

Генетика племенной ценности

УДК 636.4:636.082:575.1

doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.712rus

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ПАРАТИПИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ,
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КОРМА У СВИНЕЙ ПОРОДЫ ДЮРОК*****А.А. БЕЛОУС, А.А. СЕРМЯГИН, О.В. КОСТЮНИНА, Е.А. ТРЕБУНСКИХ,
Н.А. ЗИНОВЬЕВА**

Эффективность использования корма — важнейший экономически значимый показатель в свиноводстве. Для ее оценки используют значения среднесуточного потребления корма (daily feed intake, DFI) и конверсии корма как отношения количества потребленного корма к привесу живой массы за определенный период времени (feed conversion rate, FCR). Одна из групп факторов, способных оказать влияние на показатели эффективности использования корма, — кормовое поведение свиней. В настоящей работе впервые в России получены результаты, характеризующие особенности кормового поведения хрячков породы дюрок во взаимосвязи с показателями эффективности использования корма на автоматических кормовых станциях. Целью нашей работы было изучение влияния генетических и паратипических факторов на эффективность использования корма и кормовое поведение свиней (*Sus scrofa*). Исследования проводили на базе селекционно-генетического центра ООО «СГЦ» (п. Верхняя Хава, Воронежская обл.) с июля 2017 года по март 2018 года. Выборка включала 71 хрячка породы дюрок отечественной репродукции. Учет фенотипических показателей осуществляли с использованием автоматических кормовых станций GENSTAR («Cooperl», Франция). Из животных формировали группы по 10-15 гол. в возрасте от 70 сут (масса особей 29-33 кг), продолжительность контрольного выращивания варьировала и завершалась в возрасте от 138 до 174 сут. В этот период оценивали живую массу (BW, кг), среднесуточное потребление корма (DFI, г/сут), общее время нахождения на кормовой станции в сутки (TPD, мин/сут), число посещений кормовой станции в сутки (NVD, ед.), среднее потребление корма за одно посещение (FPV, г), скорость поедания корма (FR, г/мин), среднюю продолжительность одного посещения (TPV, мин). Рассчитывали показатели конверсии корма в трех вариантах — на основе отношения суммы потребленного корма к приросту живой массы за весь период (FCR₁); оценки аналогичных показателей по 10-суточным периодам выращивания (FCR₂); использования данных, учитывающих ежесуточные колебания BW и DFI (FCR₃). Расчет значений среднесуточных приростов массы (ADG₁, ADG₂, ADG₃) проводили для каждого из вариантов FCR₁, FCR₂, FCR₃. Первоначальный массив данных индивидуального учета включал 99867 записей, для дальнейшего анализа отобрали 60 хрячков. Тестируемый объем данных включал 4138 суточных значений для каждой особи. Декомпозицию фенотипической изменчивости по признакам проводили с использованием дисперсионного анализа без взаимодействия факторов. Изучение вариационных компонентов генетической и средовой природы, а также оценка взаимосвязи между показателями основывалась на методе REML по множественной модели для ряда признаков. На начало эксперимента возраст животных составлял 74,2±1,0 сут (*C_v* = 10,6 %), возраст достижения живой массы 100 кг — 149,9±1,0 сут (*C_v* = 5,0 %). Средние значения FCR в зависимости от метода расчета колебались от 2,52 до 3,08 кг/кг; вариация была выше для FCR₂ и FCR₃ — 23,2 и 19,2 %. Изменчивость для признаков кормового поведения TPD, NVD, FPV, FR и TPV составила соответственно 13,7; 27,4; 21,6; 17,7 и 21,8 %. Генетическая доля хряка-отца была наибольшей для следующих признаков: FCR₂ (11,7 %), FCR₃ (15,4 %), TPD (28,2 %) и NVD (30,8 %). Наследуемость показателя FCR₃ оказалась низкой (*h*² = 0,019), однако сопутствующие параметры кормового поведения и живой массы имели более надежные результаты — соответственно *h*² = 0,134-0,368 и *h*² = 0,744. Генетическая корреляция оказалась наиболее тесной между FCR₃ и показателями TPD (*r* = 0,585), FR (*r* = -0,368), FPV (*r* = 0,274) и NVD (*r* = 0,368). Между ADG₂ и FCR₂ была обнаружена обратная зависимость, при этом ее динамика носила переменный характер. Увеличение продолжительности тестового откорма хрячков породы дюрок свыше 140-150 сут значительно снижало оплату корма продукцией. Полученные результаты будут иметь прикладное значение для апробации системы генетической и геномной оценки свиней по ряду главных селекционных признаков.

Ключевые слова: свиньи, порода дюрок, конверсия корма, кормовое поведение, живая масса, среднесуточный прирост, наследуемость, изменчивость.

* При проведении исследований использовано оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФНЦ животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки России, уникальный номер проекта RFMEFI60417X0182.

Эффективность использования корма — важнейшая составляющая экономической привлекательности производства свинины. Для оценки этого признака используют показатели среднесуточного потребления корма (daily feed intake, DFI) и конверсии корма как отношения потребленного корма к приросту живой массы за определенный период времени (feed conversion rate, FCR). Установлена положительная корреляция (r от 0,32 до 0,70) между DFI и среднесуточными приростами (average daily gain, ADG) (1). Варьированием DFI может объясняться до 59 % изменчивости ADG (2). Вариабельность показателей эффективности использования корма обусловлена как внешними, так и внутренними факторами. К внешним факторам относятся состав и энергетическая питательность рационов, менеджмент и климатические условия. Внутренние факторы связаны с различными физиологическими процессами (регуляция аппетита, абсорбционная способность кишечника, усвояемость питательных веществ, терморегуляция, мышечная активность и т.д.), а также состоянием анаболического и катаболического обмена веществ (3).

Вместе с тем показатели эффективности использования корма с точки зрения популяционно-генетических исследований интересны в комплексе факторов кормового поведения свиней. Обладая информацией по закономерностям наследования и изменчивости этологических признаков, можно технологическими приемами регулировать функциональные потребности животных, исходя из породоспецифических особенностей. Разработка компьютеризированных систем откорма (кормовые станции, фидлоты) сделала возможным автоматический высокоточный ежесуточный индивидуальный учет не только потребления корма и прироста живой массы, но и признаков кормового поведения (4). Эта информация открывает новые возможности в изучении его особенностей у свиней во взаимосвязи с показателями эффективности использования корма.

Известно, что эффективность использования корма и кормовое поведение неодинаковы у разных пород свиней (1, 5, 6). Если конверсия корма по породам относительно стабильна (отмечается ее поступательное снижение за последние 15 лет, обусловленное интенсивной селекцией по этому показателю и совершенствованием рационов), то значения показателей кормового поведения в различных исследованиях сильно варьируют как между, так и внутри пород (7-9). Установлено, что показатели конверсии корма и кормового поведения характеризуются умеренной и высокой степенью наследуемости (10-12), однако использование последних в селекции требует сведений об их взаимосвязях с признаками эффективности использования корма. Хотя проведенные исследования показали наличие корреляций между вышеназванными показателями, в большинстве случаев выявленные закономерности имели породо- и популяционно-специфический характер (1, 13, 14). Работы, выполненные ранее на российских популяциях свиней, в основном были направлены на выявление связи между конверсией корма и другими хозяйственно полезными признаками без учета их изменчивости (15, 16). Исследования, проведенные на других видах сельскохозяйственных животных, показывают перспективность включения конверсии корма в характеристику мясных и откормочных качеств поголовья (17, 18).

В настоящем исследовании впервые в России получены результаты, характеризующие особенности кормового поведения хрячков породы дюрок во взаимосвязи с показателями эффективности использования корма на автоматических кормовых станциях.

Нашей целью было изучение влияния генетических и паратипиче-

ских факторов на эффективность использования корма и кормовое поведение свиней российской репродукции.

Методика. Исследования проводили с июля 2017 года по март 2018 года (селекционно-генетический центр ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл.). Учеты выполняли с использованием автоматических станций тестового откорма GENSTAR («Cooperl», Франция). Животные получали полнорационный комбикорм ПК-56-1, изготовленный согласно ГОСТ 21055-96 («Комбикорма полнорационные для беконного откорма свиней») по рецептурам СК-6, СК-7 и СК-52 (ОАО «Верхнехавский элеватор», Россия). Содержание основных питательных компонентов в рационе варьировало в пределах, допускаемых техническими требованиями стандарта, и составляло для обменной энергии 12,61-13,59 МДж/кг, для массовой доли сырого протеина — 14,16-16,77 %, клетчатки — 3,83-4,49 %, лизина — 0,81-1,14 %, метионина и цистина — 0,51-0,73 %, триптофана — 0,15-0,21 %.

Выборка включала 71 хрячка породы дюрок отечественной репродукции. Все животные имели индивидуальный идентификатор (электронный чип). Выращивание животных на станциях осуществляли группами по 10-15 гол. (партиями) в возрасте от 70 сут (живая масса 29-33 кг). Продолжительность контрольного выращивания варьировала и завершалась в возрасте от 138 до 174 сут. В течение всего периода контрольного выращивания оценивали живую массу (BW, кг), среднесуточное потребление корма (DFI, г/сут) и показатели кормового поведения, в том числе общее время посещения кормовой станции в сутки (TPD, мин/сут), число посещений кормовой станции в сутки (NVD, ед.), среднее потребление корма за одно посещение (FPV, г), скорость поедания корма (FR, г/мин; $FR = DFI/TPD$), среднюю продолжительность одного посещения (TPV, мин; $TPV = TPD/NVD$). Аббревиатуры терминов соответствуют общепринятым сокращениям показателей конверсии корма, роста и кормового поведения (5).

Для оценки конверсии корма (FCR, кг/кг) использовали три способа. Первый предусматривал расчет показателя на основе начальной и конечной живой массы при контрольном выращивании и суммы потребленного корма:

$$\overline{FCR}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n CR_{i=n}}{(W_n - W_1)}, \quad [1]$$

где \overline{FCR}_1 — конверсия корма за весь период выращивания, $\sum_{i=1}^n CR_{i=n}$ — сумма потребленного корма за n наблюдений, начиная с $i = 1$; $(W_n - W_1)$ — прирост живой массы за период выращивания, W_n — живая масса в конце периода, W_1 — живая масса в начале периода.

Второй способ был основан на оценке по средним значениям живой массы, ее среднесуточных приростов и конверсии корма, полученным в течение 10-суточных периодов:

$$\overline{FCR}_2 = \sum \left(\frac{\sum_{i=0}^{10} CR_{i=0(i+1...i+10)}}{(W_{i+10} - W_{i+1})} \right) / t, \quad [2]$$

где \overline{FCR}_2 — показатель конверсии корма по 10-суточным периодам для животного, $\sum_{i=0}^{10} CR_{i=0(i+1...i+10)}$ — суммарное потребление корма животным за 10-суточный период, W_{i+10} — живая масса животного на 10-е сут каждого 10-суточного периода, W_{i+1} — живая масса животного на 1-е сут каждого 10-суточного периода, i — шаг периода продолжительностью 10 сут при $t > 1$, t — число 10-суточных периодов.

В третьем случае использовали параметры суточной оценки про-

дуктивности свиней с выравниванием показателя конверсии корма по отрицательным значениям (коррекция на среднюю величину положительных вариантов) с учетом ежедневных колебаний живой массы и объема потребленного корма:

$$\overline{FCR}_3 = \sum_{i=1}^i \left(\frac{CR_i}{W_{i+1} - W_i} \right) / i, \quad [3]$$

где \overline{FCR}_3 — суточный показатель конверсии корма для животного, CR_i — суммарное суточное потребление корма, W_{i+1} — живая масса животного на момент наблюдения, W_i — живая масса животного при предшествующем наблюдении, i — номер наблюдения.

Расчет значений среднесуточных приростов (ADG_1 , ADG_2 , ADG_3) проводили для FCR_1 , FCR_2 , FCR_3 . Для оценки интенсивности роста хрячков определяли возраст достижения живой массы 100 кг (AGE_{100} , сут).

Первичную информацию по контрольному выращиванию хрячков собирали в электронные файлы, на основе которых формировали базу данных с элементами логического контроля входной информации: даты, повторы, отсутствие одного из оцениваемых параметров. Первично массив из 99867 учетных записей был подвергнут контролю на соответствие закону нормального распределения анализируемых показателей (индивидуальных измерений). Выявленные выбросы в суточных данных каждого животного, превышавшие порог $\pm 10,0$ % отклонения от предыдущего значения, исключали из дальнейшей обработки. В анализ брали только особей, у которых число тестовых значений (по сумме учетных) было не ниже 60,0 %. Конечная выборка составила 60 хрячков (потомки 13 отцов и 37 матерей) со средним показателем качества сбора и учета данных 91,2 % (лимиты от 63,3 до 99,5 %). База данных включала 4138 среднесуточных значений для каждого изучаемого параметра. При оценке конверсии корма для анализа динамики изменчивости комплекса показателей сформировали выборку по семи 10-суточным периодам от начала до завершения выращивания, в которую вошли 413 наблюдений.

Для оценки эффектов генетической и средовой природы было выбрано уравнение, характеризующееся наименьшим значением дисперсии неучтенных факторов (дисперсия ошибки) по модели дисперсионного анализа для фиксированных эффектов без взаимодействия факторов. Далее методом наименьших квадратов (least square means, LSM) с использованием программы STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США) рассчитывали средние значения оценок:

$$y = \mu + \text{Feeding Station}_i + \text{Batch}_k + \text{Age}_{l(1)} + \text{Sire}_j + e_{iklj}, \quad [4]$$

где y — показатели, характеризующие конверсию корма (DFI , TPD , NVD , FPV , FR , TPV , FCR , BW , ADG); μ — средняя популяционная константа; Feeding Station_i — эффект кормовой станции ($i = 1...3$); Batch_k — эффект номера партии контрольного выращивания ($k = 1...4$); Age_l — эффект начального возраста контрольного выращивания ($l = 1...18$) либо при аналогичной модели $\text{Age}_{l(1)}$ — эффект возраста животного за весь период контрольного выращивания ($l_{(1)} = 1...102$), Sire_j — генетический эффект хряка-производителя (отцов оцениваемых потомков) ($j = 1...13$), e_{iklj} — случайная ошибка (нераспределенная дисперсия).

Значения генетических и паратипических вариантов особей для получения селекционно-генетических параметров рассчитывали по аналогичной модели посредством привлечения информации по родителям хрячков для построения аддитивной матрицы родства согласно подходу ограниченного максимального правдоподобия (REML, $n = 110$ гол., включая

60 гол., имеющих показатели собственной продуктивности):

$y = \mu + \text{Test-day}_e + \text{Feeding Station}_i + \text{Batch}_k + \text{Age}_j b_1 + \text{Animal}_j + e_{ijkl}$ [5]
где Test-day_e — фиксированный эффект наблюдения в течение всего периода проведения эксперимента ($e = 1...226$); $\text{Age}_j b_1$ — начальный возраст контрольного выращивания, b_1 — коэффициент линейной регрессии, Animal_j — рандомизированный эффект животного, имеющий нормальное распределение со средней, равной 0, и дисперсией, равной $A\sigma^2$, где A — аддитивная матрица родства ($j = 1...110$), e_{ijkl} — случайная ошибка (нормально распределенная величина).

С помощью программы STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США) были проведены расчеты оценок значений по признакам методом наименьших квадратов. Достоверность влияния организованных групп факторов, включенных в модель, определяли согласно методу MANOVA. При применении описательной статистики (показатели вариации), а также декомпозиции фенотипической изменчивости использовали общепризнанные подходы (19), при анализе вариантов и расчете корреляций по модели для ряда взаимосвязанных признаков — программы семейства BLUPF90 (20).

Результаты. Средний возраст начала тестового откорма с использованием кормовых станций составил $74,2 \pm 1,0$ сут ($C_v = 10,6\%$). Хрячки хорошо адаптировались, что позволило получать высокие среднесуточные приросты живой массы (950 ± 19 г) (рис. 1). Динамика ее прироста по 10-суточным периодам была равномерной. Возраст достижения живой массы 100 кг составлял в среднем $149,9 \pm 1,0$ сут ($C_v = 5,0\%$). Фенотипическая изменчивость оставалась в биологических пределах, достигая максимума вариации во II и III декадах откорма — соответственно 15,9 и 16,1 %, а минимума — в первый (13,7 %) и последний (12,0 %) периоды.



Рис. 1. Динамика прироста живой массы у свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок по периодам выращивания на кормовых станциях (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года).

Среди показателей кормового поведения наименьшая вариабельность была зарегистрирована для времени нахождения на кормовой станции (TPD, 85,3 мин/сут, $C_v = 13,7\%$) (табл. 1). Промежуточное положение отмечали для скорости поедания корма (FR, 27,6 г/мин) — $C_v = 17,7\%$. Для средней продолжительности одного посещения (TPV, 19,6 мин) и количества потребляемого корма за одно посещение (FPV, 499,1 г) фенотипическая вариация находилась в пределах 21,6–21,8 %. Наибольшей вариабельностью ($C_v = 27,4\%$) характеризовалось число посещений кормовой станции в сутки (NVD, 5,2 ед.).

Для расчета конверсии корма (FCR) мы применили три различных подхода. Колебания живой массы свиней, обусловленные влиянием технологических, паратипических факторов, состоянием здоровья животных, могут быть значительными. При первом варианте расчета (FCR_1) как высокие среднесуточные приросты, так и снижения живой массы маскируются. Второй способ расчета (FCR_2) ориентирован на определение конверсии корма по декадным периодам, что позволяет сгладить колебания среднесуточного изменения живой массы и более надежно оценить показатель. Третий подход (FCR_3) предполагает использование в расчетах суточных

данных по потреблению корма и приросту живой массы у свиней с учетом положительных значений динамики изменчивости для конверсии корма.

Параметры конверсии корма, рассчитанные тремя способами, характеризовались разной изменчивостью (табл. 1). Так, в вариантах FCR₂ и FCR₃ величина C_v составила соответственно 23,2 и 19,2 % при средних показателях 3,08 и 2,52 кг/кг. Для FCR₁ была выявлена низкая степень вариации показателя (12,3 %) при его близком среднем значении — 2,55 кг/кг.

1. Показатели эффективности использования корма и кормового поведения в выборке свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года)

Показатель	M±SEM	σ	C _v , %
AGE ₁₀₀ , сут	149,9±1,0	7,5	5,0
ADG ₁ , г	950±19	150	15,8
ADG ₂ , г	892±21	162	18,2
ADG ₃ , г	986±24	187	19,0
DFI, г/сут.	2309,1±36,5	282,7	12,2
FCR ₁ , кг/кг	2,55±0,04	0,31	12,3
FCR ₂ , кг/кг	3,08±0,09	0,72	23,2
FCR ₃ , кг/кг	2,52±0,06	0,48	19,2
TPD, мин/сут	85,3±1,5	11,7	13,7
NVD, ед.	5,2±0,2	1,4	27,4
FPV, г	499,1±13,9	107,6	21,6
FR, г/мин	27,6±0,6	4,9	17,7
TPV, мин	19,6±0,6	4,3	21,8

Примечание. Аббревиатуры соответствуют общепринятым сокращениям для обозначения показателей (5).

2. Разложение компонентов фенотипической изменчивости (%) по комплексу признаков конверсии корма в долях генетических и средовых факторов для выборки свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года)

Показатель	Компонент изменчивости						
	отец потом-ка (sire)	кормовая станция (feeding station)	номер пар-тии (batch)	возраст поста-новки (age)	e	R ²	F
Показатели роста							
BW	8,2	0,5	3,4	13,2	18,3	81,7	3,77***
ADG ₁	7,6	4,9	0,9	15,4	15,8	84,2	4,49***
ADG ₂	9,0	4,9	0,5	13,9	25,5	74,5	2,46**
ADG ₃	6,5	3,5	0,6	8,7	23,0	77,0	2,83**
Показатели эффективности использования корма							
DFI	10,2	4,7	4,5	21,3	16,9	83,1	4,15*
FCR ₁	4,5	0,2	2,1	12,7	15,6	84,4	4,57***
FCR ₂	11,7	7,1	0,0	29,1	36,5	63,5	1,47
FCR ₃	15,4	4,8	1,6	28,9	26,7	73,3	2,32*
Показатели кормового поведения							
TPD	28,2	0,0	2,3	18,2	29,9	70,0	1,98***
NVD	30,8	4,4	0,7	6,2	26,7	73,3	2,32*
FPV	9,4	10,7	2,2	5,9	15,8	84,2	4,51***
FR	9,8	2,6	4,9	12,3	26,9	73,1	2,29*
TPV	9,4	5,6	0,2	13,8	36,8	63,2	1,45

Примечание. Аббревиатуры соответствуют общепринятым сокращениям для обозначения показателей (5); e — остаточная (нераспределенная) вариация модели, R² — коэффициент детерминации, F — критерий Фишера.

*, **, *** Доля влияния компонента изменчивости на показатель статистически значима соответственно при p < 0,05, p < 0,01 и p < 0,001.

Влияние генетического фактора отца-хряка изученного потомства для показателей конверсии корма находилось в пределах 4,5-15,4 % от общей дисперсии, учтенной моделью (табл. 2). Для показателей FCR₂ и FCR₃ отмечали наибольшую долю эффекта отца — соответственно 11,7 и 15,4 %, причем уравнение модели для FCR₃ имело достоверное распределение всех компонентов изменчивости по влиянию (F = 2,32; p < 0,05; R² = 73,3 %). При этом для FCR₂ значимой детерминации не установили (F = 1,47; R² = 63,5 %). Примечательно, что по FCR₁ были получены вы-

сокодостоверные результаты ($F = 4,57$; $p < 0,001$), которые объясняют до 84,4 % общей изменчивости по фенотипу в модели. Иными словами, линейная зависимость предсказанных (ожидаемых) результатов для конверсии корма по первому варианту расчета в сравнении с наблюдаемыми была лимитирована строго выбранными компонентами дисперсии при минимальной ошибке вариансы.

Однако паратипические факторы, такие как кормовая станция и номер партии контрольного выращивания, имели минимальное влияние (0,0-7,1 %) во всех вариантах FCR. Исключение составил возраст постановки на тестовый откорм: высокая обусловленность этого фактора, по всей видимости, связана с начальной живой массой животных в группах на станциях откорма. Для FCR₃ по сравнению с FCR₂ и FCR₁ было показано значимое влияние генотипа отца, по доле превосходящее сопоставляемые показатели соответственно на 10,9 процентного пункта (п.п.) и 3,7 п.п. Можно утверждать, что накапливаемая база данных позволит привлечь в организованную группу факторов сезонные колебания (влияние года, месяца и дня контроля показателей).

Среднесуточные приросты по ADG (1...3) и величина живой массы хрячков на откорме по силе влияния были на 6,5-9,0 % детерминированы аддитивно-генетической группой при $R^2 = 74,5-84,2$ % ($F = 2,46-4,49$; $p < 0,01...0,001$).

3. Популяционно-генетические константы для показателей эффективности использования корма и кормового поведения в выборке свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года)

Показатель	BW	DFI	FCR ₃	TPD	NVD	FPV	FR	TPV
BW	0,744 ^c	0,565	-0,067	-0,233	0,037	0,000	0,588	-0,516
DFI	0,155	0,079 ^c	0,099	0,200	0,587	0,187	0,292	-0,017
FCR ₃	-0,223	0,219	0,019 ^c	0,585	0,368	-0,274	-0,368	0,145
TPD	0,010	0,839	0,083	0,134 ^c	0,584	0,057	-0,138	0,133
NVD	0,163	0,370	0,017	0,242	0,218 ^c	-0,827	0,029	-0,629
FPV	0,012	0,037	0,086	-0,127	-0,393	0,258 ^c	0,145	0,577
FR	0,280	0,534	0,041	-0,696	-0,018	0,367	0,458 ^c	-0,226
TPV	-0,120	-0,402	0,045	0,484	-0,336	0,702	-0,678	0,368 ^c

Примечание. Аббревиатуры соответствуют общепринятым сокращениям для обозначения показателей (5); с — по диагонали расположены коэффициенты наследуемости h^2 (под диагональю — генетические корреляции, над диагональю — паратипические корреляции).

Наследуемость показателя конверсии корма (FCR₃) была низкой ($h^2 = 0,019$), что, по нашему мнению, связано с высокой долей суточной (средовой) изменчивости признака в изученной выборке (табл. 3). Были получены умеренные коэффициенты наследуемости для FR — 0,458, TPV — 0,368, FPV — 0,258, NVD — 0,218. Низкое значение отмечали для TPD — 0,134. Высокую долю генетической составляющей выявили для показателя живой массы ($h^2 = 0,744$), что в целом было характерно для признаков мясной продуктивности у специализированной породы дюрок.

Взаимосвязи между кормовым поведением, конверсией корма и живой массой колебались по направлению и были умеренными по величине. У свиней живую массу в наибольшей мере предопределяли показатели DFI ($r_g = 0,565$) и FR ($r_g = 0,588$). Обратную генетическую зависимость обнаружили для TPV ($r_g = -0,516$), то есть отбор животных с долгим пребыванием на станции в течение одного посещения не позволит проводить эффективную селекцию по живой массе. Отбор по FCR₃ будет более результативен при таких параметрах кормового поведения животных, как меньшая продолжительность пребывания на кормовой станции в сутки (TPD, $r_g = 0,585$), высокое потребление корма за посещение (FPV,

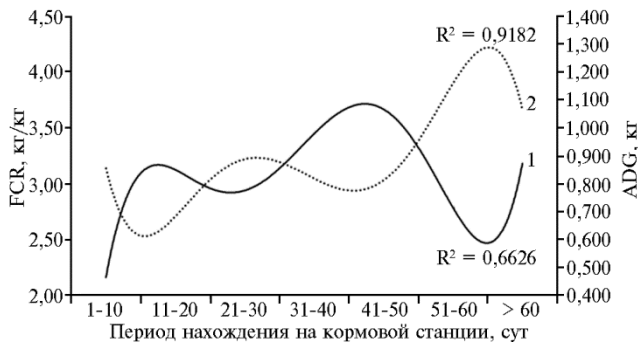


Рис. 2. Зависимость показателей конверсии корма (FCR_2 , 1) и среднесуточных приростов живой массы (ADG_2 , 2) в выборке свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок по контрольным декадам выращивания (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года).

Анализ колебаний учетных показателей по 10-суточным циклам (рис. 2) выявил поступательную динамику роста: соответственно от 851 ± 51 г для ADG_2 и $2,19 \pm 0,13$ кг/кг для FCR_2 в начале откорма (1-10-е сут) до 1072 ± 41 г и $3,31 \pm 0,18$ кг/кг в конце тестирования (> 61 сут). Тренд по показателю конверсии корма (полином 5-го порядка) имел форму синусоидальной кривой, динамика которой описывалась с точностью по периодам $R^2 = 66,3$ %. Аналогичное распределение было получено для тренда показателя ADG_2 (полином 5-го порядка), который имел обратную («зеркальную») зависимость с FCR_2 ($r_p = -0,592$). Следовательно, высокие приросты живой массы обеспечивались лучшими результатами по конверсии корма.

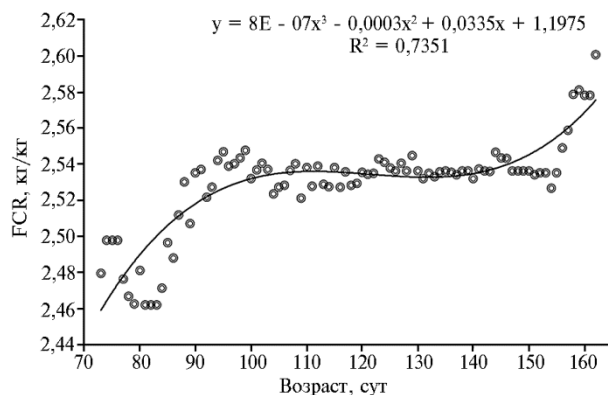


Рис. 3. Динамика показателей LSM (least square means) оценок конверсии корма (FCR_3) в зависимости от возраста тестового откорма свиней (*Sus scrofa*) породы дюрок (ООО «СГЦ», п. Верхняя Хава, Воронежская обл., июль 2017 года—март 2018 года).

Далее, в период 100-140 сут, величина конверсии стабилизировалась и формировались так называемое плато с минимальной вариацией (2,52-2,54 кг/кг). Начиная с возраста 140 сут, происходило резкое возрастание кривой тренда, что указывало на снижение эффективности откорма свиней за счет депонирования жировых отложений. Интенсивность роста и относительный прирост замедлялись, сигнализируя о завершении физиологической и биологической фазы роста животных.

Индивидуальные различия в эффективности использования корма и кормовом поведении, обусловленные генетическими факторами, позво-

$r_g = -0,274$) и высокая скорость поедания корма (FR , $r_g = -0,368$), меньшее число посещений кормовой станции в сутки (NVD , $r_g = 0,368$). В этой связи для программы разведения свиней породы дюрок наиболее предпочтительна разработка селекционного индекса, в котором учитывается комплекс двух факторов — кормового поведения и конверсии корма.

С целью сглаживания эффектов среды (кормовой станции и номера тестируемой партии хрячков) были получены оценки по методу наименьших квадратов (LSM). Результаты (рис. 3) описаны полиномом 3-го порядка (в соответствии с уравнением модели точность прогноза $R^2 = 73,5$ %). С даты постановки на откорм и до 100 сут наблюдалось плавное повышение конверсии корма за счет высокой интенсивности роста и раз-

ляют выявить ценные молекулярные биомаркеры для прогнозирования указанных признаков, а также их применения в селекции свиней (8, 9, 21). Кроме того, наблюдения за кормовым поведением могут использоваться в качестве инструмента в автоматизированных системах мониторинга для оценки состояния здоровья животных и лучшего выявления заболеваний, с целью контроля менеджмента (8, 22, 23). Полученные нами данные найдут применение при разработке программ геномной селекции, с развитием которых в настоящее время связывают генетический прогресс в племенном животноводстве (24, 25).

Таким образом, при откорме свиней на автоматических станциях влияние генетических факторов обуславливало 15,4 % общей изменчивости по показателю конверсии корма FCR_3 , при этом для параметров кормового поведения аддитивная вариация составляла 28,2 % (общее время нахождения на кормовой станции в сутки, TPD) и 30,8 % (число посещений кормовой станции в сутки, NVD). Анализ генетических корреляций между признаками показывает перспективность использования параметров кормового поведения для повышения надежности оценки конверсии корма. Динамика конверсии корма в связи с возрастом животных имеет тенденцию к увеличению, несмотря на степень колебания среднесуточных приростов по периодам откорма. Использование суточной вариации конверсии корма (FCR_3) наравне с традиционной оценкой показателя (FCR_1) позволит эффективнее отбирать терминальных хрячков за счет привлечения таких селекционных параметров, как кормовое поведение.

*ФГБНУ Федеральный научный центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: belousa663@gmail.com, alex_sermyagin85@mail.ru,
kostolan@yandex.ru, terramio7@mail.ru, n_zinovieva@mail.ru* ✉

*Поступила в редакцию
28 апреля 2018 года*

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 4, pp. 712-722

STUDY OF GENETIC AND ENVIRONMENTAL FACTORS, CHARACTERIZING THE FEED EFFICIENCY IN DUROC PIGS

A.A. Belous, A.A. Sermyagin, O.V. Kostyunina, E.A. Trebunskikh, N.A. Zinovieva

Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Federal Agency of Scientific Organizations, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail belousa663@gmail.com, alex_sermyagin85@mail.ru, kostolan@yandex.ru, terramio7@mail.ru, n_zinovieva@mail.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Belous A.A. orcid.org/0000-0001-7533-4281

Sermyagin A.A. orcid.org/0000-0002-1799-6014

Kostyunina O.V. orcid.org/0000-0001-8206-3221

Trebunskikh E.A. orcid.org/0000-0002-5208-3376

Zinovieva N.A. orcid.org/0000-0003-4017-6863

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

The equipment of the Sharing Center for Farm Animal Bioresources and Bioengineering (FSC for Animal Husbandry) was used.

Supported financially by Ministry of Education and Science of the Russian Federation (the project unique identifier RFMEFI60417X0182)

Received April 28, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.4.712eng

Abstract

Feed efficiency is the most important economically relevant factor in swine breeding. The values of daily feed intake (DFI) and feed conversion rate (the ratio of feed intake to the body weight gain for a certain period, FCR). A group of factors that can affect the feed efficiency is the feeding behavior. In this regard, it is relevant to study the genetic and environmental variability of a number of factors that affect the growth, feed efficiency, and ethological features of feed intake in Duroc pigs based on the automatic feeding station data records. The aim of our study was to select at test population the factors which can be associated with feed efficiency, including following traits: body weight (BW, kg), average daily gain (ADG, g), daily feed intake (DFI, g/day), time spent at the feeding station (TPD, min), the number of visits to the feeding station per day (NVD, times),

feed intake per visit (FPV, g), feed rate (FR, g/min), and the time at the feeding station per visit (TPV, min). Three different approaches were applied to calculate the feed conversion rate: (1) the ratio of feed intake to the body weight gain for the whole feeding period (FCR₁); (2) the ratio of feed intake to the body weight for 10-day feeding periods (FCR₂); (3) the calculation based on daily data records taking into account the daily fluctuations of BW and DFI (FCR₃). The values of average daily gain (ADG₁, ADG₂, ADG₃) were calculated according to FCR₁, FCR₂, and FCR₃, respectively. The initial dataset of individual records included 99867 observations of each trait for 71 boars. After the evaluation of data for normal distribution and presence of at least 60 % of records, 60 boars were selected for the further analysis. The final dataset included 4138 daily values for every boar. The decomposition of phenotypic variability was performed using the analysis of variance without interaction. The analysis of variance parameters of genetic and environmental types and the evaluation of relationships between variables were based on REML method with a multi-variable model. Boars accessed the feeding station at the age of 74.2±1.0 days ($C_v = 10.6\%$), the age at the body weight of 100 kg was 149.9±1.0 days ($C_v = 5.0\%$). Average values of FCR differed depending on the calculation approach and ranged from 2.52 kg/kg to 3.08 kg/kg. The higher variability was observed for FCR₂ and FCR₃ – 23.2 % and 19.2%, respectively. The variability of feeding behavior (TPD, NVD, FPV, FR, and TPV) was 13.7 %, 27.4 %, 21.6 %, 17.7 %, and 21.8 %, respectively. The genetic ratio of parent boar was maximal for the following factors: FCR₂ (11.7 %), FCR₃ (15.4 %), TPD (28.2 %), and NVD (30.8 %). The heritability coefficient of FCR₃ was low (0.019), while the related variables of feeding behavior and body weight revealed more reliable results: $h^2 = 0.134-0.368$ and $h^2 = 0.744$. The higher level of genetic correlations were observed between FCR₃ and TPD (0.585), FR (-0.368), FPV (-0.274), and NVD (0.368). ADG₂ and FCR₂ were characterized by negative correlation. Our results can be used in the developing the breeding programs based on genetic and genomic evaluation of pigs for a number of traits.

Keywords: pig, Duroc breed, feed conversion, feeding behavior, body weight, average daily gain, heritability, variability.

REFERENCES

1. Do D.N., Strathe A.B., Jensen J., Mark T., Kadarmideen H.N. Genetic parameters for different measures of feed efficiency and related traits in boars of three pig breeds. *J. Anim. Sci.*, 2013, 91(9): 4069-4079 (doi: 10.2527/jas.2012-6197).
2. Young R.J., Lawrence A.B. Feeding behaviour of pigs in groups monitored by a computerized feeding system. *Anim. Prod.*, 1994, 58(1): 145-152 (doi: 10.1017/S0003356100007182).
3. Maselyne J., Saeys W., Van Nuffel A. Review: Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. *Physiol. Behav.*, 2015, 138: 37-51 (doi: 10.1016/j.physbeh.2014.09.012).
4. Hyun Y., Ellis M. Effect of group size and feeder type on growth performance and feeding patterns in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2002, 80(3): 568-574 (doi: 10.2527/2002.803568x).
5. Baumung R., Gerhard G., William A., Söelkner J. Feed intake behaviour of different pig breeds during performance testing on station. *Arch. Tierz., Dummerstorf.*, 2006, 49(1): 77-88.
6. Lewis C.R.G., McGlone J.J. Modelling feeding behaviour, rate of feed passage and daily feeding cycles, as possible causes of fatigued pigs. *Animal*, 2008, 2(4): 600-605 (doi: 10.1017/S1751731108001766).
7. Rohrer G.A., Brown-Brandt T., Rempel L.A., Schneider J.F., Holl J. Genetic analysis of behavior traits in swine production. *Livest. Sci.*, 2013, 157(1): 28-37 (doi: 10.1016/j.livsci.2013.07.002).
8. Brown-Brandt T., Rohrer G., Eigenberg R. Analysis of feeding behavior of group housed growing—finishing pigs. *Comput. Electron. Agr.*, 2013, 96: 246-252 (doi: 10.1016/j.compag.2013.06.002).
9. Reyer H., Shirali M., Ponsuksili S., Murani E., Varley P.F., Jensen J., Wimmers K. Exploring the genetics of feed efficiency and feeding behaviour traits in a pig line highly selected for performance characteristics. *Mol. Genet. Genomics*, 2017, 292(5): 1001-1011 (doi: 10.1007/s00438-017-1325-1).
10. Herd R., Arthur P. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 2009, 87(Suppl. 14): E64-E71 (doi: 10.2527/jas.2008-1345).
11. Hall A.D., Hill W.G., Bampton P.R., Webb A.J. Genetic and phenotypic parameter estimates for feeding pattern and performance test traits in pigs. *Anim. Sci.*, 1999, 68: 43-48.
12. Chen C., Misztal I., Tsuruta S., Herring W., Holl J., Culbertson M. Influence of heritable social status on daily gain and feeding pattern in pigs. *J. Anim. Breed. Genet.*, 2010, 127(2): 107-112 (doi: 10.1111/j.1439-0388.2009.00828.x).
13. Morgan C.A., Emmans G.C., Tolcamp B.J., Kyriazakis I. Analysis of the feeding behavior of pigs using different models. *Physiol. Behav.*, 2000, 68(3): 395-403 (doi: 10.1016/S0031-9384(99)00195-X).
14. Rauw W.M., Soler J., Tibau J., Reixach J., Gomez Raya L. Feeding time and feeding rate and its relationship with feed intake, feed efficiency, growth rate, and rate of fat deposition in growing Duroc barrows. *J. Anim. Sci.*, 2006, 84(12): 3404-3409 (doi: 10.2527/jas.2006-209).
15. Tagirov Kh. Kh., Asaev E.R. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*,

- 2007, 1: 118-120 (in Russ.).
16. Larina O.V., Aristov A.V., Kudinova N.A. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2017, 2: 26-29 (in Russ.).
 17. Gal'pern I.L., Dzholova M.N. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*, 2015, 1: 30-34 (in Russ.).
 18. Levakhin B.I., Azhmuldinov E.A., Titov M.G., Lasygina Yu.A., Ryabov N.I. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2015, 7: 145-146 (in Russ.).
 19. Kuznetsov V.M. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v zhivotnovodstve* [Fundamentals of scientific research in animal husbandry]. Kirov, 2006 (in Russ.).
 20. Misztal I., Tsuruta S., Strabel T., Auvray B., Druet T., Lee D.H. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proc. 7th World Congress on genetics applied to livestock production*. Montpellier, Communication No. 28-27, 2002, 28: 21-22.
 21. Ding R., Yang M., Wang X., Quan J., Zhuang Z., Zhou S., Li S., Xu Z., Zheng E., Cai G., Liu D., Huang W., Yang J., Wu Z. Genetic architecture of feeding behavior and feed efficiency in a Duroc pig population. *Frontiers in Genetics*, 2018, 9: 220 (doi: 10.3389/fgene.2018.00220).
 22. Weary D., Huzzey J., Von Keyserlingk M. Board-invited review: using behavior to predict and identify ill health in animals. *J. Anim. Sci.*, 2009, 87(2): 770-777 (doi: 10.2527/jas.2008-1297).
 23. Cross A.J., Keel B.N., Brown-Brandl T.M., Cassady J.P., Rohrer G.A. Genome-wide association of changes in swine feeding behaviour due to heat stress. *Genet. Sel. Evol.*, 2018, 50: 11 (doi: 10.1186/s12711-018-0382-1).
 24. Sermyagin A.A., Gladyr' E.A., Kharitonov S.N., Ermilov A.N., Strekozov N.I., Brem G., Zinov'eva N.A. Genome-wide association study for milk production and reproduction traits in Russian Holstein cattle population. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya]*, 2016, 51(2): 182-193 (doi: 10.15389/agrobiology.2016.2.182eng).
 25. Zinov'eva N.A., Sermyagin A.A., Kostyunina O.V. *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2018, tematicheskii vypusk «Svinovodstvo»: 53-55 (in Russ.).

Научные собрания

ALLEN D. LEMAN SWINE CONFERENCE

(September 15-18, 2018, Saint Paul River Centre, Saint Paul, Minnesota, USA)

The Allen D. Leman Swine Conference is an annual educational event for the global swine industry. It is internationally acclaimed for bringing science-driven solutions to the complex challenges facing the industry. Each year hundreds of participants from over 20 countries attend the Leman Swine Conference held in Saint Paul, Minnesota.

Information: <https://ccaps.umn.edu/allen-d-leman-swine-conference> (сайт конференции), <https://www.aasv.org/meetings/>

2018 ISU James D. McKean SWINE DISEASE CONFERENCE

(November 1-2, 2018, Scheman Building, Iowa State University, Ames, Iowa, USA)

The program is designed to answer daily concerns of swine practitioners. This year's conference will cover issues relating to improvements in the ISU VDL's case submission and reporting technology upgrades as well as updates on VFD implementation, non-antibiotic alternatives as well as a panel of veterinarians discussing experiences with antibiotic free production (ABF). There will also be practitioner experiences with influenza, positive pressure filtration of breeding herds, *Mycoplasma hyopneumoniae* planned exposures and persistent shedding as well as PRRS research updates.

Information: <http://register.extension.iastate.edu/swinedisease> (сайт конференции), <https://www.aasv.org/meetings/>

2018 NORTH AMERICAN PRRS SYMPOSIUM

(December 1-2, 2018, Chicago, USA)

The NA PRRS Symposium is an annual conference for scientists, diagnosticians, practitioners, companies, and producers who are interested in porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV), the most costly viral disease to ever face a global swine industry. The meeting is further expanded to include emerging and foreign animal diseases such as novel nidoviruses, senecavirus A (SVA), porcine epidemic diarrhea virus (PEDV), porcine circoviruses, African swine fever virus (ASFV), classical swine fever virus (CSFV), and other high-consequence diseases of swine. Topics for discussion include disease control, vaccines, pathogenesis, diagnostics, epidemiology, and host genetics.

Information: <http://www.vet.k-state.edu/na-prrs/> (сайт конференции), <https://www.aasv.org/meetings/>