УДК 636.2.034/57.087

ЕНТРОПІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРІВ

Крамаренко О.С. *– к.с.-г.н., старший викладач,*
Миколаївський національний аграрний університет
Кузьмічова Н.І. *– здобувач,*
Миколаївський національний аграрний університет
Жук І.О. *– студент магістратури,*
Миколаївський національний аграрний університет

У статті наведено результати аналізу рівня детермінованості молочної продуктивності корів (у розрізі окремих місяців їх лактаційної діяльності) залежно від їх віку та походження.

Під час дослідження було встановлено, що найнижчі оцінки ентропії надою спостерігаються протягом 1-го та 10-го місяців лактації, у той час як у найменшому ступені контроль над рівнем молочної продуктивності проявляється під час 4-го та 8-го місяців лактації. Із віком тварин рівень детермінації їх молочної продуктивності поступово збільшується. Встановлено певну подібність часових коливань рівня організації молочної продуктивності протягом різних місяців лактації корів незалежно від їх віку чи походження.

Ключові слова*: ентропія, надій, номер лактації, бугай-плідник, молочна худоба.*

Крамаренко А.С., Кузьмичова Н.И., Жук И.А. Энтропийно-информационный анализ молочной продуктивности коров

В статье приведены результаты анализа уровня детерминированности молочной продуктивности коров (в разрезе отдельных месяцев их лактационной деятельности) в зависимости от возраста и происхождения.

Исследованием было установлено, что самые низкие оценки энтропии удоя наблюдаются в течение 1-го и 10-го месяцев лактации, тогда как в наименьшей степени контроль над уровнем молочной продуктивности проявляется во время 4-го и 8-го месяцев лактации. С возрастом животных уровень детерминации их молочной продуктивности постепенно повышается. Установлено определенное сходство временных колебаний уровня организации молочной продуктивности в течение различных месяцев лактации коров независимо от их возраста или происхождения.

Ключевые слова: *энтропия, удой, номер лактации, бык-производитель, молочный скот.*

Kramarenko A.S., Kuzmichova N.I., Zhuk I.O. Entropy and information analysis of cow's milk production

The results of the entropy and information analysis of cow's milk productivity (for different months of lactation) depending on age and origin are provided in the article.

The study found that the lowest estimates of the entropy of milk yield are observed during the 1st and 10th months of lactation, whereas the least control over the level of milk productivity is manifested during the 4th and 8th months of lactation. The level of determination of milk productivity gradually increases with the age of animals. A certain similarity of temporal fluctuations in the level of organization of milk production during different months of lactation of cows, regardless of their age or origin, has been established.

Key words: *entropy, milk yield, lactation number, sire, dairy cattle.*

Постановка проблеми. Селекція, здійснювана цілеспрямовано і протягом тривалого часу, обумовлює зміну співвідношення генів, генотипів і фенотипів у популяції. В свою чергу, якщо популяцію розглядати як біологічну систему високої складності, то головною її властивістю є взаємодія з середовищем і динамізм, який проявляється у здатності до мінливості в часі. Взаємодія біологічної системи, якою може бути стадо, нащадки окремих плідників, особини одного поко-

ління з середовищем обумовлена різнобічними процесами: структурно-функціональною організованістю системи і структурно-імовірними, тобто випадковими змінами [1]. Запровадження в практиці тваринництва інформаційно-статистичних методів підвищує можливість більш детального аналізу рівнів організації біологічних систем, гетерогенності популяцій, зміни їх генетичної структури під впливом селекційного втручання [2].

Тому інформаційно-статистичні методи оцінки в останні роки все активніше залучаються в популяційну генетику і селекційний процес у сільськогосподарському тваринництві. Нещодавно стала можливою характеристика біосистем за ознаками, яким характерне полігенне успадкування, завдяки адаптації методики ентропійно-інформаційного аналізу (ЕІА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше використовується класичний варіант ЕІА, розрахований на аналіз якісних ознак, таких як номінальні ознаки овець [3], частота певних одиничних нуклеотидних поліморфізмів (single nucleotide polymorphism, SNP) в геномі свиней [4; 5] та інше.

Останніми роками було продемонстровано можливості використання ЕІА для кількісних ознак при вивченні репродуктивних ознак свиней [6; 7], продуктивних ознак молочної худоби [1; 8], живої маси та оологічних характеристик курей [2; 10].

Постановка завдання. Таким чином, основною метою дослідження став аналіз рівня детермінованості (оцінок ентропії) молочної продуктивності корів (у розрізі окремих місяців їх лактаційної діяльності) залежно від віку та походження.

Матеріали і методи досліджень. Матеріалом для дослідження були дані зоотехнічного обліку корів червоної степової породи, які утримувалися у ДП «Племрепродуктор «Степове» Миколаївського району Миколаївської області протягом 2001–2014 рр. Всі вихідні дані було попередньо стандартизовано (тривалість 30,5 днів для кожного місяця лактації) на підставі методу нелінійної апроксимації за методикою С.С. Крамаренка [11]. Всього було проаналізовано 526 повних лактацій у 113 корів.

Тварин було розподілено залежно від номеру лактації на чотири групи (1-а, 2-а, 3-я і 4-та та вище лактація). Залежно від їх походження корів було віднесено до трьох груп – нащадки бугаїв-плідників Тополя, Нарциса та Паміра.

Для надоїв за окремі місяці лактації нами було розраховано оцінки безумовної ентропії та її похибки ($H \pm SE_H$), за алгоритмом ентропійно-інформаційного аналізу кількісних ознак, який викладений у роботі [12]. В нашому випадку розмах значень надоїв було поділено на 10 інтервалів, що дає максимальне можливе значення ентропії $Hmax$ = 3,322 біт.

Для порівняння індивідуальних оцінок ентропії було використано критерій Хі-квадрат Пірсона (χ^2), який розраховано за наступною формулою:

$$\chi^2 = \left[\sum \frac{H^2}{\mathrm{Var}(H)}\right] - \frac{\left[\sum \frac{H}{\mathrm{Var}(H)}\right]^2}{\sum \frac{1}{\mathrm{Var}(H)}}$$

де Var (H) = SE_H^2. Отримана таким чином оцінка була порівняна із табличним значенням критерію Хі-квадрат із числом ступенів свободи $df = k$-1, де k – число груп, що порівнювалися.

Для порівняння оцінок ентропії одночасно за 1–10-й місяці в групах корів різного віку чи походження було використано непараметричний критерій Фрідмана. Оцінка ступеня подібності часових коливань рівня організації молочної продук-

тивності протягом різних місяців лактації проведено з використанням непараметричного критерію рангової кореляції Спірмена (R_S).

Усі статистичні розрахунки було проведено з використанням пакету статистичних програм PAST [13].

Виклад основного матеріалу дослідження. В таблиці 1 наведено оцінки ентропії надоїв корів дослідної групи за 1–10-й місяці різних лактацій. Характерно, що рівень організації демонструє дуже високу мінливість протягом різних місяців лактаційної діяльності тварин (критерій Хі-квадрат: у всіх випадках $p < 0{,}001$).

Таблиця 1

Оцінки ентропії ($H \pm SE_н$) надоїв за 1–10-й місяці лактації корів залежно від номеру лактації, біт

Місяць лактації	1-а лактація (n = 136)		2-а лактація (n = 137)		3-я лактація (n = 106)		4-а та вище лактація (n = 68)		χ2 (df=3); p
	H	+ SEH	H	+ SEH	H	+ SEH	H	+ SEH	
1-й	3,218	+ 0,017	3,217	+ 0,017	3,180	+ 0,025	3,060	+ 0,059	8,12; 0,044
2-й	3,270	+ 0,009	3,253	+ 0,012	3,260	+ 0,012	3,202	+ 0,026	6,55; ns
3-й	3,296	+ 0,004	3,264	+ 0,009	3,267	+ 0,011	3,102	+ 0,048	29,74; < 0,001
4-й	3,293	+ 0,005	3,303	+ 0,003	3,286	+ 0,006	3,254	+ 0,017	14,38; 0,002
5-й	3,234	+ 0,015	3,266	+ 0,008	3,221	+ 0,018	3,255	+ 0,015	7,39; ns
6-й	3,283	+ 0,006	3,271	+ 0,007	3,264	+ 0,012	3,205	+ 0,027	9,65; 0,022
7-й	3,285	+ 0,006	3,228	+ 0,018	3,275	+ 0,008	3,167	+ 0,036	18,54; < 0,001
8-й	3,300	+ 0,004	3,288	+ 0,006	3,310	+ 0,002	3,288	+ 0,008	20,24; < 0,001
9-й	3,286	+ 0,006	3,240	+ 0,014	3,257	+ 0,012	3,265	+ 0,014	12,32; 0,006
10-й	3,274	+ 0,009	3,169	+ 0,024	3,191	+ 0,022	3,158	+ 0,042	30,47; < 0,001
χ2 (df=9)	51,08		531,74		149,01		56,64		-
p	< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001		-

ns – $p > 0{,}05$

В цілому, найнижчі оцінки ентропії спостерігаються на початку (протягом 1-го місяця) та наприкінці (протягом 10-го місяця) лактації. В найменшому ступені навпаки контроль над рівнем молочної продуктивності проявляється під час 4-го та 8-го місяців лактації (рис. 1). У першому випадку це можливо пов’язано із перебудовою організму тварини внаслідок її тільності, оскільки саме на 80-90 день лактації корів запліднюють.

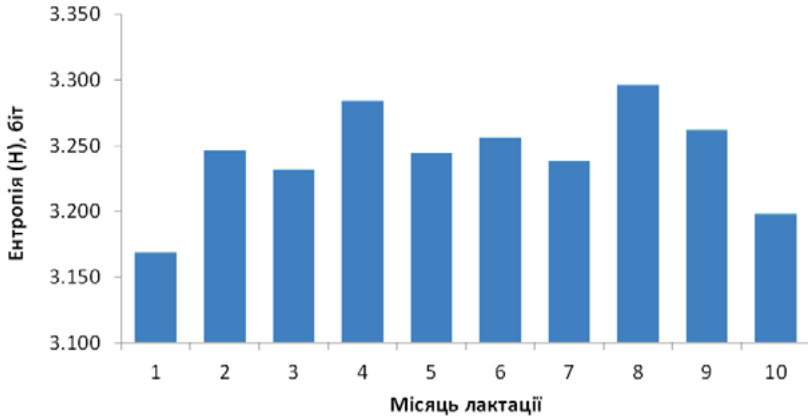

Рис. 1. Оцінки ентропії за надоєм корів залежно від місяця лактації

Подібність часових коливань рівня організації молочної продуктивності протягом різних місяців лактації було встановлено для першої–третьої (R_S = 0,830; p = 0,003), другої–третьої (R_S = 0,697; p = 0,025) та другої–четвертої (R_S = 0,624; p = 0,050) лактацій.

Встановлено вірогідний вплив номеру лактації на рівень ентропії надою (непараметричний критерій Фрідмана: χ^2 = 13,91; df = 3; p = 0,003). Найбільш суттєві відмінності рівня детермінованості молочної продуктивності протягом різних за номером лактацій було встановлено під час 3-4-го та 7-10-го місяців лактації (табл. 1).

Нами також було встановлено, що із віком тварин рівень детермінації їх молочної продуктивності поступово збільшується (рис. 2). Якщо під час першої лактації оцінка ентропії надою ($H \pm SE_H$) складала в середньому 3,274 ± 0,009 біт, то протягом другої–третьої лактацій – 3,250 ± 0,012 та 3,251 ± 0,013 біт відповідно, а протягом четвертої (та вище) лактації – 3,196 ± 0,024 біт. Це пов'язано зі значним тиском відбору, що проявляється у перманентному вибракуванні тварин із молочного стада через низький рівень їх молочної продуктивності, порушення відтворних функцій або непридатності до технологічних операцій.

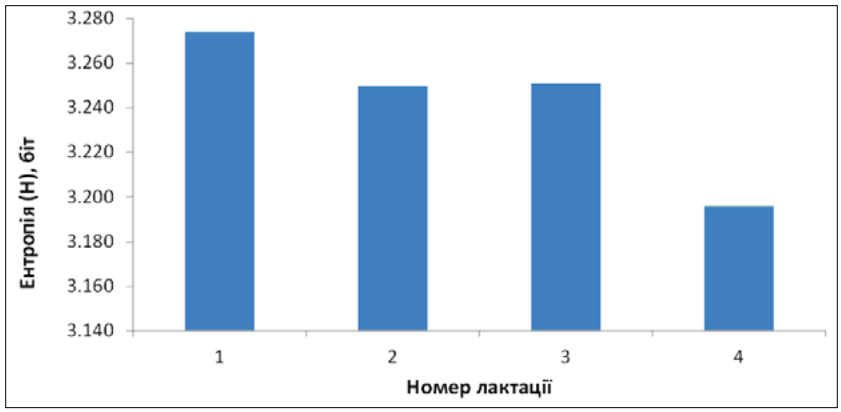

Рис. 2. Оцінки ентропії за надоєм корів залежно від номеру лактації

В таблиці 2 наведено оцінки ентропії надоїв за 1–10-й місяці різних лактацій корів, які походили від різних бугаїв-плідників. Для тварин різного походження має місце дуже висока мінливість рівня детермінованості молочної продуктивності протягом різних місяців лактації (критерій Хі-квадрат: у всіх випадках $p < 0{,}001$).

Встановлено вірогідний вплив походження тварин на рівень ентропії їх надою (непараметричний критерій Фрідмана: $\chi^2 = 9{,}70$; $df = 2$; $p = 0{,}008$). При цьому, найбільш суттєві відмінності оцінок ентропії молочної продуктивності корів різного походження було встановлено під час 2–3-го, 6–7-го та 10-го місяців лактації (табл. 2).

Характерно, що було також відмічено подібність часових коливань рівня організації молочної продуктивності протягом різних місяців лактації серед деяких нащадків різних бугаїв-плідників. Відповідно, це було встановлено серед нащадків бугаїв Тополь та Нарцис ($R_S = 0{,}784$; $p = 0{,}007$) і Тополь та Памір ($R_S = 0{,}842$; $p = 0{,}002$).

Таблиця 2

Оцінки ентропії ($H \pm SE_н$) надоїв за 1–10-й місяці лактації корів залежно від походження, біт

Місяць лактації	Тополь ($n = 149$)		Нарцис ($n = 136$)		Памір ($n = 134$)		χ^2 ($df = 2$); p
	H	$\pm SE_н$	H	$\pm SE_н$	H	$\pm SE_н$	
1-й	3,226	±0,015	3,202	±0,022	3,210	±0,017	0,92; ns
2-й	3,269	±0,008	3,283	±0,007	3,251	±0,009	7,92; 0,019
3-й	3,266	±0,008	3,225	±0,016	3,285	±0,007	12,64; 0,002
4-й	3,296	±0,005	3,294	±0,005	3,296	±0,004	0,12; ns
5-й	3,284	±0,007	3,281	±0,007	3,289	±0,006	0,79; ns
6-й	3,275	±0,008	3,272	±0,009	3,294	±0,005	6,86; 0,032
7-й	3,300	±0,004	3,277	±0,007	3,303	±0,003	11,70; 0,003
8-й	3,286	±0,006	3,277	±0,007	3,280	±0,007	1,02; ns
9-й	3,267	±0,008	3,233	±0,015	3,258	±0,010	4,22; ns
10-й	3,244	±0,012	2,753	±0,059	3,238	±0,014	67,05; < 0,001
χ^2 ($df = 9$)	58,55		122,50		88,91		-
p	< 0,001		< 0,001		< 0,001		-

ns – $p > 0{,}05$

Висновки і пропозиції. Таким чином, з використанням ЕІА було встановлено наявність закономірної мінливості характеру детермінації молочної продуктивності корів. По-перше, найнижчі оцінки ентропії спостерігаються протягом 1-го та 10-го місяців лактації, у той час як у найменшому ступені контроль над рівнем молочної продуктивності проявляється під час 4-го та 8-го місяців лактації. По-друге, із віком тварин рівень детермінації їх молочної продуктивності поступово збільшується. По-третє, встановлено певну подібність часових коливань рівня організації молочної продуктивності протягом різних місяців лактації корів незалежно від їх віку чи походження.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Підпала Т.В., Крамаренко С.С., Бондар С.О. Застосування ентропійного аналізу для оцінки селекційних ознак молочної худоби. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Тваринництво*. 2016. Вип. 7. С. 89–93.

2. Хвостик В.П. Ентропійний аналіз якісних показників яєць гусей створюваної диморфної популяції. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького*. 2011. Т. 13. № 4 (50), ч. 3. С. 324–327.

3. Dobek A., Steppa R., Moliński K., Ślósarz, P. Use of entropy in the analysis of nominal traits in sheep. *Journal of Applied Genetics*. 2013. Vol. 54. No. 1. P. 97–102.

4. Borowska A., Reyer H., Wimmers K., Varley P., Szwaczkowski T. Detection of SNP effects on feed conversion ratio in pigs based on entropy approach. *Acta Fytotechnica et Zootechnica.* 2016. Vol. 19, No. 3. P. 103–105.

5. Borowska A., Reyer H., Wimmers K., Varley P. F., Szwaczkowski T. Detection of pig genome regions determining production traits using an information theory approach. *Livestock Science*. 2017. Vol. 205. P. 31–35.

6. Крамаренко С.С., Луговой С.И. Использование энтропийно-информационного анализа для оценки воспроизводительных качеств свиноматок. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. № 9 (107). С. 58–62.

7. Лихач В.Я., Крамаренко С.С., Шебанін П.О. Використання ентропійно-інформаційного аналізу для оцінки відтворювальних якостей помісних свиноматок. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. № 1 (82). С. 187–194.

8. Підпала Т.В., Крамаренко О.С., Зайцев Є.М. Використання ентропійного аналізу для оцінки розвитку ознак молочної худоби голштинської породи. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2018. Т. 20, № 84. С. 3–8.

10. Патрєва Л.С., Крамаренко С.С. Ентропійний аналіз кількісних ознак для селекційної оцінки батьківського стада м'ясних курей. *Розведення і генетика тварин.* 2007. Вип. 41. С. 149–154.

11. Крамаренко С.С. Нові методи математичного моделювання лактаційних кривих за допомогою інтерполяції. *Новітні технології скотарства у XXI столітті* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Миколаїв, 4–6 вересня 2008 р.). Миколаїв, 2008. С. 159–164.

12. Крамаренко С.С. Особенности использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков биологических объектов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2005. Т. 7, № 1. С. 242–247.

13. Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4. P. 1–9.