

Review articles

Welfare of Dairy Cattle in Conditions of Global Climate Change

R. V. Mylostyvyi¹, V. Sejian²

¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

²National Institute of Animal Nutrition and Physiology, Bangalore, India

Received: 07 January 2019
Revised: 11 January 2019
Accepted: 06 February 2019

Dnipro State Agrarian and Economic
University, Sergii Efremov Str., 25, Dnipro,
49600, Ukraine

National Institute of Animal Nutrition and
Physiology, Bangalore-560030, India

Tel.: +38-097-280-88-19
E-mail: mylostyvyi.r.v@dsau.dp.ua
drsejian@gmail.com

Cite this article: Mylostyvyi, R. V. & Sejian, V. (2019). Welfare of dairy cattle in conditions of global climate change. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 7(1), 47–55. doi: 10.32819/2019.71009

Abstract. This review of literature sources is devoted to the problem of the influence of climate change on dairy husbandry, as well as approaches to welfare evaluation of the animals and the search for reliable markers of the functional state of the body in conditions of high temperatures. Global climatic changes connected with rising temperatures and fluctuations in weather conditions have the influence on agrarian production in general and dairy husbandry in particular. Decrease of yield capacity and food value of plants as a natural source of forage for animal husbandry, favorable conditions for the development and spread of pathogenic microorganisms, as well as the direct action of extreme high temperatures on health, productivity and reproductive capacity of animals, cause significant economic losses in hot periods of the year, not only for tropical regions of the world, but also for most European countries. Today, among the immediate environmental tasks, priority in the context of global food security is the use of urgent measures and the search for long-term (perspective) strategies to prevent the possible consequences of climate change. It is known that horned cattle, especially highly productive horned cattles, are better tolerate to lower temperatures than high, because their thermoneutral zone, in most reports, is in the range from +5 to +20–25°C. The animals, are being present in an artificial, limited space of premises, unable to show the whole range of natural behavioral reactions, and therefore the level of their welfare depends entirely on the conditions created by man. Under such circumstances, monitoring of the air environment and its direct influence on the physiological state of dairy cattle is better done by calculating special indices that take into account several environmental parameters (temperature, relative humidity, air velocity), which act on the organism of animals in a dynamic complex. However, such indices have not been sufficiently disseminated among domestic researchers. Although for more than half a century, the most commonly used in the world practice for evaluation the comfort of animals during periods of heat, is a temperature-humidity index. It is convenient in calculation and informative enough. Numerous studies indicate a close relationship between temperature-humidity index and animal body temperature, respiratory rate and heart rate, which are widely used to elevation the clinical conditions during thermal stress. The relatively high correlation between temperature-humidity index and productivity (milk yield and content of its components) allows using this index in prognostic models of influence of environmental on the dairy cattle. A various biological markers of the functional state of animals deserve attention. The possibility using such markers as predictors of the effects of high temperatures on the welfare of animals is reported in the proposed literary review.

Keywords: climate; microclimate; temperature-humidity index; heat stress; animal comfort; biological markers.

Добробут молочної худоби в умовах глобальних кліматичних змін

R. V. Милостивий¹, В. Седжіан²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

²Національний інститут годівлі та фізіології тварин, Бангалор, Індія

Анотація. Обговорюється вплив кліматичних змін на молочне тваринництво, підходи до оцінювання добробуту тварин та пошуку надійних маркерів функціонального стану організму в умовах високих температур. Глобальні кліматичні зміни, пов'язані зі зростанням температур та мінливістю погодних умов, впливають на аграрне виробництво в цілому та молочне скотарство зокрема. Зниження врожайності та поживності рослин як природної кормової бази для тваринництва, сприятливі умови для розвитку й поширення патогенних мікроорганізмів, а також безпосередня дія екстремальних високих температур на здоров'я, продуктивність та відтворювальну здатність тварин становлять причини значних економічних втрат у спекотні періоди року не лише для тропічних регіонів світу, а й для більшості країн Європи. Нині поміж першочергових екологічних завдань пріоритетними в контексті світової продовольчої безпеки вважається життя термінових заходів та пошук довгострокових (перспективних) стратегій щодо попередження можливих наслідків кліматичних змін. Відомо, що велика рогата худоба, особливо високопродуктивна, краще переносить низькі температури, ніж високі, оскільки її термонеутральна зона, за більшістю повідомлень, має межі від +5 до +20–25°C. Тварини, перебуваючи у штучному, обмеженому просторі приміщень, не в змозі проявити весь спектр природних поведінкових ре-

акцій, а тому рівень їх добробуту цілком залежить від умов, створених людиною. За таких обставин моніторинг повітряного середовища і його безпосередній вплив на фізіологічний стан молочної худоби краще проводити шляхом обчислення спеціальних індексів, які враховують декілька параметрів довкілля (температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря), що діють на організм тварин у динамічному комплексі. Однак такі індекси не набули достатнього поширення серед вітчизняних дослідників. Хоча вже понад півстоліття найбільш уживаним у світовій практиці для оцінювання комфорту тварин у періоди спеки використовують температурно-вологісний індекс (ТВІ). Він зручний в обчисленні та достатньо інформативний. Численні дослідження свідчать про тісний зв'язок ТВІ з показниками температури тіла тварин, частоти дихальних рухів та пульсу, які широко використовуються для оцінювання клінічного стану під час теплового стресу. Досить висока кореляція між ТВІ й продуктивністю (удоем молока та вмістом його компонентів) дозволяє використовувати цей показник у прогностичних моделях впливу довкілля на молочну худобу. Заслужують на увагу різноманітні біологічні маркери функціонального стану тварин. Про можливість застосування таких маркерів як предикторів впливу високих температур на добробут тварин і повідомляється в запропонованому літературному огляді.

Ключові слова: клімат; мікроклімат; температурно-вологісний індекс; тепловий стрес; комфорт тварин; біологічні маркери.

Вступ

Наслідком тривалої антропогенної дії стали глобальні кліматичні зміни (КЗ), які у свою чергу, впливають на всі сфери людської діяльності. Загальне потепління, мінливість погодних явищ, періоди екстремальних високих температур улітку відчутні для сільського господарства країн не лише із тропічним кліматом, а й помірно-континентальним України. Молочне скотарство – найбільш вразлива галузь, оскільки метаболізм високопродуктивних корів пов'язаний з високою теплопродукцією і складністю підтримання ізотермії в спекотних умовах довкілля. Сучасні технології з цілолітнім утриманням худоби в приміщеннях, з одного боку, стають на заваді тваринам реалізувати весь комплекс поведінкових реакцій, а з іншого, відкривають можливість прийняти необхідні технічні рішення щодо нормалізації мікроклімату. Зважаючи на тісний зв'язок навколишнього середовища з організмом тварин, його безпосередній вплив на фізіологічний стан і продуктивність, слушним буде оцінювання комфорту корів із використанням інтегральних показників або індексів. Сьогодні температурно-вологісний індекс (ТВІ) залишається найбільш доречним і зручним серед них, оскільки для його розрахунку достатньо знати температуру та вологість повітря в місці розташування ферми або комплексу (що не становить проблеми зі стрімким розвитком систем супутникової навігації та ІТ-технологій).

Мета статті – спроба розкрити аспекти впливу високих температур на організм молочної худоби, відповідні біологічні зрушення з його боку та вказати можливі маркери оцінювання функціонального стану тварин, повернути увагу вітчизняних учених-аграріїв до однієї з існуючих проблем та націлити їх на пошук практичних заходів, спрямованих на попередження наслідків глобальних КЗ у сучасному молочному скотарстві.

Наслідки кліматичних змін для молочного скотарства

Сільське господарство в цілому і тваринництво, зокрема, в першу чергу й найбільш чутливо реагують на всі зміни в навколишньому середовищі (Abdela & Jilo, 2016). Тому сталий розвиток тваринництва, як і раніше, залишається нагальною проблемою в умовах глобальних КЗ. Саме з підвищенням річних температур і ймовірністю прояву теплового стресу (ТС) більшість науковців пов'язує негативні наслідки цих процесів для молочного скотарства (Hill & Wall, 2014; Das et al., 2016; Abdela & Jilo, 2016). На думку вчених (Escarcha et al., 2018a), короточасні екстремальні погодні явища найбільше впливатимуть на кормовиробництво, здоров'я тварин і якість продукції, а тому продовольча безпека сьогодні перебуває під загрозою в багатьох частинах світу, на що потрібно звертати увагу в довгострокових стратегіях адаптації тваринництва до КЗ (Sejian et al., 2018).

Незважаючи на деякі успіхи щодо зменшення негативних наслідків ТС для молочного скотарства, виробництво продук-

ції продовжує помітно знижуватися під час спекотних періодів улітку (Dunshen et al., 2013). Зокрема, на східному узбережжі Центральної Греції (Papanastasiou et al., 2018) з липня по вересень тварини щодня піддавалися впливу термічного стресу протягом 15 год на добу (94 % усіх днів спостережень). У Середземноморському регіоні (Gantner et al., 2011) у весняний та літній сезони перевищення комфортних значень середовища (ТВІ > 72) відбувалося протягом 15 та 38 діб. Це спричинило зниження добового виходу молока, жиру та білка ($P < 0,01$) в усіх корів, незалежно від рівня їх продуктивності. Великі м'ясні й молочні ферми Карибського басейну (Ortiz-Colón et al., 2018) були найбільш вразливими до змін клімату, пов'язаних зі зниженням урожайності пасовищ, нестачею поживного корму, впливом ТС на тварин і високою вартістю енергії для охолодження приміщень. Вчені (Gantner et al., 2017) повідомляють про значне зростання частоти ТС у Хорватії, що створює необхідність розроблення адекватної стратегії розвитку молочного тваринництва, у тому числі прийняття довгострокових рішень щодо генетичного оцінювання і вибору теплостійких порід.

Дослідники застерігають (Abdela & Jilo, 2016), що зростання температур і частоти екстремальних погодних явищ (Carabaño et al., 2016) також сприятливо впливатиме на розмноження, виживання (Ortiz-Colón et al., 2018) та на швидкість розвитку патогенів або паразитів (які мають одну або кілька стадій життєвого циклу поза організмом господаря), їх поширення, підвищуватиме ймовірність виникнення хвороб у сприйнятливих популяцій тварин (Abdela & Jilo, 2016).

Дослідження у США (St-Pierre et al., 2003) свідчать про значні щорічні економічні втрати в молочному скотарстві в розмірі 897 млн дол. У Європейському Союзі збитки можуть досягати 422 евро на голову, з яких 80% пов'язані зі зниженням молочної продуктивності і 20% – з погіршенням здоров'я тварин. У Швейцарії, Чехії та Польщі в літній період дійні корови перебувають у стані ТС від 6 до 10 год на добу, а в Іспанії, Італії та на півдні Франції – від 13 до 18 год, втрачаючи від 3,0 до 5,5 кг молока (Piron & Malinin, 2015). У Східній Європі тривалість стресового періоду може становити 30–60 днів, що викликає зниження продуктивності на 10–35%, а збитки внаслідок зниження народжуваності телят можуть скласти більш як 100 евро на корову в рік (Loratuhin, 2013). Про зниження надоїв і збитки близько 40 евро на корову в період літньої спеки в Центрі України повідомляють вітчизняні дослідники (Vasilenko et al., 2018a,b).

Вважають що ТС, пов'язаний зі ЗК – це вирішальний фактор, який негативно впливає на продуктивних тварин (Rashamol et al., 2018). Тому краще розуміння того, як худоба реагує на погоду, має велике значення для адаптації молочного скотарства та попередження можливих наслідків теплового стресу (Hill & Wall, 2014).

Концепція кліматичної аналогії (Wangui et al., 2018) дозволила передбачити фізіологічні та гематологічні реакції голштинської худоби у сенсі тенденцій зміни клімату до 2050-х

років. Зокрема, зростаючі температури, ймовірно, будуть супроводжуватися помірним тепловим стресом у фризької худоби протягом сухих сезонів (відбуватиметься незначне збільшення фізіологічних і гематологічних відповідей, які, ймовірно, залишатимуться в межах фізіологічної норми).

Дослідження впливу КЗ та адаптація до них тваринництва повинні виходити за рамки певних географічних умов (Escaracha et al., 2018b) і розглядатися у сенсі можливих наслідків. Тільки в цьому випадку вжиті стратегії будуть відповідним чином адаптовані до потреб цього сектора сільського господарства, що дозволить задовольнити постійно зростаючий попит на продукти тваринництва.

Оцінювання функціонального стану організму в умовах гіпертермії: екологічні і біологічні маркери

Серед різних засобів, які допомагають підтримувати гомеостаз, фізіологічна адаптивність розглядається як один із механізмів первинної відповіді, що дозволяє тваринам виживати. Частота дихання і пульсу, ректальна температура, ступінь пітливості та температура шкіри – це ті фізіологічні параметри, які допомагають підтримувати баланс тепла і гомеостаз в умовах гіпертермії (Abdela & Jilo, 2016). Однак за високих температур повітря в умовах вологого клімату дисбаланс між метаболічною теплопродукцією тварин і її розсіюванням у навколишнє середовище викликає ТС (Das et al., 2016).

Тварини реагують на мінливі умови змінами фенотипічних і фізіологічних ознак, від яких залежить їх здатність протидіяти несприятливим умовам та пристосовуватися до них (Sejian et al., 2018). До факторів навколишнього середовища, які спричиняють розвиток ТС, відносять високу температуру та вологість, променисту енергію (Laporta et al., 2017).

Перша реакція тварин на спеку – це збільшення частоти дихання, ректальної температури і частоти серцевих скорочень, що безпосередньо впливає на споживання корму, знижує темпи росту, вихід молока та репродуктивні якості, а в крайніх випадках призводить до смерті (Das et al., 2016). Відтак, стає цілком зрозумілим використання спеціальних індексів, які пов'язують екологічні чинники середовища із клінічним станом тварин та їх продуктивністю в умовах гіпертермії.

Зокрема (Kumar et al., 2018), індекси, що описують стан ТС, можна поділити на “фізіологічні” та “екологічні” (або “прямі індекси”). Перші – це складні індекси, засновані на фізіологічних змінних, які важко обчислити та недоцільно застосовувати для повсякденного використання. Екологічні, у свою чергу, представлені простими індексами, що засновані на вимірах основних змінних навколишнього середовища.

Температурно-вологісний індекс (ТВІ) широко використовують для оцінювання потенційного стану ТС у тварин (Papanastasiou et al., 2018; Wang et al., 2018). Методи його розрахунку доволі різноманітні (Bohmanova et al., 2007), як і ступінь прояву ТС, який він характеризує (Fodor et al., 2018). Застосування ТВІ дозволяє передбачити зміни в поведінці, фізіологічному стані тварин та їх продуктивних ознаках.

Так пошук тіні, збільшення швидкості дихання і розширення кровоносних судин, а також мінімальний вплив на надой буде спостерігатися вже за значення ТВІ на рівні 72 (Samal, 2013). Оцінюючи виробництво молока в популяціях голштинської худоби у Бельгії, Люксембурзі, Словенії та Південній Іспанії, автори (Sarabaño et al., 2016) встановили, що порогові значення ТВІ для зниження виходу молока перебували на рівні 73 одиниць. Для жиру та білка вони були нижчими, ніж для надюю, приблизно на 6 одиниць ТВІ. Оцінювали (Veux et al., 2017) вплив ТВІ на якість молока голштинів у північно-східній частині Італії. Помірні значення ТВІ (< 75) в період доїння корів істотно не впливали на коагуляційну здатність молока, тоді як за високих (ТВІ > 75) значно знижували цей показник. Тенден-

ція (Lambertz et al., 2014) до скорочення надюю, виходу жиру і білка спостерігалася за підвищення ТВІ понад 60, тоді як рівень соматичних клітин зростав за вищих значень (ТВІ > 65).

Поряд із ТВІ в зарубіжній літературі зустрічаються різні термічні індекси, які також можуть бути використані для з'ясування стану ТС у великої рогатої худоби. Вважають (Fiedler et al., 2010), що для оцінювання комфорту тварин необхідно враховувати більше фізіологічних і екологічних параметрів (швидкість руху повітря, фізіологічну еквівалентну температуру та ін.), не обмежуючись лише температурою та вологістю. Зокрема, для визначення рівня ТС у тропічних умовах (Kumar et al., 2018) рекомендують застосовувати TGWB index, який включає температуру сухого і вологого термометрів та інтенсивність сонячного випромінювання.

Середньодобова швидкість вітру, відносна вологість і температура сухого термометра найбільше впливають на ступінь задишки ($R^2 = 0,61$), який візуально оцінювали за тяжкістю в балах (від 0 – без задишки до 4 – сильна задишка). Встановили (Mader et al., 2006), що кореляції між ТВІ і ступенем задишки варіювалися від $r = 0,47$ до $0,87$. Відтак, коригування рівня ТВІ (з урахуванням швидкості вітру та сонячної радіації) мало вищу кореляцію із середнім балом задишки (від $r = 0,64$ до $0,80$), що дозволяє більш точно оцінити дискомфорт тварин.

Запропонований (Wang et al., 2018) еквівалентний температурний індекс для великої рогатої худоби (ЕТІС) враховував температуру повітря, відносну вологість, швидкість повітря та сонячне випромінювання, і дуже добре передбачав зміни фізіологічних реакцій. Коефіцієнт детермінації (R^2) для температури шкіри, тіла та частоти дихання становив відповідно $0,79$, $0,40$ і $0,49$, а тому цей індекс (ЕТІС) може бути корисним інструментом для оцінювання впливу теплового середовища на комфорт тварин.

Підтримання гомеостазу та забезпечення енергією життєво важливих функцій організму тварин під час адаптації до впливу зовнішніх факторів відбувається за рахунок нейрогуморальної регуляції. Тому біологічні маркери, пов'язані з нейрогуморальною регуляцією стресу, можуть бути критерієм створення адаптованих до спеки порід худоби в конкретній агроекологічній зоні (Binsiya et al., 2016).

Нейроендокринна регуляція – один із вирішальних шляхів виживання тварин у стресовому стані (Afsal et al., 2018). Гіпоталамо-гіпофізарно-надниркова система (ГНС) відіграє значну роль в терморегуляторних механізмах у тварин. Кортикотропний релізінг-фактор, адренкортикотропний гормон і глюкокортикоїди – це первинні продукти осі ГНС, які, в кінцевому рахунку, контролюють шлях відповіді на стрес у тварин, регулюючи розподіл енергії для підтримки життєдіяльності в процесі печінкового глюконеогенезу. Встановлено (Afsal et al., 2018), що в період теплової напруги збільшується рівень адреналіну та норадреналіну, які регулюють серцево-судинну частоту під час ТС і забезпечують постачання кров'ю життєво важливих органів. Тиреотропін-вивільнюваний гормон, тиреотропний гормон і гормони щитоподібної залози (T_3 і T_4) – це компоненти метаболічного шляху в регулюванні теплової енергії тіла. Крім того, лептин, який виділяють адипоцити, також вважається відповіддю на стресовий вплив. Альдостерон відіграє ключову роль в електролітному і водному гомеостазі і регуляції Na^+ і K^+ .

Під час ТС у домашньої худоби відбувається складна взаємодія між нейроендокринними регуляторами гомеостазу. Спостерігається зменшення концентрації пролактину (Afsal et al., 2018), а рівень соматотропного гормону підвищується, що негативно впливає на продукування молока. Як правило, кортизол і гормони щитоподібної залози вважаються важливими біологічними маркерами регуляції нейроендокринного шляху адаптивних механізмів під час ТС у домашньої худоби.

Гіпертермія викликає зниження продуктивності й репро-

дуктивної функції в молочній худобі (Samal, 2013). Наслідки її впливу на репродуктивну функцію худоби залежали від величини й тривалості дії термічного стресу, породи, рівня удою та стадії лактації, складу раціону годівлі та споживання сухої речовини, а також фізичної активності тварин. Вважають (Krishnan et al., 2017), що ТС негативно впливає на показники народжуваності та відтворення худоби внаслідок гормонального дисбалансу, зниження якості ооцитів і сперми, а також сповільнення розвитку ембріонів і їх виживання. Це відбувається через зниження секреції лютеїнізуючого гормону та естрадіолу, що зумовлює зменшення довжини й інтенсивності експресії еструсу, збільшення частоти прояву тихої охоти в сільськогосподарських тварин. Ооцити, сприйнятливі до ТС, втрачають свою здатність до запліднення і розвитку на стадії бластоцисти, що спричинює зниження народжуваності і появу ембріонів низької якості. Низька секреція прогестерону обмежує функції ендометрію, а отже, й розвиток ембріона. Водночас, підвищена секреція ендометрієм простагландину F2-альфа під час ТС загрожує перебігу вагітності. У спекотні дні збільшується температура сім'яників, тому внаслідок порушення сперматогенезу та якості сперми знижується плодючість бугаїв-плідників.

Вивчаючи відтворну здатність корів (Hooper et al., 2018) з урахуванням фізіологічних показників (частота дихання та ректальна температура), а також параметрів зовнішнього середовища, виявили тенденцію вищої заплідненості у випадку проведення осіменіння за показника TBI ≤ 72 ($p = 0,06$). Відтак, осіменіння в умовах зони температурного комфорту тварин запобігало подовженню терміну безпліддя в молочних корів. Установлено (Krishnan et al., 2017), що з підвищенням TBI на кожну одиницю вище 70 знижується відсоток запліднення на 4,6 %, а стан ТС протягом вагітності сповільнює ріст плоду і викликає зниження маси шойно народжених телят. Повідомляють (Monteiro et al., 2014), що ТС в останні шість тижнів тільності негативно впливає на здатність формування пасивного імунітету, незалежно від якості молозива. У телят, народжених коровами за впливу теплового стресу протягом сухостійного і молозивного періоду, відбувалося порушення формування пасивного та клітинного імунітету. Встановлено (Laporta et al., 2017), що ТС у пізні терміни гестації мав безпосередній і тривалий вплив на пасивну імунізацію, ріст і активність молочних телят. Телята, народжені в умовах охолодження повітря впродовж молочного періоду, мають більш високі прирости живої маси (на 0,2 кг / добу) і вищу концентрацію IgG у сироватці крові.

Здатність тварин протидіяти екологічним стресам може бути підвищена шляхом управління фолікулогенезом, впливу на гормональний статус, застосування штучного осіменіння. Передовими репродуктивними технологіями можна зарадити кліматичному безпліддю гормональним лікуванням і трансплантацією ембріонів (Chandra et al., 2015; Krishnan et al., 2017).

Підвищений вплив інсоляції спричинює пригнічення клітинного імунітету (Sun et al., 2018). Зокрема (Abdela & Jilo, 2016), спостерігалось зниження кількості Т-хелперів, клітин, що беруть участь в імунній відповіді на внутрішньоклітинне вторгнення патогенів. Вважають (Manimaran et al., 2017), що термостійка експресія генів і підвищені рівні білків теплового шоку (HSP) являють собою остаточну відповідь, завдяки якій клітина виживає за дії ТС. Маючи шаперонову активність, вони забезпечують згортання, розгортання і рефолдинг стрес-денатурованих білків. Установлено, що HSP70, HSP90 і HSP27 – це переважаючі HSP, які відіграють захисну роль під час ТС у сільськогосподарських тварин. Як ідеальний біологічний маркер дія (HSP) являють собою остаточну відповідь, завдяки якій клітина виживає за дії ТС. Маючи шаперонову активність, вони забезпечують згортання, розгортання і рефолдинг стрес-денатурованих білків. Установлено, що HSP70, HSP90 і HSP27 – це переважаючі HSP, які відіграють захисну роль під час ТС у сільськогосподарських тварин. Як ідеальний біологічний маркер дія (HSP) являють собою остаточну відповідь, завдяки якій клітина виживає за дії ТС. Маючи шаперонову активність, вони забезпечують згортання, розгортання і рефолдинг стрес-денатурованих білків.

Біологічні маркери (Sejian et al., 2018), що характеризують зміни експресії генів або структури білка, є відправною точкою для розведення та генетичного поліпшення худоби. Порівняно з поведінковими, морфологічними або фізіологічними відпові-

дями тварин, генетичні маркери дозволяють знаходити рішення щодо адаптації тварин до зміни клімату.

Зазначають, що ТС переважно впливав на енергетичний і нуклеотидний обмін у лактуючих молочних корів (Fan et al., 2018). Показниками таких метаболітів як глюкоза, лактат, піруват, ацетоацетат, β -гідроксибутират, фумарова та лимонна кислоти, холін, гліцин, пролін, ізолеїцин, лейцин, сечовина, креатинін і оротова кислота в плазмі крові та молоці визначені з використанням рідинної хроматографії, можуть слугувати потенційними біомаркерами виявлення ТС та метаболічних порушень печінки в молочних корів.

Вивчали (Bernabucci et al., 2002) вплив жаркого сезону на окиснювальний статус новотільних голштинських корів (з 21-ї до 35-ї доби після отелення). За помірного ТС (TBI = 73,2) і ректальної температури 39,5 °C тварини мали більш високі значення супероксиддисмутази (SOD) в еритроцитах, внутрішньоклітинних меркаптанів (SH) і компонентів тіобарбітурової кислоти (TBARS), що вказує на стан окисного стресу. Таким чином, еритроцити можуть бути суттєвою і чутливою моделлю для вивчення окисного статусу в молочних корів, сприйнятливих до впливу спеки.

Оцінили (Kekana et al., 2018) вплив сильного ТС на метаболіти сироваткового білка і продуктивність новотільних (21-й і 75-й день після отелення) джерсейських корів. Високий рівень TBI (75–87) супроводжувався зменшенням умісту сироваткових білків, альбуміну та азоту сечовини в крові ($P < 0,05$), а також виходу молока, жиру та білка.

У дослідженнях на телятах (Kim et al., 2018), як індикатори ТС використовували протеїни крові, гаптоглобін (HA), білки теплового шоку 70 (HSP70) і кортизол. За високих значень TBI (від 70,01 до 87,72 протягом 7 днів) рівні сироваткового кортизолу і HSP70 зростали ($P < 0,05$). Дійшли висновку, що білки крові (HA, HSP70) можуть чинити протизапальну дію і захищати клітини від ушкодження у разі ТС, а тому вони можуть бути включені до розроблення нових варіантів розрахунку TBI.

Тривала дія спекотної температури викликає зміни у фізіології, запальні процеси і окисний стрес. Бічачий сироватковий альбумін (BSA) – це найбільш поширений білок плазми і, крім регулювання осмотичного тиску і транспортної активності, виконує кілька додаткових функцій, включаючи антиоксидантну та імуномодельовальну. З'ясовано (Baldassarre et al., 2017), що в телят у стані теплової напруги відбувається зменшення BSA з подальшим зростанням упродовж періоду відновлення, а тому цей білок може слугувати новим біомаркером для оцінювання добробуту тварин в умовах мінливого навколишнього середовища.

Установлено (Liu et al., 2017), що в умовах теплової напруги (TBI до 84) зменшується вміст коротко- і середньоланцюгових жирних кислот, а також паралельно зростають довголанцюгові в молоці. Найбільшого впливу зазнавали фосфоліпіди (лізофосфатидилхолін), а тому зниження їх концентрації може слугувати біомаркером ТС у молочній худобі. Водночас (Garcia et al., 2015) у голштинських корів за TBI = 83–90 відбувається зниження надою (на 21%), вмісту лактози та білка, в той же час вміст жиру, так само як і тригліцеридів, не зазнає змін.

Враховуючи кліматичні дані (температуру, вологість, сонячну радіацію та швидкість вітру), продуктивність і фізіологічні показники корів розроблено математичні алгоритми (Dunsha et al., 2013), які дозволяють прогнозувати реакцію тварин на кліматичні зміни та своєчасно впроваджувати управлінські рішення (забезпечувати тінь або додаткове зрошення, стратегії харчування) у випадку, коли вплив спеки неминучий.

Температура поверхні шкіри – важливий показник для оцінювання фізіологічного стану та діагностики хвороб корів (Poikalainen et al., 2012; Sathiyabarathi et al., 2018). Інфрачервона термографія (IRT) являє собою простий, ефективний, неінвазивний метод, який визначає поверхневе тепло, що випромі-

нюються у вигляді інфрачервоного спектра і генерує графічне зображення, не викликаючи радіаційного опромінення. Імовірно, застосування цього методу буде також прийнятне для визначення стану тварин в умовах гіпертермії.

Зокрема (Daltro et al., 2017) застосовували IRT як інструмент для виявлення молочних корів у стані ТС. За фізіологічні критерії брали ректальну температуру, частоту та глибину дихання, частоту серцевих скорочень. Виявлено позитивну кореляцію між фізіологічними параметрами і термографічними вимірами. Вона була найбільшою ($r = 0,74$) між температурою бічної області вимені та ректальною температурою. Таким чином, IRT може бути зручним методом визначення теплового комфорту.

Було висловлене припущення (Ammer et al., 2016), що ректальна температура (RET) може бути більш інформативним відображенням фізіологічного статусу тварин, ніж ректальна (RT) і вагінальна (VT) термометрія. Виміри RT і VT сильно корелювали між собою ($r = 0,75$, $P < 0,001$). Зв'язок між VT і температурою корівника був найвищим ($r = 0,48$, $P < 0,001$). Медіана RET показала найвищу кореляцію з VT і RT. Однак окремі вимірювання RET (за впливу води або сподивання корму) можуть значно відрізнятися, на відміну від значень VT і RT.

Зазначено (Dikmen & Hansen, 2009), що для з'ясування теплостійкості корів в умовах гіпертермії, температура сухого термометра і ТВІ були гарними критеріями передбачення змін ректальної температури в лактуючих голштинів в субтропічному кліматі. Встановлено (Hill & Wall, 2014), що моделі, які включали показники температури (вологого і сухого термометра, трави та ґрунту) або ТВІ, мали найкращі прогнози на вихід молока і жиру, а швидкість вітру та інтенсивність інсоляції були найвагомішими для вмісту білка.

Критерієм для визначення найбільш відповідної моделі ТВІ був регресійний аналіз (Behera et al., 2017; Scanavez et al., 2018), що враховував максимальне зниження компонентів молока (вихід і вміст жиру) на одиницю зростання ТВІ. Зазвичай (Hill & Wall, 2014), триваліші спостереження (середні показники погоди за тиждень) краще пояснювали зміни молочної продуктивності та вмісту жиру, ніж більш короткі (3-денні, тестовий день, контрольний день).

Безумовно, стійкість молочної худоби до мінливих кліматичних умов залежить від породних особливостей та фізіологічного стану. Зазвичай (Das et al., 2016) молочні породи більш чутливі до ТС, ніж м'ясні. Високопродуктивні корови (Wangui et al., 2018) більш чутливі до гіпертермії, оскільки генерують більше метаболічного тепла. Зокрема з точки зору щоденного надою молока та кількості соматичних клітин, симентали були більш стійкою породою до ТС, ніж голштини (Gantner et al., 2017). Аборигенні породи (Rashamol et al., 2018) схильні проявляти меншу фізіологічну мінливість порівняно з інтродукованими (Ortiz-Colón et al., 2018). Вважають (Garner et al., 2017), що виявлення тварин, більш терпимих (толерантних) до умов ТС, буде важливим кроком у напрямку створення більш адаптованих молочних стад в умовах майбутньої зміни клімату. Селекцію на термостійкість можна прискорити за допомогою геномного відбору, використовуючи маркери ДНК, які передбачають стійкість до ТС.

Багатоплідні лактуючі тварини (Macías-Cruz et al., 2018) були менш толерантні до ТС. Зниження виходу молока в корів (Tamami et al., 2018) спостерігали за значень ТВІ > 60 ($P < 0,05$). Найбільш вразливими до зростання ТВІ виявились тварини на початку лактації (до 100-ї доби). Дослідження (Scanavez et al., 2018) на сухостійних голштинських коровах (з 250 до 260 діб тільності) свідчило, що у тварин із двійною температурою тіла була вищою ($P < 0,01$), ніж у корів з одним плодом (39,07 проти 38,84 °C). Сезон народження, кількість лактацій, вдованість, попередній удій за 305 діб лактації, дні лактації перед запуском, тривалість сухостійного періоду, дні тільності після запліднен-

ня і стать теляти не мали зв'язку з температурою тіла, однак у пізній період тільності ТС негативно вплинув на пасивний імунітет, ріст і активність телят молочного періоду. Тому розуміння наслідків теплового стресу для потомства пізнього гестаційного періоду, на переконання авторів (Laporta et al., 2017), має вирішальне значення для розроблення методів управління здоров'ям і добробутом молочних телят, народжених у спекотні періоди року.

Таким чином, температурне середовище – це один із найважливіших екологічних чинників, який безпосередньо впливає на фізіологію і поведінку тварин (Molina Benavides et al., 2018). Незважаючи на специфічну й індивідуальну адаптацію, вони чутливі до сезонних і добових коливань температур поза зоною їх теплового комфорту. Через ТС молочні корови зменшували надої молока, зростав прояв репродуктивних і метаболічних розладів, що спричинювало значні збитки в періоди спеки. Системний підхід щодо вивчення фізіологічних механізмів взаємодії факторів, пов'язаних із ТС у молочній худоби, допоможе прийняти необхідні управлінські рішення.

Установлено, що термотолерантні тварини швидше приходили в охоту, мали більші розміри плодів і, як правило, менший діаметр жовтків тіл порівняно зі сприйнятливими до ТС, які також зберігали нездатність підтримувати відносну сталість температури тіла під час ТС (Graves et al., 2018). Для кращого розуміння зв'язку між кліматичними умовами та репродуктивною фізіологією, оцінювання ефективності різних стратегій живлення в боротьбі з ТС, необхідні подальші дослідження в цьому напрямку (Samal, 2013). Важливим є пошук термостійких порід, які можуть допомогти оптимізувати виробництво тваринницьких продуктів у разі проблем із ТС (Afsal et al., 2018).

Оскільки чутливість тварин до ТС варіює залежно від віку і фізіологічного стану, а також генетичних чинників, це дозволяє застосовувати генетичні методи до вирішення проблем ТС у тваринництві (Binsiya et al., 2016). Такий підхід хоча й довгостроковий, проте він поліпшить адаптацію тварин до надмірного теплового навантаження, тому створення та розведення термотолерантних видів може бути хорошою стратегією в боротьбі з тепловим стресом.

Таким чином, з огляду на глобальні зміни клімату, лише комплексний підхід до майбутніх ризиків (розведення термотолерантних генотипів худоби і вирощування стійких до посухи кормових культур, застосування методів і засобів для зниження ТС) буде найбільш успішним для виробників (Chandra et al., 2015; Ortiz-Colón et al., 2018).

Комфорт тварин і клімат приміщень

Усі тварини мають певний діапазон комфортних температур навколишнього середовища (Samal, 2013). Його називають термонейтральною зоною. Цей температурний діапазон сприяє збереженню здоров'я тварин і їх продуктивності. Верхня і нижня критичні температури – точки, в яких температури починають впливати на стан, поведінку та продуктивність молочних корів (Sejian et al., 2017; Vaculíková et al., 2017; Skibieli et al., 2018).

Межі температурного комфорту для худоби залежать від породи та продуктивності тварин (Gantner et al., 2017). Велика рогата худоба легше переносить більш низькі температури, ніж спеку. Високі температури викликають зміни клінічного стану тварин (Bravo & Wall, 2016), порушення метаболічного гомеостазу (Fan et al., 2018), зниження удою (Lambertz et al., 2014; Das et al., 2016; Fournel et al., 2017; Tao et al., 2018) і зміни компонентів молока (Carabaño et al., 2016; Liu et al., 2017).

Деякі вчені (Buryakov et al., 2016) вважають, що для корів комфортні температури від -13 до $+20-25$ °C, інші (Fiedler et al., 2010) – в межах від 0 °C до 15 °C. Зокрема (FAO, 2011),

для більшості європейських порід (*Bos Taurus*) комфортні температури від +4 до +24 °C, в той час як для порід тропічних регіонів (*Bos indicus*) – від +15 до +27 °C. Продуктивність цих видів худоби знижується, коли температури зовнішнього середовища перевищують відповідно +25 °C (*Bos Taurus*) та +35 °C (*Bos indicus*).

Сучасні технології передбачають постійне перебування молочних корів у приміщенні. Тому добробут тварин значною мірою залежить від їх внутрішнього середовища (Fiedler et al., 2010). Все більше популярним, особливо в холодних регіонах світу, стає утримання молочних корів і телиць у неізолюваних корівниках. Утримання худоби в таких приміщеннях (Andreson, 1997) можливе і навіть корисне, коли зовнішні температури можуть знижуватися до –34 °C. Зокрема (Kaasik & Maasikmets, 2013), близько 150 естонських великих молочних ферм (на 300 молочних корів і більше) були побудовані або реконструйовані як неізолювані (напівізолювані) будівлі. Естонія розташована в зоні помірного клімату, для якої мінливість абсолютних температур становить від –42,6 до +34,0 °C з високою середньорічною відносною вологістю повітря (близько 80–83%).

Для забезпечення оптимальних умов життєдіяльності високопродуктивних молочних корів (10 000 кг молока за лактацію) температура повітря в корівнику в холодну пору року не повинна опускатися нижче +10 °C, а відносна вологість – перевищувати 80 % (Von Bobrutzki et al., 2012). Підтримання таких умов цілком можливе в корівнику на 200 голів (довжина 90 м, ширина 41 м і висота 6 м) шляхом контролю швидкості повітряного потоку в діапазоні зовнішньої температури від –6 до +5 °C (Von Bobrutzki et al., 2012).

Відповідно до фінських рекомендацій (MMM, 2002) оптимальною температурою (комфортною зоною) для молочних корів вважається від +5 до +15 °C. Нижня і верхня критичні температури відповідно складають від –15 до –25 °C та від +23 до +27 °C. Тривала висока температура за межами зони теплової байдужості в молочних корів спричинює зниження продуктивності, низька температура – збільшує потребу в кормах. Стосовно відносної вологості повітря (CIGR, 1984), її максимальні і мінімальні значення залежать від температури в приміщенні. Наприклад, відносна вологість 50–90% прийнятна за 0 °C і допустима лише 40–60% за +30 °C.

Стан повітряного середовища в неізолюваних корівниках залежить від кліматичних умов (Kaasik & Maasikmets, 2013). Завдяки добрій вентиляції концентрація газів і твердих частинок були низькими (навіть у холодну пору при закритих вентиляційних отворах і шторах). Низькі температури і висока відносна вологість для тварин прийнятні, однак вони іноді можуть бути проблемою для обслуги в холодну пору року.

Клімат у сучасних корівниках каркасного типу з металоконструкції значною мірою залежить від стану навколишнього середовища, і в цілому відповідає гігієнічним вимогам до утримання високопродуктивних корів, однак лише в межах його допустимих коливань (Molodkovets & Zakharenko, 2016).

Забезпечення комфорту тварин в неізолюваному корівнику залишається проблемою, оскільки клімат у приміщенні мало відрізняється від зовнішнього середовища (Lambertz et al., 2014; Vysokos et al., 2015; Zakharenko et al., 2018). Хоча утримання худоби в неізолюваному корівнику й має перевагу перед пасовищним у період спеки (стосовно можливості застосування вентиляторів великого діаметра і зрошення), різниця температур усередині корівника і зовні в теплий період року не перевищує 5 °C (Molodkovets & Zakharenko, 2016; Voloshchuk & Khotsenko, 2017; Zakharenko et al., 2018). За таких умов дія на корів високих зовнішніх температур буде відчутною.

“Холодними” або “неізолюваними” зазвичай називають корівники з природною вентиляцією, огорожувальні конструкції яких, виконані з мінімальною теплоізоляцією або зовсім без неї. Правильно побудоване приміщення повинне діяти влітку

як навіс, що захищає тварин від дощу і сонця, що безпосередньо може впливати на умови утримання, а для попередження втрат молока в спеку, необхідно впроваджувати ефективні способи розсіювання тепла та стабілізації температури (Lopatuhin, 2013).

Забезпечення оптимальних температур і вологості повітря в межах комфорту тварин, як правило, досягається ефективною роботою вентиляції. Проте через великі теплові хвилі влітку навіть за умов перевищення допустимої швидкості руху не можна компенсувати значну теплопродукцію у високопродуктивних тварин, що може спричинити ТС (Fiedler et al., 2010). Багато дослідників (Bohmanova et al., 2007; Lambertz et al., 2014; Tamami et al., 2018), розраховуючи ТВІ, використовували метеорологічні дані (температуру та відносну вологість повітря), отримані на станціях, розташованих поблизу ферм. Це дуже зручний і доступний спосіб. Однак навіть у неізолюваному корівнику різниця в значеннях ТВІ всередині та зовні приміщення може бути істотною, як і в різних його місцях. Зокрема, в центральній частині ТВІ був вищим на 2,33, ніж у торцевих ділянках (Schüller & Neuwieser, 2016).

Мінімізація ефектів ТС у період спеки шляхом охолодження навколишнього середовища може поліпшити споживання корму, що сприятиме підтриманню рівня виробництва молока (Gantner et al., 2011). Такі стратегії управління, як тінь і зрошення, досить ефективні, але дорогі та залежно від важкості кліматичних умов, можуть мати обмежений успіх.

За критичних надвисоких температур повітря в сучасних приміщеннях каркасного типу у тварин зростала частота дихання, потовиділення та потреба у воді, підвищувався час лежання і знижувалось споживання корму. Вчені (Voloshchuk & Khotsenko, 2017) вважають, що без додаткового механічного збудження неможливо підвищити охолоджувальну здатність повітря лише за рахунок збільшення його швидкості. Навіть за умов відчинених бокових штор і постійної роботи вентиляторів швидкість руху повітря в приміщенні була недостатньою (0,74–0,78 м/с). У разі прогрівання повітря в приміщенні від +22,3 до +35,8 °C температура лігва в боксі для відпочинку корів коливалась протягом дня від +28,4 до +33,8 °C.

Експерименти в кліматичній камері (Papanastasiou et al., 2016) показують, що нормалізація клініко-фізіологічних показників тварин (частота дихання, пульс, температура шкірного покриву) безпосередньо залежала від частоти обертання вентилятора і часу впливу повітряного потоку, – чим вони вищі, тим швидше клінічні показники поверталися в межі фізіологічної норми. Дослідники зазначають, що комфортні умови в зонах відпочинку та годівлі тварин були досягнуті, якщо вентилятори розташовували на висоті 2,5–3,0 метри від підлоги під кутом 12–17° і відстані між ними 14 м.

Однак думки дослідників стосовно цього питання різні. Одні з авторів (Voloshchuk & Khotsenko, 2017) як позитивний вплив на поведінку дійних корів у спеку рекомендують збільшити швидкість руху повітря вентиляторами до 3–4 м/с, тоді як у рекомендаціях інших (Ivanov et al., 2016) його рухливість не повинна перевищувати 1,5–2,0 м/с. Цього цілком достатньо для зниження температури шкірного покриву на 5 °C шляхом збільшення тепловіддачі за рахунок конвекції та випаровування.

В умовах спекотної погоди (Papanastasiou et al., 2018) природна вентиляція сама по собі не є ефективним методом зниження температури всередині приміщення. Тому для поліпшення клімату та створення теплового комфорту для тварин, крім природної вентиляції, повинні застосовуватися додаткові заходи захисту (наприклад, поєднання активного вентиляювання з системою дрібнокрапельного зрошення).

У результатах, опублікованих у 1988 році (Wolfenson et al., 1988) показано, що поєднання зволоження і примусової вентиляції дозволяє запобігти зростанню ректальної температури на 0,3 °C, підвищивши удій корів на 3,6 кг на добу. Однак в

умовах малої рухливості повітря надмірна вологість у разі застосування спринклерів може бути причиною перегріву тварин внаслідок погіршення тепловіддачі. Запропоноване нами технічне рішення (Puhach et al., 2016) дозволяє регулювати температурний режим і підтримувати відносну вологість повітря у тваринницьких приміщеннях за допомогою створення мікрокрапельного водяного туману (розміром до 30 мікрон) у зоні перебування тварин. Завдяки випаровуванню води тваринницьке приміщення охолоджується на 4–10 °С. Перевага цієї системи полягає в автоматичній підтримці мікроклімату (вологість / температура), усуненні пилу і хвороботворних бактерій, нейтралізації неприємних запахів і знешкодженні летючих сполук (аміак, метан, вуглекислота та ін.), а також у забезпеченні сухої підстилки.

Здалося б природною альтернативою цілодобовому утриманню високопродуктивних корів у приміщенні може бути використання пасовищ високої якості протягом кількох годин вранці та ввечері (Kismul et al., 2018), що знизить додаткові витрати на силос, сприятиме природній поведінці та заохочуватиме корів проводити більше часу на повітрі, при цьому збереже виробництво молока на рівні повноцінної годівлі в корівнику. Однак тварини (Carabaño et al., 2016), які перебували в більш помірних кліматичних умовах на пасовищі, проявляли ознаки ТС в умовах нижчих теплових навантажень, ніж тварини, що утримуються в теплішому кліматі в приміщеннях із системою зрошення.

Висновки

Глобальні кліматичні зміни в молочному тваринництві пов'язують із проявом теплового стресу у худоби в періоди літньої спеки. Високі температури та вологість повітря, його рухливість і сонячна радіація безпосередньо впливають на добробут тварин. Моніторинг повітряного середовища за допомогою температурно-вологісного індексу – найбільш простий і перспективний метод оцінювання впливу довкілля на фізіологічний стан корів, продуктивність та якість молока. Зв'язок температурно-вологісного індексу з клінічними показниками і біологічними маркерами підтверджує доцільність його застосування для оцінювання комфорту та функціонального стану організму молочних корів в умовах гіпертермії.

Подяки

Автори вдячні редакційній колегії журналу *Theoretical and Applied Veterinary Medicine* за можливість розміщення статті в цьому науковому фаховому виданні, а також команді соціальної мережі Research Gate та усім колегам науковцям, які розмістили свої праці у вільному доступі цієї мережі.

References

Abdela, N., & Jilo, K. (2016). Impact of climate change on livestock health: A review. *Global Veterinaria*, 16 (5), 419–424.
Afsal, A., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., & Bhatta, R. (2018). Heat stress and livestock adaptation: neuro-endocrine regulation. *International Journal of Veterinary and Animal Medicine*, 1(2), 1–8.
Ammer, S., Lambert, C., & Gauly, M. (2016). Comparison of different measuring methods for body temperature in lactating cows under different climatic conditions. *Journal of Dairy Research*, 83(02), 165–172.
Anderson, N.G. (1997). Cold housing and open housing – effects on health, management and production dairy cattle. *Proceedings of the 9th International Congress in Animal Hygiene*, 17–21 August 1997, Helsinki, Finland, 481–487.
Baldassarre, M., Naldi, M., Domenicali, M., Volo, S., Pietra, M.,

Dondi, F., Caraceni, P., & Peli, A. (2017). Simple and rapid LC–MS method for the determination of circulating albumin microheterogeneity in veal calves exposed to heat stress. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 144, 263–268.
Behera, R., Chakravarty, A. K., Sahu, A., Kashyap, N., Rai, S., & Mandal, A. (2017). Identification of best temperature humidity index model for assessing impact of heat stress on milk constituent traits in Murrah buffaloes under subtropical climatic conditions of Northern India. *Indian Journal of Animal Research*, (of).
Bernabucci, U., Ronchi, B., Lacetera, N., & Nardone, A. (2002). Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2173–2179.
Beux, S., Cassandro, M., Nogueira, A., & Waszczynski, N. (2017). Effect of THI on milk coagulation properties of Holstein-Friesian dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(5), 429–432.
Binsiya T. K., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Hyder I., Manimaran A., Lees A. M., Gaughan J. B. & Bhatta R. (2016). Significance of hypothalamic-pituitary-adrenal axis to adapt to climate change in livestock. *International Research Journal of Agricultural and Food Sciences*, 2 (1), 1–20.
Bohmanova, J., Misztal, I., & Cole, J. B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1947–1956.
Bravo, D. M., & Wall, E. H. (2016). The rumen and beyond: Nutritional physiology of the modern dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4939–4940.
Buryakov N. P., Buryakova M. A., & Aleshin D. E. (2016). Teplovoy stress i osobennosti kormleniya molochnogo skota [Heat stress and heat stress and feeding features of the dairy cattle]. *Rossiyskiy Veterinarniy Jurnal*, 3, 5–13 (in Russian).
Carabaño, M. J., Logar, B., Bormann, J., Minet, J., Vanrobays, M.-L., Díaz, C., Tychon, B., Gengler, N., & Hammami, H. (2016). Modeling heat stress under different environmental conditions. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3798–3814.
Chandra, V., Sejian, V., & Sharma, G. T. (2015). Strategies to improve livestock reproduction under the changing climate scenario. *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*, 425–439.
CIGR (International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering) (1984) *Climatization of Animal Houses*. Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Aberdeen, Scotland, no 94.1.
Daltro, D. S., Fischer, V., Alfonzo, E. P. M., Dalcin, V. C., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Silva, M. V. G. B. & McManus, C. (2017). Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(5), 374–383.
Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati, & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, 9(3), 260–268.
Dikmen, S., & Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109–116.
Dunsha, F. R., Leury, B. J., Fahri, F., DiGiacomo, K., Hung, A., Chauhan, S., Clarke, I. J., Collier R. J., Little, S., Baumgard, L., & Gaughan, J. B. (2013). Amelioration of thermal stress impacts in dairy cows. *Animal Production Science*, 53(9), 965–975.
Escarcha, J. F., Lassa, J. A., Palacpac, E. P., & Zander, K. K. (2018b). Understanding climate change impacts on water buffalo production through farmers' perceptions. *Climate Risk Management*, 20, 50–63.
Escarcha, J., Lassa, J., & Zander, K. (2018a). Livestock under

- climate change: a systematic review of impacts and adaptation. *Climate*, 6(3), 54.
- Fan, C., Su, D., Tian, H., Li, X., Li, Y., Ran, L., Hu, R. & Cheng, J. (2018). Liver metabolic perturbations of heat-stressed lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(8), 1244–1251.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2011). *Rural structures in the tropics. Design and development*, Rome, pp. 225–298.
- Fiedler, M., Hoffmann, G., von Bobrutzki, K., Matzarakis, A. (2010). Biometeorological investigations in dairy cowsheds. In: Matzarakis, A., Mayer, F., & Chmielewski, M. (Eds.) *Proceedings of the 7th Conference in Biometeorology. BIOMET 12–14 April 2010, Freiburg, Germany*.
- Fodor, N., Foskolos, A., Topp, C. F. E., Moorby, J. M., Pásztor, L., & Foyer, C. H. (2018). Spatially explicit estimation of heat stress-related impacts of climate change on the milk production of dairy cows in the United Kingdom. *PLOS ONE*, 13(5), e0197076.
- Gantner, V., Bobic, T., Gantner, R., Gregic, M., Kuterovac, K., Novakovic, J., & Potocnik, K. (2017). Differences in response to heat stress due to production level and breed of dairy cows. *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1675–1685.
- Gantner, V., Mijić, P., Kuterovac, K., Solić, D., & Gantner, R. (2011). Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Daily production of dairy cattle. Mljekarstvo*, 61 (1), 56–63.
- Garcia, A. B., Angeli, N., Machado, L., de Cardoso, F. C., & Gonzalez, F. (2015). Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 47(5), 889–894.
- Graves, K. L., Seibert, J. T., Keating, A. F., Baumgard, L. H., & Ross, J. W. (2018). Characterizing the acute heat stress response in gilts: II. Assessing repeatability and association with fertility. *Journal of Animal Science*, 96(6), 2419–2426.
- Hill, D. L., & Wall, E. (2014). Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal*, 9(01), 138–149.
- Hooper, H. B., Salomão, D. D. O. S., Ayres, G. F., Titto, C. G., Santos, R. M. dos, & Nascimento, M. R. B. de M. (2018). Conforto térmico de vacas leiteiras mestiças durante a inseminação e a relação com a taxa de concepção. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 16, 1.
- Ivanov, Ju. G., Zaginajlov, V. I., & Ponizovkin, D. A. (2016). Avtomatizirovannaja sistema upravlenija jelektroprivodom mestnoj ventiljacii korovnika s upravljaemym vektorom potoka vozduha [Automated control system of cow farm electric local ventilation with vectoring air flow]. *Vestnik Vserossiyskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Elektrifikatsii Selskogo Hozyajstva*, 4(25), 34–40 (in Russian)
- Kaasik, A., & Maasikmets, M. (2013). Concentrations of airborne particulate matter, ammonia and carbon dioxide in large scale uninsulated loose housing cowsheds in Estonia. *Biosystems Engineering*, 114(3), 223–231.
- Kekana, T. W., Nherera-Chokuda, F. V., Muya, M. C., Manyama, K. M., & Lehloeny, K. C. (2018). Milk production and blood metabolites of dairy cattle as influenced by thermal-humidity index. *Tropical Animal Health and Production*, 50(4), 921–924.
- Kim, W. S., Lee, J.-S., Jeon, S. W., Peng, D. Q., Kim, Y. S., Bae, M. H., Jo, Y. H., & Lee, H. G. (2018). Correlation between blood, physiological and behavioral parameters in beef calves under heat stress. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(6), 919–925.
- Kismul, H., Spörndly, E., Höglind, M., Næss, G., & Eriksson, T. (2018). Morning and evening pasture access – comparing the effect of production pasture and exercise pasture on milk production and cow behaviour in an automatic milking system. *Livestock Science*, 217, 44–54.
- Krishnan, G., Bagath, M., Pragna, P., Vidya, M. K., Aleena, J., Archana, P. R., Sejian, V., & Bhatta, R. (2017). Mitigation of the heat stress impact in livestock reproduction. *Theriogenology*.
- Kumar, P., Upadyay, R. C., Kumar, R., Chaudhary, P. K., Maurya, P. K., Kumar, R., Yadav, V., & Kumar, M. (2018). Evaluation and comparison of heat stress indices for cattle and buffaloes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 292–298.
- Lambertz, C., Sanker, C., & Gauly, M. (2014). Climatic effects on milk production traits and somatic cell score in lactating Holstein-Friesian cows in different housing systems. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 319–329.
- Laporta, J., Fabris, T. F., Skibieli, A. L., Powell, J. L., Hayen, M. J., Horvath, K., Miller-Cushon, E.K., & Dahl, G. E. (2017). In utero exposure to heat stress during late gestation has prolonged effects on the activity patterns and growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100(4), 2976–2984.
- Liu, Z., Ezernieks, V., Wang, J., Arachchillage, N. W., Garner, J. B., Wales, W. J., Cocks, B. G., & Rochfort, S. (2017). Heat stress in dairy cattle alters lipid composition of milk. *Scientific Reports*, 7(1).
- Lopatuhin, A. (2013). Izraillskiy opyt i ekonomicheskaya effektivnost vnedreniya ohladitelnykh sistem v molochnom jivotnovodstve [Israeli experience and cost-effectiveness of the introduction of cooling systems in dairy farming]. *Molochnoe i Myasnoe Skotovodstvo*, 3, 30–31 (in Russian)
- 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(12), 2151–2160.
- Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712–719.
- Manimaran, A., Beena, V., Kurien, E.K., Sejian, V., & Bhatta, R. (2017). Role of heat shock proteins in livestock adaptation to heat stress. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 5(1).
- MMM (Finnish Ministry of Agriculture and Forestry) (2002) Heating and ventilation of agricultural production houses. MMM-RMO C2.2.
- Molina Benavides, R. A., Sánchez-Guerrero, H., & Stanislaw Atzori, A. (2018). A conceptual model to describe heat stress in dairy cows from actual to questionable loops. *Acta Agronómica*, 67(1), 59–64.
- Molodkovets, O., & Zakharenko, M. (2016). Microclimate livestock buildings and premises for loose-boxed maintenance, forced and voluntary milking cows. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 18, 4(72), 41–46.
- Monteiro, A. P. A., Tao, S., Thompson, I. M., & Dahl, G. E. (2014). Effect of heat stress during late gestation on immune function and growth performance of calves: Isolation of altered colostral and calf factors. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6426–6439.
- Ortiz-Colón, G., Fain, S. J., Parés, I. K., Curbelo-Rodríguez, J., Jiménez-Cabán, E., Pagán-Morales, M., & Gould, W. A. (2018). Assessing climate vulnerabilities and adaptive strategies for resilient beef and dairy operations in the tropics. *Climatic Change*, 146(1-2), 47–58.
- Papanastasiou, D. K., Panagakis, P., Anestis, V., Bartzanas, T., Skoufos, I., Tzora, A., & Kittas, C. (2018). Environmental conditions, potential heat-stress state and their relations in a sheep barn under hot climate. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Special issue: 1–13.
- Piron, O., & Malinin, I. (2015). Nuzhno li predotvrashhat' teplovoj stress u dojnykh korov? [Is it necessary to prevent heat stress in dairy cows?]. *Jefferktivnoe Zhivotnovodstvo*, 3–4(113), 18–20 (in Russian)

- Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I., & Kokkin E. (2012). Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agronomy Research Biosystem Engineering*, 1, 187–194.
- Puhach, A. M., Vysokos, M. P., Mylostyvyi, R. V., Tiupina, N. V., & Kalinichenko, A. O. (2016). Pristrij dlja zvolozhennja ta oholodzhennja povitlja v tvarinnic'komu primishhenni [Device for humidifying and cooling air in animal housing]. Ukraine Patent No. 108437 (in Ukrainian)
- Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R. & Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6, 62–71.
- Samal, L. (2013). Heat stress in dairy cows – reproductive problems and control measures. *International Journal of Livestock Research*, 3(3), 14–23.
- Sathiyabarathi, M., Jeyakumar, S., Manimaran, A., Jayaprakash, G., Pushpadass, H. A., Sivaram, M., Ramesha, K.P, Das, D.N., Katakaltware, M.A, Prakash, M.A., & Kumar, R. D. (2016). Infrared thermography: A potential noninvasive tool to monitor udder health status in dairy cows. *Veterinary World*, 9(10), 1075–1081.
- Scanavez, A. L. A., Fragomeni, B., & Mendonça, L. G. D. (2018). Animal factors associated with core body temperature of nonlactating dairy cows during summer. *Journal of Animal Science*.
- Schüller, L. K., & Heuwieser, W. (2016). Measurement of heat stress conditions at cow level and comparison to climate conditions at stationary locations inside a dairy barn. *Journal of Dairy Research*, 83(03), 305–311.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 1–14.
- Sejian, V., Pragna, P., Archana, P. R., Aleena, J., Krishnan, G., Bagath, M., Manimaran, A., Beena, V., Kurien, E.K., Varma, G., & Bhatta, R. (2017). Heat stress and dairy cow: impact on both milk yield and composition. *International Journal of Dairy Science*, 12(1), 1–11.
- Skibieli, A. L., Zachut, M., do Amaral, B. C., Levin, Y., & Dahl, G. E. (2018). Liver proteomic analysis of postpartum Holstein cows exposed to heat stress or cooling conditions during the dry period. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 705–716.
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by us livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86, 52–77.
- Sun, Y., Liu, J., Ye, G., Gan, F., Hamid, M., Liao, S., & Huang, K. (2018). Protective effects of zymosan on heat stress-induced immunosuppression and apoptosis in dairy cows and peripheral blood mononuclear cells. *Cell Stress and Chaperones*, 23(5), 1069–1078.
- Tamami, F. Z., Hafezian, H., Mianji, G.R., Abdollahpour, R., & Gholizadeh, M. (2018). Effect of the temperature-humidity index and lactation stage on milk production traits and somatic cell score of dairy cows in Iran. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 40 (2), 379–383.
- Vaculiková, M., Komzáková, I., & Chládek, G. (2017). The effect of low air temperature on behaviour and milk production in Holstein dairy cows. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(5), 1623–1627.
- Vasilenko, T., Milostiviy, R., & Kalinichenko, O. (2018a). Influence of high temperature on dairy productivity of Ukrainian Schwyz. *Relevant Issues of Development and Modernization of the Modern Science: The Experience of Countries of Eastern Europe and Prospects of Ukraine*.
- Vasilenko, T. O., Milostiviy, R. V., Kalinichenko, O. O., Gutsulyak, G. S., & Sazykina, E. M. (2018b). Influence of high temperature on dairy productivity of Ukrainian Schwyz. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(83), 97–101.
- Voloshchuk, V. M., & Khotsenko, A. V. (2017). Dynamika temperatury povitria ta vnutrishnikh elementiv konstruktсии korivnyka karkasnoho typu za dii faktoriv zovnishnoho sere dovshcha [Dynamics of air temperature and internal structural elements of the barn frame type on effects of environmental factors]. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu*, 5(2), 37–41 (in Ukrainian)
- Von Bobrutzki, K., Berg, W., Mellmann, J., & Brunsch, R. (2012). Concept of a low-energy dairy barn with forced ventilation. *Proceedings of CIGR International Conference of Agricultural Engineering*, July 8–12, Valencia, Spain.
- Vysokos, M. P., Mylostyvyi R. V., Tyupina N. P., & Kalinichenko, A. O. (2015). Zoogigijenichna ocinka umov utrymannja molochnogo gurtu golshtyns'koi' hudo by za parametry mikroklimatu monobloku korivnyka v regioni Prydnipro v'ja [Hygienic assessing conditions of Holstein dairy cattle in microclimate parameters monoblock cowshed in the region Pridneprov'ja]. *Science and Technology Bulletin of SRC for Biosafety and Environmental Control of Agro-Industrial Complex*, 3(4), 74–78 (in Ukrainian)
- Wang, X., Gao, H., Gebremedhin, K. G., Bjerg, B. S., Van Os, J., Tucker, C. B., & Zhang, G. (2018). A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). *Journal of Thermal Biology*, 76, 165–170.
- Wangui, J. C., Bebe, B. O., Ondiek, J. O., & Oseni, S. O. (2018). Application of the climate analogue concept in assessing the probable physiological and haematological responses of Friesian cattle to changing and variable climate in the Kenyan Highlands. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 572.
- Wolfenson, D., Flamenbaum, I., & Berman, A. (1988). Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 71(3), 809–818.
- Zakharenko, M., Voloshchuk, V., & Khotsenko, A. (2018). Produktyvnist koriv zarubizhnoi selektsii za bezpryviaznoboksovoho utrymannja ta dii vysokoi temperatury povitria [The productivity of cows of foreign breeding is impaired-boxing and exposure to high air temperature]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 271, 225–234 (in Ukrainian).