

УДК: 636.2.082.12:575.113.2:636.234.1
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.3.365

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОБСТВЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ БЫКОВ- ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ХОЛМОГОРСКОЙ ПОРОДЫ

Недашковский И.С.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом национального каталога Национального центра генетических ресурсов с.-х. животных (ORCID 0000-0003-0487-4576); **Конгэ А.Ф.** – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных (ORCID 0000-0003-4877-0883); **Рудиянов Д.М.** – вед. технолог группы развития криобанка, (ORCID 0000-0003-1734-9834); **Абдельманова А.С.** – д-р биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных, (ORCID: 0000-0003-4752-0727); **Волкова Н.А.** – д-р биол. наук, зав. лабораторией клеточной инженерии (ORCID: 0000-0001-7191-3550); **Сермягин А.А.¹** – канд. с.-х. наук, директор ВНИИГРЖ (ORCID: 0000-0002-1799-6014); **Гусев И.В.** – канд. биол. наук, директор Национального центра генетических ресурсов с.-х. животных (ORCID: 0000-0002-2346-4313); **Зиновьева Н.А.** – д-р биол. наук, проф., академик РАН, директор (ORCID: 0000-0003-4017-6863).

ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста
¹ФГБНУ ВНИИГРЖ

*nedashkovsky_is@mail.ru

Ключевые слова: холмогорский скот, спермопродукция, наследуемость, генетические корреляции, модели линейного уравнения

Keywords: kholmogory cattle, sperm production, heritability, genetic correlations, linear equation models

Финансирование: Исследования выполнены в рамках Национального центра генетических ресурсов сельскохозяйственных животных, созданного на базе ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в соответствии с Указом президента РФ № 195 от 19 марта 2024 г.

Поступила: 25.08.2024

Принята к публикации: 20.09.2024

Опубликована онлайн: 01.10.2024



РЕФЕРАТ

Впервые в России будет произведен математический анализ спермопродукции холмогорских быков-производителей на основе модели линейного уравнения. Целью исследований – являлось оценка параметров изменчивости собственной продуктивности быков-производителей холмогорской породы на основе модели линейного уравнения. Объектом исследования служили быки-производители холмогорской породы ($n = 72$) рожденные и используемые преимущественно в республике Коми. Основные аспекты спермопродуктивности, которые были предметом исследования, включают следующие параметры: «доля живых спермиев», «концентрация спермиев», «доля спермиев с ППД, (%)», «число спермиев с ППД в дозе», «число спермиев с интактной акросомой», «число спермиев с аномальной морфологией», «выживаемость спермиев при 38°C, ч». Для анализа собранных данных

был использован подход, основанный на применении модели смешанного уравнения с применением программы ограниченного максимального правдоподобия REMLF90. Наибольшими значениями коэффициента генетических корреляций обладают такие показатели спермопродукции, как «концентрация спермиев, млн/мл» — она достоверно положительно связана с «числом спермиев с ППД в дозе, млн.» и «числом спермиев с интактной акросомой, %». В этом случае корреляции находились на уровне $r=0,6-0,8$. «Число спермиев с аномальной морфологией, %» положительно коррелирует с «долей живых спермиев, %» и с показателем «выживаемость спермиев при 38°C». Отрицательно же сильных достоверных связей не было установлено ни по значениям генетических, ни по паратипическим корреляциям. Низкая наследуемость показателей спермопродуктивности (0,039...0,112) указывает на то, что на данные показатели влияние генетики мало. Среди данных показателей наивысшим значением коэффициента наследуемости обладал показатель «выживаемость спермиев при 38°C» (0,322). В свете анализа спермопродуктивности как комплекса показателей, можно утверждать, что данная система демонстрирует значительную стабильность и вариативность, что подчеркивает важность учета различных аспектов при оценке спермопродуктивности.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Показатели спермопродуктивности всецело и многими десятилетиями изучаются как отечественными, так и зарубежными учеными. Современные глубинные методы математического анализа такие как линейные модели ограниченного максимального правдоподобия могут использоваться для этих целей. Применение подобных моделей дает возможность понимания изменчивости показателей качества семени и открывает новые возможности к ведению селекционной работы, соответствующей уровню сегодняшнего дня — уровню эры геномной селекции 21 века.

Исследование, проведенное нашими иностранными коллегами на крупном рогатом скоте молочных пород, выявило важные связи между качественными характеристиками спермы и ее репродуктивной эффективностью. Корреляция между подвижностью сперматозоидов и способностью оплодотворять яйцеклетку достигла значительного уровня ($r = 0,672$, $p < 0,05$). Это указывает на важную роль подвижности спермы в процессе оплодотворения. Отмечена сильная связь между числом сперматозоидов с полноценной активностью после оттаивания и их способностью оплодотворять яйцеклетку ($r = 0,636$, $p < 0,05$). Выявлена значительная корреляция между общим количеством жизнеспособных сперматозоидов и их способностью к оплодотворению ($r =$

0,635, $p < 0,05$) [1, 2].

Исследования показывают, что некоторые характеристики спермы крупного рогатого скота, связанные с аномальными формами сперматозоидов, имеют генетическую основу. Это особенно важно для понимания механизмов бесплодия у быков. Наследуемость (h^2) спермиев с поврежденной акросомой, которая влияет на фертильность спермы и может приводить к бесплодию, составляет около 0,35. Это указывает на значительный генетический компонент этой аномалии. Спермиев с включениями цитоплазматической капли, также влияющих на фертильность, наследуется с коэффициентом около 0,19. Хотя этот показатель ниже, чем для акросомальной аномалии, он все еще демонстрирует значительную генетическую связь [3, 4].

Исследование, проведенное Пыжовой Е. на большом числе быков-производителей 11 пород, раскрыло важные закономерности в генетической основе репродуктивной производительности крупного рогатого скота. Генетические факторы играют значительную роль в репродуктивной производительности. Оплодотворяющая способность спермы на 27% обусловлена генетическими факторами. При этом фертильность семени была наивысшей у быков черно-пестрой породы — 76,9%. В голштинской породе лучшими оказались быки немецкой селекции — 62,0%. Наследуемость объема

эякулята и количества сперматозоидов в нем очень высока - 0,970 и 0,632 соответственно. Это говорит о значительном генетическом влиянии на эти параметры. Наследуемость оплодотворяющей способности сперматозоидов и их концентрации в 1 мл оказалась умеренной - 0,20...0,18. Это указывает на сложность генетических механизмов, контролирующих эти параметры. Объем эякулята, количество сперматозоидов в нем, и их концентрация в 1 мл зависят от наследственных факторов на 46,02%, 43,31% и 56,38% соответственно. Это подтверждает важность генетических факторов в формировании этих характеристик спермы [5].

В стадах голштинизированного чёрно-пёстрого и голштинского скота в Московской области были проведены исследования наследуемости некоторых характеристик семени. Оплодотворяющая способность, объём и средний объём эякулята, концентрация и число сперматозоидов имеют умеренные коэффициенты наследуемости — 0,142, 0,332, 0,366, 0,202 и 0,169 соответственно. Это указывает на то, что на данные показатели значительное влияние оказывают факторы окружающей среды. Однако также было установлено достоверное влияние производителя на оплодотворяющую способность спермы [6].

В ходе исследования Murphy E. M и соавторов на голштинской породе были получены данные о взаимосвязи возраста быков-производителей с некоторыми характеристиками их семени. Объём эякулята у быков голштинской породы положительно коррелировал с возрастом быка ($r=0,62$, $P<0,01$) и увеличивался на 1/2 мл в год. Также была отмечена линейная взаимосвязь объёма эякулята и общего количества сперматозоидов в нём ($r=0,71$; $P<0,01$). Наибольшая концентрация сперматозоидов наблюдалась у молодых быков в возрасте от одного до двух лет ($P<0,05$). С увеличением возраста концентрация сперматозоидов снижалась [7, с. 2411].

В ходе исследования, проведённого Т.

Druet и соавторами на голштинской породе крупного рогатого скота, были получены данные о наследуемости некоторых характеристик семени. Объём эякулята, концентрация сперматозоидов в 1 мл и их общее количество характеризовались умеренной наследуемостью в диапазоне от 0,09 до 0,22. Показатели, связанные с аномалиями головки и хвоста сперматозоидов, имели наследуемость от 0,19 до 0,35. Остальные качественные показатели имели наследуемость в пределах от 0,13 (доля сперматозоидов с высокой активностью) до 0,59 (доля сперматозоидов с прямолинейным движением и живых сперматозоидов после осмотического стресса). Показатели подвижности сперматозоидов $h^2=0,27$, доля живых сперматозоидов после оттаивания и средняя скорость движения также отличались умеренной наследуемостью — 0,21 и 0,27 соответственно [8].

Исследование, проведенное ирландскими учеными с использованием математического анализа, предоставило важные данные о наследуемости репродуктивных функций у быков-производителей различных популяций молочного и мясного скота. Наследуемость объемом эякулята была умеренной - 0,197. Концентрация спермы также показала умеренную наследуемость - 0,169. Количество сперматозоидов в эякуляте демонстрировало более высокую степень наследуемости - 0,222. Однако, наиболее интересным результатом стало обнаружение низкой наследуемости подвижности сперматозоидов - всего 0,054 [9].

Т. Suchocki и соавторы отмечают, что сравнительно высокой наследуемостью характеризовались показатели концентрации сперматозоидов в 1 мл ($0,34\pm0,068$), подвижности ($0,31\pm0,064$), количества сперматозоидов в эякуляте ($0,27\pm0,060$) и объём эякулята ($0,26\pm0,062$) [10].

В ходе исследования, проведённого Сермягиным А. А. и соавторами, были проанализированы количественные показатели спермопродукции 282 быков-производителей голштинской породы российской популяции. Результаты иссле-

дования показали, что наследуемость объёма эякулята составляет 0,322, концентрации сперматозоидов — 0,202, количества сперматозоидов в эякуляте — 0,169. Это позволяет сделать вывод о том, что данные признаки могут быть улучшены путём селекции [11].

С. Liu и его коллеги провели комплексное исследование репродуктивных показателей у 730 быков-производителей голштинской породы китайской популяции. Установлено, что наследуемость объёма эякулята составила 0,15, что указывает на умеренно низкую генетическую зависимость этого параметра. Концентрация сперматозоидов в эякуляте показала более высокую степень наследуемости - 0,22. Количество сперматозоидов в эякуляте демонстрировало умеренную наследуемость - 0,16 [12].

Д. Р. Berry и соавторы провели оценку генетических параметров ряда показателей качества спермы у 787 быков 16 пород. В результате показатели наследуемости варьировали от 0,13 до 0,34. Эти данные свидетельствуют о том, что генетические факторы играют значительную роль в формировании качественных характеристик спермы у крупного рогатого скота [13].

В целом, анализ различных источников показывает, что повторяемость показателей объёма эякулята составляет от 0,29 до 0,65, количества сперматозоидов в эякуляте — от 0,24 до 0,62, а их концентрации в 1 мл — от 0,32 до 0,57. Эти результаты могут быть полезны для селекционной работы с целью улучшения репродуктивных качеств животных. [8, 14].

В работах на крупном рогатом скоте мясного направления продуктивности Угнивенко А.Н отмечает, что взаимосвязь между мясными формами у 15- месячном возрасте и показателями спермопродуктивности различна и имеет отрицательные величины (от минус 0,02 до минус 0,12) [15].

Коллеги из Норвегии, Китая, США и Канады провели исследования генетической корреляции между различными показателями качества спермы. Результаты

показали, что генетическая корреляция между концентрацией сперматозоидов в 1 мл и их подвижностью варьируется от 0,18–0,53 до 0,83. Между объёмом и количеством подвижных сперматозоидов она составляет от 0,24–0,36 до 0,57. Между объёмом эякулята и количеством сперматозоидов в эякуляте генетическая корреляция находится в пределах от 0,70 до 0,82. А между количеством подвижных сперматозоидов и оценкой подвижности — от 0,61 до 0,88. Независимо от того, измерялись ли эти признаки до или после криоконсервации, генетические корреляции между процентным содержанием живых сперматозоидов и подвижностью сперматозоидов в эякуляте варьировались от 0,68 до 0,94. В ходе исследования была выявлена тесная корреляция между процентом живых сперматозоидов до и после криоконсервации, достигающая 0,96. Также была обнаружена высокая корреляция (до 0,99) между общим количеством сперматозоидов и их количеством в эякуляте. Между количеством сперматозоидов с прямолинейно-поступательным движением и количеством живых после оттаивания была отмечена корреляция 0,89, а между долей живых после осмотического стресса — 0,86. Однако также были выявлены отрицательные корреляции: между объёмом эякулята и концентрацией сперматозоидов в 1 мл — от -0,13 ($p>0,05$) до -0,55; между количеством аномальных сперматозоидов с дефектами головки и хвоста (%) и объёмом эякулята — до -0,12, концентрацией — -0,2–0,33, общим количеством сперматозоидов — до -0,38 и подвижностью сперматозоидов — до -0,56. Последнее указывает на то, что высокая доля аномалий была связана со сперматозоидами с низкой подвижностью. Эти данные могут быть полезны для селекционной работы с целью улучшения репродуктивных качеств животных [16,17,18,19].

Исследования, проведенные Нарышкиной Е.Н. на быках-производителях голштинской породы 2002-2014 годов рождения показали, что генетические и фенотипические корреляции между объё-

мом и количеством сперматозоидов 0,68 и 0,52 определены средней взаимосвязью. Во все возрастные периоды взаимосвязь между показателями собственной продуктивности быков-производителей имела в основном линейный характер. Достоверно высокая корреляция между объемом и количеством спермиев в эякуляте была на уровне +0,59 ($P \leq 0,001$) - +0,66 ($P \leq 0,001$); между количеством и концентрацией спермиев на уровне +0,31 ($P \leq 0,001$) - +0,49 ($P \leq 0,001$) во все возрастные периоды [20].

Анализ литературных данных говорит о отсутствии результатов математического анализа спермопродукции холмогорских быков-производителей, что, несомненно, задает актуальности данному исследованию. И, исходя из вышеизложенного **целью** исследования являлось оценка параметров изменчивости собственной продуктивности быков-производителей холмогорской породы на основе модели линейного уравнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В рамках научного исследования, направленного на изучение фенотипической и генетической изменчивости параметров спермопродуктивности, была сформирована выборка из 72 быков-холмогорской породы, предназначенных для анализа в качестве производителей. Для анализа собранных данных был использован подход, основанный на применении модели смешанного уравнения с применением процедуры REMLF90. Этот метод позволил оценить не только значения вариаций и корреляций между различными показателями, но и характер генетической взаимосвязи между показателями исследуемых животных.

В процессе анализа генетической изменчивости признаков было решено использовать метод ограниченного максимального правдоподобия (REML), реализованный через программу REMLF90. Этот метод позволяет оценить генетические вариации и ковариации между различными признаками, используя статистические модели, адаптированные под

конкретные данные. Применение REM-LF90 обеспечивает точность и надежность получаемых результатов, что критически важно для глубокого понимания генетической структуры исследуемых популяций:

$$Y_{ilk} = \mu + GY_k + GB_k + L_k + W_k + Animal_i + e_{ilk}$$

где Y_{ilk} – оцениваемый показатель k -го быка, μ – популяционная константа, GY_n – «группа по году рождения», GB_n – фиксированный эффект «группа кровности», L_k – линия k -го быка, W_k – живая масса k -го быка, $Animal_i$ – рандомизированный эффект i -го производителя ($i=1 \dots 72$ головы), e_{ilk} – эффект неучтенных факторов [21].

В контексте статистического исследования, для оценки влияния конкретных факторов на наблюдаемые данные, такие как «группа по году рождения», «группа по кровности» и «линия», применялась методика дисперсионного анализа. Дисперсионный анализ позволяет выявить существенные различия между средними значениями различных групп или условий.

В рамках этого анализа, переменная x_{ik} обозначает k -ю наблюдаемую величину внутри i -й группы. Модель однофакторного дисперсионного анализа формулируется через уравнение, описывающее взаимосвязь между группами и их средними значениями. Общее уравнение модели однофакторного дисперсионного анализа имеет следующий вид:

$$x_{ik} = a + m_i + \varepsilon_{ik},$$

где a – генеральное среднее всех результатов наблюдений, то есть $M(X)$, m_i – эффект влияния на X , вызванный i -м уровнем фактора A , иначе отклонение математического ожидания a_i результативного признака при i -м уровне фактора от общего математического ожидания a , то есть $m_i = a_i - a$, ε_{ik} – случайный остаток, отражающий влияние на величину x_{ik} всех других неконтролируемых факторов.

В рамках исследовательской работы, направленной на изучение фенотипиче-

ской и генетической изменчивости ключевых показателей спермопродуктивности у быков холмогорской породы, было проведено тщательное изучение. В выборке было 72 особи, что позволило собрать достаточно данных для детального анализа.

Основные аспекты спермопродуктивности, которые были предметом исследования, включают следующие параметры: «доля живых спермиев», «концентрация спермиев», «доля спермиев с ППД, (%)», «число спермиев с ППД в дозе», «число спермиев с интактной акросомой», «число спермиев с аномальной морфологией», «выживаемость спермиев при 38° С, ч».

Для анализа генетических связей между этими показателями, а также для расчета коварианс и вариантов признаков, была использована специализированная программа ограниченного максимального правдоподобия REMLF90. Этот инструмент позволяет проводить сложные статистические моделирование, включая линейную модель смешанных эффектов, которая является предпочтительным методом для анализа генетической изменчивости. Применение таких моделей и инструментов позволяет не только выявить генетические корреляции между различными показателями спермопродуктивности, но и оценить вклад генетических факторов в изменчивость этих характеристик. Это знание критически важно для разработки стратегий селекционного воспроизводства, направленных на улучшение спермопродуктивности в сельскохозяйственной практике.

Коррелограммы построены на основе скриптов языка программирования R в R-Studio с использованием программного пакета corrplot.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе научного исследования, проведенного с использованием статистического анализа, были собраны и изучены данные о спермопродуктивности быков холмогорской породы. Эти данные представлены в таблице 1, которая включает в себя ключевые параметры, отражающие

производительность каждого животного в данном аспекте.

В результате детального анализа всех исследованных показателей спермопродуктивности у холмогорских быков было установлено, что все они соответствуют физиологически приемлемым стандартам. Особое внимание было уделено коэффициенту вариации, который позволяет оценить степень изменчивости данных. В этом контексте наиболее значительной изменчивостью характеризовались три показателя: «число спермиев с ППД в дозе», «выживаемость спермиев при 38° С», «число спермиев с аномальной морфологией».

При анализе пика распределения случайных величин и коэффициента эксцесса, которое указывает на форму распределения данных, было выяснено, что большинство наблюдений отличаются незначительными отклонениями от нормального распределения. Это свидетельствует о стабильности и предсказуемости спермопродуктивных показателей у исследуемых быков.

Для уравнивания смешанной модели в качестве фиксированных эффектов были выбраны «группа по году рождения», «группа по кровности» и «линия» и посредством дисперсионного анализа определяли степень и характер влияния их на исследуемые показатели. Обычно в исследованиях по ряду видов сельскохозяйственных животных при использовании линейных уравнений и зачастую BLUP как фиксированный фактор применяют HYS касательно маток крупного рогатого скота. В нашем же случае мы каждый эффект использовали в модели обособленно. Живая масса использовалась как регрессионный фактор.

Дисперсионный анализ помогает еще и определить коэффициент детерминации или силу влияния фактора как элемента воздействия.

Исследование, проведенное с использованием критерия Фишера (F), подтвердило наличие значимых взаимосвязей между тремя ключевыми группами: «годом рождения животных», их

«кровностью» и «линейной принадлежностью», а также рядом характеристик спермопродуктивности. Дисперсионный анализ, примененный в рамках этого исследования, позволил установить, что эти группы оказывают заметное влияние на различные аспекты спермопродуктивности.

Кроме того, высокий коэффициент детерминации (R^2) указывает на то, что выбранные факторы объясняют большую часть вариации в данных о спермопродуктивности. Это подчеркивает важность учета этих групп при планировании про-

грамм селекции и управления популяцией животных, направленной на улучшение качества и количества производимой спермы. На основе проведенных расчетов с использованием линейного уравнения смешанной модели при применении подпрограммы REMLF90 BLUPF90 получены генетические и фенотипические варианты и корреляции, отражающие изменчивость изучаемых показателей.

Показатели спермопродуктивности обладают своими закономерностями генетических и фенотипических корреляций (рисунок 1 и 2).

Таблица 1 – Показатели спермопродуктивности холмогорских быков

Показатели	n	M	$\pm m$	σ	Cv	kurtosis	min	max
Доля живых спермиев, %	72	32.8	1.9	16.0	48.8	-0.52	4.7	66.2
Концентрация спермиев, млн/мл	72	160.0	8.3	70.6	44.2	0.89	26.8	406.7
Доля спермиев с ППД, %	72	27.2	1.6	13.6	50.2	-0.57	3.1	58.1
Число спермиев с ППД в дозе, млн.	72	44.2	3.8	32.6	73.9	0.69	3.5	140.5
Число спермиев с интактной акросомой, %	72	56.4	1.6	13.4	23.8	-0.72	23.1	82.8
Число спермиев с аном. морфологией, %	72	9.0	0.5	4.5	50.7	0.84	1.6	22.7
Выживаемость спермиев при 38°C, ч среднее	72	2.6	0.2	1.4	54.2	-0.55	0.0	5.0

Примечание: X – среднее значение, $\pm x$ – ошибка среднего значения, σ – стандартное отклонение, Cv – коэффициент вариации, Kurtosis – коэффициент эксцесса, Min – минимальное значение, Max – максимальное значение.

Наибольшими значениями коэффициента генетических корреляций обладают такие показатели спермопродукции, как «концентрация спермиев, млн/мл» – она достоверно положительно связана с «числом спермиев с ППД в дозе, млн.» и «числом спермиев с интактной акросомой, %». В этом случае корреляции находились на уровне $r=0,6-0,8$. «Число спермиев с аномальной морфологией, %» положительно коррелирует с «долей живых спермиев, %» и с показателем «выживаемость спермиев при 38°C».

Отрицательно же сильных достоверных связей не было установлено ни по значениям генетических, ни по паратипическим корреляциям.

Относительно же фенотипической связи картина хоть несколько иная, но от генотипических корреляций они значительно не отличаются. Подтверждены все те же закономерности.

Если же обратить внимание на генетическое разнообразие показателей спермопродуктивности по исследованному поголовью, то оно в разы ниже изменчивости фенотипа (таблица 2 и 3). Фенотипическая изменчивость оказалась выше и по ко-вариансам и вариансам.

Низкая наследуемость показателей спермопродуктивности (0,039...0,112) указывает на то, что на данные показатели влияние генетики мало (таблица 4).

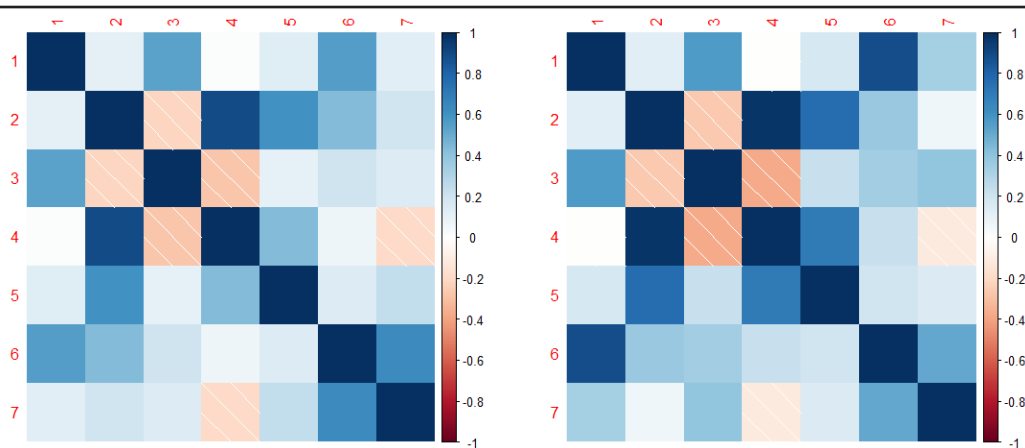


Рисунок 1 – Тепловая карта генетических связей между показателями спермопродукции холмогорских быков.

Рисунок 2 - Тепловая карта паратипических связей между показателями спермопродукции холмогорских быков.

Примечание: 1 – доля живых спермиев; 2 – концентрация спермиев; 3 – доля спермиев с ППД, (%); 4 – число спермиев с ППД в дозе; 5 – число спермиев с интактной акросомой; 6 – число спермиев с аномальной морфологией; 7 – выживаемость спермиев при 38°C, ч.

Таблица 2 – Генетическая изменчивость показателей спермопродуктивности

	1	2	3	4	5	6	7
1	570,200	3,898	68,680	0,347	5,610	18,240	0,927
2	3,898	1,898	-1,553	1,676	1,450	0,822	0,082
3	68,680	-1,553	28,490	-1,998	1,017	1,510	0,230
4	0,347	1,676	-1,998	1,838	1,017	0,149	-0,083
5	5,610	1,450	1,017	1,017	3,013	0,343	0,131
6	18,240	0,822	1,510	0,149	0,343	1,898	0,268
7	0,927	0,082	0,230	-0,083	0,131	0,268	0,093

Таблица 3 – Паратипическая изменчивость показателей спермопродуктивности

	1	2	3	4	5	6	7
1	57580,00	299,90	7323,00	-11,29	523,00	1723,00	82,98
2	299,90	96,75	-139,10	87,63	95,40	30,09	0,71
3	7323,00	-139,10	2917,00	-185,30	154,50	150,10	21,90
4	-11,29	87,63	-185,30	82,92	81,85	16,75	-1,07
5	523,00	95,40	154,50	81,85	161,60	20,39	1,99
6	1723,00	30,09	150,10	16,75	20,39	66,04	4,33
7	82,98	0,71	21,90	-1,07	1,99	4,33	1,06

Примечание для таблиц 2 и 3: Диагональные элементы – варианты; вне диагональные – ко-вариансы; 1 – доля живых спермиев; 2 – концентрация спермиев; 3 – доля спермиев с ППД, (%); 4 – число спермиев с ППД в дозе; 5 – число спермиев с интактной акросомой; 6 – число спермиев с аномальной морфологией; 7 – выживаемость спермиев при 38°C, ч.

Таблица 4 – Коэффициент наследуемости показателей спермопродуктивности (h^2)

Показатели	h^2
Доля живых спермиев	0,039
Концентрация спермиев	0,077
Доля спермиев с ППД, (в %)	0,039
Число спермиев с ППД в дозе	0,087
Число спермиев с интактной акросомой	0,073
Число спермиев с аномальной морфологией	0,112
Выживаемость спермиев при 38°C	0,322

Среди данных показателей наивысшим значением коэффициента наследуемости обладал показатель «выживаемость спермиев при 38°C» (0,322).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В свете анализа спермопродуктивности как комплекса показателей, можно утверждать, что эта система демонстрирует значительную стабильность и вариативность. Это подчеркивает важность учета различных аспектов при оценке спермопродуктивности. Использование уравнения смешанной модели предоставляет дополнительные инструменты для понимания природы этой изменчивости. Однако, для достижения более всестороннего понимания генетических факторов, влияющих на спермопродуктивность, необходимо расширить выборку исследуемых животных. Это позволит получить более точное представление о генетической основе изменчивости спермопродуктивности и способствовать дальнейшим исследованиям в этой области.

EVALUATION OF THE PARAMETERS OF VARIABILITY OF THE PRODUCTIVITY OF Kholmogory BREED BULLS

Nedashkovsky I.S. – candidate of biological sciences, senior researcher, head of Department of the National Catalog, (ORCID: 0000-0003-0487-4576); **Conte A.F.** – candidate of agricultural sciences, senior researcher of population genetics and animal breeding department, (ORCID: 0000-0003-4877-0883); **Rudianov D.M.** – leading technologist of the cryobank development group, (ORCID: 0000-0003-1734-9834); **Abdelmanova A.S.** – doctor of biological

sciences, senior researcher of laboratory of functional and evolutionary genomics of animals, (ORCID: 0000-0003-4752-0727); **Volkova N.A.** – doctor of biological sciences, chief researcher, head of cell engineering laboratory, (ORCID: 0000-0001-7191-3550); **Sermyagin A.A.**¹ – candidate of agricultural sciences, director, (ORCID: 0000-0002-1799-6014); **Gusev I.V.** – candidate of biological sciences, director of National center for genetic resources of agricultural animals, (ORCID: 0000-0002-2346-4313); **Zinovieva N.A.** – doctor of biological sciences, professor, member of RAS, director (ORCID: 0000-0003-4017-6863).

L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

¹All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals

*nedashkovsky_is@mail.ru

Financing: The research was carried out within the framework of the National Center for Genetic Resources of Agricultural Animals, created on the basis of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry in accordance with the Decree of the President of the Russian Federation No. 195 of March 19, 2024.

ABSTRACT

For the first time in Russia a mathematical analysis of sperm production of Kholmogory stud bulls will be performed based on a linear equation model. The aim of the research was to evaluate the parameters of variability of the productivity of Kholmogory stud bulls based on a linear equation model. The object of the study was Kholmogory

gory stud bulls (n = 72) born and used mainly in the Komi Republic. The main aspects of sperm productivity that were the subject of the study include the following parameters: "proportion of live sperm", "sperm concentration", "proportion of sperm with PPD, (%)", "number of sperm with PPD in a dose", "number of sperm with intact acrosome", "number of sperm with abnormal morphology", "sperm survival at 38°C, h". The collected data were analyzed using a mixed equation model approach with the REMLF90 restricted maximum likelihood program. The highest values of the genetic correlation coefficient were found for such sperm production parameters as "sperm concentration, million/ml" - it was reliably positively associated with "the number of sperm with PPD in a dose, million" and "the number of sperm with an intact acrosome, %". In this case, the correlations were at the level of $r=0.6-0.8$. "The number of sperm with abnormal morphology, %" positively correlated with "the proportion of live sperm, %" and with the "sperm survival at 38°C" parameter. Negatively strong reliable relationships were not established either for the values of genetic or paratypic correlations. Low heritability of sperm productivity parameters (0.039...0.112) indicates that the influence of genetics on these parameters is small. Among these parameters, the highest heritability coefficient was demonstrated by the parameter "sperm survival at 38°C" (0.322). In light of the analysis of sperm productivity as a complex of parameters, it can be stated that this system demonstrates significant stability and variability, which emphasizes the importance of taking into account various aspects when assessing sperm productivity.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Gillan L., Kroetsch T., Maxwell W.M. Ch., Evans G. Assessment of in vitro sperm characteristics in relation to fertility in dairy bulls // *Animal Reproduction Science*. — 2008. — Vol. 103. — Is. 3—4. — P. 201—214
- Singh R.K., Kumaresan A., Chhillar Sh., Rajak Sh.K., Tripathi U.K., Nayak S., Datta T.K., Mohanty T.K., Malhotra R. Identification of suitable combinations of in vitro sperm-function test for the prediction of fertility in buffalo bull // *Theriogenology*. — 2016 Dec; 86(9):2263—2271. e1.
- Chenoweth P. J. Genetic sperm defects // *Theriogenology*. — 2005. — Vol. 64. — Is. 3. — P. 457—468.
- Druet T., Fritz S., Sellem S., Basso B., Ge O., Salas-Cortes L., Humblot P., Druart X., Eggen A. Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls // *J. Anim. Breed. Genet.*, 126. — 2009. — P. 269—277.
- Пыжова Е., Иванов Ю., Ескин Г. Влияние комплекса признаков на качество спермы быков-производителей // *Молочное и мясное скотоводство*. 2011. № 1. С. 22—23.
- Нарышкина Е.Н., Сермягин А.А., Янчуков И.Н., Стрекозов Н.И., Зиновьева Н.А. Влияние генетических и паратипических факторов на качественные и количественные показатели спермы быков-производителей // *Молочное и мясное скотоводство*. 2017. № 4. С. 15-19.
- Murphy E. M., Kelly A. K., O'Meara C., Eivers B., Lonergan P., Fair S. Influence of bull age, ejaculate number, and season of collection on semen production and sperm motility parameters in Holstein Friesian bulls in a commercial artificial insemination centre // *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 96. Pp. 2408–2418. DOI: 10.1093/jas/sky130.
- Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls / T. Druet, S. Fritz, E. Sellem, et al. // *J. Anim. Breed. Genet*. 2009. Vol. 126. No. 4. P. 269–277
- Berry D. P., Wall E., Pryce J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle // *New Practices International Cow Fertility Conf. Ireland, Westport*, 2014. Vol. 8. P. 105–121.
- Suchocki T., Szyda J. Genome-wide association study for semen production traits in Holstein-Friesian bulls // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. No. 8. P. 5774–5780. doi: 10.3168/jds.2014-8951.
- Overview of fertility traits in russian

- holstein bulls using genome-wide association / A. A. Sermyagin, E. N. Naryshkina, E. A. Gladyr, et al. // *Reproduction Fertility and Development*. 2017. Vol. 29. No. 1. P. 176. doi: 10.1071/RDv29n1Ab132.
12. Genetic effects of PDGFRB and MARCH1 identified in GWAS revealing strong associations with semen production traits in Chinese Holstein bulls / Sh. Liu, H. Yin, C. Li, et al. // *BMC Genetics* [Электронный ресурс]. 2017. Vol. 18. Article 63 URL: <https://bmcgenet.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12863-017-0527-1>. (дата обращения: 15.06.2020). doi: 10.1186/s12863-017-0527-1.
13. Genetics of bull semen characteristics in a multi-breed cattle population / D. P. Berry, B. Eivers, G. Dunne, et al. // *Theriogenology*. 2019. Vol. 123. No. 1. P. 202–208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.006.
14. Time trends, environmental factors and genetic basis of semen traits collected in Holstein bulls under commercial conditions / S. Karoui, C. Diaz, M. Serrano, et al. // *J. Animal Reproduction Science*. 2011. Vol. 124. Is. 1–2. P. 28–38. doi: 10.1016/j.anireprosci.2011.02.008.
15. Угнивенко А.Н. К проблеме использования оценки мясных форм при селекции мясного скота // *Вестник Брянской ГСХА*. – 2015. – № 3–1. – С. 12–14.
16. Olsen H. B., Heringstad B., Klemetsdal G. Genetic analysis of semen characteristic traits in young Norwegian Red bulls // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. P. 545–555. doi: 10.3168/jds.2019-17291.
17. Genetic effects of PDGFRB and MARCH1 identified in GWAS revealing strong associations with semen production traits in Chinese Holstein bulls / Sh. Liu, H. Yin, C. Li, et al. // *BMC Genetics* [Электронный ресурс]. 2017. Vol. 18. Article 63 URL: <https://bmcgenet.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12863-017-0527-1>. (дата обращения: 15.06.2020). doi: 10.1186/s12863-017-0527-1.
18. Genetics of bull semen characteristics in a multi-breed cattle population / D. P. Berry, B. Eivers, G. Dunne, et al. // *Theriogenology*. 2019. Vol. 123. No. 1. P. 202–208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.006.
19. Suchocki T., Szyda J. Genome-wide association study for semen production traits in Holstein-Friesian bulls // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. No. 8. P. 5774–5780. doi: 10.3168/jds.2014-8951.
20. Нарышкина Е.А., Ермилов А.Н. Селекционно-генетические параметры признаков собственной продуктивности быков-производителей в разные возрастные периоды // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 2. С. 44–49. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp44-49
21. Misztal I., Tsruta S., Strabel T. et. al. BLUPF90 and related programs (BGF90) // *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*. Montpellier, 2002. Vol. 28 (27). Pp. 21–22.

REFERENCES

1. Gillan L., Kroetsch T., Maxwell W.M. Ch., Evans G. Assessment of in vitro sperm characteristics in relation to fertility in dairy bulls // *Animal Reproduction Science*. — 2008. — Vol. 103. -Is. 3-4. — P. 201— 214
2. Singh R.K., Kumaresan A., Chhillar Sh., Rajak Sh.K., Tripathi U.K., Nayak S., Datta T.K., Mohanty T.K., Malhotra R. Identification of suitable combinations of in vitro sperm- function test for the prediction of fertility in buffalo bull // *Theriogenology*. — 2016 Dec; 86(9):2263–2271. e1.
3. Chenoweth P. J. Genetic sperm defects // *Theriogenology*. - 2005. - Vol. 64. — Is. 3. — P. 457— 468.
4. Druet T., Fritz S., Sellem S., Basso B., Ge O., Salas-Cortes L., Humblot P., Druart X., Eggen A. Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls // *J. Anim. Breed. Genet.*, 126. - 2009. - P. 269-277.
5. Pyzhova E., Ivanov Yu. , Eskin G. Influence of a complex of traits on the quality of semen of breeding bulls // *Dairy and meat cattle breeding*. 2011. No. 1. P. 22–23.
6. Naryshkina E.N., Sermyagin A.A., Yanchukov I.N., Strekozov N.I., Zinovieva N.A. Influence of genetic and paratypic factors on qualitative and quantitative indices of semen of breeding bulls // *Dairy and meat cattle breeding*. 2017. No. 4. P. 15-19.
7. Murphy E. M., Kelly A. K., O'Meara C.,

- Eivers B., Lonergan P., Fair S. Influence of bull age, ejaculate number, and season of collection on semen production and sperm motility parameters in Holstein Friesian bulls in a commercial artificial insemination centre // *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 96. pp. 2408–2418. DOI: 10.1093/jas/sky130.
8. Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls / T. Druet, S. Fritz, E. Sellem, et al. // *J. Anim. Breed. Genet.* 2009. Vol. 126.No. 4. pp. 269–277
9. Berry D. P., Wall E., Pryce J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle // *New Practices International Cow Fertility Conf. Ireland, Westport*, 2014. Vol. 8. P. 105–121.
10. Suchocki T., Szyda J. Genome-wide association study for semen production traits in Holstein-Friesian bulls // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98.No. 8. P. 5774–5780. doi: 10.3168/jds.2014-8951.
11. Overview of fertility traits in Russian Holstein bulls using genome-wide association / A. A. Sermyagin, E. N. Naryshkina, E. A. Gladyr, et al. // *Reproduction Fertility and Development*. 2017. Vol. 29.No. 1. R. 176. doi: 10.1071/RDv29n1Ab132.
12. Genetic effects of PDGFRB and MARCH1 identified in GWAS revealing strong associations with semen production traits in Chinese Holstein bulls / Sh. Liu, H. Yin, C. Li, et al. // *BMC Genetics* [Electronic resource]. 2017. Vol. 18. Article 63 URL: <https://bmcbgenet.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12863-017-0527-1>. (access date: 06/15/2020). doi:10.1186/s12863-017-0527-1.
13. Genetics of bull semen characteristics in a multi-breed cattle population / D. P. Berry, B. Eivers, G. Dunne, et al. // *Theriogenology*. 2019. Vol. 123. No. 1. P. 202–208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.006.
14. Time trends, environmental factors and genetic basis of semen traits collected in Holstein bulls under commercial conditions/ S. Karoui, C. Diaz, M. Serrano, et al. // *J. Animal Reproduction Science*. 2011. Vol. 124. Is. 1–2. P. 28–38. doi: 10.1016/j.anireprosci.2011.02.008.
15. Ugnivenko A.N. On the problem of using meat forms in beef cattle breeding // *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*. - 2015. - No. 3-1. - P. 12-14.
16. Olsen H. B., Heringstad B., Klemetsdal G. Genetic analysis of semen characteristic traits in young Norwegian Red bulls // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. P. 545–555. doi: 10.3168/jds.2019-17291.
17. Genetic effects of PDGFRB and MARCH1 identified in GWAS revealing strong associations with semen production traits in Chinese Holstein bulls / Sh. Liu, H. Yin, C. Li, et al. // *BMC Genetics* [Electronic resource]. 2017. Vol. 18. Article 63 URL: <https://bmcbgenet.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12863-017-0527-1>. (access date: 06/15/2020). doi:10.1186/s12863-017-0527-1.
18. Genetics of bull semen characteristics in a multi-breed cattle population / D. P. Berry, B. Eivers, G. Dunne, et al. // *Theriogenology*. 2019. Vol. 123. No. 1. P. 202–208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.10.006.
19. Suchocki T., Szyda J. Genome-wide association study for semen production traits in Holstein-Friesian bulls // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. No. 8. P. 5774–5780. doi: 10.3168/jds.2014-8951.
20. Naryshkina E.A., Ermilov A.N. Selection and genetic parameters of traits of own productivity of breeding bulls in different age periods // *Agrarian scientific journal*. 2022. No. 2. P. 44–49. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp44-49
21. Misztal I., Tsruta S., Strabel T. et. al. BLUPF90 and related programs (BGF90) // *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*. Montpellier, 2002. Vol. 28 (27). pp. 21–22.