

Наукова діяльність

ТВАРИННИЦТВО

© Й. Ф. Рівіс, В. О. Постоєнко, О. Ф. Стасів, О. І. Стадницька, І. І. Саранчук, О. Я. Клим, О. Б. Дяченко,
В. Д. Федак, О. О. Гопаненко, 2023
УДК 574.23: 591.5:577.115:638

DOI: 10.32636/agroscience.2023-(2)-1-3

**ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І РІЗНИХ ФОРМ ЖИРНИХ КИСЛОТ
У ТКАНИНАХ ЧЕРЕВЦЯ ТА МЕДОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ БДЖІЛ
ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ**

Йосип РІВІС¹, Володимир ПОСТОЄНКО², Олег СТАСІВ¹, доктори сільськогосподарських наук
Ольга СТАДНИЦЬКА¹, Іван САРАНЧУК³, Олег КЛИМ¹, Олександр ДЯЧЕНКО¹, Василь ФЕДАК¹, кандидати
сільськогосподарських наук, Ольга ГОПАНЕНКО⁴, кандидат біологічних наук

¹Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине, Львівський р-н, Львівська обл., 81115, Україна

²ННЦ “Інститут бджільництва імені П. І. Прокоповича”,
вул. Заболотного, 19, м. Київ, 03680, Україна

³Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція,
вул. Миколи Кузнецова, 21-а, м. Чернівці, 58026, Україна

⁴ВНКЗ ЛОР “Львівська медична академія імені Андрея Крупинського”
вул. П. Дорошенка, 70, м. Львів, 79000, Україна
e-mail: rivisjf@gmail.com

У статті показано, що піддослідні пасіки клінічно здорових медоносних бджіл породи карпатська, були підібрані на базі приватних пасічних господарств гірської, передгірної та лісостепової зон Львівської області. Для оцінки інтенсивності техногенного навантаження на довкілля, де знаходяться піддослідні пасіки бджіл, визначався вміст важких металів, у тому числі токсичних, в орному шарі ґрунту, бджоломному обніжжі та тканинах черевця медоносних бджіл. Зафіксовано, що в тканинах черевця медоносних бджіл передгірної й лісостепової зон, порівняно з гірською зоною, на початку літнього періоду є більший сумарний вміст досліджуваних важких металів. При цьому в тканинах черевця медоносних бджіл передгірної й лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, є вищий рівень небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму та Кадмію. Також помітно є більша концентрація елемента другого класу токсичності – Хрому. Тканини черевця медоносних бджіл гірської зони в кінці літнього періоду порівняно до його початку накопичують в собі невелику сумарну кількість важких металів, тоді як тканини медоносних бджіл передгірної зони більшу кількість, а тканини бджіл лісостепової зони – найбільшу. У напрямку від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону в тканинах черевця медоносних бджіл спостерігається зменшення вмісту естерифікованих і неестерифікованих форм жирних кислот, але збільшення – аніонних. Рівень нагромадження естерифікованих, неестерифікованих і аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, які утримуються у вуликах, розміщених у гірській зоні Карпатського регіону, порівняно з тканинами бджіл, які утримуються на пасіках, розміщених у передгірній та особливо лісостеповій зонах, впродовж літнього періоду є вищим. Медова продуктивність робочих бджіл на одну бджолосім’ю за сезон в передгірній та особливо в лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з гірською, є меншою. Біоіндикатором екологічного стану довкілля за вмістом важких металів і різних форм жирних кислот можуть служити тканини черевця медоносних бджіл.

Ключові слова: природні зони Карпатського регіону, важкі метали, жирні кислоти, тканини черевця та медова продуктивність бджіл, біоіндикатор.

Вступ.

Джерела емісії важких металів і шляхи їх надходження в навколишнє середовище відрізняються різноманітністю, але загалом вони мають техногенне походження як наслідок урбанізації та індустріалізації. Урбанізація та індустріалізація, зокрема діяльність промисловості, сільського господарства, енергетики й транспорту, а також інтенсивне видобування корисних копалин – все це призвело до надходження у повітря, воду, ґрунт і рослини важких, у тому числі високотоксичних – Плюмбуму, Кадмію й Арсену (Ковка Н. О., Недашківський В. М., 2019; Тихонова О. М. і ін., 2020).

Міграція важких металів в об’єктах зовнішнього середовища спричинила нагромадження їх у ґрунтах і рослинах (Крайнюков О. та ін., 2020; Тихонова О. М. і ін., 2020). Як наслідок, одні види рослин поступилися місцем іншим і змінилися строки їх цвітіння, та тим самим умови медозбору бджолами (Ковка Н. О., Недашківський В. М., 2019; Кривий М. М. і ін., 2018; Крайнюков О. та ін., 2020; Кобиш А. І. та ін., 2021; Al-Kahtani S. N. et al., 2021). Вищезгадуване призвело також до накопичення важких металів у тканинах медоносних бджіл і продуктах бджільництва (Didaras N. A. et al., 2020; Al-Kahtani S. N. et al., 2021, Mărgăoan R. et al., 2021, Ricigliano V. A. et al., 2021).



Як відомо, важкі метали, в тому числі токсичні, причетні до процесів синтезу, десатурації, пероксидного окиснення довголанцюгових жирних кислот у рослинних і тваринних тканинах й рідинах. У результаті цього змінюється забезпеченість тканин рослин, зокрема пилку, і бджіл енергетичним, структурним, біологічно активним і антимікробним матеріалом (Di N. et al., 2020; Hsu P.-S. et al., 2021; Desbois A. P., Smith V. J., 2022). Все це відбивається на продуктивності бджолиних сімей та якісних показниках їх продукції (Matin G. et al., 2016; Gizaw G. et al., 2020; Monchanin C. et al., 2021).

Тому актуальним є питання виробництва екологічно безпечних продуктів бджільництва. Тим більше, що продукція медоносних бджіл займає чільне місце в життєдіяльності людини (Matin G. et al., 2016; Didaras N. A. et al., 2020; Costa A. et al., 2021; Ricigliano V. A. et al., 2021; El-Seedi H. R. et al., 2022). До якісних показників продукції медоносних бджіл ставляться дуже високі вимоги, оскільки на даний час Україна стала основним експортером медів в Європу.

У літературі є тільки фрагментарні дані щодо вмісту важких металів і різних форм жирних кислот у бджолиному обніжжі та тканинах медоносних бджіл, які утримуються в різних природних зонах Карпатського регіону (Клим О., Стадницька О., 2019).

З огляду на наведене вище значний науково-практичний інтерес становлять дослідження вмісту важких металів, у тому числі токсичних, і різних форм жирних кислот у тканинах та медової продуктивності робочих бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону.

З огляду на наведене вище метою роботи було зафіксувати сезонне накопичення важких металів, у тому числі токсичних, і естерифікованої, неестерифікованої й аніонної форм жирних кислот у тканинах черевця та медову продуктивність бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону.

Матеріали і методи.

Піддослідні пасіки клінічно здорових медоносних бджіл породи карпатська (*Apis mellifera* (L.) *carpatica*), були підібрані на базі приватних пасічних господарств гірської (сmt. Славсько, Стрийського району), передгірної (с. Нижня



Стинава, Стрийського району) та лісостепової (с. Миклашів, Львівського району) зон Львівської області, де різні природно-кліматичні умови й екологічна ситуація.

Для оцінки інтенсивності техногенного навантаження на довкілля, де знаходяться піддослідні пасіки медоносних бджіл, визначався вміст важких металів (Феруму, Цинку, Купруму, Хрому, Кобальту, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію) в орному шарі ґрунту, бджолиному обніжжі та тканинах черевця медоносних бджіл.

У кожній із наведених вище природних зонах Карпатського регіону на 3 пасіках і на кожній на 5 вуликах досліджувалася медова продуктивність робочих бджіл (Ковальський Ю. В., Кирилів Я. І., 2011). Зокрема медова продуктивність бджіл досліджувалася на початку червня, в середині липня та в середині серпня шляхом відкачування медових рамок. Ці дослідження проводились в розрахунку на одну бджолосім'ю середньої сили та однакової за віком матки. Крім того, на кожній пасіці із 3 вуликів на початку літнього періоду для лабораторних досліджень відбирались зразки бджолиного обніжжя та в радіусі корисного льоту медоносних бджіл – зразки орного шару ґрунту. Одночасно з наведених вище вуликів на початку та в кінці літнього періоду для лабораторних досліджень відбирались зразки медоносних бджіл.

У відібраних зразках орного шару ґрунту, бджолиного обніжжя та тканинах черевця медоносних бджіл визначався вміст важких металів, у тому числі токсичних, а в згадуваних зразках тканин медоносних бджіл – естерифікованої, неестерифікованої й аніонної форм жирних кислот.

Вміст важких металів (Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію) у відібраних зразках орного шару ґрунту, бджолиного обніжжя та тканин черевця медоносних бджіл визначався за чинним на даний час державним стандартом (ДСТУ 4405:2005) на атомно-абсорбційному спектрофотометрі Селмі-115 (Влізло В. В. і ін., 2012). Вміст естерифікованої, неестерифікованої й аніонної форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл визначався методом газорідинної хроматографії (Рівіс Й. і ін., 2022).

Отриманий цифровий матеріал опрацьовано методом варіаційної статистики з використанням критерію Стюдента (Ібатуллин І. І., Жукорський О. М., 2017). Вираховувались середні арифметичні величини ($\bar{M}$) та похибки середніх арифметичних ($\pm m$). Різниці вважались вірогідними за $p < 0,05$. Для розрахунків використана комп'ютерна програма Origin 6.0, Microsoft Excel.

Результати досліджень та обговорення.

Встановлено, що в орному шарі ґрунту передгірної та лісостепової зон Карпатського регіону, порівняно з умовно чистою гірською зоною, є вірогідно більший вміст досліджуваних важких металів (табл. 1). При цьому в орному шарі ґрунті

лісостепової зони Карпатського регіону міститься найвищий рівень досліджуваних важких металів. Вміст особливо небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму і Кадмію – в орному

шарі ґрунту в наведеній вище зоні є відповідно в 1,13 і 1,07 рази більшим за гранично допустиму концентрацію (Яцук І. П., Балюк С. А., 2019).

Таблиця 1. Валовий вміст важких металів, у тому числі токсичних, в орному шарі ґрунту в різних природних зонах Карпатського регіону, середні дані за літній період, $г \cdot 10^{-3}/кг$ повітряно-сухої маси ($M \pm m$, $n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Ферум, Fe	13891,33 $\pm$ 460,500	15331,37 $\pm$ 353,035*	16775,00 $\pm$ 317,840*
Цинк, Zn	50,43 $\pm$ 3,198	76,73 $\pm$ 1,334*	97,23 $\pm$ 3,759*
Купрум, Cu	20,76 $\pm$ 0,149	37,30 $\pm$ 1,625*	46,93 $\pm$ 0,851**
Кобальт, Co	11,20 $\pm$ 0,196	14,96 $\pm$ 0,425*	17,40 $\pm$ 0,608**
Хром, Cr	36,70 $\pm$ 3,100	66,52 $\pm$ 1,778*	93,89 $\pm$ 2,466**
Нікол, Ni	19,93 $\pm$ 1,451	44,67 $\pm$ 1,835*	62,59 $\pm$ 1,734**
Плюмбум, Pb	19,03 $\pm$ 0,549	26,48 $\pm$ 0,838*	34,03 $\pm$ 1,890*
Кадмій, Cd	1,90 $\pm$ 0,050	2,83 $\pm$ 0,033**	3,21 $\pm$ 0,129*

Примітка. Тут і далі різниці вірогідні порівняно з гірською зоною:

* – $p < 0,05$ –0,02; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Вважається, що зростання вмісту Плюмбуму в орному шарі ґрунту пов'язано з інтенсивним рухом автотранспорту (Loretta Y. et al., 2015), а Кадмію – з внесенням меліорантів і мінеральних добрив, насамперед відповідно фосфогіпсу та суперфосфату (Разанов С. Ф. і ін., 2015; Вожегова Р. А. та ін., 2021). Видно, наявні в фосфогіпсі та суперфосфаті залишки фосфорної кислоти є сильним зв'язуючим елементом і носієм для Кадмію.

Отримані дані характеризують рівень техногенного забруднення довкілля на підслідних територіях. Високий рівень важких металів, у тому числі токсичних у ґрунтах є причиною збільшення їх концентрації в бджолиному обніжжі (пилку рослин), отриманого в передгірній та лісостеповій зонах Карпатського регіону (табл. 2). Все це є наслідком більшої урбанізації та індустріалізації наведених вище територій.

Таблиця 2. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, у бджолиному обніжжі в різних природних зонах Карпатського регіону, середні дані за літній період, $г \cdot 10^{-3}/кг$ повітряно-сухої маси ($M \pm m$, $n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Ферум, Fe	32,63 $\pm$ 0,098	38,36 $\pm$ 0,606*	47,46 $\pm$ 0,982**
Цинк, Zn	32,36 $\pm$ 0,501	40,76 $\pm$ 0,808*	47,67 $\pm$ 2,201*
Купрум, Cu	1,90 $\pm$ 0,049	3,23 $\pm$ 0,121*	4,60 $\pm$ 0,264*
Кобальт, Co	0,93 $\pm$ 0,050	1,76 $\pm$ 0,233*	1,96 $\pm$ 0,218**
Хром, Cr	3,96 $\pm$ 0,099	5,36 $\pm$ 0,176*	6,86 $\pm$ 0,088**
Нікол, Ni	0,56 $\pm$ 0,005	0,67 $\pm$ 0,012**	0,76 $\pm$ 0,012**
Плюмбум, Pb	0,11 $\pm$ 0,010	0,19 $\pm$ 0,009*	0,22 $\pm$ 0,008**
Кадмій, Cd	0,04 $\pm$ 0,005	0,08 $\pm$ 0,003*	0,11 $\pm$ 0,005**

Слід відмітити, що в лісостеповій зоні Карпатського регіону, порівняно з гірською, в орному шарі ґрунту та бджолиному обніжжі є

досить високий вміст пробіотичних важких металів – Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому та Ніколу. Наведені вище важкі метали в допустимих

кількостях вкрай необхідні для нормального функціонування тканин рослин і бджіл (Hsu P.-S. et al., 2021). Але підвищений в орному шарі ґрунту й бджоломному обніжжі рівень токсичних Плюмбуму та Кадмію видно здатний нівелювати позитивний вплив пробіотичних важких металів на згадувані тканини (Pugać J. et al., 2019).

Високий рівень Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію у бджоломному обніжжі в свою чергу є причиною зростання їх вмісту в тканинах медоносних бджіл (табл. 3 і 4). Зокрема встановлено, що в тканинах черевця медоносних бджіл передгірної (на початку та в кінці літнього періоду відповідно 163,76 і 176,44 г·10⁻³/кг сирової маси) й лісостепової (191,91 і 211,16) зон, порівняно з гірською зоною (на початку та в кінці літнього періоду відповідно 130,04 і 133,55

г·10⁻³/кг сирової маси), є більший сумарний вміст досліджуваних важких металів (табл. 3 і 4). При цьому в тканинах черевця медоносних бджіл передгірної й лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, є вищий рівень небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму (у 1,4–1,8 рази) та Кадмію (у 1,8–2,9 рази). Також є більша концентрація елемента другого класу токсичності – Хрому (у 1,3–1,6 рази).

Виходячи з наведеного вище тканини черевця медоносних бджіл гірської зони в кінці літнього періоду порівняно до його початку накопичують в собі всього на 2,70 % більший сумарний вміст досліджуваних важких металів, тоді як медоносні бджоли передгірної зони – на 7,74 %, а бджоли лісостепової зони – на 10,03 %.

Таблиця 3. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, в тканинах черевця медоносних бджіл на початку літнього періоду в різних природних зонах Карпатського регіону, г·10⁻³/кг сирової маси (M±m, n=3)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Ферум, Fe	46,48±1,046	63,72±1,220***	77,03 ±1,630***
Цинк, Zn	77,08±1,190	91,32±1,536**	104,24±2,060***
Купрум, Cu	0,34±0,012	0,47±0,014**	0,59±0,014***
Кобальт, Co	0,31±0,009	0,36±0,014*	0,43±0,017**
Хром, Cr	2,43±0,070	3,12±0,082*	3,78±0,112**
Нікол, Ni	2,43±0,035	3,40±0,067***	4,13±0,059***
Плюмбум, Pb	0,88±0,035	1,21±0,038**	1,50±0,046***
Кадмій, Cd	0,09±0,009	0,16±0,006**	0,21±0,012**

Таблиця 4. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, в тканинах черевця медоносних бджіл у кінці літнього періоду в різних природних зонах Карпатського регіону, г·10⁻³/кг сирової маси (M±m, n=3)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Ферум, Fe	47,54±1,038	68,33±1,197***	84,43 ±1,623***
Цинк, Zn	79,12±1,178	98,54±1,544**	115,20±2,111***
Купрум, Cu	0,35±0,011	0,52±0,012**	0,66±0,015***
Кобальт, Co	0,32±0,010	0,40±0,015*	0,48±0,019**
Хром, Cr	2,64±0,074	3,47±0,085*	4,08±0,120**
Нікол, Ni	2,56±0,038	3,68±0,072***	4,46±0,062***
Плюмбум, Pb	0,93±0,033	1,32±0,035**	1,62±0,048***
Кадмій, Cd	0,09±0,009	0,18±0,007**	0,23±0,014**

Важкі метали за фізіологічно обумовленого рівня причетні до обмінних процесів і вмісту жирних кислот у тканинах організму бджіл. Зокрема ініційований Кобальтом синтез протеїнів у тканинах бджіл, через активацію транспортних та інформаційних нуклеїнових кислот (Osman D. et al., 2021), як правило, супроводжується акумуляцією поліненасичених жирних кислот, необхідних для побудови цитоплазматичних і клітинних мембран.

Купрум через те, що він входить в склад 9-десатурази, у тканинах організму бджіл за фізіологічно обумовленого рівня сприяє утворенню із насичених жирних кислот пальмітинової та стеаринової моновенасичених жирних кислот родин відповідно омега-7 (пальмітоолеїнову) і омега-9 (олеїнову). (Di N. et al., 2020; Takic M. et al., 2021).

Лінолева та ліноленова кислоти, які послідовно синтезуються в тканинах рослин із олеїнової кислоти, вважаються незамінними для бджіл і тому повинні надходити в їх організм із кормом (Giri S. et al., 2018; Corby-Harris V. et al., 2021; Mărgăoan R. et al., 2021). Вже в тканинах бджіл із лінолевої та ліноленової кислот через те, що Цинк входить в склад 2-, 3-, 4-, 5- й 6-десатурази, синтезуються ще більш довголанцюгові та більш ненасичені жирні кислоти відповідно родин омега-6 (ейкозатриєнова, ейкозатетраєнова-арахідонова, докозатриєнова та докозатетраєнова) і омега-3 (ейкозапентаєнова, докозатриєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова) (Corby-Harris V. et al., 2021; Mărgăoan R. et al., 2021).

Більш довголанцюгові та більш ненасичені жирні кислоти родин омега-3 й омега-6 є дуже цінними для організму бджіл. Наведені вище поліненасичені жирні кислоти в тканинах організму бджіл є джерелом для побудови цитоплазматичних і клітинних мембран та синтезу біологічно активних похідних – простагландинів, тромбоксанів і лейкотриєнів (Trinkl M. et al., 2020; Mărgăoan R. et al., 2021; Matuszewska E. et al., 2021). Тим самим поліненасичені жирні кислоти родин омега-3 й омега-6 впливають на стан здоров'я й життєдіяльність бджіл.

Особливо цінними поліненасиченими жирними кислотами для організму бджіл є жирні кислоти родини омега-3 (ейкозапентаєнова, докозатриєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова) (Trinkl M. et al., 2020; Matuszewska E. et al., 2021; Takic M. et al., 2021). Ці кислоти в тканинах організму бджіл є ініціаторами синтезу дуже сильних та швидкодіючих протизапальних речовин пептидного характеру – цитокінів (Ranneh Y. et al., 2021).

Виходячи з наведеного вище наступним нашим завданням було дослідження концентрації естерифікованих, неестерифікованих і аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у гірській, передгірній та лісостеповій зонах Карпатського регіону.

У тканинах черевця, грудей та голови медоносних бджіл передгірної та лісостепової зон



Карпатського регіону, порівняно з гірською зоною, впродовж літнього періоду досліджувався вміст естерифікованих, неестерифікованих і аніонних форм насичених жирних кислот з парною (каприлової, капринової, лауринової, міристинової, пальмітинової й стеаринової) і непарною (пентадеканової) кількістю Карбонових атомів у ланцюгу, моновенасичених жирних кислот родин омега-7 (пальмітолеїнової) й омега-9 (олеїнової й ейкозаєнової) та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 (ліноленової, ейкозапентаєнової, докозатриєнової, докозапентаєнової й докозагексаєнової) і омега-6 (лінолевої, ейкозатриєнової, ейкозатетраєнової-арахідонової, докозатриєнової й докозатетраєнової). Дані про їх вміст представлені в таблицях 5, 6, 7, 8, 9 і 10. Лід відмітити, що естерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл є найбільша кількість (Burdge G. C., 2018; Giri S. et al., 2018; Саранчук I. I., 2020; Corby-Harris V. et al., 2021; Desbois A. P., Smith V. J., 2022). Менша кількість жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл є в неестерифікованій формі, ще менша – в аніонній (Саранчук I. I., 2020). Естерифіковані форми жирних кислот у згадуваних тканинах медоносних бджіл входять в склад фосфоліпідів, естерифікованого холестеролу, моно-, ди- і триацилгліцеролів. Неестерифіковані форми жирних кислот є складовими ліпопротеїнових комплексів, а аніонні – зв'язаними з катіонами (Corby-Harris V. et al., 2021; Desbois A. P., Smith V. J., 2022).

Встановлено (табл. 5), що менша загальна концентрація естерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (відповідно 17,67 г/кг сирової маси) й лісостеповій (16,98) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (21,72), на початку літнього періоду зумовлена нижчим рівнем в їх складі насичених жирних кислот з парною (відповідно 2,24 і 2,09 проти 2,93) й непарною (0,07 і 0,06 проти 0,09) кількістю атомів Карбону в ланцюгу, моновенасичених жирних кислот родин омега-7 (0,05 і 0,04 проти 0,08) і омега-9 (3,53 і 3,36 проти 4,12) та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 (6,18 і 5,97 проти 7,61) й омега-6 (відповідно 5,60 і 5,46 проти 6,89 г/кг сирової маси).

Таблиця 5. Вміст естерифікованих жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл в різних природних зонах Карпатського регіону на початку літнього періоду, г/кг сирової маси ($M \pm m$, $n=3$)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	0,08±0,003	0,04±0,003**	0,03±0,003**
Капринова, 10:0	0,05±0,003	0,03±0,003*	0,02±0,003**
Лауринова, 12:0	0,06±0,003	0,04±0,003*	0,03±0,003**
Міристинова, 14:0	0,07±0,003	0,05±0,003*	0,04±0,003**
Пентадеканова, 15:0	0,09±0,003	0,07±0,003*	0,06±0,003**
Пальмітинова, 16:0	1,20±0,028	0,93±0,024**	0,92±0,012***
Пальмітоолеїнова, 16:1	0,08±0,003	0,05±0,003*	0,04±0,003**
Стеаринова, 18:0	1,30±0,032	1,04±0,045**	0,95±0,024***
Олеїнова, 18:1	3,91±0,085	3,36±0,031**	3,21±0,059**
Лінолева, 18:2	2,79±0,074	2,28±0,080**	2,23±0,038**
Ліноленова, 18:3	4,05±0,113	3,31±0,052**	3,20±0,067**
Арахідова, 20:0	0,17±0,007	0,11±0,005**	0,10±0,006**
Ейкозаєнова, 20:1	0,21±0,006	0,17±0,003*	0,15±0,003**
Ейкозациєнова, 20:2	0,21±0,009	0,17±0,003*	0,15±0,003**
Ейкозатриєнова, 20:3	0,31±0,009	0,23±0,009**	0,21±0,006**
Арахідонова, 20:4	3,18±0,076	2,67±0,035**	2,60±0,032**
Ейкозапентаєнова, 20:5	2,17±0,071	1,74±0,023**	1,71±0,017**
Докозациєнова, 22:2	0,28±0,012	0,21±0,006**	0,19±0,007**
Докозатриєнова, 22:3	0,32±0,010	0,23±0,006**	0,21±0,006**
Докозатетраєнова, 22:4	0,32±0,009	0,25±0,006**	0,23±0,007**
Докозапентаєнова, 22:5	0,53±0,015	0,43±0,006**	0,40±0,007**
Докозагексаєнова, 22:6	0,54±0,009	0,47±0,015*	0,45±0,007**

Встановлено, що загальний рівень естерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (на 12,8 %) та лісостеповій (10,5) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (на

15,1 %), у кінці літнього періоду по відношенню до його початку, підвищується за рахунок насичених жирних кислот з парною й непарною кількістю атомів Карбону в ланцюгу, мононенасичених жирних кислот родин омега-7 і омега-9 та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 й омега-6 (табл. 6).

Таблиця 6. Вміст естерифікованих жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону в кінці літнього періоду, г/кг сирової маси ($M \pm m$, $n=3$)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	0,09±0,005	0,05±0,003*	0,04±0,003*
Капринова, 10:0	0,06±0,003	0,04±0,003*	0,03±0,003*
Лауринова, 12:0	0,06±0,005	0,05±0,003*	0,03±0,006*
Міристинова, 14:0	0,08±0,005	0,06±0,003*	0,04±0,003*

Пентадеканова, 15:0	0,10±0,005	0,08±0,003*	0,06±0,003*
Пальмітинова, 16:0	1,36±0,022	1,04±0,027*	1,02±0,011*
Пальмітоолеїнова, 16:1	0,09±0,03	0,06±0,003*	0,05±0,006*
Стеаринова, 18:0	1,49±0,030	1,18±0,071*	1,05±0,025*
Олеїнова, 18:1	4,46±0,155	3,76±0,033*	3,54±0,064*
Лінолева, 18:2	3,19±0,140	2,55±0,091*	2,45±0,042*
Ліноленова, 18:3	4,62±0,155	3,71±0,058*	3,51±0,060*
Арахінова, 20:0	0,20±0,015	0,12±0,009*	0,11±0,003*
Ейкозаєнова, 20:1	0,24±0,005	0,19±0,010*	0,16±0,005**
Ейкозациєнова, 20:2	0,24±0,015	0,19±0,003*	0,16±0,003**
Ейкозатриєнова, 20:3	0,33±0,015	0,26±0,008*	0,23±0,007*
Арахідонова, 20:4	3,63±0,150	2,99±0,040*	2,87±0,026*
Ейкозапентаєнова, 20:5	2,48±0,140	1,94±0,026*	1,88±0,020*
Докозациєнова, 22:2	0,32±0,010	0,23±0,010*	0,20±0,008*
Докозатриєнова, 22:3	0,34±0,006	0,26±0,005*	0,23±0,010*

Неестерифікованих форм жирних кислот, порівняно з естерифікованими, у тканинах організму медоносних бджіл дуже мало, всього декілька відсотків (Giri S. et al., 2018; Саранчук І. І., 2020; Corby-Harris V. et al., 2021). Але неестерифіковані форми жирних кислот є дуже активними та тому тривалість їхнього життя в тканинах організму медоносних бджіл лежить в межах 2-3 хвилини (Corby-Harris V. et al., 2021). Це пов'язано з їх дуже високою реакційною здатністю в обмінних процесах (Giri S. et al., 2018).

Встановлено (табл. 7), що менша загальна концентрація неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл,

отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (836,4 г·10⁻³/кг сирової маси) та лісостеповій (819,4) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (960,5), на початку літнього періоду зумовлена нижчим рівнем в їх складі насичених жирних кислот з парною (110,9 і 108,5 проти 129,5) й непарною (3,5 і 3,4 проти 4,3) кількістю атомів Карбону в ланцюгу, мононенасичених жирних кислот родин омега-7 (2,7 і 2,5 проти 3,4) і омега-9 (167,9 і 165,7 проти 190,3) та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 (286,5 і 282,8 проти 335,3) й омега-6 (264,9 і 256,5 проти 297,7 г·10⁻³/кг сирової маси).

Таблиця 7. Вміст неестерифікованих жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл в різних природних зонах Карпатського регіону на початку літнього періоду, г·10⁻³/кг сирової маси (M±m, n=3)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	4,1±0,15	3,1±0,09**	2,8±0,07**
Капринова, 10:0	1,6±0,06	1,2±0,09*	1,0±0,09**
Лауринова, 12:0	2,3±0,07	1,7±0,06**	1,6±0,06**
Міристинова, 14:0	2,4±0,06	1,9±0,06**	1,8±0,06**
Пентадеканова, 15:0	4,3±0,12	3,5±0,06**	3,4±0,06**
Пальмітинова, 16:0	53,0±1,43	45,6±0,45*	44,8±0,34**
Пальмітоолеїнова, 16:1	3,4±0,09	2,7±0,03**	2,5±0,06**
Стеаринова, 18:0	58,5±1,16	51,1±0,79**	50,4±1,07**
Олеїнова, 18:1	179,9±3,44	159,6±0,84**	157,8±0,57**
Лінолева, 18:2	128,3±1,91	110,9±0,53***	106,8±3,19**



Ліноленова, 18:3	184,4±4,19	159,4±2,71**	158,9±0,76**
Арахідова, 20:0	7,6±0,23	6,3±0,12**	6,1±0,06**
Ейкозаєнова, 20:1	10,4±0,38	8,3±0,09**	7,9±0,06**
Ейкозациєнова, 20:2	11,1±0,17	9,1±0,09***	8,7±0,06***
Ейкозатриєнова, 20:3	5,5±0,18	4,3±0,09**	4,0±0,09**
Арахідонова, 20:4	137,9±3,25	120,8±1,11**	118,3±1,12**
Ейкозапентаєнова, 20:5	92,2±2,30	80,0±0,67**	78,2±0,92**
Докозациєнова, 22:2	12,5±0,46	9,6±0,12**	9,2±0,12**
Докозатриєнова, 22:3	13,4±0,42	10,1±0,15**	9,8±0,17**
Докозатетраєнова, 22:4	13,5±0,41	10,2±0,15**	9,5±0,07***
Докозапентаєнова, 22:5	21,5±0,50	17,8±0,12**	17,2±0,09**
Докозагексаєнова, 22:6	23,8±0,79	19,2±0,15**	18,7±0,17**

Загальний вміст неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (на 10,1 %) та лісостеповій (8,0) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (відповідно на 13,1 %), у

кінці літнього періоду по відношенню до його початку, зростає з боку насичених жирних кислот з парною й непарною кількістю атомів Карбону в ланцюгу, моновенасичених жирних кислот родин омега-7 і омега-9 та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 й омега-6 (табл. 8).

Таблиця 8. Вміст неестерифікованих жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл в різних природних зонах Карпатського регіону в кінці літнього періоду, $\text{г} \cdot 10^{-3} / \text{кг}$ сирової маси ($M \pm m$, $n=3$)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	4,5±0,30	3,3±0,12*	3,0±0,07*
Капринова, 10:0	1,7±0,10	1,3±0,09*	1,1±0,12*
Лауринова, 12:0	2,5±0,05	1,8±0,06**	1,7±0,06**
Міристинова, 14:0	2,6±0,10	2,0±0,09*	1,9±0,06*
Пентадеканова, 15:0	4,7±0,25	3,8±0,06*	3,6±0,06*
Пальмітинова, 16:0	59,3±2,70	50,0±0,35*	48,6±0,37*
Пальмітоолеїнова, 16:1	3,7±0,15	2,8±0,03*	2,7±0,06*
Стеаринова, 18:0	65,5±1,55	56,3±0,78*	54,5±1,16*
Олеїнова, 18:1	201,4±0,80	176,0±0,93**	171,1±0,63**
Лінолева, 18:2	143,7±3,70	122,7±0,95*	115,9±3,26*
Ліноленова, 18:3	206,5±8,05	175,8±2,97*	172,1±0,84*
Арахідова, 20:0	8,4±0,45	6,8±0,12*	6,6±0,06*
Ейкозаєнова, 20:1	11,6±0,75	9,1±0,09*	8,5±0,06*
Ейкозациєнова, 20:2	12,4±0,20	10,0±0,10*	9,4±0,05**
Ейкозатриєнова, 20:3	6,1±0,20	4,7±0,09*	4,2±0,09*
Арахідонова, 20:4	154,3±4,45	133,2±1,23*	128,2±1,20*

Ейкозапентаєнова, 20:5	103,2±0,25	88,2±1,06**	82,4±2,51*
Докозациєнова, 22:2	13,9±0,85	10,5±0,14*	9,9±0,11*
Докозатриєнова, 22:3	15,0±0,65	11,1±0,15*	10,4±0,20*
Докозатетраєнова, 22:4	15,1±0,70	11,0±0,31*	10,3±0,10*
Докозапентаєнова, 22:5	24,0±0,95	19,6±0,12*	18,5±0,09*
Докозагексаєнова, 22:6	26,5±1,55	21,1±0,18*	20,2±0,17*

Зменшення вмісту неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах медоносних бджіл, які утримуються у вуликах, розміщених в передгірній та особливо лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні, видно пов'язано з їх переходом в аніонну форму. Це зумовлено насамперед зв'язуванням неестерифікованих форм жирних кислот катіонами важких металів (Iri S. et al., 2018).

Аніонних форм жирних кислот у тканинах медоносних бджіл також є дуже мало, всього декілька відсотків (Corby-Harris V. et al., 2021). До того ж аніонні форми жирних кислот є малоактивними та тривалість їх життя в тканинах медоносних бджіл сильно залежить від зміни окисно-відновного потенціалу (Giri S. et al., 2018).

Встановлено (табл. 9), що більша загальна концентрація аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (844,1 г·10⁻³/кг сирової маси) та лісостеповій (868,0) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (741,4), на початку літнього періоду зумовлена вищим рівнем в їх складі насичених жирних кислот з парною (115,1 і 118,0 проти 99,2) й непарною (3,5 і 3,7 проти 2,9) кількістю атомів Карбону в ланцюгу, мононенасичених жирних кислот родин омега-7 (3,2 і 3,4 проти 2,5) і омега-9 (162,2 і 170,9 проти 149,7) та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 (285,6 і 291,9 проти 250,3) й омега-6 (274,5 і 280,1 проти 236,8 г·10⁻³/кг сирової маси).

Таблиця 9. Вміст аніонних жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл в різних природних зонах Карпатського регіону на початку літнього періоду, г·10⁻³/кг сирової маси (M±m, n=3)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	3,1±0,06	3,8±0,07**	3,9±0,09**
Капринова, 10:0	1,2±0,06	1,7±0,06**	1,8±0,06**
Лауринова, 12:0	1,3±0,09	2,0±0,06**	2,1±0,06**
Міристинова, 14:0	1,7±0,06	2,3±0,06***	2,5±0,06***
Пентадеканова, 15:0	2,9±0,07	3,5±0,06**	3,7±0,06***
Пальмітинова, 16:0	40,5±0,77	45,0±1,17*	46,0±1,24*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,5±0,09	3,2±0,06**	3,4±0,10**
Стеаринова, 18:0	45,9±0,66	53,8±0,78**	55,0±0,93**
Олеїнова, 18:1	141,6±2,18	153,0±0,69**	161,4±1,56**
Лінолева, 18:2	101,6±2,00	116,1±1,07**	117,8±0,95**
Ліноленова, 18:3	135,2±2,19	149,3±1,18**	151,9±1,30**
Арахінова, 20:0	5,5±0,09	6,5±0,09**	6,7±0,12**
Ейкозаєнова, 20:1	8,1±0,13	9,2±0,09**	9,5±0,09***
Ейкозациєнова, 20:2	8,2±0,15	9,7±0,12**	10,0±0,20**
Ейкозатриєнова, 20:3	8,0±0,12	9,2±0,09**	9,5±0,10***



Арахідонова, 20:4	101,0±1,85	117,5±1,16**	119,1±1,21**
Ейкозапентаєнова, 20:5	74,7±1,77	88,0±1,08**	90,0±1,60**
Докозатриєнова, 22:3	9,0±0,19	11,0±0,52*	11,5±0,42**
Докозатетраєнова, 22:4	9,3±0,18	11,7±0,40**	12,5±0,41**
Докозапентаєнова, 22:5	14,7±0,20	17,5±0,36**	18,2±0,43**
Докозагексаєнова, 22:6	16,7±0,23	19,8±0,49**	20,3±0,41**

Загальна концентрація аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній (на 10,4 %) та лісостеповій (8,6) зонах Карпатського регіону, порівняно з тканинами черевця медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у гірській зоні (на 11,6 %), у кінці літнього періоду по відношенню до його початку, збільшується за рахунок насичених жирних кислот з парною й непарною кількістю атомів Карбону в ланцюгу, мононенасичених жирних кислот родин омега-7 і омега-9 та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 й омега-6 (табл. 10).



Таблиця 10. Вміст аніонних жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону в кінці літнього періоду, $\text{г} \cdot 10^{-3} / \text{кг}$ сирової маси ($M \pm m$, $n=3$)

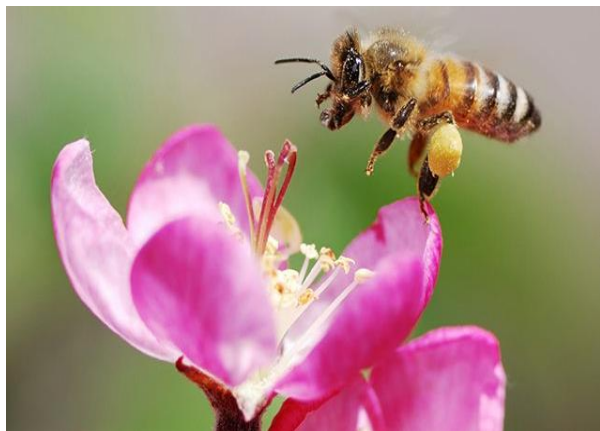
Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	гірська	передгірна	лісостепова
Каприлова, 8:0	3,5±0,10	4,1±0,10*	4,3±0,09*
Капринова, 10:0	1,4±0,10	1,8±0,03*	2,0±0,06*
Лауринова, 12:0	1,5±0,10	2,2±0,09*	2,3±0,06*
Міристинова, 14:0	1,9±0,05	2,5±0,06*	2,7±0,06*
Пентадеканова, 15:0	3,2±0,10	3,8±0,06*	4,0±0,06*
Пальмітинова, 16:0	45,4±1,45	49,7±0,96*	49,4±1,32*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,8±0,10	3,5±0,06*	3,8±0,09*
Стеаринова, 18:0	51,4±1,30	59,2±0,87*	59,6±1,03*
Олеїнова, 18:1	158,6±4,20	174,3±0,75*	175,7±1,17*
Лінолева, 18:2	113,8±3,65	127,2±1,12*	128,6±0,90*
Ліноленова, 18:3	149,7±3,45	164,2±1,02*	164,7±1,41*
Арахідова, 20:0	6,1±0,15	7,1±0,09*	7,3±0,09*
Ейкозаєнова, 20:1	8,9±0,20	10,1±0,09*	10,3±0,09*
Ейкозатриєнова, 20:3	8,9±0,10	10,1±0,09*	10,6±0,15*
Арахідонова, 20:4	113,1±3,60	129,5±1,22*	129,4±1,06*
Ейкозапентаєнова, 20:5	83,6±2,45	96,7±1,22*	97,6±1,73*

Докозадиєнова, 22:2	9,6±0,30	11,3±0,12*	12,1±0,45*
Докозатриєнова, 22:3	9,3±0,10	11,4±0,09**	12,4±0,45**
Докозатетраєнова, 22:4	10,3±0,20	12,8±0,43*	13,6±0,44*
Докозапентаєнова, 22:5	16,7±0,90	19,2±0,39*	19,8±0,45*
Докозагексаєнова, 22:6	18,7±0,45	21,8±0,55*	21,9±0,46*

Це вказує на негативний вплив присутніх рядом важких металів, насамперед токсичних Плюмбуму та Кадмію, на синтез у тканинах черевця медоносних бджіл дуже активних в біологічному та функціональному відношеннях більш довголанцюгових і ненасичених естерифікованих і особливо неестерифікованих форм жирних кислот родин омега-3 й омега-6.

Разом із тим це свідчить про те, що тканини черевця медоносних бджіл у кінці літнього періоду по відношенню до його початку нагромаджують в своєму складі естерифіковані, неестерифіковані та аніонні форми жирних кислот. Причому тканини черевця бджіл нагромаджують в своєму складі у більшій мірі естерифіковані форми жирних кислот. Неестерифіковані та особливо аніонні форми жирних кислот нагромаджуються в тканинах черевця бджіл у значно менших кількостях.

Нагромадження естерифікованих, неестери-



фікованих і аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, видно, насамперед пов'язане з функціональною активністю жирового тіла та підготовкою організму до виживання у складний зимовий період.

Слід також зазначити, що екологічні умови довкілля значно впливають на рівень нагромадження естерифікованих, неестерифікованих і аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл. Зокрема рівень нагромадження наведених вище форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, які утримуються у вуликах, розміщених у гірській зоні Карпатського регіону, порівняно з тканинами бджіл, які утримуються на пасіках, розміщених у передгірній та особливо лісостеповій зонах, є вищим.

Підсумовуючи наведене вище, можна стверджувати, що високий рівень важких металів і аніонних форм жирних кислот та низький естерифікованих і неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у передгірній та особливо лісостеповій зонах Карпатського регіону, є наслідком урбанізації та індустріалізації території.

Встановлено, що медова продуктивність робочих бджіл у гірській зоні Карпатського регіону знаходиться на рівні 46,6±0,95 кг, в передгірній – 36,6±1,04, $p<0,05$, а в лісостеповій – 31,2±0,56 кг, $p<0,01$ на одну бджолосім'ю за сезон. Видно, що через високий рівень важких металів, у тому числі токсичних, але низький – естерифікованих жирних кислот, у тканинах, знижується медова продуктивність робочих бджіл. На такий же негативний вплив територій, забруднених важкими металами, на продуктивні ознаки медоносних бджіл вказують також інші вчені (Gizaw G. et al., 2020; Monchanin C. et al., 2021).

У всьому світі ведуться пошуки засобів біоіндикації екологічного стану довкілля (Комарова І., 2018; Costa A. et al., 2021). Це пов'язано з тим, що важкі метали, як і інші забруднювачі навколишнього середовища, мають неодинаковий рівень переходу з ґрунту в кореневу систему, з кореневої системи в стебло, з стебла в суцвіття та з суцвіття в пилок і нектар.

Раніше вказувалось (Саранчук І. І., Рівіс Й. Ф. 2008), що в умовах Карпатського регіону біоіндикатором екологічного стану довкілля, через оптимальний вміст важких металів і жирних кислот, може служити пилок *Taraxacum officinale* Wigg. Позитивним в цьому біоіндикаторі є те, що він дозволяє визначати різні рівні нагромадження важких металів і різних форм жирних кислот та тим самим дає більше інформації. Біоіндикатором екологічного стану довкілля за вмістом важких металів і різних форм жирних кислот можуть служити також тканини черевця медоносних бджіл.

Висновки

У тканинах черевця медоносних бджіл передгірної (163,76 $\text{г}\cdot10^{-3}/\text{кг}$ сирої маси) й лісостепової (191,91) зон, порівняно з гірською зоною (130,04 $\text{г}\cdot10^{-3}/\text{кг}$ сирої маси), на початку літнього періоду є більший сумарний вміст досліджуваних важких металів. При цьому в тканинах черевця медоносних бджіл передгірної й лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, є вищий рівень небезпечних



елементів першого класу токсичності – Плюмбуму (у 1,4–1,8 рази) та Кадмію (у 1,8–2,9 рази). Також помітно є більша концентрація елемента другого класу токсичності – Хрому (у 1,3–1,6 рази).

Тканини черевця медоносних бджіл гірської зони в кінці літнього періоду порівняно до його початку накопичують в собі всього на 2,70 % більший сумарний вміст важких металів, тоді як тканини черевця бджіл передгірної та лісостепової зон – відповідно на 7,74 і 10,03 % більший.

У напрямку від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону в тканинах черевця медоносних бджіл спостерігається зменшення вмісту естерифікованих (відповідно 21,7-23,2, 17,7-18,6 й 17,0-17,7 г/кг сирової маси) і неестерифікованих (960,5-1002,5, 805,5-873,9 й 771,8-819,4 г·10⁻³/кг сирової маси) форм жирних кислот, але збільшення – аніонних (відповідно 493,1-741,4, 578,9-844,1 й 603,3-868,0 г·10⁻³/кг сирової маси).

Рівень нагромадження естерифікованих, неестерифікованих і аніонних форм жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, які утримуються у вуликах, розміщених у гірській (відповідно на 15,1, 13,1 і 11,6 %) зоні Карпатського регіону, порівняно з тканинами бджіл, які утримуються на пасіках, розміщених у передгірній

(12,8, 10,1 і 10,4) та особливо лісостеповій (відповідно на 10,5, 8,0 і 8,6 %) зонах, впродовж літнього періоду є вищим.

Медова продуктивність робочих бджіл на одну бджолосім'ю за сезон у передгірній та особливо в лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з гірською, є меншою відповідно на 27,3 % і 49,4 %.

Біоіндикатором екологічного стану довкілля за вмістом важких металів і різних форм жирних кислот можуть служити тканини черевця медоносних бджіл.



Список використаної літератури

- Al-Kahtani S. N., Taha E.-K. A., Farag S. A., Taha R. A., Abdou E. A., Mahfouz H. M. Harvest Season Significantly Influences the Fatty Acid Composition of Bee Pollen. *Biology*. 2021. Vol. 10, Issue 6. P. 495-504. doi: 10.3390/biology10060495
- Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, Issue 9. P. 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Castañón C., Boyce M., Millar H., Lawler N., Bates T., Grass J. Mobilization of Lipids Underpins Honey Bee and Colony Health During Limited Supplementary Feeding. *Research Square*. 2022. P. 1-28. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1248474/v1> Електронний ресурс: <https://assets.researchsquare.com/files/rs1248474/v1/0552fe71-eb7c-44d4-afc5cb5fbd4aa5d.pdf?c=1645003298>
- Corby-Harris V., Bennett M. M., Deeter M. E., Snyder L., Meador C., Welchert A. C., Hoffman A., Obernesser B. T., Carroll M. J. Fatty acid homeostasis in honey bees (*Apis mellifera*) fed commercial diet supplements. *Apidologie*. 2021. Vol. 52, P. 1195-1209. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00896-0>
- Costa A., Veca M., Barberis M., Cicerone L., Tangorra F. M. Predicting atmospheric cadmium and lead using honeybees as atmospheric heavy metals pollution indicators. Results of a monitoring survey in Northern Italy. *Italian Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 20, Issue 1. P. 850-858.

- Desbois A. P., Smith V. J. Antibacterial free fatty acids: activities, 5 mechanisms of action and 6 biotechnological potential P. 1-50.

Електронний ресурс:

<https://core.ac.uk/download/pdf/9821228.pdf> (accessed 11.10.2022).

- Didaras N. A., Karatasou K., Dimitriou T. G., Amoutzias G. D., Mossialos D. Antimicrobial Activity of Bee-Collected Pollen and Beebread: State of the Art and Future Perspectives. *Antibiotics*. 2020. Vol. 9, № 11. P. 811-840. doi: 10.3390/antibiotics9110811
- Di N., Zhang K., Hladun K. R., Rust M., Chen Y.-F., Zhu Z.-Y., Liu T.-X., Trumble J. T. Joint effects of cadmium and copper on *Apis mellifera* foragers and larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2020. Vol. 237. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108839>
- El-Seedi H. R., Eid N., Abd El-Wahed A. A., Rateb M. E., Afifi H. S., Algethami A. F., Zhao C., Al Naggari Y., Alsharif S. M., Tahir H. E., Xu B., Wang K., Khalifa S.A. M. Honey Bee Products: Preclinical and Clinical Studies of Their Anti-inflammatory and Immunomodulatory Properties. *Front. Nutr.* 2022. Vol. 8. doi: 10.3389/fnut.2021.761267 Електронний ресурс: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.761267/full>
- Giri S., Rule D. C., Dillon M. E. Fatty acid composition in native bees: Associations with thermal and feeding ecology. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 2018. Vol. 218. P. 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.01.013>



- Gizaw G., Kim Y. H., Moon K. H., Choi J. B., Kim Y. H., Park J. K. Effect of environmental heavy metals on the expression of detoxification-related genes in honey bee *Apis mellifera*. *Apidologie*. 2020. Vol. 51. P. 664–674. Doi: 10.1007/s13592-020-00751-8
- Hsu P.-S., Wu T.-H., Huang M.-Y., Wang D.-Y., Wu M.-C. Nutritive Value of 11 Bee Pollen Samples from Major Floral Sources in Taiwan. *Foods*. 2021. Vol. 10, Issue 9, P. 2229–2244. <https://doi.org/10.3390/foods10092229>
- Identification of a metallothionein gene in honey bee *Apis mellifera* and its expression profile in response to Cd, Cu and Pb exposure / J. Purać et al. *Mol. Ecol.* 2019. Vol. 28, № 4. P. 731–745.
- Klym O., Stadnytska O. Heavy metals in the dandelion and apple tree pollen from the different terrestrial ecosystems of the Carpathian region. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*. 2019. Vol. 18, № 3. S. 15–20.
- Kobysch A. I., Chechet O. M., Shuliak S. V., Omelchun Yu. A., Miahka K. S., Marchenko T. V., Liniichuk N. V. The problem of the spread of toxicants in animal husbandry and the environment. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. "Veterinary Medicine" series*. 2021. Issue 3 (54). P. 17–25. DOI <https://doi.org/10.32845/bsnau.vet.2021.3.3>
- Komarova I. *Taraxacum officinale* as bioindicator of heavy metal accumulation in soil. *Danish Scientific Journal (DSJ)*. Istedgade 1041650 København V Denmark. 2018. № 8. P. 10–12. (site: <http://www.danish-journal.com>).
- Kovalskyi Yu. V., Kyrlyliv Ya. I. Technology of obtaining beekeeping products. Lviv, 2011. 253 p.
- Kovka N. O., Nedashkivskiy V. M. Duration and periods of flowering of the main nectarifera in conditions of the right-bank forest-steppe. *Animal husbandry of Ukraine*. 2019. No 4. P. 36–39.
- Krainiukov O., Kryvytska I., Cherkashyna Yu. Assessment of the influence of heavy metals on the photosynthetic apparatus of plants. A young scientist. *Biological sciences*. 2020. No 4 (80). P. 244–252. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-51>
- Kryvyi M. M., Zhukovets O. I., Dikhtiar O. O. Assessment of honey-bearing resources of forest ecosystems based on their typology. *Agrarian science. Animal feeding and feed technology*. 2018. Issue 2(101). P. 34–43.
- Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine: a handbook / Vlizlo V. V. i in. Lviv, 2012. 759 p.
- Loretta Y., Yong R. N., Thomas H. R. Fate and Transport of Lead Pollution Along a Highway Corridor. *Geoenvironmental Engineering*. 2015. <https://doi.org/10.1680/geimogacl.32774.0012> URL: <https://www.icervirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/geimogacl.32774.0012> (last accessed: 12.09.2021).
- Mărgăoan R., Özkök A., Keskin Ş., Mayda N., Urcan A. C., Cornea-Cipcigan M. Bee collected pollen as a value-added product rich in bioactive compounds and unsaturated fatty acids: A comparative study from Turkey and Romania. *LWT*. 2021. Vol. 149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111925>
- Електронний ресурс: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643821010781>
- Matin G., Kargar N., Buyukisik H. B. Biomonitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*. 2016. Vol. 90, № 5. P. 331–335.
- Matuszewska E., Klupczynska A., Maciołek K., Kokot Z. J., Matysiak J. Multielemental Analysis of Bee Pollen, Propolis, and Royal Jelly Collected in West-Central Poland. *Molecules*. 2021. Vol. 26, Issue 9. P. 1–18. doi: 10.3390/molecules26092415
- Methodology of agrochemical certification of agricultural lands / Za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd. dopov. Kyiv, 2019. 108 p. (Governing normative document).
- Methodology and organization of scientific research in animal husbandry: manual / Za red. I. I. Ibatullina, O. M. Zhukorskoho. Kyiv: Ahrarna nauka, 2017. 328 p.
- Monchanin C., Drujont E., Devaud J.-M., Lihoreau M., Barron A. B. Metal pollutants have additive negative effects on honey bee cognition. *Journal of Experimental Biology*. 2021. Vol. 224. P. 1–9. doi:10.1242/jeb.241869
- Polyunsaturated fatty acid metabolism / Edited by: G. C. Burdge. 2018. Academic Press et AOCS Press. 252 p.
- Ranneh Y., Akim A. M., Hamid H. A., Khazaai H., Fadel A., Zakaria Z. A., Albujja M., Fadzelly M., Bakar A. Honey and its nutritional and anti-inflammatory value. *BMC Complementary Medicine and Therapies*. 2021. Vol. 21, Issue 30. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-020-03170-5>
- Razanov S. F., Didur I. M., Pervachuk M. V. Effectiveness of reduction of soil pollution by lead and cadmium by bee pollination of agricultural crops in the conditions of their mineral nutrition. *Agriculture and forestry: coll. of science Ave. VNAU*. 2015. No 2. P. 94–101.
- Ricigliano V. A., Dong C., Richardson L. T., Donnarumma F., Williams S. T., Solouki T., Murray K. K. Honey Bee Proteome Responses to Plant and Cyanobacteria (blue-green algae) Diets. *ACS Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 1, № 1. P. 17–26. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00001>
- Rivis Y., Zaborski D., Gutty B., Hopanenko O., Diachenko O., Stadnytska O., Klym O., Saranchuk I., Bratyuk V., Fedak V. Quantitative and simultaneous gas chromatographic determination of various forms long-chain fatty acids in biological material / *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. Bucharest, 2022. Vol. 65, № 2. P. 24–29.
- Saranchuk I. I., Rivis Y. F. Fatty acid composition of bee pollen depending on environmental conditions. *Biology of animals*. 2008. Vol. 10, No 1, 2. P. 236–244.
- Saranchuk I. I. Level of non-esterified fatty acids in abdominal tissues and productive traits of bees fed different amounts of linseed oil. *Foothill and*

- mountain agriculture and animal husbandry. 2020. Issue. 67 (II). P. 253-264.
- Takic M., Zekovic M., Terzic B., Stojavljevic A., Mijuskovic M., Radjen S., Ristic-Medic D. Zinc Deficiency, Plasma Fatty Acid Profile and Desaturase Activities in Hemodialysis Patients: Is Supplementation Necessary? *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. P. 1-15. Doi:10.3389/fnut.2021.700450
- The requirement for cobalt in vitamin B₁₂: A paradigm for protein metalation / Osman D. et al. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Molecular Cell Research*. 2021. Vol. 1868, Issue 1. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118896>
- Trinkl M., Kaluza B. F., Wallace H., Heard T. A., Keller A., Leonhardt S. D. Floral Species Richness Correlates with Changes in the Nutritional Quality of Larval Diets in a Stingless Bee. *Insects*. 2020. Vol. 11, Issue 125. P. 1-20. Doi:10.3390/insects11020125
- Tykhonova O. M., Kyrilchuk K. S., Shapoval V. P. Research of the gross content of nickel and arsenic in the diversion lanes of highways in the city of Sumy. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"*. 2020. Issue 2 (40). P. 62-70.
- Vozhehova R. A., Vlashchuk A. M., Drobit O. S. Improvement of the ecological and remedial condition of soils on the basis of smart specialization. Materials of the 10th All-Ukrainian scientific and practical conference of young scientists "Current problems of agro-industrial production of Ukraine: sustainable development of agriculture in conditions of climate change", Lviv-Obroshyno. 2021. P. 15–16.

FEATURES OF THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND VARIOUS FORMS OF FATTY ACIDS IN THE TISSUES OF THE ABDOMEN AND THE HONEY PRODUCTIVITY OF BEES DEPENDING ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE ENVIRONMENT

Yosyp RIVIS¹, Volodymyr POSTOIENKO², Oleh STASIV¹, doctors of agricultural sciences
Olha STADNYTSKA¹, Ivan SARANCHUK³, Oleh KLYM¹, Oleksandr DIACHENKO¹, Vasyi FEDAK¹, candidates of agricultural sciences, Olha HOPANENKO⁴, candidate of biological sciences

¹Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the NAAS

²NSC "Institute of Beekeeping named after P. I. Prokopovych",

³Bukovyna state agricultural research station,

⁴VNKZ LOR "Andrei Krupynskyi Lviv Medical Academy"

The article shows that experimental apiaries of clinically healthy honey bees of the Carpathian breed were selected on the basis of private apiary farms in the mountain, foothill and forest-steppe zones of the Lviv region. In order to assess the intensity of man-made load on the environment where experimental bee apiaries are located, the content of heavy metals, including toxic ones, was determined in the topsoil, bee pollen and abdominal tissues of honey bees. It was recorded that in the abdominal tissues of honey bees of the foothills and forest-steppe zones, compared to the mountain zone, at the beginning of the summer period, there is a higher total content of the studied heavy metals. At the same time, in the tissues of the abdomen of honey bees of the foothills and forest-steppe zones, compared to the conditionally clean mountain environment, there is a higher level of dangerous elements of the first toxicity class – Lead and Cadmium. There is also a noticeable higher concentration of the element of the second class of toxicity – Chromium. Abdomen tissues of honey bees of the mountain zone at the end of the summer period, compared to before its beginning, accumulate a small total amount of heavy metals, while the tissues of honey bees of the foothill zone have a larger amount, and the tissues of bees of the forest-steppe zone have the largest amount. In the direction from the mountain to the foothills and further to the forest-steppe zone of the Carpathian region, in the abdominal tissues of honeybees, there is a decrease in the content of esterified and non-esterified forms of fatty acids, but an increase in anionic ones. The level of accumulation of esterified, non-esterified and anionic forms of fatty acids in the abdominal tissues of honey bees kept in hives located in the mountainous zone of the Carpathian region, compared to the tissues of bees kept in apiaries located in the foothills and especially forest-steppe zones, during the summer period is higher. The honey productivity of worker bees per beehive per season in the foothills and especially in the forest-steppe zones of the Carpathian region is lower, compared to the mountains. Abdominal tissue of honey bees can serve as a bioindicator of the ecological state of the environment in terms of the content of heavy metals and various forms of fatty acids.

Keywords: natural zones of the Carpathian region, heavy metals, fatty acids, abdominal tissue and honey productivity of bees, bioindicator.

Отримано: 20.01.2023
Погоджено до друку: 02.02.2023