

Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519–2698 print
ISSN 2707-5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a10215
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 638.19:638.1:633.31

Research into factors that influence the amount of royal jelly produced by honey bees

Yu. P. Polupan¹✉, A. Y. Druzhibiak², L. M. Kovalska², M. Ye. Lutsiv², V. V. Zhmur², R. V. Havdan²,
M. A. Druzhibiak², V. A. Hrynyk², P. M. Ivashchuk²

¹*Institute of Animal Breeding and Genetics nd. a. M. V. Zubets NAAS, Kyiv, Ukraine*

²*Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine*

Article info

Received 05.02.2025

Received in revised form

06.03.2025

Accepted 07.03.2025

Polupan, Yu. P., Druzhibiak, A. Y., Kovalska, L. M., Lutsiv, M. Ye., Zhmur, V. V., Havdan, R. V., Druzhibiak, M. A., Hrynyk, V. A., & Ivashchuk, P. M. (2025). Research into factors that influence the amount of royal jelly produced by honey bees. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences*, 27(102), 102–108. doi: 10.32718/nvlvet-a10215

Institute of Animal Breeding and Genetics nd. a. M. V. Zubets NAAS, Pogrebnyaka Str., 1, Chubynske, Kiev region, 08321, Ukraine. Tel.: +38-050-669-52-22 E-mail: yupolupan@ukr.net

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Pekarska Str., 50, Lviv, 79010, Ukraine.

The natural instinct of queen rearing in bees is an evolutionarily established mechanism aimed at ensuring the survival and restoration of the bee colony. It is activated in situations when the bee colony loses the queen or when the existing queen becomes old, weak or less productive. When the bees in the nest stop feeling the queen's pheromones – special chemical biologically active substances, they react to her absence. This serves as a trigger for activating the instinct of rearing a new queen. The technological process of obtaining royal jelly is carried out on these principles. However, there are many factors that affect the indicators of obtaining this product. The article provides data on the influence of the nature of honey collection on the intensity of filling the queen cells with royal jelly. It is shown that when acacia nectar is secreted, honey bees quickly obtain a significant amount of carbohydrate resources. Up to 5–7 kg of nectar enters the nest during the day. Under such conditions, bees in the nurse colony give preference to the instinct of accumulating food. At the same time, the number of larvae accepted for queen rearing decreases. In the queen colonies, a 32.5 % lower amount of royal jelly was also found compared to the indicators obtained during the flowering of winter rapeseed. Along with this, the article describes the influence of the age of queen larvae on the indicators of their acceptance for rearing in nurse colonies. The most effective acceptance of larvae in experimental colonies occurs when the age of the transferred larva ranges from 12 to 24 hours. In the group of larvae whose age was 8 hours, the acceptance rate was lower compared to 12-hour ones by 13.5 % ($P < 0.001$). With an increase in the age of larvae inoculated for queen rearing by more than 24 hours, their acceptance rate also decreases by 26.3 % ($P < 0.001$). The article analyzes factors that reduce the acceptance rate of older larvae for queen rearing. Some of the reasons are related to the period that characterizes the physiological specialization of larvae. At the age of more than 12 hours, larvae undergo genetically determined selection mechanisms. Evolutionarily determined behavioral reactions of bees lead to the selective acceptance of younger larvae. It should be noted that there is a weakening of chemical signaling. Pheromones of older larvae are less attractive to nurse bees, which reduces their desire to accept such larvae. It is generally accepted that the process of obtaining royal jelly is considered an incomplete technological process of obtaining queen bees. Under such conditions, it should be understood that the family is experiencing an exacerbation of energy efficiency of resources associated with optimal use of feed. Older larvae require more resources, while their quality as future queens is no longer ideal. After 12 hours of development, physiological changes make such larvae less suitable for transformation into quality queens. These reasons may partially explain the decrease in the number of older larvae accepted.

Key words: Carpathian breed of bees, productivity level, closed brood, bribery intensity, economic efficiency, pharyngeal glands, royal jelly.

Дослідження факторів, які впливають на кількість отриманого маточного молочка медоносними бджолами

Ю. П. Полупан^{1✉}, А. Й. Дружб'як², Л. М. Ковальська², М. Є. Луців², В. В. Жмур², Р. В. Гавдан², М. А. Дружб'як², В. А. Гриник², П. М. Іващук²

¹Інститут розведення і генетики тварин імені М. В. Зубця НААН, с. Чубинське, Україна

²Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

Природний інстинкт вироцуння маток у бджіл – це еволюційно закріпленій механізм, спрямований на забезпечення виживання та відновлення бджолиної сім'ї. Він активується в ситуаціях, коли бджолина сім'я втрачає матку або коли наявна матка стає старою, слабкою чи менш продуктивною. Коли у гнізді бджоли перестають відчувати феромони матки – спеціальні хімічні біологічно активні речовини, вони реагують на її відсутність. Це слугує тригером для активації інстинкту вироцуння нової матки. На цих засадах здійснюється технологічний процес отримання маточного молочка. Однак існує безліч факторів, які впливають на показники отримання цієї продукції. У статті наводяться дані щодо впливу характеру медозбору на інтенсивність наповнення маточників маточним молочком. Показано, що при нектаровиділенні акації медоносні бджоли швидко отримують значну кількість вуглеводних ресурсів. У гніздо протягом доби поступає до 5–7 кг нектару. За таких умов бджоли, які перебувають у сім'ї-виховательці, надають перевагу інстинкту нагромадження кормів. При цьому знижується число личинок, прийнятих на маточне виховання. У маточниках також виявлено меншу на 32,5 % кількість маточного молочка порівняно з показниками, які отримані при цвітінні ріпаку озимого. Поряд з цим у статті описано вплив віку маточних личинок на показники їх прийому для вироцуння у сім'ях-виховательках. Максимально ефективний прийом личинок у піддослідних сім'ях настає тоді, коли вік перенесеної личинки коливається в межах від 12 до 24 годин. У групі личинок, вік яких становив 8 годин, показник прийому був менший порівняно з 12-годинними на 13,5 % ($P < 0,001$). Зі збільшенням віку прищеплених для маточного вироцуння личинок понад 24 години, показник їх прийому також знижується на 26,3 % ($P < 0,001$). У статті проаналізовано фактори, які знижують показники прийому личинок старшого віку на маточне виховання. Деякі причини пов'язані з періодом, що характеризує фізіологічну спеціалізацію личинок. У віці понад 12 годин личинки зазнають генетично детермінованих механізмів селекції. Еволюційно обумовлені поведінкові реакції бджіл призводять до вибіркового прийняття личинок молодшого віку. Варто зазначити, що спостерігається ослаблення хімічної сигналізації. Феромони старших личинок менш привабливі для бджіл-годувальниць, що знижує їхнє бажання приймати таких личинок. Прийнято вважати, що процес отримання маточного молочка вважається незавершеним технологічним процесом отримання бджолиних маток. За таких умов слід розуміти, що в сім'ї відбувається загострення енергоефективності ресурсів, пов'язаних з оптимальним використанням кормів. Старші личинки потребують більше ресурсів, водночас їхня якість як майбутніх маток вже не є ідеальною. Після 12 годин розвитку фізіологічні зміни роблять таких личинок менш придатними для перетворення на якісних маток. Ці причини можуть частково дати відповідь на показники зниження кількості прийнятих личинок старшого віку.

Ключові слова: карпатська порода бджіл, рівень продуктивності, закритий розплід, інтенсивність взятку, економічна ефективність, глоткові залози, маточне молочко.

Вступ

Динаміка інтенсивності медозбору має значний вплив на якість прищеплювальних личинок через кілька ключових факторів, які пов'язані з харчуванням, фізіологічним станом сімей-виховательок та їхньою здатністю доглядати за личинками. Під час активного медозбору бджоли мають доступ до великої кількості нектару та пилку, що забезпечує сім'ї-виховательки достатньою кількістю поживних речовин. Це сприяє виробленню високоякісного маточного молочка, яке є основним джерелом живлення для личинок (Zhang et al., 2022; Kovalskyi et al., 2022; Ravis et al., 2024; Pastushok et al., 2024). У періоди слабкого медозбору або його відсутності бджоли можуть відчувати дефіцит поживних ресурсів. Це призводить до зниження якості маточного молочка, що безпосередньо впливає на розвиток личинок (Gasic et al., 2007). Інтенсивний медозбір стимулює активність бджіл, поліпшує їхній фізіологічний стан і сприяє виробленню ферментів, необхідних для перетравлення нектару та пилку. Це позитивно впливає на здатність годувати личинок. У разі низької інтенсивності медозбору бджоли можуть бути менш активними, що знижує їхню здатність ефективно доглядати за личинками (Cao et al., 2016). Під час активного медозбору в сім'ї збільшується кількість бджіл-

годувальниць, які відповідають за догляд за личинками, що забезпечує краще кормозабезпечення прищеплювальних личинок. У періоди слабкого медозбору кількість годувальниць може зменшуватися, оскільки частина бджіл переключасться на пошук ресурсів, що знижує якість догляду за личинками. Інтенсивний медозбір стимулює вироблення гормонів, які регулюють поведінку бджіл, зокрема їхню здатність годувати личинок (Sabatini et al., 2009). Це створює сприятливі умови для розвитку якісних маток. У разі слабкого медозбору гормональний баланс може порушуватися, що негативно впливає на поведінку бджіл і якість догляду за личинками.

За сприятливих умов медозбору бджоли сім'ї-виховательки краще приймають личинок, оскільки мають достатньо ресурсів для їхнього догляду. Це підвищує відсоток прийому личинок і якість майбутніх маток. При низькій інтенсивності медозбору прийом личинок може знижуватися через дефіцит ресурсів і зменшення активності бджіл.

Таким чином, динаміка інтенсивності медозбору має визначальний вплив на живлення, фізіологічний стан і поведінку сімей-виховательок, унаслідок чого є критичним фактором, який визначає якість прищеплювальних личинок (Ghosh et al., 2024). Для забезпечення високої якості личинок важливо підтримувати

оптимальні умови медозбору або компенсувати їх нестачу шляхом додаткового підгодовування.

Мета дослідження

Вивчення факторів, які впливають на якість прийому личинок та продуктивність маточного молочка. Для досягнення мети поставлено завдання дослідити динаміку медозбору в умовах Львівської області, її вплив на кількість прийнятих личинок у сім'ях-виховательках. Водночас проводилися дослідження впливу віку личинок на якість їх прийому для маточного вирощування.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження виконано протягом 2023–2024 років в умовах кафедри виробництва і переробки продукції дрібних тварин Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Вони проводилися в кілька етапів.

На першому етапі сформовано сім'ї-виховательки за методом аналогів. Кількість вуглеводного корму у піддослідних сім'ях коливалась в межах від 8,4 до 8,7 кг. З метою збільшення кількості прийнятих личинок у деяких експериментах використовували сім'ї-стартери. У ці сім'ї поміщали прищеплені личинки на перші дві доби. Сім'ї-виховательки сформовані у благополучному щодо заразних захворювань господарстві. У дослідженнях 2023 року з метою підсилення сімей-вихователюк молодими бджолами додатково використовували сім'ї-донори, з яких за 7–8 діб до проведення прищеплення личинок відбирали запечатаний розплід на виході і здійснювали його інтродукцію у виховательки. За 4–5 год до прищеплення личинок на вирощування у сім'ї-виховательці створювали колодязь – місце, в яке встановлюють прищеплювальну рамку. Вона складалася з трьох планок, на яких рядами прикріплені воскові мисочки. Кількість воскових мисочок у прищеплювальних рамках була однаковою і становила 45 шт. у кожній.

Прищеплення личинок проводили за допомогою шпателя, виготовленого з нержавіючої сталі, з робочою поверхнею завширшки 2 мм. Для отримання маточного молочка використовували спосіб Пратта-Дулітля, який забезпечує перенесення личинок з материнської сім'ї у маточні мисочки без руйнування стільника.

В умовах проведення досліджень проводилося 6–10-кратне прищеплення личинок на маточне виховання у піддослідних сім'ях-виховательках з періодичністю у 3 доби.

В обладнаному інтенсивним освітленням приміщенні, де проводилося прищеплення личинок у маточні мисочки, підтримувалися оптимальні для цього процесу параметри мікроклімату – температура 26–28 °С, відносна вологість 80–90 %. Статистичний аналіз проводили за допомогою програмного забезпечення Statistica 7.0. Для виявлення суттєвих відмінностей між досліджуваними групами використовували односторонній дисперсійний аналіз (ANOVA). У разі використання абсолютних показників статистично значущою різницею вважали $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Проведені нами дослідження дають підставу вважати, що інтенсивність продукування маточного молочка тісно пов'язана з періодом нектаровиділення медоносів, оскільки доступність нектару та пилку є ключовими чинниками, що впливають на фізіологічний стан бджіл-годувальниць і їхню здатність синтезувати молочко. Особливості цвітіння різних медоносів, таких як акація та ріпак, формують різний вплив. Коли цвітіння медоносів короткотривале, але інтенсивне, як у випадку з акацією, медоносні бджоли швидко отримують значну кількість ресурсів. У гніздо протягом доби поступає до 5–7 кг нектару. За таких умов бджоли які перебувають у сім'ї-виховательці надають перевагу інстинкту нагромадження кормів. При цьому кількість прийнятих на маточне виховання личинок знижується. У маточниках виявлено меншу на 32,5 % кількість маточного молочка порівняно з показниками, які отримані при цвітінні ріпаку озимого.

Нектар, отриманий у період цвітіння садів, має високу концентрацію цукрів, а пилок багатий на білки, що стимулює активну роботу гіпофарингіальних залоз у бджіл-годувальниць. Це створює сприятливі умови для інтенсивного продукування маточного молочка. При цьому короткий період цвітіння з помірною інтенсивністю нектаровиділення збільшує продуктивність отримання маточного молочка у піддослідних сім'ях (рис. 1).

Ріпак, навпаки, цвіте довше – близько 25–30 діб з відносно рівномірним виділенням нектару. Це забезпечує постійне, але помірне поступлення нектару та пилку у гніздо. За таких умов бджоли можуть підтримувати стабільне виробництво маточного молочка упродовж тривалішого часу, хоча його обсяг може бути меншим, ніж за умов інтенсивного короткого медозбору. В обох випадках важливу роль відіграє баланс між потребами сім'ї та доступністю ресурсів. За інтенсивного нектаровиділення медоносів бджоли використовують надлишок ресурсів для збільшення вироблення молочка, що важливо для годівлі личинок та отримання продукту. У періоди помірного, але тривалого медозбору вони зберігають стабільну продуктивність маточного молочка, хоча й меншими темпами відбувається нагромадження меду. Таким чином при оптимізації умов для отримання маточного молочка слід враховувати активність і тривалість медозбору. Підгодівля під час слабкого медозбору також може бути ефективним засобом підтримання інтенсивності виробництва маточного молочка.

Процес отримання маточного молочка базується на біологічних особливостях медоносних бджіл, які пов'язані з їхньою природною поведінкою та фізіологією. Бджоли-годувальниці відіграють вирішальну роль у процесі отримання маточного молочка, адже саме вони забезпечують цей унікальний продукт, необхідний для розвитку бджолиних личинок. У медоносних бджіл є конкретна вікова категорія, в якій гіпофарингеальні та мандибулярні залози, що відповідають за вироблення складових компонентів маточного молочка, є максимально активними.

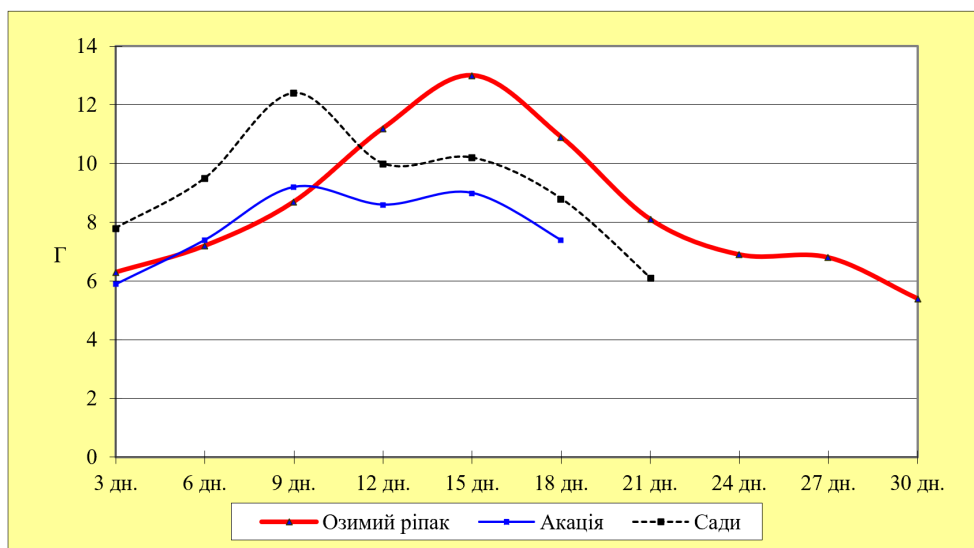


Рис. 1. Вплив тривалості та інтенсивності медозбору на кількість отриманого маточного молочка від сім'ї-виховательки, г

До цієї категорії належать бджоли віком від 5 до 15 діб. Процес починається з того, що бджоли отримують основні поживні речовини із запасів пилку та нектару. З допомогою складних ферментативних процесів у їхніх тілах ці компоненти трансформуються у високопоживне маточне молочко. Унікальність цього молочка полягає в його складі, адже воно містить білки, жири, вітаміни, мінерали, амінокислоти й специфічну 10-гідроксидеканову кислоту, яка стимулює ріст і розвиток личинок, особливо маток. Молочко забезпечує високу тривалість життя та репродуктивну здатність маток. Коли бджолина сім'я залишається без матки або бджоляр створює умови, імітуючи безматкову ситуацію, бджоли-годувальниці здійснюють поступові та систематичні дії. Їхній інстинкт диктує їм необхідність рятувати сім'ю, тому вони починають виробляти більше молочка, щоб виростити нових маток. У цей період бджоли надзвичайно зосереджені на турботі про личинок, зокрема перенесених у воскові мисочки, що дозволяє створити умови для масового виробництва маточного молочка. Таким чином, бджоли-годувальниці є центральним елементом цього процесу. Їхня активність, живлення і взаємодія з іншими членами сім'ї визначають успішність отримання цього дорогоцінного продукту.

Повноцінні сім'ї-виховательки в будь-який час сезону можуть забезпечувати достатню годівлю маточних личинок, підтримувати належні параметри мікроклімату у вулику. Для цього серед вихователок потрібно мати велику кількість бджіл-годувальниць, з добре розвиненими залозами. Отримання маточного молочка потребує дотримання багатьох вимог та існують різні методи їх досягнення. При виробництві маточного молочка у промислових масштабах перенесення личинок є обов'язковою технологічною операцією. Однак використання цього способу має кілька факторів впливу, які можуть негативно позначитися на його ефективності. По-перше, слід розуміти, що

технолог здійснює перенесення племінного матеріалу, який має невеликі розміри. Зазвичай довжина личинки становить близько 1,5 мм, а маса 0,1 мг. Наші дослідження вказують на те, що максимально ефективний прийом личинок у сім'ях-виховательках відбувається тоді, коли вік перенесеної личинки коливається в межах від 12 до 24 годин. Аналізуючи отримані результати досліджень, ми зауважили, що теоретичні засади щодо вікової приналежності личинок, які забезпечують максимальний їх прийом бджолами для маточного вирощування, себе не виправдали. Теоретично найвищий прийом повинен бути при перенесенні личинок молодшого віку. Проте у проведених нами дослідженнях показник прийняття 8-годинних личинок був менший порівняно з 12-годинними (рис. 2).

Використання більш ранніх личинок знижує ефективність прийому на 13,5 % ($P < 0,001$). На нашу думку, існує кілька причин такого явища. Причиною гіршого прийому личинок може бути чутливість до фізичного впливу (Cameron et al., 2013). Неправильне використання інструментів або необережність під час перенесення можуть пошкодити їх. Супутньою проблемою є наявність молочка під личинкою. Якщо його мало, то травматизм зовнішнього покриву личинки збільшується. При цьому личинка може не отримувати достатньої кількості маточного молочка в перший час безпосередньо після прищеплення, внаслідок чого може загинути через нестачу поживних речовин.

Наступний фактор полягає у впливі температурного стресу. Личинки потребують стабільної температури. Під час перенесення або через невідповідні умови в сім'ї-виховательці вони можуть зазнати температурного стресу. Щоб зменшити втрати, важливо дотримуватися правильних технік перенесення, забезпечувати оптимальні умови в сім'ї-виховательці та використовувати здорових личинок.

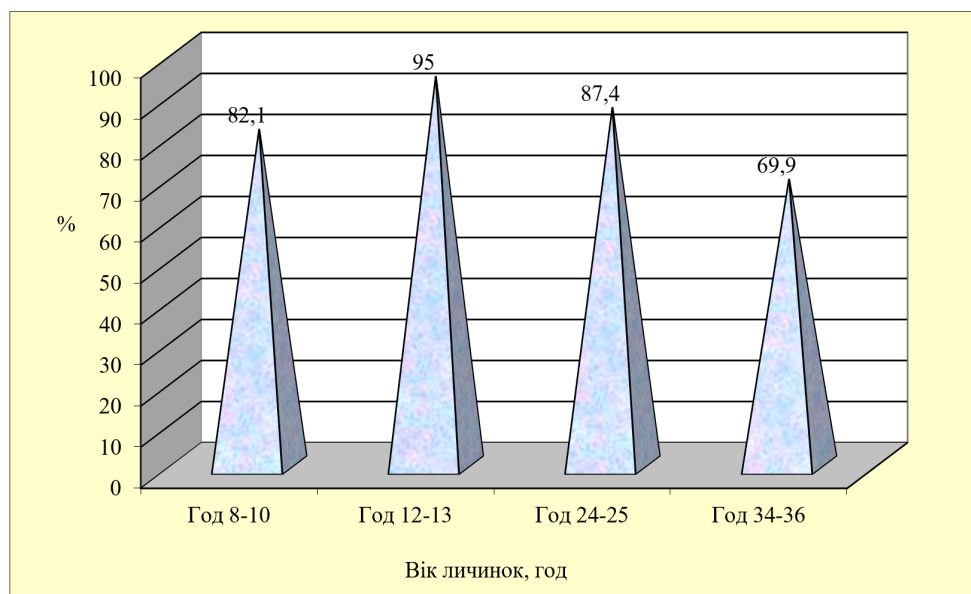


Рис. 2. Вплив віку личинок на їх прийом сім'ями-виховательками, (% прийнятих личинок)

Із збільшенням віку прищеплених на маточне вирощування личинок імовірність того, що їх приймуть і почнуть годувати, також знижується. Так, у личинок, вік яких був більшим за 24 години, рівень прийому зменшувався на 26,3 % ($P < 0,001$). Причини, через які бджоли не приймають старших личинок на маточне виховання, часто класифікуються як біологічні, фізіологічні та поведінкові обмеження (Souza et al., 2012). Ці причини можна частково систематизувати. По-перше, цей період характеризується фізіологічною спеціалізацією личинок. Личинки віком понад 12 годин вже починають процес розвитку як робочі бджоли, що ускладнює їх перебудову на умови маточного розвитку (Cameron et al., 2013). По-друге, личинки зазнають генетично детермінованих механізмів селекції. Еволюційно обумовлені поведінкові реакції бджіл призводять до вибіркового прийняття личинок молодшого віку. Варто зазначити, що спостерігається ослаблення хімічної сигналізації. Феромони старших личинок менш привабливі для бджіл-годувальниць, що знижує їхнє бажання приймати таких личинок на вирощування (Traynor et al., 2014).

Прийнято вважати, що процес отримання маточного молочка вважається незавершеним технологічним процесом отримання бджолиних маток. За таких умов слід розуміти, що в сім'ї відбувається загострення енергоефективності ресурсів, пов'язаних з оптимальним використанням кормів. Старші личинки потребують більше ресурсів, водночас їхня якість як майбутніх маток вже не є ідеальною. Після 12 годин розвитку фізіологічні зміни роблять старші личинки менш придатними для перетворення на якісних маток (Traynor et al., 2015). Ці причини можна охарактеризувати як результат адаптивного вибіркового механізму, який бджоли використовують для максимального підвищення продуктивності та виживання бджолиної сім'ї. При цьому вони можуть частково дати відповідь на причини зниження показників кількості прийнятих личинок старшого віку.

Природний інстинкт вирощування маток у бджіл – це еволюційно закріплений механізм, спрямований на забезпечення виживання та відновлення бджолиної сім'ї. Він активується в ситуаціях, коли бджолина сім'я втрачає матку або коли наявна матка стає старою, слабкою чи менш продуктивною. Коли у гнізді бджоли перестають відчувати феромони матки – спеціальні хімічні біологічно активні речовини, вони реагують на її відсутність. Це слугує тригером для активації інстинкту вирощування нової матки (Giampieri et al., 2022). На цих засадах здійснюється технологічний процес отримання маточного молочка. Головною особливістю цього процесу є зміна живлення личинок. Переведені на маточне вирощування личинки робочих особин продовжують отримувати маточне молочко впродовж усього періоду свого розвитку (Alkindi et al., 2024). Ця надзвичайно поживна речовина стимулює розвиток репродуктивної системи личинки, перетворюючи її на майбутню матку. Цікаво, що саме живлення маточним молочком є ключовим чинником, який диференціює розвиток матки від робочої бджоли (Collazo et al., 2021). Цей природний механізм демонструє високу організованість і здатність сім'ї адаптуватися до змін. Маточне молочко має унікальний вплив на розвиток личинок завдяки своєму складу та біологічним механізмам дії. Воно містить біологічно активні компоненти, які суттєво впливають на генетичне та фізіологічне формування личинки. Найважливішим аспектом є те, що маточне молочко багате на білки, зокрема специфічні саме для нього, жири, включаючи 10-гідроксидеканову кислоту (10-HDA), вітаміни, мінерали та гормони (Mantzourani & Kokotou, 2023). Особливо 10-HDA має потужні регуляторні властивості, що стимулюють розвиток та імунітет личинок. Саме ці компоненти забезпечують активний ріст клітин і розвиток репродуктивної системи личинки, якщо вона отримує молочко впродовж усього періоду личинкової стадії.

Висновки

Медозбір високої інтенсивності надає перевагу інстинкту нагромадження кормів, а тому відволікає бджіл у сім'ях-виховательках від льотної активності та формування кормових запасів. Таке явище відображається на зниженні кількості прийнятих личинок на маточне виховання і наповнення маточників маточним молочком. Максимально ефективний прийом личинок у сім'ях-виховательках відбувається тоді, коли вік перенесеної личинки коливається в межах від 12 до 24 годин. При перенесенні личинок віком до 12 годин виявлено збільшення їх травматизму. Після 12 годин у личинки починає активно змінюватися її метаболізм, клітинна активність та інші характеристики стають більш визначеними, що знижує гнучкість їхнього розвитку. За цих обставин кількість прийнятих личинок на маточне виховання поступово зменшується.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

References

- Alkindi, K., El-Keblawy, F., Lamghari Ridouane, F., & Bano, S. (2024). Factors influencing the quality of Royal jelly and its components: a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2348253. DOI: 10.1080/23311932.2024.2348253.
- Cameron, R. C., Duncan, E. J., & Dearden, P. K. (2013). Biased gene expression in early honeybee larval development. *BMC Genomics*, 14, 903. DOI: 10.1186/1471-2164-14-903.
- Cao, L.-F., Zheng, H.-Q., Pirk, C.W.W., Hu, F.-L., & Xu, Z.-W. (2016). High royal jelly-producing honeybees (*Apis mellifera ligustica*) (*Hymenoptera: Apidae*) in China. *J. Econ. Entomol*, 109, 510–514. DOI: 10.1093/jee/tow013.
- Collazo, N., Carpena, M., Nuñez-Estevéz, B., Otero, P., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2021). Health Promoting Properties of Bee Royal Jelly: Food of the Queens. *Nutrients*, 13(2), 543. DOI: 10.3390/nu13020543.
- Gasic, S., Vucevic, D., Vasilijic, S., Antunovic, M., Chinou, I., & Colic, M. (2007). Evaluation of the immunomodulatory activities of royal jelly components in vitro. *Immunopharmacology and immunotoxicology*, 29(3-4), 521–536. DOI: 10.1080/08923970701690977.
- Ghosh, S., & Jung, C. (2024). Chemical Composition and Nutritional Value of Royal Jelly Samples Obtained from Honey Bee (*Apis mellifera*) Hives Fed on Oak and Rapeseed Pollen Patties. *Insects*, 15(3), 141. DOI: 10.3390/insects15030141.
- Ghosh, S., Jang, H., Sun, S., & Jung, C. (2024). Nutrient Composition and Quality Assessment of Royal Jelly Samples Relative to Feed Supplements. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(12), 1942. DOI: 10.3390/foods13121942.
- Giampieri, F., Quiles, J. L., Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Orantes-Bermejo, F. J., Alvarez-Suarez, J. M., & Battino, M. (2022). Bee Products: An Emblematic Example of Underutilized Sources of Bioactive Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(23), 6833–6848. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c05822.
- Kovalskiy, I., Kerek, S., Fedak, V., Kovalska, L., Druzhibiak, A., Vovkun, Y., Klym, O., & Golovach, P. (2022). Influence of heterosis on honey productivity of Carpathian bees. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 24(96), 148–152. DOI: 10.32718/nvlvet-a9621.
- Kovalskiy, I., Kerek, S., Kovalska, L., Druzhibiak, A., Fedak, V., & Klym, O. (2022). Influence of heterosis on wax productivity of Carpathian bees. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 24(97), 39–43. DOI: 10.32718/nvlvet-a9706.
- Li, H., Raka, R., & Hu, H. (2025). Effects of bee artificial diets on the composition of royal jelly: Chemical characterization and marker identification by untargeted and targeted metabolomic approaches. *Journal of Food Composition and Analysis*, 142, 107411. DOI: 10.1016/j.jfca.2025.107411.
- Mantzourani, C., & Kokotou, M. G. (2023). Targeted and Suspect Fatty Acid Profiling of Royal Jelly by Liquid Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry. *Biomolecules*, 13(3), 424. DOI: 10.3390/biom13030424.
- 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. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.11.053.
- Pastushok, R., Kucher, S., Mylostyvyi, R., Sanzhara, R., & Gutyj, B. (2024). The feasibility of using protein components in the composition of “Kandy” in preparation of bees for wintering. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 26(101), 13–17. DOI: 10.32718/nvlvet-a10102.
- Rivis, Y., Postoienco, V., Gutyj, B., Stadnytska, O., Saranchuk, I., Klym, O., Shelevach, A., Diachenko, O., Hopanenko, O., Bezalychna, O., & Yasko, V. (2024). Transfer coefficients of heavy metals and fatty acid content of total lipids in freshly built beehives in different territories of the Carpathian region. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 26(101), 210–216. DOI: 10.32718/nvlvet-a10133.
- Sabatini, A. G., Marcazzan, G. L., Caboni, M. F., Bogdanov, S., & de Almeida-Muradian, L. B. (2009). Quality and standardisation of royal jelly. *J. ApiProd. ApiMed. Sci.*, 1(1), 16–21. DOI: 10.3896/IBRA.4.01.1.04.
- Souza, D., Kaftanoglu, O., Jong, D., Page, R. (2012). Differences in the morphology, physiology and gene expression of honey bee queens and workers reared in vitro versus in situ. *Biology Open*, 7(11), bio.036616. DOI: 10.1242/bio.036616.
- Traynor, K. S., Conte, Y., & Page, R. (2014). Queen and young larval pheromones impact nursing and reproductive physiology of honey bee (*Apis mellifera*) workers. *Behav Ecol Sociobiol*, 68(12), 2059–2073. DOI: 10.1007/s00265-014-1811-y.

- Traynor, K., Conte, Y., & Page, R. (2015). Age matters: Pheromone profiles of larvae differentially influence foraging behaviour in the honeybee, *Apis mellifera*. *Animal Behaviour*, 99, 1–8. DOI: 10.1016/j.anbehav.2014.10.009.
- Wijayati, N., Hardjono, D., Rahmavati, M., & Kurniawati, A. (2019). Formulation of winged bean seeds as pollen substitute for outgrowth of honeybees (*Apis mellifera L.*). *J. Phys. Conf. Ser.*, 1321 022040. DOI: 10.1088/1742-6596/1321/2/022040.
- Zhang, G., Chen, Y., Wu, Y., Wang, S., Zheng, H., & Hu, F. (2022). The effect of nutritional status on the synthesis ability, protein content and gene expression of mandibular glands in honey bee (*Apis mellifera*) workers. *Journal of Apicultural Research*, 63(4), 747–756. DOI: 10.1080/00218839.2022.2080951.