

А. В. Макарова, А. Б. Вахрамеев, О. П. Юрченко

## Генетическая основа осветления окраски пуха суточных цыплят в итальянской куропатчатой породе

**Аннотация.** В аутосексных породах и популяциях кур различия окраски пуха петушков и курочек в суточном возрасте зависят от дозы гена, а не от разных аллелей, как в промышленных кроссах и линиях. Как правило, такие различия имеют высокую изменчивость и точность сексирования цыплят недостаточна, для эффективной сортировки по полу. Повысить точность сексирования цыплят можно усилив экспрессию генов, контролирующих осветление пуха. Их действие зависит от генетической среды, и наши предыдущие исследования показали, что путем отбора генов-модификаторов можно усилить разницу в меланизации суточных петушков и курочек. У кур итальянской куропатчатой породы в ЦКП «Биоресурсная коллекция» ВНИИГРЖ был обнаружен признак осветления пуха суточных цыплят. Предположили, что это описанный в литературных источниках сцепленный с полом ген «Li», доминантный аллель которого осветляет феомеланиновую часть пухового рисунка цыплят в суточном возрасте. Для проверки этой гипотезы было проведено скрещивание петухов и кур итальянской куропатчатой породы. Одна группа формировалась из родителей имевших светлую окраску пуха в суточном возрасте. Другая группа состояла из петухов, имевших осветленную окраску ювенального пуха, а куры этой группы в суточном возрасте были стандартной окраски. Проведённые исследования показали, что признак, найденный в итальянской куропатчатой породе, с большой вероятностью обусловлен геном, сцепленным с полом. Большая часть осветленных цыплят окраслась петушками. Среди цыплят стандартной окраски распределение по полу составило соотношение курочек к петушкам 2:1.

Результаты распределения окраски пуха в потомстве от осветленных родителей дают основания предположить, что ген, контролирующий этот признак, является неполнодоминантным, так как при полном доминировании все потомство от осветленных родителей имело бы светлую окраску пуха, а во второй группе соотношение по окраске пуха было бы 1:1. Также можно предположить, что признак осветления пуха цыплят контролирует не один ген и более светлая окраска пуха является результатом аддитивного эффекта. Исследования генетической основы этого признака важны для перспектив его использования в аутосексных породах и популяциях.

**Ключевые слова:** куры, аутосексность, точность сексирования, феомеланиновая окраска, степень меланизации, гены-модификаторы, доза гена.

**Авторы:**

**Макарова Александра Владимировна** — научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов с.-х. птиц;

**Вахрамеев Анатолий Борисович** — старший научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов с.-х. птиц;

**Юрченко Олег Павлович** — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов с.-х. птиц.

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Московское ш. 55а

**Введение.** Изучение и знание генов окраски оперения имеет важное значение, поскольку эти гены могут обеспечить генетические маркеры, полезные для идентификации пород и, соответственно, признаков, свойственных этим породам. Существует группа генов, которые контролируют цвет оперения кур. Одним из основных является

локус Е, имеющий несколько аллелей. Эти аллели влияют на распределение меланиновых пигментов (эумеланин и феомеланин) в перьях [1].

Молекулярные исследования у нескольких видов млекопитающих показали, что локус сплошной черной окраски (подобный локусу Е у птиц) кодирует рецептор меланокортина 1 (*MC1R*). Обычно

мутации гена, кодирующего *MC1R*, присутствующие у млекопитающих, несущих доминантные аллели локуса *E*, приводят к активизации рецептора, связанного с черной окраской, тогда как мутации, которые вызывают потерю рецепторной функции, связаны с рецессивными аллелями и красно-желтыми цветами. Ген *MC1R* у кур исследован и картирован в одиннадцатой хромосоме [2, 3, 4].

Исследования Dávila S. G., и др. (2014) показали, что локус *E* эквивалентен *MC1R*. Локус *MC1R* сам по себе не может обуславливать все изменения в пигментации, необходимо знать генотипы в этом локусе, чтобы контролировать окраску оперения в породе. С другой стороны, проявление *MC1R* может отличаться в окраске пуха, ювенольного и взрослого оперения кур [1].

Процесс меланогенеза включает фазы с множеством локусов, участвующих в сложной экспрессии аллелей окрасок оперения. Биосинтез и типы меланина зависят от активности тирозиназы. Тирозиназа является ключевым ферментом в биогенезе меланина в пигментных клетках [5]. В исследованиях W. B. Liu и др. (2010) наблюдались уровни экспрессии генов *TYR* и *MC1R* от рождения до возраста 112 дней. Уровень экспрессии *TYR* был максимальным в суточном возрасте, а потом резко снижался в течение изученных возрастов. Уровень экспрессии *MC1R* был наивысшим на 28 день, по сравнению с другими возрастными. Экспрессия *TYR* у цыплят, несущих *E/E* и *E/e* аллели в локусе *MC1R*, была выше, чем у тех, которые несут аллели *e/e* от рождения до 28 дней. Эти исследования показали, что механизмы, влияющие на окраску пуха в суточном возрасте и те, что регулируют окраску оперения в более позднем возрасте различны. Кроме того, хотя *TYR* во взаимодействии с *MC1R* определял окраску оперения, разные фенотипы не соответствовали разным генотипическим классам как для генов *TYR*, так и для *MC1R*, а рецессивная белая вариация гена *TYR*, соответствующая генотипу «с/с», не могла полностью блокировать синтез меланина до 28 дней. Поэтому суточные цыплята с/с были окрашены в соответствии с аллелем локуса — *E* [5].

В промышленном птицеводстве используются гены окраски оперения, сцепленные с полом для раннего сексирования молодняка. Но локусы серебристой — золотистой окраски (*S-s*) и скорости оперения (*K-k*) можно использовать только для сексирования гибридов, так как у чистопородной птицы может быть либо один, либо другой аллель в соответствии со стандартом породы. В экспериментальных аутосексных популяциях используется доза гена «В», осветляющая окраску суточного пуха петушков В/В. Под влиянием

генов-модификаторов окраска суточных цыплят в аутосексных популяциях имеет высокую изменчивость. Наши опыты показали, что под влиянием дивергентного отбора по окраске пуха эта вариативность снижается и повышается точность сексирования цыплят [6]. В сущности, такой отбор является отбором генов-модификаторов, влияющих на степень меланизации пуха суточных петушков и курочек.

З. М. Коган (1979) и R.D. Crawford (1991) описывают ген *Li*, сцепленный с полом, который действует дифференциально, осветляя только феомеланиновые части пухового рисунка цыплят [7, 8]. Цыплята итальянской куропатчатой породы имеют дику (e<sup>+</sup>), продольно-полосатую окраску пуха, в которой есть феомеланиновые и эумеланиновые части рисунка. Мы предположили, что эта порода будет наиболее удобна для выявления гена, осветляющего только феомеланиновую окраску пуха цыплят. Целью исследования было изучение генетической основы признака осветления феомеланиновых участков ювенольного пуха пород кур куропатчатой окраски оперения методом гибридологического анализа.

#### Условия, материалы и методы исследований.

Исследования проведены с использованием «Генетической коллекции редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ на курах итальянской куропатчатой породы. Выбор породы основан на том, что итальянская куропатчатая порода имеет очень давнее происхождение, высоко отселекционирована и у птицы этой породы в ЦКП «Биоресурсная коллекция» ВНИИГРЖ хорошо выражены исследуемые признаки. Стандартная окраска куропатчатых цыплят (e<sup>+</sup>) подразумевает наличие девяти продольных полос по спине и бокам в рисунке ювенольного пуха, боковых полосок от слухового отверстия к углу клюва и выраженного рисунка «стрелки» на темени. В суточном возрасте были отобраны цыплята, имеющие более светлую окраску пуха по сравнению со стандартной (рис. 1).

Осветление окраски ювенольного пуха происходило за счёт осветления феомеланиновых (коричневых) участков. Проанализировано 150 суточных цыплят. Отобранные цыплята помечены крыломметками и сфотографированы. В двадцатинедельном возрасте из отобранной птицы были сформированы опытные группы. В первой группе родителей (2♂:16♀) куры и петухи были с осветленной окраской пуха в суточном возрасте. Во второй группе (3♂:24♀) — только петухи имели осветленную окраску ювенольного пуха, курицы (матери) имели в суточном возрасте обычную окраску. Окраска оперения осветленных суточных цыплят во взрослом возрасте не отличалась от

стандартной окраски птицы. Цыплят, полученных от опытных групп родителей, вскрывали методом диагностической лапоротомии для точного определения пола.

**Анализ и обсуждение результатов.** В результате опыта было получено 190 цыплят. Исходя из гипотезы, что осветляющий ген сцеплен с полом, у гомозиготных петушков окраска должна быть светлее, чем у гетерозиготных петушков и гемизиготных курочек. Поэтому полученные цыплята были разделены на три группы по степени осветления: высокая степень, средняя и стандартная. Результаты опыта представлены в таблице 1.

В первой группе полученные цыплята распределились в соотношении близком к 1:1, 30 цыплят имели осветленную окраску пуха, а 32 цыпленка — стандартную. Осветленные цыплята также распределились в соотношении 1:1 на очень светлых и имеющих среднюю степень осветления (табл. 1). Таким образом полное распределение — стандартные-средние-светлые составило 2:1:1. Цыплята с высокой степенью осветления оказались только петушками, что позволяет говорить о высокой вероятности сцепления этого гена с полом, так как гомозиготны могут быть только петушки. Также с большой вероятностью можно утверждать, что этот ген является неполнодоминантным, поскольку действие



**Рис. 1.** Слева стандартная окраска цыпленка итальянской куропатчатой породы, справа осветленная окраска пуха

эффекта осветления хорошо разделяется на две группы. Если бы ген осветления был рецессивным, то все потомство родителей первой группы было бы осветленным. Все цыплята были бы светлыми и в том случае, если бы отцы были гомозиготны по доминантному гену (табл. 2). Так как половина цыплят, потомков родителей первой группы, оказалась стандартной окраски, можно предположить,

**Таблица 1. Распределение цыплят по степени осветления пуха**

| Группа родителей | Кол-во цыплят, гол. | Осветленные                      |   |                                  |   | Не осветленные |    | $\chi^2$    |
|------------------|---------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------|----|-------------|
|                  |                     | Высокая степень осветления, гол. |   | Средняя степень осветления, гол. |   | Стандарт, гол  |    |             |
|                  | гол                 | ♂                                | ♀ | ♂                                | ♀ | ♂              | ♀  |             |
| № 1*             | 62                  | 14                               |   | 10                               | 6 | 11             | 23 | 0,142 p>0,5 |
| № 2**            | 128                 | 10                               | 4 | 21                               | 9 | 28             | 56 | 0,277 p>0,5 |

\* Петухи и курицы, имеющие светлую окраску пуха в суточном возрасте.

\*\* Только петухи имели светлую окраску пуха в суточном возрасте.

**Таблица 2. Схема теоретического (при гипотезе полного доминирования аллеля Li) и фактического распределения потомков F<sub>1</sub> по окраске ювенального пуха**

| № опыта | Родители       | Теоретическое распределение генотипов F <sub>1</sub> | Теоретическое распределение фенотипов F <sub>1</sub> | Фактическое распределение фенотипов F <sub>1</sub> |
|---------|----------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1       | ♂Li/Li x ♀Li/— | ♂Li/Li; ♀Li/—                                        | Все потомки осветленные                              | Осветленные — стандарт 1:1                         |
|         | ♂Li/li x ♀Li/— | 1/2♂ Li/Li;<br>1/2♂ Li/li;<br>1/2♀ Li/—<br>1/2♀ li/— | Осветленные — стандарт 3:1*                          |                                                    |
| 2       | ♂Li/Li x ♀li/— | ♂Li/li; ♀Li/—                                        | Все потомки осветленные                              | Осветленные — стандарт 1:2                         |
|         | ♂Li/li x ♀li/— | 1/2♂ Li/li; 1/2 li/li;<br>1/2♀ Li/—, 1/2♀ li/—       | Осветленные — Стандарт 1:1                           |                                                    |

\*) В том числе петушки все осветлённые, половина курочек осветлённая, а другая половина курочек стандартной окраски.

что петухи (отцы) были гетерозиготны, и то, что большая часть стандартных цыплят оказалась курицами, это подтверждает. Если бы осветляющий аллель был доминантным, то среди потомков первой группы вообще не оказалось бы петушков со стандартной окраской ювенального пуха.

Во второй группе осветленные и неосветленные цыплята распределились в соотношении 1:2, 44 цыпленка имели осветленную окраску пуха, 84 — стандартную (табл. 1). Также как и в первом опыте, большая часть осветленных цыплят была петушками, а среди стандартных в два раза больше курочек. Если бы все петухи (отцы) были гетерозиготны  $Li/li$ , распределение цыплят во второй группе было бы 1:1 и у курочек и у петушков, а если гомозиготны  $Li/Li$  — все

потомство имело бы осветленную окраску пуха (табл. 2).

**Заключение.** В итальянской куропатчатой породе обнаружен признак осветления феомеланиновой части рисунка пуха цыплят. Ген, отвечающий за этот признак с большой вероятностью сцеплен с полом. Этот ген проявляет себя как неполнодоминантный.

Результаты наших исследований дают основания предполагать, что ген, контролирующий этот признак, имеет не полную пенетрантность, или этот признак контролируется не одним геном. Осветление пуха суточных цыплят в итальянской куропатчатой породе требует дальнейших исследований для возможности его использования в аутосексных породах и популяциях.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания № АААА-А18-118021590134-3*

### Литература

1. Dávila S. G. Association between polymorphism in the melanocortin 1 receptor gene and E locus plumage color phenotype / S. G. Dávila, M. G. Gil, P. Resino-Talaván, J. Campo // Poultry Sci. — 2014. — № 93(5). — P. 1089–96.
2. Kerje S. 1. Melanocortin 1-receptor (MC1R) mutations are associated with plumage colour in chicken / S. 1. Kerje, J. Lind, K. Schütz, P. Jensen, L. Andersson / Anim. Genet. — 2003. — 34(4):241-8.
3. Ling M. K. Association of feather colour with constitutively active melanocortin 1 receptors in chicken / M. K. Ling, M. C. Lagerström, R. Fredriksson, R. Okimoto, N. I. Mundy, S. Takeuchi, H. B. Schiöth // Eur. J. Biochem. — 2003. — № 270(7). — P. 1441–1449.
4. Sazanov A. L. Evolutionarily conserved telomeric location of BBC1 and MC1R on a microchromosome questions the identity of MC1R and a pigmentation locus on chromosome 1 in chicken / A. L. Sazanov, J. Masabanda, D. Ewald, S. Takeuchi, M. Tixier-Boichard, J. Buitkamp, R. Fries // Chromosome Res. — 1998. — Vol. 8. — № 6. — P. 651–654.
5. Liu W. B. Developmental phenotypic-genotypic associations of tyrosinase and melanocortin 1 receptor genes with changing profiles in chicken plumage pigmentation / W. B. Liu, S. R. Chen, J. X. Zheng, L. J. Qu, G. Y. Xu, N. Yang / Poultry Science. — 2010. — Volume 89. — Issue 6. — P. 1110–1114.
6. Макарова А. В. Использование аутосексных систем кур в разведении генофондных пород и популяций / А. В. Макарова, А. Б. Вахрамеев / Генетика и разведения животных. — 2017. — № 3. — С. 28–33.
7. Коган З. М. Признаки экстерьера и интерьера у кур / Наука, Новосибирск. — 1979. — 295 с.
8. Crawford R. D. Poultry Breeding and Genetics / R. D. Crawford // Developments in animal and veterinary sciences. — 1991. — 22. — 1123 p.

Makarova A., Vakhrameev A., Jurchenko O.

## Genetic basis of fluff clarification in day old chickens of Italian Partridge chicken breed

**Abstract.** In autosexable breeds and populations of chicken the differences in fluff coloration between male and female day old chicks depend on the gene dose. In comparison to this in commercial crosses and strains those differences depend on different alleles. As a rule, such differences are highly variable and sexing accuracy is not sufficient enough to ensure efficient sex separation. There is possible to increase sexing accuracy by en-

hancing of expression of the genes, controlling fluff clarification. Their effect depends on the genetic environment. Our previous investigations revealed, that by selection of genes-modifiers. There is possible to entrance difference in fluff melanization between day old males and females. in chicken Italian Partridge breed from the Bioresource collection of RRIFAGB there was found a trait of fluff clarification among day old chicks. The was suggested that is was described in the literature sex-linked gene «Li». Its dominant allele clarifies pheomelanine part of fluff pattern in day old chicks. To check this hypothesis there were carried several cross-ings between cocks and hens of the Italian Partridge breed. One group consisted of the parents, which had light fluff coloration in one day age. The another group consisted of the cocks, which had light fluff coloration while day old hens had standard fluff coloration. The carried out studies demonstrated that the trait found in the Italian Partridge breed, most likely was determined by a sex-linked gene. Among the of the chicks with standard fluff coloration on the ratio hens: cocks was 2:1.

The results of fluff coloration distribution among progeny of the parents with light fluff enable to suggest, that the gene controlling this trait is not completely dominant, because in case of complete dominance all progeny of light-fluffed parent would have light fluff, while in the second group fluff coloration ratio would be 1:1. Also one can assume, that the trait of fluff coloration is controlled not by only one gene and more light fluff coloration is a result of the additive effect. The investigations of the genetic basis this trait are important for its possible application in the autosexable breeds and populations.

**Key words:** chickens auto sexuality, accuracy of sexing, pheomelanine color, degree of melanization, modifier genes, gene dose.

*Authors:*

**Makarova A.** — research scientist of the department of poultry genetics, breeding and gene pool preservation;

**Vakhrameev A.** — senior research scientist of the department of poultry genetics, breeding and gene pool preservation;

**Jurchenko O.** — senior research scientist of the department of poultry genetics, breeding and gene pool preservation;

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry. 196601, Russia, St. Petersburg, Moscow highway, 55a.

*Supported by Federal Agency of Scientific Organizations, №AAAA-A18-118021590134-3*

## References

1. Dávila S. G. Association between polymorphism in the melanocortin 1 receptor gene and E locus plumage color phenotype / S. G. Dávila, M. G. Gil, P. Resino-Talavón, J. Campo // *Poult Sci.* — 2014. — № 93(5). — P. 1089–96.
2. Kerje S. 1. Melanocortin 1-receptor (MC1R) mutations are associated with plumage colour in chicken / S. 1. Kerje, J. Lind, K. Schütz, P. Jensen, L. Andersson / *Anim. Genet.* — 2003. — 34(4):241-8.
3. Ling M. K. Association of feather colour with constitutively active melanocortin 1 receptors in chicken / M. K. Ling, M. C. Lagerström, R. Fredriksson, R. Okimoto, N. I. Mundy, S. Takeuchi, H. B. Schiöth // *Eur. J. Biochem.* — 2003. — № 270(7). — P. 1441–1449.
4. Sazanov A. L. Evolutionarily conserved telomeric location of BBC1 and MC1R on a microchromosome questions the identity of MC1R and a pigmentation locus on chromosome 1 in chicken / A. L. Sazanov, J. Masabanda, D. Ewald, S. Takeuchi, M. Tixier-Boichard, J. Buitkamp, R. Fries // *Chromosome Res.* — 1998. — Vol. 8. — № 6. — P. 651–654.
5. Liu W. B. Developmental phenotypic-genotypic associations of tyrosinase and melanocortin 1 receptor genes with changing profiles in chicken plumage pigmentation / W. B. Liu, S. R. Chen, J. X. Zheng, L. J. Qu, G. Y. Xu, N. Yang // *Poultry Science.* — 2010. — Volume 89. — Issue 6. — P. 1110–1114.
6. Makarova A. V. Ispol'zovanie avtoseksnyh sistem kur v razvedenii genofondnyh porod i populyacij / A. V. Makarova, A. B. Vakhrameev // *Genetika i razvedeniya zhivotnyh.* — 2017. — № 3. — P. 28–33.
7. Kogan Z. M. *Priznaki ehkster'era i inter'era u kur* / Nauka, Novosibirsk. — 1979. — 295 p.
8. Crawford R. D. *Poultry Breeding and Genetics* / R. D. Crawford // *Developments in animal and veterinary sciences.* — 1991. — 22. — 1123 p.