

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТА ГАЛУЗІ КОЗІВНИЦТВА

Р.В. Ставецька, Т.М. Димань, Б.В. Вакула

Білоцерківський національний аграрний університет

(м. Біла Церква, Київська обл., Україна)

e-mail: rstavetska@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0149-1908

e-mail: tetyanadyman@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6428-1476

e-mail: vakulab@ukr.net; ORCID: 0009-0008-7105-6112

Зростання населення на нашій планеті ставить нові виклики перед аграрною галуззю — рослинництвом і тваринництвом. Нарощування поголів'я сільськогосподарських тварин і птиці для забезпечення населення продукцією тваринного походження неминує призводити до зростання негативного впливу на навколишнє середовище через кишкову ферментацію, гній, кормовиробництво тощо. Це є досить істотним джерелом викидів парникових газів, що спричиняють кліматичні зміни. За таких умов доцільним є використання для виробництва тваринницької продукції таких видів тварин, що є найбільш адаптованими до підвищених температур повітря. Такою галуззю є козівництво, яке характеризується високою адаптаційною здатністю до різних кліматичних умов завдяки поведінковим, генетичним, фізіологічним і морфологічним механізмам, які гарантують теплорегуляцію їхнього організму. Тепловий стрес у кіз виникає за температури навколишнього середовища вище 38°C, що значно перевищує поріг виникнення теплового стресу в інших видів сільськогосподарських тварин. Тепловий стрес негативно впливає на імунну та ендокринну системи кіз, ріст і розвиток, репродуктивну здатність як самиць, так і самців, молочну, м'ясну і кашемірову продуктивність. Пом'якшити дію теплового стресу на тварин можна за рахунок оптимізації годівлі та умов утримання, а також через використання порід і популяцій кіз, які визначаються високою термотолерантністю. В Україні питання термотолерантності сільськогосподарських тварин раніше не вивчалось, оскільки воно було неактуальним у нашій кліматичній зоні. Нині в світі проводяться дослідження на фізіологічному, поведінковому і генетичному рівнях щодо виявлення порід і популяцій кіз, які характеризуються високою акліматизаційною здатністю і є термотолерантними. Виявлені гени, які можуть слугувати генетичними маркерами толерантності кіз до теплового стресу, однак це питання потребує додаткових досліджень і підтверджень у різних популяціях кіз.

Ключові слова: кози, тепловий стрес, реакція організму, ріст і розвиток, репродуктивна здатність, продуктивність, адаптація, термотолерантність.

ВСТУП

Нині зміни клімату набули глобально-го значення, вони характеризуються підвищенням температури, зміною режиму опадів, зменшенням доступності води і зростання екстремальних погодних явищ (посухи, повені тощо). Попри те, що у багатьох регіонах світу спостерігається тенденція до збільшення кількості опадів, це зростання є недостатнім на тлі постійного посилення температури. Із кожним роком вплив кліматичних чинників на сільськогосподарських тварин стає дедалі відчутнішим, за стрімких змін умов навколишнього

середовища живим організмам стає дедалі важче до них пристосуватися. Тварини та рослини не встигають адаптуватися до нових умов життя, а на територіях, які раніше були населені одними видами, починається експансія інших. Ці зміни необхідно враховувати під час планування господарської діяльності [1].

Тваринництво, як і інші сектори економіки, зазнає негативного впливу змін клімату. Оскільки рослини є основою кормової бази, розвиток тваринництва тісно пов'язаний зі станом рослинництва. Зниження біорізноманіття рослин призводить до збіднення пасовищ, через неврожай і

посухи зростає вартість кормів, зокрема фуражного зерна, силосу та сінажу. Вирощування кормових культур стає дедалі витратнішим з економічної точки зору, що, своєю чергою, знижує рентабельність тваринницької галузі [1; 2].

Кліматичні зміни негативно впливають на сільське господарство загалом та безпосередньо на самих тварин. Упродовж тривалого часу тварини існували в стабільних кліматичних умовах, тому здатність їх організму до швидкої, адекватної та ефективної адаптації до різких змін є обмеженою. У майбутньому перевагу матимуть ті види, а також породи і популяції, які спроможні ефективно пристосовуватись до нових умов середовища. Тому доцільно звернути увагу на менш поширені, але краще адаптовані до змін клімату види тварин, які є менш вибагливими до кормів і демонструють вищу стійкість до несприятливих умов.

Види сільськогосподарських тварин, які формують традиційні галузі тваринництва, досить чутливі до кліматичних змін й водночас самі є джерелом парникових викидів, спричиняючи ці зміни. Найбільшим джерелом парникових газів у тваринництві є продукти кишкової ферментації великої рогатої худоби. Загальновідомо, що скотарство є трудомісткою і складною галуззю. Порівняно із великою рогатою худобою кози мають метаболічні, біологічні, економічні та інші переваги — це рання статевая зрілість, відносно короткий період вагітності, короткий генераційний інтервал та багатоплідність. Кози характеризуються кращою адаптаційною здатністю і відтворюються навіть у найсуворіших кліматичних умовах. Вони мають нижчу чутливість до теплового стресу за рахунок високого рівня потовиділення і здатності зберігати воду, не залежать від специфічних кормів. Кози не потребують спеціальних укриттів і можуть виживати в будь-якому місці за мінімального захисту від несприятливих погодних умов. Водночас ці тварини чинять менший вплив на навколишнє природне середовище, що робить їх використання досить перспективним [3; 4].

Широке географічне поширення кіз пояснюється різноманітними фізіологічними, поведінковими та морфологічними механізмами адаптації, які дають змогу їм виживати за різних умов. Кози можуть ефективно використовувати різноманітні корми, зокрема гіллячковий корм та дикорослі рослини, виживати та підтримувати високий рівень продуктивності, споживаючи відносно бідний на поживні речовини корм [4].

Метою роботи є узагальнення опублікованих даних щодо впливу теплового стресу на організм кіз, їх ріст, розвиток, продуктивність і репродуктивну здатність, а також пошук шляхів адаптації цих тварин до цього стресу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В Україні дослідження щодо впливу кліматичних змін на кіз практично не проводились, серед останніх можна зазначити С.В. Чумак, В.О. Чумак, А.В. Горчанок [5], однак за кордоном у країнах зі спекотним кліматом ці дослідження представлені досить широко. Слід відмітити численні дослідження таких індійських вчених, як V. Sejian [6–15], M. Bagath [7–15], R. Bhatta [6; 7; 10; 12–15] і G. Krishnan [8; 10; 14]; також значними є здобутки науковців із Австралії [9; 10], Бразилії [10; 17; 18], Мексики [19], Китаю [3], африканських країн [20–23].

Кози, як і всі ссавці — це гомойотермні (теплокровні) тварини, тобто їх організм підтримує сталу температуру тіла незалежно від температури навколишнього середовища за допомогою фізіологічних, поведінкових та метаболічних механізмів [17]. Ці механізми дають змогу тваринам досягати «теплового комфорту» чи так званого теплового нейтралітету за мінімальних витрат енергії для підтримання температурного балансу і забезпечують їхню здатність до розмноження та вироблення продукції. Однак, коли «теплового комфорту» досягти не вдається, під дією температури навколишнього середовища виникає тепловий стрес, за якого погіршується ефек-

тивність росту, продуктивність і відтворення тварин, знижується конверсія корму і резистентність організму до паразитів, хвороботворних бактерій та вірусів. Тепловий стрес може спричиняти гіпертермію і навіть стати причиною загибелі тварин, що, безперечно, призводить до економічних втрат [19].

Крім того, тепловий стрес зумовлює підвищення рівня гормонів стресу, як-от катехоламіни та глюкокортикоїди, які впливають на функцію кишківника і його мікробний склад у жуйних тварин. Це зумовлює пошкодження тканин і подразнення кишківника, підвищує проникність у кровотік токсинів різноманітних бактерій: сальмонели, кишкової палички, кампілобактеру та ін. [24].

Кози починають відчувати тепловий стрес за температури 38°C і вище та за температурно-вологісного індексу 75 і вище. За цих умов для підтримання постійної температури тіла активуються механізми, що включають зміни поведінки, фізіологічні та біохімічні реакції [6]. Адаптаційний процес потребує значних енергетичних витрат, впливає на гомеостаз тварин, їхній ріст, розвиток, репродуктивну здатність і рівень продуктивності, оскільки енергія перенаправляється на адаптацію. Водночас адаптаційна здатність кіз до кліматичних змін і теплового стресу досить висока порівняно із іншими видами сільськогосподарських тварин, що визначає унікальність і надзвичайну актуальність цього виду.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом для статті став порівняльний аналіз теоретичних напрацювань та емпіричних досліджень зарубіжних та вітчизняних авторів у сфері впливу кліматичних змін на галузь тваринництва, зокрема на козівництво.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під дією теплового стресу у центральній нервовій системі тварини запускається процес терморегуляції, який включає такі

компенсаторні механізми: периферичну вазодилатацію (розширення просвіту кровоносних судин), збільшення частоти дихання і споживання води, зменшення споживання корму. Ці механізми допомагають тварині розсіювати тепло за допомогою механізмів теплопровідності та випромінювання. Ефективність розсіювання тепла водночас залежить від активності потових залоз.

Вплив теплового стресу на гомеостаз кіз. Тепловий стрес пригнічує імунологічні реакції кіз, роблячи тварин більш уразливими до захворювань. Деякі дослідження навіть вказують на неефективність імунітету кіз за таких умов. Зниження секреції імуноглобулінів призводить до порушення адаптивної функції імунної системи, що збільшує ймовірність зараження паразитами [7–9]. I. Sophia et al. [7] виявили, що підвищення температури навколишнього середовища зумовлює зниження продукції лімфоцитів, а також їх фагоцитарної функції у кіз. Також тепловий стрес пригнічує вироблення антитіл, зокрема IgM, IgG.

Вплив збільшення температури навколишнього середовища проявляється значними змінами в гормональному профілі жуйних унаслідок процесу адаптації та акліматизації, а також змін у роботі ендокринної системи, переважно щитоподібної та надниркових залоз [17]. Реакція на стрес і його регулювання відбувається через гіпоталамо-гіпофізарно-надниркову систему за допомогою кортикотропін-рилізінг-гормону, адренкортикотропного гормону і гормону надниркових залоз. Кортизол — це гормон, який синтезується корою надниркових залоз і вважається одним із найважливіших гормонів, що забезпечують реакцію на стрес. Він відповідає за гліюкогенез і сприяє розщепленню та вивільненню глюкози, амінокислот і жирів у печінці, м'язах і жировій тканині. Рівень кортизолу може коливатися щоденно залежно від пори року, фотоперіоду, складу раціону, виду стресу та його сили. Під час теплового стресу кортизол зумовлює розщеплення білків до амінокислот і регулює

імунну відповідь, репродукцію, метаболізм і поведінку тварин [4; 16].

Підвищення температури навколишнього середовища може мати численні фізіологічні наслідки для організму: порушення ендокринного балансу і активності ферментів, дисбаланс електролітів, виникнення оксидативного стресу та негативні зміни у репродуктивній системі. Такі фізіологічні показники, як частота дихання, серцебиття та температура тіла, швидко змінюються під впливом теплового стресу, відображаючи ступінь комфорту чи дискомфорту тварини. За тривалого впливу теплового стресу у кіз активуються специфічні фізіологічні механізми, які допомагають адаптуватися до несприятливих умов. Ці механізми вважають надійними показниками добробуту тварин незалежно від породи [10].

Частота дихання, частота серцевих скорочень та температура тіла часто використовуються як індикатори фізіологічної адаптації до теплового стресу у дрібних жуйних тварин. Основними фізіологічними реакціями на тепловий стрес у кіз є підвищення ректальної температури, частоти дихання, серцевих скорочень і потовиділення. Між температурно-вологісним індексом та фізіологічними показниками тварин є пряма залежність, а складність і спектр фізіологічних змін, викликаних тепловим стресом, може відрізнятися залежно від виду та породи тварин, їх індивідуальних особливостей та гормонального стану [5].

Частота дихання є ефективним показником кількісної оцінки теплового навантаження і теплового стресу кіз, яка корелює з випаровувальними механізмами охолодження [10]. У термонеутральних умовах частота дихання кіз становить 15–30 вдихів/хв. За слабого теплового стресу цей показник збільшується до 40–60, помірного — 60–80, сильного — 80–120, а за екстремального теплового стресу частота дихання перевищує 150 вдихів/хв [11].

Температура тіла кіз становить близько 39°C. Для моніторингу стану тварин застосовують зазвичай ректальну температуру.

Під час теплового стресу підвищення ректальної температури є нормальною адаптаційною реакцією, що допомагає відводити надлишкове тепло від центру тіла до периферії. Однак навіть незначне перевищення температури тіла (на 1°C і менше) може негативно впливати на добробут і продуктивність тварини [25]. Під впливом теплового стресу було зафіксовано значне підвищення ректальної температури у кіз порід Osmanabadi, Malabari, Salem Black [20].

Частота серцевих скорочень за хвилину у кіз у стані спокою становить 60–80 ударів/хв, однак під впливом теплового стресу може зростати до 91 ударів/хв, що пояснюється посиленою дихальною та м'язовою активністю, а також зниженням судинного опору на периферії. Збільшення частоти серцевих скорочень сприяє інтенсивнішому кровотоку для перенесення тепла від центру до периферії, забезпечуючи ефективну терморегуляцію. За рахунок підвищення частоти серцевих скорочень тіло тварин передає тепло у навколишнє середовище, забезпечуючи комфортні умови для тварини [25]. Отже, частота серцевих скорочень є ще одним важливим показником добробуту кіз за впливу теплового стресу.

Споживання корму та води за теплового стресу. Тепловий стрес безпосередньо впливає на харчовий центр гіпоталамуса і запускає гормональну реакцію, яка знижує швидкість метаболізму. Тварини у стані теплового стресу, щоб мінімізувати вироблення метаболічного тепла, споживають менше корму. Водночас тепловий стрес призводить до зростання потреб в обслуговуванні тварин на 30%. У тварин за теплового стресу спостерігається істотне зниження споживання корму (сухої речовини на 30%), живої маси та її приростів. Зменшення живої маси пов'язують зі збільшенням використання енергії для тепловіддачі через респіраторне випаровування. За теплового стресу у кіз спостерігали випаровування втричі більшої кількості води порівняно з контрольною групою [26].

Життєво важливим елементом для всіх живих організмів є вода. Потреба у воді регулюється низкою чинників — спожив-

ванням сухої речовини, температурою навколишнього середовища та втратою води через випаровування тіла, виділення сечі, калу та виробництво молока. Слід зазначити, що кози демонструють виняткову стійкість до умов нестачі води і зазвичай більш ефективно зберігають воду в організмі, ніж вівці. Деякі породи кіз, як-от Black Bedouin і Barmer, можуть вижити за напування лише один раз на чотири дні. За умови дефіциту води пустельні породи і популяції кіз напувають лише кожні три–шість днів [27].

Ріст і розвиток кіз за підвищених температур. Шкідливий вплив підвищених температур навколишнього середовища на ембріон найбільше проявляється на ранніх стадіях розвитку. Низька секреція прогестерону обмежує функцію ендометрію та розвиток ембріона на стадії бластоцисти, після імплантації (у ранньому органогенезі) і на стадії плоду, що може призвести до різних патологій і ранньої ембріональної смертності [28].

Хоча кози спроможні перетворювати низькоякісний корм у продукцію, тривалий тепловий стрес негативно позначається на їх рості, оскільки тварини знижують споживання корму, зменшується його перетравність та засвоюваність. Р. Pragna et al. [29] виявили за теплового стресу зниження темпів росту овець порід Osmanabadi, Malabari та Salem Black на 11%, 8 та 6% відповідно. Повідомляється, що козенята, народжені в прохолодніший період, мали вищу живу масу за народження і швидше досягали живої маси, необхідної для відлучення, порівняно з козенятами, народженими у спекотний сезон. Це пояснюється компенсаторною фазою росту.

Вплив теплового стресу на репродуктивну здатність кіз. Підвищена температура навколишнього середовища негативно впливає на тканини та органи репродуктивної системи тварин незалежно від статі. Тепловий стрес пригнічує виділення гонадотропін-рилізінг-гормону в гіпоталамусі, фолікулоstimулювального та лютеїнізуючого гормонів. Активация гіпоталамо-гіпофізарно-наднирникової системи у

самок призводить до зменшення екскреції гонадотропінів і продукції естрогенів, що знижує фертильність. У самок скорочується тривалість та інтенсивність тічки, спостерігається ановуляторний цикл, знижується результативність запліднення, зменшується діаметр домінантного фолікула через нижчий рівень естрадіолу, а також загальні та внутрішньофолікулярні рівні інсуліноподібного чинника росту I [4; 30]. Під час досліджень впливу кліматичних умов на репродуктивні якості кіз виявлено, що кількість і якість ембріонів, зібраних від 56 суперовульованих бурських кіз, була вищою в сезон дощів (прохолодніший сезон) порівняно зі спекотним сезоном [18].

У самців за теплового стресу знижується лібідо і рівень тестостерону, зменшується сперматогенез і об'єм еякуляту, погіршується якість сперми, рухливість сперматозоїдів та зростає кількість сперматозоїдів з аномаліями [20; 30]. Підвищена температура навколишнього середовища (понад 33°C) спричиняє збільшення температури тіла, що може призвести до дегенерації сім'яників. Окрім того, встановлено кореляцію між температурою навколишнього середовища та рН сперми. Показником адаптації до спеки вважають те, що цапи порід, які адаптовані до посушливих і напівпосушливих регіонів, мають роздвоєну мошонку [30].

У популяціях кіз, яких утримують у субтропічному кліматі, виявлено від'ємну кореляцію між заплідненістю, температурою навколишнього середовища та тривалістю світлового дня [31], що підтверджує вплив температури повітря на репродуктивну здатність тварин.

Тепловий стрес і продуктивність кіз. Хоча кози добре адаптовані до жаркого клімату, їхня продуктивність (молочна, м'ясна, вовнова/кашемірова) та імунна відповідь організму знижуються через адаптаційні реакції на несприятливі умови, оскільки енергія, отримана з кормом, використовується здебільшого для підтримання життєдіяльності тварин. Зокрема, зниження швидкості росту, надою та приросту живої маси становить 12%, 3–10 та 4% відповідно [29].

За теплового стресу погіршуються як кількісні (надій), так і якісні (вміст жиру, білка, лактози та сухої речовини) показники молока кіз. Реакцією на тепловий стрес у кіз зааненської породи у Дніпропетровській обл. було зниження масової частки жиру в молоці на 29%. За концентрацією білка та лактози в молоці змін не виявлено, однак спостерігали зменшення співвідношення жир/білок на 27% та сухої речовини на 9% [5].

Тепловий стрес спричиняє зневоднення тварин, що негативно впливає на якість м'яса, фізичні та органолептичні характеристики туші кіз. Таке м'ясо характеризується високим рівнем рН та низьким рівнем глікогену, змінюється його колір, текстура та вологість, погіршилась м'якість і соковитість [21].

М. Rana et al. встановили [21], що за теплового стресу тварин якість м'яса знижується, оскільки викид адреналіну під час стресу призводить до розширення кровоносних судин на периферії та гідролізу м'язового глікогену. Тривале витримування тварин перед забоєм в умовах підвищеної температури навколишнього середовища може спричинити підвищення рівня рН і потемніння кольору м'яса. Якщо тварина знає гіпертермії перед забоєм, підвищена температура і анаеробний метаболізм призводять до більш раннього та інтенсивного заляккання м'яса. У зазначеному дослідженні кози, забиті за температури навколишнього середовища приблизно 35°C (перша група), мали певні відмінності за якістю м'яса порівняно з тими, яких було забито за температури 21°C (друга група). У першій групі спостерігали вищі значення рН м'яса — 5,78 проти 5,65 у другій групі. М'ясо тварин першої групи вирізнялось за кольором і було менш соковитим. Це доводить вплив температури повітря на якісні показники м'яса кіз.

Виявлено, що за температури повітря 27°C та відносної вологості 88% кози відчують тепловий стрес, що впливає на стан туші кіз і призводить до збільшення втрат під час обробки туш. У субпродуктах молодняку кіз, які зазнали теплового стресу,

порівняно з козами, які не зазнали теплового стресу, була вища маса крові (437 і 173 г відповідно), легень та трахеї (573 і 370 г), серця (50 і 32 г), селезінки (43 і 20 г) і нирок (43 і 20 г) [22].

Підвищення рівня рН м'яса може позначитись на його безпечності. Психрофільні бактерії (наприклад, *Acinetobacter* і *Alteromonas putrefaciens*) спричиняють псування продукту і стримуються оптимальним рівнем рН м'яса (5,6), однак ці бактерії швидко розмножуються у м'ясі з високим рівнем рН. Присутність кишкових бактерій у м'язах і печінці не лише погіршує м'ясну продуктивність тварин, а й може призвести до захворювань людей, котрі споживатимуть це м'ясо і субпродукти [24].

На кількість і якість козячої вовни або кашеміру впливають порода, вік, годівля, умови утримання та навколишнього середовища. Австралійські дослідники з'ясували, що дикі кози зазнають сезонних змін шерсті (линьки) відповідно до умов навколишнього середовища, і ріст їх шерсті залежить від біологічних циклів тварин. Зміна тривалості світлового дня стимулює швидкість росту, довжину та діаметр, а також вихід кашеміру в кіз, оскільки від тривалості фотоперіоду залежить виділення мелатоніну в тварин і, як наслідок, ріст шерсті і дозрівання волосяних фолікулів. Шишкоподібна залоза обмежує виділення мелатоніну вдень та виробляє значну кількість мелатоніну вночі. Результати експериментів показують, що скорочення періодів освітлення призводить до підвищення рівня вироблення мелатоніну і стимулює ріст кашеміру [32].

Вочевидь, за теплового стресу продуктивність кіз знижується, щоб адаптуватися до несприятливих умов, однак це негативно позначиться на економічній ефективності виробництва продукції козівництва.

Адаптація кіз до кліматичних змін і теплового стресу. Поведінкові реакції діють на теплообмін між організмом і навколишнім середовищем, зменшуючи поглинання тепла і збільшуючи тепловіддачу шляхом конвекції. У кіз під впливом теплового стресу спостерігаються такі поведінкові

реакції: зниження рухової активності (рух мінімізований), скупчення в затінених місцях, надмірне слиновиділення або носові виділення, прискорене дихання з відкритим ротом, зменшення споживання їжі та збільшення споживання води. В окремих випадках за теплового стресу у кіз може спостерігатися порушення координації і прискорене серцебиття. Тварини, що мешкають у пустелях, зазвичай активні вночі, що допомагає пом'якшити дію підвищених температур. За відсутності тіні тварини змінюють положення відносно сонця, щоб мінімізувати площу поверхні, доступну для теплообміну. У кіз зменшується виділення сечі та калу. Зниження частоти сечовипускання може бути пов'язано з посиленням процесів дихання та охолодження шкіри, що потенційно може призвести до значного зневоднення і подальшого зменшення частоти сечовипускання, а також — дефекації може слугувати адаптаційним механізмом для утримання води в організмі [12].

Дослідження S. Shilja et al. [12] показали, що кози, які знаходились на спеці впродовж 4–8 год на день протягом 18 днів, демонстрували збільшення часу стояння (445 проти 390 хв) і зменшення часу лежання (50 проти 90 хв), на відміну від кіз у контрольних групах.

Оскільки відомі адаптивні механізми під час дії підвищених температур (температура тіла, стан волосяного покриву, положення в стані спокою, поведінкові реакції), тому перспективним є пошук та підтвердження потенційних індикаторів теплового стресу у кіз. Першочергово необхідно створити надійну і валідну емпіричну базу [13], однак, очевидно, що місцеві популяції тварин краще пристосовані до протистояння кліматичним викликам, ніж імпортовані або екзотичні.

Австралійські вчені J. Aleena et al. [11] досліджували стійкість до теплового стресу кіз трьох місцевих порід — Osmanabadi, Malabari і Salem Black на фізіологічному, поведінковому і молекулярному рівнях. Було доведено, що підвищеною адаптацією до теплового стресу характеризувались кози Salem Black. Також кози Salem Black

демонстрували високу продуктивність у тестовому середовищі, відмінному від їхнього природного ареалу проживання.

Нині під час створення порід важливо одним із пріоритетів обирати термотолерантність тварин, тобто стійкість та адаптивність тварин до змін клімату, зокрема підвищених температур навколишнього середовища. Оскільки генетичні основи термотолерантності є досить складним механізмом, тому цій ознаці приділялося мало уваги, однак нині вона є предметом дослідження вчених у всьому світі [33].

J. Aleena et al. [11] і A.P. Madhusoodan et al. [8] виявили відмінності в прояві реакції на тепловий стрес у кіз різних порід та популяцій, які ґрунтуються на молекулярних реакціях, а саме на змінах білка теплового шоку 70 (HSP70), TLR2 і TLR8. Це дослідження дає змогу визначати та вимірювати біомаркери, пов'язані з тепловим стресом, що може допомогти досягти довгострокових генетичних цілей — виведення порід, пристосованих до умов певних агроекологічних зон.

A. Yakubu et al. [23] вивчали однонуклеотидні варіанти гена DRB класу II МНС і аналізували їх зв'язок із термофізіологічними особливостями трьох порід кіз у Hirepi — West African Dwarf, Red Sokoto і Sahel. Було ідентифіковано 14 алелів, з яких 7 мали сильний зв'язок із толерантністю до спеки. Також відзначають кращу термоадаптацію до спекотного і вологого тропічного клімату Hirepi кіз порід Sahel і Red Sokoto порівняно із козами породи West African Dwarf.

Z.A. Khan et al. [34] спостерігали генетичні варіації супероксиддисмутази-3 за теплового стресу та їх зв'язок із термотолерантністю у кіз порід Black Bengal, Ganjam і Raighar. Дослідники виявили три однонуклеотидні поліморфізми (SNP) в гені SOD3, які мали істотний вплив на фізіологічні чинники та специфічні біохімічні показники плазми крові, зокрема на загальний білок, альбумін, білірубін, креатинін, глюкоза та тригліцериди. Вчені вважають, що кореляція між різними генами послідовності SOD-3 та характеристи-

ками, сполученими з відповіддю на тепловий стрес, можна розглядати як ключовий ДНК-маркер під час селекції за ознаками, пов'язаними із толерантністю до підвищених температур.

Встановлено, що разом із SNP-маркерами певні гени можуть слугувати генетичними маркерами толерантності кіз до теплового стресу через їхні профілі експресії мРНК [12]. Вивчаючи здатність кіз породи *Osmanabadi* пристосовуватися до теплового та харчового (аліментарного) стресу впродовж літнього сезону, було виявлено, що експресія гена *HSP70* надниркових залоз може слугувати перспективним біомаркером у цьому контексті. Рівень мРНК *HSP70* був підвищеним у надниркових залозах кіз, які зазнали як теплового, так і аліментарного стресу, порівняно з козами, що зазнали лише теплового або аліментарного стресу. На думку дослідників, посилене виготовлення *HSP70* є результатом гіперактивності кори надниркових залоз, яка відповідає за вироблення кортизолу, що є ключовим показником стресу. Також S.P. Angel et al. [14] визначили інсуліноподібний фактор росту-1, лептин і рецептор лептину як оптимальні біомаркери для оцінки потенціалу росту малабарських кіз в умовах теплового стресу. Експресія мРНК усіх вищеписаних генів різко знижувалася у кіз, які зазнали теплового стресу.

Дослідження на козах *Malabari* показало, що інтерлейкін 18 (IL-18), фактор некрозу пухлин- α (TNF- α), інтерферон- β (IFN- β) та IFN- γ є надійними імунологічними маркерами для оцінки змін імунної відповіді. Рівні експресії мРНК усіх трьох генів були помітно знижені у кіз, які зазнавали теплового стресу [15]. За теплового стресу A.P. Madhusoodan et al. [8] спостері-

гали значне зниження експресії мРНК печінкових IL-2, IL-6, IL-18, TNF- α та IFN- β у кіз породи *Salem Black*, а S.S. Chauhan et al. [9] виявили підвищену експресію гена TLR1 у кіз порід *Osmanabadi* і *Canna* у різних тканинах, зокрема у матці, шкірі, лімфатичних вузлах, периферичних мононуклеарних клітинах крові та легенях. Тобто ці гени можуть слугувати індикаторами теплового стресу кіз.

ВИСНОВКИ

Тваринництво водночас спричиняє кліматичні зміни через викиди парникових газів та страждає від них. За підвищеної температури повітря сільськогосподарські тварини, зокрема кози, перебувають у стані теплового стресу, який негативно впливає на них, гальмуючи імунну систему (тварини стають більш сприйнятливими до захворювань), ендокринну систему (порушення гормонального балансу організму), змінюються фізіологічні й поведінкові реакції тварин, пригнічується їх ріст і розвиток, знижується рівень продуктивності, страждає репродуктивна функція.

Для пом'якшення впливу кліматичних змін і теплового стресу доцільно проводити моніторинг поведінки тварин та за виявлення ознак теплового стресу вживати відповідних заходів, регулюючи умови утримання, напування та годівлі. З іншого боку перспективним є виявлення існуючих, а також створення нових порід і популяцій тварин, які стійкі до теплового стресу, тобто є термотолерантними.

Перспектива подальшого дослідження у цьому напрямі полягає у вивченні впливу підвищеної температури повітря на фізіологічні, репродуктивні та продуктивні показники кіз в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U., & Gheewala, S. H. (2023). A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production. *Agronomy*, 13, 162. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>.
2. Modi, P. A., Fuka, D. R., & Easton, Z. M. (2021). Impacts of climate change on terrestrial hydrological components and crop water use in the Chesapeake Bay watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100830>.
3. Danso, F., Iddrisu, L., Lungu, S. E., Zhou, G., & Ju, X. (2024). Effects of Heat Stress on Goat Production and Mitigating Strategies: A Review. *Animals*, 14(12), 1793. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14121793>.
4. Sudarić Bogojević, M., Đuričić, D., Fruk, S., Žura Žaja, I., Kunštek, S., Kovačić, M., & Samardžija, M.

- (2025). Impact of global warming on the productive and reproductive efficiency of goats. *Veterinarska stanica*, 56(4), 485–492. DOI: <https://doi.org/10.46419/vs.56.4.7>.
5. Chumak, S. V., Chumak, V. O., & Horchanok, A. V. (2021). Changes in the goat's milk composition due to heat stress at the farm of the Ukrainian steppe zone. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 9(2), 74–81. DOI: <https://doi.org/10.32819/2021.92012>.
6. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera N. (2018). Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(2), s431–s444. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>.
7. Sophia, I., Sejian, V., Bagath, M., & Bhatta, R. (2016). Quantitative expression of hepatic toll-like receptors 1–10 mRNA in Osmanabadi goats during different climatic stresses. *Small Ruminant Research*, 141, 11–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.06.005>.
8. Madhusoodan, A. P., Sejian, V., Afsal, A., Bagath, M., Krishnan, G., Savitha, S. T., ... Bhatta, R. (2021). Differential Expression Patterns of Candidate Genes Pertaining to Productive and Immune Functions in Hepatic Tissue of Heat-Stressed Salem Black Goats. *Biological Rhythm Research*, 52(6), 809–820. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1607213>.
9. Chauhan, S. S., Rashamol, V. P., Bagath, M., Sejian, V., & Dunshea, F. R. (2021). Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*, 65, 1231–1244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3>.
10. Sejian, V., Silpa, M. V., ReshmaNair, M. R., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., ... Bhatta, R. (2021). Heat Stress and Goat Welfare: Adaptation and Production Considerations. *Animals*, 11(4), 1021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11041021>.
11. Aleena, J., Sejian, V., & Bagath, M. (2018). Resilience of three indigenous goat breeds to heat stress based on phenotypic traits and PBMC HSP70 expression. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1995–2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1604-5>.
12. Shilja, S., Sejian, V., Bagath, M., Mech, A., David, C. G., Kurien, E. K., ... Bhatta, R. (2016). Adaptive Capability as Indicated by Behavioral and Physiological Responses, Plasma HSP70 Level, and PBMC HSP70 mRNA Expression in Osmanabadi Goats Subjected to Combined (Heat and Nutritional) Stressors. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1311–1323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1124-5>.
13. Afsal, A., Sejian, V., Bagath, M., Devaraj, C., & Bhatta, R. (2018). Heat Stress and Livestock Adaptation: Neuro-Endocrine Regulation. *International Journal of Veterinary and Animal Medicine*, 1(2), 108. DOI: <https://doi.org/10.31021/ijvam.20181108>.
14. Angel, S. P., Bagath, M., Sejian, V., Krishnan, G., & Bhatta, R. (2018). Expression Patterns of Candidate Genes Reflecting the Growth Performance of Goats Subjected to Heat Stress. *Molecular Biology Reports*, 45, 2847–2856. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4440-0>.
15. Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Beena, V., & Bhatta, R. (2019). Effect of heat stress on the quantitative expression patterns of different cytokine genes in Malabari goats. *International Journal of Biometeorology*, 63, 1005–1013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01713-1>.
16. Nair, M. R. R., Sejian, V., Silpa, M. V., Fonsêca, V. F. C., de Melo Costa, C. C., Devaraj, C., ... Bhatta, R. (2021). Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock species. *International Journal of Biometeorology*, 65, 2229–2240. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02179-w>.
17. Ribeiro, M. N., Ribeiro, N. L., Bozzi, R., & Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress — a review. *Journal of Applied Animal Research*, 46, 1036–1041. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1456439>.
18. Da Silva, E. M. N., De Souza, B. B., De Sousa, O. B., Silva, G. D. A., & De Freitas, M. M. S. (2010). Avaliação Da Adaptabilidade de Caprinos Ao Semiárido Através de Parâmetros Fisiológicos e Estruturas Do Tegumento. *Revista Caatinga*, 23, 142–148.
19. Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Aréchiga, C. F., & Avendaño-Reyes, L. (2018). Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2151–2160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1615-2>.
20. Adjassini, J. S., Assani, A. S., & Bani, A. A. (2022). Impact of heat stress on reproductive performances in dairy goats under tropical subhumid environment. *Heliyon*, 8, e08971. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08971>.
21. Rana, M., Hashem, M., Akhter, S., Habibullah, M., Islam, M. H., & Biswas, R. C. (2014). Effect of Heat Stress on Carcass and Meat Quality of Indigenous Sheep of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 43(2), 147–153. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjas.v43i2.20717>.
22. Hashem, M. A., Hossain, M. M., Rana, M. S., Hos-sain, M. M., Islam, M. S., & Saha, N. G. (2013). Effect of Heat Stress on Blood Parameter, Carcass and Meat Quality of Black Bengal Goat. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 42(1), 57–61. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjas.v42i1.15783>.
23. Yakubu, A., Salako, A. E., De Donato, M., Peters, S. O., Takeet, M. I., Wheto, M., ... Imumorin, I. G. (2017). Association of SNP Variants of MHC Class II DRB Gene with Thermo-Physiological Traits in Tropical Goats. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 323–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1196-1>.
24. Lian, P., Braber, S., Garssen, J., Wichers, H. J., Folkerts, G., Fink-Gremmels, J., & Varasteh, S. (2020). Beyond Heat Stress: Intestinal Integrity Disruption and Mechanism-Based Intervention Strategies. *Nutrients*, 12(3), 734. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12030734>.
25. Levchenko, V. I., Vlizlo, V. V., Kondrakhin, I. P. et al. (2017). *Clinical diagnosis of animal diseases* (V. I. Levchenko & V. M. Bezukh, Eds.). Bila Tserkva.

26. Ocak, S., Darcan, N., Çankaya, S., & Inal, T. C. (2009). Physiological and Biochemical Responses in German Fawn Kids Subjected to Cooling Treatments under Mediterranean Climate Conditions. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 33(6), 455–461. DOI: <https://doi.org/10.3906/vet-0708-3>.
27. Ahmed, M. M. M., & El Kheir, I. M. (2004). Thermoregulation and Water Balance as Affected by Water and Food Restrictions in Sudanese Desert Goats Fed Good-Quality and Poor-Quality Diets. *Tropical Animal Health and Production*, 36, 191–204.
28. Wolfenson, D., Roth, Z., & Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science*, 60–61, 535–547. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0).
29. Pragna, P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., Soren, N. M., ... Bhatta, R. (2018). Comparative assessment of growth performance of three different indigenous goat breeds exposed to summer heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102, 825–836. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12892>.
30. Gupta, M., & Mondal, T. (2021). Heat stress and thermoregulatory responses of goats: a review. *Biological Rhythm Research*, 52(3), 407–433. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603692>.
31. El-Sayed, A. I. M., Farhaly, H. A. M., Eid, S. Y., & El-Zaher, H. M. (2018). Effect of Heat Stress on Reproductive and Productive Traits in Baladi and Crossbred Goat Does under Subtropical Conditions. *Journal of Nuclear Technology in Applied Science*, 6(1), 31–45.
32. Wu, Z., Duan, C., Li, Y., Duan, T., Mo, F., & Zhang, W. (2018). Melatonin Implantation during the Non-Growing Period of Cashmere Increases the Cashmere Yield of Female Inner Mongolian Cashmere Goats by Increasing Fiber Length and Density. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16, e06SC01-01.
33. Carabaño, M. J., Ramón, M., Menéndez-Buxadera, A., Molina, A., & Díaz, C. (2019). Selecting for Heat Tolerance. *Animal Frontiers*, 9(1), 62–68. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy033>.
34. Khan, Z. A., Mishra, C., & Dige, M. (2021). Association of Novel Polymorphisms in Caprine SOD3 Gene with Physiological and Biochemical Parameters. *Biological Rhythm Research*, 52(5), 759–773. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603693>.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.02.2025