

О. Ю. Баркова, С. И. Лоскутов, М. Г. Смарагдов

## Влияние субъединицы CAP-G комплекса конденсина I на признаки яйца домашней курицы

**Аннотация.** Исследовали ассоциацию гена NCAPG с признаками качества яйца домашней курицы. Установлена достоверная связь аллелей rs14991030 в гене NCAPG с массой скорлупы, процентным соотношением масса скорлупы / масса яйца, а также с толщиной скорлупы домашней курицы. Замещение аллеля G на A приводит к увеличению массы, толщины скорлупы и процентного соотношения масса скорлупы / масса яйца. При этом достоверного отрицательного влияния на изученные признаки замены аллеля G на A не выявлено.

**Ключевые слова:** конденсин I, ген NCAPG, генотип, домашняя курица, порода Род-Айленд, качество яйца.

**Авторы:**

**Баркова Ольга Юрьевна** — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной организации генома, ВНИИГРЖ, Санкт-Петербург-Пушкин, Московское шоссе, 55 а, e-mail: barkoffws@list.ru;

**Лоскутов Святослав Игоревич** — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной организации генома, ВНИИГРЖ, Санкт-Петербург-Пушкин, Московское шоссе, 55 а;

**Смарагдов Михаил Григорьевич** — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной организации генома, ВНИИГРЖ, Санкт-Петербург-Пушкин, Московское шоссе, 55 а, e-mail: mik7252@yandex.ru.

**Введение.** Идентификация генов, оказывающих влияние на проявление хозяйственно важных признаков, является одной из важнейших задач геномики сельскохозяйственных животных. Большинство таких признаков характеризуется широкой вариабельностью экспрессии генов, находящихся в определенных локусах, называемых QTL (quantitative trait loci — локусы количественных признаков). Эти локусы полиморфны и ассоциированы с вариациями фенотипических проявлений признаков, таких, как яйценоскость, вес тела и т.п. [1]. Выявленные QTLs могут быть применены в MAS (marker assisted selection — маркерная селекция) для увеличения эффективности селекции [2].

В исследовании А. Волк и соавт. [3] был выявлен мажорный QTL маркированный rs14491030 на хромосоме 4, оказывающий сильное влияние на вес яйца домашней курицы. Он ассоциировал с генетической изменчивостью веса яйца до 38,5% ( $P < 0,03$ ). В этой работе была использована математическая модель BayesB, для идентификации районов хромосом, обуславливающих изменчивость признака. Генотипирование осуществлялось с помощью SNP чипа 60K. Всего выявлено 24.425 SNP у поголовья 2900 кур. Связь хромосомы 4 с качеством яйца была ранее упомянута у ряда авторов [4, 5, 6]. Проведенный нами анализ *in silico* показал, что SNP rs14491030 находится в гене NCAPG (не -SMC субъединице CAP-G комплекса конденсина I) в позиции 78775527 п. н.

Конденсины являются субъединичными белковыми комплексами, играющими фундаментальную роль в структурной и функциональной организации хромосом. Впервые конденсин (теперь известный как конденсин I) был выявлен из экстракта яиц шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*, как основной компонент хромосомы, играющий важную роль в сборке хромосом. Конденсин I присутствует у всех видов от дрожжей до человека [7, 8]. Примечательно, что даже бактерии и археи имеют конденсин — подобные комплексы, а многие эукариотические виды имеют два типа конденсина — комплексов, известных как конденсин I и II, которые выполняют несовпадающие функции и подвергаются дифференциальному регулированию во время митоза и мейоза [9, 10]. Конденсины играют важную роль в структурной и функциональной организации центромеры и кинетохора хромосом. В клетках животных конденсин I (но не конденсин II) регулирует плотность центромерного гетерохроматина [11, 12, 13].

Недавние исследования показали, что эти два комплекса многофункциональны и участвуют в регуляции экспрессии генов, рекомбинации и репарации [14, 15, 16].

Конденсин I и конденсин II содержат одну и ту же пару SMC2 и SMC4 субъединиц, принадлежащих к белкам структурного поддержания хромосом (SMC) большого семейства хромосомной АТФазы [17]. Также каждый комплекс имеет уни-

кальный набор из трех не-SMC субъединиц (например, CAP-D2, CAP-G, и CAP-H для конденсина I, и CAP-D3, CAP-G2, и CAP-H2 для конденсина II). CAP-D2 и D3-CAP (и CAP-G и CAP-G2) частично гомологичны, так как имеют вырожденный мотив повторов, называемый HEAT повторами. Среди трех не-SMC субъединиц, две (CAP-D2 и CAP-G) вовлечены в белок-белковые взаимодействия [18].

**Материал и методы исследований.** Для проведения экспериментов использованы куры двух линий коричнево-скорлупного кросса УК Кубань 7, созданных на основе генофонда породы Род-Айленд. Отцовская линия УК-72 в материнской родительской форме типа белый Род-Айленд и материнская линия УК-73 в материнской родительской форме типа белый Род-Айленд с геном медленно оперения, сцепленным с полом. В обеих этих линиях отбор велся, в том числе и на повышение массы яйца. Также в экспериментах был использован двух-линейный гибрид CD родительской формы кросса Ломан Браун. При этом, отбор кур в этих линиях и кроссе осуществлялся, в том числе на прочность скорлупы. В работе использовали следующие признаки: 1. толщина скорлупы, мкм — средняя толщина скорлупы яйца в мкм; 2. процент скорлупы — средняя доля массы скорлупы от массы всего яйца в процентах; 3. скорлупа, грамм — средняя масса скорлупы в граммах; 4. пигментация, 30, 60 нед, бал. — средняя интенсивность пигментации скорлупы яиц у кур соответствующего возраста в баллах; 5. яйценоскость, 40, 60 недельных кур — средняя яйценоскость кур в соответствующем возрасте; 6. процент желтка — средняя масса желтка по отношению к массе яйца; 7. желток, грамм. — средняя масса желтка в граммах; 8. масса яйца, 30, 60 нед. — средняя масса яйца у кур соответствующего возраста; 9. индекс формы — среднее отношение длин яйца по короткой и длинной оси в выраженное в процентах; 10. упругая деформация, 30, 40 нед. — средняя деформация скорлупы яйца без нарушения ее целостности в микронах под воздействием груза весом 500 грамм, снесенных курами соответствующего возраста. Из 149 образцов крови была выделена ДНК с помощью фенол-хлороформного метода. Среди них 51 образец из линии УК-72, 73 из линии УК-73 и 25 из межлинейного гибрида CD.

Дизайн аллелеспецифических праймеров для генотипирования кур по аллелям rs 14491030, находящимся гене NCAPG, проводили на основании информации баз данных сети интернет ([www.nlm.ncbi.nih.gov](http://www.nlm.ncbi.nih.gov)) при помощи компьютерной

программы PRIMER\_3 ([www.genome.wi.mit.edu](http://www.genome.wi.mit.edu)). Величина амплифицируемого фрагмента была задана в пределах 200–500 п.н. и температура гибридизации при 60°C. Проверка полученных последовательностей праймеров на специфичность и отсутствие возможной внутригеномной гомологии была проведена при помощи пакета программ BLAST.

Для последовательности rs 14491030 использовали два альтернативных и два универсальных праймера.

Аллелеспецифические праймеры для генотипирования кур по аллелям rs 14491030 (полиморфные сайты выделены жирными буквами):

**rs 14491030 Up\_A:** **СТТСТТССТСАААСТ-ТТСАГТТССАА**

Dn: GTGGTGGTCTGCTATAACACTGTCTG

**rs 14491030 Up\_G:** **СТТСТТССТСАААСТ-ТТСАГТТССАГ**

Dn TGTTTAAGCTTTGACTCATATCAGACC

Амплификацию ДНК при помощи ПЦР проводили с использованием амплификатора IQ-5 (Bio-Rad, США) в следующем режиме:

95°C — 5 минут;

95°C — 1 минута, 60°C — 1 минута, 72°C — 1 минута (30 циклов);

72°C — 7 минут

7°C — хранение.

Разделение фрагментов методом электрофореза в агарозном геле проводили следующим образом: для приготовления 1,5% агарозных гелей 3,0 г агарозы растворяли при нагревании в 200 мл однократного буфера TBE и после остывания полученного золь до 55–60°C добавляли 9 мкл раствора бромида этидия (10 мг/мл). Приготовленный золь выливали в форму-кювету, формировали карманы специальными гребенками, предварительно установленными в ней, и оставляли для полимеризации на 20-30 минут при комнатной температуре. Электрофорез проводился в трис-ЭДТА-боратном буфере (TBE) (ТРИС 0,089 М, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0,089 М, ЭДТА 0,002 М, рН=8,2).

Проведение электрофореза: 10 мкл продуктов ПЦР смешивали с 2 мкл буфера для нанесения (75% глицерин, 0,05% бромфенолового синего, 0,05% ксилена цианола). Затем вносили пробы с буфером в карманы агарозного геля. Электрофорез проводили в течение 45 минут при напряжении 110 вольт. Фрагменты ДНК визуализировали в проходящих УФ лучах. Размеры фрагментов ДНК определяли путем сравнения с размерами фрагментов маркера молекулярного веса ДНК (фото 1.)

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью однофакторного дисперсионного анализа. В качестве критерия достоверности использовали критерий Фишера F. Вычисления осуществляли при помощи пакета компьютерной программы Statistica 6.

**Анализ и обсуждение результатов.** Проведено генотипирование 149 курок породы Род-Айленд (линии УК-72, УК-73 и межгибридный кросс CD).

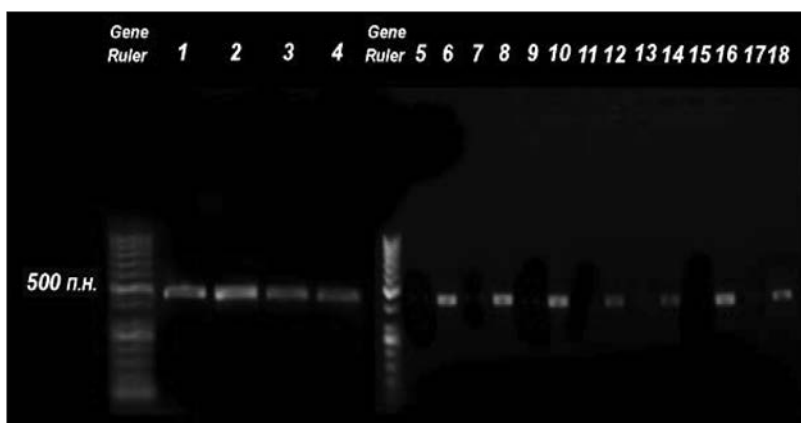


Фото 1. Электрофореграмма результатов ПЦР с аллелеспецифическими праймерами rs 14491030

Таблица 1. Ассоциация генотипов rs 14491030 с признаками, характеризующими яйцо кур линии УК-72

Признак	Генотип	N	Среднее значение $\pm$ ошибка среднего	Стандартное отклонение	P
Скорлупа, грамм	AG	43	5,73 $\pm$ 0,06	0,4	0,0032
	AA	7	6,1 $\pm$ 0,0	0	
	GG	1	5,12 $\pm$ 0,23	0,6	
Процент скорлупы	AG	43	8,97 $\pm$ 0,09	0,61	0,014
	AA	7	10,0 $\pm$ 0,0	0	
	GG	1	8,28 $\pm$ 0,35	0,93	
Пигментация, 30 нед	AG	43	1,34 $\pm$ 0,06	0,41	0,54
	AA	7	1,47 $\pm$ 0,17	0,17	
	GG	1	1 $\pm$ 0	0	
Яйценоскость, 60 нед.	AG	43	267,45 $\pm$ 2,6	17	0,82
	AA	1	263,5 $\pm$ 1,9	5,1	
	GG	7	264 $\pm$ 0	0	
Яйценоскость, 40 нед.	AG	43	127,97 $\pm$ 0,93	6,1	0,48
	AA	7	125 $\pm$ 1,9	5	
	GG	1	128 $\pm$ 0,0	0	
Процент желтка	AG	43	27,73 $\pm$ 2,8	1,85	0,81
	AA	7	28,2 $\pm$ 0,78	2	
	GG	1	28 $\pm$ 0,0	0	
Желток, грамм	AG	43	17,69 $\pm$ 0,19	1,26	0,79
	AA	7	17,1 $\pm$ 0,48	1,29	
	GG	1	17,42 $\pm$ 0,0	0	
Масса яйца, грамм, 30 нед.	AG	43	61,6 $\pm$ 0,3	1,92	0,19
	AA	7	60,9 $\pm$ 0,41	1,09	
	GG	1	58,6 $\pm$ 0,0	0	
Масса яйца, грамм, 60 нед.	AG	43	63,8 $\pm$ 0,47	3,8	0,17
	AA	7	61,8 $\pm$ 0,44	1,1	
	GG	1	61 $\pm$ 0,0	0	
Упругая деформация, 30 нед.	AG	43	18,54 $\pm$ 0,8	5,2	0,12
	AA	7	22 $\pm$ 2	5,4	
	GG	1	12 $\pm$ 0,0	0	
Упругая деформация, 60 нед.	AG	41	24,5 $\pm$ 0,7	4,42	0,29
	AA	6	28 $\pm$ 3,3	8	
	GG	1	24 $\pm$ 0,0	0	
Индекс формы, 30 нед.	AG	43	78,64 $\pm$ 0,29	1,93	0,17
	AA	7	80 $\pm$ 0,89	2,36	
	GG	1	77, $\pm$ 0,0	0	
Толщина скорлупы, мкм.	AG	43	361,95 $\pm$ 4,1		
	AA	7	346 $\pm$ 17,27		
	GG	1	403 $\pm$ 0,0	0	

При проведении дисперсионного анализа данных генотипирования у генотипов *AG*, *AA* и *GG* SNP rs 14491030 (линия УК-72) было выявлено достоверное различие для следующих признаков: масса скорлупы в граммах и процент скорлупы (средняя доля массы скорлупы от массы всего яйца) при  $P = 0,0032$  и  $0,014$  соответственно (таблица 1).

У линии УК-73, порода Род-Айленд достоверных различий данных для всех признаков между тремя генотипами не было получено (таблица 2).

В таблице 3 представлены статистические данные для кросса CD. У кросса CD достоверное различие из всех признаков имел признак толщина скорлупы яйца в мкм ( $P = 0,0064$ ), и близкий к достоверному на уровне значимости  $0,09$  признак процент скорлупы (средняя доля массы скорлупы от массы всего яйца).

В Таблице 4 приведен достоверный эффект замещения аллелей rs 14491030 для признаков имеющих достоверное и близкое к достоверному различия между тремя генотипами кур линии УК-72.

Таблица 2. Ассоциация генотипов rs 14491030 с признаками, характеризующими яйцо кур линии УК-73

Признак	Генотип	N	Среднее значение $\pm$ средняя ошибка	Стандартное отклонение	P
Скорлупа, грамм	AG	67	5,62 $\pm$ 0,06	0,4	0,91
	AA	3	5,5 $\pm$ 0,1	0,17	
	GG	3	5,6 $\pm$ 0,25	0,43	
Процент скорлупы	AG	67	8,64 $\pm$ 0,09	0,8	0,93
	AA	3	8,8 $\pm$ 0,1	0	
	GG	3	8,7 $\pm$ 0,38	0,66	
Пигментация, 30 нед.	AG	67	1,47 $\pm$ 0,05	0,48	0,25
	AA	3	1 $\pm$ 0,0	0	
	GG	3	1,43 $\pm$ 0,29	0,51	
Яйценоскость, 60 нед.	AG	67	268 $\pm$ 0,9	7,5	0,8
	AA	3	270 $\pm$ 4,6	8	
	GG	3	270 $\pm$ 2,7	4,7	
Яйценоскость, 40 нед.	AG	67	127 $\pm$ 0,6	5	0,75
	AA	3	125 $\pm$ 1,5	2,4	
	GG	3	126 $\pm$ 1,7	3	
Процент желтка	AG	67	26,6 $\pm$ 2,2	1,87	0,54
	AA	3	25,4 $\pm$ 0,9	1,5	
	GG	3	27 $\pm$ 2,1	3,8	
Желток, грамм	AG	67	17,3 $\pm$ 0,17	1,4	0,26
	AA	3	15,8 $\pm$ 0,7	1,28	
	GG	3	17,26 $\pm$ 1,4	2,4	
Масса яйца, грамм, 30 нед.	AG	67	62,8 $\pm$ 0,2	1,7	0,71
	AA	3	63 $\pm$ 0,75	1,3	
	GG	3	62 $\pm$ 1,3	2,2	
Масса яйца, грамм, 60 нед.	AG	67	65,6 $\pm$ 0,7	5,4	0,54
	AA	3	62,3 $\pm$ 0,9	1,6	
	GG	3	63,9 $\pm$ 3,3	5,7	
Упругая деформация, 30 нед.	AG	67	20,1 $\pm$ 0,9	7,1	0,48
	AA	3	17 $\pm$ 2	3,4	
	GG	3	16 $\pm$ 4	6,9	
Упругая деформация, 60 нед.	AG	65	28 $\pm$ 0,8	4,42	0,61
	AA	3	30 $\pm$ 1,5	2,6	
	GG	3	25 $\pm$ 0,58	1	
Индекс формы, 30 нед.	AG	11	79 $\pm$ 0,8	1,93	0,87
	AA	1	80 $\pm$ 0,0	0	
	GG	1	78 $\pm$ 0,0	0	
Толщина скорлупы, мкм.	AG	67	341 $\pm$ 3,9	32	0,85
	AA	3	340,6 $\pm$ 4	7	
	GG	3	351,6 $\pm$ 20,2	35	

Эффект замещения аллелей наблюдается при замене аллеля *G* на *A* у признаков масса скорлупы в граммах ( $P = 0,001$ ) и процент скорлупы ( $P = 0,013$ ). У кросса CD эффект замещения аллелей наблюдается при замене аллеля *G* на *A* у признака толщина скорлупы в мкм ( $P = 0,01$ ). При гомозиготизации аллеля *G* значения толщины скорлупы становятся больше, что свидетельствует об аддитивности эффекта замены аллелей. Пропуски в таблице 4 означают, что выборка кур недостаточна для статистического анализа. Замеще-

ние аллели *G* на *A* приводит к увеличению массы, толщины скорлупы и процента массы скорлупы по отношению к массе яйца. При этом, достоверного отрицательного влияния на изученные признаки замена аллеля *G* на *A* не выявлено.

Таким образом, достоверные различия при замене аллелей SNP rs 14491030 получены для линии УК-72 и у кросса CD.

**Выводы.** 1. Анализ *in silico* показал, что SNP rs 14491030 находится в гене NCAPG (не -SMC

Таблица 3. Ассоциация генотипов rs 14491030 с признаками, характеризующими яйцо кур кросса CD

Признак	Генотип	N	Среднее значение $\pm$ средняя ошибка	Стандартное отклонение	P
Скорлупа, грамм	AG	20	6,4 $\pm$ 0,1	0,4	0,77
	AA	3	6,4 $\pm$ 0,2	0,34	
	GG	1	6,1 $\pm$ 0,0	0	
Процент скорлупы	AG	20	9,7 $\pm$ 0,1	0,5	0,09
	AA	3	10 $\pm$ 0,1	0,1	
	GG	1	8,8 $\pm$ 0,0	0	
Пигментация, 30 нед.	AG	20	1,25 $\pm$ 0,1	0,6	0,8
	AA	3	1, $\pm$ 0,0	0	
	GG	1	2 $\pm$ 0,0	0	
Яйценоскость, 60 нед.	AG	67	268 $\pm$ 1	7,5	0,8
	AA	3	270 $\pm$ 5	8	
	GG	3	270 $\pm$ 3	4,7	
Яйценоскость, 40 нед.	AG	15	171,9 $\pm$ 1,5	5,8	0,67
	AA	2	170 $\pm$ 6	8,5	
	GG	0	0	0	
Процент желтка	AG	18	26,6 $\pm$ 0,7	3	0,86
	AA	3	26 $\pm$ 1,4	2,5	
	GG	1	25,4 $\pm$ 0,0	0	
Желток, грамм	AG	18	17 $\pm$ 0,7	3	0,91
	AA	3	16 $\pm$ 1	1,6	
	GG	1	17,5 $\pm$ 0,0	0	
Масса яйца, грамм, 30 нед.	AG	20	64,6 $\pm$ 0,9	4	0,47
	AA	3	63,6 $\pm$ 2	3	
	GG	1	69 $\pm$ 0,0	0	
Масса яйца, грамм 60 нед.	AG	20	65,8 $\pm$ 1	3,8	0,34
	AA	3	63 $\pm$ 2	3,5	
	GG	1	69 $\pm$ 0,0	0	
Упругая деформация, 30 нед.	AG	15	16,33 $\pm$ 1,9	7,6	0,12
	AA	2	12 $\pm$ 0,0	0	
	GG	2	12 $\pm$ 0,0	0	
Упругая деформация, 60 нед.	AG	19	21,3 $\pm$ 0,7	3	0,29
	AA	3	20 $\pm$ 0,7	8	
	GG	1	26 $\pm$ 0,0	0	
Индекс формы, 30 нед.	AG	15	77,5 $\pm$ 0,4	1,56	0,40
	AA	2	76,5 $\pm$ 0,5	0,7	
	GG	0	0	0	
Толщина скорлупы, мкм.	AG	20	381 $\pm$ 3	15	0,0064
	AA	3	405,6 $\pm$ 4	7,5	
	GG	1	350 $\pm$ 0,0	0	

Таблица 4. Эффект замещения аллелей rs 14491030 у кур линии УК-72 и кросса CD

Линия	Признак	Генотип	N	Среднее значение $\pm$ средняя ошибка	Стандартное отклонение	Эффект замещения аллелей для генотипов	P
УК-72	Скорлупа, грамм	AG	43	5,73 $\pm$ 0,06	0,4	AG-AA 0,37	0,001
		AA	7	6,1 $\pm$ 0,0	0	AG-GG 0,4	0,4
		GG	1	5,12 $\pm$ 0,23	0,6	AA-GG 0,98	—
	Процент скорлупы	AG	43	8,97 $\pm$ 0,09	0,6	AG-AA 1,03	0,013
		AA	7	10,0 $\pm$ 0,0	0	AG-GG 0,69	0,1
		GG	1	8,28 $\pm$ 0,35	0,9	AA-GG 1,72	—
CD	Процент скорлупы	AG	20	9,7 $\pm$ 0,1	0,5	AG-AA 0,3	0,1
		AA	3	10 $\pm$ 0,08	0,1	AG-GG 0,9	0,2
		GG	1	8,8 $\pm$ 0,0	0	AA-GG 1,2	—
	Толщина скорлупы, мкм.	AG	20	381 $\pm$ 3,3	15	AG-AA 24,6	0,01
		AA	3	405,6 $\pm$ 4,3	7,5	AG-GG 31	0,06
		GG	1	350 $\pm$ 0,0	0	AA-GG 55	—

субъединице CAP-G комплекса конденсина I) в позиции 78775527 п. н. Замена аллеля G на A приводит к замене валина на аланин.

2. При сравнении трех генотипов rs 14491030 достоверная ассоциация получена для массы скорлупы ( $P = 0,0032$ ) и соотношения масс скорлупы и яйца в процентах ( $P = 0,014$ ) у кур линии УК-72, а также толщины скорлупы яиц ( $P = 0,0064$ ) у кур кросса CD.

3. Эффект замещения аллеля G на A (rs 14491030) приводит к достоверной ассоциации массы скорлупы ( $P = 0,001$ ), отношения массы скорлупы к массе яйца ( $P = 0,013$ ) для кур линии УК-72 и толщины скорлупы ( $P = 0,01$ ) для кур кросса CD.

4. Замещение аллеля G на A приводит к увеличению массы, толщины скорлупы и процента

массы скорлупы по отношению к массе яйца. При этом достоверного отрицательного влияния на изученные признаки замены аллеля A на G не выявлено. Таким образом, по предварительным данным rs 14491030 может быть рекомендован для использования в селекции кур несушек. Выявленные мажорные QTL (локусы количественных признаков) могут быть использованы для оптимизации системы молекулярных маркеров, для маркерной селекции домашней курицы и геномной селекции по хозяйственно-полезным признакам качества яйца. Для селекции по признакам качества яйца в России геномная селекция позволит добиться существенного прогресса в биотехнологии птицеводства и избежать необходимости приобретения кроссов из зарубежных стран.

## Литература

1. Cheng H. H. Development of a genetic map of the chicken with markers of high utility. / H. H. Cheng, I. Levin, R. L. Vallejo, H. Khatib, J. B. Dodgson, L. B. Crittenden, J. Hillel // Poultry Science. — 1997 — V. 74. № 11. — P. 1855–1874.
2. Grisart B. Positional candidate cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutations in the bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition / B. Grisart, W. Coopetees, F. Farnir, L. Karim, K. Ford, P. Berzi, N. Cambisario, M. Mni, S. Reid, P. Simon, R. Spelman, M. Georges, R. J. R. Snell // Genome Research. — 2002. — V. 12. — P. 222–231.
3. Wolc, A. Genome-wide association analysis and genetic architecture of egg weight and egg uniformity in layer chickens. / A. Wolc, J. Arango, P. Settar, J. E. Fulton, N. P. O'Sullivan, R. Preisinger, D. Habier, R. Fernando, D. J. Garrick, W. G. Hill, J. C. Dekkers // Anim Genet. — 2012 — V. 43 — P. 87–96.
4. Баркова О. Ю. Создание системы генотипирования Gallus Gallus по аллелям RSNP (регуляторных мононуклеотидных полиморфных сайтов), оказывающим влияние на толщину скорлупы яйца / О. Ю. Баркова, А. Л. Сазанова, И. Ю. Благовещенский, К. А. Фомичев, Т. Малевски, А. А. Сазанов // Генетика. — 2011. Т. 47. — № 2. — С. 243–248.
5. Баркова О. Ю. Анализ ассоциации однонуклеотидной замены в межгенном районе хромосомы 4 с признаками, определяющими качества яйца домашней курицы / О. Ю. Баркова, М. Г. Смарагдов // Генетика. — 2013. — Т. 49. — № 7. — С. 243–248.

6. Tuiskula-Haavisto, M. Genome-wide significant QTL for egg quality and production in egg-layers. /M. Tuiskula-Haavisto, M. Honkatukia, J. Vikki, D. De Konig, N. Schulman, A. Maki-Tanila //Proceeding of the 2th poultry Genetics Symposium, Godollo. — 2001 — P. 128.
7. Hirano, T. Condensins, chromosome condensation protein complexes containing XCAP-C, XCAP-E and a Xenopus homolog of the Drosophila Barren protein. /T. Hirano, R. Kobayashi, M. Hirano //Cell-1997- V. 89 — P. 511–521.
8. Sutani, T. Fission yeast condensin complex: Essential roles of non-SMC subunits for condensation and cdc2 phosphorylation of Cut3/SMC4. /T. Sutani, T. Yuasa, T. Tomonaga, N. Dohmae, K. Takio, M. Yanagida. //Genes Dev — 1999 — P. 13 — V. 2271–2283.
9. Gerlich, D. Condensin I stabilizes chromosomes mechanically through a dynamic interaction in living cells. /D. Gerlich, T. Hirota, B. Koch, J-M. Peters, Ellenberg //J Curr Biol — 2006 — V. 16 — P. 333–344.
10. Yeong F. M. Identification of a subunit of a novel kleisin- $\beta$ /SMC complex as a potential substrate of protein phosphatase 2A. /F. M. Yeong, H. Hombauer, K. S. Wendt, T. Hirota, I. Mudrak, K. Mechtler, T. Loregger, A. Marchler-Bauer, K. Tanaka, J-M. Peters //Curr Biol — 2003 — V.13 — P. 2058–2064.
11. Ono, T. Spatial and temporal regulation of condensins I and II in mitotic chromosome assembly in human cells. /Ono T., Fang Y., Spector D., Hirano T. //Mol Biol Cell — 2004 — V. 15 — P. 3296–3308.
12. Ribeiro, S. Condensin regulates the stiffness of vertebrate centromeres. / S. Ribeiro, J. Gatlin, Y. Dong, A. Joglekar, L. Cameron, D. Hudson, C. Farr, B. McEwen, E. Salmon, W. Earnshaw //Mol Biol Cell — 2009 — V. 20 — P 2371–2380.
13. Oliveira R. A. The condensin I subunit Barren/CAP-H is essential for the structural integrity of centromeric heterochromatin during mitosis. /RA. Oliveira, P. A. Coelho, C. E. Sunkel //Mol Cell Biol. — 2005 — V. 25 — P. 8971–8984.
14. Hirano, T. Condensins: Organizing and segregating the genome. /T. Hirano //Curr Biol-2005 — V. 15 — P. 265–275.
15. Hudson D. F. Molecular and genetic analysis of condensin function in vertebrate cells. /D. F. Hudson, S. Ohta, T. Freisinger, F. Macisaac, L. Sennels, F. Alves, F. Lai, A. Kerr, J. Rappsilber, W. Earnshaw //Mol Biol Cell — 2008 — V. 19 — P. 3070–3079.
16. Wood A. J. Condensin and cohesin complexity: The expanding repertoire of functions. /A. J. Wood, A. F. Severson, B. J. Meyer //Nat Rev Genet — 2010 — V. 11 — P. 391–404
17. Hirano T. At the heart of the chromosome: SMC proteins in action. /T. Hirano //Nat Rev Mol Cell Biol — 2006 — V. 7 — P. 311–322.
18. Neuwald A. F. and Hirano T. HEAT repeats associated with condensins, cohesins and other chromosome-related complexes. /A. F. Neuwald, T. Hirano //Genome. — 2000 — V. 10 — P. 1445–1452.

---

Barkova O. I., Loscutov S. I., SmaragdoV M. G.

## Affection of CAP-G subunit complex condensin I with eggs traits of domestic chicken

**Abstract.** *The association of gene NCAPG that affects on the eggs trait of domestic chicken has been examined. A significant association of rs 14491030 alleles of NCAPG gene was revealed with such traits as mass of eggshell, percentage of eggshell weight / egg weight, as well as the thickness of the eggshell of Gallus gallus. Substitution of G to A allele results in an increase in egg weight, shell thickness and percentage of eggshell weight / egg weight. At the same time, significant negative effect on the studied traits of substitution allele G on A was not revealed.*

**Keywords:** condensin I, NCAPG gene, genotype, Rhode-Island breed, domestic chicken, eggs traits.

*Authors:*

**Barkova Olga Iurevna** — candidate of Biological Science, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Organization of a Genome, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics & Breeding; e-mail: barkoffws@list.ru;

**Loscutov Svyatoslav Igorevich** — candidate of Agricultural Science, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Organization of a Genome, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics & Breeding;

**SmaragdoV Michael Grigorievich** — candidate of Biological Science, Head of the Laboratory of Molecular Organization of a Genome, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics & Breeding, e-mail: mik7252@yandex.ru.