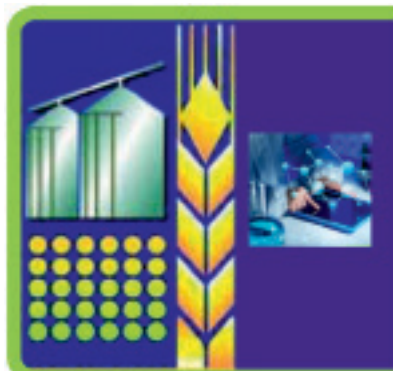




ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВЕДЕНИЯ И СЕЛЕКЦИИ: БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

GENETIC BASES OF BREEDING AND SELECTION: ANIMAL BIOTECHNOLOGY

УДК 636.4:636.4.083:636.4.082: 57.02:54.39

DOI:10.31677/2311-0651-2023-42-4-90-101

СОПРЯЖЕННОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ КРОВИ С УРОВНЕМ СОДЕРЖАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ВО ВНУТРИМЫШЕЧНОМ ЖИРЕ СВИНЕЙ

¹В.А. Бекенев, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

¹В.С. Деева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник

²С.П. Князев, кандидат биологических наук, доцент

¹А.С. Дуров, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

¹Ю.В. Фролова, инженер

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

²Новосибирский государственный аграрный университет

E-mail: animal@sfscs.ru

Ключевые слова: селекционная группа, порода, система крови, группы крови, жирные кислоты, корреляция.

Реферат. На поголовье свиней крупной белой породы, кемеровской, дюрок, ландрас, пьетрен осуществлен анализ связей уровня жирных кислот во внутримышечном жире свиней с полиморфизмом групп крови путём проведения эксперимента и обзора исследований учёных разных стран. Изучена концентрация насыщенных (НЖК), моновенасыщенных (МНЖК), полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот. Выявлена разница по частоте встречаемости генотипов крови у животных с разным уровнем жирных кислот. Так, в системе EA B отмечена существенная разница между генотипами EA Ba/a и EA Ba/v по содержанию арахидиновой C20:0 и гептадеценовой C17:1 жирных кислот. В системе EA D аналогичная разница выявлена между генотипами EA Da/v и EA Dv/v по арахидиновой C20:0 и эйкозодиеновой C20:2 жирным кислотам. В системе EA E отмечена повышенная концентрация эйкозодиеновой C20:2 жирной кислоты у свиней с генотипом EA Eedg/edf, стеариновой C18:0, арахидиновой C20:0, пальмитолеиновой C16:1, линолевой C18:2 – у свиней с генотипом EA Eaeg/edg. В системе EA G существенно меньше содержалось жирных кислот арахидиновой C20:0 и эйкозодиеновой C20:2 у особей с генотипом EA Ga/a. Сравнение коэффициентов корреляций позволяет констатировать высокую степень положительной связи между маргариновой и гептадеценовой кислотами ($r=+0,79$), а высокая степень отрицательной связи выявлена между олеиновой и линолевой жирными кислотами ($r=-0,94$). Сила влияния генотипов групп крови на изменчивость ряда жирных кислот находится в пределах от 0,2 до 0,6 и сопоставима с влиянием породного фактора на изменчивость оцениваемых признаков. Эти данные могут быть использованы при селекции в качестве кандидатов в генетические маркеры для отбора и подбора животных в процессе совершенствования стада.

CONNECTION OF GENETIC BLOOD MARKERS WITH THE LEVEL OF FATTY ACIDS IN THE INTRAMUSCULAR FAT OF PIGS

¹V.A. Bekenev, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

¹V.S. Deeva, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher

²S.P. Knyazev, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

¹A.S. Durov, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher

¹Yu.V. Frolova, Engineer

¹Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies RAS

²Novosibirsk State Agrarian University

E-mail: animal@sfscs.ru

Keywords: selection group, breed, blood system, blood groups, fatty acids, correlation.

Abstract. Using large white, Kemerovo, Duroc, Landrace, and Pietrain pigs, an analysis was carried out of the relationship between the level of fatty acids in the intramuscular fat of pigs and the polymorphism of blood groups by conducting an experiment and reviewing studies by scientists from different countries. The concentration of saturated (SFA), monounsaturated (MUFA), and polyunsaturated (PUFA) fatty acids were studied. A difference in the frequency of blood genotypes in animals with different levels of fatty acids was revealed. Thus, a significant difference was noted in the EA B system between the genotypes EA Ba/a and EA Ba/b in the content of arachidic C20:0 and heptadecenoic C17:1 fatty acid. In the EA D system, a similar difference was found between genotypes EA Da/b and EA Db/b in arachidic C20:0 and eicosadienoic C20:2 fatty acids. In the EA E system, an increased concentration of eicosadienoic C20:2 fatty acid was noted in pigs with the EA genotype E edg/edf, stearic C18:0, arachidic C20:0, palmitoleic C16:1, linoleic C18:2 – in pigs with the EA genotype Eaeg/edg. The EA G system contained significantly less arachidic C20:0 and eicosadienoic C20:2 fatty acids in individuals with the EA Ga/a genotype. A comparison of correlation coefficients allows us to state a high degree of positive correlation between margaric and heptadecenoic acids ($r=+0.79$), and a high degree of negative correlation was found between oleic and linoleic fatty acids ($r=-0.94$). The strength of the influence of blood group genotypes on the variability of several fatty acids ranges from 0.2 to 0.6. It is comparable to the effect of the breed factor on the variability of the assessed traits. These data can be used in breeding as candidates for genetic markers for selecting and selecting animals to improve the herd.

В настоящее время селекция свиней в мире направлена на повышение содержания мяса в туше, которое тесно связано с качеством мясной продукции, особенно с составом жирных кислот мяса и сала, а также с требованиями рынка. Получение свинины с низким уровнем жира и высокими технологическими качествами мяса и сала зависит от составных частей жира – жирных кислот. Насыщенные жирные кислоты (стеариновая, пальмитиновая, арахидоновая и др.) меньше подвержены окислению, придают салу лучшие вкусовые качества, а полиненасыщенные, такие как α -линолевая (18:2), эйкозапентеновая (22:5), докозагексоеновая (22:6), входящие в состав известного препарата Омега-3, являются необходимыми для нормального физиологического функционирования и здоровья людей и всех видов животных [1–3].

В мире ведётся поиск генетических корреляций между наиболее значимыми признаками туш, составом жирных кислот и генетическими маркерами. Аллели, имеющие связь с жирными кислотами, могут быть использованы в качестве маркерной селекции для улучшения качества свинины [4].

При селекции свиней экспериментального стада СГ (селекционная группа) нами проведены исследования по выявлению генетических маркеров, по которым можно вести селекцию животных и в раннем возрасте отбирать ремонтный молодняк, дающий свинину, обладающую таким составом жирных кислот и уровнем холестерина, которые удовлетворяют потребности населения по качеству мяса и полезны для здоровья.

Считалось, что высокое потребление насыщенных жирных кислот (НЖК) повышает уровень холестерина в плазме, что вызывает сердечно-сосудистые заболевания. Было показано, что можно изменять жирно-кислотный состав тканей свиней не только с помощью кормления, но и генетическими методами. Содержание внутримышечного жира имеет положительную корреляцию с НЖК и генетическими маркерами [5–7].

Предварительные результаты предполагают связь между генами MTTP, DGAT2 и FASN и профилем жирных кислот как в подкожном, так и во внутримышечном жире, тогда как между DGAT1, SCD и H-FABP связь была обнаружена только в жировой ткани [8].

В исследованиях J. Hong et al. [9] полиморфизмы белка, связывающего жирные кислоты (FABP3) и инсулиноподобный фактор роста-2 (IGF2), оказывали наибольшее влияние на стеариновую C18:0, ($P = 0,009$) и γ -линоленовую C18:3 (0,039) кислоты. Положительная зависимость выявлена между рецептором MC4R (меланокортин:4) и пальмитолеиновой C16:1n7 кислотой, относящейся к мононенасыщенным жирным кислотам (МНЖК). Подтверждена тесная связь генотипов FABP3, IGF2 и MC4R со стеариновой C18:0, γ -линолевой C18:3, пальмитолеиновой C16:1 и МНЖК у свиней. Считается, что полиморфизмы, обнаруженные в этом исследовании, могут быть использованы в качестве генетических маркеров в программах селекции для изменения пропорций жирных кислот в мышечных тканях.

В исследованиях S. Zhang et al. [6] наивысшее содержание насыщенных жирных кислот (НЖК) было выявлено у свиней пород дюрок и беркшир ($P < 0,01$). В результате наших исследований установлена аналогичная зависимость у свиней кемеровской породы, которая была создана на основе породы беркшир.

Наличие большого количества полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в организме свиней вызывает вероятность интенсивного образования перекисей, особенно в несвойственных им условиях среды (акклиматизация, стрессы), ведёт к истощению энергетических резервов, повышенному отходу животных. ПНЖК легко подвержены прогорканию, особенно омега-3 линоленовая кислота, их нельзя нагревать или использовать для приготовления пищи [10, 11].

В нескольких популяциях свиней обнаружена отрицательная генетическая корреляция толщины хребтового шпика и содержания внутримышечного жира с линолевой и положительная – с олеиновой (C18:1) жирными кислотами [12].

Поскольку эффект селекции зависит от коэффициента наследуемости признаков, важно оценить эти значения. При отборе свиней, дающих постное мясо, для племенного разведения изменяется состав жирных кислот и ухудшается качество жира у их потомков [13].

Для того чтобы расставить акценты в совершенствовании пород свиней по качественным (сенсорным) показателям продукции, считаем необходимым выявить межпородные различия по химическому составу мышц и подкожного жира.

Цель исследования заключается в поиске связей уровня определённых жирных кислот во внутримышечном жире свиней с генетическими маркерами групп крови для селекции на качественную свинину для сбалансированного уровня перекисного окисления липидов тканей. Такой подход обеспечит высокие вкусовые и питательные качества свинины с последующим использованием выявленных факторов в селекции свиней.

Работа проводилась на селекционной группе свиней, полученных при скрещивании маток крупной белой породы с хряками породы канадский йоркшир (КЙ), в Сибирском селекционном племенном животноводческом центре (ООО ССПЖЦ) Новосибирской области.

Проведено изучение состава и концентрации жирных кислот во внутримышечном жире свиней разных пород, разводимых в Сибири: крупной белой, кемеровской, дюрок, ландрас, пьетрен, выраженное в процентах. Определена концентрация насыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МНЖК), полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот.

Исследованы образцы крови специфическими сыворотками-реагентами, выявляющими генотипы групп крови, контролируемые генетическими системами A, B, D, E, F, G, L. По результатам паспортизации племенных животных выявлена частота генотипов систем крови. Биометрическая обработка проведена по стандартной методике. Рассчитана частота встречаемости маркёров крови. Частоты выражены в долях [14–19].

При выявлении закономерностей изменчивости жирных кислот материал по зависимости от генотипов крови А, В, D, F в данной статье не приводится вследствие отсутствия достоверных различий по большинству признаков и с целью экономии объёма публикуемой статьи.

Осуществлён поиск генетических связей между составом жирных кислот во внутримышечном и подкожном жире свиней с частотой генотипов групп крови на базе проведённого эксперимента с разными породами, разводимыми в зоне Сибири и по данным исследований учёных разных стран с целью поиска генетических маркёров для селекции стада в определённом направлении.

Анализ жирно-кислотного состава внутримышечного жира свиней показал особенности содержания жирных кислот (табл. 1). У животных разных пород содержание НЖК составило: пентадекановая C15:0 и нондекановая C19:0 – от 0,00 до $0,04 \pm 0,02$ %, пальмитиновая C16:0 – от $22,61 \pm 0,77$ до $25,26 \pm 0,28$ %, МНЖК олеиновая C18:1 – от $40,79 \pm 3,02$ до $49,55 \pm 0,53$ %, ПНЖК арахидоновая C20:4 – $0,05 - 0,16 \pm 0,01$ %. Содержание НЖК миристиновой у помесей кемеровская х ландрас на уровне $0,69 \pm 0,06$, в других породах – $0,89 \pm 0,12 - 1,01 \pm 0,03$ %. Пентадекановая C15:0 кислота выявлена у пород кемеровская и ландрас на уровне $0,01 \pm 0,01 - 0,04 \pm 0,02$ %, в других породах – 0,0 %. У помесей кемеровской х ландрас и породы дюрок не выявлена нондекановая C19:0 кислота. Показатели маргариновой C17:0, арахидиновой C20:0, олеиновой C18:1, эйкозодиеновой C20:2 у животных крупной белой породы выше – от $0,40 \pm 0,20$ до $44 \pm 0,08$ %, чем других кислот. У породы дюрок выше по сравнению с другими породами показатели арахидоновой кислоты C20:4 – $0,16 \pm 0,01$ %.

Кемеровская порода превосходит сверстниц по содержанию пальмитиновой кислоты C16:0, крупная белая – по гондоиновой C20:1, дюрок и пьетрен – МНЖК ($P < 0,05$). По составу жирных кислот НЖК внутримышечного жира (ВМЖ) из всех изучаемых пород можно выделить свиней породы пьетрен, у них содержится более 37 % против 40 у других пород, и наоборот, больше МНЖК, чем у сравниваемых пород – 52,5 %. Все изучаемые породы превосходят породу пьетрен по содержанию пальмитиновой жирной кислоты ($P < 0,05$), однако эта порода отличается от других пород более высоким содержанием олеиновой жирной кислоты ($P < 0,01$). В табл. 2 – 4 представлены результаты распределения жирных кислот с учетом генотипов систем крови свиней.

Анализ полученного материала позволил дифференцировать особей по содержанию жирных кислот во внутримышечном жире (ВМЖ) с учетом генотипов групп крови с низкой, средней и высокой концентрацией.

Оценка связи концентрации жирных кислот с генотипами крови по системе E показывает (см. табл. 2), что животные с генотипом $E^{bdg/edg}$ превосходят сверстников по концентрации пальмитиновой кислоты C16:0, олеиновой C18:1, арахидоновой C20:4 и уступают по линолевой C18:2. Особи носители генотипа $E^{edg/edf}$ превосходят сверстников по концентрации стеариновой кислоты C18:0, линолевой C18:2, эйкозодиеновой C20:2. Носители $E^{bdg/edf}$ уступают сверстникам по содержанию пальмитиновой C16:0, пальмитолеиновой C16:1, арахидоновой C20:4 кислот ($P < 0,05$).

Анализируя содержание жирных кислот в длиннейшей мышце свиней с учетом носительства определенных групп крови, наблюдаем, что некоторые генотипы E-системы крови взаимосвязаны друг с другом.

Следует особо отметить, что содержание маргариновой C17:0 кислоты в мышцах свиней – носителей генотипов $L^{adhj/adhl}$ и $L^{bcgi/bdfi}$ L-системы крови ниже, чем у животных с $L^{bcgi/bdgi}$. Отмечено достоверное превосходство животных с генотипом $L^{bcgi/bdgi}$ над сверстниками по концентрации маргариновой C17:0 кислоты (см. табл. 4).

Таблица 1

Содержание жирных кислот во внутримышечном жире свиней разных пород, %
Content of fatty acids in intramuscular fat of pigs of different breeds, %

Жирная кислота	Крупная белая, n=4	Кемеровская, n=3	Кемеровская х ландрас, n=3	Ландрас, n=4	Пьетрен, n=3	Дюрок, n=2	По выборке, n=19
Номер генотипа	I	II	III	IV	V	VI	
Миристиновая C14:0	1,00±0,11	1,01±0,03 ^{III}	0,69±0,06 ^{II,IV,VI}	1,03±0,05 ^{III}	0,89±0,12	0,94±0,02 ^{III}	0,94±0,04
Пентадекановая C15:0	0,00±0,00	0,01±0,01	0,00±0,00	0,04±0,02	0,00±0,00	0,00±0,00	0,01±0,01
Пальмитиновая C16:0	24,13±0,32 ^{II}	25,26±0,28 ^{I,IV,VI}	24,34±0,45	24,69±0,63	22,61±0,77 ^{II}	24,13±0,07 ^{II}	24,22±0,28
Маргариновая C17:0	0,44±0,08	0,38±0,04	0,32±0,02 ^V	0,37±0,04	0,49±0,04 ^{III}	0,32±0,03 ^V	0,39±0,02
Стеариновая C18:0	14,20±0,63	13,45±0,83	14,03±0,17 ^{VI}	14,43±0,45	13,46±0,42	14,84±0,12 ^{III}	14,05±0,25
Нондекановая C19:0	0,03±0,02	0,02±0,01	0,00±0,00	0,01±0,01	0,02±0,02	0,00±0,00	0,01±0,01
Арахидиновая C20:0	0,40±0,20	0,14±0,01	0,12±0,01	0,19±0,06	0,09±0,04	0,14±0,01	0,20±0,05
В с е г о НЖК	39,97±0,79 ^V	40,27±0,62 ^V	39,50±0,58	40,66±0,63 ^V	37,56±0,74 ^{II,III,IV}	40,38±0,07 ^V	39,75±0,36
Пальмитолеиновая C16:1	1,94±0,25	1,61±0,16	1,53±0,09	1,60±0,09	1,52±0,20	1,72±0,04	1,66±0,08
Гептадеценивая C17:1	0,28±0,04	0,20±0,08	0,22±0,01	0,23±0,01	0,38±0,07	0,21±0,01	0,25±0,02
Олеиновая C18:1	40,73±3,02 ^V	46,66±0,76 ^V	48,42±0,36 ^{VI}	43,44±2,88	49,55±0,53 ^{II}	45,62±0,10 ^{III,V}	45,36±1,15
Гондоиновая C20:1	1,16±0,08 ^{III,IV}	0,91±0,08	0,79±0,11 ^I	0,83±0,08 ^I	1,02±0,09	1,09±0,02 ^{IV}	0,95±0,04
В с е г о МНЖК	43,53±3,11 ^V	49,38±0,65 ^V	50,95±0,2 ^{VI}	45,89±3,05	52,46±0,85 ^{II}	48,64±0,1 ^{III,V}	48,07±1,18
Линолевая C18:2	12,58±1,70 ^V	9,99±0,05 ^{VI}	9,17±0,59	11,22±1,66	9,58±0,36 ^I	10,38±0,05 ^{II}	10,64±0,58
Эйкозодиеновая C20:2	0,41±0,09	0,29±0,12	0,28±0,03	0,29±0,13	0,28±0,05	0,43±0,04	0,32±0,04
Арахидиновая C20:4	0,05±0,03 ^{VI}	0,07±0,03	0,06±0,03	0,12±0,04	0,08±0,04	0,16±0,01	0,09±0,02
В с е г о ПНЖК	12,84±1,59 ^V	10,35±0,12 ^{VI}	9,52±0,64	11,55±1,57	9,95±0,41 ^I	10,96±0,01 ^{II}	10,99±0,56

Примечание. Здесь далее надстрочные символы I, II, III, IV, V означают достоверное отличие анализируемой группы от других не более чем на P<0,05.

Таблица 2

Содержание жирных кислот у свиней разных генотипов по E-системе групп крови, %
Content of fatty acids in pigs of different genotypes according to the E-system of blood groups, %

Жирная кислота	Генотип крови				
	aeg/edg, n=2	bdg/edg, n=7	bdg/edf, n=7	edg/edg, n=1	edg/edf, n=2
Номер генотипа	I	II	III	IV	V
Миристиновая C14:0	1,07±0,16	0,96±0,04	0,89±0,08	0,65±0,00	0,98±0,05
Пентадекановая C15:0	0,00±0,00	0,01±0,01	0,01±0,01	0,00±0,00	0,02±0,01
Пальмитиновая C16:0	23,90±0,43	25,09±0,27 ^{III}	23,24±0,45 ^{II}	25,18±0,00	24,41±0,27
Маргариновая C17:0	0,27±0,00 ^{II,III}	0,40±0,30 ^I	0,41±0,05	0,35±0,00	0,37±0,00
Стеариновая C18:0	13,63±0,02 ^V	13,39±0,39 ^V	14,51±0,39	14,38±0,00	15,03±0,02 ^{I,II}
Нондекановая C19:0	0,00±0,00	0,01±0,01	0,02±0,01	0,00±0,00	0,03±0,02
Арахидовая C20:0	0,57±0,30	0,12±0,01 ^V	0,18±0,07	0,11±0,00	0,16±0,00 ^{II}
Пальмитолеиновая C16:1	2,22±0,34	1,51±0,11	1,67±0,09	1,46±0,00	1,72±0,03
Гептадеценная C17:1	0,29±0,07	0,22±0,04	0,28±0,05	0,24±0,00	0,26±0,02
Олеиновая C18:1	41,34±4,62	47,54±0,55 ^V	43,96±2,42	48,07±0,00	45,31±0,12 ^{II}
Гондоиновая C20:1	0,91±0,00	0,90±0,05	1,03±0,12	0,93±0,00	0,93±0,13
Линолевая C18:2	12,65±1,45	9,44±0,28 ^V	11,73±1,25	8,26±0,00	10,20±0,07 ^{II}
Эйкозодиеновая C20:2	0,32±0,00 ^V	0,28±0,07 ^V	0,31±0,06	0,32±0,00	0,46±0,01 ^{I,II,III}
Арахидоновая C20:4	0,07±0,05	0,13±0,02 ^{III}	0,05±0,02 ^{II}	0,05±0,00	0,09±0,06

По G-системе крови свиньи с генотипом G^{a/b} достоверно (P<0,05) уступают сверстницам по содержанию маргариновой кислоты C17:0 и превосходят по концентрации стеариновой C18:0, а особи с генотипом G^{a/a} уступают по концентрации стеариновой кислоты C18:0, с генотипом G^{b/b} – превосходят сверстниц по содержанию маргариновой кислоты C17:0 (см. табл. 3).

Таблица 3

Содержание жирных кислот у свиней разных генотипов по G-системе групп крови, %
Content of fatty acids in pigs of different genotypes according to the G-system of blood groups, %

Жирная кислота	Генотип крови		
	a/a, n=3	a/b, n=12	b/b, n=4
Номер генотипа	I	II	III
1	2	3	4
Миристиновая C14:0	0,96±0,03	0,93±0,06	0,93±0,07
Пентадекановая C15:0	0,00±0,00	0,01±0,01	0,01±0,01
Пальмитиновая C16:0	24,03±1,21	24,24±0,27	24,31±0,5
Маргариновая C17:0	0,44±0,06	0,35±0,02 ^{III}	0,46±0,04 ^{II}
Стеариновая C18:0	12,83±0,52 ^{II}	14,41±0,28 ^I	13,89±0,33
Нондекановая C19:0	0,00±0,00	0,02±0,01	0,01±0,01
Арахидовая C20:0	0,09±0,04	0,21±0,07	0,22±0,08
Пальмитолеиновая C16:1	1,64±0,17	1,66±0,11	1,68±0,12
Гептадеценная C17:1	0,24±0,10	0,26±0,03	0,25±0,02

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Олеиновая C18:1	48,53±1,01	45,03±1,48	43,98±2,62
Гондоиновая C20:1	1,03±0,05	0,92±0,07	0,94±0,11
Линолевая C18:2	9,90±0,03	10,61±0,72	11,29±1,65
Эйкозодиеновая C20:2	0,23±0,10	0,31±0,04	0,43±0,06
Арахидоновая C20:4	0,07±0,03	0,08±0,02	0,12±0,04

Таблица 4

Содержание жирных кислот у свиней разных генотипов по L-системе групп крови, %
Content of fatty acids in pigs of different genotypes according to the L-system of blood groups, %

Жирная кислота	Генотип крови			
	adhjl/adhjl, n=4	adhjl/bcgi, n=1	bcgi/bcgi, n=7	bcgi/bdfl, n=7
Номер генотипа	I	II	III	IV
Миристиновая C14:0	0,78±0,08	1,30±0,00	0,99±0,07	0,91±0,04
Пентадекановая C15:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,02±0,01	0,01±0,01
Пальмитиновая C16:0	24,50±0,22	24,50±0,00	23,50±0,57	24,74±0,32
Маргариновая C17:0	0,34±0,02 ^{III}	-	0,48±0,03 ^{I,IV}	0,35±0,03 ^{III}
Стеариновая C18:0	14,52±0,18	13,60±0,00	13,81±0,31	14,09±0,55
Нондекановая C19:0	0,00±0,00	-	0,02±0,01	0,01±0,01
Арахидоновая C20:0	0,12±0,01	1,00±0,00	0,21±0,06	0,11±0,02
Пальмитолеиновая C16:1	1,57±0,08	2,70±0,00	1,63±0,12	1,60±0,08
Гептадеценная C17:1	0,22±0,01	0,40±0,00	0,30±0,04	0,21±0,04
Олеиновая C18:1	47,15±0,8	34,80±0,00	44,28±2,41	46,93±0,77
Гондоиновая C20:1	0,91±0,11	-	0,93±0,08	0,98±0,06
Линолевая C18:2	9,41±0,49 ^{II}	14,70±0,00	11,77±1,23	9,63±0,35
Эйкозодиеновая C20:2	0,34±0,05	-	0,28±0,08	0,33±0,06
Арахидоновая C20:4	0,09±0,04	0,00±0,00	0,08±0,03	0,11±0,02

Для выявления связей между количественным содержанием жирных кислот рассчитали коэффициенты корреляции (табл. 5). Положительная корреляция выявлена между НЖК миристиновой C14:0 и арахидоновой C20:0 (+0,62, $P<0,01$), но отрицательная – между НЖК миристиновой C14:0 и МНЖК олеиновой C18:1, (-0,69, $P<0,01$). Между НЖК миристиновой C14:0 и ПНЖК линолевой C18:2 корреляция составляет +0,70 ($P<0,001$), НЖК маргариновой C:17:0 и МНЖК гептадеценной C17:1 +0,79 ($P<0,001$). Высокие показатели корреляционной связи выявлены у НЖК арахидоновой кислоты C20:0 с МНЖК пальмитолеиновой C16:1, составляющие +0,75 ($P<0,001$), у олеиновой C18:1 и ПНЖК линолевой C18:2 они равны -0,94 ($P<0,001$), а между МНЖК олеиновой C18:1 и ПНЖК арахидоновой C20:0 составляет 0,73 ($P<0,001$).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показывают незначительную силу влияния генотипов крови на изменчивость содержания жирных кислот во внутримышечном жире (табл. 6). Очевидно, содержание жирных кислот в организме свиней соответствует физиологическим нормам, поэтому не наблюдается сопряженной изменчивости признака с учётом групп крови. Самая высокая сила влияния отмечена по породному фактору – нондекановой C19:0 и эйкозалиеновой C20:2 кислотам; при оценке генотипов крови системы A на изменчивость концентрации пальмитиновой C16:0 и эйкозодиеновой C20:2 кислот отмечена сила

Таблица 5

Коэффициенты корреляции жирных кислот во внутримышечном жире свиней
Correlation coefficients of fatty acids in intramuscular fat of pigs

Жирная кислота	НЖК						МНЖК				ПНЖК		
	пентадекановая C15:0	пальмитиновая C16:1	маргаритиновая C17:0	стеариновая C18:0	нондекановая C19:0	арахиновая C20:0	пальмитолеиновая C16:1	гептадеценная C17:1	олеиновая C18:1	гондоиновая C20:1	линолевая C18:2	эйкозациеновая C20:2	арахидиновая C20:4
Миристиновая C14:0	0,36	0,03	-0,23	-0,09	-0,07	0,62**	0,39	-0,14	-0,69**	-0,04	0,70***	0,2	-0,06
Пентадекановая C15:0		-0,04	0,13	0,3	0,53	0,14	-0,08	-0,07	-0,46	-0,48	0,45	0,43	-0,18
Пальмитиновая C16:1			-0,46	-0,03	-0,06	-0,07	-0,28	-0,5	0,09	-0,4	-0,31	0,1	0,35
Маргаритиновая C17:0				-0,18	0,26	-0,15	0,22	0,79**	0,46	0,16	-0,39	-0,19	-0,24
Стеариновая C18:0					0,47	-0,08	0,09	0,15	-0,28	0,14	0,1	0,06	-0,09
Нондекановая C19:0						-0,03	-0,09	0,41	-0,36	0,11	0,15	0,34	-0,08
Арахидиновая C20:0							0,75***	0,2	-0,80***	-0,33	0,73***	-0,09	-0,42
Пальмитолеиновая C16:1								0,49	-0,54	0,19	0,46	-0,53	-0,48
Гептадеценная C17:1									0,06	0,12	-0,11	-0,33	-0,29
Олеиновая C18:1										-0,04	-0,94***	-0,31	0,41
Гондоиновая C20:1											0,17	0,18	0,21
Линолевая C18:2												0,43	-0,42
Эйкозациеновая C20:2													0,38
Арахидиновая C20:4													

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

влияния на уровне 0,262 – 0,285, по системе В самые высокие значения силы влияния отмечены при анализе гептадеценовой C17:1 и эйкозодиеновой C20:2 – 0,192–0,199, по системе крови D – стеариновой C18:0, олеиновой C18:1 кислот – в пределах 0,276–0,320. Наибольшая сила влияния выявлена по системе крови E на изменчивость пальмитиновой C16:1, гондоиновой C20:1 кислот – 0,418–0,602, в системе G – маргариновой C17:0 и стеариновой C18:0 – 0,258–0,298. По системе L наибольшая сила влияния проявляется на изменчивость маргариновой C17:0 и гондоиновой C20:1 кислоты – 0,202–0,457. Отмечено сильное влияние породного фактора и генотипов А и В систем крови на изменчивость содержания эйкозодиеновой кислоты C20:2.

Таблица 6

Сила влияния оцениваемых факторов на изменчивость жирных кислот
во внутримышечном жире свиней

The strength of the influence of the assessed factors on the variability of fatty acids in intramuscular fat of pigs

Жирная кислота	Порода	Система крови						
		A	B	D	E	G	F	L
НЖК								
Миристиновая C14:0	0,176	0,089	0,144	0,052	0,013	0,241	-	0,170
Пентадекановая C15:0	0,147	0,110	0,035	0,071	0,377	0,170	-	0,017
Пальмитиновая C16:0	0,243	0,262	0,021	0,111	0,418	0,237	-	0,139
Маргариновая C17:0	0,214	0,141	0,069	0,250	0,357	0,258	-	0,457
Стеариновая C18:0	0,157	0,016	0,093	0,276	0,178	0,298	-	0,092
Нондекановая C19:0	0,415	0,030	0,104	0,131	0,242	0,129	-	0,022
Арахидиновая C20:0	0,046	0,107	0,108	0,117	0,249	0,141	-	0,068
МНЖК								
Пальмитолеиновая C16:1	0,140	0,039	0,159	0,012	0,253	0,247	-	0,183
Гептадеценовая C17:1	0,085	0,071	0,192	0,079	0,313	0,235	-	0,090
Олеиновая C18:1	0,185	0,085	0,120	0,320	0,079	0,059	-	0,045
Гондоиновая C20:1	0,247	0,026	0,046	0,140	0,602	0,196	-	0,202
ПНЖК								
Линолевая C18:2	0,087	0,035	0,134	0,166	0,085	0,184	-	0,131
Эйкозодиеновая C20:2	0,529	0,285	0,199	0,111	0,435	0,065	-	0,190
Арахидоновая C20:4	0,081	0,069	0,141	0,041	0,136	0,140	-	0,133

По проведенным исследованиям сделаны следующие выводы.

1. Полученные данные о взаимосвязи содержания исследованных жирных кислот с генотипами крови могут служить первичной основой для селекции свиней в целях улучшения качества мяса и сала.

2. Установлены закономерности содержания жирных кислот во внутримышечном жире свиней разных пород. При этом некоторые кислоты выявлены у животных с высокой концентрацией, а другие – с низкой. К НЖК с высокой концентрацией можно отнести пальмитиновую C16:0 – от 22,61 до 25,26 % и стеариновую C18:0 – 13,45–14,84 %. МНЖК с высокой

концентрацией – олеиновая C18:1 – 40,73–49,55 %, ПНЖК – линолевая C18:2 – 9,17–12,58 %. Концентрации остальных исследованных кислот не превышали 1,94 %.

3. Оценка концентрации жирных кислот у свиней разных генотипов по системе E групп крови показала достоверные различия между животными с генотипами $E^{bdg/edg}$, $E^{edg/edf}$, $E^{bdg/edf}$. В G-системе крови свиньи имеют достоверные различия по генотипам $G^{a/b}$, $G^{a/a}$, $G^{b/b}$. У животных, ранжированных по генотипам системы L, содержание маргариновой C17:0 кислоты в мышцах носителей генотипов $L^{adhj/adhj}$ и $L^{bcgi/bdfi}$ ниже, чем у животных генотипа $L^{bcgi/bdgi}$.

4. Анализ коэффициентов корреляций позволяет выделить высокую степень положительной связи между маргариновой и гептадеценовой кислотами ($r = +0,79$), а высокая степень отрицательной связи отмечена между олеиновой и линолевой жирными кислотами ($r = -0,94$). Выявленные закономерности можно использовать при селекции свиней на повышение качества мяса.

5. Наиболее высокая сила влияния на изменчивость ряда жирных кислот отмечена по системам крови A, D, E, L – она находится в пределах от 0,2 до 0,6 и по многим жирным кислотам сопоставима с влиянием породного фактора на изменчивость оцениваемых признаков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Palmquist D.L.* Omega-3 Fatty Acids in Metabolism, Health, and Nutrition and for Modified Animal Product Foods // *The Professional Animal Scientist*. – 2009. – Vol. 25. – P. 207–249. – [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30713-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30713-0).
2. *Poledne R.* A new atherogenic effect of saturated fatty acids // *Physiol Res*. – 2013. – Vol. 62 (2). – P. 139–43. – DOI: 10.33549/physiolres.932443. – Epub 2012 Dec 13; PMID: 23234411.
3. *Талантов П.В.* Доказательная медицина от магии до поисков бессмертия. – М.: АСТ: CORPUS, 2021. – 560 с.
4. *Association of IFNA16 and TNFRSF19 Polymorphisms with Intramuscular Fat Content and Fatty Acid Composition in Pigs* / S. Mekchay, N. Pothakam, W. Norseeda [et al.] // *Biology*. – 2022. – Vol. 11 (1). – P. 109. – <https://doi.org/10.3390/biology11010109>.
5. *The role of dietary oxidized cholesterol and oxidized fatty acids in the development of atherosclerosis* / I. Staprans, X.M. Pan, J.H. Rapp, K.R. Feingold // *Mol Nutr Food Res*. – 2005. – Nov, Vol. 49 (11). – P. 1075–1082. – DOI: 10.1002/mnfr.200500063; PMID: 16270280.
6. *Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork longissimus muscle* / S. Zhang, T.J. Knight, K.J. Stalder [et al.] // *J Anim Sci*. – 2007. – Mar, Vol. 85 (3). – P. 583–591. – DOI: 10.2527/jas.2006-239; PMID: 17060410.
7. *Genetic correlation of fatty acid composition with growth, carcass, fat deposition and meat quality traits based on GWAS data in six pig populations* / Zhang Yifeng, Junjie Zhang, Huanfa Gong [et al.] // *Meat Science*. – 2019. – Vol. 150. – P. 47–55. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.12.008.
8. *Association of single nucleotide polymorphisms in fat metabolism candidate genes with fatty acid profiles of muscle and subcutaneous fat in heavy pigs* / B. Renaville, N. Bacciu, M. Lanzoni [et al.] // *Meat Sci*. – 2018. – May, Vol. 139. – P. 220–227. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.02.005; PMID: 29459298.
9. *Effects of genetic variants for the swine FABP3, HMGA1, MC4R, IGF2, and FABP4 genes on fatty acid composition* / J. Hong, D. Kim, K. Cho [et al.] // *Meat Sci*. – 2015. – Dec, Vol. 110. – P. 46–51. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.06.011; PMID: 26172243.
10. *Enig M., Fallon S.* From: Nourishing Traditions: The Cookbook that Challenges Politically Correct Nutrition and the Diet Dictocrats by Sally Fallon with Mary G. Enig, PhD (NewTrends Publishing 2000). – 2023. – www.newtrendspublishing.com or www.counterculture-books.co.uk.
11. *Effect of dietary conjugated linoleic acid in combination with monounsaturated fatty acids on the meat composition and quality traits of dry-cured loin* / D. Martin, T. Antequera, E. Muriel [et al.] // *Meat Sci*. – 2008. – Dec, Vol. 80 (4). – P. 1309–1319. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.06.006; PMID: 22063873.

12. *Exploring evidence of positive selection reveals genetic basis of meat quality traits in Berkshire pigs through whole genome sequencing* / H. Jeong, K.D. Song, M. Seo [et al.] // *BMC Genet.* – 2015. – Aug, Vol. 2, N 16. – P. 104. – DOI: 10.1186/s12863-015-0265-1; PMID: 26289667; PMCID: PMC4545873.
13. *Genetic parameters of meat quality traits in two pig breeds measured by rapid methods* / E. Gjerlaug-Enger, L. Aass, J. Odegård, O. Vangen // *Animal.* – 2010. – Nov, Vol. 4 (11). – P. 1832–1843. – DOI: 10.1017/S175173111000114X. PMID: 22445144.
14. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
15. *Матюшек Й.* Группы крови у крупного рогатого скота. – Киев: Урожай, 1964. – 145 с.
16. *Тихонов В.Н.* Изучение групп крови животных. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1965. – 64 с.
17. *Серебровский А.С.* Генетический анализ. – М.: Наука, 1970. – 343 с.
18. *Машуров А.М., Сухова Н.О.* Фонд антигенов пород крупного рогатого скота и родственных ему видов. – Новосибирск, 1994. – 125 с.
19. *Группы крови крупного рогатого скота и их использование в селекционной работе: метод. рекомендации* / Н.О. Сухова, В.С. Деева, И.Н. Лепехин, Д.В. Говорухин. – Новосибирск, 1992. – 48 с.

REFERENCES

1. Palmquist D.L., Omega-3 Fatty Acids in Metabolism, Health, and Nutrition and for Modified Animal Product Foods, *The Professional Animal Scientist*, 2009, Vol. 25, P. 207–249, available at: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30713-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30713-0).
2. Poledne R., A new atherogenic effect of saturated fatty acids, *Physiol Res*, 2013, Vol. 62 (2), P. 139–43, DOI: 10.33549/physiolres.932443. Epub 2012 Dec 13; PMID: 23234411.
3. Talantov P.V. *Dokazatel'naya medicina ot magii do poiskov bessmertiya* (Evidence-Based Medicine: From Magic to the Quest for Immortality), Moscow: AST: CORPUS, 2021, 560 p.
4. Mekchay S., Pothakam N., Norseeda W., Supakankul P., Teltathum T., Liu G., Naraballobh W., Khamlor T., Sringarm K., Krutmuang P., Association of IFNA16 and TNFRSF19 Polymorphisms with Intramuscular Fat Content and Fatty Acid Composition in Pigs, *Biology*, 2022, Vol. 11 (1), P. 109, available at: <https://doi.org/10.3390/biology11010109>.
5. Staprans I., Pan X.M., Rapp J.H., Feingold K.R., The role of dietary oxidized cholesterol and oxidized fatty acids in the development of atherosclerosis, *Mol Nutr Food Res*, 2005, Nov, Vol. 49 (11), P. 1075–1082, DOI: 10.1002/mnfr.200500063; PMID: 16270280.
6. Zhang S, Knight T.J., Stalder K.J., Goodwin R.N., Lonergan S.M., Beitz D.C., Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork longissimus muscle, *J Anim Sci*, 2007, Mar, Vol. 85 (3), P. 583–591, DOI: 10.2527/jas.2006-239; PMID: 17060410.
7. Zhang Yifeng, Junjie Zhang, Huanfa Gong, Leilei Cui, Bin Yang, Genetic correlation of fatty acid composition with growth, carcass, fat deposition and meat quality traits based on GWAS data in six pig populations, *Meat Science*, 2019, Vol. 150, P. 47–55, DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.12.008.
8. Renaville B., Bacciu N., Lanzoni M., Mossa F., Piasentier E., Association of single nucleotide polymorphisms in fat metabolism candidate genes with fatty acid profiles of muscle and subcutaneous fat in heavy pigs, *Meat Sci*, 2018, May, Vol. 139, P. 220–227, DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.02.005; PMID: 29459298.
9. Hong J, Kim D, Cho K, Sa S, Choi S, Kim Y, Park J, Schmidt GS, Davis ME, Chung H., Effects of genetic variants for the swine FABP3, HMGA1, MC4R, IGF2, and FABP4 genes on fatty acid composition, *Meat Sci*, 2015, Dec, Vol. 110, P. 46–51, DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.06.011; PMID: 26172243.
10. Enig M., Fallon S. *From: Nourishing Traditions: The Cookbook that Challenges Politically Correct Nutrition and the Diet Dictocrats* by Sally Fallon with Mary G. Enig, PhD (NewTrends Publishing 2000), 2023, available at: www.newtrendspublishing.com or www.counterculture-books.co.uk.
11. Martin D., Antequera T., Muriel E., Perez-Palacios T., Ruiz J., Effect of dietary conjugated linoleic acid in combination with monounsaturated fatty acids on the meat composition and quality traits of dry-cured loin, *Meat Sci*, 2008, Dec, Vol. 80 (4), P. 1309–1319, DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.06.006; PMID: 22063873.
12. Jeong H, Song KD, Seo M, Caetano-Anollés K, Kim J, Kwak W, Oh JD, Kim E, Jeong DK, Cho S, Kim H, Lee HK, Exploring evidence of positive selection reveals genetic basis of meat quality traits in Berkshire

- pigs through whole genome sequencing, *BMC Genet*, 2015, Aug, Vol. 2, N 16, P. 104, DOI: 10.1186/s12863-015-0265-1; PMID: 26289667; PMCID: PMC4545873.
13. Gjerlaug-Enger E., Aass L., Odegård J., Vangen O., Genetic parameters of meat quality traits in two pig breeds measured by rapid methods, *Animal*, 2010, Nov, Vol. 4 (11), P. 1832–1843, DOI: 10.1017/S175173111000114X. PMID: 22445144.
 14. Lakin G.F. *Biometriya* (Biometrics), ucheb. posobie, Moscow: Vyssh. shk., 1990, 352 p.
 15. Matoushek J. *Gruppy krovi u krupnogo rogatogo skota* (Blood Types in Cattle), Kiev: Urozhaj, 1964, 145 p.
 16. Tihonov V.N. *Izuchenie grupp krovi zhivotnyh* (Study of animal blood groups), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1965, 64 p.
 17. Serebrovskij A.S. *Geneticheskij analiz* (Genetic Analysis), Moscow: Nauka, 1970, 343 p.
 18. Mashurov A.M., Suhova N.O., *Fond antigenov porod krupnogo rogatogo skota i rodstvennyh emu vidov* (Antigen Fund of Cattle Breeds and Related Species), Novosibirsk, 1994, 125 p.
 19. Suhova N.O., Deeva V.S., Lepekhin I.N., Govoruhin D.V., *Gruppy krovi krupnogo rogatogo skota i ih ispol'zovanie v selekcionnoj rabote* (Blood Groups of Cattle and Their Use in Breeding Work), Methodological recommendations, Novosibirsk, 1992, 48 p.