

## Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under germanium citrate supplementation

I. Kovalchuk  | T. Khymynets

### Article info

Correspondence Author

I. Kovalchuk

E-mail:

[irenakovalchuk@ukr.net](mailto:irenakovalchuk@ukr.net)Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary  
Medicine and  
Biotechnologies,  
50, Pekarska str., Lviv,  
79010, Ukraine**Citation:** Kovalchuk, I., & Khymynets, T. (2026). Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under germanium citrate supplementation. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 255–260. doi: 10.31210/spi2026.29.01.39

This research paper provides a detailed analysis of the effectiveness of using innovative trace-element supplements in beekeeping to stimulate the biological potential of bees and improve the quality of the products obtained. The study was conducted on Carpathian honeybees at a private apiary in the Zakarpattia Oblast during the fall and spring seasons. The experiment was conducted on two groups of comparable bee colonies, with five colonies in each group. Bees in the first control group were fed 60 % sugar syrup at a rate of 2 L per colony per week. The bees in the second experimental group additionally received 0.1 µg/mL of Ge in the form of citrate, produced using nanotechnology by Nanomaterials and Nanotechnologies LLC in Kyiv. The egg-laying intensity of queen bees was determined by counting the number of sealed brood using a mesh frame, while the following quality parameters were analyzed in honey samples: proline content, diastase activity, water content, and pH. During the study period, queen bees in the control and experimental groups laid 47,993 and 50,685 eggs, respectively. Clear intergroup differences in egg-laying were observed: the number of eggs laid per day in the experimental group was 2.3 % higher than in the control group over the experimental period, and at the peak of the second stage, the total number of eggs was 10.7 % higher than in the control group ( $p < 0.05$ ). The results of the spring inspection indicated an increase in colony survival to 100% compared to 90% in the control group, a 1.6-fold increase in colony strength to 6.67 frames compared to 4.25 in the control group ( $p < 0.01$ ), and a nearly twofold decrease in the weight of dead bees to 100.0 g compared to 195.2 g ( $p < 0.01$ ). Nanotechnology-based supplementation resulted in a statistically significant increase in the physicochemical parameters of honey: the proline content rose to 346.46 mg/kg compared to 312.85 mg/kg ( $p < 0.001$ ), and the diastase number increased to 11.20 Gothe units compared to 10.50 Gothe units ( $p < 0.05$ ), and the mass fraction of water decreased to 17.04 % compared to 18.13 % in the control group. The organoleptic characteristics of the honey complied with the standards of DSTU 4497:2005. The results obtained confirm the feasibility of using germanium citrate to stimulate the vital activity of bee colonies, enhance the reproductive capacity of queens, and increase the yield of marketable honey by 6.0 kg per colony.

**Keywords:** bees, germanium citrate, reproductive capacity, egg laying, productivity, honey, nanotechnology.

## Репродуктивна здатність бджолиних маток та продуктивність бджіл за підгодівлі германію цитрату

I. I. Ковальчук | Т. М. Химинець

Львівський національний  
університет ветеринарної  
медицини та біотехнологій  
імені С.З. Гжицького,  
м. Львів, Україна

У цій науковій роботі детально проаналізовано ефективність використання інноваційних мікроелементних добавок у бджільництві для стимулювання біологічного потенціалу комах та підвищення якості отриманої продукції. Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи в приватному пасічничому господарстві Закарпатської області в осінньо-весняний період. Експеримент виконано на двох групах бджолосімей-аналогів, по п'ять сімей у кожній групі. Бджоли контрольної першої групи отримували підгодівлю з 60 % цукрового сиропу в кількості 2 л/сім'ю/тиждень. Бджоли другої дослідної групи додатково отримували 0,1 мкг/мл Ge у вигляді цитрату, отриманого методом нанотехнології від ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» м. Київ. Показники інтенсивності яйцекладки бджолиних маток визначали методом підрахунку кількості печатного розплоду за допомогою рамки-сітки, а у зразках меду досліджували такі якісні показники, як вміст проліну, діастазна активність, масова частка води та pH. За обліковий період досліджень бджолиними матками контрольної та дослідної груп відкладено відповідно 47 993 та 50 685 яєць. Відзначено чіткі міжгрупові різниці в яйцекладці, де кількість відкладених яєць за добу в дослідній групі за експериментальний період була вищою на 2,3 %, а на піковому другому етапі перевищення загальної кількості яєць становило 10,7 % порівняно з контролем ( $p < 0,05$ ). Результати весняної ревізії вказали на підвищення збереженості сімей до 100 % проти 90 % у контролі, збільшення сили колоній у 1,6 раза до 6,67 вуличок проти 4,25 у контролі ( $p < 0,01$ ) та зниження маси підмору майже вдвічі до 100,0 г проти 195,2 г  $p < 0,01$ ). Нанотехнологічна підгодівля зумовлювала вірогідне підвищення фізико-хімічних показників меду: вміст проліну зріс до 346,46 мг/кг проти 312,85 мг/кг ( $p < 0,001$ ), діастазне число – до 11,20 од. Готе проти 10,50 од. Готе ( $p < 0,05$ ), а масова частка води знизилася до 17,04 % порівняно з 18,13 % у контролі. Органолептичні показники меду відповідали нормам ДСТУ 4497:2005. Отримані результати підтверджують доцільність використання цитрату Ge для стимулювання життєдіяльності бджолиних сімей, підвищення репродуктивної здатності маток та збільшення збору товарного меду на 6,0 кг на одну сім'ю.

**Ключові слова:** бджоли, цитрат германію, репродуктивна здатність, яйцекладка, продуктивність, мед, нанотехнології.**Бібліографічний опис для цитування:** Ковальчук І. І., Химинець Т. М. Репродуктивна здатність бджолиних маток та продуктивність бджіл за підгодівлі германію цитрату. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 255–260.

## Вступ

Життєздатність та продуктивність бджолої сім'ї формуються під впливом комплексу взаємопов'язаних зовнішніх і внутрішніх чинників. До зовнішніх належать кліматичні умови, різноманіття медоносних і пилюконосних рослин, що забезпечують повноцінну кормову базу, а також екологічні параметри, які визначають якість середовища існування. Внутрішні чинники охоплюють фізіологічний стан маток, силу та структуру сім'ї, рівень імунної резистентності та здатність до адаптації [4, 6, 8, 10].

Сучасні технології утримання та розведення бджіл відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої продуктивності та життєздатності. Вони передбачають оптимізацію годівлі, використання білково-жирових добавок, підтримання належного санітарно-гігієнічного стану у вуликах, а також застосування селекційних методів для підвищення репродуктивних якостей маток. Поєднання цих чинників створює умови для стабільного розвитку бджолої сім'ї і забезпечує високу результативність у виробництві бджолопродукції.

Суттєвим чинником інтенсивного розвитку бджолої сім'ї та нарощування їхньої сили у весняний період є забезпечення бджолої гнізда достатніми запасами не лише меду як основного джерела вуглеводів, а й повноцінних білків та ліпідів, що містяться у перзі [16, 19]. Найбільш цінним джерелом поживних речовин для бджіл є пилюка медоносних рослин, який відзначається високим вмістом протеїнів, незамінних амінокислот, ліпідів, а також комплексом мікро- та макроелементів.

Водночас у сучасному бджільництві дедалі ширше застосовують білково-жирові добавки на основі натуральних компонентів та окремі біогенні мінеральні елементи як альтернативу перзі. Такі підходи сприяють стимулюванню розвитку бджолої сім'ї і забезпечують підтримання репродуктивної активності маток. Інтенсивність яйцекладки бджолої маток визначається не лише наявністю нектару, а й надходженням рослинного пилюку до їхнього раціону. Пилюка характеризується високим вмістом протеїнів, незамінних амінокислот, ліпідів, макро- та мікроелементів і вітамінів, що позитивно впливає на фізіолого-біохімічні процеси в організмі медоносних бджіл і стимулює репродуктивну активність маток. Водночас природно-кліматичні умови різних регіонів не завжди забезпечують достатнє різноманіття пилюконосних і медоносних рослин, необхідних для оптимального живлення та відтворення бджолої сім'ї. Одним із ключових чинників росту та регуляції чисельності бджолої сім'ї протягом року є наявність повноцінних природних кормових ресурсів [9].

Яйцекладка бджолої маток є складним біологічним процесом, що формується під впливом комплексу природних і технологічних чинників. За умов природного способу отримання маток її інтенсивність визначається породними особливостями бджіл, віком матки, а також якістю й кількістю маточного молочка, яке продукують бджологодувальниці. Важливим чинником є кормова база, адже достатня кількість нектару та пилюку створює

оптимальні умови для розвитку матки й реалізації її репродуктивної функції. Не менш вагомими є технологія ведення бджільництва та погодні умови, що визначають загальний стан бджолої сім'ї та її здатність підтримувати високу продуктивність матки [14, 15].

За умов штучного запліднення бджолої маток спектр факторів розширюється. До цих ознак слід віднести вік племінних личинок, які використовуються для виведення маток, а також спосіб і умови їх репродукції [5]. Додаткове важливе значення мають технологічні параметри запліднення маток, оскільки саме вони визначають якість майбутнього потомства та стабільність процесу яйцекладки. Таким чином, ефективність репродуктивної функції бджолої маток формується як під впливом природних біологічних чинників, так і завдяки сучасним технологічним прийомам, що застосовуються у практиці бджільництва [13].

Сучасне ведення бджільництва спрямоване на пошук ефективних методів корекції та стимулювання репродуктивної здатності бджолої маток. Все ширше впроваджуються технології підгодівлі медоносних бджіл із використанням протеїново-жирових добавок, компоненти яких впливають на фізіологічні процеси в організмі. Особливе значення має застосування мінеральних речовин, зокрема мікроелементів у цитратній формі, що сприяють активізації обмінних процесів, підвищують інтенсивність яйцекладки та забезпечують формування життєздатного потомства. У практиці весняної підгодівлі такі підходи сприяють швидкому нарощуванню сили бджолої сім'ї, що дає змогу ефективно використовувати ранній період медозбору. Молоді бджолої, вирощені в цих умовах, характеризуються високою продуктивністю, стійкістю до несприятливих факторів середовища та підвищеною резистентністю організму [3, 9].

Додаткове застосування мінеральних елементів у цитратній формі має виражений регуляторний ефект, беручи участь у ферментативних процесах, стабілізуючи кислотно-лужний баланс та забезпечуючи оптимальне функціонування репродуктивної системи бджолої маток. Тому дослідження репродуктивної функції бджолої маток за умов підгодівлі мікроелементами у цитратній формі має певний практичний і науковий інтерес.

## Мета дослідження

Метою роботи було дослідити вплив германію цитрату на інтенсивність яйцекладки бджолої маток у весняний період та на продуктивність бджолої сім'ї.

### Завдання дослідження:

- Проаналізувати літературні джерела щодо репродуктивної системи бджолої маток і ролі мінеральних елементів у їх підгодівлі.

- Дослідити вплив германію цитрату на інтенсивність яйцекладки маток і розвиток бджолої сім'ї у весняний період.

- Оцінити продуктивність бджіл за умов весняної підгодівлі германію цитратом та узагальнити практичне значення отриманих результатів для бджільництва.

## Матеріали і методи

Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи в приватному пасічницькому господарстві Закарпатської області в осінньо-весняний період. Досліди були виконані на двох групах бджолосімей-аналогів за масою бджіл, силою сім'ї та віком матки, по п'ять сімей у кожній групі.

Бджоли першої (контрольної) групи у період підгодівлі отримували 60 % цукровий сироп у кількості 2 л/сім'ю/тиждень.

Друга група бджіл (Д1) додатково до 2 л цукрового сиропу отримувала 0,1 мкг/мл Ge у вигляді нанотехнологічного цитрату. Тривалість згодовування цукрового сиропу та нанотехнологічного цитрату Ge становила 30 дів у літньо-осінньому періоді (серпень-вересень).

Крім того, впродовж зимівлі та ранньовесняного періоду контролювали стан бджолосімей контрольної та дослідної груп, їхню силу за кількістю бджіл і масу «підмору». Для визначення стану сімей після зимівлі було оцінено їхню зимостійкість шляхом порівняння даних головних весняних ревізій (лютий–березень–квітень). При цьому враховували такі показники: кількість загинувших сімей; масу «підмору» та кількість витраченого корму під час зимівлі з розрахунку на одну бджолину сім'ю (кг); силу сім'ї після зимівлі за кількістю вуличок; кількість печатного розплоду на день весняної ревізії. Оцінку збереженості бджолиних сімей після зимівлі здійснювали на основі їхньої наявності та сили на момент проведення ревізії.

Для визначення інтенсивності розвитку, стану бджолиних сімей та оцінки відтворної здатності маток було проведено підрахунок кількості печатного розплоду у гніздах сімей за допомогою рамки-сітки та визначено середньодобове відкладання яєць маткою. Підрахунок проводили шляхом безпосереднього накладання рамки-сітки на стільники зі зрілим запечатаним розплідом з інтервалом у 12 дів, оскільки бджолиний розплід перебуває в запечатаному стані впродовж 12 дів. Підраховували суму запечатаних комірок усіх квадратів за один промір та поділивши її на 12, отримували показник інтенсивності середньодобової яйцекладки бджолиних маток.

Для дослідження продукції бджіл у червні відбирали поліфлорний мед із вуликів контрольної та дослідної груп бджолиних сімей. У зразках меду визначали якісні показники, зокрема вміст проліну, діастазну активність, масову частку води та рН.

Цифрові дані опрацьовано статистично з використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel із визначенням середніх величин  $M$ , їхніх помилок  $\pm m$  і ступеня вірогідності міжгрупових різниць за критерієм Стьюдента ( $p$ ).

## Результати та їх обговорення

Раціон медоносних бджіл формується завдяки поєднанню нектару та квіткового пилку, причому найбільш цінним є поліфлорний пилок, що вирізняється високим рівнем біологічної різноманітності. Такий корм забезпечує комах необхідними вітамінами, макро- та мікроелементами, а також є джерелом

протеїну, незамінних амінокислот, ферментів і ліпідів. Сукупність цих компонентів оптимізує фізіолого-біохімічні процеси в організмі бджіл і стимулює репродуктивну активність маток [3, 17].

Весняна ревізія показала, що бджолині сім'ї дослідної групи характеризувалися вищою активністю. Вони здійснювали обліт раніше й не виявляли ознак порушення санітарного стану вулика. Збереженість бджіл у зимовий період визначається комплексом чинників, серед яких спадкові особливості сім'ї, рівень її здоров'я, якість осіннього нарощування, поживна цінність кормів, породні характеристики та інші біологічні й екологічні параметри. У період зимівлі бджолині сім'ї дослідної групи продемонстрували вищий рівень збереженості порівняно з контрольною. Витрати кормів у цих сім'ях були меншими, що пояснюється кращим фізіологічним станом і стійкістю до несприятливих умов. Натомість контрольні сім'ї споживали більше меду, оскільки потребували додаткових енергетичних ресурсів для підтримання належного мікроклімату в гнізді.

Заміна бджолиних сімей, які перезимували, триває протягом 30–35 дів, починаючи з моменту першого весняного обльоту та активізації яйцекладки матки. У сильних сім'ях тривалість життя бджіл після очисного обльоту сягає 40–45 дів, і на час їхньої загибелі сила колонії зростає в середньому на 2–3 вулички. Тривалість цього періоду значною мірою визначається якістю та тривалістю життя медоносних бджіл, що залежать від сили сім'ї, умов зимівлі, рівня забезпеченості кормами, весняних погодних умов та особливостей медозбору.

За результатами весняної ревізії встановлено, що бджолині сім'ї дослідної групи, які отримували підгодівлю цукровим сиропом із додаванням 0,1 мкг/мл германію цитрату, характеризувалися вірогідно вищим рівнем збереженості порівняно з контролем, що становило 100 % проти 90 % відповідно (*табл. 1*).

**Таблиця 1**

Стан та сила бджолиних сімей за показниками весняної ревізії ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ )

Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)
Сила сім'ї, вуличок	4,25±0,258	6,67±0,67**
Кількість розплоду, рамок	2,10±0,12	2,67±0,33
Підмор, г	195,2±25,05	100,0±11,55**
Забрудненість рамок каловими масами, балів	3	відсутня
Збереженість, %	90	100

Примітка: \*\* –  $p < 0,01$  – вірогідні різниці між контрольною та дослідною групами.

Важливо зазначити, що під час осінньої підгодівлі сила сімей у дослідній та контрольній групах була однаковою. Проте навесні суттєва перевага залишалася за бджолиними сім'ями дослідної групи, що проявлялося у збереженні більшої сили колоній, яка була вищою у 1,6 раза ( $p < 0,01$ ) за показник у контрольній групі, а також у збільшенні підрамкового простору.

Отримані результати свідчать про позитивний вплив цитрату германію на життєздатність і силу бджолиних сімей, що підтверджує його ефективність у підтриманні фізіологічного стану та стійкості комах. Зокрема, у бджолиних гніздах дослідної групи

після зимівлі під час весняної ревізії відзначено меншу кількість підмору та більший обсяг розплоду порівняно з контрольною групою. Характерною ознакою було збереження чистоти вуликів без слідів калових мас і цвілі, тоді як у контрольній групі зафіксовано забрудненість рамок, оцінену у 3 бали. Ці дані додатково підтверджують позитивний вплив умов підгодівлі на санітарний стан гнізд.

Упродовж періоду весняного розвитку бджолині сім'ї дослідної групи демонстрували інтенсивніше нарощування сили порівняно з контролем (рис. 1).

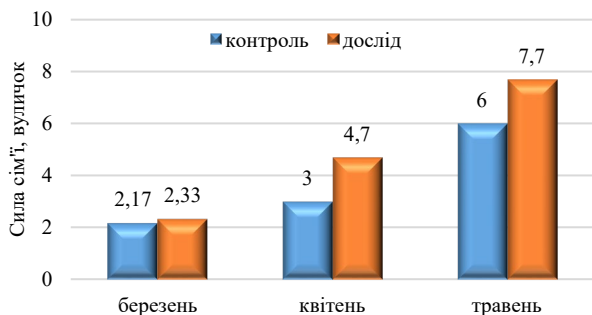


Рис. 1. Динаміка розвитку бджолиних сімей у весняний період

## Таблиця 2

Інтенсивність яйцекладки бджолиних маток, кількість яєць/добу ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ )

Дата проміру / 12-добові етапи досліджень		Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)	% до контролю
Підготовчий період	I етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 185,5±145,05	1 227,03±107,77	103,5
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	14 255,5±389,55	14 748,7±589,3	–
Дослідні періоди	II етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 385,5±58,50	1 401,5±24,8	–
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	16 155,2±458,2	17 884,0±658,53	110,7
		% до I етапу	113,3	121,3	–
	III етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 470,5±52,45	1 504,4±23,56	102,3
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	17 582,5±125,58	18 052,3±282,73	–
		% до II етапу	108,8	100,9	–
Усього відкладено яєць за обліковий період, шт.			47 993,2	50 685,0	105,6

У дослідній групі загальна кількість яєць за весь період експерименту зростала як порівняно з контролем, так і порівняно з підготовчим етапом. Підвищений рівень яйцекладки у бджолиних маток може бути пов'язаний із посиленням вмісту біологічно активних речовин у маточному молочку бджіл-годувальниць під впливом германію цитрату на їхній метаболізм, а також завдяки стимулюючій дії на функціональну активність репродуктивної системи маток. Встановлено прямий взаємозв'язок між силою бджолиної сім'ї та продуктивністю медозбору: потужні сім'ї забезпечують більший вихід меду на одиницю живої маси, оскільки відносно менша частка особин витрачається на вирощування розплоду (табл. 3).

Бджолині сім'ї дослідної групи, які отримували підгодівлю германію цитратом, характеризувалися суттєво вищою продуктивністю порівняно з контрольними. За умов вищої чисельності робочих бджіл на початку медозбору вони забезпечили значно більший загальний вихід меду, а середній показник товарного меду на одну сім'ю перевищив контрольний на 6 кг. Це свідчить про позитивний вплив германію цитрату на силу та ефективність бджолиних сімей у весняний

За результатами весняних спостережень у березні показники груп були майже на одному рівні й становили 2,17 та 2,33 вулички відповідно. Проте вже у квітні перевага дослідної групи становила 56 % (4,7 вулички проти 3,0 у контролі), а у травні – 28 % (7,7 вулички проти 6,0), що свідчить про стабільніший розвиток і вищу життєздатність дослідних сімей за умов використання нанотехнологічного мікроелемента.

Встановлено відмінності інтенсивності середньодобової яйцекладки бджолиних маток у дослідній групі порівняно з матками бджолиних сімей контрольної групи, що свідчить про позитивний вплив застосованих умов утримання на їхню репродуктивну активність (табл. 2).

Облік зрілого печатного розплоду за умов підгодівлі германію цитратом показав підвищення інтенсивності яйцекладки бджолиними матками у дослідній групі, яке за загальною кількістю яєць на II етапі перевищувало контроль на 10,7 %. Упродовж другого періоду експерименту середня кількість відкладених яєць у дослідній групі становила 17 884 проти 16 155 у контрольній, що підтверджує стимулюючий вплив нанотехнологічного препарату на репродуктивну активність маток.

період і підтверджує доцільність його використання у практиці бджільництва.

## Таблиця 3

Продуктивність бджолиних сімей за впливу германію цитрату ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ )

Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)
Кількість бджіл у сім'ї на початку медозбору, тис. шт.	118	125
Вироблено меду всього, включаючи на корм бджолам, кг	3 050	3 750
Отримано товарного меду на одну бджолину сім'ю, кг	18,0	24,0

Мед характеризується високою біологічною цінністю завдяки наявності комплексу ферментів. Найбільш поширеними серед них є глюкозооксидаза, інвертаза та діастаза, кожна з яких виконує свої специфічні функції. Глюкозооксидаза бере участь у формуванні перекису водню, що забезпечує антимікробні властивості продукту; інвертаза каталізує розщеплення сахарози на глюкозу та фруктозу, формуючи характерний вуглеводний склад; діастаза

здійснює гідроліз крохмалю та інших полісахаридів, сприяючи перетворенню складних вуглеводів у більш доступні форми [2, 7, 11].

Слід підкреслити, що активність діастази має ключове значення для оцінки якості меду, оскільки саме цей показник відображає його натуральність і ступінь свіжості [12, 18]. Висока діастазна активність є показником збереження ферментативних властивостей меду, тоді як її зниження може свідчити про перегрівання продукту або надмірно тривале зберігання. Діастазний показник широко застосовується для стандартизації та контролю якості меду, а також використовується для оцінки його харчової та лікувальної цінності [1, 20].

За результатами дослідження якісних показників меду встановлено, що значення проліну та діастазного числа у зразках дослідної групи були вірогідно вищими порівняно з контрольною, перевищуючи їх в середньому у 1,1 раза ( $p < 0,05-0,001$ ) (табл. 4).

#### Таблиця 4

Якісні та фізико-хімічні показники меду за умов згодовування германію цитрату ( $M \pm m, n = 5$ )

Показники якості	Контрольна	Дослідна (Д1)
Пролін, мг/кг	312,85±3,55	346,46±0,46***
Діастазне число, од. Готе	10,50±0,25	11,20±0,03*
Масова частка води, %	18,13±0,35	17,04±0,83
pH	4,15±0,05	4,00±0,01*

Примітка. \* –  $p < 0,05$ ; \*\*\* –  $p < 0,01$  – вірогідні різниці між контрольною та дослідною групами.

Масова частка води є одним із ключових критеріїв якості меду. За умов її підвищеного рівня бджолопродукція швидше кристалізується або переходить у рідкий стан, а ймовірність розвитку процесів бродіння істотно зростає. За результатами визначення масової частки води у зразках встановлено її нижчий рівень у дослідній групі (17,04 %) порівняно з контрольною (18,13 %), що свідчить про позитивний регуляторний вплив германію цитрату на процеси дозрівання меду та зв'язування води вуглеводами.

За органолептичними показниками отриманий мед повністю відповідав вимогам ДСТУ 4497:2005. Ознак бродіння в жодному зразку не виявлено; продукт мав солодкий, ніжний смак без сторонніх присмаків, характерний відтінок кольору від світло-жовтого до жовтого, в'язку консистенцію та був вільний від механічних домішок.

#### Висновки

1. Згодовування бджолиним сім'ям нанотехнологічного германію цитрату у дозі 0,1 мкг/мл ефективно активує репродуктивну функцію бджолиних маток. Це підтверджується зростанням загальної кількості відкладених яєць за обліковий період на 5,6 % (50 685 проти 47 993,2 шт. у контролі), з максимальним інтенсифікаційним зростанням на II етапі досліджень, де показник перевищив контроль на 10,7 % ( $p < 0,05$ ).

2. Застосування мікроелемента забезпечує високу життєздатність колоній у зимово-весняний період: збереженість бджолосімей дослідної групи становила 100 % проти 90 % у контролі, а весняна сила сімей була вищою у 1,6 раза ( $p < 0,01$ ) на тлі зниження маси підмору майже вдвічі (100,0 г проти 195,2 г у контролі) та повної відсутності калового забруднення рамок.

3. Включення германію цитрату до весняного раціону позитивно впливає на товарну продуктивність пасіки та якість меду. Середній збір товарного меду на одну бджолину сім'ю зріс на 6,0 кг, при цьому кінцевий продукт характеризувався кращим ступенем зрілості (зниження вологості до 17,04 % проти 18,13 % у контролі) та вищою біологічною цінністю: вміст проліну зріс до 346,46 мг/кг ( $p < 0,001$ ), а діастазне число – до 11,20 од. Готе ( $p < 0,05$ ).

#### ДЕКЛАРАЦІЇ

##### Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до комах та загальним принципам біоетики. Клініко-експериментальна частина роботи виконана з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV), а також міжнародних етичних стандартів щодо захисту та збереження біорізноманіття корисних ентомофагів.

Оцінку стану бджолосімей, сили колоній та відтворної здатності маток виконували виключно неінвазивними методами (шляхом візуального огляду та безпосереднього накладання рамки-сітки на стільники) без нанесення травм чи будь-якої шкоди біологічному об'єкту. Під час експерименту бджолам забезпечували належні технологічні умови утримання в стандартних вуликах на базі приватного пасічного господарства, якісний догляд, збалансовану весняну підгодівлю та повну мінімізацію дискомфортних чинників, що забезпечило 100 % збереженість сімей після зимівлі.

##### Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

##### Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

##### Подяки

Немає.

##### Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

## References

1. Alaerjani, W. M. A., & Mohammed, M. E. A. (2024). Impact of floral and geographical origins on honey quality parameters in Saudi Arabian regions. *Scientific Reports*, 14 (1), 8720. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59359-y>
2. Amiri, E., Strand, M., Rueppell, O., & Tarpy, D. (2017). Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: Potential for interactions between two major threats to colony health. *Insects*, 8 (2), 48. <https://doi.org/10.3390/insects8020048>
3. Androshulik, R. L., & Kovalchuk, I. I. (2023). Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under magnesium citrate supplementation. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 24 (2), 25–32. <https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.02>
4. Bygera, S. I. (2005). Selektiino-pleminna robota v haluzi bdzhilnystvstva [Breeding and selection work in the field of beekeeping]. *Pasika*, 8, 16. [in Ukrainian]
5. Collins, A. M. (2000). Relationship between semen quality and performance of instrumentally inseminated honey bee queens. *Apidologie*, 31 (3), 421–429. <https://doi.org/10.1051/apido:2000132>
6. Corona, M., Velarde, R. A., Remolina, S., Moran-Lauter, A., Wang, Y., Hughes, K. A., & Robinson, G. E. (2007). Vitellogenin, juvenile hormone, insulin signaling, and queen honey bee longevity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (17), 7128–7133. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701909104>
7. Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
8. Dmitruk, I. V., & Suhovuha, S. M. (2016). Growth and development of bees using organic acids and probiotics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 18 (2), 85–89. <https://doi.org/10.15421/nvlvet6719>
9. Dvylyuk, I. I., Kovalchuk, I. I., & Dvylyuk, I. V. (2019). Features of functioning of the reproductive system of honey bees queen after feeding the silver and copper nanoparticles citrate-based. *The Animal Biology*, 21 (3), 33–41. <https://doi.org/10.15407/animbio121.03.033>
10. Fine, J. D., Shpigler, H. Y., Ray, A. M., Beach, N. J., Sankey, A. L., Cash-Ahmed, A., Huang, Z. Y., Astrauskaite, I., Chao, R., Zhao, H., & Robinson, G. E. (2018). Quantifying the effects of pollen nutrition on honey bee queen egg laying with a new laboratory system. *Plos One*, 13 (9), e0203444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203444>
11. Huang, Z., Liu, L., Li, G., Li, H., Ye, D., & Li, X. (2019). Nondestructive determination of diastase activity of honey based on visible and near-infrared spectroscopy. *Molecules*, 24 (7), 1244. <https://doi.org/10.3390/molecules24071244>
12. Kędzierska-Matysek, M., Florek, M., Wolanciuk, A., Skałeczki, P., & Litwińczuk, A. (2016). Characterisation of viscosity, colour, 5-hydroxymethylfurfural content and diastase activity in raw rape honey (*Brassica napus*) at different temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (4), 2092–2098. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2194-z>
13. Khan, K. A., Rafique, M. K., Lashari, M. A., Iqbal, A., Mahmood, R., Ahmed, A. M., Khoso, F. N., Ahmad, S., AL-Shehri, B. M., Mohammed, M. E. A., & Ghramh, H. A. (2022). Instrumental insemination: A nontraditional technique to produce superior quality honey bee (*Apis mellifera*) queens. *Journal of King Saud University - Science*, 34 (5), 102077. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102077>
14. Neumann, P., Hepburn, H. R., & Radloff, S. E. (2000). Modes of worker reproduction, reproductive dominance and brood cell construction in queenless honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Apidologie*, 31 (4), 479–486. <https://doi.org/10.1051/apido:2000140>
15. Page, R. E., & Erickson, E. H. (1988). Reproduction by worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 23 (2), 117–126. <https://doi.org/10.1007/bf00299895>
16. Paray, B. A., Kumari, I., Hajam, Y. A., Sharma, B., Kumar, R., Albeshr, M. F., Farah, M. A., & Khan, J. M. (2021). Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28 (1), 1167–1176. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.053>
17. Romaniv, L. I., Fedoruk, R. S., & Kaplunenko, V. H. (2013). Reproduktyvna zdattmist bdzholynykh matok za pidhodivli boroshnom soi z dodavanniam khromu [Reproductive capacity of honeybee queens for feeding soy flour with chromium]. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomoria*, 4 (76), 136–144. [in Ukrainian]
18. Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H., & Ré, E. (2008). Honey diastase activity modified by heating. *Food Chemistry*, 106 (3), 883–887. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.025>
19. Wright, G. A., Nicolson, S. W., & Shafir, S. (2018). Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 63 (1), 327–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>
20. Žak, N., & Wilczyńska, A. (2023). The importance of testing the quality and authenticity of food products: The example of honey. *Foods*, 12 (17), 3210. <https://doi.org/10.3390/foods12173210>

## ORCID

- I. Kovalchuk  <https://orcid.org/0000-0001-9932-6315>  
T. Khymynets  <https://orcid.org/0009-0001-3173-7318>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.