

**О. Я. Василюк, И. П. Шейко, И. Ф. Гридюшко**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь*

## **МОДЕЛЬНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ СВИНЕЙ МАТЕРИНСКИХ ПОРОД ПО ГЕНАМ – МАРКЕРАМ ПРОДУКТИВНОСТИ**

**Аннотация:** В настоящее время развитие молекулярной генетики и биологии позволяет проводить геномный анализ и селекцию непосредственно на уровне ДНК (маркер-зависимая селекция). Цель исследований – разработка модельных генетических профилей по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней плановых материнских пород, используемых в племенном свиноводстве. В Республике Беларусь такими породами являются: белорусская крупная белая, белорусская черно-пестрая и йоркшир. Исследования проводили в сельскохозяйственном филиале «СГЦ «Заднепровский» ОАО «Оршанский комбинат хлебопродуктов», ОАО «СГЦ «Заречье», ОАО «СГЦ «Западный» на популяциях чистопородных животных пород белорусской крупной белой, белорусской черно-пестрой и белорусского заводского типа свиней породы йоркшир в течение 2002–2018 гг. Генетическое тестирование проводили на свиноматках, хряках и откормочном поголовье свиней материнских пород. В качестве исходного материала использовали пробы ткани из ушной раковины свиней, из которых выделен и оптимизирован ДНК для анализа полиморфизма генов методом ПЦР – ПДРФ в лабораториях молекулярной биотехнологии и ДНК-тестирования (Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству) и генетики животных (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси). В результате исследований на основании установленного полиморфизма разработаны модельные генетические профили свиней материнских пород по генам-маркерам количественных признаков продуктивности. Максимально достигнутый уровень предпочтительного генотипа по каждому гену-маркеру среди трех материнских пород послужил модельным профилем для оцениваемых пород (племенного молодняка). Для пород с установленным высоким уровнем полиморфизма гена-маркера и продуктивности разработан модельный профиль, превышающий достигнутый показатель на 8–10 п.п.

**Ключевые слова:** селекция, белорусская крупная белая, белорусская черно-пестрая породы свиней, белорусский заводской тип свиней породы йоркшир, воспроизводительные, откормочные и мясные качества, генетическое тестирование, полиморфизм, гены-маркеры, генетические профили

**Для цитирования:** Василюк, О. Я. Модельные генетические профили свиней материнских пород по генам-маркерам продуктивности / О. Я. Василюк, И. П. Шейко, И. Ф. Гридюшко // Вес. Нац. акад. Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 350–360. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-350-360>

**Oleg Ya. Vasilyuk, Ivan P. Sheiko, Igor F. Gridyushko**

*Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus*

## **MODEL GENETIC PROFILES OF PIGS OF MOTHER BREEDS ON GENES - PRODUCTIVITY MARKERS**

**Abstract:** Currently, development of molecular genetics and biology allows for genomic analysis and selection directly at the DNA level (marker-dependent selection). The aim of the research was to develop model genetic profiles for marker genes of quantitative traits of productivity of pigs of planned maternal breeds used in pig breeding. Such breeds in the Republic of Belarus are as follows: Belarusian large white, Belarusian black and white and Yorkshire. The studies were carried out at the agricultural branch of Zadneprovsky SGC, Orshansky Plant of Bread Products, JSC, Zarechye SGC, Zapadny SGC with populations of purebred animals of Belarusian Large White, Belarusian Black and White and Belarusian plant type of Yorkshire pigs during 2002-2018. Genetic testing was carried out with sows, boars and finishing pigs of maternal breeds. As a starting material, tissue samples from the auricle of pigs were used with DNA isolated and optimized for the analysis of gene polymorphism using PCR - RFLP method in the laboratories of molecular biotechnology and DNA testing (Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding) and animal genetics (Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus). As a result of studies based on the established polymorphism, model genetic profiles of maternal breeds of pigs were developed for marker genes of quantitative traits of productivity. The maximum achieved level of the preferred genotype for each marker gene among the three maternal breeds served as a model profile for the evaluated breeds (breeding young animals). For breeds with an established high level of marker gene polymorphism and productivity, a model profile has been developed that exceeds the achieved indicator by 8-10 p.p.

**Keywords:** breeding, Belarusian large white, Belarusian Black and White breed of pigs, Belarusian plant type of Yorkshire breed of pigs, reproductive, fattening and meat traits, genetic testing, polymorphism, marker genes, genetic profiles

**For citation:** Vasilyuk O. Ya., Sheiko I. P., Gridyushko I. F. Model genetic profiles of pigs of mother breeds on genes - productivity markers. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 3, pp. 350-360 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-350-360>

**Введение.** Породы и типы свиней в настоящее время принято подразделять на материнские и отцовские. Материнские породы отличаются высоким многоплодием (11–12 поросят), крупноплодностью (масса одного поросенка при рождении – 1,1–1,3 кг) и молочностью (50–60 кг). В Республике Беларусь плановыми материнскими породами являются белорусская крупная белая, белорусская черно-пестрая и йоркшир. Эти породы широко используются в системах промышленного скрещивания и гибридизации [1].

В настоящее время, в связи с развитием молекулярной генетики и биологии, появилась возможность идентификации генов, напрямую или косвенно связанных с хозяйственно полезными признаками (геномный анализ). Выявление предпочтительных, с точки зрения селекции, вариантов таких генов у свиней наряду с традиционным отбором по фенотипу позволяет проводить селекцию непосредственно на уровне ДНК (маркер-зависимая селекция) [2, 3].

В качестве генетических маркеров признаков продуктивности свиней материнских пород, представляющих практический интерес, нами изучен ряд следующих генов.

*Ген ESR.* Одним из важнейших показателей эффективности селекционной работы является повышение многоплодия свиноматок. Наиболее перспективным и получившим широкое распространение генетическим маркером является ген эстрогенового рецептора (ESR). Полиморфизм данного гена обусловлен наличием двух аллелей: А и В. Исследованиями установлено, что предпочтительным с точки зрения селекции является генотип ВВ [4, 5].

*Ген EPOR.* В настоящее время учеными освоена методика генетического анализа на характер полиморфизма гена эритропоэтинового рецептора (EPOR), влияющего на многоплодие свиноматок. Согласно исследованиям, наличие аллеля Т в гене EPOR ассоциативно связано с увеличением внутриутробной вместимости у свиноматок и, соответственно, оказывает влияние на выживаемость эмбрионов [6, 7].

*Ген ECR F18.* Колибактериозом называют заболевание, вызываемое патогенными штаммами *E. coli* с типом фимбрий F18. Оно проявляется в виде послеотъемной диареи, которая приводит к гибели значительной части молодняка. В качестве генетического маркера, представляющего практический интерес для свиноводства, рассматривается ген рецептора *E.coli F 18* (ECR F18). Поросята, имеющие генотип GG или AG, предположительно восприимчивы к колибактериозу, а с генотипом AA – устойчивы [8, 9].

*Ген IGF-2.* Проведенные в ходе работы исследования показали, что на откормочные и мясные качества свиней в наиболее значительной степени влияет наличие в геноме гена инсулиноподобного фактора роста 2 (IGF-2). Датские ученые установили, что мутация в гене IGF2 (q → Q) существенно влияет на скорость роста [9–11].

*Ген MC4R.* Ген рецептора меланокортина 4 у свиней локализован на хромосоме 1 (SSC1) q22-q27. Животные, имеющие генотип GG, по показателям откормочной и мясной продуктивности превосходят аналогов с генотипом AA [12–14].

*Ген H-FABP* рассматривается в качестве маркера содержания внутримышечного жира у свиней. Выявлено три типа аллельного полиморфизма: А, а; D, d; H, h. Предпочтительным, с точки зрения селекции, являются генотипы aa, dd, HH [14–17].

*Ген RYR 1.* RYR 1 (рианодиновый рецептор) – ген-кандидат чувствительности к стрессам. Это ген, мутация которого повышает выход мышечной ткани примерно на 2 %, но в то же время приводит к образованию так называемого PSE-мяса (бледное, мягкое, водянистое мясо), причем признак PSE является доминирующим. Для гена RYR 1 были разработаны тест-системы для анализа его аллельного полиморфизма, основанных на методе ПЦР-ПДРФ анализа [3, 18–22].

Цель исследования – разработать модельные генетические профили по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней материнских пород, используемых в племенном свиноводстве Республики Беларусь.

**Материалы и методы исследований.** Научно-исследовательскую работу проводили в сельскохозяйственном филиале «СГЦ «Заднепровский» ОАО «Оршанский комбинат хлебопродуктов», ОАО «СГЦ «Заречье», ОАО «СГЦ «Западный». Объектом исследований являлись популяции чистопородных животных пород белорусской крупной белой, белорусской черно-пестрой и белорусского заводского типа свиней породы йоркшир.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы по заданию применялись следующие основные методические положения:

1) оценка животных материнских пород по комплексу признаков продуктивности и по генотипу с использованием метода ДНК-тестирования генетической структуры пород;

2) оценка воспроизводительных качеств животных материнских пород свиней по показателям, учитывающих гены-маркеры ESR, E. Coli F 18, EPOR и MUC 4;

3) оценка откормочных качеств потомства свиней материнских пород на основе генов-маркеров PIT1/POU1F1, MC4R и IGF-2;

4) оценка мясных качеств потомства свиней материнских пород с использованием генов-маркеров RYR 1, H-FABP и PRKAG3.

Генетическое тестирование проводили на свиноматках, хряках и откормочном поголовье свиней материнских пород в течение 2002–2018 гг. В качестве исходного материала использовали пробы ткани из ушной раковины свиней. Из образцов выделен и оптимизирован ДНК для анализа полиморфизма генов методом ПЦР–ПДРФ (полимеразно-цепной реакции полиморфизма длин рестриционных фрагментов) в лабораториях молекулярной биотехнологии и ДНК-тестирования (Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству), генетики животных (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси).

Биометрическую обработку материалов исследований проводили методами вариационной статистики по П. Ф. Рокицкому<sup>1</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** На основании проведенных исследований построены фактические генетические профили свиней материнских пород по генам-маркерам воспроизводительной, откормочной и мясной продуктивности (рис. 1–3).

### ***Белорусская крупная белая порода***

*Воспроизводительные качества.* Частота встречаемости предпочтительного аллеля T гена EPOR в геноме свиней белорусской крупной белой породы составляет 0,55 (здесь и далее – доли от единицы). Эта особенность породы позволяет проводить селекцию, направленную на повышение многоплодия и жизнеспособности получаемого потомства как среди свиноматок, так и выдающихся хряков.

Концентрация желательного аллеля B гена ESR достаточна высока – 0,46, что указывает на дальнейшие возможности повышения многоплодия генетическими методами.

Частота встречаемости желательного аллеля G гена MUC4 имела невысокое значение – 0,29. Низкая частота встречаемости желательного аллеля A гена ECR F18 (0,19) указывает на то, что животные белорусской крупной белой породы предрасположены к заболеванию колибактериозом.

*Откормочная продуктивность.* Частота встречаемости предпочтительного аллеля G гена MC4R в геноме свиней белорусской крупной белой породы невысока – 0,18.

Концентрация желательного аллеля C гена PIT1/ POU1F1 также составляет достаточно низкое значение – 0,35, что указывает на дальнейшие возможности повышения этого показателя генетическими методами.

Частота встречаемости желательного аллеля Q гена IGF-2 имела значение 0,39. Низкая частота встречаемости аллеля Q указывает на то, что животные белорусской крупной белой породы отселекционированны в большей степени на воспроизводительные качества.

*Мясная продуктивность.* Выявлено, что животные белорусской крупной белой породы в большинстве своем являются стрессустойчивыми – концентрация желательного аллеля N составила 0,99 в долях от единицы.

<sup>1</sup> Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Изд. 3-е, испр. Минск: Выш. шк., 1973. 320 с.

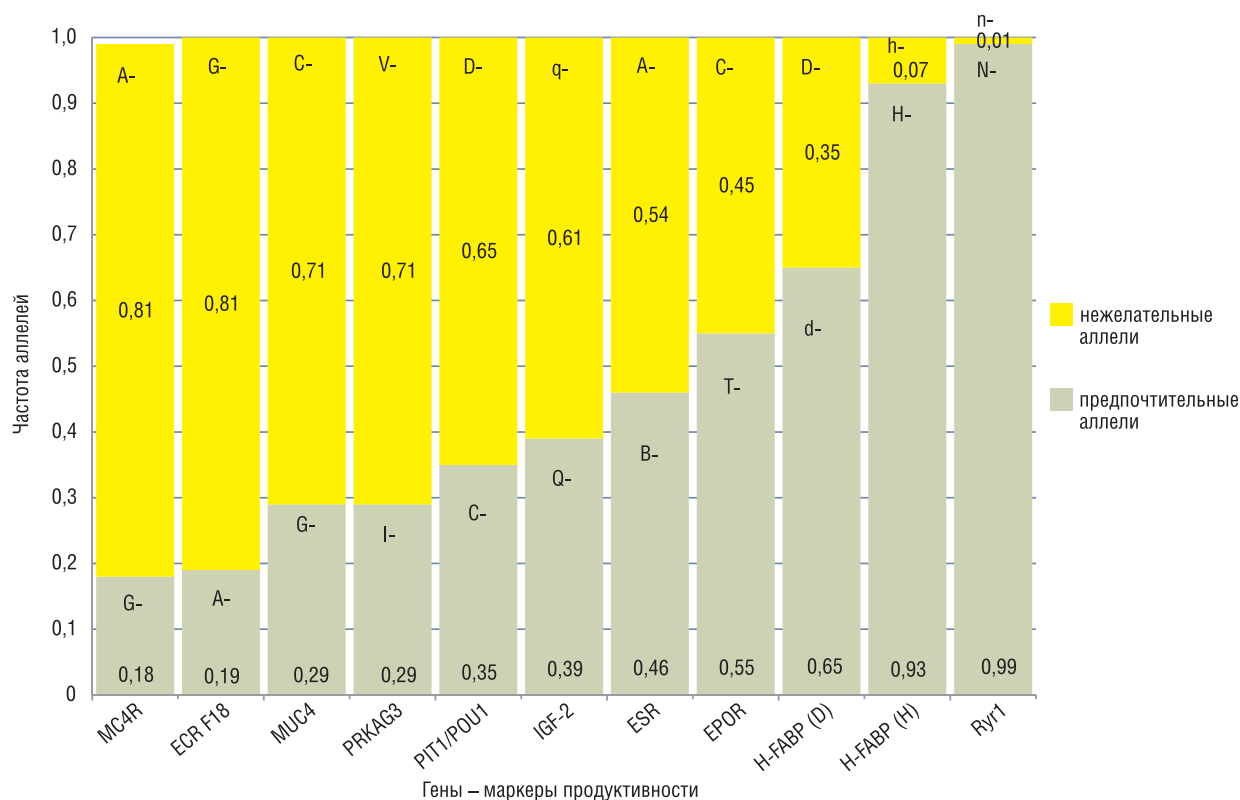


Рис. 1. Фактический генетический профиль свиней белорусской крупной белой породы по генам-маркерам продуктивных качеств

Fig. 1. Actual genetic profile of pigs of Belarusian large white breed according to genetic markers of productive traits

Частота желательных аллелей d и H гена H-FABP имеет достаточно высокое значение – 0,65 и 0,93 соответственно. Исследованиями выявлено, что мясо свиней, несущих желательное сочетание аллелей гена H-FABP, характеризуется высоким содержанием внутримышечного жира.

Концентрация предпочтительного аллеля I гена PRKAG3 была невысока и составила 0,29, что указывает на возможность проведения селекционной работы по улучшению мясных качеств свиней белорусской крупной белой породы.

Таким образом, животные белорусской крупной белой породы имеют достаточно высокую частоту встречаемости предпочтительных аллелей по гену Ryr1 (животные являются стрессустойчивыми) и гену H-FABP (имеют сравнительно высокие показатели по содержанию внутримышечного жира), среднюю – по показателям многоплодия (гены ESR и EPOR) и ниже средней – по предрасположенности к заболеванию E. Coli (ECR F18/FUT1 и MUC4) и откормочным качествам (MC4R и PRKAG3). Частота встречаемости желательного аллеля Q гена IGF-2 недостаточно высока.

### **Белорусская черно-пестрая порода**

**Воспроизводительные качества.** Проведенные исследования по тестированию свиноматок и хряков белорусской черно-пестрой породы на наличие гомо- и гетерозигот по аллелю B гена эстрогенового рецептора (ESR) позволили установить, что частота встречаемости предпочтительного аллеля составила 0,32.

По локусу гена EPOR установлена невысокая частота встречаемости аллеля T – 0,24, что указывает на дополнительные возможности улучшения воспроизводительной функции у свиней белорусской черно-пестрой породы.

**Откормочная продуктивность.** По результатам генотипирования животных белорусской черно-пестрой породы были рассчитаны частоты встречаемости предпочтительных и нежелательных аллелей гена MUC4. Выявлено, что частота встречаемости желательного аллеля G составила 0,20, а мутантного аллеля C – 0,80. Полученные результаты указывают на возможность проведения селекции по данному гену-маркеру.

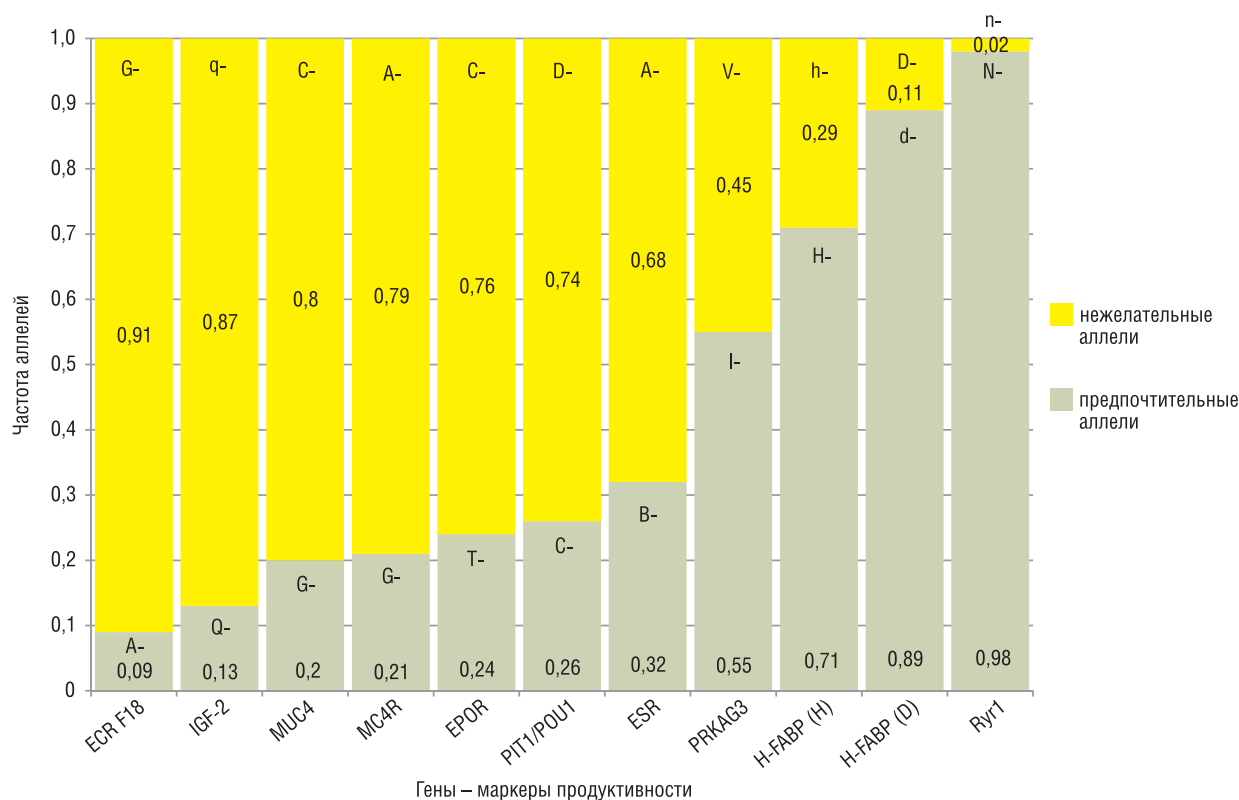


Рис. 2. Фактический генетический профиль свиней белорусской черно-пестрой породы по генам-маркерам продуктивных качеств

Fig. 2. Actual genetic profile of pigs of Belarusian black-and-white breed according to genetic markers of productive traits

При изучении частоты встречаемости аллелей гена ECR F 18 у свиней белорусской черно-пестрой породы установлено, что большинство оцененных животных предрасположено к коли-бактериозу. На это указывает низкая частота аллеля А – 0,09.

То, что обнаруженные частоты аллелей генов ECR F18/FUT1 и MUC4, имеющих сельскохозяйственную ценность, у животных белорусской черно-пестрой пород находятся ниже границы спектра выявляемых частот, свидетельствует о значительных возможностях селекции на увеличение сохранности молодняка в исследованной группе свиней.

У протестированных племенных животных по гену-маркеру MC4R установлена частота встречаемости аллеля G – 0,21, а аллеля А – 0,79.

Частота встречаемости аллелей D и C гена PIT1/ POU1F1 у свиней белорусской черно-пестрой породы составила 0,74 и 0,26 соответственно.

Тестирование племенных свиней белорусской черно-пестрой породы позволило установить частоту встречаемости аллелей Q и q гена IGF-2, их величина составила 0,13 и 0,87 соответственно. При этом частота встречаемости предпочтительного аллеля Q была наиболее низкой из изученных генов-маркеров. Невысокая встречаемость предпочтительных аллелей изученных генов-маркеров указывает на необходимость проведения селекции по улучшению откормочных качеств свиней белорусской черно-пестрой породы.

*Мясная продуктивность.* Аллель n гена RYR с частотой 4,0 % встречался только у хряков специализированных линий, которые селекционируются на высокие откормочные показатели.

Мясо свиней белорусской черно-пестрой породы содержит наибольшее количество внутримышечного жира (до 7 %). В подтверждение этому частота встречаемости предпочтительного аллеля H гена-маркера H-FABP составила 0,71.

Хряки с генетическими мутациями гена PRKAG3, влияющими на качественные показатели мяса, в породе отсутствуют. В геноме свиней белорусской черно-пестрой породы преобладает предпочтительный аллель I – 0,55. Это указывает на генетический потенциал, связанный с высоким качеством мяса, достигнутый целенаправленной селекцией в этом направлении.



**Белорусский заводской тип породы йоркшир**

*Воспроизводительные качества.* Частота встречаемости предпочтительного аллеля В гена ESR в геноме свиней белорусского заводского типа породы йоркшир составила 0,60. Это самый высокий показатель среди материнских пород, что указывает на высокий уровень селекции с породой в этом направлении и генетический потенциал племенных животных.

Установлено, что частота встречаемости желательного аллеля А гена ECR 18 хряков и свиноматок белорусского заводского типа породы йоркшир достаточно высока – в среднем 0,17.

Частота встречаемости предпочтительного аллеля G гена MUC4 в геноме животных белорусского заводского типа породы йоркшир составила 0,4.

*Откормочная продуктивность.* Проведено тестирование хряков белорусского заводского типа породы йоркшир по генам MC4R и IGF-2. Высокий уровень встречаемости предпочтительного аллеля G – 0,65 был установлен по гену-маркеру MC4R. Частота встречаемости доминантного аллеля Q гена IGF-2 у животных породы йоркшир составила 1,0.

Результаты исследований указывают на высокий генетический потенциал свиней белорусского заводского типа породы йоркшир, достигнутый целенаправленной селекционной работой по повышению откормочных показателей.

*Мясная продуктивность.* Все животные белорусского заводского типа породы йоркшир по гену RYR1 имели стрессустойчивый генотип NN. Это означает, что исследованные животные генетически устойчивы к стрессу и их можно использовать без ограничения в системе скрещивания и гибридизации.

Частота встречаемости аллеля d гена H-FABP у животных составила 0,50. Что касается аллельной системы H, то концентрация аллеля H достигла 0,9.

Невысокая частота встречаемости предпочтительного аллеля I гена PRKAG3 (0,295) у племенных свиней белорусского заводского типа породы йоркшир указывает на необходимость проведения селекционной работы по повышению качественных показателей мяса с использованием генетического тестирования по гену-маркеру PRKAG3.

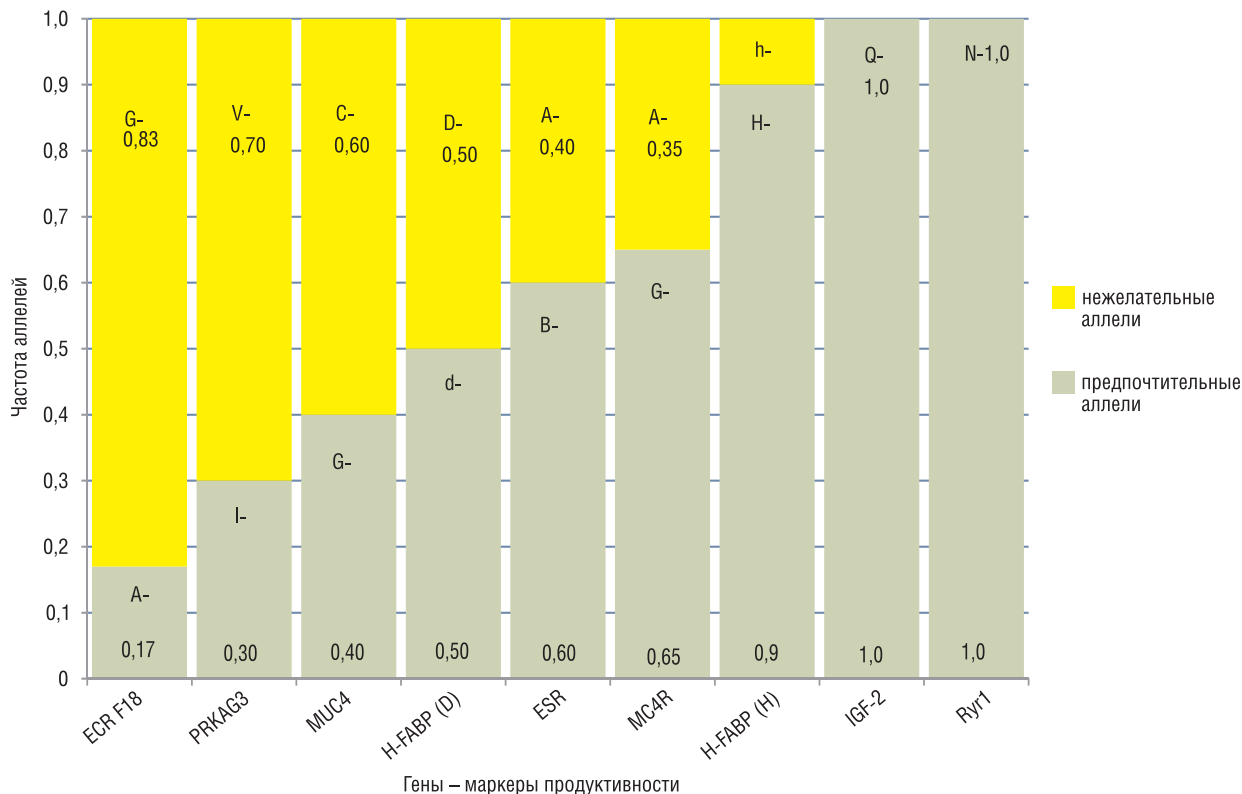


Рис. 3. Фактический генетический профиль свиней белорусского заводского типа породы йоркшир по генам-маркерам продуктивных качеств

Fig. 3. Actual genetic profile of pigs of Belarusian factory type of Yorkshire breed according to genetic markers of productive traits

На основании полученных данных и проведенном анализе разработаны модельные генетические профили свиней материнских пород: белорусской крупной белой, белорусской черно-пестрой и белорусского заводского типа породы йоркшир по генам-маркерам количественных признаков продуктивности.

Разработанные модельные генетические профили основываются на установленном полиморфизме изученных генов-маркеров и продуктивности племенных свиней материнских пород. Максимально достигнутый уровень предпочтительного генотипа по каждому гену-маркеру среди трех материнских пород послужил модельным профилем для оцениваемых пород (племенного молодняка). В случае, когда общий модельный профиль по одному из изучаемых генов-маркеров превосходит установленный профиль у определенной породы на 50 п.п. и более, разрабатывается персональный (промежуточный) модельный профиль, превышающий данный на 10–100 %. Для пород с установленным высоким уровнем полиморфизма гена-маркера и продуктивности разработан модельный профиль, превышающий достигнутый показатель на 8–10 п.п.

Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности, разработанный для свиней белорусской крупной белой породы, представлен на рис. 4.

Модельный генетический профиль по воспроизводительным качествам превышает фактический генетический профиль на 5–54 %. Наибольшее улучшение предусмотрено по откормочным качествам. Так, модельный профиль позволяет повысить частоту предпочтительных генотипов по данной продуктивности на 28–94 %. В меньшей степени модельный профиль корректирует мясные качества племенных свиней белорусской крупной белой породы. По данной продуктивности генетический потенциал планируется повысить на 1–38 п.п.

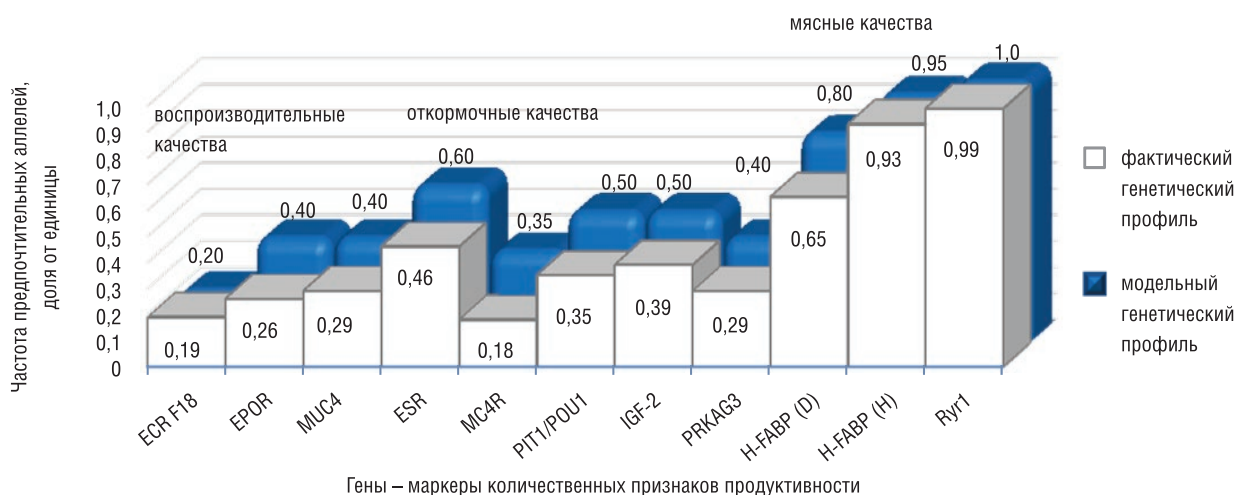


Рис. 4. Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней белорусской крупной белой породы

Fig. 4. Model genetic profile according to genetic markers for quantitative traits of productivity of pigs of Belarusian large white breed

Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности, разработанный для свиней белорусской черно-пестрой породы, представлен на рис. 5.

Невысокая встречаемость предпочтительных генотипов с доминированием аллелей, отвечающих за воспроизводительные качества, а также наличие условий и возможностей усиления селекционного давления в этом направлении позволили смоделировать генетический профиль, на 40–100 % превышающий установленный профиль по породе. Аналогично был разработан модельный профиль и по откормочным качествам. Данный модельный генетический профиль выше фактического на 53–100 %. Белорусская черно-пестрая порода свиней отличается от других пород, разводимых в республике, своими высокими мясными качествами. Разработанный модельный профиль по мясным качествам позволяет улучшить фактический профиль на 1–13 %.

Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней белорусского заводского типа породы йоркшир представлен на рис. 6.

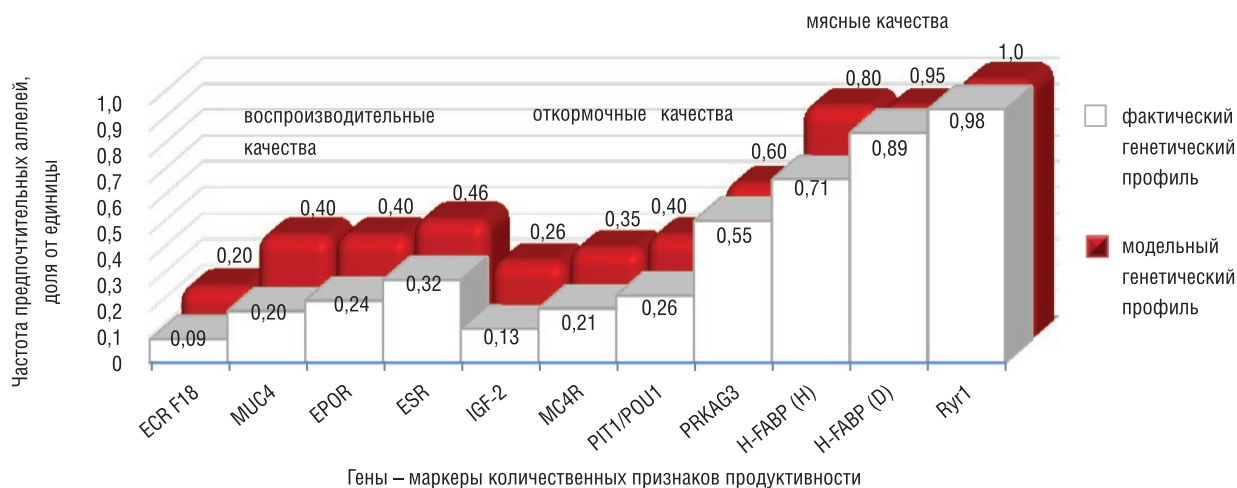


Рис. 5. Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней белорусской черно-пестрой породы

Fig. 5. Model genetic profile according to genetic markers for quantitative traits of productivity of pigs of Belarusian black-and-white breed

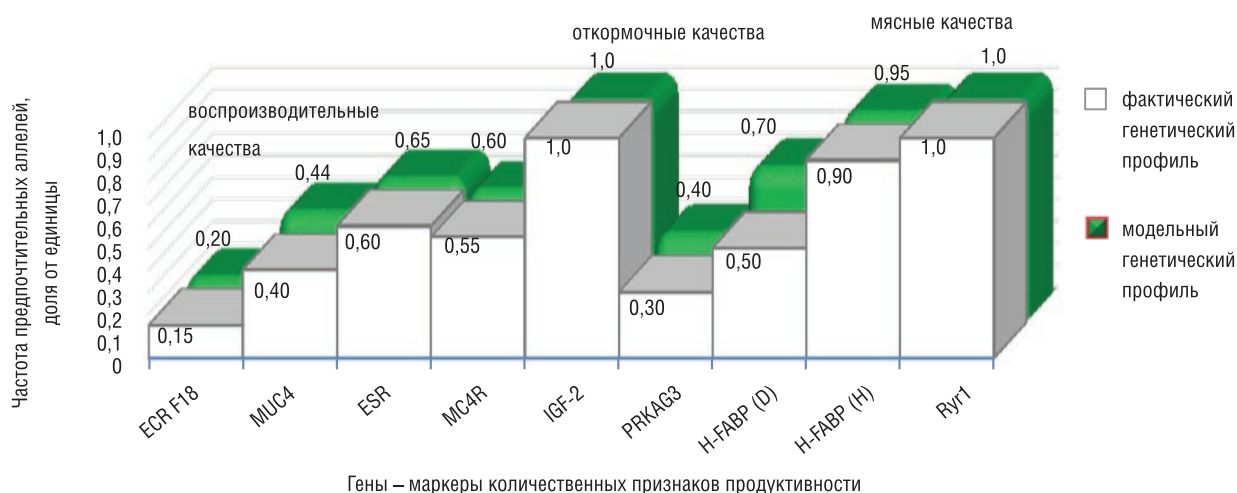


Рис. 6. Модельный генетический профиль по генам-маркерам количественных признаков продуктивности свиней белорусского заводского типа породы йоркшир

Fig. 6. Model genetic profile according to genetic markers for quantitative traits of productivity of pigs of Belarusian factory type of Yorkshire breed

Порода йоркшир, отселекционированная по откормочным и мясным качествам с высокими репродуктивными показателями, является модельной породой среди разводимых материнских пород. Для данной породы модельный генетический профиль по воспроизводительным и мясным качествам улучшает фактический генетический профиль на 8–33 и 5–40 п.п. соответственно. Модельный профиль откормочных качеств, разработанный по гену-маркеру IGF-2, выступает эталоном для остальных оцененных пород, так как все животные являются носителями предпочтительного аллеля.

Использование модельных генетических профилей в качестве эталона позволит разрабатывать программы отбора и подбора родительских пар с учетом генотипов и аллелей генов-маркеров продуктивных качеств в тестируемых стадах животных материнских пород. Данный вариант генетических профилей свиней материнских пород не является окончательным и в связи с открытием новых маркеров может быть расширен.

Следует отметить, что результаты оценки животных по исходному генетическому профилю следует использовать только в совокупности с классическими методами оценки и отбора животных по фенотипу.



**Заклучение.** Разработаны модельные генетические профили на основании установленного полиморфизма изученных генов-маркеров и продуктивности племенных свиных материнских пород: белорусской крупной белой, белорусской черно-пестрой и белорусского заводского типа породы йоркшир. Максимально достигнутый уровень предпочтительного генотипа по каждому гену-маркеру среди трех материнских пород послужил модельным профилем для оцениваемых пород (племенного молодняка). В случае, когда общий модельный профиль по одному из изучаемых генов-маркеров превосходит установленный профиль у определенной породы на 50 п.п. и более, разрабатывается персональный (промежуточный) модельный профиль, превышающий данный на 10–100 %. Для пород с установленным высоким уровнем полиморфизма гена-маркера и продуктивности разработан модельный профиль, превышающий достигнутый показатель на 8–10 п.п.

### Список использованных источников

1. Лобан, Н. А. Геномная селекция в свиноводстве / Н. А. Лобан, И. П. Шейко ; Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино : [б. и.], 2013. – 272 с.
2. Зиновьева, Н. А. Проблемы биотехнологии и селекции сельскохозяйственных животных / Н. А. Зиновьева, Л. К. Эрнст. – Изд. 2-е, доп. – [Б. м.] : [ВИЖ], 2006. – 329 с.
3. Использование маркерных генов в селекции свиных различных пород для повышения репродуктивных качеств / О. А. Епишко [и др.]. – Гродно : ГГАУ, 2015. – 181 с.
4. Исследование полиморфизма гена эстрогенового рецептора как маркера плодовитости свиных / Н. А. Зиновьева [и др.] // Науч. тр. ВИЖа / Всерос. гос. науч.-исслед. ин-т животноводства Россельхозакадемии. – Дубровицы, 2000. – Вып. 62, т. 2. – С. 50–57.
5. Association with litter size of new polymorphisms on ESR1 and ESR2 genes in a Chinese-European pig line / G. Muñoz [et al.] // Genetics Selection Evolution. – 2007. – Vol. 39, №2. – P. 195–206. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-39-2-195>
6. Лобан, Н. А. Ассоциация сложных полиморфных генотипов хряков по генам EPOR, MUC4 и IGF-2 с мясо-откормочной продуктивностью потомства / Н. А. Лобан // Ветеринар. медицина Беларуси. – 2010. – № 1-2. – С. 5–8.
7. Genetic effect and combined genotype effect of ESR, FSH $\beta$ , CTNNA1 and miR-27a loci on litter size in a Large White population / P. Pang [et al.] // Animal Biotechnology. – 2019. – Vol. 30, №4. – P. 287–292. <https://doi.org/10.1080/10495398.2018.1486322>
8. Лобан, Н. А. Влияние полиморфизма генов-маркеров ECR F18/FUT1 и MUC4 на сохранность поросят-сосунков белорусской крупной белой породы / Н. А. Лобан, А. С. Чернов // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы : сб. науч. тр. / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно, 2010. – Т. 1 : Зоотехния. Экономика. – С. 85–90.
9. Использование методов молекулярной генной диагностики для повышения откормочных и мясных качеств свиных белорусской крупной белой пород / Н. А. Попков [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2008. – №4. – С. 70–74.
10. Analysis of porcine IGF2 gene expression in adipose tissue and its effect on fatty acid composition / L. Criado-Mesas [et al.] // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, №8. – P. e0220708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220708>
11. The effects of two alleles of IGF2 on fat content in pig carcasses and pork / C. Burgos [et al.] // Meat Science. – 2012. – Vol. 90, №2. – P. 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.07.016>
12. Melanocortin-4 receptor (MC4R) genotypes have no major effect on fatness in a Large White x Wild Boar intercross / H. B. Park [et al.] // Animal Genetics. – 2002. – Vol. 33, N2. – P. 155–157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2002.00824.x>
13. Association of the melanocortin-4 receptor (MC4R) with feed intake, growth, fatness and carcass composition in pigs raised in Poland / K. Piórkowska [et al.] // Meat Science. – 2010. – Vol. 85, N2. – P. 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.017>
14. Distribution and linkage disequilibrium analysis of polymorphisms of MC4R, LEP, H-FABP genes in the different populations of pigs, associated with economic traits in DIV2 line / Z. Chao [et al.] // Molecular Biology Rep. – 2012. – Vol. 39, N5. – P. 6329–6335. <https://doi.org/10.1007/s11033-012-1454-x>
15. Association of GHRH, H-FABP and MYOG polymorphisms with economic traits in pigs / E. S. Cho [et al.] // Asian-Australasian J. of Animal Science. – 2009. – Vol. 22, N3. – P. 307–312. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.70748>
16. A study of associations of the H-FABP genotypes with fat and meat production of pigs / T. Urban [et al.] // J. of Appl. Genetics. – 2002. – Vol. 43, N4. – P. 505–509.
17. Арсиенко, Р. Ю. Исследования полиморфизма гена H-FABP во взаимосвязи с хозяйственно-полезными признаками свиных / Р. Ю. Арсиенко, Е. А. Гладырь // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных : материалы междунар. науч. конф., 19–20 нояб. 2002 г. / ВИЖ. – Дубровицы, 2002. – С. 94–96.
18. Лобан, Н. А. Оценка стрессоустойчивости и плодовитости свиных методами молекулярной генной диагностики / Н. А. Лобан, О. Я. Василюк, Н. А. Зиновьева // Интенсификация производства продуктов животноводства : материалы междунар. науч.-произв. конф., г. Жодино, 30–31 окт. 2002 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т животноводства. – Жодино, 2002. – С. 52.
19. Черкаева, Е. Применение ДНК-технологии для выявления полиморфизма по гену RYR1 у свиных крупной белой породы / Е. Черкаева // Свиноводство. – 2008. – №5. – С. 8–11.

20. Епишко, О.А. Генетическая структура популяции свиноматок и хряков-производителей породы дюрок по генам ERS, PRLR, FSHB и RYR1 / О.А. Епишко // Эпизоотология, иммунобиология, фармакология и санитария. – 2008. – №1. – С. 36–39.
21. Association of calpastatin (CAST/MspI) polymorphism with meat quality parameters of fatteners and its interaction with RYR1 genotypes / E. Krzęcio [et al.] // J. of Animal Breeding a. Genetics. – 2005. – Vol. 122, N4. – P. 251–258. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2005.00517.x>
22. The interaction between calpastatin and RYR1 genes for some pork quality traits / M. Koćwin-Podsiadła [et al.] // Meat Science. – 2003. – Vol. 65, №2. – P. 731–735. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00275-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00275-9)

## References

- Loban N.A., Sheiko I.P. *Genomic selection in pig breeding*. Zhodino, 2013. 272 p. (in Russian).
- Zinov'eva N.A., Ernst L.K. *Problems of biotechnology and breeding of agricultural animals*. 2<sup>nd</sup> ed. S. I., 2006. 329 p. (in Russian).
- Epishko O.A., Pestis V.K., Tanana L.A., Peshko V.V., Sonich N.A., Shevchenko M.Yu. *The use of marker genes in the selection of pigs of various breeds to improve reproductive qualities*. Grodno, Grodno State Agrarian University, 2015. 181 p. (in Russian)
- Zinov'eva N.A., Gladyr' E.A., Larionova P.V., Kalachakova O.V., Loban N.A. Study of estrogen receptor gene polymorphism as a marker of fertility in pigs. *Nauchnye trudy Vserossiiskogo gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva Rossel'khozakademii* [Scientific works of All-Russian State Scientific Research Institute of Animal Husbandry of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. Dubrovitsy, 2000, iss. 62, vol. 2, pp. 50-57 (in Russian).
- Muñoz G., Ovilo C., Estellé J., Silió L., Fernández A., Rodríguez C. Association with litter size of new polymorphisms on ESR1 and ESR2 genes in a Chinese-European pig line. *Genetics Selection Evolution*, 2007, vol. 39, no. 2, pp. 195-206. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-39-2-195>
- Loban N.A. Association of complex polymorphic genotypes of boars by genes EPOR, MUC4 and IGF-2 with meat and fattening productivity of offspring. *Veterinarnaya meditsina Belarusi* [Veterinary Medicine of Belarus], 2010, no. 1-2, pp. 5-8 (in Russian).
- Pang P., Li Z., Hu H., Wang L., Sun H., Mei S., Li F. Genetic effect and combined genotype effect of ESR, FSHβ, CTNNAL1 and miR-27a loci on litter size in a Large White population. *Animal Biotechnology*, 2019, vol. 30, no. 4, pp. 287-292. <https://doi.org/10.1080/10495398.2018.1486322>
- Loban N.A., Chernov A.S. Influence of polymorphism of genes markers ECR F18 / FUT1 and MUC4 on the liveability of suckling piglets of the Belarusian Large White breed. *Sel'skoe khozyaistvo - problemy i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov. T. 1. Zootekhniya. Ekonomika* [Agriculture – problems and prospects : a collection of scientific papers. Vol. 1. Zootechnics, economics]. Grodno, 2010, pp. 85-90 (in Russian).
- Popkov N.A., Sheiko I.P., Loban N.A., Vasilyuk O.Ya., Chernov, A.S. Use of molecular gene diagnostics methods for improving meat and fattening traits of Belarusian big hite breed pigs. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*, 2008, no. 4, pp. 70-74 (in Russian).
- Criado-Mesas L., Ballester M., Crespo-Piazuelo D., Castelló A., Benítez R., Isabel Fernández A.I., Josep J., Folch M. Analysis of porcine IGF2 gene expression in adipose tissue and its effect on fatty acid composition. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 8, p. e0220708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220708>
- Burgos C., Galve A., Moreno C., Altarriba J., Reina R., García C., López-Buesa P. The effects of two alleles of IGF2 on fat content in pig carcasses and pork. *Meat Science*, 2012, vol. 90, no. 2, pp. 309-313. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.07.016>
- Park H.B., Carlborg Ö., Marklund L., Andersson L. Melanocortin-4 receptor (MC4R) genotypes have no major effect on fatness in a Large White x Wild Boar intercross. *Animal Genetics*, 2002, vol. 33, pp. 155-157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2002.00824.x>
- Piórkowska K., Tyra M., Rogoz M., Ropka-Molik K., Oczkowiec M., Rózycki M. Association of the melanocortin-4 receptor (MC4R) with feed intake, growth, fatness and carcass composition in pigs raised in Poland. *Meat Science*, 2010, vol. 85, no. 2, pp. 297-301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.017>
- Chao Z., Wang F., Deng C.Y., Wei L.M., Sun R.P., Liu H.L., Liu Q.W., Zheng X.L. Distribution and linkage disequilibrium analysis of polymorphisms of MC4R, LEP, H-FABP genes in the different populations of pigs, associated with economic traits in DIV2 line. *Molecular Biology Reports*, 2012, vol. 39, no. 5, pp. 6329-6335. <https://doi.org/10.1007/s11033-012-1454-x>
- Cho E.S., Park D.H., Kim B.W., Jung W.Y., Kwon E.J., Kim C.W. Association of GHRH, H-FABP and MYOG polymorphisms with economic traits in pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 2009, vol. 22, no. 3, pp. 307-312. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.70748>
- Urban T., Mikolášová R., Kuciel J., Ernst M., Ingr I. A study of associations of the H-FABP genotypes with fat and meat production of pigs. *Journal of Applied Genetics*, 2002, vol. 43, no. 4, pp. 505-509.
- Arshenko R.Yu., Gladyr' E.A. Research of H-FABP gene polymorphism in relation to economically useful traits of pigs. *Sovremennye dostizheniya i problemy biotekhnologii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, 19-20 noyabrya 2002 g.* [Modern achievements and problems of agricultural animal biotechnology: proceedings of an international scientific conference, November 19-20, 2002]. Dubrovitsy, 2002, pp. 94-96 (in Russian).

18. Loban N.A., Vasilyuk O.Ya., Zinov'eva N.A. Assessment of stress resistance and fertility of pigs by molecular genetic diagnostics. *Intensifikatsiya proizvodstva produktov zivotnovodstva: materialy mezhdunarodnoi nauchno-proizvodstvennoi konferentsii (g. Zhodino, 30-31 oktyabrya 2002 g.* [Intensification of production of livestock products: proceedings of the international scientific and production conference (Zhodino, October 30-31, 2002)]. Zhodino, 2002, pp. 52 (in Russian).

19. Cherekaeva E. Application of DNA technology to detect RYR1 gene polymorphism in large white pigs. *Svinovodstvo = Pig Breeding*, 2008, no. 5, pp. 8-11 (in Russian).

20. Epishko O.A. Genetic structure of the population of sows and boars of the Duroc breed by genes ERS, PRLR, FSHB and RYR1. *Epizootologiya, immunobiologiya, farmakologiya i sanitariya* [Epizootology, Immunobiology, Pharmacology and Sanitation], 2008, no. 1, pp. 36-39 (in Russian).

21. Krzęcio E., Koćwin-Podsiadła M., Kurył J., Monin G. Association of calpastatin (CAST/MspI) polymorphism with meat quality parameters of fatteners and its interaction with RYR1 genotypes. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2005, vol. 122, no. 4, pp. 251-258. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2005.00517.x>

22. Koćwin-Podsiadła M., Kurył J., Krzęcio E., Zybert A., Przybylski W. The interaction between calpastatin and RYR1 genes for some pork quality traits. *Meat Science*, 2003, vol. 65, no. 2, pp. 731-735. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00275-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00275-9)

### Информация об авторах

*Василук Олег Ярославович* – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160 г. Жодино, Республика Беларусь). E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by.

*Шейко Иван Павлович* – академик, профессор, доктор с.-х. наук, первый заместитель генерального директора, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160 г. Жодино, Республика Беларусь). E-mail: belniig@tut.by, <https://orcid.org/0000-0002-4684-9830>

*Гридюшко Игорь Федорович* – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160 г. Жодино, Республика Беларусь). E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

### Information about the authors

*Oleg Ya. Vasiluk* - Ph.D. (Biological). Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Animal Breeding (11, Frunze Str., Zhodino 222160, Republic of Belarus). E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

*Ivan P. Sheiko* - Academician, D. Sc. (Agricultural), Professor. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Animal Breeding (11, Frunze Str., Zhodino 222160, Republic of Belarus). E-mail: belniig@tut.by. <https://orcid.org/0000-0002-4684-9830>

*Igor F. Gridushko* - Ph.D. (Agricultural). Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Animal Breeding (11, Frunze Str., Zhodino 222160, Republic of Belarus). E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by