ISSN 0131–6397

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
имени В. И. ЛЕНИНА

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ

9

1986

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ЖИВОТНЫХ

УДК 636.2.082.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНДЕКСНОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ

В. М. КУЗНЕЦОВ

На экспериментальном материале моделировали отбор производителей только по удою дочерей, поэтапный отбор по живой массе быка в 12-месячном возрасте и удою дочерей, поэтапный отбор с использованием информации первого этапа на втором и отбор по селекционному индексу. Эффективность каждого варианта оценивали величиной генетического превосходства группы окончательно отобранных быков и величиной ожидаемого чистого дохода от одного плодотворного осеменения.

Генетическое улучшение молочного скота при реализации селекционной программы до 80 % обусловливается за счет проведения оценки, отбора и использования быков-производителей (1). В программах крупномасштабной селекции предусматривается поэтапный отбор быков: на первом этапе — по собственной мясной продуктивности, на втором этапе — по молочной продуктивности потомства (2). Критерием селекции при этом является племенная ценность производителей, рассчитанная для каждого признака на каждом этапе отбора.

Как показали теоретические исследования, отбор производителей по селекционному индексу, включающему данные по мясной продуктивности быка и молочной продуктивности дочерей, является наиболее эффективным как с экономической, так и с генетической точки зрения (3).

В задачу нашей работы входила экспериментальная проверка теоретических расчетов эффективности индексной селекции производителей в сравнении с поэтапным отбором по племенной ценности.

Методика. Использовали результаты оценки племенной ценности 74 быков-производителей черно-пестрой породы по собственной продуктивности и качеству потомства (данные по оценке быков по живой массе в 12-месячном возрасте были предоставлены научным сотрудником Н. М. Косяченко). Быки родились за период с 1971 по 1976 год в племенных хозяйствах Ленинградской области и были оценены по качеству потомства — не менее чем по 15 дочерям. Среднее число дочерей, полученных от каждого быка, составляло 227 голов.

По аналогии с ранее проведенными исследованиями (3) моделировали следующие варианты отбора.

Вариант *А. Одноэтапный отбор производителей.* Из 74 быков отбирали 15 голов (20 %) на основании оценки племенной ценности по удою дочерей. Этот вариант использовали в качестве основы для сравнивания эффективности поэтапной и индексной селекции производителей.

Вариант *В. Двухэтапный отбор производителей.* На первом этапе отбирали 60 быков на основании оценки их племенной ценности по живой массе в 12-месячном возрасте. На втором этапе из 60 быков отбирали, как и в варианте *А,* 15 лучших по оценке племенной ценности по удою дочерей.

Вариант *С. Двухэтапный отбор производителей.* Первый этап, как и в варианте *В.* На втором этапе из оставшихся быков отбирали 15 лучших по индексу. В этот индекс наряду с молочной продуктивностью дочерей еще раз включали информацию, используемую на первом этапе, — племенную ценность быков по живой массе в 12-месячном возрасте.

Вариант *D. Одноэтапный отбор производителей.* Отбирали 15 лучших быков по селекционному индексу, включающему информацию о живой массе быка в 12-месячном возрасте и о молочной продуктивности дочерей.

Племенную ценность быков по собственной продуктивности и качеству потомства рассчитывали методом сравнения со сверстниками (2), селекционный индекс по методике, описанной Henderson, Басовским и др. (4, 5). Под селекционным индексом понимается линейная комбинация фенотипических показателей, которые используются при расчете критерия отбора животных, предназначенных для селекции (4).

При селекции животных по нескольким признакам определяется так называемый агрегатный генотип (T), который является линейной функцией аддитивных генетических ценностей животного по отдельным признакам:

$$T = \sum_{i=1}^{n} v_i G_i,$$

где v — экономическая ценность i-го признака; G_i — аддитивная генетическая ценность i-го признака.

Оценка T проводится через линейную комбинацию фенотипических показателей, то есть определенного выше селекционного индекса (I):

$$\mathrm{I} = \sum_{i-1}^{n} b_i X_i,$$

где b_i — весовые коэффициенты для i-го признака; X_i — фенотипические данные i-го признака.

Процедура конструирования селекционного индекса заключается в нахождении весовых коэффициентов (b_i), которые максимализируют корреляцию между индексом и агрегатным генотипом.

В матричном виде система уравнений, определяющих весовые коэффициенты, будет выглядеть следующим образом:

$$Pb = Gv,$$

где $P = (n \times n)$ — матрица фенотипических дисперсий и коварианс между n переменными индекса; $G = (n \times m)$ — матрица генотипических дисперсий и коварианс между n переменными индекса и признаками в агрегатном генотипе; $b = (n \times 1)$ — вектор-столбец экономических ценностей признаков.

Решение системы уравнений находится в виде

$$b = P^{-1} Gv,$$

где P^{-1} — матрица, обратная матрице P.

При конструировании селекционного индекса использованы селекционно-генетические параметры, характеризующие популяцию черно-пестрого скота Ленинградской области (2). Фенотипическое стандартное отклонение и коэффициент наследуемости для удоя составляют 675 кг и 0,25 (6), соответственно для живой массы быков в 12-месячном возрасте 30 кг и 0,36 (7). Генетическую корреляцию между признаками приняли равной нулю, а чистый доход от реализации 1 кг молока — 0,16 руб., от реализации 1 кг говядины — 2,56 руб. (8). Экономическую ценность признаков рассчитывали, исходя из методических подходов, изложенных в работе McClintock e. a. (9).

Рассчитанный с помощью селекционного индекса критерий отбора прогнозировал дисконтированную на год осеменения экономическую ценность мясного и молочного генотипа производителя, который может проявиться у его будущего потомства, полученного от одного плодотворного осеменения.

Эффективность каждого варианта оценивали путем определения величины генетического превосходства группы отобранных быков и ожидаемого чистого дохода от одного плодотворного осеменения.

Таблица 1

Генетическое превосходство и ожидаемый чистый доход от одного осеменения в зависимости от варианта отбора быков-производителей

Вариант отбора быков	Этап отбора	Число отобранных быков	Генетическое превосходство отобранных быков			Ожидаемый чистый доход от одного осеменения		Процент чистого дохода от генетического превосходства быков по живой массе
			по живой массе в 12 мес, кг	по удою				
				кг	в % от варианта *А*	руб.	в % от варианта *А*	
А	I	15	+0,5	+277	100,0	16,0	100,0	2,1
В	I	60	+3,2					
	II	15	+5,3	+243	87,7	17,2	107,5	20,3
С	I	60	+3,2					
	II	15	+5.9	+238	85,9	17,3	108,1	22,5
D	I	15	+4,3	+265	95,7	17,8	111,3	15,6

Результаты. Данные по эффективности разных вариантов отбора производителей показали, что в варианте *А* генетическое превосходство быков по удою было максимальным и составляло +277 кг молока (табл. 1). При этом ожидаемый чистый доход от одного плодотворного осеменения спермой среднего по качеству быка отобранной группы был равен 16,0 руб.

В варианте *В* генетическое превосходство быков после первого отбора составляло 3,2 кг живой массы. Выбраковка худших по живой массе 12-месячных быков привела к снижению интенсивности отбора на втором этапе селекции, в результате чего генетическое превосходство по удою группы окончательно отобранных быков снизилось на 12,3 % по отношению к варианту *А* и составило 243 кг молока. Однако вследствие значительного повышения генетического превосходства по живой массе ожидаемый чистый доход от одного плодотворного осеменения увеличился на 7,5 % и составил 17,2 руб.

Повторное использование информации о живой массе на втором этапе отбора (вариант *С*) привело к незначительному по отношению к варианту *В* повышению генетического превосходства быков по живой массе (на 0,6 кг) и к снижению генетического превосходства по удою (на 5 кг). Вместе с тем по отношению к варианту *А* генетическое превосходство быков по удою снизилось на 14,1 %. Следует отметить, что вариант *С* характеризовался наименьшим генетическим превосходством быков по удою, составляющим 238 кг молока. По ожидаемому чистому доходу от плодотворного осеменения вариант *С* был лишь незначительно выше варианта *В*.

Максимальный ожидаемый чистый доход от одного плодотворного осеменения при индексной селекции производителей был равен 17,8 руб. и превышал варианты *А, В* и *С* соответственно на 11,3; 3,5 и 2,9 %.

Генетическое превосходство по удою отобранных по индексу быков снизилось от максимально возможного (вариант *А*) на 4,3 %, но было выше, чем в вариантах *В* и *С*, соответственно на 9,1 и 11,3 %. В то же время генетическое превосходство быков по живой массе было достаточно высоким и составляло 4,3 кг. При поэтапной селекции это соответствовало бы браковке около 25 % худших по живой массе быков-производителей 12-месячного возраста (в варианте *В* — 20 %).

Относительный вклад в ожидаемый чистый доход от генетического улучшения скота по мясной продуктивности при индексной селекции быков (вариант *D*) составил 15,6 %. В вариантах *В* и *С* этот вклад был равен соответственно 20,3 и 22,5 %. Так как основной функцией молочного скота является, прежде всего, производство молока, то соотношение чистого дохода от молока и мяса в варианте *D*, видимо, следует считать наилучшим.

При конструировании селекционного индекса генетическую корреляцию между признаками приняли равной нулю. Для подтверждения этого допущения рассчитали корреляцию между племенной ценностью быков по живой массе в 12-месячном возрасте и племенной ценностью по удою. Эта корреляция составила +0,01, то есть взаимосвязь между оценками племенной ценности быков практически отсутствовала.

Кроме того, генетическое превосходство быков по живой массе в возрасте 12 мес при отборе только по удою (вариант *А*) было незначительным (+0,5 кг). Это превосходство явилось мерой коррелирован-

ного ответа на селекцию быков только по удою. Зная прямой (по удою) и коррелированный (по живой массе в возрасте 12 мес) ответы на селекцию, можно косвенным путем рассчитать реализованную генетическую корреляцию между признаками.

При селекции только по удою генетическое превосходство быков (ΔG_d) оценивается по следующей формуле (10):

$$\Delta G_d = i_d \cdot r_{JA_d} \cdot \sigma_{A_d}, \qquad [1]$$

где i_d — интенсивность селекции по удою: r_{JA_d} — точность оценки племенной ценности; σ_{A_d} — генетическое стандартное отклонение по удою, равное 338 кг.

Коррелированный ответ по живой массе в 12-месячном возрасте ($\Delta G_{b.d}$) при отборе быков по удою рассчитывается по формуле

$$\Delta G_{b.d} = i_d \cdot r_{JA_d} \cdot r_G \cdot \sigma_{A_b}, \qquad [2]$$

где r_G — генетическая корреляция между признаками; σ_{A_b} — генетическое стандартное отклонение живой массы быков в 12-месячном возрасте, равное 18 кг.

Поделив уравнение [2] на [1], получим формулу расчета реализованной генетической корреляции

$$r_G = \frac{\Delta G_{b.d}}{\Delta G_d} \cdot \frac{\sigma_{A_d}}{\sigma_{A_b}}, \qquad [3]$$

Данную формулу мы использовали для расчета генетической корреляции между признаками, которая составила

$$r_G = \frac{+0{,}5}{+277} \cdot \frac{338}{18} = +0{,}03.$$

Полученная косвенным путем генетическая корреляция подтверждает слабую положительную связь между признаками по всей выборке быков.

Вместе с тем следует отметить, что в случае двухэтапного отбора быков по племенной ценности (вариант *В*) взаимосвязь между признаками после первого эапа отбора возрастает. Об этом свидетельствует тот факт, что после первого отбора генетическое превосходство быков по живой массе составило 3,2 кг, а после второго этапа оно было равно 5,3 кг. Разность между генетическим превосходством по живой массе после второго и первого этапов отбора, которая составила 2,1 кг, можно рассматривать как коррелированный ответ на селекцию быков по удою. Исходя из этого, генетическая корреляция между признаками в группе быков после первого этапа отбора, рассчитанная по формуле (3), оказалась равной +0,16. Коэффициент парной корреляции был равен +0,09. Аналогичную тенденцию отмечали и другие авторы (11).

Наши теоретические исследования показали, что изменение величины генетической корреляции от —0,2 до +0,2 в большей степени будет сказываться при индексной селекции на генетическое превосходство быков по живой массе и незначительно на генетическое превосходство по удою (3). Для крайних вариантов изменения в генетическом превосходстве быков составляли соответственно 50 и 2 % (относительно варианта при $r_G = 0$).

Поэтому, если даже истинная генетическая взаимосвязь между признаками не будет равна нулю, допускаемое отсутствие такой взаимосвязи при селекции производителей по индексу не должно заметно повлиять на генетический прогресс по удою.

Корреляция между племенной ценностью быков по живой массе в 12-месячном возрасте и индексом составила +0,32, между племенной ценностью по удою и индексом равна +0,95. Следовательно, эффект отбора по индексу будет состоять в том, чтобы достигнуть значительного генетического увеличения удоя и в меньшей степени — живой массы животных. Тем самым основное направление генетического совершенство-

Таблица 2

Сравнение теоретических (*Т*) экспериментальных (*Э*) результатов исследований по эффективности разных вариантов отбора производителей

Категория эффективности	Вид исследований	Вариант отбора производителей			
		A	*B*	*C*	*D*
Относительное генетическое превосходство отобранных быков, %					
по живой массе в 12 мес	*Т*	00,0	59,0	149,2	100,0
	Э	11,6	123,2	137,2	100,0 (70,1)
по удою	*Т*	109,2	99,7	90,8	100,0
	Э	104,5	91,7	89,8	100,0 (71,8)
Относительный ожидаемый чистый доход от одного плодотворного осеменения, %	*Т*	91,6	93,2	100,0	100,0
	Э	89,9	96,0	97,2	100,0 (71,5)

Примечание. В скобках показано отношение экспериментальных данных варианта *D* к теоретическим данным.

вания черно-пестрого скота по удою при селекции производителей по индексу, включающему признак мясной продуктивности, будет сохраняться.

Для оценки «сходности» результатов теоретических и экспериментальных исследований генетическое превосходство быков и ожидаемый чистый доход от одного плодотворного осеменения по вариантам *A, B, C* выразили в процентах от варианта *D,* а экспериментальные данные по варианту *D* — относительно соответствующих теоретических данных (табл. 2).

Полученные нами экспериментальные данные достаточно хорошо подтверждают результаты и закономерности, выявленные в теоретическом исследовании. Расхождение относительных показателей не преышает 12 %. Исключением является превышение более чем в 2 раза генетического превосходства быков по живой массе в 12-месячном возрасте в варианте *B* при сравнении с фактическими данными. Как было показано выше, это является следствием «усиления» генетической взаимосвязи между признаками после первого этапа отбора быков, тогда как в теоретической модели допускалось ее отсутствие.

Обращает на себя внимание достаточно высокий «фактор реализации» теоретических расчетов при отборе производителей по индексу, составляющий 70—72 % (табл. 2, вариант *D*). Некоторое несовпадение теоретических и экспериментальных результатов по абсолютным показателям можно объяснить тем, что в математической модели не может быть учтено все многообразие условий и взаимосвязей, которые влияют на эффективность практической селекции производителей. Несовпадение результатов может быть объяснено также статистическими ошибками при определении селекционно-генетических параметров и отклонениями от принятых допущений (например, нормальное распределение индекса и агрегатного генотипа, стабильность генетической вариансы и ковариансы в процессе отбора и т. д.). В целом приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о достаточно хорошей адекватности теории индексной селекции с практическим ее применением.

В таблице 3 представлены результаты рангового распределения 15 лучших производителей, отобранных по селекционному индексу (вариант *D*), при условии отбора по вариантам *A, B* и *C* (с учетом отбора на первом этапе по живой массе в 12-месячном возрасте для вариантов *B* и *C*). Как видно из этих данных, очень сильное расхождение рангов наблюдалось при отборе по вариантам *A* и *D, B* и *D*. Корреляция между рангами производителей при отборе по вариантам *A* и *D* была даже отрицательной (—0,304). Ранговая корреляция между быками при отборе по вариантам *B* и *D* практически отсутствовала (+0,049).

Наиболее полное соответствие рангов быков было при отборе по вариантам *C* и *D*, при этом ранговая корреляция составила +0,976. Однако при двухэтапной селекции (варианты *B* и *C*) по живой массе на первом этапе отбора были выбракованы высокоценные по удою быки, занимающие в ранговой иерархии 2, 6 и 8-е места.

В то же время при селекции только по индексу в группу 15 лучших быков не вошли производители, имеющие 9, 11 и 15-й ранги по удою,

Таблица 3

Ранговое распределение лучших по индексу быков-производителей в зависимости от варианта отбора

Кличка быка	Марка и номер по госплемкниге	Племенная ценность по		Индекс, руб.	Ранг при отборе по вариантам			
		живой массе, кг	удою, кг		*A*	*B*	*C*	*D*
Вакантный	ЛЧП-932	+24	+308	33,2	4	3	1	1
Мистер	ЛЧП-760	+4	+392	24,8	1	1	2	2
Анчар	ЛЧП-764	+11	+228	20,2	13	8	3	3
Кекс	ЛЧП-1049	+14	+182	19,5	18	13	4	4
Массив	ЛЧП-834	+4	+282	18,6	7	5	5	5
Загон	ЛЧП-983	+9	+206	17,6	14	9	6	6
Дизельный	ЛЧП-776	−2	+334	17,6	3	2	7	7
Кушачок	ЛЧП-927	+11	+182	17,5	19	14	8	8
Диск	ЛЧП-835	−6	+358	16,3	2	×	×	9
Ракурс	ЛЧП-1023	+3	+250	16,1	10	6	9	10
Фист	ЛЧП-1204	−1	+286	15,5	5	4	10	11
Зазной	ЛЧП-1223	+1	+234	13,8	12	7	11	12
Диктор	ЛЧП-756	−5	+284	12,8	6	×	×	13
Камелек	ЛЧП-1207	+4	+168	12,1	20	15	12	14
Гагр	ЛЧП-1045	−6	+280	11,9	8	×	×	15

Знаком × обозначены быки, которые были выбракованы на первом этапе отбора.

то есть производители с более низкой племенной ценностью по удою.

При индексной селекции производителей происходит как бы переоценка «ценности» каждого быка. Быки ранжируются по лучшей «сочетаемости» молочного и мясного генотипа, которая определяется величиной ожидаемого чистого дохода от одного плодотворного осеменения (индекса). Так, бык Кекс ЛЧП-1049 в ранговой иерархии по индексу занимает 4-е место, тогда как по удою — 18-е, то есть при отборе по варианту *A* он даже не вошел в группу 15 лучших быков. С другой стороны, бык Диск ЛЧП-835, занимающий в ранговой иерархии по удою 2-е место, при двухэтапной селекции был бы выбракован, так как его племенная ценность по живой массе в 12-месячном возрасте составляла —6 кг. Однако по величине индекса этот бык занимает 9-е место и ожидаемый чистый доход от использования его спермы составит 16,3 руб. от каждого плодотворного осеменения.

Таким образом, индексная селекция позволяет «недостатки» генотипа быка по одному признаку компенсировать «достоинством» по другому. Тем самым в группу лучших быков будут отбираться такие производители, использование которых даст возможность достичь более высокого селекционного сдвига по комплексу признаков, чем это было бы возможно при других вариантах отбора производителей.

Итак, полученные экспериментальные данные подтверждают результаты теоретических расчетов. Отбор производителей по селекционному индексу, включающему живую массу быка в возрасте 12 мес и удой дочери, представляется наиболее эффективным. При селекции производителей по индексу можно достичь более высокой экономической эффективности племенной работы, чем при отборе только по удою или при поэтапном отборе по живой массе и удою. Можно полагать, что при использовании селекционного индекса создаются предпосылки для отбора производителей, имеющих в оптимальной комбинации «гены молочной и мясной продуктивности». Использование таких быков при надлежащем кормлении и содержании животных позволит значительно повысить производство как молока, так и мяса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. М., Милованов В. М. Прогнозирование эффективности племенной работы с популяцией черно-пестрого скота Ленинградской области. В кн.: Молочный скот для высокомеханизированных ферм и комплексов. Л., 1983: 13—23.
2. Басовский Н. З., Кузнецов В. М. Методические рекомендации по генетико-экономической оптимизации программ крупномасштабной селекции в молочном скотоводстве. М., 1982: 35.

3. Кузнецов Сравнение эффективности разных вариантов отбора быков-производителей. В кн.: Методы повышения генетического потенциала в молочном скотоводстве. Л., 1985: 59—67.
4. Henderson C. R. Selection index and expected genetic advance. Statistical genetics and plant breeding. NAS-NRC, 1963, 895: 141—163.
5. Басовский Н. З., Попов В. П., Рудаков А. Н. Рекомендации по использованию селекционных индексов в племенной работе. Л., 1976: 3—99.
6. Попов В. П. Оценка селекционно-генетических параметров на популяционном уровне. Бюл. ВНИИРГЖ, Л., 1979, 41: 3—5.
7. Косяченко Н. М. Селекционно-генетические параметры показателей развития ремонтных бычков. Бюл. ВНИИРГЖ, Л., 1983, 64: 7—10.
8. Научно обоснованная система ведения животноводства Ленинградской области. (Рекомендации). Л., 1983.
9. McClintock A. T., Cunningham E. P. Selection in dual purpose cattle populations: defining the breeding objective. Anim. Prod., 1974, 18, 3: 237—247.
10. Syrstad O. Estimating direct and correlated response to selection. A note for classification. Acta Agr. Sci., 1970, 20, 3: 205—206.
11. Alps H., Averdunk G. Ein Beitrag zur Frage der Abhängigkeit von Merkmalen der Milchleistung und der Fleischleistung beim Fleckvie. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., 1984, 101, 5: 350—358.

Всесоюзный НИИ разведения и генетики сельскохозяйственных животных, Ленинград-Пушкин

Поступила в редакцию 28 января 1986 года

THE EFFICIENCY OF INDEX SELECTION OF SIRES IN DAIRY BREEDING

V. M. Kuznetsov

Summary

Experimental material comprised 74 Black-and-White sires. Four different selection variants were modelled: selection only for daughters'milk yield, two-stage selection for live weight at 12-months of age and daughters'milk yield, two-stage selection with the use of sr stage-1 information at stage 2 and selection for selection index. The genetic superiority of the sires finally selected (15 bulls) was +0,5, +5,3, +5,9 and +4,3 kg in 12-month live weight and +277, +243, +238 and +265 kg in milk yield, respectively. The expected net profit per one fertile insemination with the semen of the average sire of this selected group was 16,0, 17,2, 17,3 and 17,8 roubles, respectively. A conclusion about the advantage of index selection is drawn.

НОВЫЕ КНИГИ

Селекция и семеноводство. Республиканский межведомственный тематический научн. сб., 58. Киев, изд-во «Урожай», 1985, 79 с.

Изложены новые направления и результаты комплексных исследований в селекции высокопродуктивных сортов озимой и яровой пшеницы, ржи, тритикале, гороха, подсолнечника и корнеплодов в научно-исследовательских учреждениях Украины. Обсуждается проблема клеточной селекции. Показаны перспективы использования прямых сложных и насыщающих скрещиваний, улучшения аминокислотного состава белка в зерне районированных гибридов проса и кукурузы за счет повышения содержания лизина и триптофана. Уделено внимание фундаментальным исследованиям по генетике и селекции кукурузы, тритикале, люцерны и других культур. Приведены материалы исследований морозо-, зимостойкости и засухоустойчивости сортов озимых культур различных эколого-географических зон страны.