nitric oxide, and oxidative stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(16), 8175–8182. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.16.8175>
- Hentze, M.W., Muckenthaler, M.U., Galy, B., & Camaschella, C. (2010). Two to tango: regulation of Mammalian iron metabolism. *Cell*, 142(1), 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2010.06.028>
- Hernández Lamas, M.C., López Pérez-Lanzac, J.C., Prat Arrojo, I., Sánchez Gordo, F., Arleth Christensen, E., & Sánchez Font, E. (1994). Determinación de ferritina sérica: consideraciones para evitar ferropenia inducida en donantes de sangre [Determination of serum ferritin: ideas for avoiding induced ferropenia in blood donors]. *Sangre*, 39(1), 9–14.
- Hinton P.S. (2014). Iron and the endurance athlete. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme*, 39(9), 1012–1018. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0147>
- Hoppe, M., Brün, B., Larsson, M. P., Moraesus, L., & Hulthén, L. (2013). Heme iron-based dietary intervention for improvement of iron status in young women. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 29(1), 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.04.013>
- Hoppe, M., Ross, A.B., Svelander, C., Sandberg, A.S., & Hulthén, L. (2019). Low-phytate wholegrain bread instead of high-phytate wholegrain bread in a total diet context did not improve iron status of healthy Swedish females: a 12-week, randomized, parallel-design intervention study. *European journal of nutrition*, 58(2), 853–864. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1722-1>
- Hower, V., Mendes, P., Torti, F.M., Laubenbacher, R., Akman, S., Shulaev, V., & Torti, S.V. (2009). A general map of iron metabolism and tissue-specific subnetworks. *Molecular bioSystems*, 5(5), 422–443. <https://doi.org/10.1039/b816714c>
- Hunt, J.R., Gallagher, S.K., & Johnson, L.K. (1994). Effect of ascorbic acid on apparent iron absorption by women with low iron stores. *The American journal of clinical nutrition*, 59(6), 1381–1385. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.6.1381>
- Hurrell R.F. (1997). Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutrition reviews*, 55(6), 210–222. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01608.x>
- Hurrell, R.F., Reddy, M.B., Juillerat, M., & Cook, J.D. (2006). Meat protein fractions enhance nonheme iron absorption in humans. *The Journal of nutrition*, 136(11), 2808–2812. <https://doi.org/10.1093/jn/136.11.2808>
- Hurrell, R., & Egli, I. (2010). Iron bioavailability and dietary reference values. *The American journal of clinical nutrition*, 91(5), 1461S–1467S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674F>
- Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients* (2001). Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. National Academies Press (US).
- Ishikawa, S.I., Tamaki, S., Arihara, K., & Itoh, M. (2007). Egg yolk protein and egg yolk phosphatidylcholine inhibit calcium, magnesium, and iron absorptions in rats. *Journal of food science*, 72(6), S412–S419. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00417.x>
- Jain, A., Chowdhury, N., Jain, S., Uttam, N., & Meinia, S.K. (2018). Altered Red Cell Indices in Repeat Blood Donors: Experience of a North Indian Blood Bank. *Indian journal of hematology & blood transfusion: an official journal of Indian Society of Hematology and Blood Transfusion*, 34(4), 666–670. <https://doi.org/10.1007/s12288-018-0954-9>

- Johnson, M.B., & Enns, C.A. (2004). Diferric transferrin regulates transferrin receptor 2 protein stability. *Blood*, 104(13), 4287–4293. <https://doi.org/10.1182/blood-2004-06-2477>
- Johnson-Wimbley, T.D., & Graham, D.Y. (2011). Diagnosis and management of iron deficiency anemia in the 21st century. *Therapeutic advances in gastroenterology*, 4(3), 177–184. <https://doi.org/10.1177/1756283X11398736>
- Karp, J.K., & King, K.E. (2010). International variation in volunteer whole blood donor eligibility criteria. *Transfusion*, 50(2), 507–513. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2009.02392.x>
- Keel, S.B., Doty, R.T., Yang, Z., Quigley, J.G., Chen, J., Knoblauch, S., Kingsley, P.D., De Domenico, I., Vaughn, M.B., Kaplan, J., Palis, J., & Abkowitz, J.L. (2008). A heme export protein is required for red blood cell differentiation and iron homeostasis. *Science (New York, N.Y.)*, 319(5864), 825–828. <https://doi.org/10.1126/science.1151133>
- Kelsay, J.L., & Prather, E.S. (1983). Mineral balances of human subjects consuming spinach in a low-fiber diet and in a diet containing fruits and vegetables. *The American journal of clinical nutrition*, 38(1), 12–19. <https://doi.org/10.1093/ajcn/38.1.12>
- Khoja, K.K., Aslam, M.F., Sharp, P.A., & Latunde-Dada, G.O. (2021). In vitro bioaccessibility and bioavailability of iron from fenugreek, baobab and moringa. *Food chemistry*, 335, 127671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127671>
- Kim, M., Lee, D.T., & Lee, Y.S. (1995). Iron Absorption and Intestinal Solubility in Rats Are Influenced by Dietary Proteins. *Nutrition research (New York, N.Y.)*, 15(11), 1705–1716. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(95\)02041-0](https://doi.org/10.1016/0271-5317(95)02041-0)
- Kiss J.E. (2015). Laboratory and genetic assessment of iron deficiency in blood donors. *Clinics in laboratory medicine*, 35(1), 73–91. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2014.10.011>
- Kiss, J.E., Brambilla, D., Glynn, S.A., Mast, A.E., Spencer, B.R., Stone, M., Kleinman, S. H., Cable, R.G., & National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study–III (REDS-III) (2015). Oral iron supplementation after blood donation: a randomized clinical trial. *JAMA*, 313(6), 575–583. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.119>
- Kiss, J.E., Steele, W.R., Wright, D.J., Mast, A.E., Carey, P.M., Murphy, E.L., Gottschall, J. L., Simon, T.L., Cable, R.G., & NHLBI Retrovirus Epidemiology Donor Study-II (2013). Laboratory variables for assessing iron deficiency in REDS-II Iron Status Evaluation (RISE) blood donors. *Transfusion*, 53(11), 2766–2775. <https://doi.org/10.1111/trf.12209>
- Kotzé, S.R., Pedersen, O.B., Petersen, M.S., Sørensen, E., Thørner, L.W., Sørensen, C.J., Rigas, A.S., Hjalgrim, H., Rostgaard, K., Ullum, H., & Erikstrup, C. (2015). Predictors of hemoglobin in Danish blood donors: results from the Danish Blood Donor Study. *Transfusion*, 55(6), 1303–1311. <https://doi.org/10.1111/trf.13011>
- Krayenbuehl, P.A., Battegay, E., Breyman, C., Furrer, J., & Schulthess, G. (2011). Intravenous iron for the treatment of fatigue in nonanemic, premenopausal women with low serum ferritin concentration. *Blood*, 118(12), 3222–3227. <https://doi.org/10.1182/blood-2011-04-346304>
- Krishnamurthy, P., Xie, T., & Schuetz, J.D. (2007). The role of transporters in cellular heme and porphyrin homeostasis. *Pharmacology & therapeutics*, 114(3), 345–358. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2007.02.001>
- Layrisse, M., Martínez-Torres, C., & Roche, M. (1968). Effect of interaction of various foods on iron absorption. *The American journal of clinical nutrition*, 21(10), 1175–1183. <https://doi.org/10.1093/ajcn/21.10.1175>
- Lazrak, M., El Kari, K., Stoffel, N.U., Elammari, L., Al-Jawaldeh, A., Loechl, C.U., Yahyane, A., Barkat, A., Zimmermann, M.B., & Aguenau, H. (2021). Tea Consumption Reduces Iron Bioavailability from

- NaFeEDTA in Nonanemic Women and Women with Iron Deficiency Anemia: Stable Iron Isotope Studies in Morocco. *The Journal of nutrition*, 151(9), 2714–2720. <https://doi.org/10.1093/jn/nxab159>
- Lee, D.H., Zhou, L.J., Zhou, Z., Xie, J.X., Jung, J.U., Liu, Y., Xi, C.X., Mei, L., & Xiong, W.C. (2010). Neogenin inhibits HJV secretion and regulates BMP-induced hepcidin expression and iron homeostasis. *Blood*, 115(15), 3136–3145. <https://doi.org/10.1182/blood-2009-11-251199>
- Liuzzi, J.P., Aydemir, F., Nam, H., Knutson, M.D., & Cousins, R.J. (2006). Zip14 (Slc39a14) mediates non-transferrin-bound iron uptake into cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(37), 13612–13617. <https://doi.org/10.1073/pnas.0606424103>
- Lobier, M., Castrén, J., Niittymäki, P., Palokangas, E., Partanen, J., & Arvas, M. (2019). The effect of donation activity dwarfs the effect of lifestyle, diet and targeted iron supplementation on blood donor iron stores. *PloS one*, 14(8), e0220862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220862>
- Lönnerdal B. (2010). Calcium and iron absorption--mechanisms and public health relevance. International journal for vitamin and nutrition research. *Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 80(4-5), 293–299. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000036>
- Lynch S. *The rationale for selecting and standardizing iron status indicators*. Geneva: World Health Organization; 2012.
- Lynch, S.R., & Cook, J.D. (1980). Interaction of vitamin C and iron. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 355, 32–44. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb21325.x>
- Lynch, S.R., Dassenko, S.A., Cook, J.D., Juillerat, M.A., & Hurrell, R.F. (1994). Inhibitory effect of a soybean-protein-related moiety on iron absorption in humans. *The American journal of clinical nutrition*, 60(4), 567–572. <https://doi.org/10.1093/ajcn/60.4.567>
- Ma, Q., Kim, E.Y., Lindsay, E.A., & Han, O. (2011). Bioactive dietary polyphenols inhibit heme iron absorption in a dose-dependent manner in human intestinal Caco-2 cells. *Journal of food science*, 76(5), H143–H150. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02184.x>
- Macher, S., Herster, C., Holter, M., Moritz, M., Matzhold, E.M., Stojakovic, T., Pieber, T. R., Schlenke, P., Drexler, C., & Amrein, K. (2020). The Effect of Parenteral or Oral Iron Supplementation on Fatigue, Sleep, Quality of Life and Restless Legs Syndrome in Iron-Deficient Blood Donors: A Secondary Analysis of the IronWoMan RCT. *Nutrients*, 12(5), 1313. <https://doi.org/10.3390/nu12051313>
- Mackenzie, B., & Garrick, M.D. (2005). Iron Imports. II. Iron uptake at the apical membrane in the intestine. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 289(6), G981–G986. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00363.2005>
- Mahida, V.I., Bhatti, A., & Gupte, S.C. (2008). Iron status of regular voluntary blood donors. *Asian journal of transfusion science*, 2(1), 9–12. <https://doi.org/10.4103/0973-6247.39504>
- Mantadakis, E., Panagopoulou, P., Kontekaki, E., Bezirgiannidou, Z., & Martinis, G. (2022). Iron Deficiency and Blood Donation: Links, Risks and Management. *Journal of blood medicine*, 13, 775–786. <https://doi.org/10.2147/JBM.S375945>
- Marks, D.C., Speedy, J., Robinson, K.L., Brama, T., Capper, H.R., Mondy, P., & Keller, A. J. (2014). An 8-week course of 45 mg of carbonyl iron daily reduces iron deficiency in female whole blood donors aged 18 to 45 years: results of a prospective randomized controlled trial. *Transfusion*, 54(3 Pt 2), 780–788. <https://doi.org/10.1111/trf.12464>
- Mast A.E. (2014). Low hemoglobin deferral in blood donors. *Transfusion medicine reviews*, 28(1), 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2013.11.001>

- Mast, A.E., Bialkowski, W., Bryant, B.J., Wright, D.J., Birch, R., Kiss, J.E., D'Andrea, P., Cable, R.G., & Spencer, B.R. (2016). A randomized, blinded, placebo-controlled trial of education and iron supplementation for mitigation of iron deficiency in regular blood donors. *Transfusion*, 56(6 Pt 2), 1588–1597. <https://doi.org/10.1111/trf.13469>
- Mast, A.E., Szabo, A., Stone, M., Cable, R.G., Spencer, B.R., Kiss, J.E., & NHLBI Recipient Epidemiology Donor Evaluation Study (REDS)-III (2020). The benefits of iron supplementation following blood donation vary with baseline iron status. *American journal of hematology*, 95(7), 784–791. <https://doi.org/10.1002/ajh.25800>
- McDermid, J.M., & Lönnnerdal, B. (2012). Iron. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 3(4), 532–533. <https://doi.org/10.3945/an.112.002261>
- McKie, A.T., Marciani, P., Rolfs, A., Brennan, K., Wehr, K., Barrow, D., Miret, S., Bomford, A., Peters, T.J., Farzaneh, F., Hediger, M.A., Hentze, M.W., & Simpson, R.J. (2000). A novel duodenal iron-regulated transporter, IREG1, implicated in the basolateral transfer of iron to the circulation. *Molecular cell*, 5(2), 299–309. [https://doi.org/10.1016/s1097-2765\(00\)80425-6](https://doi.org/10.1016/s1097-2765(00)80425-6)
- Mendoza, C., Viteri, F.E., Lönnnerdal, B., Raboy, V., Young, K.A., & Brown, K.H. (2001). Absorption of iron from unmodified maize and genetically altered, low-phytate maize fortified with ferrous sulfate or sodium iron EDTA. *The American journal of clinical nutrition*, 73(1), 80–85. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.1.80>
- Milman N. (1996). Serum ferritin in Danes: studies of iron status from infancy to old age, during blood donation and pregnancy. *International journal of hematology*, 63(2), 103–135. [https://doi.org/10.1016/0925-5710\(95\)00426-2](https://doi.org/10.1016/0925-5710(95)00426-2)
- Milman, N., & Kirchhoff, M. (1999). Relationship between serum ferritin and risk factors for ischaemic heart disease in 2235 Danes aged 30-60 years. *Journal of internal medicine*, 245(5), 423–433. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.1999.00465.x>
- Mittal, R., Marwaha, N., Basu, S., Mohan, H., & Ravi Kumar, A. (2006). Evaluation of iron stores in blood donors by serum ferritin. *The Indian journal of medical research*, 124(6), 641–646.
- Mohammed, O., Dyab, N., Kheadr, E., & Dabour, N. (2021). Effectiveness of inulin-type on the iron bioavailability in anemic female rats fed bio-yogurt. *RSC advances*, 11(4), 1928–1938. <https://doi.org/10.1039/d0ra08873k>
- Muckenthaler, M.U., Galy, B., & Hentze, M.W. (2008). Systemic iron homeostasis and the iron-responsive element/iron-regulatory protein (IRE/IRP) regulatory network. *Annual review of nutrition*, 28, 197–213. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.28.061807.155521>
- Murray-Kolb, L.E., Beard, J.L., Joseph, L.J., Davey, S.L., Evans, W.J., & Campbell, W.W. (2001). Resistance training affects iron status in older men and women. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 11(3), 287–298. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.11.3.287>
- Muzykantov V.R. (2010). Drug delivery by red blood cells: vascular carriers designed by mother nature. *Expert opinion on drug delivery*, 7(4), 403–427. <https://doi.org/10.1517/17425241003610633>
- Nadarajan, V.S., & Eow, G.I. (2002). Anaemia and iron status among blood donors in a blood transfusion unit in Malaysia. *The Malaysian journal of pathology*, 24(2), 99–102.
- Nadarajan, V., Sthaneshwar, P., & Eow, G.I. (2008). Use of red blood cell indices for the identification of iron deficiency among blood donors. *Transfusion medicine (Oxford, England)*, 18(3), 184–189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3148.2008.00862.x>
- Navas-Carretero, S., Pérez-Granados, A.M., Sarriá, B., Carbajal, A., Pedrosa, M.M., Roe, M.A., Fairweather-Tait, S.J., & Vaquero, M.P. (2008). Oily fish increases iron bioavailability of a phytate rich

- meal in young iron deficient women. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(1), 96–101. <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719680>
- Ndiaye, N.F., Idohou-Dossou, N., Bürkli, S., Diouf, A., Loucoubar, C., Guiro, A.T., Zimmermann, M.B., Wade, S., & Moretti, D. (2020). Polyphenol-rich tea decreases iron absorption from fortified wheat bread in Senegalese mother-child pairs and bioavailability of ferrous fumarate is sharply lower in children. *European journal of clinical nutrition*, 74(8), 1221–1228. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0601-z>
- Nemeth, E., Tuttle, M.S., Powelson, J., Vaughn, M.B., Donovan, A., Ward, D.M., Ganz, T., & Kaplan, J. (2004). Hcpidin regulates cellular iron efflux by binding to ferroportin and inducing its internalization. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5704), 2090–2093. <https://doi.org/10.1126/science.1104742>
- Norashikin, J., Roshan, T.M., Rosline, H., Zaidah, A.W., Suhair, A.A., & Rapiaah, M. (2006). A study of serum ferritin levels among male blood donors in Hospital Universiti sains Malaysia. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 37(2), 370–373.
- O'Flaherty, E.A.A., Tsermoula, P., O'Neill, E.E., & O'Brien, N.M. (2019). Co-Products of Beef Processing Enhance Non-Haem Iron Absorption in an *in Vitro* Digestion/Caco-2 Cell Model. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1256–1264. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14049>.
- O'Brien, S.F., & Goldman, M. (2017). Understanding iron depletion and overload in blood donors. *ISBT Science Series*, 12(1), 11-18.
- Ohgami, R.S., Campagna, D.R., McDonald, A., & Fleming, M.D. (2006). The Steap proteins are metalloredutases. *Blood*, 108(4), 1388–1394. <https://doi.org/10.1182/blood-2006-02-003681>
- O'Meara, A., Infanti, L., Stebler, C., Ruesch, M., Sigle, J.P., Stern, M., & Buser, A. (2011). The value of routine ferritin measurement in blood donors. *Transfusion*, 51(10), 2183–2188. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2011.03148.x>
- Otto, J.M., Montgomery, H.E., & Richards, T. (2013). Haemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and of surgical outcome. *Extreme physiology & medicine*, 2(1), 33. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-33>
- Pachikian, B., Naslain, D., Benoit, N., Brebels, R., Van Asch, K., Compernelle, V., Vandekerckhove, P., & Deldicque, L. (2020). Iron supplementation limits the deleterious effects of repeated blood donation on endurance sport performance but not on iron status. *Blood transfusion = Trasfusione del sangue*, 18(5), 334–347. <https://doi.org/10.2450/2020.0087-20>
- Pandey, K.B., & Rizvi, S.I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2(5), 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Park, C.H., Valore, E.V., Waring, A.J., & Ganz, T. (2001). Hcpidin, a urinary antimicrobial peptide synthesized in the liver. *The Journal of biological chemistry*, 276(11), 7806–7810. <https://doi.org/10.1074/jbc.M008922200>
- Perron, N.R., & Brumaghim, J.L. (2009). A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell biochemistry and biophysics*, 53(2), 75–100. <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9043-x>
- Petry, N., Egli, I., Chassard, C., Lacroix, C., & Hurrell, R. (2012). Inulin modifies the bifidobacteria population, fecal lactate concentration, and fecal pH but does not influence iron absorption in women with low iron status. *The American journal of clinical nutrition*, 96(2), 325–331. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.035717>

- Petry, N., Egli, I., Zeder, C., Walczyk, T., & Hurrell, R. (2010). Polyphenols and phytic acid contribute to the low iron bioavailability from common beans in young women. *The Journal of nutrition*, 140(11), 1977–1982. <https://doi.org/10.3945/jn.110.125369>
- Pigeon, C., Ilyin, G., Courselaud, B., Leroyer, P., Turlin, B., Brissot, P., & Loréal, O. (2001). A new mouse liver-specific gene, encoding a protein homologous to human antimicrobial peptide hepcidin, is overexpressed during iron overload. *The Journal of biological chemistry*, 276(11), 7811–7819. <https://doi.org/10.1074/jbc.M008923200>
- Piskin, E., Cianciosi, D., Gulec, S., Tomas, M., & Capanoglu, E. (2022). Iron Absorption: Factors, Limitations, and Improvement Methods. *ACS omega*, 7(24), 20441–20456. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01833>
- Pottgiesser, T., Specker, W., Umhau, M., Dickhuth, H. H., Roecker, K., & Schumacher, Y. O. (2008). Recovery of hemoglobin mass after blood donation. *Transfusion*, 48(7), 1390–1397. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2008.01719.x>
- Punnonen, K., & Rajamäki, A. (1999). Evaluation of iron status of Finnish blood donors using serum transferrin receptor. *Transfusion medicine (Oxford, England)*, 9(2), 131–134. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3148.1999.00191.x>
- Qiao, B., Sugianto, P., Fung, E., Del-Castillo-Rueda, A., Moran-Jimenez, M.J., Ganz, T., & Nemeth, E. (2012). Hepcidin-induced endocytosis of ferroportin is dependent on ferroportin ubiquitination. *Cell metabolism*, 15(6), 918–924. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.03.018>
- Qiu, A., Jansen, M., Sakaris, A., Min, S. H., Chattopadhyay, S., Tsai, E., Sandoval, C., Zhao, R., Akabas, M.H., & Goldman, I.D. (2006). Identification of an intestinal folate transporter and the molecular basis for hereditary folate malabsorption. *Cell*, 127(5), 917–928. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.09.041>
- Radtke, H., Mayer, B., Röcker, L., Salama, A., & Kiesewetter, H. (2004b). Iron supplementation and 2-unit red blood cell apheresis: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Transfusion*, 44(10), 1463–1467. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2004.04045.x>
- Radtke, H., Meyer, T., Kalus, U., Röcker, L., Salama, A., Kiesewetter, H., & Latza, R. (2005). Rapid identification of iron deficiency in blood donors with red cell indexes provided by Advia 120. *Transfusion*, 45(1), 5–10. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2005.04205.x>
- Radtke, H., Tegtmeier, J., Röcker, L., Salama, A., & Kiesewetter, H. (2004a). Daily doses of 20 mg of elemental iron compensate for iron loss in regular blood donors: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Transfusion*, 44(10), 1427–1432. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2004.04074.x>
- Radtke, H., Tegtmeier, J., Röcker, L., Salama, A., & Kiesewetter, H. (2005). Compensating for iron loss in regular blood donors using ferrous gluconate and ascorbic acid. *Transfusion*, 45(7), 1236–1237. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2005.00183.x>
- Rajagopal, A., Rao, A.U., Amigo, J., Tian, M., Upadhyay, S.K., Hall, C., Uhm, S., Mathew, M.K., Fleming, M.D., Paw, B.H., Krause, M., & Hamza, I. (2008). Haem homeostasis is regulated by the conserved and concerted functions of HRG-1 proteins. *Nature*, 453(7198), 1127–1131. <https://doi.org/10.1038/nature06934>
- Reddy K.V., Shastry, S., Raturi, M., & Baliga B.P. (2020). Impact of Regular Whole-Blood Donation on Body Iron Stores. *Transfusion medicine and hemotherapy: offizielles Organ der Deutschen Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhamatologie*, 47(1), 75–79. <https://doi.org/10.1159/000499768>
- Rigas, A.S., Sørensen, C.J., Pedersen, O.B., Petersen, M.S., Thørner, L.W., Kotzé, S., Sørensen, E., Magnussen, K., Rostgaard, K., Erikstrup, C., & Ullum, H. (2014). Predictors of iron levels in 14,737 Danish blood donors: results from the Danish Blood Donor Study. *Transfusion*, 54(3 Pt 2), 789–796. <https://doi.org/10.1111/trf.12518>

- Robb, A., & Wessling-Resnick, M. (2004). Regulation of transferrin receptor 2 protein levels by transferrin. *Blood*, 104(13), 4294–4299. <https://doi.org/10.1182/blood-2004-06-2481>
- Roughead, Z.K., Zito, C.A., & Hunt, J.R. (2002). Initial uptake and absorption of nonheme iron and absorption of heme iron in humans are unaffected by the addition of calcium as cheese to a meal with high iron bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 76(2), 419–425. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.2.419>
- Roughead, Z.K., Zito, C.A., & Hunt, J.R. (2005). Inhibitory effects of dietary calcium on the initial uptake and subsequent retention of heme and nonheme iron in humans: comparisons using an intestinal lavage method. *The American journal of clinical nutrition*, 82(3), 589–597. <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.3.589>
- Rutzke, C.J., Glahn, R.P., Rutzke, M.A., Welch, R.M., Langhans, R.W., Albright, L.D., Combs, G.F., Jr, & Wheeler, R.M. (2004). Bioavailability of iron from spinach using an in vitro/human Caco-2 cell bioassay model. *Habitation (Elmsford, N.Y.)*, 10(1), 7–14. <https://doi.org/10.3727/154296604774808900>
- Sadowska, J., & Sacharczuk, O. (2011). Ocena wpływu sposobu żywienia na możliwość oddania krwi przez krwiodawców wielokrotnych [The estimation of the influence of pattern of consumption on the possibility of blood donation by repeated blood donors]. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 62(2), 193–198.
- Scarano, A., Laddomada, B., Blando, F., De Santis, S., Verna, G., Chieppa, M., & Santino, A. (2023). The Chelating Ability of Plant Polyphenols Can Affect Iron Homeostasis and Gut Microbiota. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 630. <https://doi.org/10.3390/antiox12030630>
- Schade, A.L., & Caroline, L. (1946). An Iron-binding Component in Human Blood Plasma. *Science (New York, N.Y.)*, 104(2702), 340–341. <https://doi.org/10.1126/science.104.2702.340>
- Schumacher, Y.O., Schmid, A., Grathwohl, D., Bültermann, D., & Berg, A. (2002). Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(5), 869–875. <https://doi.org/10.1097/00005768-200205000-00022>
- Sharp P.A. (2010). Intestinal iron absorption: regulation by dietary & systemic factors. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 80(4-5), 231–242. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000029>
- Shaw, G.C., Cope, J.J., Li, L., Corson, K., Hersey, C., Ackermann, G.E., Gwynn, B., Lambert, A.J., Wingert, R.A., Traver, D., Trede, N.S., Barut, B.A., Zhou, Y., Minet, E., Donovan, A., Brownlie, A., Balzan, R., Weiss, M.J., Peters, L.L., Kaplan, J., ... Paw, B.H. (2006). Mitoferrin is essential for erythroid iron assimilation. *Nature*, 440(7080), 96–100. <https://doi.org/10.1038/nature04512>
- Shayeghi, M., Latunde-Dada, G.O., Oakhill, J.S., Laftah, A.H., Takeuchi, K., Halliday, N., Khan, Y., Warley, A., McCann, F.E., Hider, R.C., Frazer, D.M., Anderson, G.J., Vulpe, C.D., Simpson, R.J., & McKie, A.T. (2005). Identification of an intestinal heme transporter. *Cell*, 122(5), 789–801. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.06.025>
- Silvestri, L., Pagani, A., Nai, A., De Domenico, I., Kaplan, J., & Camaschella, C. (2008). The serine protease matriptase-2 (TMPRSS6) inhibits hepcidin activation by cleaving membrane hemojuvelin. *Cell metabolism*, 8(6), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2008.09.012>
- Simon, T.L., Garry, P.J., & Hooper, E.M. (1981). Iron stores in blood donors. *JAMA*, 245(20), 2038–2043.
- Skikne, B.S., Flowers, C.H., & Cook, J.D. (1990). Serum transferrin receptor: a quantitative measure of tissue iron deficiency. *Blood*, 75(9), 1870–1876.

- Skolmowska, D., & Głabska, D. (2019). Analysis of Heme and Non-Heme Iron Intake and Iron Dietary Sources in Adolescent Menstruating Females in a National Polish Sample. *Nutrients*, 11(5), 1049. <https://doi.org/10.3390/nu11051049>
- Smirnoff N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free radical biology & medicine*, 122, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033>
- Spencer B.R. (2020). Oral iron and blood donation: cui bono? *Blood transfusion = Trasfusione del sangue*, 18(5), 329–331. <https://doi.org/10.2450/2020.0239-20>
- Spencer, B.R., & Mast, A.E. (2022). Iron status of blood donors. *Current opinion in hematology*, 29(6), 310–316. <https://doi.org/10.1097/MOH.0000000000000733>
- Stern, M., O'Meara, A., Infanti, L., Sigle, J.P., & Buser, A. (2012). Prognostic value of red blood cell parameters and ferritin in predicting deferral due to low hemoglobin in whole blood donors. *Annals of hematology*, 91(5), 775–780. <https://doi.org/10.1007/s00277-011-1371-4>
- Storcksdieck genannt Bonsmann, S., Walczyk, T., Renggli, S., & Hurrell, R.F. (2008). Oxalic acid does not influence nonhaem iron absorption in humans: a comparison of kale and spinach meals. *European journal of clinical nutrition*, 62(3), 336–341. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602721>
- Strain, J.J., & Cashman, K.D. (2009). Minerals and trace elements. Human nutrition: The Nutrition Society.
- Suominen, P., Punnonen, K., Rajamäki, A., & Irjala, K. (1998). Serum transferrin receptor and transferrin receptor-ferritin index identify healthy subjects with subclinical iron deficits. *Blood*, 92(8), 2934–2939.
- Swanson C.A. (2003). Iron intake and regulation: implications for iron deficiency and iron overload. *Alcohol (Fayetteville, N.Y.)*, 30(2), 99–102. [https://doi.org/10.1016/s0741-8329\(03\)00103-4](https://doi.org/10.1016/s0741-8329(03)00103-4)
- Teucher, B., Olivares, M., & Cori, H. (2004). Enhancers of iron absorption: ascorbic acid and other organic acids. International journal for vitamin and nutrition research. *Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal internationale de vitaminologie et de nutrition*, 74(6), 403–419. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.403>
- Theil E.C. (2003). Ferritin: at the crossroads of iron and oxygen metabolism. *The Journal of nutrition*, 133(5 Suppl 1), 1549S–53S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.5.1549S>
- Timmer, T.C., de Groot, R., Rijnhart, J.J.M., Lakerveld, J., Brug, J., Perenboom, C.W.M., Baart, M.A., Prinsze, F.J., Zalpuri, S., van der Schoot, E.C., de Kort, W.L.A.M., & van den Hurk, K. (2020). Dietary intake of heme iron is associated with ferritin and hemoglobin levels in Dutch blood donors: results from Donor InSight. *Haematologica*, 105(10), 2400–2406. <https://doi.org/10.3324/haematol.2019.229450>
- Toxqui, L., Pérez-Granados, A.M., Blanco-Rojo, R., Wright, I., González-Vizcayno, C., & Vaquero, M.P. (2013). Effects of an iron or iron and vitamin D-fortified flavored skim milk on iron metabolism: a randomized controlled double-blind trial in iron-deficient women. *Journal of the American College of Nutrition*, 32(5), 312–320. <https://doi.org/10.1080/07315724.2013.826116>
- Troesch, B., Jing, H., Lailou, A., & Fowler, A. (2013). Absorption studies show that phytase from *Aspergillus niger* significantly increases iron and zinc bioavailability from phytate-rich foods. *Food and nutrition bulletin*, 34(2 Suppl.), S90–S101. <https://doi.org/10.1177/15648265130342S111>
- Turi, J.L., Wang, X., McKie, A.T., Nozik-Grayck, E., Mamo, L.B., Crissman, K., Piantadosi, C.A., & Ghio, A.J. (2006). Duodenal cytochrome b: a novel ferrireductase in airway epithelial cells. *American journal of physiology. Lung cellular and molecular physiology*, 291(2), L272–L280. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00342.2005>

- Van Campen, D.R., & Welch, R.M. (1980). Availability to rats of iron from spinach: Effects of oxalic acid. *The Journal of nutrition*, 110(8), 1618–1621. <https://doi.org/10.1093/jn/110.8.1618>
- Vassallo R.R. (2021). Donor iron depletion in context. *Transfusion*, 61(1), 318–321. <https://doi.org/10.1111/trf.16219>
- Verga Falzacappa, M.V., Vujic Spasic, M., Kessler, R., Stolte, J., Hentze, M.W., & Muckenthaler, M.U. (2007). STAT3 mediates hepatic hepcidin expression and its inflammatory stimulation. *Blood*, 109(1), 353–358. <https://doi.org/10.1182/blood-2006-07-033969>
- Villaño, D., Vilaplana, C., Medina, S., Algaba-Chueca, F., Cejuela-Anta, R., Martínez-Sanz, J.M., Ferreres, F., & Gil-Izquierdo, A. (2016). Relationship between the Ingestion of a Polyphenol-Rich Drink, Hepcidin Hormone, and Long-Term Training. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(10), 1333. <https://doi.org/10.3390/molecules21101333>
- Vuk, T., Bingulac-Popović, J., Očić, T., Mayer, L.J., Milošević, M., & Jukić, I. (2017). Combined cell index in assessing blood donor iron stores. *Transfusion medicine (Oxford, England)*, 27(1), 16–24. <https://doi.org/10.1111/tme.12370>
- Vulpe, C.D., Kuo, Y.M., Murphy, T.L., Cowley, L., Askwith, C., Libina, N., Gitschier, J., & Anderson, G.J. (1999). Hephaestin, a ceruloplasmin homologue implicated in intestinal iron transport, is defective in the sla mouse. *Nature genetics*, 21(2), 195–199. <https://doi.org/10.1038/5979>
- Wadsworth G.R. (1955). Recovery from acute haemorrhage in normal men and women. *The Journal of physiology*, 129(3), 583–593. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1955.sp005380>
- Walczyk, T., Muthayya, S., Wegmüller, R., Thankachan, P., Sierksma, A., Frenken, L.G., Thomas, T., Kurpad, A., & Hurrell, R.F. (2014). Inhibition of iron absorption by calcium is modest in an iron-fortified, casein- and whey-based drink in Indian children and is easily compensated for by addition of ascorbic acid. *The Journal of nutrition*, 144(11), 1703–1709. <https://doi.org/10.3945/jn.114.193417>
- Wallace, D.F., Summerville, L., Crampton, E.M., Frazer, D.M., Anderson, G.J., & Subramaniam, V.N. (2009). Combined deletion of Hfe and transferrin receptor 2 in mice leads to marked dysregulation of hepcidin and iron overload. *Hepatology (Baltimore, Md.)*, 50(6), 1992–2000. <https://doi.org/10.1002/hep.23198>
- Wang, R.H., Li, C., Xu, X., Zheng, Y., Xiao, C., Zervas, P., Cooperman, S., Eckhaus, M., Rouault, T., Mishra, L., & Deng, C.X. (2005). A role of SMAD4 in iron metabolism through the positive regulation of hepcidin expression. *Cell metabolism*, 2(6), 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2005.10.010>
- Wang, X., Li, Y., Han, L., Li, J., Liu, C., & Sun, C. (2021). Role of Flavonoids in the Treatment of Iron Overload. *Frontiers in cell and developmental biology*, 9, 685364. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.685364>
- Weinborn, V., Valenzuela, C., Olivares, M., Arredondo, M., Weill, R., & Pizarro, F. (2017). Prebiotics increase heme iron bioavailability and do not affect non-heme iron bioavailability in humans. *Food & function*, 8(5), 1994–1999. <https://doi.org/10.1039/c6fo01833e>
- Worwood M. (2002). Serum transferrin receptor assays and their application. *Annals of clinical biochemistry*, 39(Pt 3), 221–230. <https://doi.org/10.1258/0004563021902152>
- Wrighting, D.M., & Andrews, N.C. (2006). Interleukin-6 induces hepcidin expression through STAT3. *Blood*, 108(9), 3204–3209. <https://doi.org/10.1182/blood-2006-06-027631>
- Yiannikourides, A., & Latunde-Dada, G.O. (2019). A Short Review of Iron Metabolism and Pathophysiology of Iron Disorders. *Medicines (Basel, Switzerland)*, 6(3), 85. <https://doi.org/10.3390/medicines6030085>

You, S., Ma, Y., Yan, B., Pei, W., Wu, Q., Ding, C., & Huang, C. (2022). The promotion mechanism of prebiotics for probiotics: A review. *Frontiers in nutrition*, 9, 1000517. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000517>

Zeger, G., Selogie, E., & Shulman, I.A. (2007). Blood Donation and Collection. *Blood Banking and Transfusion Medicine*, 157–182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-06981-9.50016-8>

Zijp, I.M., Korver, O., & Tijburg, L.B. (2000). Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40(5), 371–398. <https://doi.org/10.1080/10408690091189194>

Zimmermann, M.B., & Hurrell, R.F. (2007). Nutritional iron deficiency. *Lancet (London, England)*, 370(9586), 511–520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61235-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61235-5)

Малгожата Градюк, Галина Ткаченко, Наталія Кургалюк

ЗНАЧЕННЯ ЗАЛІЗА В РАЦІОНІ ДОНОРІВ КРОВІ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ

АНОТАЦІЯ

Мета дослідження: Ця публікація є оглядовою статтею і присвячена важливості заліза в раціоні донорів крові, а саме ролі цього мікроелемента в організмі людини, впливу донорства крові на його рівень та рекомендаціям щодо добавок і харчування, щоб запобігти дефіциту цього елемента. В умовах зростання кількості донорів крові та впливу цієї процедури на їхнє здоров'я, інформація, представлена в цій статті на основі результатів досліджень багатьох авторів, має важливе значення для розробки ефективних дієтичних стратегій.

Методологія. Для отримати даних для статті було здійснено пошуки у базах даних PubMed, Scopus, Web of Science і Google Scholar. При цьому обиралися лише такі комбінації ключових слів, як «добавки заліза», «донори крові», «дефіцит заліза», «дієтичне залізо», «профілактика анемії», «рівень феритину». Здійснено обробку літератури за період 1970-2024 років. Крім того було використано результати досліджень, опубліковані в рецензованих наукових журналах. Усі використані статті спочатку оцінювалися на основі їх назв та анотацій. При виборі враховували таку інформацію, як характеристики дослідних груп, методи оцінки рівня заліза, результати та зареєстровані побічні ефекти. Ключові результати щодо ефективності добавок заліза, впливу дієти та моніторингу рівня заліза обговорювалися в контексті їхньої актуальності для донорів крові.

Наукова новизна. У цій статті запропоновано комплексний підхід до вивчення ролі заліза в раціоні донорів крові, поєднуючи результати останніх досліджень із практичними рекомендаціями щодо дієти та добавок. Представлені як біологічні, так і практичні аспекти, що є інноваційним підходом до обговорюваної теми, а також поєднано знання з різних галузей, таких як гематологія, дієтологія, біохімія та профілактична медицина, що дозволяє всебічно проаналізувати цю проблему. Інтеграція цих дисциплін веде до кращого розуміння впливу заліза на здоров'я донорів крові. Цей огляд базується на останніх клінічних дослідженнях і мета-аналізах, що забезпечує достовірність представлених даних. Аналіз результатів останніх досліджень дозволяє сформулювати більш актуальні та точні рекомендації щодо препаратів заліза. Запропоновано персоналізувати дієтичні рекомендації для донорів крові, враховуючи індивідуальні потреби цих людей та індивідуальні метаболічні відмінності. Індивідуальний підхід до дієти та добавок заліза може підвищити ефективність запобігання дефіциту заліза. Висвітлено профілактичні стратегії, такі як програми підтримки донорів крові, які повинні включати регулярний моніторинг рівня заліза, освітницькі програми щодо харчування та добавок, а також індивідуальні дієтичні втручання. Звернено увагу на необхідність довгострокового моніторингу ефектів добавок заліза, яким часто нехтують в короткострокових дослідженнях, а довгостроковий підхід дозволить надійно оцінити тривалість ефектів добавок і його вплив на здоров'я донорів крові.

Висновки. Залізо відіграє фундаментальну роль у підтримці здоров'я донорів крові. Цей елемент необхідний для продукції гемоглобіну, транспортування кисню та багатьох інших метаболічних функцій. Регулярна здача крові викликає значну втрату цього мікроелемента, що може призвести до його дефіциту та анемії при неправильному поповненні. Щоб компенсувати втрату заліза, донорам крові слід звернути особливу увагу на свій раціон. Продукти, багаті гемовим залізом, такі як м'ясо та риба, і негемовим залізом, такі як бобові та зелені листові овочі, повинні складати основу їхнього раціону. Додатково прийом вітаміну С під час їжі може збільшити засвоєння негемового заліза. Регулярний прийом препаратів заліза є ефективним методом профілактики дефіциту заліза у донорів крові. Клінічні дослідження показали, що добавки заліза покращують рівень гемоглобіну та феритину, знижуючи ризик анемії. Добавки повинні підбиратися індивідуально, і донорів слід регулярно контролювати щодо рівня цього елемента в організмі. Просвітницькі програми донорів крові щодо важливості регулярного моніторингу рівня заліза, профілактики анемії та відповідної дієти має

вирішальне значення. Програми підтримки, які включають регулярний моніторинг рівня заліза, надання добавок і індивідуальні рекомендації щодо дієти, можуть значно покращити здоров'я донорів і їх здатність продовжувати донорство. Необхідні подальші дослідження, щоб визначити оптимальні стратегії додавання заліза та їх довгостроковий вплив на здоров'я донорів крові. Дослідження також мають бути зосереджені на індивідуальних відмінностях у метаболізмі даного елемента та на розробці персоналізованих дієтичних рекомендацій.

Ключові слова: залізо, донори крові, добавки заліза, анемія, дієта, феритин, гемоглобін, засвоєння заліза

Received: 17.10.2024. **Accepted:** 13.11.2024. **Published:** 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Gradziuk M., Tkaczenko H., Kurhaluk N. Znaczenie żelaza w diecie dawców krwi i jej składników. *Biota. Human. Technology.* 2024. №3. P. 85-126.

Cite this article in APA style as:

Gradziuk, M., Tkaczenko, H., & Kurhaluk, N. (2024). The importance of iron in the diet of blood donors and its components. *Biota. Human. Technology*, 3, 85-126

Information about the authors:

Gradziuk M. [*in Ukrainian: Градюк М.*] ¹, Graduate Student, email: gosiagra@op.pl
ORCID: 0009-0008-7064-5214
Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk
22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

Tkaczenko H. [*in Ukrainian: Ткаченко Г.*] ², Dr. of Biol. Sc., Prof., email: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl
ORCID: 0000-0003-3951-9005 Scopus-Author ID: 16032082200
Department of Zoology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk
22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

Kurhaluk N. [*in Ukrainian: Кургалюк Н.*] ³, Dr. of Biol. Sc., Prof., email: natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl
ORCID: 0000-0002-4669-1092 Scopus-Author ID: 55520986600
Department of Animal Physiology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk
22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

¹ Data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.

³ Study design.

UDC 578.834COVID-19:3.073.5](477)

DOI: 10.58407/bht.3.24.7



Copyright (c) 2024 Anastassia Rafalskaya, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Anastassia Rafalskaya, Halina Tkaczenko, Natalia Kurhaluk
**ENVIRONMENTAL ENRICHMENT AS A KEY ASPECT
OF HUMAN WELL-BEING DURING THE COVID-19 PANDEMIC**



Анастасія Рафальська, Галина Ткаченко, Наталя Кургалюк
**ЗБАГАЧЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ЯК КЛЮЧОВИЙ АСПЕКТ
ДОБРОБУТУ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС ПАНДЕМІЇ COVID-19**

ABSTRACT

Environmental enrichment (EE) has long been established as an effective method of improving neuroplasticity and reducing behavioral problems in captive mammals. As the creation of an enriched environment includes the effects of social stimuli and novel objects, its translation to humans can be considered reasonable. In this article, the authors suggest that environmental enrichment should be considered as a promising strategy to combat the social isolation caused by the pandemic, providing a better opportunity for behavioral adaptation.

Purpose: The aim of this review is to explore the importance of environmental enrichment as a fundamental component of promoting human well-being in the midst of the COVID-19 pandemic. The aim of this paper was to demonstrate the relationship between psychological distress, cognitive impairment and neuropsychological status in patients suffering from COVID-19 and COVID-related isolation, and to describe the benefits of the environmental enrichment approach and propose it as a potential solution to improve brain performance.

Methodology: Extensive searches were conducted in academic databases including PubMed, PsycINFO, Web of Science and Google Scholar. Keywords including 'environmental enrichment', 'nature exposure', 'physical activity', 'social interaction', 'cognitive stimulation', 'well-being', 'mental health', 'COVID-19 pandemic' and related terms were used. The search was limited to articles published in English and focused on human populations. Studies eligible for inclusion included empirical research, review articles, meta-analyses and theoretical papers relevant to environmental enrichment and human well-being during the COVID-19 pandemic. Relevant articles were screened using titles and abstracts to determine eligibility for full text review. Data were extracted from selected articles, including study objectives, methods, key findings and implications for human well-being. Studies were synthesized thematically to identify common themes, trends and gaps in the literature. The review aims to provide a comprehensive and rigorous synthesis of the literature on the role of environmental enrichment in promoting human well-being during the COVID-19 pandemic.

Scientific novelty: The review presents a new perspective by synthesizing the existing literature on environmental enrichment in the unique context of the COVID-19 pandemic. It explores how environmental factors such as exposure to nature, physical activity and social interactions can serve as critical resources for maintaining and enhancing human well-being in times of crisis. By specifically addressing the impact of the COVID-19 pandemic on human well-being, the review offers a novel examination of the challenges posed by pandemic-related restrictions, isolation and uncertainty. It highlights how environmental enrichment strategies can serve as adaptive coping mechanisms to mitigate the negative psychological and emotional effects of the pandemic. One of the key scientific novelties of the review is its interdisciplinary approach to understanding human well-being. It synthesizes findings from psychology, public health and environmental science to provide a comprehensive analysis of the role of environmental enrichment in promoting holistic well-being during the pandemic.

Conclusions. The review highlights the importance of environmental enrichment, which includes exposure to nature, physical activity, social interactions and cognitive stimulation, in promoting human well-being during the pandemic. Environmental enrichment strategies offer valuable resources for mitigating the negative psychological, emotional and social effects of the COVID-19 pandemic. By providing opportunities for stress reduction, mood enhancement and social support, these interventions contribute to resilience and adaptive coping mechanisms in times of crisis. Exposure to nature is emerging as a particularly powerful form of environmental enrichment, with therapeutic benefits for mental health, emotional well-being and overall quality of life. Encouraging physical activity and facilitating social interactions, albeit within the constraints of public health guidelines, play a critical role in maintaining human well-being during the pandemic.

Key words: environmental enrichment, human well-being, physical activity, social interactions, cognitive stimulation, mental health

АНОТАЦІЯ

Збагачення навколишнього середовища (ЗС) – це ефективний метод покращення нейропластичності та зменшення поведінкових проблем у свавців, що утримуються в неволі. Оскільки створення ЗС передбачає вплив соціальних стимулів і нових об'єктів, його екстраполяція на людей можна вважати розумним. У цій статті автори пропонують розглядати ЗС як перспективну стратегію боротьби з соціальною ізоляцією, викликаною пандемією, надаючи кращі можливості для поведінкової адаптації.

Мета: Мета цього огляду – дослідити важливість ЗС як фундаментального компонента сприяння добробуту людей після пандемії COVID-19. Мета цієї статті полягала в тому, щоб продемонструвати зв'язок між психологічним дистресом, когнітивними порушеннями та нейропсихологічним статусом у пацієнтів, які страждають на COVID-19 та пов'язану з COVID ізоляцією, а також описати переваги підходу до ЗС та запропонувати його як потенційне рішення для покращення роботи мозку.

Методологія: був проведений пошук в академічних базах даних, таких як PubMed, PsycINFO, Web of Science і Google Scholar. Використовувалися такі ключові слова, як «збагачення навколишнього середовища», «вплив природи», «фізична активність», «соціальна взаємодія», «когнітивна стимуляція», «благополуччя», «психічне здоров'я», «пандемія COVID-19» та пов'язані з ними терміни. Пошук був обмежений статтями, опублікованими англійською мовою та зосередженими переважно на людських популяціях. Дослідження, які підлягали включенню, включали емпіричні дослідження, оглядові статті, мета-аналізи та теоретичні статті, пов'язані зі ЗС та добробутом людей під час пандемії COVID-19. Відповідні статті перевірялися з використанням заголовків і анотацій, щоб визначити придатність для рецензування повного тексту. Дані були відібрані з вибраних статей, включаючи цілі дослідження, методи, ключові висновки та наслідки для добробуту людини. Дослідження були узагальнені тематично, щоб визначити спільні теми, тенденції та прогалини в літературі. Огляд має на меті забезпечити всебічний синтез літератури про роль ЗС в сприянні добробуту людей під час пандемії COVID-19.

Наукова новизна: огляд представляє нову перспективу шляхом синтезу існуючої літератури про ЗС в контексті пандемії COVID-19. Він представляє, як фактори навколишнього середовища, такі як вплив природи, фізична активність і соціальні взаємодії, можуть служити важливими ресурсами для підтримки та підвищення добробуту людини під час кризи. Конкретно розглядаючи вплив пандемії COVID-19 на добробут людей, огляд пропонує новий аналіз проблем, пов'язаних із пандемією обмеженнями, ізоляцією та невизначеністю. У ньому підкреслюється, як стратегії ЗС можуть служити адаптивними механізмами подолання та пом'якшення негативних психологічних і емоційних наслідків пандемії. В огляді використано міждисциплінарний підхід до розуміння благополуччя людини. Він синтезує результати психології, охорони здоров'я та наук про навколишнє середовище, щоб забезпечити всебічний аналіз ролі ЗС в сприянні цілісного благополуччя під час пандемії.

Висновки. Огляд підкреслює важливість ЗС, яке включає контакт з природою, фізичну активність, соціальні взаємодії та когнітивну стимуляцію, для сприяння добробуту людей під час пандемії. Стратегії ЗС пропонують цінні ресурси для пом'якшення негативних психологічних, емоційних і соціальних наслідків пандемії COVID-19. Надаючи можливості для зменшення стресу, покращення настрою та соціальної підтримки, ці втручання сприяють стійкості та адаптивним механізмам подолання кризових ситуацій. Вплив на природу стає особливо потужною формою ЗС з терапевтичними перевагами для психічного здоров'я, емоційного благополуччя та загальної якості життя. Заохочення до фізичної активності та сприяння соціальній взаємодії відіграють вирішальну роль у підтримці добробуту людей під час пандемії.

Ключові слова: збагачення навколишнього середовища, добробут людини, фізична активність, соціальні взаємодії, когнітивна стимуляція, психічне здоров'я

Introduction

On 11 March 2020, the World Health Organization (WHO) announced that the COVID-19 epidemic, caused by the SARS-CoV-2 virus first identified in December 2019 in the city of Wuhan, China, had reached pandemic levels. As a result, an extensive programme of containment measures has been put in place, which has had a significant impact on the daily lives of people of all social groups, ages, genders and nationalities. Recent studies have shown that the long-term lack of social interaction and the monotony of the environment caused by quarantine have led to behavioral changes of various kinds, including negative ones. A strong relationship between the duration of quarantine and stress, anxiety and depression has been reported in the literature (Hamaideh et al., 2022). Psychiatric symptoms, including symptoms of post-traumatic

stress disorder (PTSD), anxiety and depression, have been reported in patients with SARS-CoV-1 during the atypical pneumonia epidemic and at 1 month, 1 year, 30 months or more after illness (Cheng et al., 2004a,b; Chua et al., 2004; Wu et al., 2005; Lee et al., 2007). In addition, symptoms of PTSD, depression and anxiety have been described in healthcare workers during the epidemic, 2 months, 2 and 3 years after the atypical pneumonia epidemic, and in the general population during and after the epidemic (Hawryluck et al., 2004; Verma et al., 2004; Lin et al., 2007; Lancee et al., 2008).

In the post-COVID patients, PTSD is often accompanied by a sudden fear of death, shortness of breath, difficulty falling asleep, nightmares and flashbacks. The most common symptoms are characteristic depressing memories or ideas associated with shortness of breath and other unpleasant sensations of the acute period

(Aiyegbusi et al., 2021; Al-Aly et al., 2022). Conditions associated with the effects of COVID-19 or long COVID are characterized by severe cognitive changes, including a condition recently termed 'brain fog'. The resulting cognitive impairment facilitates the spread of the virus, as infected individuals exhibit reduced anti-infection behavior (Gouraud et al., 2021). It should be noted that cognitive complaints are associated with both

anxiety and depressive symptoms and are independent of objective neuropsychological status, reflecting the leading role of anxiety and depression in the cognitive impairment found. It is characteristic that an increase in the number of somatic symptoms of COVID-19 2 months after the acute phase of the disease is associated with depressive, anxiety and post-traumatic symptoms (Fig. 1) (Ismael et al., 2021).

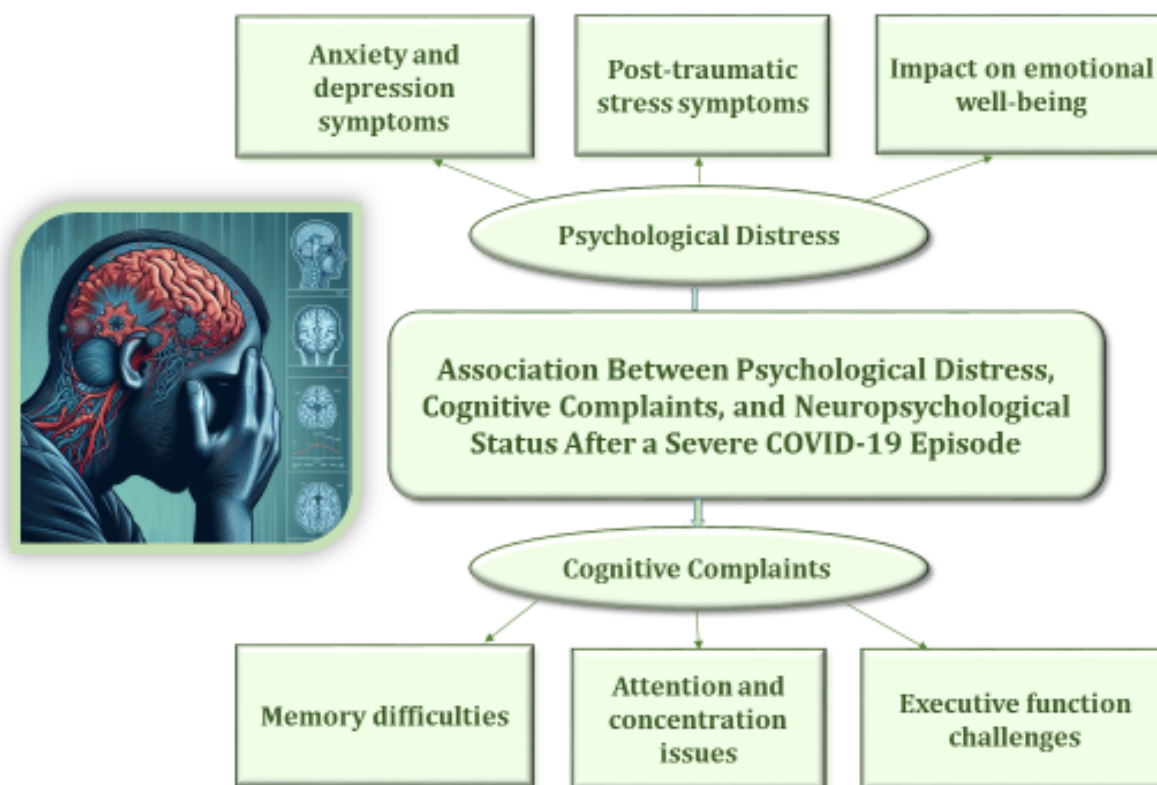


Fig. 1. Association between psychological distress, cognitive complaints and neuropsychological status after a severe COVID-19 episode

It is also known that people who have suffered from coronavirus infection experience cognitive deficits such as difficulties in facial emotion recognition, logical task performance and working memory decline (Hampshire et al., 2021). Cognitive dysfunction, including impairment of executive function and memory, as well as asthenia and a dysregulation syndrome with frontal symptoms in severe cases of the disease, may be caused by respiratory and/or circulatory hypoxemia. Hypoxic damage, microhemorrhage and inflammation of neurons have been identified in various areas of the brain, particularly in the brainstem. The brainstem contains many different nuclei and sections that regulate different physiological processes such as respiratory, cardiovascular, gastrointestinal and neurological. Neurons with a high metabolic demand for oxygen become dysfunctional, leading to cognitive impairment. Hypometabolism in the parahippocampal gyrus, thalamus and some white matter regions may be a secondary consequence of

hypoxic damage to these areas, leading to memory loss and cognitive dysfunction (Yan et al., 2021). The pathogenesis of mental disorders in the post-Covid period is multifactorial and multi-organ in nature, caused by systemic (regulatory, tissue and organ) pathological disturbances of the functioning of the whole organism. The basis of the observed tissue and organ disorders are metabolic disorders at the cellular and subcellular levels, caused in particular by damage to mitochondria, acceleration of lipid peroxidation and the development of oxidative stress. In addition, the side effects of pharmacotherapy for COVID-19 should be taken into account, in particular the use of corticosteroids, interferon, hydroxychloroquine and anti-interleukin monoclonal antibodies (Ceban et al., 2022; Premraj et al., 2022). It is therefore necessary to minimize the negative consequences of human adaptation to new social conditions and to create opportunities to stimulate the brain's cognitive abilities.

The aim of this review is to explore the importance of environmental enrichment as a fundamental component of promoting human well-being in the midst of the COVID-19 pandemic. This review will examine the multiple ways in which the COVID-19 pandemic has affected human well-being, including psychological, emotional and social aspects. The paper will explore the concept of environmental enrichment and its role in improving human health and well-being. It will discuss different forms of environmental enrichment, including exposure to nature, physical activity, social interactions and cognitive stimulation.

Materials and methods

Extensive searches were conducted in academic databases including PubMed, PsycINFO, Web of Science and Google Scholar. Keywords used included 'environmental enrichment', 'nature exposure', 'physical activity', 'social interaction', 'cognitive stimulation', 'well-being', 'mental health', 'COVID-19 pandemic' and related terms were used. The search was limited to articles published in English and focused on human populations. Studies eligible for inclusion included empirical research, review articles, meta-analyses and theoretical papers relevant to environmental enrichment and human well-being during the COVID-19 pandemic. Relevant articles were screened using titles and abstracts to determine eligibility for full-text review. Data were extracted from selected articles, including study objectives, methods, key findings and implications for human well-being. Studies were synthesized thematically to identify common

themes, trends and gaps in the literature. The review aims to provide a comprehensive and rigorous synthesis of the literature on the role of environmental enrichment in promoting human well-being during the COVID-19 pandemic.

Maximizing brain potential through environmental enrichment

It has long been known that animals' ability to develop adaptive behavior is linked to their survival. Every day they face tough challenges: avoiding predators, finding food, shelter and a mate. The daily routine creates a need for animals to learn alternative and diverse behavioral strategies, in which events must be studied, selected and somehow connected for future decision making. Inconsistencies in these processes caused by captivity (lack of intellectual stimulation, lack of social contact, reduced physical activity) have a profound effect on the physiological, cognitive and emotional state of the animals, affecting their survival (Fehlmann et al., 2020). For example, many captive orcas have been found to suffer from pneumonia, kidney and gastrointestinal disease, and various infections (Marino et al., 2020). Scientists also report numerous attempts by the animals to cope with captivity through stereotypical, aimless habits. For example, constant nodding of the head and constant wiggling or chewing of the rod of the cell have been observed in laboratory rhesus monkeys, which are not only abnormal behaviors but also directly correlate with brain abnormalities (Poirier and Bateson, 2017).

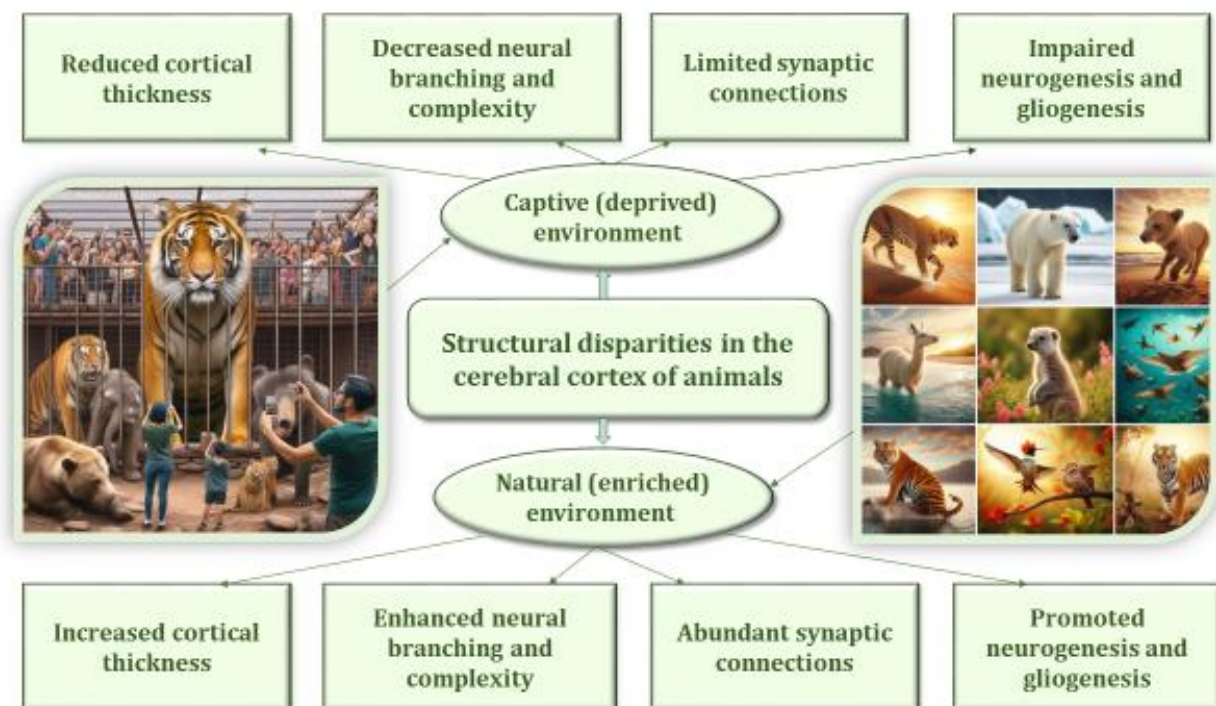


Fig. 2. Differences in the structure of the cerebral cortex in animals kept in deprived (captive) and enriched (natural) environments

For example, laboratory mice with various neurodegenerative diseases were placed in enriched conditions, i.e. conditions with sensory, cognitive and motor stimuli (rich and varied diet, cells). The mammalian brain is formed through the implementation of complex genetic and epigenetic programs. However, sensory, cognitive and motor stimulation through interaction with the environment from birth to old age also plays a key role in the formation of neural circuits necessary for normal brain function. In recent decades, genetic and pharmacological factors modulating brain function and dysfunction have been extensively studied, while environmental parameters have received much less attention (Mayeux, 2003). Without intellectual stimulation and social interaction, the cerebral cortex – the part of the brain responsible for higher cognitive activity, including memory, planning and decision-making – becomes thinner, the capillaries narrow and the brain does not receive enough blood to function normally. A thinner cerebral cortex, the part of the brain involved in voluntary movement and higher cognitive function, can lead to poor decision-making and memory. Neurons become smaller, as do dendrites, which disrupts communication within the brain. This means that captive animals are less effective at processing information. The chronic stress of living in captivity with no control over their environment leads to learned helplessness, a trauma response that affects the hippocampus, which handles memory functions, and the amygdala, which processes emotions. As a result, a captive animal's memory and emotions are irregular, and some animals have been shown to become emotionally unpredictable. Prolonged stress also disrupts the balance of serotonin and dopamine in an animal's brain, which can lead to repetitive and often harmful behaviors. The main change is that animals lose some of their natural behaviors, such as foraging, avoiding predators and rearing young, and replace them with stereotyped, destructive behaviors brought on by chronic stress and boredom. These new behaviors, such as gnawing on bars and running headlong into walls, are often self-destructive. They also show a marked difference between a captive animal and its wild relatives (Haslam, 2013; Tuite et al., 2022).

The lack of a sufficiently stimulating natural environment also has a significant impact on neuroplasticity – the ability of the nervous system to regenerate by increasing the number of neurons and restructuring neural networks, creating new synapses and altering synaptic transmission, which underpins adaptive behavior (McEwen et al., 2015; Been et al., 2022). In other words, repetitive actions, strong emotional influences or stimuli, including negative ones, can cause structural changes in neurons, affecting the appearance of so-called "dendritic trees" and neural bridges, which are

directly related to the number of synapses and brain performance. It is known that each of the 86 billion neurons in the brain is capable of forming about 10,000 synapses simultaneously. However, this potential depends solely on the number and intensity of stimuli to induce structural changes in neurons with subsequent behavioral changes (Davim et al., 2021). The formation of new synapses is extremely important because it allows animals to change behavioral strategies that are essential for survival.

One of the most prominent approaches to identifying key experience- and environment-related changes in brain structural and functional plasticity is the use of the so-called enriched (multi-stimulus) environment (EE) (Ward and Cohen, 2004). EE can be defined as an environment that contains a variety of social and non-social stimuli that influence different aspects of brain development and function. This definition implies that the importance of any one factor cannot be neutralized and that the combined effect of several factors of different types ensures the formation of a biological response that cannot be achieved by the action of any one factor alone (Rosenzweig and Bennett, 1969). The aim of EE is to maximize the brain's potential by organizing the space in which the organism exists so that it is more complex, interactive and rich in events similar to real life, thus offering a greater variety of possibilities to control this environment and reduce or prevent cases of abnormal behavior and cognitive impairment (Hannan, 2014; Cutuli et al., 2022) with mazes, running wheels, toys, increased social interactions), showed significant positive dynamics of brain activity, qualitative structural changes, i.e. slowing down the onset and progression of the motor disorder syndrome, the process of reducing the volume of the cerebral cortex, a deficiency in the expression of β -amyloid peptide (leading to the death of neurons), improved performance in problem-solving tasks, an increase in the number of dendritic branches, expression of the GluR1 protein, which plays an important role in the formation of the neural network underlying normal motor behavior (Nithianantharajah and Hannan, 2006).

Thus, laboratory mice with various neurodegenerative diseases placed in enriched conditions, i.e. conditions with sensory, cognitive and motor stimuli (rich and varied diet, cells equipped with mazes, running wheels, toys, increased social interactions), show significant positive dynamics of brain activity and qualitative structural changes, such as delayed onset and progression of motor disorder, deficiency of β -amyloid peptide expression.

EE may contribute to neuronal activation, signaling and plasticity in different areas of the brain. Increased sensory stimulation, including an increase in somatosensory and visual information,

activates the somatosensory (red) and visual (orange) cortices. Increased cognitive stimulation – for example, encoding information (the ability to turn information into a concept, an image stored in the brain that can then be retrieved from long-term memory) related to spatial mapping, object recognition, novelty and attention modulation – is

likely to activate the hippocampus (blue) and other cortical areas. In addition, increased motor activity, such as natural exploratory movements (including fine movements that are radically different from simply riding a bike), stimulates areas such as the motor cortex and cerebellum (green) (Fig. 3).

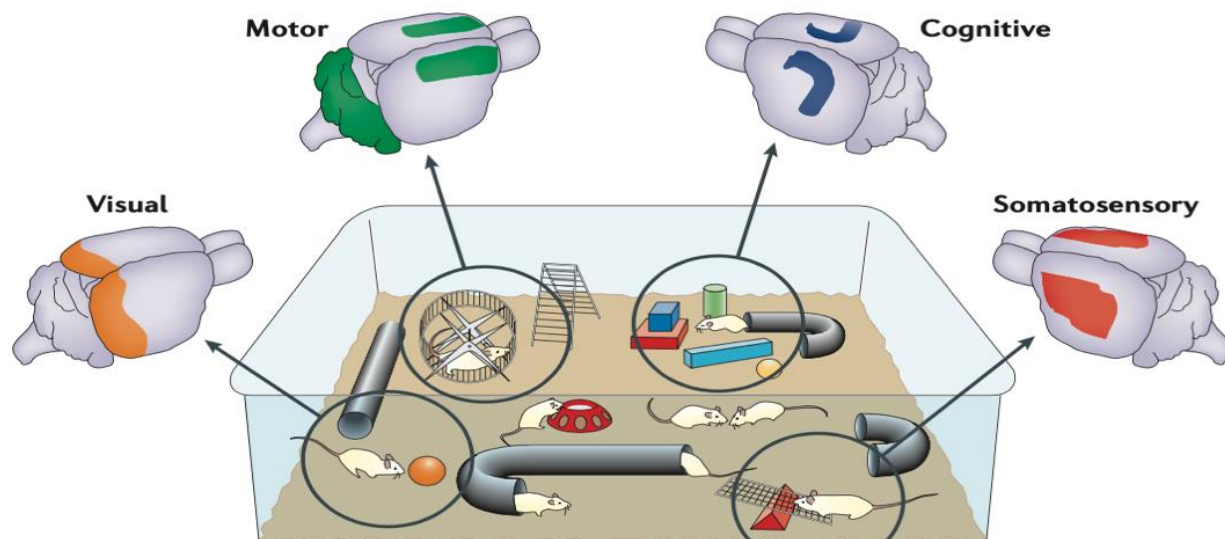


Fig. 3. Effects of EE and enhanced sensory, cognitive and motor stimuli on different brain regions (<https://sites.oxy.edu/>)

The key components of EE are physical activity, socialization and cognitive stimulation. Although the efficacy demonstrated in animals with EE is quite high, it remains largely a laboratory phenomenon with little use in clinical settings, for example in patients with severe brain damage (stroke) or mental retardation, because of difficulties in standardizing methods, introducing control groups, lack of data on which aspects are critical for improving brain plasticity, and the wide range of responses to therapy. It is not known how long an intervention should last or what the necessary 'dose' of enrichment is, as most laboratory studies use continuous enrichment periods – a condition that most clinicians consider inappropriate (Hummel and Cohen, 2005; McDonald et al, 2018; Ball et al, 2019).

Relationship between neurons and glia in an enriched environment

The relationship between neurogenesis and the intricate interplay between neurons and glial cells within an EE is a fascinating area of study in neuroscience. The dynamic process of neurogenesis, the generation of new neurons, interacts in a complex manner with the supporting role of glial cells, including astrocytes and oligodendrocytes (Nilsson and Pekny, 2007). This chapter aims to explore the multiple links between these elements within EE, looking at how environmental factors

affect the differentiation and integration of neurons, while also influencing the functions of glial cells. By examining these interactions, we aim to gain a deeper understanding of the complex mechanisms underlying brain plasticity in the context of EE. Neurogenesis in the developing or mature brain is one of the most attractive targets for the action of environmental factors that regulate neuroplasticity processes (Hummel and Cohen, 2005; Decimo et al., 2012). The debate on the effect of EE on the number of cells in the adult brain has a long history. In 1964, J. Altman and G. D. Das, who first described neurogenesis in the adult hippocampus (Altman and Das, 1964), investigated whether EE could affect the generation of neurons. However, they only found an increase in the processes of gliogenesis (Altman and Das, 1964). Subsequent studies showed that the increase in glial cell numbers was associated with oligodendrocytes and a slight increase in astrocytes in EE animals (Walsh and Cummins, 1975; Kempermann et al., 2002). EE, like exercise, helps to increase the number of new neurons in the dentate gyrus. However, the mechanisms by which new cells are generated may differ between the two conditions. EE mainly affects cell survival rather than cell proliferation. In contrast, isolated running activity stimulates both cell division and neuronal survival in mice (van Praag et al., 2000; Mohammed et al., 2002). Interestingly, EE without high motor activity only slightly stimulates hippocampal neurogenesis

(Clark et al., 2009; Mustroph et al., 2012), whereas the use of treadmills in socially and physically deprived mice promotes more intense cell proliferation in the dentate gyrus than in EE mice (Bednarczyk et al., 2009; Schaefer, 2013).

Early experiments showed that enrichment increased neurite branching and synapse formation in the cortex (Greenough et al., 1985), and animals kept in EE conditions showed a higher order of dendritic arborization than the control group (Greenough et al., 1985). Subsequent studies found that environmental enrichment decreased neuronal density but increased the synapse/neuron ratio, synaptic disc diameter and subsynaptic plate openings (Greenough et al., 1985). In the hippocampus, similar morphological changes were characteristic of granular neurons in the dentate gyrus and pyramidal cells in CA1 and CA3 areas. Recently, a large number of dendritic spines and an increased density of imperforate synapses were found in the CA1 region after enrichment (Rampon et al., 2000). EE was found to promote neurogenesis only in the dorsal hippocampus. These results suggest that environmental factors may differentially regulate neurogenesis in region-specific areas. This phenomenon is thought to underlie the heterogeneous functions of newborn neurons along the septotemporal axis of the hippocampus, which has functional implications (Rampon et al., 2000; Petrosini et al., 2009).

Studies of enrichment-induced plasticity have traditionally focused on changes in neurons, particularly their synaptic function. However, the effects of EE on glial cells are no less important. There is a growing body of data on the response of astroglia to EE. Given the important role of astrocytes in the regulation of neuronal activity through the implementation of the mechanism of neuron-astroglial metabolic coupling, ensuring neurogenesis and the mechanisms of so-called gliovascular control in active zones of the brain, the presence of such an influence is quite predictable. For example, EE promotes a significant increase in the number of astrocytes in the dentate gyrus, but not in the CA1, CA3 areas of the hippocampus or cortex (Rampon et al., 2000). It has long been known that astrocyte morphology changes in response to EE. The changes depend on the duration of EE exposure and the localisation of the astrocyte pool in the brain (Markham and Greenough, 2004; Tanti et al., 2012). Morphological plasticity of astrocytes in response to EE occurs on a similar time scale to changes in neurons. Other studies support a strong correlation between changes in astrocyte morphology and synapse formation, highlighting the synergy between neurons and astrocytes within and around a synapse (Ullian et al., 2001). In general, one of the

important targets of EE action is neuron-astroglial interactions, which ensure the efficiency of synaptic transmission, the adequacy of energy supply to neurons and the local adaptation of blood flow (Hummel and Cohen, 2005; Halassa et al., 2007).

Structural and functional changes in the brain after exposure to EE in experimental animals are impact on (Fig. 4).

Behavior

Exposure to an EE can improve learning and memory, prevent memory decline in adults, reduce anxiety and increase exploratory activity (Kempermann et al., 2002; Friske and Gammie, 2005; Bennett et al., 2006). However, later studies found that the activity of mice after 8 weeks of EE was comparable to that of humans under standard conditions. It has also been noted that changes in anxiety and seeking activity appear to be independent of neurogenesis in the hippocampus (Silva et al., 2011).

Exposure to an EE can lead to various behavioral changes, particularly in animals. Animals exposed to EE often show increased levels of exploration and curiosity. They may actively seek out new stimuli and environments in their surroundings. EE can enhance cognitive abilities, leading to improved learning and memory. This is often seen in tasks such as maze navigation or object recognition. EE with stimulating activities and social interactions can reduce stress and anxiety levels in animals. This can lead to calmer and more relaxed behavior. EE typically provides opportunities for physical activity, such as running wheels or climbing structures. As a result, animals may engage in more physical activity, leading to improved physical health and fitness. EE have also been associated with increased neurogenesis (the formation of new nerve cells) and increased brain plasticity. This may lead to improved brain function and adaptability. In addition, exposure to EE has been associated with a delay in age-related cognitive decline in animals. This suggests that continued exposure to stimulating environments may help maintain cognitive function into old age (Friske and Gammie, 2005; Bennett et al., 2006; Takuma et al., 2011; Kempermann, 2019).

Structural changes. Exposure to an EE can induce several structural changes in the brain, particularly in regions associated with learning, memory and sensory processing. One of the most notable structural changes is an increase in neurogenesis, which refers to the generation of new nerve cells. EE has been shown to promote neurogenesis in regions such as the hippocampus, a brain area critical for learning and memory (Almeida Barros et al., 2021).

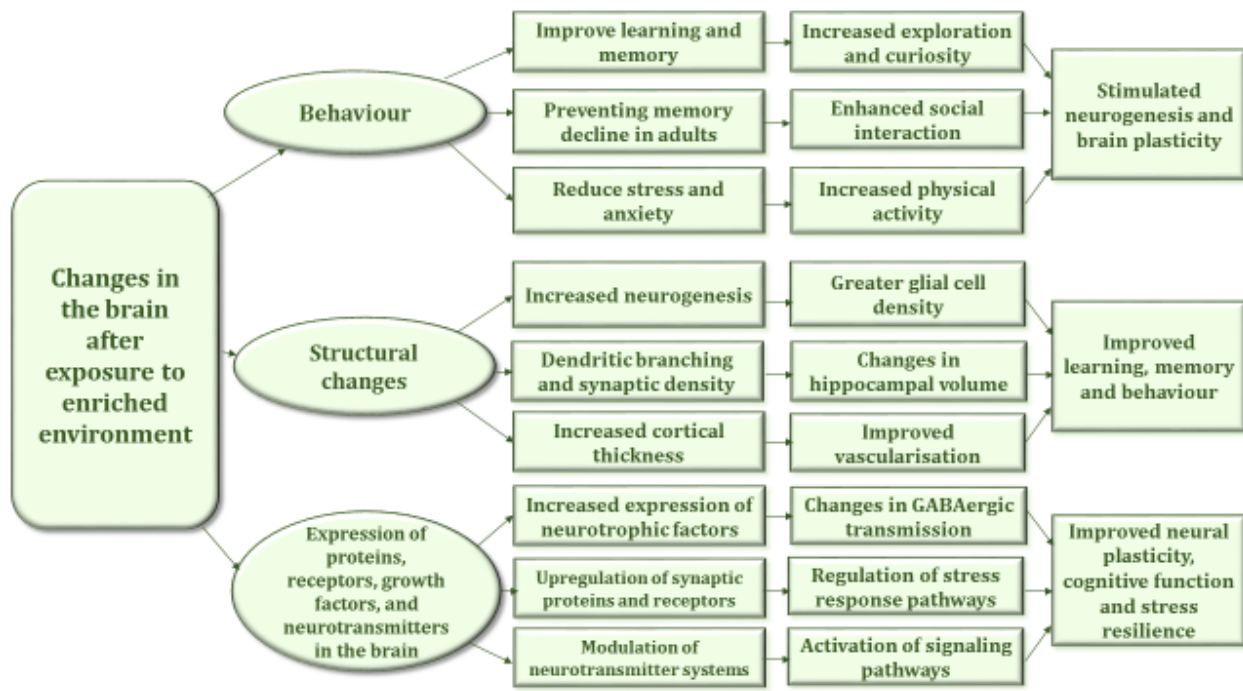


Fig. 4. Structural and functional changes in the brain after exposure to enriched environments

EE can lead to increased dendritic branching and synaptic density in neurons. Dendrites are the branching extensions of neurons that receive signals from other neurons, and synapses are the connections between neurons where information is transferred. Increased dendritic branching and synaptic density are associated with improved neural connectivity and information processing (Bindu et al., 2007). Exposure to EE has been associated with an increase in cortical thickness, particularly in regions involved in sensory processing and higher cognitive functions. This structural change may reflect increased neural connectivity and complexity in response to environmental stimuli (Alvarez et al., 2014). Glial cells, including astrocytes and oligodendrocytes, provide support and insulation for neurons in the brain. EE has been associated with an increase in glial cell density, which may contribute to maintaining neuronal health and function (Bhide and Bedi, 1984). EE has been shown to increase the volume of the hippocampus, a brain structure critical for learning and memory. This increase may be due to a combination of factors, including neurogenesis, dendritic growth and synaptic plasticity (Miguel et al., 2019). EE can promote the growth of blood vessels in the brain, a process known as vascularization. Improved vascularization can increase blood flow to brain regions, providing nutrients and oxygen essential for neuronal function and plasticity (Chen et al., 2023).

Exposure to an EE can reduce the intensity of spontaneous apoptosis, increase the intensity of

neurogenesis and the integration of new cells into functional circuits, increase brain weight, cortical and hippocampal thickness, dendritic branching, length and density, synaptic size and number, and the number of dendritic spines (van Praag et al., 2000; Johansson and Belichenko, 2002; Leggio et al., 2005). There is a marked increase in cell proliferation and cell survival in the early postnatal period, with a large increase in the number of neurons forming the granule cell layer (Rizzi et al., 2011). A reduced pro-inflammatory response to lipopolysaccharide injection into the hippocampus was also observed. There was also a significant reduction in the levels of the chemokines TNF and the inflammatory cytokine IL 1 β (Williamson et al., 2012). There was an increase in the strength of synaptic contacts and modulation of synaptic plasticity, such as long-term potentiation (LTP), an increase in the slope of the excitatory postsynaptic potential (EPSP) and an increase in the potential from the hippocampal region (Foster and Dumas, 2001; Artola et al., 2006).

Expression of proteins and receptors, growth factors, neurotransmitters. Exposure to an EE can lead to significant changes in the expression of proteins, receptors, growth factors and neurotransmitters in the brain. These changes play a critical role in neural plasticity, learning, memory and overall brain function. Neurotrophic factors such as brain-derived neurotrophic factor (BDNF), nerve growth factor (NGF) and others are critical in promoting neuronal survival, growth and diffe-

rentiation. Exposure to EE often results in increased expression of neurotrophic factors, which in turn promotes neurogenesis, dendritic arborization and synaptic plasticity (Falkenberg et al., 1992). EE can increase the expression of proteins involved in synaptic function, including neurotransmitter receptors (e.g. glutamate receptors such as NMDA and AMPA receptors) and synaptic scaffolding proteins (e.g. PSD-95). This upregulation is associated with increased synaptic strength and efficacy (Cai et al., 2010; He et al., 2010). EE can affect the activity and expression of several neurotransmitter systems. For example, exposure to EE has been shown to increase the release of neurotransmitters such as dopamine, serotonin and acetylcholine, which are involved in the regulation of mood, motivation and cognitive function (Saadati et al., 2023). EE can also modulate the activity of gamma-aminobutyric acid (GABA), the primary inhibitory neurotransmitter in the brain. Changes in GABAergic transmission can affect neuronal excitability and synaptic plasticity, contributing to adaptive responses to environmental stimuli (Sbrini et al., 2020). EE has been shown to modulate stress response pathways, including the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis and the expression of stress-related proteins such as corticosterone and corticotropin-releasing hormone (CRH). These changes may help to mitigate the effects of stress and promote resilience (Ros-Simó and Valverde, 2012). Exposure to EE activates several intracellular signaling pathways involved in synaptic plasticity and neuronal survival, including the mitogen-activated protein kinase (MAPK), phosphoinositide 3-kinase (PI3K)/Akt and cyclic AMP (cAMP) pathways (Horwood et al., 2006). EE can affect gene expression patterns in the brain, resulting in the upregulation of genes associated with neuronal growth, synaptic function and cognitive processes. This regulation of gene expression underlies the

long-term adaptive changes induced by environmental enrichment (Li et al., 2007).

Exposure to an EE led to changes in the expression of genes involved in synaptic transmission and cellular plasticity. An increase in the expression of synaptic proteins (the presynaptic vesicle protein synaptophysin and the postsynaptic density protein 95, PSD-95) was observed. Increased expression of NMDA and AMPA receptors, which are involved in glutamatergic signaling, was also observed. Increased expression of mRNA encoding EGR-1 (or NGF-1A, Zif268) (which regulates angiogenesis) was also observed. An increase in the activity of the transcriptional regulator of endothelial cell activation - Kruppel-like factor (KLF2) - was observed (Rampon et al., 2000; Pascual-Leone et al., 2005; Lambert et al., 2005). An increase in the levels of the main neurotrophic factors (brain-derived neurotrophic factor, BDNF, and nerve growth factor, NGF, glial neurotrophic factor, GDNF) has been observed (Gobbo and O'Mara, 2004). There is an increased secretion of acetylcholine and selective enhancement of serotonin 1A receptor gene expression (Rosenzweig and Bennett, 1969).

Factors that optimize brain function and prevent cognitive decline

Obviously, modern medicine will have to solve several problems before EE therapy can be introduced into clinical practice, but the benefits of this approach are undeniable and its use in everyday life is reasonable. As EE is a complex of inanimate and social stimuli, it is suggested that the approach must be comprehensive and manifest itself in standards of diet, physical activity and social interactions. A number of lifestyle factors and habits can help optimize brain function and reduce the risk of cognitive decline (Fig. 5).

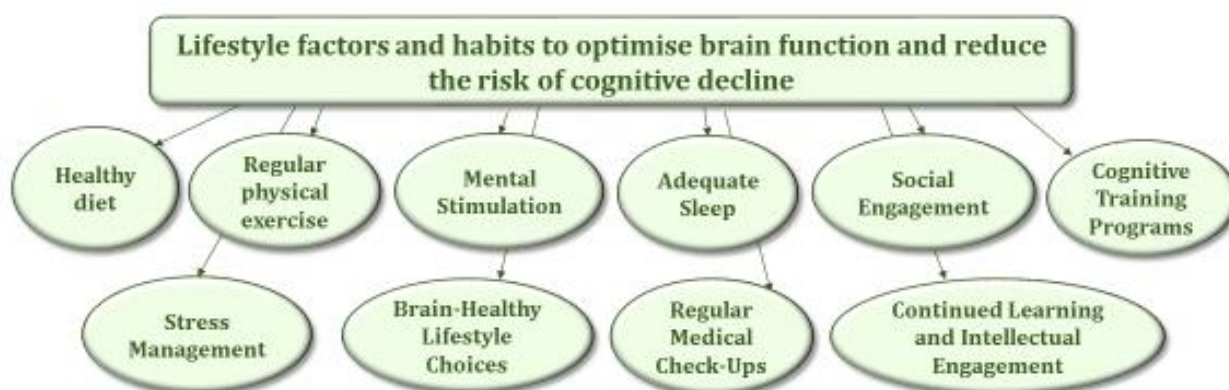


Fig. 5. Factors that optimize brain function and prevent cognitive decline

Adequate nutrition is necessary to optimize brain function and prevent cognitive decline. The brain needs a steady supply of amino acids to synthesize neurotransmitters, especially serotonin and catecholamines, which can correlate with reduced learning ability when levels are low (Fernstrom and Fernstrom, 2007; Martínez García et al., 2018). Adequate nutrition is necessary to optimize brain function and prevent cognitive decline. It is also recommended to consume products with an adequate ratio of omega-6:3 fatty acids (the Mediterranean diet, which includes fruits, vegetables, whole grains, beans, nuts and seeds, olive oil, fish, poultry and dairy products), as they are associated with improved memory and a lower risk of cognitive decline (Bourre, 2004a; Martínez García et al., 2018). Vitamins B1, B6, B12, B9 (folic acid), D, choline, iron and iodine are neuroprotective and have a positive effect on mental performance (Bourre, 2004b, 2006; González and Visentin, 2016; Derbyshire and Obeid, 2020). Antioxidants (vitamins C, E, A, zinc, selenium, lutein and zeaxanthin) play a very important role in protecting against oxidative stress, which is associated with mental decline (González and Visentin, 2016; Demmig-Adams et al., 2020). It is also important to avoid foods rich in saturated fats and refined sugars and to favor fruit and vegetables (Martínez García et al., 2018).

Another EE factor is regular exercise, which stimulates the development of bone and muscle tissue necessary for weight gain (Russo, 2009; Ferraro et al., 2014). Regular exercise improves cardiorespiratory activity, which effectively increases physical performance by improving and accelerating the circulation of oxygen, hormones and nutrients essential for brain metabolism and cognitive development (Nystoriak and Bhatnagar, 2018; Pinckard et al., 2019). Regular aerobic exercise, such as brisk walking, jogging, swimming or cycling, can improve blood flow to the brain, promote neuroplasticity and reduce the risk of cognitive decline. Regular physical activity has an impressive array of health benefits. As well as helping the brain, it can reduce the risk of conditions such as cardiovascular disease (Tian and Meng, 2019), type 2 diabetes (Asano et al., 2014), hypertension (Hegde and Solomon, 2015), colorectal cancer (Oruç and Kaplan, 2019) and breast cancer (García-Chico et al., 2023). Exercise may also have a protective effect against cognitive decline and dementia (Law et al., 2020). People who carry the APOE4 gene variant (which is associated with susceptibility to Alzheimer's disease) may particularly benefit from exercise (Colovati et al., 2020). Recent studies show that regular exercise of at least 30 minutes a day significantly reduces the risk of cardiovascular disease and boosts immunity (Hötting et al., 2016).

Keeping the brain active through mentally stimulating activities such as reading, puzzles,

games, learning new skills or hobbies can help maintain cognitive function and build cognitive reserve, which may protect against cognitive decline (Gómez-Soria et al., 2023). Participating in structured cognitive training programs that target specific cognitive functions (e.g. memory, attention, executive function) can help improve cognitive abilities and delay age-related cognitive decline (Sung et al., 2023). Prioritizing good sleep hygiene and ensuring adequate sleep duration (7-9 hours per night for most adults) is also crucial for cognitive function, memory consolidation and overall brain health. Poor sleep quality and sleep deprivation have been linked to cognitive impairment (Worley, 2018). Brain health and cognitive function can be adversely affected by chronic stress. Practicing stress-reduction techniques such as mindfulness meditation, deep breathing exercises, yoga, or spending time in nature can help mitigate the effects of stress on the brain (Qi et al., 2020). Maintaining social connections and participating in social activities can provide cognitive stimulation, emotional support and a sense of belonging, all of which contribute to brain health and resilience (Miceli et al., 2018). Avoiding smoking, limiting alcohol consumption and managing chronic health conditions such as hypertension, diabetes and obesity are important for maintaining brain health and reducing the risk of cognitive decline (Livingston et al., 2020). Regular monitoring of overall health, including blood pressure, cholesterol, blood sugar and other risk factors for cardiovascular disease, can help identify and manage conditions that may affect brain health (Rippe, 2018). Lifelong learning and intellectual engagement can promote cognitive vitality and help maintain cognitive function as we age, such as taking courses, attending lectures or engaging in intellectually stimulating conversations (Flexman, 2021).

The social isolation caused by the pandemic could affect the structure and function of the brain. One of the areas most affected by chronic stress is the hippocampus (the area of the brain responsible for emotions, memory and learning). Studies have shown that stressors such as job loss or isolation alone lead to increased secretion of glucocorticoids, followed by brain cell damage, synaptic disruption and ultimately a reduction in hippocampal volume and the onset of a depressive state (Snyder et al., 2011). Chronic stress can also alter the prefrontal cortex (the center of executive control in the brain) and the amygdala (the center of fear and anxiety). Long-term exposure to excess glucocorticoids can disrupt connections both within the prefrontal cortex and between it and the amygdala. As a result, the prefrontal cortex loses its ability to control the amygdala, leaving the center of fear and anxiety out of control (McEwen et al., 2016). This pattern of brain activity (overactive amygdala and insufficient connection to the prefrontal cortex) is typical of

people with post-traumatic stress disorder (PTSD), another condition that escalated dramatically during the pandemic (Leistner and Menke, 2020; Thakur et al., 2022). In this case, social enrichment, the active expansion of the network of social interactions, normalizes the destabilized psychological state and qualitatively changes the brain – increasing the volume and number of connections in the prefrontal cortex, amygdala and other areas (Schmälzle et al., 2017).

Conclusions

Maximizing brain potential through environmental enrichment is a multifaceted approach that emphasizes the role of the environment in shaping neural architecture and cognitive function. Environmental enrichment refers to the manipulation of the environment to provide sensory, cognitive and social stimulation that promotes neural growth and cognitive function. The concept of environmental enrichment originated from research in laboratory animals, which showed that enriched environments led to structural and functional changes in the brain. These changes include increased dendritic arborization, synaptogenesis, neurogenesis and enhanced synaptic plasticity. The basic idea is that exposure to diverse stimuli and challenges causes the brain to constantly adapt and rewire itself, resulting in improved cognitive abilities and resilience to neurological disorders. Environmental enrichment holds promise as a non-pharmacological intervention for several neurological and psychiatric conditions. In clinical settings, structured enrichment programs tailored to specific populations, such as those with autism spectrum disorders, attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) or traumatic brain injury, can complement traditional therapies and improve outcomes. By harnessing the inherent plasticity of the brain, environmental enrichment offers new avenues for rehabilitation and recovery.

Behavioral changes induced by EE are often attributed to the complex interplay between

environmental stimuli, neural activity and genetic factors. Enriched environments provide opportunities for sensory, cognitive and social stimulation that can have profound effects on behavior and brain function. Structural changes in the brain exposed to EE reflect the brain's remarkable ability to adapt to environmental experiences, a phenomenon known as neuroplasticity. EE provides a variety of sensory, cognitive and social stimuli that promote neural growth, connectivity and function, ultimately leading to structural changes that support improved learning, memory and behavior. Overall, exposure to EE induces a complex cascade of molecular and cellular changes in the brain that ultimately lead to improved neural plasticity, cognitive function and resilience to stress. These molecular changes provide the neurobiological basis for the beneficial effects of EE on brain health and function.

Some key factors that can optimize brain function and help prevent cognitive decline are exercise, a Mediterranean diet, protection against chronic inflammation, moderate alcohol consumption, prioritizing quality sleep, staying mentally active and socializing. By incorporating many factors into daily life, such as a healthy diet, regular physical activity, mental stimulation, adequate sleep, stress management, social engagement, brain-healthy lifestyle choices, cognitive training programs, regular medical check-ups, continued learning and intellectual engagement, individuals can optimize brain function, promote cognitive health and reduce the risk of cognitive decline as they age.

In conclusion, EE, which has been shown to be effective in producing positive behavioral and cognitive changes in animals, although not yet available for widespread clinical use, holds great promise for ensuring the well-being of human populations in environments with low cognitive, motor and sensory stimulation, such as after the COVID-19 pandemic.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Обмін даними не застосовується / Data sharing is not applicable.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Aiyegbusi, O. L., Hughes, S. E., Turner, G., Rivera, S. C., McMullan, C., Chandan, J. S., Haroon, S., Price, G., Davies, E. H., Nirantharakumar, K., Sapey, E., Calvert, M. J., & TLC Study Group (2021). Symptoms, complications and management of long COVID: a review. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 114(9), 428–442. <https://doi.org/10.1177/01410768211032850>
- Al-Aly, Z., Bowe, B., & Xie, Y. (2022). Long COVID after breakthrough SARS-CoV-2 infection. *Nature medicine*, 28(7), 1461–1467. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01840-0>
- Almeida Barros, W. M., de Sousa Fernandes, M. S., Silva, R. K. P., da Silva, K. G., da Silva Souza, A. P., Rodrigues Marques Silva, M., da Silva, A. B. J., Jurema Santos, G. C., Dos Santos, M. E. R. A., do Carmo, T. S., de Souza, S. L., & de Oliveira Nogueira Souza, V. (2021). Does the enriched environment alter memory capacity in malnourished rats by modulating BDNF expression? *Journal of applied biomedicine*, 19(3), 125–132. <https://doi.org/10.32725/jab.2021.018>
- Altman, J., & Das, G. D. (1964). Autoradiographic examination of the effects of enriched environment on the rate of glial multiplication in the adult rat brain. *Nature*, 204, 1161–1163. <https://doi.org/10.1038/2041161a0>
- Alvarez, P. S., Simão, F., Hemb, M., Xavier, L. L., & Nunes, M. L. (2014). Effects of undernourishment, recurrent seizures and enriched environment during early life in hippocampal morphology. *International journal of developmental neuroscience: the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 33, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2013.12.004>
- Artola, A., von Frijtag, J. C., Fermont, P. C., Gispen, W. H., Schrama, L. H., Kamal, A., & Spruijt, B. M. (2006). Long-lasting modulation of the induction of LTD and LTP in rat hippocampal CA1 by behavioural stress and environmental enrichment. *The European journal of neuroscience*, 23(1), 261–272. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04552.x>
- Asano, R. Y., Sales, M. M., Browne, R. A., Moraes, J. F., Coelho Júnior, H. J., Moraes, M. R., & Simões, H. G. (2014). Acute effects of physical exercise in type 2 diabetes: A review. *World journal of diabetes*, 5(5), 659–665. <https://doi.org/10.4239/wjd.v5.i5.659>
- Ball, N. J., Mercado, E., 3rd, & Orduña, I. (2019). Enriched Environments as a Potential Treatment for Developmental Disorders: A Critical Assessment. *Frontiers in psychology*, 10, 466. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00466>
- Bednarczyk, M. R., Aumont, A., Décary, S., Bergeron, R., & Fernandes, K. J. (2009). Prolonged voluntary wheel-running stimulates neural precursors in the hippocampus and forebrain of adult CD1 mice. *Hippocampus*, 19(10), 913–927. <https://doi.org/10.1002/hipo.20621>
- Been, L. E., Sheppard, P. A. S., Galea, L. A. M., & Glasper, E. R. (2022). Hormones and neuroplasticity: A lifetime of adaptive responses. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 132, 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.11.029>
- Bennett, J. C., McRae, P. A., Levy, L. J., & Frick, K. M. (2006). Long-term continuous, but not daily, environmental enrichment reduces spatial memory decline in aged male mice. *Neurobiology of learning and memory*, 85(2), 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2005.09.003>
- Bhide, P. G., & Bedi, K. S. (1984). The effects of environmental diversity on well fed and previously undernourished rats: neuronal and glial cell measurements in the visual cortex (area 17). *Journal of anatomy*, 138 (Pt 3)(Pt 3), 447–461.

- Bindu, B., Alladi, P. A., Mansooralikhan, B. M., Srikumar, B. N., Raju, T. R., & Kutty, B. M. (2007). Short-term exposure to an enriched environment enhances dendritic branching but not brain-derived neurotrophic factor expression in the hippocampus of rats with ventral subicular lesions. *Neuroscience*, *144*(2), 412–423. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.09.057>.
- Bourre J. M. (2004a). Roles of unsaturated fatty acids (especially omega-3 fatty acids) in the brain at various ages and during ageing. *The journal of nutrition, health & aging*, *8*(3), 163–174.
- Bourre J. M. (2004b). Effets des nutriments sur les structures et les fonctions du cerveau: le point sur la diététique du cerveau (The role of nutritional factors on the structure and function of the brain: an update on dietary requirements). *Revue neurologique*, *160*(8-9), 767–792. [https://doi.org/10.1016/s0035-3787\(04\)71032-2](https://doi.org/10.1016/s0035-3787(04)71032-2).
- Bourre J. M. (2006). Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 1: micronutrients. *The journal of nutrition, health & aging*, *10*(5), 377–385.
- Cai, R., Zhou, X., Guo, F., Xu, J., Zhang, J., & Sun, X. (2010). Maintenance of enriched environment-induced changes of auditory spatial sensitivity and expression of GABAA, NMDA, and AMPA receptor subunits in rat auditory cortex. *Neurobiology of learning and memory*, *94*(4), 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.08.008>.
- Ceban, F., Ling, S., Lui, L. M. W., Lee, Y., Gill, H., Teopiz, K. M., Rodrigues, N. B., Subramaniapillai, M., Di Vincenzo, J. D., Cao, B., Lin, K., Mansur, R. B., Ho, R. C., Rosenblat, J. D., Miskowiak, K. W., Vinberg, M., Maletic, V., & McIntyre, R. S. (2022). Fatigue and cognitive impairment in Post-COVID-19 Syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Brain, behavior, and immunity*, *101*, 93–135. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2021.12.020>.
- Chen, X., Liu, L., Zhong, Y., & Liu, Y. (2023). Enriched environment promotes post-stroke angiogenesis through astrocytic interleukin-17A. *Frontiers in behavioral neuroscience*, *17*, 1053877. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1053877>.
- Cheng, S. K., Tsang, J. S., Ku, K. H., Wong, C. W., & Ng, Y. K. (2004a). Psychiatric complications in patients with severe acute respiratory syndrome (SARS) during the acute treatment phase: a series of 10 cases. *The British journal of psychiatry : the journal of mental science*, *184*, 359–360. <https://doi.org/10.1192/bjp.184.4.359>.
- Cheng, S. K., Wong, C. W., Tsang, J., & Wong, K. C. (2004b). Psychological distress and negative appraisals in survivors of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Psychological medicine*, *34*(7), 1187–1195. <https://doi.org/10.1017/s0033291704002272>.
- Chua, S. E., Cheung, V., McAlonan, G. M., Cheung, C., Wong, J. W., Cheung, E. P., Chan, M. T., Wong, T. K., Choy, K. M., Chu, C. M., Lee, P. W., & Tsang, K. W. (2004). Stress and psychological impact on SARS patients during the outbreak. *Canadian journal of psychiatry. Revue canadienne de psychiatrie*, *49*(6), 385–390. <https://doi.org/10.1177/070674370404900607>.
- Clark, P. J., Brzezinska, W. J., Puchalski, E. K., Krone, D. A., & Rhodes, J. S. (2009). Functional analysis of neurovascular adaptations to exercise in the dentate gyrus of young adult mice associated with cognitive gain. *Hippocampus*, *19*(10), 937–950. <https://doi.org/10.1002/hipo.20543>.
- Colovati, M. E. S., Novais, I. P., Zampol, M., Mendes, G. D., Cernach, M. C. S., & Zanesco, A. (2020). Interaction between physical exercise and APOE gene polymorphism on cognitive function in older people. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, *54*(2), e10098. <https://doi.org/10.1590/1414-431X202010098>.

- Cutuli, D., Landolfo, E., Petrosini, L., & Gelfo, F. (2022). Environmental Enrichment Effects on the Brain-Derived Neurotrophic Factor Expression in Healthy Condition, Alzheimer's Disease, and Other Neurodegenerative Disorders. *Journal of Alzheimer's disease: JAD*, *85*(3), 975–992. <https://doi.org/10.3233/JAD-215193>.
- Davim, A., Trindade da Silva, L., & Vieira, P. (2021). Environmental Enrichment as a Strategy to Confront Social Isolation Under the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in behavioral neuroscience*, *14*, 564184. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.564184>.
- Decimo, I., Bifari, F., Krampera, M., & Fumagalli, G. (2012). Neural stem cell niches in health and diseases. *Current pharmaceutical design*, *18*(13), 1755–1783. <https://doi.org/10.2174/138161212799859611>.
- Demmig-Adams, B., López-Pozo, M., Stewart, J. J., & Adams, W. W., 3rd (2020). Zeaxanthin and Lutein: Photoprotectors, Anti-Inflammatories, and Brain Food. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *25*(16), 3607. <https://doi.org/10.3390/molecules25163607>.
- Derbyshire, E., & Obeid, R. (2020). Choline, Neurological Development and Brain Function: A Systematic Review Focusing on the First 1000 Days. *Nutrients*, *12*(6), 1731. <https://doi.org/10.3390/nu12061731>.
- Falkenberg, T., Mohammed, A. K., Henriksson, B., Persson, H., Winblad, B., & Lindefors, N. (1992). Increased expression of brain-derived neurotrophic factor mRNA in rat hippocampus is associated with improved spatial memory and enriched environment. *Neuroscience letters*, *138*(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(92\)90494-r](https://doi.org/10.1016/0304-3940(92)90494-r).
- Fehlmann, G., O'riain, M. J., Fürtbauer, I., & King, A. J. (2020). Behavioral Causes, Ecological Consequences, and Management Challenges Associated with Wildlife Foraging in Human-Modified Landscapes. *Bioscience*, *71*(1), 40–54. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa129>.
- Fernstrom, J. D., & Fernstrom, M. H. (2007). Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain. *The Journal of nutrition*, *137*(6 Suppl 1), 1539S–1548S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1539S>.
- Ferraro, E., Giammarioli, A. M., Chiandotto, S., Spoletini, I., & Rosano, G. (2014). Exercise-induced skeletal muscle remodeling and metabolic adaptation: redox signaling and role of autophagy. *Antioxidants & redox signaling*, *21*(1), 154–176. <https://doi.org/10.1089/ars.2013.5773>.
- Flexman R. (2021). Lifelong Learning:: A Key Weapon in Delaware's Fight Against Cognitive Decline. *Delaware journal of public health*, *7*(4), 124–127. <https://doi.org/10.32481/djph.2021.09.015>.
- Foster, T. C., & Dumas, T. C. (2001). Mechanism for increased hippocampal synaptic strength following differential experience. *Journal of neurophysiology*, *85*(4), 1377–1383. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.85.4.1377>.
- Friske, J. E., & Gammie, S. C. (2005). Environmental enrichment alters plus maze, but not maternal defense performance in mice. *Physiology & behavior*, *85*(2), 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.03.022>.
- García-Chico, C., López-Ortiz, S., Peñín-Grandes, S., Pinto-Fraga, J., Valenzuela, P. L., Emanuele, E., Ceci, C., Graziani, G., Fiuza-Luces, C., Lista, S., Lucia, A., & Santos-Lozano, A. (2023). Physical Exercise and the Hallmarks of Breast Cancer: A Narrative Review. *Cancers*, *15*(1), 324. <https://doi.org/10.3390/cancers15010324>.

- Gobbo, O. L., & O'Mara, S. M. (2004). Impact of enriched-environment housing on brain-derived neurotrophic factor and on cognitive performance after a transient global ischemia. *Behavioural brain research*, 152(2), 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.10.017>.
- Gómez-Soria, I., Iguacel, I., Aguilar-Latorre, A., Peralta-Marrupe, P., Latorre, E., Zaldívar, J. N. C., & Calatayud, E. (2023). Cognitive stimulation and cognitive results in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Archives of gerontology and geriatrics*, 104, 104807. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104807>.
- González, H. F., & Visentin, S. (2016). Micronutrients and neurodevelopment: An update. *Micronutrientes y neurodesarrollo: actualización. Archivos argentinos de pediatría*, 114(6), 570–575. <https://doi.org/10.5546/aap.2016.eng.570>.
- Gouraud, C., Botteman, H., Lahlou-Laforêt, K., Blanchard, A., Günther, S., Batti, S. E., Auclin, E., Limosin, F., Hulot, J. S., Lebeaux, D., & Lemogne, C. (2021). Association Between Psychological Distress, Cognitive Complaints, and Neuropsychological Status After a Severe COVID-19 Episode: A Cross-Sectional Study. *Frontiers in psychiatry*, 12, 725861. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.725861>.
- Greenough, W. T., Hwang, H. M., & Gorman, C. (1985). Evidence for active synapse formation or altered postsynaptic metabolism in visual cortex of rats reared in complex environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 82(13), 4549–4552. <https://doi.org/10.1073/pnas.82.13.4549>.
- Halassa, M. M., Fellin, T., & Haydon, P. G. (2007). The tripartite synapse: roles for gliotransmission in health and disease. *Trends in molecular medicine*, 13(2), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2006.12.005>.
- Hamaideh, S. H., Al-Modallal, H., Tanash, M., & Hamdan-Mansour, A. (2022). Depression, anxiety and stress among undergraduate students during COVID-19 outbreak and "home-quarantine". *Nursing open*, 9(2), 1423–1431. <https://doi.org/10.1002/nop2.918>.
- Hampshire, A., Trender, W., Chamberlain, S. R., Jolly, A. E., Grant, J. E., Patrick, F., Mazibuko, N., Williams, S. C., Barnby, J. M., Hellyer, P., & Mehta, M. A. (2021). Cognitive deficits in people who have recovered from COVID-19. *EclinicalMedicine*, 39, 101044. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.101044>.
- Hannan A. J. (2014). Environmental enrichment and brain repair: harnessing the therapeutic effects of cognitive stimulation and physical activity to enhance experience-dependent plasticity. *Neuropathology and applied neurobiology*, 40(1), 13–25. <https://doi.org/10.1111/nan.12102>.
- Haslam M. (2013). 'Captivity bias' in animal tool use and its implications for the evolution of hominin technology. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 368(1630), 20120421. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0421>.
- Hawryluck, L., Gold, W. L., Robinson, S., Pogorski, S., Galea, S., & Styra, R. (2004). SARS control and psychological effects of quarantine, Toronto, Canada. *Emerging infectious diseases*, 10(7), 1206–1212. <https://doi.org/10.3201/eid1007.030703>.
- He, S., Ma, J., Liu, N., & Yu, X. (2010). Early enriched environment promotes neonatal GABAergic neurotransmission and accelerates synapse maturation. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 30(23), 7910–7916. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6375-09.2010>.

- Hegde, S. M., & Solomon, S. D. (2015). Influence of Physical Activity on Hypertension and Cardiac Structure and Function. *Current hypertension reports*, 17(10), 77. <https://doi.org/10.1007/s11906-015-0588-3>.
- Horwood, J. M., Dufour, F., Laroche, S., & Davis, S. (2006). Signalling mechanisms mediated by the phosphoinositide 3-kinase/Akt cascade in synaptic plasticity and memory in the rat. *The European journal of neuroscience*, 23(12), 3375–3384. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04859.x>.
- Hötting, K., Schickert, N., Kaiser, J., Röder, B., & Schmidt-Kassow, M. (2016). The Effects of Acute Physical Exercise on Memory, Peripheral BDNF, and Cortisol in Young Adults. *Neural plasticity*, 2016, 6860573. <https://doi.org/10.1155/2016/6860573>.
- Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2005). Drivers of brain plasticity. *Current opinion in neurology*, 18(6), 667–674. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000189876.37475.42>.
- Ismael, F., Bizario, J. C. S., Battagin, T., Zaramella, B., Leal, F. E., Torales, J., Ventriglio, A., Marziali, M. E., Martins, S. S., & Castaldelli-Maia, J. M. (2021). Post-infection depressive, anxiety and post-traumatic stress symptoms: A prospective cohort study in patients with mild COVID-19. *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*, 111, 110341. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2021.110341>.
- Johansson, B. B., & Belichenko, P. V. (2002). Neuronal plasticity and dendritic spines: effect of environmental enrichment on intact and postischemic rat brain. *Journal of cerebral blood flow and metabolism: official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 22(1), 89–96. <https://doi.org/10.1097/00004647-200201000-00011>.
- Kempermann G. (2019). Environmental enrichment, new neurons and the neurobiology of individuality. *Nature reviews. Neuroscience*, 20(4), 235–245. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0120-x>.
- Kempermann, G., Gast, D., & Gage, F. H. (2002). Neuroplasticity in old age: sustained fivefold induction of hippocampal neurogenesis by long-term environmental enrichment. *Annals of neurology*, 52(2), 135–143. <https://doi.org/10.1002/ana.10262>.
- Lambert, T. J., Fernandez, S. M., & Frick, K. M. (2005). Different types of environmental enrichment have discrepant effects on spatial memory and synaptophysin levels in female mice. *Neurobiology of learning and memory*, 83(3), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.12.001>.
- Lancee, W. J., Maunder, R. G., Goldbloom, D. S., & Coauthors for the Impact of SARS Study (2008). Prevalence of psychiatric disorders among Toronto hospital workers one to two years after the SARS outbreak. *Psychiatric services (Washington, D.C.)*, 59(1), 91–95. <https://doi.org/10.1176/ps.2008.59.1.91>.
- Law, C. K., Lam, F. M., Chung, R. C., & Pang, M. Y. (2020). Physical exercise attenuates cognitive decline and reduces behavioural problems in people with mild cognitive impairment and dementia: a systematic review. *Journal of physiotherapy*, 66(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.11.014>.
- Lee, A. M., Wong, J. G., McAlonan, G. M., Cheung, V., Cheung, C., Sham, P. C., Chu, C. M., Wong, P. C., Tsang, K. W., & Chua, S. E. (2007). Stress and psychological distress among SARS survivors 1 year after the outbreak. *Canadian journal of psychiatry. Revue canadienne de psychiatrie*, 52(4), 233–240. <https://doi.org/10.1177/070674370705200405>.

- Leggio, M. G., Mandolesi, L., Federico, F., Spirito, F., Ricci, B., Gelfo, F., & Petrosini, L. (2005). Environmental enrichment promotes improved spatial abilities and enhanced dendritic growth in the rat. *Behavioural brain research*, 163(1), 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2005.04.009>.
- Leistner, C., & Menke, A. (2020). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis and stress. *Handbook of clinical neurology*, 175, 55–64. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64123-6.00004-7>.
- Li, C., Niu, W., Jiang, C. H., & Hu, Y. (2007). Effects of enriched environment on gene expression and signal pathways in cortex of hippocampal CA1 specific NMDAR1 knockout mice. *Brain research bulletin*, 71(6), 568–577. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.11.011>.
- Lin, C. Y., Peng, Y. C., Wu, Y. H., Chang, J., Chan, C. H., & Yang, D. Y. (2007). The psychological effect of severe acute respiratory syndrome on emergency department staff. *Emergency medicine journal: EMJ*, 24(1), 12–17. <https://doi.org/10.1136/emj.2006.035089>.
- Livingston, G., Huntley, J., Sommerlad, A., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., Brayne, C., Burns, A., Cohen-Mansfield, J., Cooper, C., Costafreda, S. G., Dias, A., Fox, N., Gitlin, L. N., Howard, R., Kales, H. C., Kivimäki, M., Larson, E. B., Ogunniyi, A., Orgeta, V., ... Mukadam, N. (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *Lancet (London, England)*, 396(10248), 413–446. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30367-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30367-6).
- Marino, L., Rose, N., A., Visser, I., N., Rally, H., Ferdowsian, H., Slootsky, V. (2020). The harmful effects of captivity and chronic stress on the well-being of orcas (*Orcinus orca*). *Journal of Veterinary Behavior*, 35, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.05.005>.
- Markham, J. A., & Greenough, W. T. (2004). Experience-driven brain plasticity: beyond the synapse. *Neuron glia biology*, 1(4), 351–363. <https://doi.org/10.1017/s1740925x05000219>.
- Martínez García, R. M., Jiménez Ortega, A. I., López Sobaler, A. M., & Ortega, R. M. (2018). Estrategias nutricionales que mejoran la función cognitiva (Nutrition strategies that improve cognitive function). *Nutricion hospitalaria*, 35(Spec No6), 16–19. <https://doi.org/10.20960/nh.2281>.
- Mayeux R. (2003). Epidemiology of neurodegeneration. *Annual review of neuroscience*, 26, 81–104. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.043002.094919>.
- McDonald, M. W., Hayward, K. S., Rosbergen, I. C. M., Jeffers, M. S., & Corbett, D. (2018). Is Environmental Enrichment Ready for Clinical Application in Human Post-stroke Rehabilitation?. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 12, 135. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00135>.
- McEwen, B. S., Bowles, N. P., Gray, J. D., Hill, M. N., Hunter, R. G., Karatsoreos, I. N., & Nasca, C. (2015). Mechanisms of stress in the brain. *Nature neuroscience*, 18(10), 1353–1363. <https://doi.org/10.1038/nn.4086>.
- McEwen, B. S., Nasca, C., & Gray, J. D. (2016). Stress Effects on Neuronal Structure: Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex. *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 41(1), 3–23. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.171>.
- Miceli, S., Maniscalco, L., & Matranga, D. (2018). Social networks and social activities promote cognitive functioning in both concurrent and prospective time: evidence from the SHARE survey. *European journal of ageing*, 16(2), 145–154. <https://doi.org/10.1007/s10433-018-0486-z>.
- Miguel, P. M., Pereira, L. O., Silveira, P. P., & Meaney, M. J. (2019). Early environmental influences on the development of children's brain structure and function. *Developmental medicine and child neurology*, 61(10), 1127–1133. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14182>.

Mohammed, A. H., Zhu, S. W., Darmopil, S., Hjerling-Leffler, J., Ernfors, P., Winblad, B., Diamond, M. C., Eriksson, P. S., & Bogdanovic, N. (2002). Environmental enrichment and the brain. *Progress in brain research*, 138, 109–133. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(02\)38074-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(02)38074-9).

Mustroph, M. L., Chen, S., Desai, S. C., Cay, E. B., DeYoung, E. K., & Rhodes, J. S. (2012). Aerobic exercise is the critical variable in an enriched environment that increases hippocampal neurogenesis and water maze learning in male C57BL/6J mice. *Neuroscience*, 219, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.06.007>.

Nilsson, M., & Pekny, M. (2007). Enriched environment and astrocytes in central nervous system regeneration. *Journal of rehabilitation medicine*, 39(5), 345–352. <https://doi.org/10.2340/16501977-0084>.

Nithianantharajah, J., & Hannan, A. J. (2006). Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. *Nature reviews. Neuroscience*, 7(9), 697–709. <https://doi.org/10.1038/nrn1970>.

Nystoriak, M. A., & Bhatnagar, A. (2018). Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Frontiers in cardiovascular medicine*, 5, 135. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2018.00135>.

Oruç, Z., & Kaplan, M. A. (2019). Effect of exercise on colorectal cancer prevention and treatment. *World journal of gastrointestinal oncology*, 11(5), 348–366. <https://doi.org/10.4251/wjgo.v11.i5.348>.

Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual review of neuroscience*, 28, 377–401. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>.

Petrosini, L., De Bartolo, P., Foti, F., Gelfo, F., Cutuli, D., Leggio, M. G., & Mandolesi, L. (2009). On whether the environmental enrichment may provide cognitive and brain reserves. *Brain research reviews*, 61(2), 221–239. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2009.07.002>.

Pinckard, K., Baskin, K. K., & Stanford, K. I. (2019). Effects of Exercise to Improve Cardiovascular Health. *Frontiers in cardiovascular medicine*, 6, 69. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2019.00069>.

Poirier, C., & Bateson, M. (2017). Pacing stereotypies in laboratory rhesus macaques: Implications for animal welfare and the validity of neuroscientific findings. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 83, 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.09.010>.

Premraj, L., Kannapadi, N. V., Briggs, J., Seal, S. M., Battaglini, D., Fanning, J., Suen, J., Robba, C., Fraser, J., & Cho, S. M. (2022). Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis. *Journal of the neurological sciences*, 434, 120162. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2022.120162>.

Qi, X., Tong, J., Chen, S., He, Z., & Zhu, X. (2020). Comparing the Psychological Effects of Meditation- and Breathing-Focused Yoga Practice in Undergraduate Students. *Frontiers in psychology*, 11, 560152. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560152>.

Rampon, C., Jiang, C. H., Dong, H., Tang, Y. P., Lockhart, D. J., Schultz, P. G., Tsien, J. Z., & Hu, Y. (2000). Effects of environmental enrichment on gene expression in the brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(23), 12880–12884. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.23.12880>.

- Rippe J. M. (2018). Lifestyle Strategies for Risk Factor Reduction, Prevention, and Treatment of Cardiovascular Disease. *American journal of lifestyle medicine*, 13(2), 204–212. <https://doi.org/10.1177/1559827618812395>.
- Rizzi, S., Bianchi, P., Guidi, S., Ciani, E., & Bartesaghi, R. (2011). Impact of environmental enrichment on neurogenesis in the dentate gyrus during the early postnatal period. *Brain research*, 1415, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.08.007>.
- Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1969). Effects of differential environments on brain weights and enzyme activities in gerbils, rats, and mice. *Developmental psychobiology*, 2(2), 87–95. <https://doi.org/10.1002/dev.420020208>.
- Ros-Simó, C., & Valverde, O. (2012). Early-life social experiences in mice affect emotional behaviour and hypothalamic-pituitary-adrenal axis function. *Pharmacology, biochemistry, and behavior*, 102(3), 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2012.06.001>.
- Russo C. R. (2009). The effects of exercise on bone. Basic concepts and implications for the prevention of fractures. *Clinical cases in mineral and bone metabolism : the official journal of the Italian Society of Osteoporosis, Mineral Metabolism, and Skeletal Diseases*, 6(3), 223–228.
- Saadati, H., Ghaheri, S., Sadegzadeh, F., Sakhaie, N., & Abdollahzadeh, M. (2023). Beneficial effects of enriched environment on behavior, cognitive functions, and hippocampal brain-derived neurotrophic factor level following postnatal serotonin depletion in male rats. *International journal of developmental neuroscience : the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 83(1), 67–79. <https://doi.org/10.1002/jdn.10238>.
- Sbrini, G., Brivio, P., Bosch, K., Homberg, J. R., & Calabrese, F. (2020). Enrichment Environment Positively Influences Depression- and Anxiety-Like Behavior in Serotonin Transporter Knockout Rats through the Modulation of Neuroplasticity, Spine, and GABAergic Markers. *Genes*, 11(11), 1248. <https://doi.org/10.3390/genes11111248>.
- Schaefer A. T. (2013). Rearing conditions and domestication background determine regulation of hippocampal cell proliferation and survival in adulthood-laboratory CD1 and C57Bl/6 mice versus wild house mice. *Neuroscience*, 228, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.10.020>.
- Schmälzle, R., Brook O'Donnell, M., Garcia, J. O., Cascio, C. N., Bayer, J., Bassett, D. S., Vettel, J. M., & Falk, E. B. (2017). Brain connectivity dynamics during social interaction reflect social network structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(20), 5153–5158. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616130114>.
- Silva, C. F., Duarte, F. S., Lima, T. C., & de Oliveira, C. L. (2011). Effects of social isolation and enriched environment on behavior of adult Swiss mice do not require hippocampal neurogenesis. *Behavioural brain research*, 225(1), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.07.007>.
- Snyder, J. S., Soumier, A., Brewer, M., Pickel, J., & Cameron, H. A. (2011). Adult hippocampal neurogenesis buffers stress responses and depressive behaviour. *Nature*, 476(7361), 458–461. <https://doi.org/10.1038/nature10287>.
- Sung, C. M., Lee, T. Y., Chu, H., Liu, D., Lin, H. C., Pien, L. C., Jen, H. J., Lai, Y. J., Kang, X. L., & Chou, K. R. (2023). Efficacy of multi-domain cognitive function training on cognitive function, working memory, attention, and coordination in older adults with mild cognitive impairment and mild dementia: A one-year prospective randomised controlled trial. *Journal of global health*, 13, 04069. <https://doi.org/10.7189/jogh.13.04069>.

- Takuma, K., Ago, Y., & Matsuda, T. (2011). Preventive effects of an enriched environment on rodent psychiatric disorder models. *Journal of pharmacological sciences*, 117(2), 71–76. <https://doi.org/10.1254/jphs.11r07cp>.
- Tanti, A., Rainer, Q., Minier, F., Surget, A., & Belzung, C. (2012). Differential environmental regulation of neurogenesis along the septo-temporal axis of the hippocampus. *Neuropharmacology*, 63(3), 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2012.04.022>.
- Thakur, A., Choudhary, D., Kumar, B., & Chaudhary, A. (2022). A Review on Post-traumatic Stress Disorder (PTSD): Symptoms, Therapies and Recent Case Studies. *Current molecular pharmacology*, 15(3), 502–516. <https://doi.org/10.2174/1874467214666210525160944>.
- Tian, D., & Meng, J. (2019). Exercise for Prevention and Relief of Cardiovascular Disease: Prognoses, Mechanisms, and Approaches. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019, 3756750. <https://doi.org/10.1155/2019/3756750>.
- Tuite, E. K., Moss, S. A., Phillips, C. J., & Ward, S. J. (2022). Why Are Enrichment Practices in Zoos Difficult to Implement Effectively?. *Animals: an open access journal from MDPI*, 12(5), 554. <https://doi.org/10.3390/ani12050554>.
- Ullian, E. M., Sapperstein, S. K., Christopherson, K. S., & Barres, B. A. (2001). Control of synapse number by glia. *Science (New York, N.Y.)*, 291(5504), 657–661. <https://doi.org/10.1126/science.291.5504.657>.
- van Praag, H., Kempermann, G., & Gage, F. H. (2000). Neural consequences of environmental enrichment. *Nature reviews. Neuroscience*, 1(3), 191–198. <https://doi.org/10.1038/35044558>.
- Verma, S., Mythily, S., Chan, Y. H., Deslypere, J. P., Teo, E. K., & Chong, S. A. (2004). Post-SARS psychological morbidity and stigma among general practitioners and traditional Chinese medicine practitioners in Singapore. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 33(6), 743–748.
- Walsh, R. N., & Cummins, R. A. (1975). Mechanisms mediating the production of environmentally induced brain changes. *Psychological bulletin*, 82(6), 986–1000.
- Ward, N. S., & Cohen, L. G. (2004). Mechanisms underlying recovery of motor function after stroke. *Archives of neurology*, 61(12), 1844–1848. <https://doi.org/10.1001/archneur.61.12.1844>.
- Williamson, L. L., Chao, A., & Bilbo, S. D. (2012). Environmental enrichment alters glial antigen expression and neuroimmune function in the adult rat hippocampus. *Brain, behavior, and immunity*, 26(3), 500–510. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2012.01.003>.
- Worley S. L. (2018). The Extraordinary Importance of Sleep: The Detrimental Effects of Inadequate Sleep on Health and Public Safety Drive an Explosion of Sleep Research. *P & T: a peer-reviewed journal for formulary management*, 43(12), 758–763.
- Wu, K. K., Chan, S. K., & Ma, T. M. (2005). Posttraumatic stress, anxiety, and depression in survivors of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Journal of traumatic stress*, 18(1), 39–42. <https://doi.org/10.1002/jts.20004>.
- Yan, Z., Yang, M., & Lai, C. L. (2021). Long COVID-19 Syndrome: A Comprehensive Review of Its Effect on Various Organ Systems and Recommendation on Rehabilitation Plans. *Biomedicines*, 9(8), 966. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9080966>.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Rafalskaya A., Tkaczenko H., Kurhaluk N.
Environmental enrichment as a key aspect of
human well-being during the COVID-19
pandemic. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3.
P.127-147.

Cite this article in APA style as:

Rafalskaya, A., Tkaczenko, H., & Kurhaluk, N.
(2024). Environmental enrichment as a key
aspect of human well-being during the COVID-19
pandemic. *Biota. Human. Technology*, 3, 127-147.

Information about the authors:

Rafalskaya A. [*in Ukrainian: Рафальська А.*] ¹, Student, email: anastassia.rafalskaya@gmail.com

ORCID: 0009-0006-9339-1670

Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk

22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

Tkaczenko H. [*in Ukrainian: Ткаченко Г.*] ², Dr. of Biol. Sc., Prof., email: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0003-3951-9005 Scopus-Author ID: 16032082200

Department of Zoology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk

22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

Kurhaluk N. [*in Ukrainian: Кургалюк Н.*] ³, Dr. of Biol. Sc., Prof., email: natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4669-1092 Scopus-Author ID: 55520986600

Department of Animal Physiology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk

22B Arciszewskiego Street, Słupsk, 76-200, Poland

¹ Data collection, manuscript preparation.

² Study design, data collection, manuscript preparation.

³ Study design.



ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF ECOSYSTEMS

**АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ
ЕКОСИСТЕМ**



712.25:504.61(477.51)

DOI: 10.58407/bht.3.24.8



Copyright (c) 2024 Nataliia Miroshnyk, Olha Tertychna
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Nataliia Miroshnyk, Olha Tertychna

ASSESSING THE LEVEL OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON PARK ECOSYSTEMS IN CHERNIHIV



Наталія Мірошник, Ольга Тертична

ОЦІНКА РІВНЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПАРКОВІ ЕКОСИСТЕМИ ЧЕРНІГОВА

ABSTRACT

Objective: To evaluate the condition of park ecosystems in Chernihiv in relation to urbanization levels and air pollution from vehicular emissions.

Methodology: The study assessed the state of park ecosystems (PE) in various districts of Chernihiv, following the methodological guidelines by Lavrov et al. (2021). Species composition, the health of vegetation by layers, and the impact of anthropogenic pollution were examined in temporary sample plots (0.2–0.6 ha) established in mature park areas in 2023. The urbanization index was calculated using the Urbanisation Score software, which analyzes land use—such as asphalt, buildings, and green space intensity—using Google Maps imagery. Road traffic load and phytotoxic emissions near the PEs were estimated based on the methodology of Miroshnyk et al. (2022). Maps were generated with the GIS tools Golden Software Surfer 19.2.213, using the kriging method, and QGIS 3.16.3.

Scientific Novelty: This study provides the first environmental assessment of Chernihiv's green infrastructure a year after the intense warfare of spring 2022. The findings reveal that urbanization index values in Chernihiv range from 2.5 to -5, decreasing as one approaches the Dnipro River valley.

Conclusions: The study found that the regional landscape park 'Yalivshchyna' and the remaining forest area in the Podusivka neighborhood are significantly impacted by vehicular aerotoxins. The central park, 'City Garden', and the municipal forest park, 'Maryin Hai,' situated within the river valley, display better sanitary conditions than those in the city's central areas. Urbanization levels decrease closer to the river valley. Additionally, the Ski Base forest area suffered notable damage to its green infrastructure due to warfare during the city's siege in February-April 2022.

Keywords: green infrastructure, sustainable development, urbanisation index, warfare, biodiversity, air pollution

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Оцінювання стану паркових екосистем міста Чернігова залежно від рівня урбанізації та аерозабруднення від автошляхів.

Методологія. Стан паркових екосистем (ПЕ) м. Чернігова, розташованих в різних районах міста за методичними рекомендаціями (Lavrov et al., 2021). Видовий склад, санітарний стан насаджень за ярусами і вплив аеротехногенного забруднення вивчали на тимчасових пробних площах (площа 0.2-0.6 га) у середньовікових насадженнях у 2023. Індекс урбанізації, розрахований за допомогою програми Urbanization Score, яка аналізує поверхню землі за категоріями – асфальт, будівлі та інтенсивність зелених насаджень за знімками Google Maps. Навантаження автошляхів та кількість викинутих у повітря фітотоксикантів біля ПЕ обраховано за методикою (Miroshnyk et al., 2022). Для побудови карт використовували ГІС-пакет Golden Software Surfer 19.2.213 з методом кригінгу та QGIS 3.16.3.

Наукова новизна. Вперше, через рік після активних бойових дій, навесні 2022 року провели екологічну оцінку зеленої інфраструктури Чернігова. Результати дослідження показують, що значення індексів урбанізації в Чернігові коливаються від 2,5 до -5 і зменшуються з наближенням до долини р. Дніпро.

Висновки. Встановлено, що регіональний ландшафтний парк «Ялівщина» та залишки лісового масиву мікрорайону Подусівка зазнають значного впливу аеротоксикантів автомобільних викидів. Центральний парк культури і відпочинку «Міський сад» і міський лісопарк «Мар'їн Гай», розташовані в долині річки, мають кращий санітарний стан, ніж у центральній частині міста. З наближенням до долини річки ступінь урбанізації зменшується. Значні пошкодження зеленої інфраструктури в лісовій зоні Лижної бази зафіксовано внаслідок бойових дій під час облоги міста в лютому-квітні 2022 року.

Ключові слова: зелена інфраструктура, сталий розвиток, індекс урбанізації, військові дії, біорізноманіття, забруднення повітря

Problem Statement

Urbanization, air pollution, and the condition of urban green infrastructure (GI) are interlinked factors that influence GI's capacity to provide essential ecosystem services. Sustainable forest management, preservation of natural habitats, biodiversity, and sustainable urban development are key global objectives within the Sustainable Development Goals (A/RES/70/1, Agenda for Sustainable Development). This strategic document highlights the need to improve air quality and conserve green spaces as integral to achieving sustainable urban development. Currently, Ukraine's policy on Sustainable Development Goal implementation, as outlined in a Presidential Decree (2019), emphasizes the «protection and restoration of terrestrial ecosystems, promotion of their sustainable use, sustainable forest management, combating desertification, reversing land degradation, and halting biodiversity loss.»

Policy recommendations for GI management and conservation in the context of rapid urbanization have been provided for Ukrainian cities (Lavrov et al., 2021; Miroshnyk et al., 2023). Interdisciplinary research supporting

biodiversity conservation, policy development, and global sustainability is especially critical for Ukraine in the context of European integration and the current emergency of warfare on its territory (Blachowski & Hajnrych, 2021; Dubyna et al., 2023; Lukash et al., 2024). An analysis of prior research demonstrates that an interdisciplinary approach has been developed and recommended to assess ecosystem functionality effectively.

The aim of the study to assess the condition of park ecosystems in Chernihiv in relation to urbanization levels and air pollution from vehicles.

Research methodology

The park ecosystems of Chernihiv were studied during the summer of 2023 (Table 1). Research methods for analyzing tree and grass layers were based on Lavrov et al. (2021). Species composition, sanitary condition of vegetation by canopy layers, and the impact of air pollution were assessed in temporary test plots (TP) with areas ranging from 0.2 to 0.6 ha in medieval plantations.

Table 1

List of studied park ecosystems in Chernihiv city

№	Name of PE	GPS coordinates	
1	Forest area «Ski base»	51.53088440631798	31.354794952338857
2	Berezovyi Hai Forest Park	51.52045510031688	31.333408574947587
3	Yalivshchyna Regional Landscape Park with Yalivshchyna Forest Reserve	51.52312061880307	31.297746013397923
4	Central Park of Culture and Recreation – City Garden	51.499204613766736	31.324535312073664
5	Urban forest park «Maryin gai»	51.49435137384146	31.31177328156124
6	Park-monument of landscape art «Boldina Gora»	51.478441697497544	31.284755172370115
7	Remnants of the Podusivka neighbourhood forest	51.489222660694054	31.238644469751556

Urbanisation Index (*UI*) calculated using the Urbanisation Score software (Seress et al., 2014), which analyses the land surface by categories such as asphalt, buildings and green space intensity using Google Maps images. The load of roads and the amount of phytotoxicants

released into the air near the PEs were calculated using the methodology (Miroshnyk et al., 2022). The intensity of car traffic in Chernihiv was determined in the locations shown on the figure 1.

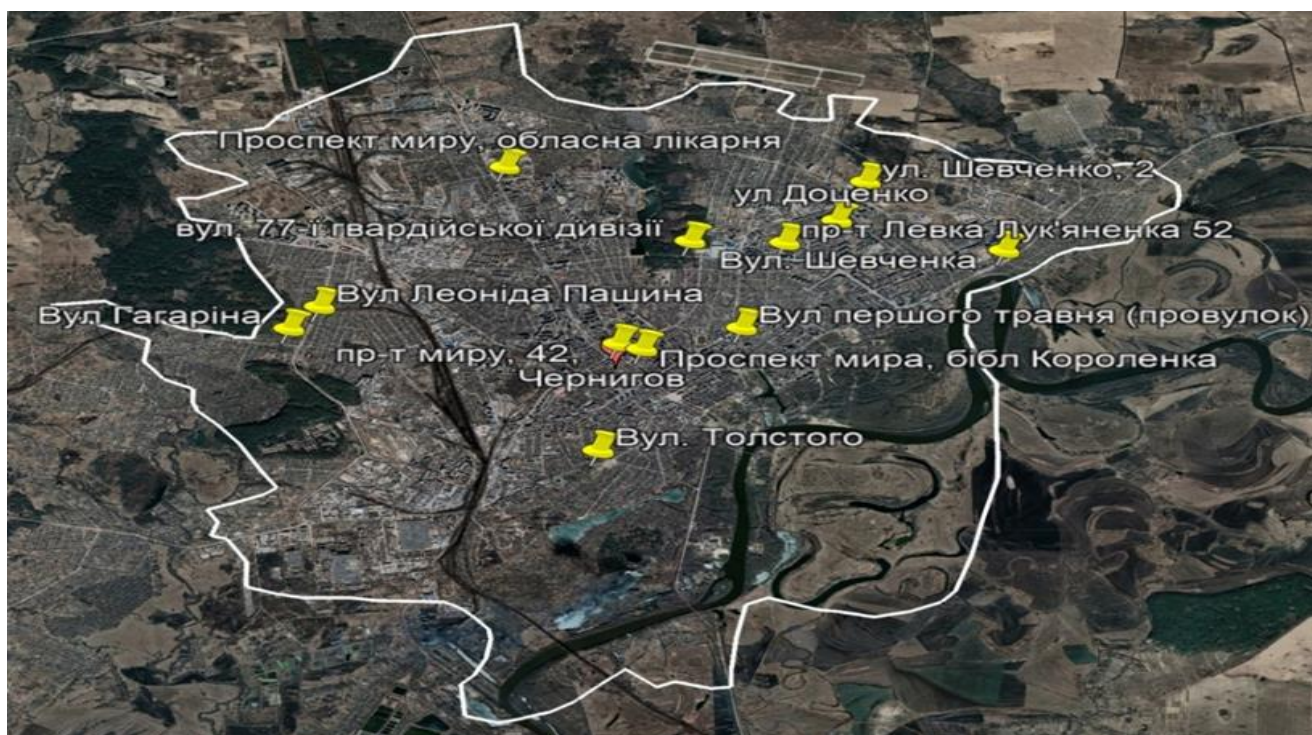


Fig. 1. Locations of determining the intensity of traffic in the Chernihiv city

Results

Chernihiv is the administrative center of the Chernihiv region in Polesie, situated in the mid-reaches of the Desna River. The city had a population of approximately 300,000 people before the full-scale invasion in 2022. The average annual temperature is $+7.6^{\circ}\text{C}$, and annual rainfall averages 613 mm. Chernihiv is home to the Desna and Stryzhen rivers, as well as several ponds and lakes. Green spaces include remnants of pine, oak-pine, and birch forests, along with cultivated plantings. In parts of the Desna River floodplain, alder and willow-poplar forests have also been preserved (Zavialova, 2011). According to Ukraine's floristic zonation, the study area belongs to the European region, the Eastern European province, Polesie sub-province, and the Left Bank Dnipro district (Geobotanical zoning ..., 1977).

The primary stabilizing framework of Chernihiv's urban ecosystem consists of areas that have retained a near-natural character, including green spaces and riparian zones along natural water bodies such as the floodplain of the Desna River and the slopes of its high right bank. This framework encompasses the

territories of the nature reserve fund, squares, parks, and forest parks. The total area of the city is 7,132 hectares, of which 3,100 hectares are covered by green spaces (Pototska, 2014). Researchers have conducted detailed studies on the city's woody vegetation and parks (Pototska, 2014; Lukash & Andrienko, 2011). In Chernihiv, there are 265 species and 75 cultivars of woody plants, belonging to 125 genera and 54 families. In terms of quantitative indicators, the *Magnoliophyta* division predominates, with 229 species. Among angiosperms, the most diverse families are *Rosaceae*, with 75 species, and *Salicaceae*, with 22 species. Among gymnosperms, the most numerous families are *Pinaceae*, with 17 species, and *Cupressaceae*, with 13 species (Pototska, 2014). The vegetation of specific green spaces in Chernihiv was studied in 2022 (Karpenko et al., 2022).

Between 24 February and 6 April 2022, intense warfare took place in Chernihiv and the region, and Chernihiv was besieged and heavily shelled by Russian troops, including aviation (War Crimes in Chernihiv Region).

We conducted field research in 7 PEs in Chernihiv (Fig. 2).

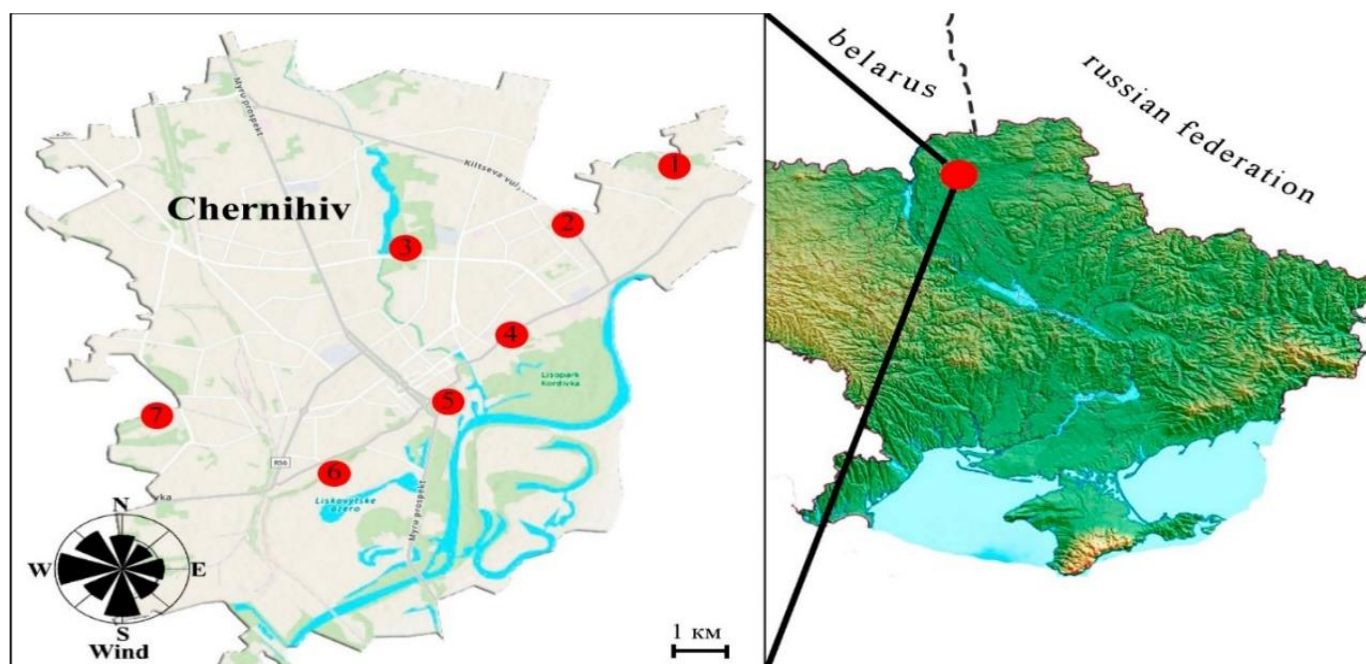


Fig. 2. Investigated PEs in Chernihiv (2023):
 1 – Forest area «Ski base»; 2 – Forest park «Berezovyi hai»;
 3 – Regional landscape park «Yalivshchyna» with forest reserve «Yalivshchyna»;
 4 – Central park of culture and recreation – «City garden»; 5 – City forest park «Maryin hai»;
 6 – Park-monument of landscape art – «Boldyna Hora»;
 7 – Remains of Podusivka neighbourhood forest area

A relief map (Fig. 3) was created to assess the dynamics of the spread of air pollutants from vehicles, as the relief drops into the Desna River valley as it approaches the river.

Consequently, air pollutants could migrate to the river valley to a greater extent due to the prevailing wind directions.

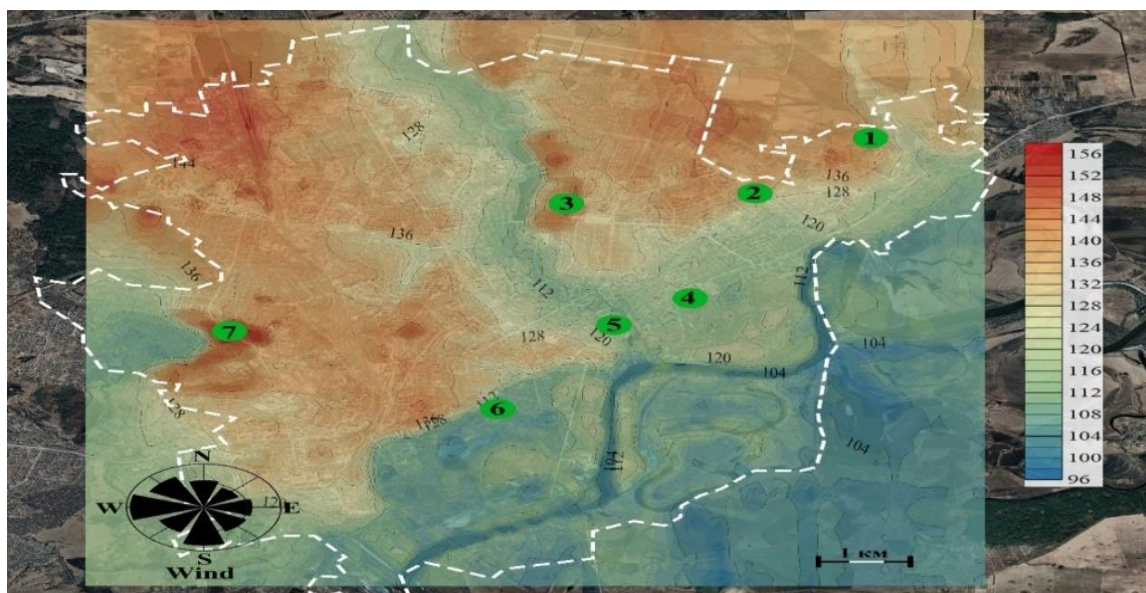


Fig. 3. Relief of the Chernihiv city, where the numbers indicate the distance in m above sea level. PE numbers as in the Fig. 2

The level of urbanization in the city was analyzed (Fig. 4). It was observed that the degree of urbanization decreases as one approaches the river valley. The research

results indicate that urbanization index values in Chernihiv range from 2.5 to -5, which suggest a healthy condition for the studied landscapes. The lowest urbanization index value reflects the

least degree of urbanization and is characteristic of natural, undisturbed areas. Overall, the level of urbanization in Chernihiv is significantly lower than that of Kyiv. In Chernihiv, the maximum urbanization index is

2.5, while the minimum (indicating good landscape condition) is -5. In comparison, Kyiv has a maximum urbanization index of 3.5 and a minimum of 4 (Miroshnyk et al., 2022a).

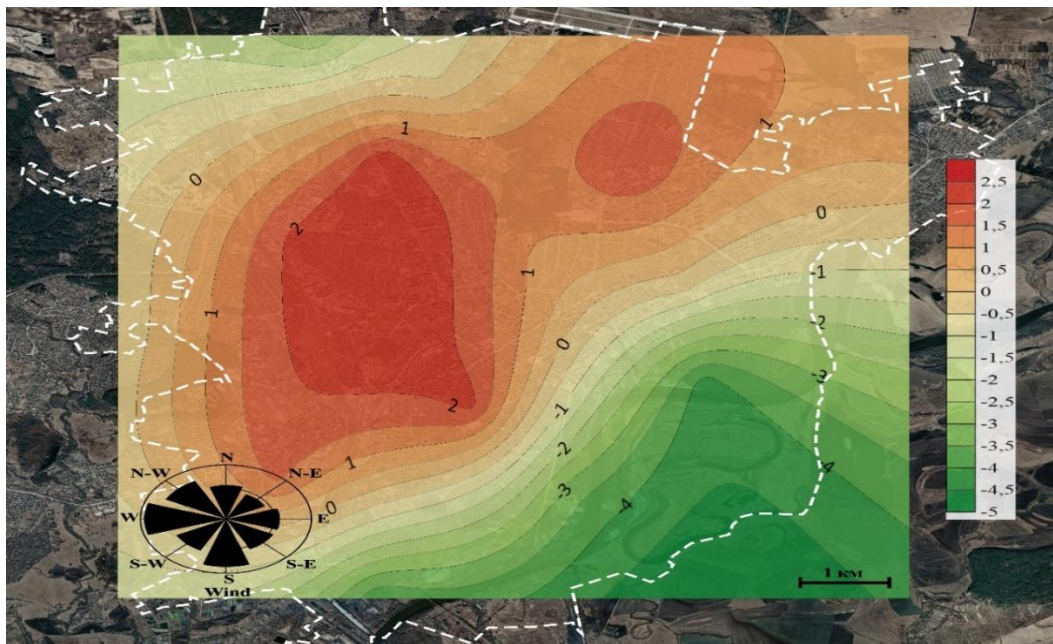


Fig. 4. The value of the urbanization indice (*UI*) of the Chernihiv landscapes

The intensity of traffic in the city was assessed using the number of cars per hour (Fig. 5). It was found that the highest volume of traffic occurs in the neighborhoods near the

Yalivshchyna and Podusivka residential areas, which corresponds with a high level of urbanization in these regions (Fig. 5).

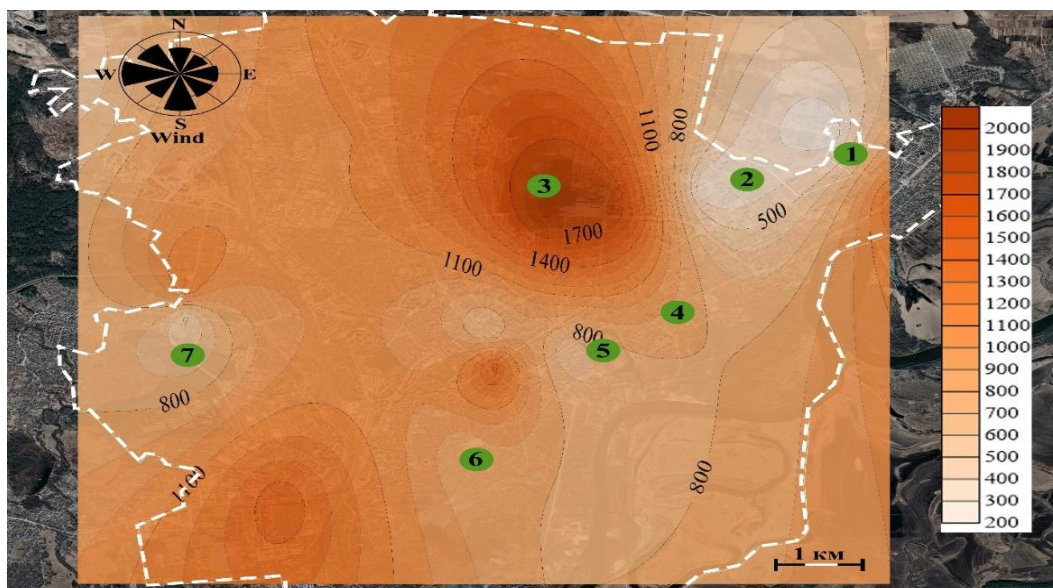


Fig. 5. Number of cars per hour, Chernihiv, where the numbers on the green background indicate the studied Pes, 1 – Forest area «Ski base»; 2 – Forest park «Berezovi hai»; 3 – Regional landscape park «Yalivshchyna» with forest reserve «Yalivshchyna»; 4 – Central park of culture and recreation – «City garden»; 5 – City forest park «Maryin hai»; 6 – Park-monument of landscape art – «Boldyna Hora»; 7 – Remains of Podusivka neighbourhood forest area

In terms of vehicle emissions, the most severe pollution was found in the city center (NO_x, SO₂, soot, hydrocarbons, formaldehyde, Pb compounds), particularly along Myru Avenue and Pashina Street (Fig. 6). Myru Avenue serves

as one of the city's main thoroughfares, and the presence of checkpoints at the entrances and exits of the border city further impacts traffic intensity and flow.

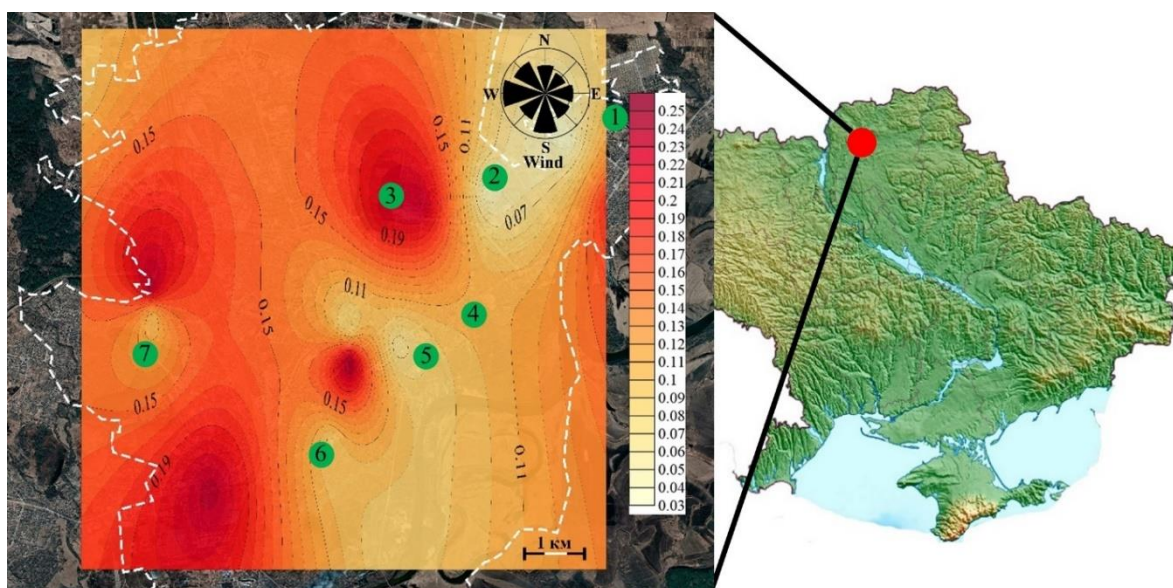


Fig. 6. Total emissions from transport traffic, 1 – Forest area «Ski base»; 2 – Forest park «Berezovi hai»; 3 – Regional landscape park «Yalivshchyna» with forest reserve «Yalivshchyna»; 4 – Central park of culture and recreation – «City garden»; 5 – City forest park «Maryin hai»; 6 – Park-monument of landscape art – «Boldyna Hora»; 7 – Remains of Podusivka neighbourhood forest area

The highest number of cars and total emissions (NO_x, SO₂, soot, hydrocarbons, formaldehyde, Pb compounds) were on 77th

Guards Division, Pashina Street, First of May, Peremohy Avenue (Fig. 7).

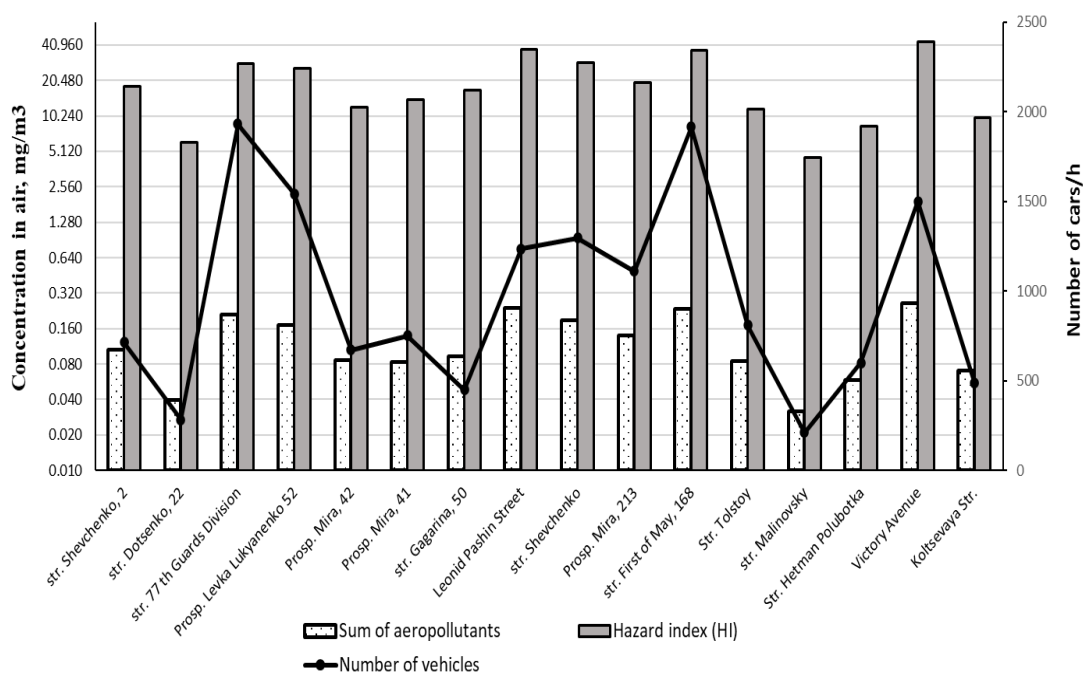


Fig. 7. Traffic indicators and pollutant hazard index (HI), Chernihiv

The highest levels of hydrocarbon (HC) and nitrogen oxide (NOx) emissions are particularly concentrated on the central streets, such as Peremohy Avenue, as well as on the

outskirts where there is a high volume of truck traffic, including Pashina Street and Levka Lukyanenko Street (Fig. 8).

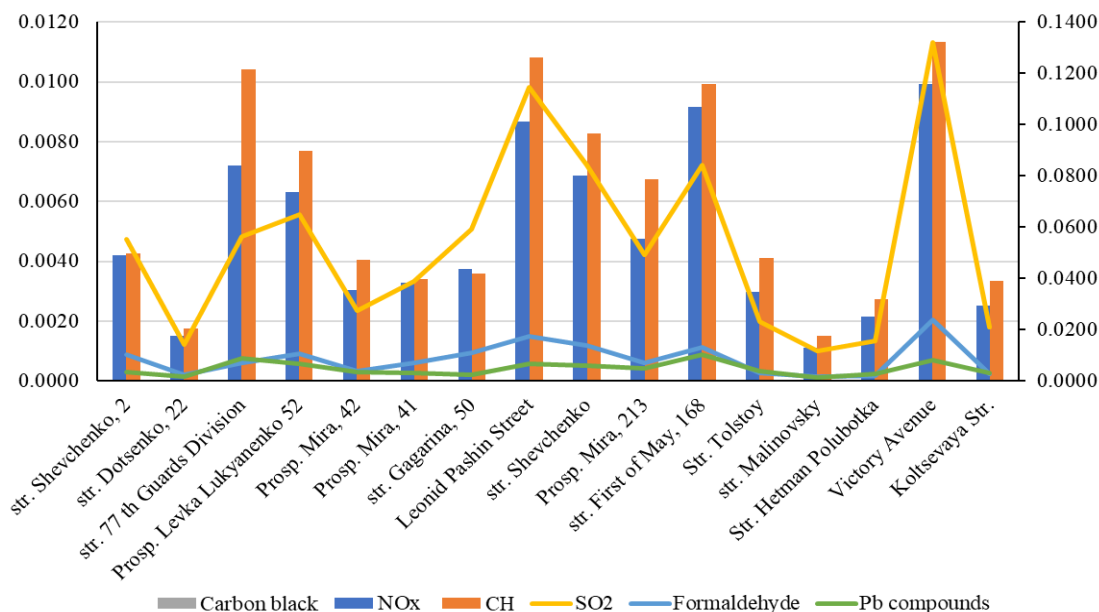


Fig. 8. Pollutant emissions from motor vehicles

A comparison of anthropogenic load and the geographical locations of the park ecosystems (PEs) reveals that PEs 3 and 7 are situated in a highly urbanized part of the city, with PE 3 located in the city center. Consequently, it is significantly affected by aerotoxics from

vehicle emissions. In contrast, PEs 1, 4, 5, and 6 are located on the outskirts of the city, in less urbanized areas, with PEs 5 and 6 also situated in the river valley. As a result, their sanitary conditions are better than those found in the central part of the city (see Fig. 9).

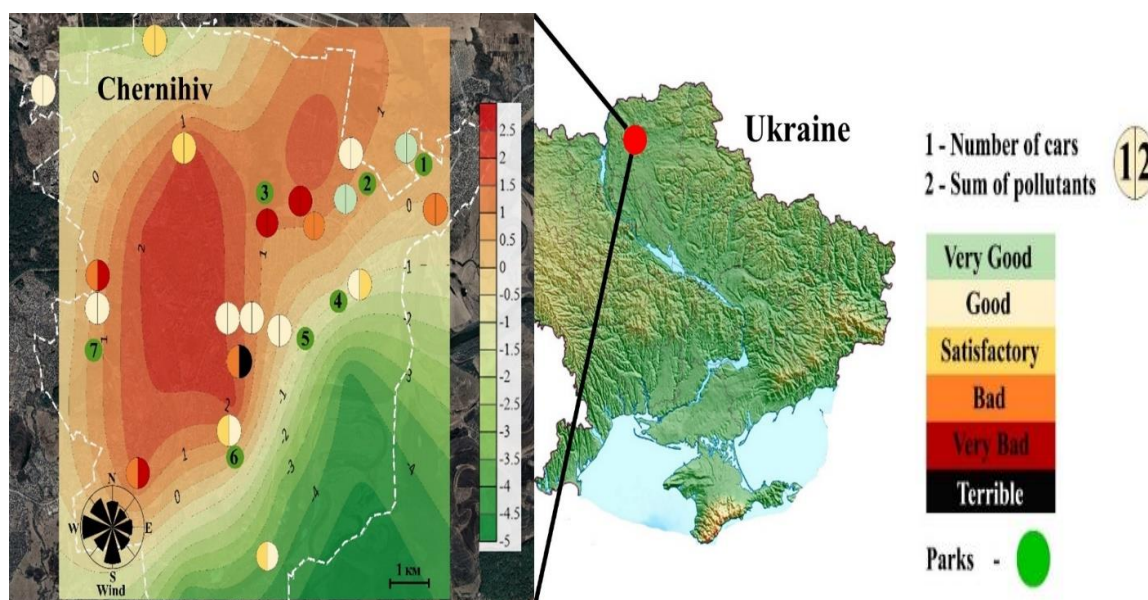


Fig. 9. Map of the condition of PEs and the degree of urbanisation in Chernihiv, with the scale on the side showing the degree of urbanisation (UI), 1 – Forest area «Ski base»; 2 – Forest park «Berezovyi hai»; 3 – Regional landscape park «Yalivshchyna» with forest reserve «Yalivshchyna»; 4 – Central park of culture and recreation – «City garden»; 5 – City forest park «Maryin hai»; 6 – Park-monument of landscape art – «Boldyna Hora»; 7 – Remains of Podusivka neighbourhood forest area

In August 2023, field research was conducted to assess the state of green infrastructure following the impact of warfare in 2022. The 'Ski Base' forest area was surveyed, which had been subjected to shelling and increased mine danger during the occupation in 2022 due to the proximity of enemy equipment



(Fig. 10). We also documented damage to green spaces caused by shelling, fires, and shell fragments in various parts of the city. Notably, significant damage was observed along the city border and in Novoselivka village (located in the northern part of the city), which experienced heavy shelling.



Fig. 10. Park plantations near the Ski base for training athletes (Miroshnyk N., August 2023)

Significant damage to trees and soil was observed, with nearly all of the upper portions – specifically the crowns – destroyed, and 80% of the tree trunks affected by shell fragments and fires. The condition of the stands is severely weakened, leading to drying and deterioration.

Conclusion

An environmental assessment of Chernihiv's green infrastructure has been conducted. The results indicate that urbanization index values in Chernihiv range from 2.5 to -5. A comparison of anthropogenic load and the geographical locations of the park ecosystems reveals that the Yalivshchyna Regional Landscape Park and the remnants of the forest area in the Podusivka neighborhood are significantly affected by aerotoxicants from vehicle emissions. In contrast, the central cultural and recreational park, «City Garden», and the municipal forest park, «Maryin Hai», are situated in the river valley, resulting in better sanitary conditions than those found in the central part of the city. It

was observed that the degree of urbanization decreases as one approaches the river valley. Additionally, significant damage to green infrastructure in the Ski Base forest area was recorded due to the warfare during the city's siege from February to April 2022.

To effectively study urban ecosystems, it is essential to implement sustainable development goals in the management of urban parks, while also considering social aspects and the impact of warfare and internal migration on the state of these parks. This approach will enable more effective mitigation of the effects of warfare on the urban green environment and biodiversity, ultimately improving the quality of life and health of city residents. Future research prospects include the development of recommendations for managing the condition of urban green spaces. This is crucial for establishing an optimal policy for managing urban green spaces in a sustainability and for predicting the state of urban ecosystems.

Фінансування / Funding

Це дослідження фінансується Національною академією наук України (№ SR 0122 U000570) та грантом на індивідуальне дослідження доктора Мірошник Н.В. з Дослідницького інституту сталого розвитку (RIFS), Потсдам, Німеччина <https://www.rifs-potsdam.de/en/>. / This research was funded by the National Academy of Sciences of Ukraine (No. SR 0122U000570) and a grant for individual research of Dr. Miroshnik N.V. from The Research Institute for Sustainability (RIFS) Potsdam, Germany <https://www.rifs-potsdam.de/en/>.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Blachowski, J., & Hajnrych, M. (2021). Assessing the cooling effect of four urban parks of different sizes in a temperate continental climate zone: Wroclaw (Poland). *Forests*, 12, 1136. <https://doi.org/10.3390/f12081136>
- Geobotanical zoning of the Ukrainian SSR. (1977). Naukova Dumka. (in Ukrainian)
Геоботанічне районування Української РСР. Київ: Наук. думка, 1977. 303 с.
- Dubyna, D. V., Ustymenko, P. M., Baranovski, B. A., & Karmyzova, L. A. (2023). Forest strips of Ukraine in the modern realities, state assessment and ways of their restoration. *Agrology*, 6(2), 38–44. <https://www.agrologyjournal.com/index.php/agrology/article/download/119/117>
- Karpenko, Y., Pototska, S., & Sverdlov, V. (2022). Vascular plants of the spontaneous flora of the regional landscape park "Yalivshchyna" (Chernihiv). *Biota. Human. Technology*, 3. <https://doi.org/10.58407/bht.3.22.1> (in Ukrainian)
Карпенко Ю., Потоцька С., Свєрдлов В. Судинні рослини спонтанної флори регіонального ландшафт-ного парку «Ялівщина» (м. Чернігів). *Biota. Human. Technology*, 2022, №3. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.22.1>.
- Lavrov, V. V., Miroshnyk, N. V., Shupova, T. V., & Teslenko, I. K. (2021). Scientific bases of integrated assessment of park forest ecosystems in the conditions of a big city. *Methodical recommendations*. Kyiv. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/5891> (in Ukrainian)
Лавров В.В., Мірошник Н.В., Шупова Т.В., Тєслєнко І.К. Наукові основи інтегральної оцінки паркових лісових екосистем в умовах великого міста. *Методичні рекомендації / за заг. ред. проф. В.В. Лаврова*. Київ, 2021. 68 с. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/5891>.
- Lukash, O. V., & Andrienko, T. L. (2011). Rare and protected plants of Polesye (Poland, Belarus, Ukraine, Russia). Phytosociocenter.
- Lukash, O., Miroshnyk, I., Morskyi, V., Stupak, Y., Strilets, S., Shakhnazarian, O., Sliuta, A., Aravin, M., & Sazonova, O. (2024). Ecological strategies of decorative invasive tree and shrub plant species in the city's green infrastructure. Poster presented at *the 3rd International Electronic Conference on Processes*, session Environmental and Green Processes. <https://sciforum.net/paper/view/17579>
- Miroshnyk, N. V., Likhanov, A. F., Grabovska, T. O., & Teslenko, I. K. (2022a). Green infrastructure and relationship with urbanization – Importance and necessity of integrated governance. *Land Use Policy*, 114, 105941. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105941>
- Miroshnyk, N., Grabovska, T., Mazura, M., & Teslenko, I. (2022b). Bioindication of megalopolis park ecosystems under aerotechnogenic loading. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(1), 15–37. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0003>
- Miroshnyk N.V., Likhanov A.F., Matyashuk R.K., Mazura M.Yu., Shupova T.V., Gonchar G.Yu. (2023). Bioindicative assessment of the state of park ecosystems of the city of Kyiv. Kyiv: Akadempriodyka. <https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.488.200> (in Ukrainian)
Мірошник Н.В., Ліханов А.Ф., Матяшук Р.К., Мазура М.Ю., Шупова Т.В., Гончар Г.Ю. Біоіндикаційна оцінка стану паркових екосистем міста Києва. Київ: Академперіодика. 2023. 200 с. <https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.488.200>

Pototska, S. O. (2014). Analysis of the current state of dendroflora and prospects for optimizing the plantings of the city of Chernihiv. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii*, 11, 225–231. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pzp_2014_11_41 (in Ukrainian)

Потоцька С. О. Аналіз сучасного стану дендрофлори та перспективи оптимізації насаджень міста Чернігова. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2014, № 11. С. 225–231. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pzp_2014_11_41.

Edict President of Ukraine. (2019). On the sustainable development goals of Ukraine until 2030. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (in Ukrainian)

Указ Президента України (2019). Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.

Seress, G., Lipovits, Á., Bókony, V., & Czúni, L. (2014). Quantifying the urban gradient: A practical method for broad measurements. *Landscape and Urban Planning*, 131, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.010>

A/RES/70/1 Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf

War crimes in Chernihiv region: A brief overview based on the results of monitoring trips for documentation. (2023). https://lb.ua/blog/koalitsiia_ua5am/557680_voienni_zlochyni_chernigivshchini.html (in Ukrainian)

Воєнні злочини на Чернігівщині: короткий огляд за результатами моніторингових виїздів із документування. 2023. https://lb.ua/blog/koalitsiia_ua5am/557680_voienni_zlochyni_chernigivshchini.html.

Zav'ialova, L. V. (2011). Urban flora of Chernihiv. (PhD Dissertation). Kyiv. (in Ukrainian).

Зав'ялова Л.В. Урбанофлора Чернігова: дис. ... канд. біол. наук. Київ, 2011. 289 с.

Received: 06.11.2024. **Accepted:** 09.12.2024. **Published:** 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Miroshnyk N., Tertychna O. Assessing the level of anthropogenic pressure on park ecosystems in Chernihiv. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. P. 149-158.

Cite this article in APA style as:

Miroshnyk, N., & Tertychna, O. (2024). Assessing the level of anthropogenic pressure on park ecosystems in Chernihiv. *Biota. Human. Technology*, 3, 149-158.

Information about the authors:

Miroshnyk N. [in Ukrainian: **Мірошник Н.**] ¹, Ph.D. in Biol. Sc., e-mail: natalie.miroshnik@outlook.com
 ORCID: 0000-0003-3507-6585 Scopus-Author ID: 57222481015 ResearcherID: JZT-0892-2024
 Institute for Evolutionary Ecology NAS Ukraine
 37 Lebedeva Street, Kyiv, 03143, Ukraine
 The Research Institute for Sustainability
 130 Berliner Street, Potsdam, 14467, Germany

Tertychna O. [in Ukrainian: **Тертична О.**] ², Sc.D. in Biol. Sc., Senior researcher, e-mail: olyater@ukr.net
 ORCID: 0000-0002-9514-2858 Scopus-Author ID: 59392890000 ResearcherID: EAS-0142-2022
 Department of Agrobioreources and Eco-Secure Technologies, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS of Ukraine
 14 Metrologichna Street, Kyiv, 03143, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.



FOOD TECHNOLOGIES

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ



UDC 663:663.8

DOI: 10.58407/bht.3.24.9



Copyright (c) 2024 Nadiia Lapytska, Anastasiia Biloborodko
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Надія Лапицька, Анастасія Білобородько
**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ШОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА**



Nadiia Lapytska, Anastasiia Biloborodko

**DEVELOPMENT OF SHOT TECHNOLOGY USING BY-PRODUCTS
OF JUICE PRODUCTION**

АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто можливість використання вичавок із дикорослих ягід для виробництва настоянок, що будуть використовуватися у рецептурі шотів. Встановлено актуальність розширення асортименту напоїв у барах та ресторанах. Доведено, що використання побічних продуктів сокового виробництва – вичавок, буде рентабельним, оскільки в закладах ресторанного господарства часто замовляють фреші, при виробництві яких накопичується значна кількість побічних продуктів. Крім того, вичавки значною мірою накопичуються і на сокових підприємствах, що знизить ризики нестачі сировини.

У представленій роботі підібрано інгредієнти для виробництва шотів. Привернуто увагу зниженню вмісту алкоголю в цьому напої та підвищенню його функціональності.

Для приготування настоянок використовували вичавки журавлини і обліпихи. Як екстрагент використовували горілку. Співвідношення вичавки : горілка було 1 : 5. Екстрагування здійснювали за температури 8...10 °С протягом 12...24 год. Після цього настоянку перемішували і фільтрували. Фільтрат використовували для приготування шотів.

З метою розробки рецептури нового шоту було вивчено показники якості сировини, що буде використовуватися для його виробництва. Встановлено, що настоянки із вичавок журавлини і обліпихи мають на 44,4 і 56,0 % меншу міцність порівняно із горілкою. Поряд із тим, що для виробництва шотів будуть використовуватися апельсиновий сік і ананасовий сироп, що взагалі не містять спирту, можна стверджувати про досягнення мети створення алкогольного напою для закладів ресторанного господарства із зниженим вмістом спирту та підвищеною функціональністю.

Шоти – це шаруваті напої. Для отримання «шаруватості» слід чітко розуміти густину сировини, що буде використовуватися. Згідно із даними досліджень найбільшу густину має ананасовий сироп, найменшу – горілка.

Відповідно до отриманих в роботі даних було розроблено рецептуру і технологічну схему виробництва шотів за використання побічних продуктів сокового виробництва. Отримані напої характеризувалися високими органолептичними показниками, мали привабливий вигляд і оригінальний аромат. Все це робить розроблений напій привабливим для споживачів і дозволяє розширити асортимент алкогольних напоїв із функціональними властивостями у барах та ресторанах.

Мета статті – розробити технологію шотів за використання вичавок із обліпихи та журавлини.

Методологія. Під час проведення роботи використовували фізико-хімічні та органолептичні методи досліджень. Опрацювання результатів здійснювали за допомогою баз даних MS Excel.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано комплексну переробку сировини з метою підвищення рентабельності виробництва напоїв та надання їм функціональності за рахунок використання вичавок обліпихи і журавлини при виробництві шотів у закладах ресторанного господарства.

Висновки: доведено доцільність використання настоянок із вичавок дикорослих ягід журавлини і обліпихи при виробництві змішаних напоїв. Підібрані інгредієнти, що дозволяють отримати оригінальний якісний шот. Розроблено технологію отримання шотів за використання настоянок із вичавок журавлини або обліпихи. Проаналізовано органолептичні показники отриманих напоїв. Сформульовано подальші дослідження за роботою.

Ключові слова: змішані напої, журавлина, обліпиха, вичавки, ресторанне господарство

ABSTRACT

The paper considers the possibility of using extracts from wild berries for the production of tinctures that will be used in the recipe of shots. The relevance of expanding the range of drinks in bars and restaurants has been established. It has been proven that the use of by-products of juice production – juice extracts – will be profitable, since restaurants often order fresh juices, the production of which accumulates a significant number of by-products. In addition, squeezes are accumulated to a large extent at juice plants, which will reduce the risks of a shortage of raw materials.

In the presented work, the ingredients for the production of shots are selected. Attention has been drawn to reducing the alcohol content in this drink and increasing its functionality.

Cranberry and sea buckthorn extracts were used to prepare tinctures. Vodka was used as an extractant. The ratio of squeeze: vodka was 1: 5. Extraction was carried out at a temperature of 8...10 °C for 12...24 hours. After that, the tincture was stirred and filtered. The filtrate was used to prepare shots.

In order to develop the formulation of the new shot, the quality indicators of the raw materials that will be used for its production were studied. It was established that tinctures made from cranberry and sea buckthorn extracts have 44.4 and 56.0 % lower strength compared to vodka. Along with the fact that orange juice and pineapple syrup, which do not contain alcohol at all, will be used for the production of shots, it can be argued that the goal of creating an alcoholic beverage for restaurants with a reduced alcohol content and increased functionality has been achieved.

Shots are layered drinks. In order to obtain «layering», one should clearly understand the density of the raw material that will be used. According to research data, pineapple syrup has the highest density, vodka the lowest.

According to the data obtained in the work, a recipe and technological scheme for the production of shots using by-products of juice production was developed. The obtained drinks were characterized by high organoleptic indicators, had an attractive appearance and an original aroma.

The purpose of the article is to develop the technology of shots for the use of sea buckthorn and cranberry extracts.

Methodology. Physico-chemical and organoleptic research methods were used during the work. Processing of the results was carried out using «MC Excel databases».

The scientific novelty is that the complex processing of raw materials is proposed in order to increase the profitability of the production of drinks and give them functionality due to the use of sea buckthorn and cranberry extracts in the production of shots in restaurants.

Conclusions: the expediency of using tinctures from extracts of wild berries, cranberries and sea buckthorn in the production of mixed drinks has been proven. Selected ingredients that allow you to get an original high-quality shot. The technology of obtaining shots for the use of tinctures from cranberry or sea buckthorn extracts has been developed. The organoleptic parameters of the obtained drinks were analyzed. Further research at work is formulated.

Key words: mixed drinks, cranberry, sea buckthorn, squeezes, restaurant business

Постановка проблеми

Актуальність роботи. У сучасному світі все більшого попиту набувають напої з функціональними властивостями. Алкогольні напої не є винятком. У закладах ресторанного господарства, а особливо в барах, можна створити коктейлі із достатньо не високим вмістом алкоголю, що при цьому будуть мати функціональні властивості. Цього можна досягти шляхом використання настоянок із нетрадиційної сировини для приготування змішаних напоїв, адже відомо, що за використання водно-спиртових сумішей (горілки) можна екстрагувати із сировини значну кількість корисних есенціальних речовин (Larytska, 2021).

В якості нетрадиційної сировини, що буде використовуватися для виробництва змішаних напоїв, перспективно використовувати побічні продукти сокового виробництва – вичавки. Це представляє науковий інтерес перш за все із-за того, що у закладах ресторанного господарства вичавки накопи-

чуються у великій кількості при виробництві фрешів. Такі відходи утилізуються, хоча їх хімічний склад є багатим і підходить для збагачення харчових продуктів. Використання вичавок дозволить зменшити втрати у закладах ресторанного господарства та підвищити рентабельність напоїв за рахунок безвідходності технологічного процесу. Потрібно відмітити, що вичавки у значній кількості накопичуються і на сокових підприємствах. Це дозволить уникнути браку сировини у разі відсутності достатньої кількості замовлень на фреші.

Слід зазначити, що окрім економічної вигоди від використання вичавок при виробництві змішаних напоїв, може бути досягнуто функціонального ефекту. Ці побічні продукти в технології можуть виступати як натуральні ароматизатори, бути джерелом широкого спектру вітамінів, мінеральних речовин і клітковини. Крім того, таке рішення може сприяти екологічній стійкості в галузі виробництва напоїв.

Важливим для ресторанного господарства також є те, що виробництво напоїв у його межах не має масовості. Це дає можливість легко варіювати на ринку відповідно до потреб споживача, що часто змінюються. Враховуючи це, актуальним завданням є розширення асортименту змішаних напоїв. Використання вичавок з цією метою дозволить досягти зазначеного та підвищити конкурентоспроможність за рахунок використання натуральних інгредієнтів з функціональними властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні одним із пріоритетних напрямків розвитку як харчової промисловості, так і ресторанної справи є виробництво продукції оздоровчого призначення, значну частку серед яких займають напої.

Все більше людей вважають одним із елементів здорового способу життя людини – виключення або зниження споживання міцних алкогольних напоїв (Kuchynska, 2013). Саме це може слугувати причиною розробки напоїв із невисоким вмістом алкоголю. Це є можливим саме у закладах ресторанного господарства, адже їх асортимент може більшою мірою підлаштовуватися під вимоги споживачів. Крім того, розвиток закладів ресторанного господарства – перспективний напрямок відбудови національної економіки, що постраждала спочатку внаслідок COVID-19, а потім – початку російсько-української війни (Kucheruk & Podlepina, 2021; Huzar & Levchuk, 2023).

Норвезькими вченими доведено, що найбільш прибутковими є саме малі підприємства – кафе, бари, малі ресторанчики (Opstad et al., 2022). Саме вони найшвидше розвиваються, а, отже, будуть найбільше сприяти розвитку економіки. Таким чином слід дбати про розширення асортименту таких закладів. Враховуючи, що у барах люди збираються переважно дружніми компаніями, щоб випити і розслабитися, в той же час прагнучи до зниження вживання алкоголю, важливо розробити такі напої, що не будуть містити значної частки спирту, будуть привертати увагу споживачів і мати функціональні властивості.

Таке завдання частково вирішується шляхом реалізації в закладах ресторанного господарства пива традиційного або збагаченого рослинною сировиною. Навіть

традиційне пиво можна вже розглядати як функціональний продукт завдяки наявності в ньому антиоксидантів, фолієвої кислоти, фенольних сполук, калію та незначного вмісту спирту ендogenous походження (Kuchynska, 2013). Проте використання у пивоварінні нетрадиційної сировини дозволяє змінити смако-ароматичний профіль пінного напою та, таким чином, розширити його асортимент. Так, в роботі (Mukoid et al., 2021) пропонується використовувати в якості несолодженої сировини ярий і озимий ячмінь. Є інформація щодо використання водних екстрактів топінамбуру, концентратів обсмаженого цикорію (Pat UA 3481; Pat UA 115398). Їх використання дає можливість отримати унікальні сорти пива з підвищеною біологічною цінністю. Крім того, в роботі (Tatar, 2019) наведена можливість використання черемхи за рахунок заміни частини хмелю, що дозволяє отримати напій з унікальним смаковим профілем. Також в цій роботі розглянуто можливість використання гранату, коріння петрушки, листя кукурудзи, бруньок хризантеми з метою збагачення пива вітамінами і мінеральними речовинами.

Проте слід зазначити, що люди, йдучи в бар або ресторан, не завжди прагнуть споживати пиво. Їх увагу часто привертають більш міцні напої або оригінальні коктейлі. Відомо, що здавна з лікувальною метою використовували лікери. Тому слід приділити значну увагу сировині, що використовується для їх виробництва. З метою виробництва лікерів використовують, окрім спирту і води, значне різноманіття рослинної сировини, ефірних олій, смако-ароматичних добавок і цукор (Harriss et al., 2007). Саме через значну кількість цукру такі напої не можуть споживати люди з підвищеним вмістом цукру у крові. Тому в роботі (Nepochatykh & Grebeniukova, 2018) пропонується замість цукру використовувати стевію. В цій же роботі пропонується використовувати лимон як основу для лікеру. Автори стверджують, що саме завдяки такому поєднанню інгредієнтів розроблений лікер підходить для лікування простудних захворювань і навіть бронхітів, має здатність підтримки артеріального тиску і холестерину, підсилює захисні функції організму.

Окрім алкогольних напоїв у барах, ресторанах і кафе значною популярністю користуються безалкогольні напої, коктейлі та сокові напої. Так, в роботі (Stetsenko & Gladysheva, 2019) пропонується виготовляти квас на основі сиропів із лікарської і пряно-ароматичної сировини. Для виробництва сиропу у цій роботі розглядається можливість використання обліпихи та дигідро-кверцитину, що дозволить отримати квас оздоровчого призначення.

Є дані щодо використання соків винограду і малини, а також шипшинового відвару для розробки рецептур купажованих напоїв (Lutsky & Osypenko, 2019). В роботі також пропонується замінити частину цукру на ксиліт, що знизить глікемічний індекс напоїв. Слід зазначити, що використання соків для виробництва напоїв буде впливати на утворення значної кількості вичавок.

Запропоновані методики виробництва напоїв потребують складного технологічного оснащення процесу виробництва, є довготривалими. Це не надто підходить для реалізації таких технологій у закладах ресторанного господарства. Тому в роботі (Izhevska & Maslinchuk, 2022) пропонується виготовляти напій яблучний, морквяний і грушевий з додаванням насіння чіа. Розроблені напої мали густішу консистенцію порівняно із відповідними соками, були не прозорими, що зумовлено наявністю розчинних харчових волокон у насінні чіа. Внесення 30 % насіння чіа до маси напою, на думку авторів, буде ефективно запобігати серцево-судинним захворюванням та пригнічувати ожиріння. Це можливо завдяки хімічному складу добавки, що характеризується значною кількістю клітковини, олії, у складі якої містяться омега-3 жирні кислоти, білки, вітаміни С, Е, групи В, РР, широкий спектр мінеральних речовин (Shydakova-Kamenuka et al, 2017). Враховуючи те, що за основу в таких напоях взяті соки, можна припустити значне накопичення вичавок при їх виробництві. Вони мають бути утилізовані, проте харчовий потенціал їх не вичерпано, оскільки вони мають значну кількість есенціальних речовин у своєму складі. Крім того, подальше використання вичавок підвищить рентабельність напою, що є важливим для будь-якого виробництва. Тому з метою підвищення рентабельності напоїв, а також

повного використання харчового потенціалу сировини, доцільно розглянути можливість використання вичавок для створення нових продуктів із підвищеною харчовою і біологічною цінністю.

У представленій роботі пропонується вивчити можливість використання вичавок із дикорослих ягід обліпихи і журавлини, з метою виробництва настоянок, що будуть використані для приготування шотів із зниженим вмістом алкоголю та підвищеною функціональністю.

Мета роботи: розробити технологію шотів за використання вичавок із обліпихи та журавлини.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

- підібрати сировину для виробництва шоту та визначити показники її якості;
- вивчити густину рідких компонентів, що будуть використовуватися при виробництві;
- розробити технологічну схему виробництва шотів та визначити показники якості розробленого напою.

Методологія. В роботі запропоновано готувати шоти із використанням настоянок із обліпихи або журавлини власного виробництва; ананасового сиропу за ДСТУ 7126:2009 «Сиропа. Загальні технічні умови»; апельсинового соку за ДСТУ 7159:2010 «Консерви. Соки відновлені Загальні технічні умови»; горілки за ДСТУ 4256:2021 «Горілки та горілки особливі. Технічні умови».

Для приготування настоянок використовували вичавки із обліпихи або журавлини, що залишалися після виробництва відповідних соків.

У роботі використовували сенсорний аналіз і методи дегустаційної оцінки для визначення показників якості сировини і готових шотів.

Вміст спирту в горілці та в настоянках визначали методом перегонки (Laputska, 2023).

Вміст сухих речовин визначали рефрактометричним методом, для чого на призму рефрактометра капали краплину досліджуваного розчину, закривали та спостерігали за переходом кольору на шкалі приладу.

Активну кислотність (рН) визначали шляхом занурення електродів приладу у досліджуваний розчин та за показниками приладу. Титровану кислотність – шляхом

відтитрування кислот гідроксидом натрію у присутності тимолфталейну до переходу кольору до світло-зеленого. Лужність горілки було визначено за стандартною методикою. Густина досліджуваної сировини визначали ареометричним методом. Показники ареометра переводили у значення густини за довідковими таблицями (Lapytska, 2023).

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано комплексну переробку сировини з метою підвищення рентабельності виробництва напоїв та надання їм

функціональності за рахунок використання вичавок обліпихи і журавлини при виробництві шотів у закладах ресторанного господарства.

Результати дослідження

Оскільки важливе значення для створення будь-якого нового продукту має сировина, то на першому етапі досліджень вивчали саме показники її якості. Результати органолептичної оцінки наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Органолептична оцінка сировини, що використовувалася для виробництва шотів

Органолептичні показники якості	Настоянка з журавлини	Настоянка з обліпихи	Горілка	Ананасовий сироп	Апельсиновий сік
Смак	Пекучий зі смаком журавлини	Обліпиховий смак з легкою пекучістю	Пекучий	Солодкий	Кисло-солодкий
Післясмак	Солодка пекучість	Приємний, зігріваючий	Зігріваючий	Солодкий	Кисло-солодкий
Аромат	Спиртовий з ароматом журавлини	Обліпиховий зі спиртовим ароматом	Спиртовий	Ананасовий, солодкий	Аромат відповідає продукту з якого виготовлений сік
Колір	Світло-червоний	Помаранчевий	Немає кольору	Блідо-жовтий	Жовтий
Прозорість	Замутнена	Замутнена	Прозора	Прозорий з опалесценцією	Замутнений

Органолептичні показники всієї сировини, що буде використовуватися, відповідають вимогам стандартів, тобто можемо припустити, що шоти за її використання будуть мати високі органолептичні показники.

Однак слід зазначити, що для отримання високоякісного продукту важливим є розуміння й фізико-хімічних показників якості сировини. Тому на другому етапі досліджень були проведені саме такі визначення. Результати наведено в табл. 2.

Згідно із представленими у табл. 2 даними бачимо, що настоянки із вичавок журавлини і обліпихи мають на 44,4 і 56,0 % меншу спиртуозність порівняно з горілкою. Поряд із тим, що для виробництва шотів будуть використовуватися апельсиновий сік і ананасовий сироп, що взагалі не містять спирту, можна стверджувати про досягнення мети створення алкогольного напою для закладів ресторанного господарства із зниженим вмістом спирту. Це позитивно вплине на кількість реалізації такої продукції.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості сировини для виробництва шотів

Сировина	Показник якості та його значення				
	Вміст спирту, %об.	Вміст сухих речовин, %	pH	Титрована кислотність, град	Лужність, см ³
Горілка	39,0	-	-	-	0,89
Настоянка із журавлини	27,0	21,0	3,26	6,8	-
Настоянка із обліпихи	25,0	21,0	3,56	7,6	-
Апельсиновий сік	-	14,0	4,0	8,4	-
Ананасовий сироп	-	15,0	3,33	7,1	-

Також слід враховувати значну кислотність всієї сировини. Це буде суттєвим фактором впливу на формування смакового профілю готового напою.

Окрім зазначених в табл. 2 показників, визначали густину всіх запропонованих

інгредієнтів. Цей показник відіграє важливу роль при виробництві шарованих напоїв, оскільки впливає на порядок розташування шарів напою з метою уникнення їх змішування. Результати визначення густини наведено на рис. 1.

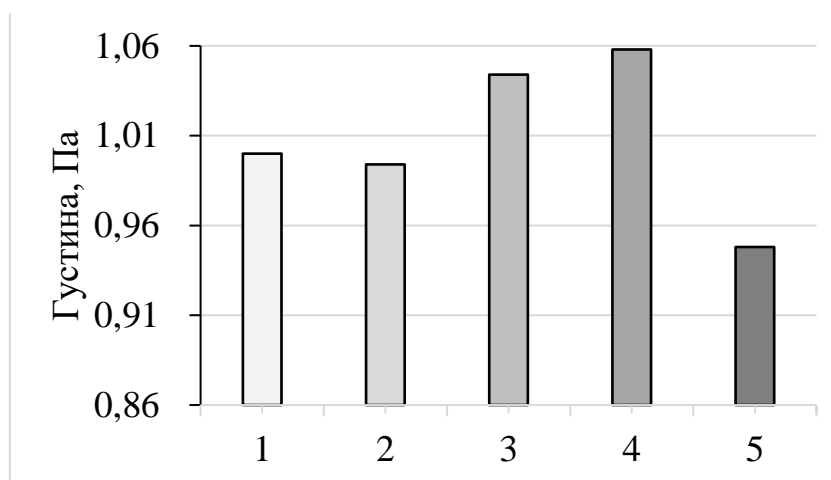


Рис. 1. Густина сировини, що використовується для виготовлення шотів:

1 – настоянка з обліпихи; 2 – настоянка з журавлини; 3 – апельсиновий сік; 4 – ананасовий сироп; 5 – горілка

Згідно до даних, наведених на рис. 1, найбільшу густину має ананасовий сироп, найменшу – горілка.

Під час виготовлення шаруватих шотів важливо знати густину сировини, яка використовується, оскільки шари шоту мають йти у порядку зменшення густини, тобто нижній шар буде складатись із сировини, що має більшу густину, відповідно верхній шар буде складатись із сировини, що має низьку густину. Таким чином, нижнім шаром розробленого напою буде ананасовий сироп, а верхнім – горілка.

Згідно з отриманими даними можна запропонувати рецептуру виробництва

шотів (табл. 3) та принципово-технологічну схему їх виробництва (рис. 2).

Підготовлену сировину наливаемо шарами у стопку за допомогою барної ложки. Послідовність шарів така: ананасовий сироп, апельсиновий сік, настоянка із вичавок журавлини або обліпихи та горілка. Кільце ананасу розрізаємо навпіл та робимо невеликий розріз посередині. Це для того, щоб ананас краще тримався на стопці. Виробництво шоту починається з підготовки сировини.

Згідно за схемою, наведеною на рис. 2, апельсини миють, ананасовий сироп проціджують. Вичавки журавлини перетирають з цукром окремо одне від одного.

Рецептура шоту за використання настоянки із вичавок дикорослих ягід

Найменування сировини	Витрати сировини на 1 порцію, г	
	Брутто	Нетто
Ананасовий сироп	-	10
Апельсиновий сік	-	10
Настоянка із вичавок журавлини або обліпихи	-	10
Горілка	-	10
Кільце ананасу	55	30
Вихід:	-	70

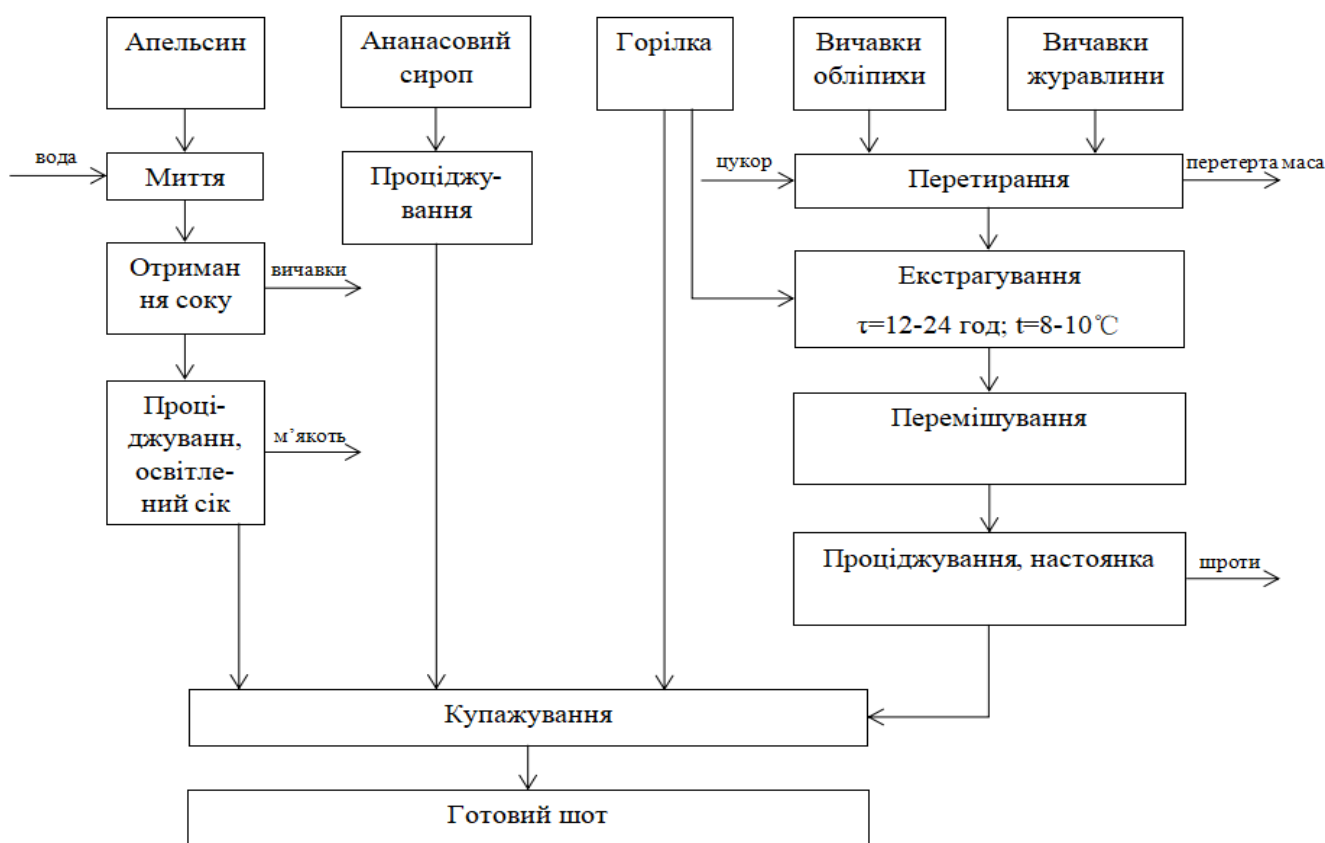


Рис. 2. Принципово-технологічна схема виробництва шоту за використання вичавок із дикорослих ягід

На наступному етапі виробництва готується сік з апельсинів шляхом його вичавлювання на соковитискачі для цитрусових. Отриманий сік проціджують, а вичавки та м'якоть йдуть у відходи (можливо використовувати для виробництва настоянок. Ці дані потребують уточнення).

До перетертих мас із вичавок обліпихи та журавлини додають горілку та екстрагують при температурі 8...10 °C протягом 12...24 год. Після тривалого екстрагування рідини перемішують та проціджують.

Отримана шротина йде у відходи, проте може використовуватися для збагачення борошняних кондитерських або хлібобулочних виробів (ці дані потребують уточнення). У результаті виходять настоянки із вичавок журавлини та обліпихи.

Далі за схемою, апельсиновий сік, ананасовий сироп, горілка та, на вибір, настоянка із вичавок журавлини або настоянка із вичавок обліпихи, використовуються для купажування. У результаті цих

всіх технологічних операцій отримуємо готовий продукт – шот.

Отримавши готовий продукт доцільним вважали дослідити його органолептичні

показники, адже від цього напряму буде залежати попит у споживачів. Дані органолептичної оцінки шотів із вичавками дикорослих ягід наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Органолептична оцінка шотів за використання настоянок із дикорослих ягід

Органолептичні показники	Шот на основі журавлинової настоянки	Шот на основі обліпихової настоянки
Смак	Пекучий, відчуваються усі складові інгредієнти	Пекучий, відчуваються усі складові інгредієнти
Післясмак	Зігриваючий	Зігриваючий
Аромат	Спиртовий, з ледь відчутним ароматом журавлини	Спиртовий, з відчутним ароматом обліпихи
Колір	Кожен шар відповідає кольору складового інгредієнта	Кожен шар відповідає кольору складового інгредієнта
Прозорість	Не прозорий	Не прозорий

Згідно із даними органолептичної оцінки (табл. 4) розроблені шоти мали привабливий вигляд, приємний оригінальний аромат. У смаку чітко відчувалися усі компоненти і була присутня характерна цій групі напоїв пекучість. Відмічено, що післясмак був приємним, зігриваючим. Все це робить розроблений напій привабливим для споживачів і дозволяє розширити асортимент алкогольних напоїв із функціональними властивостями у барах та ресторанах.

Висновки

В роботі доведено доцільність використання настоянок із вичавок дикорослих ягід журавлини і обліпихи при виробництві змішаних напоїв. Підбрано інгредієнти, що дозволяють отримати оригінальний якісний шот, та визначено показники якості сировини, що використовувалася для виробництва. На основі отриманих даних

розроблено технологію отримання шотів за використання настоянок із вичавок журавлини або обліпихи. Проаналізовано органолептичні показники отриманих напоїв.

Згідно з даними, викладеними у статті, використання вичавок із журавлини і обліпихи для приготування настоянок, що будуть складовою шотів, є перспективним рішенням. Розроблена технологія дозволить розширити асортимент барів та ресторанів автентичними напоями із функціональною дією.

Подальші дослідження будуть направлені на вивчення можливості застосування апельсинових вичавок і шротини, що утворилися при виробництві апельсинового фрешу, і настоянок із вичавок дикорослих ягід, відповідно. Можливе їх застосування – розробка безалкогольних коктейлів, борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Harriss, L. R., English, D. R., Hopper, J. L., et al. (2007). Alcohol consumption and cardiovascular mortality accounting for possible misclassification of intake: 11-year follow-up of the Melbourne Collaborative Cohort Study. *Addiction*, 102(10), 1574–1585.

Huzar, U. E., & Levchuk, A. V. (2023). Analysis of the activity of restaurant business establishments in Ukraine during the war. *Problems of modern transformations. Economics and management*, 9, 1–4. (in Ukrainian)

Гузар У. Є., Левчук А. В. Аналіз діяльності закладів ресторанного бізнесу в Україні під час війни. *Проблеми сучасних трансформацій. Економіка та управління*. 2023. № 9. С. 1–4.

Izhevskaya, O., & Maslinchuk, O. (2022). The use of non-traditional raw materials in the preparation of healthy juice drinks in restaurants. *Materials of the International scientific and practical conference «Healthy food products and dietary supplements: technologies, quality and safety»*, 48–49. (in Ukrainian)

Іжевська О., Маслінчук О. Використання нетрадиційної сировини у приготуванні соковмісних напоїв оздоровчої дії в закладах ресторанного господарства. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека»*. Київ. 2022. С. 48–49.

Kucheruk, L. V., & Podlepina, P. O. (2021). Analysis of the current state of the restaurant industry in Ukraine and the prospects for its development in the conditions of the Covid-19 pandemic. *BusinessInform. Economy. Economy of trade and services*, 9, 139–144. (in Ukrainian)

Кучерук Л. В., Подлепіна П. О. Аналіз сучасного стану ресторанного господарства України та перспективи його розвитку в умовах пандемії Covid-19. *БізнесІнформ. Економіка. Економіка торгівлі та послуг*. 2021. № 9. С. 139–144.

Kuchynska, A. M. (2013). The scientific principles for the selection of vegetable raw material to increase the nutritional value of beer. *Bulletin of chernigiv state technological university*, (3), 264–273. (in Ukrainian)

Кучинська А. М. Наукові засади вибору рослинної сировини для підвищення харчової цінності пива. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2013. № 3. С. 264–273.

Lapytska, N. V. (2021). Technology of drinks, extracts and concentrates: education. manual. Chernihiv: NUCHK named after T. G. Shevchenko, 217 p. (in Ukrainian)

Лапицька Н. В. Технологія напоїв, екстрактів та концентратів: навч. посібник. Чернігів: НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2021. 217 с.

Lapytska, N. V. (2023). Methodical instructions for performing laboratory work from the course «Technology of fermentation productions» for students of specialty 181 Food technologies, 77 p. (in Ukrainian)

Лапицька Н. В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія бродильних виробництв» для студентів спеціальності 181 Харчові технології. Чернігів: НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2023. 77 с.

Lutsky, I. M., & Osypenkova, I. I. (2019). Improving the technology of non-alcoholic beverages using non-traditional raw materials. *Materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Integrative and Innovative Directions of Food Industry Development»*, 2, 18–20. (in Ukrainian)

Луцький І. М., Осипенкова І. І. Удосконалення технології безалкогольних напоїв з використанням нетрадиційної сировини. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрямки розвитку харчової індустрії»*. Т. 2. Черкаси. 2019. С. 18–20.

Mukoid, R. M., Orel, S. P., & Parkhomenko, A. M. (2021). Research of beer wort technology using unmalted raw materials. *World science: problems, prospects and innovations abstracts of V international scientific and practical conference*, 1, 824–834. (in Ukrainian)

Мукоїд Р. М., Орел С. П., Пархоменко А. М. Дослідження технології пивного суслу із використанням несолодженної сировини. *World science: problems, prospects and innovations abstracts of V international scientific and practical conference*. 2021. № 1. С. 824–834.

Nepochatykh, T., & Grebeniukova, Y. (2018). The new method of liquor production with the addition of stevia. *Bulletin of NTU «Khpі»*, 45(1321), 186–191. (in Ukrainian)

Непочатих Т. А., Гребенюкова Ю. О. Новий спосіб виробництва лікеру з додаванням стевії. Вісник НТУ «ХПІ». 2018. № 45(1321). С. 186–191.

Opstad, L., Idsø, J., & Valenta, R. (2022). The Dynamics of the Profitability and Growth of Restaurants; The Case of Norway. *Economies*, 10(53), 2–12.

Shydakova-Kamieniuka, E. G., Shklyaiiev, O.M., & Rogova, A. L. (2017). Analysis of the chemical composition of chia seeds as a promising raw material for confectionery products. *Progressive equipment and technology of food production, restaurant economy and trade: coll. of science pr. / KhDUHT*, 3, 80–91. (in Ukrainian)

Шидакова-Камениука О. Г., Шкляєв О. М., Рогова А. Л. Аналіз хімічного складу насіння чіа як перспективної сировини для кондитерських виробів. *Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі: зб. наук. пр. / ХДУХТ*. 2017. №3. С. 80–91.

Stetsenko, N. O., & Gladysheva, O. O. (2019). Improvement of the production method of kvass with antioxidant properties. *Scientific journal «ΛΟΓΟΣ. The art of scientific mind»*, 4, 140–142. (in Ukrainian)

Стеценко Н. О., Гладішева О. О. Удосконалення способу виробництва квасу з антиоксидантними властивостями. *Scientific journal «ΛΟΓΟΣ. The art of scientific mind»*. № 4. 2019. С. 140–142.

Tatar, L. V. (2019). Formation of beer quality with the addition of non-traditional plant raw materials: thesis ... candidate technical Sciences: 05.18.15 «Commodity science of food products», 2014 p. (in Ukrainian)

Татар Л. В. Формування якості пива з додаванням нетрадиційної рослинної сировини: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 «Товарознавство харчових продуктів» / ХДУХТ. Харків, 2019. 214 с.

Received: 11.11.2024. Accepted: 24.11.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Лапицька Н., Білобородько А. Розробка технології шотів з використанням продуктів сокового виробництва. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. С. 160-169.

Cite this article in APA style as:

Lapyska, N., & Biloborodko, A. (2024). Development of shot technology using by-products of juice production. *Biota. Human. Technology*, 3, 160-169.

Information about the authors:

Lapyska N. [*in Ukrainian: Лапицька Н.*] ¹, Ph.D. in Tech. Sc., Assoc. Prof., email: nadegda.lapitskaja@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2431-4373

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Biloborodko A. [*in Ukrainian: Білобородько А.*] ², Student, e-mail: beloborodkonasta22012005@gmail.com

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, statistical analysis, manuscript preparation.

² Statistical analysis, manuscript preparation.



CHEMICAL TECHNOLOGIES

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ



UDC 615.451.1:665.944.58

DOI: 10.58407/bht.3.24.10



Copyright (c) 2024 Yuliya Voronina-Tuzovskykh, Oleksandr Mikulenko, Olena Bondar, Iryna Kurmakova, Oleksij Pleshakov
Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Юлія Вороніна-Тузівських, Олександр Мікуленко,
Олена Бондар, Ірина Курмакова, Олексій Плешаков

ХІМІЧНИЙ СКЛАД МАЦЕРАТУ НА ОСНОВІ БУРШТИНУ: МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ



Yuliya Voronina-Tuzovskykh, Oleksandr Mikulenko,
Olena Bondar, Iryna Kurmakova, Oleksij Pleshakov

CHEMICAL COMPOSITION OF AMBER-BASED MACERATE: METHODS OF ANALYSIS AND RESULTS

АНОТАЦІЯ

Мета статті. Дослідити хімічний склад комплексу-мацерату на основі бурштин (TM IL SAV AMBER) методами якісного та кількісного аналізу. Провести елементний аналіз органічних і неорганічних компонентів зазначеного комплексу, а також визначити вміст бурштинової кислоти та вітамінів з метою оцінки перспективності використання в якості сировини для косметичного та фармацевтичного виробництва.

Методологія. Вміст карбону, гідрогену, нітрогену, сульфору, оксигену в органічній частині комплексу-мацерату визначали загальноприйнятими методами кількісного аналізу (гравіметрія, титриметрія, метод К'ельдаля, метод Ешка). Масову частку золи – за втратою маси при згоранні в атмосфері повітря органічних компонентів за температури 550 °С. Елементний склад неорганічної частини досліджували рентгенофлюорисцентним методом на аналізаторі EXPERT 3L; вітаміни та бурштинову кислоту – за допомогою рідинного хроматографа Hewlett-Packard HP 1100. Кислотне число та пероксидне число комплексу-мацерату визначали титриметричним методом (титрант розчин натрій гідроксиду та розчин тіосульфату відповідно); йодне – методом рефрактометрії; масову частку вологи - методом висушування до постійної маси (арбітражний метод). Проведено порівняння одержаних загальних показників з відповідними показниками жирних харчових олій.

Наукова новизна. Визначення складу (елементний та композиційний) комплексу-мацерату на основі бурштин та оцінки перспективності його використання в якості сировини для одержання нових фармацевтичних та косметичних препаратів.

Висновки. Результати якісного та кількісного аналізу визначення основного складу комплексу мацерату на основі бурштин узгоджуються з літературними даними щодо складу бурштин; наявність таких вітамінів як А, Е, К, F, PP, D та групи вітамінів В і елементний склад вказують на перспективність використання комплексу в косметичній та фармацевтичній галузі.

Ключові слова: комплекс-мацерат на основі бурштин, хімічний склад, бурштинова кислота, вітаміни А, Е, К, косметичне виробництво, фармацевтична сировина

ABSTRACT

Purpose of the work. To investigate the chemical composition of the amber-based complex-macerate (TM IL SAV AMBER) by qualitative and quantitative analysis. To carry out elemental analysis of organic and inorganic components, as well as the content of succinic acid and vitamins in order to identify the potential as a raw material for cosmetic and pharmaceutical production.

Methodology. The content of carbon, hydrogen, nitrogen, sulphur and oxygen in the organic part of the macerate complex was determined by conventional methods of quantitative analysis. The mass fraction of ash was determined by the mass loss during combustion of organic components in the air atmosphere at a temperature of 550°C. The elemental composition of the inorganic part was determined by the X-ray fluorescence method using an EXPERT 3L analyzer; vitamins and succinic acid were determined using a liquid chromatograph Hewlett-Packard HP 1100. The acid number and peroxide number of the complex-macerate was determined by the titrimetric method (titrant sodium hydroxide solution and thiosulfate solution, respectively); iodine number – by refractometry; mass fraction of moisture – by drying to constant weight (arbitration method). The obtained general indicators were compared with the corresponding indicators of fatty edible oils.

Scientific novelty. The composition (elemental and composition) of the amber-based complex-macerate is determined and the prospects of its use as a raw material for the production of new pharmaceutical and cosmetic preparations are presented.

Conclusions. The results of qualitative and quantitative analysis of the determination of the basic composition of the amber-based macerate complex are consistent with the literature data on the composition of amber; the presence of such vitamins as A, E, K, F, PP, D and vitamins of B complex group and elemental composition indicate the prospects of using the complex in the cosmetic and pharmaceutical industries.

Key words: complex-macerate based on amber, chemical composition, succinic acid, vitamins A, E, K, cosmetic production, pharmaceutical raw materials

Постановка проблеми

Актуальність роботи. Макро-, мікро-елементи та вітаміни, виконують безліч найважливіших функцій в організмі людини. При цьому безпосередньо в ньому синтезуються лише кілька вітамінів, в тому числі D, A (ретинол з бета-каротину), K, B3 і B5, а мінерали не синтезуються взагалі (Pohorelov et al., 2017). Основна частина корисних речовин має надходити з їжею, а за потреби – з аптечними вітамінно-мінеральними комплексами (ВМК). Без достатньої кількості вітамінів і мінералів людський організм повноцінно функціонувати не може (Bedzai, 2019). Вітаміни беруть участь переважно в обміні речовин, мінерали – у всіх біохімічних процесах організму людини. Це необхідна складова всіх органів і тканин, без них неможливе правильне згортання крові, м'язові скорочення, повноцінне перетравлення їжі, нормальний серцевий ритм, загоєння ран, високий життєвий тонус, гарне загальне самопочуття, нейронна провідність, нормальний кислотно-лужний баланс та ін. (Gorobets, 2019). Мінерали входять в склад будови багатьох ферментів і гормонів, що регулюють клітинну активність. Крім макро- і мікроелементів в людському організмі присутні також ультрамікроелементи: хром, ванадій, барій, літій, срібло та ін (Pohorielov et al., 2010). Нормальна концентрація ультрамікроелементів нижче 0,0001 %, але їх наявність дуже важлива (Bedzai, 2019).

У зв'язку з цим існує потреба розробки нових різноманітних препаратів для косметичної та фармацевтичної галузі, і насамперед пошуку і комплексного дослідження якісної природної сировини багатой макро-, мікро-, ультрамікроелементами та вітамінами. В цьому плані актуальним є дослідження бурштину, як багатоконпонентної природної суміші біологічно-активних речовин (Mironov et al., 2017).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основним напрямом використання бурштину (викопна скам'яніла смола) є ювелірно-виробна галузь, при цьому середні, дрібні фракції бурштину та відходи від виробного та пресованого бурштину є цінною сировиною хімічної, фармацевтичної та парфумерної галузей (Kovalevich, 2007). Тому бурштин, як багатоконпонентна сировина, привертає увагу багатьох авторів і досліджується різноманітними методами, зокрема: раманівська спектроскопія, ІЧ-спектроскопія, тонкошарова хроматографія, мас-спектрометрія, диференціальний термічний аналіз (Byelichenko & Gayevskij, 2012). Аналіз пасти-абразиву одержаного з бурштину наведено в праці Voronina-Tuzovskiykh et al. (2023).

Запропоновано ряд методик визначення вмісту бурштинової кислоти, зокрема методом прямого титрування натрій гідроксидом (Chornui et al, 2020). Для бурштинової кислоти встановлено ряд важливих біологічних активностей: виявляє значний гальмуючий вплив на посилення процесів перекісного окислення ліпідів, знижуючи рівень ТБК-активних продуктів та підвищуючи рівень відновленого глутатіона у сироватці крові, печінці, матці та плаценти щурів за умов тетрахлорметанової плацентарної недостатності (Kudina & Asadullayeva, 2019). Авторами (Lisenko & Palchevska, 2020) та (Palchevska et al., 2020) запропоновані лікарські засоби на основі бурштинової кислоти та етилметилгідроксипіридину сукцинат. В роботі Stepanova et al. (2011) показано застосування бурштинової кислоти у педіатрії для корекції порушень функціонування піруватдегідроденазної активності мітохондрій у дітей.

Комплекси-мацерати, одержані на основі олії та бурштинової пудри абразиву, можуть бути перспективною сировиною для фармацевтичної промисловості. Але їх вико-

ристання передбачає детальне вивчення складу та визначення елементного складу, вмісту буршинової кислоти, вітамінів, мікрота макроелементів.

Метою роботи було проведення якісного та кількісного аналізу для визначення хімічного складу комплексу-мацерату на основі бурштину (TM IL SAV AMBER), як перспективної сировини косметичного та фармацевтичного виробництва.

Методологія

Досліджували зразки комплексу-мацерату на основі бурштину TM IL SAV AMBER.

1. Визначення загальних фізико-хімічних показників.

Визначення масової частки вологи проводили методом висушування наважки до постійної маси (арбітражний метод) при температурі 100-105 °С.

Масову частку золи визначали за втратою маси при згоранні в атмосфері повітря органічних компонентів за температури 550 °С (1 година), відповідно до методики EN 15403 «Solid recovered fuels – Determination of ash content», та додаткового прожарювання золи при температурі 815 °С (2 години) відповідно до – ISO 1171 «Solid mineral fuels – Determination of ash».

Показник заломлення вимірювали рефрактометром RND-025ATC, густину – ареометром.

Для визначення кислотного числа в конічну колбу на 200 см³ поміщали наважку 3-5 г досліджуваного комплексу, додавали 50 см³ нейтралізованої суміші етанолу й етилового ефіру (1:2) і перемішували. Титрували пробу 0,1М спиртовим розчином натрій гідроксиду за присутності 1 % спиртового розчину фенолфталеїну. Кислотне число (мг/г комплексу) розраховували за формулою (1):

$$K.ч. = \frac{5,61 \cdot K \cdot V}{m}, \quad (1)$$

де 5,61 – кількість NaOH, що міститься в 1 см³ 0,1М розчину;

K – поправочний коефіцієнт;

V – об'єм 0,1М NaOH, що використаний на нейтралізацію вільних жирних кислот у наважці, см³;

m – маса наважки комплексу-мацерату, г.

Йодне число комплексу-мацерату визначали методом рефрактометрії. (рефрактометр ИРФ-454Б2М; температура 20 ± 0,2 °С). Значення йодного числа (в г/100 г) обчислювали за формулою (2):

$$Й.ч. = \frac{(n_D^{20} - 1,4595) \cdot 100}{0,0118} \quad (2)$$

Пероксидне число визначали титруванням тіосульфатом вільного йоду, що виділявся при окисненні калій йодиду пероксидними групами, що містяться в 1 г комплексу-мацерату.

2. Встановлення складу органічної частини. Вміст карбону, гідрогену, нітрогену, сульфуру, кисню у зразках визначали загальноприйнятими методами кількісного аналізу (Seheda, 2003). Масову частку карбону та гідрогену визначали за результатами гравіметричного аналізу. Для цього здійснювали повне спалювання наважки у швидкому потоці кисню (180-200 см³/хв) за присутності твердого окисника та за умови просування човника з наважкою у зоні нагріву назустріч току кисню.

Масову частку нітрогену визначали напівмікрометодом К'ельдаля. Для цього пробу певної маси нагрівали з концентрованою сульфатною кислотою за присутності змішаного каталізатора для перетворення нітрогену в амонійну форму. Одержаний розчин підлужували, та відганяли з паром аміак, який поглинали борною кислотою. Розрахунок проводили за кількістю поглинутого NH₃, після титрування сульфатною кислотою.

Масову частку сульфуру визначали за методом Ешка: аналітичну пробу разом з сумішшю Ешка спалювали в окислювальному середовищі для видалення горючої маси і перетворення сульфуру в сульфат; сульфати екстрагували розчином хлоридної кислоти. Пробу для порівняння екстрагували водою, і визначали гравіметричним способом після осадження хлоридом барію.

Визначення масової частки кисню проводили методом термічного розкладання наважки в потоці інертного газу. При цьому кисень кількісно виділявся у вигляді води та оксигеновмісних сполук, які відновлялися над розжареною гранульованою сажею при температурі 1100-1170 °С до СО і Н₂. Карбон(II) оксид кількісно окиснювали до вуглекислого газу, і визначали граві-

метрично. Паралельно проводили титриметричне визначення для відтворюваності результатів, оскільки при піролізі кисисген мінеральних речовин також виділяється у вигляді карбон(IV) оксиду і води.

3. *Елементний склад неорганічної частини* комплексу-мацерату визначали рентгенофлюорисцентним методом на аналізаторі EXPERT 3L. Для одержання розчинної фракції застосовували систему розчинників: вода, етиловий спирт та диметилформамід. Екстрагували 3 години при температурі (70 – 100 °С): спирт (65 – 70 °С), вода, ДМФА (100 °С).

4. *Визначення вмісту специфічних сполук.* Бурштинову кислоту та вітаміни кількісно визначали за допомогою рідинного хроматографа (Hewlett-Packard HP 1100) із флуоресцентним та діодно-матричним детекторами (обернено-фазова колонка Nupersil MOS діаметром 2,1 мм, довжина 200 мм). Умови хроматографування: мобільна фаза ацетонітрил: вода (70:80), швидкість потоку 0,4 мл/хв, температура – 40 °С. Детектор флуоресцентний, довжина хвилі збудження 295 нм, поглинання 330 нм. Градувальні розчини вітамінів готували із вихідного розчину в метанолі і аналізували за тих

самих умов, що й зразки. Стандарти вітамінів – чисті речовини виробництва фірми Supelco; реактиви виробництва фірм Aldrich та Fluka. Кількісне визначення проводили за площею піків.

Статистичну обробку всіх результатів (3–6 вимірювань) проводили з використанням програми Microsoft Excel. Розраховували середнє арифметичне та стандартне квадратичне відхилення.

Результати дослідження

Загальні показники комплексу-мацерату наведені у табл. 1. Їх значення відповідають стандартним межам показників жирних харчових олій, зокрема гранична допустима норма кислотного числа в мг/г для кукурудзяної нерафінованої олії становить 5, для нерафінованої соняшникової олії I сорту – 2,25 (ДСТУ EN ISO 660:2009; ДСТУ 4570:2006). Йодне число та пероксидне число мають значення практично на рівні верхній межі для соняшникової олії – 145 г/100 г та 4,8 ммоль/кг відповідно. Це відкриває можливість застосування дослідженого комплексу-мацерату не лише для розробки препаратів зовнішнього, а й для внутрішнього застосування.

Таблиця 1

Загальні показники комплексу-мацерату на основі бурштину

Показник	Одиниці вимірювання	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Середнє значення
Волога	%	0,81	0,83	0,82	0,82±0,01
Леткі речовини	%	0,71	0,73	0,69	0,71±0,02
Густина	г/см ³	1,07	1,09	1,08	1,08±0,01
Зола	%	0,72	0,76	0,74	0,74±0,02
Показник заломлення	–	1,508	1,528	1,512	1,516±0,01
Кислотне число	мг/г	2,91	2,83	2,84	2,86±0,04
Пероксидне число	ммоль/кг	5,32	5,28	5,30	5,30±0,02
Йодне число	г/100г	158	156	157	157±1
Неомильні речовини	%	2,68	2,71	2,41	2,60±0,17

Результати дослідження елементного складу органічної частини комплексу-мацерату представлені у табл. 2. Одержані дані відповідають складу бурштину, який згідно (Voronina et al., 2000) містить біля 80 % карбону, 10 % гідрогену, 8 % кисисгену, незначну кількість нітрогену, сульфур та золи. Слід зазначити, що визначення

елементного складу важливо для розрахунку складу препаратів, які можуть бути створені з використанням даної сировини, та для контролю її якості.

Наступним етапом дослідження було визначення вмісту вітамінів у складі комплексу-мацерату (табл. 3).

Таблиця 2

Елементний склад органічної частини комплексу-мацерату

Проба	Кількість елементів у зразку із врахуванням золи, мас. %				
	С	N	H	S	O
№ 1	80,2	0,38	9,8	2,02	8,6
№ 2	81,9	0,43	10,0	1,92	8,9
№ 3	80,1	0,41	10,3	1,90	8,8
№ 4	80,6	0,39	10,0	1,87	8,7
№ 5	82,0	0,41	9,9	2,03	8,9
№ 6	80,6	0,43	10,0	1,90	8,9
Середнє значення	80,9±0,84	0,41±0,02	10,0±0,17	1,94±0,07	8,8±0,13

Таблиця 3

Вміст вітамінів в складі комплексу-мацерату на основі бурштину

Вітамін	Кількість вітамінів (мг/100г) у відповідній пробі						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Середнє значення
B2	0,83	0,82	0,79	0,83	0,81	0,84	0,82±0,02
B4	0,08	0,10	0,10	0,11	0,09	0,12	0,10±0,01
B6	0,18	0,20	0,22	0,20	0,20	0,22	0,20±0,02
E	54,46	55,01	55,12	55,08	55,42	55,51	55,10±0,37
K	1,87	1,85	1,80	1,86	1,83	1,82	1,84±0,03
F	0,11	0,09	0,09	0,10	0,11	0,10	0,10±0,01
PP	2,29	2,35	2,38	2,41	2,40	2,27	2,35±0,06
D	1,01	1,03	1,02	1,01	1,04	1,01	1,02±0,01
A	7,64	7,67	7,66	7,65	7,63	7,65	7,65±0,01

Встановлено, що серед наявних найбільша кількість вітаміну Е (токоферол), який є жиророзчинним вітаміном, що виявляє антиоксидантну і радіопротекторну дію, бере участь у біосинтезі гема і білків, проліферації клітин та інших найважливіших процесах клітинного метаболізму (Voronina et al., 2000). На другому місці за кількістю – вітамін А, який має загальнозміцнювальну дію, нормалізує тканинний обмін; на третьому – вітамін РР (нікотинова кислота), який є водорозчинним та необхідний для багатьох реакцій окиснення у живих клітинах. Інших вітамінів міститься від 0,1 до 1,84 мг/100 г. Слід зазначити, що визначені значення кількості вітамінів відповідають стандартним мемам показників жирних харчових олій. Це дає можливість планування подальших розробок та дослід-

жень засобів при застосуванні в косметології та лікуванні різних патологічних станів, а також імовірність застосування комплексу-мацерату в лікувальному харчуванні.

Результати визначення вмісту бурштинової кислоти представлені у табл. 4. Кількісний показник 1,33 % дещо менше за вміст зазначеної кислоти у бурштині – 6-8 % (Bielichenko & Haievskiy, 2012). При цьому він достатній для використання комплексу-мацерату для створення препаратів для вирішення проблеми дефіциту бурштинової кислоти в організмі, роль якої забезпечувати клітини киснем, підвищувати працездатність, зміцнювати імунітет (Krugonosova & Ziuzia, 2017). Препарати з бурштиновою кислотою мають детоксикаційну дію, показані при фізичних та розумових навантаженнях.

Таблиця 4

Вміст бурштинової кислоти у складі комплексу-мацерату

Проба	Кількість бурштинової кислоти у відповідній пробі						Середнє значення
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	
%	1,31	1,33	1,35	1,34	1,33	1,32	1,33±0,01

Елементний склад неорганічної частини комплексу-мацерату наведено у табл. 5. Він вказує на те, що досліджений комплекс є джерелом макро-, мікро- та ультрамікроелементів. Особливо важливим (Pohorelov et al., 2017) є наявність цинку

(нормалізація роботи гормонів), феруму (стимуляція функції кровотворних органів), кальцію (активність нервової системи та ін.), йоду (функціонування щитоподібної залози).

Таблиця 5

Елементний склад неорганічної частини комплексу-мацерату

Елемент	Кількість елементів (мг/100г) у відповідній пробі						Середнє значення
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	
Al	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03±0,01
Ca	1,05	1,07	1,04	1,04	1,09	1,07	1,06±0,02
Fe	0,97	1,00	0,95	0,98	0,96	0,98	0,97±0,02
Si	0,22	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20	0,21±0,01
Cu	$9 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,13 \cdot 10^{-4} \pm 2,3 \cdot 10^{-5}$
K	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08±0,01
I	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	$0,002 \pm 8,9 \cdot 10^{-4}$
P	0,11	0,09	0,07	0,10	0,08	0,09	0,09±0,01
Zn	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004	$0,003 \pm 8,9 \cdot 10^{-4}$
Mn	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4} \pm 8,9 \cdot 10^{-6}$
Ti	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4} \pm 6,3 \cdot 10^{-5}$

Висновки

Результати якісного та кількісного аналізу визначення основного складу комплексу-мацерату на основі бурштину підтверджують наявність у комплексі бурштинової кислоти (1,33 % за масою), вітамінів А, Е, К, F, PP, D та групи вітамінів В

та мікроелементів (Ca, Mg, K, Fe). Елементний склад свідчить про перспективність використання комплексу у виробництві косметичних та фармацевтичних продуктів за умови додаткових хімічних, біохімічних, доклінічних, клінічних, технологічних та економічних досліджень.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

- Bedzai, A. O. (2019). Chemical elements in the human body, their significance and effect on biological processes (literature review). *Bukovyna Medical Herald*, 23, 4(92), 179-184. (in Ukrainian).
Бедзай А. О. Хімічні елементи в організмі людини, їх значення та вплив на біологічні процеси (огляд літератури). *Буковинський медичний вісник*. 2019. Т.23, №4(92). С. 179-184.
- Bielichenko, O. P., & Haievskiy, Yu. D. (2012). Study of amber by infrared spectroscopy. *Research and Development*, (4), 12-16. (in Ukrainian).
Беліченко О. П., Гаєвський Ю. Д. Дослідження бурштину методом інфрачервоної спектроскопії. *Research and Development*. 2012. №4. С.12-16.
- Chornyi, V. M., Mysiura, T. H., Popova, N. V., & Zav'ialov, V. L. (2020). Method for the quantitative determination of succinic acid in amber extracts. *Scientific Works of NUFT* 26(4), 218-226. (in Ukrainian).
Чорний В. М., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Зав'ялов В. Л. Спосіб кількісного визначення бурштинової кислоти в екстрактах бурштину. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т.26, № 4. С. 218-226.
- Gorobets, A. O. (2019). Vitamins and microelements as specific regulators of physiological and metabolic processes in the body of children and adolescents. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics*, 4(80), 75-92. <https://doi.org/10.15574/PP.2019.80.75> (in Ukrainian).
Горобець А. О. Вітаміни і мікроелементи як специфічні регулятори фізіологічних та метаболічних процесів в організмі дітей та підлітків. *Український журнал Перинатологія і Педіатрія*. 2019. №4. С. 75-92.
- Kovalevych, L. A. (2007). Theoretical generalization of signs and criteria for the search and evaluation of amber deposits on the territory of Ukraine. *Visnyk ZhDTU*, 2(41), 1-6. (in Ukrainian).
Ковалевич Л. А. Теоретичні узагальнення ознак і критеріїв пошуку та оцінка родовищ бурштину на території України. *Вісник ЖДТУ*. 2007. № 2(41). С.1-6.
- Kryvonosova, O. V., & Ziuzia, L. O. (2017). Succinic acid and its derivatives, methods of production, use in pharmacy. *Scientific developments of youth at the modern stage: Abstracts of Papers of XVI All-Ukrainian 88 Scientific and Practical Conference of young scientists and students April 27-28th, 2017*, Kyiv. Kyiv National University of Technologies and Design (in Ukrainian).
Кривоносова О. В., Зюзя Л. О. Бурштинова кислота та її похідні, способи отримання, застосування у фармації. Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). Київ: КНУТД, 2017. Т.1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 554-555.

Kudina, O. V., & Asadullaieva, N. Ya. (2019). Preclinical study of succinic acid on the model of placental dysfunction in rats. *Innovations in medicine: Abstracts of Papers 88 Scientific and Practical Conference of students and young scientists with international participation*. March 28-30th, 2019, Ivano-Frankivsk. (in Ukrainian).

Кудіна О. В., Асадуллаєва Н. Я. Доклінічне дослідження бурштинової кислоти на моделі плацентарної дисфункції у щурів. Іновації в медицині: тези доп. 88-ї науково-практичної конференції студентів та молодих вчених із міжнародною участю (28-30 березня 2019 р., м. Івано-Франківськ). Івано-Франківськ, 2019. С. 94-95.

Lysenko, Yu. S., & Palchevska, T. A. (2020). Drugs based on ethylmethylhydroxypyridine succinate. *Scientific achievements of modern society: Abstracts of the 9th International scientific and practical conference*. April, 28-30, 2020. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. (in Ukrainian).

Лисенко Ю. С., Пальчевська Т. А. Лікарські засоби на основі етилметилгідроксипіридину сукцинат / *Scientific achievements of modern society: Abstracts of the 9th International scientific and practical conference* (2020). Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2020. С. 683-688.

Mironov, O. L., Kachalova, N. M., Dziuba, O. I., & Bohza, S. L. (2017). The complex of biologically active compounds of amber: method of obtaining, properties and application. *Modern aspects of human health protection*. (in Ukrainian).

Комплекс біологічно-активних сполук бурштину: спосіб отримання, властивості та застосування / О.Л. Міронов та ін. Сучасні аспекти збереження здоров'я людини: збірник праць X Міжнарод. міждисцип. наук.прак. конф. Ужгород, 2017. С. 247-251.

Palchevska, T. A., Lysenko, Yu. S., Hula, L. D., & Razhyk, A. V. (2020). Application of succinic acid and sodium succinate in pharmacy. *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference*. April 12-14, 2020. (in Ukrainian).

Пальчевська Т. А., Лисенко Ю. С., Гула Л. Д., Ражик А. В. Застосування бурштинової кислоти та натрію сукцинату у фармації. *Science, society, education: topical issues and development prospects: Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. SPC «Sci-conf.com.ua»*, Kharkiv, Ukraine. 2020. С. 683-687

Pohorielov, M. V., Bumeister, V. I., Tkach, H. F., Bonchev, S. D., Sikora, V. Z., Sukhodub, L. F., & Danylchenko, S. M. (2010). Macro- and microelements (exchange, pathology and methods of determination): monograph. Sumy. (in Ukrainian).

Макро- та мікроелементи (обмін, патологія та методи визначення): монографія / М.В. Погорелов, В.І. Бумейстер, Г.Ф. Ткач, та ін. Суми: Вид-во СумДУ, 2010. 147 с.

Seheda, A. S. (2003). Analytical chemistry. Qualitative and quantitative analysis: Education. manual. Kyiv. (in Ukrainian).

Сегада А.С. Аналітична хімія. Якісний і кількісний аналіз : Навч. посібник. Київ: Центр учб. л-ри, 2003. 312 с.

Voronina, L. M., Desenko, V. F., Madiievska, N. M., Kravchenko, V. M., Sakharova, T. S., Savchenko, L. H., & Shono, N. A (2000). Biological chemistry. Kharkiv. (in Ukrainian).

Біологічна хімія / Вороніна Л. М., Десенко В. Ф., Мадієвська Н. М. та ін. Харків: Основа: Видавництво НФАУ, 2000. 608 с.

Voronina-Tuzovskykh, Yu. V., Tkachenko, S. V., Kurmakova, I. M., Yanchenko, V. O., Usov, A. M., Savosta, I. O., & Plieshakov, O. A. (2023). Elemental composition of amber abrasive powder and perspective its use as a raw material pharmaceutical industry. *Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*. November 19-20, 2023. Orléans, France (in Ukrainian).

Елементний склад бурштинової пудри-абразиву та перспективність її використання як сировини фармацевтичної промисловості / Ю.В. Вороніна-Тузовських, С.В. Ткаченко, І.М. Курмакова та ін. / *Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*. November 19-20, 2023. Orléans, France. С. 461-469.

Received: 06.11.2024. Accepted: 29.11.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Вороніна-Туззовських Ю., Мікуленко О., Бондар О., Курмакова І., Плешаков О. Хімічний склад мацерату на основі бурштину: методи аналізу та результати. *Biota. Human. Technology.* 2024. №3. С. 171-179.

Cite this article in APA style as:

Voronina-Tuzovskyykh, Yu., Mikulenko, O., Bondar, O., Kurmakova, I., & Pleshakov, O. (2024). Chemical composition of amber-based macerate: methods of analysis and results. *Biota. Human. Technology*, 3, 171-179.

Information about the authors:

Voronina-Tuzovskyykh Yu. [*in Ukrainian: Вороніна-Туззовських Ю.*] ¹, Ph.D. in Pharm. Sc., Assoc. Prof., email: yulianavt1984@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6673-2154,

Scopus-Author ID: 56384500500

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mikulenko O. [*in Ukrainian: Микуленко О.*] ², Master's Degree Candidate, email: teriop999@gmail.com

ORCID: 0009-0006-2888-2481

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Bondar O. [*in Ukrainian: Бондар О.*] ³, Ph.D. in Tech. Sc., Assoc. Prof., email: bondar4elena@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9612-0546 Scopus-Author ID: 54583088800

ResearcherID: AAH-6361-2019

Department of Physics and Astronomy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Kurmakova I. [*in Ukrainian: Курмакова І.*] ⁴, Sc.D. in Tech. Sc., Prof., email: i.kurmakova@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8916-6546 Scopus-Author ID: 6603630402

ResearcherID: H-2041-2019

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Pleshakov O. [*in Ukrainian: Плешаков О.*] ⁵, owner LLC IL SAV AMBER, email: yura@oligroup.ua

ORCID: 0009-0001-5800-1538

LIMITED LIABILITY COMPANY IL SAV AMBER (LLC IL SAV AMBER)
5 Borodtna Ingenera Street, Kyiv, 02092, Ukraine

¹ Study design, data collection statistical analysis.

² Statistical analysis.

³ Statistical analysis, manuscript preparation.

⁴ Study design, manuscript preparation.

⁵ Data collection.



INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ



INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The article is presented in the original language (Ukrainian, Polish, English). The deadline for submitting articles is determined by the person responsible for the issue.

The article must necessarily contain the following elements: statement of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks; analysis of the main researches and publications on the raised problem; formulation of the purpose of the article; coverage of the theoretical-methodological and/or experimental research procedure with an indication of research methods; presentation of the main research material with justification of the obtained scientific results; research conclusions and prospects for further scientific research.

The text of the article must be carefully checked and edited by the author. An article that is not designed according to the requirements, with semantic, grammatical or stylistic errors, will not be accepted for publication.

WARNING! It is not allowed to use data that was presented in protected dissertation studies, as well as previously published articles.

The approximate length of the article is 10–16 pages of A4 format.

Technical requirements for the preparation of the manuscript of the article:

The manuscript should be submitted in *.doc or *.rtf (MSWord) format: font – Times New Roman, keel – 14, line spacing – 1.5 intervals of the computer standard. Margins: top and bottom – 2 cm, right – 1.5 cm, left – 3 cm. Paragraph – 1.0 cm. Pages are not numbered, text is typed without hyphens.

Structure of the article:

1. UDC index, with a paragraph indent, in the upper left corner of the first page.
2. The next line is the name and surname of the author(s) in English.
3. The next line is the title of the article in English, Ukrainian and Polish (if the article is written in Polish) or in English and Ukrainian (if the article is written in Ukrainian), in capital letters, without paragraph indent, centered. The title should be short (no more than 8 words) and reflect the content of the article.
4. The next line is the abstract in English, Polish (if the article is written in Polish) and Ukrainian (with the word «**ABSTRACT**» in the appropriate language, in the center; the text of the abstract is paragraph indented, aligned with the width of the text, single line spacing). The length is **at least 1,800 characters with spaces**. The abstract should contain the following structural elements highlighted in bold text: **purpose of the work, methodology, scientific novelty, conclusions**.
5. The next line is keywords (the phrase «Key words» in bold, paragraph indented, aligned to the width of the text, single line spacing). No more than five keywords.
6. Through the line – the main text of the article according to the structural elements: **statement of the problem, research results, conclusions**.
7. The text of the article should include references to all references.
References are given in round brackets with the name(s) of the author(s) in chronological order, for example:
one author – Lukash, 2019;
two authors – Tkachuk & Zelena, 2020;
three authors and more – Kurmakova et al., 2021.
Publications without authors are cited in accordance with [APA style](#).

8. Tables, diagrams, figures, diagrams must be author's, not copied from other publications and numbered. They are placed without a paragraph in the center of the page directly after a link to them in the text of the article or on the next page. The word «Table» and its number are written on top aligned to the right, and the name of the table is aligned in the center on the line below. Illustrations (figures, block diagrams, graphs) must be made in one of the graphic editors. Figures can be submitted in color. Flow charts and figures (must be grouped) are additionally provided as separate files in electronic form. Illustrations are signed from the bottom aligned with the center.
9. Formulas and letter designations of quantities are typed in the MathType-Equation editor and presented in text or a separate line without paragraph indent, aligned with the center, numbered with Arabic numerals in round brackets on the right side of the page.
10. After the main text of the article, a list of references is provided. It should contain only those sources to which reference is made in the text. The word «References» is written aligned. References are presented in alphabetical order using the Latin alphabet. References that are originally written in languages using the Latin script are presented in the original language, formatted according to [APA style](#) indicating the language of publication in round brackets. References, which are written in the original language with Cyrillic writing, are presented in two paragraphs as follows: first, the translation into English (not transliteration!), formatted according to [APA style](#), and in the second paragraph – in the original language according to [DSTU 8302:2015. Bibliographic reference. General provisions and rules of compilation](#).

For example:

Tkachuk, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses «Microbiology and virology with the basics of immunology» and «Genetics». *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н.В., Зелена Л.Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С.141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

11. The following signs are used in the text of the article: quotation marks (« »), apostrophe ('), a dash (-) instead of a hyphen (-). A colon (:) is placed without a space.
12. Words, phrases and sentences in the Latin language in the article are highlighted in italics, regardless of the language of the article.

Examples:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... are important *in vivo* biomarkers for biomonitoring...

Taxa (all) and syntaxa of vegetation are given only in Latin and highlighted in italics. The author(s) of the taxon or syntaxon should be indicated in normal font at the first mention in each structural part of the article (title, abstracts and keywords in any language, the actual text (body) of the article), as well as captions to tables and figures.

If species belonging to one genus are mentioned in the article, and between these mentions there are no mentions of species of other genera, then after the first writing of the full species name, the name of the species should be given further in the text, shortening the name of the genus to the first letter with a dot. This rule applies within any structural part of the article, as well as captions to tables and figures.

An example of writing the Latin names of taxa and syn taxa in one article:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATHIA

ПІД *PLATANUS* L. НА ЗАКАРПАТТІ

ABSTRACT

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.

... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...

... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Quercu-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

АНОТАЦІЯ

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.

... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...

... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угрупування ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялиник асоціації *Quercu-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneata* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as «sycamore», ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

13. After References, information about each author is provided **in English**:

- First line – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[\[i\]](#), position, scientific degree and academic title (if available), e-mail.
- The next line is the mandatory ORCID of the author (the profile must be filled and open for public viewing).
- The next line is the author's ResearcherID (if available), the author's Scopus-AuthorID (if available).
- The next line is an indication of the organization in which the author works.
- The next line is a mandatory indication of the full address of the organization where the author works, indicating the index and country.

14. At the end of the page, the date it was sent to the editorial office of the magazine is indicated.

The article is accompanied by a list of 2-3 potential reviewers (PhD and/or Doctors of Sciences who carry out research in a specialty that corresponds to the topic of the material submitted for publication, and are authors (co-authors) of a total of at least three publications in scientific publications included in category «A» and/or category «B» of the List of scientific specialized publications of Ukraine, and /or in foreign publications indexed in the Web of Science Core Collection and/or Scopus databases for the relevant specialty, published within the last five years) with an indication of their place of work, scientific interests, ORCID and Google Scholar, e-mail.

Submission, publication and access to published articles are free.

The text of the article and additional materials should be sent by e-mail to the address lukash2011@ukr.net or [bht.journal.nuchc@gmail](mailto:bht.journal.nuchc@gmail.com) (indicate the author's last name in the letter).

EDITORS OF THE JOURNAL ARE NOT RESPONSIBLE FOR THE CONTENT OF THE ARTICLES AND MAY NOT SHARE THE OPINION OF THE AUTHOR!

[\[i\]](#)¹ Indicate the contribution of the corresponding (1 – first, 2 – second, etc.) author to the publication choosing from the list: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

Ⓞ КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ Ⓞ

Стаття подається мовою оригіналу (українською, польською, англійською). Терміни подачі статей визначається відповідальним за випуск.

Стаття обов'язково повинна містити такі елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; аналіз основних досліджень і публікацій з порушеної проблеми; формулювання мети статті; висвітлення процедури теоретико-методологічного та/або експериментального дослідження із зазначенням методів дослідження; виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з дослідження і перспективи подальших наукових розвідок.

Текст статті має бути ретельно перевірений і відредагований автором. Стаття, не оформлена згідно з вимогами, зі смисловими, граматичними чи стилістичними помилками, до друку не приймається.

УВАГА! Не допускається використання даних, які було представлено у захищених дисертаційних дослідженнях, а також опублікованих раніше статтях.

Орієнтовний обсяг статті – 10–16 сторінок формату А4.

Технічні вимоги до оформлення рукопису статті:

Рукопис подавати у форматі *.doc чи *.rtf (MSWord): шрифт – Times New Roman, кегель – 14, відстань між рядками – 1,5 інтервалу комп'ютерного стандарту. Поля: верхнє і нижнє – 2 см, праве – 1,5 см, ліве – 3 см. Абзац – 1,0 см. Сторінки не нумеруються, текст набирається без переносів.

Структура статті:

1. Індекс УДК, з абзацним відступом, у верхньому лівому куті першої сторінки.
2. Наступний рядок – ім'я та прізвище автора (авторів) англійською мовою.
3. Наступний рядок – назва статті англійською, українською та польською (якщо стаття написана польською мовою) або англійською та українською (якщо стаття написана українською мовою), великими буквами, без абзацного відступу, вирівняно центром. Назва має бути короткою (не більше 8 слів) і відображати зміст статті.
4. Наступний рядок – анотація англійською, польською (якщо стаття написана польською) та українською мовами (із зазначенням слова «**АНОТАЦІЯ**» відповідною мовою, по центру; текст анотації з абзацним відступом, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Обсяг – не менше **1800 символів з пробілами**. Анотація повинна містити виділені жирним текстом наступні структурні елементи: **мета роботи, методологія, наукова новизна, висновки**.
5. Наступний рядок – ключові слова (словосполучення «Ключові слова» напівжирним шрифтом, абзацний відступ, вирівняно шириною тексту, інтервал між рядками одинарний). Не більше п'яти ключових слів.
6. Через рядок – основний текст статті відповідно до структурних елементів: **постановка проблеми, результати дослідження, висновки**.
7. У тексті статті мають бути посилання на всі джерела у списку літератури. Посилання на літературні джерела подаються у круглих дужках з вказанням прізвищ(а) автора(ів) у хронологічному порядку, наприклад:
один автор – Lukash, 2019;
два автори – Tkachuk & Zelena, 2020;
три автори та більше – Kurmakova et al., 2021.
Посилання на видання без авторів здійснюється відповідно до правил [APA стилю](#).

8. Таблиці, схеми, рисунки, діаграми повинні бути авторськими, а не скопійованими з інших видань та пронумеровані. Розміщуються без абзацу в центрі сторінки безпосередньо після посилання на них у тексті статті або на наступній сторінці. Слово «Таблиця» та її номер пишуться зверху вирівняно справа, а рядком нижче вирівняно центром – назва таблиці. Ілюстрації (рисунки, блок-схеми, графіки) повинні бути виконані в одному з графічних редакторів. Рисунки можна подавати кольоровими. Блок-схеми та рисунки (повинні бути згруповані) додатково подаються окремими файлами в електронному вигляді. Ілюстрації підписуються знизу вирівняно центром.

9. Формули та буквені позначення величин набираються у редакторі MathType-Equation і подаються в тексті або окремому рядку без абзацного відступу вирівняно центром, нумеруються арабськими цифрами в круглих дужках з правого боку сторінки.

10. Після основного тексту статті подається список літератури. У ньому мають бути лише ті джерела, на які зроблено посилання у тексті. Слово «**References**» пишеться вирівняно. Список посилань на джерела інформації подається у алфавітній послідовності за латиницею. Джерела, які в оригіналі написані мовами, де використовується латинський шрифт, подаються мовою оригіналу, оформленому за [АРА стилем](#). Джерела, які написані у оригіналу мовою з кириличним написанням, подаються двома абзацами таким чином: спочатку переклад англійською мовою (не транслітерація!), оформлений за [АРА стилем](#) із зазначенням мови видання у круглих дужках, а у другому абзаці – мовою оригіналу за [ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання](#)

Наприклад:

Ткачук, N. V., & Zelena, L. B. (2022). Biosafety in the formation of professional competences of bachelors from the courses «Microbiology and virology with the basics of immunology» and «Genetics». *Environmental sciences*, 2(41), 41-145. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24> (in Ukrainian)

Ткачук Н. В., Зелена Л. Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика». *Екологічні науки*. 2022. №2(41). С. 141-145. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.24>

11. У тексті статті вживаються такі знаки: лапки – (« »), апостроф – (’), через пробіл тире (–), а не дефіс (-). Двокрапка (;) ставиться без пробілу.

12. Слова, словосполучення та речення латинською мовою у статті виділяють курсивом, незалежно від мови написання статті.

Приклади:

... the plant extract was carried out *in vitro* by the Kirby-Bauer disc...

... є важливими біомаркерами *in vivo* для біомоніторингу...

Таксони (усі) та синтаксони рослинності наводять лише латинською мовою і виділяють курсивом. Звичайним шрифтом слід наводити автора(-ів) таксону чи синтаксону за першого згадування у кожній структурній частині статті (назві, анотаціях та ключових словах будь-якою мовою, власне тексті (тілі) статті), а також підписах до таблиць та рисунків.

Якщо у статті згадуються види, які належать до одного роду, і між цими згадуваннями немає згадувань видів інших родів, то після першого написання повної видової назви далі у тексті назву виду слід подавати, скорочуючи назву роду до першої літери з крапкою. Це правило застосовується у межах будь-якої структурної частини статті, а також підписів до таблиць та рисунків.

Приклад написання латинських назв таксонів і син таксонів у одній статті:

PLATANUS L. GENUS IN TRANSCARPATHIA
 ПІД PLATANUS L. НА ЗАКАРПАТТІ

ABSTRACT

... the coexistence of other *Platanus* L. species... *Picea abies* (L.) Karst.

... the study of the genus *Platanus* in the ... as *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. is a...

... the genus *Platanus* in Transcarpathia will.... *Picea abies*...

The spruce forest communities of the Dnieper part of Eastern Polesie belong to the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 and *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 associations of the *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 alliance of the *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 order of the *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 class.

The natural spruce forest of the *Quercu-Piceetum* association...

Key words: introduced plants, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L., Transcarpathia

АНОТАЦІЯ

... міжвидових гібридів роду *Platanus* L. ...is *Picea abies* (L.) Karst.

... гібриди роду *Platanus* ... *Picea abies*...

... належить до виду *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. і має статусу...

Угруповання ялинових лісів придніпровської частини Східного Полісся належать до асоціацій *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 та *Quercu-Piceetum* (Matuszkiewicz 1952) Matuszkiewicz et Polakowska 1955 з союзу *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928 порядку *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928 класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939.

Природний ялиник асоціації *Quercu-Piceetum*...

Ключові слова: Закарпаття, рослини-інтродуценти, *Picea abies* (L.) Karst., *Platanus* L.

Formulation of the problem

In ... two primary progenitors: *Platanus orientalis* L. and *P. occidentalis* L. Additionally, there are several natural hybrid species, including the *P. acerifolia* (Aiton) Willd., *P. cuneata* Willd., *P. digitata* Gord., *P. hispanica* Münchh. and others.

Results and discussion

P. occidentalis also known simply as «sycamore», ..., *Ficus sycómorus* L., which is ... and even the *Acer pseudoplatanus* L....

...*Platanus orientalis* along with...

Fig. 1: *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd (photo by Ivan Dzurenko)

...*P. occidentalis* is notably affected by the fungus *Gloeosporium nervisequum* (Fuckel) Sacc....

... *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association...

Table. Structure of the *Eu-Piceetum* (Cajander 1921) Keilland-Lund 1967 association

...*Eu-Piceetum* is formed in an ecotone area ...

... both *Platanus occidentalis* and *P. acerifolia* grew...

... phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 and *Robinietaea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 classes are formed...

Conclusions

... Among these species is *P. acerifolia*.

..., phytocenoses of the *Epilobietea angustifolii* class is...

13. Після списку літературних джерел надається інформація про кожного автора **англійською мовою**:

- Перший рядок – **Surname, Name [in Ukrainian: Прізвище Ім'я]** ¹[\[i\]](#), посада, науковий ступень та вчене звання (за наявності), e-mail.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення *ORCID* автора (профіль повинен бути заповнений та відкритий для перегляду громадськості).
- Наступний рядок – зазначення *ResearcherID* автора (за наявності), зазначення *Scopus- AuthorID* автора (за наявності).
- Наступний рядок – зазначення організації, в якій працює автор.
- Наступний рядок – обов'язкове зазначення повної адреси організації, у якій працює автор, з указанням індексу та країни.

14. У кінці сторінки вказується дата її надсилання у редакцію журналу.

До статті додається список 2-3 потенційних рецензентів (кандидатів наук та/або докторів наук, які здійснюють дослідження за спеціальністю, що відповідає тематиці поданого для публікації матеріалу, і є авторами (співавторами) загальною кількістю не менше трьох публікацій у наукових виданнях, включених до категорії «А» та/або категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України, та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus за відповідною спеціальністю, оприлюднених упродовж останніх п'яти років) із зазначенням їх місця роботи, наукових інтересів, ORCID та Google Scholar, e-mail.

Подання матеріалів, публікація та доступ до опублікованих статей безкоштовно.

Текст статті і додаткові матеріали надсилати електронною поштою на адресу lukash2011@ukr.net або [bht.journal.nuchc@gmail](mailto:bht.journal.nuchc@gmail.com) (у листі вказати прізвище автора).

РЕДАКЦІЯ ЖУРНАЛУ НЕ НЕСЕ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЗМІСТ СТАТЕЙ ТА МОЖЕ НЕ ПОДІЛЯТИ ДУМКУ АВТОРА!

[\[i\]](#) ¹ Вказати внесок відповідного (1 – першого, 2 – другого тощо) автора у публікацію, обравши з переліку: 1) study design, 2) data collection, 3) statistical analysis, 4) manuscript preparation, 5) funds collection.

SCIENTIFIC EDITION

BHT 

Biota. Human. Technology

International Scientific Journal

BHT : Biota. Human. Technology / Національний університет
«Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка; гол. ред.
О.В. Лукаш. 2024. №3. 189 с.

Designer – N. Tkachuk

Photo of the title page – O. Lukash

Editing – O. Lukash, I. Kurmakova, O. Syza, H. Tkaczenko, N. Tkachuk, O. Klimova

Administrator of site – N. Tkachuk

Designer cover – N. Tkachuk

Passed for printing
26.12.2024 Format A4

Editorial and Publishing Department of T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium», 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013,
Ukraine

Phone: +38(046)265-1799

nuchk.tipograf@gmail.com