

Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519–2698 print

<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

doi: 10.32718/nvlvet-a9101

UDC 636.2.034 / 57.087

The use of multidimensional methods of analysis of the intra-breed variability of fat content in milk of dairy cattle

S.S. Kramarenko, N.I. Kuzmichova, A.S. Kramarenko

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

Article info

Received 02.09.2019

Received in revised form
01.10.2019

Accepted 02.10.2019

Mykolayiv National Agrarian
University, Georgiya
Gongadze Str., 9, Mykolayiv,
54020, Ukraine.
Tel.: +38-050-991-53-14
E-mail: kssnail0108@gmail.com

Kramarenko, S.S., Kuzmichova, N.I., & Kramarenko, A.S. (2019). The use of multidimensional methods of analysis of the intra-breed variability of fat content in milk of dairy cattle. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 21(91), 3–9. doi: 10.32718/nvlvet-a9101

The analysis included data on the origin and milk productivity of 109 first-born red steppe breed, which were descendants of five bulls-offspring (Narcissus, Topol, Tangens, Neptune, and Orpheus) and were kept in SE "Plemproductor Stepove" (Mykolaiv region, Ukraine) during the years 2001–2014. The purpose of this study was to analyze the fat content of milk during different months of lactation (MFP1, MFP2, ..., MFP10) to determine latent variables that best describe the variability of dairy cows' productivity in this herd. High correlation estimates of fat milk scores in different lactation months have been established. According to the results of the Principal Component Analysis, based on the (co)variation matrix of fat content in milk, three new variables (PC1, PC2, and PC3) were identified, which accounted for about 82% of the variability of the original data. The First Main Component (PC1) explained 53.5%, Second (PC2) – 17.7%, and Third (PC3) – 10.6% of the variability of the original data, respectively. PC1 was highly correlated with MFP4–MFP10 and, thus, it distributed the animals according to their fat content level. PC2 was highly positively correlated with MFP8–MFP10 but highly negatively correlated with MFP1–MFP3 and thus it shows the rate of increase in fat content in milk during lactation. PC3 characterizes the variability of fat content in milk during the first and second half of lactation. The Linear Discriminant Analysis found that the MFP1–MFP2 and MFP9–MFP10 scores contributed most to the discrimination among the five subpopulations. The individual identification of the offspring groups of different bulls according to the cross-check classification ranged from 44.4% (Topol) to 87.5% (Orpheus) of cows, which were correctly assigned to their own group.

Key words: dairy cattle, milk fat content, principal components analysis, linear discriminant analysis.

Використання багатовимірних методів аналізу внутрішньопородної мінливості вмісту жиру в молоці молочної худоби

С.С. Крамаренко, Н.І. Кузьмічова, О.С. Крамаренко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

До аналізу було включено дані щодо походження та молочної продуктивності 109 первісток червоної степової породи, які були нащадками п'яти бугаїв-плідників (Нарцис, Тополь, Тангенс, Нептун та Орфей) та утримувалися в ДП "Племрепродуктор "Степове" (Миколаївська область, Україна) протягом 2001–2014 років. Метою даного дослідження був аналіз вмісту жиру в молоці протягом різних місяців лактації (MFP1, MFP2, ..., MFP10) для визначення прихованих (латентних) змінних, що найкращим чином описують мінливість молочної продуктивності корів цього стада. Встановлено високі оцінки кореляції між оцінками жирномолочності в різні місяці лактації. За результатами Аналізу Головних Компонент, що було проведено на підставі (ко)варіаційної матриці вмісту жиру в молоці, було виділено три нові змінні (PC1, PC2 та PC3, що пояснювали біля 82% мінливості вихідних даних. Перша Головна Компонента (PC1) пояснювала 53,5%, Друга (PC2) – 17,7%, а Третя (PC3) – 10,6% мінливості вихідних даних відповідно. PC1 була високо корельована із MFP4–MFP10 і, таким чином, вона розподіляла тварин відповідно до рівня їх жирномолочності протягом лактації. PC2 була високо позитивно корельована із MFP8–MFP10, але високо негативно корельована із MFP1–

MFP3 і, таким чином, вона показує швидкість зростання вмісту жиру в молоці протягом лактації. РСЗ характеризує мінливість вмісту жиру в молоці протягом першої та другої половини лактації. Лінійний Дискримінантний Аналіз показав, що оцінки MFP1-MFP2 та MFP9-MFP10 вносили найбільший внесок в дискримінацію між п'ятьма субпопуляціями. Індивідуальне визначення груп нащадків різних бугаїв за класифікацією перехресної перевірки становило від 44,4% (Тополь) до 87,5% (Орфей) корів, яких було коректно віднесено до їх власної групи.

Ключові слова: молочна худоба, вміст молочного жиру, аналіз головних компонент, лінійний дискримінантний аналіз.

Вступ

Рівень продуктивності молочної худоби обумовлюється кількісними (добові надої) та якісними (вміст жиру та білку в молоці) ознаками, для яких характерні суттєві коливання протягом всього періоду лактації. Особливості динаміки лактаційної діяльності (наприклад, час досягнення пікової продуктивності, абсолютне пікове значення надою та/або вмісту жиру в молоці, швидкість зниження рівня продуктивності після досягнення пікового значення) обумовлюються як генетичними, так і паратиповими факторами, а також проявом взаємодії “генотип × середовище” (Hayes et al., 2003; Haile-Mariam et al., 2008; Sundberg et al., 2010; Kramarenko et al., 2018).

В останні роки з'явилась низка робіт, в яких запропоновано використання багатовимірних методів аналізу, насамперед, Аналізу Головних Компонент (Principal Component Analysis) для вивчення особливостей формування молочної продуктивності протягом лактації (Macciotta et al., 2010; Yilmaz et al., 2011; Kramarenko et al., 2017b). Головною ідеєю цього методу є зниження вимірності для багатовимірної матриці вихідних даних (наприклад, надоїв чи жирномолочності за окремі місяці лактації). Результатом стає отримання невеликої кількості (найчастіше, двох-трьох) нових змінних (т. з. латентні змінні), що не можуть бути отримані при безпосередньому дослідженні об'єктів, проте мають дуже високий рівень кореляції з фактичними ознаками та є їхніми лінійними комбінаціями. Крім того, ці нові змінні є ортогональними одна до одної (тобто, між ними відсутня кореляція) та описують суттєву (найчастіше 70–90%) частку мінливості (ко)варіаційної матриці вихідних ознак (Shebanin et al., 2008).

Аналіз Головних Компонент (АГК) часто використовується для аналізу екстер'єрних особливостей різних порід худоби (Traoré et al., 2016; Kramarenko et al., 2017a), а також якісного складу молока (Mele et al., 2016) чи м'яса (Yu et al., 2017).

Використання класичних методів перевірки статистичної гіпотези щодо впливу фактору (будь-якого походження – гено- або паратипового) на певний набір ознак продуктивності тварин передбачає отримання аналогічного набору оцінок рівня значущості, частина з яких може свідчити про відхилення нульової гіпотези, тимчасом як інша частина може її підтверджувати. Це унеможливило прийняття однозначного рішення щодо подібності чи, навпаки, відмінності між групами. В цьому випадку використання багатовимірних методів дозволяє як проводити замість декількох міжгрупових порівнянь одне єдине, що одночасно розглядає всю матрицю вихідних даних, так і відповідно отримати одну єдину оцінку рівня вірогідності відмінностей між групами. Одним із ме-

тодів, що дозволяє вирішити таку задачу, є Лінійний Дискримінантний Аналіз (Linear Discriminant Analysis). Він базується на лінійному перетворенні вихідних даних таким чином, щоб нові отримані класифікаційні функції дозволяли з високим рівнем точності зарахувати будь-яку особину до її власної групи.

Лінійний Дискримінантний Аналіз (ЛДА) широко використовується в дослідженнях, що пов'язані із виробництвом та переробкою тваринницької продукції. Найчастіше він використовується для порівняння худоби різних порід (або внутрішньопородних груп) на підставі екстер'єрних ознак будови тіла (Yakubu et al., 2010; Pundir et al., 2015). ЛДА виявився ефективним інструментом для визначення головних відмінностей між коровами м'ясних та молочних порід із нормальним отеленням та тварин, які мали проблеми під час отелення (дистоція), що дало змогу прогнозування виникнення можливих ускладнень на підставі низки ознак корови (Morrison et al., 1985; Basarab et al., 1993; Zaborski et al., 2018). Використовується ЛДА й для визначення фальсифікації молока (Conte et al., 2018) чи м'яса (Boyaci et al., 2014).

Таким чином, головною метою нашого дослідження стало вивчення механізмів формування внутрішньопородної мінливості вмісту жиру в молоці первіток різного походження за різні місяці лактації за допомогою багатовимірних методів аналізу – Аналізу Головних Компонент та Лінійного Дискримінантного Аналізу.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом для дослідження були дані зоотехнічного обліку для 109 корів червоної степової породи, які утримувалися у ДП “Племрепродуктор “Степове” Миколаївського району Миколаївської області протягом 2001–2014 рр. Як залежну змінну було використано дані щодо вмісту жиру в молоці (milk fat percentage – MFP) за 1-й, 2-й, ..., 10-й місяці першої лактації (MFP1, MFP2, ..., MFP10). За походженням тварини були зараховані до п'яти груп, що включали дочок-напівсестер бугаїв-плідників Нарциса, Тополя, Тангенса, Нептуна та Орфея.

Для кожної групи було розраховано оцінки середньої арифметичної та її статистичної похибки (Mean ± SE) для вмісту жиру в молоці за всі десять місяців лактації. Перевірку гіпотези щодо відсутності вірогідного впливу групи, до якої відносилися первітки, було проведено за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (із фіксованим фактором – “група нащадків бугая-плідника”). Post-hoc-процедура множинних порівнянь (для груп із нерівними n) була використана для визначення середніх значень груп нащадків бугаїв-плідників, між якими існують вірогідні відмінності (на рівні $P < 0,05$).

Рівень лінійного зв'язку між аналізованими ознаками було оцінено за допомогою коефіцієнта парної лінійної кореляції Пірсона із визначенням рівня вірогідності їх відхилення від нуля.

Для визначення латентних змінних, що впливають на характер мінливості вмісту жиру в молоці дослідних тварин протягом 1–10-го місяців лактації, нами було використано Аналіз Головних Компонент на підставі (ко)варіаційної матриці. В подальшому, використовуючи оцінки факторних навантажень (factor scores) по перших трьох Головних Компонентах (PC1, PC2, PC3), дослідні тварини було віднесено до трьох груп – M-, M0 та M+. До групи M- було зараховано особин, які мали оцінки факторних навантажень менше ніж -0,67, до групи M0 – особин, які мали оцінки факторних навантажень від -0,669 до +0,669, а до групи M+ – особин, які мали оцінки факторних навантажень, більше ніж +0,67.

Для визначення ступені внутрішньопородної диференціації було використано багатовимірний Лінійний Дискримінантний Аналіз на підставі матриці вихідних даних протягом 1–10-го місяців лактації. Для цього між групами нащадків окремих бугаїв-плідників було розраховано відстані Махаланобіса (Mahalanobis distances) та визначено рівень вірогідності відхилення їх від нуля на підставі F-критерію Фішера.

Таблиця 1

Середні арифметичні та їх статистичні похибки (Mean ± SE) вмісту жиру в молоці нащадків різних бугаїв-плідників за десять місяців лактації, %

Ознака	Група нащадків бугая-плідника									
	Нарцис (n = 50)		Тополь (n = 24)		Тангенс (n = 14)		Нептун (n = 9)		Орфей (n = 12)	
	Mean	±SE	Mean	±SE	Mean	±SE	Mean	±SE	Mean	±SE
MFP1	3,53 ^A	±0,01	3,48 ^A	±0,01	3,34 ^{BC}	±0,03	3,47 ^{AC}	±0,07	3,32 ^B	±0,04
MFP2	3,56 ^A	±0,01	3,51 ^A	±0,01	3,38 ^B	±0,03	3,51 ^A	±0,05	3,31 ^B	±0,03
MFP3	3,57 ^C	±0,02	3,54 ^{BC}	±0,02	3,39 ^{AB}	±0,02	3,54 ^{ABC}	±0,06	3,37 ^A	±0,04
MFP4	3,62 ^A	±0,01	3,60 ^A	±0,02	3,51 ^{AB}	±0,02	3,61 ^A	±0,03	3,43 ^B	±0,04
MFP5	3,67 ^C	±0,02	3,64 ^{BC}	±0,02	3,54 ^{AB}	±0,02	3,59 ^{ABC}	±0,02	3,51 ^A	±0,04
MFP6	3,72 ^B	±0,02	3,72 ^B	±0,02	3,60 ^A	±0,02	3,66 ^{AB}	±0,02	3,59 ^A	±0,04
MFP7	3,77 ^{AB}	±0,02	3,79 ^B	±0,02	3,66 ^A	±0,01	3,67 ^{AB}	±0,02	3,68 ^{AB}	±0,04
MFP8	3,82 ^{AB}	±0,02	3,88 ^B	±0,02	3,71 ^A	±0,02	3,70 ^{AB}	±0,03	3,75 ^{AB}	±0,03
MFP9	3,91 ^A	±0,01	3,89 ^A	±0,05	3,73 ^B	±0,02	3,74 ^{AB}	±0,02	3,82 ^{AB}	±0,03
MFP10	3,94 ^C	±0,01	3,98 ^C	±0,02	3,73 ^A	±0,03	3,72 ^{AB}	±0,02	3,84 ^B	±0,03

Примітка: ^{A, B, C} Різні індекси позначають середні значення груп нащадків бугаїв-плідників, між якими встановлено вірогідні відмінності (P < 0,05)

Так, нащадки бугая Орфея демонстрували найнижчий рівень продуктивності протягом 1–5-го місяців лактації, тимчасом як за 10-й місяць лактації вони займали проміжне значення щодо вмісту жиру в молоці, поступаючи лише нащадкам Нарциса та Тополя (табл. 1).

Таким чином, визначити бугая із найвищим проясом продуктивності його дочок на підставі даних за окремі місяці їхньої лактації неможливо, і це потребує використання не багатьох одномірних тестів, а одного багатовимірного, тобто статистичної процедури, що розглядає багато ознак одночасно.

Про це свідчить також і наявність суттєвої взаємозалежності між оцінками вмісту жиру в молоці, що

Для візуалізації результатів аналізу, оцінки міток канонічних вісей нащадків окремих бугаїв-плідників було показано у просторі перших двох Канонічних вісей (Canonical Axis), що вносили найбільший вклад в дискримінацію груп, та побудовано їх 95% довірчі еліпси.

Всі статистичні розрахунки було проведено за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA (Halafyan, 2007).

Результати та їх обговорення

Для всіх аналізованих груп первісток проглядається тенденція до поступового зростання вмісту жиру в молоці з 1-ого по 10-й місяці лактації незалежно від їхнього походження (табл. 1).

При цьому було встановлено, що середні значення вмісту жиру в молоці тварин, які належали до різних за походженням груп, вірогідно відрізнялися між собою (у всіх випадках: P < 0,001), що свідчить про наявність певної генетичної компоненти характеру мінливості цієї ознаки молочної продуктивності.

Результати *Post-hoc*-процедури множинних порівнянь свідчить про зміну рангу окремих бугаїв-плідників щодо вмісту жиру їх дочок протягом різних місяців лактації.

отримані протягом десяти місяців лактації (табл. 2). Загалом, найвищий рівень кореляції було відмічено між суміжними місяцями лактації, 1-м та 2-м (r = 0,777), 4-м та 5-м (r = 0,799), 5-м та 6-м (r = 0,819) і т.п. У той час як для останніх місяців лактації характер мінливості вмісту жиру в молоці майже не залежав від значень, отриманих від первісток протягом 1–3-го місяця лактації (табл. 2).

В таблиці 3 наведено оцінки коефіцієнту кореляції Пірсона між вмістом жиру в молоці первісток за 1–10-й місяці лактації та першими трьома Головними Компонентами.

Таблиця 2

Оцінки коефіцієнту кореляції Пірсона між вмістом жиру в молоці за десять місяців лактації

Ознака	Ознака								
	MFP2	MFP3	MFP4	MFP5	MFP6	MFP7	MFP8	MFP9	MFP10
MFP1	0,777	0,526	0,433	0,411	0,421	0,211	0,162	0,040	0,272
MFP2		0,605	0,630	0,571	0,531	0,369	0,296	0,142	0,346
MFP3			0,591	0,484	0,368	0,317	0,305	0,138	0,268
MFP4				0,799	0,692	0,580	0,429	0,197	0,243
MFP5					0,819	0,748	0,588	0,325	0,399
MFP6						0,796	0,635	0,318	0,386
MFP7							0,813	0,487	0,560
MFP8								0,545	0,675
MFP9									0,825

Примітка: напівжирним шрифтом виділено вірогідні оцінки коефіцієнту кореляції ($P < 0,05$)

Таблиця 3

Оцінки коефіцієнту кореляції Пірсона між вмістом жиру в молоці за десять місяців лактації та Головними Компонентами

Ознака	Головна Компонента		
	Перша (PC1)	Друга (PC2)	Третя (PC3)
MFP1	-0,505	-0,578	+0,492
MFP2	-0,721	-0,488	+0,266
MFP3	-0,593	-0,411	+0,183
MFP4	-0,754	-0,393	-0,306
MFP5	-0,860	-0,104	-0,365
MFP6	-0,828	-0,063	-0,344
MFP7	-0,844	+0,299	-0,270
MFP8	-0,781	+0,461	+0,003
MFP9	-0,678	+0,580	+0,299
MFP10	-0,670	+0,476	+0,452

Перша Головна Компонента (PC1) описує 53,5% загальної мінливості (ко)варіаційної матриці та характеризується високими негативними оцінками коефіцієнту кореляції для всіх ознак, але найбільше для ознак вмісту жиру за 4–10-й місяці лактації. Таким чином, Перша Головна Компонента може бути інтерпретована, як “загальний вміст жиру в молоці”. Особини групи M- характеризувалися найвищими оцінками вмісту жиру в молоці протягом всієї лактації (особливо, протягом 4–10-го місяців), групи M+, навпаки, найнижчими оцінками вмісту жиру в молоці протягом всієї лактації, тварини групи M0 займали проміжне положення (рис. 1).

Друга Головна Компонента (PC2) описує додаткові 17,7% загальної мінливості (ко)варіаційної матриці та характеризується високими негативними оцінками коефіцієнту кореляції для 1–3-го місяців лактації та високими, але позитивними, для 8–10-го місяців лактації (табл. 3). Таким чином, Друга Головна Компонента може бути інтерпретована, як “інтенсивність зростання жирномолочності протягом лактації”. Для тварин групи M- вміст жиру в молоці залишається майже на одному рівні протягом 1–10-го місяців лактації, для тварин групи M+ він різко підвищується між 1–3-м та 9–10-м місяцями лактації. Нарешті, серед особин групи M0 відмічається поступове підви-

щення жирномолочності протягом лактації, але не таке різке, як серед тварин групи M+ (рис. 2).

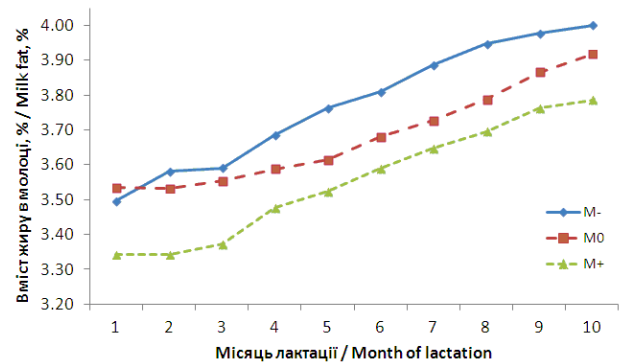


Рис. 1. Оцінки вмісту жиру в молоці первісток різних груп на підставі факторних оцінок за Першою Головною Компонентою (PC1)

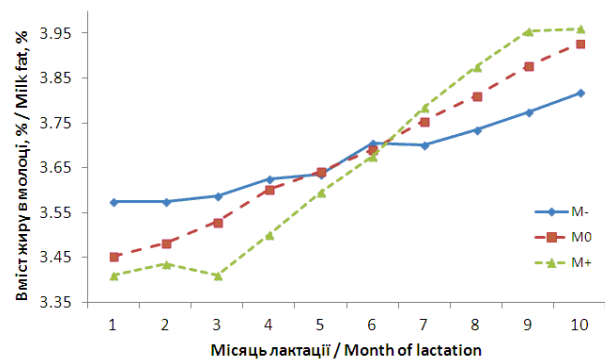


Рис. 2. Оцінки вмісту жиру в молоці первісток різних груп на підставі факторних оцінок за Другою Головною Компонентою (PC2)

Третя Головна Компонента (PC3) описує ще додаткові 10,6% загальної мінливості (ко)варіаційної матриці та характеризується високими та позитивними оцінками коефіцієнту кореляції для вмісту жиру в молоці протягом 1-го та 10-го місяців лактації, але високими негативними – для жирномолочності тварин протягом 5–6-го місяців лактації (табл. 3). Таким чином, Третя Головна Компонента може бути інтерпретована, як “сталість кривої жирномолочності протягом лактації”. Для особин групи M- проглядається

поступове зростання вмісту жиру в молоці протягом першої половини лактації з його стабілізацією майже на одному рівні, починаючи з 6-го місяця.

Для тварин групи M+, навпаки, майже однакові значення вмісту жиру в молоці протягом 1–5-го місяців лактації з їхнім різким підвищенням у другу половину лактації. Нарешті, серед тварин групи M0 зростання жирномолочності протягом обох половин лактації має однакову інтенсивність (рис. 3).

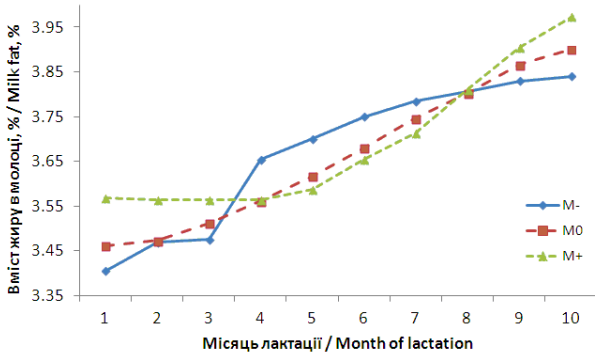


Рис. 3. Оцінки вмісту жиру в молоці первісток різних груп на підставі факторних оцінок за Третьою Головною Компонентою (PC3)

Таблиця 4

Відстані Махаланобіса між групами нащадків різних бугаїв-плідників на підставі вмісту жиру в молоці за десять місяців лактації

Група нащадків бугая-плідника	Група нащадків бугая-плідника				
	Нарцис	Тополь	Тангенс	Нептун	Орфей
Нарцис	X	1,478	17,237	10,933	19,287
Тополь	ns	X	16,835	16,984	15,676
Тангенс	< 0,001	< 0,001	X	13,544	7,789
Нептун	< 0,001	< 0,001	< 0,001	X	27,127
Орфей	< 0,001	< 0,001	0,004	< 0,001	X

Примітка: під діагоналю наведено оцінки рівня вірогідності. ns – різниця не вірогідна

Ординацію досліджених особин із різних груп за походженням було проведено у просторі перших двох Канонічних вісей. Разом вони описують біля 94% загальної мінливості матриці вихідних даних, при цьому Перша Канонічна вісь описує 67% і найбільше пов'язана із вмістом жиром в молоці протягом перших (1–2-го) та останніх (9–10-го) місяців лактації. Таким чином, найсуттєвіші відмінності між первістками, які походили від різних бугаїв-плідників, обумовлюються жирномолочністю тварин на початку та в кінці лактації.

Розташування 95% довірчих еліпсів свідчить про їх повне перекривання для нащадків Нарциса та Тополя, тимчасом як еліпси нащадків Тангенса та Орфея майже не перетинаються між собою, а також із еліпсами Нарциса та Тополя. Нащадки Нептуна відокремлені від решти тварин як за Першою, так й Другою Канонічною віссю (рис. 4).

Відповідно перші три Головні Компоненти разом описують майже 82% загальної мінливості (ко)варіаційної матриці вихідних ознак та здатні класифікувати дослідних тварин як за абсолютним рівнем вмісту жиру в їхньому молоці, так і за формою динаміки жирномолочності протягом лактації. Оскільки відповідно до алгоритму аналізу Головні Компоненти є ортогональними одна до одної, то вони можуть бути використані як незалежні оцінки при аналізі молочної продуктивності.

Результати Лінійного Дискримінантного Аналізу свідчать про наявність суттєвих відмінностей між групами нащадків різних бугаїв-плідників на підставі матриці вмісту жиру в молоці протягом всіх десяти місяців лактації (Wilks' $\lambda = 0,106$; $F_{40;263} = 5,31$; $P < 0,001$). Але попарні порівняння на підставі відстаней Махаланобіса доводять наявність вірогідних відмінностей лише між групами нащадків бугаїв Тангенс, Нептун та Орфей, тимчасом як первістки, що походили від Нарциса та Тополя, навпаки, вірогідно не відрізнялися між собою. Найсуттєвіші відмінності було відмічено між групами нащадків Нептуна та Орфея, а також Нарциса та Орфея. Найближче одна до одної перебували групи нащадків Тангенса та Орфея (табл. 4).

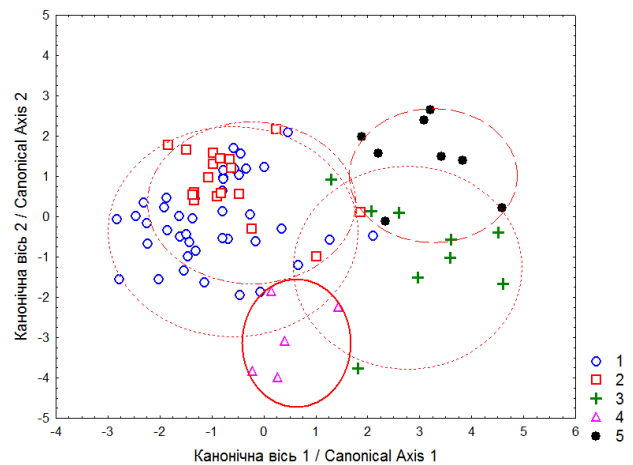


Рис. 4. Точкова діаграма дискримінантних функцій (міток канонічних вісей) Лінійного Дискримінантного Аналізу із 95% довірчими еліпсами, що демонструють розподілення груп нащадків бугаїв-плідників на підставі вмісту жиру в молоці за десять місяців лактації: 1 – Нарцис; 2 – Тополь; 3 – Тангенс; 4 – Нептун; 5 – Орфей

Точність класифікації складала в середньому 75,9%. При цьому найнижча кількість коректно віднесених до власної групи особин була відмічена серед нащадків бугая-плідника Тополя (44,4%). Ще 50% особин цієї групи було помилково віднесено до нащадків Нарциса, а 11,6% нащадків Нарциса, своєю чергою було помилково віднесено до групи Тополя (табл. 5). Це ще раз підтверджує високий рівень подібності між нащадками бугаїв Нарциса та Тополя за

вмістом жиру в молоці протягом різних місяців лактації. Для решти первісток відмічено відносно високий рівень коректного віднесення до власної групи (77,8–87,5%) та лише поодинокі випадки помилок при класифікації (табл. 5). Таким чином, нащадки бугаїв-плідників Тангенса, Нептуна та Орфея демонструють високий рівень внутрішньогрупової гомогенності за рівнем продуктивності, з одного боку, та суттєву відокремленість груп одна від одної – з іншого.

Таблиця 5

Кількість (та відсоток) особин, що класифіковані у різні групи нащадків бугаїв-плідників на підставі вмісту жиру в молоці за десять місяців лактації

Група нащадків бугая	Передбачена група нащадків бугая					Відсоток коректних класифікацій
	Нарцис	Тополь	Тангенс	Нептун	Орфей	
Нарцис	37 (86,0%)	5 (11,6%)	1 (2,3%)	0 (0%)	0 (0%)	86,0
Тополь	9 (50,0%)	8 (44,4%)	1 (5,6%)	0 (0%)	0 (0%)	44,4
Тангенс	0 (0%)	1 (11,1%)	7 (77,8%)	1 (11,1*)	0 (0%)	77,8
Нептун	1 (20,0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (80,0%)	0 (0%)	80,0
Орфей	0 (0%)	0 (0%)	1 (12,5%)	0 (0%)	7 (87,5%)	87,5

Висновки

1. Перша Головна Компонента (PC1) описує 53,5% загальної мінливості (ко)варіаційної матриці та може бути інтерпретована, як “загальний вміст жиру в молоці”. Друга Головна Компонента (PC2) описує додаткові 17,7% загальної мінливості та може бути інтерпретована, як “інтенсивність зростання жирномолочності протягом лактації”. Нарешті, Третя Головна Компонента (PC3) описує ще додаткові 10,6% загальної мінливості і може бути інтерпретована, як “сталість кривої жирномолочності протягом лактації”.

2. Перші дві Канонічні вісі описують близько 94% загальної мінливості матриці вихідних даних, при цьому Перша Канонічна вісь, яка описує 67% мінливості, найбільше пов’язана із вмістом жиром в молоці протягом перших (1–2-го) та останніх (9–10-го) місяців лактації. Таким чином, найсуттєвіші відмінності між первістками, що походили від різних бугаїв-плідників, обумовлюються жирномолочністю тварин на початку та в кінці лактації.

3. Точність класифікації складала в середньому 75,9%. При цьому найнижча кількість коректно зарахованих до власної групи особин була відмічена серед нащадків бугая-плідника Тополя (44,4%). Для решти первісток відмічено відносно високий рівень коректного віднесення до власної групи (77,8–87,5%) та лише поодинокі випадки помилок при класифікації. Таким чином, нащадки бугаїв-плідників Тангенса, Нептуна та Орфея демонструють високий рівень внутрішньогрупової гомогенності за рівнем продуктивності, з одного боку, та суттєву відокремленість груп одна від одної – з іншого.

Перспективи подальших досліджень. На прикладі аналізу механізмів формування мінливості вмісту

жиру в молоці корів протягом лактації продемонстровано перспективність використання багатовимірних методів. У перспективі планується використання багатовимірних методів зниження розмірності (Аналіз Головних Компонент) і багатовимірної класифікації та ординації (Лінійний Дискримінантний Аналіз) для підвищення точності оцінювання племінної цінності тварин.

Подяки. Робота виконана в рамках фінансування за держбюджетною тематикою Міністерства освіти і науки України (номер державної реєстрації 0117U000485).

References

Basarab, J.A., Rutter, L.M., & Day, P.A. (1993). The efficacy of predicting dystocia in yearling beef heifers: II. Using discriminant analysis. *Journal of Animal Science*, 71(6), 1372–1380. doi: 10.2527/1993.7161372x.

Boyaci, I.H., Temiz, H.T., Uysal, R.S., Velioglu, H.M., Yadegari, R.J., & Rishkan, M.M. (2014). A novel method for discrimination of beef and horsemeat using Raman spectroscopy. *Food chemistry*, 148, 37–41. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.10.006.

Conte, G., Dimauro, C., Serra, A., Macciotta, N.P.P., & Mele, M. (2018). A canonical discriminant analysis to study the association between milk fatty acids of ruminal origin and milk fat depression in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6497–6510. doi: 10.3168/jds.2017-13941.

Haile-Mariam, M., Carrick, M.J., & Goddard, M.E. (2008). Genotype by environment interaction for fertility, survival, and milk production traits in Australian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4840–4853. doi: 10.3168/jds.2008-1084.

- Halafyan, A.A. (2007). STATISTICA 6. Statisticheskij analiz dannyh. Moscow: "Binom-Press" Ltd. (in Russian).
- Hayes, B.J., Carrick, M., Bowman, P., & Goddard, M.E. (2003). Genotype \times environment interaction for milk production of daughters of Australian dairy sires from test-day records. *Journal of Dairy Science*, 86(11), 3736–3744. doi:10.3168/jds.s0022-0302(03)73980-0.
- Kramarenko, S.S., Kuzmicheva, N.I., & Kramarenko, A.S. (2017a). Principal component analysis of the exterior traits in dairy cows. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 19(79), 48–52. doi: 10.15421/nvlvet7910 (in Ukrainian).
- Kramarenko, S.S., Kuz'michova, N.I., & Kramarenko, O.S. (2017b). Modelyuvannya laktatsiynykh kryvykh molochnykh koriv za dopomohoyu analizu holovnykh komponent (PCA). *Visnyk aharnoyi nauky Prychornomor'ya*, 96(4), 115–125 (in Ukrainian).
- Kramarenko, S.S., Kuzmichova, N.I., & Kramarenko, A.S. (2018). Analysis of Genotype \times Environment Interaction for milk production in dairy cow. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(89), 27–34. doi: 10.32718/nvlvet8905 (in Ukrainian).
- Macciotta, N.P.P., Vicario, D., & Cappio-Borlino, A. (2006). Use of multivariate analysis to extract latent variables related to level of production and lactation persistency in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3188–3194. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72593-0.
- Mele, M., Macciotta, N.P.P., Cecchinato, A., Conte, G., Schiavon, S., & Bittante, G. (2016). Multivariate factor analysis of detailed milk fatty acid profile: Effects of dairy system, feeding, herd, parity, and stage of lactation. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9820–9833. doi: 10.3168/jds.2016-11451.
- Morrison, D.G., Humes, P.E., Keith, N.K., & Godke, R.A. (1985). Discriminant analysis for predicting dystocia in beef cattle. I. Comparison with regression analysis. *Journal of Animal Science*, 60(3), 608–616. doi: 10.2527/jas1985.603608x.
- Pundir, R.K., Singh, P.K., & Sadana, D.K. (2015). Multivariate analysis of morphometric traits of three different indigenous cattle populations from North East states of India. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 20(2), 79–86. doi: 10.14334/jitv.v20i2.1162.
- Shebanin, V.S., Melnik, S.I., Kramarenko, S.S., & Ganganov, V.M. (2008). Analiz struktury populyatsiy. Mykolayiv: MSAU Publishing House (in Ukrainian)
- Sundberg, T., Rydhmer, L., Fikse, W.F., Berglund, B., & Strandberg, E. (2010). Genotype by environment interaction of Swedish dairy cows in organic and conventional production systems. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 60(2), 65–73. doi: 10.1080/09064702.2010.496003.
- Traoré, A., Koudandé, D. O., Fernández, I., Soudré, A., Álvarez, I., Diarra, S., Diarra, F., Kaboré, A., Sanou, M., Tamboura, H. H., & Goyache, F. (2016). Multivariate characterization of morphological traits in West African cattle sires. *Archives Animal Breeding*, 59, 337–344. doi: 10.5194/aab-59-337-2016.
- Yakubu, A., Idahor, K. O., Haruna, H. S., Wheto, M., & Amusan, S. (2010). Multivariate analysis of phenotypic differentiation in Bunaji and Sokoto Gudali cattle. *Acta Agriculturae Slovenica*, 96(2), 75–80. doi: 10.2478/v10014-010-0018-9.
- Yılmaz, İ., Eyduran, E., Kaygısız, A., & Javed, K. (2011). Estimates of genetic parameters for lactation shape parameters with multivariate statistical technique in Brown Swiss cattle. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(2), 174–178.
- Yu, Q., Wu, W., Tian, X., Hou, M., Dai, R., & Li, X. (2017). Unraveling proteome changes of Holstein beef *M. semitendinosus* and its relationship to meat discoloration during post-mortem storage analyzed by label-free mass spectrometry. *Journal of Proteomics*, 154, 85–93. doi: 10.1016/j.jprot.2016.12.012.
- Zaborski, D., Proskura, W. S., & Grzesiak, W. (2018). The use of data mining methods for dystocia detection in Polish Holstein-Friesian Black-and-White cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(11), 1700–1713. doi: 10.5713/ajas.17.0780.