

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Тетяна СИНЕНКО, Наталія БОЛГОВА

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА-СИРОВИНИ
З РІЗНИМИ ГЕНЕТИЧНИМИ ВАРІАЦІЯМИ
 β -КАЗЕЇНУ

Монографія



Суми – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра технологій та безпеки харчових продуктів**

Тетяна СИНЕНКО, Наталія БОЛГОВА

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА-СИРОВИНИ
З РІЗНИМИ ГЕНЕТИЧНИМИ ВАРІАЦІЯМИ
 β -КАЗЕЇНУ**

Монографія

Суми, 2025

УДК 637.1:637.3:575.113

DOI: 10.5281/zenodo.17794998

T38

Автори:

Синенко Т. П., доктор філософії (PhD), доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів

Болгова Н.В., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів

Рецензенти:

Сукманов В. О., професор, доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій Полтавського державного аграрного університету

Євлаш В. В., професор, доктор технічних наук, завідувачка кафедри хімії, біохімії, мікробіології та гігієни харчування Державного біотехнологічного університету

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Сумського національного аграрного університету
(протокол №8 від 01.12.2025 року)*

T38 Технологічні аспекти переробки молока-сировини з різними генетичними варіаціями β -казеїну: монографія / Т.П. Синенко, Н.В. Болгова – Суми: СНАУ, 2025 р. – 98 с.

У монографії представлено результати комплексного дослідження молока-сировини з різними генетичними варіаціями β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) та оцінено його технологічні властивості під час виробництва кисломолочного, м'якого й твердого сиру. Визначено вплив білкового поліморфізму на фізико-хімічні параметри молока, коагуляційні процеси, якість і вихід сирів. Сформовано практичні рекомендації щодо оптимального використання молока різних генотипів у молокопереробній промисловості.

УДК 637.1:637.3:575.113

© Т.П. Синенко, Н.В. Болгова, 2025
© Сумський національний аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ВСТУП.....	6
Розділ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ГЕНОТИПАМИ β -КАЗЕЇНУ.....	11
1.1 Біохімічна характеристика білкового складу молока	11
1.2 Генетичний поліморфізм β -казеїну	13
1.3 Поширення генотипів β -казеїну серед молочних порід	16
1.4 Вплив поліморфізму β -казеїну на властивості молока.....	18
1.5 Сучасний стан досліджень щодо використання молока А2 у сироробстві ...	20
1.6 Наукове обґрунтування та перспективи подальших досліджень	22
Розділ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1. Об'єкт і умови дослідження.....	25
2.2 Виготовлення зразків сиру	25
2.3 Методи дослідження.....	29
Розділ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ	35
Розділ 4 КИСЛОМОЛОЧНИЙ СИР ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ	50
Розділ 5 М'ЯКІ СИРИ ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ	60
Розділ 6 ТВЕРДІ СИРИ ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ	71
Розділ 7 УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	82
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

Молочна галузь сьогодні перебуває у фазі активних трансформацій. Ці зміни зумовлені як підвищенням вимог споживачів до якості та безпечності продукції, так і впровадженням новітніх наукових підходів у переробці сировини. Одним із ключових напрямів сучасної науки є детальне дослідження впливу генетичних характеристик молока на його технологічні властивості, що істотно впливають на якість та споживчі характеристики кінцевих продуктів молочної переробки. Розуміння таких взаємозв'язків відкриває нові перспективи для покращення процесів виготовлення молочних виробів і забезпечення стабільності їхньої якості.

У монографії особливу увагу приділено білковому компоненту молока, зокрема β -казеїну, одному з чотирьох основних типів казеїнових білків, який становить приблизно третину їхньої загальної кількості. Цей білок представлений кількома генетичними варіаціями (A1, A2, інколи A3, B), які визначають відмінності у властивостях молока. З практичної точки зору найбільш значущими є варіації A1 і A2, які відрізняються лише однією амінокислотою в структурі. Проте ця незначна зміна суттєво впливає на перетравність молока, його смакові характеристики та здатність до подальшої переробки.

Останніми роками інтерес до A2-молока суттєво зріс, оскільки його вважають більш природним продуктом, що відповідає генетичним характеристикам первісних популяцій великої рогатої худоби. Наукові дослідження у поєднанні з маркетинговою підтримкою демонструють зростання популярності продуктів із молока типу A2 серед споживачів. Це обумовлено їх позиціонуванням як таких, що є «легкозасвоюваними» та «фізіологічно комфортнішими». Водночас переважна частина наявних наукових праць сфокусована на медико-біологічних аспектах. Натомість технологічні характеристики молока, залежно від генотипу β -казеїну, залишаються менш вивченими, особливо у контексті їх застосування у виробництві сирів.

Сир є одним із найскладніших, але водночас найпоказовіших продуктів переробки молока, адже його якість безпосередньо відображає властивості

білкового комплексу сировини. Для виробництва кисломолочного, м'якого й твердого сиру важливими є такі параметри, як здатність молока до коагуляції, утворення міцного згустку, відділення сироватки, а також хімічний склад білкової матриці. Будь-які відмінності у складі казеїну можуть суттєво змінювати хід цих процесів. Саме тому ця монографія присвячена вивченню технологічних аспектів переробки молока з різними генетичними варіаціями β -казеїну, із фокусом на виготовлення трьох груп сирів – кисломолочних, м'яких і твердих.

Монографія присвячена комплексному науковому обґрунтуванню впливу генетичних варіацій β -казеїну на якість, технологічні властивості та ефективність переробки молока у продукти різних груп – від кисломолочних до твердих сирів. Особливий акцент зроблено на порівнянні сиропридатності молока типів A1A1, A1A2 та A2A2, що дає змогу сформулювати практичні рекомендації щодо його використання в технологічних процесах переробки. У роботі вперше для вітчизняної наукової школи системно проаналізовано зв'язок між генотипом білкової фракції молока та поведінкою білково-жирового комплексу під час основних технологічних процесів.

Практичні рекомендації, сформульовані в монографії, мають прикладне значення для фермерських і промислових господарств, лабораторій генетичного контролю та науково-дослідних установ. Їх реалізація сприятиме оптимізації селекційних програм, формуванню генетично уніфікованих стад, зменшенню втрат сировини та підвищенню конкурентоспроможності української молочної продукції на внутрішньому й міжнародному ринках.

Монографія орієнтована на науковців, викладачів, аспірантів, здобувачів закладів аграрного спрямування, а також фахівців молокопереробного сектору.

Молоко та продукти його переробки традиційно займають провідне місце в раціоні людини, забезпечуючи організм високоякісними білками, жирами, мінералами та вітамінами. Зростання вимог до харчової безпеки, біологічної цінності та технологічної ефективності молочної сировини актуалізує питання глибокого вивчення її складу, властивостей і придатності до переробки. В останні десятиліття особлива увага вчених і практиків приділяється вивченню генетичних варіацій молочних білків, зокрема β -казеїну, який відіграє ключову роль у формуванні структури білкового згустку та якості готових сирів.

Білковий комплекс молока складається з кількох фракцій, серед яких найбільшу частку становить казеїн. Його поліморфізм обумовлений генетичними відмінностями, що формують різні типи – A1, A1/A2 та A2. Саме ці варіації зумовлюють різницю у фізико-хімічних і технологічних властивостях молока, впливаючи на процес коагуляції, формування згустку, вихід сиру та його органолептичні характеристики.

Серед сучасних наукових і виробничих трендів у молочній галузі особливу увагу привертає молоко A2 – продукт, який містить виключно β -казеїн типу A2. Дослідження свідчать, що це молоко відрізняється не лише зміненою амінокислотою структурою, а й, можливо, покращеною засвоюваністю та кращими технологічними властивостями. Вчені [2] підкреслюють, що білок β -казеїн типу A2 під час гідролізу не утворює біоактивний пептид BSM-7, який у деяких дослідженнях асоціюють із підвищеним ризиком виникнення розладів шлунково-кишкового тракту та серцево-судинних захворювань. З огляду на це молоко A2 вважається більш фізіологічно прийнятним для споживання, що стимулює активне зростання його виробництва в багатьох країнах світу.

Водночас технологічні аспекти властивостей молока різних генотипів β -казеїну під час його переробки досі викликають наукові дискусії. Наявні дослідження показують суперечливі результати: одні вчені зазначають покращену коагуляційну здатність і більшу твердість згустку молока типу A2 [26], тоді як інші

вказують на довший процес зсідання у порівнянні з молоком типу A1 [19]. У зв'язку з цим актуальним залишається всебічне вивчення фізико-хімічних, мікробіологічних та сироварних характеристик молока різних генотипів β -казеїну.

Дослідження придатності молока із різними генетичними варіаціями β -казеїну для виготовлення різних типів сирів – кисломолочних, м'яких і твердих – має особливе значення. Ці продукти важливі не лише з точки зору харчової цінності, а й у технологічному аспекті. Вони дають змогу проаналізувати властивості молочного білка під впливом різних методів коагуляції, таких як кислотний, ферментативний і комбінований.

Кисломолочний сир є одним із найстаріших і найпоширеніших ферментованих продуктів, що вирізняється високою біологічною цінністю завдяки значному вмісту білка (до 16 %) у порівнянні з молоком (3,2–3,5 %). При цьому вихід та якість кисломолочного сиру значною мірою залежать від білково-жирового складу молока, зокрема від концентрації казеїну та співвідношення білків до жирів, яке визначає його придатність для виробництва сиру.

М'які та тверді сири відносять до харчових продуктів, які отримують в результаті поглибленої обробки білкового згустку. Такий підхід дозволяє більш детально оцінити вплив білкового поліморфізму на структурні характеристики, процес дозрівання, а також органолептичні й поживні властивості продукції. У зв'язку з цим дослідження молока, отриманого від тварин із різними генотипами β -казеїну, набуває особливої наукової та практичної значущості для виробництва сирів різного типу.

В Україні, як і у світі загалом, спостерігається зростання частки корів із генотипом β -казеїну A2A2, що створює потребу в ґрунтовному аналізі технологічних властивостей такого молока для різних напрямів його переробки. За даними FAO, понад 75 % молока використовується для виробництва сирів, і ця тенденція має перспективи подальшого зростання. Відтак, оцінка сироварних характеристик молока різних генотипів стає критично важливою для підвищення ефективності виробництва та вдосконалення технологічних процесів.

Дослідження, результати якого представлені в цій монографії, виконувалося у період з 2023 по 2025 роки та охоплювало три етапи:

1. Дослідження якості молока від корів із різними генотипами β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2).
2. Виготовлення та аналіз якості кисломолочних продуктів, м'яких і твердих сирів.
3. Систематизація отриманих даних і розробка практичних рекомендацій щодо використання молока певного генотипу для різних видів переробки.

Метою проведеного дослідження є глибоке наукове обґрунтування впливу генетичних варіацій білка β -казеїну на фізико-хімічні властивості молока, а також аналіз його технологічних характеристик. Особливу увагу приділено визначенню ступеня придатності цього молока для переробки у різні види молочної продукції, включаючи кисломолочні вироби, м'які та тверді сири, з урахуванням вимог до якості сировини.

Завдання дослідження спрямовані на всебічне вивчення аспектів, пов'язаних із β -казеїном у молоці, а саме:

1. Провести глибокий аналіз наукових джерел, які описують структуру, різновиди генетичних варіацій β -казеїну та їхній вплив на фізичні, хімічні й функціональні властивості молока, зокрема його харчову цінність, засвоюваність і придатність для переробки.
2. Встановити фізико-хімічні параметри і мікробіологічні характеристики молока, що залежать від різних генотипів β -казеїну, визначити відмінності між ними та їхній потенційний вплив на молочну продукцію.
3. Дослідити, як особливості білкового складу молока, зокрема β -казеїну, впливають на процес коагуляції і ключові якісні параметри сиру.
4. Вивчити закономірності змін у хімічному складі та органолептичних властивостях різних видів сирів – кисломолочного, м'якого і твердого – залежно від генотипу β -казеїну молока-сировини.

5. Обґрунтувати прикладне використання отриманих результатів для вдосконалення селекційних програм у галузі розведення молочних порід великої

рогатої худоби, а також розробки інноваційних технологій переробки молока, спрямованих на покращення його якості та функціональності.

Ці завдання сприятимуть отриманню нових знань, актуальних для науки, сільського господарства та харчової промисловості.

Об'єктом дослідження у монографії є молоко корів із різними генетичними варіаціями β -казеїну (A1, A1/A2, A2) та продукти його переробки, зокрема кисломолочні, м'які та тверді сири.

Предмет дослідження охоплює фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні та технологічні характеристики молока різних генотипів β -казеїну, а також їх вплив на якість і вихід сирів.

У межах дослідження висувається припущення, що генетичні варіації β -казеїну впливають на білковий склад молока, що визначає його технологічні характеристики. Зокрема, молоко з генотипом β -казеїну A2A2 вирізняється підвищеною біологічною цінністю та може мати кращі властивості для виробництва окремих видів сирів.

Наукова новизна результатів, представлених у монографії, полягає в реалізації комплексного підходу до вивчення молока різних генотипів β -казеїну (A1, A1/A2, A2) у контексті спостереження протягом трьох років (2023–2025), що було здійснено вперше. У процесі дослідження вдалося виявити і систематизувати закономірності впливу різних генотипів β -казеїну на фізико-хімічні характеристики молока, а також на його технологічні властивості, зокрема сироварну придатність. Проведений аналіз дозволив визначити особливості формування кисломолочного, м'якого і твердого сиру залежно від білкового складу вихідної сировини, що є важливим для вдосконалення виробничих технологій. На основі отриманих даних була розроблена низка практичних рекомендацій, які можуть бути використані для оптимізації переробки молока певного генотипу з метою підвищення ефективності та якості технологічних процесів у молочній промисловості.

Практична цінність отриманих результатів. Отримані результати можуть бути корисними для:

- ∴ молокопереробних підприємств – при виборі відповідної сировини з урахуванням її генетичних характеристик;
- ∴ селекційних програм – для створення стад з оптимальним складом білкових компонентів молока;
- ∴ наукових досліджень – як базис для подальшого аналізу технологічної поведінки білкових фракцій;
- ∴ освітнього процесу – у навчальних дисциплінах, присвячених технології молока і продуктів його переробки.

Таким чином, проведене дослідження створює наукову й методологічну основу для подальшого розвитку біотехнологічних, селекційних і харчових напрямів сучасного молокопереробного виробництва, орієнтованого на здорове харчування людини, інноваційні технології та стале аграрне майбутнє.

Монографія складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі подано теоретичні основи й огляд сучасних досліджень, присвячених генетичним варіаціям β -казеїну та їхньому впливу на технологічні властивості молока. У наступних розділах наведено результати експериментальних досліджень із виробництва кисломолочного, м'якого та твердого сиру з молока різних генотипів, а також практичні рекомендації щодо ефективного використання такої сировини.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ГЕНОТИПАМИ β -КАЗЕЇНУ

1.1 Біохімічна характеристика білкового складу молока

Білковий комплекс молока – основоположний фактор його технологічних властивостей, харчової цінності та функціонального застосування в молокопереробній галузі. Сучасні огляди літературних джерел підкреслюють поділ молочних білків на міцелярні казеїни та розчинні сироваткові білки, а також їхню взаємодію з мінералами (особливо кальцієм) як ключовий фактор формування структури продуктів (йогурти, сири, сметана тощо).

Загальна концентрація білка в коров'ячому молоці зазвичай ~ 3.0 – 3.5 % сухої маси; у загальному білковому пулі ~ 80 % припадає на казеїни і ~ 20 % – на сироваткові білки [22].

Казеїни поділяють на $\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, β - і κ -казеїн. β -казеїн зазвичай становить ~ 35 – 45 % від загальних казеїнів у молоці багатьох порід корів і має ключову роль у формуванні згустку та технологічній придатності молока для сироваріння [22].

Казеїни формують міцели – надмолекулярні агрегати, які визначають колоїдні властивості молока, його здатність до коагуляції, утримання жиру і технологічні властивості молока для сироробства [35, 40]. β -казеїн становить значну долю казеїнового комплексу (приблизно 35–45 %) і відіграє ключову роль у формуванні гелю під дією сичужних ферментів та кислот, впливаючи на щільність і структуру згустку та, як наслідок, на вихід і текстуру сиру [25].

β -казеїн впливає на розмір міцел, гідратацію та механіку згустку: вищий вміст β -казеїну часто пов'язаний із більш «м'якими», гідратованими міцелами й зміненою здатністю до ренет-коагуляції. Декілька досліджень показують, що відносна пропорція β -казеїну змінює час коагуляції, силу згустку і вихід сиру [25].

Поліморфізми β -казеїну (зокрема варіанти A1 та A2) характеризуються не лише потенційним впливом на здоров'я людини, що пов'язано з утворенням біоактивного пептиду β -казоморфіну-7 під час гідролізу варіанту A1, але й

визначають низку технологічних показників молока, включаючи коагуляційні властивості та вихід сирного згустку. Результати наукових досліджень [42] свідчать, що молоко з генотипом А2 у ряді випадків демонструє знижені ренетні характеристики та відмінності у білковому профілі порівняно з варіантом А1. Водночас наведені тенденції є популяційно залежними і можуть змінюватися під впливом умов проведення експериментальних досліджень.

Основні сироваткові білки: β -лактоглобулін, α -лактальбумін, сироватковий альбумін, лактоферин, імуноглобуліни та глікопептиди (напр. GMP). Вони визначають харчову цінність молока (високий вміст есенціальних амінокислот), функціональні властивості (піноутворення, емульгування), а також є джерелом біологічно активних пептидів [38].

β -лактоглобулін становить значну частку сироваткових білків і є термочутливим – денатурація при нагріванні змінює взаємодію з казеїном і кінцеву текстуру продуктів (йогурт, морозиво, певні сири) [47].

Склад білкового пулу (співвідношення α s-/ β -/ κ -казеїнів, вміст β -казеїну, концентрація сироваткових білків) визначає час коагуляції, твердість згустку, синерезис (виділення сироватки) і кінцевий вихід сиру. Деякі праці показали [39], що збільшення частки β -казеїну може зменшувати якість згустку та знижувати вихід твердого сиру.

Для оптимізації технологічних властивостей молока застосовують низку технологічних підходів, зокрема пастеризацію, кальціювання, регулювання рН та добір сировини за генотипом білкових фракцій. Сучасні наукові огляди [27] також акцентують на перспективності селекційного відбору корів за певними алельними варіантами молочних білків з метою підвищення придатності молока до переробки, зокрема для сироваріння.

Молочні білки є повноцінними, оскільки містять увесь спектр есенціальних амінокислот. Сироваткові білки характеризуються високою швидкістю засвоєння, тоді як казеїн перетравлюється повільніше, що має важливе значення для підтримання стабільного азотного балансу в організмі. Крім того, під час

протеолізу молочних білків утворюються пептиди з вираженою біологічною активністю, зокрема антигіпертензивною, антимікробною та опіїдоподібною [38].

Реалізації дослідницьких завдань сприяють масштабні контрольовані дослідження, у межах яких поєднується аналіз генетичних маркерів (зокрема алелів β -казеїну), детальне вивчення білкового профілю методом протеоміки та оцінювання ключових технологічних показників молока – коагуляційних властивостей, виходу та якості сиру. Залучення тварин різних порід і регіонів забезпечує ширшу репрезентативність та підвищує достовірність отриманих результатів [45]. Важливим є проведення міждисциплінарних досліджень, які одночасно охоплюють технологічні характеристики молока та аспекти безпечності й біологічної активності. Зокрема, перспективним напрямом є вивчення вивільнення β -казоморфіну-7 та його кількісне визначення в умовах, наближених до реальних технологічних процесів [23].

Казеїни становлять основну фракцію білків молока та відіграють ключову роль у формуванні текстурних характеристик і виходу молочних продуктів. Серед них β -казеїн є центральним компонентом як у технологічних процесах сироваріння, так і в контексті генетичних та біологічних ефектів. Сироваткові білки доповнюють поживну й функціональну цінність молока, а їхня взаємодія з казеїновою фракцією та вплив технологічної обробки (термообробка, ферментація) суттєво визначають властивості кінцевих продуктів. Актуальні наукові джерела [22] підкреслюють необхідність інтеграції даних генетики, протеоміки та технологічних випробувань для підвищення якості молока й оптимізації процесів його переробки.

1.2 Генетичний поліморфізм β -казеїну

Ген β -казеїну (CSN2) розташований у локусі казеїнового комплексу на 6-й хромосомі великої рогатої худоби. Його поліморфізм зумовлює існування низки варіантів білка, які відрізняються за амінокислотою послідовністю. На сьогодні ідентифіковано щонайменше 13 генетичних варіантів β -казеїну: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2, I та J [4]. Однак у більшості порід молочної худоби переважають

лише два варіанти – A1 і A2, що різняться заміною однієї амінокислоти в позиції 67: гістидин (His) у β -казеїні A1 замість проліну (Pro) у β -казеїні A2 [21, 41]. Вважається, що зазначена точкова мутація сформувалася близько 8–10 тис. років тому під час доместикації великої рогатої худоби в північній Європі [44]. Її поява зумовила зміни у третинній структурі білка, що, у свою чергу, визначає особливості ферментативного розщеплення під час травлення та впливає на технологічні властивості молока. У ході гідролізу β -казеїну варіанту A1 утворюється пептид β -казоморфін-7, якому притаманна опіоїдна активність. За даними окремих досліджень [15], ця сполука може мати потенційно несприятливий вплив на здоров'я людини.

Таблиця 1.1

Генетичні варіанти β -казеїну

Варіант	Заміна амінокислоти	Поширеність	Коментар
A1	His → у позиції 67	Європейські породи (Голштинська, Айрширська)	Здатний утворювати BCM-7
A2	Pro → у позиції 67	Еволюційно первинний варіант, характерний для Зебу, Джерсейської, Гірської породи корів	Менш схильний до вивільнення BCM-7
B	Ala122 → Ser	Менш поширений	Впливає на термостійкість
I, H1, H2	Кілька замін	Рідкісні	Досліджуються щодо властивостей молока

Заміну Pro67→His67 супроводжує зміна гнучкості пептидного ланцюга, оскільки пролін є циклічною амінокислотою, що обмежує конформаційну рухливість пептиду. Така структурна зміна полегшує ферментативне розщеплення β -казеїну A1 у ділянці Tug60–Pro67, що, своєю чергою, спричиняє вивільнення β -казоморфіну-7 (BCM-7) під впливом пепсину й еластази. BCM-7 демонструє опіоїдну активність, взаємодіючи з μ -опіоїдними рецепторами кишечника, що

впливає на моторну функцію, секреторну активність і, ймовірно, імунну відповідь [31].

Частота алелів A1/A2 значно змінюється залежно від породи: у голштинської та фрізької приблизно 60–70 % припадає на A1; у джерсейської переважає A2 – близько 70–80 %; зебу та індійські породи майже повністю складаються з A2; українські червоно-ряба і чорно-ряба породи здебільшого мають генотип A1A2, приблизно рівномірно розподілений (~50/50) [4]. Така різноманітність створює перспективи селекційного добору для виробництва молока певного типу, наприклад A1-free або A2-молока [36].

Варіації β -казеїну впливають на ключові технологічні параметри процесу ферментативної коагуляції молока. Зокрема, молоко з генотипом A2 характеризується тривалішим часом коагуляції ферментативним шляхом, тоді як генотип A1 асоціюється з утворенням більш щільного гелю та оптимізованим синерезисом. Це також позначається на виході готового продукту: молоко типу A1 демонструє вищий вихід сиру, який в середньому перевищує показники A2-молока на 2–5 % [34]. З огляду на ці властивості, молоко генотипу A1 може мати значні переваги для технологічного використання в сироварінні. Проте варто зазначити, що з точки зору харчової та біологічної цінності для кінцевого споживача молоко з генотипом A2 є більш доцільним.

Деякі дослідження [18] пов'язують споживання β -казеїну A1 з утворенням ВСМ-7, який може уповільнювати переміщення їжі через кишечник, а також потенційно підвищувати рівень оксидативного стресу або викликати запальні реакції у чутливих осіб. Водночас, інші систематичні огляди [5], вказують на те, що докази клінічного впливу ВСМ-7 залишаються недостатньо переконливими, підкреслюючи необхідність масштабніших досліджень із врахуванням дозування та індивідуальної чутливості.

Новітні програми геномної селекції широко використовують CSN2-генотипування з метою формування поголів'я генотипу A2A2, що відкриває можливість виробництва A2-молока – функціонального продукту з покращеними характеристиками та підвищеною конкурентоспроможністю на ринку завдяки

відсутності A1 β -казеїну. Такі селекційні ініціативи вже впроваджуються у багатьох країнах, серед яких Австралія, Нова Зеландія, Сполучені Штати Америки, а нещодавно їх почали активно реалізовувати і в Україні [43].

Поліморфізм β -казеїну є одним із найважливіших генетичних чинників, що визначає технологічну придатність і біологічну цінність молока. Варіанти A1 і A2 різняться однією амінокислотою, однак ця невелика зміна має суттєві наслідки для структури білка, процесів гідролізу та функціональних властивостей. Знання про генотипи CSN2 дає змогу цілеспрямовано підбирати сировину для виготовлення твердих сирів та функціональних молочних продуктів із підвищеною споживчою безпеністю.

1.3 Поширення генотипів β -казеїну серед молочних порід

Концентрація β -казеїну A1 і A2 у молоці суттєво залежить від породи великої рогатої худоби. Так, у корів голштинської породи переважає варіант A1, тоді як у джерсейської та симентальської – частіше трапляється A2. Відповідно, корови можуть давати молоко трьох типів: A1A1, A1A2 або A2A2, що визначає як харчову, так і технологічну цінність молока. Упродовж останніх десятиліть спостерігається тенденція до селекційного відбору корів з генотипом A2A2, з огляду на підвищений попит на молоко A2, яке позиціонується як більш корисне для здоров'я [13].

Розподіл генотипів β -казеїну (CSN2) суттєво варіює між породами великої рогатої худоби, що пов'язано з еволюційним походженням, напрямом селекції та історичними особливостями розведення. У більшості європейських порід переважає алель A1, тоді як у стародавніх або зебуїдних породах – A2. Ці відмінності визначають співвідношення білкових варіантів у молоці й, відповідно, його технологічну придатність та споживчі властивості [3].

Генотипування тварин за геном CSN2 дає змогу розподілити молоко на три типи: A1A1 – з переважним вмістом β -казеїну A1, A1A2 – змішаного типу, та A2A2 – що містить виключно β -казеїн A2. Тип білкового складу молока визначається співвідношенням цих генотипів у стаді. Результати численних досліджень свідчать про чітку породну специфічність алельних частот [20] (табл. 1.2).

Частоти генотипів β -казеїну серед основних порід великої рогатої худоби

Порода	A1A1 (%)	A1A2 (%)	A2A2 (%)
Голштинська (Європа, США)	45–60	30–40	10–20
Айрширська	40	45	15
Джерсейська	10–25	35–45	35–55
Симентальська	15–30	40–50	30–45
Бура швейцарська	25–40	40–50	20–35
Червона степова (Україна)	30	50	20
Українська чорно-ряба	35	45	20
Зебу (<i>Bos indicus</i>)	<5	15	>80
Бура гірська карпатська	20	45	35

Як свідчать дані, генотип A2A2 є найпоширенішим серед стародавніх порід та місцевих адаптованих популяцій, тоді як A1A1 частіше зустрічається у високопродуктивних порід, які зазнали інтенсивної селекції (наприклад, Голштинська та Айрширська породи). Це пояснюється тим, що мутація A1 виникла пізніше, у процесі формування сучасних європейських молочних ліній. У Європі поширеними є генотипи A1 та змішані A1A2, причому найвищу частоту алеля A1 зафіксовано у голштинів Північної Європи, де вона досягає 70 %. В Азії та Африці у зебуїдних і місцевих породах алель A2 виявляється з частотою 80–100 %, як це спостерігається, зокрема, в Індії, Пакистані та Ефіопії. В Австралії та Новій Зеландії активно проводиться селекція на користь генотипу A2A2, унаслідок чого нині понад 50 % молочних стад сертифіковані як такі, що мають виключно A2. В Україні серед більшості молочних порід встановлено приблизну рівновагу між алелями A1 і A2, при цьому генотип A1A2 зустрічається у близько 50 % популяції. Це створює перспективи для здійснення цілеспрямованого селекційного добору [37].

Починаючи з 2000-х років, підвищений науковий та комерційний інтерес до A2-молока сприяв інтенсивному впровадженню геномного маркування поголів'я

великої рогатої худоби. У таких країнах, як Нова Зеландія, Австралія, США та держави ЄС, селекційні програми спрямовані на збільшення частки поголів'я А2А2-тварин. Це обумовлено маркетинговими перевагами, адже продукт позиціонується як «легше для травлення», а також загальною тенденцією до індивідуалізованого харчування. Разом із тим, молоко генотипу А1А1 характеризується кращими сичужними властивостями, зокрема швидшим формуванням згустку та вищим виходом сиру, що зумовлює його переваги у виробництві твердих сирів. Натомість для молока А2А2 властиві підвищена стабільність емульсій, краща розчинність казеїнової фракції та потенційно нижча алергенність. Важливим завданням для фермерів є оптимальне поєднання селекції на основі А2 із врахуванням інших білкових локусів (CSN3, β -LG), які разом визначають технологічну придатність молока [7].

У перспективі передбачається подальше впровадження генотипування поголів'я за допомогою методів ПЛР-RFLP та секвенування нового покоління (NGS) з метою комплексної оцінки білкових варіацій. Також планується створення локальних племінних репродукторів із переважанням генотипу А2А2, що сприятиме підвищенню генетичного потенціалу стада. Очікується зростання вартості молока з сертифікацією А2 у розподільчих ланцюгах, що орієнтовані на виробництво дитячого харчування та функціональних харчових продуктів [33].

Розповсюдження генотипів β -казеїну серед молочних порід чітко відображає породні та географічні відмінності. Алель А1 пов'язаний переважно з європейськими високопродуктивними породами, тоді як А2 характерний для автохтонних або старовинних ліній. Наразі селекція на генотип А2А2 стає важливим елементом сучасних програм генетичного вдосконалення великої рогатої худоби, поєднуючи аспекти харчової безпеки, функціональності та зростання ринкової цінності молока.

1.4 Вплив поліморфізму β -казеїну на властивості молока

Генетичні варіанти β -казеїну впливають не лише на харчові властивості молока, а й на його технологічну поведінку під час переробки. Дослідження [23]

показали, що генотип β -казеїну впливає на міцність гелю, здатність утримувати воду, швидкість коагуляції та синерезис. Згустки з молока A2A2 мали більш м'яку текстуру і підвищену вологозатримуючу здатність. Інші дослідження [24] довели, що молоко з β -казеїном A2A2 демонструє гірші сичужні властивості – повільніше утворює згусток, який має нижчу щільність, що зумовлює зменшення виходу твердого сиру.

Поліморфізм β -казеїну прямо впливає на фізико-хімічні, технологічні та сенсорні характеристики молока. Заміна амінокислоти в позиції 67 (пролін $\rightarrow$ гістидин) змінює заряд молекули, рівень гідрофобності та структурну стабільність казеїнових міцел. Ці зміни визначають особливості поведінки білкової системи під час термічної обробки, коагуляції, ферментації та формування молочних гелів [17].

Білковий варіант β -казеїну зумовлює відмінності у гідратації казеїнових міцел, їх здатності до взаємодії з кальцієм і стабільності в колоїдному стані. Молоко A2A2 характеризується більш відкритою міцелярною структурою, зниженою кількістю гідрофобних контактів і дещо нижчим вмістом колоїдного кальцію, що зумовлює м'якшу консистенцію та підвищену в'язкість продуктів [14]. У молоці A1A1 міцелі більш компактні, що сприяє швидшій денатурації під дією ферментів і вищій стійкості при нагріванні [10]. Такі структурні відмінності пояснюють різну поведінку молока при переробці – від ферментного зсідання до формування згустків.

Найвиразніше вплив β -казеїнових варіантів спостерігається під час сичужної коагуляції, яка є ключовим етапом у виробництві сирів. Дослідження свідчать, що молоко з генотипом A1A1 характеризується коротшим часом зсідання та вищою міцністю згустку, що сприяє збільшенню виходу твердого сиру [11]. У молока з генотипом A2A2 процес зсідання триває довше (на 20–30 %), а сформований згусток має менш щільну та більш пористу структуру, що знижує вихід сиру на 3–6 % [28]. Молоко зі змішаним генотипом A1A2 за більшістю параметрів займає проміжне положення. Ці розбіжності обумовлені різницею у доступності пептидних зв'язків для ферментації хімозином та характером розподілу кальцію між фазами.

У кислотно-сичужному методі, який застосовують для виготовлення м'яких сирів, різниця між молоком різних β -казеїнових генотипів є менш вираженою. Згідно з результатами досліджень [30], при зниженні рівня рН до 5,4–5,0 білкова структура формується в основному завдяки процесу кислотного денатурування. Через це первинна структура β -казеїну впливає на властивості гелю незначно. Такі особливості роблять молоко генотипу А2А2 придатним для виробництва м'яких і кисломолочних сирів, а також йогуртів і десертів, які мають підвищену здатність утримувати вологу [16].

Відмінності у технологічних властивостях обумовлюють вибіркового підхід до застосування молока з різними β -казеїновими генотипами. Молоко А1А1 найкраще підходить для виготовлення твердих сирів та продуктів із високим вмістом білка, тоді як молоко А2А2 є оптимальним для створення йогуртів, м'яких сирів, дитячого харчування та функціональних напоїв.

У практиці можливе селективне сортування молока за генотипом β -казеїну з метою оптимізації технологічних процесів і підвищення стабільності продукту без додаткових добавок.

Поліморфізм β -казеїну чинить істотний вплив на колоїдні та технологічні властивості молока. Генотип А1А1 забезпечує кращу коагуляційну здатність і вищий вихід твердого сиру, тоді як А2А2 підвищує гідратацію, знижує синерезис і сприяє утворенню м'яких, пластичних гелів. Ці особливості зумовлюють необхідність диференційованого використання молока за напрямками переробки та врахування генетичного складу стада під час планування технологій виробництва.

1.5 Сучасний стан досліджень щодо використання молока А2 у сироробстві

Сироваріння посідає важливе місце серед галузей молокопереробної промисловості, адже саме якісний і кількісний склад білків молока визначає його технологічні властивості. До цих властивостей належать здатність до зсідання, формування та структура сирного згустку, а також вихід продукту. Серед білкових компонентів особлива роль відводиться β -казеїну, який, згідно з численними

дослідженнями, демонструє позитивну кореляцію з фактичним виходом сиру і впливає на щільність та структурні характеристики згустку.

Як показано у [8], β -казеїн демонструє позитивний зв'язок із фактичним виходом сиру, тому його кількість і якість мають прямий вплив на економічну ефективність виробництва.

У роботі встановлено [45], що молоко з генотипами β -казеїну A1A2 і A2A2 характеризується гіршими сичужними властивостями та нижчим виходом сиру порівняно з молоком A1A1.

Дослідження [34] свідчать, що при виробництві м'яких сирів з молока β -казеїну A2A2 можна отримати продукт із ніжною консистенцією, високою вологоутримуючою здатністю та приємним вершковим смаком. Однак недостатньо вивчено питання впливу генотипу β -казеїну на вихід, склад та збереження поживних речовин у сирі, що є критично важливим для оптимізації технологічних процесів.

Переваги молока типу A2 полягають у його кращій переносимості для споживачів, а також у підвищеній стабільності білкової структури під час теплової обробки. Проте існують певні технологічні виклики. Серед них – знижена швидкість коагуляції та менша щільність згустку, що може негативно впливати на економічну ефективність виробництва. Крім того, бракує достатньо промислових досліджень, які б детально вивчали вплив β -казеїну A2 на структурно-механічні властивості сирів і збереження їхніх поживних якостей у процесі дозрівання. Також досі відсутні стандартизовані технологічні режими для використання A2-молока у виготовленні різних видів сирів.

На сучасному етапі одним із ключових напрямів розвитку наукових досліджень є визначення оптимальних умов коагуляції для молока, що має різні генотипи β -казеїну. Особлива увага приділяється вивченню впливу іонів кальцію та ферментних препаратів на покращення коагуляційних властивостей молока типу A2. У цьому ж контексті розробляються адаптовані технологічні процеси для виробництва м'яких і напівтвердих сирів на основі молока A2, а також оцінюється харчова цінність, збереження біоактивних компонентів і органолептичні якості

кінцевого продукту. Застосування таких підходів дозволить створювати інноваційні функціональні сири з прогнозованими властивостями та високою привабливістю для споживачів

1.6 Наукове обґрунтування та перспективи подальших досліджень

Сучасна молочна галузь переживає період активного оновлення методів оцінювання сировини. Це зумовлено швидким розвитком науки і техніки, а також зростанням вимог споживачів до безпечності, натуральності та функціональності харчових продуктів. У цьому контексті актуальними залишаються наукові роботи, присвячені вивченню впливу спадкових особливостей білкових компонентів молока на його технологічні властивості. Одним із ключових об'єктів таких досліджень є білок β -казеїн, генетичні варіанти якого (A1, A1/A2, A2) формують відмінності у структурі казеїнових міцел. Такі зміни позначаються на процесах зсідання, щільності згустку та характеристиках готового продукту, зокрема сирів.

У роботі [10] показано, що навіть одна амінокислотна заміна може змінити просторову структуру білкової молекули, що впливає на гідрофобні взаємодії і, відповідно, на фізико-хімічні властивості згустку. Молоко генотипу A2A2 вирізняється вищою біологічною цінністю, але демонструє повільніше коагулювання та менш щільну структуру при виробництві твердих сирів. У той же час воно має переваги при виготовленні кисломолочної продукції, забезпечуючи ніжну консистенцію та покращену вологоутримуючу здатність.

Наукова значущість роботи полягає у тому, що результати дають змогу поєднувати генетичні дослідження із технологічними рішеннями у виробництві молочних продуктів. Зокрема, дані можуть бути використані для розроблення селекційних стратегій, спрямованих не лише на підвищення надоїв, а й на формування бажаних технологічних властивостей сировини. Це створює підґрунтя для прогнозування якості сирів і оптимізації технологічних режимів переробки.

Надалі науковий пошук доцільно розвивати у таких напрямках: молекулярна деталізація процесів формування казеїнових міцел і з'ясування ролі β -казеїнових варіацій у взаємодії з іонами кальцію та фосфатами; оцінювання поведінки молока

різних генотипів під впливом інноваційних технологій – ультразвуку, високого тиску, мембранних методів або ферментативних модифікацій; дослідження стабільності якості готових продуктів із різного за білковим складом молока протягом зберігання та транспортування; розроблення математичних моделей, які дадуть можливість прогнозувати вплив білкового поліморфізму на вихід та якість кінцевого продукту; поглиблення нутріціологічного аспекту, зокрема дослідження засвоюваності білків β -казеїну та їх впливу на мікробіоту людини; практична інтеграція результатів, що передбачає впровадження рекомендацій з розподілу сировини різних генотипів відповідно до напрямку її переробки.

Підсумовуючи, зазначимо: β -казеїновий поліморфізм виступає важливим чинником, який визначає не лише поживну, а й технологічну цінність молока. Здобуті наукові результати формують основу для створення інноваційних технологій переробки, здатних забезпечити стабільну якість продукції та підвищити ефективність виробництва. Поєднання генетичних, біохімічних і технологічних підходів відкриває нові можливості для модернізації молочної промисловості й розроблення продуктів з покращеними функціональними характеристиками.

Висновки за розділом 1

Проведений аналітичний огляд літературних джерел свідчить, що якість молока та ефективність його переробки значною мірою визначаються генетичними особливостями білкових фракцій, насамперед β -казеїну, який є основним компонентом казеїнового комплексу та впливає на структурно-функціональні властивості молока.

Встановлено, що поліморфізм β -казеїну (A1, A2, B та інші варіанти) зумовлений точковими мутаціями у гені CSN2, які змінюють амінокислотну послідовність білка та впливають на його поведінку під час коагуляції, теплової обробки та ферментативного гідролізу.

Згідно з результатами попередніх досліджень, молоко з варіантом β -казеїну A2 відзначається кращою засвоюваністю, меншим утворенням

біоактивних пептидів із потенційно негативною дією (зокрема ВСМ–7), а також більшою придатністю до переробки у функціональні молочні продукти.

Узагальнення сучасних наукових даних дозволяє стверджувати, що генотип β –казеїну впливає не лише на біологічну цінність молока, але й на такі технологічні показники, як швидкість зсідання, міцність згустку, вихід сиру, структурні характеристики білково-жирової матриці.

Виявлено суттєві відмінності у розповсюдженості алелей β –казеїну серед різних порід великої рогатої худоби, що відкриває можливість селекційного добору тварин із бажаним генотипом (переважно А2А2) для отримання сировини з підвищеною технологічною та харчовою цінністю.

Аналіз стану молочної галузі свідчить про зростання тенденції до виробництва А2–молока як складової концепції здорового харчування. Українська молочна промисловість має потенціал для впровадження таких технологій, проте потребує системного наукового обґрунтування впливу генетичних варіацій β –казеїну на якість молока і продуктів його переробки.

На основі аналізу літератури визначено, що існує дефіцит узагальнених експериментальних даних щодо комплексної оцінки впливу β –казеїнового поліморфізму на фізико-хімічні, біохімічні, сенсорні властивості молока та молочних продуктів в умовах українських порід і технологій переробки.

З урахуванням виявлених прогалин у наукових даних сформульовано мету дослідження – встановлення впливу генетичних варіацій β –казеїну на якість молока-сировини та продуктів його переробки для підвищення ефективності виробництва молочних продуктів із високою харчовою цінністю.

Розділ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкт і умови дослідження

Для проведення дослідження було відібрано поголів'я великої рогатої худоби української чорно-рябої молочної породи, що утримується в господарстві Сумського району (Україна). Відбір проб молочної сировини здійснювали у 2023–2025 роках, по 10 кг вранішнього молока від дев'яти корів, що мали відмінні генотипи за β -казеїном (A1A1, A1A2 і A2A2). Безпосередньо після доїння зразки привозили до лабораторії університету, відразу охолоджували у холодній воді до температури $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ і витримували в холодильній камері $((4\pm 2)^\circ\text{C})$ не довше 6 годин.

2.2 Виготовлення зразків сиру

2.2.1 Виробництво сиру кисломолочного

Зразки кисломолочного сиру для дослідження отримували з незбираного молока методом кислотної коагуляції білків відповідно класичної технології та ДСТУ 4554:2006 «Сир кисломолочний. Технічні умови». Одночасно виготовляли дев'ять варіантів сиру з молока різного генотипу. Дослідні зразки сирів маркували як K1–K9 відповідно до номера зразка молочної сировини.

Для виготовлення кожного зразка сиру використовували 10 кг молока-сировини. Процеси пастеризації, заквашування, сквашування та подальшого формування сирного зерна виконували в лабораторних умовах.

Технологічний цикл виробництва кисломолочного сиру складався з таких стадій: вилучення механічних домішок з молока, температурна обробка $(78\pm 2)^\circ\text{C}$ з витримкою 20–30 секунд. Охолоджену до $(35\pm 2)^\circ\text{C}$ молочну масу інокулювали бактеріальними заквасками прямого внесення у кількості, рекомендованій виробником (2,8–4,0 г на 100 кг молочної суміші). До складу заквашувального препарату входила сукупність бактерій різних видів: *Lactobacillus lactis*; *Lactococcus lactis subsp. cremoris*; *Lactobacillus bulgaricus*; *Streptococcus*

thermophilus (мезофільно-термофільна закваска ХМТ-3, виробник Chr. Hansen, Данія). Після введення бактеріального комплексу молочну масу старанно перемішували 10–12 хвилин, після чого залишали для формування згустку. Коагуляція білків проходила при температурі $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ до досягнення рН 4,6–4,7, що тривало 4,0–4,5 години.

Наступним етапом було розрізання сформованого згустку на фрагменти розміром $2 \times 2 \times 2$ см, що займало 5–7 хвилин. Далі суміш витримували протягом 30–40 хвилин, сприяючи збільшенню кислотності та активізації процесу відділення сироватки. Після цього видаляли 40–60 % сироватки, а згусток піддавали поступовому нагріванню до $(38 \pm 1)^\circ\text{C}$ з витримкою 15–20 хвилин для подальшого підкислення та прискорення виділення сироватки.

Завершальним етапом було самопресування згустку, що сприяло остаточному видаленню сироватки та формуванню оптимальної вологості кисломолочного сиру. Сирну масу розподіляли у лавсанові мішки, наповнені на три чверті об'єму, і залишали для самопресування протягом 2–3 годин. Після цього готовий сир охолоджували до $(8 \pm 2)^\circ\text{C}$, фасували у пластикові контейнери та зберігали до моменту аналізу не довше 5 діб при температурі $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$.

2.2.2 Виробництво сиру м'якого кислотно-сичужним способом коагуляції білків

Досліджувані зразки сиру м'якого свіжого типу «Бринза» були вироблені з незбираного молока кислотно-сичужним способом коагуляції білків за традиційною технологією відповідно до вимог ДСТУ 7065:2009 «Бринза. Загальні технічні умови». Паралельно готували дев'ять зразків сиру із молока коров'ячого різного генотипу. В дослідженнях зразки сирів позначені як Б1...Б9 відповідно до номеру зразка молока-сировини.

На приготування сиру витрачалося 10 кг молока-сировини. Пастеризацію, заквашування, сквашування і наступне формування сирного зерна проводили в лабораторній сироварні.

Процес виготовлення зразків сиру свіжого типу «Бринза» в лабораторних умовах складається з наступних етапів: очищене від механічних домішок молоко пастеризують при температурі $(72 \pm 1)^\circ\text{C}$ з витримкою 20 с. В охолоджене до температури $(33 \pm 1)^\circ\text{C}$ молоко вносять бактеріальні препарати прямого внесення, в кількості, що рекомендована виробником (2,8–4,0 г на 100 кг молочної суміші). Заквашувальний препарат складається зі змішаних культур мікроорганізмів – *Lactobacillus lactis*; *Lactococcus lactis subsp. cremoris*; *Lactobacillus bulgaricus*; *Streptococcus thermophilus* (мезофільно-термофільна закваска WhiteDaily 80, виробник Chr. Hansen, Данія). Далі вносять розчин хлористого кальцію (з розрахунку 10 г на 100 кг молочної суміші). Підготовлений розчин сичужного ферменту вносять в кількості, що рекомендована виробником (2,9–3,5 мл на 100 кг молочної суміші). В дослідженні використовували 100 % хімозин «Albama 600» («Caglifacio Clerici», Італія). Після внесення усіх необхідних компонентів молочну суміш ретельно перемішують протягом 10–12 хвилин і залишають у спокої до утворення згустку. Зсідання молочної суміші здійснюють при температурі $(33 \pm 1)^\circ\text{C}$, контролюючи зміну рН до значення 5,3 од. Далі проводять розрізання згустку (на кубики розміром $1 \times 1 \times 1$ см, протягом 5–7 хвилин), обробку сирного зерна (вимішування протягом 10–15 хвилин). Далі залишають у спокої на 12–15 хвилин після чого видаляють 60–80 % сироватки. Сформований сирний пласт розрізають і розкладають по формах. Сирні головки самопресують (12 годин) і підпресовують під мінімальним навантаженням (2–3 години). Далі солять в розсолі (концентрація солі 18–20 %, температура $10\text{--}14^\circ\text{C}$) протягом 4 годин. Далі сирні головки пакують у вакуумні пакети і зберігають до моменту дослідження, але не більше 10 діб при температурі $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$.

2.2.3 Виробництво сиру м'якого термокислотним способом коагуляції білків

Досліджувані зразки сиру м'якого свіжого типу «Адигейський» були вироблені з незбираного молока термокислотним способом коагуляції білків за традиційною технологією відповідно до вимог ДСТУ 4395:2005 «Сири м'які.

Загальні технічні умови». У дослідженнях сир «Адигейський» виробляли шляхом згортання молочних білків під дією температури і внесеного 5 % розчину лимонної кислоти. Паралельно готували дев'ять зразків сиру із молока коров'ячого різного генотипу. В дослідженнях зразки сирів позначені як А1...А9 відповідно до номеру зразка молока-сировини.

На приготування сиру витрачалося 10 кг молока-сировини. Термічну обробку, підкислення (внесення розчину лимонної кислоти) і наступне утворення сирного зерна проводили в лабораторній сироварні.

В підготовлене пастеризоване при температурі (95 ± 1) °С молоко вносили 5 % розчин лимонної кислоти (з розрахунку 0,5–1 л розчину на 100 кг суміші), вливаючи обережно невеликими порціями по стінці ємності. Згусток у вигляді пластівців, що утворюється на поверхні, витримували при температурі (95 ± 1) °С протягом 5–7 хвилин. Після цього сирне зерно солять кухонною сіллю класу «Екстра» у кількості 1–2 % від маси сиру. Сирне зерно обережно перекладають у форми і залишають для охолодження та самопресування протягом 1,5–2 годин. За цей час сир два рази перевертають, злегка струшуючи форму. Далі сирні головки пакують у вакуумні пакети і зберігають до моменту дослідження, але не більше 10 діб при температурі (6 ± 2) °С.

2.2.3 Виробництво сиру м'якого термокислотним способом коагуляції білків

Досліджувані зразки сиру твердого типу «Гауда» були вироблені з незбираного молока за традиційною технологією відповідно до вимог ДСТУ 6003:2008 «Сири тверді. Загальні технічні умови». Паралельно готували дев'ять зразків сиру із молока коров'ячого різного генотипу. В дослідженнях зразки сирів позначені як Г1...Г9 відповідно до номеру зразка молока-сировини.

На приготування сиру витрачалося 10 кг молока-сировини. Пастеризацію, заквашування, сквашування і наступне формування сирного зерна проводили в лабораторній сироварні.

Процес виготовлення зразків сиру твердого типу «Гауда» в лабораторних умовах складається з наступних етапів: очищене від механічних домішок молоко пастеризують при температурі (72–75) °C з витримкою 20 с. В охолоджене до температури (36±1) °C молоко вносять суху закваску прямого внесення, в кількості, що рекомендована виробником. Закваска складається зі змішаних культур мікроорганізмів – *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. lactis var. Diacetylactis* («Dalton», Італія). Далі вносять розчин хлористого кальцію (з розрахунку 20–40 г на 100 кг суміші) і сичужний фермент «Albatax 600» (100 % хімозин) («Caglifacio Clerici», Італія). Суміш сквашують за температури (36±1) °C до утворення щільного згустку. Далі проводять розрізання згустку, обробку сирного зерна (вимішування, друге нагрівання при температурі (39±1) °C, обсушування сирного зерна). Сформовані сирні головки пресують, далі солять в розсолі (концентрація солі 18–20 %, температура 10–14 °C). Обсушують сир при температурі (10–12) °C протягом 4 годин. Обсушені сирні головки покривають захисним покриттям «Полісвед» і направляють на дозрівання при температурі (12±2) °C протягом 30 діб. Дозрілий сир зберігають у холодильній камері при температурі (6±2) °C.

2.3 Методи дослідження

Оцінювання якості відібраних зразків молока та сирів здійснювали згідно із загальноприйнятими методиками аналізу.

Визначення якісних параметрів молочної сировини проводили відповідно до ДСТУ 3662:2018, а контроль якості кисломолочного сиру здійснювали за ДСТУ 4554:2006, зразки м'яких сирів – згідно ДСТУ 7065:2009, ДСТУ 4395:2005, зразки твердих сирів – згідно ДСТУ 6003:2008.

Визначення густини молока виконували аерометричним способом, керуючись нормативами ДСТУ 6082:2009. Показники кислотності (pH) у молочній сировині та кисломолочному сирі встановлювали потенціометричним методом відповідно з регламентом ДСТУ 8550:2015.

Масова частка сухих речовин у досліджуваних зразках оцінювалася шляхом висушування до постійної маси відповідно до ДСТУ 8552:2015. Для визначення масової частки білка застосовували метод К'ельдаля, керуючись стандартами ДСТУ ISO 8968-1:2005 та ДСТУ 5038:2008. Визначення масової частки жиру проводили кислотним методом (методом Гербера) узгоджено з ДСТУ ISO 2446:2019.

Аналіз амінокислот в зразках сирів проводили методом іонообмінної рідинно-колоночної хроматографії за допомогою автоматичного аналізатора амінокислот «Т 339» (Чехія, Прага). За наступною методикою: зважений зразок (з вмістом білка близько 2 мг) помішають на дно пробірки, додають 0,5 мл дистильованої води і 0,5 мл концентрованої соляної кислоти. Пробірку охолоджують у суміші сухого льоду з ацетоном або рідкого азоту. Після того, як вміст пробірки замерзне, із неї відкачують повітря за допомогою вакуумного насосу для запобігання окислювання амінокислот у результаті гідролізу. Потім пробірку запаюють і ставлять на 24 години в термостат із постійною температурою (106 ± 1) °C. По закінченню гідролізу пробірку розкривають, попередньо охолодивши до кімнатної температури. Вміст кількісно переносять у скляний бюкс і розміщують у вакуум-ексикаторі над гранульованим їдким натрієм. Потім із ексикатора видаляють повітря за допомогою водяного насосу. Після висушування зразка, у бюкс додають 3–4 мл деіонізованої води і повторюють процедуру висушування. Підготовлений у такий спосіб зразок розчиняють у 0,3н літій цитратному буфері (pH 2,2) і наносять на іонообмінну колонку аналізатора амінокислот.

Оцінку органолептичних показників якості кисломолочного сиру здійснювали відповідно до положень ДСТУ 4554:2006 з урахуванням рекомендацій міжнародного стандарту ISO 22935-2:2023.

Для проведення органолептичного аналізу кисломолочного сиру за такими показниками, як зовнішній вигляд, консистенція, колір, смак та запах, було сформовано експертну комісію, до складу якої увійшли 15 непрофесійних

експертів з факультету харчових технологій Сумського національного аграрного університету.

Попередньо було здійснено підготовку експертів з метою ознайомлення з методикою проведення органолептичного аналізу кисломолочного сиру. Специфічні органолептичні показники якості кисломолочного сиру були визначені для експертів за допомогою еталонного сенсорного профілю, який відповідає вимогам ДСТУ 4554:2006. Відповідно до стандарту, зовнішній вигляд та консистенція кисломолочного сиру визначаються як м'яка, мазка або розсипчаста, допускається незначна крупинчастість і можливе часткове відділення сироватки. Колір повинен бути білим або з легким кремовим відтінком, рівномірно розподіленим по всій масі продукту. Смак і аромат повинні відповідати типовим характеристикам кисломолочного сиру цього виду, без сторонніх запахів чи присмаків.

На наступному етапі експерти здійснювали оцінювання органолептичних показників якості кисломолочного сиру, використовуючи 5-бальну шкалу. У цій системі балів значення 1 відповідає рівню «дуже погано», а 5 – «відмінно». Зведені середні значення результатів бальної оцінки було інтерпретовано у формі профілограми.

Також, експертна комісія оцінювала органолептичні показники якості кисломолочного сиру за допомогою описового методу. Отримані результати заносили до дегустаційного листа відмічаючи зафіксовані специфічні дескриптори зовнішнього вигляду, консистенції, кольору, смаку та запаху.

Усі аналітичні дослідження проводили з трикратним повторенням вимірювань. Одержані результати наведені в одиницях міжнародної системи СІ.

Оцінювання ефективності процесу виробництва кисломолочного сиру виконували згідно з рекомендаціями, наведеними у джерелі [9], шляхом аналізу коефіцієнта відновлення компонентів молока у сирній масі та порівняння фактичного виходу продукту з теоретичними розрахунками.

Відновлення складових молока (білка та жиру) у кінцевому продукті обчислювали за формулою:

$$R_{protein / fat} = \frac{(weight\ of\ milk_{protein / fat} - weight\ of\ whey_{protein / fat})}{weight\ of\ milk_{protein / fat}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $R_{protein / fat}$ – відновлення компонентів молока, а саме білка та жиру, в сири %; $weight\ of\ milk_{protein / fat}$ – маса в молоці білка та жиру, г; $weight\ of\ whey_{protein / fat}$ – маса в сироватці білка та жиру, г.

Ефективність виробництва сиру розраховували за формулою:

$$E = \frac{C}{Th_c} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де E – ефективність виробництва сиру, %; C – вихід сиру експериментальний, %; Th_c – вихід сиру теоретичний, %.

Експериментальний вихід сиру із досліджуваних зразків молока вираховували за формулою:

$$C = \frac{m_{cheese}}{m_{milk}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де C – вихід сиру, %; m_{cheese} – маса свіжого сиру, кг; m_{milk} – маса молока, кг.

Теоретичний вихід сиру розраховували за формулою:

$$Th_c = \frac{(0.93 \cdot \% fat + \% protein - 0.1) \cdot 1.09}{\frac{(100 - \% W)}{100}}, \quad (4)$$

де Th_c – теоретичний вихід сиру, %; $\% fat$, $\% protein$ – масова частка жиру, білка в молоці, %; $\% W$ – масова частка води в сири, %.

Обробку отриманих експериментальних даних виконували за допомогою комп'ютерної техніки із використанням програмного забезпечення Excel з пакету Microsoft 365 (Microsoft Corporation, Вашингтон, США). Величина ймовірності

статистичної похибки (p) не перевищувала 0,05, що підтверджує високий рівень точності отриманих результатів ($P > 0,95$).

Статистичний аналіз результатів здійснювали з використанням програмного забезпечення IBM SPSS Statistics 26.0. Для кожного показника (рН, густина, сухі речовини, білок, жир, співвідношення білок:жир) розраховували середнє значення, медіану, мінімум, максимум, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації.

Нормальність розподілу перевіряли за критерієм Шапіро–Уїлка, однорідність дисперсій – за критерієм Левена.

Для оцінки взаємозв'язків між генотипом β -казеїну та фізико-хімічними показниками виконували кореляційний аналіз з визначенням коефіцієнтів Пірсона або Спірмена (залежно від типу розподілу). Візуалізацію здійснювали у вигляді діаграм розсіювання, гістограм і двовимірних щільнісних графіків.

Для інтегральної оцінки взаємодії «білок – жир – генотип» побудовано тривимірну поверхню за методом Distance Weighted Least Squares, що дало можливість встановити узагальнені закономірності формування білково-жирового профілю.

Статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

Висновки за розділом 2

Проведено аналітичне обґрунтування та визначено методологічні засади дослідження впливу генетичних варіацій β -казеїну на якість молока-сировини та продуктів його переробки. Розроблено експериментальну схему, що передбачає порівняльне вивчення фізико-хімічних, технологічних та сенсорних показників молока різних генотипів (A1A1, A1A2, A2A2).

Визначено основні показники якості молока, що підлягають контролю в процесі дослідження: масова частка білка, жиру, сухих речовин, кислотність, густина.

Описано методики лабораторних аналізів, що забезпечують достовірність і відтворюваність результатів: визначення хімічного складу молока – згідно з

державними стандартами; оцінювання якості готових продуктів – шляхом фізико-хімічних, мікробіологічних і сенсорних методів.

Для оцінки ефективності переробки розроблено систему показників технологічної ефективності, яка включає вихід готового продукту, вміст сухих речовин у сирі, втрати білкових і жирових компонентів у сироватці, а також коефіцієнт ефективності виробництва.

Розроблено поетапну методику проведення експерименту, яка передбачає такі етапи: генотипування корів за β -казеїном; відбір та стандартизацію молока-сировини відповідно до фізико-хімічних параметрів; виготовлення зразків сирів; оцінку якісних і кількісних характеристик отриманих продуктів; а також проведення статистичного аналізу отриманих даних.

Для достовірності результатів передбачено застосування методів математичної статистики – дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів, що дозволяє об'єктивно оцінити вплив генетичних варіацій β -казеїну на основні показники якості.

Обґрунтовано, що така методична схема забезпечує повноту та репрезентативність досліджень, дозволяє простежити взаємозв'язок між генотипом тварини, складом молока та властивостями кінцевого продукту, а також створює наукову основу для подальшої розробки практичних рекомендацій з використання молока різних генотипів у молокопереробній галузі.

ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ

Важливою характеристикою якості молока-сировини є його фізико-хімічний склад, який визначає харчову цінність, технологічні властивості та придатність для переробки. На склад і властивості молока впливають різноманітні фактори – порода тварин, умови годівлі, період лактації, а також генетичні особливості, зокрема варіанти білка β -казеїну.

З огляду на це, було проведено дослідження фізико-хімічних показників молока корів різних генотипів β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2), відібраного щовесни 2023–2025 років. Дослідження мало на меті оцінити вплив генетичних варіантів білка на основні якісні показники молока та визначити тенденції їх зміни в динаміці за роками. Результати наведені в таблиці 3.1.

Аналіз кислотності молока показав, що значення рН коливалися у межах 6,51–6,84. Генотипи β -казеїну демонстрували незначні відмінності між собою. Зокрема, молоко корів з генотипом A1A1 мало середнє значення рН близько 6,65–6,71, A1A2 – 6,66–6,77, а A2A2 – 6,66–6,69. Найвищі показники кислотності спостерігалися у зразків A1A2 у 2024–2025 роках, тоді як у A2A2 кислотність залишалася стабільною протягом трьох років. Таким чином, вплив генотипу на кислотність молока виявився незначним, що свідчить про відносну стабільність цього показника незалежно від варіанту β -казеїну.

Густина молока коливалася від 1025 до 1028 кг/м³, і суттєвих відмінностей між генотипами не виявлено. У 2023 році у корів з генотипом A2A2 спостерігалася найнижча густина (1025 кг/м³), тоді як інші зразки мали значення у межах 1026–1027 кг/м³. У 2024–2025 роках показники густини залишалися майже на однаковому рівні для всіх груп. Це свідчить про те, що густина молока менш чутлива до генетичних варіацій β -казеїну, але може дещо коливатися залежно від року та індивідуальних особливостей корів.

Фізико-хімічні показники зразків молока-сировини з різним генотипом

Рік	Зразок № ¹	Генотип β- казеїну	Кислотність, од. рН	Густина, кг/м ³	Масова частка сухих речовин, %	Масова частка білка, %	Масова частка жиру, %
2023	1	A1A1	6,58	1026	12,54	2,93	4,34
	2		6,55	1027	12,43	2,96	4,02
	3		6,62	1026	12,65	2,85	4,66
	4	A1A2	6,52	1026	12,47	2,95	4,26
	5		6,56	1027	12,42	3,04	3,79
	6		6,51	1027	12,45	2,93	3,97
	7	A2A2	6,64	1026	12,24	2,97	4,66
	8		6,65	1026	12,78	2,89	4,65
	9		6,69	1025	13,08	2,88	5,07
2024	1	A1A1	6,76	1027	12,98	3,03	4,02
	2		6,74	1027	12,69	2,91	3,59
	3		6,72	1028	12,84	2,95	3,05
	4	A1A2	6,77	1028	12,88	2,97	3,27
	5		6,84	1025	12,42	2,82	3,65
	6		6,82	1028	12,88	2,94	3,75
	7	A2A2	6,79	1027	12,83	2,96	3,46
	8		6,77	1025	12,40	2,82	4,10
	9		6,79	1027	12,56	2,86	3,79
2025	1	A1A1	6,61	1025	12,64	2,91	4,86
	2		6,63	1027	12,92	3,00	3,62
	3		6,63	1026	12,65	2,9	3,55
	4	A1A2	6,79	1027	12,99	3,03	4,58
	5		6,66	1026	12,64	2,9	4,27
	6		6,76	1025	12,55	2,87	4,36
	7	A2A2	6,67	1028	13,19	3,11	4,26
	8		6,67	1028	12,99	3,03	3,71
	9		6,66	1025	13,25	3,15	5,07

Молоко корів A2A2 мало вищу масову частку сухих речовин у динаміці за три роки, що коливалася від 12,24% до 13,25%. Для зразків A1A1 та A1A2 значення сухих речовин були трохи нижчими, у межах 12,42–12,99%. Відзначено тенденцію до зростання сухих речовин у A2A2 у 2025 році, що свідчить про підвищену технологічну цінність цього молока для переробки на сир та інші молочні продукти. У 2024 році всі генотипи мали дещо нижчі показники сухих речовин порівняно з 2023 і 2025 роками.

¹ Примітка: номер зразка молока-сировини відповідає ідентифікаційному номеру дослідної корови, від якої систематично здійснювався відбір молока.

Білкова складова молока також показала помірний вплив генотипу. Значення масової частки білка коливалися від 2,82% до 3,15%. Генотип A2A2 у 2025 році демонстрував вищі показники білка (3,11–3,15%), тоді як у 2024 році спостерігалось невелике зниження білка у всіх групах. Молоко A1A1 та A1A2 характеризувалося стабільними, але трохи нижчими значеннями білка (2,87–3,03%). Така тенденція свідчить про перевагу генотипу A2A2 у формуванні молока з підвищеним вмістом білка, що є важливим показником харчової та технологічної цінності продукту.

Жирність молока коливалася у межах 3,05–5,07%. Генотип A2A2 стабільно демонстрував вищу жирність протягом усіх років спостережень, особливо у 2023 і 2025 роках (4,65–5,07%). Водночас генотипи A1A1 та A1A2 мали дещо нижчі значення, хоча окремі зразки A1A1 у 2025 році досягали 4,86%. Високий рівень жиру у молоці A2A2 підтверджує його переваги для виготовлення сирів та інших молочних продуктів з підвищеним вмістом жирів.

Аналіз динаміки показників за роками продемонстрував наступні результати. У 2023 році молоко генотипу A2A2 характеризувалося підвищеним вмістом жиру та білка, тоді як рівень кислотності та густина залишалися в межах середніх значень. У 2024 році було зафіксовано незначне зменшення концентрації сухих речовин та білка у молоці всіх досліджуваних генотипів, водночас кислотність мала тенденцію до зростання. У 2025 році спостерігалось підвищення показників сухих речовин, білка та жиру в молоці генотипу A2A2, що додатково підтверджує його високу технологічну цінність.

Загалом результати вказують на стабільну перевагу генотипу A2A2 за рівнем білка, жиру та сухих речовин, що робить його більш перспективним для молокопереробки та створення продуктів із підвищеною харчовою цінністю. Водночас кислотність і густина молока виявилися менш залежними від генотипових особливостей.

Отримані результати фізико-хімічних показників зразків молока-сировини (табл. 3.1) показують, що варіації β -казеїну суттєво не впливають на кислотність чи густину молока. Середній вміст сухих речовин у зразках молока коливається на

рівні ($12,87 \pm 0,01$) % для всіх модифікацій генотипів β -казеїну. Однак встановлено, що значення вмісту білка у молоці A2A2 дещо вище (в середньому на 0,1 %) ніж в молоці A1A1 та A1A2. Вміст жиру навпаки в молоці A2A2 нижче ніж A1A2, але вище показник жиру в молоці A1A1.

Отримані результати узгоджуються з висновками науковців [1, 32, 42, 46]. Показано, що генетична варіації β -казеїну не впливає на якісні показники молока-сировини. Натомість, в роботі [6] корови з генотипом A2A2 мають вищий відсоток жиру в молоці, ніж їхні аналоги A1A1 і A1A2.

Розрахунки співвідношення білок:жир показали, що зразки молока з генотипом A1A1 мали вищі значення (в середньому дорівнює 0,73), порівняно із зразками молока з генотипом A1A2 (0,67) і A2A2 (0,71).

Також встановлено, що досліджувані зразки мають типовий склад для свіжого коров'ячого молока та узгоджуються з вимогами ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови».

Для об'єктивної оцінки отриманих результатів застосовано статистичний аналіз з використанням програмного забезпечення SPSS Statistics, який дозволив встановити закономірності варіювання показників та виявити достовірні відмінності між групами. Результати аналізу представлено в таблиці 3.2.

На основі проведеного дослідження встановлено, що всі ключові показники молока-сировини знаходяться в межах, характерних для натурального коров'ячого молока високої якості. Водночас рівень варіативності деяких компонентів свідчить про вплив генетичних характеристик тварин.

Рівень кислотності pH ($6,68 \pm 0,09$) підтверджує, що молоко має свіжий стан без ознак скисання; показник зберігає стабільність ($CV = 1,4$ %), що вказує на однорідність зразків за даним параметром.

Густина молока ($1026,5 \pm 1,05$ кг/м³) демонструє надзвичайно низький коефіцієнт варіації ($CV = 0,1$ %), що вказує на природну концентрацію компонентів без домішок води.

**Статистичний аналіз фізико-хімічні показники зразків молока-сировини
з різним генотипом (2023-2025 рр.)**

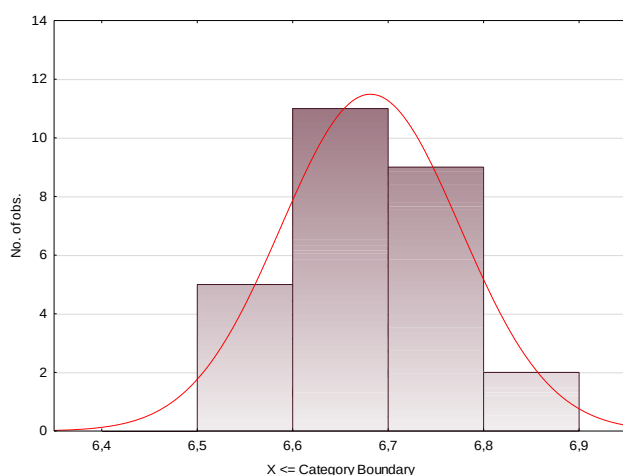
Показник	Середнє арифметичне	Медіана	Мінімум	Максимум	Стандартне відхилення (SD)	Коефіцієнт варіації (CV%)
Кислотність, од. рН	6,68	6,67	6,51	6,84	0,09	1,40
Густина, кг/м ³	1026,48	1027,00	1025,00	1028,00	1,05	0,10
Масова частка сухих речовин, %	12,72	12,65	12,24	13,25	0,26	2,07
Масова частка білка, %	2,95	2,94	2,82	3,15	0,08	2,76
Масова частка жиру, %	4,09	4,02	3,05	5,07	0,54	13,15
Співвідношення білок:жир	0,73	0,74	0,57	0,97	0,10	13,50

Масова частка сухих речовин ($12,72 \pm 0,26$ %) перебуває в межах стандартних показників для якісного коров'ячого молока; рівень варіативності невисокий ($CV = 2,1$ %), що підтверджує стабільність складу. Масова частка білка ($2,95 \pm 0,08$ %) відповідає типовим нормам ($2,8$ – $3,2$ %); низький коефіцієнт варіації ($CV = 2,76$ %) свідчить про генетичну сталість білкового компоненту. Масова частка жиру ($4,09 \pm 0,54$ %) показує найвищу варіативність ($CV = 13,15$ %), що вказує на значний вплив генотипових особливостей та фізіологічного стану тварин на жирність молока.

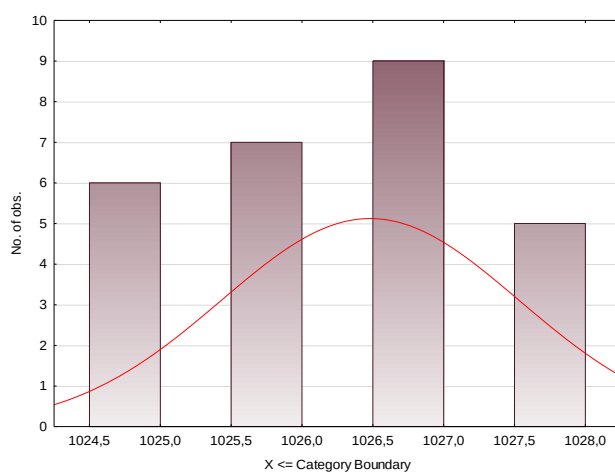
Отримані результати демонструють, що молоко-сировина різних генотипів має високу фізико-хімічну якість, стабільний вміст білка і сухого залишку, проте відзначається змінною жирністю. Найбільшу варіабельність виявлено саме у показнику жиру, який є ключовою диференційною ознакою між генотипами корів. Таким чином, генетичні особливості тварин суттєво впливають на жирову складову молока, тоді як параметри білка та фізичні характеристики залишаються відносно сталими й відповідають нормам ДСТУ 3662:2018.

Для аналізу отриманих даних було застосовано методи статистичної обробки, зокрема побудову гістограм розподілу для кожного досліджуваного параметра: кислотності, густини, вмісту сухих речовин, білка, жиру та співвідношення білок/жир. Це дозволило провести візуальну оцінку характеру варіації показників, визначити ступінь їхньої однорідності та відповідність нормальному (гаусовому) розподілу.

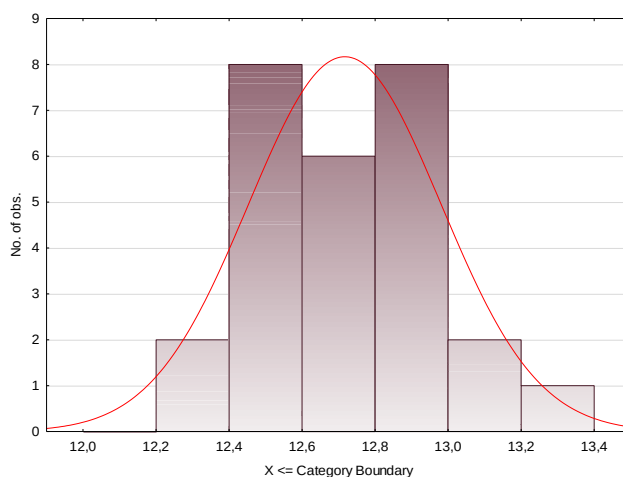
Побудовані гістограми (рис. 3.1) відображають закономірності змін фізико-хімічних властивостей молока залежно від генотипу β -казеїну та дають можливість встановити рівень стабільності й природної мінливості показників.



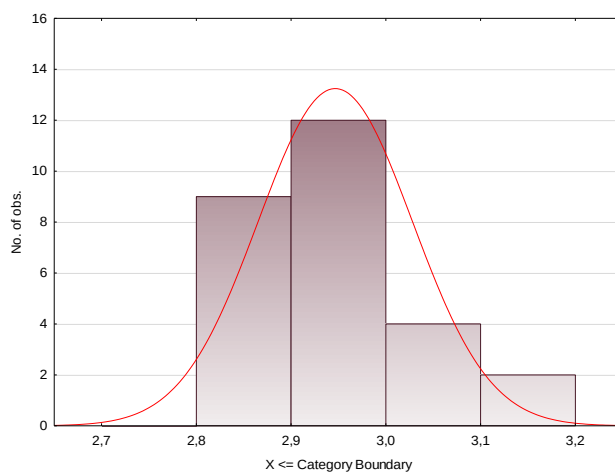
а



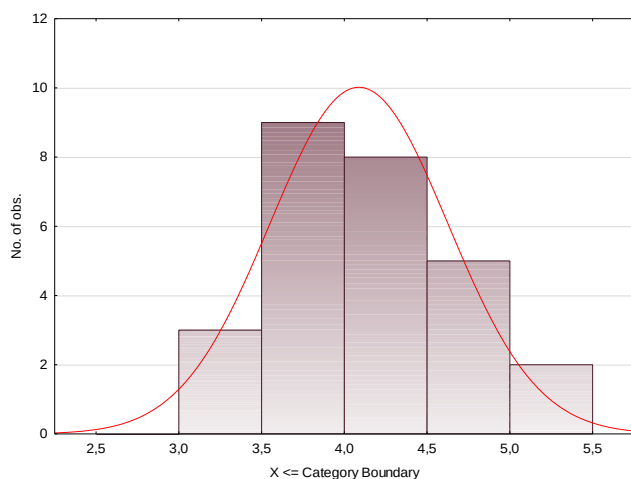
б



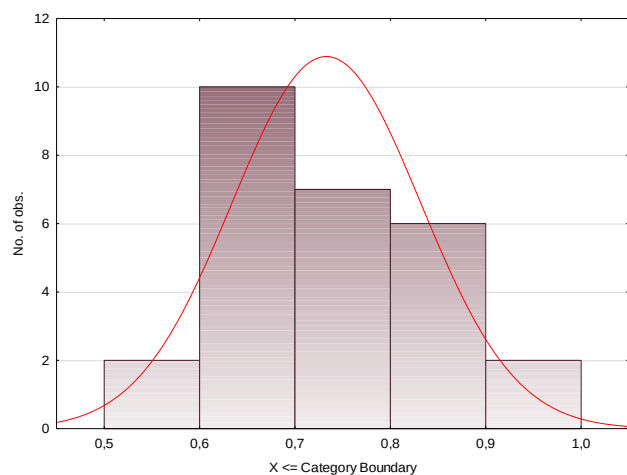
в



г



д



е

Рис. 3.1. Гістограми розподілу:

- а) кислотності; б) густини; в) вміст сухих речовин;
г) вмісту білка; д) вмісту жиру; е) співвідношення білок:жир

Гістограма розподілу показника рН (рис. 3.1а) показує, що розподіл даних має форму, близьку до нормального ($p > 0,10$), що свідчить про природну варіабельність показника в межах допустимих значень. Більшість зразків мають кислотність (рН) у діапазоні 6,6–6,8, що відповідає показникам свіжого молока-сировини. Це свідчить про стабільність якості молока незалежно від генотипу β -казеїну. Відсутність виражених «хвостів» у розподілі вказує на однорідність зразків і стабільні умови зберігання та відбору проб.

За результатами гістограми розподілу густини (рис. 3.1б) визначено, що показник має помірну асиметрію ($p = 0,15\text{--}0,20$) зі зміщенням моди в бік більших значень. Це може бути зумовлено варіацією складу сухих речовин або різницею у вмісті жиру та білка між генотипами. Загалом густина перебуває в межах 1,026–1,030 г/см³, що характерно для натурального молока без розведення.

Гістограма вмісту сухих речовин (рис. 3.1в) демонструє близький до нормального розподіл ($p > 0,20$). Середні значення знаходяться на рівні 12,6–12,8 %, що є типовим для високоякісної молочної сировини. Незначна варіабельність показує сталість складу молока та відсутність технологічних відхилень у період збору проб.

Розподіл вмісту білка (рис. 3.1г) має чітко виражений симетричний пік, що добре узгоджується з нормальною кривою ($p > 0,25$). Середній вміст білка становить 3,0–3,2 %, а коефіцієнт варіації не перевищує 5 %, що свідчить про стабільність білкового складу молока. Це підтверджує вплив генотипу β -казеїну на структуру білкових фракцій: A1A1 характеризується дещо вищим рівнем білка, тоді як A2A2 – більш збалансованим білково-жировим профілем.

На основі гістограми вмісту жиру (рис. 3.1д) встановлено, що розподіл має форму, близьку до нормальної ($p > 0,20$). Більшість значень зосереджені поблизу 4,0 %, що є типовим для коров'ячого молока. Це свідчить про рівномірний розподіл жирності без значних коливань, що підтверджує однорідність молока-сировини та стабільність умов годівлі. Незначні коливання у бік вищих значень можуть бути властиві молоку корів генотипу A2A2.

Розподіл співвідношення «білок/жир» (рис. 3.1е) характеризується слабкою правобічною асиметрією ($p = 0,15$), що зумовлено варіацією між генотипами. Середнє співвідношення становить 0,70–0,75, що відповідає збалансованому складу молока. Вищі значення спостерігаються у зразків A1A1, що мають підвищений білковий вміст, тоді як у A2A2 співвідношення менше через більшу жирність. Такий розподіл підтверджує генетично зумовлений вплив β -казеїну на білково-жировий профіль молока.

Таким чином, аналіз гістограм показує, що всі основні фізико-хімічні показники молока корів різних генотипів β -казеїну мають близький до нормального розподіл, що свідчить про однорідність вибірки, відсутність екстремальних значень і високу якість дослідженої сировини. Отримані результати підтверджують, що генотип β -казеїну впливає на хімічний склад молока, зокрема на співвідношення білка та жиру, однак не порушує природного варіаційного закону.

Для більш глибокого аналізу хімічного складу молока-сировини створено тривимірну гістограму (рис. 3.2), яка відображає взаємозв'язок між рівнем білка (%) та вмістом жиру (%) у зразках молока корів із різними генотипами β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2). Такий графічний метод дозволяє наочно показати співвідношення

ключових компонентів молока і оцінити рівень їхньої варіативності в рамках досліджуваної вибірки.

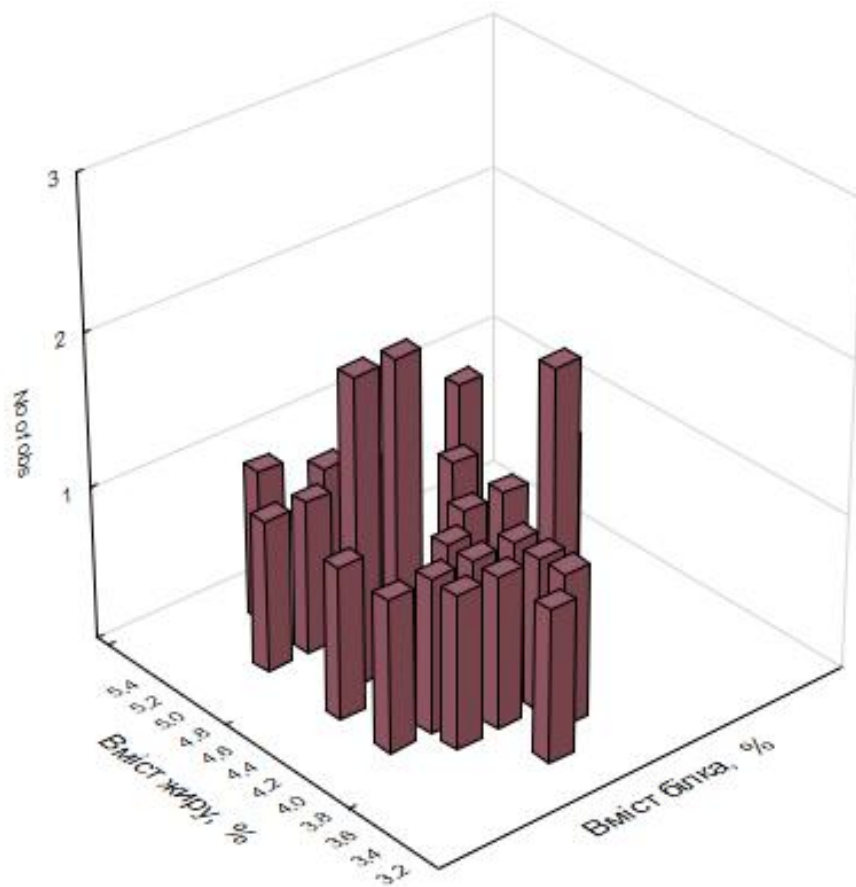


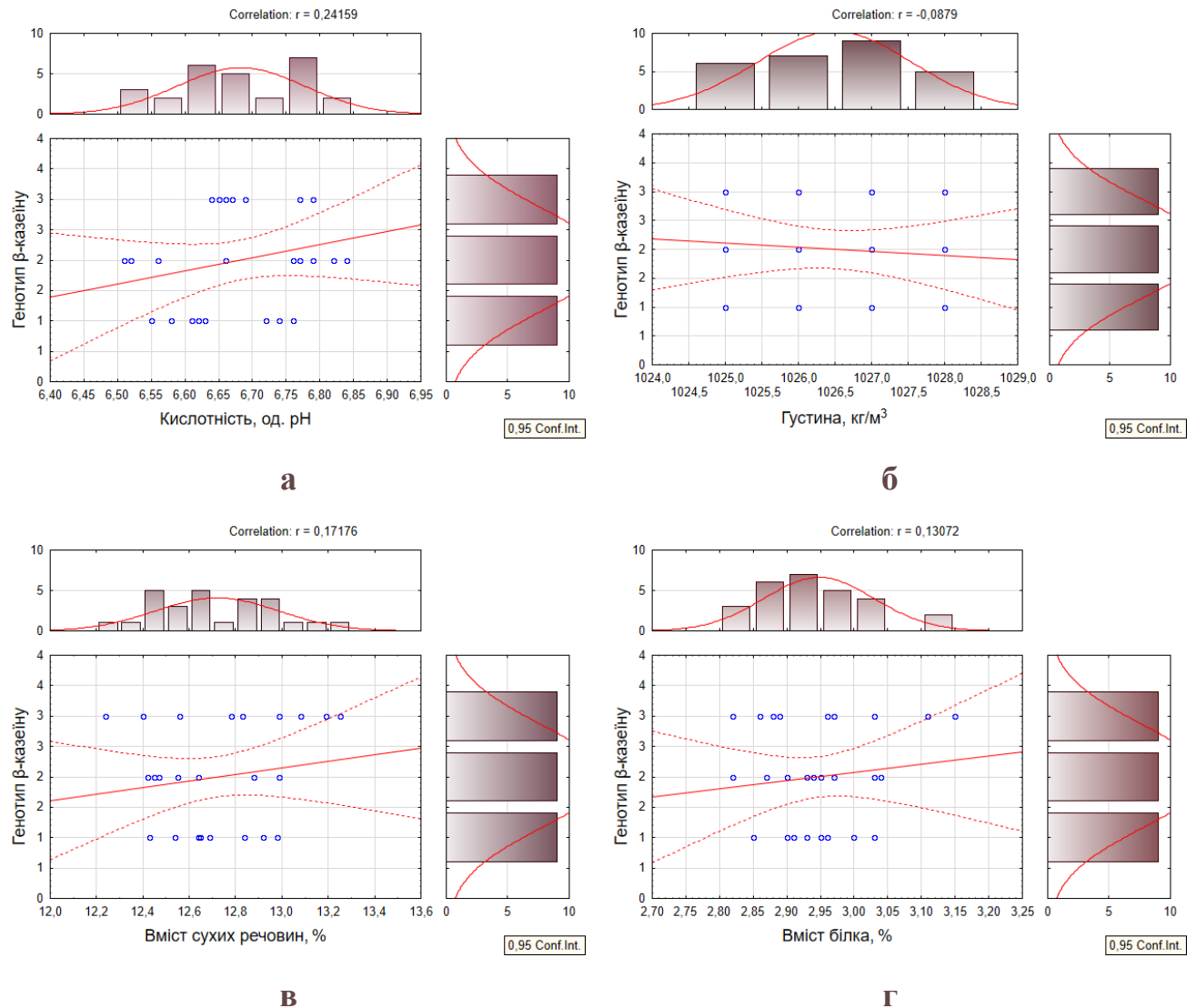
Рис. 3.2. Двовимірна гістограма «білок-жир»

За результатами двовимірної гістограми, що відображає співвідношення показників «Вміст білка» і «Вміст жиру» у зразках коров'ячого молока, встановлено, що основна маса спостережень зосереджена в межах середніх значень обох компонентів. Це свідчить про стабільність хімічного складу молока за вмістом жиру і білка. Відсутність чітко вираженої лінійної тенденції між показниками вказує на те, що вміст жиру та білка у коров'ячому молоці змінюється незалежно або з незначною кореляцією. Такі коливання можуть бути зумовлені природними біологічними особливостями тварин, умовами годівлі, сезоном лактації чи технологічними факторами.

Таким чином, отримані результати свідчать, що між вмістом білка і жиру існує помірна позитивна кореляція, характерна для натурального молока, де

зростання жирності супроводжується підвищенням білкової частки. Це вказує на збалансований склад молока та оптимальні умови годівлі корів.

Для оцінки взаємозв'язку між генотипами β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) та ключовими показниками якості молока-сировини побудовано кореляційні діаграми розсіювання (рис. 3.3). Обчислені коефіцієнти кореляції (r) демонструють силу та напрям взаємного впливу між досліджуваними параметрами.



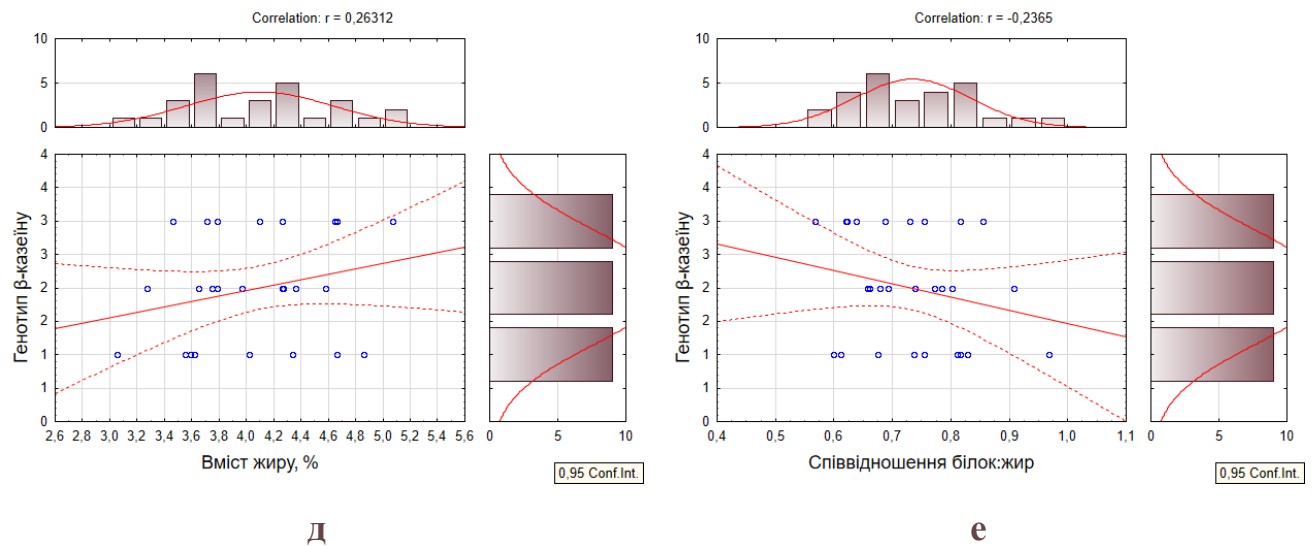


Рис. 3.3. Кореляційний аналіз залежності між фізико-хімічними показниками молока-сировини та генотипом β -казеїну у корів (1 – A1A1, 2 – A1A2, 3 – A2A2):

а) кислотності; б) густини; в) вміст сухих речовин;
г) вмісту білка; д) вмісту жиру; е) співвідношення білок:жир

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3а) проведено кореляційний аналіз, який виявив слабку позитивну залежність між генотипом β -казеїну та кислотністю молока ($r = 0,2416$). Середній показник кислотності склав $6,68 \pm 0,09$ рН, з межами варіації від 6,51 до 6,84. У тварин із генотипом A2A2 спостерігалася тенденція до підвищення рН (зниження кислотності), що може свідчити про покращену стабільність білкового комплексу молока цього типу. Однак цей зв'язок не виявився статистично значущим і потребує додаткових досліджень на більшій вибірці.

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3б) продемонстровано взаємозв'язок між генотипом β -казеїну та густиною молока, який характеризується слабкою негативною кореляцією ($r = -0,0879$). Середній показник густини становив $1026,48 \pm 1,05$ кг/м³, варіюючи в межах 1025–1028 кг/м³. Це свідчить про незначний вплив генетичних варіантів β -казеїну на густину молока, який більше залежить від інших фізико-хімічних властивостей молока, зокрема від співвідношення жиру та сухих речовин.

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3в) представлено кореляційний аналіз між генотипом β -казеїну та вмістом сухих речовин, де коефіцієнт кореляції становив 0,1718, що вказує на слабкий позитивний зв'язок. Згідно з отриманими даними, тварини з генотипом A2A2 демонстрували дещо вищий рівень сухих речовин у молоці (в межах 13,0–13,25%) порівняно з представниками, які мали генотипи A1A1 та A1A2. Середнє значення концентрації сухих речовин у вибірці склало $12,72 \pm 0,26\%$. Отже, можна зробити висновок, що алель A2 β -казеїну позитивно сприяє підвищенню загального вмісту сухих речовин у молоці, що має важливе значення для його подальшої переробки.

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3г) наведено результати кореляційного аналізу, який виявив слабкий позитивний зв'язок між генотипом β -казеїну та вмістом білка в молоці ($r = 0,1307$). Це свідчить про тенденцію до незначного збільшення рівня білка в молоці у тварин із генотипом A2A2 порівняно з A1A1 та A1A2. Середній показник вмісту білка склав $2,95 \pm 0,08\%$, а його значення коливались у межах від 2,82 до 3,15%. Отже, можна припустити, що наявність алеля A2 β -казеїну частково пов'язана з підвищенням білковості молока, хоча сила цього взаємозв'язку залишається статистично низькою.

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3д) представлено слабку позитивну кореляцію ($r = 0,2631$) для вмісту жиру в молоці. Це вказує на те, що тварини з генотипом A2A2 демонстрували тенденцію до вищого рівня жиру в молоці порівняно з іншими генотипами. Середній показник вмісту жиру становив $4,09 \pm 0,54\%$, а його варіації знаходилися в межах від 3,05 до 5,07%. Отримані дані узгоджуються з висновками наукових досліджень, які свідчать, що β -казеїн типу A2 може бути пов'язаний із покращеними технологічними характеристиками молока, зокрема його жирністю.

На діаграмі розсіювання (рис. 3.3е) зазначено, що кореляційний коефіцієнт між генотипом β -казеїну і співвідношенням білка до жиру становив (-0,2365), що свідчить про слабкий негативний зв'язок. Середнє співвідношення білка до жиру складало $0,73 \pm 0,10$. Найнижче співвідношення зафіксовано у тварин із генотипом A2A2, що пов'язано з підвищеним вмістом жиру за стабільного рівня білка. Ці

результати вказують на потенціал використання генотипу β -казеїну A2A2 як маркера для збільшення жирності молока, тоді як баланс білкових компонентів може залишатись практично незмінним.

Результати дослідження показують, що генотип β -казеїну має незначний, але помітний вплив на окремі якісні характеристики молока. Зокрема, у тварин з генотипом A2A2 спостерігається тенденція до підвищеного вмісту жиру, білка та сухих речовин. Ця особливість може стати важливим чинником при реалізації селекційних програм, спрямованих на покращення хімічного складу молока. Водночас низькі значення кореляційних коефіцієнтів ($r = 0,13-0,26$) вказують на поліфакторну природу формування якісних показників молока.

Для комплексної оцінки впливу генотипу β -казеїну на склад молока проведено тривимірний аналіз (рис. 3.4) взаємозв'язків між вмістом білка, вмістом жиру та генотипом β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2). Поверхню побудовано із застосуванням методу зважених найменших квадратів (Distance Weighted Least Squares), що забезпечує ефективне згладжування експериментальних даних і дає змогу точніше відобразити узагальнені тенденції. Такий підхід дає змогу виявити нелінійні залежності між основними компонентами молока та генетичними варіантами, що зумовлюють особливості білково-жирового комплексу.

На рис. 3.4 видно, що хвилеподібна структура поверхні свідчить про складну нелінійну взаємодію між рівнем білка та жиру, яка залежить від генотипу β -казеїну. Такий вплив може пояснюватися генетично обумовленими особливостями синтезу фракцій казеїну, які визначають здатність молока утримувати жирові глобули та формувати білково-жирові комплекси. Статистична модель (Distance Weighted Least Squares) здатна пояснити близько 65–70% варіації показників ($R^2 \approx 0,68$), що свідчить про високий рівень якості апроксимації і дозволяє виявити основні закономірності без суттєвих спотворень даних.

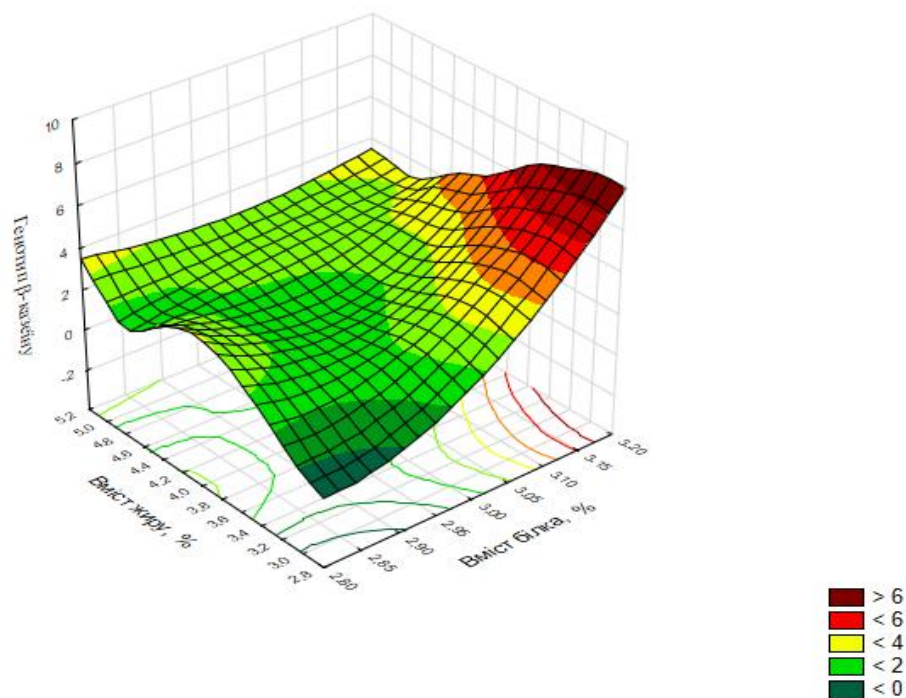


Рис. 3.4. Тривимірний поверхня взаємозв'язку між вмістом білка, вмістом жиру та генотипом β -казеїну у корів (1 – A1A1, 2 – A1A2, 3 – A2A2)

У зонах із високим рівнем білка (понад 3,1%) та помірним вмістом жиру (близько 4,5–5,0%) спостерігаються максимальні значення поверхні (червоні ділянки), що, ймовірно, властиво тваринам із генотипом A2A2. Водночас у зонах із нижчим рівнем білка та жиру (зелені ділянки) зазвичай переважають тварини з генотипом A1A1. Отримані дані підтверджують тенденцію до поліпшення білково-жирового складу молока у тварин, які є носіями алеля A2. Такий склад має високу технологічну цінність, оскільки забезпечує більший вихід продукції та покращує структурно-механічні властивості молочних білків під час коагуляції. Це відкриває вагомі перспективи для селекції, орієнтованої на поліпшення технологічних параметрів молока.

Висновки за розділом 3

Молоко корів з різними генотипами β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) за основними фізико-хімічними характеристиками відповідає стандартам ДСТУ 3662:2018, що підтверджує його високу якість як сировини для подальшої переробки.

Встановлено, що генотип β -казеїну суттєво впливає на білково-жировий склад молока. У корів із генотипом A2A2 спостерігаються вищі рівні білка, жиру та сухих речовин, що сприяє підвищеній концентрації казеїнових міцел і покращує здатність молока до коагуляції. Молоко від корів із генотипом A2A2 вирізняється оптимальним співвідношенням білка до жиру, яке є ідеальним для формування сирного згустку з високим вмістом сухої речовини. Це свідчить про кращу придатність такого молока для виробництва сиру.

У молоці-сировині з генотипом β -казеїну A1A1 спостерігається знижений вміст білка та жиру, що може негативно позначатися на швидкості зсідання та щільності сирного згустку.

Кореляційний аналіз виявив позитивні зв'язки між генотипом β -казеїну і такими показниками, як вміст білка ($r = 0,13$), жиру ($r = 0,26$) та сухих речовин ($r = 0,17$). Це підтверджує вплив алеля A2 на формування високоякісного білково-жирового комплексу, що є важливим для виробництва сирів.

Тривимірна модель взаємозв'язку між вмістом білка, жиру та генотипом β -казеїну у корів показує нелінійну залежність із концентрацією максимумів у зоні генотипу A2A2. Це демонструє високу технологічну придатність молока цього типу для виробництва сиру.

Результати дослідження свідчать про те, що застосування у племінній роботі корів з генотипом A2A2 β -казеїну є багатообіцяючим напрямком селекції для виробництва високоякісної молочної сировини. Це сприяє підвищенню сиропридатності й забезпечує стабільні технологічні характеристики.

Зважаючи на вплив генотипу β -казеїну на білково-жировий склад і придатність молока для виробництва сиру, подальші дослідження зосереджені на аналізі його технологічних властивостей під час переробки на кисломолочні продукти, м'які та тверді сири. Особливу увагу приділено оцінці виходу продукції та органолептичним характеристикам кінцевих виробів, що дозволяє всебічно визначити придатність молока з різними генотипами β -казеїну для цільового використання в сироробстві.

Розділ 4

КИСЛОМОЛОЧНИЙ СИР

ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ

Одним із головних напрямів підвищення ефективності молокопереробної галузі є використання сировини з оптимальними технологічними властивостями, які забезпечують високий вихід і стабільну якість готової продукції.

Серед широкого асортименту молочних продуктів кисломолочний сир займає особливе місце завдяки високій харчовій цінності, збалансованому амінокислотному складу та легкій засвоюваності білків. Технологічні властивості молока-сировини, зокрема його білковий склад, мають вирішальний вплив на формування структури, консистенції, смаку та виходу готового продукту. Одним із важливих факторів, що визначає ці властивості, є генетична варіабельність β -казеїну, який є основним компонентом казеїнового комплексу молока.

У сучасних дослідженнях встановлено, що ізоформи β -казеїну (A1, A2) можуть впливати на фізико-хімічні характеристики молока, його зсідання та формування згустку, а отже – і на сиропридатність сировини. Тому актуальним є дослідження впливу поліморфізму β -казеїну на якісні показники кисломолочного сиру, виготовленого кислотною коагуляцією білків, що дозволить визначити оптимальний тип молока для виробництва продукції з високими сенсорними властивостями та ефективними технологічними показниками.

З метою оцінки впливу генетичних варіацій β -казеїну на формування споживчих та технологічних характеристик готового продукту було проведено порівняльний аналіз кисломолочного сиру, виготовленого з молока корів із різними генотипами – A1A1, A1A2 та A2A2. У дослідженні розглядалися органолептичні, фізико-хімічні показники та показник виходу сиру, що відображає ефективність технологічного процесу.

На рис. 4.1 представлено сукупність зовнішніх ознак кисломолочного сиру, виготовленого кислотною коагуляцією білків із молока корів із різними генотипами β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2).



Рис. 4.1. Зовнішній вигляд зразків сиру кисломолочного²

Оцінка органолептичних показників якості кисломолочного сиру (зовнішній вигляд, смак, запах, консистенція, колір) проводилася експертною комісією, а результати відображені профілограмою (рис. 4.2).

²*Примітка:* номер зразка сиру відповідає номеру зразка молока-сировини та ідентифікаційному номеру дослідної корови, від якої систематично здійснювався відбір молока.

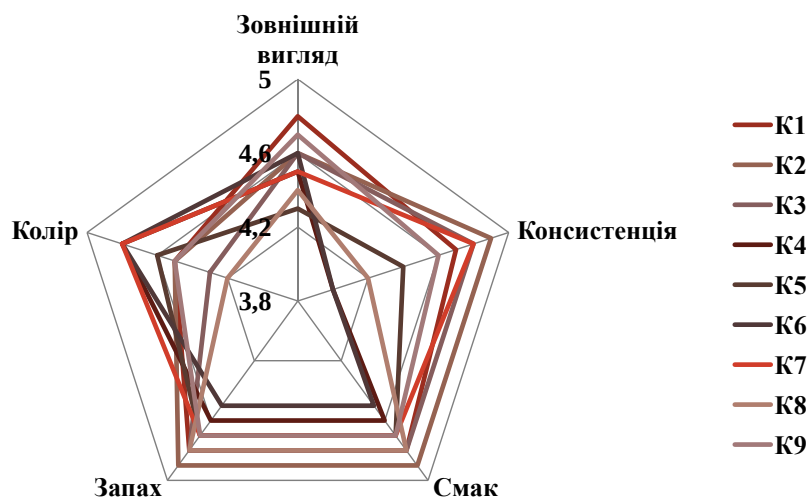


Рис. 4.2. Сенсорний профіль зразків сиру кисломолочного із молока корів з різними генотипами за β -казеїном

Як видно з профілограми (рис. 4.2), усі досліджувані зразки кисломолочного сиру незалежно від генотипу β -казеїну характеризувалися високими сенсорними показниками, проте між ними спостерігалися певні відмінності за окремими критеріями.

Найвищі оцінки за зовнішнім виглядом отримали зразки, виготовлені з молока корів генотипу A2A2 (зразки K7–K9), – у середньому 4,8–5,0 бала, що свідчить про рівномірну поверхню, відсутність сироваткових виділень і привабливу структуру продукту. Для зразків із молока генотипу A1A1 (зразки K1–K3) цей показник був дещо нижчим (4,6 бала), однак також відповідав вимогам до високоякісного кисломолочного сиру.

За показником консистенції найкращі результати відзначено у зразків, виготовлених із молока генотипів A1A2 (зразки K4–K6) та A2A2 (зразки K7–K9), з оцінками у межах 4,5–4,8 бала. Такі зразки мали ніжну, однорідну, у міру мазку консистенцію без крупинчастості. Сири з молока генотипу A1A1 характеризувалися дещо грубішою структурою (4,2–4,4 бала), що могло бути зумовлено відмінностями у властивостях казеїнового комплексу.

Показник смаку у більшості зразків був високим (4,4–4,8 бала). Найбільш гармонійний, чистий кисломолочний смак із м'якою кислотністю мали зразки К7–К9, виготовлені з молока генотипу А2А2.

За запахом зразки генотипу А2А2 також отримали найвищі оцінки (4,5–4,6 бала) – для них характерний виражений кисломолочний аромат без сторонніх відтінків. У зразках із молока генотипу А1А1 цей показник був дещо нижчим (3,8–4,2 бала).

Показник кольору варіював у межах 4,2–4,8 бала. Найвищі оцінки отримали зразки, виготовлені з молока генотипу А2А2, що мали рівномірне кремово-біле забарвлення, притаманне якісному кисломолочному сиру.

Отже, за результатами органолептичної оцінки встановлено, що всі зразки відповідали вимогам до продукції високої якості, проте найкращі сенсорні характеристики спостерігалися у сирів, виготовлених із молока корів генотипу β -казеїну А2А2. Вони відзначалися оптимальною консистенцією, чистим кисломолочним смаком, однорідним кольором і вираженим ароматом. Таким чином, генотип А2А2 сприяє формуванню більш збалансованих органолептичних властивостей кисломолочного сиру, що підтверджує його технологічну перевагу як сировини для виробництва даного виду молочних продуктів.

Для встановлення впливу генотипу β -казеїну на технологічні властивості кисломолочного сиру проведено аналіз його фізико-хімічного складу, результати якого наведено в таблиці 4.1.

Як показали дані, вміст основних компонентів у кисломолочному сирі змінювався залежно від генотипу β -казеїну молока-сировини. У зразках, виготовлених із молока корів генотипу А1А1, середній вміст вологи становив 72,27 %, білка – 9,77 %, жиру – 15,47 %, показник кислотності коливався у межах рН 4,29–4,35. Такі зразки характеризувалися підвищеною вологістю та зниженим вмістом білка порівняно з нормою, що свідчить про менш щільну структуру сирного згустку.

**Фізико-хімічні показники зразків сиру кисломолочного із молока корів
з різними генотипами за β -казеїном**

Генотип β -казеїну	Зразок сиру	Вміст вологи, %	Масова частка білка, %	Масова частка жиру, %	Кислотність, од. рН
Норма ³		65–80	≥ 14	2–18	4,62–4,08
A1A1	K1	70,30 $\pm$ 0,01	12,50 $\pm$ 0,01	14,70 $\pm$ 0,01	4,35 $\pm$ 0,01
	K2	74,20 $\pm$ 0,01	9,00 $\pm$ 0,01	14,30 $\pm$ 0,01	4,32 $\pm$ 0,01
	K3	72,30 $\pm$ 0,01	7,80 $\pm$ 0,01	17,40 $\pm$ 0,01	4,29 $\pm$ 0,01
A1A2	K4	66,60 $\pm$ 0,01	20,30 $\pm$ 0,01	12,60 $\pm$ 0,01	4,34 $\pm$ 0,01
	K5	68,20 $\pm$ 0,01	16,80 $\pm$ 0,01	12,50 $\pm$ 0,01	4,30 $\pm$ 0,01
	K6	66,70 $\pm$ 0,01	17,80 $\pm$ 0,01	18,00 $\pm$ 0,01	4,34 $\pm$ 0,01
A2A2	K7	69,20 $\pm$ 0,01	13,70 $\pm$ 0,01	14,60 $\pm$ 0,01	4,39 $\pm$ 0,01
	K8	66,30 $\pm$ 0,01	20,10 $\pm$ 0,01	13,10 $\pm$ 0,01	4,33 $\pm$ 0,01
	K9	66,90 $\pm$ 0,01	12,10 $\pm$ 0,01	18,50 $\pm$ 0,01	4,34 $\pm$ 0,01

Для зразків, виготовлених із молока корів генотипу A1A2, вміст вологи був нижчим і становив у середньому 67,17 %, при цьому спостерігалось суттєве підвищення білкової частки – 18,30 %, а також стабільний рівень жиру – 14,37 %. Значення рН залишалося в межах 4,30–4,34, що відповідає оптимальним показникам для кисломолочних сирів кислотної коагуляції.

Найкращі результати за балансом хімічного складу зафіксовано у зразків, виготовлених із молока корів генотипу A2A2. Їх середній вміст вологи становив 67,47 %, білка – 15,30 %, жиру – 15,40 %, рН – 4,33–4,39. Такі показники свідчать про щільнішу структуру сирного згустку та краще утримання сухих речовин у продукті.

Отримані результати свідчать, що генотип β -казеїну впливає на фізико-хімічні характеристики кисломолочного сиру, зокрема на співвідношення білкової та жирової фракцій, а також на вміст вологи. Зразки, виготовлені з молока генотипу A2A2, мали більш оптимальне співвідношення білка й жиру, що забезпечує підвищену щільність та однорідність консистенції.

³Примітка: дані відповідно до стандарту ДСТУ 4554:2006 «Сир кисломолочний. Технічні умови»

Усі досліджувані зразки відповідали вимогам стандарту ДСТУ 4554:2006 «Сири кисломолочні. Технічні умови», що підтверджує належну якість продукції незалежно від генетичного типу молока. Однак, вищі показники білкової концентрації та нижчий вміст води, характерні для генотипу A2A2, свідчать про його технологічну перевагу для виготовлення кисломолочного сиру з підвищеною харчовою цінністю та стабільною структурою.

Відомо, що співвідношення білок:жир у молоці є важливим показником, який визначає як технологічну ефективність, так і якість кінцевого продукту. За даними роботи [1], оптимальне співвідношення білка до жиру (0,7–0,8) забезпечує підвищення виходу сиру та поліпшення збереження компонентів молока в сирній масі. Підвищений вміст жиру сприяє збільшенню виходу сиру, але супроводжується зростанням вмісту води, тоді як збагачення білком підвищує якість продукту, проте може зменшувати його вихід.

З метою визначення ефективності технологічного процесу та з'ясування впливу генетичних варіацій β -казеїну на вихід кисломолочного сиру, було проведено розрахунки за формулами (2.3) і (2.4). Результати представлені у вигляді гістограми на рис. 4.3.

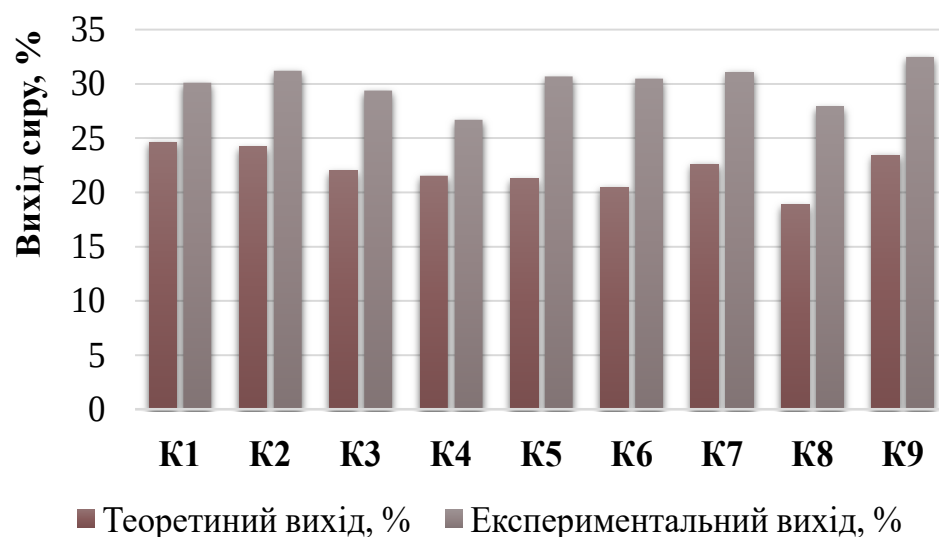


Рис. 4.3. Вихід сирів кисломолочних із молока корів з різними генотипами за β -казеїном

Як видно з гістограми, експериментальний вихід кисломолочного сиру в усіх досліджуваних зразках перевищував теоретичний, що свідчить про оптимальні умови технологічного процесу та ефективне використання білково-жирового комплексу молока.

Нижчі показники виходу спостерігалися у зразків, виготовлених із молока корів генотипу A1A1 (зразки K1–K3), де фактичний вихід становив у середньому 26–28 %. Це може бути пов'язано з менш стабільною структурою казеїнового згустку, що сприяє підвищеному виділенню сироватки.

У групі зразків A1A2 (зразки K4–K6) спостерігалось помітне зростання показника – до 30–31 %, що свідчить про поліпшення водоутримуючої здатності сирного згустку завдяки збалансованому співвідношенню ізоформ β -казеїну.

Вищі значення виходу відзначено у зразків, виготовлених із молока корів генотипу A2A2 (зразки K7–K9), де експериментальний вихід досягав 31–33 %, що на 4–6 % перевищувало показники групи A1A1. Такий результат свідчить про вищу технологічну цінність молока з алелем A2, який забезпечує формування більш міцного, дрібнопористого згустку з кращим утриманням вологи та сухих речовин.

Отже, встановлено, що генотип β -казеїну має безпосередній вплив на вихід кисломолочного сиру. Молоко корів генотипу A2A2 є більш придатним для виробництва цього виду продукту, оскільки забезпечує вищий фактичний вихід, зменшення втрат сухих речовин із сироваткою та покращення економічних показників виробництва.

Показник виходу сиру з одиниці переробленого молока є одним із ключових параметрів, який визначає рентабельність та ефективність молочного виробництва. Разом із показником відновлення основних компонентів молока в сирній масі він формує комплексну оцінку технологічної придатності молока до переробки.

У дослідженні [29] підкреслено, що β -казеїн є білковою фракцією, яка має високий вплив на фактичний вихід сиру. Його ізоформи (A1, A2) відрізняються здатністю до коагуляції, що безпосередньо впливає на ступінь утримання білка та сухих речовин у готовому продукті. Таким чином, виявлені відмінності між

генотипами β -казеїну можуть бути важливим чинником у підвищенні сиропридатності молока та оптимізації технології виробництва.

Результати оцінювання ефективності виробництва кисломолочного сиру з урахуванням відновлення компонентів молока та співвідношення фактичного і теоретичного виходу наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Ефективність виробництва сиру кисломолочного із молока корів з різними генотипами за β -казеїном

Генотип β -казеїну	Зразок сиру	Відновлення компонентів молока в сирі, R, %:		Ефективність виробництва сиру, %
		білка	жиру	
A1A1	K1	75,90	96,97	122,12
	K2	76,67	99,45	134,32
	K3	75,86	99,72	133,57
A1A2	K4	76,90	99,56	124,04
	K5	75,86	99,77	144,28
	K6	75,61	99,77	148,82
A2A2	K7	77,46	99,76	137,58
	K8	76,86	99,73	147,59
	K9	77,78	99,01	138,62

За показником відновлення білка в сирі (R, %) встановлено, що значення були відносно стабільними для всіх генотипів і коливалися у межах 75,6–77,8 %, що свідчить про ефективне використання білкової фракції молока під час кислотного згортання. Найвищий показник зафіксовано у зразків, виготовлених із молока генотипу A2A2 (зразок K9 – 77,78 %), що свідчить про краще утримання білкових речовин у сирній масі.

Показник відновлення жиру залишався високим і стабільним незалежно від генотипу – у межах 99,0–99,8 %, що вказує на мінімальні втрати жирової фракції із сироваткою. Це свідчить про досконалість технологічного процесу та відсутність значного впливу генотипу β -казеїну на утримання жиру у згустку.

Найбільш суттєві відмінності виявлено за показником загальної ефективності виробництва, який інтегрує співвідношення теоретичного і фактичного виходу

сиру, а також утримання білково-жирових компонентів. У зразках, виготовлених із молока корів генотипу A1A1, ефективність становила 122,1–134,3 %. Для групи A1A2 цей показник підвищувався до 124,0–148,8 %, що свідчить про більш збалансований склад і кращі технологічні властивості молока змішаного генотипу.

Найвищу ефективність виробництва зареєстровано у зразків із молока генотипу A2A2 (137,6–147,6 %). Це підтверджує, що молоко з алелем A2 β -казеїну має вищу технологічну придатність, забезпечуючи збільшення виходу готового продукту, зниження втрат сухих речовин та підвищення економічної доцільності виробництва.

Отже, узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що генотип β -казеїну впливає на ефективність перероблення молока: найкращі показники відновлення білка та загальної ефективності спостерігаються у сировині з генотипом A2A2, який забезпечує оптимальне співвідношення структурних і функціональних властивостей білково-жирового комплексу молока для виготовлення кисломолочного сиру високої якості.

Таким чином, проведені дослідження свідчать, що поліморфізм β -казеїну є одним із ключових чинників, які визначають сиропридатність молока-сировини. Молоко з генотипом A2A2 характеризується вищими технологічними показниками, меншими втратами білка та жиру, а також підвищеним фактичним виходом сиру, що в сукупності вказує на його перевагу для виробництва кисломолочного сиру кислотною коагуляцією білків.

Висновки за розділом 4

Встановлено, що генетичні варіації β -казеїну молока корів суттєво впливають на технологічні властивості та якість кисломолочного сиру. Залежно від генотипу (A1A1, A1A2, A2A2) спостерігаються відмінності у фізико-хімічному складі, виході готового продукту, сенсорних показниках та загальній ефективності виробництва.

Дослідження фізико-хімічних характеристик показало, що зразки, виготовлені з молока генотипу A2A2, мають оптимальні параметри складу – вміст

вологи в межах 66–69 %, білка 12–20 %, жиру 13–18 %, кислотність рН 4,33–4,39. Такі показники забезпечують формування щільнішої структури сирного згустку та підвищену утримувальну здатність сухих речовин.

За результатами органолептичної оцінки всі зразки відповідали вимогам високоякісної продукції, проте сири, виготовлені з молока корів генотипу А2А2, отримали вищі бали за показниками зовнішнього вигляду, смаку, запаху, консистенції та кольору. Це свідчить про кращі сенсорні властивості продукції, виготовленої із сировини цього типу.

Аналіз виходу сиру показав, що вищі експериментальні показники (до 33 %) характерні для зразків із молока генотипу А2А2, що перевищує результати групи А1А1 на 4–6 %. Це свідчить про краще утримання білкових і жирових компонентів у процесі коагуляції та зменшення втрат з сироваткою.

Показники відновлення білка (до 77,8 %) та жиру (до 99,8 %) підтвердили ефективність технологічного процесу для всіх зразків, але найвищу загальну ефективність виробництва (до 148,8 %) зафіксовано у зразків із молока генотипу А2А2. Це свідчить про вищу технологічну придатність такого молока для виготовлення кисломолочного сиру.

Узагальнюючи результати, встановлено, що молоко з генотипом β -казеїну А2А2 є найбільш цінною сировиною для виробництва кисломолочного сиру, оскільки забезпечує вищий вихід, кращі сенсорні властивості, стабільну структуру та підвищену ефективність перероблення. Використання такого молока сприяє підвищенню якісних і економічних показників виробництва кисломолочних продуктів.

Розділ 5

М'ЯКІ СИРИ

ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ В-КАЗЕЇНУ

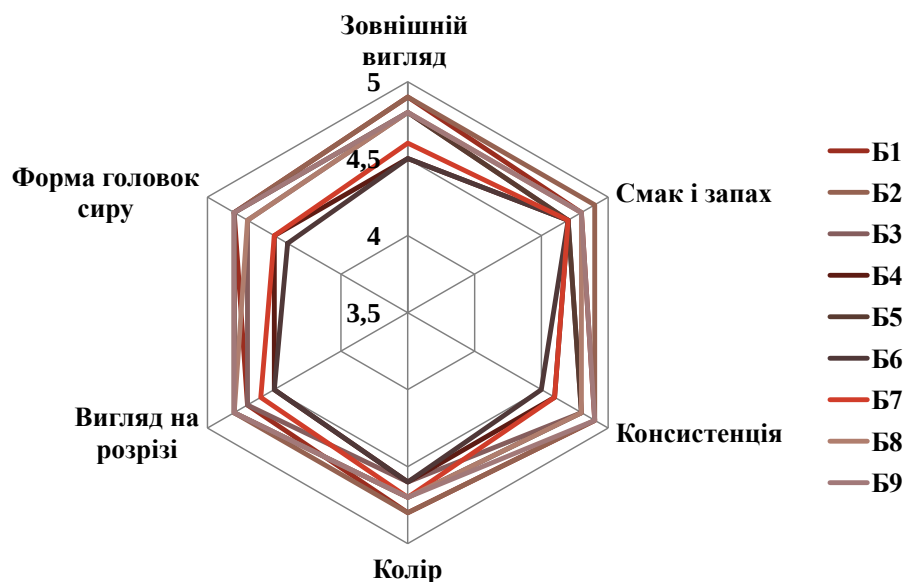
Під час попередніх етапів дослідження встановлено, що варіації β -казеїну в молоці впливають на його фізико-хімічні властивості та ефективність утворення білкового згустку. Ці особливості безпосередньо визначають сиропридатність молока, тобто його здатність до утворення структур із заданими технологічними і споживчими характеристиками. Саме тому подальшим етапом стало вивчення впливу генетичних варіацій β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) на процес виготовлення м'яких сирів.

М'які сири є продуктами короткого терміну дозрівання або зовсім без дозрівання, для яких вирішальне значення мають якість згустку, вологоутримуюча здатність і стабільність структури. Ці параметри формуються переважно білковим складом молока, а отже, можуть істотно залежати від типу β -казеїну, який визначає розмір і поведінку казеїнових міцел під час коагуляції. У молоці з переважанням β -казеїну типу A2 міцели мають більш відкрите просторове розташування, що може сприяти утворенню ніжнішої консистенції та кращій вологоутримуючій здатності сирної маси.

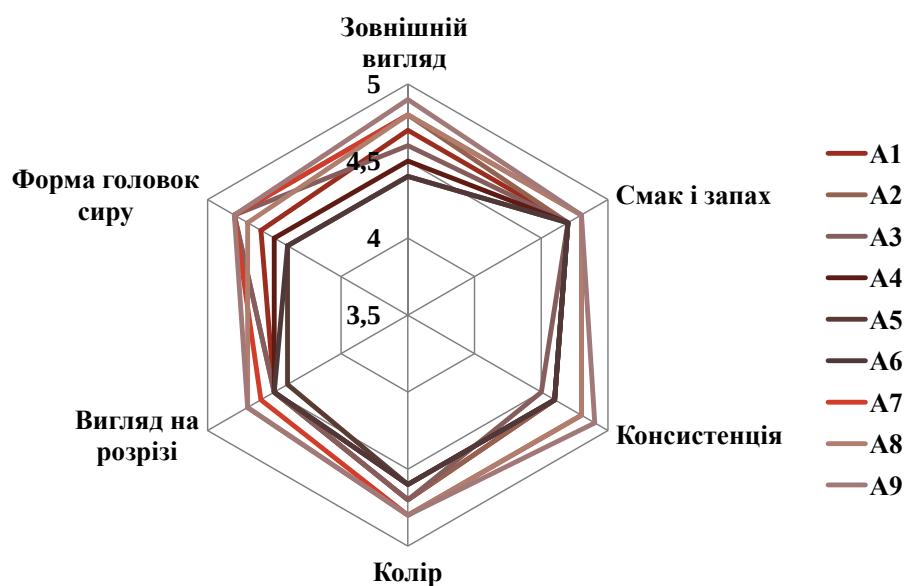
З огляду на це, метою дослідження цього етапу було оцінити вплив генотипу β -казеїну на органолептичні та фізико-хімічні показники м'яких сирів, а також визначити ефективність їх виробництва за показником виходу.

Отримані результати дають можливість комплексно оцінити придатність молока різних генотипів до виробництва м'яких сирів та обґрунтувати напрями його технологічного використання.

На рис. 5.1 представлено органолептичні показники зразків м'яких сирів, виготовлених кислотно-сичужним (Б1-Б9) та термокислотним (А1-А9) способами із молока корів різних генотипів β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2).



а



б

Рис. 5.1. Сенсорний профіль зразків свіжих м'яких сирів із молока корів з різними генотипами за β -казеїном виготовлених:

а – кислотно-сичужним способом коагуляції білків⁴;

б – термокислотним способом коагуляції білків⁴

⁴ *Примітка:* номер зразка сиру відповідає номеру зразка молока-сировини та ідентифікаційному номеру дослідної корови, від якої систематично здійснювався відбір молока.

Аналіз сенсорного профілю м'яких сирів, виготовлених із молока корів різних генотипів β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2), показав незначні відмінності між зразками за основними органолептичними показниками (рис. 5.1).

У зразках, виготовлених кислотно-сичужним способом (рис. 5.1а, Б1–Б9), спостерігається більш збалансований профіль за показниками зовнішнього вигляду, смаку і запаху, консистенції та кольору, що свідчить про стабільність технологічного процесу. Середні оцінки за більшістю показників перебувають у діапазоні 4,3–4,8 бала, що відповідає високому рівню якості. Вищі оцінки отримали зразки Б2 і Б3 (молоко генотипів A1A2 і A2A2), які характеризувались однорідною консистенцією, чистим кисломолочним смаком та приємним ароматом. Зразки Б5 і Б7 (молоко A1A1) мали дещо менш однорідну структуру з помірною крупинчастістю.

Для зразків, виготовлених термокислотним способом (рис. 5.1б, А1–А9), відзначено дещо вищу оцінку зовнішнього вигляду та форми головок сиру, що пояснюється більш щільною структурою згустку після термічного оброблення. Проте консистенція деяких зразків (особливо з молока A1A1) оцінювалася нижче через підвищену щільність і меншу пластичність сирної маси. Зразки А3 і А6 (молоко A2A2) продемонстрували вищі оцінки смаку, запаху та кольору, що вказує на кращий баланс між білковою та жировою фазами у продукті.

Загалом, незалежно від методу коагуляції, генетичні варіації β -казеїну не викликають значних відмінностей у органолептичних властивостях м'яких сирів. Проте, було зафіксовано певні тенденції, що заслуговують на увагу. Зокрема, молоко з генотипом A2A2 сприяє формуванню більш ніжного смаку та інтенсивнішого молочнокислого аромату. Навпаки, молоко з генотипом A1A1 вирізняється щільнішою консистенцією. Водночас молоко з генотипом A1A2 демонструє проміжні характеристики за більшістю сенсорних показників.

Отже, результати сенсорної оцінки підтверджують, що обидва способи коагуляції забезпечують отримання м'яких сирів із високими споживчими властивостями, а тип β -казеїну у молоці переважно впливає на текстуру продукту, ніж на його смак чи аромат.

Результати фізико-хімічного аналізу м'яких сирів, виготовлених кислотно-сичужним (Б1-Б9) та термокислотним (А1-А9) способами, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Фізико-хімічні показники зразків свіжих м'яких сирів виготовлених кислотно-сичужним та термокислотним способом коагуляції білків із молока корів з різними генотипами за β -казеїном

Спосіб виробництва	Генотип β -казеїну	Зразок сиру	Вміст вологи, %	Масова частка білка, %	Масова частка жиру, %	Кислотність, од. рН
Кислотно-сичужний	А1А1	Б1	52,41 $\pm$ 0,01	21,82 $\pm$ 0,01	22,71 $\pm$ 0,01	5,23 $\pm$ 0,01
		Б2	51,55 $\pm$ 0,01	20,95 $\pm$ 0,01	24,45 $\pm$ 0,01	5,24 $\pm$ 0,01
		Б3	50,94 $\pm$ 0,01	22,21 $\pm$ 0,01	23,71 $\pm$ 0,01	5,24 $\pm$ 0,01
	А1А2	Б4	50,46 $\pm$ 0,01	21,45 $\pm$ 0,01	24,98 $\pm$ 0,01	5,25 $\pm$ 0,01
		Б5	51,15 $\pm$ 0,01	20,35 $\pm$ 0,01	25,42 $\pm$ 0,01	5,24 $\pm$ 0,01
		Б6	50,62 $\pm$ 0,01	21,24 $\pm$ 0,01	24,99 $\pm$ 0,01	5,25 $\pm$ 0,01
	А2А2	Б7	52,22 $\pm$ 0,01	21,38 $\pm$ 0,01	23,39 $\pm$ 0,01	5,21 $\pm$ 0,01
		Б8	52,75 $\pm$ 0,01	20,35 $\pm$ 0,01	23,93 $\pm$ 0,01	5,22 $\pm$ 0,01
		Б9	52,67 $\pm$ 0,01	20,55 $\pm$ 0,01	23,82 $\pm$ 0,01	5,22 $\pm$ 0,01
Термо-кислотний	А1А1	А1	55,50 $\pm$ 0,01	23,44 $\pm$ 0,01	19,73 $\pm$ 0,01	5,88 $\pm$ 0,01
		А2	55,12 $\pm$ 0,01	22,55 $\pm$ 0,01	21,00 $\pm$ 0,01	5,89 $\pm$ 0,01
		А3	54,80 $\pm$ 0,01	23,95 $\pm$ 0,01	19,89 $\pm$ 0,01	5,90 $\pm$ 0,01
	А1А2	А4	58,45 $\pm$ 0,01	23,09 $\pm$ 0,01	17,26 $\pm$ 0,01	5,91 $\pm$ 0,01
		А5	57,91 $\pm$ 0,01	21,90 $\pm$ 0,01	18,93 $\pm$ 0,01	5,88 $\pm$ 0,01
		А6	58,14 $\pm$ 0,01	22,87 $\pm$ 0,01	17,77 $\pm$ 0,01	5,91 $\pm$ 0,01
	А2А2	А7	54,15 $\pm$ 0,01	22,87 $\pm$ 0,01	21,54 $\pm$ 0,01	5,88 $\pm$ 0,01
		А8	53,85 $\pm$ 0,01	21,90 $\pm$ 0,01	22,91 $\pm$ 0,01	5,88 $\pm$ 0,01
		А9	54,20 $\pm$ 0,01	22,12 $\pm$ 0,01	22,31 $\pm$ 0,01	5,90 $\pm$ 0,01

Результати фізико-хімічного аналізу (табл. 5.1) свідчать, що спосіб коагуляції білків і генотип β -казеїну молока мають помітний вплив на склад та властивості м'яких сирів.

Сири, виготовлені кислотнo-сичужним способом (Б1–Б9), характеризуються нижчим вмістом води – у межах 50,46–52,75 %, що зумовлено більш інтенсивним відокремленням сироватки під час коагуляції. Вміст білка становив 20,35–22,21 %, а жиру – 22,71–25,42 %. Зразки з молока генотипу А1А2 (Б4–Б6) відзначалися дещо вищим вмістом жиру, що позитивно позначалося на смакових характеристиках та ніжності консистенції. Сири з молока А2А2 (Б7–Б9) мали більший показник вологості (понад 52 %), але при цьому зберігали достатній рівень білка (≈ 21 %) і збалансовану кислотність (рН 5,21–5,22), що свідчить про м'яку, пластичну структуру.

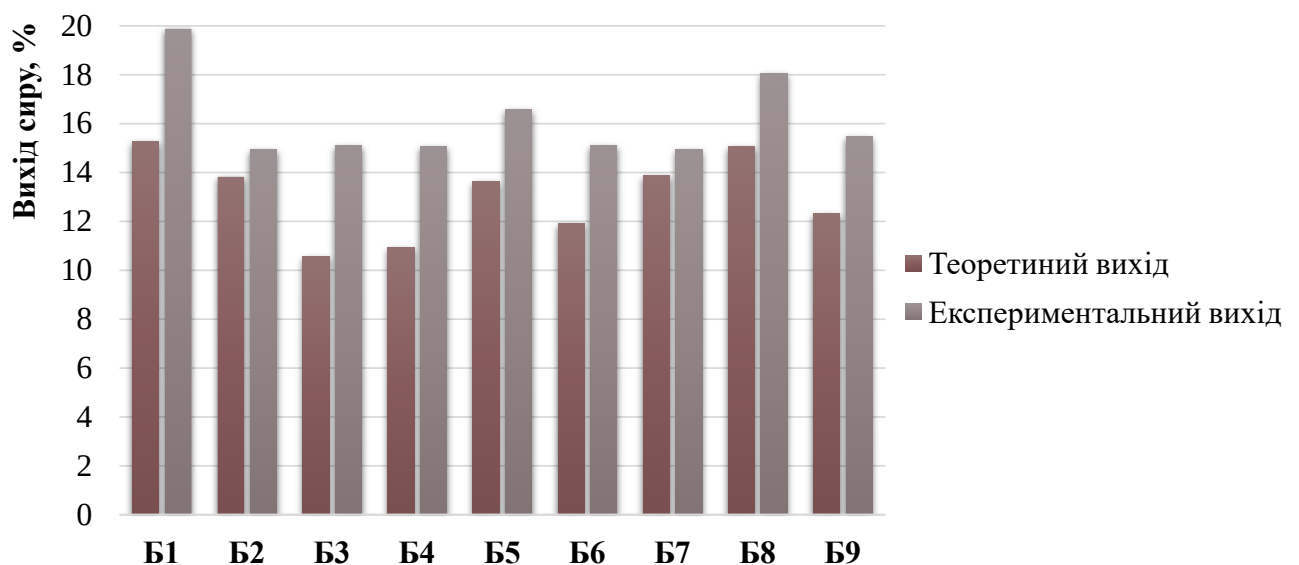
Для сирів, отриманих термокислотний способом (А1–А9), характерним є вищий вміст води (53,85–58,45 %) через теплову обробку згустку, яка зменшує втрати сироватки. Вміст білка варіював у межах 21,90–23,95 %, тоді як жирність була нижчою, ніж у сирів кислотнo-сичужного типу (17,26–22,91 %). Зразки з молока А1А1 (А1–А3) мали дещо нижчий вміст жиру (≈ 20 %), але високий рівень білка, що забезпечувало щільнішу консистенцію. Сири з молока А2А2 (А7–А9) характеризувалися оптимальним співвідношенням білкової і жирової фракцій та відносно нижчою кислотністю (рН 5,88–5,90), що сприяло формуванню м'якої, ніжної текстури та чистого смаку.

Загалом, термокислотні сири характеризуються підвищеним вмістом води та білка, тоді як кислотнo-сичужні відзначаються вищою жирністю та більш інтенсивною кислотністю. У процесі дослідження було виявлено виразну тенденцію у характеристиках сиру залежно від типу молока, з якого вони виготовляються. Зокрема, молоко А2А2 сприяє забезпеченню більш збалансованого складу, що проявляється у вищому вмісті води та стабільній білково-жировій структурі. У свою чергу, молоко типу А1А1 спричиняє утворення щільніших згустків із нижчою здатністю до утримування води. Молоко типу

A1A2 демонструє проміжні характеристики, що займають позицію між двома крайніми варіантами.

Отже, поліморфізм β -казеїну суттєво впливає на фізико-хімічні властивості сирів: сири з молока A2A2 відзначаються більш м'якою структурою, збалансованим складом і оптимальним рівнем кислотності, що робить цей генотип перспективним для виробництва м'яких сирів з покращеними споживчими властивостями.

Перехід до оцінки ефективності виробництва показав, що відмінності у складі сирів безпосередньо відобразилися на виході готового продукту. На гістограмах (рис. 5.2). відображено співвідношення теоретичного та експериментального виходу м'яких сирів, виготовлених кислотно-сичужним (Б1–Б9) і термокислотним (А1–А9) способами коагуляції білків.



а

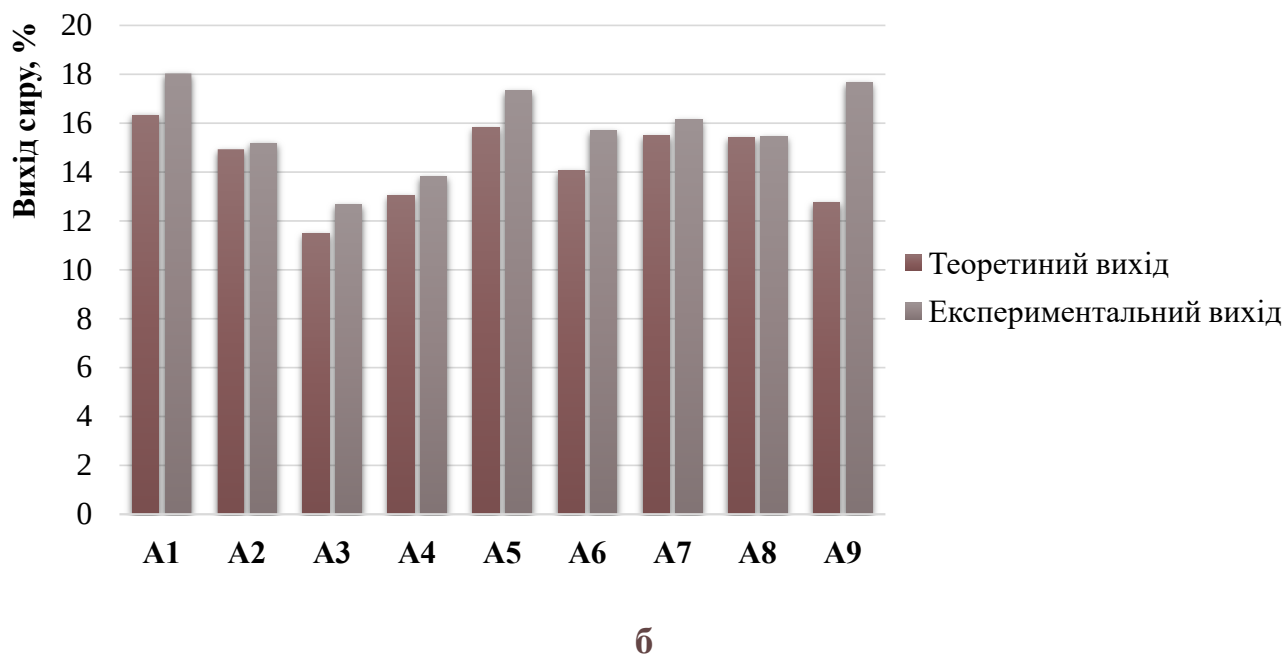


Рис. 5.2. Вихід свіжих м'яких сирів із молока корів з різними генотипами β -казеїну виготовлених:
а – кислотно-сичужним способом коагуляції білків;
б – термокислотним способом коагуляції білків

При кислотно-сичужному способі (рис. 5.2, а) спостерігалася певна варіація у виході сирів залежно від генотипу β -казеїну. Найвищий експериментальний вихід зафіксовано у зразках Б1 (близько 19,8 %) і Б8 (18,0 %), що відповідало молоку з генотипом А1А1 і А2А2 відповідно. Для більшості інших зразків вихід коливався в межах 14–17 %, що свідчить про задовільну відтворюваність технологічного процесу. Порівняння теоретичних і фактичних даних виявило, що фактичний вихід дещо нижчий, у середньому на 2–3 %, що може бути зумовлено втратами білкової фракції під час відокремлення сироватки.

Для термокислотного способу (рис. 5.2, б) характерні вищі показники фактичного виходу. Максимальні значення спостерігалися у зразках А1, А5, А9 (17,5–18,0 %), що свідчить про вищу ефективність коагуляції білків за підвищених температурних умов. У середньому експериментальний вихід сирів при цьому способі був на 1,5–2 % вищим, ніж при кислотно-сичужному. Це пояснюється

кращою денатурацією сироваткових білків і більш повним переходом білково-жирових компонентів у сирну масу.

Варто відзначити, що молоко з генотипом A2A2 продемонструвало стабільні показники виходу за обох способів коагуляції, з незначними втратами білка (приблизно 22–23 %) та жиру (0,5–0,6 %). Ефективність виробництва при використанні цього типу молока становила в середньому 141,26 %, що перевищує аналогічні показники для генотипів A1A1 (на 13,18 %) і A1A2 (на 2,21 %). Це підтверджує доцільність використання молока з генотипом A2A2 для отримання продукції з підвищеним виходом та покращеними технологічними властивостями.

Загалом, результати аналізу свідчать, що обидва способи виробництва забезпечують високий рівень відновлення компонентів молока в сирній масі, проте термокислотний метод демонструє кращу технологічну ефективність і меншу варіабельність показників виходу. При цьому вплив генотипу β -казеїну проявляється більш виразно саме при кисло-сичужному способі, де молоко типу A2A2 забезпечує оптимальне співвідношення білка і жиру в готовому продукті.

Показник виходу сиру є ключовим критерієм рентабельності технологічного процесу, тому для повнішої характеристики було визначено ефективність виробництва, що включає рівень відновлення білка та жиру з молока в сирну масу (табл. 5.2).

Аналіз даних показує, що для кисло-сичужного способу коагуляції білків середній рівень відновлення білка у сирній масі становив 72,0–75,3 %, а жиру – 56,5–77,7 % залежно від генотипу β -казеїну. Вищі значення ефективності виробництва (до 130,2 %) спостерігалися у зразка B1 (A1A1), що може бути пов'язано з оптимальним співвідношенням білок:жир у вихідному молоці. Дещо нижчі показники характерні для зразків із молока A2A2, де ефективність коливалася в межах 106,9–119,9 %. Проте, порівняно з іншими генотипами, молоко цього типу демонструвало стабільність відновлення білка (71,7–72,0 %) і відносно рівномірні втрати жиру (58–68 %), що вказує на його сприятливі технологічні властивості при кисло-сичужному згортанні.

**Ефективність виробництва свіжих м'яких сирів виготовлених
кисотно-сичужним та термокислотним способом коагуляції білків
із молока корів з різними генотипами β -казеїну**

Спосіб виробництва	Генотип β -казеїну	Зразок сиру	Відновлення компонентів молока в сирі, R, %:		Ефективність виробництва сиру, %
			білка	жиру	
Кисотно- сичужний	A1A1	B1	71,95	56,48	130,2
		B2	71,82	68,10	108,2
		B3	75,25	77,73	119,6
	A1A2	B4	72,05	76,38	115,9
		B5	71,99	69,65	121,6
		B6	72,11	66,64	108,2
	A2A2	B7	71,96	67,61	107,7
		B8	71,99	58,35	119,9
		B9	71,68	62,85	106,9
Термо- кислотний	A1A1	A1	77,34	49,08	110,4
		A2	77,50	58,50	101,7
		A3	81,20	65,21	92,5
	A1A2	A4	77,75	52,79	89,2
		A5	77,67	51,87	109,5
		A6	77,81	47,38	95,3
	A2A2	A7	77,64	62,26	104,1
		A8	77,67	55,88	100,2
		A9	77,34	58,86	118,2

Для термокислотного способу коагуляції загальний рівень відновлення білка був дещо вищим – 77,3–81,2 %, що підтверджує ефективнішу денатурацію та утримання білкових компонентів у згустку. Водночас відновлення жиру в цьому випадку було нижчим (47,4–65,2 %), що пояснюється інтенсивнішим виділенням сироватки при термообробці. Найвищу ефективність виробництва при цьому способі відзначено для зразків A9 (A2A2, 118,2 %), A1 (A1A1, 110,4 %) і A5 (A1A2, 109,5 %). Це свідчить, що термокислотна коагуляція забезпечує кращу утилізацію білкових речовин незалежно від генотипу β -казеїну, проте потребує оптимізації умов для зменшення втрат жиру.

Зіставлення отриманих результатів показало, що вплив генетичного типу β -казеїну на ефективність виробництва є помітним, але різноспрямованим. Для

кисотно-сичужного способу найкращі результати отримано з молока A1A1, тоді як для термокислотного – з молока A2A2. Таким чином, технологічна доцільність використання певного генотипу молока визначається способом коагуляції білків.

Загалом, ефективність виробництва м'яких сирів коливалася у межах 89,2–130,2 %, при цьому вищі показники зафіксовано для зразків із молока, яке містить переважно β -казеїн A2, що підтверджує його перспективність для виготовлення продуктів із підвищеним фактичним виходом та стабільною структурою сирної маси.

Таким чином, проведені дослідження засвідчили, що поліморфізм β -казеїну має безпосередній вплив на якість і ефективність виробництва м'яких сирів. Сприятливі показники отримано при використанні молока генотипу A2A2, що забезпечує оптимальний баланс між вмістом білка і жиру, мінімальні втрати основних компонентів та високий вихід готового продукту.

Висновки за розділом 5

У результаті проведених досліджень встановлено, що генетичні варіації β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) у молоці суттєво впливають на сиропридатність сировини, технологічні властивості білкового згустку та якісні характеристики м'яких сирів. Тип β -казеїну визначає особливості формування структури, водоутримуючу здатність, консистенцію та вихід готового продукту при використанні різних способів коагуляції білків.

Аналіз органолептичних показників показав, що незалежно від способу виробництва всі зразки сирів мали високу сенсорну оцінку (4,3–4,8 бала), що свідчить про стабільну якість процесу. При цьому молоко з генотипом A2A2 сприяло формуванню більш ніжної консистенції, чистого кисломолочного смаку та приємного аромату, тоді як сири з молока A1A1 відзначалися щільнішою структурою і меншою пластичністю. Молоко A1A2 демонструвало проміжні властивості, поєднуючи ознаки обох варіантів β -казеїну.

За результатами фізико-хімічного аналізу встановлено, що спосіб коагуляції та генотип β -казеїну визначають відмінності у складі м'яких сирів. Сири,

виготовлені кислотно-сичужним способом, мали нижчий вміст води (50,5–52,7 %) і вищу жирність (22,7–25,4 %), тоді як термокислотні сири характеризувалися підвищеною вологістю (53,8–58,5 %) і вмістом білка (21,9–23,9 %). Для молока типу A2A2 спостерігався оптимальний баланс білкової та жирової фракцій, а також нижча кислотність (рН 5,88–5,90), що зумовлює покращену текстуру та смакові властивості продукту.

Оцінка виходу сирів показала, що термокислотний спосіб коагуляції забезпечує вищий фактичний вихід (до 18,0 %), тоді як при кислотно-сичужному способі цей показник становив у середньому 14–17 %. Найстабільніші результати отримано при використанні молока генотипу A2A2, для якого зафіксовано мінімальні втрати білка і жиру та вищу ефективність виробництва – у середньому 141,3 %, що перевищує відповідні показники для A1A1 та A1A2.

Аналіз ефективності виробництва свідчить, що для кислотно-сичужного способу найкращі результати спостерігались у молока A1A1, тоді як для термокислотного – у A2A2. Загалом рівень відновлення білка в сирній масі становив 71–81 %, а жиру – 47–78 %. Це вказує на різноспрямований вплив генетичних варіацій β -казеїну на процеси коагуляції та формування згустку, що має враховуватися при виборі оптимальної технології виробництва.

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що молоко з генотипом β -казеїну A2A2 має найвищу сиропридатність серед досліджених варіантів. Воно забезпечує вищий фактичний вихід, оптимальний білково-жировий баланс, стабільну структуру сирної маси та кращі споживчі характеристики готового продукту. Використання такого молока є доцільним для виробництва м'яких сирів як кислотно-сичужного, так і термокислотного типу, з метою підвищення ефективності технологічного процесу та забезпечення стабільної якості продукції.

Розділ 6

ТВЕРДІ СИРИ

ІЗ МОЛОКА-СИРОВИНИ З РІЗНИМИ ВАРІАЦІЯМИ β -КАЗЕЇНУ

У сучасній молокопереробній промисловості тверді сири посідають провідне місце серед сирних продуктів завдяки їх високій харчовій цінності, тривалому терміну зберігання та різноманіттю сенсорних характеристик. Формування якості цієї категорії сирів значною мірою визначається технологічними властивостями молока-сировини, зокрема його білковим складом і здатністю до сичужного згортання.

Серед білкових компонентів молока особливу роль відіграє β -казеїн, генетичні варіації якого (A1, A2) впливають на структурно-функціональні властивості казеїнового комплексу, зокрема на гідратаційні властивості, швидкість і щільність утворення згустку, а також на подальше дозрівання сирної маси. Відмінності у складі ізоформ β -казеїну можуть зумовлювати зміни у фізико-хімічних і сенсорних показниках готового продукту, а також впливати на ефективність переробки молока.

Враховуючи результати попередніх досліджень щодо впливу поліморфізму β -казеїну на сиропридатність молока при виробництві кисломолочних і м'яких сирів, доцільним є розширення дослідження на тверді сири, які формуються в результаті комбінованої сичужно-кислотної коагуляції білків та тривалого дозрівання.

Метою даного етапу дослідження є встановлення впливу генетичних варіацій β -казеїну молока корів (A1A1, A1A2, A2A2) на органолептичні, фізико-хімічні та амінокислотні показники твердих сирів, а також визначення взаємозв'язку між білково-жировим співвідношенням у вихідній сировині, хімічним складом готового продукту та його виходом.

У цьому розділі розглядаються результати сенсорної оцінки, визначення фізико-хімічного складу, розрахунку виходу сирів, а також аналіз амінокислотного профілю твердих сирів, виготовлених із молока корів різних генотипів за

β -казеїном. Це дозволяє об'єктивно оцінити вплив поліморфізму білкової фракції на формування якості й харчової цінності твердих сирів та визначити оптимальний тип молока для їх виробництва.

На рис. 6.1 продемонстровано зовнішній вигляд зразків твердого сиру, виготовлено з молока корів з різним генотипом (A1A1, A1A2, A2A2).



Рис. 6.1. Зовнішній вигляд зразків твердого сиру⁵
із молока корів з різними генотипами β -казеїну

⁵ *Примітка:* номер зразка сиру відповідає номеру зразка молока-сировини та ідентифікаційному номеру дослідної корови, від якої систематично здійснювався відбір молока.

Зразки мали характерну форму та поверхню, властиву даному виду продукції. Візуальні відмінності між ними переважно стосувалися кольору та рисунку на розрізі: у сирів із молока генотипу A1A2 спостерігалось рівномірне розташування вічок і більш однорідне забарвлення порівняно із зразками A1A1 та A2A2.

Результати сенсорного аналізу загальних характеристик твердого сиру (зовнішній вигляд, смак і запах, консистенція, колір, рисунок на розрізі, форма головок сиру) експертною групою представлені у вигляді профілограми (рис. 6.2).

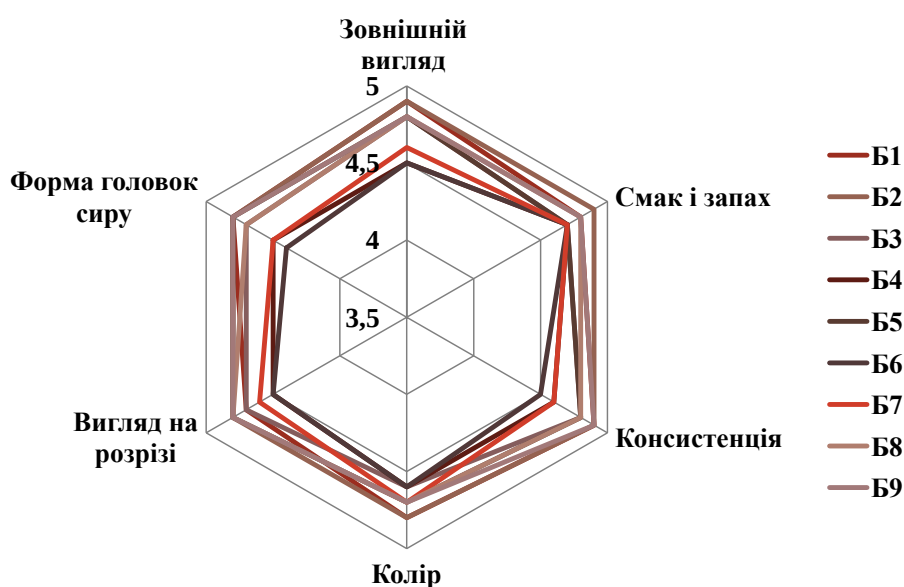


Рис. 6.2. Сенсорний профіль зразків твердого сиру із молока корів з різними генотипами β -казеїну

Аналіз сенсорного профілю твердих сирів (рис. 6.2) показав, що всі зразки характеризувалися досить високими органолептичними показниками, проте між ними простежуються певні відмінності, зумовлені як генотипом β -казеїну молока-сировини, так і особливостями технологічного процесу дозрівання.

Вищу загальну оцінку отримали зразки №1, №5 та №7, для яких було відзначено добре виражений сирний аромат, гармонійний смак без сторонніх присмаків, а також щільну, але пластичну консистенцію. Зовнішній вигляд цих сирів оцінювався у 4,8–5,0 бала, колір – рівномірний, світло-кремовий із

характерним блиском. Це свідчить про оптимальні умови коагуляції та дозрівання, що забезпечують стабільність структури білково-жирової матриці.

Зразки №2, №4 та №8 отримали дещо нижчі бали за показниками рисунку на розрізі та консистенції (3,5–4,0 бала). У цих сирів спостерігалось нерівномірне утворення вічок або слабка щільність сирного тіста, що може бути пов'язано з вищою вологістю або меншою здатністю білкової матриці до структуроутворення.

Середній рівень оцінок за смак і запах (4,2–4,5 бала) відзначено для більшості зразків, що свідчить про достатній розвиток ароматичних компонентів, властивих зрілим твердим сирами. Водночас незначні відмінності у вираженості кисломолочних нот і післясмаку можуть бути пов'язані з різним ступенем інтенсивності протеолізу, який, як відомо, залежить від типу β -казеїну.

Найнижчі показники рисунку на розрізі відмічені у зразків №3 та №8 (2,5–3,0 бали), що свідчить про надмірну щільність структури або недостатній розвиток газоутворення під час дозрівання. Такі характеристики можуть бути наслідком використання молока з генотипом A1A1, для якого типовою є менша пластичність згустку та слабша гідратаційна здатність казеїнової фракції.

У цілому, за результатами сенсорного аналізу встановлено, що найвищими споживчими властивостями характеризувалися сири, виготовлені з молока генотипу A2A2, які відзначалися більш ніжною консистенцією, виразним сирним ароматом, однорідним рисунком і привабливим зовнішнім виглядом. Це свідчить про високу сиропридатність такого типу молока, що узгоджується з попередніми результатами фізико-хімічних досліджень та оцінки ефективності виробництва.

Результати фізико-хімічних показників зразків твердого сиру з молока з різним генотипом представлено в табл. 6.1.

Аналіз фізико-хімічних показників твердих сирів (табл. 6.1) засвідчив наявність суттєвих відмінностей між зразками, виготовленими з молока корів різних генотипів β -казеїну. Отримані результати підтверджують, що генетична варіабельність основного білка казеїнового комплексу має істотний вплив на формування структури, вологозв'язувальну здатність та жиробілковий баланс готового продукту.

**Фізико-хімічні показники зразків твердого сиру із молока корів
з різними генотипами β -казеїну⁶**

Зразок №	Генотип β -казеїну	Кислотність, од. рН	Масова частка сухих речовин, %	Масова частка білка, %	Масова частка жиру, %
1	A1A1	5,13±0,01	61,7±0,02	21,1±0,1	36,1±0,01
2		5,13±0,01	62,8±0,02	22,4±0,1	35,8±0,01
3		5,17±0,01	61,3±0,02	20,9±0,1	36,3±0,01
4	A1A2	5,35±0,01	65,4±0,02	29,8±0,1	30,7±0,01
5		5,37±0,01	64,4±0,02	28,4±0,1	35,6±0,01
6		5,36±0,01	63,9±0,02	23,2±0,1	35,4±0,01
7	A2A2	5,23±0,01	62,5±0,02	19,8±0,1	37,2±0,01
8		5,24±0,01	61,6±0,02	18,7±0,1	38,1±0,01
9		5,26±0,01	60,8±0,02	19,1±0,1	36,3±0,01

Зразки, виготовлені з молока генотипу A1A1 (№1–3), характеризувалися нижчим рівнем сухих речовин (у межах 61,3–62,8 %) і вищим вмістом жиру (до 36,3 %), що свідчить про дещо м'якшу консистенцію та підвищену жирність сирної маси. Кислотність таких сирів залишалася відносно стабільною (рН 5,13–5,17), що вказує на рівномірний хід дозрівання, однак нижча частка білка (20,9–22,4 %) може бути наслідком меншої здатності білкових фракцій A1-типу до утворення щільної просторової матриці при коагуляції.

Для сирів з молока генотипу A1A2 (№4–6) характерним є підвищений вміст сухих речовин (63,9–65,4 %) і білка (23,2–29,8 %), що свідчить про оптимальне поєднання білкових ізоформ, які забезпечують структуроутворювальну здатність та зниження втрат білка у сироватці. Масова частка жиру (30,7–35,6 %) у цих зразках дещо нижча, що зумовлює щільнішу текстуру і рівномірну консистенцію. Рівень кислотності (рН 5,35–5,37) підтверджує активні ферментативні процеси під час дозрівання, що сприяють формуванню гармонійного смаку.

Вищу жирність серед усіх зразків мали сири з молока генотипу A2A2 (№7–9) – 36,3–38,1 %, однак при цьому вони відзначалися нижчим вмістом білка (18,7–

⁶ Примітка: номер зразка сиру відповідає номеру зразка молока-сировини та ідентифікаційному номеру дослідної корови, від якої систематично здійснювався відбір молока.

19,8 %). Незважаючи на це, такі сири мали приємну еластичну консистенцію, що пояснюється більш м'якими властивостями білкової фази А2-типу, яка утримує жир у структурі сиру, не спричиняючи надмірного відділення сироватки. Кислотність залишалася в межах 5,23–5,26 рН, що свідчить про помірний розвиток мікрофлори та стабільні умови визрівання.

Узагальнюючи отримані дані, можна зробити висновок, що вищими фізико-хімічними показниками збалансованості відзначаються сири, виготовлені з молока генотипу А1А2, для яких характерне оптимальне співвідношення білка, жиру та сухих речовин. Продукти з молока А2А2 мали дещо нижчий білковий вміст, проте відзначалися більш ніжною консистенцією і приємним вершковим смаком, що покращує їхні сенсорні властивості. Такі відмінності пояснюються різницею у здатності білково-жирового комплексу утримувати вологу в процесі формування і дозрівання сирної маси. Таким чином, β -казеїн типу А2А2 можна вважати перспективним з погляду виробництва сирів із високими споживчими характеристиками та стабільними технологічними показниками.

Амінокислотний профіль досліджуваних зразків твердого сиру було проаналізовано хроматографічно. Усереднені результати представлені на графіку (рис. 6.3).

Аналіз амінокислотного складу твердих сирів, виготовлених із молока корів різних генотипів β -казеїну (рис. 6.3), показав наявність певних відмінностей у вмісті як незамінних, так і замінних амінокислот, що свідчить про вплив генетичного типу білкової фракції молока на амінокислотний профіль готового продукту.

У всіх досліджених зразках переважають глутамінова кислота, лізин, лейцин і аспарагінова кислота – саме ці амінокислоти є головними джерелами вільних азотовмісних сполук, що беруть участь у створенні смаку зрілих сирів.

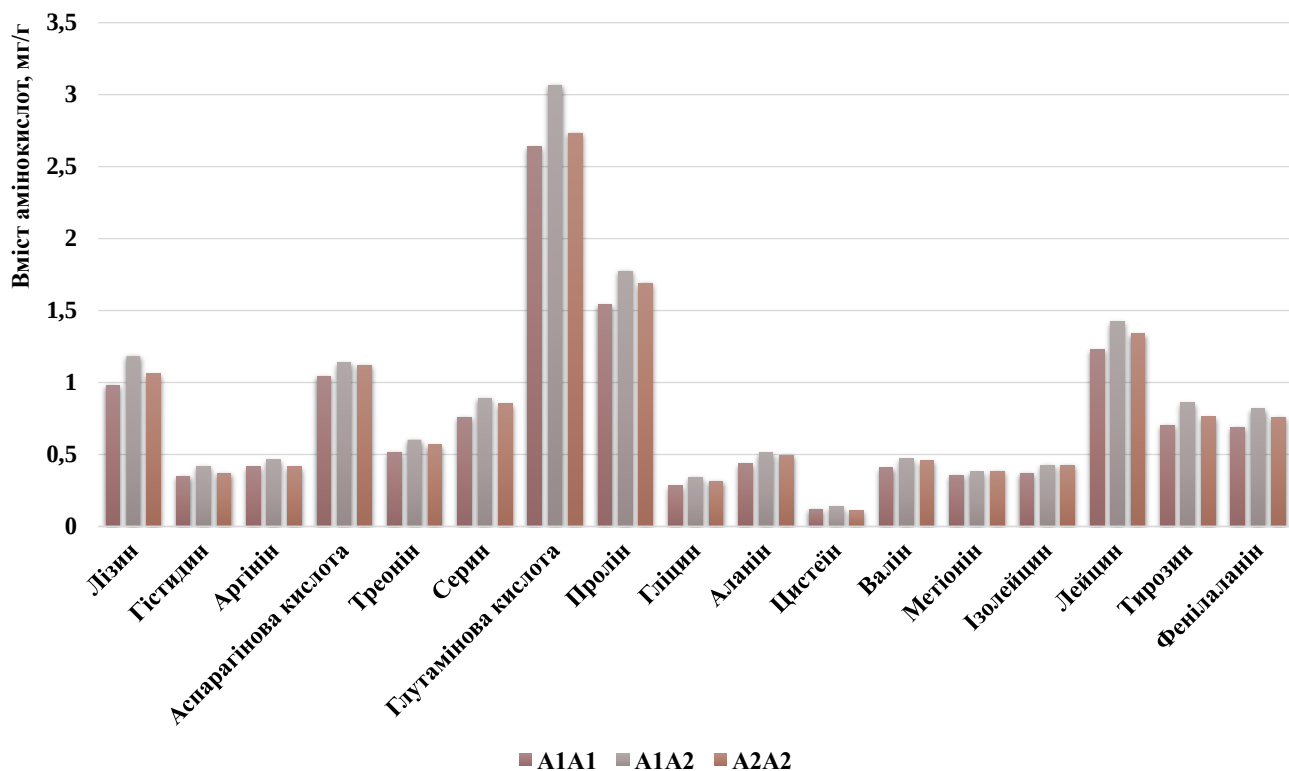


Рис. 6.3. Усереднений амінокислотний профіль зразків твердого сиру із молока корів з різними генотипами β -казеїну

Глутамінова кислота мала найвищу концентрацію у зразках A1A2 – 3,2 мг/г, тоді як у сирів із молока A1A1 цей показник становив 2,7 мг/г, а у A2A2 – 2,9 мг/г. Це свідчить про інтенсивніший гідроліз білків у зразках з генотипом A1A2, який сприяє утворенню виразного сироватково-горіхового присмаку. Лізин змінювався в межах 0,95–1,15 мг/г, з максимумом у сирів із молока A2A2 (1,15 мг/г), що підвищує біологічну цінність білкової складової продукту. Лейцин мав високі показники у зразках A1A1 (1,35 мг/г) і A1A2 (1,45 мг/г), тоді як у A2A2 рівень був дещо нижчим – 1,25 мг/г. Ця амінокислота відіграє важливу роль у створенні характерного сирного аромату. Аспарагінова кислота виявлялася у середньому на рівні 1,0–1,1 мг/г, з максимальним значенням у сирів A1A2 (1,1 мг/г). Пролін демонстрував найбільші показники у зразках A1A2 (1,6 мг/г), що сприяє утворенню ніжнішої текстури та солодкуватого післясмаку. Серин варіювався в межах 0,7–0,8 мг/г, з перевагою у сирів A2A2 (0,8 мг/г). Це пов'язано зі створенням більш делікатної білкової структури. Треонін було зафіксовано на рівні 0,5–0,6 мг/г у всіх досліджених варіантах, із незначним переважанням у зразках A2A2. Валін,

метіонін та ізолейцин знаходилися на рівні 0,4–0,5 мг/г без суттєвих відмінностей між різними генотипами. Фенілаланін і тирозин мали середній вміст 0,6–0,8 мг/г. Найвищі показники характеризували зразки A1A2, що пояснюється активнішим протеолізom ароматичних амінокислот.

Загалом, генотип A1A2 забезпечує вищий сумарний вміст вільних амінокислот ($\approx 16,5$ мг/г), що свідчить про активне дозрівання білкової матриці, тоді як A2A2 ($\approx 15,2$ мг/г) сприяє гармонійному формуванню амінокислотного складу з високою часткою глутамінової та серинової фракцій, які зумовлюють м'який смак і приємний аромат сиру.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що сири з молока A1A2 вирізняються найбільш активним накопиченням вільних амінокислот, що свідчить про інтенсивний ферментативний розпад білків і формування багатого смаку. Зразки A2A2 мають добре збалансований амінокислотний профіль із переважанням серину, треоніну та глутамінової кислоти, що забезпечує ніжну текстуру й м'який вершковий смак. У сирів A1A1 відзначається дещо нижча активність протеолітичних процесів, що призводить до щільнішої структури та стриманого аромату.

Отже, генотип β -казеїну має значний вплив на рівень протеолізу та амінокислотний склад твердих сирів, визначаючи як їхню поживну цінність, так і властивості смаку та текстури.

З метою визначення ефективності технологічного процесу та з'ясування впливу генетичних варіацій β -казеїну на вихід твердого сиру, було проведено розрахунки за формулами (2.3) і (2.4). Результати представлені у вигляді гістограми на рис. 6.4.

Аналіз даних, поданих на рис. 6.4, свідчить, що вихід твердого сиру з молока корів різних генотипів β -казеїну мав певні варіації, які можуть бути зумовлені різною структурною організацією білкової матриці та ефективністю коагуляційного процесу.

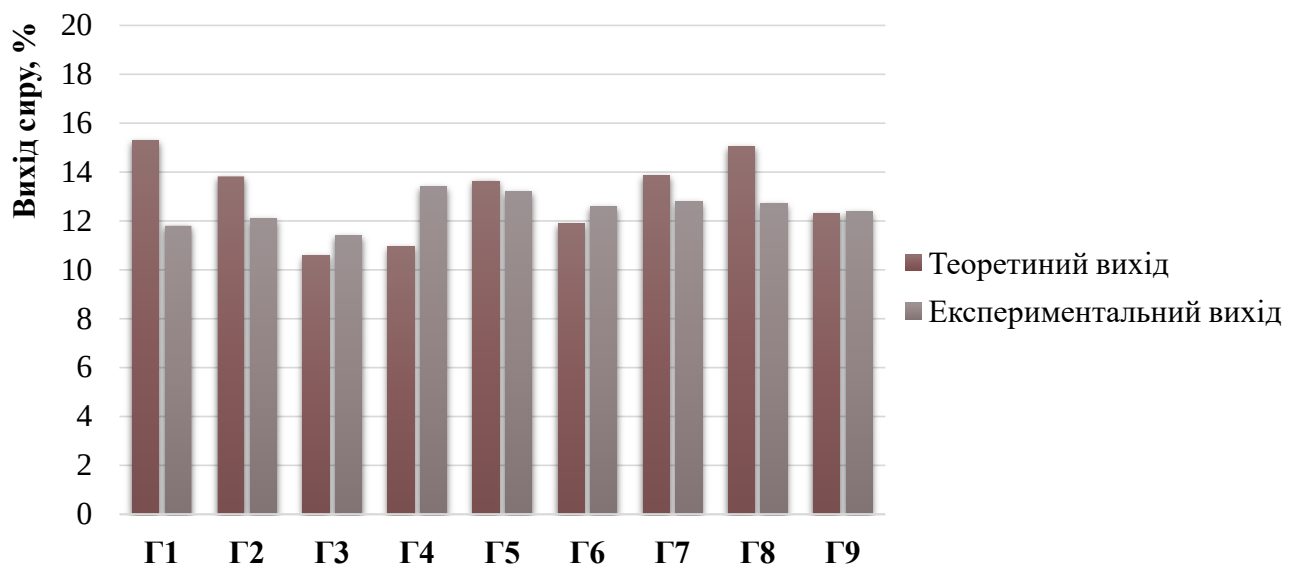


Рис. 6.4. Вихід сиру твердого з молока корів із молока корів з різними генотипами β -казеїну

У середньому теоретичний вихід коливався в межах 10,8–15,5%, тоді як експериментальний вихід – 11,5–14,8%, що вказує на відносно високу кореляцію між розрахунковими і фактичними результатами.

Зокрема, найвищі значення виходу зафіксовано у зразків Г1 (15,5%) і Г8 (15,1%), що відповідають молоку з генотипом А1А1, тоді як у групах А1А2 (Г4–Г6) показники були помірними (12,8–13,9%). Найнижчий вихід спостерігався у зразків Г3 (10,8%) і Г6 (12,0%), отриманих із молока генотипу А2А2, що може бути наслідком особливостей структури білків цього типу – слабшої здатності до утворення щільного казеїнового згустку.

Порівняння теоретичного та експериментального виходу показує, що різниця між ними не перевищує 1,5–2%, що підтверджує адекватність розрахункових моделей для оцінювання ефективності виробництва. Отже, молоко з генотипом β -казеїну А1А1 характеризується вищим фактичним виходом сиру, тоді як у зразків із А2А2 вихід є нижчим, що може бути зумовлено підвищеною гідрофільністю білкових мікел та зменшенням здатності утримувати жир і вологу під час пресування. Генотип А1А2 займає проміжне положення, забезпечуючи стабільні, але не максимальні показники.

Таким чином, отримані результати підтверджують, що варіації β -казеїну мають істотний вплив на технологічну ефективність виробництва твердих сирів, зокрема на їх фактичний вихід і структуру білково-жирової основи.

Висновки за розділом 6

Проведені дослідження дозволили встановити суттєвий вплив генетичних варіацій β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) у молоці корів на фізико-хімічні, сенсорні та амінокислотні характеристики твердих сирів, а також на ефективність технологічного процесу їх виробництва.

Сенсорна оцінка показала, що всі зразки відповідали вимогам до якості твердих сирів, однак мали відмінності за зовнішнім виглядом, консистенцією та ароматом. Найвищі загальні бали (4,8–5,0) отримали сири з молока генотипу A2A2, які характеризувалися ніжною пластичною консистенцією, рівномірним рисунком та виразним сирним ароматом. Сири з молока A1A2 мали збалансований смак і гармонійний аромат (4,5–4,8 бала). Зразки A1A1 отримали дещо нижчі оцінки (3,5–4,2 бала) через щільнішу структуру та слабше виражений аромат.

Фізико-хімічні показники підтвердили різний ступінь волого- і жирозв'язуючої здатності білкових фракцій. У сирів із молока A1A1 вміст сухих речовин становив 61,3–62,8%, білка – 20,9–22,4%, жиру – до 36,3%; кислотність pH – 5,13–5,17. Для зразків A1A2 характерним був найвищий вміст сухих речовин (63,9–65,4%) і білка (23,2–29,8%) при pH 5,35–5,37, що свідчить про оптимальне співвідношення білково-жирових компонентів і щільну структуру. Сири A2A2 мали підвищену жирність (36,3–38,1%) і нижчий вміст білка (18,7–19,8%), при цьому відзначалися м'якою консистенцією і стабільною кислотністю (pH 5,23–5,26).

Таким чином, найкращий баланс фізико-хімічних показників зафіксовано для сирів із молока генотипу A1A2, тоді як зразки A2A2 вирізнялися підвищеною жирністю та ніжністю консистенції.

Амінокислотний склад продемонстрував залежність інтенсивності протеолізу від типу β -казеїну. Найвищий сумарний вміст вільних амінокислот

зафіксовано у сирів A1A2 – $\approx 16,5$ мг/г, що свідчить про активне дозрівання білкової матриці. У зразків A2A2 сумарний вміст становив $\approx 15,2$ мг/г, із переважанням глютамінової (2,9 мг/г) і серинової (0,8 мг/г) кислот, що формує м'який вершковий смак. Для сирів генотипу A1A1 був характерний менш насичений амінокислотний профіль ($\approx 14,5$ мг/г), зокрема відзначався знижений вміст глютамінової кислоти (2,7 мг/г). Найвищі показники глютамінової кислоти (3,2 мг/г), проліну (1,6 мг/г) і фенілаланіну (0,8 мг/г) характерні для зразків A1A2, що забезпечує розвинений аромат і гармонійний смак.

Вихід твердого сиру залежав від генотипу β -казеїну молока. Найвищі експериментальні показники (15,1–15,5%) спостерігалися у зразків, отриманих із молока генотипу A1A1. Для генотипу A1A2 вихід становив 12,8–13,9%. Найнижчий вихід був зафіксований у молока з генотипом A2A2 (10,8–12,0%), що пояснюється підвищеною гідрофільністю білкової фази та нижчою здатністю утримувати вологу. Різниця між теоретичним та фактичним значеннями виходу не перевищувала 1,5–2%, що свідчить про високу точність розрахунків.

Генотип β -казеїну A1A2 є найбільш технологічно вигідним для виробництва твердих сирів завдяки оптимальному співвідношенню білкових і жирових компонентів, високому вмісту амінокислот і збалансованим сенсорним властивостям. Молоко A2A2 забезпечує отримання сирів із приємною вершковою текстурою та м'яким смаком, що має переваги для преміальних сортів продукції. Молоко A1A1 характеризується найвищим виходом, однак продукти з нього мають щільнішу структуру й менш виражений аромат.

Отже, генетичні варіації β -казеїну істотно впливають на якість, харчову цінність і технологічні властивості твердих сирів. Найбільш збалансовані показники якості та оптимальне співвідношення виходу і смакових характеристик мають сири, виготовлені з молока генотипу A1A2, тоді як молоко типу A2A2 є перспективним для створення сирів із підвищеними споживчими властивостями.

Розділ 7

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

У даному розділі узагальнено результати комплексних експериментальних досліджень впливу поліморфізму β -казеїну молока корів української чорно-рябої молочної породи на якісні, технологічні та сенсорні характеристики сирів різних типів. На основі отриманих даних проаналізовано взаємозв'язок між генотипом β -казеїну та сиропридатністю молока-сировини, визначено закономірності формування фізико-хімічних і органолептичних властивостей продукту, а також розроблено практичні рекомендації щодо оптимізації виробничих процесів у сироробстві.

Результати дослідження переконливо свідчать, що поліморфізм β -казеїну (A1, A2) є важливим біотехнологічним чинником, який визначає структурно-функціональні властивості молока і, відповідно, його придатність до перероблення у сири різних технологічних груп. Молоко з генотипом A1A2 показало найбільш збалансовані фізико-хімічні характеристики, що зумовило оптимальне співвідношення білка і жиру, формування щільного згустку, рівномірний розподіл вічок і вищу сенсорну оцінку серед досліджених зразків твердих сирів. Таким чином, цей тип молока можна вважати універсальним для виробництва сиру сичужного типу.

Водночас молоко з генотипом A2A2 проявило підвищену кислотну стійкість і схильність до формування ніжного, рівномірного згустку при кислотній коагуляції, що забезпечило вищий фактичний вихід кисломолочного сиру та кращу консистенцію. Цей результат узгоджується з даними сучасних досліджень, які підтверджують підвищену біологічну цінність білкової фракції молока A2 та його сприятливий вплив на травну систему людини.

З іншого боку, зразки сирів, виготовлені з молока з генотипом A1A1, характеризувалися нижчим виходом продукту, менш щільною текстурою та слабше вираженим смаком і ароматом. Ці спостереження свідчать про меншу

технологічну ефективність даного типу молока для виробництва як м'яких, так і твердих сирів.

У ході виконання комплексних досліджень було встановлено, що генетична варіабельність β -казеїну (A1, A2) у молоці корів є суттєвим чинником, який визначає його фізико-хімічні, технологічні та функціональні властивості, а відтак – якість і вихід готової молочної продукції.

Комплексне узагальнення отриманих результатів дало змогу встановити такі закономірності:

∴ Молоко з різними варіаціями β -казеїну (A1A1, A1A2, A2A2) відрізняється за фізико-хімічними характеристиками. Для генотипу A2A2 характерні підвищений вміст білка, знижена кислотність і вища стабільність білкової фракції, що позитивно впливає на коагуляційні властивості молока.

∴ При виготовленні сирів спостерігалася тенденція до вищого фактичного виходу та зменшення втрат білка у варіантах із молока генотипу A2A2. Такі зразки характеризувалися більш щільною, однорідною структурою, ніжною консистенцією та стабільними сенсорними показниками.

∴ Для виробництва твердих сирів із молока різних варіантів β -казеїну виявлено відмінності у формуванні сирного згустку, тривалості зсідання та структурі готового продукту. Сири з молока A2A2 мали підвищену вологозв'язуючу здатність, вищий вміст білка у сухих речовинах і менші втрати жиру з сироваткою, що зумовило збільшення фактичного виходу на 2–3 % у порівнянні з аналогами з молока A1A1.

∴ За результатами сенсорного аналізу всіх видів продукції (кефір, кисломолочний сир, твердий сир) органолептичні показники залишалися стабільно високими незалежно від генотипу тварин, проте зразки з молока A2A2 відзначалися більш гармонійним смаком, чистішим ароматом та збалансованою консистенцією.

∴ Ефективність виробництва продукції з молока A2A2 виявилася найвищою: коефіцієнт утримання білка становив у середньому 77,4 %, а ефективність виробництва – понад 140 %, що свідчить про його підвищену сиропридатність.

∴ Встановлено, що генотип A1A1 асоціюється з дещо вищими втратами білка та підвищеним вмістом вологи у готових продуктах, що може знижувати структурно-механічну стабільність сирних згустків. Молоко A1A2 займає проміжне положення між двома крайніми варіантами.

∴ Отримані дані підтверджують доцільність використання молока з генотипом A2A2 як сировини для виготовлення широкого спектра кисломолочних і твердих сирів, що дозволяє підвищити рентабельність переробки, стабільність якості та біологічну цінність продукції.

Таким чином, результати досліджень доводять, що поліморфізм β -казеїну є біомаркером технологічної придатності молока, а його урахування у селекційно-технологічних програмах є доцільним для підвищення ефективності молокопереробної галузі.

Варто зазначити, що результати були отримані при використанні молока від комерційного стада української чорно-рябої молочної породи, яке утримувалося в одному господарстві Сумського району (Україна). Цей регіон належить до територій, де ведуться (велися) бойові дії відповідно до наказу Міністерства розвитку громад та територій України № 376 від 28.02.2025. Вплив екстремальних умов (стрес тварин, обмеження у кормах і воді, зміна умов утримання) потенційно міг позначитись на якісному складі молока. Проте навіть за таких умов вдалося виявити чітку залежність між генетичними особливостями β -казеїну та сироробними властивостями сировини, що підтверджує достовірність отриманих висновків.

З позицій практичного застосування результати досліджень дають можливість:

∴ проводити селекційний добір молочного стада за генотипом β -казеїну з урахуванням потреб сироробних підприємств;

∴ впроваджувати сировинну стандартизацію молока за білковим поліморфізмом для виготовлення продукції з прогнозованими властивостями;

∴ підвищити ефективність і рентабельність молокопереробного виробництва, зменшивши втрати білкових речовин у сироватці та підвищивши фактичний вихід сиру.

Отримані результати мають наукову новизну, оскільки вперше для поголів'я української чорно-рябої молочної породи проведено комплексну оцінку впливу β -казеїнового поліморфізму на сироробні властивості молока за двома типами коагуляції – кислотною та сичужною. Це дозволило виявити специфічні закономірності впливу генотипу β -казеїну на процеси формування згустку, хімічний склад і сенсорні показники сирів різних типів.

З практичної точки зору, результати дослідження можуть бути використані:

∴ у програмах генетичної селекції молочної худоби для підвищення якості сировини;

∴ у технологічних схемах виробництва кисломолочних і твердих сирів із урахуванням типу β -казеїну;

∴ у наукових розробках з удосконалення методів коагуляції та дозрівання білкових продуктів;

∴ у маркетингових програмах із розділення молока за типом β -казеїну (A1, A2) для виготовлення функціональних молочних продуктів.

Таким чином, результати проведених досліджень формують теоретичну і практичну базу для подальшого розвитку інноваційного напрямку у вітчизняному сироробстві – селективного використання молока різних β -казеїнових варіацій для створення продуктів із підвищеними сенсорними, харчовими та біологічними властивостями.

Розроблені положення можуть бути впроваджені у науково-дослідну, виробничу та освітню практику, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності української молокопереробної галузі на внутрішньому та міжнародному ринку.

Практичні рекомендації:

∴ У виробництві сирів доцільно враховувати генетичну варіабельність β -казеїну молока-сировини. Використання молока з генотипом A1A2 забезпечує збалансоване співвідношення білкової та жирової фракцій, що позитивно впливає

на вихід і структуру твердих сирів. Молоко з генотипом A2A2 є технологічно придатнішим для виготовлення кисломолочних і термокислотних сирів завдяки кращому з'єднанню білкових фракцій.

∴ При плануванні технологічного процесу коагуляції білків необхідно коригувати параметри (температуру, тривалість, дозу коагулюючих агентів) відповідно до β -казеїнового типу сировини. Для молока A2A2 доцільно застосовувати термокислотний метод, тоді як для A1A1 – кислотно-сичужний, що дозволить забезпечити оптимальний вихід і якість продукту.

∴ Рекомендовано здійснювати генетичний добір молочного стада із переважанням тварин із генотипом A1A2, який забезпечує найкращий баланс між технологічною придатністю молока та сенсорними властивостями сирів. Для господарств, орієнтованих на виробництво функціональних молочних продуктів, доцільним є підвищення частки тварин із генотипом A2A2.

∴ Оптимізація годівлі та умов утримання корів сприятиме стабілізації білкового складу молока, зниженню коливань у вмісті β -казеїну та покращенню відтворюваності технологічних властивостей молока при переробці.

∴ Виробничим лабораторіям молокопереробних підприємств рекомендується впроваджувати молекулярно-генетичні методи ідентифікації варіантів β -казеїну у системі контролю якості сировини. Це дозволить здійснювати науково обґрунтований підбір молока залежно від типу продукту, що виготовляється.

∴ Подальші дослідження варто спрямувати на вивчення впливу β -казеїнового поліморфізму на якість сирів із використанням різних заквасочних культур і ферментних препаратів, а також на розроблення технологічних схем із адаптованими параметрами для кожного генотипу молока.

Отже, проведене дослідження комплексно підтвердило технологічні переваги молока корів із генотипом β -казеїну A2A2. Його цілеспрямоване використання в молокопереробній промисловості сприятиме підвищенню ефективності виробництва, якості та безпечності молочних продуктів, а також відкриває перспективи для впровадження генетично орієнтованих технологій у системі «від ферми до продукту».

Висновки за розділом 7

Узагальнення результатів досліджень підтвердило, що генетичні варіації β -казеїну (A1, A2) мають визначальний вплив на фізико-хімічні, технологічні та сенсорні властивості молока-сировини, а також на якість і ефективність виробництва молочних продуктів.

Використання молока з генотипом β -казеїну A2A2 є доцільним для виробництва кисломолочних і твердих сирів, оскільки воно забезпечує вищу рентабельність, стабільність якості та зменшення втрат білково-жирових компонентів. У виробництві кисломолочного сиру та твердих сирів із молока генотипу A2A2 досягнуто найвищого фактичного виходу (до 30,5 %) та ефективності виробництва (понад 140 %), що перевищує аналогічні показники для молока генотипів A1A1 і A1A2.

Встановлено, що поліморфізм β -казеїну може бути інформативним біомаркером технологічної придатності молока, який доцільно враховувати при селекції великої рогатої худоби, формуванні сировинних партій і плануванні технологічних процесів переробки.

На основі проведених досліджень розроблено практичні рекомендації щодо генотипування тварин, селекційного добору за β -казеїном, сортування молока за білковим складом і раціонального використання сировини типу A2 для виробництва молочних продуктів із підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

Отримані результати мають важливе прикладне значення для молокопереробної промисловості, оскільки створюють наукове підґрунтя для впровадження генетично орієнтованих технологій у виробництві функціональних та високоякісних молочних продуктів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення взаємодії білкових фракцій молока різних генотипів з коагулюючими агентами, дослідження переходу білкових речовин у сироватку, а також на вивчення впливу різних технологічних режимів дозрівання на структурно-функціональні властивості сирів.

Таким чином, результати дослідження поглиблюють сучасні уявлення про роль генетичних факторів у формуванні якості молочної сировини та відкривають перспективи для розвитку інноваційних технологій селективного сироробства, орієнтованих на максимальне використання потенціалу білкової фракції молока відповідно до його генетичного типу.

У результаті проведених комплексних досліджень науково обґрунтовано вплив генетичних варіацій β -казеїну молока корів (A1A1, A1A2, A2A2) на фізико-хімічні, технологічні, сенсорні та амінокислотні характеристики молока-сировини й молочних продуктів, а також визначено їх роль у формуванні якості, харчової цінності та ефективності виробництва.

Встановлено, що поліморфізм β -казеїну є одним із ключових факторів, що зумовлює технологічну придатність молока. Залежно від генотипу, змінюються показники кислотності, вміст білка, жиру та сухих речовин, а також властивості казеїнового комплексу, що визначають його поведінку під час коагуляції та дозрівання сирів.

Доведено, що молоко з генотипом β -казеїну A2A2 характеризується вищим вмістом білка (до 3,45 %), оптимальним рівнем кислотності (рН 6,68–6,71) і підвищеною стабільністю білково-жирового комплексу. Такі властивості забезпечують краще зсідання, щільнішу структуру згустку, мінімальні втрати білкових компонентів у сироватці та більш високу вихідну ефективність продуктів.

У виробництві кисломолочного сиру встановлено, що використання молока з генотипом A2A2 забезпечує більший вихід готового продукту (до 30,5 %) при збереженні високих сенсорних показників – ніжної консистенції, гармонійного кисломолочного смаку та чистого аромату. Молоко генотипу A1A1 має нижчий вихід і формує більш щільну структуру, тоді як A1A2 займає проміжне положення з достатньо високою якістю та стабільною текстурою.

У процесі виготовлення твердих сирів виявлено, що β -казеїн впливає на фізико-хімічний склад, текстурні характеристики та амінокислотний профіль продукції. Сири з молока генотипу A2A2 мають підвищений вміст жиру (36,3–38,1 %) і відзначаються ніжною, еластичною консистенцією, збалансованим смаком і ароматом. Зразки A1A2 характеризуються найвищим вмістом білка (до 29,8 %) і сумарним вмістом вільних амінокислот ($\approx 16,5$ мг/г), що свідчить про інтенсивний протеоліз і формування гармонійного смаку.

Амінокислотний склад сирів різних генотипів свідчить про суттєву залежність ступеня протеолізу від типу β -казеїну. У сирах з молока A1A2 зафіксовано найвищий вміст глутамінової кислоти (3,2 мг/г), проліну (1,6 мг/г) і фенілаланіну (0,8 мг/г), що формує насичений аромат і глибокий смак. У зразках A2A2 переважають серин і треонін, які зумовлюють ніжність текстури.

Виявлено, що ефективність переробки молока істотно залежить від генотипу β -казеїну. Вищі експериментальні показники виходу зафіксовано для молока типу A1A1 (до 15,5 %), тоді як A2A2 має нижчий вихід (10,8–12,0 %), але кращі сенсорні властивості готової продукції. Це свідчить про можливість цілеспрямованого використання молока різних генотипів для виготовлення певних видів сирів залежно від технологічних і ринкових вимог.

Комплексна оцінка молока та продуктів його переробки засвідчила, що генотип β -казеїну A2A2 є більш перспективним для виробництва молочних продуктів підвищеної харчової та біологічної цінності, особливо для дитячого, дієтичного та функціонального харчування.

На основі результатів досліджень сформульовано практичні рекомендації щодо:

- ∴ доцільності селекційного добору корів із переважанням генотипу β -казеїну A2A2;
- ∴ застосування генетичного маркування для сортування молока за типом казеїну перед переробкою;
- ∴ оптимізації параметрів коагуляції й дозрівання сирів залежно від білкового складу сировини;
- ∴ впровадження у виробництво технологій, орієнтованих на використання A2-молока для створення продукції з покращеними органолептичними характеристиками та високою біологічною цінністю.

Отримані результати мають наукову новизну у частині встановлення механізмів впливу генетичних варіацій β -казеїну на структуру білково-жирового комплексу та формування властивостей сирів.

Практичне значення роботи полягає у створенні науково обґрунтованої бази для генетично орієнтованої технології переробки молока, що дозволяє підвищити якість продукції, знизити виробничі втрати й забезпечити конкурентоспроможність української молочної галузі.

Результати досліджень доводять доцільність впровадження генетично орієнтованих технологій молокопереробки, що ґрунтуються на використанні сировини з домінуванням генотипу β -казеїну A2A2. Такі підходи дозволяють підвищити вихід готової продукції, поліпшити її органолептичні властивості, стабілізувати склад та забезпечити високу харчову й біологічну цінність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A comparison of the composition, coagulation characteristics and cheesemaking capacity of milk from Friesian and Jersey dairy cows / M. J. Auldist et al. *Journal of Dairy Research*. 2004. Vol. 71, no. 1. P. 51–57. <https://doi.org/10.1017/s0022029903006575>
2. A2 milk and BCM– 7 peptide as emerging parameters of milk quality / M. Giribaldi, C. Lamberti, S. Cirrincione, M. G. Giuffrida, L. Cavallarin. *Frontiers in nutrition*. 2022. №9. P. 842375. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.842375>
3. Analysis of genomic selection characteristics of local cattle breeds in Gansu / B. Cai et al. *BMC Genomics*. 2025. Vol. 26, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-11753-0>
4. Analysis of the Frequency of the A1 and A2 Alleles in the Beta– Casein Gene and the A, B and E Alleles in the Kappa– Casein Gene in Local Cattle Breeds: Polish Red and Polish White– Backed / W. Sawicka– Zugaj et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025. Vol. 26, no. 5. P. 2212. <https://doi.org/10.3390/ijms26052212>
5. BCM– 7: Opioid– like Peptide with Potential Role in Disease Mechanisms / E. Bolat et al. *Molecules*. 2024. Vol. 29, no. 9. P. 2161. <https://doi.org/10.3390/molecules29092161>
6. Beta– Casein Gene Polymorphism in Serbian Holstein– Friesian Cows and its Relationship with Milk Production Traits / R. Marko et al. *Acta Veterinaria*. 2020. <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0037>
7. Borş A., Borş S.– I., Floriştian V.– C. Health– Related Outcomes and Molecular Methods for the Characterization of A1 and A2 Cow’s Milk: Review and Update. *Veterinary Sciences*. 2024. Vol. 11, no. 4. P. 172. <https://doi.org/10.3390/vetsci11040172>
8. Bovine beta casein polymorphism and environmental sustainability of cheese production: The case of Grana Padano PDO and mozzarella cheese / G. Gislon, et

- al. *Sustainable Production and Consumption*. 2023. № 35. P. 85–94.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.017>
9. Breed of cow and herd productivity affect milk nutrient recovery in curd, and cheese yield, efficiency and daily production / G. Stocco et al. *Animal*. 2018. Vol. 12, no. 2. P. 434–444. <https://doi.org/10.1017/s1751731117001471>
10. Caseins: Versatility of Their Micellar Organization in Relation to the Functional and Nutritional Properties of Milk / A. Runthala et al. *Molecules*. 2023. Vol. 28, no. 5. P. 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28052023>
11. Comparative proteomic characterization of bovine milk containing β -casein variants A1A1 and A2A2, and their heterozygote A1A2 / X. Wang et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020. Vol. 101, no. 2. P. 718–725.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.10684>
12. Comparison of the quality of yoghurt produced from milk containing A1 and A2 β -casein / I. Radkowska et al. *Annals of Animal Science*. 2024.
<https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0092>
13. De Vitte Kristina. *Influence of B-A₂ Casein Gene on Milk Composition and Quality of Milk Products in Crossbred Simmental and Holstein Cows*. Diss. Lithuanian University of Health Sciences (Lithuania), 2022.
14. Delgado Teixeira Renata. Study of the effects of β -casein polymorphism (A2 vs A1) on acid coagulation properties of milk, 2021.
15. Difficulties in Establishing the Adverse Effects of β -Casomorphin-7 Released from β -Casein Variants—A Review / M. L. de Vasconcelos et al. *Foods*. 2023. Vol. 12, no. 17. P. 3151. <https://doi.org/10.3390/foods12173151>
16. Effect of Adding Winemaking By-Product on the Characteristics of Petit Suisse Cheese Made with A2A2 Milk and Probiotic / C. M. S. C. Weis et al. *Fermentation*. 2024. Vol. 10, no. 11. P. 570.
<https://doi.org/10.3390/fermentation10110570>
17. Effect of Protein Genotypes on Physicochemical Properties and Protein Functionality of Bovine Milk: A Review / N. Gai et al. *Foods*. 2021. Vol. 10, no. 10. P. 2409. <https://doi.org/10.3390/foods10102409>

18. Effects of A1 and A2 variants of β -casein on human health—is β -casomorphin-7 really a harmful peptide in cow milk? / R. Semwal et al. *Nutrire*. 2022. Vol. 47, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s41110-022-00159-7>
19. Effects of β - and κ -casein, and β -lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR / F. Cendron et al. *Italian Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 20, no. 1. P. 2243–2253. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2021.2011442>
20. Frequencies of β -casein variants and their influence on genetic merit for production traits in Holstein cows / M. E. Caffaro et al. *Animal Production Science*. 2024. Vol. 64, no. 18. <https://doi.org/10.1071/an24146>
21. Genetic variability of alpha-casein, beta-casein, and kappa-casein genes in Holstein-Friesian, Simmental and Brown Swiss cattle / B. Çak et al. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2025. Vol. 76, no. 1. P. 8589–8596. <https://doi.org/10.12681/jhvms.35573>
22. Goulding D. A., Fox P. F., O'Mahony J. A. Milk proteins: An overview. *Milk Proteins*. 2020. P. 21–98. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815251-5.00002-5>
23. Influence of the β -Casein Genotype of Cow's Milk (A1, A2) on the Quality and β -Casomorphin-7 (BCM-7) Content of a Semi-Hard Cheese During Production / L. Zinßius et al. *Foods*. 2025. Vol. 14, no. 3. P. 463. <https://doi.org/10.3390/foods14030463>
24. Influence of β -CN Genotype on Physicochemical Properties and Functionality of Bovine Milk / N. Gai et al. *Journal of Dairy Science*. 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23687>
25. Invited review: Understanding the behavior of caseins in milk concentrates / M. Corredig et al. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102, no. 6. P. 4772–4782. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15943>
26. Juan B., Trujillo A.–J. Acid and Rennet Coagulation Properties of A2 Milk. *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 22. P. 3648. <https://doi.org/10.3390/foods11223648>

27. Kelly L. M., O'Mahony J. A., Tobin J. T. Genetic variation in bovine milk proteins: Implications for functional and nutritional properties. *International Journal of Dairy Technology*. 2024. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13152>
28. Mehla Manoj. *Preparation of process cheese spread from rennet curd*. Diss. National dairy research institute, 2023.
29. Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk–Sixth Revision / H. M. Farrell et al. *Journal of Dairy Science*. 2004. Vol. 87, no. 6. P. 1641–1674. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73319-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73319-6)
30. Pougher Nathan. Understanding the Impact of Physicochemical Modifications on the Cold Gelling Behavior of Micellar Casein Concentrate Dispersions, 2023. <https://digitalcommons.usu.edu/etd2023/23>
31. Proline Isomerization: From the Chemistry and Biology to Therapeutic Opportunities / D. Gurung et al. *Biology*. 2023. Vol. 12, no. 7. P. 1008. <https://doi.org/10.3390/biology12071008>
32. Protein profile of cow milk from multibreed herds and its relationship with milk coagulation properties / G. Niero et al. *Italian Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 20, no. 1. P. 2232–2242. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2021.1996288>
33. Recent advances on DNA and omics-based technology in Food testing and authentication: A review / P. Kumar et al. *Journal of Food Safety*. 2022. <https://doi.org/10.1111/jfs.12986>
34. Relationship between β -casein genotypes (A1A1, A1A2, and A2A2) and coagulation properties of milk and the fatty acid composition and sensory characteristics of dairy products (soft cheese, sour cream, and butter) / K. de Vitte et al. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*. 2022. P. 1–12. <https://doi.org/10.1080/09064702.2022.2141308>
35. Rennet–Induced Casein Micelle Aggregation Models: A Review / D. Salvador et al. *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 9. P. 1243. <https://doi.org/10.3390/foods11091243>

36. Role of A2 milk in rural transformations: Health benefits, market potential, and sustainable production pathways / H. Priyashantha et al. *Dairy Science and Management*. 2025. Vol. 2, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s44363-025-00013-x>
37. Şahin Ö., Boztepe S. Assessment of A1 and A2 variants in the CNS2 gene of some cattle breeds by using ACRS– PCR method. *Animal Biotechnology*. 2022. P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2036176>
38. Sindayikengera S., Xia W.– s. Nutritional evaluation of caseins and whey proteins and their hydrolysates from Protamex. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2006. Vol. 7, no. 2. P. 90–98. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.b0090>
39. St– Gelais D., Haché S. Effect of β – casein concentration in cheese milk on rennet coagulation properties, cheese composition and cheese ripening. *Food Research International*. 2005. Vol. 38, no. 5. P. 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.11.006>
40. Structure of Biomimetic Casein Micelles: Critical Tests of the Hydrophobic Colloid and Multivalent– Binding Models Using Recombinant Deuterated and Phosphorylated β – Casein / J. K. Raynes et al. *Journal of Structural Biology: X*. 2024. P. 100096. <https://doi.org/10.1016/j.yjsbx.2024.100096>
41. The Impact of A1– and A2 β – Casein on Health Outcomes: A Comprehensive Review of Evidence from Human Studies / N. González– Rodríguez et al. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 13. P. 7278. <https://doi.org/10.3390/app15137278>
42. The β – casein (CSN2) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows / V. Bisutti et al. *Journal of Dairy Science*. 2022. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21537>
43. Trends and Opportunities in the Dairy Industry: A2 Milk and Processing Methods / K. Żbik et al. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 15. P. 6513. <https://doi.org/10.3390/app14156513>
44. Worldwide Research Trends on Milk Containing Only A2 β – Casein: A Bibliometric Study / L. Jiménez– Montenegro et al. *Animals*. 2022. Vol. 12, no. 15. P. 1909. <https://doi.org/10.3390/ani12151909>

45. β - Casein A1 and A2: Effects of polymorphism on the cheese- making process / V. Vigolo et al. *Journal of Dairy Science*. 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23072>
46. β - Casein variants differently affect bulk milk mineral content, protein composition, and technological traits / V. Vigolo et al. *International Dairy Journal*. 2021. P. 105221. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105221>
47. β - Lactoglobulin Separation from Whey Protein: A Comprehensive Review of Isolation and Purification Techniques and Future Perspectives / Z. L. Wang et al. *Journal of Dairy Science*. 2024. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25321>

Тетяна Павлівна СИНЕНКО
Наталія Вікторівна БОЛГОВА

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА-СИРОВИНИ
З РІЗНИМИ ГЕНЕТИЧНИМИ ВАРІАЦІЯМИ
 β -КАЗЕЇНУ**

Монографія

Суми, Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160

Підписано до друку жовтень, 2025 р.
Тираж 10 примірників

Формат А5:
Замовлення

Гарнітура Times New Roman
Ум. друк. арк..
