

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В МОЛОКЕ КОРОВ**

Михайлова Ю.А., Тамарова Р.В.

*Ярославская Государственная сельскохозяйственная академия,  
Ярославль Ярославской обл., Российская Федерация*

В последние десятилетия в России наблюдается тенденция снижения содержания белка в молоке коров, в основном, в связи с импортом племенного материала голштинской породы из США и Канады, поэтому необходимо разрабатывать селекционные методы повышения содержания молочного белка, в том числе с использованием генетических маркеров. Известно, что аллельные варианты генов каппа-казеина (CSN3) и бета-лактоглобулина (LGB), являются маркерами белкомолочности и технологических свойств молока. Для повышения содержания белка в молоке и улучшения его технологических свойств предпочтительными являются В-аллельные варианты генов CSN3 и LGB. У крупного рогатого скота наиболее часто встречаются аллели А и В CSN3 в трёх сочетаниях генотипов – АА, АВ, ВВ. Цель данной работы – изучить частоту встречаемости аллелей генов CSN3 и LGB у дочерей, полученных от быков-отцов ярославской породы с АВ, ВВ генотипами CSN3 и АА, АВ генотипами LGB, и оценить наследуемость содержания белка в молоке коров с учётом результатов генотипирования. Было прогенотипировано 49 коров-дочерей от 11 быков-отцов ярославской породы. ДНК-диагностика образцов крови по каппа-казеину и β-лактоглобулину проведена с использованием методики (Saiki et al., 1985). В исследованных выборках быков-производителей наиболее часто встречался вариант CSN3AA/LGBAA, имеющий А-аллель генов CSN3 и LGB; на втором месте были быки с вариантом CSN3AB/LGBAA комплексных генотипов. Более половины коров имеют в своём комплексном генотипе два и более В-аллелей генов молочных белков; каждая особь наследует по одному из двух аллелей генов CSN3 и LGB от матери и отца. Важно контролировать комплексные показатели у быков-производителей и их дочерей с учётом генотипов матерей и уровня показателей молочной продуктивности в родительском стаде.

*Ключевые слова: коровы ярославской породы, содержание белков в молоке, каппа-казеин, β-лактоглобулин, аллельные варианты генов, частоты встречаемости, наследуемость*

*Проблемы биологии продуктивных животных, 2022, 1: 35-43*

**Введение**

В практике племенной работы со стадами и породами наиболее широко применяют методы популяционной генетики, маркерной селекции и ДНК-тестирование животных по генам – маркерам признаков молочной продуктивности. Опыт многих стран свидетельствует о важности проблемы селекции коров по белкомолочности, так как это во многом определяет пищевую ценность молока и его технологические свойства.

Маркерная селекция применяется для ускорения селекционного процесса в соответствии с современными требованиями развития животноводства, в дополнение к традиционным методам отбора и подбора. В системах крупномасштабной селекции ключевым звеном являются быки-производители.

В работах отечественных и зарубежных учёных при изучении полиморфизма белков молока установлено, что аллельные варианты генов каппа-казеина (CSN3) и бета-лактоглобулина (LGB), кодирующие основные белки казеинового комплекса и сывороточные белки, являются маркерами

белковомолочности и технологических свойств молока. Для повышения содержания белка в молоке и улучшения его технологических свойств предпочтительными являются В-аллельные варианты генов каппа-казеина и бета-лактоглобулина (Калашникова и др., 1999; Zwierzchowski et al., 2001, Гладырь, 2001; Хабибрахманова, 2009; Bonfatti et al., 2011).

Наиболее часто у крупного рогатого скота встречаются аллели А и В каппа-казеина в трёх различных сочетаниях генотипов – АА, АВ, ВВ. Доказано, что В-аллель является надежным маркером более высокого содержания белка в молоке, лучших его технологических свойств и большего выхода творога и сыра (Strzalkowska et al., 2002; Калашникова и др., 2003; Калашникова и др., 2015; Перчун, 2015).

По данным зарубежных учёных, качество образующихся сычужных сгустков коррелирует с генетическими вариантами β-лактоглобулина (Green, 1981). Так, молоко, содержащее В-вариант этого белка, образует более плотный сгусток и даёт более высокий выход сыра, чем молоко варианта А. Это, вероятно, обусловлено тем, что молоко с В вариантом β-лактоглобулина характеризуется высокой долей казеина в белковой фракции молока.

Полиморфизм ДНК может быть использован для исследования закономерностей наследования вариантов генов каппа-казеина и β-лактоглобулина, несущих желательный комплекс признаков в конкретных средовых условиях. На основе такой информации можно целенаправленно формировать генофонды с необходимыми генными сочетаниями. Полиморфные системы белков наследуются по типу кодминирования. Генотип животного по этим системам служит как-бы пожизненным маркером, практически не зависящим от изменения внешних условий и состояния организма (Калашникова и др., 2003, 2015).

Однако для практики молочной промышленности особый интерес представляет, прежде всего то, что в процессе высокотемпературной тепловой обработки молока происходит взаимодействие денатурированного бета-лактоглобулина с казеином, в результате чего гидрофильные свойства казеина усиливаются. От интенсивности этого взаимодействия зависят структурно-механические свойства (прочность, способность отделять сыворотку) кислотного и кислотно-сычужного сгустков, образующихся при выработке творога и сыра. Образующиеся продукты – это большие агрегаты, состоящие из бета-лактоглобулинов и каппа-казеина в соотношении 1:1. Агрегаты соединяются между собой дисульфидными связями, а также за счет гидрофобных взаимодействий (Mogcol, 2001; Михайлова, 2019).

Цель данной работы – изучить частоту встречаемости аллелей генов CSN3 и LGB у дочерей, полученных от быков-отцов с АВ, ВВ генотипами CSN3 и АВ, АА генотипами LGB, и оценить наследуемость содержания белка в молоке коров-дочерей с учётом результатов генотипирования в двух ведущих племенных хозяйствах Ярославской области.

### **Материал и методы**

Исследования проведены в двух племенных хозяйствах по ярославской породе – племрепродукторе ЗАО СП «Меленковский» и племзаводе ЗАО «Ярославка» Ярославской области. В работе с молочными стадами внедрена научно-обоснованная система племенной работы по качественному улучшению стада.

В первый каталог быков-производителей молочных и молочно-мясных пород, изданный в 2009 году, включены все быки разводимых в Ярославской области ярославской, голштинской, айрширской пород и Михайловского типа, используемые в сети искусственного осеменения, находящиеся в племпредприятии ОАО «Ярославское» по племенной работе. Они были протестированы по генотипам каппа-казеина в лаборатории разведения и генетики ВИЖ. Эта информация публиковалась и в последующих каталогах (2011, 2013, 2015, 2018, 2019, 2020 гг). Селекционеры в племенных хозяйствах имели возможность использовать соответствующие данные при подборе быков-производителей к стаду и индивидуальном подборе родительских пар (Тамарова, 2016; Корнев, 2020).

В задачи исследования входило определение частоты встречаемости генотипов каппа-казеина (CSN3) и β-лактоглобулина (LGB) у быков, использовавшихся в племенных стадах Ярославской области с 2011 г, оценка наследования аллельных вариантов генов CSN3 и LGB

дочерьми от быков-отцов с АВ и ВВ генотипами CSN3, АА и АВ генотипами LGB и оценка наследуемости содержания белка в молоке коров-дочерей.

Главным признаком методического отбора коров в группы для анализа было содержание белка в молоке: целевой стандарт отбора не ниже 3,5% для ярославских чистопородных коров и не ниже 3,4% – для коров улучшенных генотипов, т.е. ярославских голштинизированных с кровностью по голштинской породе от 83,1 до 87,5%, а также наличие не менее трёх законченных лактаций, чтобы проследить возрастную динамику белкомолочности коров (Тамарова, 2016).

Было проведено генотипирование 27 коров-дочерей от 11 быков-отцов в стаде племрепродуктора ЗАО СП «Меленковский» и 22 коровы-дочери в племзаводе ЗАО «Ярославка». В лаборатории ДНК-технологий ВНИИ племенного дела проведена ДНК-диагностика образцов крови по каппа-казеину и β-лактоглобулину с использованием методики (Saiki et al., 1985), модифицированной сотрудниками ВНИИплем (Калашникова и др., 1999).

### Результаты и обсуждение

Первичная структура главного компонента κ-казеина В-аллельного варианта представлена на рис. 1.

ПироГлу	—	Глу	—	Глн	—	Асн	—	Глн	—	Глу	—	Глн	—	Про	—	Иле	—	10	Арг	—	
—	Цис	—	Глу	—	Лиз	—	Асп	—	Глу	—	Арг	—	Фен	—	Фен	—	Сер	—	30	Асп	—
—	Лиз	—	Иле	—	Ала	—	Лиз	—	Тир	—	Иле	—	Про	—	Иле	—	Глн	—	30	Тир	—
—	Вал	—	Лей	—	Сер	—	Арг	—	Тир	—	Про	—	Сер	—	Тир	—	Гли	—	40	Лей	—
—	Асн	—	Тир	—	Тир	—	Глн	—	Глн	—	Лиз	—	Про	—	Вал	—	Ала	—	50	Лей	—
—	Иле	—	Асн	—	Асн	—	Глн	—	Фен	—	Лей	—	Про	—	Тир	—	Про	—	60	Тир	—
—	Тир	—	Ала	—	Лиз	—	Про	—	Ала	—	Ала	—	Вал	—	Арг	—	Сер	—	70	Про	—
—	Ала	—	Глн	—	Иле	—	Лей	—	Глн	—	Три	—	Глн	—	Вал	—	Лей	—	80	Сер	—
—	Асп	—	Тре	—	Вал	—	Про	—	Ала	—	Лиз	—	Сер	—	Цис	—	Глн	—	90	Ала	—
—	Глн	—	Про	—	Тре	—	Тре	—	Мет	—	Ала	—	Арг	—	Гис	—	Про	—	100	Гис	—
—	Про	—	Гис	—	Лей	—	Сер	—	Фен	—	Мет	—	Ала	—	Иле	—	Про	—	105	Про	—
—	Лиз	—	Лиз	—	Асн	—	Глн	—	Асп	—	Лиз	—	Тре	—	Глу	—	Иле	—	106	Про	—
—	Тре	—	Иле	—	Асн	—	Тре	—	Иле	—	Ала	—	Сер	—	Гли	—	Глу	—	130	Про	—
—	Тре	—	Сер	—	Тре	—	Про	—	Тре	—	Иле	—	Глу	—	Ала	—	Вал	—	140	Глу	—
—	Сер	—	Тре	—	Вал	—	Ала	—	Тре	—	Лей	—	Глу	—	Ала	—	Сер	—	150	Про	—
—	Глу	—	Вал	—	Иле	—	Глу	—	Сер	—	Про	—	Про	—	Глу	—	Иле	—	160	Асн	—
—	Тре	—	Вал	—	Глн	—	Вал	—	Тре	—	Сер	—	Тре	—	Ала	—	Вал	—	169	СООН	—

Рис. 1. Первичная структура κ-казеина В-аллельного варианта (адаптировано по: Farrell et al., 2004).

Каппа-казеин варианта А отличается от каппа-казеина варианта В заменой Тре на Иле в положении 136 и Асп на Ала в положении 148.

На рис. 2 представлена первичная структура наиболее распространённого генетического варианта В бета-лактоглобулина.

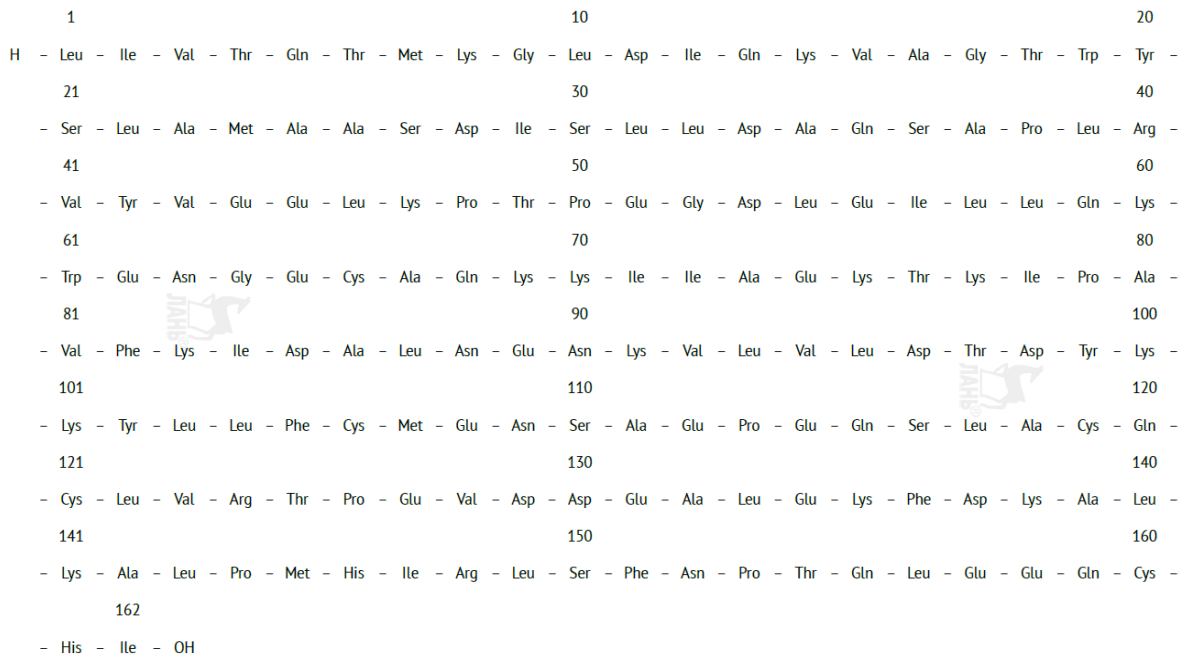


Рис. 2. Первичная структура  $\beta$ -лактоглобулина В-аллельного варианта (адаптировано по: Farrell et al., 2004).

Вариант А бета-лактоглобулина отличается от варианта В бета-лактоглобулина заменой в положении 64 остатка Гли на остаток Асп и в положении 118 – Ала на Вал.

Учитывая основную долю влияния быков-производителей на содержание белка в молоке коров-дочерей, мы проанализировали частоту встречаемости комплексных генотипов по каппа-казеину и  $\beta$ -лактоглобулину у быков, использовавшихся в подборе в племенных стадах племзавода ЗАО «Ярославка» и племрепродуктора ЗАО СП «Меленковский» (рис. 3).

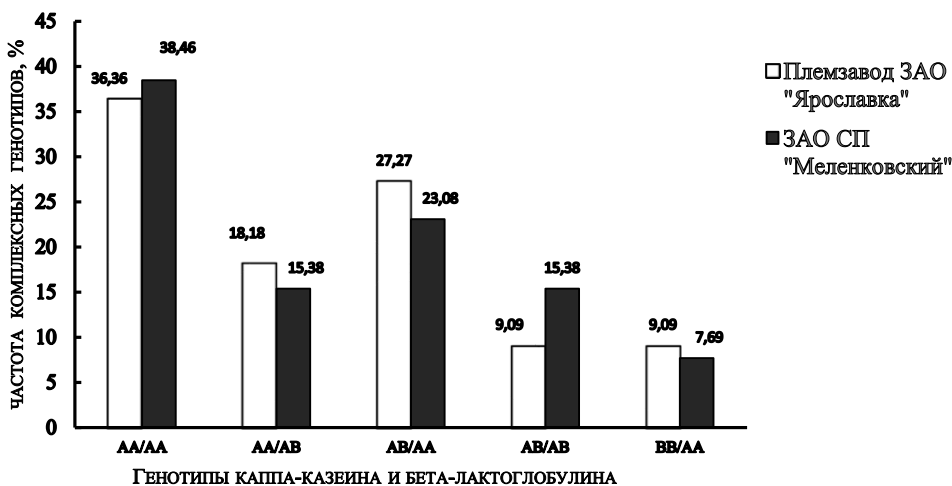


Рис. 3. Частота встречаемости комплексных генотипов каппа-казеина и  $\beta$ -лактоглобулина у быков ярославской и голштинской пород ( $n = 47$ ) в племенных стадах Ярославской области. Обозначения комплексных генотипов: AA/AA – CSN3AA/LGBAA; AA/AB – CSN3AA/LGBAB; AB/AA – CSN3AB/LGBAA; AB/AB – CSN3AB/LGBAB; BB/AA – CSN3BB/LGBAA.

В племзаводе ЗАО «Ярославка» и племрепродукторе ЗАО СП «Меленковский» использовали преимущественно быков с пятью возможными вариантами комплексных генотипов CSN3/LGB. Наиболее часто встречался вариант CSN3AA/LGBAA, имеющий А-аллель генов каппа-казеина и β-лактоглобулина, которые являются маркерами более высоких удоев у коров. На втором месте были быки с вариантом CSN3AB/LGBAA комплексных генотипов. Ярославский бык Злак 221 с комплексным генотипом CSN3BB/LGBAA использовался в обоих хозяйствах. В ЗАО СП «Меленковский» использовали в подборе к коровам стада двух ярославских быков – Зверобой 33 и Берест 924 с наиболее желательными вариантами CSN3AB/LGBAB комплексных генотипов. Они имели по одному В-аллеля генов молочных белков, связанных с лучшими показателями свертываемости молока при выработке белкомолочных продуктов. Среди быков в подборе к коровам не встречались с генотипом BB β-лактоглобулина.

Среди ярославских быков можно выделить особей с комплексным генотипом CSN3AB/LGBAA – Меткий 492 (с племенной категорией А<sub>1</sub>, родительский индекс быка по МДБ 3,37%) и Маун 561 (с племенной категорией А<sub>1</sub>Б<sub>1</sub>, родительский индекс быка по МДБ 3,33%), с CSN3AB/LGBAB – Зверобой 33 (с племенной категорией А<sub>1</sub>Б<sub>1</sub>, родительский индекс быка по МДБ 3,58%) и Берест 924 (с племенной категорией А<sub>1</sub>Б<sub>1</sub>, родительский индекс быка по МДБ 3,34%), с CSN3BB/LGBAA – Злак 221 (с племенной категорией улучшателя по жирномолочности Б<sub>1</sub>, родительский индекс быка по МДБ 3,62%).

На рис. 4 представлено распределение генотипов каппа-казеина и β-лактоглобулина у коров-дочерей, полученных от быков-отцов с «желательными» генотипами АВ и ВВ каппа-казеина и АА и АВ бета-лактоглобулина.

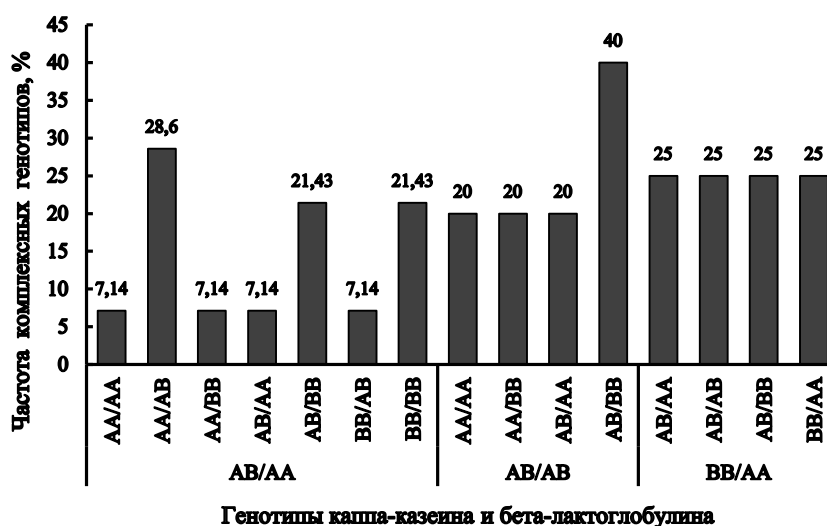


Рис. 4. Частота встречаемости комплексных генотипов каппа-казеина и β-лактоглобулина у подконтрольных коров-дочерей (n = 49) от ярославских чистопородных быков-отцов (n = 11) в племенных стадах Ярославской области. Обозначения комплексных генотипов у быков: AB/AA – CSN3AB/LGBAA; AB/AB – CSN3AB/LGBAB; BB/AA – CSN3BB/LGBAA. Обозначения комплексных генотипов у коров-дочерей от быков-отцов: AA/AA – CSN3AA/LGBAA от быков с генотипом CSN3AB/LGBAA; AA/AB – CSN3AA/LGBAB ... CSN3AB/LGBAA; AA/BB – CSN3AA/LGBBB ... CSN3AB/LGBAA; AB/AA – CSN3AB/LGBAA ... CSN3AB/LGBAA; AB/BB – CSN3AB/LGBBB ... CSN3AB/LGBAA; BB/AB – CSN3BB/LGBAB ... CSN3AB/LGBAA; BB/BB – CSN3BB/LGBBB ... CSN3AB/LGBAA; AA/AA – CSN3AA/LGBAA ... CSN3AB/LGBAB; AA/BB – CSN3AA/LGBBB ... CSN3AB/LGBAB; AB/AA – CSN3AB/LGBAA ... CSN3AB/LGBAB; AB/BB – CSN3AB/LGBBB ... CSN3AB/LGBAB; AB/AA – CSN3AB/LGBAA ... CSN3BB/LGBAA; AB/AB – CSN3AB/LGBAB ... CSN3BB/LGBAA; AB/BB – CSN3AB/LGBBB ... CSN3BB/LGBAA; BB/AA – CSN3BB/LGBAA ... CSN3BB/LGBAA.

От ярославских быков с комплексными генотипами CSN3AB/LGBAA встречались коровы-дочери с семью вариантами комплексных генотипов CSN3/LGB. Только от ярославских быков с комплексными генотипами CSN3AB/LGBAB и CSN3BB/LGBAA у дочерей встречались четыре варианта комплексных генотипов каппа-казеина и  $\beta$ -лактоглобулина.

В целом, больше половины лактирующих коров имеют в своём комплексном генотипе два и более В-аллелей генов молочных белков; каждая особь наследует по одному из двух аллелей генов каппа-казеина и  $\beta$ -лактоглобулина от матери и отца.

Доля коров-дочерей с одним В-аллелем составляет 28%, доля коров-дочерей, не имеющих ни одного В-аллеля (генотип CSN3AA/LGBAA) – 8%. Доля коров-дочерей с двумя, тремя и четырьмя В-аллелями составляет соответственно 24, 3 и 8%.

Для более полного анализа были рассчитаны доля и уровень статистической значимости влияния основных генотипических факторов (факторы быков-отцов с разными генотипами каппа-казеина и бета-лактоглобулина и комплексными генотипами) на содержание белка в молоке коров методом однофакторного дисперсионного анализа (табл. 1).

*Таблица 1. Доля влияния быков-отцов с генотипами АВ и ВВ каппа-казеина, АА и АВ бета-лактоглобулина и комплексных генотипов на содержание белка в молоке коров-дочерей*

Факторы	Источник вариации	Сумма квадратов (SS)	Число степеней свободы вариации (df)	Дисперсия (MS)	Фактическое значение F-критерия	Табличное значение F-критерия
Генотип быков-отцов по каппа-казеину АВ	Групповая	0,75	8	0,09	3,31	2,25
	Остаточная	0,88	31	0,03		
	Общая	1,63	39			
Доля влияния $h^2$ , %		46,1* (n=40)				
Генотип быков-отцов по каппа-казеину ВВ	Групповая	0,02	1	0,02	0,62	10,1
	Остаточная	0,08	3	0,03		
	Общая	0,10	4			
Доля влияния $h^2$ , %		17,2 (n=5)				
Генотип быков-отцов по бета-лактоглобулину АА	Групповая	0,22	2	0,11	3,52	3,68
	Остаточная	0,46	15	0,03		
	Общая	0,68	17			
Доля влияния $h^2$ , %		32,0* (n=18)				
Генотип быков-отцов по бета-лактоглобулину АВ	Групповая	0,01	1	0,01	0,45	10,1
	Остаточная	0,06	3	0,02		
	Общая	0,07	4			
Доля влияния $h^2$ , %		13,1 (n=5)				
Комплексный генотип отцов CSN3AB/LGBAA	Групповая	0,17	1	0,17	5,25	4,75
	Остаточная	0,38	12	0,03		
	Общая	0,55				
Доля влияния $h^2$ , %		30,5* (n=14)				
Комплексный генотип отцов CSN3AB/LGBAB	Групповая	0,01	1	0,01	0,45	10,1
	Остаточная	0,06	3	0,02		
	Общая	0,07	4			
		13,1 (n=5)				
Комплексный генотип отцов CSN3BB/LGBAA	Групповая	0,02	1	0,02	0,62	10,1
	Остаточная	0,10	3	0,03		
	Общая	0,10	4			
Доля влияния $h^2$ , %		17,2 (n=5)				

Примечание: \*P<0,05 для F-критерия 3,31; 3, 52; \*\* P<0,01 для F-критерия 5,25.

Результаты исследований показали, что из генотипических факторов наибольшее влияние на содержание белка в молоке коров-дочерей оказали быки-отцы с генотипом АВ каппа-казеина,

доля влияния  $h^2$  которых составила 46,1% ( $F= 3,31$ ;  $P<0,05$ ), а также быки-отцы с генотипом AA бета-лактоглобулина, доля влияния  $h^2$  которых составила 32% ( $F= 3,52$ ;  $P<0,05$ ). Доля влияния  $h^2$  комплексного генотипа быков-отцов CSN3AB/LGBAA – 30,5% ( $F= 5,25$ ;  $P<0,05$ ). Чем больше величина  $h^2$ , тем выше наследственная обусловленность изменчивости признака.

### Заключение

В исследуемых хозяйствах племзаводе ЗАО «Ярославка» и племрепродукторе ЗАО СП «Меленковский» Ярославской области 55% лактирующих коров имеют в комплексном составе генотипа два или три В-аллеля генов молочных белков, 20% коров имеют один В-аллель, более предпочтительных для молочной промышленности.

При анализе наследуемости содержания белка в молоке коровами-дочерьми в зависимости от генотипов по каппа-казеину и бета-лактоглобулину выявлена более высокая степень его реализации от быков-отцов с В-аллельными вариантами генотипа каппа-казеина и А-аллельными вариантами генотипа бета-лактоглобулина. Это свидетельствует о том, что генотипы каппа-казеина и бета-лактоглобулина в любом возрасте и в разных условиях тесно связаны с высокой белковомолочностью.

Стоимость ДНК-тестирования сегодня составляет  $\approx 500$  руб. на одну пробу. В связи с тем, что маркирование всё еще остается достаточно дорогим, ДНК-тестирование следует использовать при селекции крупного рогатого скота по экономически ценным признакам – по содержанию белка и технологическим свойствам молока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гладырь Е.А. ДНК-диагностика вариантов генов каппа-казеина и бета-лактоглобулина у крупного рогатого скота: автореф. дисс. ... к.б.н. Дубровицы, ВИЖ. 2001. 23 с.
2. Калашникова Л.А., Дунин И.М., Глазко В.И. и др. ДНК-технологии оценки сельскохозяйственных животных. М.: ВНИИплем, 1999. 148 с.
3. Калашникова Л.А., Дунин И.М., Глазко В.И. Селекция XXI века: использование ДНК-технологий. М.: ВНИИплем, 2003. 438 с.
4. Калашникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота. Лесные поляны: ВНИИплем., 2015. 34 с.
5. Коренев М.М., Фураева Н.С. Племенная работа в животноводстве Ярославской области. Ярославль: ОАО «Ярославское» по племенной работе, 2015, 2020. 36 с.
6. Меркурьева Е.К., Шангин-Березовский Г.Н. Генетика с основами биометрии. М.: Колос, 1983. 424 с.
7. Михайлова Ю.А., Тамарова Р.В., Ярлыков Н.Г. Генетическое улучшение коров по белковомолочности и качеству продукции с использованием метода ДНК-диагностики. Ярославль: Ярославская ГСХА, 2019. 124 с.
8. Перчун А.В. Оценка костромской породы крупного рогатого скота по ДНК-маркерам хозяйственно-полезных признаков: автореф. дисс. ... к.б.н. Лесные поляны, ВНИИплем. 2015. 21 с.
9. Тамарова Р.В. Конкурентоспособность, мониторинг состояния, перспективы сохранения ярославской породы молочного скота. // В сб.: «Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве». Ярославль: Ярославская ГСХА, 2016. С. 102-114.
10. Тамарова Р.В., Ярлыков Н.Г., Корчагина Ю.А. Теория и практика повышения белковомолочности коров в племенных хозяйствах Ярославской области. М.: РГАУ-МСХА, 2016. 114 с.
11. Хабибрахманова Я.А. Полиморфизм генов молочных белков и гормонов крупного рогатого скота: автореф. дисс. ... к.б.н. Лесные Поляны, ВНИИплем, 2009. 23 с.
12. Bonfatti V., Cecchinato A., Martino G. Di, Marchi M. De, Gallo L., Carnier P. Effect of  $\kappa$ -casein B relative content in bulk milk  $\kappa$ -casein on Montasio, Asiago, and Caciotta cheese yield using milk of similar protein composition. // J. Dairy Sci. 2011. Vol. 94. nr 2. P. 602-613.
13. Green M.L., Morant S.V. Mechanism of aggregation of casein micelles in rennet treated milk. // J. Dairy Res. 1981. Vol. 48. nr 1. P. 57-63.
14. Morcol T. Model process for removal of caseins from milk of transgenic animals. // Biotechn. Progr. 2001. Vol. 17. nr 3. P. 577-582.

15. Strzalkowska N., Krzyzewski J. Effects of k-casein loci polymorphism, cow's age, stage of lactation and somatic cell count on daily milk yield and milk composition in Polish Black-and-White cattle. // *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2002. Vol. 20. P. 21-35.
16. Zwierzchowski L., Oprzadek J., Dymnicki E., Dzierzbicki P. An association of growth hormone, k-casein,  $\beta$ -lactoglobulin, leptin and Pit-I loci polymorphism with growth rate and carcass traits in beef cattle. // *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2001. Vol. 19. nr 1, P. 65-77.

### References (for publications in Russian)

1. Gladyr E.A. [DNA diagnostics of kappa-casein and beta-lactoglobulin gene variants in cattle]. Extended Abstract of Diss. Cand. Sci. Biol. VIZh, Dubrovitsy, 2001. 23 p.
2. Kalashnikova L.A., Dunin I.M., Glazko V.I. et al. *DNK-tehnologii otsenki sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh.* (DNA-technologies for evaluating farm animals). Moscow: VNIIPlem Publ., 1999. 148 p.
3. Kalashnikova L.A., Dunin I.M., Glazko V.I. *DNK-tehnologii otsenki sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh.* (21st Century Breeding: Using DNA Technology). Moscow: Vniiplem Publ., 2003. 438 p.
4. Kalashnikova L.A., Habibrahmanova J.A., Pavlova I.Y., Ganchenkova T.B. *Rekomendatsii po genomnoi otsenke krupnogo rogatogo skota.* (Recommendations for genomic evaluation of cattle). Lesnye polyany: VNIIPlem Publ., 2015. 34 p.
5. Khabibrakhmanova Ya.A. Polimorfizm genov molochnykh belkov i gormonov krupnogo rogatogo skota: (Gene polymorphism of milk proteins and hormones in cattle). Extended Abstract of Diss. Cand. Sci. Biol. Lesnye polyany, 2009. 23 p.
6. Korenev M.M., Furaeva N.S. *Plemennaya rabota v zhivotnovodstve Yaroslavskoi oblasti* (Breeding work in animal husbandry of the Yaroslavl oblast). Yaroslavl: Breeding Center Publ., 2015 – 2018. – 36 p.
7. Merkur'yeva E.K., Shangin-Berezovsky G.N. *Genetika s osnovami biometrii* (Genetics with the basics of biometrics). Moscow: Kolos Publ., 1983. 424 p.
8. Mikhailova Yu.A., Tamarova R.V., Yarlykov N.G. *Geneticheskoe uluchshenie korov po belkovomolochnosti i kachestvu produktsii s ispol'zovaniem metoda DNK-diagnosticski* (Genetic improvement of cows in terms of protein content and product quality using the method of DNA-diagnostics). Yaroslavl: State Agricultural Academy Publ., 2019. 124 p.
9. Perchun A.V. *Otsenka kostromskoi porody krupnogo rogatogo skota po DNK-markeram khozyaistvenno-poleznykh priznakov* (Evaluation of the Kostroma breed of cattle by DNA-markers of economic useful features). Extended Abstract of Diss. Cand. Sci. Biol. Lesnye polyany: VNIIPlem Publ., 2015. 21 p.
10. Tamarova R.V. [Competitiveness, monitoring of the state, prospects of preservation of the Yaroslavl breed of dairy cattle]. In: *Povyshenie urovnya i kachestva biogenogo potentsiala v zhivotnovodstve* (Improving the level and quality of biogenic potential in animal husbandry). Yaroslavl: State Agric. Acad. Publ., 2016. P. 102-114.
11. Tamarova R.V., Yarlykov N.G., Korchagina Yu.A. *Teoriya i praktika povysheniya belkovomolochnosti korov v plemennykh khozyaistvakh Yaroslavskoi oblasti* (Theory and practice of increasing the milk protein content of cows in breeding farms of the Yaroslavl oblast). Moscow: RGAU-MSKHA Publ., 2016. 114 p.



UDC 636.271:575.224.22:612.664.1

**Using complex genetic markers to  
increase the protein content in cow's milk**

Mikhaylova Ju.A., Tamarova R.V.

*Yaroslavl State Agricultural Academy,  
Yaroslavl, Russian Federation*

**ABSTRACT.** In recent decades, in Russia it has been seen a decline in protein in cow's milk, mainly due to the import of Holstein breeding material from the US and Canada. Therefore, it is necessary to develop selection methods for increasing milk protein production, including using genetic markers. Allelic variants of the kappa-casein (CSN3) and beta-lactoglobulin (LGB) genes are known to be markers of milk protein and technological properties of milk. To increase the protein content in milk and improve its technological properties, B-allelic variants of CSN3 and LGB genes are preferred. In cattle, the kappa-casein alleles A and B are most often found in three different combinations of genotypes - AA, AB, BB. The aim of this work is to study the frequency of occurrence of CSN3 and LGB alleles in daughters obtained from bullfathers of the Yaroslavl breed with AB, BB genotypes CSN3 and AA, AB genotypes LGB, and to evaluate the heritability of protein content in cow milk, taking into account the results of genotyping. There were genotyped 49 cows daughters from 11 bull fathers of the Yaroslavl breed. DNA diagnostics of blood samples by CSN3 and LGB was carried out using the technique (Saiki et al., 1985). In the studied samples, the CSN3AA/LGBAA variant with the A allele of the CSN3 and LGB genes was most often encountered; in second place were bulls with the CSN3AB/LGVAA variant of complex genotypes. More than half of the cows in their complex genotype have two or more B-alleles of milk protein genes; each individual inherits one of the two alleles of the CSN3 and LGB genes from the mother and father. It is important to control complex indicators in bulls and their daughters, taking into account the genotypes of mothers and the level of indices of milk productivity in the parent herd.

*Keywords: cows, Yaroslavl breed, protein content in milk, kappa-casein,  $\beta$ -lactoglobulin, allelic variants of genes, frequency of occurrence, heritability*

**Problemy biologii productivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology. 2022. 1: 35-43**

Поступило в редакцию: 10.11.2021      Получено после доработки: 20.12.2021

Сведения об авторах:

**Михайлова Юлия Александровна**, к.с.-х.н. 8(915)991-57-29; k1709yulia@yandex.ru;  
**Тамарова Раиса Васильевна**, д.с.-х.н., проф. 8(906)529-27-85.