

Влияние полиморфных вариантов гена *CSN3* на технологические свойства молока

А.В.БИГАЕВА

Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова

Канд. техн. наук **А.Г.КРУЧИНИН,**

д-р техн. наук **И.А.РАДАЕВА,**

канд. биол. наук **Х.Х.ГИЛЬМАНОВ,**

Е.Е.ИЛЛАРИОНОВА

ВНИИ молочной промышленности

Современные молекулярно-генетические методы анализа позволяют селекционировать крупный рогатый скот с учетом генотипов, определяющих ценные хозяйственно-полезные признаки животных. С точки зрения дальнейшей переработки коровьего молока особое значение приобретают гены, отвечающие за экспрессию молочных белков. В числе наиболее вероятных ДНК-маркеров, коррелирующих с молочной продуктивностью и качественными показателями коровьего молока, изучают аллели генов белков молока, гормонов и ферментов. Значительное количество данных получено по результатам исследований технологических свойств молока коров различных генотипов по генам белковых фракций α_{S1} -казеина (*CSN1S1*), β -казеина (*CSN2*), β -лактоглобулина (*BLG*) и *к*-казеина (*CSN3*). Установлено, что аллель *B* гена *CSN1S1* влияет на количественные показатели удоев, а аллель *C* связан с уровнем белка. Аллельный вариант *B* гена *CSN2*, положительно воздействующий на сыропригодность молока, является синергистом аналогичного влияния аллеля *B* *к*-казеина, а аллельный вариант *A* по гену *CSN2* положительно влияет на термоустойчивость молока. Ген *BLG* ассоциирован с биологической ценностью и технологическими свойствами молока. Ген *к*-казеина отвечает за общее количество белка, технологические свойства и наиболее изучен и достоверно связан с продуктивностью животных [1, 2].

Сегодня открыты и изучены 15 аллелей *CSN3*, чаще всего среди пород встречаются аллели *A* и *B* [2]. При этом частота встречаемости различных аллельных

вариантов по гену *к*-казеина зависит от породы и территориального расположения хозяйства. Так, даже у обособленных стад одной породы показатели могут варьировать [3]. Это значительно влияет на дальнейшие исследования ученых и возможность объективного сравнения уже имеющихся результатов с точки зрения селекционного выбора. Однако с позиции рациональной переработки молока накопленные результаты научных исследований, определяющих влияние полиморфных вариантов гена *CSN3* на технологические свойства молока, немаловажны.

К основным технологическим свойствам молока относят термоустойчивость и сычужную свертываемость, которые напрямую зависят от массовой доли общего белка, а также стабильности белковых фракций и других компонентов дисперсной среды в коллоидном растворе. Эти технологические свойства в основном считаются несовместимыми селекционируемыми признаками.

Термоустойчивость молочных белков определяет его способность к высокотемпературной обработке, обязательной в производстве продуктов длительного хранения, в том числе детского питания и молочных консервов [4, 5]. Сычужная свертываемость молока является наиболее важным показателем его сыропригодности [6].

Исследованиями ряда авторов показано, что положительно на термоустойчивость молока влияет аллель *A* *к*-казеина, а на сычужную свертываемость молока – аллель *B* [1, 7–12]. Так, у коров черно-пестрой породы Самарской области выявлено три генотипа по локусу гена *к*-казеина – *CSN3^{AA}*, *CSN3^{AB}* и *CSN3^{BB}* с частотой встречаемости соответственно 60, 28,57 и 11,43 %. Частота аллеля *A* составила 0,743, а аллеля *B* – 0,257. Коровы с генотипом *CSN3^{BB}* имели ряд преимуществ по сравнению с коровами с генотипами *CSN3^{AA}* и *CSN3^{AB}*. По уровню удоя они превосходили сверстниц с генотипом *CSN3^{AA}* на 184 кг, а животных с генотипом *CSN3^{BB}* –

на 166 кг. При этом молоко, полученное от коров с генотипом *CSN3^{BB}*, содержало больше жира (на 0,16 и 0,01 %) и белка (на 0,22 и 0,1 %). Продолжительность свертывания такого молока была меньше по сравнению с молоком коров с генотипами *CSN3^{AB}* и *CSN3^{AA}* на 3–9 мин. Сгусток из молока коров с генотипом *CSN3^{BB}* отличался наибольшей плотностью и упругостью, как следствие, выход сыра из этого молока превосходил другие образцы как количественно, так и качественно [7].

При этом оценка коров черно-пестрой породы в Республике Татарстан показала, что коровы с генотипом *CSN3^{BB}* не только отличались повышенным содержанием сухих веществ и СОМО [2], но и превосходили молоко коров с генотипом *CSN3^{AA}* по биологической эффективности и полноценности [8].

Исследование симментальской породы австрийской селекции выявило, что частота встречаемости генотипа *CSN3^{AA}* составила 66 %, *CSN3^{AB}* – 30 %, *CSN3^{BB}* – 4 %. Частота аллеля *A* составила 0,809; аллеля *B* – 0,191. Коровы с гомозиготным генотипом *CSN3^{AA}* имели более высокие удои (на 2,6–3,5 % по сравнению с коровами с генотипом *CSN3^{AB}* и на 3,7–7,5 % по сравнению с генотипом *CSN3^{BB}*), но при этом коровы с генотипом *CSN3^{BB}* продуцировали молоко с большим содержанием жира и белка, что в дальнейшем позволило получить больше творога (на 12,5 % по сравнению с генотипом *CSN3^{AA}* и на 4,4 % по сравнению с генотипом *CSN3^{AB}*) с лучшими вкусовыми качествами, чем от коров с другими генотипами по *к*-казеину [9].

Изучение коров красно-пестрой породы с разными генотипами *к*-казеина показало встречаемость генотипа *CSN3^{AA}* – 33,1 %, *CSN3^{AB}* – 56,69 %, *CSN3^{BB}* – 10,21 %. Частота аллеля *A* составила 0,61 %, *B* – 0,39 %. Животные с генотипом *CSN3^{BB}* превосходили сверстниц с генотипами *CSN3^{AA}* и *CSN3^{AB}* как по удою (на 643,7 и 152,8 кг соответственно), содержанию жира (0,19 и

0,06 %) и белка (на 0,13 и 0,22 %) в молоке, так и сыропригодности молока [10].

Отечественными учеными выявлено, что у голштинской породы голландской селекции частота встречаемости гомозиготного генотипа κ -казеина $CSN3^{AA}$ составила 54,4 %, гетерозиготного генотипа $CSN3^{AB}$ – 37,8 %, а гомозиготного генотипа $CSN3^{BB}$ – 7,8 %. Частота аллеля A – 0,739, аллеля B – 0,261. Коровы с генотипом $CSN3^{AB}$ в ходе эксперимента давали наиболее высокие удои по сравнению со сверстницами с генотипами $CSN3^{AA}$ (на 2,9–14,7 %) и $CSN3^{BB}$ (на 9,4–19,3 %). Однако коровы с генотипом $CSN3^{BB}$ производили молоко с большим содержанием жира и белка, соответственно из него выходило на 2,9–11,1 % больше высококачественного творога, чем из молока коров с другими генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{AA}$ [11]. Установлено, что у ярославских чистопородных коров преобладает аллель B κ -казеина, молоко характеризуется высоким содержанием белка и сыропригодностью в отличие от высокоудойных голштинизированных ярославских пород с преобладанием аллеля A в генотипе [12].

Следует отметить, что не во всех экспериментах результаты опытов по выявлению влияния локуса κ -казеина на технологические свойства молока сходятся. К примеру, опыты, проведенные на коровах черно-пестрой породы Московской области, выявили привычное распределение генотипов: $CSN3^{AA}$ – 73,5 %, $CSN3^{AB}$ – 25 %, $CSN3^{BB}$ – 1,5 %. Частота встречаемости аллеля A составила 0,86 %, аллеля B – 0,14 %. Но молоко коров с генотипом $CSN3^{BB}$ превосходило другие образцы как по содержанию белка (на 0,02–0,25 %) и сыропригодности, так и термоустойчивости, тогда как молоко коров с генотипом $CSN3^{AA}$ признано неудовлетворительным по технологическим свойствам во все периоды лактации [13].

Тем не менее закономерность положительного влияния генотипа $CSN3^{BB}$ на сыропригодность молока, а генотипа $CSN3^{AA}$ на его термоустойчивость превалирует. Это подтверждается как вышеприведенными работами, так и зарубежными научными изысканиями. Например, оценка влияния комплексных генотипов $CSN2/CSN3$ на качество и технологические свойства молока у итальянских коров голштинской породы показала, что комплексный генотип $CSN2/CSN3$ повышает сычужную свертываемость молока при наличии хотя

бы одного аллеля B в генотипе. При этом локус β -казеина больше связан с удоями и содержанием белка в молоке, а κ -казеин – со временем коагуляции белка [14].

В работе с колумбийским голштинским скотом также выявлено позитивное влияние $CSN3^{BB}$ на выход творога по сравнению с $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ [15]. Изучение румынского симментальского скота показало более высокую частоту встречаемости аллеля A и генотипа $CSN3^{AA}$. Причем генотип $CSN3^{AA}$ способствовал повышенной молочной продуктивности животных, а также преимущественному содержанию жира в молоке. В то же время генотип $CSN3^{BB}$ давал большее содержание молочного белка [16].

Эти и другие работы показывают значимость оценки животных и получаемого от них молока-сырья с точки зрения наличия и преобладания желательных аллелей $CSN3$. Научные подходы и методики постоянно совершенствуются, что позволяет в будущем рассчитывать на достоверную и универсальную оценку технологических свойств молока для его рациональной переработки.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Tyulkin, S.V.** Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin / S.V. Tyulkin [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2018. Vol. 6. № 1. P. 154–162. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-154-162>.
2. **Тюлькин, С.В.** Молекулярно-генетическое тестирование крупного рогатого скота по генам белков молока, гормонов, фермента и наследственных заболеваний: дис. ... д-ра биол. наук: 06.02.07 / Тюлькин С.В. – Казань, 2019. – 349 с.
3. **Sulimova, G.E.** κ -Casein Gene ($CSN3$) Allelic Polymorphism in Russian Cattle Breeds and Its Information Value as a Genetic Marker / G.E. Sulimova [et al.] // *Russian Journal of Genetics*. 2007. Vol. 43. № 1. P. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1022795407010115>.
4. **Бигаева, А.В.** Термоустойчивость молока коров с разными генотипами каппа-казеина / А.В. Бигаева [и др.] // *Пищевая промышленность*. 2019. № 10. С. 59–61. DOI: [10.24411/0235-2486-2019-10159](https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10159).
5. **Petrov, A.N.** Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities / A.N. Petrov [et al.] // *Food and Raw Materials*. 2017. Vol. 5. № 2. P. 151–161. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>.
6. **Бигаева, А.В.** Сыропригодность молока коров с разными генотипами каппа-казеина / А.В. Бигаева [и др.] // *Сыроделие и маслоделие*. 2019. № 6. С. 26–27.
7. **Грашин, А.А.** Влияние генотипов каппа-казеина на хозяйственно полезные признаки скота самарского типа черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук: 06.02.07 / Грашин А.А. – Пос. Лесные Поляны Московской области, 2011. – 107 с.
8. **Ганиев, А.С.** Продуктивность первотелок черно-пестрой породы с разными генотипами каппа-казеина и диацилглицерол О-ацилтрансферазы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.02.07 / Ганиев А.С. – Казань, 2019. – 22 с.
9. **Тян, И.В.** Оценка племенных и продуктивных качеств коров симментальской породы австрийской селекции разных генотипов по каппа-казеину: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.07 / Тянь И.В. – Пос. Дивово Рязанской области, 2012. – 113 с.
10. **Тельнов, Н.О.** Генотипирование красно-пестрого скота по генам каппа-казеина и бета-лактоглобулина методами ДНК-анализа: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.07 / Тельнов Н.О. – Саранск, 2017. – 115 с.
11. **Синяков, С.С.** Эффективность разведения черно-пестрого скота импортной и отечественной селекции в условиях промышленного производства молока: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.07 / Синяков С.С. – Пос. Лесные Поляны Московской области, 2013. – 20 с.
12. **Ярлыков, Н.Г.** Влияние генотипа каппа-казеина на молочную продуктивность и сыропригодность молока коров ярославской породы: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.07 / Ярлыков Н.Г. – Ярославль, 2010. – 125 с.
13. **Артемьев, А.М.** Молочная продуктивность и технологические свойства молока коров черно-пестрой породы с различными генотипами каппа-казеина и сезонами отела: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.04 / Артемьев А.М. – М., 2007. – 98 с.
14. **Comin, A.** Effects of composite beta- and kappa-casein genotypes on milk coagulation, quality and yield traits in Italian Holstein cows / A. Comin [et al.] // *J Dairy Sci*. 2008. Vol. 91. № 10. P. 4022–4027. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0546>.
15. **Zambrano-Burbano, G.L.** Kappa casein genotypes and curd yield in Holstein cows / G.L. Zambrano-Burbano [et al.] // *Revista Colombiana de ciencias pecuarias*. 2010. Vol. 23. № 4. P. 422–428.
16. **Neamt, R.I.** The influence of $CSN3$ and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle / R.I. Neamt [et al.] // *Acta Biochimica Polonica*. 2017. Vol. 64. № 3. P. 493–497. DOI: [10.18388/abp.2016_1454](https://doi.org/10.18388/abp.2016_1454).