

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Odesa National University Herald

ВІСНИК ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія: *Біологія*

Науковий журнал
Виходить 2 рази на рік
Серія заснована у липні 2007 р.

Том 28, випуск 1(52) 2023

Одеса
ОНУ
2023

Засновник та видавець:

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Редакційна рада журналу:

В. І. Труба, д-р юр. наук (голова ред. ради); В. О. Іваниця, д-р біол. наук (заступник голови ред. ради); С. М. Андрієвський, д-р фіз.-мат. наук; В. В. Глебов, канд. іст. наук; Л. М. Голубенко, канд. філол. наук; Л. М. Дунаєва, д-р політ. наук; В. В. Заморов, канд. біол. наук; О. В. Запорожченко, канд. біол. наук; О. А. Іванова, д-р наук із соц. комунікацій; В. Є. Круглов, канд. фіз.-мат. наук; В. Г. Кушнір, д-р іст. наук; В. В. Менчук, канд. хім. наук; М. О. Подрезова, директор Наукової бібліотеки; Н. М. Крючкова, канд. екон. наук; Л. М. Токарчук, канд. юр. наук; М. І. Ніколаєва, канд. політ. наук; В. В. Яворська, д-р геогр. наук; Н. В. Кондратенко, д-р філол. наук.

Редакційна колегія журналу:

А. Бьорнер, д.б.н., професор (Німеччина); С. Верба, к.б.н. (Польща); В. В. Заморов, к.б.н., доцент (Україна); В. О. Іваниця, д.б.н., професор (Україна); К. Ковальчик, д.б.н., професор (Польща); О. А. Макаренко, д.б.н., ст.н.с. (Україна); Ю. М. Олійник, к.б.н., доцент (Україна); С. Н. Оленін, професор (Литва), М. Ю. Русакова, к.б.н., доцент (Україна); З. Селка к.б.н., (Польща); В. А. Трач, к.б.н., доцент (Україна); Г. Федак, професор (Канада); С. С. Чернадчук, к.б.н., доцент (Україна); С. В. Чеботар, д.б.н., член-кор. НААНУ (Україна) – *науковий редактор*; Т. Г. Алексєєва, к.б.н., доцент (Україна) – *відповідальний секретар*; Г. В. Майкова, к.б.н., доцент (Україна) – *відповідальний секретар*.

«Вісник Одеського національного університету. Біологія»
входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»);
Затверджено Наказом МОН України № 1301 від 15.10.2019 р.

Українською та англійською мовами

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу інформації
Серія КВ № 11455-328Р від 7.07.2006 р.

Затверджено до друку Вченою радою
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Адреса редакції: 65082, м. Одеса, вул. Дворянська, 2
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
Тел: (+380-48) 68-79-32
E-mail:gerald.biology.onu@gmail.com

© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2023

ЗМІСТ

БІОФІЗИКА

Будняк О. К., Чернадчук С. С., Сорокін А. В., Петров С. А.
ВПЛИВ ТІАМІНУ ТА ЙОГО КАТАБОЛІТІВ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНОЇ
РУХЛИВОСТІ ТА ζ -ПОТЕНЦІАЛУ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* 9

БОТАНІКА

Попова О. М., Левчук Л. В.
ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ ДЕНДРОЛОГІЧНОЇ КОЛЕКЦІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ
ОНУ В ОСВІТНІЙ ПРОГРАМІ «ФАРМАЦІЯ» 19

ГЕНЕТИКА І МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ

Штреблєва Ю.М., Омельченко О. Р., Січняк О.Л.
ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН 41

ГІДРОБІОЛОГІЯ ТА ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Караванський Ю. В., Заморов В. В., Швандт М. А.
РУХОВА АКТИВНІСТЬ БИЧКА-КРУГЛЯКА (*NEOGOBIUS MELANOSTOMUS*
PALLAS, 1814) ПІД ВПЛИВОМ ГЕОМАГНІТНИХ ПОЛІВ 55

ЗООЛОГІЯ

Підгорна С. Я., Делі О.Ф., Чернічко К. Й.
ПАНЦІРНІ КЛІЩІ (ORIBATEI) У СКЛАДІ МЕЗОФАУНИ ПАРКОВИХ ЗОН
МІСТА ОДЕСИ (УКРАЇНА) 69

Сергєєв Л. А., Назаренко В. Ю., Ужевська С. П., Бурикїна С. І.
НОВІ ЗНАХІДКИ ДЕЯКИХ ВИДІВ ДОВГОНОСИКІВ
(COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ 80

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН

Галкін Б. М., Ходаков І. В., Хромагіна Л. М.
КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЗАПАЛЕННЯ В ПЕЧІНЦІ
ТА ОСТЕОДИСТРОФІЧНИМИ ЗМІНАМИ В КІСТКАХ ЩУРІВ
ПРИ ГІПЕРВІТАМІНОЗІ А 91

Задерей О.В., Ходаков І.В.
ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ І СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ
ТА АТРОФІЇ АЛЬВЕОЛЯРНОЇ КІСТКИ У ЩУРІВ ПРИ ГІПОТИРЕОЗІ
ТА КОРЕКЦІЇ КОМПЛЕКСОМ МІНЕРАЛІВ ТА ВІТАМІНІВ 108

Клімова О. М., Биченко К. О.
ДОСЛІДЖЕННЯ НА РІЗНИХ МОДЕЛЯХ БІОЛОГІЧНИХ ЕФЕКТІВ КОМПОНЕНТІВ
КОМПЛЕКСНОГО ВПЛИВУ (ФОТООПРОМІНЮВАННЯ;
ЕКЗОСОМИ МЕЗЕНХІМАЛЬНИХ СТОVBУРОВИХ КЛІТИН ТА НАНОЧАСТИНКИ)
ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ЗАПАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ 118

Кіриленко Н. А., Тиняна М. Ю., Гладкій Т. В.
ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ЩУРІВ У ЛАБІРИНТІ БАРНСА
НА ТЛІ ІНТОКСИКАЦІЇ ХЛОРИДОМ АЛЮМІНІЮ 136

Макаренко О. А., Могілевська Т. В.
КОРЕКЦІЯ ПОРУШЕНЬ У ТРАВНОМУ ТРАКТІ ЩУРІВ З ХРОНІЧНИМ
ХОЛЕСТАЗОМ КОМПЛЕКСОМ ЛЕКВІН І МІНЕРОЛ..... 147

ІСТОРИЯ ФАКУЛЬТЕТУ ТА УНІВЕРСИТЕТУ

Кузнецов В. О.
ЖИТТЯ ТА НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ БОТАНІКА, ІСТОРИКА
НАУКИ ТА ПЕДАГОГА, ПРОФЕСОРА ДМИТРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА БАЙКОВА
(1818-1884) 161

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ..... 177

CONTENTS

BIOPHYSICS

- Budnyak O. K., Chernadchuk S. S., Sorokin A. V., Petrov S. A.**
THE INFLUENCE OF THIAMINE AND ITS CATABOLITES ON THE MAGNITUDE
OF ELECTROPHORETIC VELOCITY AND THE ζ -POTENTIAL OF YEAST
SACCHAROMYCES CEREVISIAE 9

BOTANY

- Popova O. M., Levchuk L. V.**
MEDICINAL PLANTS IN THE DENDROLOGY COLLECTION OF THE BOTANICAL
GARDEN OF ONU IN THE EDUCATIONAL PROGRAM "PHARMACY" 19

GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

- Shtrebleva Yu. M., Omelchenko O. R., Sichniak O. L.**
CYTOGENETIC EFFECTS OF SURFACTANTS 41

HYDROBIOLOGY AND GENERAL ECOLOGY

- Karavanskiy Y. V., Zamorov V. V., Shvand M. A.**
MOVEMENT ACTIVITY OF ROUND GOBY (*NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS*
PALLAS, 1814) UNDER THE INFLUENCE OF GEOMAGNETIC FIELDS..... 55

ZOOLOGY

- Pidhorna S. Ya., Deli O. F., Chernychko K. Y.**
ORIBATID MITES (ORIBATEI) IN THE MESOFAUNA OF PARK ZONES CITIES
OF ODESA (UKRAINE) 69

- Serhieiev L. A., Nazarenko V. Yu., Uzhevskaya S. P., Burykina S. I.**
NEW RECORDS OF WEEVILS (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)
IN THE ODESA REGION..... 80

PHYSIOLOGY OF HUMAN AND ANIMALS

- Galkin B. M., Khodakov I. V., Khromagina L. M.**
CORRELATIONS BETWEEN THE INDICATORS OF INFLAMMATION
IN THE LIVER AND OSTEODYSTROPHIC CHANGES IN THE BONES
IN RATS WITH HYPERVITAMINOSIS A 91

- Zaderei O. V., Khodakov I. V.**
CHANGES IN THE DENSITY AND COMPOSITION OF BONE TISSUE
AND ALVEOLAR BONE ATROPHY IN RATS WITH HYPOTHYREOSIS
AND CORRECTION WITH A COMPLEX OF MINERALS AND VITAMINS 108

- Klimova O. M., Bychenko K. O.**
RESEARCH ON VARIOUS MODELS OF THE BIOLOGICAL EFFECTS
OF COMPONENTS OF A COMPLEX EFFECT (PHOTOIRRADIATION;
EXOSOMES OF MESENCHYMAL STEM CELLS AND NANOPARTICLES)
FOR THE CORRECTION OF THE INFLAMMATORY PROCESS..... 118

Kirilenko N. A., Tyniana M. Y., Hladkii T. V.
PECULIARITIES OF BEHAVIORAL REACTIONS OF RATS IN THE BARNES MAZE
AGAINST ALUMINUM CHLORIDE INTOXICATION 136

Makarenko O. A., Mohylevska T. V.
CORRECTION OF DISORDERS IN THE DIGESTIVE TRACT OF RATS WITH
CHRONIC COLESTASIS WITH THE LEQUIN AND MINERAL COMPLEX..... 147

HISTORY OF THE FACULTY AND THE UNIVERSITY

Kuznetsov V. O.
LIFE AND SCIENTIFIC-PEDAGOGICAL ACTIVITY OF A BOTANIST, SCIENCE
HISTORIAN, AND PEDAGOGUE, PROFESSOR DMYTRO OLEKSANDROVYCH
BAIKOV (1818-1884)..... 161

GUIDELINES FOR AUTHORS 177

БІОФІЗИКА



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284681](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284681)

УДК 577.3

О. К. Будняк, к.б.н., доцент

С. С. Чернадчук, к.б.н., доцент

А. В. Сорокін, к.б.н., доцент

С. А. Петров, д.б.н., професор

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

кафедра молекулярної біології, біохімії та генетики,

вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: biochem_bio_onu@ukr.net

ВПЛИВ ТІАМІНУ ТА ЙОГО КАТАБОЛІТІВ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНОЇ РУХЛИВОСТІ ТА ζ -ПОТЕНЦІАЛУ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

Вивчали вплив різних концентрацій тіаміну, тіаміндисульфїду, 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу та тіохрому на величину ζ -потенціалу та електрофоретичну рухливість у *Saccharomyces cerevisiae*. Показано, що тіаміндисульфїд і тіамін підвищували рівень показників, що вивчалися, за концентрацій, відповідно 10 мкмоль та 5 і 10 мкмоль за рахунок підсилення окисних процесів у клітинах дріжджів, а тіохром і 4-метил-5 β -оксиетилтіазол діяли за концентрацій, відповідно, 1 мкмоль, та 1 і 5 мкмоль, очевидно, за рахунок взаємодії з гідрофобними кишнями білків.

Ключові слова: електрофоретична рухливість; ζ -потенціал; тіамін; катаболіти; *Saccharomyces cerevisiae*

Відомо, що потенціал, який виникає на межі між дисперсною фазою і дисперсійним середовищем, внаслідок дії електричного поля, називається електрокінетичним, або ζ -потенціалом. Поява електричного заряду на поверхні частинки зумовлена властивостями цієї поверхні. Вона може мати як іоногенні групи, так і певну спорідненість з деякими іонами, які будуть адсорбуватись на її поверхні [7].

Знак і значення ζ -потенціалу широко використовуються для характеристики електричних властивостей поверхні при розгляді адсорбції, адгезії, агрегативної стійкості дисперсних систем, структуроутворенні в матеріалах та інших процесів, де існують електрокінетичні явища.

Величина ζ -потенціалу може характеризувати стан клітинних оболонок. Дріжджові клітини не є виключенням. Поверхневий заряд дріжджових клітин, як і більшість клітин інших мікроорганізмів, у нормі має негативне значення. Електричний заряд клітин, з одного боку, визначається молекулярним складом і структурою клітинної стінки, а з іншого боку, на нього істотно впливають різні фактори навколишнього середовища, а саме, рН, склад культуральної рі-

дини, наявність речовин різного хімічного складу, таких як вуглеводи, білки, ліпіди, мінеральні сполуки, росткові фактори, зокрема, вітаміни, власні продукти метаболізму, ферменти тощо [9].

З даних літератури відомо, що до основних компонентів клітинної стінки дріжджів належать глюкани, маннопротеїни та хітин [6]. Електричний заряд клітинної поверхні дріжджів зумовлений дисоціацією фосфатних та карбоксильних груп маннопротеїнів, а також протонуванням аміногруп білків [4], а суспензії дріжджових клітин більш стабільні за умов збільшення негативного заряду їх клітинної поверхні, що може контролюватися рівнем ζ -потенціалу, або електрофоретичної рухливості.

Дріжджі містять велику кількість біологічно активних речовин, у тому числі і вітамінів, зокрема, тіамін, рибофлавін, нікотинову, фолієву, пантотенову кислоти, біотин, піридоксин тощо. Відомо, що тіамін є потужним стимулятором росту дріжджів [9]. Також відомо, що при значеннях $\text{pH} > 7,0$ молекула тіаміну може перетворюватися за деяких стадій на тіаміндисульфід та тіохром, які мають власні біохімічні властивості, у тому числі і антиокиснювальні [2], що стосується 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу, то як тіазоловий компонент тіаміну ця сполука відіграє важливу роль у реалізації функцій тіаміну, проте даних про нього недостатньо. Таким чином, вплив вітаміну B_1 та його катаболітів, а саме, тіаміндисульфиду, 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу та тіохрому на стан дріжджових мембран не досліджено.

Мета роботи – визначити вплив різних концентрацій тіаміну та його похідних на величину ζ -потенціалу та електрофоретичну рухливість у *Saccharomyces cerevisiae*.

Матеріали та методи дослідження

Визначення електрофоретичної рухливості та ζ -потенціалу проводили за класичною методикою [11]. Звичайні дріжджі, що знаходилися у фазі адаптації, поміщали у колбу з 8%-ним розчином сахарози на фосфорно-цитратному буфері $\text{pH} 8,0$. На установці для мікроелектрофорезу, за допомогою мікроскопу, спостерігали рух дріжджових клітин уздовж камери Горяєва. Визначали за який час (сек) клітини пройдуть шлях, рівний боку квадрата в камері. Параметри: напруга в ланцюзі – 100 В, відстань між електродами – 2 см, шлях, пройдений дріжджовими клітинами – 0,02 см (контрольна проба). Формування інших проб створювали додаванням за 15 хвилин до вимірів до зависі дріжджів тіаміну, тіаміндисульфиду, тіохрому або 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу у кінцевих концентраціях 1, 5, 10 мкмоль. Статистичне опрацювання проводили за Стьюдентом [3].

Результати дослідження та їх обговорення

Згідно з отриманими даними (рис. 1, 2), додання у середовище із дріжджами тіаміну у концентраціях 5 та 10 мкмоль викликало підвищення рівню ζ – потенціалу та електрофоретичної рухливості (*), відповідно, у 2,75 та 1,84 рази порівняно з контролем.

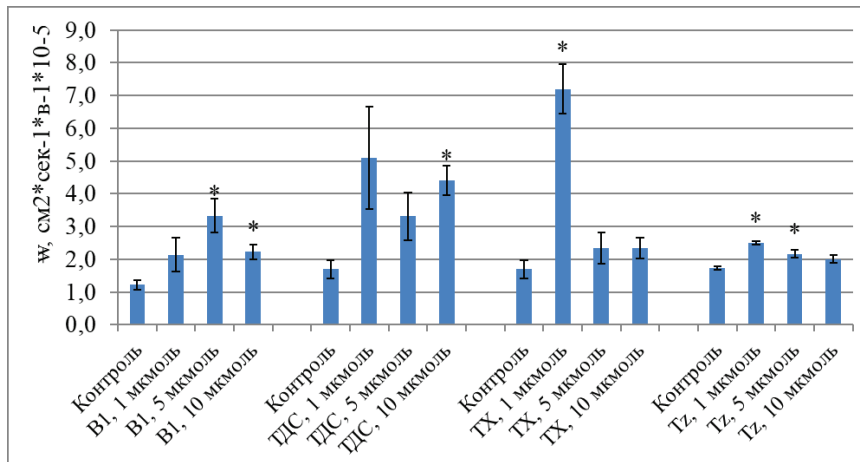


Рис. 1. Вплив тіаміну та його катаболітів на величину електрофоретичної рухливості μ дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (n=10)

Примітки: 1. V₁ – тіамін, ТДС – тіаміндисульфід, ТХ – тіохром, Тз – 4-метил-5-β-оксиетилтіазол.
2. * – відмінності із відповідним контролем достовірні, p ≤ 0,05.

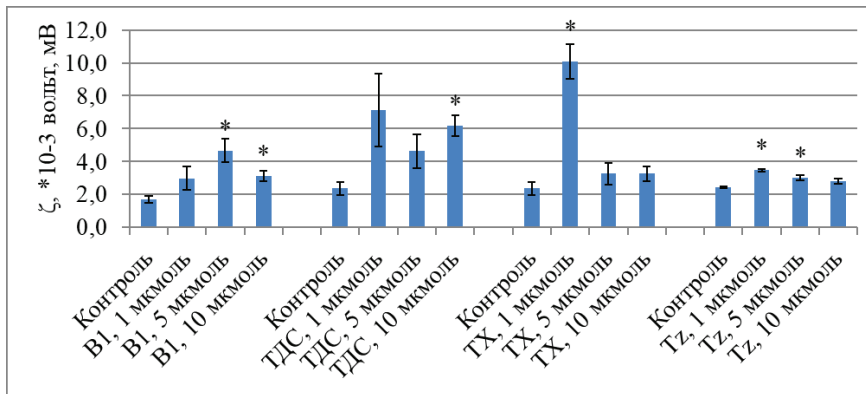


Рис. 2. Вплив тіаміну та його катаболітів на величину ζ -потенціалу дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (n=10)

Примітки: 1. V₁ – тіамін, ТДС – тіаміндисульфід, ТХ – тіохром, Тз – 4-метил-5-β-оксиетилтіазол.
2. * – відмінності із відповідним контролем достовірні, p ≤ 0,05.

Введення тіаміндисульфідів до зависі дріжджів у концентрації 10 мкмоль максимально підвищував дослідні показники (у 2,61 рази), в порівнянні з іншими дослідженими концентраціями.

ζ-потенціал, або електрофоретична рухливість, які характеризують заряд дріжджової клітини, створюється переважно відповідними концентраціями залишків фосфорних кислот та аміногруп, які розташовані на її поверхні [5], а також незначним протонуванням аміногруп білків [4], особливо за умов лужного середовища, що має значення для наших умов дослідів.

При бродінні спостерігається зменшення рН, тому електричний заряд клітинних оболонок дріжджів стає більш позитивним. Наявність кисню у середовищі також викликає підвищення потенціалу. Можна припустити, оскільки тіамін спроможний підсилювати окисні процеси у клітині [8, 10], тому він може зменшувати накопичення кислот у середовищі, що утворюються при бродінні, і, таким чином, також має підвищувати негативний потенціал дріжджів. Подібні властивості можуть відноситися і до тіаміндисульфідів, який здатний перетворюватися на тіамін [2].

Що стосується тіохрому, то введення цього катаболіту, у концентрації 1 мкмоль, викликало вірогідне збільшення дослідних показників у 4,26 рази порівняно з контролем. Додання у середовище 4-метил-5-β-оксиетилтіазолу, у концентрації 1 та 5 мкмоль, викликало також підвищення показників, відповідно, у 1,43 та 1,24 рази у порівнянні з контролем.

Позитивний вплив 4-метил-5-β-оксиетилтіазолу та тіохрому на електрофоретичну рухливість і ζ-потенціал клітин може бути пов'язаний з таким механізмом: тіазолова частина тіаміну і трициклічна форма його – тіохром здатні зв'язуватися з, так званими, тіамінза'язуючими білками мембран. Ці зв'язки утворюються, природно, між SH-групами білків і сіркою тіазолової структури вітаміну та його похідних, а також за рахунок потрапляння цих метаболітів тіаміну в гідрофобні кишені білків [1]. Подібні взаємодії викликають зміну конформації білків поверхні дріжджових клітин, що призводить до часткового екранування позитивно заряджених груп білків і, відповідно, до збільшення негативного заряду поверхні клітин.

Слід відзначити достатньо складний і неоднозначний характер залежності показників електрофоретичної рухливості і ζ-потенціалу від концентрації тіаміну і його метаболітів.

Для тіаміндисульфідів і тіаміну встановлений позитивний ефект на досліджувані показники тільки за високих концентрацій цих метаболітів (у концентрації 5 мкмоль, а для тіаміну – ще 10 мкмоль). Очевидно, саме такі концентрації призводять до істотного прискорення окиснення органічних кислот, що збільшує рН середовища і відповідно збільшує негативний заряд. Для гідрофобних метаболітів тіохрому та 4-метил-5-β-оксиетилтіазолу нами встановлений позитивний ефект за менших концентрацій цих метаболітів, відповідно, за 1 мкмоль, та 1 і 5 мкмоль. Очевидно, саме такі концентрації призводять до

насичення ними гідрофобних кишень. Збільшення концентрацій цих сполук викликає порушення таких взаємодій.

Таким чином, можна вважати, що тіамін та всі його катаболіти, по-перше, в більшості випадків збільшували величину ζ -потенціалу та електрофоретичної рухливості. По-друге, таке підвищення відбувалося специфічно для кожної сполуки.

Отримані дані можуть бути використані у створенні більш оптимальних поживних середовищ для виробництв, які мають справу із *Saccharomyces cerevisiae*, такі як пивоваріння, або інші, де використовуються процеси бродіння цих клітин.

Висновки

1. Тіамін і його метаболіти збільшують електрофоретичну рухливість і ζ -потенціал дріжджових клітин.

2. Тіамін і тіаміндисульфід очевидно призводять до прискорення утилізації органічних кислот, що підвищує негативний заряд білків.

3. 4-метил-5 β -оксиетилтіазол і тіохром можуть підвищувати електрофоретичну рухливість і ζ -потенціал за рахунок взаємодії з гідрофобними кишнями білків.

Стаття надійшла до редакції 25.01.2023

Список використаної літератури

1. Меженська О. О. Нові протеїнові мішені дії тіаміну і його похідних в нервовій тканині: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.04 «Біохімія». К., 2021. 24 с.
2. Пархоменко Ю. М., Степура І.І., Донченко Г.В., Степура В.І. Окислені похідні тіаміну: утворення, властивості, біологічна роль. *Ukr.Biochem.J.* 2012. Т. 84. 6. С. 5–24. <http://ua.ukrbiochemjournal.org/2016/05/okysleni-pohidni-tiaminu-utvorennya-vlastyvoli-biologichna-rol.html>
3. Статистичні методи в біології: підруч. / Ю. І. Прилуцький, О. В. Ільченко, О. В. Цимбалюк, С. О. Костерін. К.: Наук. думка, 2017. 216 с.
4. Bowen W. R., Sabuni H.A., Ventham T.J. Studies of the cell-wall properties of *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation. *Biotechnology and Bioengineering.* 1992. Vol. 40. P. 1309–1318. <https://doi.org/10.1002/bit.260401104>
5. Dengis P. B., Rouxhet P.G. Surface properties of top – and bottom-fermenting yeast. *Yeast.* 1997. Vol. 1(13). P. 931–943. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(199708\)13:10%3C931::AID-YEA149%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199708)13:10%3C931::AID-YEA149%3E3.0.CO;2-T)
6. Klis F. M., Mol P., Hellingwerf K., Brul S. Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. // *FEMS Microbiol Rev.* 2002. Vol. 26(3). P. 239–256. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x>
7. Lavaisse L. M., Hollmann A., Nazareno M.A., Disalvo E.A. Zeta potential changes of *Saccharomyces cerevisiae* during fermentative and respiratory cycles. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2019. Vol. 1(174). P. 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.11.001>
8. Parkhomenko Y. M., Pavlova A.S. & Mezhenkaya O.A. Mechanisms responsible for the high sensitivity of neural cells to vitamin B₁ deficiency. *Neurophysiology.* 2016. Vol. 48. P. 429–448. <https://doi.org/10.1007/s11062-017-9620-3>
9. Ribeiro R. A., Bourbon-Melo N., Sá-Correia I. The cell wall and the response and tolerance to stresses of biotechnological relevance in yeasts. *Front Microbiol.* 2022. Vol. 28(13). 953479. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.953479>
10. Sambon M, Wins P, Bettendorff L. Neuroprotective effects of thiamine and precursors with higher bioavailability: focus on benfotiamine and dibenzoylthiamine. *Int J Mol Sci.* 2021. May 21. 22(11). 5418. <https://doi.org/10.3390%2Fijms22115418>
11. Serrano-Lotina A., Portela R., Baeza P., Alcolea-Rodriguez V., Villarreal M., Ávila P. Zeta potential as a tool for functional materials development. *Catalysis Today.* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2022.08.004>

О. К. Будняк, С. С. Чернадчук, А. В. Сорокін, С. А. Петров
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, кафедра
молекулярної біології, біохімії та генетики, вул. Дворянська 2, 65082,
Україна, e-mail: biochem_bio_onu@ukr.net

ВПЛИВ ТІАМІНУ ТА ЙОГО КАТАБОЛІТІВ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНОЇ РУХЛИВОСТІ ТА ζ -ПОТЕНЦІАЛУ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

Резюме

Проблема. Вважається, що суспензії дріжджових клітин більш стабільні за умов збільшення негативного заряду їх клітинної поверхні, що може контролюватися рівнем ζ -потенціалу, або електрофоретичної рухливості. Відомо, що тіамін є стимулятором росту дріжджів, але вплив вітаміну В₁ та його катаболітів на стан дріжджових мембран не досліджено.

Мета. Визначити вплив різних концентрацій тіаміну, тіаміндисульфід, 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу та тіохрому на величину ζ -потенціалу та електрофоретичну рухливість у *Saccharomyces cerevisiae*.

Методика. Визначення електрофоретичної рухливості та ζ -потенціалу проводили за допомогою установки для мікроелектрофорезу, де за допомогою мікроскопу спостерігали рух дріжджових клітин уздовж камери Горяєва та визначали за який час (сек) клітини пройдуть шлях, рівний боку квадрата в камері. Параметри: напруга в ланцюзі – 100 В, відстань між електродами – 2 см, шлях, пройдений дріжджовими клітинами – 0,02 см (контрольна проба). В дослідні проби за 15 хвилин до вимірів до суспензії дріжджів додавали тіамін та його катаболіти у кінцевих концентраціях 1, 5, 10 мкмоль.

Основні результати. Інкубація дріжджів із тіаміном, який додавали в середовище у концентраціях 5 та 10 мкмоль підвищувала показники ζ -потенціалу та електрофоретичної рухливості, відповідно, у 2,75 та 1,84 рази у порівнянні з контролем. Тіаміндисульфід у концентрації 10 мкмоль підвищував показники, що вивчалися, у 2,61 рази, а тіохром у концентрації 1 мкмоль – у 4,26 рази порівняно з контролем. Додання у середовище 4-метил-5- β -оксиетилтіазолу у концентрації 1 та 5 мкмоль також викликало підвищення показників, відповідно, у 1,43 та 1,24 рази у порівнянні з контролем.

Висновки. Тіамін і його метаболіти збільшували електрофоретичну рухливість і ζ -потенціал дріжджових клітин. Тіаміндисульфід і тіамін підвищували рівень показників, що вивчалися, при концентраціях, відповідно 10 мкмоль, та 5 і 10 мкмоль за рахунок підсилення окисних процесів у клітинах дріжджів, а тіохром і 4-метил-5- β -оксиетилтіазол діяли за концентрацій, відповідно, 1 мкмоль, та 1 і 5 мкмоль, очевидно, за рахунок взаємодії з гідрофобними кишнями білків.

Ключові слова: електрофоретична швидкість; ζ -потенціал; тіамін; катаболіти; *Saccharomyces cerevisiae*

O. K. Budnyak, S. S. Chernadchuk, A. V. Sorokin, S. A. Petrov

Odesa I. I. Mechnikov National University, Department of Molecular Biology,
Biochemistry and Genetics, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine,
e-mail: biochem_bio_onu@ukr.net

THE INFLUENCE OF THIAMINE AND ITS CATABOLITES ON THE MAGNITUDE OF ELECTROPHORETIC VELOCITY AND THE ζ -POTENTIAL OF YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

Abstract

Problem: Yeast cell solutions are thought to be more stable with an increase in the negative charge of their cell surface, which can be controlled by the level of ζ -potential or electrophoretic velocity. Thiamine is known as a yeast growth stimulant, but the effect of vitamin B₁ and its catabolites on the state of yeast membranes has not been investigated.

Aim. The purpose of the work is to determine the effect of different concentrations of thiamine, thiaminedisulfide, 4-methyl-5- β -oxyethylthiazole and thiochrome on the value of the ζ -potential and electrophoretic velocity in *Saccharomyces cerevisiae*.

Methods. Determination of electrophoretic velocity and ζ -potential was carried out using a microelectrophoresis unit and a microscope, the movement of yeast cells along Hemocytometer was observed. It was determined in what time (sec) the cells will pass a path equal to the side of the square in the Hemocytometer. Parameters: voltage in the circuit – 100 V, the distance between the electrodes – 2 cm, the path traveled by the yeast cells – 0.02 cm (control test). In the test samples, thiamine and its catabolites were added to the yeast suspension 15 minutes before the measurements in final concentrations of 1, 5, 10 μmol .

The main results: Incubation of yeast with thiamine, which was added to the medium at concentrations of 5 and 10 μmol , increased the ζ -potential and electrophoretic velocity, respectively, by 2.75 and 1.84 times compared with the control. Thiaminedisulfide at a concentration of 10 μmol increased the studied indicators by 2.61 times, and thiochrome at a concentration of 1 μmol – by 4.26 times compared with the control. The introduction of 4-methyl-5- β -oxyethylthiazole into the medium at a concentration of 1 and 5 μmol also caused an increase by 1.43 and 1.24 times, respectively, compared with the control.

Conclusions. Thiamine and its metabolites increased electrophoretic velocity and ζ -potential of yeast cells. Thiaminedisulfide and thiamine increased the level of the studied indicators at concentrations, respectively 10 μmol , and 5 and 10 μmol due to enhancement of oxidation processes in yeast cells, while thiochrome and 4-methyl-5- β -oxyethylthiazole acted at concentrations, 1 μmol , 1 and 5 μmol , respectively, apparently, due to the interaction with the hydrophobic pockets of proteins.

Key words: electrophoretic velocity; ζ -potential; thiamine; catabolites; *Saccharomyces cerevisiae*

References

1. Mezhenka O.O. (2021) «Novel protein targets of thiamine and its derivatives in nervous tissue» [Novi proteinovi mišeni dii tiaminu i yoho pokhidnykh v nervovii tkanyni: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia, kand. biol. nauk: 03.00.04 «Biokhimiia», Kyiv, 24 p.
2. Parkhomenko Yu. M., Stepuro I.I., Donchenko G.V., Stsiapura V.I. (2012) Oxidized derivatives of thiamine: formation, properties, biological role, *Ukr.Biochem.J.*, No 84, 6, pp. 5–24. <http://ua.ukrbiochemjournal.org/2016/05/okysleni-pohidni-tiaminu-utvorennia-vlastyvosti-biolohichna-rol.html>
3. Statistical methods in biology: tutorial (2017) [Statystychni metody v biolohii: pidruch. / Yu.I. Prylutskyi, O.V. Ilchenko, O.V. Tsybaliuk, S.O. Kosterin], Kyiv: Nauk. dumka, 216 p.
4. Bowen W. R., Sabuni H.A., Ventham T.J. (1992) Studies of the Cell-Wall Properties of *Saccharomyces cerevisiae* during Fermentation *Biotechnology and Bioengineering*. 40, pp 1309–1318. <https://doi.org/10.1002/bit.260401104>
5. Dengis P. B., Rouxhet P.G. (1997) Surface Properties of Top – and Bottom-Fermenting Yeast // *Yeast*, 1(13), pp. 931–943. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(199708\)13:10%3C931::AID-YEA149%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199708)13:10%3C931::AID-YEA149%3E3.0.CO;2-T)
6. Klis F. M., Mol P., Hellingwerf K., Brul S. (2002) Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*, *FEMS Microbiol Rev.*, Aug;26(3), pp. 239–56. doi: 10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x. PMID: 12165426.
7. Lavaisse L. M., Hollmann A., Nazareno M.A., Disalvo E.A. (2019) Zeta potential changes of *Saccharomyces cerevisiae* during fermentative and respiratory cycles, *Colloids Surf B Biointerfaces*, Feb 1, 174, pp. 63–69. doi: 10.1016/j.colsurfb.2018.11.001. Epub 2018 Nov 3. PMID: 30439639
8. Parkhomenko Y. M., Pavlova A.S. & Mezhenskaya O.A. (2016) Mechanisms responsible for the high sensitivity of neural cells to vitamin B₁ deficiency, *Neurophysiology*, 48, pp. 429–448. <https://doi.org/10.1007/s11062-017-9620-3>
9. Ribeiro R. A., Bourbon-Melo N., Sá-Correia I. (2022) The cell wall and the response and tolerance to stresses of biotechnological relevance in yeasts, *Front Microbiol*, Jul 28, 13, 953479. doi: 10.3389/fmicb.2022.953479. PMID: 35966694; PMCID: PMC9366716.
10. Sambon M., Wins P., Bettendorff L. Neuroprotective effects of thiamine and precursors with higher bioavailability: focus on benfotiamine and dibenzoylthiamine. *Int J Mol Sci*. 2021. May 21. 22(11). 5418. <https://doi.org/10.3390/ijms22115418>
11. Serrano-Lotina A., Portela R., Baeza P., Alcolea-Rodríguez V., Villarroel M., Ávila P. Zeta potential as a tool for functional materials development. *Catalysis Today*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2022.08.004>

БОТАНІКА



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284684](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284684)

УДК 581:615.1:378.1

О. М. Попова¹, к.б.н., доцент

Л. В. Левчук², к.б.н., директор ботанічного саду

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

¹Кафедра ботаніки, фізіології рослин та садово-паркового господарства,

Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: olena-porova@ukr.net

²Ботанічний сад, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна,

e-mail: lyuda.levchuk@gmail.com

ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ ДЕНДРОЛОГІЧНОЇ КОЛЕКЦІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ ОНУ В ОСВІТНІЙ ПРОГРАМІ «ФАРМАЦІЯ»

Резюме

Виявлено, що у дендрологічній колекції відкритого ґрунту ботанічного саду Одеського національного університету імені І. І. Мечникова зберігається *ex situ* 123 види насінних рослин, які розглядаються у курсі фармацевтичної ботаніки в межах освітньо-професійної програми «Фармація». Проведено флористичний аналіз цих видів. Обґрунтовано, що з них 72 види підлягає обов'язковому вивченню здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти. Запропоновано поповнити колекцію 17 видами офіційних деревних рослин.

Ключові слова: медична освіта; фармацевтична ботаніка; ЄДКІ; дендрофлора; охорона рослин *ex situ*; офіційні лікарські рослини; м. Одеса

В Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова (далі – ОНУ) з 2019 року здійснюється підготовка здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою (далі – ОПП) «Фармація». Ця ОПП включає обов'язкові дисципліни «Фармацевтична ботаніка» (4 кредити ECTS, 120 годин), «Навчальна практика з фармацевтичної ботаніки» (3 кредити, 90 годин), «Фармакогнозія» (8 кредитів, 240 годин), які базуються на вивченні лікарських рослин.

Фармацевтична ботаніка – базова дисципліна, яка входить до першого етапу Єдиного державного кваліфікаційного іспиту (далі – ЄДКІ) КРОК-1 для здобувачів ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 226 «Фармація. Промислова фармація» галузі знань «22 Охорона здоров'я». Вона є основою для вивчення у подальшому дисципліни «Фармакогнозія», яка входить до другого етапу ЄДКІ (КРОК-2). Також фармацевтична ботаніка закладає основи вивчення здобувачами вищої освіти інших курсів: ресурсознавства лікарських рослин, навчальної практики з фармакогнозії, лікарської токсикології, токсикологічної та судової хімії, технології ліків, технології лікарських косметичних засобів, біологічної хімії, фармацевтичної біотехнології тощо [3].

Як свідчать аналітичні звіти державної організації «Центр тестування професійної компетентності фахівців з вищою освітою напрямів підготовки «Медицина» і «Фармація» при Міністерстві охорони здоров'я України», протягом 2019–2022 рр. серед українських здобувачів фармацевтична ботаніка займала 4–8 місця за успішністю серед інших восьми дисциплін, що виносяться на цей іспит. Найнижчі показники спостерігалися у 2022 р. (64,4%) [1]. Це на межі критерію «склав», який діє в Україні у 2023 р. – 64,0% правильних відповідей [15]. Отже, цифри свідчать про вкрай незадовільний стан справ з засвоєнням здобувачами необхідного навчального матеріалу.

У тестах КРОК-1 за 2005–2022 рр. була задіяна інформація про 170 видів рослин, але з них 38 видів не описані докладно у базовому підручнику з фармацевтичної ботаніки [17], 26 рослин відсутні у програмному мінімумі таксонів, наведеному у цьому підручнику [17, с. 467–472], 75 видів немає у примірній програмі з даної дисципліни, затвердженій Міністерством охорони здоров'я (далі – МОЗ) [3]. Тому одною з причин низьких результатів державного іспиту з фармацевтичної ботаніки ми вважаємо відсутність в українському освітньому просторі чіткого сучасного переліку лікарських рослин, які здобувач вищої освіти за ОПП «Фармація» має знати. Конкретні переліки рослин містяться у примірній програмі з фармацевтичної ботаніки [3], підручниках та посібниках [17, 21], але ці переліки різняться, і іноді досить сильно. Тому актуальним вважаємо створення такого єдиного уточненого списку.

Підвищити якість підготовки фармацевтів дозволить також наочне знайомство здобувачів з живими рослинами. В умовах обмеженого часу рослини доцільно вивчати у колекціях, в яких зібране значне різноманіття об'єктів. Такі колекції живих рослин зосереджені у ботанічному саду ім. академіка В.І. Липського Одеського національного університету.

Ботанічний сад ОНУ – об'єкт природно-заповідного фонду загальнодержавного значення. Він був заснований у 1867 р. біля головного корпусу університету на вул. Дворянській, 2. У 1880 р. ботсад був переведений на університетський хутір біля мису Малий Фонтан, де зайняв площу 6,5 га (нині – Французький бульвар, 87). У 1948 р. до території ботсаду була приєднана ділянка площею 9,5 га, розташована за адресою Французький бульвар 48/50. До природно-заповідного фонду України ботсад було включено у 1963 р. в якості пам'ятки природи республіканського значення; з 1972 р. він отримав статус парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва, а з 1983 р. – ботанічного саду республіканського значення (постанова Ради Міністрів Української РСР від 22.07.1983 року № 311) [14].

Колекційний фонд ботанічного саду ОНУ складає понад 4 тис видів, різновидів, гібридів і сортів рослин [14]. Він розміщений у колекціях деревних рослин, багаторічних трав'янистих рослин, тропічних і субтропічних рослин, сукулентів тощо. Ботанічний сад ОНУ є науково-дослідним, навчальним,

еколого-просвітницьким та екокультурним центром на Одещині. Його колекції живих рослин мають велике наукове, практичне, освітнє значення [14].

Ботанічний сад традиційно є навчальною базою для здобувачів вищої освіти в ОНУ. Його регулярно відвідують студенти та школярі інших навчальних закладів м. Одеси і області. Він також масово відвідується населенням (до війни – близько 10 тисяч людей щорічно).

Найбільш відвідуюною є територія арборетумів. Колекція деревних рослин відкритого ґрунту дозволяє знайомитися з ними протягом всього вегетаційного сезону, на відміну від більшості трав'янистих рослин. До того ж дерева і кущі можна спостерігати на одному й тому ж місці протягом багатьох років.

Слід зазначити, що екологічні умови ботанічного саду досить жорсткі для зростання деревних рослин. Ботсад знаходиться у приморській смузі підзони південних степів [14]. Клімат тут континентальний зі значними коливаннями температури повітря, незначною кількістю опадів взимку, літніми зливами, регулярними відлигами серед зими, частими ожеледями і постійними вітрами, зі спекотним і посушливим літом, коли періоди без дощу становлять 1,5–2 міс. [18].

Раніше було оприлюднено перелік лікарських рослин ботанічних садів та дендропарків України [11], але він враховував рослини як наукової, так і народної медицини, не розрізняючи їх, крім того, багато видів з ботанічного саду ОНУ пропущені, а деякі дані застаріли. До цього часу аналіз дендрологічної колекції ботанічного саду на предмет виявлення лікарських рослин, задіяних у навчальному процесі майбутніх провізорів, не розглядався. У зв'язку з підготовкою здобувачів за спеціальністю «Фармація» в Одеському національному університеті це питання є актуальним. Унормування обов'язкового програмного мінімуму таксонів також актуально для всіх навчальних закладів України, які готують фармацевтів. До того ж аналіз колекції у будь-якому новому аспекті розширює розуміння її загальної цінності. Ці дані можуть також використовуватися при навчанні здобувачів за ОПП «Біологія». Вони представляють інтерес для всіх зацікавлених осіб (як відомо, група лікарських рослин під час екскурсій у парках ботанічного саду найбільш цікавить населення).

Мета роботи – виявити та охарактеризувати частину дендрологічної колекції відкритого ґрунту дендраріїв ботанічного саду ОНУ, важливу для вивчення у курсі фармацевтичної ботаніки здобувачами другого (магістерського) рівня освіти в межах ОПП «Фармація».

Для цього вирішували такі завдання.

1. Виділити фракцію дендрофлори в основних навчально-методичних виданнях з фармацевтичної ботаніки, в інших джерелах, важливих для здобувачів магістерського рівня освіти за ОПП «Фармація», і виявити, які з цих видів присутні у дендрологічній колекції відкритого ґрунту ботанічного саду ОНУ.

2. Проаналізувати весь видовий склад дендрофлори колекції ботанічного саду, актуальний для вивчення за ОПП «Фармація», та список обов'язкових для вивчення лікарських рослин.

3. Виявити структуру офіціальної лікарської рослинної сировини, джерелом якої є види рослин колекції ботанічного саду.

4. Порівняти арборетуми старої і нової територій за різноманіттям дендрофлори, актуальної для фармацевтів.

5. Визначити види деревних рослин для поповнення колекції ботанічного саду з метою більш повного забезпечення освітніх потреб здобувачів вищої освіти за ОПП «Фармація».

Матеріали і методи дослідження

Для розгляду були відокремлені дві групи рослин: «актуальні» – всі види, які розглядаються у курсі фармацевтичної ботаніки, та «обов'язкові» – найбільш важливі з них, які здобувачі мають вивчити для успішного продовження навчання та подальшої професійної діяльності. «Актуальні» додатково до «офіціальних» включають види, які наводяться при характеристиці рослинних угруповань України та при розгляді інших загальних питань.

Для встановлення повного переліку рослин, які мають розглядатися в курсі фармацевтичної ботаніки, проаналізовано примірну навчальну програму з фармацевтичної ботаніки [3], затверджену МОЗ, базовий підручник з фармацевтичної ботаніки, також затверджений МОЗ [17], перелік програмного мінімуму таксонів у цьому підручнику [17, с. 467–472], навчальний посібник «Фотогербарій лікарських рослин», складений на основі навчальних програм з фармацевтичної ботаніки, медичної ботаніки, навчальної практики з ботаніки, фармакогнозії для спеціальності «Фармація. Промислова фармація» та рекомендований Міністерством освіти і науки України (МОН) для здобувачів вищої освіти фармацевтичних навчальних закладів та фармацевтичних факультетів вищих навчальних закладів III–IV рівнів акредитації [21]. Більш сучасних базових навчальних підручників та посібників немає.

До «обов'язкових» ми відносимо рослини, які входили або можуть входити до тестів кваліфікаційного державного іспиту КРОК-1, види, які у подальшому вивчаються здобувачами у курсі фармакогнозії, і такі, які є офіціальними та фармакопейними.

Види, які раніше наводилися у підтесті «Фармацевтична ботаніка» тестів КРОК-1 ЄДКІ, виявлялися внаслідок розгляду екзаменаційних буклетів за 2005–2022 роки [7–9 та ін.]. Такими, що потенційно можуть входити до КРОК-1, вважали види, детально описані у підручнику з фармацевтичної ботаніки [17], хоча це потребує підтвердження, оскільки види, задіяні у тестах КРОК-1, не завжди детально описані у підручнику.

Види, що вивчаються у курсі фармакогнозії, враховані за базовим підручником з цієї дисципліни, затвердженим МОЗ [19].

Офіційними вважаються види лікарських рослин (далі – ЛР) і лікарська рослинна сировина (далі – ЛРС), дозволені для використання у науковій медицині в Україні. Вони заносяться до Державного реєстру лікарських засобів України (далі – ДРЛЗУ) [6], який ми аналізували станом на 01.01.2023 р. Складність полягала в тому, що у препаратах далеко не завжди вказується латинська видова назва рослин. Часто обмежуються назвою роду або українською назвою (без латинської) рослини або сировини, яка може отримуватися з декількох сировинних рослин. Також часто використовуються синоніми та застарілі назви.

Перелік фармакопейних видів визначався за другим виданням Державної фармакопеї України (далі – ДФУ-2), яка є першим національним виданням України як члена Європейської фармакопеї. На даний час вийшло три томи та 6 доповнень [4, 5]. Останнє, шосте, доповнення введено в дію з 1 березня 2023 р.

Фракцію дендрофлори серед усіх рослин визначали за каталогом дендрофлори України [12], види, які потенційно можуть зростати у відкритому ґрунті ботанічного саду ОНУ – за каталогом дендрофлори м. Одеси [13]. При вивченні асортименту деревних рослин арборетумів ботанічного саду та уточнення місць локалізації рослин за основу були взяті монографії, створені співробітниками ботанічного саду [10, 20], а також деякі додаткові джерела [2, 22]. Наявність видів у ботанічному саду та зростання рослин на відповідних куртинах була перевірена наприкінці 2022 року. Списки видів було приведено у відповідність з інтернет-ресурсом «The Plant List» [26].

Систематичний аналіз дендрофлори проведено з урахуванням сучасного обсягу родів і родин [26]. Географічний аналіз подано за флористичним районуванням Земної кулі А. Тахтаджяна [24]. Види, які підлягають особливій охороні в Україні, враховані за переліком видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ), затвердженим Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 15 лютого 2021 року № 111 [16]. Це матеріали для 4-го видання Червоної книги України. Види, які підлягають охороні у світовому масштабі внаслідок загрозливого стану у природних місцезростаннях, визначені за Червоним списком Міжнародного союзу охорони природи [25].

Перелік офіційної лікарської рослинної сировини встановлений за ДФУ-2 [4, 5].

Для порівняння флористичного складу рослин на двох територіях ботанічного саду використали коефіцієнт Жаккара: $k=c/(a+b-c)$, де a – кількість видів в одному списку, b – у другому списку, c – число спільних видів. Цей коефіцієнт флористичної подібності двох флор змінюється від 0 (коли у списках немає жодного спільного виду) до 1, коли списки повністю співпадають [23]. Значення коефіцієнту Жаккара вище 0,50 вважають показником подібності угруповань (висока подібність видових списків), а менше 0,50 – показником відмінності (низька подібність видових списків).

Результати дослідження та їх обговорення

Серед всіх розглянутих джерел найбільша кількість видів деревних рослин наводиться у базовому підручнику з фармацевтичної ботаніки [17]. Нам вдалося ідентифікувати 157 видів деревних рослин, що зростають у природних умовах або культивуються в Україні [за 12, без врахування представників родини *Ericaceae*, які не можуть стабільно зростати у відкритому ґрунті в умовах півдня України]. З них на території Одеси фіксувалося 128 видів [13]. Примірна програма [3] містить перелік 42 деревних рослин України та 40 – Одеси, програмний мінімум [17, с. 467–472] – 43 види України та 39 – Одеси, «Фотогербарій лікарських рослин» [21] – 40 видів України та 39 – Одеси, а підручник з фармакогнозії – 70 видів України та 61 – Одеси [19]. У табл. 1 наведені ті з них, які зростають у колекції ботанічного саду ОНУ. Як можна бачити з таблиці, списки з різних джерел досить помітно різняться.

Загалом у колекції ботанічного саду виявлено 103 види деревних рослин, на які є посилання у підручнику [17] (табл. 1). Програмний мінімум, фотогербарій, списки видів у примірній програмі містять у 3,2–3,8 рази менше видів, але, в основному, вони вкладаються у список підручника з фармацевтичної ботаніки. До останнього 2 види додає примірна програма (*Amorpha fruticosa*, *Hamamelis virginiana*). Отже, розглянуті навчальні джерела містять 105 видів, які присутні у дендрологічній колекції ботанічного саду. Інші види додаються до списку внаслідок врахування тестів з ЄДКІ КРОК-1 (*Caragana arborescens*), підручника з фармакогнозії (*Hamamelis virginiana*, *Pistacia vera*, *Salix purpurea*) [19], Державного реєстру лікарських засобів (*Ailanthus altissima*, *Amorpha fruticosa*, *Campsis radicans*, *Clematis recta*, *Forsythia suspensa*, *Hamamelis virginiana*, *Lonicera japonica*, *Pueraria montana* var. *lobata*, *Toxicodendron radicans*, *Vitex agnus-castus*, *Ziziphus jujuba*) [8] та другого видання Державної фармакопеї України (*Hamamelis virginiana*, *Lycium barbarum*, *Pueraria montana* var. *lobata*, *Salix purpurea*) [4, 5]. Таким чином, загальний список видів дендрологічної колекції ботанічного саду, актуальний для ОПП «Фармація», включає 123 види.

З табл. 1 видно, що в колекції ботанічного саду представлено 27 видів з примірної програми [3], 31 вид з детально описаних у підручнику з фармацевтичної ботаніки [17] (у табл. 1 ці види позначені двома хрестиками), 32 – з програмного мінімуму таксонів [17, с. 467–472], 29 – з «Фотогербарію» [21], 34 – згаданих у тестах КРОК-1 [7–9 та ін.], 42 – з підручника з фармакогнозії [19], 38 видів виявлено у ДРЛЗУ [6] та 33 – у ДФУ-2 [4, 5]. Загалом ця група особливо важливих для фармації деревних рослин у ботанічному саду охоплює 72 види, що становить більше половини усіх актуальних видів (у табл. 1 ці види позначені зірочкою). Видів, які зазначені в усіх джерелах (без врахування тестів), всього 12. Це свідчить про неузгодженість списків в різних навчально-методичних матеріалах, що негативно відбивається на процесі навчання та результатах екзаменаційного тестування.

Таблиця 1

Лікарські рослини дендрологічної колекції ботанічного саду ОНУ в арборетумах двох територій у різних джерелах

Назва виду	А*	Б*	В*	Г*	Д*	Е*	Ж*	З*	И*	К*
Відділ Голонасінні – Pinophyta										
1. <i>Abies alba</i> Mill. – ялиця біла	-	xx	x	x	-	-	-	-	x	x
2. <i>Abies nordmanniana</i> (Steven) Spach – ялиця кавказька	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
3. <i>Abies numidica</i> de Lannoy ex Carrière – ялиця нумідійська	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
4. <i>Abies pinsapo</i> Boiss. – ялиця іспанська	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
5. <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carrière – кедр атлаский	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
6. <i>Cedrus deodara</i> (Roxb. ex Lamb.) G. Don – кедр гімалайський	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x
7. * <i>Cedrus libani</i> A. Rich. – кедр ливанський	-	x	x	-	-	3	-	-	x	x
8. * <i>Cupressus sempervirens</i> L. – кипарис вічнозелений	-	x	-	x	-	1	-	-	x	x
9. * <i>Ephedra equisetina</i> Bunge – ефедра хвощова	-	x	x	-	x	1	-	x	x	x
10. * <i>Ginkgo biloba</i> L. – гінкго дволопатеве	x	xx	x	-	x	2	16	x	x	x
11. * <i>Juniperus communis</i> L. – яловець звичайний	x	xx	x	x	x	5	2	x	x	x
12. <i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb. – яловець високий	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
13. <i>Juniperus foetidissima</i> Willd. – яловець смердючий	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-
14. <i>Juniperus oxycedrus</i> L. – яловець колючий	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-
15. <i>Juniperus sabina</i> L. – яловець козачий	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
16. * <i>Larix decidua</i> Mill. (<i>L. europaea</i> DC.) – модрина європейська	-	x	x	-	-	1	2	-	x	x
17. * <i>Larix sibirica</i> Ledeb. – модрина сибірська	-	x	x	x	-	2	-	-	x	-
18. * <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (<i>P. excelsa</i> (Lam.) Link) – ялина європейська, я. звичайна	-	xx	x	x	-	3	-	-	-	x
19. <i>Picea obovata</i> Ledeb. – ялина сибірська	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x
20. <i>Picea pungens</i> Engelm. – ялина колюча	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
21. * <i>Pinus mugo</i> Turra – сосна гірська	-	x	-	-	-	-	4	x	-	x
22. <i>Pinus pallasiana</i> D. Don – сосна Паласа	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x
23. * <i>Pinus sylvestris</i> L. – сосна звичайна	x	xx	x	x	x	2	7	x	-	x
24. * <i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco – широкогілочник східний	-	x	x	-	-	1	-	-	x	x

Назва виду		А*	Б*	В*	Г*	Д*	Е*	Ж*	З*	И*	К*
25.	<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) J. Buchholz – секвоядендрон гігантський	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
26.	<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich. – таксодій дворядний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
27.	* <i>Taxus baccata</i> L. – тис ягідний	-	хх	х	-	х	1	-	-	х	х
28.	* <i>Thuja occidentalis</i> L. – туя західна	-	хх	х	х	-	1	12	-	х	х
Відділ Покритонасінні – Magnoliophyta											
29.	<i>Acer campestre</i> L. – клен польовий	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
30.	<i>Acer platanoides</i> L. – клен звичайний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
31.	<i>Acer tataricum</i> L. – клен татарський	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
32.	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. – актинідія гостра	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
33.	* <i>Aesculus hippocastanum</i> L. – гіркокаштан звичайний, каштан звичайний	х	хх	х	х	х	5	24	х	х	х
34.	* <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle – айлант найвищий	-	-	-	-	-	-	1	-	-	х
35.	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz. – альбіція ленкоранська	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
36.	* <i>Amorpha fruticosa</i> L. – аморфа кущова	х	-	-	-	-	-	1	-	х	х
37.	* <i>Aralia elata</i> var. <i>mandshurica</i> (Rupr. & Maxim.) J. Wen (<i>Aralia mandshurica</i> Rupr. & Maxim.) – аралія висока	-	х	-	-	х	-	1	-	х	-
38.	* <i>Berberis vulgaris</i> L. – барбарис звичайний	х	х	-	х	х	1	2	-	х	х
39.	* <i>Betula pendula</i> Roth (<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.) – береза повисла	х	хх	х	х	х	3	8	х	х	х
40.	<i>Buxus sempervirens</i> L. – самшит вічнозелений	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
41.	* <i>Campsis radicans</i> (L.) Seem. (<i>Tecoma radicans</i> (L.) Juss.) – кампсис вкорінливий	-	-	-	-	-	-	1	-	х	х
42.	* <i>Caragana arborescens</i> Lam. – карагана дерев'яниста	-	-	-	-	-	1	-	-	х	-
43.	<i>Castanea sativa</i> Mill. – каштан посівний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
44.	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter – катальпа бігніонієвидна	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
45.	<i>Cerasus avium</i> (L.) Moench – черешня	-	х	-	-	-	-	-	-	-	х
46.	* <i>Cerasus vulgaris</i> Mill. – звичайна	-	хх	х	-	х	5	-	-	-	х
47.	<i>Cercis siliquastrum</i> L. – церцис європейський, ц. стручковий	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
48.	<i>Citrus trifoliata</i> L. (<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.) – понцирус трилистяний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
49.	* <i>Clematis recta</i> L. – ломиніс прямий**	-	-	-	-	-	-	4	-	х	х
50.	<i>Cornus mas</i> L. – кизил справжній	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х

Назва виду	А*	Б*	В*	Г*	Д*	Е*	Ж*	З*	И*	К*
51. <i>Cornus sanguinea</i> L. (<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz) – свидина криваво-червона	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
52. * <i>Corylus avellana</i> L. – ліщина звичайна	-	хх	-	-	-	-	1	-	х	х
53. * <i>Cotinus cogygrya</i> Scop. – скумпія звичайна	х	х	-	-	х	-	-	-	х	х
54. * <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. – глід одно-маточковий	-	х	-	-	х	-	30 ¹	-	х	х
55. * <i>Crataegus oxyacantha</i> L. – глід колючий	-	х	-	-	х	-	30 ¹	-	х	-
56. <i>Cydonia oblonga</i> Mill. – айва видовжена	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
57. <i>Diospyros kaki</i> Thunb. – хурма східна	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
58. <i>Elaeagnus angustifolia</i> L. – маслинка вузьколиста	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
59. * <i>Eucommia ulmoides</i> Oliv. – евкомія в'язолиста	-	х	-	-	-	-	-	х	х	х
60. <i>Euonymus europaeus</i> L. – бруслина європейська	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
61. <i>Fagus orientalis</i> Lipsky – бук східний	-	х	-	-	-	-	-	-	-	х
62. <i>Fagus sylvatica</i> L. – бук лісовий	-	х	-	-	-	-	-	-	-	х
63. * <i>Ficus carica</i> L. – смоковниця звичайна, інжир	-	хх	-	х	х	-	-	-	х	х
64. * <i>Flueggea suffruticosa</i> (Pall.) Baill. (<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehd.) – секуринегі кушова	-	х	-	-	х	-	-	-	х	-
65. * <i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl. – форзиція звисаюча	-	-	-	-	-	-	1	-	х	х
66. * <i>Fraxinus excelsior</i> L. – ясен високий	-	х	-	-	-	-	-	х	х	х
67. * <i>Hamamelis virginiana</i> L. – гамамеліс віргінський	х	-	-	-	х	-	3	х	х	-
68. * <i>Hedera helix</i> L. – плющ звичайний	-	х	-	-	х	-	22	х	х	х
69. <i>Hibiscus syriacus</i> L. – гібіск сирійський	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
70. <i>Hovenia dulcis</i> Thunb. – говенія солодка	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
71. <i>Jasminum fruticans</i> L. – жасмин куштовий	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
72. <i>Juglans mandshurica</i> Maxim. – горіх манджурський	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
73. <i>Juglans nigra</i> L. – горіх чорний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
74. * <i>Juglans regia</i> L. – горіх волоський	х	хх	-	х	-	-	3	-	х	х
75. <i>Liriodendron tulipifera</i> L. – тюльпанне дерево	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
76. * <i>Lonicera japonica</i> Thunb. – жимолость японська	-	-	-	-	-	-	1	-	х	-
77. * <i>Lycium barbarum</i> L. – повій, дереза	-	-	-	-	-	-	-	х	х	х

	Назва виду	А*	Б*	В*	Г*	Д*	Е*	Ж*	З*	И*	К*
78.	<i>Maclura pomifera</i> (Raf.) C. K. Schneid. – маклюра яблуконосна	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
79.	* <i>Malus sylvestris</i> Mill. – Яблуня лісова	-	-	-	-	х	1	-	-	-	х
80.	<i>Morus alba</i> L. – шовковиця біла	-	хх	-	-	-	-	-	-	х	х
81.	* <i>Padus avium</i> Mill. – черемха звичайна	х	хх	х	х	х	4	-	х	х	х
82.	* <i>Paeonia</i> × <i>suffruticosa</i> Andrews – півонія деревовидна	-	х	-	-	-	-	-	х	х	х
83.	<i>Paliurus spina-christi</i> Mill. – держи-дерево звичайне	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
84.	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr. – бархат амурський	-	х	-	-	-	-	-	-	х	-
85.	* <i>Photinia melanocarpa</i> (Michx.) K. R. Robertson & J. B. Phipps (<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliott) – аронія чорнопліва	х	хх	х	х	х	4	1	х	х	-
86.	* <i>Pistacia vera</i> L. – фісташка справжня	-	-	-	-	х	-	-	-	х	-
87.	* <i>Prunus amygdalus</i> Batsch (<i>Amygdalus communis</i> L.) – мигдаль звичайний	х	хх	х	х	х	1	-	-	х	х
88.	* <i>Prunus armeniaca</i> L. – Абрикос звичайний	-	хх	х	х	х	4	1	х	-	х
89.	* <i>Prunus divaricata</i> Ledeb. – слива розчепірена, алича	-	-	-	-	х	-	-	-	х	х
90.	* <i>Prunus laurocerasus</i> L. (<i>Laurocerasus officinalis</i> (L.) Roem.) – лавровишня лікарська	-	х	-	-	х	-	-	-	х	х
91.	* <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch (<i>Persica vulgaris</i> Mill.) – персик звичайний	х	хх	х	х	х	-	-	-	х	х
92.	* <i>Prunus spinosa</i> L. – слива колюча, терен	-	хх	х	х	-	1	-	-	х	-
93.	* <i>Pueraria montana</i> var. <i>lobata</i> (Willd.) Sanjappa & Pradeep (<i>Pueraria hirsuta</i> (Hubd.) C. K. Schneid. – пуерарія лопатева	-	-	-	-	-	-	2	х	х	х
94.	* <i>Punica granatum</i> L. – гранат звичайний	х	хх	-	-	х	-	-	-	х	-
95.	<i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem. – пираканта	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
96.	* <i>Pyrus communis</i> L. – груша звичайна	х	хх	х	-	-	1	-	-	х	-
97.	* <i>Quercus pubescens</i> Willd. – дуб пухнастий	-	х	-	-	х	-	12	х	-	х
98.	* <i>Quercus robur</i> L. – дуб звичайний	х	хх	х	х	х	8	12	х	х	х
99.	* <i>Rhamnus cathartica</i> L. – жостер проносний	х	хх	х	х	х	2	-	-	х	-
100.	* <i>Ribes nigrum</i> L. – смородина чорна	х	х	-	х	х	-	-	х	х	-
101.	* <i>Robinia pseudoacacia</i> L. – робінія псевдоакація, біла акація	х	хх	х	х	-	8	-	-	х	х
102.	* <i>Rosa canina</i> L. – шипшина собача	х	хх	х	х	х	3	14	х	х	х
103.	* <i>Rosa</i> × <i>rugosa</i> Thunb. – Роза зморшкувата	-	-	-	-	х	-	-	х	-	х

Назва виду		А*	Б*	В*	Г*	Д*	Е*	Ж*	З*	И*	К*
104.	<i>Rubus caesius</i> L. – ожина сиза	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
105.	* <i>Salix purpurea</i> L. – верба пурпурна	-	-	-	-	х	-	-	х	х	-
106.	* <i>Sambucus nigra</i> L. – бузина чорна	х	хх	х	х	х	5	13	х	х	х
107.	* <i>Sorbus aucuparia</i> L. – горобина звичайна	х	хх	х	х	х	5	3	х	х	х
108.	<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz – берека	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
109.	* <i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott (<i>Sophora japonica</i> L.) – софора японська	х	х	-	х	х	1	8	х	х	х
110.	<i>Syringa vulgaris</i> L. – бузок звичайний	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
111.	* <i>Tetradium daniellii</i> (Benn.) T.G. Hartley (<i>Evodia hupehensis</i> Dode) – еводія хубейська	-	-	-	-	-	-	-	х	х	-
112.	<i>Tilia begoniifolia</i> Steven – липа бегонієлиста	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
113.	* <i>Tilia cordata</i> Mill. – липа серцелиста	х	хх	х	х	х	4	9	х	х	х
114.	* <i>Tilia platyphyllos</i> Scop. – липа широколиста	-	х	-	-	х	-	9	х	-	х
115.	<i>Tilia tomentosa</i> Moench – липа повстиста	-	х	-	-	-	-	-	-	-	х
116.	* <i>Tilia x europaea</i> L. – липа європейська	-	-	-	-	-	-	-	х	х	х
117.	* <i>Toxicodendron radicans</i> (L.) O. Kuntze (<i>Rhus toxicodendron</i> L.) – токсикодендрон укорінливий	-	-	-	-	-	-	6	-	х	-
118.	<i>Viburnum lantana</i> L. – калина цілолиста	-	х	-	-	-	-	-	-	х	х
119.	* <i>Viburnum opulus</i> L. – калина звичайна	х	хх	х	х	х	5	3	х	х	х
120.	* <i>Vinca minor</i> L. – барвінок малий**	х	хх	х	х	х	1	3	х	х	х
121.	* <i>Vitex agnus-castus</i> L. – вітекс священний	-	-	-	-	-	-	6	х	х	х
122.	* <i>Vitis vinifera</i> L. – виноград справжній	-	х	-	-	х	-	-	-	-	х
123.	* <i>Ziziphus jujuba</i> Mill. (<i>Ziziphus vulgaris</i> Lam.) – зізіфус звичайний	-	-	-	-	-	-	1	-	х	х
Всього		30	109	33	31	45	34	40	35	113	95

* Примітка. Зірочками перед назвою виду помічені лікарські рослини, запропоновані для обов'язкового вивчення у курсі фармацевтичної ботаніки. **обсяг дендрофлори розглядався за [10, 20]. х – вид присутній; хх – вид детально описаний;

Джерела: А – примірний програма з фармацевтичної ботаніки [3], Б – базовий підручник з фармацевтичної ботаніки [17]; В – програмний мінімум таксонів в курсі фармацевтичної ботаніки [17, с. 467–472]; Г – Фотогербарій [21]; Д – базовий підручник з фармакогнозії [19], Е – буклети тестів КРОК-1 [7–9 та ін.], цифри показують кількість буклетів протягом 2005–2022 років з тестом за участі даного виду; Ж – Державний реєстр лікарських засобів України [6], цифри означають кількість лікарських препаратів, до складу яких входить сировина даного виду; кількість препаратів для *Crataegus* відноситься до комплексу видів, які у препаратах не розрізняються; З – Державна фармакопея України, 2-е вид. [4, 5].

Зростання виду у ботанічному саду: И – на старій території, К – на новій території.

Найчастіше у тестах КРОК-1 були задіяні *Quercus robur* та *Robinia pseudoacacia* (у 8 тестах різних років), а також *Aesculus hippocastanum*, *Juniperus communis*, *Sambucus nigra*, *Sorbus aucuparia*, *Viburnum opulus* (у 5 тестах). Але з тих видів, що були задіяні в іспитах, 1 відсутній у підручнику, 4 – у програмному мінімумі таксонів [17, с. 467–472], 14 – у примірній програмі [3] (табл. 1).

Державний реєстр лікарських засобів України [6] показує, що найбільш широко у фармації використовуються види глоду – *Crataegus* spp., (30 дозволених препаратів на 01.01.2023 р.), а також *Aesculus hippocastanum* (24 препарати), *Hedera helix* (22), *Ginkgo biloba* (16), *Rosa canina* (14), *Sambucus nigra* (13 препаратів).

У систематичному відношенні колекція деревних рослин, актуальних для фармації, включає представників відділів голонасінних (28 видів, 27,8%) та покритонасінних (95 види, 77,2%), які відносяться до 87 родів та 42 родин. Провідними родинами є *Rosaceae* (21 вид, 17,1%), *Pinaceae* (15 видів, 12,2%), *Cupressaceae* (8 видів, 6,5%), провідними родами – *Prunus* (6 видів, 4,9%), *Juniperus*, *Tilia* (по 5 видів, 4,1%). Серед них домінують дерева – 75 видів (57 видів, 46,3% листопадних, 18 видів, 14,6% – вічнозелених). Кущів у 2,3 рази менше – всього 33 види (26,8%), з них 6 (4,9%) вічнозелених. Також наявні 4 ліани (3,1%), у т.ч. одна вічнозелена, 2 вічнозелених кущики та 2 півкущики (по 1,6%).

Аналізований список включає 56 видів (45,9%) спонтанної флори України, у тому числі аборигенні та адвентивні види. До культивованої фракції відносяться 67 видів (54,5%).

За флористичним районуванням Земної кулі А. Л. Тахтаджяна [24] види розподіляються таким чином: домінують рослини з Циркумбореальної області (50 видів, 40,7% колекції), на другому місці рослини з Середземноморської області (35 видів, 28,5%), на третьому – з Ірано-Туранської (31 вид, 25,2%). Менше рослин із Східно-Азійської (19 вид, 15,4%) та Атлантично-Північноамериканської (13 видів, 10,1%) областей. Зовсім мало рослин з Мадреанської (3 види, 2,4%) та області Скелястих гір (1 вид, 0,8%). До Червоної книги України включено 3 види голонасінних рослин: *Juniperus excelsa* (вразливий), *J. foetidissima* (рідкісний), *Taxus baccata* (вразливий) та 1 вид покритонасінних рослин – *Sorbus torminalis* (неоцінений) [16]. У частині колекції ботанічного саду, що розглядається, відмічено 8 видів, які у природних умовах знаходяться під загрозою зникнення у світовому масштабі, ще 2 близькі до такого стану. Зі статусом «критично загрожуваний» (CR) знаходиться один вид (*Abies numidica*), зникаючими (EN) є 4 види (*Abies pinsapo*, *Cedrus atlantica*, *Ginkgo biloba*, *Sequoiadendron giganteum*), уразливими (VU) – 3 види (*Cedrus libani*, *Aesculus hippocastanum*, *Eucommia ulmoides*) майже під загрозою (NT) знаходяться 2 види (*Platycladus orientalis*, *Pistacia vera*) [25].

Особливо важливі лікарські рослини (72 види) відносяться до 58 родів та 34 родин. Серед них всього 11 голонасінних рослин (15,3%). За життєвими фор-

мами вони розподіляються дещо інакше, ніж у загальному списку: серед них дерев тільки у 1,6 разів більше, ніж кущів (39 дерев, 54,2% у т.ч. 7 вічнозелених; 24 кущі, 33,3%, у т.ч. 1 вічнозелений). Також у списку залишаються 3 ліани (4,2%), 1 кущик (1,4%) та 2 півкущики (2,8%). За флористичними областями ці види розподіляються також дещо інакше: рослини Циркумбореальної області також переважають, але з більшою часткою, у порівнянні з загальним списком (34 видів, 47,2% рослин), друге місце з великим відривом займають види, що походять з Ірано-Туранської області (18 видів, 25,0%), а на третьому місці – види з Середземноморської області (16 видів, 22,2%). Рослин зі Східно-Азійської області 13 (18,1%), з Атлантично-Північноамериканської – 8 (11,1%). Мадреанська область та область Скелястих гір представлені одним видом кожна (1,4%). Серед них один вид з Червоної книги України (*Taxus baccata*) та 6 таких, що знаходяться під загрозою зникнення у світовому масштабі та наближаються до цього стану (*Aesculus hippocastanum*, *Cedrus libani*, *Ginkgo biloba*, *Eucommia ulmoides* *Platyclusus orientalis*, *Pistacia vera*) [25].

Офіційні лікарські рослини (49 видів з ДРЛЗУ та ДФУ-2) є джерелом 11 видів ЛРС. Найчастіше використовуються плоди (22 види, 44,9%). У 16 видів (32,7%) сировиною є листя, у 9 видів (18,4%) – кора, у 7 видів (14,3%) – квітки, у 5 видів – насіння та пагони (по 10,2%). У 1–2 видів використовуються бруньки, бутони, корені, трава, гали на листках.

При порівнянні видового складу арборетумів старої і нової території виявилось, що на старій території зростає 110 видів рослин з загального списку, що розглядається, на новій – 95, тобто на 15 видів менше. Тільки 79 видів є спільними, 44 види можна побачити лише на одній території (28 видів – тільки на старій, 16 видів – тільки на новій). Коефіцієнт флористичної подібності двох ділянок становить 0,64, що свідчить про високу подібність списків. Для групи особливо важливих рослин таке співвідношення у різних локаціях зберігається: тільки на старій території зростають 17 видів, тільки на новій – 11, спільних – 44 види. Коефіцієнт подібності списків цих рослин на двох ділянках майже такий самий – 0,61.

Поза колекцією дендрофлори у ботанічному саду залишається 11 видів, детально описаних у підручнику з фармацевтичної ботаніки [17]: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (вільха чорна, або клейка) та *A. incana* (L.) Moench (в. сіра), *Crataegus sanguinea* Pall. (глід криваво-червоний), *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson (*Hippophaë rhamnoides* L.) – обліпіха крушиновидна, *Ephedra distachya* L. (ефедра двоколоса), *Frangula dodonei* Ard. (*Frangula alnus* Mill.) – крушина ламка, *Malus domestica* Borkh. (яблуна домашня), *Morus nigra* L. (шовковиця чорна), *P. domestica* L. (слива домашня), *Rosa* × *damascena* (роза дамаська), *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (лимонник китайський).

Підручник з фармакогнозії [19] також включає вільху, крушину, лимонник, обліпіху та розу дамаську. Додатково він містить 16 видів, які не зростають у колекції ботанічного саду: *Betula pubescens* Ehrh. (береза пухнаста, яка в Оде-

сі відсутня [13]), *Frangula purshiana* Cooper (крушина Пурша, в Одесі не позначена [13]), *Populus nigra* L. (тополя чорна), *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. (дуб скельний), *Rhus coriaria* L. (сумах дубильний), *Rosa gallica* L. (троянда французька), *R. majalis* Herrmann (шипшина травнева) *R. villosa* L. (ш. волохата), *Salix acutifolia* Willd. (верба гостролиста, для Одеси не наводиться [13]), *S. alba* L. (в. біла), *S. caprea* L. (в. козяча), *S. cinerea* L. (в. попеляста), *S. fragilis* L. (в. ламка), *S. pentandra* L. (в. п'ятитичинкова, для Одеси не наводиться [13]), *S. triandra* L. (в. тритичинкова), *S. viminalis* L. (в. прutowидна).

Сировину (ЛРС) та препарати (ЛРП) трьох видів можна знайти у Державному реєстрі лікарських засобів: *Alnus* (3 ЛРС+ЛРП), *Crataegus* spp. (30 ЛРС+ЛРП), *Rhamnus* (6 ЛРС+ЛРП). У ДФУ-2 внесені: вільхи супліддя, вільхи клейкої (чорної листя), крушини кора.

Такі види, як *Malus domestica*, *Prunus domestica* широко розповсюджені в озелененні м. Одеси, на присадибних ділянках, тому відсутність цих видів у колекції не є критичною. Зрозуміло, що для деяких видів, відсутніх у колекції, умови відкритого ґрунту ботанічного саду непридатні, але інші без особливих проблем можуть доповнити колекцію (зокрема, *Elaeagnus rhamnoides*, *Morus nigra*, *Populus nigra*, *Rhus coriaria*, *Rosa x damascena*, *Rosa gallica*, *R. majalis*, *R. villosa*, *Salix alba*, *S. caprea*, *S. fragilis*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *S. viminalis*, *Schisandra chinensis*). Особливо бажаним є включення до неї *Crataegus sanguinea* як головного виду-постачальника сировини глоду, *Rosa majalis* – для наочного порівняння з *R. canina*.

Висновки

1. На основі аналізу базових підручників, тестів КРОК-1 минулих років, Державного реєстру лікарських засобів, 2-го видання Державної фармакопеї України складено перелік деревних рослин відкритого ґрунту ботанічного саду ОНУ, який нараховує 123 види. Більше половини з них (72) складають лікарські види, які підлягають обов'язковому вивченню у курсі фармацевтичної ботаніки.

2. Серед виявлених 123 деревних рослин колекції ботанічного саду 28 голонасінних та 95 – покритонасінних. Вони розподіляються за 87 родами та 42 родинами. Провідними родинами є *Rosaceae*, *Pinaceae*, *Cupressaceae*, провідними родами – *Prunus* (6 видів), *Juniperus*, *Tilia* (по 5 видів). Серед життєвих форм домінують дерева – їх у 2,3 рази більше, ніж кущів. За флористичним районуванням переважає група рослин з Циркумбореальної області, також помітна участь видів з Середземноморської, Ірано-Туранської та Східно-Азійської областей. Обов'язковому вивченню здобувачами підлягають 72 види. Структура групи обов'язкових для вивчення рослин дещо відрізняється від наведеної для фракції з 123 рослин.

3. Дендрологічна колекція ботанічного саду ОНУ, важлива для фармації, містить 4 види з Червоної книги України та 8 загрозливих видів з Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи.

4. Офіційні рослини з колекції ботанічного саду є джерелом 11 видів ЛРС. Найчастіше використовуються плоди (22 вид з 49), рідше заготовляють листя (16 видів), кору (9 видів), квітки (7 видів), насіння і пагони (по 5 рослин). Бруньки, бутони, корені, траву, гали на листках дають 1–2 види.

5. На старій території ботанічного саду різноманіття деревних рослин, які вивчаються за ОПП «Фармація» на 15 видів більше, ніж на новій території. Коефіцієнт Жаккара становить 0,64, що свідчить про високу подібність дендрофлори двох територій.

6. Список лікарських деревних рослин, запропонованих для розширення колекції ботанічного саду з метою більш повного забезпечення освітніх потреб здобувачів вищої освіти за ОПП «Фармація», нараховує 17 видів.

7. На прикладі виявлення лікарських рослин у дендрологічній колекції ботанічного саду ОНУ можна побачити, наскільки різняться переліки лікарських рослин в різних навчально-методичних виданнях. У зв'язку зі стандартизацією вищої освіти за ОПП «Фармація» та з метою покращання результатів навчання слід звернути увагу на необхідність створення чіткого списку лікарських рослин, обов'язкових для вивчення всіма здобувачами вищої освіти в Україні у курсі фармацевтичної ботаніки, який би обов'язково враховувався і у тестах ЄДКІ «КРОК-1».

Подяка

Висловлюємо щирю подяку співробітникам ботанічного саду ОНУ А. В. Голокоз, Л. І. Лисянській та Т. В. Крицькій за допомогу в уточненні місць зростання деяких рослин у парках ботанічного саду.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023

Список використаної літератури

1. Аналітичні довідки до результатів складання першого етапу Єдиного державного кваліфікаційного іспиту. URL: <https://www.testcentr.org.ua/uk/ispyty/dokumenty-i-materialy/analitichni-dovidky> (дата звернення 15.02.2023).
2. Ботанічний сад ОНУ імені І.І. Мечникова (1867–2017): ілюстр. атлас до моногр. / Н.Г. Возіанова, Т.В. Крицька, Л.В. Левчук, Г.В. Павлова. Одеса: Астропринт, 2019. 68 с.
3. Гонтова Т. М., Руденко В. П., Сіра Л. М. Фармацевтична ботаніка: примірні програми навчальної дисципліни підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти кваліфікації освітньої «Магістр фармації» галузі знань 22 «Охорона здоров'я» спеціальності 226 «Фармація». Київ, 2017. 24 с.
4. Державна Фармакопея України: у 3 т. 2-е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2014. Т. 3. 732 с.
5. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». Доповнення 1. 2016. 360 с. Доповнення 2. 2018. 336 с. Доповнення 3. 2018. 416 с. Доповнення 4. 2020. 600 с. Доповнення 5. 2021. 424 с. Доповнення 6. 2023. 424 с.

6. Державний реєстр лікарських засобів України. URL: www.drlz.com.ua (дата звернення: 22.02.2023).
7. Збірник тестових завдань для ліцензійного іспиту: КРОК 1. Фармація. Київ: Центр тестування професійної компетентності фахівців з вищою освітою напрямів підготовки “Медицина” і “Фармація”, 2018. 24 с.
8. Збірник тестових завдань для складання тестового компоненту ЄДКІ. Етап 1. Спеціальність «Фармація». Крок 1. Київ: Державна організація «Центр тестування професійної компетентності фахівців з вищою освітою напрямів підготовки “Медицина” і “Фармація” при міністерстві охорони здоров’я України, 2021. 17 с.
9. Збірник тестових завдань для складання тестового компоненту ЄДКІ. Етап 1. Спеціальність «Фармація». Крок 1. Київ: Державна організація «Центр тестування професійної компетентності фахівців з вищою освітою напрямів підготовки “Медицина” і “Фармація” при міністерстві охорони здоров’я України, 2022. 16 с.
10. Интродуценти ботаничного саду. Покритонасінні: моногр. / О.М. Слюсаренко О.М. [та ін.], за ред. О.М. Слюсаренко. Одеса: ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2017. 402 с.
11. Каталог лікарських рослин ботаничних садів і дендропарків України: довідковий посібник / І.М. Борсукевич [та ін.]; за ред. А.П. Лебеди. Київ: Академперіодика, 2009. 159 с.
12. Кохно М. А. Каталог дендрофлори України. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 72 с.
13. Немерцалов В. В. Конспект дендрофлори Одеси. Одеса: Альянс Юг, 2007. 95 с.
14. Попович С. Ю., Корінько О. М., Клименко Ю. О. Заповідне паркознавство. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2011. 320 с.
15. Про затвердження критеріїв успішного складання тестових екзаменів ліцензійних інтегрованих іспитів і величини критерію «склав» для інтегрованого тестового іспиту «КРОК» та іспиту з англійської мови професійного спрямування як компонентів єдиного державного кваліфікаційного іспиту у 2021–2023 роках: Наказ МОЗ України від 22.01.2021 № 106, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 02.03.2021 за № 269/35891. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0269-21#Text> (дата звернення 12.02.2023).
16. Про затвердження переліків видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ), та видів рослин та грибів, що виключені з Червоної книги України (рослинний світ): Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів 15 лютого 2021 року № 111. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/495383_672027 (дата звернення: 15.02.2023).
17. Сербін А. Г., Сіра Л. М., Слободянюк Т. О. Фармацевтична ботаніка: підруч. для вузів / за ред. Л. М. Сірої. Вінниця: Нова Книга, 2015. 488 с.
18. Слюсаренко О. М., Петрушенко В. В., Левчук Л. В., Азарова Л. В. Ботаничний сад Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. *Заповідні території України. Ботаничні сади та дендропарки*. Київ: Державна служба заповідної справи Мінприроди України, ПРООН в Україні, 2009. С. 182–188.
19. Фармакогнозія: базовий підруч. для студ. вищ. фармац. навч. закл. (фармац. ф-тів) IV рівня акредитації / В. С. Кисличенко [та ін.]; за ред. В. С. Кисличенко. Харків: НФаУ: Золоті сторінки, 2015. 736 с.
20. Філатова С. О., Осадча Л. П., Азарова Л. В. Интродуценти ботаничного саду. Голонасінні: моногр. Одеса: ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2014. 96 с.
21. Фотогербарий лекарственных растений = Photoherbarium of medicinal plants: учеб. пособие для студентов вузов / Т.Н. Гонтовая [та ін.], под общ. ред. Т.Н. Гонтовой, В.П. Руденко. Харьков: НФаУ: Золотые страницы, 2017. 240 с.
22. Чабан К. В., Крицька Т.В., Левчук Л.В., Возіанова Н.Г. Реконструкція ландшафту та формування колекційного фонду в умовах старовинного парку. *Ландшафтна архітектура в ботаничних садах і дендропарках*: матеріали X міжнар. наук. конф., 12–15 червня 2018 р. Кам’янець-Подільський: ФОП Син О.В., 2018. С. 455–460.
23. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1984. 288 с.
24. Takhtajan A. L. Floristic regions of the world. Berkeley, Los Angeles, London: University of California press, 1986. 523 p.
25. The IUCN Red List. URL: <https://www.iucnredlist.org/search> (дата звернення: 22.01.2023).
26. The Plant List. URL: <https://www.theplantlist.org/search> (дата звернення: 22.01.2023).

О. М. Попова¹, Л. В. Левчук²

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

¹Кафедра ботаніки, фізіології рослин та садово-паркового господарства,
Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: olena-porova@ukr.net

²Ботанічний сад, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна,
e-mail: lyuda.levchuk@gmail.com

ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ ДЕНДРОЛОГІЧНОЇ КОЛЕКЦІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ ОНУ В ОСВІТНІЙ ПРОГРАМІ «ФАРМАЦІЯ»

Резюме

Вступ. Якість результатів навчання з фармацевтичної ботаніки в Україні недостатня. Про це свідчать результати першого етапу Єдиного державного кваліфікаційного іспиту КРОК 1 останніх років. Підвищенню якості освіти сприятиме складання чіткого списку видів лікарських рослин, які здобувачі обов'язково мають вивчити, і знайомство майбутніх фармацевтів з живими рослинами, які зберігаються у колекціях, зокрема ботанічного саду Одеського університету.

Мета. Метою роботи було виявити та охарактеризувати частину дендрологічної колекції відкритого ґрунту дендраріїв ботанічного саду ОНУ, важливу для вивчення у курсі фармацевтичної ботаніки здобувачами другого (магістерського) рівня освіти в межах ОПП «Фармація».

Методика. Вперше досліджено дендрологічну колекцію відкритого ґрунту ботанічного саду на предмет видів, які використовуються в науковій медицині. З метою виявлення останніх проаналізовано рекомендовану МОЗ програму, базові підручники з фармацевтичної ботаніки, фармакогнозії, державний реєстр лікарських засобів України, 2-е видання Державної фармакопеї України. Аналіз видового списку проведено за традиційною флористичною методикою.

Основні результати. В дендрологічній колекції ботанічного саду виявлено 123 види з 42 родин та 87 родів, які розглядаються у підручнику з фармацевтичної ботаніки. Серед них провідними родинами є *Rosaceae*, *Pinaceae*, *Cupressaceae*. Серед життєвих форм домінують дерева, їх у 2,3 рази більше, ніж кущів. Переважають рослини з Циркумбореальної, Середземноморської та Ірано-Туранської флористичних областей. Чотири види занесені до Червоної книги України (*Juniperus excelsa*, *J. foetidissima*, *Sorbus aucuparia*, *Taxus baccata*) та 8 потребують охорони у світовому масштабі (*Abies numidica*, *A. pinsapo*, *Aesculus hippocastanum*, *Cedrus atlantica*, *C. libani*, *Eucommia ulmoides*, *Ginkgo biloba*, *Sequoiadendron giganteum*), два до них наближаються (*Platycladus orientalis*, *Pistacia vera*). Половина з цих видів використовується у науковій медицині. Рослини для обов'язкового вивчення здобувачами нараховують 72 види з 58 родів та 34 родин, включають 11 голонісінних та 61 покритонасінну рослину. Серед них також переважають дерева, але їх більше, ніж кущів, тільки в 1,6 разів. Серед них 1 вид з Червоної книги України та 6 таких, що знаходяться під загрозою зникнення у світовому масштабі.

На старій території ботанічного саду різноманіття деревних рослин, які вивчаються за ОПП «Фармація», дещо більше, ніж на новій. Коефіцієнт Жаккара становить 0,64.

Виявлено офіційні деревні рослини, які відсутні у колекції ботанічного саду, але можуть тут зростати відповідно до вимог до оточуючого середовища. Для розширення колекції з метою більш повного забезпечення освітніх потреб здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Фармація» запропоновано 17 видів.

Ключові слова: медична освіта; фармацевтична ботаніка; ЄДКІ; дендрофлора; охорона рослин *ex situ*; офіційні лікарські рослини; м. Одеса

О. М. Попова¹, Л. В. Левчук²

Odesa I. I. Mechnikov National University

¹ Department of Botany, Plant Physiology and Garden and Park Management, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: olena-popova@ukr.net

² Botanical Garden, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: lyuda.levchuk@gmail.com

MEDICINAL PLANTS IN THE DENDROLOGY COLLECTION OF THE BOTANICAL GARDEN OF ONU IN THE EDUCATIONAL PROGRAM «PHARMACY»

Abstract

Introduction. The quality of educational results in pharmaceutical botany in Ukraine is insufficient. This is evidenced by the results of the first stage of the Unified state qualification exam “KROK-1” (“STEP 1”) in recent years. The improvement of the quality of education will be facilitated by the compilation of a clear list of types of medicinal plants, which applicants must study, and the acquaintance of future pharmacists with live plants stored in collections, in particular, the botanical garden of Odesa University.

Aim. The purpose of the work was to identify and characterize a part of the dendrological collection of the open ground in the arboretum of the National University Botanical Garden, important for studying in the course of pharmaceutical botany by students of the second (master's) level of education within the OPP «Pharmacy».

Methods. For the first time, the dendrological collection of the open soil of the botanical garden was investigated for species used in scientific medicine. In order to identify the latter, the program recommended by the Ministry of Health, basic textbooks on pharmaceutical botany, pharmacognosy, the state register of medicinal products of Ukraine, the 2nd edition of the State Pharmacopoeia of Ukraine were analyzed. The analysis of the species list was carried out according to traditional floristic methods.

Main results. In the dendrological collection of the botanical garden, 123 species from 42 families and 87 genera were found, which are considered in the textbook on pharmaceutical botany. Among them, the leading families are *Rosaceae*, *Pinaceae*, and *Cupressaceae*. Among life forms, trees dominate, with bushes being 2.3 times less frequent. Plants from the Circumboreal, Mediterranean and Irano-Turanian floristic regions predominate. Four species are listed in the Red Book of Ukraine (*Juniperus excelsa*, *J. foetidissima*, *Sorbus aucuparia*, *Taxus baccata*) and 8 require protection on the global scale (*Abies numidica*, *A. pinsapo*, *Aesculus hippocastanum*,

Cedrus atlantica, *C. libani*, *Eucommia ulmoides*, *Ginkgo biloba*, *Sequoiadendron giganteum*), two are close to them (*Platycladus orientalis*, *Pistacia vera*). More than half of these species are used in scientific medicine. There are 72 species (11 gymnosperms and 61 angiosperms) from 58 genera and 34 families which are studied under the OPP «Pharmacy». Trees also predominate among them, but the number of trees is only 1.6 times higher than of bushes. Among them there is 1 species from the Red Book and 6 species that are under threat of extinction on the global scale.

The woody plants diversity is higher on the old territory of the botanical garden than on the new one. Zhakkar's coefficient is 0.64.

Official woody plants were identified, which are not in the collection of the botanical garden, but can grow here in accordance with the requirements for the surrounding environment. 17 species are proposed to expand the collection in order to more fully meet the educational needs of students of higher education in the specialty «Pharmacy».

Key words: medical education; pharmaceutical botany; EDKI; dendroflora; plant protection *ex situ*; official medicinal plants; Odesa

References

1. “Analytical references to the results of the first stage of the Unified State Qualification Examination.” (2018–2022) [“Analitichni dovidky do rezultativ skladannia pershoho etapu Yedynoho derzhavnoho kvalifikatsiinoho ispytu.”] Access mode: <https://www.testcentr.org.ua/uk/ispyty/dokumenty-i-materialy/analitichni-dovidky>
2. Borsukevich L.M., Lutsyshyn N.V., Mohylyak M.G. and others. (2009) “Catalog of medicinal plants of botanical gardens and arboretums of Ukraine” [“Kataloh likarskykh roslyn botanichnykh sadiv i dendroparkiv Ukrainy”]. Kyiv: Akadempriodika, 159 p.
3. Vozianova N.G., Krytska T.V., Levchuk L.V., Pavlova G.V. (2019) “Botanical Garden of the I.I. Mechnikov National University (1867–2017): illustration. atlas do monogr.” [“Botanichnyi sad ONU imeni I.I. Mechnikova (1867–2017): iliustr. atlas do monogr.”]. Odesa: Astroprint, 68 p.: illustrations.
4. Hontova T.M., Rudenko V.P., Syra L.M. (2017) “Pharmaceutical botany: an exemplary curriculum for the training of specialists of the second (master's) level of higher education of the qualification «Master of Pharmacy» in the field of knowledge 22 «Health care» i» specialty 226 «Pharmacy». [“Farmatsevtichna botanika: prymirna prohrama navchalnoi dystsypliny pidhotovky fakhivtsiv druhooho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity kvalifikatsii osvitnoi «Mahistr farmatsii» haluzi znan 22 «Okhorona zdorovia» spetsialnosti 226 «Farmatsiia».]. Kyiv, 24 p.
5. Gontovaya T.N., Serbyn A. G., Rudenko V.P. et al. (2017) “Photoherbarium of medicinal plants”. [“Fotogerbariy lekarstvennykh rasteniy = Photoherbarium of medicinal plants: ucheb. posobie dlya studentov vuzov.”]. Kharkiv, NFau: Golden Pages. 240 p.
6. “State Pharmacopoeia of Ukraine” (2014)[“Derzhavna Farmakopeia Ukrainy”]: in 3 volumes, 2nd edition. Kharkiv: State Enterprise «Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicinal Products», Vol. 3. 732 p.
7. “State Pharmacopoeia of Ukraine” (2016–2023) [“Derzhavna Farmakopeia Ukrainy”]:. 2nd edition Kharkiv: State enterprise «Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicinal Products». Supplement 1. 2016. 360 p. Supplement 2. 2018. 336 p. Supplement 3. 2018. 416 p. Supplement 4. 2020. 600 p. Supplement 5. 2021. 424 p. Supplement 6. 2023. 424 p.
8. “State Register of Medicinal Products of Ukraine” (2023) [Derzhavnyi reiestr likarskykh zasobiv Ukrainy] [Electronic resource]. – Access mode: www.drlz.com.ua.
9. “Collection of test tasks for the licensing exam: STEP 1. Pharmacy.” (2018) [“Zbirnyk testovykh zavdan dlia litsenziinoho ispytu: KROK 1. Farmatsiia.”] Kyiv. Center for testing the professional competence of specialists with higher education in the areas of training «Medicine» and «Pharmacy», 24 p.
10. “Collection of test tasks for the preparation of the test component of the EDKI. Stage 1. Specialty «Pharmacy». Step 1.” (2021) [“Zbirnyk testovykh zavdan dlia skladannia testovoho komponentu YeDKI. Etap 1. Spetsialnist «Farmatsiia». Krok 1.”] Kyiv: State organization «Center for testing the professional competence of specialists

- with higher education in the fields of training «Medicine» and «Pharmacy» under the Ministry of Health of Ukraine, 17 p.
11. “Collection of test tasks for the preparation of the test component of the EDKI. Stage 1. Specialty «Pharmacy». Step 1.” (2022) [“Zbirnyk testovykh zavdan dlia skladannia testovoho komponentu YeDKI. Etap 1. Spetsialnist «Farmatsiia». Krok 1.”] Kyiv: State organization «Center for testing the professional competence of specialists with higher education in the fields of training «Medicine» and «Pharmacy» under the Ministry of Health of Ukraine, 16 p.
 12. Kyslychenko V. S., Zhuravel I. O., Marchyshyn S. M. and others; (2015) “Pharmacognosy: a basic textbook. for students higher pharmacy education closing (Pharmacy) IV level of accreditation” [“Farmakohnoziia: bazovyi pidruch. dlia stud. vyshch. farmats. navch. zakl. (farmats. f-tiv) IV rivnia akredyatsii”] Kharkiv: NFAU: Golden Pages, 736 p.
 13. Kohno M.A. (2001) “Catalog of dendroflora of Ukraine” [Kataloh dendroflory Ukrainy]. Kyiv: Phytosocial Center, 2001. 72 p.
 14. Nemertsalov V.V. (2007) “Synopsis of dendroflora of Odesa” [Konspekt dendroflory Odesy]. Odesa: Alliance Yug, 95 p.
 15. Popovych S. Yu., Korinko O. M., Klymenko Yu.O. (2011) “Protected park science” [Zapovidne parkoznavstvo]. Ternopil: Educational book. Bohdan, 2011. 320 p.
 16. “On the approval of the criteria for successfully passing the license integrated exams and the value of the «passed» criterion for the integrated test exam «KROK» and the professional English language exam as components of the single state qualification exam in 2021–2023.” [“Pro zatverdzhennia kryteriiv uspishnoho skladannia testovykh ekzameniv litsenziinykh intehrovanykh ispytiv i velychyny kryteriiu «sklav» dlia intehrovanooho testovoho ispytu «KROK» ta ispytu z anhliiskoi movy profesiinoho spriamuvannia yak komponentiv yedynoho derzhavnogo kvalifikatsiinoho ispytu u 2021–2023 rokakh.”] Order of the Ministry of Health of Ukraine dated January 22, 2021 No. 106, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on March 2, 2021 under No. 269/35891. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0269-21#Text>
 17. “On approval of lists of plant and mushroom species included in the Red Book of Ukraine (plant life), and plant and mushroom species excluded from the Red Book of Ukraine (plant life)” [Pro zatverdzhennia perelikiv vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyatsia do Chervonoii knyhy Ukrainy (roslynnyi svit), ta vydiv roslyn ta hrybiv, shcho vykliucheni z Chervonoii knyhy Ukrainy (roslynnyi svit)]. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of February 15, 2021 No. 111. [Electronic resource]. Access mode: https://zakononline.com.ua/documents/show/495383_672027
 18. Serbin, A.G., Syra L.M., Slobodyaniuk, T.O. (2015) “Pharmaceutical botany: textbook. for universities” [“Farmatsevtichna botanika: pidruch. dlia universitetiv”] Vinnytsia: Nova Kniga, 2015. 488 p.
 19. Slyusarenko O.M., Osadcha L.P., Azarova L.V., Filatova S.O., Chaban K.V. (2017) “Introducers of the botanical garden. Angiosperms: monogr.” [Introdutsenty botanichnoho sadu. Pokrtonasinni: monohr.] ONU, 402 p.
 20. Slyusarenko O.M., Petrusenko V.V., Levchuk L.V., Azarova L.V. (2009) “Botanical Garden of the Mechnikov Odessa National University. Protected territories of Ukraine. Botanical gardens and arboretums.” [“Botanichnyi sad Odeskoho natsionalnoho universytetu imeni I.I. Mechnykova / O.M. Slyusarenko, V.V. Petrusenko, L.V. Levchuk, L.V. Azarova. Zapovidni terytorii Ukrainy. Botanichni sady ta dendroparky.”] Kyiv: State Service of Protected Affairs of the Ministry of Natural Resources of Ukraine, UNDP in Ukraine. P. 182–188.
 21. Filatova S. O., Osadcha L.P., Azarova L.V. (2014) “Introduction to the botanical garden. Gymnosperms: monogr.” [“Introdutsenty botanichnoho sadu. Holonasinni: monohr.”] ONU, 96 p.
 22. Chaban K.V., Krytska T.V., Levchuk L.V., Vozianova N.G. (2018) “Reconstruction of the landscape and formation of the collection fund in the conditions of an ancient park. Landscape architecture in botanical gardens and arboretums: Coll. Art. X International. of science conference, June 12–15” [“Rekonstruktsiia landshaftu ta formuvannia kolektsiinoho fondu v umovakh starovynnoho parku. Landshaftna arkhitektura v botanichnykh sadakh i dendroparkakh: Zb. st. Kh mizhnarod. nauk. konf., 12–15 chervnia 2018 r.”] Kamianets-Podilskyi: FOP Sisyn O.V., 2018. P. 455–460.
 23. Schmidt V.M. (1984) “Mathematical methods in botany: Textbook. allowance [“Matematicheskie metodyi v botanike: Ucheb. posobie.”]. Leningrad: Leningrad Publishing House. Mr. University, 1984. 288 p.
 24. Takhtajan A.L. Floristic regions of the world. Berkeley, Los Angeles, London: University of California press, 1986. 523 p.
 25. The IUCN Red List. URL: <https://www.iucnredlist.org/search>
 26. The Plant List. URL: <https://www.theplantlist.org/search>

**ГЕНЕТИКА
І МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ**



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284685](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284685)

УДК 575.224.46.044

Ю. М. Штреблева, магістр

О. Р. Омельченко, магістр

О. Л. Січняк, к.б.н., доцент

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

Біологічний факультет, кафедра молекулярної біології, біохімії та генетики,

Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Досліджували генотоксичний потенціал аніонних і катіонної поверхнево-активних речовин (ПАР). Як тест-об'єкт використовували пшеницю м'яку. За їх дії суттєво зменшувався мітотичний індекс в кореневій меристемі паростків та зростала частка клітин, які містять хромосомні аберації. Обробка рослин ПАР достовірного збільшувала частку аномальних мікроспороцитів в обох поділах мейозу. Ступінь порушень прямо пропорційний концентрації застосованих ПАР. За усіма дослідженими показниками дія катіонної ПАР була більшою, ніж дія обох аніонних ПАР. Обговорюється можливий вплив ПАР на генетичний поліморфізм пшениці.

Ключові слова: аніонні ПАР; катіонні ПАР; пшениця м'яка; мітотичний індекс; анафазний тест; мейоз; генетичний поліморфізм

Поверхнево-активні речовини (ПАР) широко застосовуються як мийні засоби, антикорозійні речовини, емульгатори і суспензатори пестицидів, у виробництві мінеральних добрив і кормових добавок, компонентів лікарських препаратів і косметики. Практично все населення планети контактує з ПАР, кількість яких у довкіллі зростає з кожним роком. Використання синтетичних ПАР спричиняє забруднення, порівняні із забрудненням нафтою Світового Океану і пестицидами – ґрунту і води, отже ця проблема має глобальний характер [3].

Проведено численні дослідження впливу ПАР на живі організми. Показано зв'язування ПАР поверхнево-активних білків і пептидів. Модифікація просторової структури поліпептидного ланцюга і зміна заряду може привести до незвичайної біологічної активності [11]. Аніонна ПАР додецилсульфат натрію (ДСН) викликає інгібування АТФ-азної активності Р-глікопротеїну, пошкодження мембранних структур та ініціювання відповіді на окисний стрес [18, 24]. ДСН викликає перекисне окиснення ліпідів, збільшення продукції глутатіону і зміни в метаболізмі вуглецю [24].

За дослідження впливу неіоногенної ПАР 4-н-нонілфенолу (НФ) у кінських бобів (*Vicia faba* L.) спостерігали суттєве пригнічення мітотичної активності

в кореневій меристемі, а обприскування квіткових бутонів протягом 1–4 днів викликало появу аномальних материнських клітин пилку (МКП). Спостерігали різноманітні хромосомні аномалії як мітотичних, так і мейотичних поділів. Крім того, НФ індукував зміни у спектрі ізоензимів естераз [7].

Порівняння генотоксичного потенціалу катіонної ПАР на основі глютамінової кислоти (ГК) і аніонної ПАР ДСН на кукурудзі (*Zea mays* L.), показало, що з ростом концентрації ПАР різко і суттєво зменшується мітотичний індекс клітин кореневої меристеми в порівнянні з контролем. Загальна кількість хромосомних аберацій, таких як злипання хромосом, відставання хромосом, утворення хромосомних мостів збільшується з ростом концентрації ДСН з 10 до 26%, за впливу ГК – з 6 до 9%, в той час як в контролі ця величина не перевищувала 4% [16].

Дію різних концентрацій ДСН і ГК на ДНК клітин кореня аналізували за допомогою RAPD-PCR. Виявлені зміни геному, які суттєво корелюють з пригніченням швидкості росту коренів, змінами мітотичного індексу і ростом хромосомних аберацій [16].

Метою даної роботи було дослідження генотоксичного потенціалу аніонних та катіонної ПАР.

Матеріали і методи дослідження

Матеріалом для досліджень слугувала озима м'яка пшениця *Triticum aestivum* L. cv. Фантазія одеська. В роботі використовували дві аніонні ПАР – стеарат натрію і алкілбензолсульфокислоту – і одну катіонну ПАР – Praerapagen TQ. Ці речовини застосовуються у виробництві миючих засобів, шампунів, фарб для волосся, поліолефінів, каучуків і гуми, в сухих будівельних сумішах, як емульгатори при виробництві пестицидів, у косметичці, фармацевтиці тощо.

В подібних дослідженнях концентрація ПАР від 100 до 400 ppm (або аналогічні у інших одиницях виміру) вважається високою і біологічно ефективною [15–17]. Тому було застосовано дві концентрації ПАР – 0,01% (відповідає концентрації 100 ppm) і 0,04% (відповідає концентрації 400 ppm). Як контроль використовували дистильовану воду.

Оцінювали вплив ПАР на величину мітотичного індексу, а також регулярність мітозу в кореневій меристемі паростків. Насіння пророщували за стандартною методикою, фіксували у оцтовому алкоголі (3:1). Мітотичний індекс є показником рівня мітотичної активності клітин і може вказувати на нейтральність, мітотоксичність або стимулювальну мітоз дію досліджуваного фактора. Для визначення мітотичного індексу на цитологічних препаратах враховували усі стадії мітозу, що зустрічаються серед меристематичних клітин. Величину мітотичного індексу визначали як відношення кількості клітин, що діляться, до загальної кількості переглянутих клітин, та виражали у відсотках:

$$MI = \frac{m}{n} 100, \%$$

де n – кількість досліджуваних клітин; m – кількість клітин, що діляться [23].

Обсяг вибірки для кожного варіанту складав 1,6 тис. клітин. Генотоксичність ПАР оцінювали за допомогою ана-телофазного метода [23], досліджуючи кореневу меристему паростків. Фіксовані корінці забарвлювали 1% оцтокарміном. Готували давлені препарати та переглядали 73–108 клітин (ана- і телофаз) на варіант досліду.

Для дослідження впливу ПАР на плин мейозу рослини на стадії виходу у трубку, приблизно за два тижні до здійснення мейозу однократно рясно обприскували розчинами ПАР у концентрації 0,01% і 0,04%. Як контроль використовували дистильовану воду. Колосся на стадії мейозу фіксували у оцтовому алкоголі (3:1). Матеріал забарвлювали 1% оцтокарміном після попередньої обробки 4% розчином залізоамонійних галунів і готували тимчасові давлені препарати з пиляків [23].

Отримані результати опрацьовували статистично [1], обраховуючи середні значення та похибки середніх. Для аналізу результатів використовували критерій Стьюдента.

Результати дослідження та їх обговорення

Цитогенетичні ефекти ПАР в кореневій меристемі пшениці. Дослідження мітотичного індексу в кореневій меристемі паростків показало суттєве його зменшення (табл. 1). В усіх випадках спостерігалася більш м'яка дія катіонного препарату Праераген ТQ. За дії концентрації 0,01% мітотичний індекс достовірно не відрізнявся від контролю, в той час як обидва аніонні препарати достовірно зменшували мітотичний індекс. Із збільшенням концентрації до 0,04% мітотичний індекс зменшувався сильніше. Схожі результати були отримані на багатьох рослинних об'єктах при випробуванні різних типів і концентрацій ПАР [7, 16, 19].

При вивченні цитогенетичних наслідків впливу ПАР обраховували частку клітин з хромосомними абераціями, а також спектр хромосомних аберацій. За дії ПАР (табл. 1) суттєво зростає частка клітин, які містять хромосомні аберації. Це зростання прямо пропорційне концентрації препаратів. При цьому слід зазначити, що дія катіонного препарату Праераген ТQ була менш шкідливою, ніж дія обох аніонних препаратів.

Відомості про генотоксичність різних типів ПАР різноманітні. На різних тест-об'єктах показана більша генотоксичність аніонних ПАР [16, 19, 21]. В більш ранніх роботах наводилися результати про більшу генотоксичність як аніонних, так і катіонних ПАР [10]. Ці протиріччя можна пояснити, з одного боку, тим, що за минули роки прогрес у покращанні препаратів був більшим при створенні катіонних ПАР, зокрема синтезованих на основі амінокислот.

З іншого боку, спектр препаратів сьогодні настільки широкий, що результат дослідження певною мірою залежить від набору препаратів, обраних для дослідження.

В більшості досліджених клітин мітоз протікав нормально. Серед порушень на стадії ана-телофази спостерігали клітини з відставанням хромосом, фрагментами, утворенням хромосомних мостів.

Таблиця 1

Мітотичний індекс в кореневій меристемі та частота клітин з аберациями хромосом у озимій м'якої пшениці Фантазія одеська в залежності від типу і концентрації ПАР

Варіант досліджу	Мітотичний індекс	Частка клітин з хромосомними аберациями, %
Контроль	6,8±0,6	2,8±1,6
Стеарат натрію, 0,01%	5,6±0,6*	10,0±3,2*
Стеарат натрію, 0,04%	4,6±0,5**	24,3±5,0**
АБСК ¹ , 0,01%	5,3±0,6**	11,8±3,5*
АБСК, 0,04%	4,5±0,5**	27,4±5,2**
Праераген TQ, 0,01%	6,5±0,6	6,7±2,5
Праераген TQ, 0,04%	5,5±0,6*	10,2±3,2*

* – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,05$

** – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,01$

¹ – алкілбензолсульфокислота

Спектр хромосомних абераций, що спостерігався за дії ПАР, наведено у табл. 2. Всі типи хромосомних абераций спостерігалися набагато частіше із збільшенням концентрації ПАР. За дії катіонного препарату це зростання відбувалося у меншому ступені.

Таблиця 2

Спектр хромосомних абераций у кореневій меристемі озимій м'якої пшениці Фантазія одеська за дії ПАР (n=73–108)

Варіант досліджу	Частота клітин з, %			
	відставанням хромосом	мостами	фрагментами	комплексними порушеннями
Контроль	1,9±1,3	0,9±0,9	0,9±0,9 ²	0,9±0,9 ²
Стеарат натрію, 0,01%	4,4±2,2	2,2±1,5	1,1±1,1	2,2±1,5
Стеарат натрію, 0,04%	10,8±3,6*	4,1±2,3	8,1±3,2*	2,7±1,9
АБСК ² , 0,01%	4,7±2,3	2,4±1,7	3,5±2,0	1,2±1,2
АБСК, 0,04%	11,0±3,7*	5,5±2,7	8,2±3,2*	2,7±1,9
Праераген TQ, 0,01%	3,8±1,9	1,9±1,3	1,9±1,3	1,9±1,3
Праераген TQ, 0,04%	5,7±2,5	1,1±1,1	2,3±1,6	1,1±1,1

* – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,05$

¹ – алкілбензолсульфокислота

² – показник розрахований з використанням поправки Ван-дер-Вардена

Ана-телофази з відставанням хромосом зустрічалися з найбільшою частотою. Цей тип порушень мітозу пов'язують із пошкодженням кінетохору [22]. Другими за частотою були клітини з хромосомними фрагментами. Фрагментація хромосом виникає у пухлинних клітинах, за вірусної інфекції, внаслідок дії іонізуючого випромінювання або мутагенів [22], тобто фрагменти є наслідками розривів хромосом. Фрагменти можуть бути одиночними, парними і множинними. За процесів репарації розриви хромосом здатні до возз'єднання, внаслідок чого виникають мости.

Клітини з мостами складала третю за частотою групу. Наявність одиночних мостів свідчить про здійснення переважно хроматидних асиметричних обмінів [20]. Спостерігали також поодинокі клітини, в яких одночасно відбувалося декілька типів порушень.

Таким чином, основним типом цитогенетичних аберацій внаслідок дії випробуваних ПАР є пошкодження кінетохору і розриви хромосом, які проявляються у вигляді фрагментів і мостів. Разом з тим, цитоскелет клітини за дії зазначених ПАР майже не ушкоджується. Про це свідчить відсутність таких аномалій мітозу як завмирання мітозу на стадії метафази (так званий К-мітоз), розсіювання хромосом, несиметричний мітоз [22].

В інших дослідженнях спостерігався більш широкий спектр хромосомних аберацій. Так, в роботі [19] за дослідження дії різних типів ПАР повідомляється про наявність таких порушень: на стадії метафази – злипання хромосом та транслокації; на стадії анафази – утворення мостів, фрагментація та відставання хромосом, мультиполярне розходження хромосом; на стадії телофази – утворення мікроядер, багатоядерність.

За дослідження безпечності 11 ПАР (аніонних, амфотерних, неіоногенних, катіонної) визначали ступінь їхньої цитотоксичної дії з використанням суспензійної культури сперматозоїдів бика. Аналіз та узагальнення отриманих результатів досліджень дозволяє зробити висновок, що лише одна з 11 досліджених ПАР (катіонна) не спричиняє шкіро-подразнюючої дії, і її можна віднести до 4 класу небезпеки за класифікацією ДСТУ 12.1.007. Для виявлення класу токсичності та оцінки подразнюючого ефекту інших ПАР необхідно проводити додаткові розширені токсикологічні дослідження [5].

Цитогенетичні ефекти ПАР в спорогенній тканині пшениці. Застосована обробка рослин розчинами ПАР привела до високо достовірного збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому мейотичному поділі (табл. 3). Частка аномалій зростала прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР. При цьому найбільш м'якою дією характеризувалася катіонна ПАР Pгаераген TQ. Обидві аніонні ПАР мали більш жорстку дію, причому за застосування АБСК ступінь порушень у МКП був найбільшим.

Відмінностей між першим і другим мейотичним поділами за частотою утворення дефектних МКП не виявлено. В інших дослідженнях відмічалася більша уразливість першого мейотичного поділу [7, 8, 13]. Ці розбіжності мож-

на пояснити декількома причинами. По-перше, ці результати отримані на бобових – дводольних рослинах, тоді як у представленій роботі використовувалася пшениця – злакова однодольна рослина. По-друге, відрізнявся спосіб обробки. Ми застосовували однократне обприскування за два тижні до мейозу. В роботі [7] використовували обприскування під час бутонізації, внаслідок чого частина бутонів загинула. В інших наведених роботах взагалі використовували фунгіцид [8] та інсектицид [13].

Таблиця 3

Частка аномальних МКП у мейозі озимої м'якої пшениці в залежності від типу і концентрації ПАР

Варіант дослідю	Перший поділ			Другий поділ		
	Всього МКП	Аномальних МКП		Всього МКП	Аномальних МКП	
		шт.	%		шт.	%
Контроль	900	2	0,2±0,2	902	3	0,3±0,3
Стеарат натрію, 0,01%	879	13	1,5±0,4*	925	14	1,5±0,4*
Стеарат натрію, 0,04%	919	25	2,7±0,5**	933	26	2,8±0,5**
АБСК ¹ , 0,01%	885	23	2,6±0,5**	925	23	2,5±0,5**
АБСК, 0,04%	929	33	3,6±0,6**	938	32	3,4±0,6**
Праераген TQ, 0,01%	903	13	1,4±0,4*	903	13	1,4±0,4*
Праераген TQ, 0,04%	933	18	1,9±0,4**	927	19	2,0±0,5**

* – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,05$

** – відмінності від контролю достовірні при $P \leq 0,01$

¹ – алкілбензолсульфофосфат

Застосування неіоногенних ПАР Твін-20, Твін-65, Твін-85, Тритон X-100 і Тритон X-305 [2] не виявило залежності частоти аномалій від фази мейозу, однак в цій роботі наводяться неочікувано високі частоти формування МКП з аномаліями – від 19,5 до 32,5%. В нашому дослідженні за максимальної концентрації препарату АБСК складала лише 3,5%. Втім слід зазначити, що в роботі [2] застосовували інший спосіб застосування ПАР. По суті, насіння пшениці були протравлені протягом п'яти годин 1% розчином різних типів ПАР при 25 °С. Спостережувані аномалії мейозу є наслідком цієї обробки. В роботі [7] спостерігали в середньому, в залежності від способу обробки, від 0,7 до 3,7% аномальних МКП. Обприскування рослин можливо було менш шкодочинними для плинну мейозу у пшениці за рахунок наявності воскового нальоту на поверхні листків і стебла, що фактично зменшило дозу ПАР, яка проникла до спорогенної тканини.

Аналіз порушень, які спостерігалися у мікроспороцитах, можна звести до наступних явищ. На всіх стадіях мейозу спостерігалася злипання хромосом. Зокрема на рис. 1в наведено мікрофотографію діади мікроспор, в обох кліти-

нах якої замість рівномірно розподіленого по ядрах хроматину спостерігається нерівномірний розподіл глибок надспіралізованого хроматину по ядрах.

Як у першому, так і у другому мейотичному поділі спостерігалось відставання хромосом, утворення мостів, фрагментів, викид хромосом за межі основної групи хромосом, утворення мікроядер (рис. 1). Також у другому мейотичному поділі спостерігали асинхронність у клітинах діади. Так на рис. 1е наведено другий поділ у діаді, де в одній з клітин відбувається телофаза II, а в іншій – тільки починається метафаза II, хромосоми навіть ще не вишикувалися у екваторіальну пластинку. Отже, внаслідок дії ПАР спостерігалось переважно пошкодження хроматину. Подібні порушення мейозу спостерігалися і в інших роботах [2, 7].

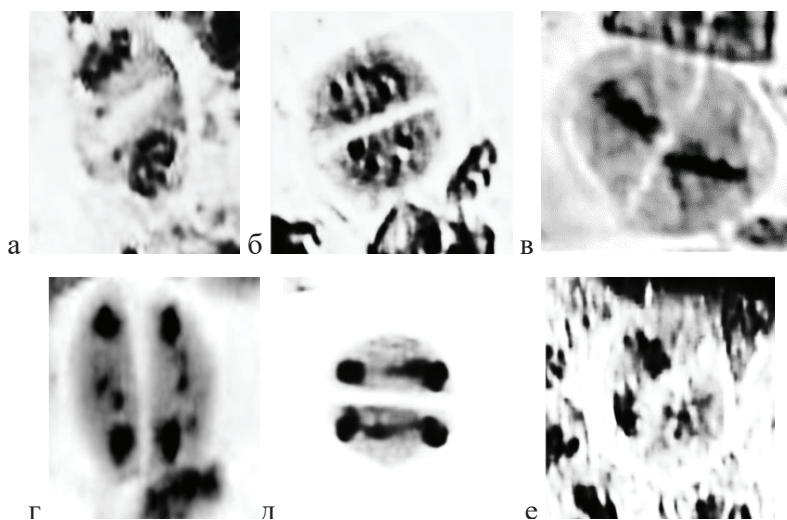


Рис. 1. Діада з мікроядрами (а); утворення в ядрах діади надспіралізованих глибок хроматину (б); метафаза II, непаралельне розташування веретен поділу в клітинах діади, викид хромосом з екваторіальної пластинки (в); телофаза II, відставання хромосом – фрагменти (г); телофаза II з мостами (д); асинхронність другого поділу – в одній клітині діади ТII (з мікроядром), в іншій – початок МII (е). Об'єктив $\times 20$. Окуляр $\times 15$.

Висловлювалася думка, що злипання хромосом є результатом зчеплення ниток хроматину внаслідок конденсації при підготовці до поділу клітини [6]. Однак це дещо механістичне уявлення. Сучасні дослідження формування хромосом, процесів їх спіралізації та запобігання передчасному розходженню відводять велику роль білку Кі-67. З'ясовано, що в клітинах зі зменшеним вмістом білка Кі-67 після фрагментації ядерної оболонки під час клітинного поділу хромосоми, які до того були представлені як просторово розділені структури за рахунок механічного контакту з ядерною оболонкою, після виходу у цитоплазму

проявляються як єдина хроматинова маса. Дослідження поведінки кінетохорів в таких клітинах показало, що хромосоми втратили здатність до нормального руху. Вони можуть переміщатися лише за рахунок адгезії. Втрата просторового розділу між хромосомами може порушити зборку веретена поділу і включення хромосом в метафазну пластинку [12].

Важливим для мети нашого дослідження є факт, що білок Ki-67 має амфіфільну структуру і має характерні риси поверхнево-активних речовин. З'ясовано, що будь-який позитивно заряджений білок, що зв'язує хромосоми, може їх розділяти. Однак білок Ki-67 має додаткові властивості, зумовлені його розмірами і особливостями розташування на поверхні хромосоми, що робить його необхідним для подальшого розділення хромосом. Білок Ki-67 потрібний для утримування окремих хромосом, диспергованих в цитоплазмі після їх вивільнення з механічно жорсткої ядерної оболонки. Білок Ki-67 забезпечує цю функцію через механізм поверхнево активної речовини на межі фаз між хроматином і цитоплазмою [12]. Слід зазначити, що розподіл фаз є важливим принципом, який лежить в основі утворення інших позаелементних клітинних органел, таких як ядерця або центросоми [9, 25]. Отже, проникнення екзогенних ПАР до спорогенної тканини може приводити до заміщення високоефективного спеціалізованого білка малоефективними речовинами з подібною дією. Наслідком цього може бути злипання хромосом.

Прихильники теорії «липкості» хромосом вважають, що цим можна пояснити формування мостів і наступне припинення анафазного поділу [14]. Однак слід мати на увазі й інші чинники, які здатні приводити до розривів хромосом, їх возз'єднання та запуску циклу «мост–розрив–злиття».

ПАР та продукти їх метаболізму – альдегіди, кетони, спирти тощо через метаболіти перекісного окиснення ліпідів – малоновий діальдегід, дієнові кон'югати, перекиси, гідроперекиси, вільні радикали, маючи мембранотропну дію, – приводять до пошкодження генетичного апарату клітини. Це виражається у виникненні хромосомних аберацій: дицентриків, транслокацій, делецій, розривів однострижкових хромосом, зменшенні синтезу ДНК, РНК і білка [4].

Як відомо, ПАР широко використовуються в агрономії та сільському господарстві для захисту рослин з метою утворення емульсій; для підвищення ефективності транспортування поживних компонентів до рослин через мембранні стінки. Але, як можна бачити з проведених досліджень, не виключений їхній вплив на генетичний апарат пшениці, і, якщо він не буде фатальним, це може привести до формування генетичного поліморфізму оброблюваних сортів. З одного боку, це вимагатиме приділяти більше уваги насінництву культур, щоб підтримувати типовість сорту. З іншого боку, це може бути корисним явищем з огляду на те, що з'являється нове джерело мінливості в генотипах оброблюваних сортів.

Висновки

1. Мітотичний індекс в кореневій меристемі паростків достовірно зменшується за дії досліджуваних ПАР. При цьому суттєво зростає частка клітин, які містять хромосомні аберації. Це зростання прямо пропорційне концентрації препаратів.

2. Обробка рослин ПАР достовірного збільшувала частку аномальних МКП як у першому, так і у другому мейотичному поділі прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР.

3. За усіма дослідженими показниками дія катіонного препарату Праераген ТQ була більш м'якою, ніж дія обох аніонних ПАР.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2023

Список використаної літератури

- Буджак В. В. Біометрія. Чернівці: Рута, 2013. 327 с.
- Омирбекова Н. Ж., Жунусбаева Ж. К., Жусупова А. И. Цитогенетический эффект поверхностно-активных веществ на мягкую пшеницу. *KazNU Bulletin. Ecology series*. 2012. № 4 (36). С. 309–315.
- Проданчук М. Г., Мудрий І. В., Калашніков А. А. Поверхнево-активні речовини: токсиколого-гігієнічні та мікробіологічні аспекти. К.: «Медицина України», 2006. 223с.
- Швець В. І., Тимофійчук І. Р., Семененко С. Б., Швець Н. В. Вплив поверхнево-активних речовин на організм людини. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2017. Т. 16, № 2 (60). С. 115–119. DOI:10.24061/1727-4338.XVI.2.60.2017.23
- Яловенко О. І., Раєцька О. В., Голіченков О. М., Бабій В. Ф., Кондратенко О. Є, Пімушина М. В. Оцінка токсичності поверхнево-активних речовин на культурі рухливих клітин. *Environment & Health*. 2014. № 2. С. 15–18.
- Abd-El-Salam A. Z. E., Hassan H. Z., Soliman K. H. The mutagenicity of two aromatic systemic pesticides using three biological systems. *Egypt. J. Genet. Cytol.* 1996. V. 25. P. 171–184.
- Adam F. I. M., El-Ashry Z. M. Evaluation of Genotoxicity of 4-n-Nonylphenol using *Vicia faba* L. *Journal of Biological Sciences*. 2010. V. 10, № 4. P. 368–372. <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2010/368-372.pdf>
- Amer S. M., Mohamed F. I., El-Ashry Z. M. Cytogenic effects of the fungicide benomyl on *Vicia faba* and *Pisum sativum*. *Bull. NRC. Egypt*. 1999. V. 24, № 4. P. 481–494.
- Brangwynne C. P., Mitchison T. J., Hyman A. A. Active liquid-like behavior of nucleoli determines their size and shape in *Xenopus laevis* oocytes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. V. 108, № 11. P. 4334–4339. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017150108>
- Buchanan G. A. Patterns of surfactant toxicity to plant tissues. Iowa: Iowa State University of Science and Technology Ames, 1965. 210 p.
- Cserhati T., Forga'cs E., Oros G. Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environmental International*. 2002. V. 28, № 5. P. 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00032-6)
- Cuylen S. Ki-67 acts as a biological surfactant to disperse mitotic chromosomes / S. Cuylen, C. Blaukopf, A. Z. Politi, T. Müller-Reichert, B Neumann, I. Poser, J. Ellenberg, A. A. Hyman, D. W. Gerlich. // *Nature*. – 2016. – V. 535, № 7611. – P. 308–3012. doi: 10.1038/nature18610
- El-Sherbeny K. M., Mohamed F. I., Abou-Deif M. H. Genotoxic effect of insecticide cascade in mice and *Vicia faba*. *Egypt. J. Genet. Cytol.* 2002. V. 31, № 1. P. 135–150.
- Gottschalk W., Wolf G. Induced Mutation in Plant Breeding: Monographs on Theoretical and Applied Genetics. Berlin: Springer Verlag, 1993. 230 p.
- HarrÉus U. A., Wallner B. C., Kastenbauer E. R., Kleinsasser N. H. Genotoxicity and Cytotoxicity of 4-Nonylphenol Ethoxylate on Lymphocytes as Assessed by the Comet Assay. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2002. V. 82, № 6. P. 395–401. <https://doi.org/10.1080/0306731021000015047>
- Kekeç G., Cosgun S. Genotoxicity potentials of anionic and cationic amino acid-based surfactants. *Toxicology and Industrial Health*. 2015. V. 31, № 4. P. 377–385. <https://doi.org/10.1177/0748233712469657>
- Liwarska-Bizukoje E., Miksch K., Malachowska-Jutysz A., Kalka J. Acute toxicity and genotoxicity of five selected anionic and nonionic surfactants. *Chemosphere*. 2005. V. 58, № 9. P. 1249–1253. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.031

18. Nunes B., Carvalho F., Guilhermino L. Effects of widely used pharmaceuticals and a detergent on oxidative stress biomarkers of the crustacean *Artemia parthenogenetica*. *Chemosphere*. 2006. V. 62, № 4. P. 581–594. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.013>
19. Qureshi S. T., Soomro A. G., Bux H., Yasmeen A. Genotoxic and Carcinogenic Effects of House Hold Detergents Using Chromosomal Aberration Assay in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Root Tip Cells. *World Applied Sciences Journal*. 2014. V. 32, № 7. P. 1381–1387. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.14543
20. Reviews in plant cytogenetics / M. J. Puertas, T. Naranjo, eds. 2008. Basel, Switzerland: Karger. 214 pp.
21. Rinallo C., Bennici A., Cenni E. Effects of two surfactants on *Triticum durum*. *Environmental and experimental botany*. 1988. V. 28, № 4. P. 367–374. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(88\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0098-8472(88)90061-5)
22. Singh R. J. Plant Cytogenetics. CRC Press Taylor & Francis Group, 2017. 549 p.
23. Singh R. J. Practical Manual on Plant Cytogenetics. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. 347 p.
24. Sirisaththa S., Momose Y., Kitagawa Y. Toxicity of anionic detergents determined by *Saccharomyces cerevisiae* microarray analysis. *Water Research*. 2004. V. 38, № 1. P. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.027>
25. Zwicker D., Decker M., Jaensch S., Hyman A. A., Julicher F. Centrosomes are autocatalytic droplets of pericentriolar material organized by centrioles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2014. V. 111, № 26. P. E2636–2645. <https://doi.org/10.1073/pnas.140485511>

Ю. М. Штрebleва, О. Р. Омельченко, О. Л. Січняк

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
біологічний факультет, кафедра молекулярної біології, біохімії та генетики,
Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Резюме

Проблема. Широке застосування ПАР у господарській діяльності та побуті привело до забруднення, яке має глобальний характер. Виявлений негативний вплив ПАР на різноманітні характеристики живих організмів, що робить дослідження безпечності ПАР вкрай актуальними.

Мета. Метою даної роботи було дослідження генотоксичного потенціалу аніонних та катіонної ПАР.

Методика. Досліджували вплив аніонних (стеарат натрію і алкілбензолсульфокислота) та катіонної (Праераген TQ) ПАР на величину мітотичного індексу, а також на регулярність мітозу та мейозу *Triticum aestivum* L. cv. Фантазія одеська за стандартними цитогенетичними методами.

Основні результати. За дії ПАР в кореневій меристемі паростків достовірно знижувався мітотичний індекс та зростала кількість клітин, які містять хромосомні аберації. Серед аномалій на стадії ана-телофази спостерігали клітини з відставанням хромосом, фрагментами, утворенням хромосомних мостів, а також з комплексними порушеннями. Ці зміни відбувалися прямо пропорційно концентрації препаратів. Дія катіонного препарату була менш шкідливою, ніж дія обох аніонних препаратів.

Обробка рослин ПАР привела до високо достовірного збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому поділі мейозу прямо пропорційно концентрації застосованих ПАР. Відмінностей між першим і другим мейотичним поділами за частотою утворення дефектних МКП не виявлено. Обидві аніонні ПАР мали більш жорстку дію, ніж катіонна; за застосування алкілбензолсульфокислоти ступінь порушень у мікроспороцитах був найбільшим.

Висновки. Виявлене прямопропорційне концентрації ПАР достовірне зменшення мітотичного індексу та збільшення частки клітин, які містять хромосомні

аберації в кореневій меристемі паростків, також достовірне збільшення частки аномальних МКП як у першому, так і у другому поділі мейозу. За усіма дослідженими показниками дія катіонного препарату «Praepagen TQ» була більш м'якою, ніж дія обох аніонних ПАР.

Ключові слова: аніонні ПАР; катіонні ПАР; пшениця м'яка; мітотичний індекс; анафазний тест; мейоз; генетичний поліморфізм

Yu. M. Shtrebleva, O. R. Omelchenko, O. L. Sichniak

Odesa I. I. Mechnikov National University, Department of Molecular Biology, Biochemistry and Genetics, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: a.sechnyak@onu.edu.ua

CYTOGENETIC EFFECTS OF SURFACTANTS

Abstract

Introduction. The widespread use of surfactants in economic activity and life has led to global pollution. The negative impact of surfactants on various characteristics of living organisms has been revealed, which makes a research on the safety of surfactants extremely relevant.

Aim. The aim of this work was to study the genotoxic potential of anionic and cationic surfactants.

Methods. The influence of anionic (sodium stearate and alkylbenzenesulpho-acid) and cationic (Praepagen TQ) surfactants on the value of the mitotic index, as well as on the regularity of mitosis and meiosis of *Triticum aestivum* L. cv. Odesa fantasy by standard cytogenetic methods.

Main results. Under the action of surfactants in the root meristem of sprouts, the mitotic index significantly decreased and the number of cells containing chromosomal aberrations increased. Among the abnormalities at the ana-telophase stage, cells with lagging chromosomes, fragments, the formation of chromosomal bridges, and complex disorders were observed. These changes were directly proportional to the concentration of the drugs. The action of the cationic drug was less harmful than the action of both anionic drugs.

Treatment of plants with surfactants led to a highly reliable increase in the proportion of abnormal MCPs in both the first and second division of meiosis, directly proportional to the concentration of surfactants applied. No differences were found between the first and second meiotic divisions in terms of the frequency of formation of defective MCPs. Both anionic surfactants had a stronger effect than the cationic one; with the use of alkylbenzenesulfonic acid, the degree of violations in microsporocytes was the greatest.

Conclusions. A significant decrease in the mitotic index and an increase in the proportion of cells containing chromosomal aberrations in the root meristem of sprouts, as well as a significant increase in the proportion of abnormal MCPs in both the first and second division of meiosis, were found to be directly proportional to the concentration of surfactant. According to all the parameters studied, the action of the cationic drug "Praepagen TQ" was milder than the action of both anionic surfactants.

Key words: anionic surfactants; cationic surfactants; bread wheat; mitotic index; anaphase test; meiosis; genetic polymorphism

References

1. Budjak V.V. (2013) *Biometrics* [Биометрија], Chernivtsi: Ruta, 327 p.
2. Omirbekova N. Zh., Zhunusbaeva Zh.K., Zhusupova A.I. (2012) Cytogenetic effect of surfactants on bread wheat [Citogeneticheskij effekt poverhnostno-aktivnyh veshchestv na myagkuyu pshenicu], *KazNU Bulletin. ecology series*, 4 (36), pp. 309–315.
3. Prodanchuk M.G., Mudry I.V., Kalashnikov A.A. (2006) *Surface-active speech: toxicological-hygienic and microbiological aspects* [Poverkhnevo-aktyvni rechovyny: toksykolooho-hihiienichni ta mikrobiolohichni aspekty], Kyiv: Medicine of Ukraine, 223 p.
4. Shvets V.I., Timofichuk I.R., Semenenko S.B., Shvets N.V. (2017) Influx of surface-active speeches on the human body [Vplyv poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na orhanizm liudyny], *Clinical and experimental pathology*, 16, № 2 (60), pp.115–119. DOI:10.24061/1727–4338.XVI.2.60.2017.23
5. Yalovenko O.I., Rajtska O.V., Golichenkov O.M., Babiy V.F., Kondratenko O.E., Pimushina M.V. (2014) Evaluation of the toxicity of surface-active speeches on the culture of rotten cells [Otsinka toksychnosti poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na kulturi rukhlyvykh klityn], *Environment & Health*, 2, p. 15–18.
6. Abd-El-Salam A.Z.E., Hassan H.Z., Soliman K.H. (1996) The mutagenicity of two aromatic systemic pesticides using three biological systems, *Egypt. J. Genet. Cytol.*, 1996, 25. pp. 171–184.
7. Adam F.I.M., El-Ashry Z.M. (2010) Evaluation of Genotoxicity of 4-n-Nonylphenol using *Vicia faba* L., *Journal of Biological Sciences*, 10(4), pp. 368–372. <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2010/368–372.pdf>
8. Amer S.M., Mohamed F.I., El-Ashry Z.M. (1999) Cytogenetic effects of the fungicide benomyl on *Vicia faba* and *Pisum sativum*, *Bull. NRC. Egypt.*, 24(4), pp. 481–494.
9. Brangwynne C.P., Mitchison T.J., Hyman A.A. (2011) Active liquid-like behavior of nucleoli determines their size and shape in *Xenopus laevis* oocytes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108(11), pp. 4334–4339. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017150108>
10. Buchanan G.A. (1965) *Patterns of surfactant toxicity to plant tissues*, Iowa: Iowa State University of Science and Technology Ames, 210 p.
11. Cserhati T., Forga'cs E., Oros G. (2002) Biological activity and environmental impact of anionic surfactants, *Environmental International*, 28(5), pp. 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0160–4120\(02\)00032–6](https://doi.org/10.1016/S0160–4120(02)00032–6)
12. Cuylen S., Blaukopf C., Politi A.Z., Müller-Reichert T., Neumann B., Poser I., Ellenberg J., Hyman A.A., Gerlich D.W. (2016) Ki-67 acts as a biological surfactant to disperse mitotic chromosomes, *Nature*, 535(7611), pp. 308–3012. doi: 10.1038/nature18610
13. El-Sherbeny K.M., Mohamed F.I., Abou-Deif M.H. (2002) Genotoxic effect of insecticide cascade in mice and *Vicia faba*, *Egypt. J. Genet. Cytol.*, 31(1), pp. 135–150.
14. Gottschalk W., Wolf G. (1993) *Induced Mutation in Plant Breeding: Monographs on Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, Springer Verlag, 230 p.
15. HarrÉus U.A., Wallner B.C., Kastenbauer E.R., Kleinsasser N.H. (2002) Genotoxicity and Cytotoxicity of 4-Nonylphenol Ethoxylate on Lymphocytes as Assessed by the Comet Assay, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 82(6), pp. 395–401. <https://doi.org/10.1080/0306731021000015047>
16. Kekeç G., Cosgun S. (2015) Genotoxicity potentials of anionic and cationic amino acid-based surfactants, *Toxicology and Industrial Health*, 31(4), pp. 377–385. <https://doi.org/10.1177/0748233712469657>
17. Liwarska-Bizukojc E., Miksch K., Malachowska-Jutcz A., Kalka J. (2005) Acute toxicity and genotoxicity of five selected anionic and nonionic surfactants, *Chemosphere*, 58(9), pp. 1249–1253. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.031
18. Nunes B., Carvalho F., Guilhermino L. (2006) Effects of widely used pharmaceuticals and a detergent on oxidative stress biomarkers of the crustacean *Artemia parthenogenetica*, *Chemosphere*, 62(4), pp. 581–594. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.013>
19. Qureshi S.T., Soomro A.G., Bux H., Yasmeen A. (2014) Genotoxic and Carcinogenic Effects of House Hold Detergents Using Chromosomal Aberration Assay in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Root Tip Cells, *World Applied Sciences Journal*, 32(7), pp. 1381–1387. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.14543
20. *Reviews in plant cytogenetics* / Puertas MJ, Naranjo T. eds. (2008), Basel, Switzerland, Karger, 214 p.
21. Rinallo C., Bennici A., Cenni E. (1988) Effects of two surfactans on *Triticum durum*, *Environmental and experimental botany*, 28(4), pp. 367–374. [https://doi.org/10.1016/0098–8472\(88\)90061–5](https://doi.org/10.1016/0098–8472(88)90061–5)
22. Singh R.J. (2017) *Plant Cytogenetics*, CRC Press Taylor & Francis Group, 549 p.
23. Singh R.J. (2018) *Practical Manual on Plant Cytogenetics*, CRC Press Taylor & Francis Group, 347 p.
24. Sirisattha S., Momose Y., Kitagawa Y. (2004) Toxicity of anionic detergents determined by *Saccharomyces cerevisiae* microarray analysis, *Water Research*, 38(1), pp. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.027>
25. Zwicker D., Decker M., Jaensch S., Hyman A.A., Julicher F. Centrosomes are autocatalytic droplets of pericentriolar material organized by centrioles, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 111(26), pp. E2636–2645. <https://doi.org/10.1073/pnas.140485511>

**ГІДРОБІОЛОГІЯ
ТА ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ**



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284686](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284686)

УДК 597.556.333.1:57.045: 004.932:519.652

Ю. В. Караванський¹, аспірант

В. В. Заморів¹, к.б.н., доцент

М. А. Швандт², аспірант

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

¹Біологічний факультет, кафедра зоології, гідробіології та загальної екології, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: u.v.karavanskiy@onu.edu.ua;

²факультет Математики, фізики та інформаційних технологій; вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: maxim.shvandt@gmail.com

РУХОВА АКТИВНІСТЬ БИЧКА-КРУГЛЯКА (*NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* PALLAS, 1814) ПІД ВПЛИВОМ ГЕОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Досліджено вплив коливань геомагнітного поля на рухову активність бичка-кругляка *Neogobius melanostomus*. Показано зменшення рухової активності риб під впливом геомагнітних збуджень. За максимальних величин геомагнітної активності, які класифікувались як магнітні бурі першої інтенсивності класу G1, рухова активність риб зменшувалась від 27 до 42%.

Ключові слова: *Neogobius melanostomus*; рухова активність; геомагнітні поля

Поведінкові особливості риб є важливим проявом реакції на дію зовнішніх подразників. Враховуючі вплив окремих чинників на поведінку риб, можна визначити, яку саме роль вони відіграють в їх житті [4]. Такі спостереження в природних умовах вести досить складно, до того ж, вплив великої кількості супутніх чинників заважають отримувати достовірні результати. Крім цього, повторюваність експерименту за тих самих умов майже неможлива [13].

Для проведення досліджень в лабораторних умовах необхідне достатньо технологічне обладнання та забезпечення, тоді є можливість проводити експерименти в необхідній кількості з чітко визначеними показниками. Найважливішим при проведенні спостережень є фіксація емпіричного факту і коректне опрацювання даних, що забезпечує отримання достовірних результатів з мінімальними похибками. Для цього застосовуються методи, які дозволяють спостерігати за переміщенням (трекінгом) риб та обробляти результати цих спостережень [13].

Одним з проявів реакції гідробіонтів на певний чинник є їх рухливість. Саме на фіксацію цього показника в лабораторних умовах була звернута увага при вивченні впливу абіотичних чинників на риб. Предметом досліджень було визначення чутливості бичкових риб (*Actinopterygii*: *Gobiiformes*: *Gobiidae*) до

впливу одного з неперіодичних природних чинників, а саме зміни геомагнітної активності внаслідок магнітних бур.

Магніторецепція, або здатність організмів сприймати магнітні поля та зміни його властивостей (такі як напрямок поля, інтенсивність та градієнт) у навколишньому середовищі виявляє свій вплив на організм у вигляді набору реакцій [5].

Рядом досліджень виявлено, що багато організмів можуть сприймати та реагувати на магнітні поля – від бактерій, молюсків, ракоподібних, комах до хребетних, таких як риби, птахи, черепахи, кажани та кити, навіть серед тих, хто з них не мігрує на великі відстані [1, 5, 6, 9, 10]. Вважається, що магніторецепція виникла як одна з перших сенсорних систем, проте сучасний рівень знань про магнетичну чутливість вимагає подальших детальних досліджень.

На сьогоднішній день ефект «магнітних бур» вивчений недостатньо в порівнянні з іншими чинниками навколишнього середовища, такими як температура, освітленість або хімічний склад води [8]. Крім того, постійно збільшується вплив антропогенних магнітних полів на екосистеми.

Таким чином, магнітні поля з різною конфігурацією не часто беруться до уваги під час лабораторних та польових біологічних досліджень, які можуть бути однією з причин неоднорідності даних та низької відтворюваності експериментів.

Наявність властивості у риб виявляти магнітні поля та реагувати на них встановлено за допомогою численних експериментів. Дослідження були зосереджені на відстеженні сприйняття геомагнітного поля Землі і стосувалися як риб, які мігрують на великі відстані, так і тих, які ведуть більш-менш осілий спосіб життя [1, 8, 11, 15].

Магніторецепція кісткових риб має також і практичне значення. Улови окуня *Perca fluviatilis* L., плітки *Rutilus rutilus* (L.), щуки *Esox lucius* (L.), краснопірки *Scardinius erythrophthalmus* (L.), ляща *Abramis brama* (L.) та верховодки *Alburnus alburnus* (L.) при використанні рибальських сіток із прикріпленими магнітами збільшувалися в середньому на 50%, а ось улови європейського вугра (*Anguilla anguilla*) залишалися без змін [4].

Відомо, що магнітне поле Землі може зазнати змін в результаті електромагнітних явищ в навколишньому просторі. Зміни можуть бути повільними (наприклад, щорічними) або швидкими. Швидкі зміни можна відокремити на періодичні (наприклад, циркадні) або неперіодичними під час магнітних бур. Такі короткочасні зміни в полі Землі виникають в результаті потоку заряджених частинок в іоносфері, що складаються з протонів, нейтронів і альфа-частинок, що випливають із сонячної корони [12].

Тому наші дослідження були направлені на вивчення впливу коливань геомагнітного поля на рухову активність промислового виду донної іхтіофауни Чорного моря бичка-кругляка *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814.

Матеріали та методи досліджень

Іхтіологічний матеріал зібрано в прибережній акваторії Одеської затоки від мису Північний Одеський до мису Великий Фонтан при проведенні науково-дослідного лову Одеським національним університетом імені І.І. Мечникова (ОНУ). Лабораторні дослідження проводили в акваріальній кафедрі гідробіології та загальної екології Одеського національного університету імені І.І. Мечникова.

Для визначення геомагнітного впливу на поведінку бичка-кругляка визначали його добову активність протягом двох тижнів – з 1 лютого 2022 р. по 15 лютого 2022 р. За результатами дослідження склали погодинний трафік змін рухової активності риб. За вказаний термін спостережень виділялися періоди підвищеної геомагнітної активності та порівнювалися з періодами, коли ця активність була в нормі.

Для проведення експерименту з добової активності бичка-кругляка використовували таке обладнання:

- акваріум з органічного скла довжиною 110 см, шириною 110 см і висотою 50 см;
- зовнішні фільтри для акваріумної води «Jebo – 803» (США);
- компресор повітряний «Atman HP – 4000» (Китай);
- цифрову мережеву камеру Hikvision DS-2CD2432F-I (Китай);
- термометр лабораторний;
- тести для вимірювання гідрохімічних параметрів «Tetra» (Німеччина);
- холодильник «Titan 2000» (Німеччина);
- обігрівач для акваріуму «Hagen» (Канада).

Пересування риб фіксували за допомогою цифрової камери, встановленої над акваріумом на висоті 125 см, з таким розрахунком, щоб об'єкти відеокамери охоплювали всю площу дна акваріума.

Для утримання риб використовували природну морську воду з такими гідрохімічними показниками: солоність – 14‰, зміст амонію – <0,005 мг/л, вміст нітритів – <0,005 мг/л, вміст нітратів – <0,05 мг/л, рН – 8,0, вміст кисню – 8,4 мг/л.

Для вивчення активності риб були відібрані особини бичка-кругляка загальною довжиною 12–13 см. Після адаптації риб до перебування в штучних умовах, вони були поміщені в експериментальний акваріум для проведення спостережень. Група риб складалася з шести особин, виключно самок.

Потім отриманий відеозапис переносили в пам'ять комп'ютера і обробляли за оригінальною методикою для трекінгу лабораторних тварин «Метод комп'ютерного зору» [13].

В якості визначення показника геомагнітної активності був взятий *Kp*-індекс. Цей показник характеризує геомагнітну активність, класифікує геомагнітні бурі та описує відхилення магнітного поля Землі від норми. *Kp*-індекс є загальнопланетарним показником і визначається як середньозважене від декількох

вимірювальних пунктів з точністю до 1/3 (коливання 30%). Дробові показники позначають знаками «-», «0» та «+». Наприклад, «4-» означає менше 4 на 1/3, «40» означає 4 рівно, «4+» означає більше 4 на 1/3. Величини *Kp*-індекс коливаються від 0 до 9, де «0» – відсутність геомагнітної активності, а величина «9» – екстремальний геомагнітний шторм.

Значення *Kp*-індекса більше 4 означає наявність геомагнітної бурі, що позначається *G*-індексом. Цей індекс має значення від *G1* до *G5*, тобто *G1* відповідає *Kp5*, *G2* – *Kp6*, *G3* – *Kp7*, *G4* – *Kp8*, *G5* – *Kp9*.

Для більш точного визначення показників у часі протягом доби використовували *ap*-індекс, який являє собою зміну найбільш збудженого елемента магнітного поля у тригодинному інтервалі та конвертовані до лінійної шкали в нанотеслах (нТл).

При проведенні досліджень використовували величини індексів, які надає Німецький центр дослідження Землі (Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum, GFZ) [18].

Результати дослідження та їх обговорення

Протягом досліджень підраховано загальну кількість рухів за добу всіх особин бичка-кругляка, які знаходились в акваріумі з 01.02.2022 р. до 15.02.2022 р. відповідно до величин геомагнітної активності згідно з архівом GFZ (табл. 1).

Таблиця 1

Рухова активність бичка-кругляка за різної геомагнітної активності

№	Дата спостережень	Геомагнітна активність (<i>Kp</i> та <i>G</i> індекс)	Сумарна кількість рухів риб (абс. од.)
1	01.02.2022	<i>Kp3+</i>	357
2	02.02.2022	<i>Kp4</i>	297
3	03.02.2022	<i>G1</i>	308
4	04.02.2022	<i>G1</i>	297
5	05.02.2022	<i>Kp3</i>	358
6	06.02.2022	<i>Kp4-</i>	348
7	07.02.2022	<i>Kp2+</i>	347
8	08.02.2022	<i>Kp2</i>	345
9	09.02.2022	<i>Kp2</i>	333
10	10.02.2022	<i>G1</i>	302
11	11.02.2022	<i>Kp4+</i>	275
12	12.02.2022	<i>Kp3+</i>	383
13	13.02.2022	<i>Kp4-</i>	354
14	14.02.2022	<i>Kp3-</i>	362
15	15.02.2022	<i>Kp2</i>	331

Згідно з даними GFZ, геомагнітні бурі спостерігались 3, 4 і 10 лютого 2022 р., коли показник G індексу відповідав геомагнітній бурі першої інтенсивності.

Для порівняння були вибрані показники рухової активності бичка-кругляка за 8, 9 та 15 лютого 2022 р., коли геомагнітна активність була на найнижчому рівні (Kp -індекс дорівнював 2) (рис. 1).

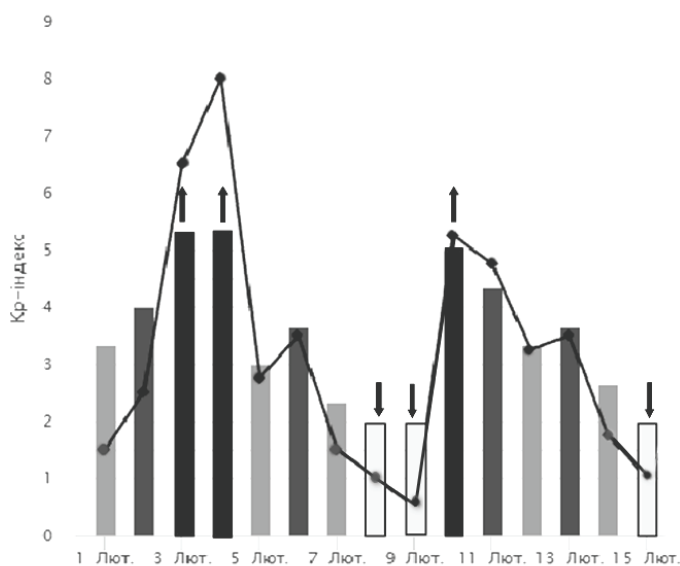


Рис. 1. Геомагнітна активність з 1 по 15 лютого 2022 р. з максимальними (↑) та мінімальними (↓) значеннями Kp -індексу

Порівнювали, як протягом доби змінювалась рухова активність риб за максимальних та мінімальних значень Kp -індексу. Погодинні зміни геомагнітної активності відображає ap -індекс (табл. 2).

Максимальні величини геомагнітної активності, які класифікуються як магнітна буря першої інтенсивності класу $G1$ спостерігались 3 лютого 2022 р. з 6 до 12 години, 4 та 10 лютого 2022 р. з 15 до 21 години. При порівнянні величин рухової активності риб у ці часові проміжки з їх руховою активністю у ці ж часові проміжки в дні з мінімальним значенням геомагнітної активності (8, 9 та 15 лютого 2022 р.) можна побачити зниження рухової активності особин під час магнітних бур від 27 до 42%.

Для порівняння рухової активності риб у зазначених нижче часових інтервалах застосовано непараметричний критерій Вілкоксона – непараметричний статистичний тест, який використовується для перевірки відмінностей між двома вибірками парних вимірювань [16]. Цей критерій призначений для зі-

ставлення величин, виміряних за двох різних умов на одній і тій же вибірці організмів.

В таблиці 3 наведені величини рівня значимості p -критерію Вілкоксона для пар вибірок показників рухливості риб у дні максимальної та мінімальної геомагнітної активності.

Таблиця 2

Середні величини погодинної рухової активності особин бичка-кругляка у дні максимальних та мінімальних значень геомагнітної активності

Дата	Показник	Час спостережень, години							
		0–3	3–6	6–9	9–12	12–15	15–18	18–21	21–24
Максимальні значення геомагнітної активності									
03.02.22	ар-індекс (нГл)	7	32	48	56	27	15	15	12
	кількість рухів (абс. од.)	49,9	69,4	39,1	16,8	22,9	29,7	32,1	48,2
04.02.22	ар-індекс (нГл)	27	27	22	22	27	56	48	27
	кількість рухів (абс. од.)	48,9	71,1	49,9	29,4	20,1	15,6	19,7	41,9
10.02.2022	ар-індекс (нГл)	12	12	7	7	12	39	48	32
	кількість рухів (абс. од.)	48,9	65,6	50,3	33,1	21,1	18,0	21,1	44,2
Мінімальні значення геомагнітної активності									
08.02.2022	ар-індекс (нГл)	5	2	3	3	4	5	7	4
	кількість рухів (абс. од.)	51,5	73,3	53,4	29,1	23,7	29,8	40,5	43,5
09.02.2022	ар-індекс (нГл)	2	0	0	2	2	0	0	2
	кількість рухів (абс. од.)	49,1	68,3	51,5	24,5	24,8	32,1	41,8	40,9
15.02.2022	ар-індекс (нГл)	7	7	3	3	3	3	2	2
	кількість рухів (абс. од.)	51,3	73,2	49,4	28,1	21,9	25,6	35,9	45,8

Відмінності рухової активності риб виявилися статистично значущими, враховуючи, що значення p -критерію були істотно меншими, ніж 0,05.

Таблиця 3

Величини рівня значущості p -критерію Вілкоксона для порівнюваних пар вибірок значень рухової активності риб

Дата/Часовий інтервал (години)	03.02.2022/ 6–9	03.02.2022/ 9–12	04.02.2022/ 15–18	04.02.2022/ 18–21	10.02.2022/ 15–18	10.02.2022/ 18–21
08.02.2022/ 6–9	0,026	–	–	–	–	–
08.02.2022/ 9–12	–	0,002	–	–	–	–
09.02.2022/ 15–18	–	–	0,002	–	–	–
09.02.2022/ 18–21	–	–	–	0,002	–	–
15.02.2022/ 15–18	–	–	–	–	0,002	–
15.02.2022/ 18–21	–	–	–	–	–	0,002

Згідно з архівом метеоданих, коливання атмосферного тиску у ці дні були незначними [19], тому цей фактор не впливав на активність риб [17]. Таким чином, чинник зміни величин геомагнітної активності лишається найбільш ймовірною причиною зміни рухової активності риб (табл. 4).

Згідно з гіпотезою біогенного магнетиту кісткові риби можуть виявляти магнітні поля, використовуючи реакцію кристалів монодоменого магнетиту Fe_3O_4 , які вишиковуються відповідно до силових ліній зовнішнього магнітного поля [3, 6, 7, 8, 14].

Таблиця 4

Погодинні величини атмосферного тиску у дні максимальних та мінімальних значень геомагнітної активності

Дата	Погодинні величини атмосферного тиску (мм рт. ст.)							
	0–3	3–6	6–9	9–12	12–15	15–18	18–21	21–24
03.02.2022	756	756	757	759	759	759	761	762
04.02.2022	762	762	763	764	763	762	763	762
10.02.2022	768	768	768	768	767	767	767	766
08.02.2022	751	752	753	756	757	758	760	762
09.02.2022	762	762	762	763	763	765	766	767
15.02.2022	767	767	768	767	767	766	766	766

Ці феромагнітні частинки постійно намагнічені і поводяться як магніти. Розташування цих однодомених частинок магнетиту в ланцюжках призводить до того, що їх окремі магнітні моменти вирівнюються відповідно до силових ліній зовнішнього магнітного поля.

Магнетит має біогенне походження та відкладається у різних частинах тіла. Зокрема, у риб він виявлений у гратчастій та потиличній кістках черепа та у шарі нюхових пластинок [2, 8, 14].

Таким чином, враховуючи вищезазначене, можна вважати, що коливання геомагнітного поля впливають на фізіологічний стан організму риби, що проявляється в руховій активності особи.

Висновки

Колівання рухової активності бичка-кругляка під час підвищення геомагнітної активності до рівня магнітних бур свідчить про здатність цього виду сприймати магнітні поля та реагувати на зміну його властивостей. Зокрема, коли значення *Kp*-індексу відповідало геомагнітній бурі першої інтенсивності (*G1*), зафіксовано зниження рухової активності риб від 27 до 42%, порівняно з активністю в ті ж часові інтервали у дні з мінімальною геомагнітною активністю.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2023

Список використаної літератури

1. Blank M., editor. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. San Francisco Press; San Francisco, 1993. 940 p.
2. Chew G. L., Brown G. E. Orientation of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in normal and null magnetic fields. *Canadian Journal of Zoology*. 1989. Vol. 67. P. 641–643. doi: <https://doi.org/10.1139/z89-092>.
3. Diebel C.E., Proksch R., Green C.R., Nielson P., Walker M.M. Magnetite defines a magnetoreceptor. *Nature*. 2000. Vol. 406. P. 299–302. doi: <https://doi.org/10.1038/35018561>.
4. Formicki K., Tanski A., Sadowski M., Winnicki A. Effects of magnetic fields on fake net performance. *Journal of Applied Ichthyology*. 2004. Vol. 20, № 5. P. 402–406. doi: <https://doi.org/10.1134/S2079086414030049>.
5. Formicki K. Magnetoreception. In R.N. Finn, B.G. Kapoor (Eds.). *Fish larval physiology* / Enfield, NH: Science Publishers, 2008. P. 461–491. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429061608>
6. Frankel R.B., Blakemore R.P., Wolfe R.S. Magnetite in freshwater magnetotactic bacteria. *Science*. 1979. Vol. 203. P. 1355–1356. doi: <https://doi.org/10.1126/science.203.4387.1355>.
7. Kirschvink J.L., Gould J.L. Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals. *Biosystems*. 1981. Vol. 13. P. 181–201. doi: [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(81\)90060-5](https://doi.org/10.1016/0303-2647(81)90060-5).
8. Kirschvink J.L., Walker M.M., Chang S.B., Dizon A.E., Peterson K.A. Chains of single-domain magnetite particles in chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Journal of Comparative Physiology A*. 1985. Vol. 157. P. 375–381. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00618127>.
9. Kirschvink J.L., Walker M.M. Particle-size consideration for magnetite based magnetoreceptors. In J.L. Kirschvink, D.S. Jones, & B.J. McFadden (Eds.). *Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms. A new biomagnetism* / New York, NY: Plenum Press, 1985. Vol. 5. P. 243–256. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0313-8_11.
10. Kirschvink J.L., Walker M.M., Diebel C.E. Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology*. 2001. Vol. 11, № 4. P. 462–467. doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00235-X).

11. Quinn T.P. Evidence for celestial and magnetic compass orientation in lake migrating sockeye salmon fry. *Journal of Comparative Physiology A*. 1980. Vol. 137. P. 243–248. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00657119>.
12. Skiles D.D. The geomagnetic field: its nature, history and biological relevance. *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms* / New York: Plenum, 1985. P. 43–102. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0313-8_3.
13. Shvandt M.A., Moroz V.V. Overview of the detection and tracking methods of the lab animals. Journal of the Institute for Applied System Analysis of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” / *System Research & Information Technologies*. 2022, № 1. P. 124–148. doi: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.1.10>.
14. Walker M.M., Diebel C.E., Haugh C.V., Pankhurst P.M., Montgomery J.C., Green C.R. Structure and function of the vertebrate magnetic sense. *Nature*. 1997. Vol. 390. P. 371–376. doi: <https://doi.org/10.1038/37057>.
15. Wiltschko W., Wiltschko R. Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A*. 2005. Vol. 191. P. 675–693. doi: <https://doi.org/10.1007/s00359-005-0627-7>.
16. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* Vol. 1, № 6 (Dec., 1945), P. 80–83. doi: <https://doi.org/10.2307/3001968>.
17. Zamorov V.V., Karavanskiy Y., Leonchuk Y., Gandzyura V., Kvach Y. The effect of atmospheric pressure and water temperature on the swimming activity of round goby, *Neogobius melanostomus* (Actinopterygii: Perciformes: Gobiidae). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*. 2018. Vol. 48 (4). P. 373–379. doi: <https://doi.org/10.3750/AIEP/02445>.
18. Архів полярного саява і сонячної активності: веб-сайт. URL: <http://surl.li/iyoudn> (дата звернення: 25.05.2023).
19. Архів метеоданих. Перегляд фактичної погоди на певну дату: веб-сайт. URL: <http://surl.li/iyoies> (дата звернення: 25.05.2023).

Ю. В. Караванський¹, В. В. Заморов¹, М. А. Швандт²

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

¹Біологічний факультет, кафедра зоології, гідробіології та загальної екології, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: u.v.karavanskiy@onu.edu.ua

²факультет Математики, фізики та інформаційних технологій; вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: maxim.shvandt@gmail.com

РУХОВА АКТИВНІСТЬ БИЧКА-КРУГЛЯКА (*NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* PALLAS, 1814) ПІД ВПЛИВОМ ГЕОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Резюме

Проблема. Поведінкові особливості риб є важливим проявом реакції на дію зовнішніх подразників. Рухова активність відображає вплив окремих чинників на поведінку риб і ту роль, яку вони відіграють в їх житті. Серед найменш досліджених факторів є коливання геомагнітного поля та його вплив на рухову активність бичка-кругляка *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814.

Мета. Метою роботи було вивчення впливу коливань геомагнітного поля на рухову активність промислового виду донної іхтіофауни Чорного моря бичка-кругляка *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814.

Методика. Іхтіологічний матеріал зібрано в прибережній акваторії Одеської затоки від мису Північний Одеський до мису Великий Фонтан при проведенні науково-дослідного лову Одеським національним університетом імені І. І. Меч-

никова (ОНУ). Лабораторні дослідження проводили в акваріальній кафедрі гідробіології та загальної екології Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. За результатами дослідження складали погодинний трафік змін рухової активності риб. За вказаний термін спостережень виділялися періоди підвищеної геомагнітної активності та порівнювалися з періодами, коли ця активність була в нормі. Для опрацювання візуальних даних була застосована оригінальна методика для трекінгу лабораторних тварин «Метод комп'ютерного зору».

Основні результати. Максимальні величини геомагнітної активності в період спостережень, які класифікуються як магнітна буря першої інтенсивності класу *G1* спостерігалися 3 лютого 2022 р. з 6 до 12 години, 4 та 10 лютого 2022 р. з 15 до 21 години. При порівнянні величин рухової активності риб у ці часові проміжки з їх руховою активністю у ці ж часові проміжки в дні з мінімальним значенням геомагнітної активності (8, 9 та 15 лютого 2022 р.) можна побачити зниження рухової активності особин під час магнітних бур від 27 до 42%.

Висновки. Коливання рухової активності бичка-кругляка під час підвищення геомагнітної активності до рівня магнітних бур свідчить про здатність цього виду сприймати магнітні поля та реагувати на зміну його властивостей. Зокрема, коли значення *Kp*-індексу відповідало геомагнітній бурі першої інтенсивності (*G1*), зафіксовано зниження рухової активності риб, порівняно з активністю в ті ж часові інтервали у дні з мінімальною геомагнітною активністю.

Ключові слова: *Neogobius melanostomus*; рухова активність; геомагнітні поля

Y. V. Karavanskiy¹, V. V. Zamorov¹, M. A. Shvandt²

Odesa I. I. Mechnikov National University, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine

¹ Faculty of Biology, Department of Zoology, Hydrobiology and General Ecology, e-mail: u.v.karavanskiy@onu.edu.ua

² Department of Mathematics, Physics, and Information Technology, e-mail: maxim.shvandt@gmail.com

MOVEMENT ACTIVITY OF ROUND GOBY (*NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* PALLAS, 1814) UNDER THE INFLUENCE OF GEOMAGNETIC FIELDS.

Abstract

Introduction. Behavioral traits of fish are an important manifestation of their response to external stimuli. Locomotor activity reflects the influence of specific factors on fish behavior and the role they play in their lives. Among the least studied factors are fluctuations in the geomagnetic field and their impact on the locomotor activity of the round goby *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814.

Aim. The aim of this study was to investigate the influence of fluctuations in the geomagnetic field on the locomotor activity of the commercially important species

of benthic ichthyofauna, the round goby *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814, in the Black Sea.

Methods. The ichthyological material was collected in the coastal waters of the Odesa Bay, ranging from Cape Northern Odesa to Cape Velikiy Fontan, during a scientific research survey conducted by the I. I. Mechnikov Odesa National University (ONU). Laboratory investigations were conducted in the aquarium room of the Aquatic Biology and General Ecology Department of the I. I. Mechnikov Odesa National University. Hourly changes in fish locomotor activity were recorded and analyzed as a result of the study. During the specified observation period, periods of increased geomagnetic activity were identified and compared to periods when this activity was within normal range. An original methodology called “Computer Vision Method” was employed for processing the visual data and tracking of the laboratory animals.

Results. The maximum values of geomagnetic activity during the observation period, classified as a first intensity magnetic storm of class G1, were observed on February 3, 2022, from 6 to 12 hours, and on February 4 and 10, 2022, from 15 to 21 hours. When comparing the levels of fish locomotor activity during these time intervals with their activity during the time intervals on days with minimal geomagnetic activity (February 8, 9, and 15, 2022), a decrease in locomotor activity of individuals during magnetic storms of 27% to 42% can be observed.

Conclusion. The fluctuations in locomotor activity of the round goby during increased geomagnetic activity up to the level of magnetic storms indicate the ability of this species to perceive magnetic fields and respond to changes in its properties. Specifically, when the *Kp*-index values corresponded to a first intensity geomagnetic storm (G1), a decrease in fish locomotor activity was observed compared to the activity during the same time intervals on days with minimal geomagnetic activity.

Key words: *Neogobius melanostomus*; locomotor activity; geomagnetic fields

Referenses

- Blank M. (1993) «*Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*». In editor Blank M., San Francisco Press, San Francisco, pp. 98–700.
- Chew G. L. and Brown G.E. (1989) «*Orientation of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in normal and null magnetic fields*», Canadian Journal of Zoology, vol. 67, pp. 641–643.
- Diebel C. E., Proksch R., Green C. R., Nielson P. and Walker M. M. (2000) «*Magnetite defines a magnetoreceptor*», Nature, vol. 406, pp. 299–302.
- Formicki K., Tanski A., Sadowski M. and Winnicki A. (2004) «*Effects of magnetic fields on fake net performance*», Journal of Applied Ichthyology, vol. 20, No. 5, pp. 402–406.
- Formicki K. (2008) «*Magnetoreception*» In editor R. N. Finn and B. G. Kapoor, Fish larval physiology, Enfield, NH, Science Publishers, pp. 461–491.
- Frankel R. B., Blakemore R. P. and Wolfe R. S. (1979) «*Magnetite in freshwater magnetotactic bacteria*», Science, vol. 203, pp. 1355–1356.
- Kirschvink J. L. and Gould J. L. (1981) «*Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals*», Biosystems, vol. 13, pp. 181–201.
- Kirschvink J. L., Walker M. M., Chang S. B., Dizon A. E. and Peterson K. A. (1985) «*Chains of single-domain magnetite particles in chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha**», Journal of Comparative Physiology A, vol. 157, pp. 375–381.
- Kirschvink J. L. and Walker M. M. (1985) «*Particle-size consideration for magnetite based magnetoreceptors*» In editor J. L. Kirschvink, D. S. Jones, & B. J. McFadden, Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms. A new biomagnetism, New York, Plenum Press, vol. 5, pp. 243–256.

10. Kirschvink J. L., Walker M. M. and Diebel C. E. (2001) «*Magnetite-based magnetoreception*», *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 11, No 4, pp. 462–467.
11. Quinn T. P. (1980) «*Evidence for celestial and magnetic compass orientation in lake migrating sockeye salmon fry*», *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 137, pp. 243–248.
12. Skiles D. D. (1985) «*The geomagnetic field: its nature, history and biological relevance*», *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms*, New York, Plenum Press, pp. 43–102.
13. Shvandt M. A. and Moroz V. V. (2022) «*Overview of the detection and tracking methods of the lab animals*», *System Research & Information Technologies*, No 1, pp. 124–148.
14. Walker M. M., Diebel C. E., Haugh C. V., Pankhurst P. M. Montgomery J. C. and Green C. R. (1997) «*Structure and function of the vertebrate magnetic sense*», *Nature*, vol. 390, pp. 371–376.
15. Wiltschko W. and Wiltschko R. (2005) «*Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals*», *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 191, pp. 675–693.
16. Wilcoxon F. (1945) «*Individual comparisons by ranking methods*», *Biometrics Bulletin* 1, p. 83.
17. Zamorov V. V. (2018) «*The effect of atmospheric pressure and water temperature on the swimming activity of round goby, Neogobius melanostomus (Actinopterygii: Perciformes: Gobiidae)*», *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 48 (4), pp. 373–379.
18. Real-time auroral and solar activity, available at URL: <http://surl.li/iyodn> (date of access: 25.05.2023).
19. Archives of weather data. Revision of the actual weather to the next date, available at URL: <http://surl.li/iyoes> (date of access: 25.05.2023).

ЗООЛОГІЯ



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284687](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284687)

УДК 595.423

С. Я. Підгорна, к.б.н., доцент

О. Ф. Делі, к.б.н., доцент

К. Й. Черничко, к.б.н., доцент

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
біологічний факультет, кафедра зоології, гідробіології та загальної екології,
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна, e-mail: spb1981@ukr.net

ПАНЦИРНІ КЛІЩІ (ORIBATEI) У СКЛАДІ МЕЗОФАУНИ ПАРКОВИХ ЗОН МІСТА ОДЕСА (УКРАЇНА)

Досліджено мезофауну ґрунтів паркових зон м. Одеси (Україна). Встановлено, що в паркових зонах переважну більшість безхребетних тварин складають панцирні кліщі (Acari, Oribatei) та ногохвістки (Collembola). Показано вертикальний розподіл в ґрунті основних таксонів мікроартропод. Визначено видовий склад та встановлено основні екологічні характеристики панцирних кліщів. Проведена оцінка навколишнього середовища за інтегральним показником угруповань панцирних кліщів.

Ключові слова: мезофауна; панцирні кліщі; екологічна структура; паркові зони; м. Одеса

Паркові зони є невід’ємною та необхідною складовою частиною урбанізованого середовища. Такі території виконують функції з оптимізації техногенно-забрудненого міського середовища, збереження видової різноманітності місцевої флори, є центрами рекреації [6, 8]. Парки та сквери великих міст представляють собою ряд ізольованих біотопів з унікальною організацією мезофауни. Роль безхребетних у підтримці функціонування будь-якої екосистеми важко переоцінити. Вони беруть участь в розкладанні органічних речовин та їх перетворенні в неорганічні сполуки, у процесах ґрунтоутворення, у регуляції продуктивності першого трофічного рівня, слугують кормом для хребетних тварин і паразитують на них [4]. В ґрунтовому шарі дрібні членистоногі розміщені нерівномірно, як горизонтально, так і вертикально. На вертикальний розподіл перш за все впливає ступінь трансформційних процесів та характер рослинного покриву.

У природних екосистемах зі складу мезофауни значну роль відіграють панцирні кліщі (Oribatei) [7]. Вони є об’єктом ґрунтово-зоологічних, екологічних досліджень та активно використовуються для біоіндикацій різних форм антропогенного навантаження на екосистеми [13]. Використовуючи таких тварин як модельну групу для біоіндикації урбанізованого середовища можна встановити ступінь антропогенного навантаження на біоценоз, визначити природний потенціал ґрунтового профілю, встановити оптимальні природоохоронні заходи.

Активна робота щодо вивчення ґрунтової мезофауни, зокрема панцирних кліщів, на території України проводилась на степових ділянках та заплавах луках Луганщини, Донеччини, Дніпропетровщини, Запоріжжя, Кіровоградщини, Миколаївщини, Вінниччини, Черкащини, Полтавщини, Сумщини, Харківщини, Волині, Чернігівщини, Чернівецьчини, Івано-Франківщини [1, 14]. На південному сході орібатидак кліщів в різних біотопах вивчав А. Д. Штирц [10–13]. В рамках досліджень панцирних кліщів в урбанізованому середовищі роботи проводились Л. О. Колодочкою та С. А. Заблудовською [3, 17, 18]. Питання загальної структури угруповань панцирних кліщів, її щільності та динаміки чисельності паркових зон півдня України, зокрема міста Одеси, залишаються не вивченими.

Мета роботи: вивчити видовий склад та основні екологічні характеристики угруповань панцирних кліщів ґрунтів паркових зон міста Одеси.

Матеріал та методи дослідження

Дослідження проводили восени 2019–2020 років. Ґрунтові зразки відбирали в трьох паркових зонах міста Одеси: парку імені Т. Г. Шевченка ($46^{\circ}28'44''$ с.ш. $30^{\circ}45'11''$ сх.д.), дендропарку Перемоги ($46^{\circ}26'43''$ пн.ш. $30^{\circ}45'14''$ сх.д.) та Молодіжному сквері ($46^{\circ}58'54''$ пн.ш. $30^{\circ}79'53''$ сх.д.) (рис. 1).

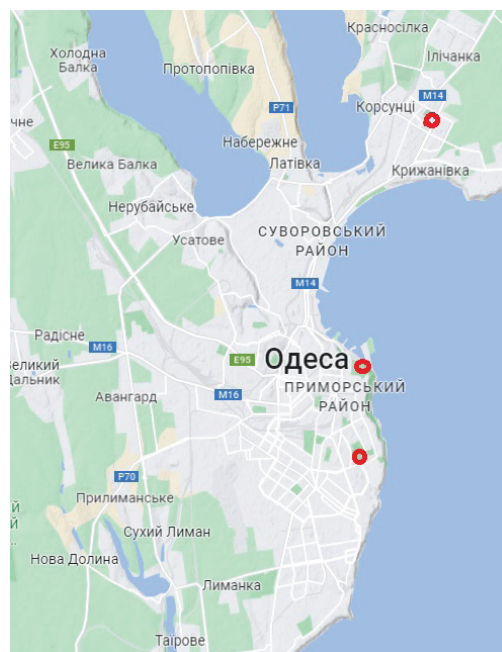


Рис. 1. Карта району дослідження [www.google.com] круглими позначками позначені місця збору матеріалу

Відбір ґрунтових зразків проводили за загальноприйнятою методикою [2, 19]. У кожному біотопі відбирали зразки площею 10x10 см². Товщина моноліту дорівнювала 5 см. Загальна глибина досліджуваного шару дорівнювала 10 см. Всього було відібрано 18 зразків.

Обробку матеріалу проводили за такими етапами: доставка ґрунтових зразків у лабораторію, вигонка кліщів за допомогою електорів модифікації Tullgren [5], фіксація у 70° спирті, виготовлення мікропрепаратів, визначення та аналіз матеріалу. На постійні мікропрепарати переводили панцирних кліщів та ногохвісток, для інших безхребетних проводили підрахунок.

Видову належність панцирних кліщів встановлювали за допомогою стереоскопічного бінокулярного мікроскопа та ряду визначників [7, 9, 19], а також статей з першоописами видів. Для характеристики угруповання панцирних кліщів та її різноманітності використано такі екологічні показники: абсолютна та відносна щільність, кількість таксонів, індекси біорізноманіття Шеннона, Маргалефа, Менхініка та індекс подібності Жаккара [16].

Для дослідження структури домінування угруповань панцирних кліщів використовували індекс домінування за шкалою Г. Енгельмана [15], де E – еудомінант (>40%), D – домінант (12,5–39,9%), Sd – субдомінант (4,0–12,4%), R – рецедент (1,3–3,9%), Sr – субрецедент (<1,3%).

Розподіл угруповань панцирних кліщів за життєвими (адаптивними) формами наведено відповідно до роботи Д. О. Криволицького [1].

Оцінка стану навколишнього середовища з використанням інтегрального показника співтовариств панцирних кліщів проведено відповідно до методики А. Д. Штирца [12]. Усі розрахунки проведені у MS Excel.

Результати. В результаті аналізу мезофауни ґрунтів паркових зон м. Одеси були виявлені фонові групи безхребетних тварин, а саме: круглі черви (Nematoda, Enoplea), мокриці (Oniscidea, Malacostraca), павуки (Araneae, Arachnida), кліщі (Acari, Arachnida), багатоніжки (Myriapoda, Diplopoda), ногохвістки (Entognatha, Collembola), мурашки, сонечка, личинки жуків (Insecta, Formicidae, Coleoptera). У всіх досліджених ектопах переважали панцирні кліщі та ногохвістки (рис. 2).

Найбільший відносний вміст ногохвісток виявлено у парку імені Т. Г. Шевченка (68%, від загальної кількості виявлених мікроартропод), найменший – у Молодіжному сквері (21%). Панцирні кліщі у відносних показниках становили по 19% у дендропарку Перемоги та Молодіжному сквері та 9% у парку імені Т. Г. Шевченка.

В групу інші кліщі були об'єднанні ряди Prostigmata (Eleutherengona), Mesostigmata (Uropodina, Gamasina) та група Acaridiae з ряду Astigmata. В групу інші комахи увійшли поодинокі екземпляри мурашок, сонечок, личинок жуків.

Аналіз вертикального розподілу основних груп мікроартропод в ґрунтових зразках паркових зон демонструє, що чисельність всіх груп кліщів сягає макси-

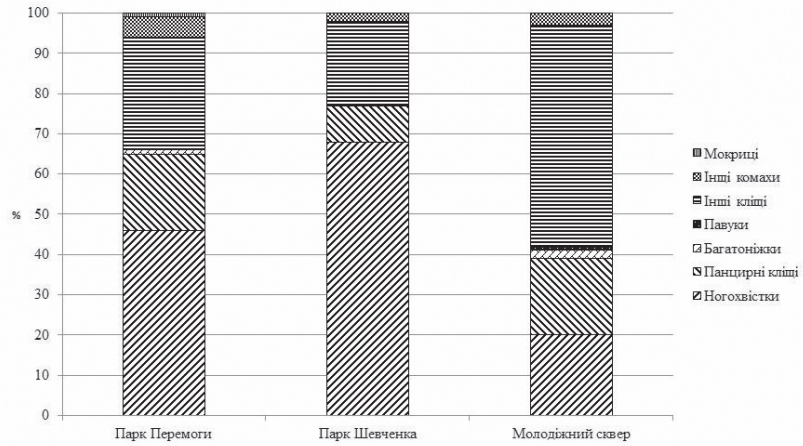


Рис. 2. Відносний вміст мезофауни у ґрунтах паркових зон м. Одеси

мальних показників у верхньому шарі ґрунту (0–5 см), тоді як ногохвістки, за чисельністю переважають у нижніх шарах (5–10 см) (табл. 1).

Таблиця 1

Середня щільність та вертикальний розподіл основних таксонів мікроартропод паркових зон (x100 екз. м²)

Назва біотопу	Ґрун-товий зразок, см	Назва угруповання				
		Prostigmata	Oribatei	Astigmata	Mesostigmata	Collembola
Парк імені Т.Г. Шевченка	0–5	3,3±1,9	29±9,3	25±7,2	31,33±11,7	134±15,1
	5–10	0	10±2,6	3,3±1,9	27,7±12,4	146,7±15
Дендропарк Перемоги	0–5	8,3±2,1	73,7±11,2	63,3±27,1	19,3±4,6	95±2,9
	5–10	5,7±1,7	40,7±12,1	49±23,6	25±3,2	182,7±59,3
Молодіжний сквер	0–5	0,3±0,1	33±15,6	108,3±55,5	3,3±1,9	17±5,8
	5–10	1,3±0,5	13,3 ±3,4	18,7±4,2	0,3±0,1	30,3±7,9

В результаті аналізу видового багатства та середньої щільності населення панцирних кліщів паркових зон міста встановлені низькі показники у Молодіжному сквері – 6 видів (2316 екз./м²) та у парку імені Т.Г. Шевченка – 8 видів (1950 екз./м²). Високими показниками видового багатства та середньої щільності угруповання панцирних кліщів, у порівнянні із попередніми ділянками, характеризується ґрунт дендропарку Перемоги – 11 видів (5716 екз./м²) (рис. 3). Така різниця у чисельності може бути пов'язана із меншим антропо-

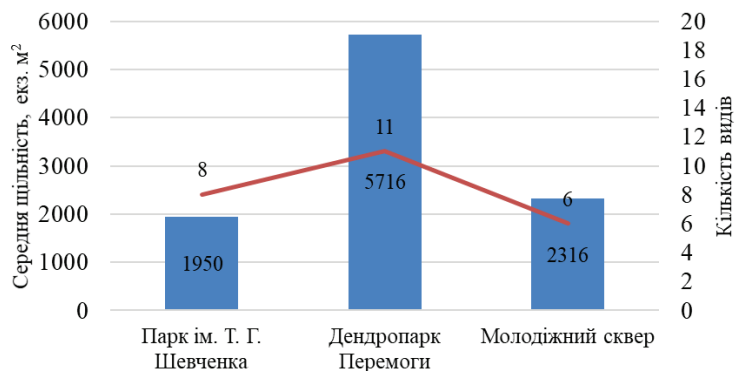


Рис. 3. Середня щільність та видове багатство населення панцирних кліщів паркових зон м. Одеси

генним тиском у дендропарку Перемоги, тут на більшій площі розташовано значно менше розважальних закладів та закладів швидкого харчування.

Протягом всього дослідження зареєстровано 599 екземплярів панцирних кліщів. За ідентифікацією кліщі належать до 18 видів, 10 надродин: Eriophmanidae, Oppioidea, Tectocephidae, Euphthiracaridae, Hymenochthonidae, Palaeacaridae, Pelopidae, Nothridae, Belboidea та Galumnoidea (табл. 2).

Аналізуючи індекси екологічного різноманіття панцирних кліщів паркових зон м. Одеси, необхідно зазначити, що найнижчими показниками характеризується ґрунт Молодіжного скверу. Індекси Маргалефа та Шеннона максимальні у дендропарку Перемоги, а індекс Менхініка має максимальне значення у парку імені Т.Г. Шевченка. За індексом подібності встановлено, що за видовим складом панцирних кліщів найбільш подібні між собою досліджені ділянки у дендропарку Перемоги та парку імені Т.Г. Шевченка (35%). Найнижча подібність видового складу панцирних кліщів відмічена парку імені Т.Г. Шевченка та Молодіжному скверу (8%).

За структурою домінування у всіх досліджених біотопах переважали домінанти: в дендропарку Перемоги – 4 види (57,7%), парк імені Т.Г. Шевченка – 5 видів (81%), Молодіжний сквер – 5 видів (91,4%) (рис. 4).

Необхідно відзначити повну відсутність на дослідженій ділянці Молодіжного скверу рідкісних видів – рецентів та субрецентів. Частка рідкісних видів на інших ділянках була вкрай низькою. На ділянці парку імені Т.Г. Шевченка встановлено один рідкісний вид *Hymenochthonius rufulus* (2,6%), в дендропарку Перемоги *Oribatei g.sp.1* (0,3%). За допомогою аналізу структури домінування можна оцінити ступінь антропогенного навантаження на угруповання. Зазвичай в непорушених екосистемах за шкалою Енгельмана для мікроартропод відсутні еудомінанти, багато домінантів і субдомінантів з низьким процентним співвідношенням і багато рідкісних видів (рецентів та субрецентів)

Таблиця 2

**Видовий склад, чисельність, життєві форми та розподіл
панцирних кліщів в паркових зонах міста Одеси**

Вид	Життєва форма*	Парк імені Т.Г. Шевченка, екз.	Дендропарк Перемоги, екз.	Молодіжний сквер, екз.
1	2	3	4	5
<i>Oppia minus</i> Paoli, 1908	МДГС	18	19	12
<i>O. falcate</i> Paoli, 1908	МДГС	11	27	-
<i>Hypochothonius rufulus</i> Berlese, 1910	НФ	3	14	-
<i>Sphaerochthonius splendidus</i> Berlese, 1904	ГФ	-	58	-
<i>Palaeacarus orientalis</i> Bul-Zachv, 1967	МПГ	-	56	-
<i>Eupelops bilobus</i> Sellnick, 1928	МДГС	-	39	-
<i>Epilohmannia cylindrica</i> Berlese, 1904	НФ	-	47	-
<i>Belba</i> sp.	МПГ	26	-	-
<i>Phthiracarus</i> sp.	МДГС	20	-	-
<i>Tectocepheus velatus</i> Michael, 1880	НФ	8	25	-
<i>Scheloribabes latipes</i> Koch, 1836	НФ	-	-	14
<i>Sch. laevigatus</i> Koch, 1836	НФ	-	-	15
<i>Ceratozetes gracilis</i> (Michael, 1884)	НФ	15	-	-
<i>Nothrus palustris</i> Koch, 1839	МПГ	-	37	43
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902)	МДГС	-	-	31
<i>Galumna lanceata</i> Oudemans, 1900	МП	-	-	24
<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet, 1855)	МПГ	16	20	-
Oribatei g.sp.1	-	-	1	-
Разом, екз.		117	343	139
Кількість видів		8	11	6
Індекс Маргалєфа		1,47	1,71	1,01
Індекс Менхініка		0,74	0,59	0,51
Індекс Шеннона		2,83	3,2	2,43

Примітка: * МП – мешканці підстилки, МПГ – мешканці поверхні ґрунту, НФ – неспеціалізовані форми, МДГС – мешканці дрібних ґрунтових свердловин, МГТГ – мешканці глибоких товщ ґрунту.

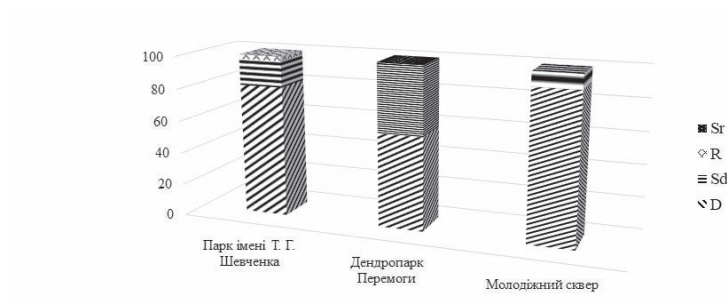


Рис. 4. Структура домінування угруповань панцирних кліщів

[12]. В нашому випадку ґрунтові екосистеми парків міста мають ознаки певних порушень, основна частка всіх видів представлена домінантами із високим відсотковим співвідношенням.

Угруповання панцирних кліщів порушених екосистем звичайно представлено 2–3 адаптивними (життєвими) формами з дуже нерівномірним розподілом. Аналіз співвідношення життєвих форм паркових зон міста показує наявність у парку імені Т.Г. Шевченка трьох життєвих форм, у дендропарку Перемоги та Молодіжному сквері – чотирьох (рис. 5).

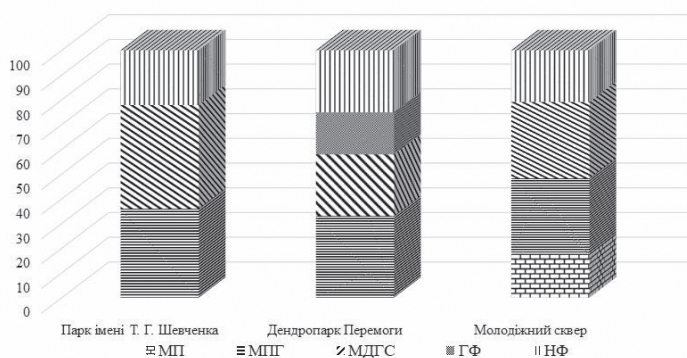


Рис. 5. Співвідношення життєвих форм панцирних кліщів паркових зон міста Одеси

За результатами проведеного аналізу структури угруповання панцирних кліщів досліджених ділянок паркових зон, використовуючи 5 критеріїв (видове багатство, середня щільність, структура домінування, співвідношення життєвих форм та індекс Шеннона) проведена оцінка стану навколишнього середовища за А. Д. Штирцем [12]. Екологічний стан ґрунтів парку імені Т.Г. Шевченка та Молодіжного скверу оцінюється як «середній рівень відхилень від норми», дендропарку Перемоги – «незначні відхилення від норми».

Висновки

1. На досліджених ділянках паркових зон міста Одеси в ґрунтових зразках виявлено такі класи безхребетних тварин: Ecnoplea, Malacostraca, Arachnida, Myriapoda, Entognatha, Insecta. За чисельністю у всіх досліджених біотопах переважали кліщі (Prostigmata, Mesostigmata, Astigmata) та ногохвістки (Collembola).

2. За вертикальним розподілом основних груп мікроатропод кліщі переважають у поверхневих шарах ґрунту (0–5 см), ногохвістки – у глибших (5–10 см).

3. Аналіз видового багатства та екологічної структури угруповання панцирних кліщів досліджуваних ділянок паркових зон міста Одеси показав, що фауна кліщів представлена небагатьма видами із низькою чисельністю. Показники видового багатства, середньої щільності та індекси різноманіття низькі на ділянках Молодіжного скверу та парку імені Т.Г. Шевченка. Більш високими показниками характеризується екологічна структура угруповання на ділянці дендропарку Перемоги.

4. За структурою домінування ґрунтового екосистеми парків міста містять ознаки певних порушень: основна доля всіх видів представлена домінантами із високим процентним співвідношенням.

5. Аналіз адаптивних форм показав наявність трьох життєвих форм у парку імені Т.Г. Шевченка та у дендропарку Перемоги та Молодіжному сквері – чотирих.

6. За інтегральним показником угруповань панцирних кліщів екологічний стан навколишнього середовища оцінюється як «середній рівень відхилення від норми» у парку імені Т.Г. Шевченка та Молодіжного скверу та «незначні відхилення від норми» у дендропарку Перемоги.

Стаття надійшла до редакції 1.02.2023

Список використаної літератури

1. Гуштан Г.Г. Формування орібатидних угруповань у лучних біотопах Закарпатської низовини: дис...канд. біол. наук: 03.00.16, Львів, 2017. 236 с.
2. Жуков О.В., Пилипенко О.Ф., Кірієнко С.М. Основи ґрунтової зоології та біоіндикації: навч. посіб. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2002. 88 с.
3. Заблудовская С. А. Почвенные клещи (Acarina) Днепровских островов Киева и его окрестностей. Фауна і систематика. 2015. Т. 1–2 (10). С. 105–112.
4. Калиновський Н. В. Різноманіття та чисельність ґрунтових безхребетних лісової підстилки різних типів лісу центрального Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.4. С. 48–53.
5. Калиновський Н. В. Біоіндикація екологічного стану лісових насаджень сосни звичайної в умовах Житомирського Полісся: дис...канд. біол. наук: 03.00.16 екологія, Житомир, 2019. 238 с.
6. Немерцалов В. В. Дендрофлора міста Одеси (формування, сучасний стан, перспективи оптимізації): автореф. дис. канд. біол. наук; НАН України. Нац. ботан. сад ім. М.М. Гришка. Київ, 2008. 21 с.
7. Павличенко П. Г. Определитель цератозетоидных клещей (Oribatei, Ceratozetoidae) Украины. К.: Изд-во ин-та зоологии им. И.И. Шмальгаузена, 1994. 143 с.

8. Попова Е. Н., Кузнецов Е. Н., Осадчая Л. П. Дендрофлора парков-памятников садово-паркового искусства города Одессы. Науч. зап. Гос. природоведч. музея (Львов). 2007. Вып. 23 С. 145–156.
9. Сергиенко Г. Д. Низшие оribатиды. Фауна Украины. Київ: Наукова думка, 1994. 204 с.
10. Штирц А. Д. Структура та динаміка населення панцирних кліщів (Acariiformes, Oribatei) заповідних степів Південного Сходу України: автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд. біол. наук: 03.00.16 «Екологія». Д., 2000. 19 с.
11. Штирц А. Д., Ярошенко М. С. Панцирные клещи как биоиндикаторы степени влияния производственной деятельности ГП «Артемсоль» (г. Соледар) на окружающую среду. Проблемы экологии та охорони природи техногенного регіону. 2012. № 1. С. 179–185.
12. Штирц А. Д. Оценка влияния антропогенной нагрузки на экосистемы с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей. Acta Biologica Sibirica. 2015. № 1 (1–2). С. 51–66.
13. Штирц А. Д., Журавель М. Ю. Панцирні кліщі (Acari: Oribatida) на ділянках нафтогазорозробки. Ukrainian Journal of Ecology. 2017. № 7(2). P. 5–13
14. Ярошенко Н. Н. Оribатидные клещи (Acariiformes, Oribatei) естественных экосистем Украины. Донецк: Дон НУ, 2000. 312 с.
15. Engelmann H.-D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.
16. Magurran A. E. Measuring Biological diversity. Blackwell Publishing company, 2004. 256 p.
17. Kolodochka L. A., Shevchenko O. S. Diversity and community structure of oribatid mites (Acari, Oribatei) at memorial complexes of a megapolis. Vestnik zoologii. 2013. № 47(4). P. 291–297.
18. Shevchenko O. S., Kolodochka L. A. Species complexes of the oribatid mites (Sarcoptiformes, Oribatei) in soils of urban street lawns with different pollution rates. Vestnik zoologii. 2013. № 47(6). P. 49–52.
19. Weigmann G. Acari, Actinochaetida Hornmilben (Oribatida). Keltern: Goecke & Evers, 2006. 520 p.

С. Я. Підгорна, О. Ф. Делі, К. Й. Черничко

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
біологічний факультет, кафедра зоології, гідробіології та загальної екології,
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, e-mail: spb1981@ukr.net

ПАНЦИРНІ КЛІЩІ (ORIBATEI) У СКЛАДІ МЕЗОФАУНИ ПАРКОВИХ ЗОН МІСТА ОДЕСИ (УКРАЇНА)

Резюме

Актуальність. В статті вперше наведені дані щодо мезофауни ґрунтів паркових зон м. Одеси.

Мета. Вивчення видового складу та основних екологічних характеристик угруповань панцирних кліщів ґрунтів паркових зон міста Одеси.

Методи. В ході дослідження використано загальноприйняті методи дослідження ґрунтових мікроатропод, а саме взяття ґрунтових зразків, екстракція мікроартопод у термоеклекторах, виготовлення постійних мікропрепаратів.

Результати. За результатами дослідження показано, що мезофауна ґрунтів паркових зонах м. Одеси містить фоонові групи безхребетних тварин: Ecnorlea, Malacostraca, Arachnida, Myriapoda, Entognatha, Insecta. За чисельністю у всіх досліджених біотопах переважали кліщі (Prostigmata, Mesostigmata, Astigmata) та ногохвістки (Collembola). Показано, що за вертикальним розподілом в ґрунті кліщі переважають у поверхневих шарах ґрунту (0–5 см), ногохвістки – у глибших (5–10 см). Визначено 18 видів панцирних кліщів, яким надано основні екологічні характеристики: життєві форми та структура домінування. Проведена оцінка навколишнього середовища за інтегральним показником угруповань панцирних кліщів.

Висновки. За аналізом угруповань панцирних кліщів показано, що екологічний стан навколишнього середовища у парках міста Одеси оцінюється як «середній рівень відхилень від норми» у парку імені Т. Г. Шевченка та Молодіжного скверу та «незначні відхилення від норми» у дендропарку Перемоги.

Ключові слова: мезофауна; панцирні кліщі; екологічна структура; паркові зони; м. Одеса

S. Ya. Pidhorna, O. F. Deli, K. Y. Chernychko

Odesa I. I. Mechnikov National University, Faculty of Biology,
Department of Zoology, Hydrobiology and General Ecology, 2 Dvoryans'ka St.,
Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: spb1981@ukr.net

ORIBATID MITES (ORIBATEI) IN THE MESOFAUNA OF PARK ZONES CITIES OF ODESA (UKRAINE)

Abstract

Introduction. The data about mesofauna of the soils of the park areas of Odesa are presented for the first time in this article.

Aim. To study the species composition and main ecological characteristics of groups of armored ticks in the soils of the park zones of Odesa city.

The main results. In the course of the study, generally accepted methods of soil microarthropod research were used, namely: taking soil samples, extraction of microarthropods in thermoelectrics, and making permanent micropreparations.

The main results. According to the results of the study, it was shown that the mesofauna of the soils of the park zones of Odesa contains phonon groups of invertebrates: Enoplea, Malacostraca, Arachnida, Myriapoda, Entognatha, Insecta. Mites (Prostigmata, Mesostigmata, Astigmata) and springtails (Collembola) predominated in all studied biotopes. It is shown that according to the vertical distribution in the soil, mites predominate in the surface layers of the soil (0–5 cm), and springtails prevail in the deeper ones (5–10 cm). 18 species of oribatid mites were identified, which were given the main ecological characteristics: life forms and dominance structure. An environmental assessment was carried out based on the integral index of groups of oribatid mites.

Conclusions. According to the analysis of groups of oribatid mites, it is shown that the ecological state of the environment in the parks of the city of Odesa is estimated as “average level of deviations from the norm” in the Shevchenko Park and Youth Square and “slight deviations from the norm” in the Peremogy Arboretum.

Key words: mesofauna; oribatid mites; ecological structure; park areas; Odesa.

References

- Gushtan H.G. (2017) *Formation of oribatid uropods in meadow biotopes of the Transcarpathian lowland* [Formuvannya oribatidnich ugrupovan u luchnich biotopach Zakarpatskoi nizovini. dis... kand. biol. nauk], Lviv, 236 p.
- Zhukov O.V., Pylypenko O.F., Kiriienko S.M. (2002) *Basics of soil zoology and bioindication: teaching manual* [Osnovi gruntovoi zoologii ta bioindikacii], Dnipropetrovsk, 88 p.
- Zabludovskaya S.A. (2015) Soil mites (Acarina) of the Dnieper islands of Kyiv and its surroundings [«Pochvenne kleshi (Acarina) Dneprovskich ostrovov Kievа I ego okrestnostei»], *Fauna and systematics*, 1–2 (10), P. 105–112.
- Kalinovskiy N.V. (2012) Diversity and abundance of soil invertebrates of forest litter of different types of forest of central Polissia [«Risnomanittja ta chiselnist gruntovich bezchrebetnich lisovoi pidstilki riznich tipiv lisiv centralnogo Polissia»], *Scientific Bulletin of National Technical University of Ukraine*, 22.4, P. 48–53.
- Kalynovskiy N.V. (2017) Bioindication of the ecological state of pine forest plantations in Zhytomyr Polissia [Bioindykatsiia ekolohichnoho stanu lisovykh nasadzen sosny zvychainoi v umovakh Zhytomyrskoho Polissia: dys...kand. biol. Nauk], Zhytomyr, 238 p.
- Nemertsalov V.V. (2008) *Dendroflora of the city of Odessa (formation, current state, prospects for optimization)* [Dendroflora mista Odesi (formuvannya, suchasnij stan, perspektivi optimisacii)], autoref. thesis Ph.D. biological Science, Kyiv, 21 p.
- Pavlychenko P.G. (1994) *Determinant of ceratozetoid ticks (Oribatei, Ceratozetoidea) of Ukraine* [Opredelitel cerazitoidnich kleshej (Oribatei, Ceratozetoidea) Ukraini], Kyiv, 143 p.
- Popova E.N., Kuznetsov V.A., Osadchaya L.P. (2007) Dendroflora of parks-pammatniks of garden and park art of the city of Odessa [«Dendroflora parkov-pamjatnikov sadovo-parkovogo isskustva goroda Odessi»], *Nauch. zap. Mr. natural scientist Museum (Lviv)*, 23. pp. 145–156.
- Sergienko G.D. (1994) *Lower Oribatids. Fauna of Ukraine* [Nizchie oribatidi. Fauna Ukraini], Kyiv, 204 p.
- Shtirts A.D. (2000) *Structure and dynamics of the population of armored mites (Acariformes, Oribatei) of the protected steppes of South-Eastern Ukraine* [Struktura ta dinamika naselennja pancirnich klichiv (Acariformes, Oribatei) zapovidnich stepiv Pivdennoho Schodu]: autoref. thesis Ph.D. biological Science, D., 19 p.
- Shtirts A.D., Yaroshenko M.S. (2012) Armored ticks as bioindicators of the degree of influence of production activities of State Enterprise «Artemsol» (Soledar) on the environment [«Pancirnie klechi kak bioindikatori stepeni vlijanija proizvodstvennoj dejatelnosti GP «Artemsol» na okrugachuu sredu»], *Problems of ecology and nature protection of the man-made region*, 1, pp. 179–185.
- Shtirts A.D. (2015) Evaluation of the influence of anthropogenic load on ecosystems using the integral indicator of communities of armored mites [«Ocenka vlijanija antropogennoj nagruzki na ekosistemi s ispolzovaniem integralnogo pokazatelja soobchestv pancirnich klechej»], *Acta Biologica Sibirica*, 1 (1–2), pp. 51–66.
- Shtirts A.D., Zhuravel M. Yu. (2017) Armored mites (Acari: Oribatida) on oil and gas development sites [«Pancirnie klechi (Acari: Oribatida) na diljankach naftogasarozrobki»], *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(2), pp. 5–13
- Yaroshenko N.N. (2000) *Oribatid ticks (Acariformes, Oribatei) of natural ecosystems of Ukraine* [«Oribatidnie klechi (Acariformes, Oribatei) estestvennich ekosistem Ukraini»], Donetsk, 312 p.
- Engelmann H.-D. (1978) Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden / *Pedobiologia*, 18 (5/6), P. 378–380.
- Magurran A.E. (2004) *Measuring Biological diversity* / Blackwell Publishing company, 256 p.
- Kolodochka L.A., Shevchenko O.S. (2013) Diversity and community structure of oribatid mites (Acari, Oribatei) at memorial complexes of a megapolis / *Vestnik zoologii*, 47(4), P. 291–297.
- Shevchenko O.S., Kolodochka L.A. (2013) Species complexes of the oribatid mites (Sarcoptiformes, Oribatei) in soils of urban street lawns with different pollution rates / *Vestnik zoologii*, 47(6), P. 49–52.
- Weigmann G. (2006) *Acari, Actinochaetida Hormmilben (Oribatida)* / Keltern: Goecke & Evers, 520 p.

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284688](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284688)

УДК 595.768.23

Л. А. Сергєєв¹, канд. с.-г.н.,
В. Ю. Назаренко², канд.б.н.,
С. П. Ужевська¹, канд.б.н., доц.,
С. І. Бурикїна¹, канд.с.-г.н.

¹Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, Одеський район, смт Хлібодарське, Маяцька дорога, 24, e-mail: grass_snake@ukr.net

²Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена НАН України, вул. Б. Хмельницького, 15, Київ, 01030, Україна, e-mail: nazarenko@izan.kiev.ua

НОВІ ЗНАХІДКИ ДЕЯКИХ ВИДІВ ДОВГОНОСИКІВ (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

В статті наведено інформацію про знахідки 18 видів довгоносикив на полях пшениці та гороху смт. Хлібодарське, Одеського району в 2022 році. Вперше в Одеській області реєструється п'ять видів: *Ethelcus denticulatus* (Schränk, 1781), *Stenocarus cardui* (Herbst, 1784), *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838, *Hypera melancholica* (Fabricius, 1792), *H. viciae* (Gyllenhal, 1813). *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844) відмічено вдруге.

Ключові слова: Curculionoidea, нові знахідки, Україна, Одеса, горох, пшениця.

Актуальність. Надродина довгоносикоподібних жуків (Curculionoidea) нараховує близько 1500 видів в Україні, з них 332 зареєстровані в Одеській області [14]. Окремі їх представники пошкоджують сільськогосподарські культури і лісові насадження, інші є фітофагами дикорослих рослин і бур'янів, що дозволяє використовувати їх як агентів боротьби з адвентивними рослинами.

Метою нашої роботи було встановлення видового складу довгоносикив на полях Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції.

Матеріал і методи досліджень

Полеві досліді були проведені на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКОСГ НААН, яке знаходиться в смт. Хлібодарське Одеського району Одеської області.

Облік комах здійснювався на посівах озимої пшениці сорту Сториця з попередником горох та озимого гороху сорту Ендуро з попередниками пшениця озима, але роками раніш на цих полях йшли сівозміни з чергуванням культур: озима віка або горох + гірчиця (сидеральні пари), озима пшениця та овес. Гербіциди не використовувались.

При проведенні обліку шкідників користувалися загальноприйнятими методами [1]. Відбір комах-герпетобіонтів проводили за допомогою пасток Барбера (діаметр 55 мм, фіксатор 150 мл 6% розчину NaCl у 9% розчині столового оцту). Тривалість збору сягала вісім діб. Після відбору комах фіксували 70% етиленгліколем. Пастки розміщувались на відстані 5–6 м одна від одної. Відбір зразків здійснювали у період початку вегетації пшениці і гороху 28.3.2022, фазу утворення вусиків гороху 10.5.2022, фазу цвітіння на початку наливу зерна пшениці 01.06.2022. Під час цвітіння та початку наливу зерна пшениці та наливу зерна гороху проводили збори хортобіонтів, використовуючи стандартні методи косіння ентомологічним сачком. Збір матеріалу здійснювали С. П. Ужєвська та С. І. Бурикiна, ідентифікацію проведено В. Ю. Назаренко, ним же підготовлені фотографічні зображення довгоносиків на мікроскопі Leica MZ 9.

В результаті проведених досліджень зареєстровано 18 видів довгоносиків Curculionoidea. На полях гороху зустрічалось 15 видів довгоносиків, пшениці – 11 видів (табл. 1).

Таблиця 1

Види довгоносиків, що зустрічаються на полях ОДСДС

Види Curculionoidea	Пшениця	Горох
Family Anthribidae		
1. <i>Bruchela orientalis</i> Strejček, 1982	-	+
Family Curculionidae		
Subfamily Baridinae		
2. <i>Aulacobaris coerulescens</i> (Scopoli, 1763)	-	+
Subfamily Ceutorhynchinae		
3. <i>Ceutorhynchus erysimi</i> (J. C. Fabricius, 1787) (fragments)	+	-
4. <i>Ceutorhynchus</i> sp.	+	+
5. <i>Ceutorhynchus?chalybaeus</i> Germar, 1823	+	+
6. <i>Ceutorhynchus sophiae</i> Gyllenhal, 1837	+	+
7. <i>Coeliastes lamii</i> (Fabricius, 1792)	+	+
8. <i>Ethelcus denticulatus</i> (Schrank, 1781)	+	+
9. <i>Neoglocianus albovittatus</i> (Germar, 1824)	+	-
10. <i>Stenocarus cardui</i> (Herbst, 1784)	+	+
Subfamily Curculioninae		
11. <i>Gymnetron rotundicolle</i> Gyllenhal, 1838	+	+
12. <i>Tychius (Tychius) quinquepunctatus</i> (Linnaeus, 1758)	-	+

Subfamily Entiminae		
13. <i>Sitona callosus</i> Gyllenhal, 1834	-	+
14. <i>Sitona macularius</i> (Marsham, 1802)	+	+
Subfamily Hyperinae		
15. <i>Hypera melancholica</i> (Fabricius, 1792)	-	+
16. <i>Hypera viciae</i> (Gyllenhal, 1813)	-	+
Subfamily Lixinae		
17. <i>Bothynoderes affinis</i> (F.P. Schrank, 1781)	+	-
Subfamily Molytinae		
18. <i>Alcidodes karelinii</i> (Boheman, 1844)	-	+

П'ять видів зареєстровані вперше в Одеській області [14]:

1. *Ethelcus denticulatus* (Schrank, 1781) (рис.1).

Поширення. Європа, Кавказ, Мала Азія, Сирія, Іран [4]. В Україні в південних і західних областях, в тому числі в Херсонській, Миколаївській і в Криму. З Одеської області не повідомлявся.

В наших дослідженнях виявлено 26 екз.: на посівах гороху (46,481904°, 30,5969114°– 30,5968268°) 19 екз. (11♀, 8♂) в пастках 28.03.2022; пшениці (46,481904°, 30,5969114°) – 7 екз.: 4 екз. (3♀, 1♂) в пастках, 1 екз.(♂) 26.05.2022 при косінні, 2 екз. (♀, ♂) 16.11.2022 в пастках. Тобто в березні виявлено 23 екз., травні – 1 екз., листопаді – 2 екз.

Трофічні зв'язки. Розвивається на рослинах з родини макових (Papaveraceae) – *Papaver rhoeas*, *P. somniferum* [14].



Рис. 1. *Ethelcus denticulatus*, ♀



Рис. 2. *Stenocarus cardui*, ♀

2. *Stenocarus cardui* (Herbst, 1784) (рис.2).

Поширення. Палеарктика [4]. Правобережна Україна, Крим. В причорноморських областях досі не був зареєстрований [14].

Нашими дослідженнями було виявлено 46 екз.: на посівах гороху (46,481904°, 30,5969114°–30,5968268°) 39 екз.: 37 екз. (11♀, 8♂) в пастках 28.03.2022, 2 екз. (♀) в пастках 16.11.2022; пшениці (46,481904°, 30,5969114°) – 7 екз.: 5 екз. (3♀, 1♂) в пастках 28.03.2022, 1 екз. (♂) 01.06.2022 при косінні, 1 екз. (1♀) 16.11.2022 в пастках. В березні виявлено 42 екз., червні – 1 екз., листопаді – 3 екз.

Трофічні зв'язки. На рослинах з родини макових (Papaveraceae) – *Papaver rhoeas*, *P. somniferum* [14].

3. *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838 (рис. 3).



Рис. 3. *Gymnetron rotundicolle*, ♂



Рис. 4. *Hypera melancholica*, ♂

Поширення. Західна Палеарктика [3]. В Україні спочатку був відомий лише з Криму [1; 14]. В базі даних UkrVin [13] міститься інформація про нещодавні знахідки цього виду в Херсонській та Київській областях. Це узгоджується з наявними висновками про розширення ареалу цього виду в Європі [5].

На полях ОДСДС виявлено 5 екз.: на посівах гороху (46,481904°, 30,5969114°–30,5968268°) 2 екз. (1♀, 1♂) в пастках 28.03.2022; пшениці (46,481904°, 30,5969114°) – 3 екз. (3♀) в пастках 28.03.2022.

Трофічні зв'язки. На *Veronica persica* (Plantaginaceae) [2], можливий розвиток і на інших видах роду, наприклад, *Veronica chamaedrys* [7].

4. *Hypera melancholica* (Fabricius, 1792) (рис.4).

Поширення. Західна Палеарктика [10]. На півдні України не був відомий [14]. Нами виявлено на полях гороху (46,481904°, 30,5969114°–30,5968268°) 16 екз. (6♀, 10♂) в пастках 28.03.2022.

Трофічні зв'язки. На Fabaceae, переважно *Trifolium pratense*, *Medicago falcata*, *M. sativa* [11]; *Vicia* spp. [14].

5. *Hypera viciae* (Gyllenhal, 1813) (рис. 5).

Поширення. Палеарктика [10]. Більша частина території України. На півдні виявлений у Миколаївській області [14]. Виявлено чотири екземпляри (3♀, 1♂) цього виду на полях гороху (46,481904°, 30,5969114°–30,5968268°) при косінні 22.05.2022.

Трофічні зв'язки. На Fabaceae (*Vicia* spp., *V. silvatica*, *V. tenuifolia*, *Lathyrus*) [9, 11, 12].

Крім зазначених п'яти видів, виявлено один екземпляр *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844) (рис. 6), знайденого вперше в Одеській області в 2011 р. на лівому березі Сухого Лиману в околицях порту [8]. Це друга знахідка. Розвивається в плодах берізкових (Convolvulaceae, *Convolvulus arvensis*) [6, 8, 14]. Жуки цього виду дуже рідко трапляються під час досліджень, незважаючи на значну розповсюдженість кормових рослин.



Рис. 5. *Hypera viciae*, ♀



Рис. 6. *Alcidodes karelinii*, ♂

Обговорення

З 18 виявлених на даний момент видів довгоносикив більшість трофічно пов'язана з бур'янами або попередніми сівозмінами, і лише один (*Sitona macularius*) вважається шкідником і може пошкоджувати горох, проте його шкодочинність на досліджених посівах цієї культури вимагає окремих спостережень.

Всі знайдені в області вперше види не є новими для фауни України і більшість з них широко розповсюджені на її території. Всі вони також переважно фітофаги рудеральної рослинності і не завдають шкоди озимій пшениці та гороху підзимової сівби. Два з них (*H. melancholica*, *H. viciae*) можуть також залишатися на зимівлі після озимої віки у сівозміні.

Відсутність відомостей про їх знахідки в Одеській області в наявній літературі, можливо, зумовлене змінами їх ареалу, наприклад, проникненням разом з кормовими рудеральними рослинами, або заселення полів під час весняного вильоту з місць зимівлі. Дорослі жуки всіх наведених вище видів довгоносиків, які були зафіксовані під час досліджень, мають розвинену другу пару крил і тому можна очікувати на їх високу здатність до міграцій на цій стадії в пошуках придатних місць для живлення і розмноження.

Встановлення видового складу флори узбіч доріг, лісосмуг та міжрядь, адвентивної рослинності та бур'янів у посівах та їх ентомологічного обстеження дозволить мати більш повне уявлення про біорізноманіття агроценозів і вчасне виявлення шкідників.

Висновки

На полях гороху підзимової сівби та озимої пшениці Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКОСГ НААН в 2022 році зареєстровано 18 видів довгоносиків, з яких були виявлені такі, що раніше не були відмічені в Одеській області: *Ethelcus denticulatus* (Schrank, 1781), *Stenocarus cardui* (Herbst, 1784), *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838, *Hypera melancholica* (Fabricius, 1792), *Hypera viciae* (Gyllenhal, 1813) і *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844), перша знахідка якого була опублікована у 2011 р.

Стаття надійшла до редакції 21.01.2023

Список використаної літератури

1. Облік шкідників і хвороб сільськогосподарських культур. За ред. Омелюти В. П. Київ: Урожай, 1986. 294 с.
2. Caldara R. Revisione delle specie paleartiche del genere *Gymnetron* (Insecta, Coleoptera: Curculionidae). *Aldrovandia*. 2008. Vol. 5. P. 27–104.
3. Caldara, R. Curculioninae. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. 2013. Vol. 8. P. 117–172.
4. Colonnelli E. Ceutorhynchinae. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. 2013. Vol. 8. P. 176–214.
5. Germann C., Trivellone V., Pollini Paltrinieri L., Moretti M. First record of the adventive weevil *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838 from Switzerland (Coleoptera, Curculionidae). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*. 2013. Vol. 86, no. 1–2. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-403056>.
6. Gültekin L., Korotyayev B. A., Gültekin N., Davidian G. E., Güdek M. Diagnosis and distribution of *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844): a new record for Turkey (Curculionidae: Molytinae: Mecysolobini). *Transactions of the American Entomological Society*. 2019. Vol. 145. P. 90–99. DOI: <https://doi.org/10.3157/061.145.0110>.
7. Krátký J., Trnka F. Records of two interesting weevil species in the Czech Republic (Coleoptera: Curculionidae). *Weevil News*. 2012. Vol. 82. P. 2.
8. Назаренко В. Ю., Некрасова О. Д. Первая находка жука–долгоносика *Sternuchopsis karelini* (Coleoptera, Curculionidae) в Одесской области. *Вестник зоологии*. 2011. Т. 45, вып. 6. С. 512.
9. Scherf H. Die Entwicklungs-Stadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). *Abhandlungen der Senkenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*. 1964. Vol. 506. P. 1–335.
10. Skuhrovec J. Hyperinae. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. 2013. Vol. 8. P. 423–437.
11. Smreczyński S. Ryjkwce – Curculionidae. Podrodziny Tanymecinae, Cleoninae, Tanyrhynchinae, Hylobiinae. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. 1968. Cz. 19, z. 98c. 1–106 pp.

12. Tempère G., Pericart J. Coléopteres Curculionides, 4. Compléments aux trois volumes d'Adolphe Hoffmann. Corrections, additions et répertoire. *Faune de France*. 1989. Vol. 74. P. 1–536.
13. UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [public project & web application]. UkrBIN, Database on Biodiversity Information. Available: <https://www.ukrbin.com>. – 2017 (Accessed: 12.04.2023).
14. Yunakov N., Nazarenko V., Filimonov R., Volovnik S. A survey of the weevils of Ukraine (Coleoptera: Curculionoidea). *Zootaxa*. 2018. Vol. 4404, no 1. P. 1–494. DOI:10.11646/zootaxa.4404.1.1

Л. А. Сергєєв¹, В. Ю. Назаренко², С. П. Ужєвська¹, С. І. Бурикіна¹

¹Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, Одеський район, смт Хлібодарське, Маяцька дорога, 24, e-mail: grass_snake@ukr.net

²Інститут зоології імені І. І. Шмальгаузена НАН України, вул. Б. Хмельницького, 15, Київ, 01030, Україна, e-mail: nazarenko@izan.kiev.ua

НОВІ ЗНАХІДКИ ДЕЯКИХ ВИДІВ ДОВГОНОСИКІВ (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Резюме

Актуальність. Зважаючи на те, що окремі представники довгоносикоподібних пошкоджують сільськогосподарські культури і лісові насадження, інші є фітофагами дикорослих рослин і бур'янів доцільним є вивчення їх видового складу, розповсюдження у агроценозах.

Мета. Дослідження видового складу довгоносиків на полях Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКОСГ НААН.

Методи. Облік довгоносиків здійснювався згідно з загальноприйнятими методиками. Відбір комах-герпетобіонтів проводили за допомогою пасток Барбера, хоротобіонтів – косіння ентомологічним сачком.

Результати. На полях гороху підзимової сівби та озимої пшениці Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКОСГ НААН в 2022 р. зареєстровано 18 видів довгоносиків, з яких були виявлені такі, що раніше не були відмічені в Одеській області: *Ethelcus denticulatus* (Schrank, 1781), *Stenocarus cardui* (Herbst, 1784), *Gymnetron rotundicollis* Gyllenhal, 1838, *Hypera melancholica* (Fabricius, 1792), *Hypera viciae* (Gyllenhal, 1813) – і *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844), перша знахідка якого була опублікована у 2011 р.

Ключові слова: Curculionoidea; нові знахідки; Україна; Одеса; горох; пшениця

L. A. Serhieiev¹, V. Yu. Nazarenko², S. P. Uzhevska¹, S. I. Burykina¹

¹ Odesa State Agricultural Research Station of the Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences, Odesa district, Khlibodarske, 24 Maiatska doroga, e-mail: *grass_snake@ukr.net*

² Schmalhausen Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine, B. Khmelnytskyi str., 15, Kyiv 01030, Ukraine, e-mail: *nazarenko@izan.kiev.ua*

NEW RECORDS OF WEEVILS (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) IN THE ODESA REGION

Abstract

Actuality. Considering the fact that some representatives of weevils damage agricultural crops and forest plantations, while others are phytophages of wild plants and weeds, it is advisable to study their species composition and distribution in agrocenoses.

Problem. Investigations of the species composition of weevils in the fields of the Odesa State Agricultural Research Station of the NAAS.

Methods. Counting of weevils was carried out according to generally accepted methods. Selection of herpetobiont insects was carried out using Barber's traps, hortobionts – mowing with an entomological net.

Results. In 2022, 18 species of weevils were registered in the fields of winter pea and winter wheat of the Odesa State Agricultural Research Station of the IKOA of the NAAS, of which five were found that had not previously been noted in the Odesa region: *Ethelcus denticulatus* (Schrank, 1781), *Stenocarus cardui* (Herbst, 1784), *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838, *Hypera melancholica* (Fabricius, 1792), *Hypera viciae* (Gyllenhal, 1813). New record of *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844) is published after 12 years.

Key words: species of Curculionoidea; new findings; Ukraine; Odesa; pea; wheat

References

1. Omeliuta V.P., Grygorovych I.V., Chaban V.S. et al. (1986). «Recording of crop pests and diseases» [«Облік шкідливих і хвороб сільськогосподарських культур»], Kyiv: Urozhai, 294 p.
2. Caldara R. (2008) «Revisione delle specie paleartiche del genere *Gymnetron* (Insecta, Coleoptera: Curculionidae)», *Aldrovandia*, 4, pp. 27–104
3. Caldara, R. (2013) «Curculioninae». *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*, 8, pp. 117–172.
4. Colonnelli E. (2013) «Ceutorhynchinae», *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*, 8, pp. 176–214.
5. Germann C., Trivellone V., Pollini Paltrinieri L., Moretti M. (2013) «First record of the adventive weevil *Gymnetron rotundicolle* Gyllenhal, 1838 from Switzerland (Coleoptera, Curculionidae)», *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 86 (1–2), pp. 1–5, DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-403056>.
6. Gültekin L., Korotyaev B.A., Gültekin N., Davidian G.E., Güdek M. (2019) «Diagnosis and distribution of *Alcidodes karelinii* (Boheman, 1844): a new record for Turkey (Curculionidae: Molytinae: Mecysolobini)», *Transactions of the American Entomological Society*, 145, pp. 90–99, DOI: <https://doi.org/10.3157/061.145.0110>.
7. Krátký J., Trnka F. (2012) «Records of two interesting weevil species in the Czech Republic (Coleoptera: Curculionidae)», *Weevil News* 82, 2 p.

8. Nazarenko V. Yu., Nekrasova O. D. (2011) «First record of *Sternuchopsis karelini* (Coleoptera, Curculionidae) in Odessa Region» [«Pervaia nakhodka zhuka-dolgonosika *Sternuchopsis karelini* (Coleoptera, Curculionidae) v Odesskoi oblasti»], *Vestnik Zoologii*, 45 (6), p. 512.
9. Scherf H. (1964) «Die Entwicklungs-Stadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie)», *Abhandlungen der Senkenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 506, pp. 1–335
10. Skuhrovec J. (2013) «Hyperinae», *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*, 8, pp. 423–437.
11. Smreczyński S. (1968) «Ryjkowce – Curculionidae. Podrodziny Tanymecinae, Cleoninae, Tanyrhynchinae, Hylobiinae», *Klucze do oznaczania owadów Polski*, 19 (98c), 106 p.
12. Tempère G., Pericart J. (1989) «Coléopteres Curculionides, 4. Compléments aux trois volumes d'Adolphe Hoffmann. Corrections, additions et répertoire», *Faune de France*, 74, pp. 1–536
13. UkrBIN (2017): «Ukrainian Biodiversity Information Network» [public project & web application]. *UkrBIN, Database on Biodiversity Information*. Available: <https://www.ukrbin.com> (Accessed: April 12, 2023)
14. Yunakov N., Nazarenko V., Filimonov R., Volovnik S. (2018) «A survey of the weevils of Ukraine (Coleoptera: Curculionoidea)», *Zootaxa*, 4404 (1), pp. 1–494, DOI:10.11646/zootaxa.4404.1.1.

ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284689](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284689)

УДК 59.085:[611.36+616.7+611.018.4]:612.394

Б. М. Галкін¹, д.б.н., проф.

І. В. Ходаков², науковий співробітник

Л. М. Хромагіна², к.б.н., старший науковий співробітник

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Біотехнологічний науково-навчальний центр, провул. Шампанський, 2, 65058, Одеса, Україна, e-mail: bgalkin@ukr.net

²Державна установа «Інститут стоматології та щелепно-лицевої хірургії НАМН України», лабораторія біохімії, вул. Рішельєвська, 11, 65026, Одеса, Україна, e-mail: flavan.ua@gmail.com

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЗАПАЛЕННЯ В ПЕЧІНЦІ ТА ОСТЕОДИСТРОФІЧНИМИ ЗМІНАМИ В КІСТКАХ ЩУРІВ ПРИ ГІПЕРВІТАМІНОЗІ А

Гіпервітаміноз А на тлі формування пародонтиту в щурів призводить до зниження щільності стегнових кісток і поперекових хребців внаслідок зменшення вмісту мінерального компоненту, що корелює зі зростанням активності еластази й підвищенням вмісту МДА у тканинах печінки самців і самок. У самців виявлена кореляція між рівнем активності каталази й кислій фосфатази в печінці і показниками стану кісток.

Ключові слова: щури; гіпервітаміноз А; щільність кісток; склад кісток; остеодистрофія; печінка; показники запалення та інтоксикації; кореляція

У стоматології вітамін А використовують для лікування захворювань ротової порожнини різної етіології: глосалгії, гінгівіту, гіперкератичних, ерозивно-некротичних уражень слизових, кровоточивості ясен, пульпіту, хронічних періодонтитів та ін., чинником розвитку яких може стати також й нестача в організмі вітаміну А [1, 2, 3, 4]. Однак, тривала або багаторазова терапія ретинолом, особливо у випадках використання високих доз, може призводити до значного накопичення вітаміну А у печінці, наслідком чого є прояви ознак гіпервітамінозу А: зниження імунітету, виразкування слизових оболонок, випадіння волосся, гальмування процесів остео- і хондрогенезу та ін. [3, 5, 6].

Печінка є органом депонування вітаміну А й здатна забезпечувати нормальну концентрацію ретинолу у крові (2 мкмоль/л) при дефіциті чи відсутності ретинолу у їжі протягом декількох місяців. 50–80% від загальної кількості вітаміну А в організмі знаходиться саме у печінці [5]. Відомо, що кінцевою ланкою депонування вітаміну А є стеллатні (зірчасті) клітини, які містять до 90% від загальної кількості ретинолу у печінці [5, 7]. Надмірне накопичення вітаміну А спричиняє перетворення цих клітин у міофібробласти, наслідком чого може

бути поступовий розвиток фіброзу, який, за умов хронічної інтоксикації ретинолом, призводить до цирозу печінки [8, 9].

Стан кісткової тканини при гіпервітамінозі А також набуває суттєвих змін. Але, згідно об'ємної систематизованої інформації Ribaya-Mercado et al. (2007) за період 1985–2007 років, зв'язок між застосуванням вітаміну А для лікування й профілактики та патологічними змінами у кістковій системі людини (мінеральна щільність, перелами, скелетні ушкодження) мав суперечливий характер [10]. Зрозуміло, що ступінь негативного впливу ретинолу на організм може залежати від дози, тривалості терапії, взаємодії з іншими вітамінами у складі мультивітамінних комплексів та лікувальними препаратами, супутніх захворювань, статі, віку, особливостей харчування тощо. До того ж, концентрація ретинолу в плазмі крові не є надійною оцінкою небезпечного накопичення вітаміну А в печінці [11].

Отже, важливо контролювати стан різних систем організму у випадках, коли однією зі складових лікування стоматологічних захворювань є тривалий прийом певних доз вітаміну А, навіть якщо ці дози рекомендовані [12]. Критичними об'єктами такого контролю є печінка та кісткова система. Дослідження взаємозв'язку біохімічних показників печінки з показниками стану кісткової системи, особливо за значними патологічними змінами, можуть бути корисними для контролю розвитку й запобігання небажаних побічних ефектів у кістках на базі аналізу печінкових показників при застосуванні вітаміну А для лікування стоматологічних захворювань у людини.

Мета роботи: дослідити кореляцію між біохімічними показниками запалення й антиоксидантного захисту у печінці та щільністю й складом трубчастих кісток і хребців у щурів за умов застосування високої дози вітаміну А на тлі вживання пародонтитогенної дієти.

Матеріали та методи дослідження

Експерименти проводили на самцях і самках білих щурів лінії Wistar віком 1 місяць. Роботу виконували в два етапи. На першому етапі провели випробування пародонтитогенної дієти, за використання якої у щурів моделювали пародонтит та визначали вплив цієї дієти на щільність стегнових кісток. На другому етапі на тлі використання цієї дієти моделювали гіпервітаміноз А для дослідження впливу надлишкового надходження вітаміну А до організму щурів на стан кісткової системи і біохімічні показники печінки. Визначали: ступінь атрофії альвеолярного відростка щелеп, щільність та вміст мінерального (МК) й органічного (ОК) компонентів у стегнових кістках і поперекових хребцях, активність еластази, каталази, кислотої фосфатази, уреазы й вміст малонавого діальдегіду (МДА) у тканинах печінки

На кожному з етапів дослідження щури були поділені на дві групи: контрольну – тварини якої утримувалися на раціоні з повноцінного гранульованого

твердого комбінованого корму, та дослідну – в якій на першому етапі щурів утримували на пародонтитогенній дієті, на другому етапі – на тлі споживання пародонтитогенної дієти вводили щурам вітамін А у дозі 8000 МО на 1 кг маси тіла. При виборі дози вітаміну А базувалися на такому: відомо, що щодобові введення ретинолу в дозах 10000–25000 МО на щура протягом 3 тижнів призводять до вірогідних порушень структури кісток, зміни біохімічних показників кісткової тканини та зростанню екскреції гідроксипроліну з сечею [13]. Оскільки формування пародонтиту у щурів потребує 2-х місячного утримання тварин на пародонтитогенній дієті, ми збільшили тривалість експериментів саме на цей термін і знизили щодобову дозу вітаміну А до 8000 МО на кг маси тіла щурів для запобігання надлишкової інтоксикації тварин ретинолом.

Кількість тварин у групах – по 6 щурів віком 2 місяці, тривалість експериментів на кожному з етапів – 56 діб. Маса тіла на початок експериментів: самців – не більше $140,3 \pm 4,3$ г, самок – не більше $130,3 \pm 4,4$ г.

Як джерело вітаміну А використовували препарат «Ретинолу ацетат» АТ «ВІТАМІНИ» (Україна, м. Умань; 1 мл препарату містить 100 000 МО вітаміну А), який додавали до складу пародонтитогенної дієти. Для втримання надходження вітаміну А в обраній дозі щурів зважували щотижнево й перераховували необхідну кількість ретинолу ацетату залежно від маси тварин.

Для формування пародонтиту у щурів використовували пародонтитогенну дієту за Сукманського і Макаренко (2006) [14].

Добова потреба у кормі в щурів дослідної групи 2-го етапу на початку експерименту була в середньому 166 г/кг маси тіла, на кінець – 114 г/кг. Корм видавали щодобово після видалення з клітки й зважування залишків старого корму.

Тварин виводили з експерименту шляхом тотального кровопускання з серця. Для досліджень виділяли фрагмент печінки, нижні щелепи із зубами, стегнові кістки та поперекові хребці. У печінці визначали активність еластази, кислотої фосфатази, уреази, каталази та вміст МДА за методами [15].

У щелепах визначали атрофію альвеолярного відростка як ступінь оголення коренів молярів відносно відстані між нижнім краєм альвеоли і вершиною зуба, обчислений у відсотках, за методом [15].

Кістки ретельно очищували від м'язових тканин та хрящів, після чого визначали їх щільність і вміст у них МК й ОК гравіметричними методами. Щільність кісток визначали на основі різниці показників зважування кісток у повітрі і в дистильованій воді з урахуванням фізичних параметрів води й дроту, за допомогою якого кістки прикріплювали до важеля ваг, за способом [15]. Вміст МК і ОК в кістках визначали як вагові частки, обчислені у відсотках, на основі вимірів маси вологих і висушених кісток та їх об'єму із застосуванням постійних фізичних параметрів колагену й гідроксиапатиту як основних складових кісткової тканини за способом [15].

Вибір статистичних методів опрацювання отриманих даних ґрунтується на попередній перевірці відповідності розподілу первинних даних закону нормального розподілу з використанням критерію Шапіро-Вілка. Відповідно до цього для подальшого статистичного опрацювання нами використано t-критерій Стюдента, й для аналізу зв'язків між показниками стану кісток і біохімічними показниками печінки обчислювали коефіцієнти кореляції Пірсона. При аналізі кореляції враховували загальноприйнятий поділ величин коефіцієнта кореляції r на три групи: 0,8 і більше – зв'язок (або кореляція) великої сили, від 0,6 та менше 0,8 – зв'язок середньої сили, менше 0,6 – слабкий зв'язок [16]. Статистичне опрацювання отриманих результатів здійснювали за допомогою програми STATISTICA 7.0 StatSoft, Inc.

Результати дослідження

На першому етапі дослідження було встановлено, що майже двохмісячне утримання щурів на пародонтитогенній дієті призводить до статистично вірогідного підвищення щільності стегових кісток: на 11,4% у самців і на 12,4% у самок. У наявності слабка, але загальна тенденція до формування більшої за значеннями щільності кісток у самок порівняно з аналогічними показниками самців як у нормі, так і за патологією (табл.1).

Таким чином, утримання щурів на пародонтитогенній дієті не викликає у тварин погіршення стану трубчастих кісток, принаймні за значеннями щільності цих кісток, а навпаки сприяє суттєвому підвищенню щільності стегових кісток. При цьому утримання щурів на пародонтитогенній дієті викликало у них формування пародонтиту: ступінь атрофії альвеолярного відростку в таких щурів склав $35,7 \pm 0,9\%$ у порівнянні з контрольним показником $27,8 \pm 0,7\%$ ($t = 6,93$; $p < 0,001$). Формування пародонтиту сталося переважно внаслідок зниження фізичного навантаження на щелепи через споживання м'якої їжі, дефіциту жиророзчинних вітамінів та місцевий вплив цукрози, яка міститься в кормі в певній кількості, на тканини пародонту.

Таблиця 1

Щільність стегових кісток щурів за утримання на повноцінній та пародонтитогенній дієтах

Показник	Група	
	Контрольна (повноцінна дієта)	Дослідна (пародонтитогенна дієта)
Самці		
Щільність, мг/мм ³	1,440 ± 0,035	1,604 ± 0,021 $p < 0,001$
Самки		
Щільність, мг/мм ³	1,472 ± 0,010	1,655 ± 0,017 $p < 0,001$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від відповідного показника контрольної групи

На другому етапі дослідження до умов утримання тварин дослідної групи до моделювання пародонтиту додали й формування гіпервітамінозу А. Як у самців, так і в самок цієї групи наприкінці експерименту спостерігали вірогідне зниження щільності всіх кісток: у самців – на 9,2% стегнових кісток і на 6,4% поперекових хребців, у самок – на 8,8% і 9,1% відповідно на високому рівні значущості (табл. 2, 3), що свідчить про негативний вплив надлишкового надходження вітаміну А до організму на стан кісткової системи щурів. Разом з тим, у контрольних групах щільність всіх кісток у самок була суттєво вище, ніж у самців ($p < 0,05$) (табл. 2, 3). Таку саму тенденцію спостерігали у самок дослідної групи для стегнових кісток – щільність цих кісток була вище на 3,1% у порівнянні з показниками у самців (табл. 2). Щільність стегнових кісток в контрольній групі була вищою за щільність поперекових хребців в середньому в 1,06–1,07 рази у самців і самок.

За аналізу складу досліджуваних кісток було визначено, що зниження щільності кісток у щурів дослідної групи було наслідком зниження вмісту МК й підвищення вмісту ОК. Так, у самців дослідної групи частка МК у стегнових кістках й у хребцях була на 12,9% й 8,4% меншою, ніж у таких самих кістках контрольних тварин, у самок – на 11,2% і 12,2% меншою відповідно (табл.3, 4). Проте вміст органічного компоненту в дослідній групі був вищим на 7,9% у стегнових кістках і на 3,5% у хребцях у самців, та на 5,2% і 5,5% у самок відповідно, ніж у кістках щурів контрольної групи (табл. 2, 3).

Таблиця 2

Показники стану стегнових кісток щурів за умов формування пародонтиту й гіпервітамінозу А

Показник	Група	
	Контрольна (повноцінна дієта)	Дослідна (пародонтитогенна дієта, вітамін А)
Самці		
Щільність, мг/мм ³	1,537 ± 0,009	1,395 ± 0,012 $p < 0,001$
Вміст МК,%	41,77 ± 0,74	28,83 ± 1,40 $p < 0,001$
Вміст ОК,%	23,01 ± 0,49	30,79 ± 1,29 $p < 0,001$
Самки		
Щільність, мг/мм ³	1,577 ± 0,011 $p_{\text{сам}} < 0,05$	1,438 ± 0,007 $p < 0,001$
Вміст МК,%	44,19 ± 0,75	33,02 ± 1,08 $p < 0,001$
Вміст ОК,%	23,08 ± 0,39	28,29 ± 1,35 $p < 0,01$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від відповідного показника контрольної групи, $p_{\text{сам}}$ – вірогідність відмінностей між показниками щільності у самців і самок контрольної групи, МК – мінеральний компонент, ОК – органічний компонент.

Тобто зниження вмісту МК в кістках щурів дослідної групи було суттєвішим, ніж підвищення органічного компоненту, що й призвело до зниження щільності кісток у тварин цієї групи. Також відзначено, що за умов гіпервітамінозу А у стегнових кістках самок мінералізація пригнічувалася декілька менше, ніж у самців, і частка ОК теж була меншою, хоча ця тенденція не була статистично значущою.

Додавання надлишкової кількості вітаміну А до корму призвело до значного зниження ваги щурів дослідної групи у порівнянні з показниками контрольної групи: по закінченні експерименту відносний приріст маси тіла у самців дослідної групи складав $24,7 \pm 9,2\%$ у порівнянні з $113,3 \pm 6,3\%$ в контрольній групі, у самок – $15,5 \pm 1,8\%$ у порівнянні з $66,2 \pm 2,6\%$ відповідно (рис.).

Таблиця 3

Показники стану поперекових хребців щурів за умов формування пародонтиту й гіпервітамінозу А

Показник	Група	
	Контрольна (повноцінна дієта)	Дослідна (пародонтитогенна дієта, вітамін А)
Самці		
Щільність, мг/мм ³	$1,445 \pm 0,005$	$1,352 \pm 0,007$ $p < 0,001$
Вміст МК,%	$34,84 \pm 0,43$	$26,40 \pm 0,82$ $p < 0,001$
Вміст ОК,%	$25,20 \pm 0,64$	$28,66 \pm 0,69$ $p < 0,01$
Самки		
Щільність, мг/мм ³	$1,480 \pm 0,008$ $p_{\text{сам}} < 0,01$	$1,345 \pm 0,007$ $p < 0,001$
Вміст МК,%	$37,22 \pm 0,62$	$25,01 \pm 0,86$ $p < 0,001$
Вміст ОК,%	$25,16 \pm 0,30$	$30,70 \pm 1,20$ $p < 0,001$

Примітка: така як до таблиці 2.

Видно, що приріст маси тіла самок у контрольній групі був статистично вірогідно меншим від приросту ваги самців на 41,6%. Також у самок, на відміну від самців, формування гіпервітамінозу А супроводжувалося частковим полісінням тіла.

В дослідній групі щурів формування пародонтиту й гіпервітамінозу А призвело до статистично значимого підвищення активності таких ферментів у тканинах печінки: еластази у самців – на 51,3% й у самок – на 39,9%, кислій фосфатази у самців і в самок – на 23,0–23,2%, уреазу у самців – на 24,7% й

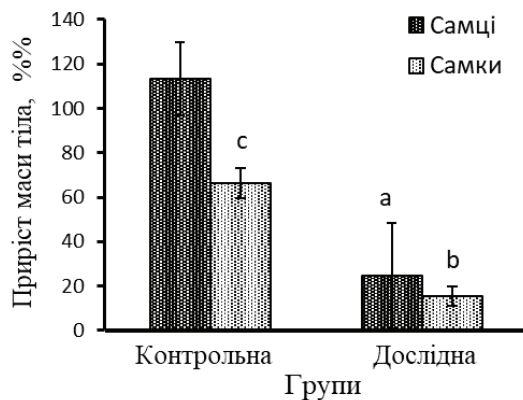


Рисунок. Відносний приріст маси тіла щурів за умов формування пародонтиту й гіпервітамінозу А.

Примітка: групи: Контрольна – повноцінна дієта; Дослідна – гіпервітаміноз А на тлі моделювання пародонтиту; a, b – вірогідна відмінність від показника контрольної групи у самців (a) та самок (b); c – вірогідна відмінність між показниками самців і самок контрольної групи; вірогідність всіх відмінностей – $p < 0,001$; довірчі інтервали надані для $P = 0,95$.

у самок – на 29,8% (табл. 4). Також у печінці в щурів цієї групи суттєво підвищився вміст МДА: у самців – на 34,6%, у самок – на 63,7%. Активність каталази за умовами моделювання патологій чисельно знизилася на 3,1–3,8%, але цей факт статистично вірогідним був тільки для самців. Видно, що в печінці самців дослідної групи рівень підвищення еластази був більшим, ніж у самок, і навпаки, у самок вміст МДА підвищився значніше, ніж у самців. У нормі всі відповідні біохімічні показники у самок і самців статистично не відрізнялися, на тлі патології – активність каталази в самок була статистично значимо вище за показник у самців.

Результати дослідження вказують на те, що зміни показників стану кісток і печінки за розвитку гіпервітамінозу А мали певний взаємозв'язок. Слід зазначити, що показники слабого зв'язку в нашому дослідженні не мали статистичної значущості, показники середньої й великої сили були вірогідні. Кореляційний аналіз показав, що найтісніший зв'язок ($|r| > 0,8$) був між активністю печінкової еластази й показниками стану кісток. Середнє значення цієї кореляції було більшим для самок – 0,847, ніж для самців – 0,705. У самок кореляція активності еластази з усіма показниками стану всіх кісток була великої сили, у самців – сильний зв'язок спостерігали тільки зі щільністю стегнової кістки. У самців кореляцію середньої сили відзначено з вмістом МК і ОК стегнових кісток і зі щільністю й МК поперекових хребців, з вмістом ОК хребців – зв'язок був слабкий (табл. 5). До того, з щільністю кісток і вмістом МК активність еластази корегувала негативно, а з вмістом ОК – позитивно.

Вміст МДА у печінці також негативно корелював з щільністю й вмістом МК стегнових кісток і поперекових хребців у щурів обох статей із близькими значеннями зв'язку середньої сили: г для самців – від $-0,624$ до $-0,714$, у самок – від $-0,662$ до $-0,709$. У самців між вмістом МДА й ОК у стегновій кістці спостерігали позитивний статистично вірогідний слабкий зв'язок (0,595) (табл. 5).

Таблиця 4

Біохімічні показники печінки щурів за умов формування пародонтиту й гіпервітамінозу А

Показник	Група	
	Контрольна (повноцінна дієта)	Дослідна (пародонтитогенна дієта, вітамін А)
Самці		
Активність еластази, мккат/кг	$284,04 \pm 39,06$	$429,60 \pm 17,67$ $p < 0,01$
Активність кислої фосфатази, мккат/кг	$69,82 \pm 1,55$	$85,86 \pm 5,85$ $p < 0,05$
Активність уреазы, мкат/кг	$0,454 \pm 0,043$	$0,566 \pm 0,023$ $p < 0,05$
Активність каталази, мкат/кг	$3,60 \pm 0,02$	$3,46 \pm 0,02$ $p < 0,001$
Вміст МДА, ммоль/кг	$30,13 \pm 1,02$	$40,55 \pm 1,98$ $p < 0,001$
Самки		
Активність еластази, мккат/кг	$292,94 \pm 15,39$	$409,82 \pm 17,80$ $p < 0,001$
Активність кислої фосфатази, мккат/кг	$68,34 \pm 4,36$	$84,17 \pm 4,80$ $p < 0,05$
Активність уреазы, мкат/кг	$0,415 \pm 0,030$	$0,539 \pm 0,039$ $p < 0,05$
Активність каталази, мкат/кг	$3,84 \pm 0,06$	$3,72 \pm 0,04$ $p_{\text{сам}} < 0,001$
Вміст МДА, ммоль/кг	$26,37 \pm 2,30$	$43,16 \pm 3,64$ $p < 0,01$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від відповідного показника контрольної групи, $p_{\text{сам}}$ – вірогідність відмінностей між показниками у самців і самок дослідної групи.

Кореляція між активністю каталази і показниками стану кісток відзначена тільки у самців і була середньої сили. Активність каталази позитивно корелювала зі щільністю й вмістом МК для всіх кісток ($0,741$ – $0,797$) та негативно – з вмістом ОК для стегнових кісток (табл. 5).

У самців також була відзначена негативна кореляція середньої сили між активністю кислої фосфатази та щільністю й вмістом МК у стегнових кістках.

Активність уреазы мала позитивний зв'язок середньої сили тільки з вмістом ОК у самців.

Таблиця 5

Коефіцієнти кореляції між біохімічними показниками печінки і показниками стану кісток за умов формування пародонтиту й гіпервітамінозу А у щурів

Біохімічні показники печінки	Стегнові кістки			Поперекові хребці		
	Щ	МК	ОК	Щ	МК	ОК
Самці						
Вміст МДА	-0,714	-0,681	0,595	-0,673	-0,624	0,374
Активність каталази	0,777	0,741	-0,644	0,797	0,749	-0,476
Активність уреаз	-0,507	-0,527	0,537	-0,516	-0,562	0,611
Активність КФ	-0,629	-0,615	0,550	-0,597	-0,599	0,533
Активність еластази	-0,815	-0,791	0,741	-0,714	-0,682	0,486
Самки						
Вміст МДА	-0,709	-0,662	0,450	-0,739	-0,704	0,496
Активність каталази	0,439	0,418	-0,321	0,397	0,389	-0,319
Активність уреаз	-0,566	-0,557	0,454	-0,584	-0,574	0,426
Активність КФ	-0,472	-0,465	0,372	-0,490	-0,477	0,372
Активність еластази	-0,868	-0,883	0,834	-0,836	-0,854	0,808

Примітка: Щ – щільність кісток; МК – вміст мінерального компоненту кісток; ОК – вміст органічного компоненту кісток; МДА – малоновий діальдегід; КФ – кисла фосфатаза. Жирним шрифтом виділено статистично значущі коефіцієнти кореляції ($p < 0,05$).

Результати аналізу свідчать, що біохімічні показники печінки корелюють з вмістом ОК менше, ніж з щільністю й вмістом МК як у самців, так і в самок для всіх досліджуваних кісток.

Обговорення результатів

За результатами дослідження було встановлено, що утримання щурів на пародонтитогенній дієті не погіршує стан трубчастих кісток щурів. Тоді як надлишкове споживання вітаміну А на тлі моделювання пародонтиту призвело до патологічної зміни метаболізму організму щурів: зниження відносного приросту маси тіла, полісіння тіла самок і порушень ремоделювання кісткової тканини: гальмування мінералізації і підвищеного накопичення органічного компоненту, зниження щільності всіх досліджуваних кісток.

Відомо, що у кістковій тканині при гіпервітамінозі А спостерігається підвищення кількості та розміру остеокластів, посилення кісткової резорбції й редукції остеоїду, формування остеопенії чи остеопорозу, переломи [17]. Оскільки основна функція вітаміну А в організмі є регуляція проліферації

та диференціація клітин різних тканин, то цю функцію ретинол повною мірою виконує й у кістковій тканині через взаємодію з ретиноїдними рецепторами RARs (рецептори ретиноїдної кислоти) α , β і γ та RXRs (ретиноїдні X-рецептори) α , β і γ остеобластів і остеокластів, через які регулює функціонування цих клітин [18]. *In vitro* встановлено, що ретиноїдна кислота пригнічує синтез OPG (остеопротегерин) і підвищує синтез ліганда RANKL в остеобластах, який активує через рецептори RANK ядерний фактор NF-каппа- β остеокластів, який стимулює їх проліферацію, диференціацію й активацію [19]. Тобто при гіпервітамінозі А відношення RANKL/OPG зростає, й це призводить до підвищення резорбції мінералізованої тканини, що узгоджується з показниками вмісту органічного, мінерального компонентів і щільністю кісток щурів у нашому дослідженні. Ретиноїдні рецептори RARs та RXRs відносяться до сімейства стероїдно-тиреоїдних рецепторів, до яких належать також рецептори VDR вітаміну D і тиреоїдного гормону [3, 5]. Тож, вітамін А при надлишковій кількості у організмі може конкурувати з вітаміном D, стероїдними і тиреоїдними гормонами, порушуючи регуляторні ланцюжки цих речовин, і, як наслідок, змішувати напрямок ремоделювання кісткових тканин на шлях деструкції. Вітамін D впливає на експресію понад 200 генів, частина з яких кодує D-залежні кальційзв'язуючі білки, а рецептори на $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ широко представлені в організмі й виявлені у понад 35 органах і тканинах [20]. Внаслідок антагонізму між вітамінами А і D за переваги надходження ретинолу в організм знижуються ефективність регуляції кісткового метаболізму вітаміном D, а також ефективність інтестинальної абсорбції та ренальної реабсорбції кальцію, що посилює резорбцію кісткових тканин для підтримання кров'яного гомеостазу [21].

Суттєві відхилення біохімічних показників за умовами гіпервітамінозу А від контрольних значень у печінці щурів свідчать про значні порушення стану цього органу. Так, підвищення активності лізосомального ферменту кислій фосфатази й нейтрофільної еластази вказують на розвиток запалення у тканині печінки. Ріст вмісту МДА у печінці свідчить про посилення перекисного окиснення ліпідів в наслідок дії такого ушкоджуючого фактору, як зростання рівня перекисів у тканинах, що призводить до порушення функціональності мембранних компонентів клітин, в тому числі, до вивільнення лізосомальних ферментів. Зниження рівня активності каталази, що спостерігали при надмірному входженні вітаміну А до організму щурів, може пов'язуватися з підвищеним окиснювальним навантаженням на тканини печінки та надлишкову витрату цього антиоксидантного ферменту для нейтралізації перекисів. Зростання уреазу за умовами формування гіпервітамінозу А вказує на інтоксикацію ретинолом і є наслідком збільшення частки умовно-патогенної складової мікробіоти в організмі, яка продукує цей гідролітичний фермент, тобто сигналізує про розвиток певного ступеня дисбіозу.

Відомо, що кінцевою ланкою депонування вітаміну А є стелатні (зірчасті) клітини, які містять до 90% від загальної кількості ретинолу у печінці [5, 7]. Саме ці клітини грають головну роль у формуванні фіброзу при гіпервітамінозі А. Інтоксикація ретинолом стимулює проліферацію цих клітин та їх перетворення у міофібробласти, що продукують велику кількість аномального позаклітинного матриксу (колаген, глікопротеїни, глікани), який порушує кровозабезпечення тканин печінки, зокрема живлення гепатоцитів, і призводить до пошкодження їх внутрішньоклітинних структур [8, 9]. Це стимулює інфільтрацію тканин печінки макрофагами, які посилюють ушкодження клітин і продукують медіатори запалення, серед них: трансформуючий фактор росту TGF- β 1, що активує стелатні клітини й стимулює продукцію матриксних компонентів, інтерлейкін ІЛ-6, фактор некрозу пухлини α (TNF- α) та ін. [22, 23]. Внутрішньоклітинна деструкція гепатоцитів супроводжується ушкодженням плазматичних мембран, у тому числі й лізосомальних, що спричиняє вихід лізосомальних ферментів й посилення процесів деструкції [7, 24]. Підвищення активності саме таких ферментів – еластази й кислій фосфатази, – яке спостерігалось у нашому дослідженні, свідчить про розвиток запалення печінки внаслідок введення щурам великої дози вітаміну А. Інші автори також фіксували підвищення рівня кислій фосфатази в біопсійному матеріалі з печінки й кісток людей (культуристи та молоді люди віком 18 років) після тривалого (до 1,5 років) щодобового прийому ретинолу у дозі 200–300 тис. МО, що поєднувалося із гіпертрофією стелатних клітин та резорбцією в кістках [9, 17]. Розвиток фіброзу супроводжується ростом вільно радикальної продукції й оксидативного стресу [8]. Зростання МДА й зниження активності каталази, як маркерів оксидантного навантаження, яке ми спостерігали при гіпервітамінозі А у нашому дослідженні, відзначають також інші дослідники при експериментальному гепатиті [25].

Результати двох етапів дослідження свідчать також про те, що темпи приросту маси тіла й інтенсивність ремоделювання кісток у самок і самців щурів мали суттєві відмінності. Самкам, у порівнянні з самцями, були притаманні знижений темп приросту маси тіла й знижена інтенсивність процесів ремоделювання кісток, що призводить до підвищеної мінералізації кісткової тканини, яка у свою чергу, сприяє формуванню більш високої щільності кісток у самок. Цю тенденцію спостерігали в контрольній групі для показників стегнових кісток і поперекових хребців, та для стегнових кісток у дослідній групі. Тобто самки демонструють тенденцію до більшої стійкості до патогенетичних факторів. Можливо, знижені темп зростання маси тіла й активність ремоделювання кісток у самок порівняно з самцями є своєрідним еволюційним пристосуванням для запобігання погіршення стану кісток при розвитку патологій, що впливають на метаболізм кісткової тканини.

Аналіз кореляції між біохімічними показниками печінки і показниками стану кісток показав, що незалежно від статі тварин активність еластази у печінці

мала найтісніший зв'язок зі змінами у кістках. Друге місце за силою такого зв'язку належав вмісту МДА. При цьому, зниження вмісту МК і щільності кісток тісно корелюють із зростанням активності еластази й ростом вмісту МДА. Натомість, збільшення вмісту ОК має позитивну кореляцію з активністю еластази й МДА.

Відмінності між самцями й самками за інтенсивністю зростання маси тіла й ремоделювання кісткової тканини супроводжувалися відмінностями за кореляцією між біохімічними показниками печінки та показниками стану кісткової системи. Так, у самок активність еластази мала найбільшу кореляцію з усіма показниками стану кісток, тоді як у самців її значення було нижчим, а з вмістом ОК у хребцях взагалі не була підтверджена статистично. Активність каталази тільки у самців статистично вірогідно корелювала з показниками стану кісток за виключенням вмісту ОК у поперекових хребцях, натомість у самок же цей зв'язок був слабкий і невірогідний. Також у самців активність кислої фосфатази статистично значимо корелювала тільки зі щільністю стегнових кісток й вмістом МК у них, у самок вірогідних кореляцій з цим ферментом взагалі не було.

Отже, такі зміни біохімічних показників стану печінки в лабораторних тварин, як то: збільшення активності еластази й вмісту МДА незалежно від статі та зниження активності каталази і підвищення активності кислої фосфатази у самців за тривалого гіпервітамінозу А – інформують про суттєві порушення метаболізму кісток, зокрема пригнічення мінералізації кісткової тканини та зниження щільності трубчастих кісток й хребців.

Також при дослідженнях дії та розробках профілактичних або лікувальних препаратів для запобігання негативного впливу гіпервітамінозу А на стан печінки й кісткової системи слід враховувати статеві відмінності функціонування кісткової системи й печінки лабораторних тварин для правильної інтерпретації біохімічних показників печінки стосовно стану кісток.

Висновки:

1. Дієта для формування пародонтиту сприяє статистично вірогідному підвищенню щільності стегнових кісток щурів. Гіпервітаміноз А на тлі формування пародонтиту призводить до зниження щільності стегнових кісток і поперекових хребців, яке супроводжується суттєвим зниженням вмісту мінерального компоненту та підвищенням вмісту органічного компоненту, з високим рівнем статистичної значущості.

2. Гіпервітаміноз А на тлі формування пародонтиту призводить до статистично значимих зростань активності еластази, кислої фосфатази, уреаз, зниження активності каталази, підвищення вмісту МДА у тканинах печінки.

3. Високий рівень кореляції в обох статевих групах визначено між показниками стану кісток і активністю еластази, та середньої сили – вмістом МДА

у тканинах печінки, причому із щільністю й вмістом мінерального компоненту печінкові показники корелюють негативно, з вмістом органічного компоненту – позитивно.

4. Активність каталази й кислотої фосфатази статистично значимо корелювала з щільністю й вмістом мінерального компоненту тільки у самців.

Стаття надійшла до редакції 8.05.2023

Список використаної літератури

1. Соколова І. І., Ярошенко О. Г., Олейнічук В. В. Вітамінотерапія в стоматології: навч.-метод. посібник для лікарів-інтернів, лікарів-стоматологів та студентів стомат. фак-ту. Харків: ХНМУ, 2020. 32 с.
2. The role of vitamins in oral health. A systematic review and meta-analysis / M. G. Cagetti [et al.] *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17(938). P. 1–22. doi: 10.3390/ijerph17030938.
3. Ефекти вітамінів А, Е, D, порушення їх обміну та оцінка рівня вітамінної забезпеченості в дітей (огляд літератури) / О. М. Мочульська [та ін.]. *Сучасна педіатрія. Україна*. 2021. Т. 2(114). С. 58–66. doi: 10.15574/SP.2021.114.58.
4. Rathee M., Kundu R. Vitamin A and oral health: a review. *Indian J. of Applied Research*. 2013. Vol. 3. 2 p. doi: 10.15373/2249555X/OCT2013/109
5. В'юницька Л. В., Паливода К. О. Гіпотези щодо механізму дії вітаміну А. *Укр. мед. часопис*. 2006. № 3(53). С. 33–38.
6. Горобець А. О. Вітаміни і мікроелементи як специфічні регулятори фізіологічних та метаболічних процесів в організмі дітей та підлітків. *Укр. журнал перинатології і педіатрії*. 2019. Т. 4 (80). С. 75–92. doi: 10.15574/PP.2019.80.75.
7. Особливості депонування вітаміну А в організмі курей і щурів / І. А. Іонов [та ін.]. П'ята міжнародна конференція молодих учених: Харківський природничий форум (19–20 травня 2022 р., м. Харків). Збірник тез. / Харків: ХНПУ імені Г. С. Сковороди, 2022. С. 19–22.
8. Vitamin A intake forms resistance to hypervitaminosis A and affects the functional activity of the liver / A. Bozhkov [et al.]. *Clinical Nutrition Open Science*. 2022. Vol. 41. P. 82–97. doi: 10.1016/j.nutos.2021.12.003.
9. Castaño G., Etchart C., Sookoian S. Vitamin A toxicity in a physical culturist patient: a case report and review of the literature. *Annals of Hepatology*. 2006. Vol. 5(4). P. 293–295. doi: 10.1016/S1665-2681(19)31992-1.
10. Ribaya-Mercado J. D., Blumberg J. B. Vitamin A: Is It a risk factor for osteoporosis and bone fractures? *Nutrition Reviews*. 2007. Vol. 65(10). P. 425–438. doi: 10.1301/nr.2007.oct.425-438.
11. Liver damage due to hypervitaminosis / A. M. Sy [et al.]. *ACG Case Rep. J*. 2020. Vol. 7. 3 pp. doi: 10.14309/crj.0000000000000431.
12. Ross D. A. Recommendations for vitamin A supplementation. *J. of Nutrition*. 2002. October. P. 2902S-2906S. doi: 10.1093/jn/132.9.2902S.
13. Effects of hypervitaminosis A on bone and mineral metabolism of the rat / S. Hough [et al.]. *Endocrinol*. 1988. Vol. 122(6). P. 2933–2939. doi: 10.1210/endo-122-6-2933.
14. Сукманский О. И., Макаренко О. А. Экспериментальная модель генерализованного пародонтита. *Вісник стоматології*. 2006. № 2. С. 2–3.
15. Методи дослідження стану кишечника та кісток у лабораторних щурів. Довідник / О. А. Макаренко [та ін.]. Одеса: видавець С. Л. Назарчук, 2022. 81 с.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
17. Binkley N., Krueger D. B. S. Hypervitaminosis A and Bone. *Nutritional Reviews*. 2000. Vol. 58(5). P. 138–144. doi: 10.1111/j.1753-4887.2000.tb01848.x.
18. Vitamin D status, parathyroid function and femoral bone density in an elderly Swedish population living at home / A. L. Melin, J. Wilske, H. Ringertz, M. Saaf. *Aging (Milano)*. 1999. Vol. 11(3). P. 200–207.
19. Vitamin A differentially regulates RANKL and OPG expression in human osteoblasts / A. Jacobson, S. Johansson, M. Branting, H. Melhus. *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 2004. Vol. 322(1). P. 162–167. doi: 10.1016/j.bbrc.2004.07.092.
20. Фармакологія вітаміну D. / І. С. Чекман [та ін.]. *Современная педиатрия*. 2017. 2(82). С. 28–36. doi: 10.15574/SP.2017.82.28.

21. Johansson S., Melhus H. Vitamin A antagonism calcium response to vitamin D in Man. *J. Bone Miner. Res.* 2001. Vol. 16(10). P. 1899–1905. doi: 10.1359/jbmr.2001.16.10.1899.
22. Hypervitaminosis A-induced hepatic fibrosis in a cat / J.M. Gerra [et al.]. *J. of Feline Medicine and Surgery.* 2014. 16. P. 243–248. doi: 10.1177/1098612X13516121.
23. Friedman S.L. Hepatic stellate cells: protean, multifunctional, and enigmatic cells of the liver. *Physiol. Rev.* 2008. Vol. 88. P. 125–172. doi: 10.1152/physrev.00013.2007.
24. Engelking L. R. Vitamin A. *Textbook of Veterinary Physiological Chemistry.* Elsevier inc., 2015. P. 282–287. doi: 10.1016/b978-0-12-391909-0.50044-x.
25. Мартинова Т.В. [та ін.]. Розвиток оксидативного стресу в печінці мишей при експериментальному імунному гепатиті Т-клітинного генезу. *Таврический медико-биологический вестник.* 2012. Т. 15(3). Ч. 1(59). С. 211–215.

Б. М. Галкін¹, І. В. Ходаков², Л. М. Хромагіна²

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
Біотехнологічний науково-навчальний центр, провул. Шампанський, 2,
65058, Одеса, Україна, e-mail: bgalkin@ukr.net

²Державна установа «Інститут стоматології та щелепно-лицевої хірургії
НАМН України», лабораторія біохімії, вул. Рішельєвська, 11, 65026, Одеса,
Україна, e-mail: flavan.ua@gmail.com

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЗАПАЛЕННЯ В ПЕЧІНЦІ ТА ОСТЕОДИСТРОФІЧНИМИ ЗМІНАМИ В КІСТКАХ ЩУРІВ ПРИ ГІПЕРВІТАМІНОЗІ А

Резюме

Проблема. Тривала терапія ретинолом, особливо у випадках використання високих доз, може призводити до значного накопичення вітаміну А в організмі, наслідком чого є такі прояви ознак гіпервітамінозу А, як запалення й розвиток фіброзу печінки та активація деструктивних процесів у кістках. Вивчення кореляції між показниками стану печінки й кісткової системи може бути корисним для контролю стану кісток людини через печінкові показники за тривалого лікування вітаміном А, наприклад, стоматологічних захворювань різної етіології.

Мета. Дослідити кореляцію між біохімічними показниками запалення й антиоксидантного захисту у печінці та щільністю й складом трубчастих кісток і хребців у щурів за умовами застосування високої дози вітаміну А на тлі вживання пародонтитогенної дієти.

Методика. Експерименти проводили на самцях і самках білих щурів лінії Wistar віком 1 місяць. На першому етапі моделювали пародонтит пародонтитогенною дієтою та визначали вплив цієї дієти на щільність стегнових кісток. На другому етапі на тлі використання цієї дієти моделювали гіпервітаміноз А введенням ретинолу в дозі 8000 МО на 1 кг маси тіла протягом 56 діб. Визначали: ступінь атрофії альвеолярного відростка щелеп, щільність та вміст мінерального (МК) й органічного (ОК) компонентів стегнових кісток (СК) і поперекових хребців (ПХ), активність еластази, каталази, кислій фосфатази, уреазі й вміст малонового діальдегіду (МДА) у тканинах печінки. Між показниками стану печінки та кісток обчислювали коефіцієнти кореляції Пірсона.

Основні результати. Утримання шурів на пародонтитогенній дієті призвело до суттєвого підвищення щільності СК на 11,4–12,4%. Надлишкове надходження вітаміну А спричинило зниження щільності СК на 6,4–8,8%, ПХ на 9,1–9,2%, зниження вмісту МК у СК на 8,4–12,9%, у ПХ на 11,2–12,7%, підвищення ОК у СК на 3,5–7,8%, у ПХ на 5,2–5,5%. Формування гіпервітамінозу А призвело у тканинах печінки до підвищення активності еластази на 39,9–51,3%, кислій фосфатази – на 23,0–23,2%, уреазі – на 24,7–29,8%, вмісту МДА – на 34,6–63,7%, зниженню активності каталази на 3,1–3,8%. Найбільша кореляція з показниками стану кісток відзначена для активності еластази ($r > 0,8$) й вмісту МДА ($r > 0,6$) у тканинах печінки в загалом для самців і самок. З щільністю і вмістом мінерального компоненту – кореляція негативна, з вмістом органічного компоненту – позитивна. Активність каталази печінки позитивно корелювала з щільністю кісток і вмістом мінерального компоненту ($r > 0,7$) тільки у самців. Активність кислій фосфатази печінки негативно корелювала з щільністю й вмістом мінерального компоненту стегнових кісток ($r > 0,6$) у самців.

Висновки. Формування гіпервітамінозу А на тлі пародонтитогенної дієти призводить до зниження щільності кісток внаслідок гальмування мінералізації й активації резорбції, до запалення й оксидативного навантаження тканин печінки. Виявлена кореляція між активністю еластази, вмістом МДА в печінці і показниками стану кісток у самців і самок. Активність каталази й кислій фосфатази в печінці корелювали з кістковим показниками тільки у самців.

Ключові слова: шури; гіпервітаміноз А; щільність кісток; склад кісток; остеодистрофія; печінка; показники запалення та інтоксикації; кореляція

B. M. Galkin¹, I. V. Khodakov², L. M. Khromagina²

¹Odesa I. I. Mechnikov National University, Biotechnology science-educational centre, Champanskyi lane, 2, 65058, Odesa, Ukraine, e-mail: bgalkin@ukr.net

²State establishment “The Institute of stomatology and maxillo-facial surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, laboratory of biochemistry, Risheliev's'ka st., 11, 65026, Odesa, Ukraine, e-mail: flavan.ua@gmail.com

CORRELATIONS BETWEEN THE INDICATORS OF INFLAMMATION IN THE LIVER AND OSTEODYSTROPHIC CHANGES IN THE BONES IN RATS WITH HYPERVITAMINOSIS A

Abstract

Background. The long-term therapy of dental diseases by the retinol especially in the cases of the use of high doses can lead to the significant accumulation of vitamin A in an organism, the results of which are such manifestations of the hypervitaminosis A signs as inflammation and development of liver fibrosis and activation of the destructive processes in the bones. Studying the correlation between indicators of the states of the liver and the bone system can be useful for monitoring the state of human bones through the liver indicators during long-term treatment with vitamin A, for example the dentistry diseases of different etiologies.

Objective. To investigate the correlation between biochemical indicators of inflammation and antioxidant protection in the liver and the density and the composition of tubular bones and vertebrae in rats under the conditions of high-dose vitamin A use against a periodontitogenic diet.

Materials and methods. Experiments were performed on male and female white Wistar rats aged 1 month. At the first stage, periodontitis was simulated with a periodontitogenic diet and the effect of this diet on the density of femur bones was determined. At the second stage, against the background of using this diet, hypervitaminosis A was simulated by introducing retinol at a dose of 8000 IU per 1 kg of body weight for 56 days. The following parameters were determined: degree of atrophy of alveolar process of the jaws, density and content of the mineral (MC) and organic (OC) components of the femurs (FF) and lumbar vertebrae (LV), the activities of elastase, catalase, acid phosphatase, urease and the content of malondialdehyde (MDA) in liver tissues. Pearson's correlation coefficients were calculated between liver and bone parameters.

Results. Keeping rats on a periodontitogenic diet led to a probable increase in F density: by 11.4–12.4%. The excess intake of vitamin A caused a decrease in the density of FF by 6.4–8.8%, LV by 9.1–9.2%, a decrease in the content of MC in FF by 8.4–12.9%, in LV by 11.2–12.7%, increase of OK in FF by 3.5–7.8%, in LV by 5.2–5.5%. The formation of hypervitaminosis A in liver tissues led to an increase in elastase activity by 39.9–51.3%, acid phosphatase activity by 23.0–23.2%, urease activity by 24.7–29.8%, MDA content by 34.6%–63.7%, a decrease in catalase activity by 3.1–3.8%. The highest correlation with bone state indicators was noted for elastase activity ($r > 0.8$) and MDA content ($r > 0.6$) in liver tissues for male and female rats in general. The correlation was negative with the density and content of the mineral component, and positive with the content of the organic component. Liver catalase activity was positively correlated with bone density and mineral content ($r > 0.7$) only in males. Liver acid phosphatase activity was negatively correlated with the density and content of the mineral component of femur bones ($r > 0.6$) in males.

Conclusions. The hypervitaminosis A formation against the background of a periodontogenic diet leads to a decrease in bone density due to the inhibition of mineralization and the activations of bone resorption, and to inflammation and oxidative stress in liver tissues. The reliable correlation between elastase activity, MDA content in liver and the bone state indicators in male and female rats was revealed. The activities of catalase and acid phosphatase in liver were reliably correlated with the bone parameters only in males.

Key words: rats; hypervitaminosis A; bone density; bone composition; osteodystrophic; liver; markers of inflammation and intoxication; correlation

References

1. Sokolova I.I., Yaroshenko O.G., Oleynichuk V.V. (2020) *Vitamin therapy in dentistry: educ.-method. guide for interns, dentists and students of dent. faculty* [Vitaminoterapiya v stomatologii: navch.-metod. posibnyk dlya likariv-interniv, likariv-stomatologiv ta studentiv stomat. fac.-tu], Kharkiv: KhNMU, 32 pp.
2. Cagetti M.G., Wolf T.G., Tennert C., Camoni N., Lingström P., Campus G. (2020) «The role of vitamins in oral health. A systematic review and meta-analysis», *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 17(938), pp 1–22, doi: 10.3390/ijerph17030938
3. Mochulska O.M., Boyarchuk O.R., Kinash M.I., Vorontsova T.O., Volianska L.A. (2021) «The effects of vitamins A, E, D, disorders of their metabolism and the assessment of level of vitamin security in children (literature review)» [«Efekty vitaminiv A, E, D, porushennya yikh obminu ta otsinka rivnya vitaminnoi

- zabezpechennosti v ditey (oglyad literatury)», *Modern Pediatrics. Ukraine*, 2(114), pp 58–66, doi: 10.15574/SP.2021.114.58
4. Rathee M., Kundu R. (2013) «Vitamin A and oral health: a review», *Indian J. of Applied Research.*, 3, 2 pp, doi: 10.15373/2249555X/OCT2013/109
 5. V'yunytska L.V., Palyvoda K. O. (2006) «Hypotheses concerning vitamin A a mechanism of action» [«Gipotezy shchodo mekhanizmu dii vitaminu A»], *Ukr. Med. Mag.*, 3(53), pp 33–38.
 6. Gorobets A.O. (2019) «Vitamins and microelements as specific regulators of physiological and metabolic processes in the body of children and adolescents» [«Vitamins i mikroelementy yak spetsifichni regulatory fiziologichnykh ta metabolichnykh protsesiv v organismi ditey ta pidlitkiv»], *Ukr. J. Perinatology and Pediatrics*, 4(80), pp 75–92, doi: 10.15574/PP.2019.80.75
 7. Ionov I.A., Bozhkov A.I., Lun'kova O.E., Ketyrynych O.O., Gaviley O.V. (2022) «Features of vitamin A deposition in the body of chickens and rats» [«Osoblyvosti deponuvannya vitaminu A v organismi kurey ishchuriv»], Fifth International Conference of Young Scientists: Kharkiv Natural Science Forum (May 19–20, 2022, Kharkiv): collection of theses. – Kharkiv: KhNPU named G.S. Skovoroda, pp 19–22.
 8. Bozhkov A., Ionov I., Kurhuzova N., Novikova A., Ketyrynych O., Akzhyhitov R. (2022) «Vitamin A intake forms resistance to hypervitaminosis A and affects the functional activity of the liver», *Clinical Nutrition Open Science*, 41, pp 82–97, doi: 10.1016/j.nutos.2021.12.003
 9. Castaño G., Etchart C., Sookoian S. (2006) «Vitamin A toxicity in a physical culturist patient: a case report and review of the literature», *Annals of Hepatology*, 5(4), pp 293–295, doi: 10.1016/S1665–2681(19)31992–1
 10. Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. (2007) «Vitamin A: Is It a risk factor for osteoporosis and bone fractures?», *Nutrition Reviews*, 65(10), pp 425–438, doi: 10.1301/nr.2007.oct.425–438
 11. Sy A. M., Kumar S. R., Steinberg J., Garcia-Builtrago M.T., Benitez L. R.A. (2020) «Liver damage due to hypervitaminosis», *ACG Case Rep. J.*, 7, 3 pp, doi: 10.14309/crj.0000000000000431
 12. Ross D.A. (2002) «Recommendations for vitamins A supplementation», *J. of Nutrition*, October, pp 2902S–2906S, doi: 10.1093/jn/132.9.2902S
 13. Hough S., Avioli L. V., Muir H., Gelenderblom D., Kurasi H., Slatopolsky E., Bergfeld M.A., Teitelbaum S.L. (1988) «Effects of hypervitaminosis A on bone and mineral metabolism of the rat», *Endocrinol.*, 122(6), pp 2933–2939, doi: 10.1210/endo-122-6-2933
 14. Sukmanskyy O.I., Makarenko O.A. (2006) The experimental model of generalized periodontitis [«Eksperimentalnaya model generalisovannogo parodontyta»], *Bull of Dent.*, 2, pp 2–3.
 15. Makarenko O.A., Khromagina L. M., Khodakov I. V., Maykova G. V., Mudrik L. M., Kika V. V., Mogilevs'ka T. V. (2022) *Research methods for the state of intestines and bones in laboratory rats. Manuals (2022) [Metody doslidzhennia stanu kishechnyku ta kostok u laboratornykh shchuriv. Dovidnyk]*, Odesa: S.L. Nazarchuk, p 81.
 16. Santoso A. (2018) «Utilising Fisher's-Z transformation for item selection», *Anima Indones. Psychol. J.*, 33(3), pp 178–189, doi: 10.24123/aipj.v33i3.1694
 17. Binkley N., Krueger D.B.S. (2000) «Hypervitaminosis A and Bone», *Nutritional Reviews*, 58(5), pp 138–144, doi: 10.1111/j.1753–4887.2000.tb01848.x
 18. Melin A. L., Wilske J., Ringertz H., Saaf M. (1999) «Vitamin D status, parathyroid function and femoral bone density in an elderly Swedish population living at home», *Aging (Milano)*, 11(3), pp 200–207.
 19. Jacobson A., Johansson S., Branting M., Melhus H. (2004) «Vitamin A differentially regulates RANKL and OPG expression in human osteoblasts», *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 322(1), pp 162–167, doi: 10.1016/j.bbrc.2004.07.092
 20. Chekman I.S., Gorchkova N.O., Berezhniy V.V., Davidiuk A.V., Roman'ko M.R. (2017) «Pharmacology of vitamin D» [«Farmakologiya vitaminu D»], *Modern Pediatrics*, 2(82), pp 28–36, doi 10.15574/SP.2017.82.28
 21. Johansson S., Melhus H. (2001) «Vitamin A antagonism calcium response to vitamin D in Man», *J. Bone Miner. Res.*, 16(10), pp 1899–1905, doi: 10.1359/jbmr.2001.16.10.1899
 22. Gerra J.M., Daniel A.G.T., Aloia T.P.A., Siquera A., Fukushima A.R., Simões D.M.N., Reche-Júior A., Cogliati B. (2014) «Hypervitaminosis A-induced hepatic fibrosis in a cat», *J. of Feline Medicine and Surgery*, 16, pp 243–248, doi: 10.1177/1098612X13516121
 23. Friedman S.L. (2008) «Hepatic stellate cells: protean, multifunctional, and enigmatic cells of the liver», *Physiol. Rev.*, 88, pp 125–172. doi: 10.1152/physrev.00013.2007
 24. Engelking L.R. (2015) *Vitamin A*, Textbook of Veterinary Physiological Chemistry. – Elsevier inc., pp 282–287, doi: 10.1016/b978-0-12-391909-0.50044-x
 25. Martynova T.V., Makogon N.V., Bryzgina T.M., Pavlovich S.I., Sukhina V.S., Grushka N.G., Yanchiy R.I. (2012) «Development of oxidative stress in the liver of mice with experimental T cell-mediated immune hepatitis» [«Rozvytok oksydatyvnoho stress v pechintsy myshey pry eksperymentalnomu imunnomu gepatyti T-klitynnoho genesu»], *Tauride Medical and Biological Bull.*, 15(3), part 1(59), pp 211–215.

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284690](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284690)

УДК 577.175.444:616-008.64

О. В. Задерей¹, аспірант

І. В. Ходаков², науковий співробітник

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса, Україна, e-mail: aleksandrasakaluk@gmail.com

²Державна установа «Інститут стоматології та щелепно-лицевої хірургії НАМН України», лабораторія біохімії, вул. Рішельєвська, 11, 65026, Одеса, Україна, e-mail: flavan.ua@gmail.com

ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ І СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ТА АТРОФІЇ АЛЬВЕОЛЯРНОЇ КІСТКИ У ЩУРІВ ПРИ ГІПОТИРЕОЗІ ТА КОРЕКЦІЇ КОМПЛЕКСОМ МІНЕРАЛІВ ТА ВІТАМІНІВ

В експериментальній роботі на щурах обох статей встановлено розвиток дистрофічних процесів у щелепах та стегнових кістках щурів на тлі дефіциту тиреоїдних гормонів, змодельованим перхлоратом калію. Профілактика комплексом, що містить вітаміни, мінерали та кверцетин, сприяла підвищенню щільності стегнових кісток і поперекових хребців, а також зниженню атрофії альвеолярного відростку щелеп тварин з тиреоїдною недостатністю. Збільшення щільності кісткової тканини щурів з гіпотиреозом під впливом профілактики здійснювалося завдяки підвищенню частки мінерального компоненту кісток. Порушення у кістковій тканині при гіпотиреозі, а також остеотропна ефективність профілактичного комплексу була краще виражена у самців.

Ключові слова: гіпотиреоз; щури; профілактика; стегнові кістки; поперекові хребці; щелепи

За інформацією World Health Organization (WHO), серед ендокринних патологій захворювання щитоподібної залози посідають друге місце після цукрового діабету. Дисфункціями щитоподібної залози страждає понад 200 млн людей по всьому світу. Дослідження вказують, що в останні роки абсолютний приріст нововиявлених захворювань в економічно розвинених країнах становив 52% серед жінок і 17% серед чоловіків. Дисфункції щитоподібної залози асоціюються із захворюваннями усіх органів та систем, зокрема опорно-руховою, і підвищують ризик виникнення остеопорозу та переломів [3].

Гіпотиреоз пов'язують з подовженням циклу ремоделювання кісткової тканини. Встановлено, що тиреотропний гормон чинить прямий вплив на остеокласти та остеобласти [8, 5].

Тому дуже актуальним є розробка та дослідження остеопротекторної ефективності нових безпечних препаратів. Для функціональної корекції щитоподіб-

ної залози при її гіпофункції логічним є використання замісної гормональної терапії (L-тироксин). Але, по-перше, відомі численні випадки передозування L-тироксином, що спричиняє стурбованість щодо побічних реакцій на нього. По-друге, початкові стадії чи незначну тиреоїдну недостатність можна коригувати комплексом вітамінів та мінералів. Аналіз наукових джерел дозволяє стверджувати, що у більшості хворих на гіпотиреоз спостерігається дефіцит вітамінів, макро- та мікроелементів. Тому і було ухвалено рішення встановити лікувально-профілактичну ефективність такого комплексу в умовах гіпотиреозу як альтернативу гормонотерапії.

Метою роботи було експериментальне дослідження остеопротекторної ефективності комплексу вітамінів та мінералів у щурів з гіпотиреозом.

Матеріали та методи

Дослідження проводили в лютому – червні 2021 року на лабораторних щурах лінії Wistar обох статей, (2,5–3 міс., 150 ± 30 г.), які утримувались у стандартних умовах віварію ОНУ імені І. І. Мечникова на повноцінному комбінованому раціоні. Дослідження виконували із дотриманням наявних міжнародних вимог і норм гуманного відношення до тварин (Конвенція Ради Європи від 18.03.1986 р.; Закон України від 21.02.2006 р. №3447-IV) та віддзеркалено у протоколі засідання комісії з питань біомедичної етики № 9 від 29.01.21.

В експерименті було використано 36 щурів, яких поділили на три групи: 1) 12 інтактних, 2) 12 тварин, яким моделювали гіпотиреоз та 3) 12 щурів, яким на тлі гіпотиреозу щоденно вводили профілактичний комплекс вітамінів та мінералів 500 мг/кг. Кожна група включала 6 самок і 6 самців. Гіпотиреоз моделювали шляхом щоденного перорального введення 1% розчину перхлорату калію [9]. Профілактичний комплекс складався з макро- та мікроелементів (селен, марганець, мідь, магній, цинк та кальцій), вітамінами С та D, кверцетином, його склад було обґрунтовано нами раніше [7] та зареєстровано у Свідоцтві авторського твору [2]. Комплекс вводили тваринам 3-ої групи перорально щоденно у дозі 500 мг/кг.

Експеримент з моделювання гіпотиреозу та його профілактики тривав 4 місяці. Тварин виводили з експерименту під тіопенталовим наркозом (40 мг/кг). Виділяли нижні щелепи, поперекові хребці та стегнові кістки щурів обох статей. В хребцях та стегнових кістках досліджували морфометричні показники: щільність, вміст мінерального та органічного компонентів кісткової тканини. В щелепах тварин визначали ступінь атрофії альвеолярного відростку [1].

Показники представлені у вигляді середнього значення та похибки. Статистичне опрацювання отриманих результатів проводили з використанням t-критерію Стьюдента при повтореннях $n = 6$ за допомогою додатку Excel. Достовірними відхиленнями вважали ті, що знаходились в межах вірогідності за таблицями Стьюдента, $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та обговорення

Виділяли поперекові хребці та стегнові кістки щурів обох статей. Досліджували морфометричні показники: щільність, вміст мінерального та органічного компонентів кісткової тканини.

За моделювання гіпотиреозу показники маси та об'єму стегнових кісток щурів суттєво не відрізнялися від інтактної групи, як і введення профілактичного комплексу. Однак, у самок та самців щурів із гіпотиреозом достовірно зменшилася мінеральна щільність стегнових кісток на 1,7–2,2% (хоча $p < 0,05$). Використання профілактичного комплексу вітамінів і мінералів ефективно попереджувало зменшення щільності стегнових кісток щурів з гіпотиреозом – показник був достовірно збільшений у щурів обох статей в порівнянні зі значеннями у групі хворих на гіпотиреоз тварин та відповідав рівню у інтактній групі (табл. 1).

Таблиця 1

Метричні параметри стегнових кісток щурів

Показник		Групи		
		інтактна	гіпотиреоз	гіпотиреоз + профілактика
Маса, мг	самці	401,18 ± 34,289	398,37 ± 19,092	377,57 ± 25,319
	самки	339,07 ± 13,218	331,05 ± 19,333	332,45 ± 13,026
Об'єм, мм ³	самці	271,85 ± 22,062	276,44 ± 12,930	257,37 ± 16,782
	самки	227,59 ± 22,062	225,75 ± 12,284	223,19 ± 8,160
Щільність, мг/мм ³	самці	1,473 ± 0,012	1,441 ± 0,008 $p < 0,05$	1,466 ± 0,003 $p_1 < 0,05$
	самки	1,491 ± 0,009	1,465 ± 0,007 $p < 0,05$	1,489 ± 0,008 $p_1 < 0,05$
Вміст мінерального компоненту (вагова доля),%%	самці	34,34 ± 0,901	32,66 ± 0,681	35,40 ± 0,328 $p_1 < 0,01$
	самки	37,22 ± 0,774	34,55 ± 0,481 $p < 0,05$	37,78 ± 0,467 $p_1 < 0,001$
Вміст органічного компоненту (вагова доля),%%	самці	30,85 ± 0,621	29,67 ± 1,319	27,19 ± 0,846 $p_1 < 0,01$
	самки	26,89 ± 1,057	29,00 ± 0,947	25,14 ± 0,371 $p_1 < 0,01$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від показників інтактної групи p_1 – вірогідність відмінностей від показників групи «гіпотиреоз»

Вміст мінерального компоненту стегнових кісток самців щурів мав тенденцію до зменшення у групі щурів із гіпотиреозом (табл. 1). У самок щурів із гіпотиреозом спостерігається зменшення мінерального компоненту стегнових кісток на 7,2% ($p < 0,05$) а у самців на 4,5%. В групі щурів, де використовували

профілактичний комплекс, достовірної різниці у вмісті мінерального компоненту в порівнянні з інтактною групою не відмічалось. В групі тварин після використання профілактичного комплексу цей показник був у самців на 8,4% ($p_1 < 0,01$), а у самок на 9,3% ($p_1 < 0,01$) вище, ніж у групі хворих на гіпотиреоз щурів.

Вміст органічного компоненту стегнових кісток у хворих самок і самців щурів не мав достовірної різниці з показником контрольної групи. Відмічається достовірне зменшення органічного компоненту в групі щурів, де використовували комплекс мінералів та вітамінів, в порівнянні з хворою на гіпотиреоз групою ($p_1 < 0,01$, табл. 1) у самців на 8,4%, а у самок на 13,3%.

Дослідження не встановили достовірної різниці у масі та об'ємі поперекових хребців щурів з гіпотиреозом в порівнянні з показниками у інтактній групі та у групі, де використовували профілактичний комплекс (табл. 2). Щільність поперекових хребців у самок і самців щурів з гіпотиреозом була також на рівні значень у інтактних тварин.

Таблиця 2

Метричні параметри поперекових хребців щурів

Показник		Групи		
		інтактна	гіпотиреоз	гіпотиреоз+ профілактика
Маса, мг	самці	96,80 ± 10,391	90,48 ± 7,462	89,78 ± 6,487
	самки	78,37 ± 6,493	84,50 ± 8,675	83,25 ± 6,095
Об'єм, мм ³	самці	70,45 ± 7,452	65,43 ± 4,945	63,68 ± 4,599
	самки	56,69 ± 4,807	61,51 ± 5,925	58,91 ± 4,208
Щільність, мг/мм ³	самці	1,372 ± 0,005	1,380 ± 0,009	1,410 ± 0,008 $p < 0,01$ $p_1 < 0,05$
	самки	1,384 ± 0,0111	1,370 ± 0,011	1,412 ± 0,0055 $p < 0,05$ $p_1 < 0,01$
Вміст мінерального компоненту (вагова доля),%%	самці	26,96 ± 0,639	27,29 ± 0,813	32,30 ± 1,031 $p < 0,001$ $p_1 < 0,01$
	самки	26,92 ± 0,781	28,44 ± 0,692	31,97 ± 0,766 $p < 0,001$ $p_1 < 0,01$
Вміст органічного компоненту (вагова доля),%%	самці	31,10 ± 1,245	31,60 ± 1,082	25,16 ± 1,431 $p < 0,01$ $p_1 < 0,01$
	самки	33,18 ± 0,930	27,01 ± 1,394 $p < 0,01$	26,33 ± 1,035 $p < 0,001$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від показників інтактної групи p_1 – вірогідність відмінностей від показників групи «гіпотиреоз».

В групі щурів з гіпотиреозом, які отримували профілактичний комплекс, встановлено підвищення щільності поперекових хребців. Так, цей показник у групі самців, які отримували профілактичний комплекс, був на 2,2% вище ($p_1 < 0,05$), а у самок на 3,1% ($p_1 < 0,01$) в порівнянні із значеннями у групі щурів із гіпотиреозом. Крім того, у самців щільність поперекових хребців була на 2,8% ($p < 0,01$), а у самок на 2,0% ($p < 0,05$) вище в порівнянні з щільністю хребців у інтактній групі.

Вміст мінерального компоненту в поперекових хребцях щурів із гіпотиреозом не мав достовірної різниці як у самок, так і у самців порівняно з показником в інтактній групі. Проте, спостерігали достовірне підвищення вмісту мінерального компоненту у хребцях тварин, яким вводили профілактичний комплекс вітамінів і мінералів. У самців, що отримували профілактичний комплекс, показник збільшився на 19,8%, а у самиць на 18,8% в порівнянні з рівнем у інтактній групі. В порівнянні з групою хворих щурів, вміст мінерального компоненту у поперекових хребцях щурів, яким давали комплекс вітамінів та мінералів, підвищився у самців на 18,4%, а у самок на 12,4% (табл. 2).

У самців щурів, хворих на гіпотиреоз, не спостерігали достовірних змін у вмісті органічного компоненту поперекових хребців у порівнянні з показником інтактної групи. При цьому, у хребцях самок щурів з гіпотиреозом встановлено зменшення вмісту органічного компоненту на 18,6% ($p < 0,01$) порівняно зі значеннями у інтактній групі. За використання профілактичного комплексу вміст органічного компоненту поперекових хребців самців був меншим на 19,1%, а в самок на 20,6% порівняно з показником у контрольній групі. Після використання профілактичного комплексу вміст органічного компоненту у хребцях знизився у самців на 20,4% ($p_1 < 0,01$), а у самиць на 2,5% в порівнянні з хворими на гіпотиреоз щурами (табл. 2).

У таблиці 3 наведено результати визначення ступеня атрофії альвеолярного відростка щурів. Гіпотиреоз, який моделювали за допомогою перхлорату калію, призвів до підвищення цього показника у самиць на 15,8% ($p < 0,05$), а у самців – на 22,2% ($p < 0,01$). Використання профілактичного комплексу дозволило загальмувати та знизити атрофію альвеолярного відростка щелеп самок на 21,5% в порівнянні з групою, де моделювали гіпотиреоз ($p_1 < 0,05$). Цей показник у самок з профілактикою не відрізнявся від значень у інтактній групі ($p > 0,1$). Після прийому комплексу вітамінів і мінералів самцями з гіпотиреозом ступень атрофії альвеолярного відростку був нижче на 31,4% ($p_1 < 0,01$). Важливо підкреслити, що профілактичне введення комплексу вітамінів і мінералів на тлі гіпотиреозу призвело до зниження ступеня атрофії альвеолярного відростка самців навіть по відношенню до показника у інтактних тварин на 16,1% ($p < 0,05$, табл. 3).

Результати проведеного дослідження дозволяють зробити висновок про наступне. Моделювання гіпотиреозу за допомогою тривалого введення перхлорату калію викликало розвиток дистрофічних процесів у досліджуваних кістках.

Перхлорат калію блокує поглинання йоду щитоподібною залозою та синтез йодинази, що призводить до тиреоїдної недостатності. Так, у щурів при дефіциті гормонів щитоподібною залозою встановлено збільшення атрофії альвеолярного відростку і зменшення щільності стегнової кістки, що значить посилення резорбційних процесів у цих кістках, більш виражене у самців. Зниження щільності стегнової кістки відбувалося завдяки зменшенню вмісту мінерального компонента кісткової тканини. Щільність поперекових хребців тварин суттєво не змінювалася в умовах гіпотиреозу, що ймовірно, можна пояснити незначним функціональним навантаженням на хребці щурів, на відміну від щелеп та стегнових кісток.

Таблиця 3

Вплив комплексу вітамінів та мінералів на ступінь атрофії альвеолярного відростка щурів з гіпотиреозом, %

Групи тварин	інтактна	гіпотиреоз	гіпотиреоз + профілактика
самки	28,5 ± 1,1	33,0 ± 1,4 p < 0,05	25,9 ± 2,5 p > 0,1 p ₁ < 0,05
самці	27,9 ± 1,6	34,1 ± 3,1 p < 0,01	23,4 ± 1,5 p < 0,05 p ₁ < 0,01

Примітка: p – рівень значущості відмінностей у порівнянні з показниками інтактної групи; p₁ – рівень відмінностей значущості у порівнянні з групою «гіпотиреоз».

Використання профілактичного комплексу, що містить вітаміни, мінерали та кверцетин, в умовах тиреоїдної недостатності ефективно попереджувало зменшення щільності стегнових кісток та підвищення атрофії альвеолярного відростку щурів, а також суттєво збільшило щільність поперекових хребців. Важно підкреслити, що остеотропна дія профілактичного комплексу помітніше була виражена у кістках самців з гіпотиреозом.

Збільшення щільності стегнової кістки та поперекових хребців щурів, які приймали комплекс вітамінів та мінералів, здійснювалося завдяки підвищенню вмісту мінеральної частки кісткової тканини щурів із гіпотиреозом, що також більш виражене у самців. Збільшення мінеральної частки кісткової тканини при гіпотиреозі або після профілактики було відносно зменшення органічного компонента кісток, що можна пояснити посиленням мінералізації кісткової тканини за дії компонентів профілактичного комплексу.

Загалом, проведені дослідження показали розвиток дистрофічних процесів у щелепах та стегнових кістках щурів на тлі дефіциту тиреоїдних гормонів та позитивний вплив комплексу вітамінів і мінералів, який ефективно припиняв атрофію альвеолярного відростка щелеп та зниження щільності стегнових кісток, а також збільшував щільність поперекових хребців щурів з гіпотиреозом.

Висновки

1. Моделювання гіпотиреозу у шурів викликало достовірне зменшення щільності стегнових кісток у самців на 2,2% і у самок на 1,7%, не вплинуло на щільність поперекових хребців та суттєво збільшило атрофію альвеолярного відростку у самців на 22,2% і у самок на 15,8%.

2. Зниження щільності стегнової кістки сталося завдяки зменшенню вмісту мінерального компоненту кісткової тканини на 4,5–7,2%.

3. Використання профілактичного комплексу, що містить вітаміни, мінерали та кверцетин, привело до збільшення щільності стегнових кісток до рівня здорових тварин, сприяло підвищенню щільності поперекових хребців на 2,2–3,1%, та зменшення атрофії альвеолярного відростку щелеп у самок на 21,5% і у самців на 31,4%.

4. Збільшення щільності стегнових кісток та поперекових хребців шурів з гіпотиреозом під впливом профілактичного комплексу здійснювалося завдяки підвищенню мінеральної частки у самців на 8,4–18,4% і у самок на 9,3–12,4% на тлі зменшення органічного компоненту кісткової тканини у самок на 2,5–13,3% і у самців на 8,4–20,4%.

5. Погіршення якості кісткової тканини при тиреоїдній недостатності, а також остеотропна ефективність профілактичного комплексу в умовах гіпотиреозу була краще виражена у самців.

Стаття надійшла до редакції 7.04.2023

Список використаної літератури

1. Макаренко О. А., Хромагіна Л. М., Ходаков І. В., Майкова Г. В., Мудрик Л. М., Кіка В. В., Могілевська Т. В. Методи дослідження стану кишечника та кісток у лабораторних шурів: Довідник. Одеса: Назарчук, 2022. 81 с.
2. Спосіб профілактики порушень кісткового метаболізму при гіпотиреозі: Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 111997; Україна, с202200364, заявл. 18.01.2022 р. Опубл. 21.02.2022.
3. Biondi B., Cappola A. R., Cooper D. S. Subclinical Hypothyroidism: A Review. *JAMA*. 2019. Vol. 322(2). P. 153–160. doi: 10.1001/jama.2019.9052. PMID: 31287527.
4. Chen S., Huang W., Zhou G., Sun X., Jin J., Li Z. Association between Sensitivity to Thyroid Hormone Indices and Bone Mineral Density in US Males. *Int J Endocrinol*. 2022. Vol. 2022. P. 1–10. doi: 10.1155/2022/2205616.
4. Delitala A. P., Scuteri, A., Doria C. Thyroid Hormone Diseases and Osteoporosis. *Clin Med*. 2020. Vol. 9(4). P. 1034. doi: 10.3390/jcm9041034.
6. Lee K., Lim S., Park H., Woo H. Y., Chang Y., Sung E., Jung H. S., Yun K. E., Kim C. W., Ryu S. Subclinical thyroid dysfunction, bone mineral density, and osteoporosis in a middle-aged Korean population. *Osteoporos Int*. 2020. Vol. 31(3). P. 547–555. doi: 10.1007/s00198-019-05205-1.
7. Makarenko O. A., Zaderei O. V., Maikova H. V. Efficacy of using a complex of minerals and vitamins for prevention of complications in bone tissue and the digestive tract in rats with hypothyroidism. *Regul. Mech. Biosyst*. 2021. Vol. 12(3), P. 438–444.
8. Segna D., Bauer D. C., Feller M., Schneider C., Fink H. A., Aubert C. E., Collet T. H., da Costa B. R., Fischer K., Peeters R. P. Association between subclinical thyroid dysfunction and change in bone mineral density in prospective cohorts. *J Intern Med*. 2018. Vol. 283(1). P. 56–72. doi: 10.1111/joim.12688
9. Yu K. O., Narayanan L., Mattie D. R., Godfrey R. J., Todd P. N., Sterner T. R., Mahle D. A., Lumpkin L. H., Fisher W. J. The pharmacokinetics of perchlorate and its effect on the hypothalamus-pituitary-thyroid axis in the male rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 2002. Vol. 182(2). P. 148–159.

О. В. Задерей¹, І. В. Ходаков²

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса, Україна, e-mail: aleksandrasakaluk@gmail.com

²Державна установа «Інститут стоматології та щелепно-лицевої хірургії НАМН України», лабораторія біохімії, вул. Рішельєвська, 11, 65026, Одеса, Україна, e-mail: flavan.ua@gmail.com

ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ І СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ТА АТРОФІЇ АЛЬВЕОЛЯРНОЇ КІСТКИ У ЩУРІВ ПРИ ГІПОТИРЕОЗІ ТА КОРЕКЦІЇ КОМПЛЕКСОМ МІНЕРАЛІВ ТА ВІТАМІНІВ

Резюме

Проблема. При захворюваннях щитоподібної залози доцільно використовувати замісну гормональну терапію. Проте відомі численні наслідки передозування препаратами L-тироксину. Використання профілактичного комплексу на основі мінералів, вітаміну та кверцетину може виступати альтернативою замісній терапії для корекції наслідків порушень опорно-рухової системи при захворюваннях щитоподібної залози.

Мета. Метою роботи є експериментальне дослідження остеопротекторної ефективності комплексу вітамінів та мінералів у щурів з гіпотиреозом.

Методика. В експерименті було використано 36 щурів, яких поділили на три групи: 12 інтактних, 12 тварин, яким моделювали гіпотиреоз та 12 щурів, яким на тлі гіпотиреозу щоденно вводили профілактичний комплекс. Експеримент з моделювання гіпотиреозу та його профілактики тривав 4 місяці. Виділяли нижні щелепи, поперекові хребці та стегнові кістки щурів обох статей. В хребцях та стегнових кістках досліджували морфометричні показники: щільність, вміст мінерального та органічного компонентів кісткової тканини. В щелепах тварин визначали ступень атрофії альвеолярного відростку.

Основні результати. Моделювання гіпотиреозу у щурів викликало достовірне зменшення щільності стегнових кісток у самців на 2,2% і у самок на 1,7%, не вплинуло на щільність поперекових хребців та суттєво збільшило атрофію альвеолярного відростку у самців на 22,2% і у самок на 15,8%. Зниження щільності стегнової кістки сталося завдяки зменшенню вмісту мінерального компоненту кісткової тканини на 4,5–7,2%. Використання профілактичного комплексу, що містить вітаміни, мінерали та кверцетин, привело до збільшення щільності стегнових кісток до рівня здорових тварин, сприяло підвищенню щільності поперекових хребців на 2,2–3,1%, та зменшення атрофії альвеолярного відростку щелеп у самок на 21,5% і у самців на 31,4%. Погіршення якості кісткової тканини при тиреоїдній недостатності, а також остеотропна ефективність профілактичного комплексу в умовах гіпотиреозу була краще виражена у самців.

Висновки. Проведені дослідження показали розвиток дистрофічних процесів у щелепах та стегнових кістках щурів на тлі дефіциту тиреоїдних гормонів та позитивний вплив профілактичного комплексу, який ефективно припиняв атрофію альвеолярного відростку щелеп та зниження щільності стегнових кісток, а також збільшував щільність поперекових хребців щурів з гіпотиреозом.

Ключові слова: гіпотиреоз; щури; профілактика; стегнові кістки; поперекові хребці; щелепи

O. V. Zaderei¹, I. V. Khodakov²

¹Odesa I. I. Mechnikov National University, Department of Physiology, Human Health and Safety and Natural Science Education, 2 Dvorianska St., 65082, Odesa, Ukraine, e-mail: aleksandrasakaluk@gmail.com

² State establishment “The Institute of stomatology and maxillo-facial surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, laboratory of biochemistry, Risheliev's'ka st., 11, 65026, Odesa, Ukraine, e-mail: flavan.ua@gmail.com

CHANGES IN THE DENSITY AND COMPOSITION OF BONE TISSUE AND ALVEOLAR BONE ATROPHY IN RATS WITH HYPOTHYREOSIS AND CORRECTION WITH A COMPLEX OF MINERALS AND VITAMINS

Resume

Problem. For diseases of the thyroid gland, it is advisable to use hormone replacement therapy. However, numerous consequences of an overdose of L-thyroxine drugs are known. The use of a preventive complex based on minerals, vitamins and quercetin can be an alternative to replacement therapy for correcting the consequences of disorders of the musculoskeletal system in thyroid diseases.

Goal. The purpose of the work is an experimental study of the osteoprotective effectiveness of a complex of vitamins and minerals in rats with hypothyroidism.

Method. In the experiment, 36 rats were used, which were divided into three groups: 12 intact, 12 animals that were simulated with hypothyroidism, and 12 rats that, against the background of hypothyroidism, were administered a preventive complex daily. The experiment on modeling hypothyroidism and its prevention lasted 4 months. Mandibles, lumbar vertebrae and femurs of rats of both sexes were isolated. Morphometric parameters were studied in vertebrae and femurs: density, content of mineral and organic components of bone tissue. The degree of atrophy of the alveolar process was determined in the jaws of the animals.

Main results. Modeling hypothyroidism in rats caused a significant decrease in femoral bone density in males by 2.2% and in females by 1.7%, had no effect on lumbar vertebral density, and significantly increased alveolar process atrophy in males by 22.2% and in females by 15.8%. The decrease in the density of the femur bone was due to a decrease in the content of the mineral component of bone tissue by 4.5–7.2%. The use of a preventive complex containing vitamins, minerals and quercetin led to an increase in the density of femurs to the level of healthy animals, increased the density of the lumbar vertebrae by 2.2–3.1%, and reduced atrophy of the alveolar process of the jaws in females by 21.5% and in males by 31.4%. Deterioration of the quality of bone tissue in thyroid insufficiency, as well as the osteotropic effectiveness of the prophylactic complex in conditions of hypothyroidism, were more pronounced in males.

Conclusions. The conducted studies showed the development of dystrophic processes in the jaws and femurs of rats against the background of a deficiency of thyroid hormones and the positive effect of a complex of vitamins and minerals, which effectively stopped the atrophy of the alveolar process of the jaws and the decrease in the density of the femurs, and also increased the density of the lumbar vertebrae of rats with hypothyroidism.

Key words: hypothyroidism; rats; prevention; femurs; lumbar vertebrae; jaws

References

1. Makarenko O. A. et. al. (2022) Methods of researching the condition of intestines and bones in laboratory rats: Handbook [Metody doslidzhennja stanu kyshechnyku ta kistok u laboratornykh shhuriv. Dovidnyk], Makarenko O. A., Khromaghina L. M., Khodakov I. V., Majkova Gh. V., Mudryk L. M., Kika V. V., Moghilevsjka T. V. - Odesa: Nazarchuk, 81 p. [in Ukrainian].
2. Makarenko O. A., Zaderej O. V., Khodakov I. V., Khromaghina L. M. The method of prevention of bone metabolism disorders in hypothyroidism: Certificate of copyright registration for the work [Sposib profilaktyky porushenj kistkovogho metabolizmu pry ghipotyreozi. Cvidoctvo pro rejestraciju avtorsjkogho prava na tvir], № 111997 Ukraine, p202200364, application 01/18/2022. Publ. 21.02.2022. [in Ukrainian].
3. Biondi B., Cappola A. R., Cooper D. S. (2019) "Subclinical Hypothyroidism: A Review", *JAMA*. 322(2), pp. 153-160. doi: 10.1001/jama.019.9052
4. Chen S., Huang W., Zhou G., Sun X., Jin J., Li Z. (2022) "Association between Sensitivity to Thyroid Hormone Indices and Bone Mineral Density in US Males", *Int J Endocrinol.*, 2022, pp. 1-10. doi: 10.1155/2022/2205616.
5. Delitala A. P., Scuteri, A., Doria C. (2020) "Thyroid Hormone Diseases and Osteoporosis", *Clin Med.*, 9(4), pp. 1034. doi: 10.3390/jcm9041034.
6. Lee K., Lim S., Park H., Woo H. Y., Chang Y., Sung E., Jung H. S., Yun K. E., Kim C. W., Ryu S. (2020) "Subclinical thyroid dysfunction, bone mineral density, and osteoporosis in a middle-aged Korean population", *Osteoporos Int.*, 31(3), pp. 547-555. doi: 10.1007/s00198-019-05205-1.
7. Makarenko O. A., Zaderej O. V., Maikova H. V. (2021) "Efficacy of using a complex of minerals and vitamins for prevention of complications in bone tissue and the digestive tract in rats with hypothyroidism", *Regul. Mech. Biosyst.*, 12(3), pp. 438-444.
8. Segna D., Bauer D. C., Feller M., Schneider C., Fink H. A., Aubert C. E., Collet T. H., da Costa B. R., Fischer K., Peeters R. P. (2018) "Association between subclinical thyroid dysfunction and change in bone mineral density in prospective cohorts", *J Intern Med.*, 283(1), pp. 56-72. doi: 10.1111/joim.12688
9. Yu, KO, Narayanan L, Mattie D. R, Godfrey R. J, Todd P. N, Sterner T. R, Mahle D. A., Lumpkin L.H., Fisher W.J. (2002) "The pharmacokinetics of perchlorate and its effect on the hypothalamus-pituitary-thyroid axis in the male rat", *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 182(2), pp. 148-159.

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284691](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284691)

УДК 57.042:616-002

О. М. Клімова^{1,2}, д.б.н., професор

К. О. Биченко^{1,2}, молодший науковий співробітник, аспірант

¹ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В. Т. Зайцева НАМНУ», діагностична лабораторія з імуноферментним та імунофлуоресцентним аналізом. Україна, 61103, м. Харків, в'їзд Балакірева, 1.

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, кафедра молекулярної біології та біотехнології. Пл. Свободи, 4, Харків, 61000, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НА РІЗНИХ МОДЕЛЯХ БІОЛОГІЧНИХ ЕФЕКТІВ КОМПОНЕНТІВ КОМПЛЕКСНОГО ВПЛИВУ (ФОТООПРОМІНЮВАННЯ; ЕКЗОСОМИ МЕЗЕНХІМАЛЬНИХ СТОВБУРОВИХ КЛІТИН ТА НАНОЧАСТИНКИ) ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ЗАПАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Пошук нових оптимальних методів для лікування хронічних запальних процесів є актуальним. В роботі на 3-х експериментальних моделях досліджували біологічні ефекти різних довжин хвиль фотоопромінювання; екзосом з метаболітами стовбурових клітин; ступень цитотоксичності різних концентрацій і розмірів наночастинок діоксиду церію для їх практичного застосування на різних етапах запалення. Виявлена активація вродженого імунітету після дії червоного світла ($\lambda = 660$ нм); зелене світло ($\lambda = 530$ нм) сприяло нормалізації показників імунітету, синє світло ($\lambda = 470$ нм) призводило до завершального етапу запалення. У культурі клітин виявили виражену стимулювальну дію після впливу екзосом стовбурових клітин на проліферативну активність. Виявили оптимальну концентрацію та розміри наночастинок церію (2 нм, 0,01 М), які не надають цитотоксичної дії.

Ключові слова: імунітет; фотоопромінювання; етапи запалення; культура клітин; екзосоми; стовбурові клітини; проліферативна активність; наночастинок діоксиду церію; біоіндикатор *D. viridis*; цитотоксичність

Вступ. Світло істотно впливає на численні біологічні процеси. Дія фотоопромінювання на біооб'єкти різноманітна та пов'язана з відповідними молекулами, зміною їхньої конформації та фізіологічною активністю. Відомо, що найважливішою для всіх живих об'єктів є фотохімічна реакція утворення органічних речовин у процесі фотосинтезу, коли відбувається перетворення сонячного світла на енергію хімічних зв'язків. При зміні довжини хвилі відбувається вибіркова зміна та модифікація біомолекул. Феномен дії світла на живі біооб'єкти застосовують в медичній практиці. Запускаючи фотохімічні реакції у клітині, світло може сприяти активації мікроциркуляції і впливати на різні

метаболічні шляхи. Сьогодні є проблема корекції імунометаболічних показників в лікуванні хронічних запальних процесів. Для вирішення цієї проблеми використовують багато різних підходів [25, 26, 27]. Є практика застосування лікувальних фізичних, біологічних та хімічних методів [1, 6]. Як фізичні методи лікування хронічних запальних процесів застосовують фотоопромінювання різного діапазону спектру, стовбурові гемопоетичні клітини і фактори росту застосовують як біологічні методи корекції гомеостазу, для активації мікроциркуляції, клітинної міграції застосовують наночастинки, які мають антиоксидантні властивості [12, 22].

У багатьох клінічних роботах виявлено позитивний ефект впливу фотоопромінювання на метаболічні порушення при запальних процесах [24, 6], проте немає єдиної думки про механізми і рівень ефективності фотоопромінювання при лікуванні локальних та системних запальних процесів різними довжинами хвиль видимого діапазону, оскільки ефекти світлового випромінювання багато в чому можуть залежати від довжини хвилі, частоти впливу, експозиції, потужності та щільності енергії [16, 20, 19, 21, 20]. Практичні лікарі та вчені ведуть багаторічні дискусії про ефекти та механізми фотодії на організми. Немає єдиної думки у фахівців щодо механізмів дії цього фізичного фактора. Тому є необхідність вивчення і уточнення механізмів впливу різних довжин хвиль видимого діапазону спектру на запальні процеси.

У Харківському національному університеті ім. В.Н. Каразіна в лабораторії квантової біології та квантової медицини було розроблено ряд приладів для фотоопромінювання, у тому числі «Барва-Флекс/24ФМ» (випромінювання у червоній ($\lambda = 660$ нм), зеленій області спектру ($\lambda = 530$ нм)) та синій області спектру ($\lambda = 470$ нм)), який успішно застосовують для лікування уповільнених запальних процесів у хірургічних клініках України.

Поряд із фотоопромінюванням ефективним підходом для корекції метаболических порушень та нестачі грануляційних процесів при хронічних запальних реакціях є біологічні методи, а саме застосування стовбурових клітин (СК) різного походження. Відомо, що СК беруть участь у репарації, підтримують тканинний гомеостаз, здійснюють регуляцію диференціювання тканеспецифічних прогенераторних СК, стимулюють утворення судин [17, 2].

Багато років успішно застосовують стовбурові клітини та їх метаболіти як біологічні фактори, які є ефективним засобом для корекції імунометаболічних порушень та стимуляції регенеративних процесів. Екзометаболіти стовбурових клітин у вигляді екзосом застосовують для транспортування активних компонентів цих клітин в інші організми, і тому привертають увагу науковців для розробки технологій їх застосування в біології та медицині. Цінність екзосом залежить від вмісту білків, ліпідів і метаболітів, а також набору нуклеїнових кислот, що складається з мікроРНК, фрагментів тРНК, мРНК, мікроРНК-транскриптів і РНК-білкових комплексів. Екзосоми також можуть містити

ядерну та мітохондріальну ДНК, які необхідні для передачі клітинних сигналів і регуляції біологічних функцій. У культурі лейкоцитів у пацієнтів з хронічним запаленням виявили, що властивість екзосом мезенхімальних стовбурових клітин впливає на проліферативну активність *in vitro*.

Щодо дії хімічних факторів, які застосовують як активатори міграції адаптерних пептидів, то відомі біологічні ефекти наночастинок, які мають цілий ряд позитивних впливів на метаболізм систем організму. Відомо, що наночастинки можуть виконувати транспортну функцію для різних фармацевтичних препаратів, вони також здатні проникати через біомембрани та змінювати функції біомолекул.

Як хімічний засіб використовують різні наночастинки (графіт, мідь та інші), в тому числі наночастинки діоксиду церію. При переході в нанокристалічний стан діоксид церію змінює свої фізико-хімічні властивості так, що стає здатним виявляти антиоксидантні та інші властивості. Характеристики наночасток діоксиду церію залишаються недостатньо вивченими. Оскільки відомо, що, потрапляючи в організм, наночастинки іноді здатні пошкоджувати біомембрани, то дуже важливою є оцінка ступеня цитотоксичності наночастинок діоксиду церію різних розмірів та різної концентрації [23].

Відомо, що багатоетапний запальний процес в осередку ураження складається з тісно пов'язаних між собою етапів, які послідовно розвиваються: інфільтрації, альтерації та ексудації, регенерації та завершення запального процесу, які характеризуються різним типом імунної відповіді.

У клініці ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В. Т. Зайцева НАМН України» накопичений багаторічний досвід застосування комбінованого лікування у вигляді фотоопромінювання та використання стовбурових клітин (СК) та їх метаболітів для лікування гнійних трофічних виразок нижніх кінцівок у хворих з хронічною патологією судин [7, 8, 9]. Комбіноване лікування містило фотоопромінювання різними довжинами хвиль на різних етапах запального процесу, а також аплікації екзосом СК на ранову поверхню гомілки.

Внесення аплікацій екзосом на ранову поверхню та застосування аплікацій наночастинок на ранове покриття на завершальних етапах запалення забезпечувало необхідну регуляцію імунорезистентності та прискорення загоєння ран.

Дослідження механізмів впливу фізичних та біологічних факторів на імунорезистентність в умовах індукції експериментального запалення і оцінка ступеня цитотоксичності наночастинок діоксиду церію для комплексного лікування етапів запального процесу раніше не проводилось.

Метою нашої роботи було вивчення біологічних ефектів різних довжин хвиль фотоопромінювання, екзосом з метаболітами стовбурових клітин, ступень цитотоксичності різних концентрацій і розмірів наночастинок діоксиду церію на експериментальних моделях для їх практичного застосування на етапах запалення.

Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували 3 моделі:

модель I – моделювання тривалого запального процесу на тваринах з індукованим ліпополісахаридом (ЛПС) перитонітом. Дану модель використовували для оцінки ефектів фотоопроміювання тварин різними довжинами хвиль (660 нм, 530 нм, 470 нм) на різних етапах запального процесу (інфільтрації, альтерації, ексудації та регенерації, проліферації).

Було проведено багатоетапний експеримент на великому масиві лабораторних тварин (щури-самці породи Вістар), які були розподілені на 5 груп. Група 1 (контроль) – інтактні тварини ($n = 32$). У тварин груп 2–5 було індуковано експериментальний перитоніт з метою моделювання чотирьох етапів запальної реакції. Індукцію запального процесу у тварин груп 2–5 здійснювали шляхом внутрішньоочеревинного введення ЛПС з розрахунку 1 мкг/100 г маси тіла на 1 мл ізотонічного розчину (0,9% NaCl). Тварин групи 2 з індукованим запаленням використовували як групу порівняння ($n = 32$). Тварин груп 3, 4, 5 (з аналогічною чисельністю, як в першій групі) піддавали щоденному фотоопроміюванню шляхом впливу фотонними (світлодіодними) матрицями Коробова А. – Коробова В. «Барва-Флекс/24ФМ» на черевну стінку в один і той же час доби – вранці, до годування; час експозиції становив 10 хв. Тварин групи 3 щодня піддавали фотовпливу червоною областю видимого спектру ($\lambda = 660$ нм); тварини групи 4 піддавалися щоденному фотоопроміюванню зеленою областю видимого спектру ($\lambda = 530$ нм), тварин групи 5 опроміювали синім світлом ($\lambda = 470$ нм).

У роботі було проведено попередню оцінку змін імунних маркерів до і після фотоопроміювання різними довжинами хвиль кожного етапу запального процесу: 1-й етап – інфільтрація та альтерація; 2-й етап – ексудація; 3-й – регенерація та проліферація.

Вивчали активність нейтрофілів в кисень-незалежному фагоцитозі методом світлової мікроскопії. Хемотаксис і адгезію оцінювали за показниками фагоцитарного індексу (ФІ), фагоцитарного числа (ФЧ) і індексу завершеності фагоцитозу (ІЗФ). Фагоцитарний індекс характеризував кількість нейтрофілів, що беруть участь в процесі фагоцитозу, виражених у відсотках від загальної кількості нейтрофілів крові. Фагоцитарне число (ФЧ) відображало середню кількість клітин *Saccharomyces cerevisiae*, поглинутих одним нейтрофілом, яке виражали в умовних одиницях. Ендоцитоз оцінювали за показником індексу завершеності фагоцитозу, який відображав перетравлюючу здатність нейтрофілів, і розраховували за співвідношенням фагоцитарного числа через 30 хвилин до фагоцитарного числа через 120 хвилин [14].

Ступінь лімфоцитотоксичності визначали методом Терасакі за цитотоксичним ефектом компонентів аутосироватки на аутолімфоцити у присутності екзогенного комплекменту. Про сироваткову лімфоцитотоксичність судили за ступенем деструкції клітинних мембран лімфоцитів після їх інкубації з аутосироваткою

у присутності білків комплементу. Реакцію здійснювали з використанням виділених в градієнті щільності $1,077 \text{ г/см}^3$ лімфоцитів із додаванням до інкубованої суспензії 50 мкл комплементу морської свинки. Підрахунок зруйнованих клітин проводили за методом світлової мікроскопії (Olympus BX53) при збільшенні $\times 400$ [29].

Вміст циркулюючих імунних комплексів (ЦІК), які являють собою пов'язані між собою антиген і антитіла, оцінювали спектрофотометрично (СФ-46) після інкубації зразків сироватки в боратному буфері і поліетиленгліколі за кімнатної температури. Оптичну щільність утвореного преципітату вимірювали за довжини хвилі $\lambda = 450 \text{ нм}$ проти боратного буфера [4].

II модель – культура лейкоцитів периферичної крові *in vitro*. Модель використовували для оцінки проліферативного потенціалу клітинного матеріалу пацієнтів із хронічними запальними процесами для обґрунтування адресного застосування екзосом з метаболітами прогенераторних стовбурових клітин.

Проліферативну активність лейкоцитів визначали у культурі *in vitro* з після дії екзотом СК. У культуру А додавали 100 мкл стерильного 0,9% розчину NaCl, в культуру В вносили 100 мкл мітогену фітогемаглютиніну (ФГА), в культуру С вносили 100 мкл культурального середовища, що містили екзосоми з екзометаболітами мезенхімальних стовбурових клітин. Після 72-годинної інкубації при температурі 37°C вміст флаконів центрифугували при 700 g. Фіксували клітинний препарат розчином – 3 частини та 96^0 етанолового спирту та 1 частини крижаної оцтової кислоти. Після 10-хвилинної експозиції пробірки багаторазово відмивали від клітинного дебрісу, з осаду готували препарат, дозуючи осад на скло. Препарати фарбували за Романовським-Гімзою протягом 30 хв. Підраховували кількість малих та великих лімфоцитів з використанням світлової мікроскопії (збільшення 10×100) (мікроскоп Olympus BX53) [11].

III модель – досліджували можливу цитотоксичну активність наночастинок діоксиду церію різної концентрації та різних розмірів з використанням клітинного біоіндикатора *D. viridis*. При дії негативних факторів різного ступеня цитотоксичності оцінювали морфо-функціональні порушення біоіндикаторної тест-системи щодо зміни форми клітин, накопичення включень, втрати джгутіка, зміни характеру та напрямки руху, утворення агрегатів, виділення екзо-метаболітів [15].

Оцінку можливої цитотоксичності наночастинок діоксиду церію різних розмірів та різної концентрації (2 нм – 0,1 М, 3–4 нм – 0,2 М, 6 нм – 0,1 М) визначали у 20-добовій синхронізованій культурі *D. viridis* у концентрації 15 млн клітин на 1 мл. Мікродорості культивували [12] за температури $25\text{--}27^\circ\text{C}$ у стандартних умовах [3]. Для оцінки можливої цитотоксичності досліджуваної речовини в лунки планшета вносили в рівних об'ємах (по 50 мкл) завись одноклітинної водорості *D. viridis* і зразки. Підрахунок змінених клітин проводили на склі під мікроскопом Olympus BX53 при збільшенні $\times 400$.

Інтегральні показники цитотоксичності визначали як коефіцієнт спонтанної цитотоксичності КСП (для контрольної культури) та коефіцієнт індукованої цитотоксичності Кц (у досліджуваних зразках).

Коефіцієнт інтегральної цитотоксичності розраховували за формулою (I):

$$K_{сп} = \frac{a+b+c+d+e+f}{n}, \quad (I)$$

Коефіцієнт цитотоксичності, індукованої впливом наночастинок церію та сироватки, визначали за формулою (II):

$$K_{ц} = \left(\frac{a+b+c+d+e+f}{n} - K_{сп} \right) \cdot \frac{1}{K_{сп}}, \quad (II)$$

Результати дослідження та їх обговорення

1. Оцінка змін факторів уродженого імунітету в експериментальних тварин після опромінювання різними довжинами хвиль.

У інтактних тварин контрольної групи досліджувані показники імунорезистентності були в межах референтних значень на всіх етапах експерименту. Бар'єрна функція фагоцитів у 1-й групі відповідала фізіологічній нормі, яку оцінювали за показниками хемотаксису, адгезії, поглинальної здатності: ФІ – $(83,0 \pm 2,1)\%$; ФЧ – $(3,71 \pm 0,2)$, ІЗФ – $(1,27 \pm 0,2)$. Гуморальні фактори в цій групі не перевищували референтних значень, і рівень лімфоцитотоксичності в сироватці тварин становив $(27,5 \pm 3,5)\%$, а вміст ЦІК був на рівні норми і становив $(39,2 \pm 6,8)$ Од. Е.

У тварин 2-ї групи в порівнянні з індукованим перитонітом після введення ЛПС на першому етапі запального процесу виявили достовірні порушення хемотаксису та адгезії фагоцитуючих нейтрофілів: ФІ був знижений – $(63,0 \pm 3,3)\%$ порівняно з інтактними тваринами – $(83,0 \pm 2,1)\%$. Поглинальна здатність нейтрофілів (ФІ $(2,3 \pm 0,1)$) у цій групі знизилася при $(3,7 \pm 0,2)$ у групі інтактних тварин, і ІЗФ був дуже низьким – $(0,83 \pm 0,01)$ при $(1,27 \pm 0,2)$ у 1-й групі, що вказує на нестачу перетравлювальної функції фагоцитів – ендоцитозу. У цій же групі на другому етапі запалення (альтерації та ексудації) значення фагоцитарного індексу залишалось низьким $(62,0 \pm 1,3)\%$. Поглинальна здатність фагоцитів (ФЧ) на цьому етапі запальної реакції залишалася зниженою $(2,35 \pm 0,32)$. Перетравлювальна здатність фагоцитів також не змінювалася і залишалася низькою до кінця фази регенерації. Тільки на стадії завершення запального процесу ІЗФ наближався до норми $(3,56 \pm 0,24)$, але залишався нижчим, ніж у інтактних тварин 1-ї групи – $(3,71 \pm 0,2)$. Ступінь лімфоцитотоксичності на стадії альтерації та ексудації запального процесу був максимальним – $(73,5 \pm 4,5)\%$, а вміст ЦІК був дещо вищим $(77,5 \pm 3,7)$ Од.Е, ніж в інтактній групі – $(69,2 \pm 6,8)$ Од. Е. У цих тварин з ЛПС-індукованим перитонітом на стадії регенерації відзначали незначне підвищення хемотаксису, адгезивних

властивостей та ендоцитозу нейтрофілів, що виявлялося підвищенням значення ФІ ($69,5 \pm 2,4\%$), ФЧ ($3,01 \pm 0,12$) та ІЗФ ($0,93 \pm 0,04$).

Таким чином, у тварин з ЛПС-індукованим запальним процесом на всіх його етапах виявили стійке зниження ендоцитозу антигенів за рахунок нестачі гранзимних ферментів лізосом нейтрофілів у кисненезалежному фагоцитозі. Щоденне фотоопроміювання експериментальних тварин червоним світлом ($\lambda = 660$ нм) активувало всі етапи запального процесу, починаючи з першої доби.

У групі 3 після багаторазового опроміювання червоним світлом спостерігали закономірну активацію фагоцитозу, що виражалося у підвищенні ФІ ($89,0 \pm 3,4\%$), ФЧ ($3,9 \pm 0,13$) та ІЗФ ($1,0 \pm 0,5$) (рис.2). Спостерігали підвищення вмісту ЦК ($166,8 \pm 22,8$) ум. од. та ступеня лімфоцитотоксичності (ЛЦТ), що залишався на високому рівні та становив ($70,2 \pm 5,1\%$) (рис.1).

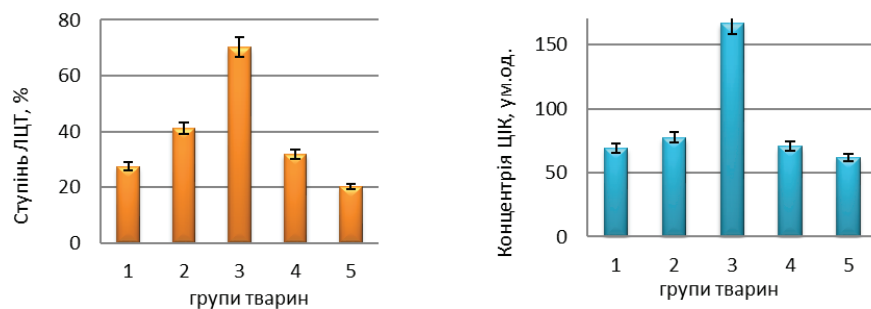


Рис. 1. Гуморальні фактори – ступінь лімфоцитотоксичності (ЛЦТ,%) та концентрація циркулюючих імунних комплексів (ЦК, Од.Є) у групах 1, 2, 3, 4, 5: група 1 – інтактні тварини; група 2 – тварини з ЛПС-індукованим перитонітом; група 3 – тварини з ЛПС-індукованим перитонітом після дії червоного світла $\lambda = 660$ нм; 4 – тварини з ЛПС-індукованим перитонітом після дії зеленого світла $\lambda = 530$ нм; 5 – тварини з ЛПС-індукованим перитонітом після дії синього світла $\lambda = 470$ нм.

Таким чином, у тварин групи 3 вже на першому етапі запалення виявили виражену індукцію фагоцитозу, збільшення антитілоутворення, що призводило до підвищення вмісту ЦК та підтримання високого рівня лімфоцитотоксичності. Отже, опроміювання червоним світлом видимого діапазону ($\lambda = 660$ нм) викликало достатній ступень взаємодії антитіл з антигенами та утворення ЦК, стимулювало кисненезалежний фагоцитоз, що виявлялося у значній активації хемотаксису, адгезивних властивостей, поглинальної здатності нейтрофілів та сприяло високому ступеню лімфоцитотоксичності. Активація вродженого імунітету після дії червоного опроміювання сприяла скороченню запального процесу на 9 діб.

У 4-й групі тварин виявили позитивну дію після багаторазового фотоопроміювання зеленим світлом ($\lambda = 530$ нм) на досліджувані показники імунно-

реактивності тільки на 14 добу на етапі (альтерації та ексудації) запалення: спостерігали підвищення поглинальної здатності фагоцитів ФЧ ($3,8 \pm 0,2$) при ($3,01 \pm 0,12$) (рис.1) у другій групі порівняння. Спостерігали тенденцію до зниження ЛЦТ ($31,0 \pm 4,2$) та концентрації ЦІК ($66,8 \pm 7,3$), що сприяло розвитку регенеративних процесів та скорочення термінів другого етапу запалення на 6 діб (рис.1).

Пролонговане фотоопроміювання тварин 5-ї групи синім світлом ($\lambda = 470$ нм) мало менший ефект на досліджувані імунологічні параметри на ранніх етапах запалення. А на завершальному етапі запального процесу на 18 добу виявили зниження хемотаксису, адгезії фагоцитів (ФІ – $72,0 \pm 4,6$), ніж цей показник в інших групах, а ендоцитоз нейтрофілів – навпаки, був на такому рівні, як в групі інтактних тварин (ІЗФ – $1,2 \pm 0,11$) (рис.2). Показники ЛЦТ ($20,3 \pm 3,1$) та ЦІК ($70,5 \pm 9,9$) знижувалися. Строк запального процесу скоротився на 5 днів.

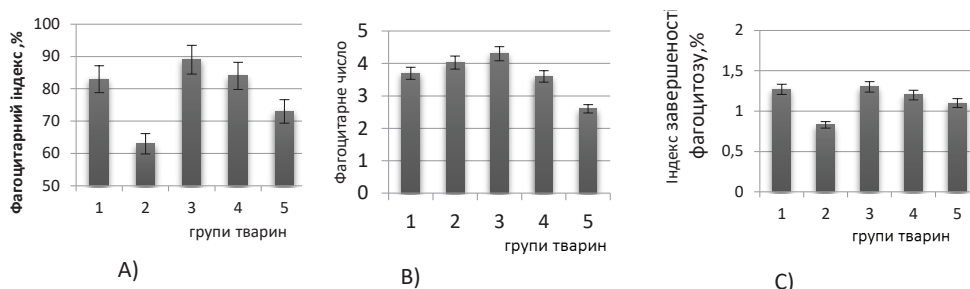


Рис. 2. Значні зміни фагоцитарної активності нейтрофілів на різних етапах запалення у групах тварин після фотоопромінення різними довжинами хвиль ($\lambda=660$ нм, $\lambda=530$ нм, $\lambda=470$ нм). А) – зміни фагоцитарного індексу; В) – зміни фагоцитарного числа; С) – зміни індексу завершеності фагоцитозу

Таким чином, введення експериментальним тваринам групи 2 ліпополісахариду супроводжувалося розвитком вираженого запального процесу. У групі порівняння 2 виявили зміни гуморальної та клітинної ланки імунітету порівняно з групою інтактних тварин. Після фотоопроміювання червоним світлом ($\lambda = 660$ нм) у групі 3 спостерігається підвищення маркерів фагоцитозу, посилення гуморальних реакцій, що супроводжується скороченням першої стадії запального процесу. Опроміювання зеленим світлом ($\lambda = 530$ нм) у групі 4 сприяє збільшенню поглинальної здатності нейтрофілів, зниженню циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) та рівня лімфоцитотоксичності (ЛЦТ), що характеризує завершення альтерації та стимуляцію регенеративних процесів. Застосування синього світла ($\lambda = 470$ нм) у групі 5 інгібує залишкові запальні процеси та знижує ступінь ЛЦТ та концентрацію ЦІК.

2. Оцінка дії екзосом СК на проліферативну активність лімфоцитів *in vitro*

Індукцію проліферативного потенціалу лімфоцитів пацієнтів з хронічним запаленням (трофічні виразки гомілки) здійснювали при культивуванні їх клітин *in vitro* з використанням: мітогену – фітогемаглютиніна та екзосом, що містять екзометаболіти стовбурових клітин. Виявили достовірні відмінності у реакції культивованих клітин на ФГА і екзосоми. При культивуванні лімфоцитів периферичної крові пацієнтів з хронічним запальним процесом без застосування індукторів мітозу виявили низьку спонтанну проліферативну активність клітин в умовах *in vitro*, що виражалося значним зниженням числа великих лімфоцитів (у середньому $7,6 \pm 0,8\%$). Присутність мітогену (ФГА) у культурі лейкоцитів пацієнтів із запальним процесом посилювала проліферативну відповідь у середньому до $(15,0 \pm 2,0)\%$ (рис. 3).

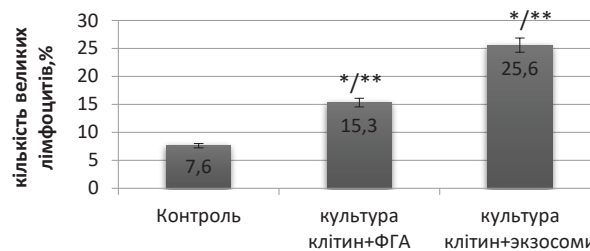


Рис. 3. Проліферативна активність лімфоцитів периферичної крові у культурі *in vitro*: контроль – серeda 199; культура клітин + ФГА; культура клітин + екзосоми, що містять мезенхімальні стовбурові клітини пацієнтів;

* – відмінності достовірні порівняно з контролем; ** – відмінності достовірні між культурами з ФГА та з екзосомами ($p \leq 0,05$)

Індукована екзосомами з екзометаболітами СК проліферативна відповідь лімфоцитів пацієнтів із запальним процесом була достовірно вищою і становила $(25,6 \pm 3,5)\%$ (рис. 3). Виявили, що кількість великих лімфоцитів, що пройшли S-період клітинного циклу, була достовірно вищою, ніж у культурі без мітогену.

Отже, виявили знижену спонтанну функціональну активність лімфоцитів пацієнтів із запальними процесами. Фактори мікрооточення, що перебувають в екзосомах, значно стимулювали синтетичну активність лімфоцитів у культурі, що визначає їхню підготовку до мітозу. У зв'язку з цим, виявлений стимулювальний ефект екзосом СК, які індукують проліферативну активність *in vitro* у культурі клітин пацієнтів із хронічним запаленням, можна застосовувати для активації проліферації та репарації. Напевно, фактори росту, які містять екзосоми, проявляють антагоністичну дію проти інгібіторів проліферативного потенціалу лімфоцитів пацієнтів, які мали довготривалий запальний процес.

3. Дослідження потенціального ступеня цитотоксичності наночастинок діоксиду церію різного розміру та концентрації з використанням клітинної тест-системи *D. viridis*

Оцінка ступеня цитотоксичності наночастинок діоксиду церію з різними характеристиками розмірів та концентрації є обов'язковим для розробки подальших рекомендацій їх застосування у медичній практиці при хронічних запальних процесах як цитопротекторів. Тест-система, що включає інтактні одноклітинні водорості *D. viridis*, при інкубації з наночастинами діоксиду церію різних розмірів та концентрацій змінювала свої структурно-функціональні характеристики залежно від природи та кількості токсичних факторів у мікросередовищі [11]. У всіх контрольних зразках клітини біоіндикатора *D. viridis* мали нативну овальну форму та джгутик; їх рухливість становила $(95,0 \pm 1,1)\%$, і клітини зберігали звичайний прямолінійний рух; не утворювались екзометаболіти; патологічних агрегатів у культурі не було. Тому коефіцієнт спонтанної цитотоксичності у контрольній культурі становив – $K_{сп} = 2,0 \pm 0,02$ ум. од.

Інкубація нативної контрольної культури *D. viridis* з додаванням наночастинок діоксиду церію різного розміру і різної концентрації призводила до структурно-функціональних змін клітин водорості в культурі.

Після внесення до тест-системи *D. viridis* наночастинок діоксиду церію малого розміру – 2 нм у концентрації 0,1 М, відзначали незначні зміни швидкості руху деяких клітин у бік уповільнення. Достовірної зміни кількості клітин із зміненою морфологією не виявлено. Культура *D. viridis* не утворювала агрегатів. Коефіцієнт цитотоксичності (Кц) у даному зразку становив лише $(2,8 \pm 0,09)$ ум. од., тобто не відрізнявся від контрольного варіанта.

Після інкубації культури *D. viridis* та діоксиду церію (концентрації 0,2 М) клітини набули неправильної овальної та грушоподібної форми. Розмір наночастинок діоксиду церію становив 3–4 нм і вони проникали в клітини. Вплив діоксиду церію в цій концентрації (0,2 М) призводив до того, що клітини частково втрачали джгутики. Коефіцієнт цитотоксичності (Кц) для цього зразка був підвищеним і становив $(3,6 \pm 0,29)$ ум. од.

Після інкубації тест-системи *D. viridis* з діоксидом церію в концентрації 0,1 М розміром 6 нм всі клітини тест-системи через 30 хвилин набували деформовану округлу форму. У клітинах було багато наночастинок церію, при цьому вони втрачали джгутики і утворювали великі агрегати навколо наночастинок. А коефіцієнт цитотоксичності був дуже підвищеним і становив $(8,5 \pm 0,06)$ ум. од. Таким чином, після інкубації тест-системи *D. viridis* з діоксидом церію максимального розміру 6 нм у концентрації 0,1 М спостерігали виражені цитотоксичні ефекти з боку біоіндикатора.

Таким чином, різні довжини хвиль вибірково діють на модифікацію біомолекул, на чому можуть бути засновані їх різні ефекти на стадії запального процесу. Дослідження змін механізмів імунорезистентності після дії різних довжин хвиль видимого діапазону на етапи запального процесу може сприяти

розробці показань для їх застосування. Виявлена активація проліферації клітин у культурі після впливу екзосом СК може бути вивчена та використана як індуктор репарації при запаленні. Наночастинки діоксиду церію малих розмірів у низькій концентрації, які не мають цитотоксичності, можуть бути використані у вигляді цитопротекторів, антиоксидантів та активаторів мікроциркуляції на стадії альтерації запального процесу. Таким чином, проведені дослідження дозволяють обґрунтувати деякі механізми після дії фотоопромінювання різних довжин хвиль на етапи запалення; оцінити дію екзосом стовбурових клітин як активаторів проліферативного потенціалу в культурі клітин і з'ясувати ступінь цитотоксичності наночастинок діоксиду церію з різними характеристиками для розробки показань до їх спільного застосування.

Що стосується практичного використання досліджуваних методів лікування хронічних локальних та системних запальних реакцій, то у клініці ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В. Т. Зайцева НАМН України» отримують позитивні результати в лікуванні хронічних трофічних виразок нижніх кінцівок після застосування комбінованої терапії з використанням опромінювання різних довжин хвиль, екзосом стовбурових клітин, а також наночастинок у вигляді аплікацій на ранові покриття трофічних виразок.

Розробка нових лікувально-діагностичних протоколів комплексних підходів з використанням фізичних, біологічних та хімічних факторів є альтернативою для застосування в медичній практиці за наявної антибіотикорезистентності.

Висновки

1. Фотовплив різних довжин хвиль може мати різні ефекти на етапи запалення: від активації до інгібування показників вродженого імунітету на певних етапах запалення, що призводить, у свою чергу, до скорочення термінів лікування. Після опромінювання червоним світлом ($\lambda = 660$ нм) спостерігали підвищення маркерів фагоцитозу, посилення гуморальних реакцій і скорочення першої стадії запального процесу. Зелене світло ($\lambda = 530$ нм) сприяло нормалізації поглинальної здатності нейтрофілів, зниженню циркулюючих імунних комплексів (ЦК) та рівня лімфоцитотоксичності (ЛЦТ), стимуляції регенерації на другому етапі запальної реакції і скороченню етапу запалення. Застосування синього світла ($\lambda = 470$ нм) сприяло скороченню терміну запальної реакції.

2. Виявили стимулювальний ефект екзосом, які містять екзометаболіти мезенхімальних СК, завдяки чому вони індукували проліферативну активність *in vitro* у культурі клітин пацієнтів із хронічним запаленням.

3. Наночастинки діоксиду церію, малого розміру (2 нм) в концентрації 0,1 М не проявляли цитотоксичності, а після інкубації біоіндикатора *D. viridis* з діоксидом церію максимального розміру (6 нм) у той же концентрації 0,1 М спостерігали виражені цитотоксичні ефекти з боку біоіндикатору.

Стаття надійшла до редакції 3.05.2023

Список використаної літератури

1. Божков А.И., Климова Е.М., Бойко В.В., Мензянова Н.Г., Дроздова Л.А. Связь клинических форм мастени с частотой встречаемости HLA-DR-фенотипа и разработка клеточного биосенсора для оценки этой патологии. *Доповіди Національної академії наук України*. 2002. № 3. С. 161–166.
2. Бойко В.В., Иванова Ю.В., Головіна О.А. Антибіотикорезистентність основних збудників інтраабдомінальної інфекції (огляд літератури та власні дослідження). *Хірургія України*. 2016. № 4. С. 108–116.
3. Бойко В.В., Иванова Ю.В., Климова Е.М., Коробов А.М. Лечение ран у больных с критической ишемией нижних конечностей на фоне сахарного диабета. *Харківська хірургічна школа*. 2018. № 1 (88). С. 41–46.
4. Гриневич Ю.А., Алферов Л.Н. Определение иммунных комплексов. *Лабораторное дело*. 1981. № 8. С. 493–6.
5. Девятов В.А., Петров С.В. Микробное обсеменение ран и профилактика гнойных осложнений. *Хирургия*. 1992. № 7–8. С. 70–74.
6. Иванова Ю.В., Мушенко Е.В., Климова Е.М., Коробов А.М. Лечение ран с применением фотодинамической терапии и современных раневых покрытий. *Матер. XLVII междунар. научно-практ. Конф. «Применение лазеров в биологии и медицине»*. Киев. 2017. С. 48–49.
7. Климова Е.М., Быченко Е.А., Коробов А.М., Кордон Т.И., Лобынцева Г.С. Влияние фотооблучения различными длинами волн на этапы воспаления и стимуляция пролиферации экзосомами стволовых клеток в эксперименте. *Клінічна інформатика та телемедицина*. 2021. Т. 17. С. 100–117.
8. Климова Е.М., Коробов А.М., Иванова Ю.В. Изменение иммунореактивности у пациентов с гнойно-септическими ранами нижних конечностей на фоне сахарного диабета II типа после светового воздействия. *Фотобиология и фотомедицина*. 2017. № 1, 2. С. 64–72.
9. Климова Е.М., Коробов А.М., Лавинская Е.В., Дроздова Л.А., Иванова Ю.В., Быченко Е.А. Активация регенеративных процессов и нормализация иммунорезистентности у больных с трофическими язвами после сочетанного влияния светового воздействия и тромбоцитарного фактора роста. *Материалы XLVII междунар. научно-практ. Конф. «Применение лазеров в биологии и медицине»*. Киев. 2017. С. 41–42.
10. Климова Е.М., Лавинская Е.В., Быченко Е.А. Определение степени цитотоксичности наночастиц диоксида церия с помощью клеточной тест-системы. V International scientific and practical conference “World Science Problems, Prospects and innovation”. Toronto. 2021. P. 700–704.
11. Ковальчук Л.В. Иммунологія. Практикум: Навчальний посібник. Геотар-Медіа, 2015. 194 с.
12. Коробов А.М. Новая техника для новейших технологий светотерапии. *Материалы XX междунар. научно-практ. Конф. «Применение лазеров в биологии и медицине»*. 2003. С. 114–117.
13. Масюк Н.П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. и перспективы его практического использования. Киев: Наук. Думка. 1973. С. 243.
14. Маянский Д.Н., Урсов И.Г. Лекции по клинической патологии: руководство для врачей. 1997. С. 249.
15. Спосіб біосенсорної індикації цитотоксичних факторів біологічної і хімічної природи: пат. 08958 Україна, G01N33/15, C12Q1/04, C12M1/34 на корисну модель; заявл. 28.08.2009; опубл. 10.03.2010 Бюл. № 5.
16. Al-Watban F. A., Al-Watban F.A. Laser therapy converts diabetic wound healing to normal healing. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2009. V. 27. № 1. P. 127–135. <https://doi.org/10.1089/pho.2008.2406>.
17. Andaloussi S., Ma ger I., Breakefield X.O. Wood Extracellular vesicles: Biology and emerging therapeutic opportunities. *Nat. Rev. Drug Discov*. 2013. V. 12. P. 347–357. <https://doi.org/10.1038/nrd3978>.
18. Bozhkov A.I., Klimova E.M., Nikitchenko Yu.V., Davydov V.V., Zvyagintseva O.V., Kurguzova N.I., Sidorov V.I., Naglov A.V. Stem cells take part in regulation of prooxidant activity and immunity at liver fibrosis. *American Journal of Biomedical and Life Sciences*. 2014. V. 2, № 6–1. P. 5–12. doi: 10.11648/j.ajbls.s.2014020601.12.
19. Conlan M. J., Clin J. Biostimulation of wound healing by low-energy laser irradiation: a review. *Periodontology*. 1996. V. 23. № 5. P. 492–496. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1996.tb00580.x>.
20. Chen A. C., Arany P. R., Huang Y. Low-Level laser therapy activates NF-kB via generation of reactive oxygen species in mouse embryonic fibroblasts. *PLoS ONE*. 2011. V.6. № 7 P. 256–261. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022453>.
21. Houreld N.N., Abrahamse H. Effectiveness of helium-neon laser irradiation on viability and cytotoxicity of diabeticwounded fibroblast cells. *Photomed. and Laser Surg*. 2007. V. 25. № 6. P. 474–481. <https://doi.org/10.1089/pho.2007.1095>.
22. Karu T. Low power laser therapy, biomedical photonics handbook. CRC Press, LLC. 2003. № 48. P. 48–20.

23. Klimova E. M., Bozhkov A. I., Bychenko E. A., Lavinskaya E. V., Zholobak N. M., Korobov A. M. Characteristics of the response of the Microalga (*Dunaliella Viridis*) for cerium compounds in culture. *Regulatory mechanisms in biosystems Biosyst. Divers.* 2019. № 27(2). P. 142–147. doi: 10.15421/011919.
24. Klimova E. M., Korobov A. M., Bozhkov A. I., Lesnaya T. A., Lavinskaya E. V., Bychenko E. A., Agarkova A. N. Nonspecific resistance factors and humoral immunity indicators animals blood with experimental peritonitis after visible light irradiation $\lambda=595$. Photodiagnosis and photodynamic therapy. Helsinki. 2012. P. 527.
25. Klimova E. M., Korobov A. M., Bychenko E. A., Drozdova L. A., Lavinskaya E. V., Kordon T. I., Ivanova Yu. V. Mechanisms of immunocorrective action of complex treatment using photodynamic, cell and tissue therapy in patients with purulent wounds of the lower extremities. Conference Proceedings. *International Conference on Advanced Optoelectronic and lasers.* 2019. P. 107–112.
26. Nunan R., Harding K. G. Martin P. Clinical challenges of chronic wounds: searching for an optimal animal model to recapitulate their complexity. *Nunan. Dis. Model Mech.* 2014. V. 7. P. 1205–1213. <https://doi.org/10.1242/dmm.016782>.
27. Ottawa O. N. Optimal Care of Chronic, Non-Healing, Lower Extremity Wounds. Review of Clinical Evidence and Guidelines. *Canadian Agency for Drugs and Technol in Health.* 2013. P.1120–1125.
28. Richmond N. A., Vivas A. C. Evidence-based management of common chronic lower extremity ulcers. *Dermatol. Ther.* 2013. V. 26. P. 187–196. <https://doi.org/10.1111/dth.12051>.
29. Terasaki P. I., Melelland J. D. Microdroplet assay of human serum cytotoxins. *Nature.* 1964. – P. 204.

О. М. Клімова^{1,2}, К. О. Биченко^{1,2}

¹ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В. Т. Зайцева НАМНУ», діагностична лабораторія з імуноферментним та імунофлуоресцентним аналізом. Україна, 61103, м. Харків, в'їзд Балакірева, 1.

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, кафедра молекулярної біології та біотехнології. Пл. Свободи, 4, Харків, 61000, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НА РІЗНИХ МОДЕЛЯХ БІОЛОГІЧНИХ ЕФЕКТІВ КОМПОНЕНТІВ КОМПЛЕКСНОГО ВПЛИВУ (ФОТООПРОМІНЮВАННЯ; ЕКЗОСОМИ МЕЗЕНХІМАЛЬНИХ СТОБУРОВИХ КЛІТИН ТА НАНОЧАСТИНКИ) ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ЗАПАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Резюме

Вступ. Ведеться пошук нових оптимальних методів для лікування хронічних запальних процесів через зростаючу антибіотикорезистентність. Використовують фізичні, біологічні та хімічні фактори, що на корекцію запального процесу. Як фізичні чинники широко використовують різні джерела фотовпливу. Але лікувальні ефекти застосування фотодії суперечливі та не вивчені механізми впливу різних довжин хвиль на імунну відповідь. Іншим засобом для корекції метаболічних порушень та стимуляції регенеративних процесів є успішне застосування стовбурових клітин різного походження, але не розроблені локальні протоколи для лікування запальних процесів за допомогою стовбурових клітин. Для лікування запальних процесів, стимуляції мікроциркуляції та регенерації і як антиоксидант застосовують різні наночастинки. Але існують суперечливі відомості про біологічну дію цих факторів. І застосування всіх цих факторів супроводжується постійною дискусією про можливі механізми

їх впливу на динаміку локальних та системних запальних процесів і біологічну безпеку наночастинок, у котрих не визначені допустимі дози та оптимальні розміри, які не мають високого ступеня цитотоксичності.

Актуальним є дослідження механізмів зміни імунорезистентності за впливу різних довжин хвиль діапазону видимого світла протягом основних етапів запального процесу та оцінки з'ясування потенційної можливості екзосом, що містять екзометаболіти стовбурових клітин стимулювати проліферативний потенціал імунокомпетентних клітин пацієнтів з хронічним запаленням.

У роботі виконано експериментальні дослідження на 3-х моделях. На моделях індукованого запалення вивчали імунорезистентність на стадіях запального процесу після дії різних довжин хвиль ($\lambda = 660$ нм, 530 нм, 470 нм).

У роботі на першому етапі запалення (інфільтрації) виявили активацію вродженого імунітету після дії червоного світла ($\lambda = 660$ нм) в експериментальних тварин з індукованою запальною реакцією показники були вищими, ніж з групою порівняння у тварин із запаленням без фотовпливу. Зелене світло ($\lambda = 530$ нм) призводило до нормалізації показників клітинного та зниження гуморального імунітету на другому етапі запалення (ексудації). Синє світло ($\lambda = 470$ нм) сприяло зниженню досліджуваних показників імунітету на третьому етапі запалення (проліферації). У кожній групі тварин після впливу певної довжини хвилі терміни етапів запалення скоротилися відносно групи порівняння (тварини з індукованим перитонітом без впливу).

У культурі клітин пацієнтів з хронічними запальними процесами виявили виражену стимульовальну дію після дії екзосом стовбурових клітин на проліферативну активність в порівнянні з мітогеном ФГА. Дослідження цитотоксичності з застосуванням клітинного біоіндикатора *D. viridis* наночастинок діоксиду церію з різними характеристиками дозволило виявити оптимальну концентрацію та розміри наночастинок (2 нм, 0,01М), які не виявляють цитотоксичної дії.

Комплексне застосування фотовпливу екзосом СК та наночастинок дозволять розробити нові лікувальні протоколи для корекції різних порушень гомеостазу на етапах запального процесу.

Мета роботи – вивчити біологічні ефекти різних довжин хвиль фотоопроміювання; екзосом з метаболітами стовбурових клітин та цитотоксичність різних концентрацій наночастинок діоксиду церію на експериментальних моделях для їх практичного поетапного застосування на стадіях запалення

Матеріал і методи. В роботі досліджували показники імунорезистентності після фотоопроміювання та впливу екзосом стовбурових клітин на експериментальних моделях та об'єктах. Досліджували можливу цитотоксичну активність наночастинок діоксиду церію різної концентрації та різних розмірів з використанням клітинного біоіндикатора *D. viridis*.

Результати. Після впливу червоного світла ($\lambda = 660$ нм) виявили на 1-му етапі запальної реакції активацію фагоцитозу, стимуляцію утворення циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) і посилення лімфоцитотоксичності (ЛЦТ). Після спільного застосування зеленого світла ($\lambda = 530$ нм) та аплікації екзосом на 2-й фазі запальної реакції виявили максимальний позитивний ефект і імунної відповіді, що проявлялось збільшенням поглинальної здатності нейтрофілів, зниженням ЦІК та ЛЦТ. Застосування синього світла ($\lambda = 470$ нм) на III етапі запальної реакції сприяло завершенню запального процесу.

Встановлено, що екзометаболіти стовбурових клітин виявляють виражену активацію проліферації в культурі лейкоцитів *in vitro*. Екзосоми мають здатність активувати ангиогенез, проліферацію, міграцію та диференціацію ос-

новних типів клітин, що беруть участь у регенерації запальних процесів. При культивуванні лімфоцитів периферичної крові *in vitro* у пацієнтів із хронічним запальним процесом виявили низьку спонтанну проліферативну активність клітин, тоді як з використанням екзосом СК проліферативний ефект був достовірно вищим. Отже, фактори мікрооточення, що знаходяться в екзосомах, стимулювали синтетичну активність лімфоцитів, що культивуються. Наночастинки діоксиду церію розміром 2 нм і в концентрації 0,01 М не мають цитотоксичності (Кц = $2,8 \pm 0,09$) ум. од., а наночастинки збільшених розмірів від 4 до 6 нм у концентрації 0,1 М мають високий рівень цитотоксичності (Кц = $7,2 \pm 0,31$) ум. од.

Висновок.

Проведені нами дослідження на моделях: I – експериментальних тварин із ЛПС-індукованим перитонітом. Виявили кореляцію зі зміною ефектів різних довжин хвиль на показники імунорезистентності; II – культурі лейкоцитів периферичної крові *in vitro*. Застосування екзосом з екзометаболітами мезенхімальних стовбурових клітин індукує проліферативну активність *in vitro* у культурі клітин пацієнтів із хронічним запаленням; III модель – досліджували можливу цитотоксичну активність наночастинок діоксиду церію різної концентрації та різних розмірів з використанням клітинного біоіндикатора *D. Viridis*.

Ключові слова: імунітет; фотоопроміювання; етапи запалення; культура клітин; екзосоми; стовбурові клітини; проліферативна активність; наночастинки діоксиду церію; біоіндикатор *D. viridis*; цитотоксичність

O. M. Klimova^{1,2}, K. O. Bychenko^{1,2}

¹V. T. Zaitsev Institute of General and Urgent Surgery of National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Diagnostic laboratory with immunoenzyme and immunofluorescence analysis, Balakirev vyizd, 1, Kharkiv, 61103, Ukraine.

²V. N. Karazin Kharkiv National University, Department of Molecular Biology and Biotechnology, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61000, Ukraine.

RESEARCH ON VARIOUS MODELS OF THE BIOLOGICAL EFFECTS OF COMPONENTS OF A COMPLEX EFFECT (PHOTOIRRADIATION; EXOSOMES OF MESENCHYMAL STEM CELLS AND NANOPARTICLES) FOR THE CORRECTION OF THE INFLAMMATORY PROCESS

Abstract

Introduction. The search for new optimal methods for the treatment of chronic inflammatory processes is underway due to the growing antibiotic resistance. Physical, biological and chemical factors are used to correct the inflammatory process. Various sources of photoinfluence are widely used as physical factors. But the therapeutic effects of phototherapy are controversial, and the mechanisms of influence of different wavelengths on the immune response have not been studied. Another means for correcting metabolic disorders and stimulating regenerative processes is the successful use of stem cells of various origins, but local protocols for

the treatment of inflammatory processes using stem cells have not been developed. Various nanoparticles are used for the treatment of inflammatory processes, stimulation of microcirculation and regeneration, and as an antioxidant. But there is conflicting information about the biological effects of these factors. And the use of all these factors is accompanied by a constant discussion about the possible mechanisms of their influence on the dynamics of local and systemic inflammatory processes and the biological safety of nanoparticles, in which the permissible doses and optimal sizes, which do not have a high degree of cytotoxicity, have not been determined.

It is relevant to study the mechanisms of changes in immunoresistance under the influence of different wavelengths of the visible light range during the main stages of the inflammatory process and to assess the potential for elucidating the potential of exosomes containing exometabolites of stem cells to stimulate the proliferative potential of immunocompetent cells of patients with chronic inflammation.

In the work, experimental studies were performed on 3 models. In models of induced inflammation, immunoresistance was studied at the stages of the inflammatory process after exposure to different wavelengths ($\lambda = 660$ nm, 530 nm, 470 nm).

In the work, the first stage of inflammation (infiltration) revealed the activation of innate immunity after exposure to red light ($\lambda = 660$ nm) in experimental animals with an induced inflammatory reaction. The indicators were higher than with the comparison group in animals with inflammation without photo exposure. Green light ($\lambda = 530$ nm) led to the normalization of cellular indicators and a decrease in humoral immunity in the second stage of inflammation (infiltration). Blue light ($\lambda = 470$ nm) contributed to the reduction of the studied indicators of immunity at the third stage of inflammation (proliferation). In each group of animals, after exposure to a certain wavelength, the duration of the stages of inflammation decreased relative to the comparison group (animals with induced peritonitis without exposure).

In the culture of cells of patients with chronic inflammatory processes, a pronounced stimulating effect was found after the action of exosomes of stem cells on proliferative activity in comparison with the mitogen FGA. The study of cytotoxicity using the cell bioindicator *D. viridis* of cerium dioxide nanoparticles with different characteristics made it possible to identify the optimal concentration and size of nanoparticles (2nm, 0.01M), which do not show a cytotoxic effect.

The complex application of the photoinfluence of SC exosomes and nanoparticles will allow the development of new treatment protocols for the correction of various homeostasis disturbances at the stages of the inflammatory process.

Material and Methods. In the work, indicators of immunoresistance after photoirradiation and exposure to exosomes of stem cells were studied on experimental models and objects. The possible cytotoxic activity of cerium dioxide nanoparticles of different concentrations and sizes was studied using the cellular bioindicator *D. viridis*.

Results. After exposure to red light ($\lambda = 660$ nm), activation of phagocytosis, stimulation of the formation of circulating immune complexes (CIC) and increased lymphocytotoxicity (LCT) were detected at the 1st stage of the inflammatory reaction. After the joint application of green light ($\lambda = 530$ nm) and the application of exosomes in the 2nd phase of the inflammatory reaction, the maximum positive effect and immune response was revealed, which was manifested by an increase in the absorptive capacity of neutrophils, a decrease in CIC and LCT. The use of blue light ($\lambda = 470$ nm) at the III stage of the inflammatory reaction contributed to the completion of the inflammatory process.

It was established that exometabolites of stem cells reveal a pronounced activation of proliferation in leukocyte culture in vitro. Exosomes have the ability to activate angiogenesis, proliferation, migration and differentiation of the main types of cells involved in the regeneration of inflammatory processes. When cultivating peripheral blood lymphocytes in vitro in patients with a chronic inflammatory process, a low spontaneous proliferative activity of cells was found, while with the use of MSC exosomes, the proliferative effect was significantly higher. Therefore, factors of microenvironment found in exosomes stimulated the synthetic activity of cultured lymphocytes.

Nanoparticles of cerium dioxide with a size of 2 nm and a concentration of 0.01M have no cytotoxicity ($Is = 2.8 \pm 0.09$), and an increase in size to 4 to 6 nm in a concentration of 0.1 M has a high level of cytotoxicity ($Is = 7.2 \pm 0.31$).

Conclusion. We conducted the research on the following models: I – experimental animals with LPS-induced peritonitis. They found a correlation with the change in the effects of different wavelengths on indicators of immunoresistance; II – culture of peripheral blood leukocytes in vitro. Application of exosomes with exometabolites of mesenchymal stem cells induces proliferative activity in vitro in cell culture of patients with chronic inflammation; III model – investigated the possible cytotoxic activity of cerium dioxide nanoparticles of different concentrations and different sizes using the cellular bioindicator *D. viridis*.

Key words: immunity; photoirradiation; stages of inflammation; cell culture; exosomes; stem cells; proliferative activity; cerium dioxide nanoparticles; bioindicator *D. viridis*; cytotoxicity

References.

1. Bozhkov A.I., Klimova E.M., Boyko V.V., Menzyanova N.G., Drozdova L.A. (2002) Relationship of clinical forms of myasthenia gravis with the frequency of occurrence of the HLA-DR phenotype and the development of a cellular biosensor for its assessment pathologies. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. № 3. P. 161–166.
2. Boyko V.V., Ivanova Yu. V., Golovina O.A. (2016) Antibiotic resistance of the main pathogens of intra-abdominal infection (literature review and own research). *Surgery of Ukraine*. № 4. P. 108–116.
3. Boyko V.V., Ivanova Yu.V., Klimova E.M., Korobov A.M. and others. Treatment of wounds in patients with critical ischemia of the lower extremities on the background of diabetes mellitus. Kharkiv Surgical School. 2018. № 1 (88). P. 41–46.
4. Hrynevych Yu. A., Alferov L.N. (1981) Determination of immune complexes. *Laboratory work*. № 8. P. 493–6.
5. Devyatov V.A., Petrov S.V. (1992) Microbial seeding of wounds and prevention of purulent complications. *Surgery*. № 7–8. P. 70–74.
6. Ivanova Yu. V., Mushenko E.V., Klimova E.M., Korobov A.M. et al. (2017) Wound treatment using photodynamic therapy and modern wound dressings. Mater. XLVII international scientific and practical Conf. “Application of lasers in biology and medicine”. Kyiv. P. 48–49.
7. Klimova E. M., Bychenko E.A., Korobov A. M., Kordon, T.Y., Lobyntseva G. S. (2021) Effect of photoirradiation with different wavelengths on stages of inflammation and stimulation of proliferation by exosomes of stem cells in the experiment. *Clinical informatics and telemedicine*. Vol. 17. P. 100–117.
8. Klimova E.M., Korobov A.M., Ivanova Yu.V. et al. (2017) Changes in immunoreactivity in patients with purulent-septic wounds of the lower extremities on the background of type II diabetes mellitus after light exposure. *Photobiology and photomedicine*. № 1, 2. P. 64–72.
9. Klimova E. M., Korobov A. M., Lavinskaya E. V., Drozdova L.A. (2017) Activation of regenerative processes and normalization of immunoresistance in patients with trophic ulcers after the combined effect of light exposure and platelet growth factor. Proceedings of XLVII int. scientific and practical. Conf. “Application of lasers in biology and medicine”. Kyiv. P. 41–42.

10. Klimova E., Lavinskaya E., Bychenko E. (2021) Determination of the degree of cytotoxicity of cerium dioxide nanoparticles using a cellular test system. V International scientific and practical conference "World Science Problems, Prospects and innovation", Toronto. P. 700–704
11. Kovalchuk L.V. (2015) Immunology. Practicum: Heading guide. Geotar-Media. P. 194.
12. Korobov A.M. (2003). New technique for the latest technologies of light therapy. Proceedings of the XX International Scientific and Practical. Conference. "Application of lasers in medicine and biology". Yalta. P. 114–117.
13. Masyuk N.P. (1973) *Morphology, taxonomy, ecology, geographical distribution of the genus Dunaliella Teod. and prospects for its practical use*. Kyiv: Nauk. Dumka. P. 243.
14. Mayansky D.N, Ursov I. G. (1997) Lectures on Clinical Pathology: A Guide for Physicians. Novosibirsk. P. 249.
15. Method for biosensoric indication of cytotoxic factors of biological and chemical nature: Pat. G01N33/15, C12Q1/04, C12M1/34. № 08958 Ukraine; dec. 08/28/2009; publ. 10.03.2010 Bull. № 5.
16. Al-Watban F.A.H. (2009) Laser therapy converts diabetic wound healing to normal healing. *Photomedicine and Laser Surgery*. Vol. 27. № 1. P. 127–135. <https://doi.org/10.1089/pho.2008.2406>.
17. Andaloussi S., Mauger I., Breakefield X.O., Wood M.J.A. (2013) Extracellular vesicles: Biology and emerging therapeutic opportunities. *Nat. Rev. Drug Discov.* Vol. 12. P. 347–357. <https://doi.org/10.1038/nrd3978>.
18. Bozhkov A.I., Klimova E.M., Nikitchenko Yu.V., Davydov V.V., Zvyagintseva O.V., Kurguzova N.I., Sidorov V.I., Naglov A.V. (2014) Stem cells take part in regulation of prooxidant activity and immunity at liver fibrosis. *American Journal of Biomedical and Life Sciences*. Vol. 2. № 6–1. P. 5–12. doi: 10.11648/j.ajbls.s.2014020601.12.
19. Conlan M.J. (1996) Biostimulation of wound healing by low-energy laser irradiation: a review. *J Clin. Periodontology*. Vol. 23. № 5. P. 492–496. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1996.tb00580.x>.
20. Chen A.C., Arany P.R., Huang Y. (2011) Low-Level laser therapy activates NF-kB via generation of reactive oxygen species in mouse embryonic fibroblasts. *PLoS One*. Vol. 6. № 7. P. 256–261. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022453>.
21. Houreld N.N., Abrahamse H. (2007) Effectiveness of helium-neon laser irradiation on viability and cytotoxicity of diabeticwounded fibroblast cells. *Photomed. and Laser Surg.* Vol. 25. № 6. P. 474–481. <https://doi.org/10.1089/pho.2007.1095>.
22. Karu T. (2003) Low power laser therapy, biomedical photonics handbook. *CRC Press, LLC*. № 48. P. 48–1–48–20.
23. Klimova E.M., Bozhkov A.I., Bychenko E.A., Lavinskaya E.V., Zholobak N.M., Korobov A.M. (2019) Characteristics of the response of the Microalga (*Dunaliella viridis*) for cerium compounds in culture. Regulatory mechanisms in biosystems *Biosyst. Divers.* № 27(2). P. 142–147 doi: 10.15421/011919.
24. Klimova E.M., Korobov A.M., Bozhkov A.I., Lesnaya T.A., Lavinskaya E.V., Bychenko E.A., Agarkova A.N. (2012) Nonspecific resistance factors and humoral immunity indicators animals blood with experimental peritonitis after visible light irradiation $\lambda=595$. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*. Helsinki, Finland. P. 527.
25. Klimova E.M., Korobov A.M., Bychenko E.A., Drozdova L.A., Lavinskaya E.V., Kordon T.I., Ivanova Yu.V. (2019) Mechanisms of immunocorrective action of complex treatment using photodynamic, cell and tissue therapy in patients with purulent wounds of the lower extremities. *Conference Proceedings. International Conference on Advanced Optoelectronic and lasers. Sozopol*. P. 107–112.
26. Nunan R., Harding K.G., Martin P. (2014) Clinical challenges of chronic wounds: searching for an optimal animal model to recapitulate their complexity. *Dis. Model Mech.* Vol. 7. P. 1205–1213. <https://doi.org/10.1242/dmm.016782>.
27. Ottawa O.N. (2013) Optimal Care of Chronic, Non-Healing, Lower Extremity Wounds. A Review of Clinical Evidence and Guidelines. Canadian Agency for Drugs and Technol. in Health. Dec 17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24741724/>
28. Richmond N. A., Maderal A.D., Vivas A.C. (2013) Evidence-based management of common chronic lower extremity ulcers. *Dermatol. Ther.* Vol. 26. P. 187–196. <https://doi.org/10.1111/dth.12051>.
29. Terasaki P.I., Melelland J.D. (1964) Microdroplet assay of human serum cytotoxins. *Nature*. P. 204.

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284692](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284692)

УДК 612.8

Н. А. Кириленко, к.б.н., доцент

М. Ю. Тиняна, студент

Т. В. Гладкій, к.б.н., доцент

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: kiril-ko@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ЩУРІВ У ЛАБІРИНТІ БАРНСА НА ТЛІ ІНТОКСИКАЦІЇ ХЛОРИДОМ АЛЮМІНІЮ

Досліджено особливості поведінкових реакцій щурів у лабіринті Барнса на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію та при застосуванні профілактичних засобів. Встановлено, що за умов вживання профілактичного комплексу покращувався характер поведінкових реакцій щурів.

Ключові слова: інтоксикація, щури, лабіринт Барнса, поведінкові реакції.

Найважливішим аспектом життєдіяльності ссавців є пізнавальна дослідницька активність, що контролює природну потребу до вивчення всього нового: простору, об'єкта, явища тощо.

Вивчення просторового навчання та пам'яті у гризунів корисні для оцінки впливу різних хімічних речовин на процеси пізнання, а також дослідження порушень когнітивних функцій у тварин при моделюванні патологічних станів [5, 6, 10].

Відомо, що накопичення алюмінію в тканинах головного мозку негативно впливає на нервову систему, породжуючи енцефалопатії, індукуючи атрофію гіпокампа, що згодом може призвести до порушень пам'яті, емоційної нестабільності, зниження рухової активності, а отже, і до різних нейродегенеративних захворювань, включаючи хворобу Альцгеймера [7, 9].

Метою роботи було оцінити особливості поведінкових реакції у щурів на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію та їх корекції за допомогою профілактичних засобів.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження поведінкової активності щурів було проведено на базі кафедри фізіології людини та тварини Одеського національного університету імені І. І. Мечникова протягом лютого – березня 2022 року згідно з правилами утримання експериментальних тварин, встановлених Директивою Європейського

парламенту та Ради (2010/63/EU) та наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 01.03.2012 р. № 249 [4].

Експеримент був проведений на 32 самцях білих щурів масою від 239 до 268 г, що були розділені на чотири групи: 1 група – інтактні тварини ($n = 8$); 2 група – введення водного розчину $AlCl_3$ ($n = 8$); 3 група – введення профілактичного комплексу ($n = 8$) на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію; 4 група – введення «Мінерола» на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію ($n = 8$).

З метою інтоксикації хлоридом алюмінію щурам 2-ї, 3-ї та 4-ї груп пероральним шляхом вводили 0,5 мл 12% розчину $AlCl_3 \times 6H_2O$ (80 мг Al/кг) протягом двох місяців.

У якості профілактики на тлі алюмінієвої інтоксикації всім тваринам 3-ї групи давали такий комплекс: «Леквін» (НПА «Одеська біотехнологія», Україна) у дозі 500 мг/кг, «Готу Кола» («Nature's Answer», США) у дозі 300 мг/кг та «Склерозин» (ТОВ «ЕКОСВІТ ОЙЛ», Україна) у дозі 300 мг/кг. Всі компоненти змішували та додавали з їжею. Нейропротекторна дія комплексу направлена на попередження розвитку патологічних процесів головного мозку завдяки його складовим.

До складу «Леквіну» входять лецитин та кверцетин, які мають виражену нейропротекторну та мембранопротекторну дії: покращують пам'ять та функціонування мозку, забезпечують живлення всієї нервової системи. Окрім того, кверцетин має потужні антиоксидантні та протизапальні властивості.

До складу «Склерозину» входять лляна олія, олії виноградних кісточок, масляний екстракт часнику, масляний екстракт листя гінкго білоба. Ці рослини компоненти покращують увагу та знімають тривожність.

Препарат «Готу Кола» багатий вітамінами В, А, К, Е, ефірними маслами, флавоноїдами і є цінним джерелом магнію. Завдяки цим компонентам покращується кровопостачання головного мозку, що призводить до підвищення розумової діяльності (концентрація уваги, швидкість реакцій, пам'ять).

Введення препарату «Мінерол» (НВМП «ГОБОР», Україна) здійснювали щурам 4-ї групи з їжею у дозі 1000 мг/кг маси тіла. Це сорбент, який здатен нейтралізувати токсичний вплив різних речовин на організм.

«Мінерол», завдяки глинистому мінералу, має високу сорбційну здатність, очищує організм від токсинів, консервантів, барвників, радіонуклідів і важких металів, зокрема солей алюмінію, запобігаючи їх всмоктуванню в ШКТ.

На 60 добу алюмінієвої інтоксикації вивчали особливості поведінкових реакцій щурів усіх груп у лабіринті Барнса із застосуванням сторонніх подразників (яскраве світло та гучний звук). Лабіринт Барнса є одним з інструментів, що використовується в лабораторних експериментах для виміру просторового навчання та пам'яті у гризунів [12, 13].

Дослідження складалось з двох етапів: тренувальний та експериментальний. Тренування проводили протягом перших 4 днів у триразовій повторності. На 5, 7, 9 та 12 дні з початку дослідження проводили реєстрацію показників

(кількість помилок, час проходження лабіринту, стратегія пошуку «рятівної» лунки) просторового навчання. Під час аналізу пошукової активності тварин, користувались наступними стратегіями: пряма – щур не перетинає центру лабіринту та майже одразу знаходить потрібну лунку, здійснюючи при цьому не більше трьох помилок; випадкова – пошук лунки супроводжується перетином центру лабіринту більше трьох разів; послідовна – переміщення тварини по периметру платформи до виявлення «рятівної» лунки [3]. Для фіксації рухів тварин використовували відеозйомку.

Перевірку існування статистично значимої різниці між рівнями ознаки у двох вибірках здійснювали, використовуючи U-критерій Манна-Уїтні, при рівні значущості 0,05 [1].

Результати досліджень та їх обговорення

За нашими спостереженнями, на 5-й день експерименту середній час пошуку «рятівної» лунки (рис. 1) щурами контрольної групи становив 48 с, а протягом наступних днів експериментального етапу зменшувався. У щурів 2-ї групи з алюмінієвою інтоксикацією час пошуку «рятівної» лунки на 5-й день експерименту був значно більшим за контрольні показники (у 2,1 рази, $p \leq 0,05$, $U_{\text{емп}}=13$) і становив в середньому 101 с.

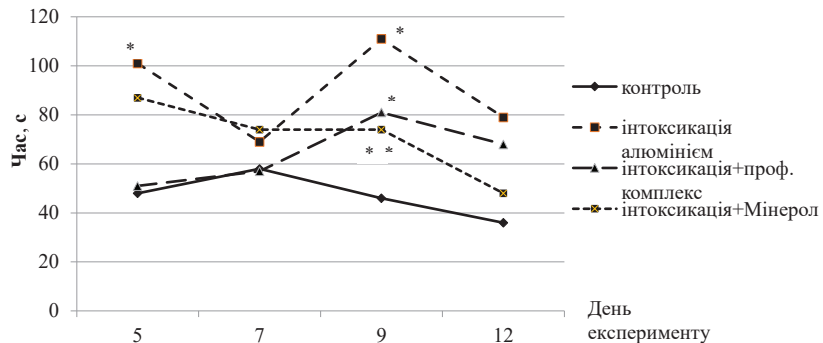


Рис. 1. Час пошуку «рятівної» лунки щурами протягом експерименту

* – достовірність відмінностей по відношенню до значень групи «контроль»,

* – достовірність відмінностей по відношенню до значень групи «інтоксикація».

Протягом наступних днів експерименту він коливався і був вищим за контрольні значення. Алюміній, як відомо з даних літератури, здатен підсилювати окисно-відновні реакції в організмі, які призводять до пошкодження тканин, і сприяти прогресуванню нейрон-дегенеративних процесів [11, 12]. У щурів 3-ї та 4-ї груп, яким окрім солей алюмінію давали профілактичні засоби, середній час пошуку «рятівної» лунки протягом всього експериментального етапу був

меншим, ніж у групи з алюмінієвою інтоксикацією, але більшим, ніж у контрольній групі щурів. Слід відмітити, що у 2-й та 3-й дослідних групах щурів, на 9-й день експерименту спостерігається збільшення часу пошуку сховища ($p \leq 0,05$, $U_{\text{емп}}=12$) та дезорієнтація в оточуючому просторі, порівняно з контролем. А для 4-ї групи – залишається на такому ж рівні порівняно з попереднім днем експерименту, але при цьому є вищим, ніж у контролю.

Одночасно реєстрували кількість помилкових занурювань у хибні лунки у період пошуку сховища (рис. 2). Так на п'ятий день у контрольних щурів було 4 помилкових занурювання, у щурів з алюмінієвою інтоксикацією – 6. Протягом спостережень кількість помилок у контрольних щурів суттєво не змінювалась, а у щурів 2-ї групи зростала по відношенню до контролю та була найбільшою на 9-й день експерименту ($p \leq 0,05$, $U_{\text{емп}}=15,5$).

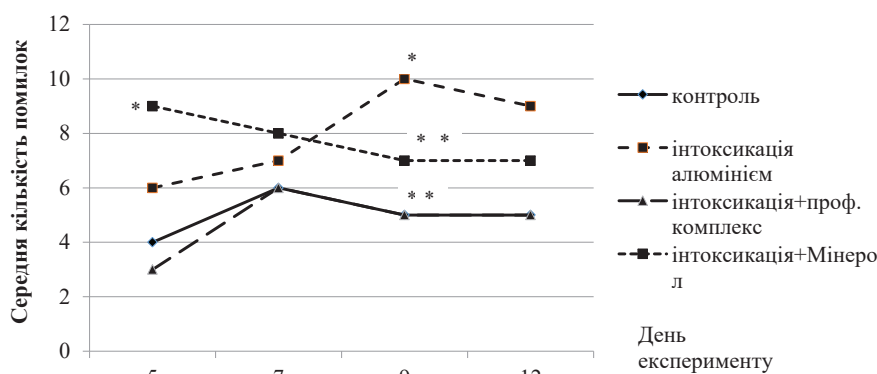


Рис. 2. Середня кількість помилок, які здійснили щури протягом експерименту

* – достовірність відмінностей по відношенню до значень групи «контроль»,
 * – достовірність відмінностей по відношенню до значень групи «інтоксикація».

Кількість помилок у щурів з інтоксикацією, що вживали профілактичний комплекс, на 7-й день експерименту зросла в 2 рази порівняно з попередніми показниками (3 помилки) на 5-й день експерименту. В подальші дні спостерігали зниження середнього числа помилок до 5-ти, яке так і не сягнуло показників 5-го дня.

У групі щурів, які для профілактики вживали «Мінерол», середнє число помилок під час пошуку «рятівної» лунки на 5-й день експерименту достовірно відрізнялось від контролю ($p \leq 0,05$, $U_{\text{емп}}=15$), в подальші дні – зменшувалось порівняно з 5-м днем, але все ж перевищувало контрольні показники.

Особливості знаходження «рятівної» лунки щурами кожної із груп, тобто стратегії пошуку відображені на рисунках 3–6. Варто відмітити, що з першого дня щурі контрольної групи використовували дві із трьох відомих стратегій. Так, 50% щурів з п'ятого дня користувались прямою стратегією, послідовну стратегію обирали 37,5% щурів, а один щур (12,5%) не знайшов лунку (рис. 3).

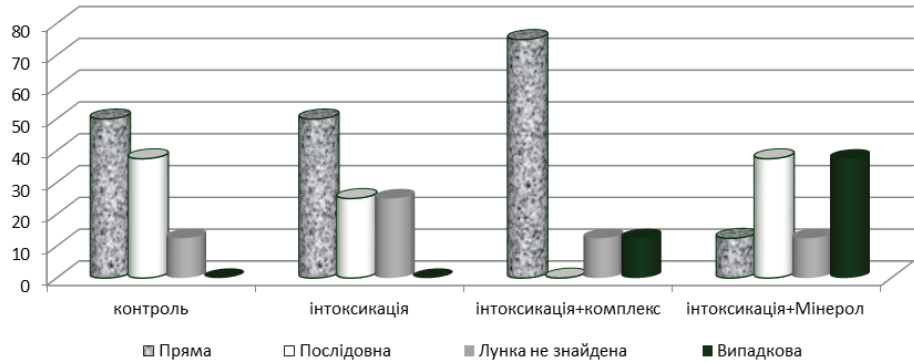


Рис. 3. Стратегії пошуку «рятувальної» лунки щурами на 5-й день експерименту

На п'яту добу серед щурів з алюмінієвою інтоксикацією 50% тварин обирали пряму стратегію пошуку «рятувальної лунки», тільки дві тварини (25%) обирали послідовну стратегію, ще 25% тварин не знайшли відповідну лунку (рис. 3).

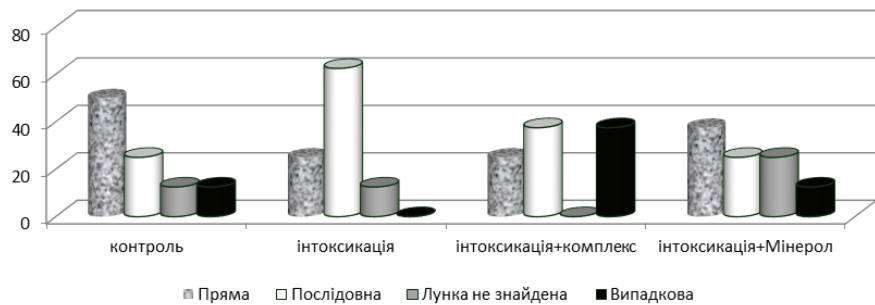


Рис. 4. Стратегії пошуку «рятувальної» лунки щурами на 7-й день експерименту

75% самців третьої групи, які на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію приймали профілактичний комплекс, на п'яту добу експерименту теж користувались переважно прямою стратегією пошуку (рис. 3).

Щурі четвертої групи, які в якості профілактики приймали «Мінерол», на п'ятий день експерименту переважно обирали послідовний та випадковий тип стратегії, пряма ж стратегія пошуку «рятувальної» лунки була притаманна лише 12,5% щурів.

Аналіз стратегії пошуку «рятувальної» лунки щурами контрольної групи показав, що пряма стратегія пошуку домінувала у цих тварин (50-75%) протягом всього експерименту.

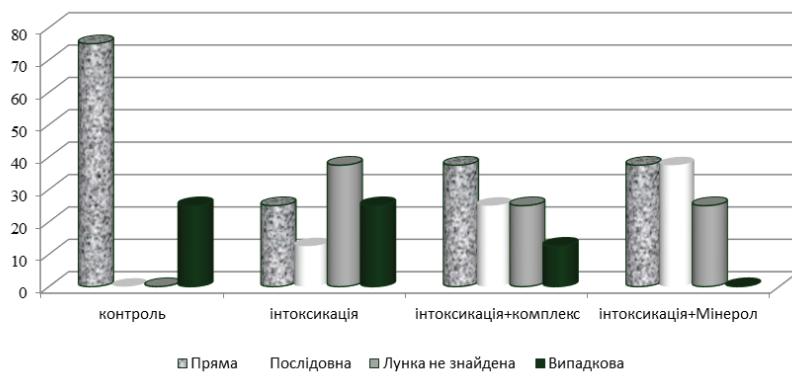


Рис. 5. Стратегії пошуку «рятувальної» лунки щурами на 9-й день експерименту

Що стосується щурів з інтоксикацією хлоридом алюмінію, то на 7-й день 62,5% щурів обрали послідовну стратегію (рис. 4), але в подальшому на 12-й день експерименту стратегія змінилася з перевагою випадкової. Необхідно відмітити, що 12,5% щурів не виконали завдання, відмовившись від пошуку лунки (рис. 6).

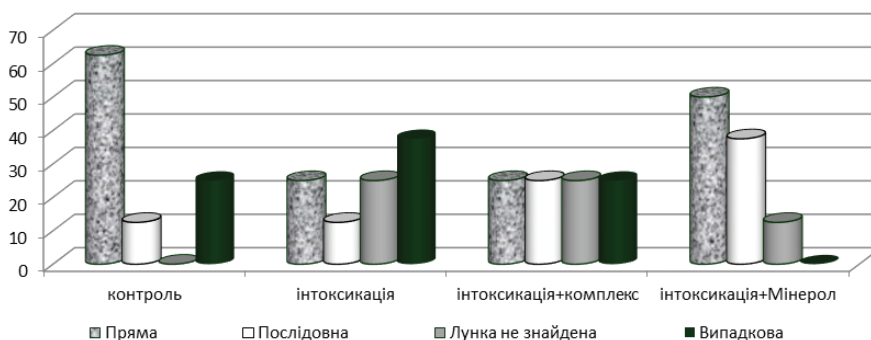


Рис. 6. Стратегії пошуку «рятувальної» лунки щурами на 12-й день експерименту

Щурі з інтоксикацією, які приймали профілактичний комплекс, після п'ятого дня досліджень змінили характер пошуку «рятувальної» лунки і користувались усіма видами стратегій. Наприкінці дослідження 25% тварин також відмовились виконувати завдання.

Щурі четвертої групи на фоні профілактики «Мінеролом», навпаки, змінили випадкову та послідовну стратегії на пряму, що доводить ефективність споживання цього препарату, його позитивний вплив на процеси пам'яті та орієнтацію в просторі.

Таким чином, у контрольної групи протягом експерименту переважала пряма стратегія, а у тварин з інтоксикацією хлоридом алюмінію в кінці експерименту – випадкова. Інтоксиковані тварини не змогли обрати домінуючу стратегію пошуку «рятівної» лунки і застосовували усі можливі. Крім того, в цій групі щури були неактивні та відмовлялись від пошуку протягом експерименту.

Отже, дослідження характеру поведінки щурів у лабіринті Барнса показало, що при виконанні завдання (пошук «рятувальної» лунки) тварини кожної із груп допускали помилки. Найбільша середня кількість помилок (10) спостерігалась у тварин з алюмінієвою інтоксикацією на 9-й день експерименту. У тварин, які на тлі інтоксикації приймали профілактичний комплекс та «Мінерол», середня кількість помилок у цей період достовірно знизилась ($p_1 \leq 0,05$) до 5-ти та 7-ми відповідно, порівняно з попередньою групою.

Час проходження лабіринту (виконання завдання) щурами контрольної групи порівняно з іншими був найменший протягом усього експерименту і від 5-го дня дослідження до 12-го дня ще скоротився від 48 до 36 с відповідно, а у тварин з алюмінієвою інтоксикацією – найбільшим. Вживання і профілактичного комплексу, і «Мінерола» скорочувало час проходження лабіринту до кінця експерименту, але ці показники так і не сягнули значень контрольної групи.

Самці контрольної групи у 65-75% випадків обирали пряму стратегію пошуку. Для тварин з алюмінієвою інтоксикацією характерна відмова від виконання завдання як на початку дослідження, так і в кінці.

Виявлені нами зміни у поведінці щурів в ході експерименту підтверджують, що водний розчин $AlCl_3$ викликає порушення, подібні до тих, які спостерігаються на початкових етапах розвитку хвороби Альцгеймера, що дає можливість у подальшому використовувати інтоксикацію хлоридом алюмінію як модель хвороби Альцгеймера [8, 10, 12].

Встановлено, що за умов вживання профілактичних засобів покращувався характер поведінкових реакцій щурів, тобто профілактика здійснювала позитивний вплив на досліджувані показники з явною перевагою препарату «Мінерол».

Таким чином, комплекс препаратів, який складався з «Леквіну», «Склерозину» і «Готу Коли» та препарат «Мінерол» є дієвими для попередження порушень поведінки, що є наслідком дистрофічних змін структур головного мозку. Проведені дослідження розширюють властивості даних препаратів, вказані виробниками.

Висновки

1. Тривала інтоксикація хлоридом алюмінію у щурів призвела до підвищення кількості помилок у 1,5 рази, часу проходження лабіринту у 2,2 рази та зміни стратегії пошуку «рятівної» лунки від прямої до випадкової порівняно з контролем.

2. Вживання профілактичного комплексу позитивно вплинуло на характер поведінкових реакцій щурів: кількість помилок знизилась у 1,3 рази, час пошуку «рятівної» лунки скоротився у 1,2 рази, порівняно з групою з інтоксикацією. Щурі користувались усіма видами стратегій.

3. Профілактичний прийом «Мінерола» призвів до зменшення кількості помилок у щурів в 2 рази та скорочення часу пошуку «рятівної» лунки у 1,6 рази, відносно групи тварин з алюмінієвою інтоксикацією. Щурі змінили випадкову та послідову стратегії пошуку лунки на пряму.

Стаття надійшла до редакції 7.04.2023

Список використаної літератури:

1. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних. Навчальний посібник. Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2011. С. 55–57.
2. Лунин С. М., Нестеров В. В., Нестерова И. В. [и др.] Модифицированный водный лабиринт для исследования пространственной памяти крыс. *Журн. высш. нервн. деят.*, 2001. Т. 51, № 6. С. 762–766.
3. Наказ України «Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах». *Міністерство освіти і науки України*. 2012. № 249.
4. Канунникова Н. П., Семенович Д. С., Гуринович В. А. [и др.] Нейрохимические эффекты модуляции системы CoA при алюминиевом нейротоксикозе. *Биохимия и молекулярная биология. Механизмы регуляции процессов жизнедеятельности в норме и патологии*: сб. науч. трудов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. Вып. 3. С. 95–97.
5. Зейналов О. А., Комбарова С. П., Багров Д. В. [и др.] О влиянии наночастиц оксидов металлов на физиологию живых организмов. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. Т. 14 (3). 2016. С. 24–33.
6. Шугалей И. В., Гарабаджиу А. В., Илюшин М. А. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. *Экологическая химия*. 2012. Т. 21(3). С. 172–186.
7. Al-Hazmi M. A., Rawi S.M., Hamza R. Z. Biochemical, histological, and neuro-physiological effects of long-term aluminum chloride exposure in rats. *Metabolic Brain Disease*. 2021. 36. P. 429–436.
8. Mold M. J., Farrell A. O., Morris B. [et al.] Aluminium and tauin neurofibrillary tangles in familial Alzheimer's disease. *J. of Alzheimer's Disease Reports*. 2021. V. 5. P. 283–294.
9. Mold M. J., Chmielecka A., Rodriguez M.R. [et al.] Aluminium in brain tissue in multiple sclerosis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. V. 15. Article 1777. doi: 10.3390/ijerph15081777
10. Caruso A. Nicoletti F., Gaetano A., Scaccianoce S. Risk factors for Alzheimer's disease: Focus on stress. *Frontiers in Pharmacology*. 2019. V. 10. P. 976–978.
11. Previc F.H. Vestibular loss as a contributor to Alzheimer's disease. *Med. Hypotheses*. 2013. P. 7–9.
12. Yamada M., Sakura Y. An observation all earning task using Barnes maze in rats. *Cognitive Neurodynamics*. 2018. Vol. 12. P. 519–523. doi: 10.1007/s11571-018-9493-1

Н. А. Кириленко, М. Ю. Тиняна, Т. В. Гладкій

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти, вул. Дворянська 2, Одеса, 65082, Україна, e-mail: kiril-ko@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ЩУРІВ У ЛАБІРИНТІ БАРНСА НА ТЛІ ІНТОКСИКАЦІЇ ХЛОРИДОМ АЛЮМІНІЮ

Резюме

Актуальність. Накопичення алюмінію в тканинах головного мозку негативно впливає на нервову систему, що згодом може призвести до порушень пам'яті, емоційної нестабільності, зниження рухової активності, а отже, і до різних нейродегенеративних захворювань.

Метою роботи було оцінити особливості поведінкових реакцій у щурів на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію та їх корекції за допомогою профілактичних засобів.

Матеріали та методи. Експеримент був проведений на 32 самцях білих щурів масою від 239 до 268 г, що були розділені на чотири групи: 1 група – інтактні тварини (n = 8); 2 група – введення 0,5 мл 12% розчину $AlCl_3 \times 6H_2O$ (80 мг Al/кг) (n = 8); 3 група – введення профілактичного комплексу на тлі інтоксикації хлоридом алюмінію: «Леквін» (НПА «Одеська біотехнологія», Україна) у дозі 500 мг/кг, «Готу Кола» («Nature's Answer», США) у дозі 300 мг/кг та «Склерозин» (ТОВ «ЕКОСВІТ ОЙЛ», Україна) у дозі 300 мг/кг (n = 8); 4 група – введення «Мінерола» (НВМП «ГОБОР», Україна) у дозі 1000 мг/кг маси тіла (n = 8).

На 60 добу алюмінієвої інтоксикації вивчали особливості поведінкових реакцій щурів усіх груп у лабіринті Барнса із застосуванням сторонніх подразників (яскраве світло та гучний звук).

Основні результати дослідження. Дослідження характеру поведінки щурів у лабіринті Барнса показало, що при виконанні завдання (пошук «рятувальної» лунки) тварини кожної із груп допускали помилки. Найбільша середня кількість помилок (10) спостерігалась у тварин з алюмінієвою інтоксикацією на 9-й день експерименту ($p \leq 0,05$, $U_{\text{емп}}=15,5$) порівняно з контролем. У тварин, які на тлі інтоксикації приймали профілактичний комплекс та «Мінерол», середня кількість помилок у цей період знизилась, порівняно з попередньою групою.

Час проходження лабіринту (виконання завдання) щурами контрольної групи порівняно з іншими був найменший протягом усього експерименту і від 5-го до 12 дня дослідження ще скоротився від 48 до 36 с відповідно, а у тварин з алюмінієвою інтоксикацією – найбільшим. Вживання і профілактичного комплексу, і «Мінерола» скорочувало час проходження лабіринту до кінця експерименту, але ці показники так і не сягнули значень контрольної групи.

Самці контрольної групи у 65-75% випадків обирали пряму стратегію пошуку. Для тварин з алюмінієвою інтоксикацією характерна відмова від виконання завдання як на початку дослідження, так і в кінці.

Ключові слова: інтоксикація; щури; лабіринт Барнса; поведінкові реакції

N. A. Kirilenko, M. Y. Tyniana, T. V. Hladkii

Odesa I. I. Mechnykov National University, Department of Physiology,
Human Health and Safety and Natural Science Education, 2 Dvoryans'ka St.,
Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: kiril-ko@ukr.net

PECULIARITIES OF BEHAVIORAL REACTIONS OF RATS IN THE BARNES MAZE AGAINST ALUMINUM CHLORIDE INTOXICATION

Abstract

Relevance. Accumulation of aluminum in brain tissues has a negative effect on the nervous system, which can subsequently lead to memory impairment, emotional instability, decreased motor activity, and therefore to various neurodegenerative diseases.

The aim of the work was to evaluate the peculiarities of behavioral reactions in rats against the background of aluminum chloride intoxication and their correction by means of preventive measures.

Materials and methods. The experiment was conducted on 32 male white rats weighing from 239 to 268 g, which were divided into four groups: group 1 – intact animals (n = 8); group 2 – injection of 0.5 ml of 12% $\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ solution (80 mg Al/kg) (n = 8); group 3 – introduction of a preventive complex against the background of aluminum chloride intoxication: «Lequin» (NPA «Odeska Biotechnology», Ukraine) at a dose of 500 mg/kg, «Gotu Cola» («Nature's Answer», USA) at a dose of 300 mg/kg and «Sklerosin» (TOV «ECOSVIT OIL», Ukraine) at a dose of 300 mg/kg (n = 8); group 4 – administration of Minerol (NVMP «GOBOR», Ukraine) at a dose of 1000 mg/kg of body weight (n = 8).

On the 60th day of aluminum intoxication, the peculiarities of the behavioral reactions of rats of all groups were studied in the Barnes maze using extraneous stimuli (bright light and loud sound).

Results and conclusions. A study of the nature of the behavior of rats in the Barnes maze showed that when performing the task (searching for the «rescue» hole), the animals of each group made mistakes. The highest average number of errors (10) was observed in animals with aluminum intoxication on the 9th day of the experiment ($p \leq 0.05$, $U_{\text{crit}} = 15.5$) compared to control. The average number of errors in this period decreased to 5 and 7, respectively, compared to the previous group, in animals that received the preventive complex and «Minerol» against the background of intoxication.

The time to pass the maze (completed task) by rats of the control group compared to the others was the smallest during the entire experiment and from the 5th to the 12th day of the study it further decreased from 48 to 36 s, respectively, and in animals with aluminum intoxication it was the largest. The use of both the preventive complex and «Minerol» reduced the time of passing the maze until the end of the experiment, but these indicators did not reach the values of the control group.

Males of the control group chose a direct search strategy in 65-75% of cases. For animals with aluminum intoxication, refusal to perform the task is characteristic both at the beginning of the study and at the end.

Keywords: intoxication; rats; Barnes maze; behavioral reactions

References

1. Bahrushin V. Ye. «Methods of data analysis. Study guide for students». (2011) [«Metodi analizu danih. Navchalnij posibnik dlya studentiv»], Zaporizhzhya: KPU, p 268.
2. Lunin S. M., Nesterov V. V., Nesterova I. V. [et al.] (2001) Modified water maze for the study of spatial memory in rats [Modifitsirovanny vodnyy labirint dlya issledovaniya prostranstvennoy pamyati kryss]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatelnosti*. 51, 6, pp 726–766.
3. Order of Ukraine «On approval of the Procedure for scientific institutions to conduct experiments, experiments on animals» (2012) [Nakaz Ukrainy «Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia naukovy my ustanovamy doslidiv, eksperymentiv na tvarynakh»], Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, № 249.
4. Kanunnikova N. P., Semenovich D.S., Gurinovich V.A. [et al.] (2019) *Neurochemical effects of modulation of the CoA system in aluminum neurotoxicosis* [Neyrokhimicheskiye efekty modulyatsii systemy CoA pri alyuminiyevom neyrotoksikoze]. Minsk, Information Center of the Ministry of Finance, pp 95–97.
5. Zeynalov O. A., Kombarova S.P., Bagrov D.V. [et al.] (2016) *On the effect of metal oxide nanoparticles on the physiology of living organisms* [O vliyani nanochastits oksidov metallov na fiziologiyu zhivikh organizmov]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 14, 3 pp 24–33.
6. Shugaley I.V., Garabadzhiu, Ilyushin M.A. [et al.] (2012) *Some aspects of the influence of aluminum and its compounds on living organisms* [Nekotoryye aspekty vliyaniya alyuminiya i yego soyedineniy na zhivyye organizmy]. *Ekologicheskaya khimiya*. 21, 3 pp 172–186.
7. Al-Hazmi M. A., Rawi S. M., Hamza R. Z. (2021). Biochemical, histological, and neuro-physiological effects of long-term aluminum chloride exposure in rats. *Metabolic Brain Disease*. 36. P. 429–436.
8. Mold M. J., Farrell A. O., Morris B. [et al.] (2021) «Aluminium and tau in neurofibrillary tangles in familial Alzheimer's disease». *J. of Alzheimer's Disease Reports*. 5, pp 283–294.
9. Mold M. J., Chmielecka A, Rodriguez M. R. [et al.] (2018) «Aluminium in brain tissue in multiple sclerosis». *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 15, pp 1777.
10. Caruso A. (2019) «Risk factors for Alzheimer's disease: Focus on stress». *Frontiers in Pharmacology*. 10, pp. 976–978.
11. Previc F. H. (2013) «Vestibular loss as a contributor to Alzheimer's disease». *Med. Hypotheses*. pp 7–9.
12. Yamada M. (2018) «An observational learning task using Barnes maze in rats». *Cognitive Neurodynamics*. 12, pp 519–523.

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284693](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284693)

УДК 616.33:616.34 + [616.36-008+59.085]

О. А. Макаренко, д.б.н., завідувач кафедри

Т. В. Могилевська, аспірант

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти
вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: makolga29@gmail.com

КОРЕКЦІЯ ПОРУШЕНЬ У ТРАВНОМУ ТРАКТІ ЩУРІВ З ХРОНІЧНИМ ХОЛЕСТАЗОМ КОМПЛЕКСОМ ЛЕКВІН І МІНЕРОЛ

В дослідженні на щурах з хронічним холестазом показано, що зниження антиоксидантної функції печінки призвело до розвитку запалення у слизових оболонках порожнини рота, тонкої та товстої кишок, що може викликати погіршення засвоєння поживних речовин. Застосування профілактичного комплексу ефективно усувало встановлені порушення, завдяки компонентам Леквіну (лецитину і кверцетину) та Мінеролу (сорбент та джерело макро- та мікроелементів).

Ключові слова: щурі; холестаз; печінка; слизові оболонки; запалення; профілактика.

В останні роки в Україні та світі суттєво зростає кількість хворих на гепато-біліарну патологію, яка часто ускладнена синдромом холестаза [3]. Хронічний холестаз, який характеризується повним або частковим припиненням надходження жовчі у дванадцятипалу кишку погіршує всмоктування в кишківнику мікро- та макроелементів, жирів та жиророзчинних вітамінів (А, D, Е, К) [9]. У дослідженнях А. П. Левицького вказується на зв'язок між порушеннями роботи печінки та розвитком дисбіозу у травному тракті. Печінка є бар'єром на шляху надходження бактерій і токсинів з кишечника через систему *v. porta* у велике коло кровообігу. Порушення бар'єрної та антиоксидантної функцій печінки призводить до транслокації бактерій і токсинів до інших органів і тканин. Не менш важливу роль відіграє жовч, яка за рахунок своїх антимікробних властивостей регулює кишковий мікробіоценоз. Зменшення виділення жовчі у дванадцятипалу кишку зумовлює порушення травлення, за умов недостатнього надходження в організм макро- та мікроелементів, білків та жиророзчинних вітамінів (А, D, Е, К), а накопичення токсичних жовчних кислот призводить до посилення процесів перекисного окиснення ліпідів із накопиченням у клітинах надлишкової кількості агресивних перекисів [5, 7, 10].

Доскональне знання механізмів порушень у травному тракті, які викликані зниженням відтоку жовчі, є важливими для розробки ефективної патогенетичної терапії та профілактики цих станів. Як такий профілактичний засіб потен-

ційно можна розглядати комплекс з гепатопротектору Леквін (виробник НВА «Одеська біотехнологія», Україна) та природного сорбенту Мінерол (виробник НВМП «ГОБОР», Україна). До складу Леквіну входить один із важливих його компонентів – лецитин, який володіє гепатопротекторною, жовчорозріджувальною та антидисбіотичною дією. Другим компонентом Леквіну є біофлавоноїд кверцетин, який характеризується антиоксидантними та протизапальними властивостями [4, 6]. Мінерол являє собою глинистий мінерал монтморіллоніт, до його складу входить понад 70 макро- і мікроелементів (кальцій, кремній, залізо, магній, сірку, марганець, йод, літій, цинк, мідь, хром, селен та ін.) [2].

Мета роботи – дослідити стан слизових оболонок травного тракту щурів на тлі хронічного холестазу та оцінити ефективність профілактики порушень у травному тракті комплексом Мінерол і Леквін.

Матеріали і методи дослідження

Експериментальне дослідження проводили на щурах-самцях (n=20) стадного розведення віком 7–8 місяців, яких утримували на стандартному раціоні віварію. Щурів було розподілено на три групи: 1 група – інтактна (n=6), 2 група – щури, яким моделювали хронічний холестаза (n=7), 3 група – щури, яким на тлі патології холестазу проводили профілактику (n=7). До складу профілактичного комплексу входили гепатопротектор Леквін (500 мг/кг) та природний сорбент Мінерол (1 г/кг).

Патологію холестаза у щурів моделювали шляхом перев'язки загальної жовчної протоки під тіопенталовим наркозом (20 мг/кг) [9]. За добу до проведення операції тварини утримувалися без їжі. Препарати щурам 3-ої групи вводили щоденно перорально вранці натще протягом 4-х місяців.

Тварин виводили з експерименту під тіопенталовим наркозом (внутрішньоочеревно в дозі 20 мг/кг) шляхом тотального кровопускання з магістральних судин. Збирали кров для отримання сироватки, виділяли печінку та слизові оболонки травного тракту. Гомогенати печінки і слизових оболонок готували із розрахунку 50 мг/мл 0,05 М трис-НСІ буферу рН 7,6 [8].

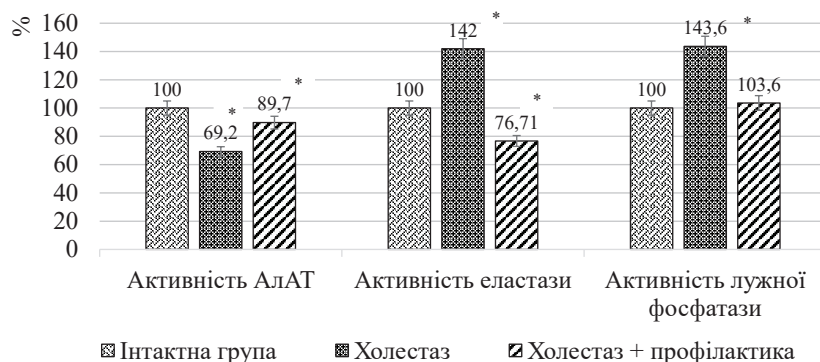
В сироватці крові щурів визначали активність лужної фосфатази, аланінамінотрансферази, еластази. У гомогенатах печінки визначали активність еластази, кислої фосфатази та вміст малонового діальдегіду. У слизових оболонках порожнини рота, тонкої і товстої кишки визначали активність еластази, кислої фосфатази та вміст малонового діальдегіду [8].

При проведенні експериментальних досліджень тварини знаходились в стандартних умовах віварію згідно з нормами і принципами Директиви Ради ЄС з питань захисту хребетних тварин, що використовуються для наукових цілей [11].

Статистичне опрацювання отриманих результатів дослідження проводили за методом Ст'юдента-Фішера, відмінності вважали достовірними при $P < 0,05$. Дані наведено як середнє арифметичне значення та похибка середнього ($M \pm m$) [1].

Результати дослідження та їх обговорення

Аналіз результатів проведеного дослідження наведено на рис. 1–6 у вигляді відсоткових змін від відповідних значень показників у інтактній групі тварин. Результати біохімічного дослідження в сироватці крові щурів з холестазом та після профілактики представлено на рис. 1.



* – відмінності з контролем достовірні, $p < 0,05$; $p < 0,001$

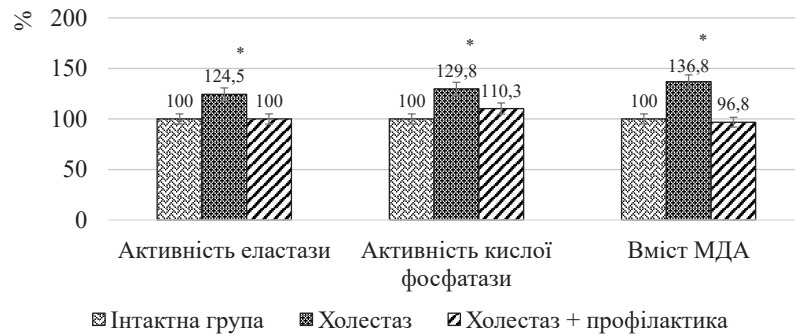
Рис. 1. Біохімічні показники сироватки крові щурів з холестазом та після профілактики Леквіном і Мінеролом

Моделювання хронічного холестаза у щурів призвело до зниження активності аланінамінотрансферази (АЛАТ) на 30,8% ($p < 0,001$) у сироватці крові, що вказує на пошкодження гепатоцитів і зниження їх функціональної активності в умовах тривалого холестаза. Проведення профілактики комплексом препаратів Мінерол і Леквін підвищувало активність АЛАТ в сироватці крові щурів 3-ої групи, хоча не до нормального рівня ($p < 0,05$).

Моделювання хронічного холестаза призводило до генералізованого запалення, на що вказує достовірне зростання у сироватці крові щурів 2-ої групи активності еластази на 42,0% ($p < 0,001$). Після введення профілактичних препаратів щурам 3-ої групи активність еластази значно знижувалась – на 23,3% порівняно з її рівнем у контрольній групі ($p < 0,001$).

Провідною ознакою розвитку патології холестаза є підвищення активності ферменту лужної фосфатази. Так, активність даного ферменту у сироватці крові щурів 2-ої групи, яким моделювали хронічний холестаз, зростала на 43,6% порівняно з інтактною групою ($p < 0,001$). Достовірне зростання даного ферменту свідчить про порушення відтоку жовчі у щурів, тим самим підтверджує наявність відтворення моделі холестаза. У сироватці крові 3-ої групи щурів активність лужної фосфатази була підвищена лише на 3,6% та не відрізнялась від цього показника у групі контролю ($p > 0,5$, рис. 1).

Нашими дослідженнями було встановлено розвиток запалення та ушкодження клітин печінки на тлі патології хронічного холестаза (рис. 2).



* – відмінності з контролем достовірні, $p < 0,001$; $p < 0,01$

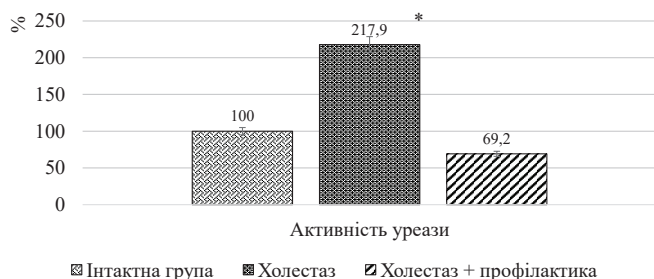
Рис. 2. Біохімічні показники стану печінки у щурів на тлі холестазу та після профілактики Леквіном і Мінеролом

У гомогенатах печінки щурів 2-ої групи моделювання хронічного холестазу призводило до підвищення активності ферментів еластази і кислій фосфатази на 24,5% і 29,8%, відповідно ($p < 0,01$), що свідчить про підвищення проникності мембран гепатоцитів та їх руйнування. Введення щурам 3-ої групи профілактичного комплексу сприяло зниженню активності еластази і кислій фосфатази та повернення їх до меж значень інтактної групи ($p > 0,5$; $p > 0,1$). Пошкодження клітин печінки у щурів з холестазом підтверджує зростання рівня малонового діальдегіду 36,8% ($p < 0,001$). Тобто, моделювання хронічного холестазу викликало інтенсифікацію перекисного окиснення ліпідів в печінці щурів. Профілактика препаратами Леквін і Мінерол відновлювала вміст малонового діальдегіду на рівні, відповідному до значень контролю ($p > 0,5$). На тлі розвитку запалення в печінці та деструкції її клітин у щурів з холестазом нами було встановлено зниження антитоксичної функції печінки. На це вказувало збільшення активності ферменту уреазі в печінці щурів 2-ої групи більш ніж у 2 рази ($p < 0,001$). Застосування препаратів профілактики ефективно запобігало підвищенню активності уреазі в печінці щурів 3-ої групи, рівень якої майже відповідав значенням інтактних тварин ($p > 0,1$, рис. 3).

Зниження антитоксичної і бар'єрної функції печінки на тлі патології хронічного холестазу призводило до розвитку запалення у травному тракті щурів та порушення процесів травлення у ньому.

На рисунку 4 представлено дані щодо стану слизової оболонки порожнини рота у щурів з холестазом та після профілактики.

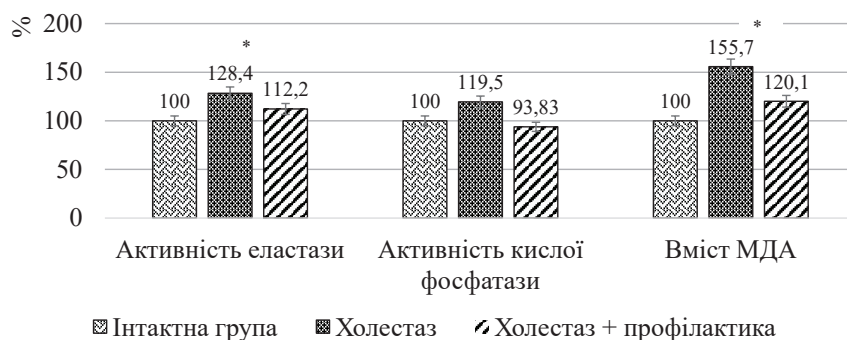
При холестазі спостерігали ознаки запалення у слизовій оболонці порожнини рота щурів, що підтверджувалось збільшенням маркерів: активність еластази була збільшеною на 28,4% ($p < 0,05$), а активність кислій фосфатази – на 19,5% (при $p > 0,2$). Проведені дослідження також показали, що в умовах моде-



* – відмінності з контролем достовірні, $p < 0,001$

Рис. 3. Активність уреазы у щурів з хронічним холестазом та на тлі профілактики комплексом Леквін і Мінерол

лювання хронічного холестазау спостерігалась активація процесів перекисного окиснення ліпідів у досліджуваній слизовій оболонці порожнини рота тварин 2-ої групи щурів, що підтверджується достовірним підвищенням вмісту малонового діальдегіду на 55,7% ($p < 0,05$). Профілактичний комплекс знижував показники запалення у досліджуваній слизовій щурів та наближав їх значення до меж інтактної групи (рис. 4).



* – відмінності з контролем достовірні, $p < 0,05$

Рис. 4. Біохімічні показники запалення у слизовій оболонці порожнини рота щурів з холестазом та після профілактики Леквіном і Мінеролом

Суттєві зміни у показниках запалення відбувались у слизовій оболонці тонкої кишки щурів на тлі розвитку холестаза (рис. 5).

Як видно із даних, що наведено на рис. 5, хронічний холестаз призводив до суттєвого підвищення активності еластази (на 41,1%; $p < 0,001$) та рівня малонового діальдегіду (на 63,4%; $p < 0,02$), тоді як активність кислої фосфатази



Рис. 5. Стан слизової оболонки тонкої кишки щурів на тлі холестаза та після проведення профілактики Леквіном і Мінеролом

підвищувалась на 19,3% ($p < 0,001$) у слизовій оболонці тонкої кишки щурів. Досліджувані біохімічні зміни у слизовій оболонці тонкої кишки щурів з холестазом свідчать про розвиток запальних процесів та посилення перекисного окиснення ліпідів у цьому відділі травного тракту. Застосування профілактичного комплексу зменшувало ознаки запалення, але все ж таки показники активності еластази і кислої фосфатази були дещо підвищені (на 10% і 4,0%; $p > 0,2-0,5$, відповідно). Рівень малонового діальдегіду на тлі профілактики знижувався, його значення становили навіть нижче від контролю.

Результати дослідження стану слизової оболонки товстого кишечника щурів на тлі моделювання патології холестаза та профілактики наведено на рис. 6.

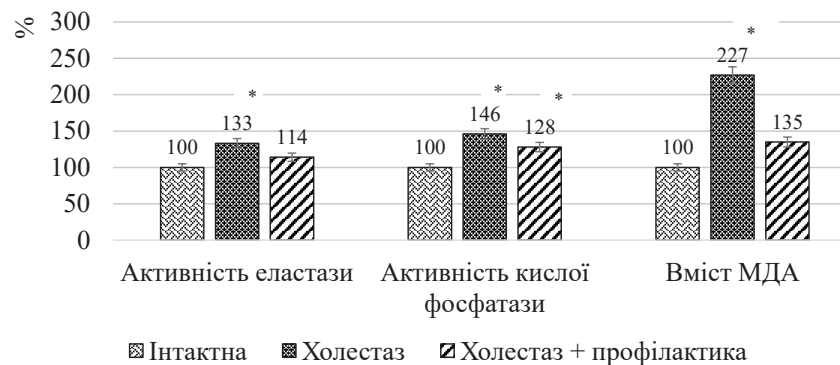


Рис. 6. Стан слизової оболонки товстого кишечника у щурів на тлі хронічного холестаза та після профілактики Леквіном і Мінеролом

Найбільш суттєвих змін у слизовій оболонці товстого кишечника зазнавав малоновий діальдегід, рівень якого суттєво зріс у 2,3 рази ($p < 0,005$). Це означає, що моделювання хронічного холестаза сприяло посиленню вільнорадикального окиснення та виникнення оксидативного стресу у слизовій оболонці даного відділу травного тракту щурів. Дещо менших змін зазнавали еластаза та кисла фосфатаза, активність яких зростала на 33,0% ($p < 0,01$) і 46% ($p < 0,002$), відповідно. Профілактичний комплекс Мінеролу і Леквіну покращував стан слизової оболонки товстого кишечника за рахунок своїх властивостей, наближуючи активність еластази до рівня контрольних значень ($p > 0,2$), при цьому активність кислої фосфатази не зазнала істотних змін ($p < 0,05$), а рівень малонового діальдегіду наближався до значень контрольних тварин ($p > 0,5$).

Отже, моделювання хронічного холестаза у щурів призводило до виникнення у печінці запалення, посилення процесів перекисного окиснення ліпідів, що призводило до руйнування її клітин і паренхіматозного ураження та порушення однієї з головних функцій печінки – антитоксичної. На тлі зниження антитоксичної функції печінки розвивались запальні явища у слизових оболонках порожнини рота, тонкої та товстої кишок.

Встановленні розлади можуть бути пов'язані із порушенням відтоку жовчі, яка володіє антимікробними властивостями та накопиченням токсичних жовчних кислот. Це зумовлює розвиток запалення та посилення процесів вільнорадикального окиснення, на тлі чого порушуються процеси всмоктування і перетравлювання необхідних макро- і мікроелементів, жиророзчинних вітамінів (А, D, Е, К).

Застосування препаратів Мінерол і Леквін ефективно усувало встановлені порушення у щурів на тлі розвитку патології холестаза. Ефективність даного комплексу проявилася завдяки його компонентам: лецитину і кверцетину, які володіють гепатопротекторними, антиоксидантними, протизапальними та жовчорозріджувальними властивостями, що у поєднанні з сорбентом Мінерол, дозволило зберегти антитоксичну функцію печінки та підтримати її метаболічні функції в межах норми. Проведені дослідження можуть бути основою для застосування запропонованих препаратів профілактичного комплексу у клініці лікування та профілактики холестаза.

Висновки

1. Встановлено паренхіматозне ураження печінки щурів з холестазом по зниженню в сироватці крові активності аланінамінотрансферази на 30,8%, зростанню активності еластази на 42,0% та активності лужної фосфатази на 43,6%.

2. Хронічний холестаз у щурів призводив до розвитку запальних процесів у печінці: підвищення активності еластази на 24,5%, активності кислої фос-

фатази на 29,8%, рівня малонового діальдегіду на 36,8% поряд зі зниженням антитоксичної функції печінки: збільшення активності уреазы 2,2 рази.

3. На тлі хронічного холестази у щурів встановлено розвиток запалення у слизових оболонках травного тракту: збільшення активності еластази на 28,4–41,1%, активності кислої фосфатази на 19,3–46,0% та вмісту малонового діальдегіду на 55,7–127,0%.

4. Застосування профілактичного комплексу Леквін і Мінерол в умовах хронічного холестази у щурів запобігало руйнуванню гепатоцитів (відновлювання активності аланінамінотрансферази), розвитку холестатичних явищ (зменшення активності лужної фосфатази), покращувало антитоксичну функцію печінки (зниження активності уреазы), ефективно попереджувало запальні процеси (зниження активності еластази, кислої фосфатази у сироватці, печінці та слизових оболонках кишечника), активацію пероксидації ліпідів у слизових оболонках травного тракту тварин (зменшення вмісту малонового діальдегіду).

Стаття надійшла до редакції 15.07.2023

Список використаної літератури

1. Бахрушин В. С. Методи аналізу даних: навчальний посібник для студентів. Запоріжжя: КПУ, 2011. 268 с.
2. Борисенко Л., Стародубцев Е. Формула здоров'я: Київ., 2013. 56 с.
3. Галей М. М., Дзюбановський І. Я., Марчук І. П. Оцінка доцільності симультанних лапароскопічних втручань для лікування захворювань гепатобіліарної системи. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2020. Т. 24, № 3. С. 418–424.
4. Зубачик В. М., Фурдичко А. І., Борис Г. З., Скиба В. Я., Макаренко О. А. Пародонтопротекторна ефективність антидисбіотичного гепатопротектора «Леквін» у хворих на гепатобіліарну патологію. *Вісник стоматології*. 2017. № 4 (101). С. 26–29.
5. Левицький А. П., Дем'яненко С. А., Цісельській Ю. В. Антимікробна функція печінки. Одеса: КП ОГТ., 2011. 141 с.
6. Левицький А. П., Бочаров А. В., Макаренко О. А., Селиванская И. А. Мукозопротекторное действие на кишечник крыс фитопрепарата «Леквин» при неалкогольном стеатогепатите. *Фитотерапия. Часопис*. 2016. № 1. С. 30–33.
7. Левицький А. П., Макаренко О. А., Майкова А. В., Коломийчук Т. В., Павличенко О. Д. Активность лизоцима в печени и дисбиоз толстой кишки после экспериментальной антибиотикотерапии. *Scientific Journal "ScienceRise: Biological Science"*. 2017. № 5(8). С. 7–11. DOI: 10.15587/2519–8025.2017.113060.
8. Методи дослідження стану кишечника та кісток у лабораторних щурів. Довідник / О. А. Макаренко, Л. М. Хромагіна, І. В. Ходаков, Г. В. Майкова, Л. М. Мудрик, В. В. Кіка, Т. В. Могілевська. Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2022. 81 с.
9. Міщенко О. Я., Юрченко К. Ю., Кириченко І. В. Аналіз експериментальних моделей холестази та механізми їх розвитку. *Механізми розвитку патологічних процесів і хвороб та їхня фармакологічна корекція*: тези доп. І наук.-практ. інтернет-конф. з міжнар. участю, м. Харків, 18 жовт. 2018 р. Х.: Вид-во НФаУ, 2018. С. 158–159.
10. Makarenko O. A., Levitsky A. P., Bocharov A. V. Lipopolisaccharid disrupts the function of the liver in dysbiosis. *Journal of Education, Health and Sport*. 2018. Vol. 8(10). P. 405–411. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2334038>.
11. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. Strasbourg. Council of Europe, 1986. № 123. 51 p.

О. А. Макаренко, Т. В. Могилевська

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти
вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: makolga29@gmail.com

КОРЕКЦІЯ ПОРУШЕНЬ У ТРАВНОМУ ТРАКТІ ЩУРІВ З ХРОНІЧНИМ ХОЛЕСТАЗОМ КОМПЛЕКСОМ ЛЕКВІН І МІНЕРОЛ

Резюме

Проблема. Повне або часткове припинення надходження жовчі у дванадцятипалу кишку при холестази не тільки погіршує всмоктування мікро- та макроелементів, жирів та жиророзчинних вітамінів у кишківнику, а і порушує мікробіоценоз у слизових оболонках травного тракту. Знання механізмів розладів у травному тракті, що викликані зниженням відтоку жовчі, є важливими для розробки ефективної патогенетичної терапії. Як такий профілактичний засіб можна розглядати препарат Леквін (лецитин та кверцетин), а також природний сорбент Мінерол.

Мета. Дослідити стан слизових оболонок травного тракту щурів на тлі хронічного холестазу та оцінити ефективність профілактики комплексом Мінерол і Леквін.

Методика. Дослідження проводили на щурах, яких розподілили на три групи: 1 група – інтактна, 2 група – щури, яким моделювали хронічний холестаз, 3 група – щури, яким на тлі холестазу вводили Леквін (500 мг/кг) та Мінерол (1 г/кг). Холестаз у щурів моделювали шляхом перев'язки загальної жовчної протоки під тіопенталовим наркозом. Препарати щурам 3-ої групи вводили щоденно перорально вранці натще на протязі 4-х місяців. Біохімічні дослідження проводили у сироватці крові (активність лужної фосфатази, аланінамінотрансферази, еластази), печінці (активність еластази, кислої фосфатази та вміст малонового діальдегіду) та слизових оболонках порожнини рота, тонкої і товстої кишки (активність еластази, кислої фосфатази та вміст малонового діальдегіду). Статистичне опрацювання отриманих результатів дослідження проводили за методом Ст'юдента-Фішера.

Основні результати. Проведені дослідження встановили паренхіматозне ураження печінки та явища холестазу у щурів з перев'язкою загальної жовчної протоки, що підтверджено зниженням активності аланінамінотрансферази на 30,8% на тлі зростання активності еластази на 42,0% та активності лужної фосфатази на 43,6% в сироватці крові тварин. Хронічний холестаз у щурів призводив до розвитку запальних процесів у печінці: відбувалось підвищення активності еластази на 24,5%, активності кислої фосфатази на 29,8%, рівня малонового діальдегіду на 36,8% поряд зі зниженням антиоксидантної функції печінки: відбувалось збільшення активності уреазы 2,2 рази. Хронічний холестаз у щурів викликав розвиток запалення у слизових оболонках травного тракту: відбувалось збільшення активності еластази на 28,4–41,1%, активності кислої фосфатази на 19,3–45,6% та вмісту малонового діальдегіду на 55,7–127,0%. Щоденне профілактичне застосування комплексу препаратів Леквін і Мінерол в умовах хронічного холестазу у щурів запобігало руйнуванню гепатоцитів, розвитку холестатичних явищ, покращувало антиоксидантні

ну функцію печінки, ефективно попереджувало запальні процеси, активацію пероксидації ліпідів у слизових оболонках травного тракту тварин.

Висновки. Встановленні розлади у слизових оболонках травного тракту щурів з холестазом викликані насамперед зниженням відтоку жовчі, яка має антимікробні властивості, внаслідок чого накопичуються токсичні жовчні кислоти у паренхімі печінки поряд з порушенням антитоксичної функції печінки. Профілактична ефективність препаратів проявилася завдяки гепатопротекторної, антиоксидантної, протизапальної та жовчорозріджувальної дії лецитину і кверцетину, що у поєднанні з сорбційними властивостями Мінеролу дозволило підтримати антитоксичну функцію печінки та її метаболічні функції в межах норми. Проведені дослідження можуть бути основою для застосування запропонованих препаратів у клініці лікування та профілактики холестази.

Ключові слова: щурі; холестаз; печінка; слизові оболонки; запалення; профілактика.

O. A. Makarenko, T. V. Mohylevska

Odesa I. I. Mechnikov National University, Department of Physiology, Human Health and Safety and Natural Science Education, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine, e-mail: makolga29@gmail.com

CORRECTION OF DISORDERS IN THE DIGESTIVE TRACT OF RATS WITH CHRONIC COLESTASIS WITH THE LEQUIN AND MINERAL COMPLEX

Abstract

Problem. Complete or partial cessation of the flow of bile into the duodenum during cholestasis not only impairs the absorption of micro- and macroelements, fats and fat-soluble vitamins in the intestine, but also disrupts the microbiocenosis in the mucous membranes of the digestive tract. Knowledge of the mechanisms of disorders in the digestive tract caused by a decrease in the outflow of bile is important for the development of effective pathogenetic therapy. The drug Lequin (lecithin and quercetin), as well as the natural sorbent Mineralol, can be considered as such a preventive agent.

Aim. To investigate the condition of the mucous membranes of the digestive tract of rats against the background of chronic cholestasis and to evaluate the effectiveness of prevention with the Mineralol and Lequin complex.

Methods. The research was carried out on rats, which were divided into three groups: 1 group – intact, 2 group – rats that were modeled chronic cholestasis, 3 group – rats that were injected with Lequin (500 mg/kg) and Mineral (1 g/kg) against the background of cholestasis). Cholestasis in rats was modeled by ligation of the common bile duct under thiopental anesthesia. The drugs were administered orally to the rats of the 3rd group daily in the morning on an empty stomach for 4 months. Biochemical studies were carried out in blood serum (alkaline phosphatase, alanine aminotransferase, elastase activity), liver (elastase, acid phosphatase activity and malondialdehyde content) and mucous membranes of the oral cavity, small and

large intestine (elastase, acid phosphatase activity and malondialdehyde content). Statistical processing of the research results was carried out using the Student-Fisher method.

The main results. The conducted studies established liver parenchymal damage and cholestasis phenomena in rats with ligation of the common bile duct, which was confirmed by a decrease in alanine aminotransferase activity by 30.8% against the background of an increase in elastase activity by 42.0% and alkaline phosphatase activity by 43.6% in animal blood serum. Chronic cholestasis in rats led to the development of inflammatory processes in the liver: an increase in the activity of elastase by 24.5%, the activity of acid phosphatase by 29.8%, the level of malondialdehyde by 36.8%, along with a decrease in the antitoxic function of the liver: an increase in the activity of urease 2.2 times. Chronic cholestasis in rats caused the development of inflammation in the mucous membranes of the digestive tract: an increase in elastase activity by 28.4–41.1%, acid phosphatase activity by 19.3–45.6%, and malondialdehyde content by 55.7–127.0%. Daily prophylactic use of a complex of Lequin and Mineral drugs in conditions of chronic cholestasis in rats prevented the destruction of hepatocytes, the development of cholestatic phenomena, improved the antitoxic function of the liver, effectively prevented inflammatory processes, and the activation of lipid peroxidation in the mucous membranes of the digestive tract of animals.

Conclusions. Established disorders in the mucous membranes of the digestive tract of rats with cholestasis are primarily caused by a decrease in the outflow of bile, which has antimicrobial properties, as a result of which toxic bile acids accumulate in the liver parenchyma along with a violation of the antitoxic function of the liver. The preventive effectiveness of the drugs was manifested due to the hepatoprotective, antioxidant, anti-inflammatory and choleric effects of lecithin and quercetin, which, in combination with the sorption properties of Mineralol, made it possible to support the antitoxic function of the liver and its metabolic functions within normal limits. The conducted studies can be the basis for the use of the proposed drugs in the clinic for the treatment and prevention of cholestasis.

Key words: rats; cholestasis; liver; mucous membranes; inflammation; prevention

References

1. Bahrushin V. Ye. «Methods of data analysis. Study guide for students». (2011) [«Metodi analizu danih. Navchalnij posibnik dlya studentiv»], Zaporizhzhya: KPU, p 268.
2. Borysenko L., Starodubtsev E. (2015) *Health formula* [Formula zdorovia], Kiev, 56 p.
3. Galej M.M., Dzyubanovskij I. Ya., Marchuk I.P. (2020) «Evaluation of the expediency of simultaneous laparoscopic interventions for the treatment of diseases of the hepatobiliary system» [«Ocinka docilnosti simultannih laparoskopichnih vtruchan dlya likuvannya zahvoryuvan gepatobiliarnoyi sistemi»], *Visnik Vinnickogo nacionalnogo medichnogo universitetu*, 24, 3, pp 418–424.
4. Zubachik V.M., Furdichko A.I., Boris G.Z., Skiba V. Ya., Makarenko O.A. (2017) «Periodontoprotective effectiveness of antidybotic hepatoprotector «Lequin» in patients with hepatobiliary pathology» [«Parodontoprotekorna efektyvnist antidybotichnogo gepatoprotektora «Lekvin» u hvorih na gepatobiliarnu patologiyu»], *Visnik stomatologiyi*, 4 (101), pp 26–29.
5. A. P. Levickij., S.A. Dem'yanenko., Yu. V. Ciselskij. (2011) «Antimicrobial function of the liver» [«Antimikrobnna funkciya pechinki»], Odesa: KP OGT, p 141.
6. Levickij A.P., Bocharov A.V., Makarenko O.A., Selivanskaya I.A. (2016) «The mucosal protective effect of the phytopreparation «Lekvin» on the intestines of rats in non-alcoholic steatohepatitis» [«Mukozoprotekturnoe dejstvie na kishechnik kryis fitopreparata «Lekvin» pri nealkogolnom steatogepatite»], *Fitoterapiya. Chasopis*, 1, pp 30–33.

7. Levickij A.P., Makarenko O.A., Majkova A.V., Kolomijchuk T.V., Pavlichenko O.D. (2017) «Liver lysozyme activity and colon dysbiosis after experimental antibiotic therapy» [«Aktivnost lizocima v pecheni i disbioz tolstoj kishki posle eksperimentalnoj antibiotikoterapii»], *Scientific Journal "ScienceRise: Biological Science"*, 5 (8), pp 7–11. DOI: 10.15587/2519–8025.2017.113060.
8. Makarenko O. A., Khromagina L.M., Khodakov I. V., Maykova G. V., Mudrik L. M., Kika V. V., Mogilevs'ka T. V. (2022) «Research methods for the state of intestines and bones in laboratory rats. Manuals» [«Metody doslidzhennia stanu kishcheyku ta kistok u laboratornykh shchuriv. Dovidnyk»], Odesa: S. L. Nazarchuk, p 81.
9. Mishchenko O. Ya., Yurchenko K. Yu., Kyrychenko I. V. (2018) «Analysis of experimental models of cholestasis and mechanisms of their development», Mechanisms of development of pathological processes and diseases and their pharmacological correction: theses of the add. And science. – practice. internet conf. from mezhnar. participation [«Analiz eksperymentalnykh modelei kholestazu ta mekhanizmy yikh rozvytku» Mekhanizmy rozvytku patolohichnykh protsesiv i khvorob ta yikhnia farmakolohichna korektsiia: tezy dop. I nauk.-prakt. internet-konf. z mizhnar. Uchastiu], Kharkiv, 18 Octob, Kh.: NFaU, pp158–159.
10. Makarenko O. A., Levitsky A. P., Bocharov A. V. (2018) «Lipopolisacharid disrupts the function of the liver in dysbiosis» [Lipopolisaharid porushuye funkciyu pechinki pri disbakteriozi], *Journal of Education, Health and Sport*, 8(10), pp 405–411. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2334038>.
11. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes (1986), Strasburg.Council of Europe, 123, 51 p.

**ІСТОРІЯ ФАКУЛЬТЕТУ
ТА УНІВЕРСИТЕТУ**



[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284694](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284694)

УДК 929 Байков:[94:378.4(477.74-21)"]1818/1884"

В. О. Кузнецов, к.і.н., науковий куратор Музею історії ОНУ
імені І. І. Мечникова

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
кафедра ботаніки, фізіології рослин та садово-паркового господарства,
Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: va.cuznetsov@onu.edu.ua

ЖИТТЯ ТА НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ БОТАНІКА, ІСТОРИКА НАУКИ ТА ПЕДАГОГА, ПРОФЕСОРА ДМИТРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА БАЙКОВА (1818–1884)

На підставі вивчення архівних та офіційних друкованих документів ХІХ – початку ХХ ст. встановлено основні дати життя та науково-педагогічної діяльності професора за кафедрою зоології та порівняльної анатомії Одеського (Новоросійського) університету Дмитра Олександровича Байкова. Показана його роль в розвитку і становленні вищої та жіночої освіти в м. Одесі у другій половині ХІХ ст.

Ключові слова: історія науки, ботаніка, зоологія, педагогіка, Д. О. Байков, Одеський університет.

Професор Рішельєвського ліцею Дмитро Олександрович Байков 23 березня 1865 р. був призначений виконуючим посаду екстраординарного професора за кафедрою зоології та порівняльної анатомії імператорського Новоросійського (Одеського) університету. Його життя та діяльність висвітлені у багатьох біографічних статтях, але в них наводиться велика кількість неточних і суперечливих даних. Жоден з авторів не наводить місця народження, надаються і різні роки його народження: 1818 [6, 7], 1820 [27, 40], іноді обидва одночасно [22, 42]. У різних статтях також дуже багато невірних упереджених оцінок щодо його науково-педагогічної діяльності. Тому метою нашого дослідження стало уточнення основних біографічних даних і результатів науково-педагогічної діяльності професора Д. О. Байкова.

Для досягнення цієї мети досліджено архівні документи Державного архіву Одеської області (ДАОО), Центрального державного історичного архіву РФ, Держархіву Рязанської області, офіційні друковані документи різних установ, літературні джерела ХІХ–ХХ ст.

В результаті пошукової роботи встановлено точні дати та місце народження Д. О. Байкова – 13 жовтня 1818 р. (ст. ст.) в с. Курбатово, Рязького повіту, Рязанської губернії (нині Кораблинський район, Рязанської області, РФ). Курбатово відносилось до парафії Воскресенської церкви, яка знаходилася в с. Пустотино, де він і був хрещений. Вочевидь, звідси виникла помилка в авторів довід-

ника [6], що Д. О. Байков «народився в с. Пустошино». Дата і місце народження підтверджується декількома офіційними документами [15, 36, 47]. Курбатово належало до найбагатіших сіл Рязького повіту, її власник – поміщик Бариков був одним з володарів новітніх на той час млинів на річці Рановій. Як відзначалося в статистичному звіті, власники цих млинів мали дуже великі статки [28, 44]. Батько Д. О. Байкова як управитель господарством Барикова мав змогу дати сину гарну освіту. Початкову освіту він здобув удома, а у 1828 р. вступив до 1-ї Рязанської губернської чоловічої гімназії. Навчання у гімназії було класичним. Крім точних наук – математики, фізики – тут навчали історії, географії, законодавству, кресленню та малюванню, естетиці; чотирьом іноземним мовам – латинській, грецькій, французькій, німецькій. Велика увага приділялася музичному вихованню, танцям.

Кращі випускники 1-ї Рязанської чоловічої гімназії отримували право вступу до Московського та Петербурзького університетів без іспитів. Крім того, їм надавалося право на "чин XIV класу".

Після закінчення гімназії в 1836 р. Д. О. Байков вступає до другого [природничого] відділення філософського факультету Імператорського Московського університету (ІМУ).

У звіті за 1836 рік читаємо:

«Іменна відомість про учнів ІМУ на 1 січня 1837 року.

2-го відділення філософського факультету, 1 курсу (...)

Слухачі: (...)

Байков Дмитро, 18 років. Греко-Російського [віросповідання]. З міщан. На власному [утриманні]. Хорошої [поведінки]. Перший [рік в університеті]. [Попередньо навчався] в Рязанській гімназії» [36, с. 58–59].

У той час на 2 відділенні філософського факультету природничі науки викладали відомі вчені:

«(...) 4. Хімія викладалась орд. проф. [Р.Г.] Гейманом. (...).

5. Мінералогія викладалась екстр. орд. проф. [Г.Ю.] Щуровським. (...)

6. Ботаніка викладалась орд. проф. [О.Г.] Фішером. (...).

7. Зоологія викладалась орд. проф. [О.Л.] Ловецьким» [36, с. 9–10].

Найбільше враження на науковця-початківця справив професор О. Г. Фішер фон Вальдгейм, директор ботанічного саду ІМУ, фахівець у галузі анатомії рослин, винахідник «панкратичного» мікроскопа [6]. Саме під його керівництвом Д. О. Байков і розпочав свої наукові дослідження. По закінченню університету він «... удостоєний був у 1841 р. (18 лютого) ступеня кандидата і того ж року (15 квітня) допущений, за розпорядженням міністра народної освіти, до викладання в Демидівському ліцеї природничої історії» [8, с. 115]. Швидше за все молодого талановитого учня на посаду викладача рекомендував О. Г. Фішер, родина якого протягом десятиліть тісно співпрацювала з П. Г. Демидовим та його нащадками і з наукових питань, і з організації викладання як у Демидівському ліцеї, так і в ІМУ. Саме Демидов був ініціатором, організатором і утри-

мувачем кафедри природничої історії ІМУ, яка іменувалася Демидівською. За його пропозицією на цю кафедру запрошений був тоді ж Майнцський професор [Г. І.] Фішер фон Вальдгейм [8].

З нового навчального року молодий фахівець розпочав викладання в ліцеї: «Викладач природничої історії, Байков, протягом першого півроку, пройде зі студентами 1-го відділення, по два уроки на тиждень, Загальну ботаніку; зі студентами 2-го відділення, а також по два уроки, Загальну зоологію; зі студентами 3-го відділення, по два уроки, закінчить Зоологію.

У другому півріччі, у таку ж кількість уроків, у 1-му відділенні викладатиме Ботаніку приватну; у другому вчення про тварин хребетних; а в 3-му Мінералогію. (...) Влітку студенти 1-го відділення будуть займатися гербаризаціями» [35, с. 6]. Він також приводив до робочого стану кабінет: «Займався систематизацією та складанням каталогу колекцій кабінету природничої історії (мінералогічного та зоологічного відділів). Для тих, хто бажав вивчати ботаніку, організував поряд з ліцеєм дослідну ділянку» [7, с. 45]. Крім цього Д. О. Байков готувався до магістерського іспиту і працював над дисертаційною роботою. Незважаючи на велике навантаження, у 1843 р. він опублікував наукову роботу «О строении растительной кожицы» [2] і подав її як магістерську дисертацію. «У 1844 р. Московським університетом йому присвоєно ступінь магістра ботаніки та зоології, і 2 березня того ж року він був призначений професором природничої історії» [22, с. 100]. Згідно з чинним на той час законодавством йому автоматично надано IX чин табелі про ранги – «Титулярного радника». Через 3 роки, у 1847 р. за бездоганну службу по частині Міністерства народної освіти він був удостоєний VIII чину – «Колезького асесора», набув особисте дворянство і «... внесений до III частини Ярославської [дворянської] родословної книги (Указ Сената от 13 июня 1847 г. за № 8571)» [20, с. 104].

40–50-ті роки XIX століття були дуже важкими для Демидівського ліцею: «(...) ліцей швидше виживав, ніж жив повноцінним життям. Він усе далі відходив від ідей Павла Георгійовича Демидова про «училище, яке б мало однакову ступінь з університетом». Професори, які отримували досить мізерну на ті часи платню, прагнули, досягнувши певного статусу, якнайшвидше покинути ліцей і перебраться до університетів» [7, с. 11]. Щоб дещо виправити складну ситуацію, у серпні 1846 р. до ліцею було направлено групу молодих викладачів – випускників університетів – на посади виконуючих обов'язки професорів: К. Д. Ушинського, С. І. Львовського, В. І. Татарінова та Я. М. Калиновського [21]. Головою та надихаючим прикладом для молодих викладачів був К. Д. Ушинський. Вільнодумство, протидія старим професорам та адміністрації, великий вплив на вихованців, боротьба за «нове та прогресивне» – основні риси діяльності цієї групи. Занадто велика активність молодих реформаторів привела до зниження навчальної дисципліни в закладі. У своїй записці почесний попечитель Ярославського ліцею П. Г. Демидов відзначав: «Ці молоді професори, були так близькі літами зі студентами, ймовірно, мали з ними зносини

більш товариські; від цього і в студентах не могла не послабшати повага до начальства, цьому треба приписувати ті витівки, яких відлуння скоро поширилося у всьому місті і відхиляло дворянство і взагалі жителів Ярославля довіряти своїх дітей такому закладу, в якому недостатній нагляд служив поганою порукою для збереження їхньої доброчесності» [48, арк 72 зв.].

До закінчення 1848/49 академічного року всю турбо-реформаторську групу професорів було переведено на інші місця служби, навчальний заклад почав відновлювати нормальну навчальну роботу.

Біографам К. Д. Ушинського для пояснення подій, що привели до занепаду ліцею, за канонами соціалістичного реалізму, було необхідно призначити консервативного ретроградного старого професора, який гальмував втілення нових революційних ідей в освіті. На цю роль вони висунули професора Д. О. Байкова, який, до речі, був лише на 4–5 років старший за так звану «молоть».

Його звинувачували у відсутності нових наукових доробок з вивчення флори місцевого краю, застарілих поглядах, які убачали в невикористанні еволюційних ідей, креаціонізмі та багато ще в чому.

Що стосується вивчення флори Ярославської губернії, то треба нагадати, що Д. О. Байков не був ботаніком флористично-систематичного напрямку, він досліджував анатомічно-фізіологічні особливості рослин, саме цієї ботанічної галузі присвячена і його магістерська дисертація. Якби не упереджене ставлення, то в тому ж можна було звинувачувати і Л. С. Ценковського, який замінив Байкова в 1850 р. і служив на цій посаді 5 років. Перші списки флори (508 видів) Ярославського повіту були складені О. Петровським лише у 1863 р. [38].

Основна критика була спрямована на роботу Д. О. Байкова «Ботаническая география» [3]. Що стосується пропаганди еволюційних ідей, то треба зазначити, що робота Ч. Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору або збереження обраних рас у боротьбі за життя» з'явилася на п'ять років пізніше публікації Байкова, яка на той час, була дуже актуальна. Перша половина XIX ст. – це період виникнення і становлення нового наукового напрямку – ботанічної географії. В роботі автор аналізує праці більше 25 закордонних учених, відзначає їх внесок у становлення нової науки, дає порівняльну характеристику рослинних угруповань Америки, Європи, Африки та Азії. Звертає особливу увагу на географічну зональність рослинності. Наголошує на вплив кліматичних особливостей регіонів на формування рослинних спільнот, а також на розселення та життя людини, формулює основні принципи інтродукції та акліматизації рослин, вносить поняття «домінанта рослинних угруповань». Особливий акцент робить на негативному впливі діяльності людини на навколишнє середовище.

Щодо звинувачення в креаціонізмі, то треба звернути увагу на те, що три сторінки своєї роботи автор присвячує критиці креаціоністських поглядів К. Ліннея: «Лінней думав, що всі рослини, разом із тваринами, були зібрані

в земному раю, і що не було рослин на решті поверхні землі. Він уявляв собі Едемський сад величезною горою, поміщеною під екватором, і настільки високою, що її вершина була вкрита снігом, а різні висоти її уявляли всілякі клімати. (...) Припускаючи [існування в Едемі] по одній або по дві особи всякого виду, треба припустити, що трав'яні тварини або утримувалися від їжі, або що кожен день вони знищували кілька тисяч видів» [3, с. 76–77]. Треба визнати, що всі нападки на Д. О. Байкова були, щонайменше, не обґрунтованими. До речі, у своїй записці за результатами перевірки ліцею П. Г. Демидов характеризує Байкова як відмінного викладача, цілком пройнятого почуттям своїх обов'язків і гідного прихильної уваги вищого начальства [48].

10 лютого 1850 р. Д. О. Байкова переведено до Рішельєвського ліцею в м. Одесу. «Переведення Байкова до більш впорядкованого та багатшого Рішельєвського ліцею на кафедру, яку раніше займав відомий учений [О. Д. Нордман], можна розглядати як своєрідне підвищення та схвалення його діяльності в Ярославському ліцеї (...)» [22, с. 101].

В архівній справі Рішельєвського ліцею читаємо: «[Професор] природничої історії. Колезький радник Дмитро Байков. З Москви звільнений із міщанського звання. 34-х років, православного [віросповідання]. Має [сім'ю]. [На посаді] з 1 серпня 1850 р. (...) У гімназії Рішельєвського ліцею тимчасово викладає природничі науки» [15, арк. 62 зв.-63]. Він одразу стає дійсним членом Товариства сільського господарства південної Росії (ТСГПР) і активно входить у його роботу [24]. Треба відзначити, що і в товаристві і в ліцейських справах він найчастіше співпрацює з професором хімії Х. Г. Гассгагеном, вони разом беруть участь у експертизах, читають публічні лекції, працюють у відповідальних комісіях ліцею [14, 26].

У Рішельєвському ліцеї професор природничої історії Д. О. Байков викладає: « а) Ботаніку, (...), студентам I курсу по 2 години на тиждень.

б) Зоологію, (...), студентам II курсу по 3 години на тиждень.

с) Мінералогію, (...) студентам III курсу по 1 годині на тиждень» [12, арк. 8 зв.].

Студент ліцею М. Є. Славинський пригадував: «З природничими науками знайомив нас професор Д. О. Байков. Вивчення природи було нам до душі і тим більше, що за професором часто несли великі папки гербарію та інше приладдя для наочного вивчення природної історії» [26, с. 18].

У 1852 р. Д. О. Байков видає свою роботу «О главнейших направлениях в историческом развитии ботаники» [4]. В ній він ретельно аналізує велику кількість літературних джерел, чітко окреслює етапи та напрямки у розвитку науки про рослини. Особливу увагу приділяє ролі сучасних йому різновидів мікроскопів у розвитку анатомії та систематики рослин і роль мікроскопічних досліджень у подальшому розвитку біологічної науки в цілому. Він підкреслює: «... мікроскоп перестав бути приємним лише заняттям та забавою ока; він вступив у права свої, і став необхідним засобом щодо вивчення природи»

[4, с. 41]. Необхідно зауважити, що в своїй роботі він особливу увагу приділяє науковим працям Й. В. фон Гете відзначає його видатну роль в розвитку морфології і систематики рослин і створенні нового напрямку в ботанічній науці – порівняльної морфології.

На Д. О. Байкова також покладалися обов'язки завідувача кабінетами природничої історії та гербарієм, які він постійно поповнював:

«Навчальні посібники ліцею: (...)

9) у мінералогічному кабінеті зберігається 3228 штуків на суму 2188 крб. 44 коп. сріблом.

Його сіятельство п. міністр внутрішніх справ подарував для цього кабінету 21 екземпляр мінералів з дублікатів своєї колекції (...).

Професор Гассгаген представив також у дар 24 штуфи, зібрані ним під час подорожі Кримом. (...).

10) Зоологічний кабінет вміщує у собі 11463 екземпляри, на суму 2674 крб. 56 коп. Протягом року придбано колекцію черепашок. Для поповнення орнітологічної колекції зроблено замовлення київському таксидермісту Шустерусу, а для мікроскопічних робіт та демонстрацій на лекціях замовлено паризькому оптику Обергейзеру вдосконалений ахроматичний мікроскоп.

11) Гербарій, розташований за системою Жюсьє і Бартлінга, містить у собі 6000 визначених видів, на суму 1029 крб.» [23, с 94–95].

Як видно з матеріалів міністерства народної освіти, за роки завідування Д. О. Байковим кабінетами вони значно збагатилися:

«2. Рішельєвський ліцей в Одесі (...).

У мінералогічному кабінеті 6761 номерів мінералів на 3084 р. 19 к..

У зоологічному кабінеті 5410 номерів [Колекція враховувалась за один номер і могла містити десятки екземплярів комах] на суму 4493 р. 18 к.

При зоологічному кабінеті знаходиться гербарій, розташований за системою Жюсьє та Бартлінга, який містить 13 018 прим. на 1381 р. 66 к.» [37, с. 192–193]. Для покращення роботи кабінетів, їх поповнення та збереження колекцій у 1862 р. Д. О. Байков запрошує на посаду препаратора зоологічного кабінету ліцею [І. М.] Відгальма – баварського підданого відомого таксидерміста, який працював у ліцеї і разом з кабінетом перейшов до новоствореного університету, де до листопада 1903 р. поповнював і зберігав колекції кабінетів, а у подальшому зоологічного музею [45]. За плідну педагогічну роботу та вислугу років у 1852 р. професору Д. О. Байкову надано чин – «Колезького радника» [23, с. 91].

Багато уваги приділяв Д. О. Байков індивідуальній роботі зі студентами, керував їх першими науковими роботами. У звіті Ліцею за 1852 р. надається інформація про наукові міркування (есе) ліцеїстів «з предмету Ботаніки [«Про злаки (*Gramineae*), у природно-історичному та господарському відношенні»]. (...). Рада визначила нагородити автора першого міркування, студента III курсу фізико-математичного відділення, Петра Бочарського срібною медаллю; а ав-

тора другого міркування, студента того ж курсу і відділення, Миколу Салацького удостоїла похвального відгуку та прийняття його міркування за курсовий твір з вищою відміткою (5)» [23, с. 101].

З архівних документів видно, що Д. О. Байков користувався авторитетом серед викладачів ліцею, його часто обирали до складу комісій, які створювалися для розв'язання складних питань [11, 13].

24 квітня 1854 року Д. О. Байкова як одного з авторитетніших професорів Рішельєвського ліцею призначено інспектором Одеського інституту шляхетних дівчат (ОІШД) [заступник директора з навчальної роботи]. На цій посаді він перебував до 1 квітня 1867 р., «..., а з того часу, з нагоди реорганізації інституту (...) за Нормальним штатом, по 24 квітня 1868 р. був вже Інспектором класів і Членом Ради з навчальної частини» [25, с. 43].

Це був дуже важкий період існування інституту, за два тижня до призначення Д. О. Байкова інститут було евакуйовано до м. Вознесенськ, де він працював до серпня 1857 р., тому інспектор повинен був періодично їздити у відрядження до інституту, продовжуючи виконання обов'язків професора в Рішельєвському ліцеї [9, арк. 1–1 зв.]. Влітку 1857 р., у зв'язку з поверненням інституту до Одеси, на нього додатково було покладено обов'язки члена Ради інституту з господарської частини. З архівних документів видно, що він керував фінансово-господарськими справами всіх заходів з реєвакації і розміщення інституту в м. Одесі [49, 50]. Паралельно з цим він керував Одеським міським дівочим училищем для дітей різних станів, яке утримувалося за рахунок міста [29, 31, 32].

Необхідно відзначити, що Д. О. Байков разом з Х. Г. Гассгагеном сприяли переведенню до Рішельєвської гімназії Д. І. Менделєєва і допомагали йому у створенні кабінету природничої історії [10, 30].

18 серпня 1864 р. вийшов Найвищий Указ за № 72 про реорганізацію Рішельєвського ліцею в імператорський Новоросійський університет, який мав бути відкритим 1 травня 1865 р. В ліцеї розпочалися підготовчі роботи.

О. І. Маркевич писав, що ще у 1864 р. рада доручила викладачам ліцею оглянути навчально-допоміжні заклади та скласти кошториси для їх поповнення, перебудову або навіть новий устрій [27].

Як видно з документів, Д. О. Байков планував продовжити службу в новоствореному університеті за кафедрою ботаніки. Він готував до передачі зоологічні і мінералогічні колекції, літературу з бібліотеки кабінету природничої історії, закупував ботанічну літературу для бібліотеки університету, зробив розрахунки витрат на облаштування ботанічного саду [16, арк. 7 зв.].

Протягом останніх 10 років він активно вивчав альгофлору одеських лиманів і Чорного моря, зібрав велику колекцію гербарних та вологих препаратів водоростей, які десятки років використовували викладачі і науковці університету. Але цим планам не судилося виповнитися. Сталося так, що на посади за кафедрою ботаніки було багато охочих, а серед зоологів була лише одна кан-

дидатура – професор І. А. Маркузен. А так як Д. О. Байков за дипломом був «магістром ботаніки і зоології», то його зарахували на посаду виконуючого обов'язки екстраординарного професора за кафедрою зоології і порівняльної анатомії [51]. Д. К. Третьяков писав: «Новоросійський університет мав спочатку єдину кафедру зоології, що забезпечувала викладання зоології безхребетних і хребетних, порівняльної анатомії, анатомії людини, гістології й фізіології. Вона мала при собі зоологічний кабінет, що складався з музею та лабораторії, зоотомічний кабінет у такому ж складі й фізіологічний кабінет» [45, арк. 1]. Як видно зі свідчень Д. К. Третьякова, педагогічне навантаження було дуже велике і різноманітне, його забезпечували три викладачі (І. А. Маркузен викладав гістологію та порівняльну анатомію, Н. Й. Бернштейн – анатомію людини, а класичні зоологічні курси припадали на Д. О. Байкова, він читав загальну зоологію та систематику тварин. Постійно необхідно було розробляти нові курси лекцій, до того ж очевидно відіграло свою роль і те, що І. А. Маркузен, за свідченнями сучасників, мав дуже важкий характер – за роки його роботи на кафедрі постійно змінювалися викладачі: Д. О. Байков (1865–1866), І. І. Мечников (1867–1868), О. Ф. Стюарт (1868–1869) [33,34].

9 вересня 1866 р. Д. О. Байков подає прохання про звільнення його з посади виконуючого обов'язки екстраординарного професора ІНУ, за вислугою 25 років служби по міністерству народної освіти і призначенні йому наступної відповідно до закону повної пенсії [17].

У статті про Д. О. Байкова О. І. Маркевич пише: «... 15 квітня 1866 р. йому закінчилося 25 років служби; він не побажав служити далі і вийшов у відставку (він був людиною заможною, мав будинок в Одесі та маєток у Задонському повіті, Воронезької губернії); втім, він керував практичними заняттями студентів до кінця 1866 р. Потім він виїхав до Москви і через декілька років помер» [27, с. 443].

Різні автори наводять різні дати і місця смерті і поховання Д. О. Байкова: близько 1870 р., Москва [5, 6, 27], навіть 1869 р., Одеса [46].

Щодо смерті і поховання в Одесі, ми не знайшли у Метричних книгах Одеських церков підтвердження цього.

Дивно те, що такий ретельний дослідник як О. І. Маркевич не звернув увагу на той факт, що у своїй заяві Д. О. Байков просить: «Бажаючи, до часу, залишатися на навчальній службі в Одеському інституті інспектором класів, покійно прошу про звільнення мене з посади при університеті, (...)» [39, с. 50]. Попечитель задовольнив його прохання, і Д. О. Байков до 24 квітня 1868 р. ще працював на посадах інспектора класів в ОІШД і інспектором 2-го міського дівочого училища [25]. При звільненні від служби по міністерству народної освіти йому було надано чин IV класу – «Дійсного статського радника».

У результаті подальших пошуків було встановлено, що після від'їзду з Одеси він проживав на батьківщині в с. Курбатово, Рязького повіту, Рязанської губернії [17]. На обрання саме цього місця проживання очевидно вплинув

і той факт, що в 10 верстах від с. Курбатово восени 1866 р. була прокладена Рязансько-Козловська ділянка Московсько-Казанської залізниці, яка надавала можливість прямого сполучення з університетськими центрами [19].

Д. О. Байков активно відгукнувся на заклик його колеги, професора-ботаніка і видатного педагога С. О. Рачинського: «Отже, мій доброзичливий читачу, загляньте в ту сільську школу, яка у вас під руками. Ви їй потрібні, і вона вам потрібна. Допоможіть їй у міру ваших сил. У дев'яти випадках! з десяти вона потребує всього, починаючи від грошової допомоги чорнилом і папером і закінчуючи тисячами, необхідними для її забезпечення» [41, с. 102]. Байков бере активну участь в організації в 1880 р. першої школи (земської) в с. Курбатово [19].

Помер Д. О. Байков у 1884 р. і був похований у дворі Богородицерженственської церкви с. Курбатово. У 1930 р. церква була зачинена і використовувалась для господарських потреб, могили біля церкви були зруйновані, але збереглася надгробна плита з чорного мармуру, на якій під хрестом видно надпис: «Дмитрий Александрович Байков, родился 13 октября 1818 года, скончался 10 сентября 1884 года, Воля Твоя.» [47]. Після смерті чоловіка його дружина А. П. Байкова мешкала у цьому ж селі, багато допомагала облаштуванню храму: «Церква обнесена ґратчастою огорожею старанністю Його Превосходительства вдови дійсного статського радника Анни Петрівни Байкової. (..) у 1889 р. трапезна обладнана опаленням, 1891 р. вся [церква] обладнана опаленням» [19]. Ім'я А. П. Байкової внесено до Синодика церкви: «Будівники: (...), Анна Петрівна Байкова (1889–1891), вдова дійсного статського радника» [43]. Анна Петрівна померла орієнтовно у 1892 р.

Факт володіння Д. О. Байковим будинком в Одесі підтверджується архівними матеріалами, але у справі є тільки назва вулиці (Старопортофранківська), але не наведено номер будинку [18, арк. 40]. За думкою знавця історії містобудування Одеси, доцента О. М. Лугового будинок знаходився ймовірно між вулицею Розкидайлівською і Лютеранським провулком. Що стосується маєтків у Задонському повіті, Воронежської губернії, то архівних підтверджень нами не знайдено, можливо, вони належали його дружині. Хоча треба відзначити, що майже щорічно він у заявах про відпустку відзначав за мету відвідування Воронежської губернії [16].

У Алфавітному списку дворянських родів Рязанської губернії Д. О. Байков записаний: «дворянин-землевласник, не внесений у дворянську родословну книгу». Це означає, що він мав тут у власності землі, але оскільки він уже внесений до Ярославської дворянської книги, то не міг бути записаний у жодну іншу [1]. Очевидно, що це були землі, які він набув у спадок від батька.

Таким чином, на підставі вивчених матеріалів:

– вперше документально встановлено основні дати життя та науково-педагогічної діяльності професора Д. О. Байкова – 25 (13).10.1818–22 (10).09.1884;

– Д. О. Байков працював у навчальних закладах Одеси протягом майже 18 років (01.08.1850–24.04.1868) і зробив значний доробок у розвиток освіти, особливо жіночої.

– вперше показано внесок Д. О. Байкова у розвиток історії ботаніки та його організаційно-педагогічна діяльність в Одеському інституті шляхетних дівчат.

– вперше введено в науковий обіг данні 14 одиниць зберігання трьох державних архівів та 9 друкованих документів, які раніше не були відомі біографам вченого та спеціалістам у галузі біографістики;

– надані аргументи для переосмислення деяких висновків щодо діяльності професора Д. О. Байкова у закладах освіти різних типів.

Дослідження проведені в межах виконання наукової програми № 337 кафедри ботаніки, фізіології рослин та СПГ.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023

Список використаної літератури та архівних документів

1. Алфавитный список дворянских родов Рязанской губернии, внесенных в дворянскую родословную книгу по 1 января 1893 года / Сост. секр. Дворянства М. П. Лихаревым. Рязань: Тип. М. С. Орловой, 1893. 143, [2] с.
2. Байков Д. А. О строении растительной кожицы. Москва: Тип. Н. Степанова, 1843. 94 с.
3. Байков [Д. А.] Ботаническая география. Журнал министерства народного просвещения. Часть XLI. Отд. II. СПб.: Тип. Императорской Академии Наук, 1844. С. 39–84.
4. Байков Д. А. О главнейших направлениях в историческом развитии ботаники. Годичный акт в Ришельевском лицее 20 июня 1852 г. Одесса: Типогр. Францова и Нитче, 1852. С. 2–48.
5. Байков Дмитрий Александрович // Энциклопедический словарь: В 86 т. / Под ред. К. К. Арсеньева, Ф. Ф. Петрушевского. СПб.: Изд. общ. Ф. А. Брокгауз – И. А. Ефрон, 1891. Т. 2а. С. 718.
6. Волков В. А., Куликова М. В. Российская профессура XVII – начало XX в. Биологические и медико-биологические науки. Биографический словарь. СПб.: РХГИ, 2003. 548 с.
7. Гущина Е. В., Морозов Д. К., Салова Ю. Г. Биографический сборник Демидовского университета. Ярославль, Рыбинск: Изд-во «Рыбинский Дом печати», 2008. 253 с.
8. Головщиков К. Павел Григорьевич Демидов и история основанного им в Ярославле училища (1803–1886 гг.) Ярославль: Тип. Г. В. Фальк, 1887. 192 с.
9. Держархів Одеської області (ДАОО) Ф.44. Оп.3. Спр.3. О командировании профессора Байкова в город Вознесенск. 5 января 1855 г. 1 арк.
10. ДАОО Ф.44. Оп.3. (1852–1865) Спр.14. (1856) По рапорту старшего учителя Менделеева с представлением программы Естественных наук и проекта кабинета Естественных наук в Лицейской гимназии. 1856. 5 арк.
11. ДАОО Ф.44. Оп.3. Спр. 34 (1857). О дозволении преподавателям лицея иметь у себя пансионеров и давать частные уроки. 1857. 58 арк.
12. ДАОО Ф.44. Оп.3. Спр.90. О составлении обозрения преподавания наук в Ришельевском лицее. (1856). 55 арк.
13. ДАОО. Ф.44. Оп.3. Спр.107. Об учреждении при Ришельевском лицее педагогической практической семинарии. 1857. 11 арк.
14. ДАОО Ф.44. Оп.3. Спр.147. О поручении профессорам Гассгагену и Байкову рассмотреть ископаемые предметы. 1854. 1 арк.
15. ДАОО Ф.44. Оп.5. Спр. 55. Список преподавателей и служащих за 1851 г. 1852 г. 111 арк.
16. ДАОО Ф.45. Оп.4. Спр. 3062. Попечитель Учебного округа. Входящий журнал по правлению на 1865 и 1866 гг. 72 арк.

17. ДАОО Ф.45. Оп.7. Спр.52. Об увольнении и.д. экстраординарного профессора Байкова от службы за выслугою лет и исходатайствовании ему полной пенсии. 1866. 8 арк.
18. ДАОО Ф.274. Оп.1. Спр.2. Сведения о числе домов и вообще о застройнии Одесского Градоначальства (16.07.1863–1873) 84 арк.
19. Держархів Рязанської області. Ф.627. Оп.240. Кн.59 Св.150 Клировые ведомости церковей Рязского уезда 1914 года. С. 118–831.
20. Ельчанинов И. Н. Материалы для генеалогии ярославского дворянства: [В 9-ти вып.]. Ярославль, 1909–1915. [Вып. 3]. 1915. 212 с.
21. Журнал министерства народного просвещения. СПб: Тип. ИАН, 1846, Ч. 52. С10–11.
22. Иванов А. Н. Константин Дмитриевич Ушинский в Ярославле. Исследования и документы о научно-педагогической и литературной деятельности. Ярославль: Кн. изд., 1963. 468 с.
23. Историческая записка о состоянии и действиях Ришельевского лицея, с 20 июня 1851 по 20 июня 1852 года. Годичный акт в Ришельевском лицее 20 июня 1852 г. Одесса: Типогр. Францова и Нитче, 1852. С. 81–104.
24. Исторический обзор пятидесятилетней деятельности Императорского общества сельского хозяйства южной России с 1828 по 1878 год. Составлен секретарем общества М. П. Боровским. Одесса: Типогр. П Францова, 1878. X, 275, 76 с.
25. Краткий исторический очерк пятидесятилетия Одесского института благородных девиц. Одесса: Тип. «Труд», 1879. [1–2], 3–18, 1–44 с.
26. Кризь призму пам'яті і часу: Одеський Ришельевський лицей у спогадах сучасників / автор-упорядник О. О. Синявська. Одеса: Бондаренко М. О., 2017. 300 с.
27. Маркевич А. И. Двадцатипятилетие императорского Новороссийского университета: Ист. зап. и акад. списки. Одесса: Эконом. тип., 1890. XV, 734, X с.
28. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами ген. штаба. [Т. 19]: Рязанская губерния. /Сост. М. Баранович. СПб.: Тип. тов-ва «Общественная польза», 1860. III, IV, 553 с., 1 л. табл., 3 л.
29. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами ген. штаба. [Т. 24]: Херсонская губерния /Сост. А. Шмидт. Ч. 2. СПб.: Тип. Калиновского, 1863. 1022 с.
30. Младенцев М. Н., Тищенко В. Е. Дмитрий Иванович Менделеев, его жизнь и деятельность. Т. 1. Ч. 1,2. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 268 с.
31. Новороссийский календарь на 1855 год, издаваемый от Ришельевского лицея. Одесса: Городская тип., 1854. 435, 35, VII с.
32. Новороссийский календарь на 1861 год, издаваемый от Ришельевского лицея. Одесса. Гор. типография, 1860. 399; 30; 48 с.
33. Обзорение преподавания наук в императорском Новороссийском университете за 1865–1866 учебный год. Одесса. Б/и. Б/г. 5 с.
34. Обзорение преподавания наук в императорском Новороссийском университете за 1866–1867 учебный год. Одесса. Б/и. Б/г. 8 с.
35. Объявление преподавания полугодичных курсов наук в Демидовском лицее, с 12 января по 20 декабря 1842 года. Москва: Университ. типогр. 1842. 7 с.
36. Отчет о состояниях и действиях Императорского Московского университета за 1835–1836 академический и 1836 гражданский годы. Москва: Б/и, [1837]. 43, [66], 5, [9] с.: табл.
37. Памятная книжка министерства народного просвещения на 1865 год. СПб.: Типогр. В. А. Рогальского и К^о, 1865. XIII, 584, 32, II с.
38. Петровский А. Флора Ярославского уезда. Памятная книжка Ярославской губернии на 1862 год. / Под ред. А. Л. Ярославль: Ярослав. губ. стат. ком. (Губерн. типогр.), 1863. С. 343–374.
39. Протоколы заседаний совета ИНУ, 1866 г. № 3. б/и. 53 с.
40. Професори Одеського (Новоросійського) університету: Біогр. словник Т. 2. А-І. Вид. 2-е, доп. /Відп. ред. В. А. Смиртина. Одеса: Астропринт, 2005. 512 с.
41. Рачинский С. А. Сельская школа. Сборник статей. СПб.: Синод. тип., 1910. Изд-ние 6. 371, IV с.
42. Русские ботаники: биографо-библиографический словарь Т. 1. А-Б. / Отв. ред В. Н. Сукачев; сост. С. Ю. Липшиц. Москва: Изд-во-МОИП, 1947. 335 с.
43. Синодик храма с Курбатова: Почившие служители и строители храма Рождества Пресвятой Богородицы. 1 с. <http://hram-v-kurbatovo.cerkov.ru/sinodik>
44. Списки населенных мест Российской империи, составленные и издаваемые Центральным статистическим комитетом Министерства внутренних дел. СПб.: изд. Центр. стат. ком. Мин. внутр. дел, 1861–

1885. [Вип. 35]: Рязанская губерния.: по сведениям 1859 года / Обработ. ред. И. Вильсоном. 1862. XVIII, 168, [1] с.
45. Третьяков Д. К. Нарис історії кафедри зоології. [Рукопис] Наукова бібліотека ОНУ імені І. І. Мечникова. б/д. 72 с.
46. Храм Всех Святых. Список захороненных людей <http://hram-vsehsvyatih.od.ua/spisok-zaxoronennyx-lyudej/>
47. Храм Рождества Пресвятой богородицы с. Курбатово. Православная церковь, Рязанская митрополия, 1-е Кораблинское благочиние <http://hram-v-kurbatovo.cerkov.ru/blagodeteli-i-geroi-sela-kurbatovo>
48. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. (ЦГИА СПб) Ф.733. Оп.28. Спр.17 Записка почетного попечителя Ярославского Демидовского лицея П. Г. Демидова о состоянии лицея. 21 февраля 1849 г. Арк. 62–73.
49. ЦГИА СПб. Ф.759. Оп. 101. Спр. 101. О найме дома Ршпельевского лицея для временного размещения ОИБД, 1857. Арк. 53–54 об.
50. ЦГИА СПб. Ф.759. Оп. 101. Спр. 101. Выписка о расходах ОИБД, произведенных при обратном перемещении института в Одессу, 1857. Арк. 55.-56 об.
51. Циркуляр по управлению Одесским учебным округом № 4 апрель, 1865 г. С. 253–258.

В. О. Кузнцов

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, кафедра ботаніки, фізіології рослин та садово-паркового господарства, Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна, e-mail: va.cuznetsov@onu.edu.ua

ЖИТТЯ ТА НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ БОТАНІКА, ІСТОРИКА НАУКИ ТА ПЕДАГОГА, ПРОФЕСОРА ДМИТРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА БАЙКОВА (1818–1884)

Резюме

Проблема. Професор зоології і ботаніки Д. О. Байков працював в декількох навчальних закладах м. Одеси: Одеський (Новоросійський) університет (1865-1866) Ршпельєвський лицей, (1850-1865), Одеський інститут шляхетних дівчат (1854-1868), гімназія Ршпельєвського лицю (1850-1854), 2-е міське дівоче училище (1854-1868). Його життя та діяльність висвітлені у багатьох біографічних статтях, але в них наводиться велика кількість неточних і суперечливих даних. Жоден з авторів не наводить навіть дат і місця його народження, смерті і поховання.

Мета. Метою нашого дослідження стало уточнення основних біографічних даних і результатів науково-педагогічної діяльності професора Д. О. Байкова.

Основні результати. На підставі вивчення архівних та офіційних друкованих документів XIX – початку XX ст. встановлено основні дати життя та науково-педагогічної діяльності професора за кафедрою зоології та порівняльної анатомії Одеського (Новоросійського) університету Дмитра Олександровича Байкова. Показана його роль в розвитку і становленні вищої та жіночої освіти в м. Одесі у другій половині XIX ст.

Висновки. Вперше документально встановлено основні дати життя та науково-педагогічної діяльності професора Д. О. Байкова – 25 (13).10.1818 – 22 (10).09.1884; вперше введено в науковий обіг данні 12 одиниць зберігання

трьох державних архівів та 9 друкованих документів, які раніше не були відомі біографам вченого та спеціалістам у галузі біографістики; надані аргументи для переосмислення деяких висновків щодо діяльності професора Д. О. Байкова у закладах освіти різних типів.

Ключові слова: історія науки; ботаніка; зоологія; педагогіка; Д. О. Байков; Одеський університет

V. O. Kuznetsov

Odesa I.I. Mechnikov National University,
Department of Botany, Plant Physiology and Garden and Park Management,
Odesa, Dvoryans'ka St., 2, 65082, Ukraine, e-mail: va.cuznetsov@onu.edu.ua

**LIFE AND SCIENTIFIC-PEDAGOGICAL ACTIVITY
OF A BOTANIST, SCIENCE HISTORIAN, AND PEDAGOGUE,
PROFESSOR DMYTRO OLEKSANDROVYCH BAIKOV
(1818-1884)**

Abstract

Problem. Professor of Zoology and Botany D.O. Baikov worked at several educational institutions in Odesa: Odesa (Novorossiysk) University (1865-1866), Richelieu Lyceum (1850-1865), Odesa Institute of Noble Maidens (1854-1868), Gymnasium of Richelieu Lyceum (1850-1854), 2nd Municipal Girls' School (1854-1868). His life and activities have been covered in many biographical articles, but the information provided is either inaccurate or conflicting. As an example, none of the authors provide the dates and places of his birth, death or burial.

Objective. The aim of our study was to clarify the basic biographical data and the results of the scientific-pedagogical activity of Professor D.O. Baikov.

Main results. Based on the study of archival and official printed documents of the 19th and early 20th centuries, the main dates of the life and activity of Professor Dmytro Oleksandrovych Baikov, who headed the Department of Zoology and Comparative Anatomy of Odesa (Novorossiysk) University, were established. His role in the development and formation of higher and women's education in Odesa in the second half of the 19th century is shown.

Conclusions. For the first time, the main dates of the life and scientific-pedagogical activity of Professor D.O. Baikov were documented – 25 (13).10.1818 – 22 (10).09.1884; for the first time, 12 units of storage of three state archives and 9 printed documents that were previously unknown to the scientist's biographers and specialists in the field of biography were introduced into scientific circulation; arguments were provided for reconsidering some conclusions regarding the activities of Professor D.O. Baikov in educational institutions of various types.

Keywords: history of science; botany; zoology; pedagogy; D. O. Baikov; Odesa University

Referenses

1. Alphabetical list of noble families of the Ryazan province, included in the noble genealogy book on January 1, 1893 [Alfavitnyy spisok dvoryanskikh rodov Ryazanskoj gubernii. vnesennykh v dvoryanskuyu rodoslovnuyu knigu po 1 yanvarya 1893 goda] / Sost. sekr. Dvoryanstva M. P. Likharevym. Ryazan: Tip. M. S. Orlovoy. 1893. 143. [2] p.
2. Baykov. D.A. On the structure of the plant skin.[O stroynii rastitelnoy kozhitsy]. Moskva: Tip. N. Stepanova. 1843. 94 p.
3. Baykov [D. A.]. Botanical geography. [Botanicheskaya geografiya]. *Zhurnal ministerstva narodnogo prosveshcheniya*. Chast XLI. Otd. II. SPb.: Tip. Imperatorskoj Akademii Nauk. 1844. Pp. 39–84.
4. Baykov D.A. On the main trends in the historical development of botany. [O glavneyshikh napravleniyakh v istoricheskom razvitii botaniki]. *Godichnyy akt v Rishelyevskom litseye 20 iyunya 1852 g. Odessa*: Tipogr. Frantsova i Nitche. 1852. Pp. 2–48.
5. Baikov Dmitry Alexandrovich [Baykov Dmitriy Aleksandrovich] // Entsiklopedicheskiy slovar: V 86 t. / Pod red. K. K. Arsenyeva. F. F. Petrushevskogo. SPb.: Izd. obshch. F. A. Brokgauz – I. A. Efron. 1891. T. 2a. P. 718.
6. Volkov V.A. Kulikova M. V. Russian professorship of the 17th – early 20th centuries. Biological and biomedical sciences. [Rossiyskaya professura XVII – nachalo XX v. Biologicheskiye i mediko-biologicheskiye nauki]. Biograficheskii slovar. SPb.: RKhGI. 2003. 548 p.
7. Gushchina E. V. Morozov D. K. Salova Yu. G. Biographical collection of Demidov University. [Biograficheskii sbornik Demidovskogo universiteta]. Yaroslavl. Rybinsk: Izd-vo «Rybinskiy Dom pečati». 2008. 253 p.
8. Golovshchikov K. Pavel Grigorievich Demidov and the history of the school he founded in Yaroslavl (1803–1886). [Pavel Grigoryevich Demidov i istoriya osnovannogo im v Yaroslavle uchilishcha (1803–1886 gg.)] Yaroslavl: Tip. G. V. Falk. 1887. 192 p.
9. Derzharkhiv Odeskoj oblasti (DAOO) F.44. Op.3. Spr.3. On the assignment of Professor Baikov to the city of Voznesensk. January 5, 1855. [O komandirovanii professora Baykova v gorod Voznesensk. 5 yanvarya 1855 g.] 1 p.
10. DAOO F.44. Op.3. (1852–1865) Spr.14. (1856). According to the report of the senior teacher Mendelev with the presentation of the Natural Sciences program and the project of the Natural Sciences cabinet at the Lyceum Gymnasium. [Po raportu starshego uchitelya Mendeleyeva s predstavleniyem programmy Estestvennykh nauk i proyekta kabineta Estestvennykh nauk v Litseyskoj gimnazii]. 1856. 5 p.
11. DAOO F.44. Op.3. Spr. 34 (1857). About permission for teachers of the lyceum to have lodgers and give private lessons. [O dozvolenii prepodavatelyam litseye imet u sebya pansionerov i davat chastnyye uroki]. 1857. 58 p.
12. DAOO F.44. Op.3. Spr.90. On compiling a review of the teaching of sciences at the Richelieu Lyceum. (1856) [O sostavlenii obozreniya prepodavaniya nauk v Rishelyevskom litseye. (1856)]. 55 p.
13. DAOO. F.44. Op.3. Spr.107. On the establishment of a pedagogical practical seminary at the Richelieu Lyceum. [Ob uchrezhdenii pri Rishelyevskom litseye pedagogicheskoy prakticheskoy seminarii]. 1857. 11 p.
14. DAOO F.44. Op.3. Spr.147. On the assignment to professors Gasshagen and Baikov to examine fossil objects. [O poruchenii professoram Gasshagen i Baykovu rassmotret iskopayemye predmety]. 1854. 1p.
15. DAOO F.44. Op.5. Spr. 55. List of teachers and employees for 1851 y., 1852 y. [Spisok prepodavateley i sluzhashchikh za 1851 g. 1852 g.]. 111 p.
16. DAOO F.45. Op.4. Spr. 3062. Trustee of the Educational District. Incoming Journal of the Board for 1865 and 1866. [Popechitel Uchebnogo okruga. Vkhodyashchiiy zhurnal po pravleniyu na 1865 i 1866 gg.]. 72 p.
17. DAOO F.45. Op.7. Spr.52. On the dismissal of the Acting Extraordinary Professor Baikov from service due to the length of service and the assignment of a full pension to him. [Ob uvolnenii i.d. eksraordinarnogo professora Baykova ot sluzhby za vyslugoyu let i iskhodataystvovanii emu polnoy pensii]. 1866. 8 p.
18. DAOO F.274. Op.1. Spr.2. Information about the number of houses and in general about the building of the Odessa City Hall (16.07.1863–1873) 84 ark.
19. Derzharkhiv Ryazanskoj oblasti. F. 627. Op.240. Kn.59 Sv.150. Clerical sheets of churches of the Ryazhsky district of 1914. [Klirovyeye vedomosti tserkvey Ryazhskogo uyezda 1914 goda]. Pp. 118–831.
20. Elchaninov I. N. Materials for the genealogy of the Yaroslavl nobility. [Materialy dlya genealogii yaroslavskogo dvoryanstva]: [V 9-ti vyp.]. Yaroslavl. 1909–1915. [Vyp. 3]. 1915. 212 p.
21. Journal of the Ministry of Public Education. [Zhurnal ministerstva narodnogo prosveshcheniya] / SPb. 1846. Ch.52. Pp.10–11.
22. Ivanov A. N. Konstantin Dmitrievich Ushinsky in Yaroslavl. Research and documents on scientific, pedagogical and literary activities. [Konstantin Dmitriyevich Ushinskiy v Yaroslavle. Issledovaniya i dokumenty o nauchno-pedagogicheskoy i literaturnoy deyatelnosti]. Yaroslavl: Kn. izd.. 1963. 468 p.

23. Historical note on the state and actions of the Richelieu Lyceum, from June 20, 1851 to June 20, 1852. [Istoricheskaya zapiska o sostoyanii i deystviyakh Rishelyevskogo litseya. s 20 iyunya 1851 po 20 iyunya 1852 goda]. Godichnyy akt v Rishelyevskom litseye 20 iyunya 1852 g. Odessa: Tipogr. Frantsova i Nitche. 1852. P. 81–104.
24. Historical review of the fifty-year activity of the Imperial Society of Agriculture of Southern Russia from 1828 to 1878. [Istoricheskiy obzor pyatidesyatiletney deyatelnosti Imperatorskogo obshchestva selskogo khozyaystva yuzhnoy Rossii s 1828 po 1878 god]. Sostavlenn sekretarem obshchestva M. P. Borovskim. Odessa: Tipogr. P. Frantsova. 1878. X. 275. 76 p.
25. Brief historical outline of the fiftieth anniversary of the Odessa Institute of Noble Maidens. [Kratkiy istoricheskiy ocherk pyatidesyatiletney Odesskogo instituta blagorodnykh devits]. Odessa: Tip. «Trud». 1879. [1–2]. 3–18. 1–44 p.
26. Through the prism of memory and time: Odessa Richelieu Lyceum in the memoirs of contemporaries. [Kriz prizmu pam'yati i chasu: Odeskii Rishelievskiy litsey u spogadakh suchasnikov] / avtor-uporyadnik O. O. Sinyavska. Odesa: Bondarenko M. O.. 2017. 300 p.
27. Markevich A. I. Twenty-fifth anniversary of the Imperial Novorossiysk University: East. app. and acad. lists. [Dvadsatipyatiletneye imperatorskogo Novorossiyskogo universiteta: Ist. zap. i akad. spiski]. Odessa: Ekonom. tip.. 1890. XV. 734. X p.
28. Materials for the geography and statistics of Russia, collected by officers of the gene. headquarters. [T. 19]: Ryazan province. [Materialy dlya geografii i statistiki Rossii. sobrannyye ofitserami gen. shtaba. [T. 19]: Ryazanskaya guberniya]. / Sost. M. Baranovich. SPb.: Tip. tov-va «Obshchestvennaya polza». 1860. III. IV. 553 p.
29. Materials for the geography and statistics of Russia, collected by officers of the gene. headquarters. [T. 24]: Kherson province. [Materialy dlya geografii i statistiki Rossii. sobrannyye ofitserami gen. shtaba. [T. 24]: Khersonskaya guberniya / Sost. A. Shmidt. Ch. 2. SPb.: Tip. Kalinovskogo. 1863. 1022 p.
30. Mladentsev M. N. Tishchenko V. E. Dmitri Ivanovich Mendeleev, his life and work. [Dmitriy Ivanovich Mendeleev. ego zhizn i deyatelnost]. T. 1. Ch. 1.2. M.-L.: Izd-vo AN SSSR. 1938. 268 p.
31. Novorossiysk calendar for 1855, published by the Richelieu Lyceum. [Novorossiyskiy kalendar na 1855 god. izdavayemyy ot Rishelyevskogo litseya]. Odessa: Gorodskaya tip.. 1854. 435. 35. VII p.
32. Novorossiysk calendar for 1861, published by the Richelieu Lyceum. [Novorossiyskiy kalendar na 1861 god. izdavayemyy ot Rishelyevskogo litseya]. Odessa. Gor. tipografiya. 1860. 399; 30; 48 p.
33. Obozrenie prepodavaniya nauk v imperatorskom Novorossiyskom universitete za 1865–1866 uchebnyy god. Odessa. B/i. B/g. 5 p.
34. Obozrenie prepodavaniya nauk v imperatorskom Novorossiyskom universitete za 1866–1867 uchebnyy god. Odessa. B/i. B/g. 8 p.
35. Announcement of the teaching of semi-annual science courses at the Demidov Lyceum, from January 12 to December 20, 1842. [Obyavleniye prepodavaniya polugodichnykh kursov nauk v Demidovskom litseye. s 12 yanvarya po 20 dekabrya 1842 goda]. Moskva: Universit. tipogr. 1842. 7 p.
36. Report on the status and actions of the Imperial Moscow University for 1835–1836 academic and 1836 civil years. [Otchet o sostoyaniyakh i deystviyakh Imperatorskogo Moskovskogo universiteta za 1835–1836 akademicheskii i 1836 grazhdanskiy gody]. Moskva: B/i. [1837]. 43. [66]. 5. [9] p.
37. Commemorative book of the Ministry of Public Education for 1865. [Pamyatnaya knizhka ministerstva narodnogo prosveshcheniya na 1865 god]. SPb.: Tipogr. V. A. Rogalskogo i K°. 1865. XIII. 584. 32. II p.
38. Petrovskiy A. Flora of the Yaroslavl district. [Flora Yaroslavskogo uyezda]. Pamyatnaya knizhka Yaroslavskoy gubernii na 1862 god. / Pod red. A. L. Yaroslavl: Yaroslavl. gub. stat. kom. (Gubern. tipogr.). 1863. Pp. 343–374.
39. Minutes of the meetings of the Council of the Imperial Novorossiysk University. [Protokoly zasedaniy sovetu INU]. 1866. № 3. B/i. 53 p.
40. Professor of Odessa (Novorossiysk) University. [Profesori Odeskogo (Novorossiyskogo) universiteta: Biogr. slovník] / T. 2. A-I. Vid. 2-e. dop. / Vidp. red. V. A. Smintina. Odesa: Astroprint. 2005. 512 p.
41. Rachinskiy S. A. Rural school. [Selskaya shkola]. Sbornik statey. SPb.: Sinod. tip.. 1910. Izd-niye 6. 371. IV p.
42. Russian botanists: biographic and bibliographic dictionary. [Russkiye botaniki: biografo-bibliograficheskiy slovar T. 1. A-B. / Otv. red V. N. Sukachev; sost. S. Yu. Lipshits]. Moskva: Izd-vo-MOIP. 1947. 335 p.
43. Synodicon of the Church of the Village of Kurbatovo: Deceased Priests and Builders of the Church of the Nativity of the Blessed Virgin Mary. [Sinodik khrama s. Kurbatovo: Pochivshiy sluzhiteli i stroiteli khrama Rozhdestva Presvyatoy Bogoroditsy. 1 p. <http://hram-v-kurbatovo.cerkov.ru/sinodik>
44. Lists of populated areas of the Russian Empire compiled and published by the Central Statistical Committee of the Ministry of the Interior. [Spiski naseleennykh mest Rossiyskoy imperii. sostavlennyye i izdavayemyye Tsentralnym statisticheskim komitetom Ministerstva vnutrennikh del. SPb.: izd. Tsentr. stat. kom. Min. vnutr.

- del. 1861–1885. [Vyp. 35]: Ryazanskaya guberniya.: po svedeniyam 1859 goda / Obrab. red. I. Wilsonom. 1862. XVIII. 168. [1] с.
45. Tretiakov D. K. Essay on the history of the department of zoology. [Naris istorii kafedri zoologii]. [Rukopis] Naukova biblioteka ONU imeni I. I. Mechnikova. b/d. 72 p.
 46. Church of All Saints. List of people buried. [Khram Vsekh Svyatykh. Spisok zakhoronennykh lyudey] <http://hram-vsehsvyatih.od.ua/spisok-zaxoronennykh-lyudej/>
 47. Church of the Nativity of the Blessed Virgin Mary Kurbatovo. Orthodox Church, Ryazan Metropolis, 1st Ship Deanery. [Khram Rozhdestva Presvyatoy bogoroditsy s. Kurbatovo. Pravoslavnaya tserkov. Ryazanskaya mitropoliya. 1-e Korablinskoye blagochiniye]. <http://hram-v-kurbatovo.cerkov.ru/blagodeteli-i-geroi-sela-kurbatovo>
 48. Tsentralnyy gosudarstvennyy istoricheskiy arkhiv Sankt-Peterburga. (TsGIA SPb) F.733. Op.28. Spr.17. Note of the honorary trustee of the Yaroslavl Demidov Lyceum P. G. Demidov about the state of the Lyceum. [Zapiska pochetnogo popechitelya Yaroslavskogo Demidovskogo litseya P. G. Demidova o sostoyanii litseya]. 21 fevralya 1849 g. Pp. 62–73.
 49. TsGIA SPb. F.759. Op. 101. Spr. 101. About hiring the house of the Richelieu Lyceum for temporary accommodation of the OIBD. [O nayme doma Rishelyevskogo litseya dlya vremennogo razmeshcheniya OIBD]. 1857. Pp. 53–54 s.t.
 50. TsGIA SPb. F.759. Op. 101. Spr. 101. Statement of the expenses of the OIBD incurred during the return movement of the institute to Odessa. [Vypiska o raskhodakh OIBD. proizvedennykh pri obratnom peremeshchenii instituta v Odessu]. 1857. Pp. 55.-56 s.t.
 51. Circular on the management of the Odessa educational district [Tsirkulyar po upravleniyu Odesskim uchebnym okrugom]/ № 4 aprel. 1865 g. Pp. 253–258.

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

Під час подання рукопису до журналу автори повинні підтвердити його відповідність всім встановленим вимогам, вказаним нижче. В разі виявлення невідповідності поданої роботи пунктам цих вимог редакція повертатиме авторам матеріали на доопрацювання.

1. Внутрішнє рецензування здійснюється членами редакційної колегії, які мають найбільш близьку до тематики роботи наукову спеціалізацію. Рецензент визначає наукову цінність авторського оригіналу, відповідність матеріалу тематиці журналу.

Зовнішнє рецензування здійснюється висококваліфікованими спеціалістами, які мають наукові праці з проблематики статті. Зовнішній рецензент обирається з урахуванням його поточного навантаження і з його згоди.

Рецензування проводиться конфіденційно за принципами подвійного сліпого рецензування, коли ні автор, ні рецензент не знають один про одного

1.1. «Вісник Одеського національного університету. Біологія» здійснює такі публікації:

1. Наукові статті, у тому числі оглядового характеру
2. Короткі повідомлення
3. Бібліографія.
4. Матеріали конференцій.
5. Рецензії
6. Матеріали з історії науки та університету

1.2. У певному конкретному випуску один автор має право надрукувати тільки одну самостійну статтю

1.3. Мова видання – українська, англійська

1.4. До редакції «Вісника...» подається відредагований і погоджений з редколегією текст статті у форматі *.doc (гарнітура Times New Roman (Сур), кегль 14, відстань між рядками 1,5 інтервали; поля: ліве – 2,5 см, праве – 1,5 см, верхнє – 2 см, нижнє – 2 см), набраний без застосування функції «Розстановка переносів» та два підписаних екземпляри «роздруківки» з неї. Резюме двома мовами (зразок оформлення публікації наведено наприкінці Правил).

Рекомендація кафедри або наукової установи до друку

2. Підготовка статті – обов'язкові складові

Оригінальна стаття має включати:

- 2.1. Вступ, в якому обговорюють актуальність проблеми, формулюють мету та основні завдання дослідження
- 2.2. Матеріали і методи дослідження
- 2.3. Результати дослідження та їх обговорення
- 2.4. Висновки
- 2.5. Список використаної літератури (мовою оригіналу)

2.6. Анотація мовою оригіналу статті та резюме (українською, англійською), відповідні ключові слова

2.7. Список використаної літератури англійською мовою (References)

3. Оформлення рукопису, обсяг, послідовність та розташування обов'язкових складових статті

3.1. Обсяг рукопису наукової статті (з урахуванням малюнків, таблиць і підписів до них, анотацій, резюме, списку літератури) – 8–15 сторінок друкованого тексту, оглядів – до 20 сторінок, рецензій – до 3 сторінок, коротких повідомлень – до 2 сторінок. Рукописи більшого обсягу приймаються до журналу тільки після попереднього узгодження з редколегією.

3.2. Послідовність друкування окремих складових наукової статті має бути такою:

1. УДК – в лівому верхньому кутку першого аркуша
2. Прізвище та ініціали автора (авторів) мовою статті, вчений ступінь та посада.
3. Назва наукової установи (в тому числі відділу, кафедри, де виконано працю).
4. Повна поштова адреса (за міжнародним стандартом), телефон та електронна адреса (e-mail) для співпраці з авторами.
5. Назва статті. Вона повинна точно відбивати зміст праці, бути короткою (в межах 9 повнозначних слів), містити ключові слова.
6. Анотація мовою оригіналу друкується перед початком статті з відступом 20 мм від лівого поля. Містить не більше 50 повнозначних слів і передують (окремим абзацом) основному тексту статті.
7. Під анотацією друкуються ключові слова, які відокремлюються крапкою з комою.
8. Далі йде текст статті, що включає основні змістові розділи, список використаної літератури. Аналіз проблеми повинен базуватися на сучасній науковій літературі (за останні 10 років).
9. Таблиці та малюнки разом з підписами та необхідними поясненнями до них розміщуються у тексті статті, після першого згадування про них.
10. На окремому аркуші надаються резюме (українською та англійською мовами), оформлені таким чином: прізвище та ініціали автора (авторів), назва наукової установи, повна поштова адреса установи, назва статті, слово «Резюме» (Abstract), текст резюме, ключові слова. Резюме повинне бути зрозумілим без звертання до самої публікації, включати актуальність проблеми, мету, методи дослідження, основні результати дослідження, висновки та конкретні пропозиції автора. Об'єм резюме 250–1250 слів.

3.3 Стаття повинна бути підписана автором (авторами).

4. Мовне оформлення тексту: термінологія, умовні скорочення, посилання, таблиці, схеми, малюнки.

4.1. Автори несуть повну відповідальність за бездоганне мовне оформлення тексту, за правильну українську наукову термінологію (її слід звіряти за фаховими термінологічними словниками).

4.2. Латинські біологічні терміни (назви видів, родів) подаються обов'язково латиницею і курсивом. За першого вживання латинської назви у дужках слід обов'язково подати український відповідник назви.

4.3. Якщо часто повторювані у тексті словосполучення автор вважає за потрібне скоротити, то такі аббревіатури за першого вживання наводять у дужках. Наприклад: Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннезнавства та сортовивчення (далі СГІ - НЦНС).

4.4. Посилання на літературу подаються у тексті статті, обов'язково у квадратних дужках, цифрами. Цифра в дужках позначає номер праці у «Списку використаної літератури». Назви праць у списку літератури розташовуються у алфавітному порядку і оформлюються за ДСТУ 8302:2015.

4.5. Цифровий матеріал, по можливості, слід зводити у таблиці і не дублювати у тексті. Таблиці повинні бути компактними, мати порядковий номер; графі, колонки мають бути точно визначеними логічно і графічно. Цифровий матеріал таблиць повинен бути оброблений статистично. Матеріал таблиць (як і малюнків) повинен бути зрозумілим незалежно від тексту статті. При об'єднанні декількох рисунків або фотографій в один рисунок рекомендується позначати кожен з них прописними літерами знизу.

4.6. Рисунки виконуються у відповідних програмах (графічних чи табличних редакторах) та вставляються у текст. Кожна крива на рисунку повинна мати номер, зміст кривих пояснюється у підписах під рисунком. На осях абсцис і ординат рисунка зазначається лише величина, що вимірюється, і розмірність в одиницях СІ (% , мм, г і т.п.).

4.7. У розділі «Результати досліджень та їх обговорення» необхідно викласти виявлені ефекти, показати причинно-результативні зв'язки між встановленими ефектами, порівняти отриману інформацію з даними літератури і наголосити на виявлених нових. При аналізі слід посилатися на ілюстративний матеріал статті. Аналіз має закінчуватися відповіддю на питання, поставлені у вступі. При викладі результатів слід уникати повторення змісту таблиць та рисунків, а звертати увагу на найважливіші факти та певні закономірності, що з них випливають. Математичні (хімічні) формули виконуються засобами внутрішнього редактора формул «Microsoft Equal» і, за потреби, нумеруються.

Редколегія має право редагувати текст статей, рисунків та підписів до них, погоджуючи відредагований варіант з автором, а також відхиляти рукописи, якщо вони не відповідають вимогам «Вісника ОНУ. Біологія». При появі сумнівів про правомірність використання статистичних методів, з метою допомоги авторам, рецензенти мають право запросити доступ до первинних матеріалів. Рукописи статей, що прийняті до публікування, авторам не повертаються.

Керівництво для авторів

Вимоги до оформлення літератури

Список літератури друкується мовою оригіналу відповідної праці. Назви праць у списку літератури розташовуються у алфавітному порядку і оформлюються згідно ДСТУ 8302:2015. У статтях при наявності обов'язково вказувати цифровий ідентифікатор об'єкта (Digital Object Identifier, або doi).

Приклади бібліографічних описань за ДСТУ 8302:2015.

Книги, монографії, атласи, словники

Серге Дж. Звичайні генії: як два диваки творили сучасну науку. Київ: К.І.С., 2017. 392 с.

Vaiserman A.M. Early Life Origins of Ageing and Longevity. Springer, Cham, 2019. 310 p.

Lewin's cells / G. Plopper, D. Sharp, E. Sikorski, B. Lewin. 3rd ed. USA: Courier Companies, 2015. 1056 p.

Анатомія пам'яті: атлас схем і рисунків провідних шляхів і структур нервової системи, що беруть участь у процесах пам'яті: посіб. для студ. та лікарів / О. Л. Дроздов, Л. А. Дзяк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. 2-ге вид, розшир. та доповн. Дніпропетровськ: Пороги, 2005. 218 с.

Мікробіологічні дослідження Чорного моря. За редакцією д.б.н., проф. Іваниці В. О. Одеса: ОНУ, 2021. 282 с.

Українсько-німецький тематичний словник / [уклад. Н. Яцко та ін.]. Київ: Карпенко, 2007. 219 с.

Статті із журналів

Serga S., Maistrenko O.M., Kovalenko P Tsila O., Hrubiiian N., Bilokon S., Alieksieieva T., Radionov D., Betancourt A.J., Kozeretska I. *Wolbachia* in natural *Drosophila simulans* (Diptera: Drosophilidae) populations in Ukraine. *Symbiosis*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13199-023-00899-8>

Січняк О.Л. Регулярність мейозу в ранніх генераціях гібридів м'якої пшениці зі штучною спельтою. *Вісн. ОНУ. Біологія*. 2018. Т. 23, вип. 1(42). С. 23–32. doi: 10.18524/2077-1746.2018.1(42).129125.

Levitsky A., Maykova A., Makarenko O. Some indicators in rat blood samples taken from the portal vein and the inferior vena cava after consumption of different edible fats. *Journal of Education, Health and Sport*. 2018. Vol. 8(5). P. 299–308. doi: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1320448>.

Збірки

Zinchenko O. Yu., Shmatkova N.V., Seyfullina I.Y. Evaluation of antiviral activity 4-dimethylaminobenzaldehyde 2-hydroxybenzoyl-, nicotinoyl- and isonicotinoylhydrazones and their chelates with SnCl₄ on "phage-host" model. «MODERN ASPECTS OF SCIENCE», 21th volume of the international collective monograph / Publishing Group «Vědecká perspektiva». 2022. С. 62–73.

De Man J.C., Rogosa M., Sharpe M.E. Cell transfer and interferon studies: *Abstracts of the V International symposium of immunopharmacology (17–21 May 2004)* / proc. of conf. Quebec, 2004. P. 31.

Дисертації, автореферати дисертації

Бакума А.О. Генетичний поліморфізм по локусам *Ppd* та фотоперіодична чутливість сучасних українських сортів м'якої пшениці: автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.22 «Молекулярна генетика» Київ, 2021. 24 с.

Чернадчук С.С. Активність протеолітичних ферментів в тканинах тіла мати-жінок без новоутворень та з онко-захворюваннями: дис... канд. біол. наук: 03.00.04: захищена 17.05.2006: затв. 12.10.2006 / ХНУ імені Д.К. Каразіна, Харків, 2006. 189 с.

Депоновані наукові роботи, патенти, авторські свідоцтва

Спосіб фармакологічної корекції закритої черепно-мозкової травми комплексною сполукою на основі германію і діетилентриамінопентаоцтової кислоти з натрієм: пат. 83323 Україна, А61Р 43/00 на корисну модель; заявл. 03.09.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17. 6 с.

Деякі приклади бібліографічних описань за АРА (American Psychological Association)

Онлайн-керівництво з прикладами на усі види публікацій можна знайти за посиланням: <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/references/examples>

Книги

Jackson, L. M. (2019). *The psychology of prejudice: From attitudes to social action* (2nd ed., pp. 1-10). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000168-000>

Sapolsky, R. M. (2017). *Behave: The biology of humans at our best and worst*. Penguin Books. https://www.sackett.net/sapolsky_behave.pdf

Shnayder, S. A., & Levitskiy, A. P. (2017). *Експериментальна стоматологія: Частина 1. Експериментальні моделі стоматологічних захворювань* [Experimental dentistry: Part 1. Experimental models of dental diseases]. КР ОГТ [in Ukrainian].

Kucheriavii, V. P., Dudyn, R. B., Kovalchuk, N. P., & Pylat, O. S. (2004). *Dereva, chagarnyky i liany v landshaftnii arkhitekturi* [Trees, shrubs and vines in landscape architecture]. Kvant [in Ukrainian].

Andreiuk, K. I., Iutynska, G. O., & Antypchuk, A. F. (2001). *Funktsionuvannia mikrobnikh tsenoziv gruntu v umovakh antropohennoho navantazhennia* [The functioning of microbial communities in soil under anthropogenic load]. Naukova dumka [in Ukrainian].

Takhtajan, A. (2009). *Flowering Plants*. Berlin: Springer Verlag.

Статті в журналах або збірках

- Tkachenko, V. O., Sytnik, Yu. M., Solyanik, J. V., Saliy, S. M., & Borbat, M. O. (2008). Suchasniy stan ihtiofauny r. Desna v mezhah Ukrainy [The modern status of Desna river ichthyofauna within Ukraine borders]. *Ribogospodars'ka nauka Ukrainy*, 3, 46–52 [in Ukrainian].
- Rodier, F., & Campisi, J. (2011). Four faces of cellular senescence. *The Journal of cell biology*, 192(4), 547–556. <https://doi.org/10.1083/jcb.201009094>
- Torp K. (2023). Bookshelf: A Biomedical Database of Books and Documents. *Medical reference services quarterly*, 42(2), 175–180. <https://doi.org/10.1080/02763869.2023.2194145>

Дисертації, автореферати

- Oliarnyk, O. O. (2007). *Doslidzhennia protsessiv perekysnoho okyslennia lipidiv ta aktyvnosti fermentiv antyoksydantnoho zakhystu pry tsukrovomu diabete* [The study of lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in diabetes] (Dis... kand. biol. nauk [Candidate's thesis in biological sciences], 117 p.), Kyiv [in Ukrainian].
- Zambrano-Vazquez, L. (2016). *The interaction of state and trait worry on response monitoring in those with worry and obsessive-compulsive symptoms* [Doctoral dissertation, University of Arizona]. UA Campus Repository. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/620615>

Зразок оформлення публікації

УДК 575.17:575.113.2:633.34

Ю.А. Попович¹, аспірант

І.М. Благодарова², наук. сп.

С.В. Чеботар^{1,2}, д.б.н., професор

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна

²Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення, Одеса, Овідіопольська дор., 3, 65036, Україна

ПОЛІМОРФІЗМ МІКРОСАТЕЛІТНОГО ЛОКУСУ *TAGLGP* ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗОК З АЛЕЛЬНИМИ ВАРІАНТАМИ ГЛАДИНІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ

Резюме

Досліджено поліморфізм мікросателітного локусу *Taglgap* в українських та зарубіжних сортах та лініях пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.). Знайдено 11 алелів мікросателіту *Taglgap*, з яких сім алелів у сортів, створених в Україні та десять алелів у сортів, створених в зарубіжних селекційних установах.

Показано як асоціюються алелі мікросателітного локусу *Taglgap* з алельними варіантами гліадинів за локусом *Gli-B1*. Проведено аналіз нуклеотидних послідовностей у базі даних NCBI, та показано присутність й можливі алелі *Taglgap* у низки видів родів *Triticum* L. та *Aegilops* L.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L.; алельні варіанти гліадинів; *Taglgap*; мікросателіт; поліморфізм; *Gli-B1* локус.

... Текст вступу до статті

Матеріали та методи досліджень

Текст матеріалів та методів роботи

Результати та їх обговорення

Викладення результатів та їх аналіз

Висновки

Список використаної літератури

Ю. А. Попович¹, О. М. Благодарова², С. В. Чеботар^{1,2}

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса, вул. Дворянська, 2, 65082, Україна

²Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення, Одеса, Овідіопольська дор., 3, 65036, Україна

ПОЛІМОРФІЗМ МІКРОСАТЕЛІТНОГО ЛОКУСУ *TAGLGAP* ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗОК З АЛЕЛЬНИМИ ВАРІАНТАМИ ГЛІАДИНІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ

Анотація

Проблема. Гліадини – мономерні та високополіморфні запасні білки ендосперму пшениці, які разом з глютенінами формують глютенний комплекс, що визначає хлібопекарські властивості. Алельні варіанти гліадинів є важливою ознакою при відборі матеріалу для селекції, проте визначення їх методом електрофорезу в кислому ПААГ є досить складним.

Мета. Метою даної роботи було дослідити поліморфізм мікросателітного локусу *Taglgap* та проаналізувати його зв'язок з поліморфізмом алельних варіантів гліадинів визначених методом електрофорезу в кислому ПААГ.

Методика. У роботі досліджували 140 сортів та ліній пшениці м'якої української та зарубіжної селекції. Електрофорез запасних білків проводили в кислому ПААГ за методикою Ф. О. Поперелі (1989), алельні варіанти позначали за міжнародною номенклатурою (Metakovsky et al., 2018). ДНК виділяли СТАВ методом та проводили ПЛР з праймерами до мікросателіту *Taglgap* (Devos et al., 1995). Продукти ПЛР фракціонували в 7% ПААГ та фарбували за допомогою аргентум нітрату. Нуклеотидні послідовності аналізували за допомогою BLAST та вирівнювали MAFT методами.

Основні результати. Виявлено 19 алельних варіантів гліадинів та 11 алелів локусу *Taglgap*. В колекції українських сортів зустрічалися *Gli-B1b*, *Gli-B1c*, *Gli-B1d*, *Gli-B1e*, *Gli-B1f*, *Gli-B1g*, *Gli-B1h*, *Gli-B1i* та *Gli-B1o* алельні варіанти і алелі *Taglgap* 216 п.н., 237 п.н., 246 п.н., 248 п.н., 252 п.н., 267 п.н., 270 п.н. та *null*. У зарубіжній колекції сортів – *Gli-B1a*, *Gli-B1b*, *Gli-B1c*, *Gli-B1d*, *Gli-B1e*, *Gli-B1f*, *Gli-B1g*, *Gli-B1h*, *Gli-B1i*, *Gli-B1j*, *Gli-B1k*, *Gli-B1l*, *Gli-B1m*, *Gli-B1n*, *Gli-B1o*, *Gli-B1p*, *Gli-B1q*, *Gli-B1r*, *Gli-B1s* та 213 п.н., 216 п.н., 237 п.н., 246 п.н., 248 п.н., 250 п.н., 252 п.н., 270 п.н., 285 п.н. та *null*. Аналіз нуклеотидних послідовностей в базі даних NCBI показав наявність ряду інших алелів мікросателіту *Taglgap* не тільки у пшениці м'якої, але й в деяких видів родів *Triticum* L. та *Aegilops* L.

Висновки. Виявлений поліморфізм корелює з поліморфізмом алельних варіантів гліадинів *Gli-B1* локусу та дозволяє розділити *Gli-B1a*, *Gli-B1d*, *Gli-B1h* та *Gli-B1i* алельні варіанти, а для українських сортів з високою імовірністю ще й *Gli-B1b* алельний варіант. Проте, даний маркер не дозволяє ідентифікувати *Gli-B1c*, що є важливим для селекції

Ключові слова: алельні варіанти гліадинів, *Taglgap*, мікросателіт, поліморфізм, *Gli-B1* локус, пшениця м'яка

Yu. A. Popovych¹, O. M. Blagodarova², S. V. Chebotar^{1,2}

¹Odesa I. I. Mechnikov National University, Genetics and Molecular Biology Department, 2 Dvoryans'ka St., Odesa, 65082, Ukraine.

²Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 3 Ovidiopolska Doroha, Odesa, 65036, Ukraine.

POLYMORPHISM OF *TAGLGAP* MICROSATELLITE LOCUS AND ITS ASSOCIATION WITH ALLELIC VARIETIES OF GLIADINS OF BREAD WHEAT

Abstract

Introduction. Gliadins are monomeric and highly polymorphic storage proteins of wheat endosperm, which together with glutenins form a gluten complex that determines the breadmaking properties of wheat. Allelic variants of gliadins are an important feature in the selection for breeding material, but their detection by electrophoresis in acid PAGE is quite difficult.

Aim. The aim of this study was to investigate the polymorphism of the *Taglgap* microsatellite locus and to analyze its correspondence to the polymorphism of allelic variants of gliadins that have been revealed by acid PAGE electrophoresis.

Methods. 140 cultivars and lines of bread wheat of Ukrainian and foreign selection were analyzed. Electrophoresis of storage proteins was performed in an acid PAGE according to the method of F. O. Poperellia (1989), allelic variants were designated according to the international nomenclature [Metakovsky et al., 2018]. DNA was isolated by CTAB method and PCR was performed with primers to the *Taglgap* microsatellite according to [Devos et al., 1995]. PCR products were fractionated

in 7% PAGE and stained with silver staining method. Nucleotide sequences were searched by BLAST and aligned by MAFT methods.

The main results. 19 allelic variants of gliadins and 11 alleles of the *Taglgap* locus were identified. In the collection of Ukrainian varieties there were *Gli-B1b*, *Gli-B1c*, *Gli-B1d*, *Gli-B1e*, *Gli-B1f*, *Gli-B1g*, *Gli-B1h*, *Gli-B1l* and *Gli-B1o* allelic variants and alleles of *Taglgap* 216 bp, 237 bp, 246 bp, 248 bp, 252 bp, 267 bp, 270 bp and *null*. In the foreign collection of varieties – *Gli-B1a*, *Gli-B1b*, *Gli-B1c*, *Gli-B1d*, *Gli-B1e*, *Gli-B1f*, *Gli-B1g*, *Gli-B1h*, *Gli-B1i*, *Gli-B1j*, *Gli-B1k*, *Gli-B1l*, *Gli-B1m*, *Gli-B1n*, *Gli-B1o*, *Gli-B1p*, *Gli-B1q*, *Gli-B1r*; *Gli-B1s* and 213 bp, 216 bp, 237 bp, 246 bp, 248 bp, 250 bp, 252 bp, 270 bp, 285 bp and *null*. Nucleotide sequence analysis in the NCBI database showed the presence of a number of other alleles of the *Taglgap* microsatellite not only in bread wheat but also in some species of the *Triticum* L. and *Aegilops* L. genus.

Conclusions. The detected polymorphism correlates with the polymorphism of allelic variants of gliadins of *Gli-B1* locus and makes it possible to identify *Gli-B1a*, *Gli-B1d*, *Gli-B1h* and *Gli-B1l* allelic variants, and for Ukrainian varieties with high probability also *Gli-B1b* allelic variant. However, this marker does not allow identifying *Gli-B1c*, which is important for breeding.

Key words: allelic variants of gliadins; *Taglgap*; microsatellite; polymorphism; *Gli-B1* locus; bread wheat.

References

Основні моменти при підготовці References:

Пристатейна література повинна бути транслітерована латиницею і наведена після списку літератури (References).

Транслітерація стосується лише джерел, мова оригіналу яких є українською, і які не мають авторського перекладу англійською. У таких випадках у кінці опису вказуємо у квадратних дужках на мову оригіналу [in Ukrainian].

Джерела, мова оригіналу яких англійська, німецька, французька тощо, наводяться без змін!

Ім'я автора і назва видавництва (наприклад, Naukova dumka) транслітеруються, а не перекладаються.

Вихідні дані – місце видання (місто), том, частина, сторінки тощо даються у перекладі англійською мовою (наприклад: том (Vol.), номер (No.), випуск (Issue), сторінки (P., p.)). Місце видання завжди вказувати повністю, без скорочень; назви міст перекладаються англійською (наприклад, Odesa, а не O., Warsaw, а не Varshava...).

Для монографій та наукових статей українською або російською мовами, крім транслітерації оригінальної назви, що виділена курсивним накресленням, обов'язковим є переклад назви англійською мовою, що слід наводити у квадратних дужках (за транслітерованою назвою). Якщо є авторський переклад назви в оригіналі, цей переклад можна і слід запозичити (окрім випадків, коли переклад гірший за транслітерацію...).

Якщо цитованому науковому виданню присвоєно DOI (Digital Object Identifier) – міжнародний стандарт (ISO 26324:2012) ідентифікації інформації – то його необхідно обов'язково вказати в посиланні на відповідне джерело та в «References» (списку використаних джерел)

Джерела іноземною мовою розміщуються після всіх джерел кирилицею.

Усім авторам необхідно надати свій ідентифікаційний номер у системі Open Researcher and Contributor ID (ORCID)

Положення про авторські права

Автори, які публікуються у цьому журналі, погоджуються з наступними умовами:

Автори залишають за собою право на авторство своєї роботи та передають журналу право першої публікації цієї роботи на умовах ліцензії Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC4.0).

Автори мають право укладати самостійні додаткові угоди щодо неексклюзивного розповсюдження роботи у тому вигляді, в якому вона була опублікована цим журналом (наприклад, розміщувати роботу в електронному сховищі установи або публікувати у складі монографії), за умови збереження посилання на першу публікацію роботи у цьому журналі.

Політика журналу дозволяє і заохочує розміщення авторами в мережі Інтернет (наприклад, у сховищах установ або на особистих веб-сайтах) роботи, оскільки це сприяє виникненню продуктивної наукової дискусії та позитивно позначається на оперативності та динаміці цитування опублікованої роботи (див. The Effect of Open Access).

Публікація праць в Журналі здійснюється на некомерційній основі. Комісійна плата за оформлення статті не стягується.

Положення про конфіденційність

Імена та електронні адреси, які вказуються користувачами сайту цього журналу, будуть використовуватись виключно для виконання внутрішніх технічних завдань цього журналу; вони не будуть поширюватись та передаватись стороннім особам.

Макет В.Г. Вітвицька

Підписано до друку 20.07.2023 р. Формат 70×108/16. Ум. друк. арк. 15,89.
Тираж 50 прим. Зам. № 2632.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна
Тел.: (048) 723 28 39
e-mail: druk@onu.edu.ua

