

МОДЕЛЮВАННЯ ЛАКТАЦІЙНИХ КРИВИХ МОЛОЧНИХ КОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ (РСА)

С. С. Крамаренко, доктор біологічних наук

Н. І. Кузьмічова, аспірант

О. С. Крамаренко, кандидат сільськогосподарських наук
Миколаївський національний аграрний університет

В дослідженні були використані дані щодо походження та показників лактаційної діяльності ($n = 526$) під час 1-9-ої лактацій 113 корів червоної степової породи, які були нащадками 6 бугаїв-плідників та утримувались в ДП «Племрепродуктор» Степове» (Миколаївська область, Україна) протягом 2001-2014 рр. Крім того, сумарний надій за 305 днів лактації (Y305) було використано для вивчення впливу віку та місяця отелення корів на форму їх лактаційних кривих. РС1 мала вірогідні та позитивні кореляції із М3...М9, що варіювали в межах від 0,658 до 0,938, у той час як РС2 мала вірогідні та позитивні кореляції з М2-М3 (0,695...0,717), але високі та негативні із М9-М19 (-0,673...-0,661). Таким чином, РС1 обумовлює потенціальний рівень молочної продуктивності, у той час як РС2 характеризує персистентність лактаційної кривої (швидкість зниження молочної продуктивності після досягнення піку). Встановлено, що номер отелення, вік та місяць отелення корів також здатні змінювати стандартну форму лактаційної кривої.

Ключові слова: лактаційна крива, персистентність, Аналіз Головних Компонент (РСА), молочна худоба.

Постановка проблеми. Математичний аналіз (в т.ч. моделювання) активно використовується в різних галузях тваринництва, особливо, для опису динаміки живої маси з віком (криві росту живої маси), динаміки продукування молока протягом лактації (лактаційні криві) та динаміки яєчної продуктивності (криві яєчної продуктивності). Але в більшості випадків такі моделі виконують чисто описову функцію, а за їх розрахованими коефіцієнтами відсутні будь-які біологічні процеси, пов'язані з формуванням відповідної продуктивності. Виключенням в цій ситуації, можливо, є модель П. Вуда, яка дає можливість розрахувати такі важливі показники лактаційної кривої, як максимальний надій та момент досягнення його піку, а також сталість кривої, тобто, інтенсивність уповільнення молочної продуктивності після досягнення нею максимуму [1].

© Крамаренко С.С., Кузьмічова Н.І., Крамаренко О.С., 2017

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У 80-ті роки минулого століття вперше з'явилася низка робіт, в яких запропоновано використання багатовимірних методів аналізу – Аналізу Головних Компонент (АГК) або Факторного Аналізу (ФА) – для вивчення особливостей формування лактаційних кривих [2-6]. Основною метою цих методів є зниження розмірності для багатовимірної матриці вихідних даних (наприклад надоїв за окремі відрізки часу). Результатом цього стає отримання невеликої кількості (найчастіше двох-трьох) нових змінних (т.з. латентні змінні), які не можуть бути отримані при безпосередньому дослідженні об'єктів, але мають дуже високий рівень кореляції з фактичними ознаками та є їх 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 [7].

Основна мета даного дослідження – отримати латентні змінні на підставі матриці помісячних надоїв за допомогою методу АГК, надати їх інтерпретацію та визначити їх роль у формуванні лактаційних кривих корів дослідного стада.

Матеріали і методика дослідження. Матеріалом для дослідження були дані племінного обліку для корів червоної степової породи, що утримувалися ДП “Племрепродуктор “Степове” Миколаївського району Миколаївської області протягом 2001-2014 рр. Нами були використані дані щодо надою за десять місяців лактації (М1-М10). Всі вихідні дані були попередньо стандартизовані (на тривалість 30,5 днів для кожного місяця лактації) на підставі методу нелінійної апроксимації за методикою С. С. Крамаренка [8]. Всього було проаналізовано 526 повних лактацій у 113 корів. Для кожної тварини було враховано також такі фактори, як бугай-плідник (Памір 6467, Орфей 2719, Тангенс 22510, Алтей 6207, Нарцис 2543, Тополь 2613), номер лактації (від 1-ої до 9-ої), рік народження корови (2001-2011 рр.) та місяць отелення корови (1 – січень; 2 – лютий; ...; 12 – грудень).

Всі розрахунки було проведено за допомогою модуля «Factor Analysis» (Факторний Аналіз) пакету прикладних програм STATISTICA v. 6 [9].

Для проведення подальшого аналізу всі тварини були розподілені на чотири групи на підставі факторних міток (factor scores), одержаних як для першої (PC1), так і для другої (PC2) головних компонент. До групи 1 увійшли тварини, що мали оцінки факторних міток нижче, ніж -1, до групи 2 – з оцінками факторних міток від -1 до 0, групи 3 – з оцінками від 0 до +1, й нарешті, до групи 4 – з оцінками більше, ніж +1. Таким чином, було отримано 16 груп тварин, що характеризувалися одночасно оцінками як за першою, так і за другою головними компонентами (11, 12, 13, ..., 43, 44).

Результати досліджень. Дані, що характеризують помісячні надої для досліджених тварин, не можуть розглядатися як повністю незалежні оцінки рівня молочної продуктивності, оскільки між ними існує суттєва кореляція. Найбільшою мірою вона проявляється між суміжними часовими інтервалами, тобто між М2 та М3 ($r = 0,893$), між М3 та М4 ($r = 0,897$), між М4 та М5 ($r = 0,946$), між М5 та М6 ($r = 0,968$) і т.д. (табл. 1)

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між ознаками мінливості молочної продуктивності корів червоної степової породи протягом 1-10 місяців та в цілому за 305 днів лактації

Ознаки											
	М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7	М8	М9	М10	Y305
М1	X	0,478	0,396	0,238	0,102						0,380
М2		X	0,893	0,605	0,326	0,135					0,491
М3			X	0,897	0,709	0,538	0,383	0,219			0,690
М4				X	0,946	0,841	0,697	0,478	0,192		0,781
М5					X	0,968	0,869	0,661	0,341		0,795
М6						X	0,962	0,806	0,511	0,195	0,809
М7							X	0,935	0,715	0,432	0,836
М8								X	0,916	0,720	0,829
М9									X	0,938	0,724
М10										X	0,555

Примітка: Наведено лише вірогідні оцінки коефіцієнту кореляції, для яких $r < 0,05$.

Саме для таких даних найкращим рішенням є використання багатовимірних методів статистичного аналізу, наприклад АГК. Отримані нами результати, а саме факторні навантаження (factor loadings), тобто міри зв'язку між РС1 і РС2 та вихідними ознаками молочної продуктивності, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Факторні навантаження для перших двох головних компонент мінливості молочної продуктивності корів червоної степової породи протягом 1-10 місяців лактації

Ознаки	Головні компоненти	
	РС1	РС2
М1	0,182	0,416
М2	0,373	0,717
М3	0,673	0,695
М4	0,859	0,486
М5	0,920	0,224
М6	0,938	-0,025
М7	0,933	-0,275
М8	0,856	-0,514
М9	0,658	-0,661
М10	0,414	-0,673
Частка мінливості, %	53,0	26,9

Примітка: Виділено ознаки, що вносять найбільший вклад в інтерпретацію перших двох головних компонент

У цілому, перші дві головні компоненти описують майже 80% мінливості (ко)варіаційної матриці вихідних даних. Перша головна компонента (РС1) мала найвищий зв'язок із показниками помісячних надоїв за 3-9-й місяці надоїв (табл. 2), що найбільшою мірою пов'язані із сумарним надоєм за 305 днів лактації (Y305) (див. табл. 1). Таким чином, дана латентна змінна може бути інтерпретована як «потенціал молочної продуктивності». Для тварин, що входять до груп 1-4 відносно цієї головної компоненти, проглядається вірогідна тенденція до збільшення оцінок всіх помісячних надоїв, що робить їх лактаційні криві більш високими (рис. 1А). Результатом чого й стає наявність вірогідної різниці сумарного надою за 305 днів лактації між тваринами різних груп ($F = 698,56$; $df_1 = 3$; $df_2 = 522$; $p < 0,001$).

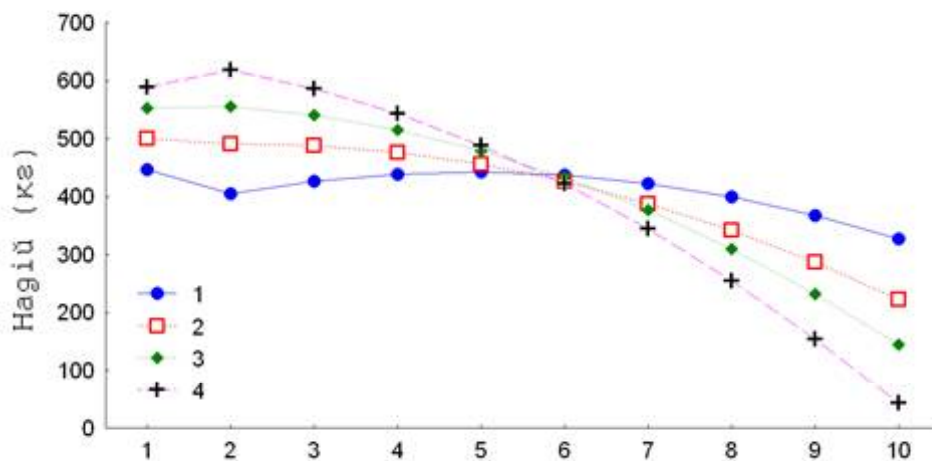
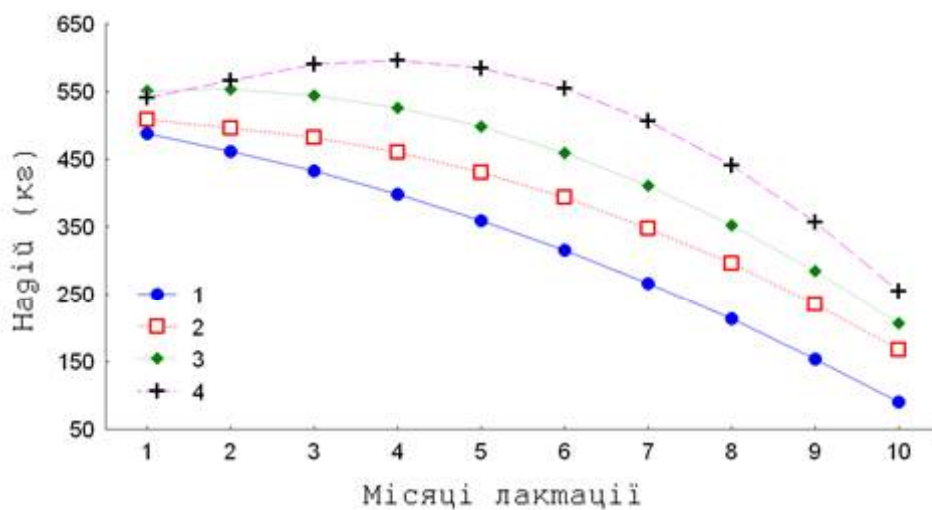


Рис. 1. Лактаційні криві корів червоної степової породи різних груп, що характеризуються різними оцінками у відношенні PC1 (A) та PC2 (B): 1 – менш (-1); 2 – від (-1) до 0; 3 – від 0 до (+1); 4 – більше (+1)

Друга головна компонента (PC2) характеризується високими позитивними оцінками факторних навантажень для даних за 2-3-й місяці лактації, з одного боку, а також високими, проте негативними оцінками для даних за 9-10-й місяці лактації, з іншого (див. табл. 2). Таким чином, ця головна компонента може бути інтерпретована як сталість, або «персистентність лактаційної кривої» (persistence lactation curve). У тварин групи 1 за PC2 цей показник виявляється найвищим, а тварин групи 4 – найнижчим (рис. 1B).

Характерно, що ця латентна змінна не впливає на сумарний надій за 305 днів лактації ($F = 0,59$; $df_1 = 3$; $df_2 = 522$; $p = 0,622$).

З іншого боку, можна відмітити вірогідний сумісний вплив обох латентних змінних ($F = 4,02$; $df_1 = 9$; $df_2 = 510$; $p < 0,001$).

Перша головна компонента була високовірогідно корельована із сумарним надоем за 305 днів ($r = 0,958$; $p < 0,001$), у той час як зв'язок між другою головною компонентою та рівнем молочної продуктивності корів дослідної групи відсутній ($r = 0,007$; $p = 0,865$). Це дозволяє використовувати РС2 як характеристику лактаційної кривої, що не залежить від загального рівня продуктивності тварин [5].

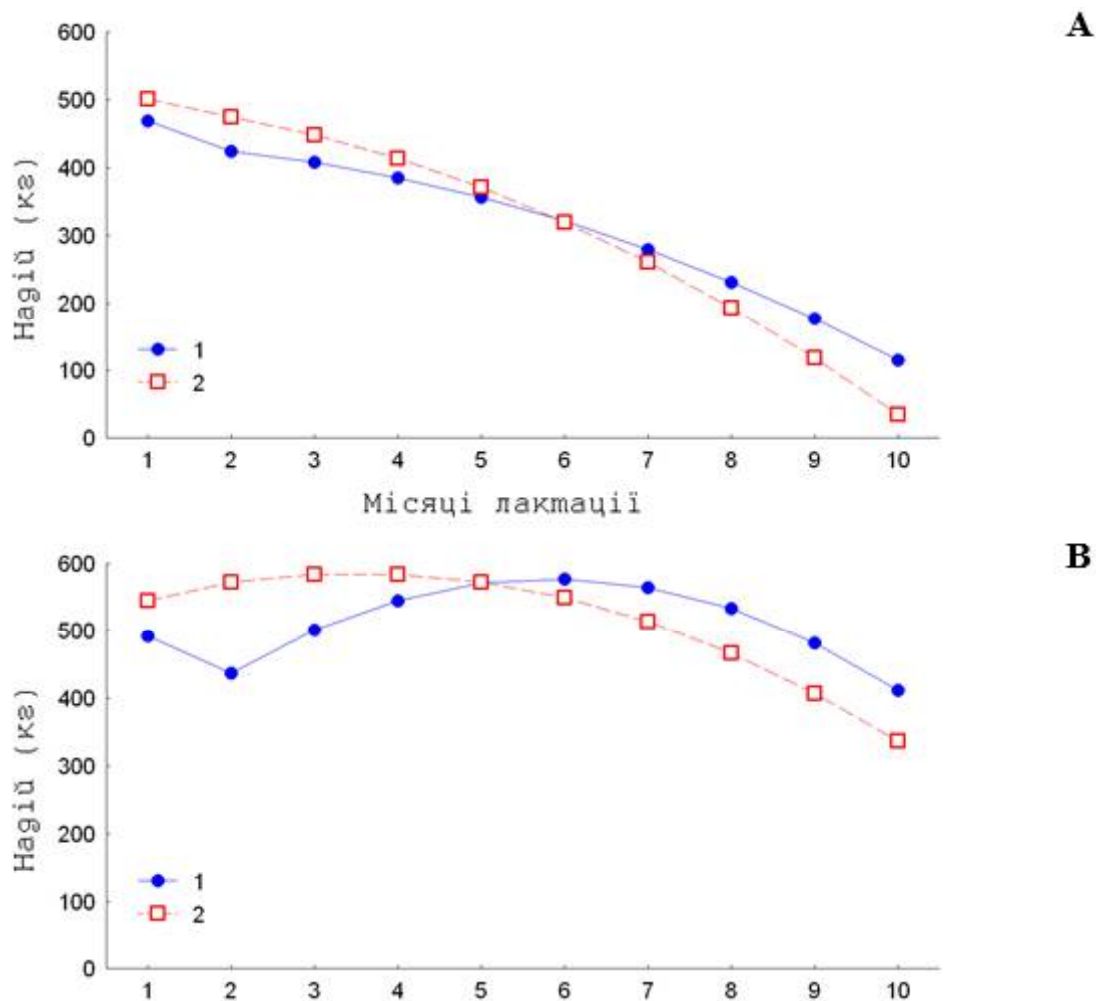


Рис. 2. Лактаційні криві корів червоної степової породи різних груп, що характеризуються найвищими (А: 1 – група 12; 2 – група 13) та найнижчими (В: 1 – група 41; 2 – група 42) оцінками надоем за 305 днів лактації

Найнижчий сумарний надій за 305 днів лактації було відмічено серед представників груп 12 та 13, тобто у корів з дуже низьким потенціалом молочної продуктивності та середньою

персистентністю лактаційної кривої (рис. 2А). Найвищі показники сумарного надою за 305 днів лактації відмічаються серед тварин груп 41 та 42, тобто у корів з дуже високим потенціалом молочної продуктивності та високою (або середньою) персистентністю лактаційної кривої (рис. 2В).

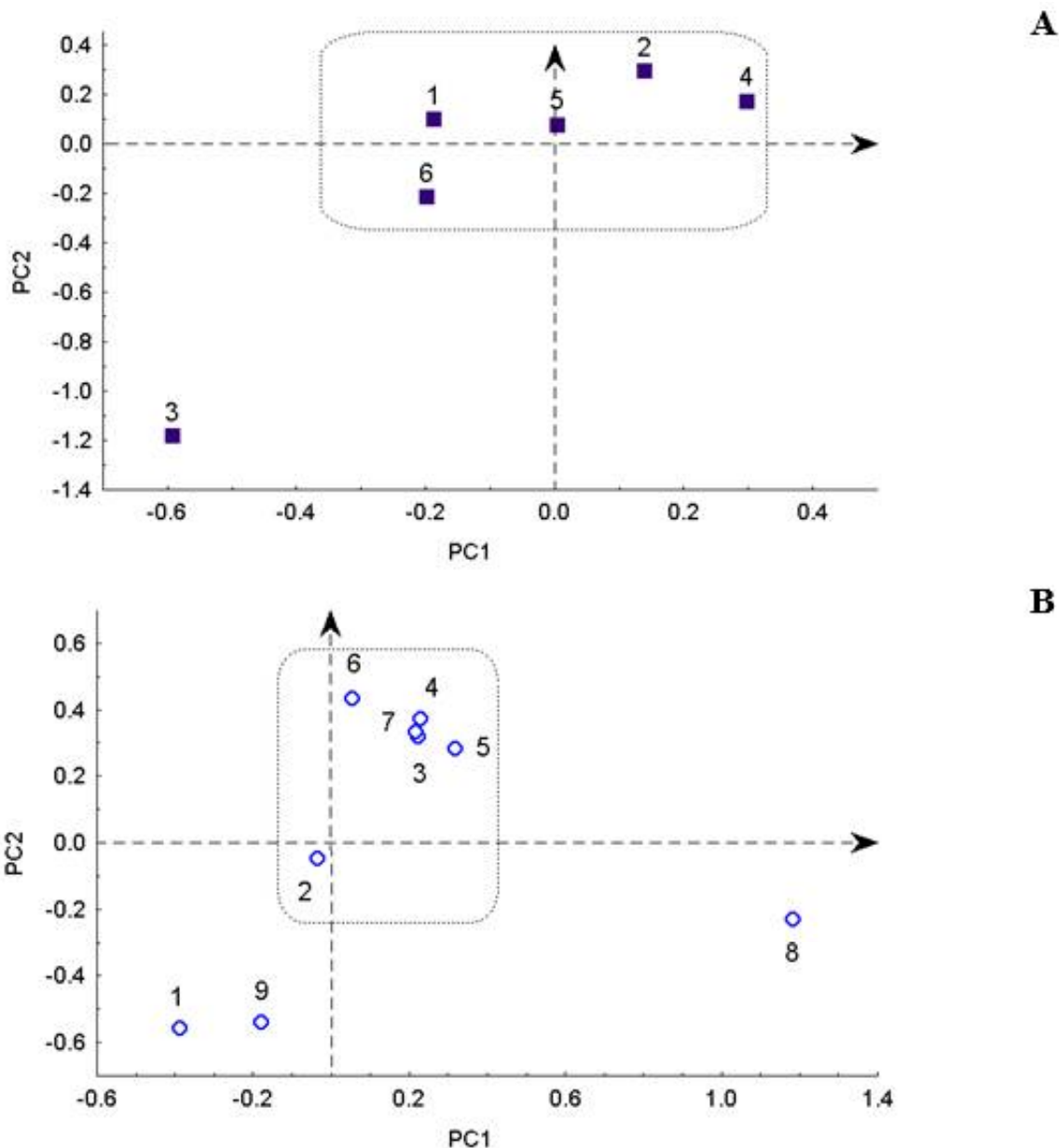


Рис. 3. Центроїди груп відносно нащадків різних бугаїв плідників (А: 1 – Орфей; 2 – Тангенс; 3 – Алтай; 4 – Нарцис; 5 – Тополь; 6 – Памір) та номеру лактації (В) в просторі перших двох головних компонент мінливості молочної продуктивності корів червоної степової породи за 1-10 місяці лактації

Щодо особливостей формування лактаційних кривих корів, що були нащадками різних бугаїв-плідників, то тут для

більшості тварин відмічаються відносно подібні середньогрупові оцінки як у відношенні PC1, так і PC2. Винятком є лише нащадки бугая Алтея, яким притаманний найнижчий потенціал молочної продуктивності, але при цьому – найвища персистентність лактаційної кривої (рис. 3А).

Що стосується впливу віку тварин (номеру лактації), то нами встановлено, що первістки (а також деякою мірою самі дорослі тварини) характеризувалися найнижчим, а тварини у віці 8-ої лактації, навпаки, найвищим потенціалом молочної продуктивності, при середньому рівні персистентності лактаційної кривої (рис. 3В).

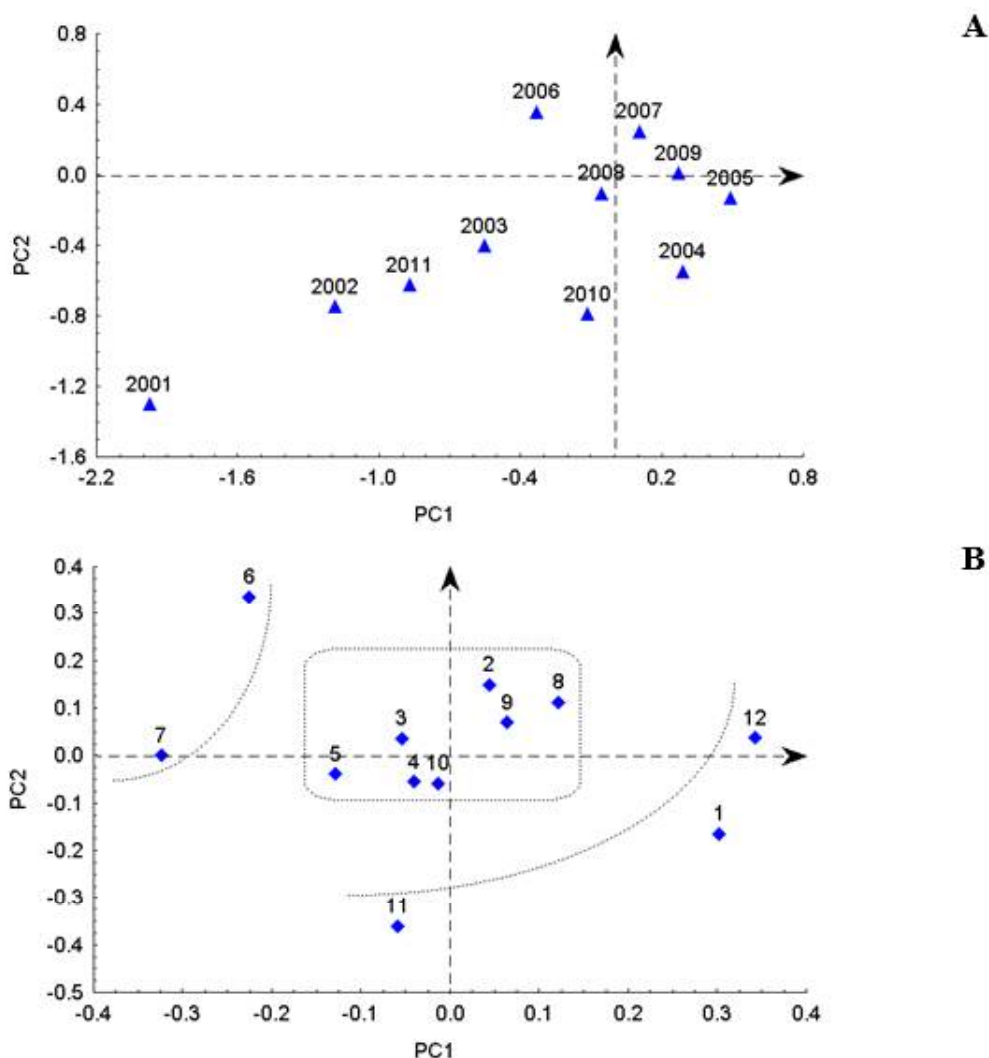


Рис. 4. Центроїди груп відносно року народження (А) та сезону отелення корови (В) в просторі перших двох головних компонент мінливості молочної продуктивності корів червоної степової породи за 1-10 місяці лактації

Нами було встановлено суттєві розбіжності у відношенні оцінок виявлених латентних змінних й серед тварин, які народилися в різні роки (рис. 4А), а також мали отелення у різні сезони року (рис. 4В). Так, наявні відмінності у формуванні лактаційних кривих серед тварин, що народилися у 2001-2002 рр., з одного боку, та у 2005, 2007 та 2009 рр., з другого.

Крім того, тварини, які мали отелення в зимові місяці (грудень та січень), мали відмінності у формуванні молочної продуктивності від тварин, які мали отелення, навпаки, в літні місяці (червень та липень).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Нами встановлено, що на підставі Аналізу Головних Компонент (РСА) може бути виділено два основних (латентних) фактори, що визначають форму лактаційної кривої молочних корів. Перша головна компонента (РС1) описує 53,0%, у той час як друга (РС2) – майже 26,9% мінливості вихідних даних відповідно. РС1 мала вірогідні та позитивні кореляції із М3...М9, що варіювали в межах від 0,658 до 0,938, у той час як РС2 мала вірогідні та позитивні кореляції з М2-М3 (0,695...0,717), але високі та негативні із М9-М19 (-0,673...-0,661). Таким чином, РС1 обумовлює потенціальний рівень молочної продуктивності, у той час як РС2 характеризує персистентність лактаційної кривої (швидкість зниження молочної продуктивності після досягнення піку). РС1 мала дуже високу кореляцію із Y305 (0,958; $p < 0,001$), у той час як РС2 була некорельована із сумарним надоем за 305 днів лактації (0,007; $p = 0,856$), що співпадає із пропозицією деяких авторів щодо можливості використання персистентності у якості показника, що не залежить від рівня молочної продуктивності.

Також встановлено, що номер отелення, вік та місяць отелення корів також здатні змінювати стандартну форму лактаційної кривої. Первістки мали найнижчий рівень молочної продуктивності (Y305). Отримані результати свідчать про те, що селекційна робота була спрямована переважно на підвищення рівня молочної продуктивності, а не на корекцію персистентності лактаційної кривої.

Подяки. Робота виконана за фінансової підтримки гранту Міністерства освіти та науки України (номер державної реєстрації 0117U000485).

Список використаних джерел:

1. Гиль М. И. Генетико-математичне моделювання кількісних ознак у тваринництві : огляд / М. И. Гиль, С. С. Крамаренко // Вісник СНАУ : Серія «Тваринництво». – 2008. – № 10. – С. 49-55.
2. Arendonk J. A. M. Comparison of two methods to extend partial milk records / J. A. M. Arendonk, E. Fimland // Journal of Animal Breeding and Genetics. – 1983. – V. 100. – № 1-5. – P. 33-38.
3. Wilmink J. B. M. Comparison of different methods of predicting 305-day milk yield using means calculated from within-herd lactation curves / J. B. M. Wilmink // Livestock Production Science. – 1987. – V. 17. – P. 1-17.
4. A multivariate approach to modeling shapes of individual lactation curves in cattle / [N. P. P. Macciotta, D. Vicario, C. Di Mauro et al.] // Journal of Dairy Science. – 2004. – V. 87. – P. 1092-1098.
5. Macciotta N. P. P. Use of multivariate analysis to extract latent variables related to level of production and lactation persistency in dairy cattle / N. P. P. Macciotta, D. Vicario, A. Cappio-Borlino // Journal of Dairy Science. – 2006. – V. 89. – P. 3188-3194.
6. Estimates of genetic parameters for lactation shape parameters with multivariate statistical technique in Brown Swiss cattle / [I. Yilmaz, E. Eyduran, A. Kaygisiz et al.] // International Journal of Agriculture and Biology. – 2011. – V. 13. – P. 174-178.
7. Аналіз структури популяцій / [В. С. Шибанін, С. І. Мельник, С. С. Крамаренко та ін.]. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – 240 с.
8. Крамаренко С. С. Нові методи математичного моделювання лактаційних кривих за допомогою інтерполяції / С. С. Крамаренко // В кн. : Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології скотарства у XXI столітті» (Миколаїв, 4-6 вересня 2008 р.). – Миколаїв : МДАУ, 2008. – С. 159-164.
9. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халифян. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

*С. С. Крамаренко, Н. И. Кузьмичёва, А. С. Крамаренко. **Моделирование лактационных кривых молочных коров с помощью анализа главных компонент (РСА).***

Данные о происхождении и показатели лактационной деятельности ($n = 526$) во время 1-9-й лактаций 113 коров красной степной породы, которые были потомками 6 быков-производителей и содержались в ГП «Племрепродуктор» Степове» (Николаевская область, Украина) в течение 2001-2014 гг. были использованы в исследовании. Кроме того, суммарный надой за 305 дней лактации (Y_{305}) был использован для изучения влияния возраста и месяца отела коров на форму их лактационных кривых. РС1 имела достоверные и положительные корреляции с МЗ ... М9, что варьировали в пределах от 0,658 до 0,938, тогда как РС2 имела достоверные и положительные корреляции с М2-М3 (0,695 ... 0,717), но высокие и отрицательные с М9-М19 (-0,673 ... -0,661). Таким образом, РС1 определяет потенциальный уровень молочной продуктивности, тогда как РС2 характеризует персистентность лактационной кривой (скорость снижения молочной продуктивности после достижения пика). Установлено, что

номер отела, возраст и месяц отела коров также способны изменять стандартную форму лактационной кривой.

Ключевые слова: лактационная кривая, персистентность, Анализ Главных Компонент (РСА), молочный скот.

*S. Kramarenko, N. Kuzmichova, A. Kramarenko. **Modelling of the lactation curves in dairy cattle on the basis of Principal Component Analysis (PCA).***

Data on the origin and indices of lactation activity ($n = 526$) during the 1st-19th lactations of 113 Red Steppe cows, which were descendants of 6 bull-producers and were kept in the State Enterprise "Plemreproduktor" Stepove» (Mykolayiv region, Ukraine) during 2001-2014 were used in the study. In addition, the total yield for 305 days of lactation (Y_{305}) was used to study the effect of the age and month of calving of cows on the shape of their lactational curves. PC1 had significant and positive correlations with $M_3 \dots M_9$, which varied from 0.658 to 0.938, whereas PC2 had reliable and positive correlations with M_2-M_3 (0.695 ... 0.717), but high and negative with M_9-M_{19} (-0.673 ... -0.661). Thus, PC1 determines the potential level of milk productivity, whereas PC2 characterizes the persistence of the lactation curve (the rate of decline in milk production after reaching the peak). It is established that the calving number, age and month of calving of cows are also able to change the standard form of the lactation curve.

Keywords: lactation curve, persistency, Principle Component Analysis (PCA), dairy cattle.