



<https://doi.org/10.15407/cryo35.03.130>

УДК 637.12.04:519.23

**І.В. Корх¹, Н.П. Русько¹, А.П. Палій^{2*}, Н.В. Бойко¹, О.Є. Адмін¹, О.В. Павліченко³,
А.І. Кудряшов³, Ю.В. Карбан⁴, Н.В. Палій⁵**

¹ Інститут тваринництва НААН, м. Харків, Україна

² Національний науковий центр «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини», м. Харків, Україна

³ Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

⁴ Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

⁵ Інститут ветеринарної медицини НААН, м. Київ, Україна

*paliy.dok@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ МОЛОКА КОРІВ ТА ВЕЛИЧИНАМИ ТОЧКИ ЙОГО ЗАМЕРЗАННЯ

У дослідженні розкрито сезонні особливості формування найвагоміших чинників, що впливають на величину точки замерзання молока корів. Результати проведеного в роботі узагальнення про залежність величини точки замерзання молока від вмісту основних його компонентів, які визначають його харчову цінність, можуть стати суттєвим підґрунтям для розроблення організаційних механізмів регулювання виробництва молока та реалізації єдиної політики у сфері його якості на всіх рівнях господарювання шляхом математичного моделювання. Обраний підхід дає змогу ранжувати базові показники якості молока, що насамперед забезпечує виділення найважливіших серед них. Установлено, що чим більше в молоці міститься масових часток сухої речовини та лактози, тим нижча точка його замерзання. Обґрунтовано, що величина точки замерзання молока впродовж року коливається. Проведено оцінку ступеня фальсифікації молока водою в контексті забезпечення його високої якості та безпечності.

Ключові слова: компоненти молока, точка замерзання молока, сезон року.

Забезпечення задоволення потреб пересічних споживачів у доброякісній та безпечній молочній продукції останнім часом детерміновано всебічним контролем харчових ризиків на всіх стадіях її виробництва — від сировини до готового продукту. Новими європейськими нормативними документами з безпеки харчової продукції передбачено незалежну й об'єктивну наукову оцінку таких ризиків для гарантування конкурентоспроможності виробництва молока високої якості як на національному, так і на європейському ринках продукції тваринництва [16, 20].

Зазвичай харчову цінність молока та його натуральність передусім визначають за сукупністю фізико-хімічних і біологічних показників, кількісні значення та діапазон змін яких зумовлені природними властивостями цього продукту. Точку замерзання молока вважають одним із ключових маркерів оцінки його якості та безпечності, оскільки вона свідчить про ступінь натуральності продукту. Згідно з вимогами ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» величина точки замерзання молока має бути не вищою за $-0,520$ °C для ґатунків екстра, вищого і першого [6]. Про-

Цитування: Корх ІВ, Русько НП, Палій АП, Бойко НВ, Адмін ОЄ, Павліченко ОВ, Кудряшов АІ, Карбан ЮВ, Палій НВ. Особливості зв'язку між хімічним складом молока корів та величинами точки його замерзання. *Проблеми кріобіології і кріомедицини*. 2025; 35(3): 135–43. <https://doi.org/10.15407/cryo35.03.130>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

те не менш важливо й те, що цей показник використовують для визначення ймовірно доданої води, яка може міститися в ньому не лише за фізичного внесення, але й через технічні несправності доїльного обладнання [8, 13, 17].

Ця величина досить постійна, але вона може зумовлюватися цілою низкою різних чинників, які суттєво впливають на якість та безпечність молока. Серед них варто виокремити породні особливості [9, 11], характер годівлі [14], умови водопостачання [1], сезонні зміни [1, 4, 10, 18], стадію лактації і вік корів [3—5, 9, 11, 12, 14], розмір стада [4, 12], час доїння [17], мінливість окремих компонентів у молоці [3, 4, 11, 14, 18] та параметри термічної обробки [15, 21]. З іншого боку, за повідомленнями [2], майже 54 % дисперсії змін величин точки замерзання молока можуть бути спричинені збільшенням у ньому масової частки лактози. Питання впливу інших чинників на формування оптимальних значень точки замерзання молока та встановлення взаємозв'язків між ними у науковій літературі залишаються дискусійними. Водночас значний внесок зарубіжних вчених у дослідження проблеми оцінки якості та безпечності молока корів за показником точки його замерзання є беззаперечним. Проте питання остаточного вирішення цієї проблеми залишається відкритим, а аналогічних досліджень щодо українських порід великої рогатої худоби молочного напрямку продуктивності наразі недостатньо.

Мета роботи — встановлення зв'язків між вмістом основних компонентів у молоці корів і величинами точки його замерзання з виокремленням тих із них, що зумовлюють сезонні коливання показників якості та безпечності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження виконували у виробничих умовах лабораторії оцінки якості кормів та продуктів тваринного походження, що є складовою Випробувального центру Інституту тваринництва Національної академії аграрних наук України (ІТ НААН), атестованого на технічну компетентність Національним агентством з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (атестат акредитації № 2Т621) та ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (атестат акредитації № 20621) як базової організації метрологічної служби Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Об'єктом дослідження слугували зразки молока, відібрані під час доїння від корів української чорно-рябої молочної породи базового господарства ІТ НААН.

Під час відбирання зразків молока дотримувалися вимог ДСТУ ISO 707:2002 «Молоко та молочні продукти. Настанови з відбирання проб» [7]. Процедура кількісного оцінювання хімічного складу молока проводили шляхом визначення масових часток жиру, загального білка (total protein), «істинного» білка (true protein), лактози, сухої речовини та сухого знежиреного залишку (СЗЗМ) методом інфрачервоної спектроскопії на аналізаторі молока «Bentley 150» (Bentley Instruments, Inc., США).

Різниця між показниками загального та «істинного» білка пов'язана з особливостями розрахунку цих показників. Загальний білок відображає сумарну кількість нітрогеновмісних речовин у молоці. Його обчислюють як кількість нітрогену, помножену на коефіцієнт 6,38, що відповідає частці нітрогену в білках молока. При цьому до цього показника належать не лише всі білки молока (казеїн, сироваткові білки), а й небілкові нітрогеновмісні сполуки (NPN): сечовина, аміак, креатин, нуклеотиди тощо.

«Істинний» білок є більш точним показником харчової цінності молока, оскільки враховує лише білкові молекули (казеїн, β -лактоглобулін, α -лактальбумін тощо), а NPN-компоненти (сечовина, аміак тощо) до його складу не включаються.

Масову частку СЗЗМ визначали шляхом віднімання масової частки жиру від загальної масової частки сухої речовини. Під терміном «суха речовина молока» розуміли загальну масу молока, за винятком води, що складається з білків, жирів, молочного цукру (лактози), мінеральних речовин, вітамінів та інших органічних сполук. Усі показники оцінювали у відсотках.

Під час досліджень особливу увагу звертали на вміст соматичних клітин у молоці, який визначали методом флуоресцентно-оптичної лазерно-проточної цитометрії на аналізаторі «Somacount 150» (Bentley Instruments, Inc., США) згідно з ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» [6].

Для аналізу взаємозв'язків між вмістом основних компонентів у молоці та величинами

точки його замерзання визначали коефіцієнти парної кореляції Пірсона. Силу впливу вмісту основних компонентів молока на кількісні значення точки його замерзання оцінювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу з використанням рівняння другого ступеня.

У межах проведеного аналізу залежностей між вмістом основних компонентів молока та величинами точки його замерзання загальну вибірку досліджуваних зразків розподілили на три градації за критерієм нормованого відхилення: $-0,580\text{ }^\circ\text{C}$; у межах $-0,580\text{ }^\circ\text{C}$ — $-0,556\text{ }^\circ\text{C}$; $-0,556\text{ }^\circ\text{C}$.

Статистичний аналіз одержаних даних проводили за допомогою програмного забезпечення «SPSS Statistics 20» (IBM, США). Цифровий матеріал після створення комп'ютерної бази даних опрацьовували методами варіаційної статистики з обчисленням середніх арифметичних величин, середньої квадратичної похибки та ступеня значущості. Значущість одержаних результатів оцінювали на рівні не менше 95 % (<math>p < 0,05</math>) для всіх показників.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У рамках проведених лабораторних досліджень констатовано суттєві міжсезонні розбіжності за показниками хімічного складу молока корів (табл. 1).

Зокрема, найвищі значущі сезонні відмінності за якістю молока були одержані за вміс-

том масових часток жиру восени щодо весни і зими (<math>p < 0,001</math>); за масовою часткою «істинного» білка взимку проти решти сезонів року (<math>p < 0,001</math>); за масовою часткою лактози навесні та влітку проти зими й осені (<math>p < 0,001</math> в обох випадках порівняння); за масовою часткою сухої речовини восени порівняно з літом (<math>p < 0,01</math>); за масовою часткою сухого знежиреного залишку молока навесні і взимку щодо осені та літа (<math>p < 0,001</math> в обох випадках порівняння); за масовою часткою загального білка взимку щодо решти сезонів року (<math>p < 0,001</math> в усіх випадках порівняння) та навесні і влітку проти зими (<math>p < 0,001</math> в обох випадках порівняння); за показником точки замерзання навесні і влітку щодо зими та осені (<math>p < 0,001</math> в обох випадках порівняння); за вмістом соматичних клітин навесні, влітку і восени відносно зими (<math>p < 0,001</math> в усіх випадках порівняння). Вміст соматичних клітин у весняно-літній період був значно вищий, ніж осінньо-зимовий (<math>p < 0,001</math>). При тому, що сила впливу сезону року на формування основних параметрів молока корів була невисокою і становила $\eta^2 = 0,5\text{--}4,9\%$.

З огляду на незначно більший вміст масової частки лактози у весняному молоці величини точки його замерзання знижувалися, хоча, незалежно від сезонної специфіки змін, вони знаходилися в межах норми ДСТУ 3662:2018 [6]. Утім зростання масової частки «істинного» білка в молоці взимку і восени спричинило підви-

Таблиця 1. Сезонні зміни хімічного складу молока корів, $X \pm SE$

Показник	Сезон року			
	зима	весна	літо	осінь
	Кількість, зразків			
	443	702	410	911
Масова частка, %:				
жиру	4,24 ± 0,05	4,17 ± 0,05	4,34 ± 0,07 ^{ooo}	4,48 ± 0,05 ^{#,o}
істинного білка	3,29 ± 0,02 ^{*,o,x}	3,16 ± 0,02 ^x	2,96 ± 0,02	3,21 ± 0,01 ^{x,ooo}
лактози	4,83 ± 0,02	4,99 ± 0,02 ^{#,*}	4,95 ± 0,02 ^{#,*}	4,82 ± 0,01
сухої речовини	13,27 ± 0,06	13,26 ± 0,05	13,18 ± 0,06	13,42 ± 0,05 ^{###,oo,x}
СЗЗМ	9,03 ± 0,02 ^{**,*x}	9,09 ± 0,02 ^{###,*x}	8,84 ± 0,03	8,94 ± 0,02 ^x
загального білка	3,50 ± 0,02 ^{*,o,x}	3,39 ± 0,02 ^x	3,19 ± 0,02	3,42 ± 0,01 ^x
Точка замерзання, °C	0,556 ± 0,002	0,570 ± 0,001 ^{*,x,#}	0,562 ± 0,002 ^{*,###}	0,559 ± 0,001
Вміст соматичних клітин, тис./см ³	785,0 ± 44,7	1015,5 ± 43,1 ^{***,#}	1168,9 ± 58,1 ^{**,#,o}	984,9 ± 37,6 [#]

Примітки: Відмінності між показниками значущі на рівні $p < 0,001$ порівняно з зимою (#), весною (°), літом (x) та осінню (*) відповідно; $p < 0,01$ порівняно з осінню (**) та весною (ooo); та $p < 0,05$ порівняно з зимою (###), весною (ooo) та осінню (***).

щення величин точки його замерзання, а найбільшій масовій частці сухої речовини взимку та восени в зразках виробленої продукції відповідала найнижча величина точки її замерзання. Зі збільшенням у молоці вмісту соматичних клітин величини точки його замерзання незначно знижувалися як навесні, так і влітку. У ці ж періоди року точка замерзання молока виявилася нижчою щодо відповідного показника, визначеного восени та взимку, що зумовлено, ймовірно, підвищенням середньомісячних температур зовнішнього повітря, яке спонукало корів до збільшення споживання питної води. Подібну особливість описав у своїй роботі М. Вјег та співавт. [1].

Для визначення зв'язку між вмістом основних компонентів у молоці та величинами точки його замерзання розрахували коефіцієнти парної кореляції Пірсона (табл. 2).

Результати аналізу даних продемонстрували різноспрямованість кореляційного зв'язку між досліджуваними показниками: його напрям був як додатний, так і від'ємний, тоді як сила — слабка або помірною.

Зокрема, найвищу, помірної сили кореляцію встановлено між вмістом соматичних клітин у молоці та величинами точки замерзання: коефіцієнт коливався в межах від $r = +0,413$ до $r = +0,540$ за статистично достовірної різниці між цими показниками ($p < 0,01$ у всіх випадках порівняння), що узгоджується з результатами дослідження Р. Brzozowski та К. Zdziarski [3].

Слабші, майже вдвічі нижчі, але також додатні кореляції зафіксовано між вмістом масової частки «істинного» білка в молоці та величинами точки його замерзання: $r = +0,187 \dots r = +0,321$ ($p < 0,01$ у всіх випадках порівняння). Ступінь взаємодії між вмістом масової частки

Таблиця 2. Кореляційні зв'язки між коливаннями точки замерзання молока та змінами основних його компонентів

Показник	Сезон року			
	зима	весна	літо	осінь
	Кількість, зразків			
	443	702	410	911
Масова частка, %:				
жиру	-0,184 **	-0,102 **	-0,096 *	-0,113 **
істинного білка	0,187 **	0,321 **	0,303 **	0,216 **
лактози	-0,951 **	-0,939 **	-0,922 **	-0,930 **
сухої речовини	-0,459 **	-0,350 **	-0,325 **	-0,384 **
СЗЗМ	-0,792 **	-0,580 **	-0,572 **	-0,687 **
загального білка	0,096 *	0,261 **	0,244 **	0,137 **
Вміст соматичних клітин, тис./см ³	0,522 **	0,413 **	0,540 **	0,504 **

Примітки: Залежність між коливаннями точки замерзання молока та змінами основних його компонентів значуща на рівні $p < 0,05$ (*) і $p < 0,01$ (**).

Таблиця 3. Рівняння регресії та коефіцієнти детермінації зв'язку між вмістом основних компонентів у молоці (x) та величинами точки його замерзання (y)

Компоненти молока	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації, (r^2)	Значущість, (p)
Масова частка, %:			
жиру	$y = -0,529 - 0,013 x + 0,001 x^2$ (1)	0,016	0,001
істинного білка	$y = -0,561 - 0,018 x + 0,006 x^2$ (2)	0,076	0,001
лактози	$y = -0,107 - 0,120 x + 0,005 x^2$ (3)	0,876	0,001
сухої речовини	$y = -0,234 - 0,109 x + 0,004 x^2$ (4)	0,196	0,001
СЗЗМ	$y = 0,702 - 0,243 x + 0,011 x^2$ (5)	0,438	0,001
загального білка	$y = -0,522 - 0,037 x + 0,007 x^2$ (6)	0,046	0,001
Вміст соматичних клітин, тис./см ³	$y = -0,580 + 2,498 \times 10^{-5} x - 2,833 \times 10^{-9} x^2$ (7)	0,233	0,001

загального білка та відповідним показником залишався на приблизно такому ж рівні, з коефіцієнтами, що варіювали від $r = +0,137$ до $r = +0,261$ ($p < 0,01$), за мінімального значення взимку — $r = +0,096$ ($p < 0,05$).

У свою чергу, зниження вмісту масової частки сухої речовини навесні та влітку супроводжувалося синхронним зменшенням величин точки замерзання молока: коефіцієнти кореляції становили $r = -0,350$ і $r = -0,325$, тоді як восени — $r = -0,384$, а взимку — $r = -0,459$ ($p < 0,01$ у всіх випадках порівняння).

Характер зв'язку між вмістом масової частки лактози й величинами точки замерзання був чітко виражений та від'ємний за напрямом: значення коефіцієнтів коливалися в діапазоні від $r = -0,922$ до $r = -0,951$ ($p < 0,01$ у всіх випадках порівняння).

Від'ємна кореляційна залежність також спостерігалася між вмістом масової частки сухого знежиреного залишку та величинами точки замерзання молока: $r = -0,572$... $r = -0,792$ ($p < 0,01$ у всіх випадках порівняння).

Найменшою мірою з величинами точки замерзання молока корів асоціювався вміст масової частки жиру в усі сезони року: $r = -0,102$... $r = -0,184$. Послаблення сили зв'язку переважно відзначено влітку — $r = -0,096$ ($p < 0,01$) порівняно з іншими сезонами.

Розбіжності у результатах, отриманих при розрахунку коефіцієнтів кореляції між цими показниками, ймовірно, зумовлені відмінностями у середніх значеннях кожного з них. На залежність між показниками якості молока корів і величинами точки його замерзання також звертають увагу у своїх дослідженнях інші науковці [4, 9, 11, 14, 18].

Для встановлення зв'язку між вмістом основних компонентів у молоці та величинами точки його замерзання застосовано регресійний аналіз із використанням рівнянь другого ступеня. На підставі результатів розрахунків встановлено, що всі залежності між досліджуваними показниками мають нелінійний характер (табл. 3).

Обґрунтовано, що рівняння регресії з погляду дисперсійного аналізу є статистично значущими та адекватно описують емпіричні дані. Водночас важливо зазначити, що серед наведених у таблиці залежностей найвищий коефіцієнт детермінації притаманний рівнянню, яке

відображає залежність величин точки замерзання молока від вмісту лактози ($r^2 = 0,876$).

Під час використання покрової процедури введення змінних у розрахунок рівняння множинної регресії у підсумку одержали вираз:

$$y = -0,104 - 0,069 x_1 - 0,009 x_2, \quad (8)$$

де x_1 — вміст масової частки лактози, %; x_2 — вміст масової частки сухої речовини, %; $-0,104$; $0,069$ і $0,009$ — розрахункові індекси рівняння.

За результатами розрахунків параметрів регресії значення коефіцієнта детермінації виявилось досить високим ($r^2 = 0,994$), що свідчить про значущість одержаних результатів ($p < 0,001$). Однак при включенні до розрахунків інших показників і використанні рівнянь другого ступеня подальшого зростання цього коефіцієнта не спостерігалось.

Узагальнення результатів аналізу рівняння підтверджує: що більший у молоці вміст масової частки сухої речовини, зокрема лактози, тим нижча величина точки його замерзання. За цих умов вплив вмісту лактози на точку замерзання є більш вираженим, ніж вплив загального вмісту сухої речовини. Подібні закономірності відзначено і в деяких інших дослідженнях [2, 3, 11].

Результати аналізу коефіцієнтів регресії, розрахованих окремо для різних сезонів року, також засвідчили відмінності, зокрема у вмісті масової частки лактози. Вони виявилися незначно вищими для зимово-осіннього періоду порівняно з весняно-літнім. Отримані рівняння мають такий вигляд:

$$\text{Зима: } y = -0,1095 - 0,0705 x^1 - 0,0080 x^2; \quad r^2 = 0,996 \quad (9)$$

$$\text{Весна: } y = -0,1016 - 0,0691 x^1 - 0,0093 x^2; \quad r^2 = 0,997 \quad (10)$$

$$\text{Літо: } y = -0,1072 - 0,0679 x^1 - 0,0090 x^2; \quad r^2 = 0,989 \quad (11)$$

$$\text{Осінь: } y = -0,1027 - 0,0696 x^1 - 0,0090 x^2; \quad r^2 = 0,998 \quad (12)$$

Таким чином, запропоновані рівняння регресії достатньо точно ($r^2 = 0,989-0,997$) та статистично значуще ($p < 0,001$) описують основні закономірності сезонного формування вмісту масової частки лактози.

Крім того, отримані результати (табл. 4, рис. 1) вказують на те, що зі збільшенням середніх значень вмісту масових часток жиру, лактози, сухої речовини та сухого знежиреного залишку

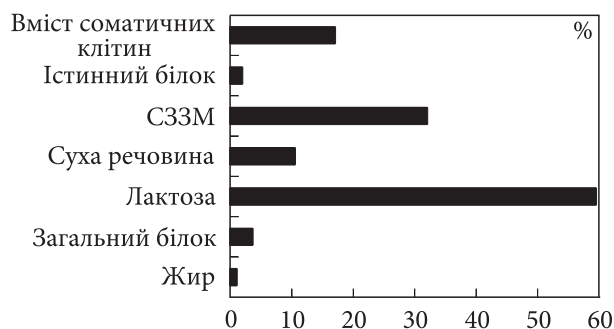


Рис. 1. Сила впливу вмісту основних компонентів молока на величини точки його замерзання

в молоці спостерігається підвищення величин точки його замерзання.

Сила впливу вмісту основних компонентів молока на величини точки його замерзання варіювала від $\eta^2 = 3,6 \%$ до $\eta^2 = 59,5 \%$.

За вмістом масових часток «істинного» білка, загального білка та соматичних клітин у молоці спостерігали протилежну тенденцію: зі зменшенням їхніх значень відбувалося підвищення величини точки замерзання молока, що супроводжувалося впливом помірної сили ($\eta^2 = 1,9-$

$-17,0 \%$). Вміст масової частки лактози в молоці корів із найбільшою силою впливав на величини точки його замерзання ($\eta^2 = 59,5\%$).

Надалі визначили ймовірний ступінь фальсифікації молока водою, яка безпосередньо впливає на величини точки його замерзання (рис. 2).

Доведено, що сезон року не мав суттєвого впливу на величини точки замерзання молока, які коливалися у середньому від $-0,556$ до $-0,580 \text{ }^\circ\text{C}$. Проте, у межах кожного сезону року фіксували зразки, які виходили за межі значень $-0,555 \text{ }^\circ\text{C}$, що свідчить про додавання або потрапляння до молока води.

Одержані результати узгоджуються з даними у роботах О. Hanus та співавт. [8] та В.А. Slaghuys [17], де також підкреслено ключову роль показника точки замерзання молока корів під час визначення його фальсифікації водою. Графічні інтерпретації відхилень установлені за моніторинговими дослідженнями величини точки замерзання натурального молока від стандартних значень за ДСТУ 3662:2018 [6] та

Таблиця 4. Залежність величин точки замерзання молока від вмісту основних його компонентів, $X \pm SE$

Компонент молока, %	Групування зразків за точкою замерзання молока, $^\circ\text{C}$	n, зразків	Значення основних компонентів молока	Значущість за F-критерієм
Масова частка жиру	$< -0,580$	826	$4,18 \pm 0,05$	$4,12 \times 10^{-6}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$4,30 \pm 0,05$	
	$> -0,556$	783	$4,50 \pm 0,05^{*, \#}$	
Масова частка істинного білка	$< -0,580$	826	$3,27 \pm 0,02^{\times, \#}$	$1,66 \times 10^{-20}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$3,18 \pm 0,01^{\times}$	
	$> -0,556$	783	$3,05 \pm 0,01$	
Масова частка лактози	$< -0,580$	826	$4,43 \pm 0,01$	$1,51 \times 10^{-215}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$4,98 \pm 0,01^*$	
	$> -0,556$	783	$5,28 \pm 0,01^{*, \#}$	
Масова частка сухої речовини	$< -0,580$	826	$12,76 \pm 0,05$	$7,487 \times 10^{-60}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$13,39 \pm 0,04^*$	
	$> -0,556$	783	$13,80 \pm 0,04^{*, \#}$	
Масова частка сухого знежиреного зали	$< -0,580$	826	$8,58 \pm 0,02$	$2,57 \times 10^{-207}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$9,09 \pm 0,01^*$	
	$> -0,556$	783	$9,29 \pm 0,01^{*, \#}$	
Масова частка загального білка	$< -0,580$	826	$3,45 \pm 0,02^{\times}$	$8,382 \times 10^{-11}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$3,41 \pm 0,01^{\times}$	
	$> -0,556$	783	$3,31 \pm 0,01$	
Вміст соматичних клітин, тис./см ³	$< -0,580$	826	$1619 \pm 46,0^{\times, \#}$	$1,76 \times 10^{-100}$
	$-0,580 - -0,556$	857	$796 \pm 31,0^{\times}$	
	$> -0,556$	783	$533 \pm 27,0$	

Примітки: Відмінності між групуваннями значущі на рівні $p < 0,05$ порівняно з величиною точки замерзання молока $-0,580 \text{ }^\circ\text{C}$ (*), $-0,580 - -0,556 \text{ }^\circ\text{C}$ (#) і $-0,556 \text{ }^\circ\text{C}$ (x) відповідно; $p < 0,01$ порівняно з $-0,580 \text{ }^\circ\text{C}$ (**).

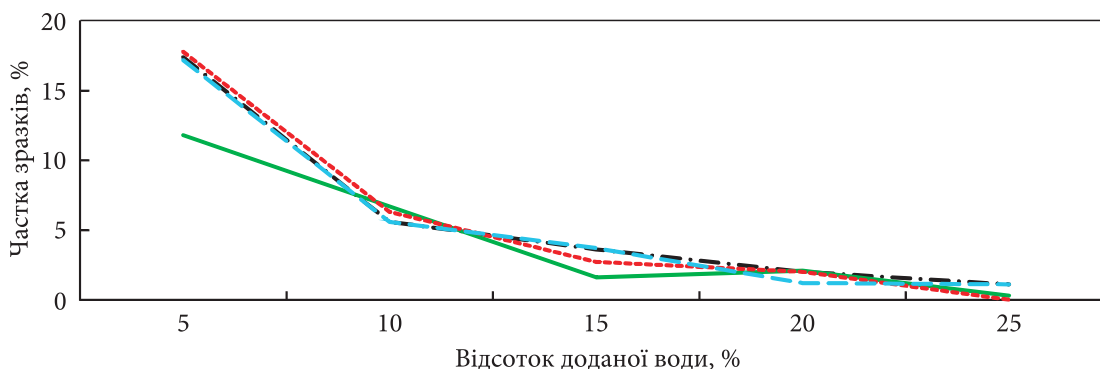


Рис. 2. Частка зразків молока з ймовірно доданою водою, що визначена на підставі точки його замерзання: зима — чорна лінія; весна — зелена лінія; літо — червона лінія, осінь — блакитна лінія

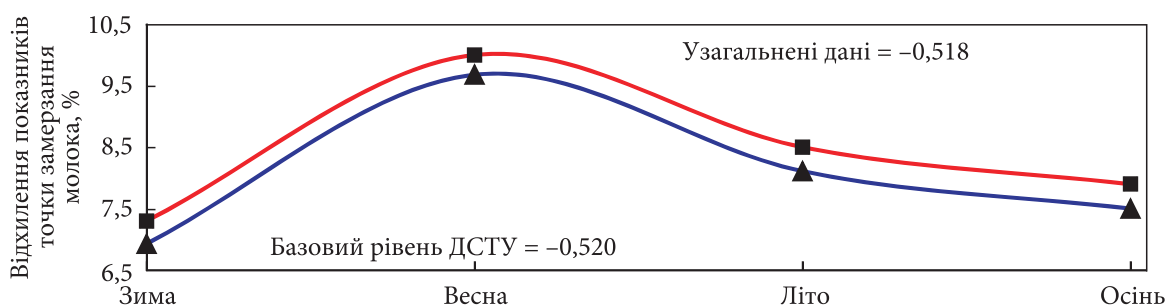


Рис. 3. Відхилення показників точки замерзання натурального молока від у різні сезони року, %: ■ — червона лінія відхилення від національного стандарту; ▲ — синя лінія відхилення від узагальнених даних

від узагальнених даних, наведених у публікаціях Y. Van der Vorst [19], представлено на рис. 3.

У результаті порівняння фактично отриманих показників точки замерзання молока корів з узагальненими даними можна констатувати, що в усіх зразках воно не мало фальсифікації. Проте, наведені величини цього показника ($-0,520 \div -0,518$ °C) є заниженими, тому як базовий варто обирати визначений у дослідженнях показник точки замерзання молока на рівні $-0,555$ °C, що було доведено на підґрунті лабораторного аналізу близько 75 тисяч зразків молока корів як реперну величину для Східного регіону України. Отже, одержані дані обґрунтовують важливість визначення точки замерзання натурального молока для встановлення ступеня його фальсифікації водою.

ВИСНОВКИ

1. Одержані результати підтверджують кореляційну залежність між вмістом основних компонентів у молоці і величинами точки його замерзання, які представлені як додатними, так й від'ємними коефіцієнтами слабкої та помірної сили. Під час комплексного оцінювання якості та безпеки молока корів визначено

не лише групу показників, але й найважливіші з них, які характеризують багатогранність досліджуваного об'єкта з позиції харчового призначення.

2. Розраховані рівняння, які враховують основні закономірності сезонного формування масової частки лактози, дають змогу оцінити, як саме збільшення вмісту сухої речовини та лактози в молоці спричиняє зниження точки його замерзання.

3. Установлений механізм пояснює сезонні коливання величин точки замерзання, які необхідно враховувати для забезпечення вірогідності контролю якості молока, об'єктивного виявлення ймовірної фальсифікації та підтвердження автентичності у системі гарантування безпеки.

Дослідження виконано в рамках фундаментального завдання державного тематичного плану науково-дослідних робіт ІТ НААН: «Наукові основи управління якістю та безпечністю продукції тваринництва і рослинництва на основі адекватної компетенції вимірювань показників» (№ державної реєстрації 0116U002307).

Потенційний конфлікт інтересів відсутній.

ЛІТЕРАТУРА

1. Власенко ВВ. Якість та безпека молока в Україні та ЄС і сучасний стан і перспективи розвитку. Ефективне тваринництво. 2006; (3): 32—4.
2. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. [Чинний від 2019–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України; 2019. 8 с.
3. ДСТУ ISO 707:2002. Молоко та молочні продукти. Настанова з відбирання проб (ISO 707:1997, IDT). [Чинний від 2003-10–01]. Київ: Держспоживстандарт України; 2003. 5 с.
4. Bjerg M, Rasmussen MD, Nielsen MO. Changes in freezing point of blood and milk during dehydration and rehydration in lactating cows. *J Dairy Sci.* 2005; 88(9): 3174—85.
5. Brouwer T. Calculations concerning the determination of the freezing point depression of milk. *Neth Milk Dairy J.* 1981; 35(2): 159—75.
6. Brzozowski P, Zdziarski K. Influence of genotype, age, lactation stage and daily milk performance of Black and White cows on freezing point of milk. *Med Weter.* 2006; 62(1): 93—5.
7. Brzozowski P, Zdziarski K. Freezing point of udder-milk in milk-producing cows. *Med Weter.* 2005; 61(8): 934—6.
8. Buhberger J. Umweltfaktoren und Rohmilch. *Lebensmittelindustrie und Milchwirtschaft.* 2000; 121. 1054—9.
9. Hanus O, Frelich J, Tomáška M, et al. The analysis of relationships between chemical composition, physical, technological and health indicators and freezing point in raw cow milk. *Czech J Anim Sci.* 2010; 55(1): 11—29.
10. Henno M, Ots M, Joudu I, et al. Factors affecting the freezing point stability of milk from individual cows. *Int Dairy J.* 2008; 18(2): 210—5.
11. Janstova B, Drackova M, Navratilova P, et al. Freezing point of raw and heat-treated goat milk. *Czech J Anim Sci.* 2007; 52(11): 394—8.
12. Kedzierska-Matysek M, Litwinczuk Z, Florek M, et al. The effects of breed and other factors on the composition and freezing point of cow's milk in Poland. *Int J Dairy Technol.* 2010; 64(3): 336—42.
13. Otwinowska-Mindur A, Ptak E, Grzesiak A. Factors affecting the freezing point of milk from Polish Holstein-Friesian cows. *Ann Anim Sci.* 2017; 17(3): 873—85.
14. Paliy A, Naumenko A, Paliy A, et al. Identifying changes in the milking rubber of milking machines during testing and under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2020; 5/1(107): 127—37.
15. Sala C, Morar A, Morvay A, et al. Research regarding factors that influenced the variation of freezing milk. *Lucrări Stiințifice Medicină Veterinară.* 2010; 43(2): 204—11.
16. Senevirathne PGND, Mangalika ULP, Adikari AMJB, et al. Evaluation of cow factors and milk composition on freezing point depression of cow milk. *Int J Livest Res.* 2016; 6(5): 61—7.
17. Shkromada O, Skliar O, Paliy A, et al. Development of measures to improve milk quality and safety during production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019; 3/11(99): 30—9.
18. Slaghuis BA. The freezing point of authentic and original farm bulk tank milk in the Netherlands. *Int Dairy J.* 2001; 11(3): 121—6.
19. Šustová K, Gajdůšek S, Kubiš I. Sezonní variabilita bodu mraznutí. In: Health, growth and production of cattle. Proceedings of the 8th International conference on current problems of breeding. (Nov. 6—7, 2000, České Budějovice, Czech Republic). České Budějovice; 2000. p. 338—9.
20. Van der Vorst Y, de Koning K. Automatic milking systems and milk quality in three European countries. In: Proceeding of the first North American conference on robotic milking. (March 20—22, 2002, Toronto, Canada). Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2002. p. 1—19.
21. Zagorska J, Ciprovica I. Evaluation of factors affecting freezing point of milk. *WASET.* 2013; 7(2): 389—94.

Отримано 02.07.2024

Прийнято до друку 11.09.2025

I.V. Korkh¹, N.P. Rusko¹, A.P. Paliy^{2*}, N.V. Boiko¹, O.Ye. Admin¹,
O.V. Pavlichenko³, A.I. Kudriashov³, Y.V. Karban⁴, N.V. Paliy⁵

¹ Livestock farming institute of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

² National Scientific Center "Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine", Kharkiv, Ukraine

³ State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

⁴ Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

⁵ Institute of Veterinary Medicine of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

* paliy.dok@gmail.com

FEATURES OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF COW'S MILK AND ITS FREEZING POINT VALUES

This article reveals the seasonal characteristics of the formation of the most significant factors that affect the freezing point of cow's milk. The results of the generalization performed in this study on the relationship between the freezing point of milk and the content of its main components, which determine its nutritional value, can provide a significant foundation for developing organizational mechanisms to regulate milk production and implement a unified quality policy at all management levels through mathematical modeling. The chosen approach enables the ranking of basic milk quality properties, ensuring the selection of the most important ones. It has been established that the higher the mass fraction of dry matter and lactose in milk, the lower its freezing point. Furthermore, it has been substantiated that the freezing point of milk varies throughout the year. Considering these values, we can objectively assess the degree to which milk has been adulterated with water while ensuring its high quality and safety.

Key words: milk components, milk freezing point, season of the year.