

ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ СОПРЯЖЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ
ЛИНЕЙНОЙ ОЦЕНКИ ЭКСТЕРЬЕРА И УДОЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНОГО
ГОЛШТИНСКОГО СКОТА

В.В. ГАРТ, С.Г. КУЛИКОВА, О.В. БОГДАНОВА, В.М. НОРКИНА,
Е.В. КАМАЛДИНОВ, А.Ф. ПЕТРОВ

(Новосибирский государственный аграрный университет)

В статье приведен анализ сопряженной изменчивости удоя 1243 коров первой лактации с 18 линейными признаками экстерьера. Исследования проводились на первотелках высокопродуктивной субпопуляции голштинского скота с удоем свыше 13000 кг на фуражную корову. Средняя продуктивность первотелок за 305 дней лактации составила 10093 кг молока. Связь между удоем и линейными признаками оценивали вычислением рангового коэффициента корреляции Спирмена после корректировки оценочных значений линейных признаков для получения наивысшего ранга животными с оптимальным баллом. Представлена таблица корректировки балльной оценки. Значения рассчитанных коэффициентов корреляции по всем исследованным первотелкам находились в пределах от $-0,06$ до $+0,192$, что характеризует связь как слабую. Анализ корреляций в разных группах продуктивности, варьирующих в пределах от $-0,109$ до $+0,191$, позволил спрогнозировать возможные дальнейшие изменения связи линейных признаков с удоем при отборе на повышение молочной продуктивности. Установлено, что сопряженность удоя с комплексом линейных признаков (ширина задних долей вымени, длина передних долей вымени, высота прикрепления задних долей вымени, рост, обмускуленность, борозда вымени, длина сосков) была в 1,44 раза и более выше, чем связь удоя с любым из 18 исследованных признаков в отдельности. Изложен алгоритм составления комплекса линейных признаков. Приведены и проанализированы графики зависимости удоя от одного и от комплекса линейных признаков. Показаны преимущества прогнозирования удоя первотелок по комплексу линейных параметров по сравнению с использованием одиночного признака экстерьера. Построена полиномиальная регрессионная модель с высокой точностью аппроксимации ($R^2 = 0,9538$).

Ключевые слова: голштинская порода, первотелки, экстерьер, линейная оценка, продуктивность, удой, корреляция, Западная Сибирь, комплекс линейных признаков, регрессионная модель.

Введение

Показатели молочной продуктивности относятся к важнейшим качествам и улучшаемым признакам крупного рогатого скота молочного направления продуктивности при его разведении. Для получения более продуктивного потомства, приспособленного к конкретным условиям разведения, используется многомерный анализ популяций животных молочных пород в России и в других странах при различных способах и условиях содержания скота [1-3]. Однако отбор исключительно по признакам молочной продуктивности приводит к снижению репродуктивных

качеств [3], устойчивости к заболеваниям и продолжительности хозяйственного использования [4].

Оценка экстерьера сельскохозяйственных животных является одним из важных этапов системы определения их племенной ценности [5-8]. Результаты линейной оценки молочного скота учитываются при расчете ряда общих селекционных индексов [9].

Изучение связи молочной продуктивности с экстерьерными признаками является широко изучаемой темой среди ученых разных стран [10, 11]. Исследователями выявлены связи между удоем и признаками экстерьера. Коэффициент корреляции варьировался от $-0,12$ до $+0,25$ при объеме выборочной совокупности (n) = 24 [12], от $0,03$ до $+0,25$ при $n = 159$ [13], от $-0,43$ до $+0,28$ при n в разных группах от 85 до 481 [14]. Другие авторы сообщают, что коэффициент корреляции между удоем и линейными признаками имел диапазоны от $-0,14$ (глубина вымени) до $+0,20$ (ширина задних долей вымени) [15] и от $-0,20$ (угол копыта) до $+0,50$ (ширина задних долей вымени) [11].

Многочисленное изучение связи между показателями продуктивности и экстерьерными признаками на популяциях скота разных стран показало, что несмотря на различия в результатах для каждой исследованной популяции, корреляционная связь остается низкой [4, 16]. При исследовании малых выборок (15 животных) встречалось и значительно большее значение показателя связи. Так, в работе Л.В. Ефимовой с соавт. [17] коэффициент корреляции составил: между удоем и углом копыта – $-0,40$; обмускуленностью – $+0,46$; положением таза – $-0,58$; шириной таза в седалищных буграх – $+0,70$; длиной сосков – $+0,74$.

Изучение особенностей экстерьера имеет значение не только для определения племенной ценности [18] и улучшения желаемых качеств, но и при прогнозировании продуктивности и создании желательного высокопродуктивного типа животных [19, 20]. Для этого целесообразно выбирать признаки с высокой корреляцией [16].

Цель исследований: изучение характера сопряженной изменчивости линейных признаков и их сочетаний с удоем у высокопродуктивного голштинского скота для поиска оптимальной модели раннего прогнозирования молочной продуктивности.

Для достижения поставленной цели были отобраны первотелки высокопродуктивного стада, оцененные по признакам молочной продуктивности и экстерьера. На основании их оценок определялись корреляционные связи, формировались комплексы линейных признаков и строилась регрессионная модель зависимости удоя.

Материал и методы исследований

Исследования проводились в период 2017-2023 гг. на субпопуляции голштинского скота в Западной Сибири со средним удоем на одну фуражную корову свыше 13000 кг. Оценено 1243 животных первого отела. Средние показатели первотелок за 305 дней лактации составили: по удою – 10093 кг; по содержанию молочного жира – 388 кг.

Оценка 18 линейных признаков туловища, ног и вымени (табл. 1) проводилась по системе А на 30-120-й дни лактации согласно правилам [21] по шкале от 1 до 9 баллов.

Из показателей молочной продуктивности определяли удой, кг, и содержание молочного жира за 305 дней лактации, кг.

Расчет показателей связи линейных признаков с удоем и содержанием молочного жира производили как для всего стада, так и для групп животных с разным уровнем продуктивности. Для этого исследуемое поголовье подразделяли на группы согласно их индивидуальной продуктивности (табл. 2).

Исследуемые признаки линейной оценки экстерьера

Часть тела	Признак линейной оценки и сопоставимость названий в разных источниках
Туловище	рост (высота в крестце) [21, 22]
	глубина туловища [21, 22]
	крепость телосложения [21]
	молочные формы [21] или молочный тип [22]
	длина крестца [21, 22]
	положение таза [21, 22]
	ширина таза [21, 22]
	обмускуленность [21, 22]
Ноги	постановка задних ног (вид сбоку) [21, 22]
	угол копыта [21] или высота пятки [22]
Вымя	прикрепление передних долей вымени [21, 22]
	длина передних долей вымени [21, 22]
	высота прикрепления задних долей вымени [21] или высота задних долей вымени [22]
	ширина задних долей вымени [21, 22]
	борозда вымени [21], или центральная связка [22]
	положение дна вымени [21] или глубина вымени [22]
	расположение передних сосков [21, 22]
	длина сосков [21] или длина передних сосков [22]

Оценку связи между признаками проводили вычислением рангового коэффициента корреляции Спирмена.

Поскольку лучшим считается животное, имеющее не самый высокий, а рекомендуемый балл [22], то для вычисления рангового коэффициента корреляции Спирмена производилась корректировка оценочных значений линейных признаков для получения животными с оптимальным баллом наивысшего ранга (табл. 3). Степень тесноты связи признаков оценивали по шкале Чеддока.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием LibreOffice Calc и языка статистического программирования R.

Таблица 2

Группы животных в зависимости от продуктивности

Номер группы продуктивности	Продуктивность животных группы за 305 дней относительно средней арифметической по 1243-м первотелкам	Количество животных в группе
1	удой выше	633
2	удой ниже	610
3	содержание молочного жира выше	631
4	содержание молочного жира ниже	612
5	удой выше, содержание молочного жира выше	482
6	удой выше, содержание молочного жира ниже	151
7	удой ниже, содержание молочного жира выше	149
8	удой ниже, содержание молочного жира ниже	461

Таблица 3

Преобразование оценки линейных признаков для расчета коэффициента корреляции Спирмена

Признак (рекомендуемое оптимальное значение, балл [22])	Оптимальный балл для исследуемой субпопуляции	Оценка, балл								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		преобразованная оценка								
Положение таза (5-6), обмускуленность, постановка задних ног (вид сбоку) (5), расположение передних сосков (5), длина сосков (5-6)	5	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Угол копыта (6-7)	6-7	1	2	3	4	5	6	6	5	4
Положение дна вымени (6-7)	7	1	2	3	4	5	6	7	6	5
Глубина туловища (7), крепость телосложения	7-8	1	2	3	4	5	6	7	7	6
Ширина таза (7-8)	8	1	2	3	4	5	6	7	8	7
Рост, молочный тип (8-9), высота прикрепления задних долей вымени (9), борозда вымени (9), длина крестца (9), ширина задних долей (9), длина передних долей вымени (9), прикрепление передних долей вымени (8-9)	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Результаты и их обсуждение

Значения рангового коэффициента корреляции Спирмена (r_s), отражающие связь линейных признаков с удоем, приведены в таблице 4. Для удобства дальнейшего анализа все строки таблицы были расположены в порядке убывания r_s , вычисленного для всех 1243 исследованных животных (общий коэффициент корреляции). Данные таблицы 4 позволяют проанализировать вклад разнопродуктивных групп животных в силу и направление связи, а также прогнозировать изменение среднего значения линейного признака при отборе на повышение удоя (далее – отбор).

Из 9 статистически значимых r_s по всем первотелкам: 5 были из группы, характеризующей вымя, четыре – характеризующей туловище. Значения варьировались от +0,054 до +0,192, что позволяет охарактеризовать связь как слабую. Полученные нами данные подтверждают исследования других ученых, работавших с большими выборками [11-15].

Корреляция, рассчитанная для удоя и ширины задних долей вымени, имела самое высокое значение. Наибольший вклад в величину коэффициента корреляции вносят низкопродуктивные животные: при двухгрупповом делении стада первотелок по удою это 2-я группа, по содержанию жира – 4-я группа, а при четырехгрупповом (и по удою, и по содержанию жира) – 8-я группа Элиминации из воспроизводства при отборе будут подвергаться в основном особи последней группы, что повлечет за собой возрастание балла за ширину задних долей вымени [23] и снижение общего r_s .

Отрицательный вклад в положительную корреляцию удоя с длиной передних долей вымени вносят животные с низким удоем и высоким содержанием молочного жира (7-я группа). Но их влияние незначительно, поскольку численность составляет всего 12% от общего количества первотелок. В 5-й и 8-й группах r_s равны, а поскольку отбор затронет в первую очередь животных последней группы, то вместе с возрастанием удоя и длины передних долей вымени [23] сопряженная изменчивость будет уменьшаться.

Коэффициенты корреляции, рассчитанные между удоем и двумя линейными признаками (высота прикрепления задних долей вымени и борозда вымени), очень малы только в группах низкопродуктивных коров: по удою (2-я группа) и содержанию молочного жира (4-я группа) – за счет отрицательных r_s (8-я группа). Значение r_s в последней группе является невысоким относительно остальных трех групп (5-й, 6-й и 7-й), поэтому при отборе этот общий коэффициент корреляции изменится не существенно, а балл за линейные признаки скорее всего повысится [23].

Значение r_s удоя и роста в 5-й группе было самым высоким. Объединение ее с остальными группами, имеющими более низкий положительный (8-я) и отрицательные (6-я и 7-я) показатели r_s , снизило общий коэффициент корреляции до 0,095. При элиминации из стада особей 8-й группы произойдет незначительное возрастание и роста [23], и его связи с удоем.

При четырехгрупповом делении животных коэффициенты корреляции удоя и молочных форм сходны в 5-й и 8-й, а также в 6-й и 7-й группах. Последствием отбора будет увеличение балльной оценки за молочные формы [23] на фоне ослабления коррелятивной связи.

Селекция по таким линейным признакам, как обмускуленность, длина сосков, крепость телосложения и угол копыта, проводится не на повышение оценки, как для описанных выше показателей, а на соответствие рекомендуемому баллу (табл. 3), то есть на стабилизацию признака.

Коэффициенты ранговой корреляции между линейными признаками экстерьера и углом первотелок за 305 дней лактации

№	Линейный признак	r_s															
		Общий	Для группы продуктивности														
			1	2	3	4	5	6	7	8							
1	Ширина задних долей вымени	0,192	***	0,071	0,144	***	0,125	**	0,191	***	0,091	*	-0,010	0,030	0,168	***	
2	Длина передних долей вымени	0,165	***	0,097	0,062	*	0,122	**	0,107	**	0,085		0,048	-0,143	0,085		
3	Высота прикрепления задних долей вымени	0,118	***	0,106	**	0,015	0,116	**	-0,006		0,070		0,081	0,153	*	-0,028	
4	Рост	0,095	***	0,072	0,002		0,130	**	0,090	*	0,133	**	-0,064	-0,078	0,023		
5	Обмускуленность	0,091	***	0,066	0,090	*	0,074		0,095	*	0,079		0,017	0,042	0,102	*	
6	Борозда вымени	0,091	***	0,091	*	-0,001	0,099	*	-0,031		0,042		0,090	0,108	-0,024		
7	Молочные формы	0,060	*	0,017	0,036		0,054		0,085	*	0,049		-0,014	-0,018	0,046		
8	Длина сосков	0,058	*	0,093	*	-0,030	0,108	**	-0,043		0,104	*	-0,115	-0,038	-0,023		
9	Крепость телосложения	0,054	*	-0,017	0,066		-0,003		0,057		-0,042		0,036	0,070	0,055		
10	Положение дна вымени	0,017		-0,080	0,033	*	-0,061		0,071		-0,105	*	0,045	-0,056	0,047		
11	Постановка задних ног (вид сбоку)	0,016		-0,035	0,051		-0,041		0,004		-0,087		0,015	0,004	0,054		
12	Длина крестца	0,008		-0,033	0,009		0,022		0,092	*	0,019		-0,059	-0,023	0,035		
13	Ширина таза	0,006		-0,013	0,007		-0,058		-0,004		-0,053		0,081	-0,101	-0,006		
14	Положение таза	0,002		0,043	-0,004		0,013		0,068		0,064		0,134	-0,127	0,031		
15	Прикрепление передних долей вымени	-0,009		0,009	-0,055		-0,007		-0,057		-0,053		0,170	*	-0,029	-0,053	
16	Глубина туловища	-0,019		-0,049	0,031		-0,074		-0,007		-0,100	*	0,067	0,040	0,027		
17	Угол копыта	-0,032		-0,073	0,045		-0,125	**	0,006		-0,086		-0,005	0,000	0,005		
18	Расположение передних сосков	-0,053		-0,025	-0,010		-0,088	*	-0,065		-0,068		0,024	-0,112	-0,019		

* $\alpha < 0,05$.** $\alpha < 0,01$.*** $\alpha < 0,001$.

Наибольшее влияние на повышение связи удою с обмускуленностью оказывают низкопродуктивные животные (наибольшее значение r_s наблюдалось у животных 8-й группы). При отборе связь с удоем будет снижаться, а сам линейный признак почти не изменится [23].

Положительное значение общего r_s между удоем и длиной сосков обусловлено более сильными связями в группах высокопродуктивных животных (1-я, 3-я), основу которых составляют животные, имеющие наибольшую продуктивность сразу по двум показателям продуктивности (5-я группа). Остальные своей обратной связью снижают значение общего r_s почти в 2 раза, но он остается статистически значимым. При отборе средний балл будет стремиться к отклонению от рекомендуемого в сторону укорочения сосков [23], а связь с удоем будет укрепляться.

Положительное направление и величину связи удою и крепости телосложения формируют в основном животные с меньшей продуктивностью (2-я и 4-я группы при двухгрупповом делении стада; 6-я, 7-я и 8-я при четырехгрупповом делении). В высокопродуктивных группах связь является обратной. Поэтому при отборе на повышение удою, на фоне некоторого укрепления телосложения животных [23], общий r_s будет стремиться к нулю.

В 5-й группе животных обращает на себя внимание и статистически значимая обратная связь удою с признаками «Положение дна вымени и глубина туловища». Отбор в меньшей степени затронет эту, самую продуктивную часть животных, поэтому оба линейных признака будут отклоняться от среднего балла по стаду: положение дна вымени понизится, глубина туловища увеличится [23]. Обратная связь этих признаков с удоем возрастет.

По результатам анализа таблицы 4 можно отметить, что выявлена слабая статистически достоверная положительная корреляция с удоем у 9 из 18 линейных признаков. При подразделении животных по продуктивности оказалось, что коэффициент корреляции в разных группах различается по направлению и абсолютному значению. Это дает возможность при отборе предвидеть поведение связи линейных признаков с удоем, а в сочетании с прогнозом изменений в экстерьерном профиле [23] – использовать для подбора быков с качествами, направленными на коррекцию негативного влияния отбора.

Исследования корреляций представляют интерес и в связи с использованием показателей линейной оценки экстерьера для раннего прогнозирования будущей продуктивности животных [19, 20].

В целях изучения зависимости удою от совокупности нескольких линейных признаков (комплекса признаков) для каждого животного суммировали преобразованные баллы (табл. 3) признаков, входящих в комплекс, и вычисляли ранговый коэффициент корреляции с удоем. Первым формировался комплекс из двух признаков с самыми высокими положительными значениями общего r_s (табл. 4), вторым – из трех признаков, и так далее для всех признаков с положительным коэффициентом корреляции.

Сначала происходил рост r_s , который продолжался до суммирования баллов 6 линейных признаков в комплексе 1..6 (рис. 1). При включении в комплекс признака «Молочные формы» значение коэффициента корреляции несколько уменьшилось (комплекс 1..7), а потом снова возросло. Значит, признак «Молочные формы» в отличие от следующих двух снижает степень связи, и его нужно заменить на другой, способный повысить r_s . В результате он был размещен на 9-й позиции (табл. 5), а его место занял следующий за ним признак – «Длина сосков».

В результате максимальное значение коэффициента корреляции между удоем и новым комплексом 1..7 возросло с 0,2796 (рис. 1) до 0,2828 (рис. 2). Полученное значение r_s было в 1,44 раза больше, чем для удою и ширины задних долей вымени, поэтому комплекс можно более эффективно использовать при раннем прогнозировании удою животных по линейным признакам.

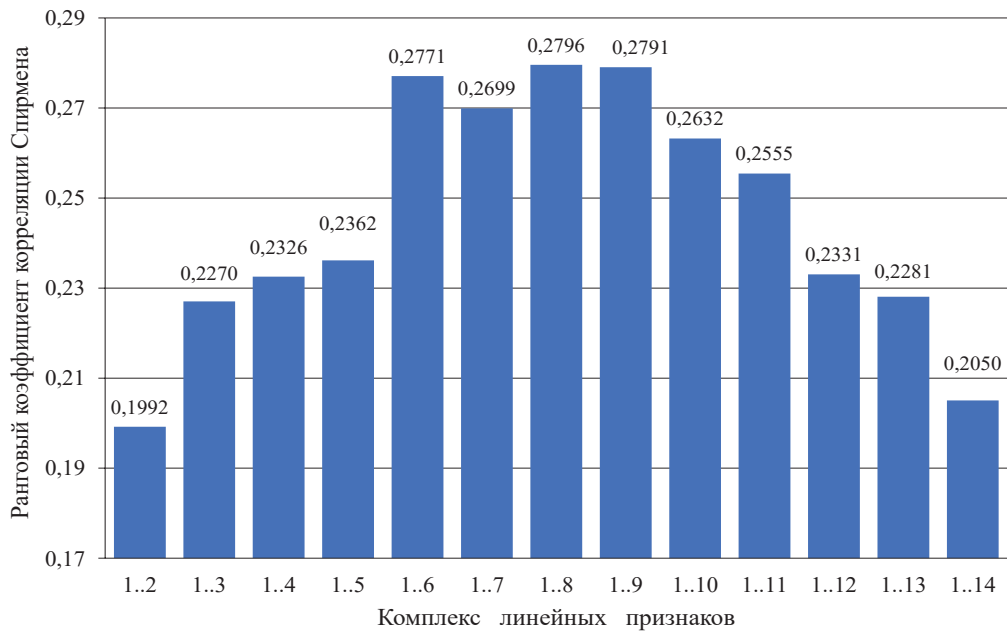


Рис. 1. Изменение значения r_s удоя и комплекса при разном количестве входящих в него линейных признаков

Таблица 5

Измененный порядок линейных признаков для составления комплексов

№	Показатель	Комплекс признаков
1	Ширина задних долей вымени	1..1
2	Длина передних долей вымени	1..2
3	Высота прикрепления задних долей вымени	1..3
4	Рост	1..4
5	Обмускуленность	1..5
6	Борозда вымени	1..6
7	Длина сосков	1..7
8	Крепость телосложения	1..8
9	Молочные формы	1..9
10	Положение дна вымени	1..10
11	Постановка задних ног (вид сбоку)	1..11
12	Длина крестца	1..12
13	Ширина таза	1..13
14	Положение таза	1..14

На рисунке 3 представлен график зависимости удоя первотелок от линейного признака, имеющего максимальный общий r_s (табл. 4). Кривая зависимости охватывает 6 (от 4 до 9 баллов) присутствующих в субпопуляции первотелок градаций факторного признака «Ширина задних долей вымени» при теоретически возможных 9 градациях (от 1 до 9). Диапазон средних значений удоя, соответствующих баллам, составил 1397 кг (от 8890 до 10287).

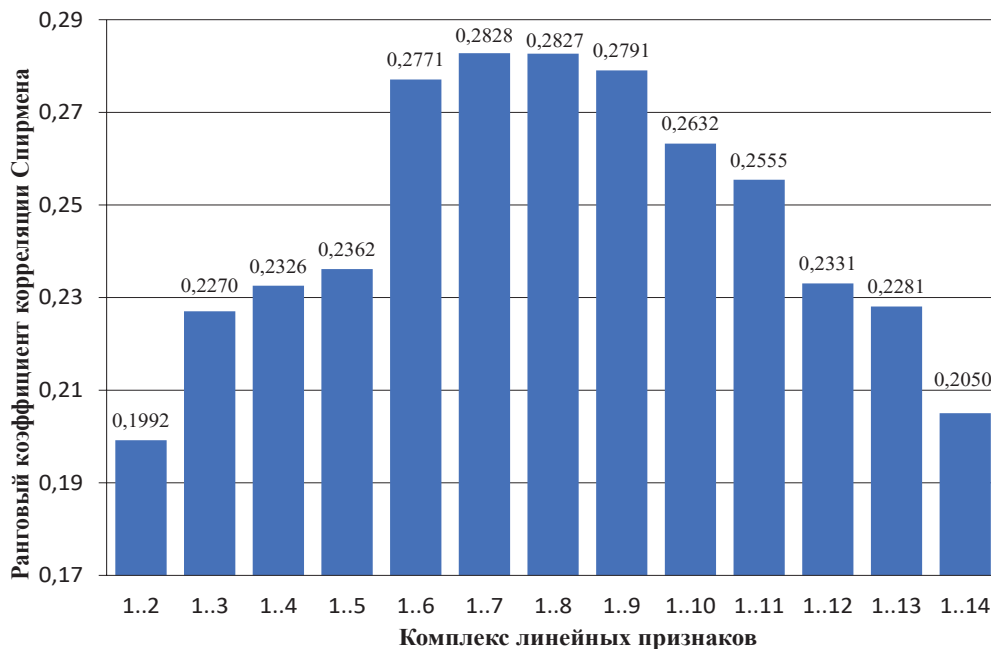


Рис. 2. Изменение значения r_s удоя и комплекса после изменения иерархии линейных признаков

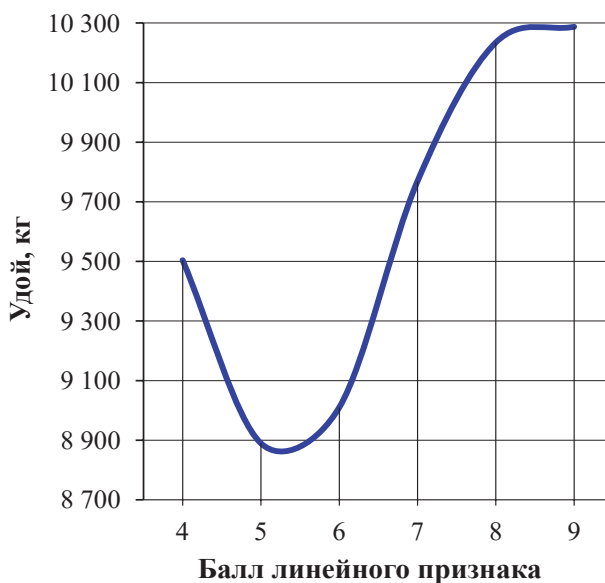


Рис. 3. Зависимость удоя от линейного признака – ширины задних долей вымени

Теоретически комплекс 1..7 может иметь 58 градаций (от 7 до 64 суммарных баллов). Фактически исследуемые животные имели размах от 36 до 55 баллов (20 градаций), то есть располагались во второй половине (от 36 до 64) теоретического диапазона баллов комплекса. Сумму от 56 до 64 баллов не «набрало» ни одно животное, что свидетельствует о потенциале для селекции по линейным признакам экстерьера.

На крайние варианты фактического диапазона пришлось всего по несколько животных (от 1 до 6), поэтому для повышения точности графика они были исключены из выборки. После удаления осталось 12 градаций комплекса (рис. 4), что в 2 раза больше, чем у признака «Ширина задних долей вымени» (рис. 3). При этом разница между лимитами средних значений удоя была в 1,3 раза больше и составила 1760 кг (от 9070 до 10830). По этим отличиям можно заключить, что комплекс 1..7 лучше, чем признак «Ширина задних долей вымени», подходит для прогнозирования удоя первотелок за 305 дней. Анализируя кривую зависимости удоя от комплексного признака, обозначенной черной линией на рисунке 4, можно отметить, что участок, наименее отклоняющийся от прямой линии (от 47 баллов и выше), является наиболее приемлемым для прогнозирования удоя.

Формула линии тренда (красная линия) представляет собой полином третьей степени: $y = 0,3784x^3 - 54,361x^2 + 2742,9x - 38103$. Коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком (R^2) составил 0,9538, что свидетельствует о высокой точности аппроксимации. Наибольшее совпадение линий наблюдалось на отрезке от 47 баллов и выше.

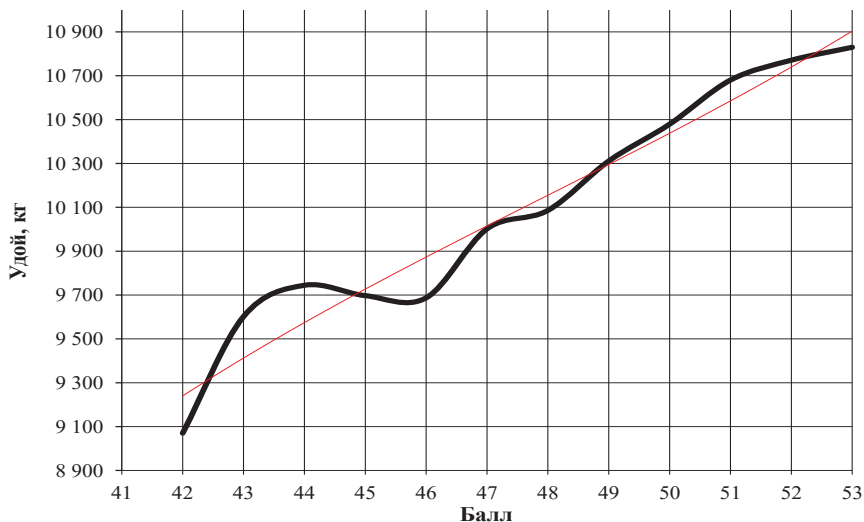


Рис. 4. Зависимость удоя от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

Выводы

Выявлена слабая взаимозависимость удоя первотелок за 305 дней лактации и признаков линейной оценки (ширина задних долей вымени, длина передних долей вымени, высота прикрепления задних долей вымени, рост, обмускуленность, борозда вымени, молочные формы, длина сосков, крепость телосложения). Коэффициенты ранговой корреляции варьировались в диапазоне от +0,054 до +0,192.

Для формирования стада с максимальным удоем рекомендуется производить отбор по комплексу следующих линейных признаков: ширина задних долей вымени; длина передних долей вымени; высота прикрепления задних долей вымени; рост; обмускуленность; борозда вымени; длина сосков. Корреляция удоя с таким комплексом была в 1,44 раза и более выше, чем связь удоя с каждым признаком в отдельности.

Построена полиномиальная регрессионная модель зависимости удоя от комплекса линейных признаков с высокой точностью аппроксимации ($R^2 = 0,9538$). Модель лучше работает на животных с суммарным баллом 47 и выше.

Работа выполнена по теме Государственного задания № FESF-2023-0016.

Библиографический список

1. Богданова О.В., Камалдинов Е.В., Куликова С.Г. и др. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (67). – С. 148-155. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-148-155.
2. Petrov A.F., Bogdanova O.V. et al. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection / A.F. Petrov, O.V. Bogdanova, K.N. Narozhnykh, E.V. Kamaldinov, K.S. Shatokhin, V.V. Gart, S.G. Kulikova and T.A. Zhigulin // Veterinary World. – 2024. – Vol. 17, № 5. – Pp. 1108-1118. DOI: www.doi.org/10.14202/vetworld.2024.1108-1118
3. Анохин С.М., Жучаев К.В., Иванова О.А. и др. Молочная продуктивность первотелок голштинской и симментальской пород с разным уровнем воспроизводительных качеств // Вестник ИРГСХА. – 2019. – № 93. – С. 121-130.
4. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia // Veterinaria y Zootecnia. – 2014. – Vol. 8, № 1. – Pp. 35-47.
5. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F. et al. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle // J Dairy Sci. United States. – 2017. – Vol. 100, № 12. – Pp. 10251-10271. DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
6. Cole J., Eaglen S., Maltecca C. et al. The future of phenomics in dairy cattle breeding // Animal Frontiers. – 2020. – Vol. 10, № 2. – Pp. 37-44. DOI: 10.1093/af/vfaa007.
7. Богданова О.В., Гарт В.В., Куликова С.Г. и др. Различия между странами по признакам линейной оценки экстерьера крупного рогатого скота голштинской породы // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 8. – С. 59-64. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59.
8. Куликова С.Г., Богданова О.В., Гарт В.В. и др. Связь между признаками линейной оценки экстерьера голштинских коров // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник VII Национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием, г. Новосибирск, 26 февраля 2024 г. – Новосибирск: Золотой колос, 2024. – С. 389-392.
9. Toghiani S., VanRaden P.M. National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires // Leeuwarden, The Netherlands. – 2021. – Vol. 56. – Pp. 52-59.
10. Sartori C., Guzzo N., Mazza S. et al. Genetic correlations among milk yield, morphology, performance test traits and somatic cells in dual-purpose Rendena breed // Animal. – 2018. – Vol. 12, № 5. – Pp. 906-914. DOI: 10.1017/S1751731117002543
11. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies // Tropical Animal Health and Production. – 2020. – Vol. 52. – Pp. 2221-2232. DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.
12. Батанов С.Д., Шайдуллина М.М. Продуктивные качества и экстерьерные особенности коров черно-пестрой породы разных линий // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – Т. 239, № 3. – Pp. 29-34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35.

13. *Batanov S.D., Baranova I., Starostina O.* Innovative methods in study of animal's conformation // *Bulg. J. Agric. Sci.* – 2020. – Vol. 26, № 6. – Pp. 1286-1291.
14. *Цидик О.Н.* Взаимосвязь молочной продуктивности с линейной оценкой экстерьера // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена Знак Почета государственная академия ветеринарной медицины».* – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 158-162.
15. *Misztal I., Lawlor T., Short T. et al.* Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model // *Journal of Dairy Science.* – 1992. – Vol. 75, № 2. – Pp. 544-551.
16. *Ismael H., Janković D., Stanojević D. et al.* Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows // *Revista Brasileira de Zootecnia.* – 2021. – Vol. 50. – Pp. 1-10. DOI: 10.37496/rbz5020200121.
17. *Ефимова Л.В., Кулакова Т.В., Иванова О.В., Иванов Е.А.* Взаимосвязь между признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью коров // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета.* – 2017. – № 3 (44). – С. 115-124.
18. *Петров А.Ф., Камалдинов Е.В., Панферова О.Д. и др.* Моделирование объема туловища по линейным признакам скота ирменского типа // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки.* – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 106-114. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-12.
19. *Xue X., Hu H., Zhang J. et al.* Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins // *Animals.* – 2022. – Vol. 13, № 1. – Pp. 1-12. DOI:10.3390/ani13010100
20. *Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O. et al.* Prediction of Milk Productivity Based on Conformation Traits in Cows // *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences.* – 2023. – Vol. 24, № 6. – Pp. 521-529.
21. *Правила оценки телосложения дочерей быков-производителей молочно-мясных пород.* – М.: МСХиП, Департамент животноводства и племенного дела, 1996. – 14 с.
22. *Методика оценки телосложения крупного рогатого скота молочного и молочно-мясного направлений продуктивности.* – М.: МСХ РФ, 2017. – 24 с.
23. *Гарт В.В., Ефремова О.В., Куликова С.Г. и др.* Характеристика линейного профиля первотелок голштинской породы разной продуктивности в условиях промышленного комплекса // *Достижения науки и техники АПК.* – 2024. – Т. 38, № 3. – С. 45-15. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_3_45.

POLYNOMIAL CONJUGATE VARIABILITY OF TRAITS
OF LINEAR ASSESSMENT OF THE EXTERIOR AND MILK YIELD
OF HIGHLY PRODUCTIVE HOLSTEIN CATTLE

V.V. GART, S.G. KULIKOVA, O.V. BOGDANOVA,
V.M. NORKINA, E.V. KAMALDINOV, A.F. PETROV

(Novosibirsk State Agrarian University)

The conjugate variability of milk yield of 1243 first lactation cows with 18 linear exterior traits was analyzed. The research was carried out on the first-calf heifers of a highly productive subpopulation of Holstein cattle with milk yield of over 13000 kg per forage cow. The average

productivity of the first-calf heifers for 305 days of lactation was 10093 kg of milk. The relationship between milk yield and linear traits was assessed by calculating the Spearman's correlation coefficient after adjusting the estimated values of the linear traits to obtain the highest rank of animals with an optimal score. The table of score adjustments is presented. The values of the calculated correlation coefficients for all the studied first-calf heifers ranged from 0.06 to +0.192, which characterizes the relationship as weak. The analysis of correlations in different productivity groups, ranging from 0.109 to +0.191, made it possible to predict possible further changes in the relationship between linear traits and milk yield when selecting for increased milk productivity. It was found that the conjugacy of milk yield with a complex of linear traits (Rear Udder Width, Fore Udder Length, Rear Udder Height, Stature, Muscularity, Udder Cleft, Teat Length) was 1.44 or more times higher than the relationship of milk yield with any of the eighteen studied traits separately. The algorithm for creating a complex of linear traits is described. Graphs of milk yield dependence on one and on a complex of linear traits are presented and analyzed. The advantages of predicting the milk yield of the first-calf heifers by a set of linear parameters are shown in comparison with using a single trait of the exterior. The polynomial regression model with high approximation accuracy ($R^2=0.9538$) is constructed.

Keywords: Holstein breed, first-calf heifers, exterior, linear assessment, productivity, milk yield, correlation, Western Siberia, complex of linear features, regression model.

References

1. Bogdanova O.V., Kamaldinov E.V., Kulikova S.G., Garth V.V. et al. Scientific and theoretical substantiation of the system of improving selection and breeding work in dairy cattle breeding in the Novosibirsk region. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023;2(67):149-155. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-149-155>
2. Petrov A.F., Bogdanova O.V., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V. et al. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection. *Veterinary World*. 2024;17(5):1108-1118. <https://doi.org/www.doi.org/10.14202/vetworld.2024.1108-1118>
3. Anokhin C.M., Zhuchayev K.V., Ivanova O.A., Ejlert A.I., Kochneva M.L. Milk productivity of the first-calf calving heifers of Holstein and Simmental breeds with different level of reproductive qualities. *Vestnik IrGSHA*. 2019;93:121-130. (In Russ.)
4. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*. 2014;8(1):35-47. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2014.8.1.3>
5. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L.F. et al. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *J Dairy Sci. United States*. 2017;100(12):10251-10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>
6. Cole J., Eaglen S., Maltecca C., Mulder H.A., Pryce J.E. The future of phenomics in dairy cattle breeding. *Animal Frontiers*. 2020;10(2):37-44. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa007>
7. Bogdanova O.V., Gart V.V., Efremova O.V., Kulikova S.G. et al. Differences between countries in terms of linear assessment of the conformation of Holstein cattle. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2024;38(3):64-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.53859/02352451-2023-37-8-59>
8. Kulikova S.G., Bogdanova O.V., Gart V.V., Petrov A.F. et al. Relationship between the traits of a linear assessment of the exterior of Holstein cows. *VII natsionalnaya (vserossiyskaya) nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem "Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki"*. February 26, 2024. Novosibirsk, Russia: Zolotoy kolos, 2024:389-392. (In Russ.)

9. Toghiani S., VanRaden P.M. National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires. *ICAR-Interbull Conference, April 26, 2021*. Leeuwarden, the Netherlands. 2021;56:52-59.
10. Sartori C., Guzzo N., Mazza S., Mantavani R. Genetic correlations among milk yield, morphology, performance test traits and somatic cells in dual-purpose Rendena breed. *Animal*. 2018;12(5):906-914. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002543>
11. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies. *Tropical Animal Health and Production*. 2020;52:2221-2232. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02302-w>
12. Batanov S.D., Shaydullina M.M. Productive qualities and exterior features of black-and-white breeds cows of different lines. *Uchenye zapiski Kazanskoy Gosudarstvennoy Akademii Veterinarnoy Meditsiny im. N.E. Bauman*. 2019;2399(3):29-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35>
13. Batanov S.D., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2020;26(6):1286-1291.
14. Tsidik O.N. Correlation of dairy productivity with linear exterior evaluation. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy mediciny*. 2019;55(3):158-162. (In Russ.)
15. Misztal I., Lawlor T., Short T., VanRaden P.M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*. 1992;75(2):544-551. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77791-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1)
16. Ismael H., Janković D., Stanojević D., Bogdanović V. et al. Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2021;50:1-10. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200121>
17. Efimova L.V., Kulakova T.V., Ivanova O.V., Ivanov E.A. Relation between linear assessment of exterior and cows' milk productivity. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2017;3(44):115-124. (In Russ.)
18. Petrov A.F., Kamaldinov E.V., Panferova O.D., Efremova O.V., Rogozin V.A. Body volumemodelling by linear features of the Irmentype cattle. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2020;50(6):106-114. (In Russ.) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-6-12>
19. Xue X., Hu H., Zhang J., Ma Y. et al. Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins. *Animals*. 2022;13(1):1-12. <https://doi.org/10.3390/ani13010100>
20. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O., Kulikova S., Petrov A. Prediction of Milk Productivity Based on Conformation Traits in Cows. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023;24(6):521-529.
21. *Rules for evaluating the physique of the daughters of dairy and meat-producing bulls*. Moscow, Russia: MSKHiP, Departament zhivotnovodstva i plemennogo dela, 1996:14. (In Russ.)
22. *Method of assessment of dairy and dual-purpose cattle*. Moscow, Russia: MSKh RF; 2017:24. (In Russ.)
23. Gart V.V., Efremova O.V., Kulikova S.G., Bogdanova O.V. et al. Characteristics of the linear profile of Holstein heifers of different productivity under the conditions of the industrial complex. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2024;38(3):45-50 (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_3_45

Сведения об авторах

Гарт Владимир Владимирович, д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии пищевых производств и индустрии питания, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: gvlvl@yandex.ru; тел.: (983) 306–58–32

Куликова Светлана Геннадьевна, д-р биол. наук, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: kulikovasg@yandex.ru; тел.: (913) 953–94–45

Богданова Ольга Валерьевна, старший преподаватель кафедры частной зоотехнии и кормления, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: firstfloor75@yandex.ru; тел.: (923) 150–61–51

Норкина Виолетта Михайловна, студент магистратуры ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: violetta.norkina@gmail.com; тел.: (996) 379–93–29

Камалдинов Евгений Варисович, д-р биол. наук, заведующий кафедрой ветеринарной генетики и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: ekamaldinov@yandex.ru; тел.: (913) 923–66–33

Петров Алексей Федорович, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: alex@nsau.edu.ru; тел.: (952) 933–82–54

Information about the authors

Vladimir V. Gart, DSc (Ag), Professor at the Department of Food Technology and Catering Industry, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (913) 953–94–45; e-mail: gvlvl@yandex.ru

Svetlana G. Kulikova, DSc (Bio), Professor at the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (983) 306–58–32; e-mail: kulikovasg@yandex.ru

Olga V. Bogdanova, Senior Lecturer at the Department of Private Animal Science and Feeding, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (923) 150–61–51; e-mail: firstfloor75@yandex.ru

Violetta M. Norkina, Master's Degree student, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (996) 379–93–29; e-mail: violetta.norkina@gmail.com

Evgeniy V. Kamaldinov, DSc (Bio), Head of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (913) 923–66–33; e-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Aleksey F. Petrov, Head of the Laboratory of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agrarian University (160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation); phone: (952) 933–82–54; e-mail: alex@nsau.edu.ru