УДК 574.23;591.5;577.115.118;638.1
DOI 10.46913/beekeepingjournal.2022.10.07

[1] **РІВІС Й. Ф.,** д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0002-6249-3440, e-mail: inagrokarpat@gmail.com

[2] **ПОСТОЄНКО В. О.,** д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб., член-кор. НААН, ORCID: 0000-0002-6515-7004, e-mail: nnc_ibkiev@ukr.net

[1] **СТАСІВ О. Ф.,** д-р с.-г. наук, доц., ORCID: 0000-0003-3737-739X, e-mail: inagrokarpat@gmail.com

[1] **СТАДНИЦЬКА О. І.,** канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0001-6574-4068, e-mail: stadnytskaolha@ukr.net

[3] **УСЕНКО О. О.,** д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0001-9263-5625, e-mail: sveta_usenko@ukr.net

[3] **ШАФЕРІВСЬКИЙ Б. С.,** канд. с.-г. наук, доц., ORCID: 0000-0001-5742-5016, e-mail: bogdan.shaferivskyi@pdaa.ua

[4] **БЕЗАЛТИЧНА О. О.,** канд. с.-г. наук, асист., ORCID: 0000-0002-4257-0699, e-mail: spectvppt@ukr.net

[4] **ЯСЬКО В. М.,** канд. с.-г. наук, асист., ORCID: 0000-0001-9876-8621, e-mail: valentinayasko2207@gmail.com

[4] **ГАРБАР А. В.,** аспірантка, ORCID: 0000-0002-9933-0047, e-mail: spectvppt@ukr.net

[5] **САРАНЧУК І. І.,** канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0003-4695-7804, e-mail: saranchukiv@gmail.com

[1] **КЛИМ О. Я.,** канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0002-6330-8489, e-mail: inagrokarpat@gmail.com

[1] **ДЯЧЕНКО О. Б.,** канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0002-9140-841X, e-mail: inagrokarpat@gmail.com

[6] **ГОПАНЕНКО О. О.,** канд. біол. наук, старш. наук. співроб., ORCID: 0000-0003-0842-0248, e-mail: hopanenko@gmail.com

[1]Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, с. Оброшине, Львівська обл., Україна
[2]ННЦ «Інститут бджільництва імені П. І. Прокоповича», м. Київ, Україна
[3]Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
[4]Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
[5]Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція ІСГКР НААН, м. Чернівці, Україна
[6]ВНКЗ ЛОР «Львівська медична академія імені Андрея Крупинського», м. Львів, Україна

СКЛАД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І ВМІСТ НЕЕСТЕРИФІКОВАНИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ У ТКАНИНАХ БДЖІЛ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Зафіксовано вміст важких металів, зокрема й токсичних, і неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця, грудей і голови та медову продуктивність робочих бджіл у Гірській, Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону. Вказано на можливість використання вмісту важких металів і неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах бджіл як біоіндикатора екологічного стану довкілля.

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

Вступ. Джерела емісії важких металів і шляхи їх надходження в навколишнє середовище відрізняються розмаїтістю, але загалом вони мають техногенне походження як наслідок урбанізації й індустріалізації. Урбанізація й індустріалізація, зокрема діяльність промисловості, сільського господарства, енергетики та транспорту, а також інтенсивне видобування корисних копалин – усе це призвело до надходження в повітря, у воду, ґрунт і рослини важких металів, зокрема й високотоксичних – Плюмбуму, Кадмію й Арсену (Kovka, Nedashkivskyi, 2019; Briffa et al., 2020; Tykhonova et al., 2020).

Міграція важких металів в об'єктах зовнішнього середовища спричинила нагромадження їх у ґрунтах і рослинах (Briffa et al., 2020; Krainiukov et al., 2020; Tykhonova et al., Kyrylchuk, Shapoval, 2020). Як наслідок, одні види рослин поступилися місцем іншим, змінилися строки їх цвітіння, отже, і умови медозбору бджолами (Kryvyi et al., 2018; Kovka, Nedashkivskyi, 2019; Krainiukov et al., 2020; Al-Kahtani et al., 2021; Kobysh et al., 2021). Наведене вище призвело також до накопичення

важких металів у тканинах медоносних бджіл і продуктах бджільництва (Didaras et al., 2020; Al-Kahtani et al., 2021; Mărgăoan et al., 2021; Ricigliano et al., 2021).

Як відомо, важкі метали, токсичні також, причетні до процесів синтезу, десатурації, пероксидного окиснення довголанцюгових жирних кислот у рослинних і тваринних тканинах і рідинах. Унаслідок цього змінюється забезпеченість тканин рослин, зокрема пилку, і бджіл енергетичним, структурним, біологічно активним і антимікробним матеріалом (Giri et al., 2018; Corby-Harris et al., 2021; Desbois, Smith, 2022). Усе це відбивається на продуктивності бджолиних сімей і якісних показниках їхньої продукції (Matin et al., 2016; Gizaw et al., 2020; Monchanin et al., 2021).

Тому актуальним є питання виробництва екологічно безпечних продуктів бджільництва. Адже продукції медоносних бджіл належить чільне місце в життєдіяльності людини (Matin et al., 2016; Didaras et al., 2020; Costa et al., 2021; Ricigliano et al., 2021; El-Seedi et al., 2022). До якісних показників продукції медоносних бджіл ставляться дуже високі вимоги, оскільки нині Україна стала основним експортером медів у 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 (Klym, Stadnytska, 2019).

З огляду на наведене вище значний науково-практичний інтерес становлять дослідження вмісту важких металів, зокрема й токсичних, і дуже активних неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах медоносних бджіл і медової продуктивності робочих бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону.

Мета роботи. Зафіксувати вміст важких металів, зокрема й токсичних, і неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах і медову продуктивність бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону.

Матеріали та методи досліджень. Піддослідні пасіки клінічно здорових медоносних бджіл породи карпатська (*Apis mellifera* (L.) *carpatica*) були підібрані на базі приватних пасічних господарств Гірської (смт 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 розташовані піддослідні пасіки медоносних бджіл, визначався вміст важких металів (Ферум, Цинк, Купрум, Хром, Кобальт, Нікол, Плюмбум і Кадмій) в орному шарі ґрунту, бджолиному обніжжі та тканинах медоносних бджіл.

У кожній із вищеописаних природних зон Карпатського регіону на 3 пасіках і на кожній на 5 вуликах досліджувалася медова продуктивність робочих бджіл (Ковальський, Кирилів, 2011). Зокрема, медова продуктивність бджіл досліджувалась на початку червня, у середині липня та в середині серпня шляхом відкачування медових рамок. Ці дослідження проводились у розрахунку на одну бджолосім'ю середньої сили й однакової за віком матки. Окрім того, на кожній пасіці із 3 вуликів у весняно-літній період для лабораторних досліджень відбирались зразки бджолиного обніжжя та медоносних бджіл. Водночас у радіусі корисного льоту медоносних бджіл відбирались зразки орного шару ґрунту.

У відібраних зразках орного шару ґрунту, бджолиного обніжжя та тканин черевця, грудей і голови медоносних бджіл визначався вміст важких металів, зокрема й токсичних, а у зразках згадуваних тканин медоносних бджіл – неестерифікованих форм жирних кислот. Водночас аналізувалося значення рівня важких металів, зокрема й токсичних, і неестерифікованих форм жирних кислот тканин для організму медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону.

Уміст важких металів (Ферум, Цинк, Купрум, Кобальт, Хром, Нікол, Плюмбум і Кадмій) у відібраних зразках орного шару ґрунту, бджолиного обніжжя та тканин черевця, грудей і голови медоносних бджіл визначався за чинним натепер державним стандартом (ДСТУ 4405:2005) на атомно-абсорбційному спектрофотометрі – Селмі-115 (Vlizlo et al., 2012). Уміст неестерифікованих форм жирних кислот у згадуваних тканинах медоносних бджіл визначався методом газорідинної хроматографії (Rivis et al., 2022).

Отриманий цифровий матеріал опрацьовано методом варіаційної статистики з використанням критерію Стьюдента (Ibatullin, Zhukorskyi, 2017). Вираховувалися середні арифметичні величини (M) і похибки середніх арифметичних (±m). Різниці вважалися вірогідними за $p < 0,05$. Для розрахунків використані комп'ютерні програми Origin 6.0, Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення. Установлено, що в орному шарі ґрунту Передгірної та Лісостепової зон Карпатського регіону, порівняно з умовно чистою Гірською зоною, є вірогідно більший вміст Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому та Ніколу й особливо небезпечних елементів першого класу

токсичності – Плюмбуму та Кадмію (табл. 1). З наведених у таблиці даних також видно, що в орному шарі ґрунті Лісостепової зони Карпатського регіону міститься найвищий рівень досліджуваних важких металів.

Отримані дані характеризують рівень техногенного забруднення довкілля на піддослідних територіях. Високий рівень Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію у ґрунтах є причиною збільшення їх концентрації у бджолиному обніжжі (пилку рослин), отриманому в Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону (табл. 2).

Високий рівень Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію у бджолиному обніжжі, у свою чергу, є причиною зростання їх вмісту у тканинах медоносних бджіл. Зокрема, установлено, що у тканинах черевця (відповідно 163,76 г•10^{-3}/кг сирої маси і 191,91 проти 127,61), грудей (80,10 і 97,24 проти 65,27) та голови (відповідно 100,32 і 119,32 проти 81,24 г•10^{-3}/кг сирої маси) медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон, порівняно з Гірською зоною, є більший сумарний вміст досліджуваних важких металів (табл. 3, 4 і 5). Особливо вагомо у тканинах медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, підвищується рівень небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму (у 1,33–4,00 рази) та Кадмію (у 1,78–4,00 рази). Також помітно збільшується концентрація елемента другого класу токсичності – Хрому (в 1,18–1,60 раз).

Варто звернути увагу також на те, що тканини черевця медоносних бджіл є значно активнішими акумуляторами важких металів, порівняно із тканинами грудей і голови. Практично всі важкі метали в 1,61–2,04 рази більшій кількості нагромаджуються у тканинах черевця медоносних бджіл, ніж у тканинах грудей і голови.

Вказані вище важкі метали бджолиного обніжжя причетні до вмісту жирних кислот у тканинах бджіл. Тому наступним нашим завданням було дослідження вмісту неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у Гірській, Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону.

Установлено (табл. 6, 7 і 8), що менший загальний вміст неестерифікованих форм жирних кислот у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених

Таблиця 1

Валовий вміст важких металів, зокрема й токсичних, в орному шарі ґрунту в різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг повітряно-сухої маси (M ± m, n = 3)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	14 325,00 ± 294,214	15 184,29 ± 454,862*	16 573,04 ± 294,429**
Цинк, Zn	47,58 ± 4,488	78,52 ± 3,722**	96,13 ± 4,890***
Купрум, Cu	21,60 ± 1,391	34,56 ± 1,828**	45,64 ± 2,264***
Кобальт, Co	11,76 ± 0,375	13,63 ± 0,560**	17,20 ± 1,830***
Хром, Cr	41,69 ± 2,283	63,65 ± 3,584**	87,53 ± 4,163***
Нікол, Ni	21,24 ± 1,625	41,33 ± 2,512***	59,42 ± 3,214***
Плюмбум, Pb	19,37 ± 0,784	25,83 ± 1,442*	33,30 ± 2,870***
Кадмій, Cd	2,03 ± 0,088	2,60 ± 0,115*	3,20 ± 0,271***

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

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

Таблиця 2

Вміст важких металів, зокрема й токсичних, у бджолиному обніжжі в різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг повітряно-сухої маси (M ± m, n = 3)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	33,52 ± 0,830	37,11 ± 0,781*	43,39 ± 2,253**
Цинк, Zn	34,39 ± 1,91	39,20 ± 0,900*	42,72 ± 0,872**
Купрум, Cu	2,01 ± 0,089	3,02 ± 0,169*	4,20 ± 0,170***
Кобальт, Co	1,01 ± 0,029	1,14 ± 0,050*	1,44 ± 0,112***
Хром, Cr	4,10 ± 0,177	5,02 ± 0,180*	6,68 ± 0,149***
Нікол, Ni	0,58 ± 0,015	0,65 ± 0,015*	0,74 ± 0,023**
Плюмбум, Pb	0,12 ± 0,007	0,18 ± 0,009*	0,26 ± 0,012**
Кадмій, Cd	0,04 ± 0,003	0,07 ± 0,007*	0,10 ± 0,009**

Таблиця 3

Вміст важких металів, зокрема й токсичних, у тканинах черевця медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої 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, зокрема й токсичних, у тканинах грудей медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої маси (M ± m, n = 3)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	36,10 ± 0,931	42,18 ± 0,812**	49,06 ± 0,555***
Цинк, Zn	17,51 ± 0,587	23,50 ± 0,625**	31,46 ± 0,507***
Купрум, Cu	1,93 ± 0,041	2,82 ± 0,061***	3,17 ± 0,070***
Кобальт, Co	1,84 ± 0,035	2,19 ± 0,077*	2,40 ± 0,049***
Хром, Cr	3,08 ± 0,046	3,51 ± 0,058**	4,34 ± 0,186**
Нікол, Ni	4,00 ± 0,049	4,80 ± 0,085**	5,47 ± 0,128***
Плюмбум, Pb	0,78 ± 0,023	1,04 ± 0,068*	1,25 ± 0,038***
Кадмій, Cd	0,03 ± 0,003	0,06 ± 0,003*	0,09 ± 0,003**

Таблиця 5

Вміст важких металів, зокрема й токсичних, у тканинах голови медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої маси (M ± m, n = 3)

Метал і його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	26,79 ± 0,607	31,16 ± 0,979*	36,59 ± 1,324**
Цинк, Zn	30,13 ± 0,630	36,30 ± 0,564**	44,00 ± 0,280***
Купрум, Cu	8,39 ± 0,319	14,35 ± 0,417***	17,66 ± 0,400***
Кобальт, Co	7,22 ± 0,055	7,56 ± 0,078*	7,97 ± 0,084**
Хром, Cr	6,87 ± 0,098	8,15 ± 0,117**	9,47 ± 0,254***
Нікол, Ni	1,00 ± 0,055	1,47 ± 0,041**	1,78 ± 0,058**
Плюмбум, Pb	0,81 ± 0,030	1,25 ± 0,044**	1,73 ± 0,050***
Кадмій, Cd	0,03 ± 0,003	0,08 ± 0,003***	0,12 ± 0,006***

у Передгірній і особливо Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно із тканинами черевця, грудей і голови медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у Гірській зоні, спричинений нижчим рівнем у їхньому складі насичених жирних кислот із парною (каприлова, капринова, лауринова, міристинова, пальмітинова та стеаринова) та непарною (пендеканова) кількістю карбонових атомів у ланцюгу, мононенасичених жирних кислот родин омега-7 (пальмітолеїнова) й омега-9 (олеїнова й ейкозаєнова) та поліненасичених жирних кислот родин омега-3 (ліноленова, ейкозапентаєнова, докозатриєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова) і омега-6 (лінолева, ейкозадиєнова, ейкозатриєнова, ейкозатетраєнова-арахідонова, докозадиєнова й докозатетраєнова).

Установлено, що медова продуктивність робочих бджіл у Гірській зоні Карпатського регіону перебуває на рівні 46,6±0,95 кг, у 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.

Установлено, що в орному шарі ґрунту Передгірної та Лісостепової зон Карпатського регіону, порівняно з умовно чистою Гірською зоною, є вірогідно більший уміст досліджуваних важких

Таблиця 6

Вміст неестерифікованих жирних кислот у тканинах черевця медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої 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**
Арахінова, 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**
Ейкозадиєнова, 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**
Докозадиєнова, 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**

Таблиця 7

Вміст неестерифікованих жирних кислот у тканинах грудей медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої маси (M ± m, n = 3)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Каприлова, 8:0	0,8 ± 0,03	0,6 ± 0,03*	0,5 ± 0,03**
Капринова, 10:0	1,3 ± 0,03	0,8 ± 0,03***	0,7 ± 0,003***
Лауринова, 12:0	1,8 ± 0,06	1,4 ± 0,06**	1,2 ± 0,06**
Міристинова, 14:0	3,3 ± 0,06	2,7 ± 0,06**	2,5 ± 0,07***
Пентадеканова, 15:0	4,3 ± 0,10	3,6 ± 0,07**	3,4 ± 0,03**
Пальмітинова, 16:0	58,9 ± 1,46	51,2 ± 0,84*	50,2 ± 1,10**
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,9 ± 0,07	2,2 ± 0,06**	2,0 ± 0,09**
Стеаринова, 18:0	54,7 ± 1,09	47,6 ± 0,69*	47,0 ± 0,64**
Олеїнова, 18:1	160,3 ± 3,18	131,6 ± 1,63**	124,1 ± 2,54**
Лінолева, 18:2	134,1 ± 4,11	108,9 ± 2,62**	99,4 ± 2,85**
Ліноленова, 18:3	151,6 ± 3,16	122,9 ± 1,78**	115,7 ± 3,07**
Арахінова, 20:0	6,7 ± 0,17	5,4 ± 0,12**	5,1 ± 0,09**
Ейкозаєнова, 20:1	10,9 ± 0,43	8,7 ± 0,12**	8,5 ± 0,11**
Ейкозадиєнова, 20:2	12,1 ± 0,40	9,5 ± 0,23**	9,2 ± 0,14**
Ейкозатриєнова, 20:3	11,3 ± 0,76	8,6 ± 0,14*	8,2 ± 0,20*
Арахідонова, 20:4	150,3 ± 3,20	123,1 ± 2,46**	122,0 ± 1,17**
Ейкозапентаєнова, 20:5	108,9 ± 5,19	86,8 ± 1,47*	84,6 ± 1,34*
Докозадиєнова, 22:2	11,2 ± 0,52	9,0 ± 0,09*	8,6 ± 0,12**
Докозатриєнова, 22:3	12,2 ± 0,46	9,3 ± 0,28**	9,0 ± 0,14**
Докозатетраєнова, 22:4	15,7 ± 0,47	11,5 ± 0,58**	11,0 ± 0,90*
Докозапентаєнова, 22:5	35,8 ± 0,81	29,3 ± 0,52**	28,3 ± 0,72**
Докозагексаєнова, 22:6	42,4 ± 1,15	31,8 ± 0,92**	31,6 ± 0,34***

Таблиця 8

Вміст неестерифікованих жирних кислот у тканинах голови медоносних бджіл у різних природних зонах Карпатського регіону, г•10–3/кг сирої маси (M ± m, n = 3)

Кислота та її код	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Каприлова, 8:0	0,9 ± 0,06	0,6 ± 0,03*	0,5 ± 0,03**
Капринова, 10:0	1,3 ± 0,03	0,8 ± 0,03***	0,7 ± 0,03***
Лауринова, 12:0	1,8 ± 0,06	1,3 ± 0,03**	1,2 ± 0,03**
Міристинова, 14:0	3,8 ± 0,11	3,1 ± 0,06**	2,9 ± 0,06**
Пентадеканова, 15:0	5,6 ± 0,17	4,6 ± 0,06**	4,4 ± 0,06**
Пальмітинова, 16:0	65,0 ± 2,25	54,2 ± 0,67**	52,9 ± 0,84**
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,9 ± 0,14	1,9 ± 0,03**	1,7 ± 0,07**
Стеаринова, 18:0	47,7 ± 1,36	38,5 ± 0,81**	37,6 ± 0,84**
Олеїнова, 18:1	161,0 ± 2,54	145,1 ± 0,64**	138,8 ± 3,86**
Лінолева, 18:2	130,8 ± 3,00	114,8 ± 0,58**	111,1 ± 1,74**
Ліноленова, 18:3	161,3 ± 2,35	148,8 ± 1,44*	144,0 ± 2,28**
Арахінова, 20:0	7,0 ± 0,15	5,8 ± 0,12**	5,5 ± 0,12**
Ейкозаєнова, 20:1	9,0 ± 0,26	7,4 ± 0,15**	7,1 ± 0,15**
Ейкозадиєнова, 20:2	7,5 ± 0,23	6,0 ± 0,12**	5,7 ± 0,15**
Ейкозатриєнова, 20:3	7,0 ± 0,26	5,4 ± 0,18**	5,0 ± 0,20**
Арахідонова, 20:4	151,7 ± 2,04	136,0 ± 1,07**	133,4 ± 1,66**
Ейкозапентаєнова, 20:5	102,5 ± 4,61	89,0 ± 1,85*	86,5 ± 1,77*
Докозадиєнова, 22:2	9,5 ± 0,23	8,0 ± 0,12**	7,8 ± 0,17**
Докозатриєнова, 22:3	9,8 ± 0,29	8,4 ± 0,18*	8,1 ± 0,09**
Докозатетраєнова, 22:4	20,0 ± 0,90	14,9 ± 0,38**	14,3 ± 0,38**
Докозапентаєнова, 22:5	42,2 ± 1,53	33,1 ± 0,92**	32,1 ± 1,29**
Докозагексаєнова, 22:6	54,2 ± 1,52	46,2 ± 0,50**	45,4 ± 0,71**

металів. Водночас в орному шарі ґрунту Лісостепової зони Карпатського регіону спостерігається найвищий рівень досліджуваних важких металів. Вміст особливо небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму та Кадмію – в орному шарі ґрунту в наведеній вище зоні є в 1,1 раз більшим за гранично допустиму концентрацію (Yatsuk, Baliuk, 2019). Уважається, що зростання вмісту Плюмбуму в орному шарі ґрунту пов'язано з інтенсивним рухом автотранспорту (Loretta et al., 2015), а Кадмію – з енесенням меліорантів і мінеральних добрив, насамперед фосфогіпсу та суперфосфату відповідно (Razanov et al., 2015; Vozhehova et al., 2021). Видно, наявні у фосфогіпсі та суперфосфаті залишки фосфорної кислоти є сильним зв'язуючим елементом і носієм для Кадмію.

Отримані дані характеризують рівень техногенного забруднення довкілля на піддослідних територіях. Високий рівень важких металів, зокрема й токсичних у ґрунтах, є причиною збільшення їхньої концентрації у бджолиному обніжжі (пилку рослин), отриманому в Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону. Усе це є наслідком більшої урбанізації й індустріалізації наведених вище територій.

Варто зазначити, що в Лісостеповій зоні Карпатського регіону, порівняно з Гірською, в орному шарі ґрунту та бджолиному обніжжі досить високий вміст пробіотичних важких металів – Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому та Ніколу. Наведені вище важкі метали в допустимих кількостях украй необхідні для нормального функціонування тканин рослин і бджіл (Hsu et al., 2021). Але підвищений в орному шарі ґрунту та бджолиному обніжжі рівень токсичних Плюмбуму та Кадмію, видно, здатний нівелювати позитивний вплив пробіотичних важких металів на згадувані тканини (Purać et al., 2019).

Установлено, що у тканинах черевця (відповідно 163,76 г•10^{-3}/кг сирої маси і 191,91 проти 127,61), грудей (80,10 і 97,24 проти 65,27) та голови (відповідно 100,32 і 119,32 проти 81,24 г•10^{-3}/кг сирої маси) медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон, порівняно з Гірською зоною, є більший сумарний вміст досліджуваних важких металів. Особливо вагомо у тканинах медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, підвищується рівень небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму (в 1,33–4,00 рази) та Кадмію (в 1,78–4,00 рази). Також помітно збільшується концентрація елемента другого класу токсичності – Хрому (в 1,18–1,60 рази).

Варто звернути увагу також на те, що тканини черевця медоносних бджіл є значно активнішими акумуляторами важких металів, порівняно із тканинами грудей і голови. Практично всі важкі метали в 1,61–2,04 рази більшій кількості нагромаджуються у тканинах черевця медоносних бджіл, ніж у тканинах грудей і голови.

Важкі метали за фізіологічно зумовленого рівня причетні до обмінних процесів і вмісту жирних кислот у тканинах організму бджіл (Osman et al., 2021; Bunbury et al., 2022). Зокрема, ініційований Кобальтом синтез протеїнів у тканинах бджіл, через активацію транспортних та інформаційних нуклеїнових кислот (Osman et al., 2021; Bunbury et al., 2022), зазвичай супроводжується акумуляцією поліненасичених жирних кислот, необхідних для побудови цитоплазматичних і клітинних мембран.

Купрум, через те, що він входить до складу 9-десатурази, у тканинах організму бджіл за фізіологічно зумовленого рівня сприяє утворенню з насичених жирних кислот пальмітинової та стеаринової мононенасичених жирних кислот родин відповідно омега-7 (пальмітоолеїнова) і омега-9 (олеїнова) (Di et al., 2020; Takic et al., 2021).

Лінолева та ліноленова кислоти, які послідовно синтезуються у тканинах рослин з олеїнової кислоти, уважаються незамінними для бджіл, тому мають надходити в їхній організм із кормом (Hajiahmadi et al., 2020; Hsu et al., 2021; Takic et al., 2021). Уже у тканинах бджіл із лінолевої та ліноленової кислот через те, що Цинк входить до складу 2-, 3-, 4-, 5- і 6-десатурази, синтезуються ще більш довголанцюгові та більш ненасичені жирні кислоти відповідно родин омега-6 (ейкозатриєнова, ейкозатетраєнова-арахідонова, докозадиєнова та докозатетраєнова) і омега-3 (ейкозапентаєнова, докозатриєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова) (Hsu et al., 2021; Takic et al., 2021).

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

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

Виходячи з наведеного вище, наступним нашим завданням було дослідження вмісту неестерифікованих жирних кислот у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у Гірській, Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону.

Неестерифікованих форм жирних кислот, порівняно з естерифікованими, у тканинах організму медоносних бджіл дуже мало (Burdge, 2018; Giri et al., 2018; Saranchuk, 2020; Corby-Harris et al., 2021; Desbois, Smith, 2022). Але неестерифіковані форми жирних кислот є дуже активними (Saranchuk, 2020; Desbois, Smith, 2022). Це пов'язано з їхньою дуже високою реакційною здатністю в обмінних процесах (Corby-Harris et al., 2021; Desbois, Smith, 2022).

В енергетичному відношенні ліпіди є набагато цінніші від протеїнів і вуглеводів (Ruedenauer et al., 2021; Stabler et al., 2021). Джерела літератури свідчать про те, що чим більша кількість жирних кислот міститься у тканинах, тим більша їхня енергетична цінність для організму медоносних бджіл (Ruedenauer et al., 2021). В енергетичному відношенні неестерифіковані форми жирних кислот для тканин медоносних бджіл є найбільш доступними (Castaños et al., 2022).

Установлено, що найбільша кількість неестерифікованих форм насичених, мононенасичених і поліненасичених жирних кислот міститься у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл у Гірській зоні Карпатського регіону (відповідно 960,5, 991,5 і 1 002,5 г•10^{-3}/кг сирої маси), менша кількість їх у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл у Передгірній зоні (836,4, 805,5 і 873,9), ще менша в Лісостеповій (відповідно 819,4, 771,8 і 845,2 г•10^{-3}/кг сирої маси).

Неестерифіковані форми поліненасичених жирних кислот родин омега-3 і омега-6 у невеликих кількостях входять у структуру клітинних і цитоплазматичних мембран організму та деякою мірою забезпечують їхню функціональну активність і, у кінцевому результаті, життєдіяльність бджіл (Trinkl et al., 2020). Водночас неестерифікована форма лінолевої кислоти та її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти в організмі бджіл є ініціатором прозапальних процесів (Mărgăoan et al., 2021), а ліноленової кислоти та її більш довголанцюгових і ненасичених жирних кислот – протизапальних (Ranneh

et al., 2021). Неестерифіковані форми лінолевої та ліноленової кислот і їх більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти діють на організм бджіл через відповідні прозапальні та протизапальні цитокіни пептидного характеру (Ranneh et al., 2021).

Зафіксовано, що найбільша кількість неестерифікованих форм поліненасичених жирних кислот родин омега-6 і омега-3, які входять у структуру клітинних і цитоплазматичних мембран організму та забезпечують їхню функціональну активність і, у кінцевому результаті, життєдіяльність бджіл, міститься у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл Гірської зони Карпатського регіону (відповідно 297,7, 334,7 і 326,5 та 335,3, 350,9 і 370,0 г•10^{-3}/кг сирої маси), менша кількість їх у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл у Передгірній зоні (264,9, 270,6 і 285,1 та 286,5, 280,1 і 325,5), ще менша в Лісостеповій (відповідно 256,5, 258,4 і 277,3 та 282,8, 269,2 і 316,1 г•10^{-3}/кг сирої маси). Згадувані неестерифіковані форми поліненасичених жирних кислот родин омега-6 і омега-3 в таких же кількостях у тканинах бджіл є ініціаторами відповідно прозапальних і протизапальних процесів.

Неестерифіковані форми поліненасичених жирних кислот ліноленової та лінолевої у тканинах організму бджіл насамперед є попередниками цілої низки більш довголанцюгових і більш ненасичених жирних кислот відповідно родин омега-3 (ейкозапентаєнової, докозатриєнової, докозапентаєнової та докозагексаєнової) і омега-6 (ейкозатриєнової, ейкозатетраєнової-арахідонової, докозадиєнової та докозатетрапєнової). У реакціях перетворення ліноленової та лінолевої кислот у їх більш довголанцюгові та більш ненасичені похідні у тканинах бджіл активну участь бере Цинк, оскільки він входить до складу 2-, 3-, 4-, 5- і 6-десатураз (Di et al., 2021). Водночас співвідношення вмісту неестерифікованих форм ліноленової та лінолевої кислот до вмісту їх більш довголанцюгових і ненасичених жирних кислот родин відповідно омега-3 й омега-6 вказує на інтенсивність перетворення менш функціонально та біологічно активних перших на активніші другі (Hsu et al., 2021).

Естановлено, що неестерифікована форма ліноленової кислоти е тканинах черевця та голови медоносних бджіл, які утримуються в Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з Гірською, менш повно перетворюється на її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родини омега-3 (відповідно 1,25 і 1,28 проти 1,22 та 0,84 і 0,84 проти 0,77). Водночас інтенсивність перетворень неестерифікованої форми ліноленової кислоти в її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родини омега-3 у тканинах грудей медоносних бджіл Передгірної зони знижується (0,78 проти 0,76), а Лісостепової – має тенденцію до зростання (0,75 проти 0,76).

З наведених вище таблиць також видно, що неестерифікована форма лінолевої кислоти у тканинах черевця медоносних бджіл, які утримуються в Передгірній і особливо в Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з Гірською, дуже інтенсивно перетворюється на її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родини омега-6 (відповідно 0,72 і 0,71 проти 0,76). Водночас у тканинах грудей медоносних бджіл Передгірної зони (0,67 проти 0,67) та голови медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон (відповідно 0,67 і 0,67 проти 0,67) не змінюється інтенсивність перетворення лінолевої кислоти на її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти. Водночас у тканинах грудей медоносних бджіл Лісостепової зони сильно зростає інтенсивність перетворення згадуваної кислоти на її більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родини омега-6 (0,63 проти 0,67).

Наведене вище вказує на компенсаторні й адаптивні зміни інтенсивності перетворень неестерифікованих форм ліноленової та лінолевої кислот на їх більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родин відповідно омега-3 й омега-6 у тканинах організму медоносних бджіл, які утримуються в різних природних зонах Карпатського регіону.

Неестерифіковані форми лінолевої та ліноленової кислот і їх більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти є дуже цінними для організму бджіл (Mărgăoan et al., 2021). Ці кислоти деякою мірою служать структурним матеріалом для побудови клітинних і цитоплазматичних мембран тканин бджіл (Matuszewska et al., 2021). Із цих кислот в організмі бджіл насамперед синтезуються біологічно активні речовини – простагландини, тромбоксани та лейкотриєни (Mărgăoan et al., 2021). Тим самим поліненасичені жирні кислоти родин омега-3 й омега-6 впливають на стан здоров'я та життєдіяльність бджіл.

Низький загальний вміст неестерифікованих форм поліненасичених і мононенасичених жирних кислот родин омега-3, омега-6, омега-7 і омега-9 здатний через організм бджіл, зокрема воскові залози, сприяти зростанню крихкості стінок бджолиних стільників (Vishchur et al., 2016). Водночас дуже низький вміст наведених вище жирних кислот у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл може викликати зменшення проникливості його структурних складових частин для води та водорозчинних

речовин, тим самим гальмувати інтенсивність обмінних процесів (Matuszewska et al., 2021). Він також може сприяти зменшенню функціональної активності клітинних і цитоплазматичних мембран організму медоносних бджіл, тим самим пригнічувати їхню життєдіяльність.

Констатовано, що загальний вміст неестерифікованих поліненасичених і мононенасичених жирних кислот родин омега-3, омега-6, омега-7 і омега-9, які меншою або більшою мірою здатні впливати на функціональний стан організму та життєдіяльність, у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у Передгірній (відповідно 723,0, 693,2 і 765,0 г•10^{-3}/кг сирої маси) та Лісостеповій (707,5, 662,2 і 740,5) зонах Карпатського регіону, порівняно із тканинами черевця, грудей і голови медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у Гірській зоні (відповідно 826,7, 859,7 і 869,4 г•10^{-3}/кг сирої маси), є менший.

Насичені (каприлова, капринова, лауринова та міристинова), мононенасичені (пальмітоолеїнова й олеїнова) та поліненасичені (лінолева, ліноленова, ейкозаєнова, ейкозадиєнова, ейкозатриєнова, ейкозатетраєнова-арахідонова, ейкозапентаєнова, докозадиєнова, докозатриєнова, докозатетраєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова) жирні кислоти забезпечують антибактеріальний і антигрибковий захист організму медоносних бджіл (Didaras et al., 2020; Mărgăoan et al., 2021; Bakour et al., 2022). Зокрема, виявлено високу антибактеріальну активність наведених вище кислот щодо гнильця бджіл (Wang et al., 2021).

Каприлова та меншою мірою капринова, ще меншою мірою лауринова та ще меншою мірою міристинова кислоти володіють антимікробною дією завдяки високій здатності знижувати концентрацію іонів Гідрогену (Didaras et al., 2020; Bakour et al., 2022), а пальмітоолеїнова, олеїнова, лінолева, ліноленова, ейкозаєнова, ейкозадиєнова, ейкозатриєнова, ейкозатетраєнова-арахідонова, ейкозапентаєнова, докозадиєнова, докозатриєнова, докозатетраєнова, докозапентаєнова та докозагексаєнова – із зростанням цього ряду підвищувати поверхневу активність тканин мікроорганізмів, тим самим сильно пригнічувати їхню життєдіяльність за нормального осмотичного тиску навколишнього середовища (Mărgăoan et al., 2021; Wang et al., 2021).

Загальний вміст неестерифікованих форм каприлової, капринової, лауринової, міристинової, пальмітоолеїнової, олеїнової, лінолевої, ліноленової, ейкозаєнової, ейкозадиєнової, ейкозатриєнової, ейкозатетраєнової-арахідонової, ейкозапентаєнової, докозадиєнової, докозатриєнової, докозатетраєнової, докозапентаєнової та докозагексаєнової кислот, які забезпечують антибактеріальний і антигрибковий захист організму бджіл, у тканинах черевця, грудей і голови медоносних бджіл, отриманих із вуликів, розміщених у Передгірній (відповідно 729,9, 698,7 і 770,8 г•10^{-3}/кг сирої маси) та Лісостеповій (714,7, 665,1 і 745,8) зонах Карпатського регіону, порівняно із тканинами черевця, грудей і голови медоносних бджіл, відібраних із вуликів, розміщених у Гірській зоні (відповідно 837,1, 866,3 і 877,7 г•10^{-3}/кг сирої маси), є менший. Це вагомо впливає, як свідчить наукова література (Didaras et al., 2020; Wang et al., 2021; Bakour et al., 2022), на антибактеріальну й антигрибкову активність тканин організму медоносних бджіл. Від цього сильно залежить стійкість мікропопуляції медоносних бджіл до захворювань і виживання у складних екологічних і погодних умовах.

Отже, у результаті збільшення техногенного навантаження на довкілля та накопичення важких металів, насамперед токсичних, у компонентах екосистеми знижується енергетична, структурна, біологічна й антимікробна цінність найбільш функціонально активної маси жирних кислот для організму бджіл.

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

Установлено, що медова продуктивність робочих бджіл у Гірській зоні Карпатського регіону є найвищою, меншою вона в Передгірній зоні, ще менша в Лісостеповій. Видно, що через високий рівень важких металів, зокрема й токсичних, але низький – неестерифікованих 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 et al., 2021).

У всьому світі ведуться пошуки засобів біоіндикації екологічного стану довкілля (Komarova, 2018; Costa et al., 2021; Di Fiore et al., 2022). Це пов'язано з тим, що важкі метали, як і інші забруднювачі навколишнього середовища, мають неоднаковий рівень переходу із ґрунту в кореневу систему, з кореневої системи у стебло, із стебла в суцвіття й із суцвіття в пилок і нектар.

Раніше вказувалось (Saranchuk, Rivis, 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 у цьому біоіндикаторі є те, що він дозволяє визначати різні рівні нагромадження важких металів і жирних кислот, тим самим дає більше інформації. Біоіндикатором екологічного стану довкілля за вмістом важких металів і неестерифікованих форм жирних кислот можуть служити також тканини організму медоносних бджіл.

Висновки. Сумарний вміст досліджуваних важких металів у тканинах медоносних бджіл у Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з Гірською зоною, є в 1,23–1,50 раз більшим. Особливо вагомо у тканинах медоносних бджіл Передгірної та Лісостепової зон, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям, підвищується рівень небезпечних елементів першого класу токсичності – Плюмбуму (в 1,33–4,00 рази) та Кадмію (в 1,78–4,00 рази). У Карпатському регіоні всі важкі метали в 1,61–2,04 рази більшій кількості нагромаджуються у тканинах черевця медоносних бджіл, ніж у тканинах грудей і голови. У напрямку від Гірської до Передгірної та далі до Лісостепової зони Карпатського регіону у тканинах медоносних бджіл спостерігається зменшення вмісту неестерифікованих форм жирних кислот (960,5–1 002,5, 805,5–873,9 й 771,8–819,4 г•10^{-3}/кг сирої маси). Неестерифіковані форми ліноленової та лінолевої кислот у тканинах черевця медоносних бджіл, які утримуються в Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з Гірською, менш повно перетворюються на їх більш довголанцюгові та ненасичені жирні кислоти родин омега-3 (відповідно 1,25 і 1,28 проти 1,14 і 1,22) і омега-6 (відповідно 0,84 і 0,84 проти 0,68 і 0,77). Водночас у тканинах голови медоносних бджіл, які утримуються в наведених вище зонах, різко зменшується інтенсивність перетворення неестерифікованої форми ліноленової кислоти на її більш довголанцюгові та ненасичені похідні родини омега-3 (0,84 проти 0,64). Унаслідок накопичення важких металів у тканинах знижується енергетична (на 27,9–33,8%), структурна (24,8–44,6), біологічна (17,5–24,7) і антимікробна (на 25,1–32,0%) цінність неестерифікованих форм жирних кислот для організму медоносних бджіл, які утримуються у вуликах, розміщених у Передгірній і особливо Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно із тканинами бджіл, які утримуються на пасіках, розміщених у Гірській зоні. Медова продуктивність робочих бджіл на одну бджолосім'ю за сезон є меншою в Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з Гірською, відповідно на 27,3 і 49,4%. Біоіндикатором екологічного стану довкілля за вмістом важких металів і неестерифікованих форм жирних кислот можуть служити тканини організму медоносних бджіл. Надалі необхідно визначити вміст важких металів і неестерифікованих жирних кислот у бджолиних стільниках (язиках) і важких металів у натуральних поліфлорних медах, отриманих із вуликів, розміщених у Гірській, Передгірній і Лісостеповій зонах Карпатського регіону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Дослідження валового вмісту Нікелю та Арсену у смугах відведення автошляхів м. Суми / О.М. Тихонова та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету.* Серія «Агрономія і біологія». 2020. Вип. 2 (40). С. 62–70.

Ковальський Ю.В., Кирилів Я.І. Технологія одержання продуктів бджільництва. Львів, 2011. 253 с.

Ковка Н.О., Недашківський В.М. Тривалість та періоди цвітіння основних нектаропилконосів в умовах Лісостепу правобережного. *Тваринництво України*. 2019. № 4. С. 36–39.

Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : довідник / В.В. Влізло та ін. Львів, 2012. 759 с.

Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.

Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві : посібник / за ред. І.І. Ібатулліна, О.М. Жукорського. Київ : Аграрна наука, 2017. 328 с.

Оцінка впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин / О.М. Крайнюков та ін. *Молодий вчений.* Серія «Біологічні науки». 2020. № 4 (80). С. 244–252. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-4-80-51.

Оцінка медоносних ресурсів лісових екосистем на основі їх типології / М.М. Кривий та ін. *Аграрна наука. Годівля тварин та харчові технології кормів*. 2018. Вип. 2 (101). С. 34–43.

Поліпшення еколого-меліоративного стану грунтів на засадах смарт-спеціалізації / Р.А. Вожегова та ін. *Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: сталий розвиток сільського господарства в умовах змін клімату :* матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, с. Оброшино, 11 листопада 2021 р. Львів ; Оброшино, 2021. С. 15–16.

Проблема поширення токсикантів у тваринництві і довкіллі / А.І. Кобиш та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету.* Серія «Ветеринарна медицина». 2021. Вип. 3 (54). С. 17–25. DOI: 10.32845/bsnau.vet.2021.3.3.

Саранчук І.І., Рівіс Й.Ф. Жирнокислотний склад бджолиного обніжжя залежно від екологічних умов довкілля. *Біологія тварин*. 2008. Т. 10. № № 1, 2. С. 236–244.

Саранчук І.І. Рівень неестерифікованих жирних кислот у тканинах черевця та продуктивні ознаки бджіл за згодовування різної кількості лляної олії. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 67 (II). С. 253–264.

Ефективність зниження забруднення ґрунтів свинцем і кадмієм за бджолозапилення сільськогосподарських культур в умовах їх мінерального підживлення / С.Ф. Разанов та ін. *Сільське господарство та лісівництво:*

збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2015. № 2. С. 94–101.

Antimicrobial Activity of Bee-Collected Pollen and Beebread: State of the Art and Future Perspectives / N.A. Didaras et al. *Antibiotics*. 2020. Vol. 9. № 11. P. 811–840. DOI: 10.3390/antibiotics9110811.

Bee Bread as a Promising Source of Bioactive Molecules and Functional Properties: An Up-To-Date Review / M. Bakour et al. *Antibiotics*. 2022. Vol. 11. Issue 2. P. 1–39. DOI: 10.3390/antibiotics11020203.

Bee collected pollen as a value-added product rich in bioactive compounds and unsaturated fatty acids: A comparative study from Turkey and Romania / R. Mărgăoan et al. *LWT*. 2021. Vol. 149. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111925.

Biomonitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves / G. Matin et al. *Ecological Engineering*. 2016. Vol. 90. № 5. P. 331–335.

Desbois A.P., Smith V.J. Antibacterial free fatty acids: activities, 5 mechanisms of action and 6 biotechnological potential P. 1–50. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/9821228.pdf (дата звернення: 11.10.2022).

Effect of environmental heavy metals on the expression of detoxification-related genes in honey bee Apis mellifera / G. Gizaw et al. *Apidologie*. 2020. Vol. 51. P. 664–674. DOI: 10.1007/s13592-020-00751-8.

Fatty acid homeostasis in honey bees (Apis mellifera) fed commercial diet supplements / V. Corby-Harris et al. *Apidologie*. 2021. Vol. 52. P. 1195–1209. DOI: 10.1007/s13592-021-00896-0.

Fatty acid composition in native bees: Associations with thermal and feeding ecology / S. Giri et al. *Comparative Biochemistry and Physiology.* 2018. Part A. Vol. 218. P. 70–79. DOI: 10.1016/j.cbpa.2018.01.013.

Fate and Transport of Lead Pollution Along a Highway Corridor / Y. Loretta et al. *Geoenvironmtntal engsneersng*. 2015. DOI: 10.1680/geimogacl.32774.0012.

Floral Species Richness Correlates with Changes in the Nutritional Quality of Larval Diets in a Stingless Bee / M. Trinkl et al. *Insects*. 2020. Vol. 11. Issue 125. P. 1–20. DOI: 10.3390/insects11020125.

Harvest Season Significantly Influences the Fatty Acid Composition of Bee Pollen / S.N. Al-Kahtani et al. *Biology*. 2021. Vol. 10. Issue 6. P. 495–504. DOI: 10.3390/biology10060495.

Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans / J. Briffa et al. *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Issue 9. P. 1–26. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

Honey Bee Products: Preclinical and Clinical Studies of Their Anti-inflammatory and Immunomodulatory Properties / H.R. El-Seedi et al. *Front. Nutr*. 2022. Vol. 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.761267.

Honey and its nutritional and anti-inflammatory value / Y. Ranneh et al. *BMC Complementary Medicine and Therapies*. 2021. Vol. 21. Issue 30. P. 1–17. DOI: 10.1186/s12906-020-03170-5.

Honey Bee Proteome Responses to Plant and Cyanobacteria (blue-green algae) Diets / V.A. Ricigliano et al. *ACS Food Sci. Technol*. 2021. Vol. 1. № 1. P. 17–26. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.0c00001.

Honey Bees Can Taste Amino and Fatty Acids in Pollen, but Not Sterols / F.A. Ruedenauer et al. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.684175.

High-Fat Diets with Differential Fatty Acids Induce Obesity and Perturb Gut Microbiota in Honey Bee / X. Wang et al. *Int. J. Mol. Sci*. 2021. Vol. 22. № 2. P. 834–849. DOI: 10.3390/ijms22020834.

Identification, evolution, expression, and docking studies of fatty acid desaturase genes in wheat (Triticum aestivum L.) / Z. Hajiahmadi et al. *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21. Issue 778. P. 1–20. DOI: 10.1186/s12864-020-07199-1.

Identification of a metallothionein gene in honey bee Apis mellifera and its expression profile in response to Cd, Cu and Pb exposure / J. Puraćet al. *Mol. Ecol*. 2019. Vol. 28. № 4. P. 731–745.

Joint effects of cadmium and copper on Apis mellifera forgers and larvae / N. Di et al. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2020. Vol. 237. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.cbpc.2020.108839.

Klym O., Stadnytska O. Heavy metals in the dandelion and apple tree pollen from the different terrestrial ekosystems of the Carpathian region. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*. 2019. Vol. 18. № 3. P. 15–20.

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. URL: http://www.danish-journal.com.

Mobilization of Lipids Underpins Honey Bee and Colony Health During Limited Supplementary Feeding / C. Castaños et al. *Research Square*. 2022. P. 1–28. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1248474/v1.

Multielemental Analysis of Bee Pollen, Propolis, and Royal Jelly Collected in West-Central Poland / E. Matuszewska et al. *Molecules*. 2021. Vol. 26. Issue 9. P. 1–18. DOI: 10.3390/molecules26092415.

Metal pollutants have additive negative effects on honey bee cognition / C. Monchanin et al. *Journal of Experimental Biology*. 2021. Vol. 224. P. 1–9. DOI: 10.1242/jeb.241869.

Nutritive Value of 11 Bee Pollen Samples from Major Floral Sources in Taiwan / P.-S. Hsu et al. *Foods*. 2021. Vol. 10. Issue 9. P. 2229–2244. DOI: 10.3390/foods10092229.

Predicting atmospheric cadmium and lead using honeybees as atmospheric heavy metals pollution indicators. Results of a monitoring survey in Northern Italy / A. Costa et al. *Italian Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 20. Issue 1. P. 850–858.

Polyunsaturated fatty acid metabolism / Edited by: G.C. Burdge. Academic Press et AOCS Press, 2018. 252 p.

Quantitave and simultaneus gas chromatografic determination of various forms long-chain fatty acids in biological material / Y. Rivis et al. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. Bucharest, 2022. Vol. 65. № 2. P. 24–29.

Regulation of dietary intake of protein and lipid by nurse-age adult worker honeybees / D. Stabler et al. *J. Exp. Biol*. 2021. Vol. 224. Issue 3. P. 1–9. DOI: 10.1242/jeb.230615.

The direct and indirect effects of environmental toxicants on the health of bumble bees and their microbiomes / J.A. Rothman et al. DOI: 10.1101/2020.04.24.060228.

The requirement for cobalt in vitamin B_{12}: A paradigm for protein metalation / D. Osman et al. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Molecular Cell Research*. 2021. Vol. 1868. Issue 1. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2020.118896.

Younus H. Therapeutic potentials of superoxide dismutase. *Int. J. Health Sci*. 2018. Vol. 12. № 3. P. 88–93.

Zinc Deficiency, Plasma Fatty Acid Profile and Desaturase Activities in Hemodialysis Patients: Is Supplementation Necessary? / M. Takic et al. *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. P. 1–15. DOI: 10.3389/fnut.2021.700450.

REFERENCES

Vozhehova, R.A., Vlashchuk, A.M., & Drobit, O.S. (2021). Polipshennia ekoloho-melioratyvnoho stanu hruntiv na zasadakh smart-spetsializatsii [Improvement of the ecological and remedial condition of soils on the basis of smart specialization]. *Aktualni problemy ahropromyslovoho vyrobnytstva Ukrainy: stalyi rozvytok silskoho hospodarstva v umovakh zmin klimatu* [Current problems of agro-industrial production of Ukraine: sustainable development of agriculture in conditions of climate change]: materialy X Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, Lviv ; Obroshyno [in Ukrainian].

Kobysh, A.I., Chechet, O.M., Shuliak, S.V., Omelchun, Yu.A., Miahka, K.S., Marchenko, T.V., & Liniichuk, N.V. (2021). Problema poshyrennia toksykantiv u tvarynnytstvi i dovkilli [The problem of the spread of toxicants in animal husbandry and the environment]. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University.* "Veterinary Medicine" series, 3 (54), pp. 17–25. DOI: 10.32845/bsnau.vet.2021.3.3 [in Ukrainian].

Kovalskyi, Yu.V., & Kyryliv, Ya.I. (2011). Tekhnolohiia oderzhannia produktiv bdzhilnytstva [Technology of obtaining beekeeping products]. Lviv [in Ukrainian].

Kovka, N.O., & Nedashkivskyi, V.M. (2019). Tryvalist ta periody tsvitinnia osnovnykh nektaropylkonosiv v umovakh lisostepu pravoberezhnoho [Duration and periods of flowering of the main nectarifera in conditions of the right-bank forest-steppe]. *Tvarynnytstvo Ukrainy*, 4, pp. 36–39 [in Ukrainian].

Krainiukov, O., Kryvytska, I., & Cherkashyna, Yu. (2020). Otsinka vplyvu vazhkykh metaliv na fotosyntezuiuchyi aparat roslyn [Assessment of the influence of heavy metals on the photosynthetic apparatus of plants]. *Molodyi vchenyi. Biolohichni nauky*, 4 (80), pp. 244–252. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-4-80-51 [in Ukrainian].

Kryvyi, M.M., Zhukovets, & O.I., Dikhtiar, O.O. (2018). Otsinka medonosnykh resursiv lisovykh ekosystem na osnovi yikh typolohii [Assessment of honey-bearing resources of forest ecosystems based on their typology]. *Ahrarna nauka. Hodivlia tvaryn ta kharchovi tekhnolohii kormiv*, 2 (101), pp. 34–43 [in Ukrainian].

Vlizlo, V.V. et al. (2012). Laboratorni metody doslidzhen u biolohii, tvarynnytstvi ta veterynarnii medytsyni [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. Lviv [in Ukrainian].

Yatsuk, I.P., & Baliuk, S.A. (Eds.). (2019). Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands]. Kyiv (Kerivnyi nomatyvnyi dokument) [in Ukrainian].

Ibatullin, I.I., & Zhukorskyi, O.M. (Eds.) (2017). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Razanov, S.F., Didur, I.M., & Pervachuk, M.V. (2015). Efektyvnist znyzhennia zabrudnennia gruntiv svyntsem i kadmiiem za bdzholozapylennia silskohospodarskykh kultur v umovakh yikh mineralnoho pidzhyvlennia [Effectiveness of reduction of soil pollution by lead and cadmium by bee pollination of agricultural crops in the conditions of their mineral nutrition]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo:* zb. nauk. pr. VNAU, 2, pp. 94–101 [in Ukrainian].

Saranchuk, I.I., & Rivis, Y.F. (2008). Zhyrnokyslotnyi sklad bdzholynoho obnizhzhia zalezhno vid ekolohichnykh umov dovkillia [Fatty acid composition of bee pollen depending on environmental conditions]. *Biology of animals*, 10 (1, 2), pp. 236–244 [in Ukrainian].

Saranchuk, I.I. (2020). Riven neesteryfikovanykh zhyrnykh kyslot u tkanynakh cherevtsia ta produktyvni oznaky bdzhil za zghodovuvannia riznoi kilkosti llianoi olii [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*, 67(II), pp. 253–264 [in Ukrainian].

Tykhonova, O.M., Kyrylchuk, K.S., & Shapoval, V.P. (2020). Doslidzhennia valovoho vmistu Nikeliu ta Arsenu u smuhakh vidvedennia avtoshliakhiv m. Sumy [Research of the gross content of nickel and arsenic in the diversion lanes of highways in the city of Sumy]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia "Ahronomiia i biolohiia"*, 2 (40), pp. 62–70 [in Ukrainian].

Al-Kahtani, S.N., Taha, E.-K.A., Farag, S.A., Taha, R.A., Abdou, E.A., & Mahfouz, H.M. (2021). Harvest Season Significantly Influences the Fatty Acid Composition of Bee Pollen. *Biology*, 10 (6), pp. 495–504. DOI: 10.3390/biology10060495 [in Ilocano].

Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaid, D., El Ghouizi, A., Es-Safi, I., Mechchate, H., & Lyoussi, B. (2022). Bee Bread as a Promising Source of Bioactive Molecules and Functional Properties: An Up-To-Date Review. *Antibiotics*, 11 (2), pp. 1–39. DOI: 10.3390/antibiotics11020203 [in the Oromo language].

Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6 (9), pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691 [in English].

Castaños, C., Boyce, M., Millar, H., Lawler, N., Bates, T., & Grass, J. (2022). Mobilization of Lipids Underpins Honey Bee and Colony Health During Limited Supplementary Feeding. *Research Square*, pp. 1–28. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1248474/v1 [in English].

Corby-Harris, V., Bennett, M.M., Deeter, M.E., Snyder, L., Meador, C., Welchert, A.C., Hoffman, A., Obernesser, B.T., & Carroll, M.J. (2021). Fatty acid homeostasis in honey bees (Apis mellifera) fed commercial diet supplements. *Apidologie*, 52, pp. 1195–1209. DOI: 10.1007/s13592-021-00896-0 [in the Oromo language].

Costa, A., Veca, M., Barberis, M., Cicerinegri, L., & Tangorra, F.M. (2021). 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*, 20 (1), pp. 850–858 [in English].

Desbois, A.P., & Smith, V.J. Antibacterial free fatty acids: activities, 5 mechanisms of action and 6 biotechnological potential, pp. 1–50. Retrieved from: https://core.ac.uk/download/pdf/9821228.pdf (accessed 11.10.2022) [in English].

Didaras, N.A., Karatasou, K., Dimitriou, T.G., Amoutzias, G.D., & Mossialos, D. (2020). Antimicrobial Activity of Bee-Collected Pollen and Beebread: State of the Art and Future Perspectives. *Antibiotics*, 9 (11), pp. 811–840. DOI: 10.3390/antibiotics9110811 [in English].

Di, N., Zhang, K., Hladun, K. R., Rust, M., Chen, Y.-F., Zhu, Z.-Y., Liu, T.-X., & Trumble, J.T. (2020). Joint effects of cadmium and copper on Apis mellifera forgers and larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*: *Toxicology & Pharmacology*, 237, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.cbpc.2020.108839 [in English].

El-Seedi, H.R., Eid, N., Abd El-Wahed, A.A., Rateb, M.E., Afifi, H.S., Algethami, A.F., Zhao, C., Al Naggar, Y., Alsharif, S.M., Tahir, H.E., Xu, B., Wang, K., & Khalifa, S.A.M. (2022). Honey Bee Products: Preclinical and Clinical Studies of Their Anti-inflammatory and Immunomodulatory Properties. *Front. Nutr.*, 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.761267 [in the Oromo language].

Giri, S., Rule, D.C., & Dillon, M.E. (2018). Fatty acid composition in native bees: Associations with thermal and feeding ecology. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*., 218, pp. 70–79. DOI: 10.1016/j.cbpa.2018.01.013 [in English].

Gizaw, G., Kim, Y.H., Moon, K.H., Choi, J.B., Kim, Y.H., & Park, J.K. (2020). Effect of environmental heavy metals on the expression of detoxification-related genes in honey bee Apis mellifera. *Apidologie*, 51, pp. 664–674. DOI: 10.1007/s13592-020-00751-8 [in English].

Hajiahmadi, Z., Abedi, A., Wei, H., Sun, W., Ruan, H., Zhuge, Q., & Movahedi, A. (2020). Identification, evolution, expression, and docking studies of fatty acid desaturase genes in wheat (Triticum aestivum L.). *BMC Genomics*, 21 (778), pp. 1–20. DOI: 10.1186/s12864-020-07199-1 [in the Oromo language].

Hsu, P.-S., Wu, T.-H., Huang, M.-Y., Wang, D.-Y., & Wu, M.-C. (2021). Nutritive Value of 11 Bee Pollen Samples from Major Floral Sources in Taiwan. *Foods*, 10 (9), pp. 2229–2244. DOI: 10.3390/foods10092229 [in English].

Purać, J. et al. (2019). Identification of a metallothionein gene in honey bee Apis mellifera and its expression profile in response to Cd, Cu and Pb exposure. *Mol. Ecol*., 28 (4), pp. 731–745 [in English].

Klym, O., & Stadnytska, O. (2019). Heavy metals in the dandelion and apple tree pollen from the different terrestrial ekosystems of the Carpathian region. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 18 (3), pp. 15–20 [in the Oromo language].

Komarova, I. (2018). Taraxacum officinale as bioindicator of heavy metal accumulation in soil. *Danish Scientific Journal (DSJ)*. Istedgade 1041650 København V Denmark, 8, pp. 10–12. URL: http://www.danish-journal.com [in Danish].

Loretta, Y., Yong, R.N., & Thomas, H.R. (2015). Fate and Transport of Lead Pollution Along a Highway Corridor. *Geoenvironmtntal engsneersng*. DOI: 10.1680/geimogacl.32774.0012 (last accessed: 12.09.2021) [in English].

Mărgăoan, R., Özkök, A., Keskin, Ş., Mayda, N., Urcan, A.C., & Cornea-Cipcigan, M. (2021). Bee collected pollen as a value-added product rich in bioactive compounds and unsaturated fatty acids: A comparative study from Turkey and Romania. *LWT*. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111925 [in English].

Matin, G., Kargar, N., & Buyukisik, H.B. (2016). Biomonitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, 90 (5), pp. 331–335 [in English].

Matuszewska, E., Klupczynska, A., Maciołek, K., Kokot, Z.J., & Matysiak, J. (2021). Multielemental Analysis of Bee Pollen, Propolis, and Royal Jelly Collected in West-Central Poland, 26 (9), pp. 1–18. DOI: 10.3390/molecules26092415 [in Polish].

Monchanin, C., Drujont, E., Devaud, J.-M., Lihoreau, M., & Barron, A.B. (2021). Metal pollutants have additive negative effects on honey bee cognition. *Journal of Experimental Biology*, 224, pp. 1–9. DOI: 10.1242/jeb.241869 [in English].

Burdge, G.C. (Eds.) (2018). Polyunsaturated fatty acid metabolism. *Academic Press et AOCS Press* [in English].

Ranneh, Y., Akim, A.M., Hamid, H.A., Khazaai, H., Fadel, A., Zakaria, Z. A., Albujja, M., Fadzelly, M., & Bakar, A. (2021). Honey and its nutritional and anti-inflammatory value. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21 (30), pp. 1–17. DOI: 10.1186/s12906-020-03170-5 [in Ilocano].

Ricigliano, V.A., Dong, C., Richardson, L.T., Donnarumma, F., Williams, S.T., Solouki, T., & Murray, K.K. (2021). Honey Bee Proteome Responses to Plant and Cyanobacteria (blue-green algae) Diets. *ACS Food Sci. Technol*., 1 (1), pp. 17–26. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.0c00001 [in English].

Rivis, Y., Zaborski, D., Gutyj, B., Hopanenko, O., Diachenko, O., Stadnytska, O., Klym, O., Saranchuk, I., Bratyuk, V., & Fedak, V. (2022). Quantitave and simultaneus gas chromatografic determination of various forms long-chain fatty acids in biological material. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. Bucharest. 65 (2), pp. 24–29 [in English].

Rothman, J.A., Russell, K.A., Leger, L., McFrederick, Q.S., & Graystock, P. (2020). The direct and indirect effects of environmental toxicants on the health of bumble bees and their microbiomes. DOI: 10.1101/2020.04.24.060228 [in English].

Ruedenauer, F.A., Biewer, N.W., Nebauer, C.A., Scheiner, M., Spaethe, J., & Leonhardt, S.D. (2021). Honey Bees Can Taste Amino and Fatty Acids in Pollen, but Not Sterols. *Frontiers in Ecology and Evolution*. DOI: 10.3389/fevo.2021.684175 [in the Oromo language].

Stabler, D., Al-Esawy, M., Chennells, J.A., Perri, G., Robinson, A., & Wright, G.A. (2021). Regulation of dietary intake of protein and lipid by nurse-age adult worker honeybees. *J. Exp. Biol*., 224 (3), pp. 1–9. DOI: 10.1242/jeb.230615 [in English].

Takic, M., Zekovic, M., Terzic, B., Stojsavljevic, A., Mijuskovic, M., Radjen, S., & Ristic-Medic, D. (2021). Zinc Deficiency, Plasma Fatty Acid Profile and Desaturase Activities in Hemodialysis Patients: Is Supplementation Necessary? *Frontiers in Nutrition*, 8, pp. 1–15. DOI: 10.3389/fnut.2021.700450 [in English].

Osman, D. et al. (2021). The requirement for cobalt in vitamin B_{12}: A paradigm for protein metalation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Molecular Cell Research*, 1868 (1). DOI: 10.1016/j.bbamcr.2020.118896 [in English].

Trinkl, M., Kaluza, B.F., Wallace, H., Heard, T.A., Keller, A., & Leonhardt, S.D. (2020). Floral Species Richness Correlates with Changes in the Nutritional Quality of Larval Diets in a Stingless Bee. *Insects*., 11 (125), pp. 1–20. DOI: 10.3390/insects11020125 [in English].

Wang, X., Zhong, Z., Chen, X., Hong, Z., Lin, W., Mu, X., Hu, X., & Zheng, H. (2021). High-Fat Diets with Differential Fatty Acids Induce Obesity and Perturb Gut Microbiota in Honey Bee. *Int. J. Mol. Sci*., 22 (2), pp. 834–849. DOI: 10.3390/ijms22020834 [in English].

Younus, H. (2018). Therapeutic potentials of superoxide dismutase. *Int. J. Health Sci*., 12 (3), pp. 88–93 [in English].

THE COMPOSITION OF HEAVY METALS AND THE CONTENT OF NONESTERIFIED FATTY ACIDS IN THE TISSUES OF BEES DEPENDING ON THE ENVIRONMENTAL CONDITION

Rivis Y. F., Postoienko V. O., Stasiv O. F., Stadnytska O. I., Usenko S. O., Shaferivskyi B. S., Bezaltychna O. O., Yasko V. M., Saranchuk I. I., Klym O. Ya., Diachenko O. B., Hopanenko O. O.

Introduction. *In the literature, there are only fragmentary data of the content of heavy metals and various forms of fatty acids in bee honey and tissues of honey bees kept in different natural zones of the Carpathian region.*

The goal of the work. *There was to determine the content of heavy metals, including toxic and non-esterified forms of fatty acids in tissues and honey productivity of bees in different natural zones of the Carpathian region.*

Materials and methods of research. *Experimental apiaries of clinically healthy honey bees of the Carpathian breed (Apis mellifera (L.) carpatica) were selected on the basis of private apiary farms of the mountain (Slavsko village, Stryi district), foothills (Nizhnya Stynava village, Stryi district) and forest-steppe (Myklashiv village, Lviv district) zones of Lviv region. In order to assess the intensity of man-made load on the environment where experimental honey bee apiaries are located, the content of heavy metals in the topsoil, bee pollen and honey bee tissues was determined. The honey productivity of worker bees was studied in each of the above-described natural zones (3 apiaries with 5 hives in each). In addition, samples of bee pollen and honey bees were taken for laboratory research at each apiary from 3 hives in the spring-summer period. At the same time, samples of the arable layer of the soil were taken in the radius of the useful flight of honey bees. The content of heavy metals, including toxic ones, was determined using an atomic absorption spectrophotometer in selected samples of the arable soil layer, bee pollen, and tissues of honeybees, and non-esterified forms of fatty acids were determined in samples of honeybee tissues using a gas-liquid chromatograph.*

Results of research and discussion. *It was established that the arable soil layer of the foothills and forest-steppe zones of the Carpathian region has a higher content of heavy metals. The content of lead and cadmium in it increases especially strongly. The high level of heavy metals in the soil is the reason for their increased concentration in bee pollen (plant pollen). The high level of heavy metals in bee pollen, in turn, is the reason for the increase the content of heavy metals in the tissues of honey bees. The level of dangerous elements of the first class of toxicity – Lead and Cadmium – increases especially significantly in the tissues of honey bees of the foothills and forest-steppe zones. Also, the concentration of the element of the second class of toxicity – Chromium – is noticeably increasing. The above-mentioned heavy metals are involved in the content of non-esterified fatty acids in bee tissues. It was recorded that the energy, structural, biological and antimicrobial value of non-esterified forms of fatty acids for the body of bees decreases as a result of the increase in the man-made load on the environment and the accumulation of heavy metals (foremost toxic) in the components of the ecosystem. It was found that the honey productivity of worker bees is lower in the foothills and forest-steppe zones of the Carpathian region, compared to the mountainous ones. Body tissues of honey bees can serve as a bioindicator of the ecological state of the environment in terms of the content of heavy metals and non-esterified forms of fatty acids.*

Conclusions and prospects for further research. *It was established that the total content of the studied heavy metals in the tissues of honey bees in the foothills and forest-steppe zones of the Carpathian region, compared to the mountain zone, is higher. The level of dangerous elements of the first class of toxicity – Lead and Cadmium – increases especially significantly in the tissues of honey bees of the foothills and forest-steppe zones, compared to the conditionally clean mountain environment. In the Carpathian region, all heavy metals accumulate in greater quantities in the abdominal tissues of honey bees than in the tissues of the chest and head. In the direction from the mountain to the foothills and further to the forest-steppe zone of the Carpathian region, the content of non-esterified forms of fatty acids in the tissues of honey bees decreases. Non-esterified forms of linolenic and linoleic acids in the abdominal tissues of honeybees kept in the foothills and forest-steppe zones of the Carpathian region are less completely converted into their longer-chain and unsaturated fatty acids of the omega-3 and omega-6 families, compared to the mountainous ones. At the same time, in the tissues of the head of honey bees kept in the above zones, the intensity of transformation of the non-esterified form of linolenic acid into its longer-chain and unsaturated derivatives of the omega-3 family is sharply reduced. As a result of the accumulation of heavy metals in the tissues, the energy, structural, biological and antimicrobial value of non-esterified forms of fatty acids for the body of honey bees that are kept in hives located in the foothills and especially forest-steppe zones of the Carpathian region decreases, compared to the tissues of bees that are kept in apiaries, located in the mountainous area. The honey productivity of worker bees per bee colony for season is lower in the foothills and forest-steppe zones of the Carpathian region, compared to the mountainous ones. Body tissues of honey bees can serve as a bioindicator of the ecological state of the environment in terms of the content of heavy metals and non-esterified forms of fatty acids. In the future, it is necessary to determine the content of heavy metals and non-esterified fatty acids in bee combs (tongues) and heavy metals in natural polyfloral honeys obtained from beehives located in the mountain, foothill and forest-steppe zones of the Carpathian region.*

Key words: *natural zones of Carpathian region, heavy metals, fatty acids, tissues and honey productivity of bees, bioindicator.*