

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА

УДК 638.19:638.1:633.31

Вплив рівня протеїнового живлення та амінокислотного складу раціону на розвиток воскових залоз медоносних бджіл *Apis mellifera* L.Ковальський Ю.В. , Жмур В.В. *Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна* E-mail: prikarpatmed@ukr.net

Ковальський Ю.В., Жмур В.В. Вплив рівня протеїнового живлення та амінокислотного складу раціону на розвиток воскових залоз медоносних бджіл *Apis mellifera* L. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2026. № 1. С. 123–134.

Kovalskiy I., Zhmur V. Effect of protein nutrition level and amino acid composition of the diet on the wax glands development in honey bees *Apis mellifera* L. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2026. № 1. PP. 123–134.

Рукопис отримано: 10.02.2026 р.

Прийнято: 23.02.2026 р.

Затверджено до друку: 19.05.2026 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2026-202-1-123-134

ISSN 2310-9289

Медоносні бджоли формують стільники виключно з воску, синтезованого восковими залозами робочих особин. Інтенсивність секреторної активності клітин воскових залоз слід розглядати у тісному взаємозв'язку з розвитком структурних елементів жирового тіла, представлених трофоцитами та еноцитами. Відомо, що процеси восковиділення значною мірою залежать від функціонального стану жирового тіла. Основним чинником, який забезпечує ліпогенез у жировому тілі бджіл, є споживання квіткового пилку – головного джерела амінокислот і ліпідів. Дефіцит протеїну пригнічує функціональну активність воскових залоз, тоді як збалансоване амінокислотне живлення підвищує секреторну активність і потенціал бджіл до будівництва стільників.

У статті наведено результати досліджень впливу протеїнового живлення та окремих амінокислот у складі раціону на інтенсивність восковиділення у медоносних бджіл *Apis mellifera* L. Метою роботи було оцінити вплив білкового та амінокислотного живлення на морфометричні показники клітин жирового тіла і воскових залоз бджіл.

Дослідження проводили у 2023–2025 рр. на трьох групах бджолиних сімей по 5 у кожній, сформованих за методом аналогів. Бджоли контрольної групи не отримували протеїнових кормів. Бджолам I дослідної групи згодовували канді, виготовлене із суміші цукрового сиропу, меду, соєвого борошна, сухого яєчного меланжу та квітового пилку. Бджолині сім'ї II дослідної групи споживали аналогічний корм, до складу якого додатково вводили амінокислотний комплекс. До його складу входили синтетичні амінокислоти: аргінін – 50,0 мг, лізин – 45,0 мг, метіонін – 15 мг, лейцин – 75,0 мг та ізолейцин – 45,0 мг на 1 кг протеїнової пасти.

Морфологічний аналіз жирового тіла та воскових залоз виконували на поперечних зрізах IV сегмента черевця завтовшки 7 мкм, виготовлених після фіксації у фіксаторі Буена та фарбування метиленовим синім.

Порівняно з контролем, у бджіл I дослідної групи довжина трофоцитів збільшилися на 17,2 %, а ширина – на 15,1 %. Згодовування амінокислотного комплексу бджолам II дослідної групи зумовило ще інтенсивніший ріст клітин: лінійні розміри трофоцитів зросли на 23,1 % у довжину та на 28,6 % у ширину ($p < 0,001$). Використання протеїнових кормів не мало вираженого впливу на морфометричні показники еноцитів. Порівняно

з контролем, довжина цих клітин у бджіл дослідних груп збільшилася на 7,8–8,9 %. Клітини восковидільного епітелію характеризувалися збільшенням довжини: на 15,9 % у I дослідній групі та на 21,7 % у II групі ($p < 0,001$).

Отже, використання білкових раціонів сприяє помірній гіпертрофії еноцитів і вираженому збільшенню розмірів трофоцитів, тоді як додавання амінокислотного комплексу додатково стимулює розвиток восковидільного епітелію, що узгоджується з підвищенням потенціалу до воскотворення.

Ключові слова: медоносні бджоли, жирове тіло, восковидільна залоза, рівень годівлі, протеїнове живлення, структура раціону, поживні речовини, амінокислоти, інтенсивність восковиділення.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Медоносні бджоли можуть існувати тільки за наявності гнізда [3]. На відміну від інших комах, на його будівництво вони використовують виключно віск – секрет, який синтезується восковими залозами робочих особин [7, 21]. Саме функціональна активність цих залоз визначає потенційну здатність бджіл до восковиділення. З фізіологічної точки зору процес синтезу воску є складним і недостатньо вивченим [4, 11, 22].

Кількість воску, що виділяється медоносними бджолами, залежить від впливу різноманітних факторів. Для оцінки потенційних можливостей бджолої сім'ї щодо воскотворення необхідно враховувати основні чинники, від яких залежить інтенсивність цього процесу. Розуміння відповідних механізмів є основою розроблення технологічних прийомів, спрямованих на підвищення продуктивності бджолиних сімей за воском.

Одним із найважливіших чинників воскотворення є надходження свіжого нектару та, передусім, квіткового пилку. За їхньої відсутності бджоли практично не будують стільників, тоді як навіть значні запаси вуглеводного корму в гнізді не стимулюють процес восковиділення [21]. Поряд із цим синтез воску потребує не лише значних енергетичних затрат, але й достатнього надходження протеїну. Деякі дослідники вказують, що процес восковиділення супроводжується значними витратами пластичних речовин організму, причому порівняно з вирощуванням розплоду ці витрати є у чотири рази більшими. Без належного розвитку жирового тіла процес воскотворення є неможливим [6, 11].

Основним джерелом протеїну для формування жирового тіла є квітковий пилок, який бджоли споживають у вигляді перги [2, 8]. Квітковий пилок забезпечує організм бджіл необхідними амінокислотами, жирними кислотами та мікроелементами, що становлять метаболічну основу накопичення резервних

речовин у жировому тілі [12, 18]. Після споживання пилок перетравлюється і метаболізується в жировому тілі, де його поживні компоненти – білки, ліпіди та вуглеводи – трансформуються відповідно у структурні білки, запасні ліпіди та глікоген [1].

Жирове тіло виконує функцію центрального метаболічного органа, в якому синтезуються та акумулюються резервні речовини, необхідні для живлення і секреторної діяльності робочих бджіл. Подальше транспортування продуктів метаболізму забезпечується гемолімфою, яка переносить біологічно активні сполуки, зокрема вітелогенін – основний резервний глікопротеїн, синтезований у жировому тілі [14]. Він циркулює у гемолімфі та надходить до секреторних структур організму, включаючи глоткові та воскові залози, підтримуючи їхню функціональну активність і забезпечуючи субстрати для синтезу відповідних секретів [5, 9].

Структурно та функціонально жирове тіло тісно взаємодіє з епітеліальними клітинами восковидільного комплексу, формуючи єдиний трофічний і метаболічний контур, необхідний для синтезу та транспорту ліпофільних компонентів воску. Воскові залози починають функціонувати на 3–5 добу життя бджоли, досягають максимального розвитку на другому-третьому тижні, а після 18–20 доби їхня активність поступово згасає у зв'язку з переходом бджоли до льотної діяльності.

Ефективність восковиділення безпосередньо залежить від забезпечення бджолої сім'ї повноцінним раціоном. Надходження поліфлорного квітового пилку до гнізда сприяє забезпеченню організму амінокислотами, ліпідами та мікронутрієнтами, необхідними для функціонування воскових залоз. Нестача повноцінного протеїну та незамінних амінокислот у раціоні різко пригнічує ліпогенез у молодих робочих бджіл, що, у свою чергу, істотно знижує їхній потенціал до воскотворення.

За дефіциту природного протеїнового корму раціон бджіл коригують шляхом використання штучних білкових підгодівель. До таких заміників належить соєве борошно, яєчний порошок, дріжджі, сухе коров'яче молоко та інші протеїновмісні компоненти. Однак, незважаючи на високий вміст сирого протеїну, ці продукти характеризуються незбалансованим амінокислотним складом і дефіцитом окремих незамінних амінокислот, що обмежує їхню біологічну цінність для бджіл. У зв'язку з цим актуальним є питання балансування раціонів медоносних бджіл синтетичними амінокислотами з метою вивчення їхнього впливу на розвиток жирового тіла та воскових залоз.

Мета дослідження – встановити закономірності впливу рівня протеїнового забезпечення та амінокислотного складу раціону на функціональний стан жирового тіла і процеси восковиділення у медоносних бджіл *Apis mellifera L.*

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проведено на базі кафедри виробництва і переробки продукції дрібних тварин біолого-технологічного факультету Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Апробацію результатів здійснювали в умовах пасічного господарства Стрийського району. Тривалість досліджень становила три роки – з 2023 по 2025 рр.

Для проведення експерименту було сформовано три групи бджолиних сімей: контрольну та дві дослідні. Групи формували за методом аналогів. У кожній групі налічувалося по 5 клінічно здорових бджолиних сімей карпатської раси *Apis mellifera L.* Під час формування груп враховували силу сімей, вік бджолиних маток і запаси меду на початок досліду.

Бджоли контрольної групи не отримували протеїнових підгодівель. Бджолам I дослідної групи зголювали канді, виготовлене із суміші цукрового сиропу, меду, соєвого борошна, сухого яєчного меланжу та квіткового пилку. Бджолині сім'ї II дослідної групи отримували аналогічний корм, до складу якого додатково вводили амінокислотний комплекс. До його складу входили синтетичні амінокислоти: аргінін – 50,0 мг, лізин – 45,0 мг, метіонін – 15,0 мг, лейцин – 75,0 мг та ізолейцин – 45,0 мг на 1 кг протеїнової пасти.

Згодовування дослідних кормових сумішей проводили у період з травня по вересень. Замінники готували у вигляді пасти (канді) шляхом змішування білкових компонентів із

цукровим сиропом у співвідношенні 1:1 до отримання однорідної сметаноподібної консистенції. Така структура корму забезпечувала його доступність для споживання бджолами, оптимальний рівень зволоження та запобігала швидкому висиханню. Перед внесенням до корму амінокислоти попередньо розчиняли у 100 мл води, що забезпечувало їхній рівномірний розподіл у протеїновій суміші.

Підготовлений корм за допомогою силіконового шпателя наносили на поверхню стільника. Після впресовування корму рамку поміщали у гніздо бджолиної сім'ї. Для забезпечення об'єктивності оцінки впливу штучних протеїнових кормів усі бджолині сім'ї мали вільний доступ до природного пилкового взятку.

У дослідженні використовували медоносних бджіл, відібраних із піддослідних сімей. Після короткочасного знерухомлення шляхом охолодження кожен особину фіксували, частково занурюючи дорсальну частину тіла у розплавлений віск. Після його застигання проводили препарування, під час якого вилучали жирове тіло та воскові залози, локалізовані у ділянці черевних стернітів.

Відібраний матеріал фіксували у фіксаторі Буена протягом 24 годин. Після завершення фіксації зразки промивали у кількох змінах 70° етилового спирту до повного знебарвлення тканин. Підготовлений матеріал заливали у парафін із подальшим виготовленням парафінових блоків. Серійні гістологічні зрізи товщиною 7 мкм отримували за допомогою санного мікротома. Парафінові зрізи фарбували метиленовим синім.

Для забезпечення достовірності результатів аналіз проводили виключно на поперечних зрізах четвертого стерніта черевця. Морфометричний аналіз клітин жирового тіла та воскових залоз здійснювали у стерильній ділянці, враховуючи лише ті клітини, у яких площина зрізу проходила через ядро [11, 20]. Увесь цифровий матеріал досліджень піддавали статистичній обробці [17] з використанням стандартного програмного забезпечення "StatPlus 2008". Різницю між середніми показниками контрольної та дослідних груп вважали статистично достовірною при $p < 0,05$ – *; $p < 0,01$ – **; $p < 0,001$ – ***.

Результати дослідження та обговорення. На початковому етапі досліджень проведено морфометричний аналіз структурних компонентів стернального жирового тіла, локалізованого поблизу восковидільних залоз. З цією метою на 12-ту добу експерименту здійснювали відбір мічених бджіл.

Після відпрепарування сегментів черевця робочої виявлено шість черевних кілець, кожне з яких поділяється на дві частини. Дорсальні півкілця називають тергітами, а вентральні – стернітами. Тергіти є значно більшими за розміром і виконують переважно захисну функцію. Вони з'єднуються з стернітами за допомогою гнучкої міжсегментарної мембрани. Стерніти характеризуються своєрідною будовою та, з фізіологічної точки зору, виконують значно важливішу функціональну роль. Як показано на рисунку 1, два краніальні стерніта за особливостями будови та функціональним призначенням суттєво відрізняються від наступних чотирьох стернітів.

У їхньому складі наявні однорідні хітинові ділянки темно-коричневого кольору, поверхня яких рівномірно вкрита тоненькими волосками.

Особливістю будови стернітів є те, що їхня каудальна частина частково перекриває наступний сегмент своєю дорсальною поверхнею. Унаслідок цього між окремими стернітами формується своєрідна камера, яка бере участь у процесах, пов'язаних із восковиділенням. Краніальна частина кожного тергіта має дві пари відростків – передні та задні, які слугують місцем прикріплення поздовжніх м'язів черевця.

Під час візуального огляду 3–6 стернітів неозброєним оком можна виявити по дві прозорі ділянки хітину на кожному з них. Ці ділянки неправильної п'ятикутної форми називають восковими дзеркальцями. Форма заднього краю воскових дзеркалець залежить від породних особливостей бджіл. Периферійна частина воскових дзеркалець характеризується своєрідним потовщенням,

сформованим хітиновим обідком, який поєднує достатню міцність та еластичність. Воскові дзеркальця розмежовані між собою випуклою смужкою, представленою хітиновим утворенням темнішого забарвлення з інтенсивним опушенням. З внутрішнього боку воскові дзеркальця вкриті клітинами гіподермального походження, які формують воскову залозу. До воскових дзеркалець підходить значна кількість трахеол, що свідчить про високий рівень обмінних процесів у клітинах восковидільного епітелію. Навесні та влітку восковидільна активність бджіл проявляється найінтенсивніше, тоді як восени вона поступово згасає навіть у молодих особин.

У новонароджених робочих бджіл клітини воскової залози мають кубоподібну форму та практично не відрізняються від інших клітин, що вистилають кутикулу. У процесі онтогенезу ці спеціалізовані клітини поступово стоншуються, лінійно збільшуються та набувають характерної залозистої структури. Можливе також їхнє часткове розмежування міжклітинними просторами [22]. Проведені нами дослідження показали, що особливо інтенсивне збільшення клітин восковидільної залози спостерігається у бджіл, які споживали корм із підвищеним вмістом протеїну.

Апікальний полюс клітини спрямований до кутикули воскового дзеркальця та пронизаний системою порових каналців, які безперервно переходять у воскові каналні філаменти епікутикули. Канальні філаменти епікутикули – це тонкі ниткоподібні структури, що проходять крізь епікутикулу і є продовженням порових каналів восковидільних клітин. Саме через них на поверхню воскового дзеркальця виводяться прекурсори воску – вуглеводні, жирні кислоти та ліпопротеїди.

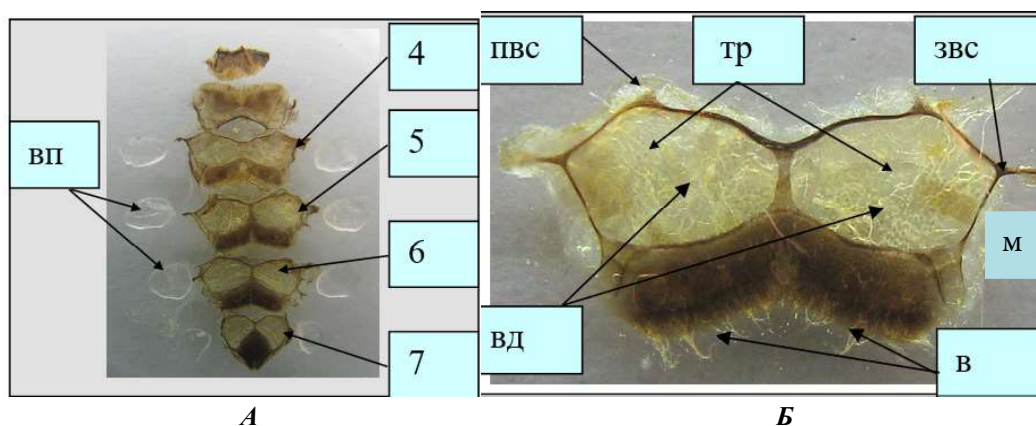


Рис. 1. Відпрепаровані стерніти черевця робочої бджоли:

А – стерніти черевця; Б – п'ятий стерніт черевця; вп – воскові пластинки; вд – воскові дзеркальця; в – волоски; пвс – передній відросток стерніта; звс – задній відросток стерніта; м – місце прикріплення міжсегментарної мембрани; тр – трахеї. Макропрепарат.

Клітини восковидільної залози прикріплені до базальної мембрани за допомогою інтегринового адгезивного комплексу та цитоскелетних філаментів, які формують гемідесмосомоподібні структури. Базальна ламіна виконує опорну функцію та забезпечує транспорт субстратів із гемолімфи [13].

У новонароджених робочих особин висота клітин восковидільної залози не перевищує позначки 20 мкм, а міжклітинний простір практично відсутній. Ядра цих клітин мають овальну форму та відносно великі розміри. Проведені дослідження показали, що кожне ядро містить від 1 до 4 ядерць залежно від поля зору. У ядерці відбуваються ранні етапи біосинтезу рибосомних структур [15], тому його наявність і ступінь вираженості у восковидільних клітинах корелюють із високою інтенсивністю білкового синтезу. Для ефективного воскотворення клітина повинна активно синтезувати ферменти та транспортні білки, що неможливо без функціонально активного ядерця.

Ядро клітини розташоване переважно у базальній частині, ближче до гемолімфи, тоді як апікальна зона зайнята порово-каналцевою системою. Цитоплазма восковидільних клітин у період максимальної секреторної активності характеризується добре розвиненою гладкою ендоплазматичною сіткою з велики-

ми цистернами та значною кількістю мітохондрій. Ендоплазматична сітка бере участь у транспортуванні гідрофобних компонентів, зокрема вуглеводнів і жирних кислот, які надходять із еноцитів [4]. З током гемолімфи ці сполуки транспортуються через епітелій до порових каналів і далі – в епікутикулу.

Ріст клітин восковидільної залози залежить від віку бджіл і характеризується певним кореляційним зв'язком із рівнем секреторної активності. У міру збільшення розмірів клітин посилюється інтенсивність восковиділення. Пік розвитку восковидільної залози встановлено у бджіл літньої генерації, у яких висота клітин досягала 85–95 мкм.

У медоносних бджіл восковидільна залоза характеризується чіткою пошаровою організацією. Від зовнішнього до внутрішнього боку у її складі виділяють такі структурні компоненти: кутикулу, епікутикулу, прокутикулу, шар восковидільних клітин і базальну мембрану (рис. 2).

Епікутикула представлена тонкою структурою, крізь яку проходять порові канали, сформовані численними восковими нитками, що проникають у прокутикулу [16]. Проходячи через численні пори воскового дзеркала, віск контактує із зовнішнім середовищем, твердне та формує воскові пластинки масою близько 0,25 мг кожна.

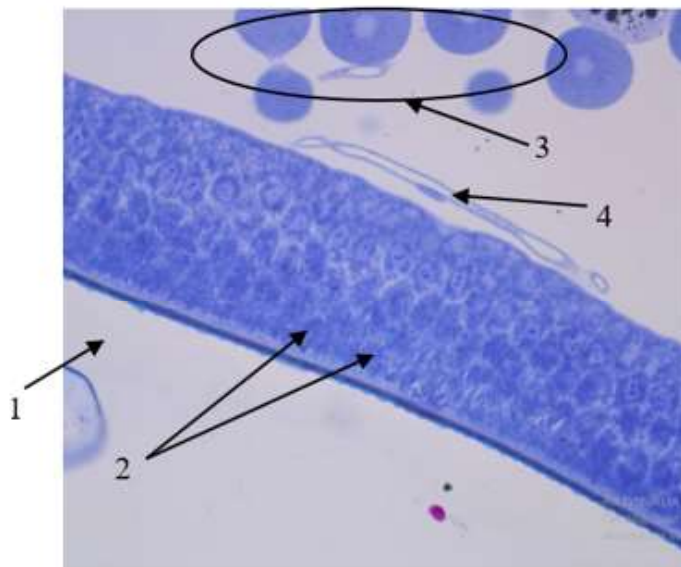


Рис. 2. Гістологічна будова восковидільної залози 5 стерніта робочої бджоли [7]:

1 – п'ятий стерніт черевця, 2 – клітини восковидільної залози,
3 – стернальне жирове тіло, 4 – трахеї.
(Збільшення: об. 10 x ок. 7, фарбування: метиленовий синій).

Після періоду інтенсивної секреції воску воскові залози поступово дегенерують. Зазвичай цей процес настає після 21-ї доби життя бджоли. Водночас у робочих бджіл можливий вторинний розвиток воскових залоз, унаслідок чого за сприятливих умов виділення воску може відбуватися навіть у віці понад 120 діб [21]. Повторний розвиток воскових залоз супроводжується прискореним фізіологічним старінням організму, у зв'язку з чим бджоли гірше переносять період гіпобіозу. Цікавим є той факт, що у бджолої матки та трутнів клітини воскових залоз відсутні.

Утворення бджолоїного воску є складним фізіологічним процесом, який реалізується за участю кількох типів клітин. Провідну роль у цьому процесі відіграють епітеліальні клітини воскової залози та клітини жирового тіла, представлені трофоцитами й еноцитами [7]. Їхня функціональна активність виражений синергічний характер. Жирове тіло забезпечує восковидільний епітелій ліпідними прекурсорами та білковими комплексами, тоді як епітеліальні клітини здійснюють транспорт і секрецію ліпофільних компонентів назовні. Таким чином, зазначені клітинні популяції функціонують як єдиний восковидільний комплекс, що інтегрує процеси метаболізму поживних речовин і секреції воску.

З анатомічної та фізіологічної точок зору структурні клітини жирового тіла відрізняються між собою за будовою та функціональним призначенням. Оскільки основною функцією трофоцитів є накопичення ліпідів, їх інколи помилково називають адипоцитами. Однак ця назва є некоректною, оскільки ці клітини здійснюють складні метаболічні процеси, пов'язані не лише зі зберіганням, але й синтезом білків і вуглеводів [19]. Збільшення розмірів трофоцитів жирового тіла позитивно впливає на інтенсивність синтезу воску клітинами воскової залози [7].

Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що введення до раціону

протеїновмісних кормів супроводжується підвищенням показників розвитку трофоцитів жирового тіла (табл. 1).

Як видно з даних таблиці 1, у контрольній групі медоносних бджіл трофоцити стернальної зони жирового тіла характеризувалися найменшими морфометричними показниками. Середня довжина клітин становила $47,2 \pm 2,65$ мкм. Обмежене надходження протеїнових кормів зумовлювало значну варіабельність їхніх розмірів, унаслідок чого довжина трофоцитів коливалася в межах $37,56$ – $53,55$ мкм.

Широкий діапазон морфометричних показників у вибірці свідчить про виражений поліморфізм клітин і різний ступінь їхнього функціонального стану. Наявність клітин, що перебувають на різних етапах розвитку, вказує на неоднаковий рівень функціональної активності жирового тіла. У медоносних бджіл це, як правило, пов'язано з інтенсивністю метаболічних процесів і рівнем забезпечення восковидільної функції. зазвичай означає активну роботу жирового тіла та його внесок у посилення воскової секреції. Середній показник ширини трофоцитів становив $40,9 \pm 3,81$ мкм.

Площа трофоцитів стернальної зони жирового тіла у контрольній групі становила в середньому $1780,5 \pm 162,21$ мкм², при коливанні значень у межах $1157,2$ – $2005,4$ мкм². Отримані результати свідчать про певну нестабільність цього показника, що проявляється широким діапазоном варіацій. Така мінливість може відображати неоднорідність клітинного складу за площею у межах вибірки та вказувати на часткову неузгодженість морфо функціональної організації жирового тіла.

Під час дослідження трофоцитів у бджіл I дослідної групи встановлено, що середня довжина клітин становила $55,3 \pm 4,65$ мкм, що на $17,16$ % перевищувало показник контрольної групи. У вибірці виявляли як менші клітини довжиною $43,10$ мкм, так і більші – з до $62,87$ мкм.

Таблиця 1 – Розмір трофоцитів стернальної зони жирового тіла у медоносних бджіл, ($M \pm m$, $n=20$)

Група сімей	Розмір трофоцитів					
	довжина, мкм		ширина, мкм		площа, мкм ²	
	$M \pm m$	lim	$M \pm m$	lim	$M \pm m$	lim
Контрольна	$47,2 \pm 3,65$	$37,56$ – $53,55$	$40,9 \pm 3,81$	$35,12$ – $43,22$	$1780,5 \pm 162,21$	$1157,2$ – $2005,4$
Дослідна 1	$55,3 \pm 4,65$	$43,10$ – $62,87$	$47,1 \pm 4,11$	$35,02$ – $49,52$	$2236,1 \pm 201,1$	$1460,4$ – $2601,1$
Дослідна 2	$58,1 \pm 5,06^*$	$55,74$ – $69,63$	$52,6 \pm 3,1^*$	$50,72$ – $54,33$	$2649,9 \pm 225,9^*$	$2616,4$ – $3538,1$

Примітка: вірогідна різниця між контрольною і дослідною групою (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

Середня ширина трофоцитів у цій групі становила 47,1±4,11 мкм, при коливанні значень у межах 35,02–49,52 мкм. Отримані дані свідчать про помірну варіабельність цього показника, що вказує на відносну однорідність клітин за шириною. Поєднання середнього значення та діапазону варіацій підтверджує, що ширина є більш стабільною морфометричною ознакою порівняно з довжиною. Водночас цей показник перевищував контроль на 15,15 %.

Співвідношення довжини до ширини становило 1,17, що характеризує трофоцити як помірно видовжені клітини. Площа трофоцитів у бджіл I дослідної групи становила в середньому 2236,1 мкм², при коливанні значень у межах 1460,4–2601,1 мкм². Це перевищувало показник контрольної групи на 32,93 %. Отримані результати свідчать про суттєве збільшення площі клітин у бджіл дослідної групи, що, ймовірно, пов'язано з впливом аліментарного чинника на морфо функціональний стан жирового тіла. Відносно вузький діапазон значень вказує на високу однорідність трофоцитів за площею.

Основною функцією жирового тіла медоносних бджіл є накопичення резервних поживних речовин. У бджіл II дослідної групи, які споживали протеїновий корм, процес депонування поживних компонентів, очевидно, відбувався інтенсивніше. Середня довжина трофоцитів стернальної зони жирового тіла становила 58,1±6,06 мкм, що на 23,09 % перевищувало показники контрольної групи. Межі коливань цього показника варіювали від 56,74 до 69,63 мкм.

Середня ширина трофоцитів дорівнювала 52,6±3,10 мкм. У межах вибірки виявляли як менші клітини шириною 50,72 мкм, так і більші – 54,33 мкм. У середньому цей показник перевищував контроль на 28,60%. Найбільш виражені зміни встановлено за площею трофоцитів, яка становила 2649,9±225,9 мкм². У вибірці траплялися клітини площею від 2616,4 до 3538,1 мкм². Загалом це свідчить про збільшення показника на 48,82 % порівняно з контролем.

Отримані результати вказують на те, що споживання більш збалансованого протеїнового корму, збагаченого амінокислотами,

зумовило істотне збільшення розмірів трофоцитів за всіма морфометричними параметрами. Це є ознакою посилення трофічної активності та морфофункціональної перебудови жирового тіла. Відносно вузький діапазон варіацій площі клітин свідчить про високу однорідність трофоцитів у межах групи. Статистичний аналіз підтвердив високодостовірні відмінності між показниками дослідної та контрольної груп (p<0,001), що свідчить про істотний вплив амінокислотно збалансованого протеїнового корму на морфологічну організацію жирового тіла та інтенсивність його розвитку.

Жирове тіло не лише пасивно накопичує поживні речовини, але й виконує важливу метаболічну функцію, забезпечуючи проміжний обмін речовин. У його клітинах відбуваються процеси біосинтезу та трансформації білків, жирів і вуглеводів. У бджолиних маток у період репродуктивної активності жирове тіло синтезує специфічні білки – вітелогеніни, необхідні для формування жовтка в ооцитах.

Подальші морфометричні дослідження та аналіз морфологічних характеристик були спрямовані на вивчення еноцитів жирового тіла (табл. 2).

Еноцити – це високоспеціалізовані секреторні клітини ектодермального походження, локалізовані поблизу жирового тіла та епідермісу комах. Їхня ультраструктурна організація та біохімічні функції свідчать про ключову роль у процесах ліпідного метаболізму, зокрема у синтезі довголанцюгових жирних кислот, вуглеводнів і компонентів кутикулярного воску [10]. Саме еноцити забезпечують утворення ліпідних попередників, необхідних для синтезу воску, який використовується бджолами для будівництва стільників.

Аналіз даних таблиці показав, що еноцити стернальної зони жирового тіла бджіл контрольної групи характеризувалися найменшими морфометричними показниками порівняно з іншими досліджуваними групами. Зокрема, середня довжина клітин становила 48,3±3,76 мкм. При цьому виявлено природну варіабельність показника: поряд із дрібними клітинами довжиною 42,66 мкм траплялися й більші еноцити, довжина яких досягала 55,45 мкм.

Таблиця 2 – Розмір еноцитів стернальної зони жирового тіла у медоносних бджіл, (M±m, n=20)

Група сімей	Розмір еноцитів					
	довжина, мкм		ширина, мкм		площа, мкм ²	
	M±m	lim	M±m	lim	M±m	lim
Контрольна	48,3±3,76	42,66–55,45	41,8±3,14	36,68–43,87	1782,6±162,21	1442,2–2005,4
Дослідна 1	52,1±3,21	42,19–63,09	44,2±4,01	42,99–49,88	2008,7±207,16	1702,4–2744,1
Дослідна 2	52,6±5,99	50,78–59,03	44,64±4,17	41,79–47,52	2041,8±194,49	1889,4–2508,2

Середня ширина еноцитів становила $41,8 \pm 3,14$ мкм, а межі її коливань – від 36,68 до 43,87 мкм. Відносно невеликі морфометричні параметри клітин жирового тіла зумовили й найменшу середню площу еноцитів, яка дорівнювала $1782,6 \pm 44,21$ мкм². Водночас варіабельність площі клітин у контрольній групі коливалася в межах від 1442,2 до 2005,4 мкм².

Отримані результати свідчать про відносну однорідність еноцитів за показником площі та помірну мінливість їх довжини і ширини. Співвідношення довжини до ширини становило близько 1,15, що вказує на помірно видовжену форму клітин.

Дослідження еноцитів бджіл I дослідної групи, які споживали протеїновий корм із вмістом обніжжя, показало збільшення морфометричних показників клітин порівняно з контрольною групою. Зокрема, середня довжина еноцитів становила $52,1 \pm 3,21$ мкм за меж коливань від 42,19 до 63,09 мкм, що на 7,8% перевищувало контрольні значення.

Середня ширина еноцитів дорівнювала $44,2 \pm 4,01$ мкм (lim 42,99–49,88 мкм), що було на 5,7 % більше порівняно з контролем. Водночас середня площа клітин становила $2008,7 \pm 207,16$ мкм² за меж варіювання $1702,4$ – $2744,1$ мкм², що на 14,5 % перевищувало показники контрольної групи. Широкий діапазон коливань площі еноцитів свідчить про значну неоднорідність клітин за цим морфометричним показником, що може вказувати на різний рівень функціональної активності еноцитів у бджіл дослідної групи.

Морфометричний аналіз еноцитів бджіл II дослідної групи показав подальше збільшення їхніх розмірів порівняно з контрольною групою. Зокрема, середня довжина еноцитів становила $52,6 \pm 5,99$ мкм за меж коливань від 50,78 – до 59,03 мкм, що на 8,9 % перевищувало контрольні показники.

Середня ширина еноцитів дорівнювала $44,64 \pm 4,17$ мкм, а її варіабельність знаходилася в межах від 41,79 до 47,52 мкм, що на 6,7 % більше порівняно з контролем. Площа клітин становила $2041,8 \pm 194,49$ мкм² за меж варіювання від 1889,4 до 2508,2 мкм², що на 31,0 % перевищувало значення контрольної групи. Найбільш виражене збільшення відзначено саме за показником площі клітин, що свідчить про інтенсивну морфологічну перебудову жирового тіла під впливом згодовування протеїнових кормів.

Зміни форми еноцитів у різних групах відбувалися поступово та корелювали зі

збільшенням їхніх розмірів. У контрольній групі співвідношення довжини до ширини клітин становить близько 1,15, що характеризувало еноцити як помірно видовжені клітини овальної форми з відносно невеликою площею та компактною будовою. У II дослідній групі це співвідношення досягало 1,2, при незначному збільшенні довжини й ширини клітин еноцити набували більш видовженої форми, що може свідчити про розвиток гіпертрофічних процесів і структурну перебудову жирового тіла.

Таким чином зміна форми еноцитів безпосередньо пов'язана з їхньою функціональною активністю, оскільки морфологічні особливості клітин тісно корелюють із рівнем їхніх метаболічних процесів.

Актуальність морфометричного аналізу восковидільних клітин зумовлена його важливим значенням для оцінки функціонального стану та продуктивності бджіл. Насамперед, морфометричні показники клітин тісно пов'язані з їхньою секреторною активністю: збільшення розмірів і площі клітин може свідчити про інтенсифікацію процесів синтезу та виділення воску.

Окрім того, морфометричний аналіз дає змогу оцінити вплив різних факторів зовнішнього середовища, зокрема особливостей живлення, забезпеченості білковими та вуглеводними кормами, а також сезонних змін, пов'язаних із періодами активного медозбору та цвітіння рослин, на розвиток воскових залоз бджіл.

Практичне значення таких досліджень полягає у можливості наукового обґрунтування оптимальних раціонів годівлі та технологічних прийомів утримання бджолиних сімей, спрямованих на підвищення їхньої воскової продуктивності. Водночас зміни форми та розмірів восковидільних клітин можуть слугувати чутливими морфологічними індикаторами фізіологічного стану організму бджоли, відображаючи інтенсивність метаболічних процесів і рівень функціональної активності жирового тіла (табл. 3).

Відомо, що морфометричні параметри клітин восковидільної залози медоносних бджіл істотно залежать від віку особин, що зумовлено онтогенетичною динамікою їхньої секреторної активності. З метою забезпечення точності та об'єктивності результатів відбір матеріалу проводили серед одновікових дорослих бджіл, що дало змогу мінімізувати вплив вікових відмінностей на морфологічні показники досліджуваних клітин.

Таблиця 3 – Розмір клітин восковидільної залози у медоносних бджіл, ($M \pm m$, $n=20$)

Група сімей	Розмір клітин			
	довжина, мкм		площа, мкм ²	
	$M \pm m$	lim	$M \pm m$	lim
Контрольна	44,51,09	40,06–47,22	228,1 \pm 2,61	218,9–257,4
Дослідна 1	51,6 \pm 2,05*	48,10–53,78	267,5 \pm 2,25	258,1–272,4
Дослідна 2	54,2 \pm 1,78*	51,69–55,08	273,1 \pm 2,15*	265,4–308,7

Морфометричний аналіз клітин воскової залози ускладнюється особливостями їхньої анатомічної будови. Епітеліальні клітини восковидільної залози не мають простої циліндричної форми, а характеризуються видовженою, призматичною будовою. Секреторні клітини містять численні трубчасті інвагінації плазматичної мембрани, розгалужені порові канали та внутрішньоклітинні вирости, спрямовані до кутикули. Трубчасті інвагінації становлять собою заглиблення плазматичної мембрани в цитоплазму клітини, що формують тонкі каналцеподібні структури. У восковидільній залозі медоносної бджоли вони добре розвинені та відіграють важливу роль у процесах секреції воску [16]. Наявність таких структур ускладнює точне визначення меж клітини та вимірювання лінійних параметрів, оскільки поверхня клітин набуває нерівного й складчастого характеру. Тому для проведення морфометричних досліджень доцільним є використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке забезпечує високу точність вимірювань на якісно підготовлених гістологічних препаратах.

Обмеження надходження протеїнового корму в бджіл контрольної групи зумовило зниження забезпеченості організму поживними речовинами, що позначилося на морфометричних характеристиках клітин восковидільної залози. Середня довжина епітеліальних клітин у контрольній групі становила 44,5 \pm 1,09 мкм, при цьому її коливання знаходилися в межах від 40,06 до 47,22 мкм. Відомо, що в період максимальної секреторної активності клітини восковидільної залози значно видовжуються, тому отримані показники свідчать про порівняно низький рівень їхнього функціонального розвитку.

Середня площа клітин становила 228,1 \pm 2,61 мкм². Отримані результати вказують на відносну компактність клітин і помірну варіабельність їхніх морфометричних параметрів. Співвідношення довжини до ширини характеризує клітини як видовжені, що відповідає їхній типовій морфологічній організації. Водночас дані таблиці свідчать,

що саме у контрольній групі морфометричні показники клітин восковидільної залози були найнижчими серед усіх досліджуваних груп, що може бути наслідком недостатнього забезпечення бджіл протеїновими компонентами корму.

У бджіл I дослідної групи споживання корму, що містив бджолине обніжжя, сприяло суттєвому збільшенню морфометричних показників клітин восковидільної залози. Середня довжина клітин становила 51,6 \pm 2,05 мкм а меж коливань від 48,10 до 53,78 мкм, що на 15,9 % перевищувало аналогічний показник контрольної групи. Виявлені відмінності були статистично значущими ($p < 0,001$), що свідчить про виражений вплив протеїнового корму на розвиток секреторного епітелію восковидільної залози.

Середня площа клітин дорівнювала 267,5 \pm 2,25 мкм² при варіюванні від 258,1 до 272,4 мкм², що на 17,27 % перевищувало контрольні значення. Збільшення площі клітин вказує на підвищення рівня їхньої функціональної активності та потенційне посилення процесів синтезу воску.

Водночас вузький діапазон коливань площі клітин свідчить про їх високу морфологічну однорідність, що може бути ознакою стабільного функціонального стану восковидільної залози та однотипної реакції бджіл на згодовування корму з вмістом бджолиного обніжжя.

Найвищий рівень розвитку клітин восковидільної залози виявлено у бджіл II дослідної групи. Ймовірно, це пов'язано з тим, що згодовування протеїнового корму, збагаченого амінокислотами, сприяє більш повному засвоєнню поживних речовин та інтенсифікації обмінних процесів в організмі бджіл.

Результати морфометричного аналізу показали, що середня довжина клітин восковидільної залози становила 54,2 \pm 1,78 мкм за меж коливань від 51,69 до 55,08 мкм, що на 21,7 % перевищувало відповідний показник контрольної групи. Збільшення лінійних розмірів клітин супроводжувалося зростанням їхньої площі, середнє значення якої становило 273,1 \pm 2,15 мкм². Межі варіювання площі

знаходилися в межах від 255,0 до 273,8 мкм², що на 19,6 % перевищувало контрольні значення.

Найбільш виражені зміни спостерігалися за показниками довжини та площі клітин, що свідчить про інтенсивну морфофункціональну перебудову восковидільної залози під впливом амінокислотного збагачення раціону. Виявлені відмінності були статистично значущими ($p < 0,001$), що підтверджує суттєвий вплив досліджуваного кормового чинника на розвиток секреторного епітелію залози.

Аналіз отриманих результатів дає підстави вважати, що основною функцією трофоцитів стернальної зони жирового тіла медоносної бджоли є накопичення, переробка та депонування поживних речовин, зокрема, ліпідів, білків і глікогену. Відомо, що ці клітини активно реагують на надходження білкових компонентів корму та амінокислот, що супроводжується їхньою гіпертрофією. Саме тому додавання синтетичних амінокислот до складу протеїнового корму закономірно посилювало приріст морфометричних показників трофоцитів — від 17 % у I дослідній групі до 23 % у II дослідній групі. Отримані результати узгоджуються з сучасними науковими даними, згідно з якими амінокислоти стимулюють процеси ліпогенезу в жировому тілі та сприяють морфофункціональній гіпертрофії жирових клітин медоносних бджіл [1, 5].

У дослідженнях із використанням пилкових монодіет встановлено, що посилене білкове живлення призводить до збільшення лінійних розмірів трофоцитів жирового тіла [1]. Результати наших досліджень підтверджують цю закономірність, оскільки у бджіл I дослідної групи виявлено достовірне зростання морфометричних показників трофоцитів унаслідок згодовування протеїнових кормів. Ще більш виражені зміни спостерігалися у бджіл II дослідної групи, які додатково отримували синтетичні амінокислоти. Таке морфометричне збільшення клітин є фізіологічно обґрунтованим та добре узгоджується із сучасними уявленнями про роль амінокислот у регуляції метаболізму жирового тіла медоносних бджіл [7]. Підвищена доступність амінокислот стимулює біосинтез і накопичення структурних та резервних сполук, насамперед білків і нейтральних ліпідів, що морфологічно проявляється збільшенням розмірів клітин [21].

На відміну від трофоцитів, еноцити виконують дещо інші функції, пов'язані переважно з регуляцією ліпідного обміну, синтезом специфічних жирних кислот, формуванням

компонентів кутикули та забезпеченням бар'єрних властивостей покривів. Тому їхня морфометрія зазвичай змінюється менш інтенсивно, ніж у трофоцитів. За даними сучасних досліджень, під впливом різних факторів у медоносних бджіл може спостерігатися збільшення розмірів еноцитів, однак основний ефект полягає не у значній гіпертрофії клітин, а в активації метаболічних процесів, пов'язаних із синтезом і транспортом ліпідів. Функціональна активація еноцитів відбувається за умов відносно помірних морфологічних змін, що пояснює виявлене в нашому дослідженні збільшення довжини еноцитів на 8,8 % у бджіл II дослідної групи.

З фізіологічної точки зору збільшення розмірів клітин жирового тіла корелює з підвищенням синтетичної активності організму, оскільки жирове тіло бере безпосередню участь у забезпеченні енергетичних і пластичних потреб бджіл, необхідних для інтенсивного восковиділення. Результати морфометричного аналізу клітин восковидільної залози показали, що у бджіл контрольної групи вони характеризувалися найменшими розмірами, що відображає базовий рівень секреторної активності залози. Використання протеїнових кормів, до складу яких входили яєчний меланж, соєве борошно та бджолине обніжжя, сприяло достовірному збільшенню довжини та площі клітин восковидільної залози. Найбільш виражені зміни встановлено у бджіл II дослідної групи, які отримували корм, збагачений амінокислотами.

Зростання площі клітин на 17,2–19,6 % порівняно з контролем свідчить про інтенсивну морфофункціональну перебудову восковидільної залози під впливом білкового живлення. Статистично значущі відмінності між дослідними та контрольною групами ($p < 0,001$) підтверджують важливу роль якісного білкового забезпечення у формуванні секреторного апарату воскових залоз медоносних бджіл. Отримані результати мають практичне значення, оскільки безпосередньо пов'язані з восковою продуктивністю бджолиних сімей та їхньою здатністю до інтенсивного будівництва стільників.

Висновок. Інтенсивність секреторної діяльності клітин восковидільної залози доцільно розглядати у тісному взаємозв'язку з морфофункціональним станом структурних елементів жирового тіла, насамперед трофоцитів та еноцитів. Найбільш виражений розвиток трофоцитів встановлено у бджіл, які споживали протеїновмісні корми, а максимальні морфометричні показники зафіксовано

за додаткового введення до раціону синтетичних амінокислот. Водночас використання амінокислотних добавок не спричинило настільки ж виражених змін морфометричних параметрів еноцитів стернальної частини жирового тіла, що свідчить про відмінності у функціональній відповіді різних типів клітин жирового тіла на покращення білкового живлення. Інтенсивна морфологічна перебудова восковицьної залози та збільшення розмірів її секреторних клітин зумовлені впливом більш повноцінного протеїнового раціону, який забезпечує оптимальні умови для реалізації метаболічних процесів, пов'язаних із синтезом воску та розвитком воскових залоз медоносних бджіл.

REFERENCES

1. Béjar, V., Garduño, J., Calvillo, K., García, E. (2022). Survival, Body Condition, and Immune System of *Apis mellifera* ligustica Fed Avocado, Maize, and Polyfloral Pollen Diet. *Neotrop Entomol.* 51 (4), pp. 583–592. DOI:10.1007/s13744-022-00974-7.
2. Carroll, M., Brown, N., Goodall, C., Downs, A., Sheenan, T. (2021). Correction: Honey bees preferentially consume freshly-stored pollen. *PLOS ONE*, 16 (3). DOI:10.1371/journal.pone.0249458.
3. Casanelles-Abella, J., Moretti, M. (2022). Challenging the sustainability of urban beekeeping using evidence from Swiss cities. *NPJ Urban Sustainability*, 2 (3). DOI:10.1038/s42949-021-00046-6.
4. Cassier P., Lensky, Y. (1995). Ultrastructure of the wax gland complex and secretion of beeswax in the worker honey bee *Apis mellifera* L. *Apidologie*, 26 (1), pp. 17–26. DOI:10.1051/apido:19950103.
5. Chang, H., Ding, G., Jia, G., Feng, M., Huang, J. (2022). Hemolymph Metabolism Analysis of Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Response to Different Bee Pollens. *Insects*, 14 (1), 37 p. DOI:10.3390/insects14010037.
6. Dalal, M., Aljedani, N. (2018). Comparing the Histological Structure of the Fat Body and Malpighian Tubules in Different Phases of Honeybees, *Apis mellifera jemenatica* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Entomology*, 15, pp. 114–124. DOI:10.3923/je.2018.114.124.
7. Fedak, V.V. (2023). Influence of feed quality on wax gland development indicators in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Beekeeping of Ukraine*, 1 (9). DOI:10.46913/beekeepingjournal.2022.9.15
8. Haase, A., Hoffmann, K. (2021). Pollen Diet-Properties and Impact on a Bee Colony. *Insects*, 12 (9), 798 p. DOI:10.3390/insects12090798.
9. Herman, N., Vitenberg, T., Opatovsky, I. (2025). Metabolic and immune functions of the hemolymph and fat body in *Hermetia illucens* under pathogen challenge. *Journal of Insect Science*, 25 (5). DOI:10.1093/jisesa/ieaf074.
10. Huang, K., Liu, Y., Perrimon, N. (2022). Roles of Insect Oenocytes in Physiology and Their Relevance to Human Metabolic Diseases. *Frontiers in Insect Science*, 2. DOI:10.3389/finsec.2022.859847.
11. Koval's'kyi, Y., Zhmur, V. (2024). Peculiarities of the development of the fat body in the body of honey bees. *Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhytsky National University of Biomedical Sciences*, 26 (100), pp. 179–183. DOI:10.32718/nvvet-a10028. (In Ukrainian).
12. Liolios, V., Tananaki, C., Kanelis D. (2022). The microbiological quality of fresh bee pollen during the harvesting process. *Journal of Apicultural Research*, 31 (3), pp. 387–409. DOI:10.1051/apido:2000130.
13. Molder, L., Pereda, J., Sonnenberg, A. (2021). Regulation of hemidesmosome dynamics and cell signaling by integrin $\alpha 6\beta 4$. *Journal of Cell Science*, 134 (18). DOI:10.1242/jcs.259004/
14. Montserrat-Canals, M., Schnelle, K., Leipart, V. (2025). Cryo-EM structure of native honey bee vitellogenin. *Nat Commun*, 16, 5736 p. DOI:10.1038/s41467-025-58575-y.
15. Ponti, D. (2025). The Nucleolus: A Central Hub for Ribosome Biogenesis and Cellular Regulatory Signals. *International Journal of Molecular Sciences*, 26 (9), 4174 p.
16. Sanford, M., Dietz, A. (1976). The fine structure of the wax gland of the honey bee (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 7 (3), pp. 197–207. Available at: <https://hal.science/file/index/docid/890403/filename/hal-00890403.pdf>
17. Shcherbatyy, Z., Kos, V., Kropyvka Y. (2014). Genetics with biometrics. Laboratory and practical course. Lviv, 288 p. (In Ukrainian).
18. Sirotkin, A., Tarko, A., Alexa, R., Fakova, A., Alwasel, S., Harrath, A. (2020). Bee pollens originating from different species have unique effects on ovarian cell functions. *Pharm Biol.*, 58 (1), pp. 1101–1106. DOI:10.1080/13880209.2020.1839514.
19. Strachecka, A., Olszewski, K., Kuszewska, K. (2021). Segmentation of the subcuticular fat body in *Apis mellifera* females with different reproductive potentials. *Scientific reports*, 11. DOI:10.1038/s41598-021-93357-8.
20. Svečnjak, L., Chesson, L.A., Gallina, A., Maia, M., Martinello, M., Mutinelli, F., Muz, M.N., Nunes, F.M., Saucy, F., Tipple, B.J., Wallner, K., Waś, E., Waters, T.A. (2019). Standard methods for *Apis mellifera* beeswax research. *J. Apic. Res.*, 58, pp. 1–108. DOI:10.1080/00218839.2019.1571556.
21. Toprak, U., Hegedus, D., Doğan, C., Güney, G. (2020). A journey into the world of insect lipid metabolism. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 104 (2). DOI:10.1002/arch.21682.
22. Xu, R., Ma, B., Yang, Y., Li, J., Xu, X., Fang, Y. (2024). Proteome–metabolome profiling of wax gland complex reveals functional changes in honeybee, *Apis mellifera* L. *Science*, 27 (3). DOI:10.1016/j.isci.2024.109279.

Effect of protein nutrition level and amino acid composition of the diet on the wax glands development in honey bees *Apis mellifera* L.

Kovalskiy I., Zhmur V.

Honey bees form combs exclusively from wax synthesized by the wax glands of worker bees. The intensity of wax secretion depends on the development of the fat body, which provides the cells with proteins, lipids and glycogen. The main factor ensuring lipogenesis in honey bees is flower pollen, which is the main source of amino acids. Lack of protein inhibits the work of the glands, while balanced amino acid diets increase the secretory activity and the potential of bees to build combs. The article presents data on the influence of protein nutrition and the amino acid composition of the diet on the intensity of wax secretion in honey bees *Apis mellifera* L. The aim was to assess how protein and amino acid nutrition affect the morphometric parameters of the fat body and wax gland cells of bees.

The study was conducted in 2023–2025 on three groups of 5 *Apis mellifera* L. families, formed by the method of analogues. The control group did not receive protein, while the two experimental groups consumed protein candy, including those enriched with amino acids (arginine 50 mg/kg, lysine

45 mg/kg, methionine 15 mg/kg, leucine 75 mg/kg, isoleucine 45 mg/kg). Morphological analysis of the fat body and wax gland was performed on transverse sections of the IV abdominal segment (7 µm), prepared after fixation in Bouin's fixative and staining with methylene blue. Compared with the control, trophocytes of bees of the first experimental group increased in length by 17,2 %, width by 15,1 %. The use of amino acids in the diet of the second experimental group led to an increase in the linear dimensions of trophocytes by 23,1 %, 28,6 %, respectively ($p < 0,001$). The use of protein feeds did not have a pronounced effect on the morphometric parameters of oenocytes. The length of these cells increased in the experimental individuals by 7,8–8,9 %. The cells of the wax gland increased only in length – by 15,9 % in the first group and by 21,7 % in the second ($p < 0,001$). Thus, protein diets provide moderate hypertrophy of oenocytes and pronounced trophocytes, and the addition of amino acids additionally enhances the intensity of the wax epithelium, which is consistent with an increase in the potential for wax formation.

Keywords: honey bees, fat body, wax gland, feeding level, protein nutrition, diet structure, nutrients, amino acids, wax secretion intensity.



Copyright: Ковальський Ю.В., Жмур В.В. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Ковальський Ю.В.

Жмур В.В.

<https://orcid.org/0000-0002-5751-5844><https://orcid.org/0009-0001-9413-9518>