

МІНЕРАЛЬНИЙ І ЛІПІДНИЙ ОБМІН У ТКАНИНАХ ОРГАНІЗМУ БДЖІЛ ТА ЯКІСТЬ ЇХ ПРОДУКЦІЇ ЗА УМОВ ВИКОРИСТАННЯ В ПІДГОДІВЛІ ЦИТРАТІВ ГЕРМАНІЮ ТА СЕЛЕНУ

Ковальчук І. І.

ВСТУП

Нанотехнології на сьогоднішній день є одним з найперспективніших напрямів розвитку вітчизняної та світової науки^{1 2 3}. У ветеринарній медицині препарати, які розроблені на основі наночастинок, успішно використовують для діагностики, лікування та профілактики захворювань різної етіології. Варто звернути увагу на застосування наночастинок мінеральних елементів у складі кормових добавок у раціонах тварин і птиці^{4 5 6 7}. Додавання макро- та мікроелементів тваринам у формі карбоксилатів має низку переваг: такі органічні сполуки біометалів володіють високою

¹ Борисевич В.Б. Наноматеріали в біології. Основи нановетеринарії. / В.Б. Борисевич, В.Г. Каплуненко, М.В. Косінов [та ін.]. К.: ВД "Авіцена", 2010. 416 с.

² Патон Б.Є. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти / Б.Є. Патон, В.Ф. Москаленко, І. С. Чекман, Б.О. Мовчан // Вісник НАН України. –2009. – № 6. – С. 18-26.

³ Чекман І.С. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) / І.С. Чекман, А.М. Сердюк, Ю.І. Кундієв, І.М. Трахтенберг Довкілля та здоров'я. 2009. 1 (48). С. 3-7.

⁴ Iskra R. Y., Vlizlo V. V., Fedoruk R. S. Biological efficiency of citrates of microelements in animal breeding. *Agricultural Science and Practice*. 2017, 4, 28–34.

⁵ Каплуненко В.Г., Авдос'єва І.К., Пащенко А.Г. Реальні перспективи використання здобутків нанотехнологій у ветеринарній практиці. Науково-технічний бюлетень ДНДКІ ветпрепаратів і кормових добавок та Інституту біології тварин. 2014. 15(4). 252–260.

⁶ Влізло В.В., Федорук Р.С., Іскра Р.Я. Біологічна дія функціональних наноматеріалів у різних видів тварин. *Вісник аграрної науки*. 2018, № 11 (788). С. 80-86.

⁷ Влізло В.В., Башенко М.І., Іскра Р.Я., Федорук Р.С., Жукорський О.М., Мезенцева Л.М. Нанотехнології та їх застосування у тваринництві й ветеринарній медицині. *Вісник аграрної наук*. 2015. 11. 5-9.

біологічною дією, вони більш повно засвоюються організмом і активно використовуються у процесах обміну речовин. Слід відмітити важливий подвійний біологічний ефект за умови використання карбоксилатів таких металів, як Ag, Cu, Zn, Mg, Co, Ge, Se^{8 9 10}.

Доведена доцільність їхнього застосування не тільки з метою одержання біоцидного ефекту, але і як потужних мікроелементних сполук, що набагато ефективніші, ніж у класичному іонізованому вигляді¹¹. Цитрати мінеральних речовин є безпечними для здоров'я і дозволені для застосування в харчових продуктах, у т.ч. бджільництва та для дитячого харчування^{12 13}.

У вітчизняній та зарубіжній практиці ведення бджільництва, для підвищення якості росту і розвитку бджолосімей у весняний та осінній періоди, широко застосовують штучну підгодівлю¹⁴. Додавання до корму бджіл сполук окремих елементів, як метаболічних стимуляторів органічного та неорганічного походження, впливає на корекцію фізіолого-біохімічних процесів і підвищує продуктивність та резистентність медоносних бджіл. До

⁸ Сердюк А.М., Гуліч М.П., Каплуненко В.Г., Косінов М.В. Нанотехнології мікронутрієнтів: проблеми, перспективи та шляхи ліквідації дефіциту макро- та мікроелементів. Вісник академії медичних наук. 2010. 1. 107–114.

⁹ Hill E.K., Li Ju. Current and future prospects for nanotechnology in animal production. J. Anim Sci Biotechnol. 2017. 8. P. 26.

¹⁰ Jennifer Kuzma. Nanotechnology in animal production – Upstream assessment of applications. Livestock Science. 2010. 130(1–3). P. 14–24.

¹¹ Гуліч М.П. Продукти нанотехнології: цитрати біоелементів (хімічна характеристика, біологічна дія, сфера застосування). Київ : Медінформ, 2018. С. 201.

¹² Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Романів Л.І., Пашенко А.Г., Двилюк І.І., Кикіш І.Б. Підгодівля бджіл і методи оцінки її ефективності. Методичні рекомендації. Львів, 2016. 31 с.

¹³ Чекман І. С., Горчакова Н. О., Охотніков О. М., Яковлева Н. Ю. Нанотехнології у педіатричній практиці: стан, перспективи досліджень. *Український медичний часопис*. 2010. № 6 (80). С. 47-50.

¹⁴ DeGrandi-Hoffman, G., Gage, S. L., Corby-Harris, V., Carroll, M., Chambers, M., Graham, H. Connecting the nutrient composition of seasonal pollens with changing nutritional needs of honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Journal Insect. Physiol*, 2018. № 9. 114–124.

таких мінеральних компонентів відносяться Кобальт, Цинк, Магній, Германій, Селен та інші^{15 16}.

1. Роль Германію та Селену у життєдіяльності медоносних бджіл

Доведено, що цитрати мінеральних елементів є не лише біологічно активними, а й безпечними для здоров'я та дозволені для збагачення кормів, сировини і харчових продуктів і виявляють протекторні властивості щодо виведення важких металів з організму¹⁷. Доведено, що Германій володіє широким спектром біологічної дії, запобігає старінню і загибелі клітин організму та сприяє виведенню з організму токсинів і нівелює негативний вплив факторів зовнішнього середовища^{18 19}. Цей елемент відіграє важливу роль у формуванні резистентності організму. На даний час розроблено різні способи, у т.ч. нанотехнологічні отримання органічних сполук Ge. У результаті досліджень встановлено, що такий органічний Ge сприяє індукції гамма інтерферонів з пригніченням процесів розмноження клітин, які швидко діляться. Вони також активують імуноспецифічні клітини (Т-кілери). Доведено, що стимулюючу дію Ge через інтерферони на рівні організму зумовлюють його імуномодулюючі і радіозахисні функції²⁰. Ge має яскраво виражену здатність доставляти кисень в будь-яку

¹⁵ Kovalchuk, I. I., Kaplunenko, V. G., Pashchenko, A. G., Dvylyuk, I. I., & Kykish, I. V. Trace elements of bees tissues after feeding by citrate-based mineral and hydrocarbon complexes. 33 Joint Annual Meeting of the German Society for Minerals and Trace Elements (GMS) with Zinc-UK «Zinc and other Transition Metals in Health and Disease», 2017.35.

¹⁶ Ковальчук І.І., Кікіш І.Б., Каплуненко В.Г. Вплив цитратів мікроелементів на репродуктивну здатність бджолиних маток. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions : Collective monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2021. 87-110 «Актуальні проблеми природничих наук: теорія, методологія, практика». <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-6>

¹⁷ Взаємодія мікроелементів: біологічний, медичний і соціальні аспекти / І.М. Трахтенберг, І.С. Чекман, В.О. Линник, В.Г. Каплуненко, М.П. Гуліч, Е.М. Білецька, В.Ф. Шаторна, Н.М. Онул/ Вісн. НАН України. 2013. 6. 11-20.

¹⁸ Hassan S., Hassan F.U., Rehman M.S. Nano-particles of Trace Minerals in Poultry Nutrition: Potential Applications and Future Prospects. Biol Trace Elem Res. 2019. 9. 31.

¹⁹ Ніщенко М.П., Панько Я.І., Ємельяненко А.А. Застосування нанотехнологій в ветеринарній медицині та ветеринарній фізіології (оглядова стаття). *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2018, 91: 67-75

²⁰ Shyu Hwa Tao, Bolger M. Hazard Assesment of Germanium supplements. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 1997, 25: 211-219

точку організму та забезпечувати його взаємодію з іонами водню. В основі дії органічного Ge при взаємодії його з іонами H⁺ лежить реакція дегідрогенізації. Встановлено, що Ge бере участь у транспортуванні O₂ в організмі, попереджуючи розвиток гіпоксії на тканинному рівні^{21 22}. Дія Ge першочергово відзначається для тканин органів і систем, що найбільше чутливі до нестачі O₂ – серця, центральної нервової системи, нирок, печінки²³. Сполуки Ge проявляють протимікробну дію, що менше виражена для бактерій, ніж для дріжджів²⁴. Важливими є детоксикаційні властивості сполук Ge, зокрема за умов токсичного впливу на організм тварин солей важких металів^{25 26}.

Крім того, вказані сполуки Ge володіють нейротропними, протизапальними, антивірусними, протипухлинними, антиоксидантними та іншими корисними для організму властивостями^{27 28}. Доведено стимулюючий вплив цитрату Ge на імунофізіологічну реактивність і резистентність організму тварин, його детоксикаційну

²¹ Cho JM, Chae J, Jeong SR, Moon MJ, Shin DY, Lee JH. Immune activation of Bio-Germanium in a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial with 130 human subjects. *Therapeutic opportunities from new insights. PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240358

²² Lukevics E, Ignatovich L. Biological Activity of Organogermanium Compounds. *Cheminform*. 2003; 34 (45): 279-295.

²³ Tezuka T, Higashino A, Akiba M, Nakamura T. Organogermanium (Ge-132) suppresses activities of stress enzymes responsible for active oxygen species in monkey liver preparation. *Adv Enzyme Res*. 2017; 5: 13-23.

²⁴ Nakamura T, Nagura T, Sato K, Ohnishi M. Evaluation of the effects of dietary organic Germanium, Ge-132, and raffinose supplementation on caecal flora in rats. *Bioscience of Microbiota Food & Health*. 2012; 31: 37-45.

²⁵ Nefodova OO, Halperin OI, Shatorna VF. The influence of cerium and germanium citrates on the process of embryogenesis of rat on the background of cadmium intoxication. *Bulletin of problems biology and medicine*. 2019; 1 (1(148)): 273-78.

²⁶ Shatorna VF, Harets VI, Nefodova OO, Halperin OI, Deforz GV, Grudz VV. Experimental determination of the influence of citrates of metals to embryotoxicity of cadmium salts in embryogenesis of rats. *World of Medicine and Biology*. 2019; 2 (68): 210-214.

²⁷ Tattis A, Zupanets IA, Shebeko SK, Otrishko IA, Grintsov YeF. Study of hepatoprotective properties of the «Altsinara» drug under conditions of acute hepatitis development in rats. *The Odesa Medical Journal*. 2016; 5: 5-11.

²⁸ Wada T, Hanyu T, Nozaki K, Kataoka K, Kawatani T, Asahi T, Asahi Toru, Sawamura N. Antioxidant activity of Ge-132, a synthetic organic germanium, on cultured mammalian cells. *Biol Pharm Bull*. 2018; 41 (5): 749-753.

й антиоксидантну функцію^{29 30} Встановлено, що органогерманій (Ge-401) може продовжити тривалість життя плодової мушки і підвищувати життєдіяльність тварин при гіпоксії, але інгібує метаболізм Са і Р, а цитрат Ge суттєво збільшував масу імунних органів (тимус, селезінка) у мишей і значно підвищував рівень антитіл проти сироваткового гемолізину мишей. Автори огляду стверджують, що Ge-132 необхідний для посилення клітинного захисту організму та його імунної системи³¹.

У свою чергу, Селен один з мікроелементів, який бере участь в антиоксидантній системі організму тварин, сприяючи нормальному перебігу метаболічних процесів старіння. Він входить до складу глутатіонпероксидази, яка запобігає утворенню вільних радикалів. Активність цього ензиму у тканинах залежить від кількості спожитого Селену, який виконує захисні функції в організмі. Селен в малих дозах виконує важливі біохімічні функції, головна з яких — здатність цього елемента попереджувати руйнівну дію вільних радикалів³². Цей елемент входить до складу функціональних білків, зокрема – ферментів, що беруть участь у попередженні окиснення мембран клітин, жирів, білків, ДНК, РНК³³. Для нього характерна активна участь в окисно-відновних і антиоксидантних процесах, диханні клітин, а також в синтезі специфічних функціональних білків, що містять селеніди. Дефіцит цього елемента підсилює продукцію активних форм кисню, синтез тромбоксанів, збільшує

²⁹ Fedoruk RS, Khrabko MI, Tsap MM, Martsynko OE. Growth, development and reproductive function of female rats and their offspring viability at the conditions of the watering of different doses of citrate germanium. *The Animal Biology*. 2016; 18 (3): 97–106.

³⁰ Tesarivska U, Fedoruk R, Shumska M. Reproductive function of rat females and postnatal development of F1 and F2 offspring for the actions of different doses of nanogermanium citrate. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*. 2016; 18, 3(71): 124-129.

³¹ Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Мезенцева Л.М., Тесарівська У.І., Пилипець А.З., Каплуненко В.Г. Сполуки Германію та їхня роль в організмі тварин *Біологія тварин*. 2022; 24 (1): 50-60.

³² Li L., Ruan T., Lyu, Y. & Wu, B. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals. *Journal of Biosciences and Medicines*, 2017; 5: 56–73.

³³ Tsekhmistrenko O.S., Bityutsky V.S., Tsekhmistrenko S.I., Kharchyshyn V.M., Tymoshok N.O., Spivak M.Ya. Efficiency of application of inorganic and nanopreparations of selenium and probiotics for growing young quails. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2020; 8(3): 206–212.

агрегацію тромбоцитів та інгібує продукцію простагліну – чинника захисту ендотелію^{34 35}. Селен підсилює імунний захист організму, сприяє збільшенню тривалості життя. Цей елемент активізує клітинну, гуморальну і фагоцитарну ланки імунітету, сприяє підвищенню неспецифічної резистентності організму. Доказом важливої ролі вказаного елемента в імунній відповіді організму є наявність його в значних кількостях в імунокомпетентних органах – селезінці, печінці, лімфовузлах. При дефіциті Селену відмічають зниження функціональної активності нейтрофілів та їх кількості, збільшення титру антитіл до бактеріальних і грибових антигенів, зниження активності клітин природних кіллерів. Встановлена також здатність Селену збільшувати в організмі кількість Т-лімфоцитів^{36 37}. Т-клітини найбільш чутливі до дії вільних радикалів, оскільки їхня мембрана більше насичена ліпідами. На плазматичній мембрані Т-лімфоцитів міститься монооксигеназна система з цитохромом P₄₅₀. Стимулюючи дану систему, селенові препарати, що містять органічний Селен, впливають на проліферативні процеси Т-клітин. Крім цього доведено, що Селен здійснює стимулюючу дію на ріст і розвиток комах, в т.ч. медоносних бджіл³⁸. Дослідниками встановлено високу ефективність введення в цукровий сироп селеновмісних комплексів для накопичення поживних речовин в жировому тілі, підвищення активності каталази в зимовий період³⁹.

³⁴ Tuner R. S., Finch J. M. Selenium and the immune response. *Proc. Nutr. Soc.* 1991; 50 (2): 275–285.

³⁵ Sunge R. A., Thompson R. M., Palm M. A. Selenium regulation of selenium-dependent glutathione peroxidases in animals and transfected CHO cells. *Biomed. Environ. Sci.* 1997; 10: 346–355.

³⁶ Kuhlre J., Brigelius-Flone R., Bock A. Selenium in biology: facts and medical perspectives. *Biol. Chem.* 2000; 381 (9–10): 849–864.

³⁷ Chaudhary S, Umar A, Mehta SK. Selenium nanomaterials: an overview of recent developments in synthesis, properties and potential applications. *Prog Mater Sci.* 2016; 83:270–329.

³⁸ Мізерницький О.О., Переста М.М. Біологія бджіл та ефективність препарату «Ентеронормін» з «Йодіс+Se». Ексклюзивні ТЕХНОЛОГІЇ. URL: <http://agrotimeteh.com.ua>

³⁹ Kristen R. Hladun, Osman Kaftanoglu, David R. Parker, Khoa D. Tran, John T. Trumble. Effects of selenium on development, survival, and accumulation in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry* 2013, 32 (11), 2584-2592. <https://doi.org/10.1002/etc.2357>

У зв'язку з цим, науково – практичний інтерес представляє вивчення впливу різного рівня Германію та Селену з Селеном у компонентах підгодівлі медоносних бджіл на мінеральний та ліпідний склад тканин організму та вміст у них мінеральних елементів і глікогену, а також якість їх продукції.

2. Мінеральний та ліпідний обмін в тканинах організму бджіл та їх продукції за умов використання в підгодівлі цитратів германію та селену

Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи, які утримувалися у вуликах-лежаках. Бджолосім'ї перевірялися щодо інфекційних та інвазійних захворювань і були благополучні стосовно цих захворювань. Експерименти проводили відповідно до положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом із біоетики (Київ, 2001 р.) та «Європейської конвенції про захист тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986 р.)⁴⁰. Досліджено вплив цитратів германію та селену, одержаних на основі нанотехнології, за їхнього введення до компонентів підгодівлі бджіл у весняно-літній період.

Для проведення дослідження відібрано три групи бджолиних сімей: I контрольна – з підгодівлею 1000 мл чистого цукрового сиропу/тиждень, II група – додатково до 1000 мл сиропу/тиждень включено 0,5 мг германію у вигляді цитрату, III група отримувала цитрати германію і селену в кількості 0,3 мг Германію і 0,2 мг Селену на 1000 мл сиропу/тиждень. Підгодівлю бджіл здійснювали впродовж 30 діб.

Для дослідження у весняно-літній період підгодівлі відбирали зразки тканин цілого організму робочих бджіл з визначених 3-ох вуликів однієї групи. Зразки відбирали в кількості 90–100 бджіл з кожної групи бджолосімей, по 30–35 комах з вулика, які використовували для приготування гомогенатів з цілого організму.

У зразках тканин медоносних бджіл визначали: вміст мінеральних елементів (Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, Pb, Cd) на атомно-абсорбційному

⁴⁰ European Community, 2005. 1459/2005/EC. Commission Regulation (EC) No 1459/2005 of 8 Sept. 2005 amending the conditions for authorisation of a number of feed additives belonging to the group of trace elements. Offic. J. Europ. Union L233. 2005:8–10.

спектрофотометрі СФ 115-ПК⁴¹, загальних ліпідів за методом Фолча⁴². Відносний вміст окремих фракцій ліпідів досліджували за допомогою тонкошарової хроматографії з використанням силікагелевих пластин Sorbfil (ПТСХ-П-А) з подальшим вимірюванням показників оптичної густини у дослідних зразках тканин на спектрофотометрі СФ-46 при довжині хвилі 440 нм. Вміст глікогену у тканинах цілого організму медоносних бджіл визначали за методом Гугушвілі Н.Н.⁴³ У продукції бджіл визначали вміст мінеральних елементів, а також якісні показники меду, зокрема вміст проліну, діастазну активність, масову частку води та рН⁴⁴.

Статистичну обробку отриманих результатів проведено з використанням комп'ютерної програми Microsoft EXCEL із визначенням середніх величин M , їхніх відхилень $\pm m$ і ступеня вірогідності міжгрупових різниць із використанням критерію Стьюдента (p).

Аналіз даних проведених досліджень свідчить про незначні зміни вмісту загальних ліпідів у тканинах цілого організму медоносних бджіл дослідних груп порівняно до контролю у період згодовування з цукровим сиропом цитратів Ge та Se (табл. 1). Зокрема, встановлено вірогідно вищий вміст загальних ліпідів у тканинах медоносних бджіл II і III груп, що свідчить про однаковий стимулюючий вплив застосованих концентрацій добавок Ge і його поєднання з Se на обмін ліпідів і їхній синтез у тканинах медоносних бджіл.

Встановлені відмінності фракційного розподілу ліпідів тканин цілого організму також можуть зумовлюватися безпосереднім впливом згодовування добавок цитратів Ge та Se на обмін окремих класів ліпідів у медоносних бджіл. Зокрема, у тканинах бджіл II і III дослідних груп спостерігали вірогідно вищий вміст фосфоліпідів та НЕЖК ($p < 0,05$; $0,001$), що очевидно зумовлено стимулюючою дією

⁴¹ Vlizlo V. V. Laboratory methods of investigation in biology, stock-breeding and veterinary / V. V. Vlizlo, R. S. Fedoruk, I. B. Ratych et al. // Reference book ; Edited by V. V. Vlizlo. Lviv : SPOLOM, 2012, 764 p.

⁴² Folch J.A. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue / J. A. Folch, M. Lees, G. H. Sloane Stanley // Journal of Biological Chemistry – 1957. – Vol. 226, №. 1. – P. 497–509.

⁴³ Гугушвілі Н.Н., Мірцхулава В.М., Кулакова А.Л., Власенко Ю.И., Дегтярева С.С., Бандурова Н.І. Спосіб визначення глікогену в екстракті з органів і тканин організму бджіл. – Патент № 2256320, 2005.

⁴⁴ Броварський В.Д., Бріндза Я., Отченашко В.В. Методика дослідної справи у бджільництві. Київ: Видавничий дім «Вінніченко», 2017. 166 с.

добавки цитратів Ge і Se як на ліпідний обмін, так і на формування енергетичного запасу і метаболізм жирних кислот в організмі бджіл цих груп ^{45 46}.

Таблиця 1

Уміст загальних ліпідів і співвідношення їхніх фракцій у тканинах організму бджіл за умов згодовування наноцитратів германію і селену, % (M±m, n=3)

Класи ліпідів	Група бджіл		
	I-контрольна 1,0 л сиропу	II-дослідна 1,0 л сиропу + 0,5 мг Ge	III-дослідна 1,0 л сиропу + 0,3 мг Ge + 0,2 мг Se
Загальні ліпіди, г%	3,56±0,20	4,50±0,12*	4,03±0,18*
Фосфоліпіди	18,39±0,14	19,95±0,09***	19,65±0,42*
Моно-і диацилгліцероли	14,28±0,39	13,64±0,37	13,62±0,17
Вільний холестерол	10,19±0,26	9,86±0,22	9,09±0,03**
НЕЖК	10,50±0,06	11,76±0,07***	12,48±0,19***
Триацилгліцероли	15,27±0,12	14,94±0,67	14,57±0,36
Етерифікований холестерол	31,32±0,15	30,06±0,61	30,38±0,08**

Примітка: у цій і наступних таблицях вірогідність різниць між контрольною (I) і дослідними (II і III) групами враховували *-P<0,05; **-P<0,01; ***- P<0,001

Характерні зміни ліпідного складу в тканинах медоносних бджіл спостерігались щодо вмісту вільного і етерифікованого холестеролу за умов згодовування добавок. Зокрема, відзначено у тканинах бджіл цілого організму III дослідної групи вірогідно нижчий вміст вільного

⁴⁵ Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Рівіс Й.Ф., Романів Л.І. Ліпідний і жирнокислотний склад тканин організму медоносних бджіл та перги за умов підгодівлі наноаквацитратами германію та селену. Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин та ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок. 2014. Вип.15. № 2,3. С. 31-36.

⁴⁶ Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Романів Л.І., Храбко М.І. Вплив цитратів германію та селену на вміст ліпідів і важких металів в організмі медоносних бджіл. Біологія тварин. 2014. Том.16. № 2. С. 141-149.

і етерифікованого холестеролу порівняно до контролю ($p < 0,01$), тоді як для II групи – лише тенденцію до зниження.

Аналогічні, але не вірогідні міжгрупові різниці щодо нижчого рівня у тканинах бджіл II і III груп спостерігали при дослідженні моно- і диацилгліцеролів та триацилгліцеролів. На основі аналізу цих даних можна стверджувати про важливу регуляторну функцію Ge та Se у складі добавок до весняної підгодівлі щодо обміну ліпідів і їхніх окремих класів в організмі медоносних бджіл. Однак дані літератури щодо механізмів такого впливу відсутні. Можливо, антиоксидантна дія цих елементів зменшує процеси пероксидації та утворення продуктів перекисного окиснення ліпідів у тканинах бджіл дослідних груп. Встановлені відмінності фракційного розподілу ліпідів тканин медоносних бджіл можуть зумовлюватися як безпосереднім метаболічним впливом добавок Ge та Se, так і опосередковано через їхню взаємодію з іншими мінеральними елементами. Фізіологічна дія сполук Ge і Se також можлива через активацію ферментних систем, у які ці мікроелементи включаються в процесі обміну, проявляючи антагоністичний чи синергічний вплив, що властивий для інших біотичних елементів.

Слід відзначити, що зміни вмісту загальних ліпідів та їхніх окремих класів у тканинах організму за дії Ge і Se найбільше виражені у черевному відділі. В еноцитах жирового тіла молодих бджіл активно депонуються протеїни, ліпіди та резервний полісахарид – глікоген, що утворюється залишками глюкози. Відомо, що остання є основним джерелом енергії та ключовим циркуляторним моносахаридом у гемолімфі робочих бджіл, який підтримує енергетичний гомеостаз їхнього організму. Забезпечення утилізації глюкози із гемолімфи, як поживного субстрату та транспорт її молекул до саркоплазми м'язових волокон забезпечує утворення у м'язовій тканині гомополімеру α -глюкози – глікогену⁴⁷. Тоді як фруктоза є основним субстратом у синтезі триацилгліцеролів, які формують депо жирних кислот. Швидкість біосинтезу жирних кислот у значній мірі залежить від швидкості утворення гліцеролів і фосfolіпідів, оскільки вільні жирні кислоти нагромаджуються у незначній кількості в тканинах і гемолімфі комах.

⁴⁷ Norbert Hrasnigg, Karl Crailsheim. Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, Springer Verlag, 2005, 36 (2), P.255-277.

Фізіологічна дія сполук Ge і Se також можлива через активацію ферментних систем, у які ці мікроелементи включаються в процесі обміну, проявляючи антагоністичний чи синергічний вплив, що властивий для інших біотичних елементів. Результати досліджень рівнів мінеральних елементів в гомогенаті танин бджіл вказують на суттєві міжгрупові різниці вмісту окремих елементів у тканинах цілого організму бджіл дослідних груп порівняно до контролю (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст окремих елементів у тканинах організму бджіл за умов згодовування цитратів германію і селену, мг/кг сирової маси (M±m, n=3)

Мінеральні елементи	Група бджіл		
	I-контрольна 1,0 л сиропу	II-дослідна 1,0 л сиропу + 0,5 мг Ge	III-дослідна 1,0 л сиропу + 0,3 мг Ge + 0,2 мг Se
Fe	37,61±1,33	25,64±0,72***	33,14±2,30
Cu	5,15±0,24	6,02±0,18*	8,05±0,14**
Zn	4,87±0,52	4,92±0,10	5,85±0,24
Cr	0,66±0,66	0,43±0,005	0,47±0,005
Ni	0,58±0,05	0,58±0,21	0,55±0,005*
Pb	0,84±0,01	0,80±0,02	0,75±0,18
Cd	0,41±0,008	0,36±0,01*	0,35±0,03

Згодовування бджолам з цукровим сиропом цитрату германію та цитратів германію і селену відзначається їхнім антагоністичним впливом на рівень окремих мінеральних елементів у тканинах організму, що характеризується вірогідно вищим рівнем Cu ($p < 0,05$), але нижчим Fe ($p < 0,001$) і Cd ($p < 0,05$) у тканинах цілого організму бджіл за умов підгодівлі як цитратом Ge, так і Ge з Se, а Ni ($p < 0,05$) – лише за комплексного згодовування цитрату Ge і Se.

Характерно, що вміст Pb і Cd був нижчим у зразках тканин бджіл дослідних груп порівняно до контролю, а це може вказувати на оптимізуючий вплив цитратів Ge та Se на рівень цих мікроелементів

як в цілому організмі, так і у ректальних залозах. У той же час нижча концентрація Pb і Cd у тканинах медоносних бджіл може бути зумовлена антагоністичною дією цитратів Ge та Se на обмін цих елементів в їхньому організмі⁴⁸.

В організмі бджіл за умов згодовування цитратів германію та селену зростає вміст мононенасичених і, особливо, поліненасичених жирних кислот загальних ліпідів, що вказує на активуючий вплив цих сполук на процеси трансформації жирних кислот в організмі бджіл (табл. 3).

Варто звернути увагу на відношення поліненасичених жирних кислот родини n-3 до поліненасичених жирних кислот родини n-6, що посилюють фізіологічну активність тканин бджіл^{49 50}. У зразках тканин бджіл II і III груп, порівняно з бджолами контрольної групи, зростає вміст мононенасичених і, особливо, поліненасичених жирних кислот загальних ліпідів, проте різниці не вірогідні.

Наведені вище різниці вмісту жирних кислот в організмі бджіл III групи, порівняно з бджолами контрольної групи, очевидно пов'язані з впливом добавок цитрату Se, має чітко виражену антиоксидантну дію, що може підсилюватися антиоксидантними властивостями Ge.

Характерно, що в організмі бджіл II і III груп, порівняно з бджолами контрольної групи, відзначено тенденцію до зростання показника відношення вмісту поліненасичених жирних кислот родини n-3 до поліненасичених жирних кислот родини n-6. Оскільки від вмісту мінеральних елементів, а найбільше від двохвалентних, залежить кількість жирних кислот, які знаходяться в аніонній формі,

⁴⁸ Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Ковальська Л.М. Вплив цитратів германію та селену на вміст важких металів в продукції. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2014, 16. 2(59). 2. 146-151.

⁴⁹ Ковальчук І.І. Вплив цитратів германію та селену на ліпідний і жирнокислотний склад тканин організму медоносних бджіл та перги // Біологія тварин. – 2014. – Т.16, № 3. – С. 180.

⁵⁰ Ковальчук І.І. Вплив цитратів хрому та селену на ліпідний склад тканин організму медоносних бджіл // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2014. – Том.16 (№ 3), Ч.2. – С. 148-153.

одержані результати вказують на стимулюючий вплив Ge і Se на ці процеси і ліпідний обмін в цілому організмі^{51 52}.

Таблиця 3

Вміст жирних кислот у тканинах організму бджіл за умов згодовування цитратів германію і селену ($M \pm m$, $n=3$)

Жирині кислоти та їх код	Група медоносних бджіл					
	I-контрольна 1,0 л сиропу		II-дослідна 1,0 л сиропу + 0,5 мг Ge		III-дослідна 1,0 л сиропу +0,3 мг Ge + 0,2 мг Se	
	г/кг	%	г/кг	%	г/кг	%
Загальний вміст жирних кислот	21,90	100	22,63	100	23,38	100
В т. ч.: насичені	2,5	11,4	2,61	11,5	2,61	11,2
ненасичені, з них	19,4	88,5	20,02	88,5	20,77	88,2
мононенасичені	4,07	20,9	4,15	20,7	4,27	20,6
поліненасичені	15,33	79,0	15,87	79,2	16,50	79,4
n-3/n-6	1,23	-	1,24	-	1,25	-

Ліпіди корму є основними субстратами у синтезі типового біологічного секрету гіпофарингіальних залоз – маточного молочка, оптимальному утворенню якого передує надходження до організму молодих бджіл-годувальниць, значної кількості протеїнів, ліпідів і мінералів з перги як у весняно-літній період інтенсивного росту бджолиних сімей, так і літньо-осіннього періоду нарощування кількості та сили бджолиної сім'ї. З фізіологічної оцінки перга – це концентрат протеїнів, незамінних амінокислот, макро- та мікроелементів, вітамінів, каротиноїдів, а також незамінне джерело

⁵¹ Crailsheim L. K. Free fatty acids digested from pollen and triolein in the honeybee (*Apis mellifera carnica pollmann*) midgut // Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology. – 2001. – Vol. 171, № 4. — P. 313–319

⁵² Wheirich G.F. Antioxidant enzymes in the honey bee *Apis mellifera* / G.F. Wheirich, A.M. Collins, V.R. Williams // Apidologie. – 2002. – V. 33. – P. 3-14.

надходження до організму медоносних бджіл ліпідів, оскільки з літературних джерел відомо, що квітковий пилок містить значну їх кількість – від 5,1 % в аличі, до 15,0 та 15,7 % у кульбаби і груші.

Отже, відмінності фракційного розподілу ліпідів перги зумовлювалися безпосереднім впливом згодовування добавок цитратів Ge та Se на обмін і співвідношення окремих класів ліпідів в організмі, а також на біотрансформацію у продукцію медоносних бджіл, у т.ч. у пергу.

За результатами досліджень рівня загальних ліпідів у перзі спостерігали вірогідні різниці їхнього вмісту у зразках III групи на фоні вірогідних змін відносного вмісту окремих їхніх класів (табл. 4). Зокрема, у перзі II і III груп спостерігали вищий вміст фосфоліпідів, вільного холестеролу, НЕЖК, триацилгліцеролів ($p < 0,01$; $0,001$). Тоді як відносний вміст моно- і диацилгліцеролів та етерифікованого холестеролу у перзі дослідних груп був нижчий порівняно до контролю. Встановлені відмінності фракційного розподілу ліпідів перги можуть у більшій мірі зумовлюватися безпосереднім впливом згодовування добавок цитратів Ge та Se на обмін і співвідношення окремих класів ліпідів в організмі, що було відзначено вище, а також біотрансформацією у продукцію медоносних бджіл.

Отже, згодовування бджолам з сиропом Германію та його поєднання з Селеном у вигляді цитрату зумовлювало вірогідні різниці вмісту загальних ліпідів і співвідношення окремих їхніх класів у тканинах медоносних бджіл та перзі, що може вказувати на коригуючу дію цих добавок на обмін ліпідів в їхньому організмі та рівень у продукції.

Основними показниками, які характеризують біологічний і фізіологічний стан організму бджіл є вміст білка, жиру та вітамінів. Білок бджоли резервують безпосередньо в жировому тілі. Варто зазначити, що жирове тіло при годуванні тільки вуглеводами залишається малим (тонким), без поживних речовин. Тоді як за умов оптимального, у т.ч. білкового живлення воно розвивається у вигляді багаточислової підкладки і містить багато білка, жиру і глікогену.

Глікоген, як полісахарид, що синтезується організмом і депонується у всіх його органах і тканинах є одним із важливих тестів у виявленні енергетичного ресурсу організму бджіл. Його кількість коливається залежно від фізіологічного стану організму медоносних бджіл. Прийнято вважати, що глікоген є вуглеводним резервом, який накопичується головним чином у клітинах жирового тіла і відіграє важливу роль в процесах метаморфози комах.

Основною функцією його є відновлення структурних пошкоджень в клітинах і тканинах, забезпечення мікровібрацій грудних м'язів при підтримці температурного режиму в зоні виховання розплоду. За результатами дослідження вмісту глікогену в тканинах цілого організму бджіл спостерігали вищий рівень ($p < 0,001$; $0,01$) цього показника у зразках тканин II і III груп порівняно до контролю (рис. 1).

Таблиця 4

**Уміст загальних ліпідів і співвідношення їх фракцій
у перзі бджіл за умов згодовування цитратів германію і селену,
% ($M \pm m$, $n=3$)**

Загальні ліпіди та їх класи	Група бджіл		
	I-контрольна 1,0 л сиропу	II-дослідна 1,0 л сиропу + 0,5 мг Ge	III-дослідна 1,0 л сиропу + 0,3 мг Ge + 0,2 мг Se
Загальні ліпіди, г%	4,87±0,09	4,80±0,70	4,10±0,21*
Фосфоліпіди	21,31±0,49	22,06±0,32	23,19±0,44*
Моно-і диацилгліцероли	15,44±0,39	9,70±0,24***	8,18±0,31***
Вільний холестерол	6,53±0,11	8,99±0,35**	9,20±0,19***
НЕЖК	7,86±0,23	13,09±0,49***	12,43±0,26***
Триацилгліцероли	12,62±0,01	14,55±0,78*	15,59±0,25***
Етерифікований холестерол	36,21±0,55	31,56±0,40**	31,37±0,32**

Характерно, що вплив наночитрату Ge на рівень глікогену у тканинах бджіл II групи більше виражений, ніж за умов сумісного згодовування цитратів Ge і Se бджолам III групи. Очевидно, комплексне застосування цих елементів не посилює відкладання глікогену у депо організму бджіл.

Отже, згодовування медоносним бджолам цукрового сиропу з додаванням цитрату Ge та Se впливає на обмін ліпідів у їхньому організмі, вміст мікроелементів і глікогену у тканинах медоносних бджіл, що приводить до вірогідних змін вмісту в них загальних ліпідів та їхніх окремих класів, концентрації Fe, Cu, Ni, Cd. Введення бджолам до цукрового сиропу цитратів Ge та Se коригує обмін

ліпідів і мінералів в організмі медоносних бджіл, що може сприяти нагромадженню енергетичних, структурних і пластичних компонентів у тканинах.

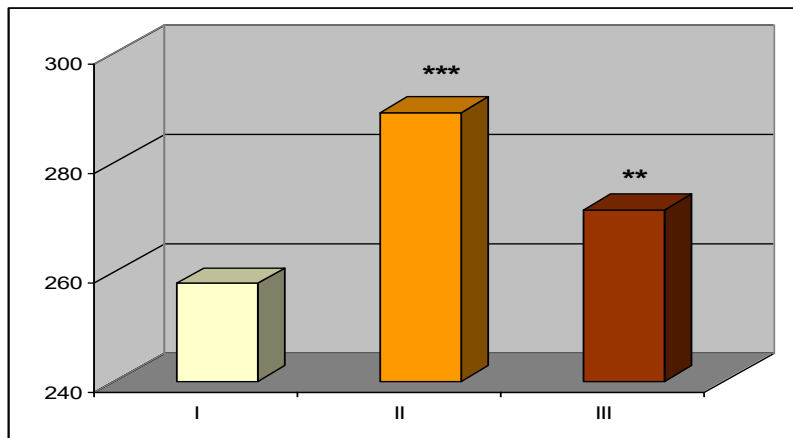


Рис. 1. Вміст глікогену в гомогенаті тканин цілого організму медоносних бджіл за умов згодовування цитратів германію і селену, мг%, ($M \pm m$, $n=3$)

Як відомо, перга відіграє роль фізіологічного регулятора біологічної повноцінності живлення організму бджіл. Відповідно й наявність перги у вулику є невід'ємною умовою для вирощування якісного розплоду, живлення дорослих бджіл, росту і розвитку бджолосімей, їхньої продуктивності, а за вмістом ксенобіотиків – показником екологічного стану навколишнього середовища^{53 54}. Пергу, або бджолиний хліб, бджоли закладають у комірки стільників для виготовлення ліпідно-протеїнового корму, тому якість і кількість жирів, білків і мінеральних речовин у перзі відіграють провідну роль у забезпеченні бджолиного розплоду необхідними поживними речовинами. За результатами дослідження мінеральних елементів у

⁵³ Toth A. L., Robinson G.E. Worker nutrition and division of labour in honeybees. *Anim. Behav.* 2005., 69. 427 -435,

⁵⁴ Pasupuleti V.R., Sammugam L., Ramesh N., Gan S.H. Honey, propolis, and royal jelly: A comprehensive review of their biological actions and health benefits. *Oxidative Med. Cell. Longev.* 2017;2017:1259510.

перзі спостерігали незначну тенденцію до вищого вмісту Fe у зразках II і III груп, а також Cu в II групі ($p < 0,05$) (табл. 5).

Тоді як для Cr та Pb відзначено тенденцію до нижчого рівня у 1,1 та 1,2 рази, проте різниці були не вірогідні. Суттєві різниці спостерігали при дослідженні вмісту Cd у перзі. Зокрема, у зразках перги II групи концентрація Cd була у 2 рази ($p < 0,05$), а для III групи – у 4 рази ($p < 0,01$) нижчою, що може бути зумовлене антагоністичною дією цитратів германію та селену на обмін Pb та Cd, як важких металів, в організмі медоносних бджіл і їхню трансформацію у мед і пергу⁵⁵.

Мед – комплексний продукт рослин і бджіл, до складу якого входить більше 400 різноманітних компонентів у т.ч. метали, рівень яких впливає на його харчову, дієтичну і лікувальну дію та безпечність. За результатами дослідження відзначено, що згодовування з цукровим сиропом різної кількості цитратів германію та селену зумовлювало не однакові відмінності вмісту окремих важких металів у меді. Зокрема, відмічено зниження вмісту Cu ($p < 0,05$), Zn, Ni та Cd у зразках меду бджіл II і III груп і Fe – тільки в III групі. Міжгрупові різниці вмісту Cr та Pb у зразках II і III груп порівняно до контролю (I) не перевищували величин їх середніх статистичних відхилень.

За результатами досліджень вмісту важких металів у стільниках спостерігається зростання концентрації Fe ($p < 0,05$); Cu та Ni у зразках стільників II і III груп порівняно до контролю. Вірогідно вищий вміст Fe у 1,6 рази спостерігається у стільниках II дослідної групи. Вищий у 1,5 рази рівень цього елемента відзначено у стільниках III дослідної групи, порівняно до контролю, проте різниці були не вірогідні. Відзначено нижчу концентрацію Pb у 1,2 рази – II та III групах ($p < 0,001$) та вміст Cd – у 1,2 рази – II ($p < 0,001$); 1,8 рази – III група ($p < 0,05$) порівняно до контрольної групи. Слід відмітити, що вміст токсичних речовин у стільниках змінюється залежно від екологічних умов утримання бджіл, особливостей адаптації бджолиних сімей до природних умов утримання та вмісту цих елементів у кормах.

⁵⁵ Kovalchuk, I. I., Kaplunenko, V. G., Pashchenko, A. G., Dvylyuk, I. I., Kykish, I. B. Trace elements of bees tissues after feeding by citrate-based mineral and hydrocarbon complexes. 33 Joint Annual Meeting of the German Society for Minerals and Trace Elements (GMS) with Zinc-UK «Zinc and other Transition Metals in Health and Disease», 2017, 35.

Таблиця 5

**Вміст мінеральних елементів
у продукції медоносних бджіл, мг/кг**

Мінеральні елементи	Група медоносних бджіл		
	I-контрольна 1,0 л сиропу	II-дослідна 1,0 л сиропу + 0,5 мг Ge	III-дослідна 1,0 л сиропу + 0,3 мг Ge + 0,2 мг Se
ПЕРГА			
Fe	8,05±0,51	8,55±0,01	9,01±0,63
Cu	1,81±0,02	1,90±0,02*	2,02±0,19
Zn	1,27±0,01	1,27±0,05	1,28±0,04
Cr	0,31±0,02	0,28±0,17	0,27±0,03
Ni	0,23±0,05	0,24±0,05	0,25±0,02
Pb	0,15±0,03	0,13±0,03	0,11±0,009
Cd	0,04±0,005	0,02±0,005*	0,01±0,003**
МЕД			
Fe	1,39±0,16	1,56±0,21	1,28±0,06
Cu	0,44±0,04	0,31±0,06	0,32±0,02*
Zn	0,54±0,07	0,46±0,02	0,40±0,04
Cr	0,12±0,01	0,13±0,02	0,15±0,02
Ni	0,25±0,05	0,24±0,03	0,21±0,02
Pb	0,14±0,02	0,14±0,02	0,13±0,02
Cd	0,08±0,006	0,07±0,006	0,06±0,005
СТІЛЬНИКИ			
Fe	1,16±0,15	1,82±0,24*	1,77±0,34
Cu	0,14±0,05	0,16±0,02	0,19±0,03
Zn	0,29±0,08	0,24±0,08	0,21±0,06
Cr	1,86±0,49	1,31±0,08	1,24±0,02
Ni	0,12±0,02	0,16±0,02	0,19±0,03
Pb	0,18±0,01	0,16±0,005***	0,15±0,003***
Cd	0,09±0,005	0,07±0,006***	0,05±0,008*

За результатами визначення фізико-хімічних показників меду відзначено міжгрупові вірогідні різниці досліджуваних величин. Зокрема, за умов згодовування добавок цитратів Ge та Se спостерігали вищий вміст проліну у меді II групи та у 1,2 раза вищий у III групі ($p < 0,05$) порівняно до контролю (табл. 6).

Встановлено, що у зразках меду бджіл II і III груп за умов згодовування добавок діастазне число було вірогідно вищим. Зокрема, у 1,3 раза вищий рівень цього показника відмічено у зразках, відібраних з пасік II та III дослідних груп, порівняно до контролю.

Таблиця 6

Якісні та фізико-хімічні показники поліфлорного меду за умов згодовування наноцитратів германію і селену, ($M \pm m$, $n=3$)

Показники якості	Група медоносних бджіл			Вимоги ДСТУ 4497:2005
	I-контрольна 1,0 л сиропу	II-дослідна 1,0л сиропу + 0,5 мг Ge	III-дослідна 1,0 л сиропу + 0,3 мг Ge + 0,2 мг Se	
Пролін, мг/кг	324,77±10,84	339,03±13,45	376,46±13,46*	300,0
Діастазне число, од.Готе	10,84±0,53	14,07±0,38**	14,34±1,01*	10,0-15,0
Масова частка води, %	20,13±0,35	20,0±0,81	20,04±0,83	18,5-21,0
pH	4,29±0,003	4,31±0,007	4,32±0,009*	3,5-4,5

Одним з важливих показників якості меду, його зрілості є масова частка води у ньому. З підвищенням вмістом води бджолина продукція легше переходить у рідкий або кристалічний стан, а можливість його бродіння стає вищою. Масова частка води відіграє важливе значення для зберігання меду^{56 57}. За результатами наших досліджень масова частка води суттєво не відрізнялася у зразках медів дослідних і контрольної груп і відповідала вимогам ДСТУ⁵⁸.

⁵⁶ Ковальчук І.І., Ковальська Л.М. Мед і методи його дослідження. Методичні рекомендації. Львів, 2014. 44с.

⁵⁷ Solaيمان, M.; Islam, M.A.; Paul, S.; Ali, Y.; Khalil, M.I.; Alam, N.; Gan, S.H. Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: A comprehensive review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2016, 15, 219–233.

⁵⁸ ДСТУ 4497:2005- Мед натуральний – Технічні умови https://pasika.pp.ua/docs/dstu_4497-2005.pdf

Згідно стандарту рН квіткового меду становить 3,5 – 4,5, падевого від 4,5 до 5,4. За результатами досліджень рівень рН меду виявляв тенденцію до вищого рівня у зразках дослідних груп і для III групи був вірогідно вищим порівняно до контролю.

Найважливішими критеріями оцінки харчового продукту є його біологічна цінність та якість^{59 60}. За органолептичними ознаками мед усіх груп в цілому відповідав вимогам ДСТУ 4497:2005 (табл. 7).

Таблиця 7

**Органолептичні показники меду
за умов згодовування цитратів германію і селену**

Назва показника	Група	Характеристика	ДСТУ 4497:2005
Колір	I	світло-жовтий	безколірний, білий, світло-жовтий, жовтий, темно-жовтий, темний з різними відтінками
	II	жовтий	
	III	жовтий	
Смак	I	ніжний	солодкий, ніжний, приємний, терпкий, подразнює слизову оболонку ротової порожнини, без сторонніх запахів
	II	терпкий	
	III	солодкий	
Консистенція	I	в'язка	рідка, в'язка, дуже в'язка, щільна
	II	дуже в'язка	
	III	щільна	
Кристалізація	I	дрібнозерниста	від дрібнозернистої до крупнозернистої
	II		
	III		
Ознаки бродіння (закисання)	I	відсутні	не дозволені
	II		
	III		
Механічні домішки	I	відсутні	не дозволені
	II		
	III		

⁵⁹ Puścion-Jakubik, A.; Borawska, M.H.; Socha, K. Modern Methods for Assessing the Quality of Bee Honey and Botanical Origin Identification. Foods 2020, 9, 1028

⁶⁰ Федорук Р.С. Підгодівля бджіл і методи оцінки її ефективності / Р.С. Федорук, І.І. Ковальчук, Л.І. Романів, А.Г. Пашенко, І.І. Двильюк, І.Б. Кикіш // Методичні рекомендації. – Львів, 2016. – 31с.

У жодному зразку не виявлено ознак бродіння меду, що свідчить про його якість. Смак солодкий, ніжний, без сторонніх присмаків, відповідного відтінку кольору від жовтого до темно-жовтого, в'язкої консистенції і без механічних домішок.

ВИСНОВКИ

1. Згодовування бджолам з сиропом Ge та Se у вигляді цитрату зумовлювало вірогідні різниці вмісту загальних ліпідів і співвідношення окремих їхніх класів у тканинах бджіл: встановлено коригуючу дію добавок як Ge, так і його поєднання з Se на обмін ліпідів у їхньому організмі.

2. В організмі бджіл за умов згодовування цитратів германію та селену зростає вміст мононенасичених і, особливо, поліненасичених жирних кислот загальних ліпідів, а також відношення поліненасичених жирних кислот родини n-3 до поліненасичених жирних кислот родини n-6.

3. Згодовування бджолам з цукровим сиропом цитратів германію і селену відзначається їхнім антагоністичним впливом на рівень окремих важких металів у тканинах організму, що характеризується вірогідно вищим рівнем Cu ($p < 0,05$), але нижчим Fe ($p < 0,001$) і Cd ($p < 0,05$) у тканинах цілого організму бджіл за умов підгодівлі як цитратом Ge, так і Ge з Se, а Ni ($p < 0,05$) – лише за комплексного згодовування цитрату Ge і Se.

4. Згодовування з цукровим сиропом різної кількості цитрату германію та селену відзначається їхнім антагоністичним впливом на рівень важких металів у перзі, меді та стільниках бджіл. Встановлено вірогідні різниці нижчого вмісту Ni, Pb та Cd ($p < 0,05$) у перзі та меді дослідних груп на фоні вищого їх вмісту у стільниках ($p < 0,001$)

АНОТАЦІЯ

У вітчизняній та зарубіжній практиці ведення бджільництва, для підвищення якості росту і розвитку бджолосімей у весняний та осінній періоди, широко застосовують штучну підгодівлю. Додавання до корму бджіл сполук окремих елементів, як метаболічних стимуляторів органічного та неорганічного походження, впливає на корекцію фізіолого-біохімічних процесів і підвищує продуктивність та резистентність медоносних бджіл. До таких мінеральних компонентів відносяться Кобальт, Цинк, Магній, Германій, Селен та інші.

Згодовування медоносним бджолам цукрового сиропу з додаванням цитрату германію та селену впливало на обмін ліпідів у їх організмі, мінеральний склад і вміст глікогену у тканинах медоносних бджіл, приводить до вірогідних змін вмісту загальних ліпідів та їхніх окремих класів, концентрації Fe, Cu, Ni, Cd. У тканинах цілого організму бджіл зростає вміст загальних ліпідів і окремих їхніх фракцій та ненасичених жирних кислот, а також вільного холестеролу, НЕЖК і триацилгліцеролів у перзі, що може вказувати на коригуючу дію цих добавок на обмін ліпідів в їхньому організмі. Біологічна дія Ge і Se у бджіл більше виражена за умов поєданого застосування їх цитратів з цукровим сиропом у період весняної підгодівлі. Встановлено вірогідно вищий рівень Cu і нижчий Fe і Cd у тканинах цілого організму бджіл за умов підгодівлі як цитратом германію так і германію з селеном, а Ni – лише за комплексного згодовування цитрату германію і селену. Нижчий вміст Pb та Cd спостерігали у перзі, меді та стільниках медоносних бджіл дослідних груп. Фізико-хімічні показники меду відповідали величинам ДСТУ щодо його якості.

Введення бджолам з компонентами підгодівлі цукрового сиропу, цитратів германію та селену коригує обмін ліпідів і мінеральних елементів в організмі медоносних бджіл, що може сприяти нагромадженню енергетичних, структурних, пластичних компонентів та підвищувати їх життєздатність і продуктивність.

Література

1. Борисевич В.Б. Наноматеріали в біології. Основи нановетеринарії. / В.Б. Борисевич, В.Г. Каплуненко, М.В. Косінов. К.: ВД "Авіцена", 2010. 416 с.
2. Патон Б.Є., Москаленко В.Ф. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти / Б.Є. Патон, В.Ф. Москаленко, І. С. Чекман, Б.О. Мовчан // *Вісник НАН України*. – 2009. – № 6. – С. 18-26.
3. Чекман І.С. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) / І.С. Чекман, А.М. Сердюк, Ю.І. Кундієв, І.М. Трахтенберг *Довкілля та здоров'я*. 2009. № 1 (48). С. 3-7.
4. Iskra R. Y., Vlizlo V. V., Fedoruk R. S. Biological efficiency of citrates of microelements in animal breeding. *Agricultural Science and Practice*. 2017, 4, 28–34.
5. Каплуненко В.Г., Авдос'єва І.К., Пащенко А.Г. Реальні перспективи використання здобутків нанотехнологій у ветеринарній

практиці. *Науково-технічний бюлетень ДНДКІ ветпрепаратів і кормових добавок та Інституту біології тварин*. 2014. № 15(4). С. 252–260.

6. Влізло В.В., Федорук Р.С., Іскра Р.Я. Біологічна дія функціональних наноматеріалів у різних видів тварин. *Вісник аграрної науки*. 2018, № 11 (788). С. 80-86.

7. Влізло В.В., Бащенко М.І., Іскра Р.Я., Федорук Р.С., Жукорський О.М., Мезенцева Л.М. Нанотехнології та їх застосування у тваринництві й ветеринарній медицині. *Вісник аграрної наук*. 2015. 11. С. 5-9.

8. Сердюк А.М., Гуліч М.П., Каплуненко В.Г., Косінов М.В. Нанотехнології мікронутрієнтів: проблеми, перспективи та шляхи ліквідації дефіциту макро- та мікроелементів. *Вісник академії медичних наук*. 2010. № 1. С. 107–114.

9. Hill E.K., Li Ju. Current and future prospects for nanotechnology in animal production. *J. Anim Sci Biotechnol*. 2017. № 8. P. 26.

10. Jennifer Kuzma. Nanotechnology in animal production – Upstream assessment of applications. *Livestock Science*. 2010. № 130(1–3). P. 14–24.

11. Гуліч М.П. Продукти нанотехнології: цитрати біоелементів (хімічна характеристика, біологічна дія, сфера застосування). Київ : Медінформ, 2018. 201.

12. Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Романів Л.І., Пащенко А.Г., Двилюк І.І., Кікіш І.Б. Підгодівля бджіл і методи оцінки її ефективності. Методичні рекомендації. Львів, 2016. 31 с.

13. Чекман І. С., Горчакова Н. О., Охотніков О. М., Яковлева Н. Ю. Нанотехнології у педіатричній практиці: стан, перспективи досліджень. *Український медичний часопис*. 2010, 6 (80): 47-50.

14. DeGrandi-Hoffman, G., Gage, S. L., Corby-Harris, V., Carroll, M., Chambers, M., Graham, H. Connecting the nutrient composition of seasonal pollens with changing nutritional needs of honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Journal Insect. Physiol*, 2018, 9: 114–124.

15. Kovalchuk, I. I., Kaplunenko, V. G., Pashchenko, A. G., Dvilyuk, I. I., & Kykish, I. B. Trace elements of bees tissues after feeding by citrate-based mineral and hydrocarbon complexes. 33 Joint Annual Meeting of the German Society for Minerals and Trace Elements (GMS) with Zinc-UK «Zinc and other Transition Metals in Health and Disease». 2017, 35.

16. Ковальчук І.І., Кікіш І.Б., Каплуненко В.Г. Вплив цитратів мікроелементів на репродуктивну здатність бджолиних маток. *Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions : Collective*

monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2021. 87-110 «Актуальні проблеми природничих наук: теорія, методологія, практика». <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-6>

17. Взаємодія мікроелементів: біологічний, медичний і соціальний аспекти / І.М. Трахтенберг, І.С. Чекман, В.О. Линник, В.Г. Каплуненко, М.П. Гуліч, Е.М. Білецька, В.Ф. Шаторна, Н.М. Онул / *Вісник НАН України*. 2013, 6: 11-20.

18. Hassan S., Hassan F.U., Rehman M.S. Nano-particles of Trace Minerals in Poultry Nutrition: Potential Applications and Future Prospects. *Biol Trace Elem Res*. 2019, 9: 31.

19. Ніщенченко М.П., Панько Я.І., Ємельяненко А.А. Застосування нанотехнологій в ветеринарній медицині та ветеринарній фізіології (оглядова стаття). *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2018, 91: 67-75.

20. Shyu Hwa Tao, Bolger M. Hazard Assessment of Germanium supplements. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 1997, 25: 211-219.

21. Cho JM, Chae J, Jeong SR, Moon MJ, Shin DY, Lee JH. Immune activation of Bio-Germanium in a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial with 130 human subjects. *Therapeutic opportunities from new insights. PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240358

22. Lukevics E, Ignatovich L. Biological Activity of Organogermanium Compounds. *Cheminform*. 2003; 34 (45): 279-295.

23. Tezuka T, Higashino A, Akiba M, Nakamura T. Organogermanium (Ge-132) suppresses activities of stress enzymes responsible for active oxygen species in monkey liver preparation. *Adv Enzyme Res*. 2017; 5: 13-23.

24. Nakamura T, Nagura T, Sato K, Ohnishi M. Evaluation of the effects of dietary organic Germanium, Ge-132, and raffinose supplementation on caecal flora in rats. *Bioscience of Microbiota Food & Health*. 2012; 31: 37-45.

25. Nefodova OO, Halperin OI, Shatorna VF. The influence of cerium and germanium citrates on the process of embryogenesis of rat on the background of cadmium intoxication. *Bulletin of problems biology and medicine*. 2019; 1 (1(148)): 273-78.

26. Shatorna VF, Harets VI, Nefodova OO, Halperin OI, Deforz GV, Gruzd VV. Experimental determination of the influence of citrates of metals to embryotoxicity of cadmium salts in embryogenesis of rats. *World of Medicine and Biology*. 2019; 2 (68): 210-214.

27. Tattis A, Zupanets IA, Shebeko SK, Otrishko IA, Grintsov YeF. Study of hepatoprotective properties of the «Altsinara» drug under

conditions of acute hepatitis development in rats. *The Odesa Medical Journal*. 2016; 5: 5-11.

28. Wada T, Hanyu T, Nozaki K, Kataoka K, Kawatani T, Asahi T, Asahi Toru, Sawamura N. Antioxidant activity of Ge-132, a synthetic organic germanium, on cultured mammalian cells. *Biol Pharm Bull*. 2018; 41 (5): 749-753.

29. Fedoruk RS, Khrabko MI, Tsap MM, Martsynko OE. Growth, development and reproductive function of female rats and their offspring viability at the conditions of the watering of different doses of citrate germanium. *The Animal Biology*. 2016; 18 (3): 97–106.

30. Tesarivska U, Fedoruk R, Shumska M. Reproductive function of rat females and postnatal development of F1 and F2 offspring for the actions of different doses of nanogermanium citrate. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*. 2016; 18, 3(71): 124-129.

31. Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Мезенцева Л.М., Тесарівська У.І., Пилипець А.З., Каплуненко В.Г. Сполуки Германію та їхня роль в організмі тварин *Біологія тварин*. 2022; 24 (1): 50-60.

32. Li L., Ruan T., Lyu, Y. & Wu, B. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals. *Journal of Biosciences and Medicines*, 2017; 5: 56–73.

33. Tsekhmistrenko O.S., Bityutsky V.S., Tsekhmistrenko S.I., Kharchyshyn V.M., Tymoshok N.O., Spivak M.Ya. Efficiency of application of inorganic and nanopreparations of selenium and probiotics for growing young quails. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2020; 8(3): 206–212.

34. Tuner R. S., Finch J. M. Selenium and the immune response. *Proc. Nutr. Soc.* 1991; 50 (2): 275–285.

35. Sunge R. A., Thompson R. M., Palm M. A. Selenium regulation of selenium-dependent glutathione peroxidases in animals and transfected CHO cells. *Biomed. Environ. Sci.* 1997; 10: 346–355.

36. Kuhlre J., Brigelius-Flone R., Bock A. Selenium in biology: facts and medical perspectives. *Biol. Chem.* 2000; 381 (9–10): 849–864.

37. Chaudhary S, Umar A, Mehta SK. Selenium nanomaterials: an overview of recent developments in synthesis, properties and potential applications. *Prog Mater Sci*. 2016; 83:270–329.

38. Мізерницький О.О., Переста М.М. Біологія бджіл та ефективність препарату «Ентеронормін» з «Йодіс+Se». ЕКСКЛЮЗИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ. URL: [http:// agrotimeteh.com.ua](http://agrotimeteh.com.ua)

39. Kristen R. Hladun, Osman Kaftanoglu, David R. Parker, Khoa D. Tran, John T. Trumble. Effects of selenium on development, survival, and accumulation in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry* 2013, 32 (11), 2584-2592.

40. European Community, 2005. 1459/2005/EC. Commission Regulation (EC) No 1459/2005 of 8 Sept. 2005 amending the conditions for authorisation of a number of feed additives belonging to the group of trace elements. *Offic. J. Europ. Union L233*. 2005:8–10.

41. Vlizlo V. V. Laboratory methods of investigation in biology, stock-breeding and veterinary / V. V. Vlizlo, R. S. Fedoruk, I. B. Ratych et al. // Reference book ; Edited by V. V. Vlizlo. Lviv : SPOLOM, 2012, 764 p.

42. Folch J.A., Lees M., Sloane Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *Journal of Biological Chemistry* 1957, 226 (1): 497–509.

43. Гугушвілі Н.Н., Мірцхулава В.М., Кулакова А.Л., Власенко Ю.И., Дегтярева С.С., Бандурова Н.І. Спосіб визначення глікогену в екстракті з органів і тканин організму бджіл. – Патент № 2256320, 2005.

44. Броварський В.Д., Бріндза Я., Отченашко В.В. Методика дослідної справи у бджільництві. Київ: Видавничий дім «Вінніченко», 2017. 166 с.

45. Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Рівіс Й.Ф., Романів Л.І. Ліпідний і жирнокислотний склад тканин організму медоносних бджіл та перги за умов підгодівлі наноаквацитратами германію та селену. *Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин та ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок*. 2014, 15(2,3): 31-36.

46. Федорук Р.С., Ковальчук І.І., Романів Л.І., Храбко М.І. Вплив цитратів германію та селену на вміст ліпідів і важких металів в організмі медоносних бджіл. *Біологія тварин*. 2014, 16(2). 141-149.

47. Norbert Hrassnigg, Karl Crailsheim. Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 2005, 36 (2): 255-277.

48. Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Ковальська Л.М. Вплив цитратів германію та селену на вміст важких металів в продукції. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2014, 16. 2(59). 2: 146-151.

49. Ковальчук І.І. Вплив цитратів германію та селену на ліпідний і жирнокислотний склад тканин організму медоносних бджіл та перги. *Біологія тварин*. 2014, 16 (3): 180.

50. Ковальчук І.І. Вплив цитратів хрому та селену на ліпідний склад тканин організму медоносних бджіл *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2014, 16 (№ 3), 2: 148-153.

51. Crailsheim L. K. Free fatty acids digested from pollen and triolein in the honeybee (*Apis mellifera carnica pollmann*) midgut. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*. 2001. 171 (4): 313–319.

52. Wheirich G.F., Collins A.M., Williams V.R. Antioxidant enzymes in the honey bee *Apis mellifera*. *Apidologie*. 2002, 33: 3-14.

53. Toth A. L., Robinson G.E. Worker nutrition and division of labour in honeybees. *Anim. Behav.* 2005, 69: 427-435.

54. Pasupuleti V.R., Sammugam L., Ramesh N., Gan S.H. Honey, propolis, and royal jelly: A comprehensive review of their biological actions and health benefits. *Oxidative Med. Cell. Longev.* 2017; 2017:1259510.

55. Kovalchuk, I. I., Kaplunenko, V. G., Pashchenko, A. G., Dvylyuk, I. I., Kykish, I. B. Trace elements of bees tissues after feeding by citrate-based mineral and hydrocarbon complexes. 33 Joint Annual Meeting of the German Society for Minerals and Trace Elements (GMS) with Zinc-UK «Zinc and other Transition Metals in Health and Disease», 2017, 35.

56. Ковальчук І.І., Ковальська Л.М. Мед і методи його дослідження Методичні рекомендації. Львів, 2014. 44 с.

57. Solaيمان, M.; Islam, M.A.; Paul, S.; Ali, Y.; Khalil, M.I.; Alam, N.; Gan, S.H. Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: A comprehensive review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2016, 15, 219–233.

58. ДСТУ 4497:2005- Мед натуральний – Технічні умови https://pasika.pp.ua/docs/dstu_4497-2005.pdf

59. Puścion-Jakubik, A.; Borawska, M.H.; Socha, K. Modern Methods for Assessing the Quality of Bee Honey and Botanical Origin Identification. *Foods* 2020, 9, 1028.

60. Федорук Р.С. Підгодівля бджіл і методи оцінки її ефективності / Р.С. Федорук, І.І. Ковальчук, Л.І. Романів, А.Г. Пашенко, І.І. Двилюк, І.Б. Кикіш Методичні рекомендації. Львів, 2016. 31 с.

Information about author:
Kovalchuk Iryna Ivanivna,
Doctor of Veterinary Sciences,
Head of the Departamenr of Normal and
Pathological Physiology named after S.V. Stoianovskiy
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine