

# Исследование свойств замороженного молока

**С. Н. ТУРОВСКАЯ, А. В. БИГАЕВА,  
Т. О. РОБКОВА, Е. Е. ИЛЛАРИОНОВА,  
канд. техн. наук А. Г. КРУЧИНИН**  
ВНИИ молочной промышленности

Для производства молочных продуктов в последние десятилетия наряду с количественными и качественными характеристиками сырья немаловажное значение приобретает генетическая вариативность его признаков. Во многом она определяет не только состав молока, но и восприимчивость к определенным режимам технологической обработки, как, например, стабильность при высокотемпературном воздействии или способность к сычужному свертыванию [1, 2]. Системы оценки качественных показателей молочного сырья на основе современных молекулярно-генетических методов предполагают комплексный анализ по наиболее значимым технологическим критериям с соотношением полученных данных и генотипических характеристик по ряду ассоциированных генов [3]. Этот подход положен в основу биоинформационной системы моделирования с мониторингом технологических свойств молока для прогнозирования сферы его применения.

Одной из основных задач при реализации подобного метаанализа становится сохранение исходных показателей получаемого молока. Сырое молоко после доения стремительно теряет первоначальные свойства, а для доставки от места его получения до исследовательской базы зачастую требуется значительное количество времени. Поэтому если нет возможности незамедлительного проведения испытаний, необходимо фиксировать исходные параметры образцов. Наиболее распространенным способом замедлить биохимические и микробиологические процессы в сыром молоке с максимальным сохранением нативных свойств является консервирование холодом.

В научно-исследовательских целях используют охлаждение молока до температуры от 2 до 8 °С для сохране-

ния проб не более 24 ч. Реже, например при проведении молекулярно-генетических исследований, применяют криоконсервирование — замораживание и хранение образцов при температуре от минус 18 до минус 24 °С [4]. Невысокая распространенность криоконсервирования основана на многочисленных данных о структурных изменениях продукта. Наиболее сильно подвержена изменениям жировая составляющая: под воздействием кристаллов льда замерзшей водной фазы происходит необратимая деформация структуры жировых шариков с последующим окислением жиров. Изменения в белковом комплексе зависят от температуры замораживания и продолжительности хранения, поскольку ослабление гидрофобных связей казеина приводит к последующему раздроблению ассоциатов на более мелкие фрагменты, что сопровождается переходом части  $\beta$ -казеинов в плазму с ферментативным расщеплением до  $\gamma$ -казеинов и компонентов протеозо-пептонной фракции [5]. Однако исследователями [6] доказано, что кратковременное хранение замороженного нативного молока при температуре от минус 25 до минус 20 °С в течение нескольких дней существенно не влияет на состояние белкового комплекса. Помимо этого в дефростированном молоке отмечают незначительные изменения титруемой и активной кислотности, содержания сухого вещества и лактозы (в основном при длительном хранении), снижение общего количества бактерий [7].

В настоящее время специалисты ВНИИМ проводят научный поиск в рамках разработки молекулярно-генетических и биоинформационных подходов к системе оценки технологических свойств сухого молока, в которой на начальном этапе предусмотрено исследование различных видов молока-сырья. Согласно программе испытаний область научного поиска охватывает значительное количество объектов, географически удаленных от научно-исследовательской базы.

Для максимального фиксирования нативных свойств сырое молоко сохраняется в течение нескольких суток и транспортируется в замороженном виде перед комплексным анализом, включающим биомолекулярную диагностику, определение термоустойчивости и способности к сычужной свертываемости. Ввиду этого актуальны исследования физико-химических и технологических показателей сырого и замороженного молока для понимания возможного искажения результатов эксперимента при осуществлении научного поиска.

Цель исследования — сравнительный мониторинг физико-химических показателей и технологических свойств сырого молока непосредственно после получения и предварительной пробоподготовки и молока после пробоподготовки, подвергнутого замораживанию при минус 20±2 °С в течение 8 сут.

В начале эксперимента отобрали шесть образцов свежесвыдоенного молока, которое было доставлено в течение 2 ч при 4±2 °С. Во избежание возможного неблагоприятного воздействия жировой фазы на технологические свойства после дефростирования молока, а также в целях уменьшения бактериальной нагрузки, в том числе содержания соматических клеток, негативно влияющих на сычужную свертываемость, сырое молоко сепарировали. Каждый образец сырого обезжиренного молока разделили на две равные части. Первую часть выдерживали в течение 3 ч при 4±2 °С для гарантированного снижения бактерицидной активности (в совокупности не менее 6 ч с момента окончания доения), а затем в пробах, промаркированных 1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н, 6Н, определили физико-химические и технологические показатели. Вторую часть каждой из проб помещали на хранение в течение 8 сут при минус 20±2 °С с последующим размораживанием в течение 24 ч при 4±2 °С. По окончании дефростирования экспериментальный алгоритм был повторен для образцов, промаркированных 1Р, 2Р, 3Р, 4Р, 5Р, 6Р.

Физико-химические показатели определяли в соответствии с общепринятыми методиками. Термоустойчивость контролировали по алкогольной и тепловой пробе, чтобы максимально объективно определить стабильность мицелл казеина. Сопоставление данных, полученных по результатам этих двух исследований, обеспечивает достаточно высокую чувствительность и достоверность результатов [8]. Термоустойчивость по алкогольной пробе определяли в соответствии с ГОСТ 25228–82 в модификации ВНИМИ, предусматривающей линейку спиртовых растворов с концентрацией 68, 70, 72, 75, 80, 85 и 90 % для расширения диапазона измерений. Термоустойчивость по тепловой пробе устанавливали с использованием стендового образца устройства контроля термоустойчивости (УКТ-150), разработанного специалистами ВНИМИ [9]. Способность к сычужному свертыванию анализировали посредством

сычужно-бродительной пробы по ГОСТ 32901–2014 в модификации ВНИМИ.

Результаты исследований по основным физико-химическим показателям образцов групп Н и Р выявили их стабильность по содержанию общего белка и лактозы. Так, после замораживания массовая доля белка уменьшалась на 0,02–0,06 %, сахарозы — увеличивалась на 0,4–0,8 %, что в целом соответствует выводам, полученным другими исследователями [6]. Плотность изменялась разнонаправленно: некоторое увеличение этого показателя после замораживания отмечено в образцах 1Р (0,5 кг/м<sup>3</sup>), 4Р (0,8 кг/м<sup>3</sup>), 5Р (0,2 кг/м<sup>3</sup>), 6Р (0,2 кг/м<sup>3</sup>), а снижение — в образцах 2Р (0,2 кг/м<sup>3</sup>) и 3Р (0,3 кг/м<sup>3</sup>). Таким образом, изменения содержания белка, лактозы и плотности не выявили существенных закономерностей и не влияли на результаты последующего эксперимента ввиду их незначительности и соотносимости с предельными погрешностями использованных методов анализа.

В нативных образцах и после дефростации контролировали титруемую и активную кислотность (рис. 1). Это важные критериальные показатели для оценки тепловой стойкости и сыропригодности сырья. Активная кислотность термоустойчивого молока варьируется в пределах слабокислой зоны (рН 6,65–6,85), отчасти коррелируя с уровнем титруемой кислотности 13–19 °Т. Снижение рН приводит к уменьшению отрицательного заряда казеиновых мицелл, деградации структуры гидратных оболочек, обуславливающих при нагревании дальнейшую дестабилизацию частиц казеина с последующей их агрегацией [10]. Для сычужной свертываемости рН также имеет немаловажное значение, поскольку качественный, количественный солевой состав молока и степень его ионизации в значительной мере влияют на продолжительность формирования и плотность сгустка, а также развитие молочнокислой микрофлоры. Понижение активной кислотности до 5,0–5,5 и менее подавляет развитие заквасочных микроорганизмов, а повышение более 6,85 создает неблагоприятные условия для воздействия молоко-свертывающих ферментов [11].

Объекты исследования до и после замораживания показали удовлетворительные результаты, находясь в слабостабильной зоне, благоприятной как для термостабильности, так и сычужной свертываемости. Все значения титруемой кислотности закономерно коррелировали с показателями рН. В четырех из шести образцов после дефростирования (1Р, 2Р, 5Р, 6Р) отмечено незначительное нарастание кислотности, в двух образцах (3Р и 4Р) — несущественное снижение. В целом относительные изменения титруемой и активной кислотности во всех экспериментальных образцах составляли не более 3,5 % и находились в пределах погрешности методов измерений. Наиболее высокие значения титруемой кислотности отмечены в образцах 1Р (18 °Т), 3Н (18,5 °Т) и 3Р (18 °Т), самые низкие — в образцах 2Н (16,5 °Т) и 5Н (16,5 °Т).

Алкогольная проба показала отсутствие изменений в образцах 2Н/2Р, 3Н/3Р, 5Н/5Р и снижение показателей на одну группу в образцах 1Н/1Р, 4Н/4Р и 6Н/6Р (рис. 2). Тепловая проба выявила незначительное снижение термоустойчивости во всех объектах исследования, за ис-

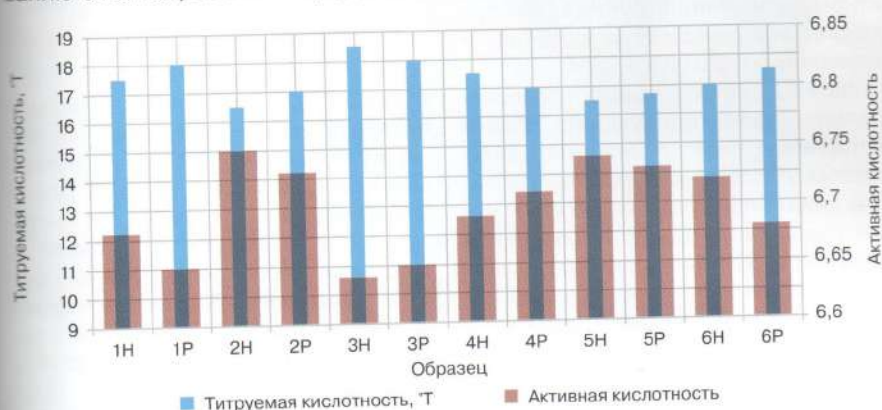


Рис. 1. Титруемая и активная кислотность сырого обезжиренного молока до и после дефростирования

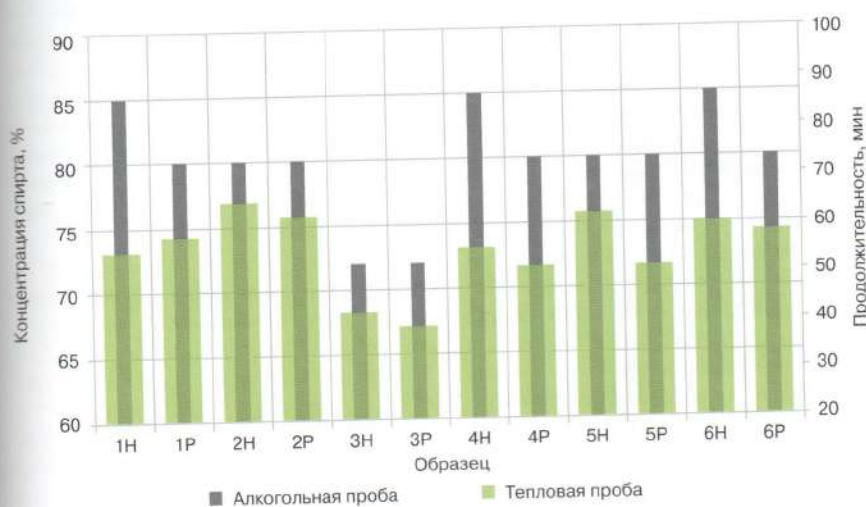


Рис. 2. Термоустойчивость по алкогольной и тепловой пробе

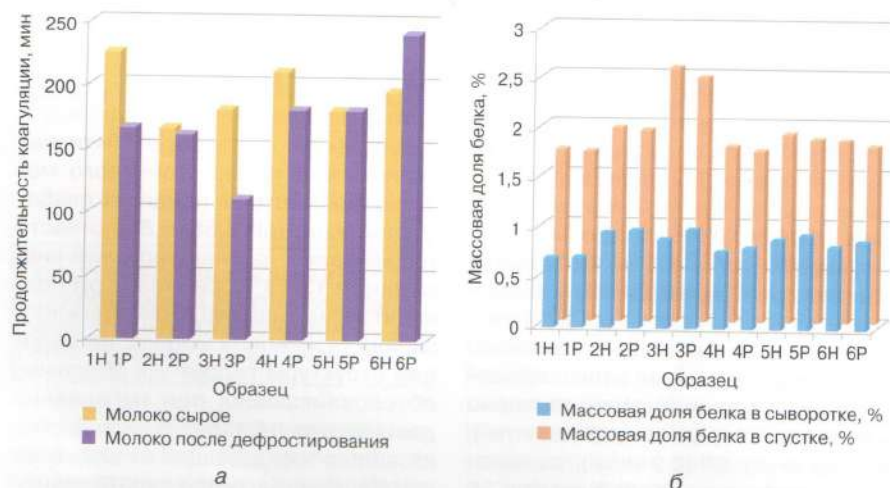


Рис. 3. Сыропригодность молока сырого и после дефростирования: а — по продолжительности коагуляции; б — по переходу белка в сыворотку

ключением образцов 1Н/1Р, где было отмечено небольшое увеличение. Самые низкие значения термоустойчивости по обеим пробам отмечены в образцах 3Н/3Р, что обоснованно коррелирует с уровнями титруемой и активной кислотности. В остальных образцах термоустойчивость менялась разнонаправленно без существенного ухудшения показателей и в целом соотносилась с данными по кислотности.

Способность к сычужной свертываемости определяли по продолжительности коагуляции и количественному переходу протеиновых фракций в сыворотку (рис. 3), поскольку в сырдели наиболее ценность имеет сохранение в сырном зерне  $\alpha$ - и  $\beta$ -казеиновых фракций. Увеличение суммарной доли протеинов в сыворотке свидетельствует об ухудшении эффективности использования молока в производстве сыра.

В большинстве образцов замораживание с последующим дефростированием не повлияло на продолжительность коагуляции или способствовало ее снижению. Исключением был образец 6Н/6Р, для которого временной интервал сычужного свертывания значительно увеличился. Некоторые пробы показали улучшение качества сгустка, выраженное в отсутствии глазков и уплотнении структуры, что возможно связано с уменьшением бактерицидной активности и содержания соматических клеток в молоке. Однако при этом во всех образцах отмечено увеличение количества протеиновых фракций в сыворотке при сохранении массовой

доли общего белка. В среднем увеличение количества белка сыворотки в образцах молока после замораживания составляло 3–10 %. Такой результат может свидетельствовать о вероятном нарушении структуры мицелл казеина и переходе в сыворотку части казеиновых фракций.

Можно сделать вывод, что показатели, характеризующие термоустойчивость сырого обезжиренного молока, после замораживания образцов снижались в основном за счет нарастания кислотности и изменения структуры белков в процессе хранения и дефростирования. Аналогичные результаты следует отметить и в отношении сычужной свертываемости: при сокращении продолжительности коагуляции переход протеинов в сыворотку несколько выше. Все отмеченные изменения анализируемых показателей имели допустимые значения и по большей части находились в пределах погрешностей использованных методов измерений.

В комплексной системе оценки технологических свойств представляется возможным применение краткосрочного криоконсервирования обезжиренного молока-сырья (ввиду минимальных негативных изменений в его структуре) с целью расширения перспектив по накоплению исследовательских материалов для формирования биоинформационных алгоритмов математического моделирования критерияльной оценки уровней соответствия термоустойчивости и сычужной свертываемости молочного сырья рекомендуемым показателям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрова, Е.А. Критерии оценки молока-сырья для получения продукта гарантированного качества/ Е.А.Юрова, Д.Н.Мельденберг, Е.Ю.Парфенова// Молочная промышленность. 2019. № 4. С. 26–29.
2. Рябова, А.Е. Апробация способов проведения PCR-RFLP и AS-PCR для генотипирования крупного рогатого скота по гену DGAT1/ А.Е.Рябова [и др.]// Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2019. Т. 3. № 435. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.68>.
3. Гильманов, Х.Х. Элементы ДНК-технологии формирования качественного и безопасного сырья/ Х.Х.Гильманов [и др.]// Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2020. Т. 5. № 443. С. 54–62. DOI: [10.32014/2020.2518-170X.104](https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.104).
4. Белозеров, Г.А. Рекомендации Международного института холода по производству и хранению замороженных пищевых продуктов. Часть 8/ Г.А.Белозеров [и др.]// Холодильная техника. 2015. № 8. С. 50–52.
5. Тепел, А. Химия и физика молока/ А.Тепел. — СПб.: Профессия, 2012. — 832 с.
6. Gaber, S.M. Effect of freezing temperatures and time on mineral balance, particle size, rennet and acid coagulation of casein concentrates produced by microfiltration/ S.M.Gaber [et al.]// International Dairy Journal. 2020. V. 101. 104563. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104563>
7. Павлова, А.И. Динамика изменения биохимического состава замороженного летнего и зимнего кобыльего молока при его хранении/ А.И.Павлова// Вестник КрасГАУ. 2014. № 7 (94). С. 185–187.
8. Кручинин, А.Г. К вопросу формирования термоустойчивости биополимеров/ А.Г.Кручинин [и др.]// Известия национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2020. Т. 4. № 442. С.77–85. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.00>
9. Харитонов, В.Д. Экспериментальные образцы оборудования для отработки технологических процессов в пищевой промышленности/ В.Д.Харитонов [и др.]// Пищевая промышленность. 2010. № 10. С. 14–16.
10. Sunkesula, V. Short communication: Effect of pH on the heat stability of reconstituted reduced calcium milk protein concentrate dispersions/ V.Sunkesula [et al.]// Journal of Dairy Science. Available online 12 November 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18937>.
11. Canella, M.H. Potential of Milk Freeze Concentration for the Production of Functional Fresh Cheeses/ M.H.Canella [et al.]// Advance Journal of Food Science and Technology. 2017. Vol. 13. P. 196–209. DOI: [10.19026/ajfst.13.5069](https://doi.org/10.19026/ajfst.13.5069).