

О. И. Станишевская, Е. С. Федорова, З. Л. Федорова

Создание ресурсной популяции для изучения структурной изменчивости генома кур и поиска вариантов генов, детерминирующих проявление хозяйственно полезных фенотипов мясной продуктивности

Аннотация.

Целью исследований было получение фенотипических характеристик кур ресурсной популяции, характеризующих развитие опорно-двигательного аппарата и телосложения для последующего изучения структурной изменчивости генома кур и поиска вариантов генов, детерминирующих проявление фенотипов мясной продуктивности, включая развитие костно-мышечной системы.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся молодняк поколения F0 узбекской бойцовой породы кур (n=65) и корниш (n=79); гибридов F1 (♂ корниш x ♀ узбекской бойцовой; n=117) и F2 (♂ F1 x ♀ F1; n=133). В суточном, 2-х и 4-недельном возрасте у цыплят определена живая масса (г). Промеры статей экстерьера проводились в возрасте 4-х недель. Оценены (см): обхват груди; обхват плюсны; длина кия; длина плюсны; рассчитаны индексы телосложения.

Результаты. Цыплята исходных пород F0 и гибридов F1 и F2 достоверно различались по живой массе в возрасте 2-х и 4-х недель жизни. Живая масса цыплят генофондной узбекской бойцовой породы в 3,5-4,2 раза ниже, чем у цыплят породы корниш; гибриды F1 и F2 имели промежуточные показатели. У цыплят породы корниш (F0) коэффициент изменчивости по живой массе в возрасте 4-х недель жизни составил 13,8%; у цыплят узбекской бойцовой породы (F0) — 15,0%; у гибридов F1 и F2 — 20,5 и 17,6%, соответственно. Максимальные величины индексов массивности, эйрисомии и укороченности получены на цыплятах породы корниш, цыплята узбекской бойцовой породы имели низкие показатели; гибриды F1 и F2 — промежуточные. Установлен гетерозис по относительной длине плюсны у гибридов F1 и F2 по сравнению с исходными породами. Полученные данные доказали целесообразность использования пород корниш и узбекская бойцовая для создания ресурсной популяции с целью проведения исследований по поиску вариантов генов, детерминирующих проявление фенотипов мясной продуктивности.

Ключевые слова: мясные куры; ресурсная популяция; гибриды; мясная продуктивность; промеры статей экстерьера; индексы телосложения.

Авторы:

Станишевская О. И. — доктор биологических наук; e-mail: olgastan@list.ru;

Федорова Е. С. — кандидат биологических наук; e-mail: Osot2005@yandex.ru;

Федорова З. Л. — кандидат сельскохозяйственных наук; e-mail: zoya-fspb@yandex.ru.

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»; 196625, Россия, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, д. 55а.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках темы Государственного задания FGGN-2023-0002

Введение. Сохранение биоразнообразия сельскохозяйственных птиц признано общемировой актуальной задачей современного птицеводства, а рациональное использование генофондных пород является необходимым условием их сохранения. В связи с этим необходимо проведение ис-

следований по изучению фенотипической и генетической изменчивости хозяйственно-значимых признаков у кур генофондных пород и популяций (включая развитие живой массы, крепости конституции в целом и опорно-двигательного аппарата в частности) с целью вовлечения этих при-

знаков в программы селекции, по изучению сочетаемости пород при скрещивании для создания новых селекционных форм.

Трендом современного мясного промышленного птицеводства является создание быстрорастущих мясных кроссов, однако такому селекционному показателю, как прочность костно-связочного аппарата, уделяется недостаточное внимание в связи с трудностью его прижизненной оценки. В результате многих поколений интенсивной селекции птиц на повышение мясной продуктивности при отсутствии контроля этого признака возникли диспропорции в опорно-двигательной системе птиц — гипертрофированная мускулатура и слабый костно-связочный аппарат. Слабость костных и связочных структур может приводить к деформациям скелета, остеопорозу и переломам, что влечет за собой экономические потери за счет снижения показателей сохранности птицы, ухудшению качества тушки, снижению воспроизводительных способностей петухов. Генофондные породы кур, обладающие большим разнообразием по признакам мясной продуктивности и крепости костяка, могут быть использованы в качестве модельных объектов для определения генетических маркеров, связанных с этими показателями.

Исследования на различных видах животных доказали, что не только паратипические (условия кормления и содержания, включая содержание Са в рационе и доступность моциона), но и генетические факторы играют значительную роль в формировании прочности костяка и развития остеопороза. Было определено, что коэффициент наследуемости показателя минеральной плотности костей находится на уровне от 0,46 до 0,92 [1]; размера большеберцовой кости как по длине, так и по толщине (напрямую влияет на производительность мяса), — $0,59 \pm 0,04$ [2]; прочности костей на излом — в 0,58 [3]. Особенности в формировании костяка птицы зависят также от половой принадлежности особи и возрастного периода развития опорно-двигательного аппарата [4].

Определение генетических маркеров, связанных с качеством костей, имеет первостепенное значение для улучшения генетически обусловленных признаков, связанных с костно-связочным аппаратом у домашней птицы. Исследователи из Китая [5] провели полногеномный анализ ассоциаций фенотипических показателей, чтобы выявить генетическую основу качества большеберцовой кости у уток на примере локальной породы Nonghua. Среди 11 аннотированных генов-кандидатов *TAPT1*, *BST1* и *STIM2* были связаны с показателем диаметра, *ZNF652*,

IGF2BP1, *CASK* и *GREB1L* были связаны с показателями веса и прочности. *RFX8*, *GLP1R* и *DNAAF5* были идентифицированы для содержания золь, кальция и фосфора, соответственно. Также были проведены анализы баз данных KEGG и GO для аннотированных генов. *STIM2* и *BST1* были определены в сигнальном пути кальция и метаболическом пути ниацина и никотинамида и могут являться ключевыми генами-кандидатами, влияющими на фенотипы качества костей. Анализ экспрессии генов-кандидатов, таких как *STIM2*, *BST1*, *TAPT1* и *CASK*, показал более высокие уровни экспрессии в костях по сравнению с другими тканями. Полученные авторами результаты внесли значительный вклад в понимание механизмов формирования качественных показателей большеберцовой кости и определили ряд генетических маркеров, которые могут использоваться в селекции птиц. Очевидно, что исследования должны быть продолжены на разных видах и породах сельскохозяйственных птиц. Таким образом, повышение прочности костей может служить долгосрочной стратегией для решения проблемы остеопороза у птицы.

С целью поиска молекулярно-генетических маркеров хозяйственно-значимых признаков принято создавать так называемые «ресурсные популяции» животных, особи в которых значительно различаются по степени выраженности изучаемого признака. Получение поколения F2 должно обеспечивать достаточное для исследований разнообразие генотипов и их фенотипических проявлений [6].

Целью настоящих исследований было получение фенотипических характеристик кур ресурсной популяции, характеризующих развитие опорно-двигательного аппарата и телосложения для последующего изучения структурной изменчивости генома кур и поиска вариантов генов, детерминирующих проявление хозяйственно-полезных фенотипов мясной продуктивности, включая развитие костно-мышечной системы.

Материалы и методы. В проводимых нами исследованиях в качестве F0 были выбраны две породы кур [7]. Узбекская бойцовая порода является медленно растущей, но характеризуется высокой живой массой взрослой птицы, особой прочностью костно-связочного аппарата, поскольку с глубокой древности велась народная селекция по бойцовским качествам, массивности телосложения и крепости костяка.

Описательный стандарт породы включает следующие показатели. Корпус длинный, широкий и глубокий с вертикальным поставом. Голова небольшая, с развитыми надбровными дугами. Глаза с выражением хищной дикой птицы. Сереежки

отсутствуют или слабо развиты. Шея длинная, мускулистая, изогнута вперед. Хвост короткий, компактный, образующий со спиной тупой угол. Крылья плотно прилегают к телу. Ноги длинные, крепкие, хорошо расставленные. Длина голени у петуха не менее 16 см, у курицы — 13 см. Плюсны желтые. Окраска оперения разнообразна: красная, коричневая, черная, палевая, лососевая, пестрая, черно-красная и др. Отбор по окраске оперения не ведется. Живая масса петухов 4,0–7,0 кг, кур 2,8–3,5 кг. Куры сносят за год 100–120 яиц светло-коричневого цвета массой 60 г. Яйца имеют вытянутую конусообразную форму. Цыплята позднооперяющиеся.

В качестве породы с диаметрально противоположными качественными характеристиками опорно-двигательного аппарата была выбрана порода корниш белый промышленной линии.

Порода корниш была выведена в середине девятнадцатого столетия в Великобритании. Птица породы корниш имеет экстерьер, типичный для кур мясного направления продуктивности: туловище массивное; голова большая, шея средней длины; спина длинная, широкая; грудь широкая, глубокая, округлая, хорошо обмускуленная, ноги крепкие широко расставленные, цвет плюсны желтый; оперение плотное, блестящее, белое доминантное, обусловленное наличием в генотипе этой птицы доминантного гена ингибитора J; гребень красный, листовидный, большой; сережки большие; ушные мочки небольшие, красные; глаза оранжевые; клюв крепкий, короткий и широкий. Порода отличается быстрым ростом молодняка — к 7-й неделе имеют живую массу 2,2–2,7 кг. Живой вес взрослого петуха 3,75–4,5 кг, курицы — 2,75–3,25 кг. Высокое качество мяса — имеет очень нежный вкус. Яйценоскость на уровне 130–160 яиц в год. Масса яиц — 65–69 г, цвет яиц — коричневый. Половая зрелость птицы достигается к 6–7-му месяцу. Проблемой быстрорастущих промышленных корнишей является слабость ног, поэтому в племенных хозяйствах вынужденно применяется лимитированное кормление племенной птицы для ограничения развития живой массы сверх нормативных показателей.

Объектом данного исследования являлся молодняк поколения F0 узбекской бойцовой породы кур (n=65) и породы корниш (n=79); молодняк гибридов F1 (♂ корниш x ♀ узбекской бойцовой; n=117), молодняк гибридов F2 (♂ F1 x ♀ F1; n=133), выращенных в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ. При создании вариантов скрещивания было учтено происхождение родительских пар во избежание инбридинга; половое соотношение 1♂ : 8♀; использовалось искусственное осе-

менение кур. Цыплята были закольцованы индивидуальными крылометками на выводе с учетом происхождения.

В суточном, в 2-х и 4-недельном возрасте у цыплят определена живая масса (г). Промеры статей экстерьера проводились в возрасте 4 недели жизни. Оценены следующие основные параметры экстерьера: живая масса (г); обхват груди (см); обхват плюсны (см); длина киля (см); длина плюсны (см). На основании промеров были рассчитаны индексы телосложения.

Индекс массивности вычисляется отношением массы туловища к его длине, выраженным в процентах. Характеризует компактность телосложения и упитанность птицы; породные и возрастные изменения в телосложении.

$$\text{Индекс массивности} = 100 \times \frac{\text{Живая масса}}{\text{Длина корпуса}}$$

Индекс укороченности нижней части туловища, выражающий отношение длины гребня килевой кости к длине корпуса, характеризует мясные качества и развитие внутренних органов, расположенных в грудной клетке:

$$\text{Индекс укороченности} = 100 \times \frac{\text{Длина киля}}{\text{Длина корпуса}}$$

Индекс эйризомии отражает компактность телосложения птицы. Характеризует развитие передней части тела, и косвенно — степень развития грудной мускулатуры:

$$\text{Индекс эйризомии} = 100 \times \frac{\text{Обхват груди}}{\text{Длина корпуса}}$$

Индекс высоконогости, вычисляемый соотношением длины плюсны к длине корпуса, характеризует высоту постава птицы:

$$\text{Индекс высоконогости (длинноногости)} = 100 \times \frac{\text{Длина плюсны}}{\text{Длина корпуса}} [8, 9].$$

Для оценки живой массы птицу взвешивали на электронном безмене WeiHeng S-45 с точностью до 1 г. Кормление цыплят осуществлялось полнорационными специализированными комбикормами для бройлеров ПК-5; цыплят выращивали в групповых клетках по 25 голов.

Статистическая обработка материала проведена с использованием компьютерной программы (Excel, Statistica).

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований определена динамика изменения живой массы цыплят F0, F1, F2 ресурсной популяции от вывода до 4-х недель жизни (рис. 1).

При практически равной массе в суточном возрасте, цыплята исходных пород F0 (узбекская бойцовая и корниш) и гибридов F1 и F2 достоверно различались по живой массе в возрасте 2-х и 4-х недель жизни. Наивысшая интенсивность нарастания живой массы ожидаемо отмечена у цыплят породы корниш промышленной линии. Цыплята генофондной узбекской бойцовой породы отличаются низкой скоростью роста в раннем периоде выращивания; их живая масса в 3,5–4,2 раза ниже, чем у цыплят породы корниш. Этот факт подтверждает правильность выбора контрастных пород для создания ресурсной популяции. Гибриды F1 и F2 продемонстрировали промежуточную наследуемость по развитию живой массы.

Расчет коэффициентов изменчивости (CV, %) по показателю живой массы цыплят в возрасте 4-х недель жизни показал, что в результате проведенной работы удалось увеличить степень изменчивости этого признака у гибридов F1 и F2 до 20,5–17,6 %, соответственно, по сравнению с исходными породами F0. У цыплят породы корниш (F0) коэффициент изменчивости по живой массе в возрасте 4-х недель жизни составил 13,8 %; у цыплят узбекской бойцовой породы (F0) – 15 %.

С использованием полученных в результате измерений промеров статей экстерьера 4-недельных цыплят были рассчитаны индексы телосложения, которые выражают соотношение различных частей тела. Индексы позволяют более полно охарактеризовать экстерьер птицы, установить пропорциональность в развитии и различия у сравниваемых особей, чем при использовании абсолютных показателей промеров, тем более что данные экспериментов представлены по трем поколениям.

Индекс массивности характеризует компактность телосложения и развитие признаков мясной продуктивности. Максимальная величина этого индекса получена на цыплятах породы корниш ($13,1 \pm 0,3$), обладающих высокой скоростью набора живой массы. Медленнорастущие цыплята узбекской бойцовой породы отличаются самой низкой величиной этого индекса ($3,4 \pm 0,04$); различия с корнишами составляет 3,8 раза (рис. 2). Гибриды F1 и F2 показали промежуточные результаты по сравнению с исходными породами.

Индекс эйризомии отражает развитие передней части тела и косвенно – степень развития грудной мускулатуры кур. По величине этого индекса также лидируют цыплята породы корниш, но различия между поколениями значительно менее выражены (рис. 3).

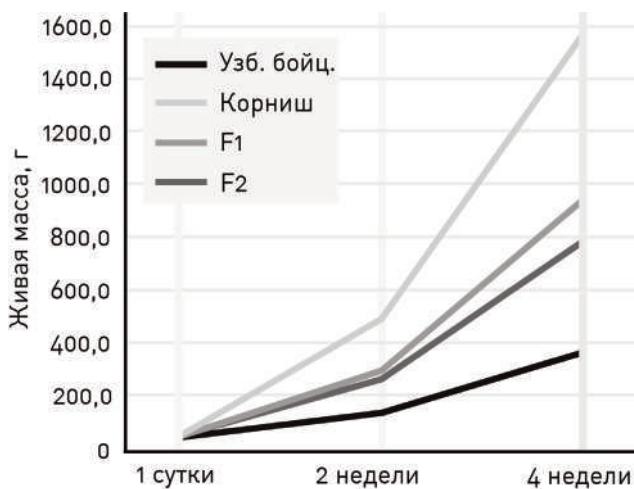


Рис. 1. Динамика развития живой массы цыплят F0, F1, F2 ресурсной популяции 0–4 нед. жизни.

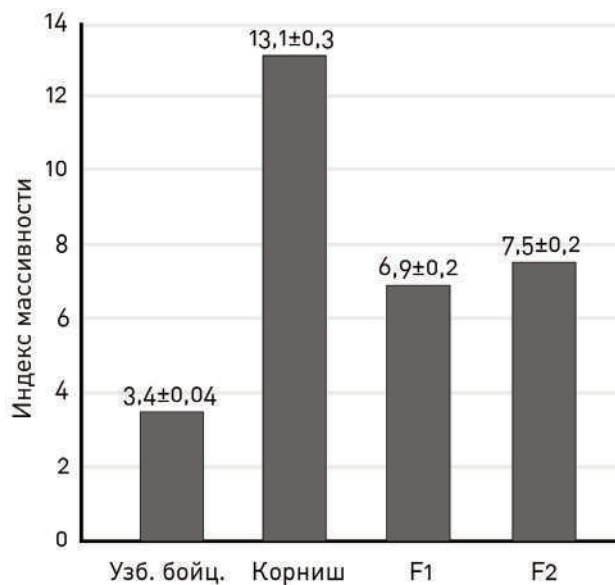


Рис. 2. Индекс массивности 4-недельных цыплят ресурсной популяции

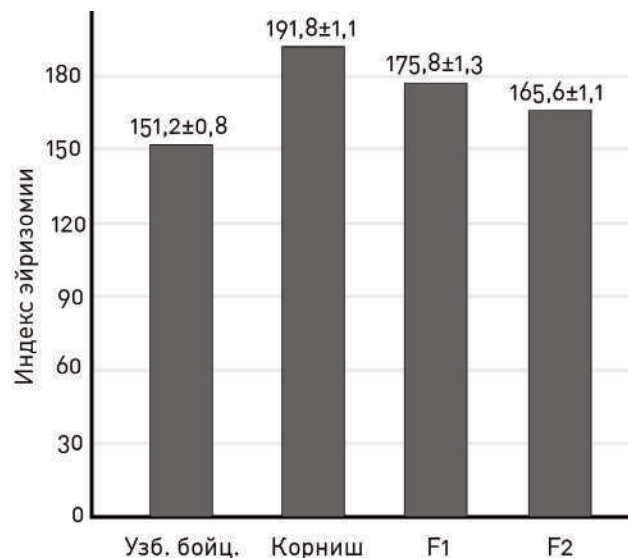


Рис. 3. Индекс эйризомии 4-недельных цыплят ресурсной популяции

Индекс укороченности нижней части туловища характеризует отчасти мясные качества и развитие внутренних органов, расположенных в грудной клетке. Получены те же закономерности, что и по индексу эйризомии (рис. 4).

Увеличить размах изменчивости по величине индексов телосложения за счет получения гибридов удалось только по индексу массивности, поскольку в нем используется показатель живой массы с высокой степенью изменчивости. Коэффициент вариации CV составил по цыплятам узбекской бойцовой породы 10,2 %; по цыплятам породы корниш 9,6 %; по гибридам F1 и F2 — 15,4 % и 12,9 %, соответственно. По остальным индексам по всем поколениям коэффициент изменчивости находился в пределах от 3,4 % до 8,6 %.

Расчет индексов высоконоговости ожидаемо показал, что цыплята породы корниш обладают более короткой плюсной относительно длины корпуса по сравнению с цыплятами породы узбекская бойцовая. Неожиданным явился факт увеличения этого индекса у гибридов F1 и F2 по сравнению с исходными породами (рис. 5). Очевидно, проявился гетерозис по данному признаку. При этом отношение средних показателей обхвата плюсны к её длине у цыплят узбекской

бойцовой породы составил 0,459, у цыплят породы корниш 0,531, у гибридов F1 и F2 — 0,487 и 0,534, соответственно. То есть плюсна «длинноногих» гибридов не стала заметно тоньше по сравнению с плюсной цыплят породы корниш.

Полученные в результате исследований данные по 4-недельным цыплятам будут дополнены информацией по росту и развитию гибридов F2 в старшем возрасте; данными по анатомической разделке цыплят и гистологическим исследованиям мышц для оценки мясных качеств, а также данными по гистологическим исследованиям костей и их минерального состава для изучения процессов оссификации и хондрогенеза. Полученная информация по фенотипам будет дополнена данными молекулярно-генетических исследований.

Выводы. Полученные экспериментальные данные по трем поколениям птицы (F0, F1, F2) доказали информативность и перспективность использования пород корниш и узбекская бойцовая для создания ресурсной популяции с целью последующего изучения структурной изменчивости генома кур и поиска вариантов генов, детерминирующих проявление хозяйственно полезных фенотипов, включая мясную продуктивность и развития костяка.

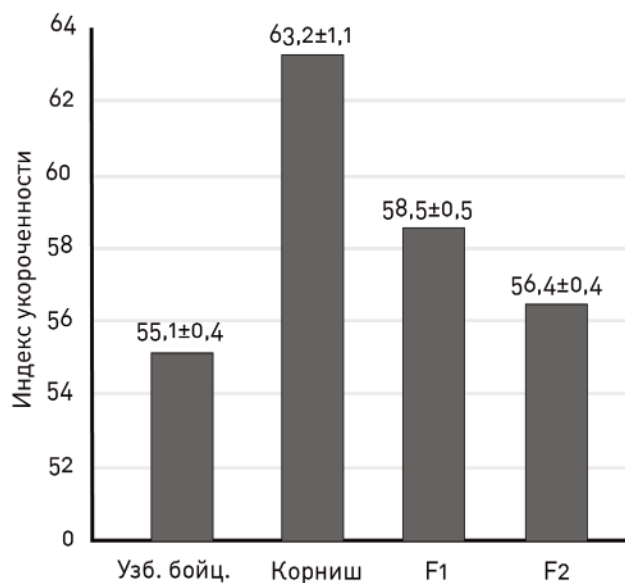


Рис. 4. Индекс укороченности 4-недельных цыплят ресурсной популяции

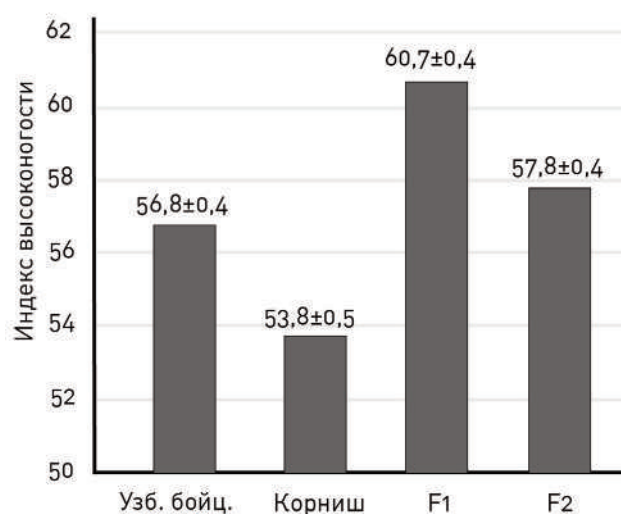


Рис. 5. Индекс высоконоговости (длинноногости) 4-недельных цыплят ресурсной популяции

Литература

1. Mullin B. H. Genome-wide association study using family-based cohorts identifies the WLS and CCDC170/ESR1 loci as associated with bone mineral density / B. H. Mullin, J. P. Walsh et al. // BMC Genomics. — 2016. — №17:136. DOI: 10.1186/s12864-016-2481-0.
2. Schreiweis M. A. Identification of quantitative trait loci associated with bone traits and body weight in an F2 resource population of chickens / M. A. Schreiweis, P. Y. Hester, D. E. Moody // Genet Sel Evol. — 2005. — №37:677. DOI: 10.1186/1297-9686-37-7-677.
3. Karsenty G. Reaching a genetic and molecular understanding of skeletal development / G. Karsenty, E. F. Wagner // Dev Cell. — 2002. — № 2(4). — P. 389–406. DOI: 10.1016/s1534-5807(02)00157-0.

4. Shim M.Y. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers / M. Y. Shim, A. B. Karnuah et. al // Poult Sci. – 2012. – № 91(8). – P. 1790–1795. DOI: 10.3382/ps.2011-01968. PMID: 22802169.
5. Charuta A. Age- and sex-related differences of morphometric, densitometric and geometric parameters of tibiotarsal bone in Ross broiler chickens / A. Charuta, M. Dzierzecka et al. // Folia Biol (Krakow). – 2013. – № 61(3–4). – P. 211–220. DOI: 10.3409/fb61_3-4.211. PMID: 24279171.
6. Lu Y. Identification of candidate genes affecting the tibia quality in Nonghua duck / Y. Lu, B. Wei et al. // Poult Sci. – 2024. – № 103(4):103515. DOI: 10.1016/j.psj.2024.103515.
7. Альбом пород и популяций кур, сохраняемых и разводимых в "Экспериментальном хозяйстве ГНУ ВНИИГРЖ Россельхозакадемии" г. Санкт-Петербург, Пушкин [Текст] / [подгот.: А. Б. Вахрамеевым и др.]. – Санкт-Петербург: б. и., 2009. – 96 с.: цв. ил.; 15х21 см.
8. Макарова А. В. Динамика роста показателей экстерьера и интерьера в онтогенезе у кур генофондных популяций и бройлеров / А. В. Макарова, А. Б. Вахрамеев, З. Л. Федорова // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2023. – №2(61). – С. 151–161. DOI: 10.29235/1817-7204-2023-61-2-151-161.
9. Вахрамеев, А. Б. Экстерьерная оценка кур / А. Б. Вахрамеев, А. В. Макарова. – Дубровицы: Эрнста, 2021. – 227 с. – ISBN 978-5-902483-64-9. – EDN RFBYIQ.

Stanishevskaya O., Fedorova E., Fedorova Z.

Creation of a resource population to study the structural variability of the chicken genome and search for gene variants that determine the manifestation of economically beneficial phenotypes of meat productivity

Abstract.

The aim of the study was to obtain phenotypic characteristics of the resource population chickens characterizing the development of the musculoskeletal system and body build for the subsequent study of the structural variability of the chicken genome and the search for gene variants that determine the manifestation of meat productivity phenotypes, including the development of the musculoskeletal system.

Materials and methods. *The object of the study were chickens of the F0 generation of the Uzbek fighting breed (n = 65) and Cornish (n = 79); hybrids F1 (♂ Cornish x ♀ Uzbek fighting; n = 117) and F2 (♂ F1 x ♀ F1; n = 133). At the age of one day, 2 and 4 weeks, the weight [g] of the chickens was determined. Exterior measurements were taken at the age of 4 weeks. The following indicators were estimated [cm]: chest girth; metatarsus girth; keel length; metatarsus length. The body conformation indices were calculated.*

Results. *The chickens of the original F0 breeds and F1, F2 hybrids differed significantly in live weight at the age of 2 and 4 weeks. The weight of the Uzbek Fighting breed gene pool chickens was 3,5–4,2 times lower than that of the Cornish breed; the F1 and F2 hybrids had intermediate indicators. In Cornish breed chickens (F0), the coefficient of variability in live weight at the age of 4 weeks was 13,8 %; in Uzbek Fighting breed chickens (F0) – 15,0 %; in F1 and F2 hybrids – 20,5 and 17,6 %, respectively. The maximum values of the massiveness, eirisy and shortness indices were obtained on Cornish breed chickens, while Uzbek Fighting breed chickens had low indicators; F1 and F2 hybrids are intermediate. Heterosis was established for the relative length of the metatarsus in F1 and F2 hybrids compared to the original breeds. The data obtained proved the feasibility of using the Cornish and Uzbek fighting breeds to create a resource population for the purpose of conducting research to find gene variants that determine the manifestation of meat productivity phenotypes.*

Key words: *meat chickens; resource population; hybrids; meat productivity; measurements of exterior traits; body-build indexes.*

Authors:

Stanishevskaya O. — Dr. Habil. (Biol. Sci.); e-mail: olgastan@list.ru;

Fedorova E. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: Osot2005@yandex.ru;

Fedorova Z. — PhD (Agr. Sci.); e-mail: zoya-fspb@yandex.ru.

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry; 196625, Russia, St. Petersburg, Tyarlevo, Moskovskoe shosse, 55a.

References

1. Mullin B. H. Genome-wide association study using family-based cohorts identifies the WLS and CCDC170/ESR1 loci as associated with bone mineral density / B. H. Mullin, J. P. Walsh et al. // BMC Genomics. — 2016. — №17:136. DOI: 10.1186/s12864-016-2481-0.
2. Schreiweis M. A. Identification of quantitative trait loci associated with bone traits and body weight in an F2 resource population of chickens / M. A. Schreiweis, P. Y. Hester, D. E. Moody // Genet Sel Evol. — 2005. — №37:677. DOI: 10.1186/1297-9686-37-7-677.
3. Karsenty G. Reaching a genetic and molecular understanding of skeletal development / G. Karsenty, E. F. Wagner // Dev Cell. — 2002. — № 2(4). — P. 389–406. DOI: 10.1016/s1534-5807(02)00157-0.
4. Shim M.Y. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers / M. Y. Shim, A. B. Karnuah et. al // Poult Sci. — 2012. — № 91(8). — P. 1790–1795. DOI: 10.3382/ps.2011-01968. PMID: 22802169.
5. Charuta A. Age- and sex-related differences of morphometric, densitometric and geometric parameters of tibiotarsal bone in Ross broiler chickens / A. Charuta, M. Dzierzecka et al. // Folia Biol (Krakow). — 2013. — № 61(3–4). — P. 211–220. DOI: 10.3409/fb61_3-4.211. PMID: 24279171.
6. Lu Y. Identification of candidate genes affecting the tibia quality in Nonghua duck / Y. Lu, B. Wei et al. // Poult Sci. — 2024. — № 103(4):103515. DOI: 10.1016/j.psj.2024.103515.
7. Album of chicken breeds and populations maintained and bred in the "Experimental farm of the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Chicken Poultry Farming of the Russian Agricultural Academy", St. Petersburg, Pushkin [Text] / [prepared by A. B. Vakhrameev et al.]. — St. Petersburg: no. and., 2009. — 96 p.: color ill.; 15x21 cm.
8. Makarova A. V. Dynamics of growth of exterior and interior indicators in ontogenesis in chickens of gene pool populations and broilers / A. V. Makarova, A. B. Vakhrameev, Z. L. Fedorova // Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of agrarian sciences. — 2023. — No. 2 (61). — P. 151–161. DOI: 10.29235/1817-7204-2023-61-2-151-161.
9. Vakhrameev A. B. Exterior evaluation of chickens / A. B. Vakhrameev, A. V. Makarova. — Dubrovitsy:Ernst, 2021. — 227 p. — ISBN 978-5-902483-64-9. — EDN RFBYIQ.