

B2UP

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕНЕТИКА

Том XXIV

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА · 1988

УДК 636.22/28.081

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО КАЧЕСТВУ ПОТОМСТВА МЕТОДАМИ *СС* И *BLUP*

КУЗНЕЦОВ В. М.

Сравнивали результаты оценки племенной ценности 161 производителя черно-пестрой породы по качеству потомства. Для расчета племенной ценности использовали четыре варианта метода сравнения со сверстницами (*СС*) и четыре варианта метода наилучшего линейного несмещенного прогноза (*BLUP*). Коэффициенты парной (r) и ранговой (r_s) корреляций между методами были высокими: $r=0,869-0,957$, $r_s=0,893-0,953$. Преимущество метода *BLUP* над методом *СС* по точности оценки генотипа производителей было 4,5–6,5%. После коррекции оценок, рассчитанных по методу *СС*, на генетические различия между стадами и между группами быков превосходство метода *BLUP* снизилось до 1,9–3,8%. Обсуждается возможность дальнейшей модификации метода *СС*.

Оценка племенной ценности производителей занимает ключевое положение в современных программах крупномасштабной селекции молочного скота. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что генетический прогресс в популяции на 60–70% определяется использованием проверенных по качеству потомства быков-улучшателей [1, 2]. Поэтому точная оценка генотипа производителей является чрезвычайно важным фактором повышения генетического потенциала отечественных пород молочного скота.

Для оценки племенной ценности быков-производителей в нашей стране используется метод сравнения со сверстницами *СС* [3]. Этот метод позволяет в значительной степени элиминировать влияние паратипических факторов на оценку племенной ценности производителей. Однако метод *СС* базируется на следующих допущениях; а) средняя генетическая ценность сверстниц дочерей быка одинакова для всех производителей; б) все производители являются случайной выборкой из одной популяции; в) в популяции нет генетического сдвига.

Эти допущения могут быть приемлемы до тех пор, пока эффективность селекции молочного скота не очень высокая. Искусственное осеменение коров, оценка производителей по потомству, их интенсивный отбор и широкое использование лучших, а также использование производителей зарубежной селекции, например голштинофризской породы, приводят к значительной генетической дифференциации популяций молочного скота, к увеличению темпа их генетического улучшения. Иначе говоря, лежащие в основе метода *СС* допущения не соответствуют фактической ситуации в популяциях. Поэтому повышается вероятность неправильного ранжирования производителей, а отсюда снижается эффективность племенной работы.

Чтобы сделать оценку производителей более точной, были предложены различные модификации метода *СС* [4, 5]. В частности, предлагалось учитывать генетические различия между стадами как косвенный показатель генетической ценности сверстниц, генетические различия между группами быков, генетический сдвиг, ассортативное спаривание и информацию о родословной. Было показано, что подобные модификации метода *СС* повышают точность оценки генотипа производителей [6].

В настоящее время многие страны переходят на оценку производителей методом *BLUP* (аббревиатура английских слов: Best Linear Unbiased Prediction – наилучший линейный несмещенный прогноз) [7]. Метод был разработан американским ученым Хендерсоном [8] и базируется на использовании линейных статистических моделей смешанного типа. Он в наибольшей степени отвечает требованиям, предъявляемым к оценке племенной ценности производителей. Во-первых, при его использовании паратипические и генетические факторы, влияющие на оценку племенной ценности производителей, оцениваются одновременно. В результате учитываются генетическая ценность сверстниц и генетический сдвиг в популяции. Во-вторых, оптимально используется априорная информация о происхождении производителя. Это

дает возможность учитывать генетические различия между группами быков разного возраста, кровности, места рождения и т. д. В ряде работ показано преимущество метода *BLUP* над методом *СС* [9–14].

В нашей стране метод *BLUP* использовался в работах [15–17]. Но исследования, рассматривающие эффективность этого метода, нам не известны. Хотя метод *BLUP* обладает с теоретической точки зрения лучшими свойствами, однако представляется целесообразным оценить фактическое его превосходство над методом *СС*. Кроме того, имеет практическую значимость вопрос об эффективности модификаций метода *СС* относительно метода *BLUP*, так как если в определенных условиях различия между методами будут незначительными, то, по-видимому, следует предпочесть менее дорогостоящий и трудоемкий метод оценки племенной ценности производителей. В данной работе сделана попытка количественно оценить преимущество метода *BLUP* над методом *СС* при использовании его для оценки племенной ценности быков-производителей черно-пестрой породы Ленинградской области. При этом сравнивали четыре варианта метода *СС* и четыре варианта метода *BLUP*. Рассчитывали коэффициенты парной и ранговой корреляций между оценками племенной ценности одних и тех же производителей, полученными разными методами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Использовали информацию о 18 463 первотелках черно-пестрой породы Ленинградской области за 1983 г. При этом из обработки были исключены животные с возрастом отела менее 23 и более 36 мес, продолжительностью сервис-периода более 210 дней, продолжительностью лактации менее 240 дней. По качеству потомства было оценено всего 397 производителей, но анализ ограничился 161 производителем, каждый из которых имел не менее 15 дочерей. В среднем число дочерей на быка составило 106 голов. Средний удой первотелок был 3465 кг молока.

Производители были сгруппированы в зависимости от года и места их рождения, а также кровности. Было сформировано девять групп: I – импортные быки черно-пестрой породы из Швеции ($n=5$); II – потомки шведских быков ($\geq 50\%$ генов) 1968–1971 гг. рождения ($n=11$); III – потомки шведских быков ($\geq 50\%$ генов) 1973–1977 гг. рождения ($n=42$); IV – импортные быки черно-пестрой породы из Голландии ($n=16$); V – потомки голландских быков ($\geq 50\%$ генов) 1966–1971 гг. рождения ($n=14$); VI – потомки голландских быков ($\geq 50\%$ генов) 1973–1978 гг. рождения ($n=27$); VII – импортные быки голштинской породы ($n=12$); VIII – отечественные быки черно-пестрой породы ($< 50\%$ генов быков шведской и голландской черно-пестрой породы) 1969–1975 гг. рождения ($n=11$); IX – отечественные быки черно-пестрой породы ($< 50\%$ генов быков шведской и голландской черно-пестрой породы) 1976–1978 гг. рождения ($n=23$).

Продуктивность первотелки представляли в виде

$$y_{ikl} = h_i + s_k + e_{ikl} \quad (\text{модель 1});$$

$$y_{ijkl} = h_i + g_j + s_{jk} + e_{ijkl} \quad (\text{модель 2}),$$

где y_{ijkl} – продуктивность l -той первотелки, дочери k -того производителя, относящегося к j -той группе быков, лактировавшей в i -том стаде; h_i – эффект i -того стада (фиксированный); g_j – эффект j -той группы быков (фиксированный); s_{jk} – эффект k -того производителя (случайный); e_{ijkl} – эффект неучтенных факторов (случайный).

Использовали четыре варианта метода *СС*:

$$CC1_k = 2b_k \bar{C}_k;$$

$$CC2_{jk} = CC1_{jk} + 2(1 - b_{jk}) \bar{g}_j;$$

$$CC3_k = 2b_k \bar{C}A_k;$$

$$CC4_{jk} = CC3_{jk} + 2(1 - b_{jk}) \bar{g}_j^*;$$

причем

$$b_k = \frac{w_k}{w_k + \lambda}; \quad w_k = \sum_i w_{ik};$$

$$w_{ik} = \frac{n_{ik} n'_{ik}}{n_{ik} + n'_{ik}}; \quad \lambda = \frac{4}{h^2} - 1;$$

$$\bar{C}_k = \frac{\sum_i w_{ik} (\bar{Y}_{ik} - \bar{Y}_{ik'})}{\sum_i w_{ik}}; \quad \bar{g}_j = \frac{\sum_k w_{jk} \bar{C}_{jk}}{\sum_k w_{jk}};$$

$$\bar{CA}_k = \bar{C}_k + 0,5h_B^2 (\bar{Y}_{k'} - \mu); \quad \bar{g}_j^* = \frac{\sum_k w_{jk} \bar{CA}_{jk}}{\sum_k w_{jk}},$$

где n_{ik} , $n_{ik'}$ и w_{ik} — число дочерей, сверстниц и эффективных дочерей k -того быка в i -том стаде; \bar{Y}_{ik} и $\bar{Y}_{ik'}$ — средняя продуктивность дочерей и сверстниц k -того быка в i -том стаде; μ — средняя продуктивность по популяции; h^2 и h_B^2 — коэффициенты наследуемости по удою ($=0,25$) и межстадных генетических различий ($=0,20$); b_k — коэффициент повторяемости оценки племенной ценности k -того быка; \bar{C}_k — средневзвешенное отклонение продуктивности дочерей k -того быка от сверстниц по всем стадам; \bar{CA}_k — средневзвешенное отклонение продуктивности дочерей от сверстниц, скорректированное на межстадные генетические различия; \bar{g}_j и \bar{g}_j^* — средневзвешенная оценка по j -той группе, к которой относится k -тый бык.

Вариант *СС2* учитывал генетические различия между группами быков и генетический сдвиг в популяции. Вариант *СС3* — генетический уровень сверстниц дочерей быка. Вариант *СС4* — генетический уровень сверстниц, генетические различия между группами быков и генетический сдвиг в популяции.

Общая линейная модель смешанного типа метода *BLUP* в матричной записи имеет вид [8]

$$y = X\beta + Zu + e,$$

где y — вектор наблюдаемых переменных (удой первотелок); β — вектор фиксированных ненаблюдаемых эффектов (стадо, генетическая группа); u — вектор случайных ненаблюдаемых эффектов (производители); e — вектор случайных остаточных эффектов; X и Z — известные матрицы, относящиеся к оцениваемым эффектам.

Математическим ожиданием и известными дисперсиями y , u и e являются

$$E(y) = X\beta = \mu; \quad \text{Var}(y) = ZGZ' + R = V;$$

$$E(u) = 0; \quad \text{Var}(u) = G;$$

$$E(e) = 0; \quad \text{Var}(e) = R;$$

$$\text{Cov}(y, u) = ZG = C.$$

Если остаточные эффекты не коррелированы и все имеют дисперсию, равную σ_e^2 , то $R = I\sigma_e^2$ (где I — единичная матрица). Тогда система линейных уравнений для оценки β и u будет иметь вид

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + \sigma_e^2 G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}.$$

При отсутствии ковариации между случайными эффектами и равной дисперсией σ_u^2 для каждого эффекта u_k матрица $G = I\sigma_u^2 = I\sigma_s^2$ (где σ_s^2 — дисперсия по производителям) и

$$\sigma_e^2 G^{-1} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_s^2} I = \lambda I.$$

Если учитывались родственные связи между производителями, то матрица $G = A\sigma_u^2 = A\sigma_s^2$ (где A — матрица родства) и

$$\sigma_e^2 G^{-1} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_s^2} A^{-1} = \lambda A^{-1}.$$

Матрица родства формировалась с учетом отца и отца матери производителя [18]. Отношение дисперсий σ_e^2/σ_s^2 устанавливалось равным 15, что соответствовало коэффициенту наследуемости удою 0,25.

Использовали четыре варианта метода *BLUP*:

BLUP1 — без группировки производителей и без учета родственных отношений между быками (модель 1, $\sigma_e^2 G^{-1} = \lambda I$);

BLUP1A — без группировки производителей, но с учетом родственных отношений между быками (модель 1, $\sigma_e^2 G^{-1} = \lambda A^{-1}$);

BLUP2 — с группировкой производителей, без учета родственных отношений между быками (модель 2, $\sigma_e^2 G^{-1} = \lambda I$);

BLUP2A — с группировкой производителей и с учетом родственных отношений между быками (модель 2, $\sigma_e^2 G^{-1} = \lambda A^{-1}$).

Племенную ценность рассчитывали путем удвоения эффекта производителя:

$$BLUP1_k(BLUP1A_k) = 2\hat{s}_k$$

или путем удвоения суммы эффектов производителя и группы, к которой он относится:

$$BLUP2_{jk}(BLUP2A_{jk}) = 2(\hat{g}_j + \hat{s}_{jk}).$$

Программная реализация метода *BLUP* была осуществлена для ЭВМ ЕС-1035 по разработкам Шаффера [19, 20]. Эффекты стад абсорбировались, использовались множитель Лагранжа и итеративный метод решения системы уравнений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ

Если в методах расчета племенной ценности нет существенных различий и используются одни и те же данные, то ожидаемый коэффициент корреляции между оценками должен быть равен 1. Исходя из этого, степень различий методов можно оценить величиной отклонения фактического коэффициента корреляции от ожидаемого значения.

Для каждого производителя имелось восемь вариантов оценок племенной ценности. Между разными комбинациями методов были рассчитаны коэффициенты парной (r) и ранговой (r_s) корреляций. Эти корреляции характеризовали, с одной стороны, повторяемость прогноза генотипа производителей, с другой — повторяемость их рангов. Результаты представлены в табл. 1.

Варианты метода СС. Коэффициенты корреляций были высокими и варьировали: парные от 0,944 до 0,994, ранговые от 0,921 до 0,993. Только группировка быков (*СС2*) незначительно повлияла на оценки и ранги производителей ($r=0,994$, $r_s=0,993$). Видимо, это является следствием того, что для анализа были отобраны быки, имеющие в среднем 106 дочерей. Тем самым априорной информации придавался меньший вес.

Учет генетических различий между стадами в большей степени отразился на оценках племенной ценности производителей ($r=0,960$). Сильнее изменились и ранги быков ($r_s=0,945$). Обе поправки метода *СС* неадекватны. Коэффициент парной корреляции между оценками *СС2* и *СС3* был 0,962, ранговой — 0,943. Различия между *СС3* и *СС4*, видимо, незначительные ($r=0,989$, $r_s=0,984$). Как и следовало ожидать, в наибольшей степени различались оценки и ранги производителей, рассчитанные по *СС1* и *СС4* ($r=0,944$, $r_s=0,921$). Однако из этих коэффициентов корреляций пока нельзя сделать вывод об эффективности корректировки оценок по методу *СС* на генетические различия между стадами и между группами быков.

Варианты метода BLUP. Так же как и по вариантам метода *СС*, коэффициенты корреляции были высокими и варьировали от 0,948 до 0,995. Включение в модель эффекта группы быка (*BLUP2*) в определенной степени повлияло на оценки племенной ценности. Коэффициент парной корреляции между оценками по методам *BLUP1* и *BLUP2* был 0,962, между рангами — 0,979. Учет родственных отношений между быками лишь незначительно изменил классификацию производителей. Коэффициенты корреляции между оценками по *BLUP1* и *BLUP1A* были 0,990, между рангами — 0,984. Между *BLUP2* и *BLUP2A* — соответственно 0,995 и 0,988. По-видимому, из-за большого числа дочерей на быка информационный вес данных о родственниках был незначительным.

Включение матрицы A в модель 1 рассматривалось как альтернатива группировки быков в модели 2. Вместе с тем различия между оценками по *BLUP1A* и *BLUP2* были на уровне различий между оценками по *BLUP1* и *BLUP2* ($r=0,965$ и $r_s=0,971$). С теоретической точки зрения включение в систему линейных уравнений матрицы родства ограничивает или исключает необходимость группировки производителей. Но нам представляется, что в гетерогенных популяциях генетическая группировка производителей будет более важна, чем учет родственных связей между быками.

Считается [19], что если наряду с группировкой учитываются родственные связи, особенно с быками разных групп, то возможно получение смещенных оценок

Парные (над диагональю) и ранговые (под диагональю) коэффициенты корреляции между оценками племенной ценности (удой) одних и тех же производителей ($n = 161$)

Метод	CC1	CC2	CC3	CC4	BLUP1	BLUP1A	BLUP2	BLUP2A
CC1	1	0,994	0,960	0,944	0,950	0,944	0,881	0,869
CC2	0,993	1	0,962	0,959	0,951	0,947	0,904	0,895
CC3	0,945	0,943	1	0,989	0,957	0,950	0,918	0,906
CC4	0,921	0,936	0,981	1	0,943	0,938	0,928	0,921
BLUP1	0,949	0,950	0,953	0,935	1	0,990	0,962	0,948
BLUP1A	0,937	0,937	0,944	0,925	0,984	1	0,965	0,963
BLUP2	0,905	0,921	0,931	0,932	0,979	0,971	1	0,995
BLUP2A	0,893	0,912	0,922	0,925	0,961	0,974	0,988	1

Таблица 2

20 лучших по методу CC1 производителей и их ранги при расчете племенной ценности другими методами

Номер быка	CC1	CC2	CC3	CC4	BLUP1	BLUP1A	BLUP2	BLUP2A
61	1	1	1	1	1	1	1	1
43	2	3	2	2	2	2	2	2
135	3	2	3	3	3	3	4	5
161	4	4	5	4	5	4	5	6
1 841	5	5	6	6	7	10	11	11
3 101	6	6	7	7	6	5	3	3
909	7	9	10	13	8	9	12	12
3 459	8	8	4	5	4	6	9	10
93 518	9	10	9	9	9	7	10	9
373	10	11	14	15	19	20	21	22
3 490	11	12	16	17	15	12	20	19
749	12	13	8	12	11	15	13	18
121	13	7	11	8	18	16	8	8
2 334	14	15	21	27	12	18	19	21
77	15	17	13	16	14	13	15	14
13 577	16	16	23	23	13	14	16	15
5	17	14	15	11	17	17	14	13
3 222	18	19	25	28	25	22	31	32
3 527	19	18	18	19	20	19	23	23
1 505	20	20	22	24	21	21	24	24

племенной ценности. Однако если даже смещения оценок племенной ценности по BLUP2A имело место, то оно было незначительным. В целом связь между оценками по разным вариантам метода BLUP была выше, чем между оценками по вариантам метода CC.

Варианты методов CC и BLUP. Между разными вариантами методов CC и BLUP коэффициенты парной корреляции варьировали от 0,869 до 0,957. В большей степени изменились и ранги быков. Коэффициенты ранговой корреляции были от 0,893 до 0,953. Наиболее различались оценки, рассчитанные по CC1 и BLUP2A ($r=0,869$, $r_s=0,893$). Отмечалась тенденция повышения r и r_s при переходе от оценки быков по CC1 к CC4. Когда производится поправка на генетические различия между стадами (CC3), то полученные оценки в большей степени были схожими с оценками по BLUP1 и BLUP1A. Это вполне объяснимо, так как и CC3, и методы BLUP1 и BLUP1A учитывали только генетический уровень сверстниц, но разными подходами.

Оценкам племенной ценности производителей по BLUP2 и BLUP2A в большей степени соответствовали оценки, рассчитанные по четвертому варианту метода CC. Этого, по всей вероятности, и следовало ожидать. Но так как коэффициенты парной и ранговой корреляций были меньше 1, то, видимо, метод CC4 не в полной степени

учитывал генетическую ценность сверстниц и генетические различия между группами быков.

Оценки племенной ценности служат критерием для отбора производителей. Поэтому разные методы оказывают влияние на эффективность селекционной работы лишь тогда, когда ранги производителей значительно изменяются. В табл. 2 дано распределение по рангам 20 лучших, оцененных по методу *СС1*, производителей и их ранги при оценке другими вариантами метода *СС* и метода *BLUP*.

У большей части быков ранги изменились незначительно. Это нашло свое отражение и в высоких коэффициентах ранговой корреляции между методами. Имелись, однако, производители, у которых были отчетливые различия между рангами. Так, например, производитель № 373 имел по методу *СС1* ранг 10, по методу *СС4* — 15, по методу *BLUP2* — 21. Производитель № 3490 — соответственно 11, 17, 20; производитель № 3222 — 18, 28, 31. Если для всей выборки быков отдельные «высочки» не могут значительно повлиять на величину коэффициента ранговой корреляции, то при отборе быков для широкого использования подобные сдвиги рангов могут иметь решающее значение.

Интересно сопоставить полученные нами коэффициенты корреляции с данными исследований других авторов. Ледерер с сотр. [9] сравнил метод *СС* с методами *BLUP1* и *BLUP2*. В зависимости от числа дочерей на быка коэффициенты ранговой корреляции были 0,95—0,99. Кеннеди и Моксли [22] получили коэффициент корреляции между методами, равный 0,93. При увеличении числа дочерей на быка корреляция повышалась до 0,99. Яудас [21] установил связь между оценками племенной ценности производителей методами *СС* и *BLUP1A* на уровне 0,87. Коэффициент ранговой корреляции между оценками племенной ценности 402 производителей польской низинной породы, рассчитанными методами *СС1* и *BLUP2*, был 0,91 [23]. По данным Данелл и Эриксона [11], между оценками, рассчитанными методом *СС* и методом *BLUP2A*, коэффициенты корреляции были по быкам красно-пестрой породы $r=0,883$ и $r_s=0,859$, по быкам шведской фризской породы — соответственно 0,908 и 0,902. Касселл, Сейкора и Макдэннел [24] оценили ранговую корреляцию между методами *СС* и *BLUP* как равную 0,86—0,89. В исследованиях Макдэннела [25] корреляция между оценками производителей методом сравнения с одностадницами и методом *BLUP* была 0,85. По данным Авердунка [14], взаимосвязь между оценками производителей симментальской породы была 0,957—0,964. Кордови с соавт. [26] провели оценку 20 быков голштинской породы методами *СС1*, *BLUP1* и *BLUP1A*. Коэффициенты парной и ранговой корреляций были 0,97.

В отличие от предыдущих исследований, Хинковски с соавт. [27] установил слабую связь между оценками производителей по методам *СС* и *BLUP*. В зависимости от породы производителей коэффициенты корреляции варьировали от $-0,788$ (айрширская порода) до $+0,497$ (симментальская порода). По-видимому, это является следствием небольшого числа анализируемых производителей по породам и дочерей у каждого быка.

Таким образом, результаты настоящей работы, а также большинство литературных данных свидетельствуют о том, что изменения оценок и рангов одних и тех же производителей при расчете их племенной ценности методами *СС* и *BLUP* не очень большие.

Имеющимися в настоящее время методами невозможно абсолютно точно оценить истинный генотип производителя, поэтому возникают проблемы в оценке эффективности рассматриваемых методов. С теоретической точки зрения метод *BLUP* является наиболее обоснованным. В связи с этим прогноз аддитивной генетической ценности производителя по методу *BLUP* должен быть наиболее точным и максимально приближаться к истинному генотипу. Исходя из этого допущения оценка по методу *BLUP* может быть использована в качестве меры «истинного генотипа» производителя. В нашей работе мерой «истинного генотипа» производителей были приняты оценки по методу *BLUP2*. Выбор метода *BLUP2* был основан на том, что модель 2, как представляется, в наибольшей степени соответствовала действительной ситуации, которая сложилась в популяции черно-пестрого скота Ленинградской области. Оценки по *BLUP2A* не были использованы в качестве «истинных» по той причине, что группировка производителей с одновременным учетом родственных связей могла вызвать их смещение.

Исходя из приведенных выше допущений, коэффициент парной корреляции между «истинными» оценками по *BLUP2* и оценками другими методами интерпретировался нами как коэффициент повторяемости. Тогда корень квадратный из коэффициента парной корреляции можно использовать в качестве критерия точности методов *СС1*, *СС2*, *СС3*, *СС4*, *BLUP1*, *BLUP1A*, *BLUP2A*, что составило соответственно 0,939, 0,951, 0,958, 0,963, 0,981, 0,982 и 0,997. Отклонение от единицы свидетельствует о величине погрешности метода. Погрешность метода *СС1* была 6,1%, метода

СС4 — 3,7%, метода *BLUP1* — 1,9%. Если принять за 100% точность метода *СС1*, то относительное повышение точности оценки племенной ценности при переходе на метод *СС4* составит 2,6%, *BLUP1* — 4,5%, *BLUP2* — 5,5%. Относительно метода *СС4* точность оценки при переходе на метод *BLUP1* возросла на 1,9%, на метод *BLUP2* — на 3,8%. Таким образом, модифицированный метод *СС* по точности незначительно уступал методу *BLUP*.

Данные литературы подтверждают полученные нами результаты. Так, Демпфле и Хаггер [28] в своих теоретических исследованиях показали, что при переходе от метода *СС* к методу *BLUP* точность оценки генотипа производителей повышалась на 2–5%. Эти результаты были подтверждены ими в экспериментальных исследованиях [12]. Ито и Сасаки [29] моделировали на ЭВМ оценку племенной ценности производителей методами *СС*, *BLUP1* и *BLUP1A*. При небольшом числе дочерей и низких коэффициентах наследуемости признаков метод *BLUP1A* превосходил по точности метод *СС*. Однако преимущество метода *BLUP1A* было не более 5%, а во многих случаях менее 2%.

Возможности повышения точности метода *СС*. Метод *СС* и его варианты в том виде, в каком они были использованы в этой работе, не учитывал распределение дочерей производителя по стадам. При расчете коэффициента повторяемости (b_k) допускалось, что в каждом стаде лактировала только одна дочь производителя. Тем самым завышалась величина b -коэффициента и, следовательно, оценка племенной ценности. Как показали исследования, при правильном учете распределения дочерей быка по стадам точность метода *СС4* относительно метода *СС1* повышалась на 5,2% [6].

В методе *СС4* генетическая ценность сверстниц учитывалась упрощенным способом — исходя из коэффициента межстадной генетической изменчивости. Недостаток такого подхода заключается в том, что не исключена ситуация, когда генетически худшее стадо благодаря особенно хорошему кормлению и содержанию животных будет иметь высокий уровень продуктивности. В результате племенная ценность производителя будет завышена. И наоборот. Чтобы устранить этот недостаток и повысить точность метода, при расчете CA_k вместо $0,5 h_B^2 (\bar{Y}_k' - \mu)$ можно использовать половину средневзвешенной оценки племенной ценности отцов сверстниц за предыдущий или, при итеративном подходе, текущий период оценки производителей. При итеративном решении оценки племенной ценности производителей будут в большей степени приближаться к оценкам по методу *BLUP*.

Итак, в результате проведенных исследований установлены высокие коэффициенты парной и ранговой корреляций между оценками племенной ценности производителей, рассчитанными разными вариантами метода *СС* и метода *BLUP*. Это дает основание полагать, что во всех случаях классификация производителей будет удовлетворительной. Тем не менее по отдельным быкам были отмечены существенные сдвиги рангов. Преимущество метода *BLUP* над методом *СС* не превышало 6,5%. Модификация метода *СС* снижала превосходство метода *BLUP* до 3,8%. Вместе с тем по простоте и доступности метод *BLUP* значительно уступал модифицированному методу *СС*. Поэтому, как нам представляется, чтобы оправдать сложность метода *BLUP*, его превосходство по точности оценки генотипа производителей должно быть более значительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. М. Методические основы разработки и оптимизации программ селекций в молочном скотоводстве: Дис. ... канд. с.-х. наук. Л.: ВНИИРГЖ, 1979. 152 с.
2. Кузнецов В. М., Милованов В. М. Прогнозирование эффективности племенной работы с популяцией черно-пестрого скота Ленинградской области // Молочный скот для высокомеханизированных ферм и комплексов. Сб. науч. тр. Л.: ВНИИРГЖ, 1983. С. 13.
3. Инструкция по проверке и оценке быков молочных и молочно-мясных пород по качеству потомства. М.: Колос, 1980. 16 с.
4. Кузнецов В. М. Оценка быков по качеству потомства (методические рекомендации). Л.: ВНИИРГЖ, 1982. 41 с.
5. Кузнецов В. М. Методические основы оценки племенной ценности производителей при крупномасштабной селекции молочного скота // Популяционно-генетические основы селекции молочного скота. Сб. науч. тр. Л.: ВНИИРГЖ, 1984. С. 31.
6. Кузнецов В. М. Оценка племенной ценности производителей модифицированным методом сравнения со сверстницами // Повышение эффективности селекции молочного скота с учетом интенсификации производства молока. Сб. науч. тр. Л.: ВНИИРГЖ, 1986. С. 13.

7. Philipsson J., Danell B. Survey of methods for sire evaluation of production traits in 20 countries // IDF/EAAP Sympos. «Progeny testing methods in dairy cattle». Prague, 14–16 September, 1984. 12 p.
8. Henderson C. R. Sire evaluation and genetic trends. Animal Breeding and Genetics Sympos. Champaign, Illinois. 1973. P. 10.
9. Lederer J., Vogt-Rohlf O., Buthmann H. Die Zuchtwertschätzung von Bullen unter Berücksichtigung systematischer genetischer Einflüsse // Züchtungskunde. 1975. B. 47. S. 427.
10. Dempfle L. Application of the BLUP principle to bull and cow evaluation // Internat. Sympos. «New methods of bull and cow evaluation». Warsaw, 27–29 August, 1980. Warsaw Agric. Univ. SGG-AR. 1980. P. 1.
11. Danell B., Eriksson J.-A. The Direct Sire Comparison Method for ranking of sires for milk production in the Swedish dairy cattle population // Acta agr. scand. 1982. V. 32. № 1. P. 47.
12. Hagger C., Dempfle L. Comparison of the efficiency of BLUP with other estimation procedures in dairy sire evaluation. 2. Empirical investigations // Z. Tierzücht. und Züchtungsbiol. 1983. B. 100. № 4. S. 266.
13. Distl O., Katona Ö., Kräusslich H. Vergleich der Zuchtwertschätzmethoden BLUP und CC beim Traber // Züchtungskunde. 1982. B. 54. № 3. S. 157.
14. Averdunk G. Progeny testing methods in the Federal Republic of Germany // IDF/EAAP Sympos. 14–16 September. Prague, 1984. 21 p.
15. Карликов Д. В. Генетический анализ распространения лейкоза в популяциях крупного рогатого скота и разработка методов селекции на устойчивость к этой болезни: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Персиановка: Донской с.-х. ин-т, 1982. 30 с.
16. Цалиге В. Ф., Петерсон Э. Э. Методические и технические аспекты оценки быков-производителей с использованием метода BLUP в системе СЕЛЭКС // Система СЕЛЭКС в решении Продовольственной программы СССР. Рига: Зинатне, 1986. С. 98.
17. Шкирандо Ю. П. Повышение эффективности оценки генотипа молочного скота с использованием индексов племенной ценности, метода наименьших квадратов и BLUP: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л.: ВНИИРГЖ, 1986. 20 с.
18. Henderson C. R. Use of relationships among sires to increase accuracy of sire evaluation // J. Dairy Sci. 1975. V. 58. P. 1731.
19. Schaffer L. R. BLUP workshop notes. Uppsala/Sweden, August, 1976.
20. Кузнецов В. М., Шестунеров А. А., Егорова В. Н. Методические рекомендации по использованию метода BLUP для оценки племенной ценности быков-производителей. Л.: ВНИИРГЖ, 1987. 69 с.
21. Jaudas U. Untersuchungen zur Eignung des Direkten-Väter-Vergleichs zur Zuchtwertschätzung von Bullen in Baden-Württemberg. Diss. Univ. Hohenheim. 1978. 177 S.
22. Kennedy B. W., Moxley J. E. Comparison of sire evaluation methods for fat test // Canad. J. Anim. Sci. 1977. V. 57. P. 221.
23. Zarnecki A. Studies on sire and cow evaluation in Polish Lowland Cattle // Internat. Sympos. «New Methods of bull and cow evaluation», Warsaw, 27–29 August, 1980. Warsaw Agric. Univ. SCCW-AR. 1980. P. 79.
24. Cassell B. G., Seykora A. J., McDaniel B. T. Effects of adjustment for mates yield, mates sires, merit and days open in sire evaluation // J. Dairy Sci. 1983. V. 66. № 3. P. 601.
25. McDaniel B. T. Why new sire summaries are needed // J. Dairy Sci. 1984. V. 57. № 8. P. 951.
26. Cordovi J., Guerra D., Menéndez A. Comparacion de metodos utilizados en la evaluacion de toros para la produccion de leche // Rev. Cub. Reprod. Anim. 1984. V. 10. № 1. P. 57.
27. Хинковски Ц., Насев Д., Насева С., Манафов А. Сравняване на резултатите от оценката на развѣдната стойност на бици по млечна продуктивност на базата на методите BLUP и CC // Животновѣдни науки. 1985. Т. 22. № 1. С. 75.
28. Dempfle L., Hagger Ch. Comparison of the efficiency of BLUP with other estimation procedures in dairy sire evaluation. 1. Theoretical investigations // Z. Tierzücht. und Züchtungsbiol. 1983. B. 100. № 3. S. 196.
29. Itoh Y., Sasaki Y. Comparison of accuracies of sire evaluation methods by simulation // Proc. 5th World Conf. Animal Production. Tokyo, 14619 August, 1983. Tokyo: FreeCom. Pap., 1983. V. 2. P. 45.

Всесоюзный научно-исследовательский институт разведения и генетики сельскохозяйственных животных, Ленинград

Поступила в редакцию
6.I.1987
Окончательный вариант получен
23.II.1987

THE COMPARISON OF SIRE BREEDING VALUES FOR PROGENY TESTING CALCULATED BY THE CC AND BLUP PROCEDURES

KUZNETSOV V. M.

All-Union Scientific-Research Institute of Farm Animal Breeding and Genetics, Leningrad

Summary

The breeding values for progeny testing in 161 Black-and-White sires were compared. Four variants of the Contemporary Comparison method and four variants of the BLUP procedure for the calculation of breeding values were used. The coefficients of the product-moment (r) and rank (r_s) correlations between the two procedures were high: $r=0.869$ to 0.957 , $r_s=0.893$ to 0.953 .

The advantage of *BLUP* over the *CC* procedure, in respect of the accuracy of sire genotype evaluation, was found to be 4.5–6.5%. After correction of the estimates calculated using the *CC* procedure for genetic differences among herds and bull groups, the *BLUP* advantage decreased to 1.9–3.8%.