

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСГЛЮТАМИНАЗЫ НА ПЕРЕХОД СУХИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МОЛОКА В СЫР

¹А.И. Яшкин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²В.Б. Мазалевский, кандидат технических наук

¹Алтайский государственный аграрный университет

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

E-mail: alexander.yashkin@gmail.com

Ключевые слова: мягкий сыр, кислотно-сычужное свертывание, ферментные препараты, трансклутаминаза, глюконо-дельта-лактон, сухие вещества, выход сыра, качество сыра, физико-химическая оценка, органолептическая оценка.

Реферат. Трансклутаминаза – это фермент, образующий поперечные связи между молекулами белка и оказывающий влияние на такие свойства белка, как способность к гелеобразованию, термостабильность, водоудерживающая способность и т.д. Одной из важных задач пищевой промышленности является увеличение выхода продуктов, в частности мягких сыров, при производстве которых от молока отделяется значительная часть сыворотки с растворенными в ней веществами. Поэтому целью работы стало исследование влияния трансклутаминазы на переход сухих веществ молока в сыр в зависимости от стадии внесения фермента. Трансклутаминазу в количестве 0,05 % от массы молока (1,6 ед. в пересчете на 1 г белка) вносили в двух вариантах: одновременно с молокосвертывающим ферментом и после разрезки сгустка. Установлено, что применение трансклутаминазы не оказывает влияния на продолжительность кислотно-сычужного свертывания молока. Полученные данные свидетельствуют, что при внесении трансклутаминазы в молоко одновременно с молокосвертывающим ферментом переход сухих веществ молока в сыр увеличивается на 5,15 %, в том числе жира – на 3,07 % по сравнению с образцами без трансклутаминазы. При внесении трансклутаминазы на этапе обработки сгустка формируется более плотная консистенция сыра.

EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE TREATMENT ON TRANSITION OF SOLIDS FROM MILK TO CHEESE

¹A.I. Yashkin, Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor

²V.B. Mazalevskij, Candidate of Technical Sciences

¹Altai State Agrarian University

²Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies of the RAS

Key words: soft cheese, acid-rennet coagulation, enzyme preparations, transglutaminase, glucono-delta-lactone, solids, cheese yield, cheese quality, physicochemical evaluation, sensory evaluation.

Abstract. Transglutaminase is an enzyme that forms cross-links between protein molecules and affects such protein properties as the ability to gel, thermal stability, water retention, etc. One of the important tasks of the food industry is to increase the yield of products, in particular soft cheeses, in the production of which a significant part of the whey with dissolved substances is separated from milk. Therefore, the aim of the work was to study the effect of transglutaminase on the transition of milk solids to cheese, depending on the stage of application of the enzyme. Transglutaminase in an amount of 0.05% by weight of milk (1.6 units in terms of 1 g of protein) was introduced in two versions: simultaneously with the milk-clotting enzyme and after cutting the clot. It was found that the use of transglutaminase does not affect the duration of acid-rennet coagulation of milk. The data obtained indicate that when transglutaminase is introduced into milk simultaneously with the milk-converting enzyme, the transition of milk solids to cheese increases by 5.15%, including

fat by 3.07%, compared to samples without transglutaminase. When transglutaminase is added at the stage of processing the clot, a denser consistency of cheese is formed.

Меняющаяся ассортиментная структура производства сыров и колебания спроса на молочную продукцию в России все больше привлекают внимание предприятий отрасли к производству мягких сыров и сырных продуктов. К их преимуществам традиционно относят высокую пищевую и биологическую ценность, а также возможность реализации продукта без созревания или с минимальным сроком созревания [1].

Интерес к применению фермента трансклутаминаза (далее – ТГаза) в сыроделии вызван способностью энзима формировать ковалентные сшивки между молочными белками, прежде всего, фракциями β - и κ -казеина, и таким образом модифицировать свойства сыров [2]. Доказана эффективность использования ТГаза для повышения выхода сычужных сыров за счет вовлечения в сгусток компонентов сухих веществ молока и увеличения в продукте количества связанной влаги [3]. С учетом параметров максимальной активности ТГаза в диапазоне температур 40–50 °С и значений pH смеси от 5 до 8 ед. [4, 5] применение фермента может быть эффективным в технологиях мягких сыров, получаемых кислотнo-сычужным свертыванием молока.

В академической литературе активно обсуждается вопрос разработки регламентов использования ТГаза в сыроделии в части подбора технологических режимов активного «сшивания» белков молока разных видов животных и обоснования эффективного этапа внесения фермента в рамках технологической цепи производства продукта применительно к конкретному виду сыра. В научных трудах приводятся следующие протоколы использования фермента при производстве сыров: внесение ТГаза в молочную смесь до инокуляции закваски; одновременно с закваской; одновременно с молокосвертывающим ферментом и после свертывания молока в ходе обработки сгустка [6–9]. Однако даже с учетом накопленного к настоящему времени объема научно-практических сведений и опыта использования энзима в производстве сыров пока что не выработано единого подхода к выбору оптимальной технологической стадии внесения фермента с учетом прогнозируемых показателей качества продукта. Наряду с этим практический интерес представляет исследование закономерностей перехода сухих веществ из молока в сыр в зависимости от технологического этапа внесения ТГаза.

Цель исследований – установить влияние стадии внесения ферментного препарата трансклутаминазы на переход сухих веществ молока в сыр, получаемый способom кислотнo-сычужного свертывания молока.

Объекты исследований: молоко-сырье, мягкий кислотнo-сычужный сыр, технологический процесс производства сыра. Применяемое молоко характеризовалось следующими физико-химическими показателями: массовая доля белка 3,15 %, жира – 3,79 %, сухих веществ – 12,49 %, уровень активной кислотности pH 6,76.

В исследованиях использован ферментный препарат микробной ТГаза производства Shandong Lonct Enzymes Co (Китай), содержащий 1 % ТГаза с заявленной ферментативной активностью 100 ед/г порошка.

Опытные образцы мягкого сыра получали кислотнo-сычужным свертыванием молока по следующему технологическому регламенту. Молоко пастеризовали при 84–86 °С для денатурации сывороточных белков и их последующего вовлечения в структуру сырного сгустка. Во всех вариантах взамен бактериальной закваски в целях постепенного контролируемого кислотонакопления в молоко перед свертыванием вносили 20 %-й раствор глюконо-дельта-лактона (ГДЛ) производства Cotion Ltd (Китай) в количестве 0,6 % (6 г кристаллического ГДЛ на 1 л молока). Подкисление молока раствором ГДЛ проводили до достижения уровня активной кислотности pH 5,6–5,8.

Перед свертыванием в молоко вносили 15 %-й раствор хлористого кальция из расчета 0,25 г безводной соли на 1000 мл молока. Свертывание смеси проводили при $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ с участием молокосвертывающего препарата Clerici 96/04 производства Caglificio Clerici (Италия) из расчета 0,01 г/1000 мл молока. Продолжительность свертывания во всех вариантах составила 20–25 мин, вымешивания – 20 мин, самопрессования сырной массы – 5 ч.

В работе применен следующий методический подход: первый вариант производства мягкого сыра не предусматривал использования ТГазы (контрольный), второй вариант предполагал внесение ТГазы в молоко одновременно с молокосвертывающим ферментом, третий вариант – внесение ферментного препарата через 2–3 мин после разрезки сгустка. Для выполнения задач исследования ферментный препарат ТГазы был использован в количестве 0,05 %, или 0,5 г/л молока. Дозировка фермента с учетом специфики и природы целевой активности была пересчитана на количество белка в смеси, составив 0,016 г/1 г белка, или 1,6 ед/г белка.

Выход мягкого сыра определяли расчетным путем как отношение массы готового продукта к массе использованного сырья в соответствии с ГОСТ 26809. Массовую долю жира в молочном сырье и сырах определяли по ГОСТ 5867, содержание сухих веществ и влаги – по ГОСТ 3626. Показатель активной кислотности сырья (рН) установлен потенциометрическим методом по ГОСТ 32892. Органолептические показатели продукции определены согласно требованиям ГОСТ 3622. Исследования проведены в трехкратной повторности, результаты обработаны стандартными методами вариационной статистики.

Поиск эффективных способов внесения ТГазы при изготовлении мягкого сыра в первую очередь предполагал оценку возможного влияния этапа сшивки молочного белка с образованием внешне- и внутримолекулярных связей на характер кислотно-сычужного свертывания молока. Дизайн исследований предполагал отказ от предварительной инкубации молока с ТГазой во избежание замедления свертывания молока по причине высокой восприимчивости к-казеина к сшиванию [9].

Результаты собственных исследований не показали значимых различий в продолжительности свертывания молока в контроле и при совместном внесении ТГазы с молокосвертывающим препаратом. В противоположность данным, полученным в работе M.P. Bonisch et al. [10], где было доказано ингибирующее влияние предварительной обработки молока ТГазой на характер свертывания и прочность сычужных сгустков, в наших исследованиях осаждение

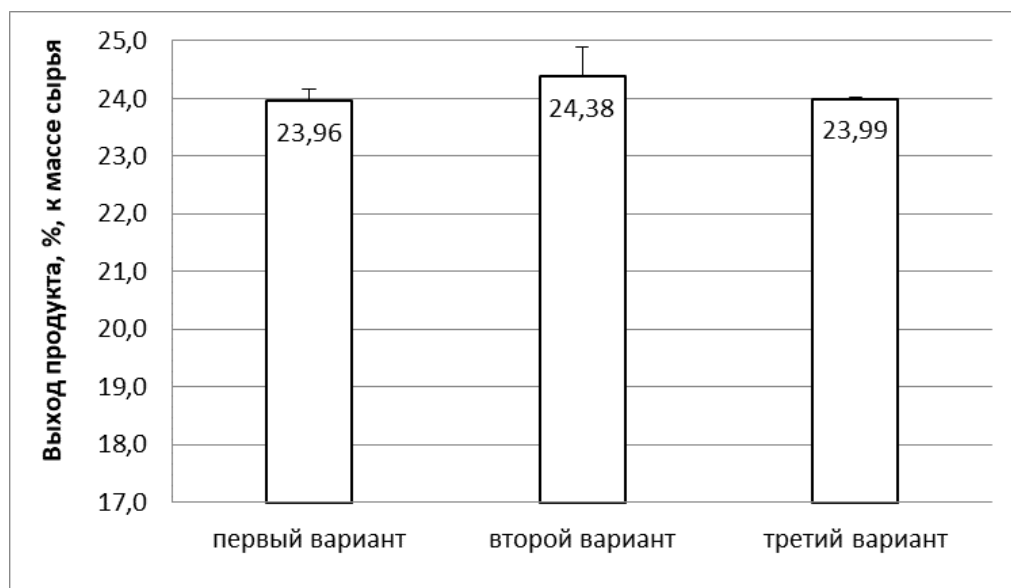


Рис. 1. Выход сыров в зависимости от стадии внесения ТГазы

казеина при участии глюконовой кислоты протекало в условиях более низкого pH и, вероятно, не зависело от внесения ТГазы.

С учетом ожидаемого специфического воздействия ТГазы на образование поперечных связей между белками молока и увеличение концентрации сухих веществ проанализирован показатель выхода сыров. На рис. 1 и 2 показана зависимость выхода мягких сыров от технологического этапа внесения ТГазы в молоко и динамика массы продуктов в период хранения.

Наибольший показатель выхода сыров к массе сырья (24,4 %) был отмечен во втором варианте, при внесении ТГазы одновременно с молокосвертывающим ферментом. Выход сыров в контрольном варианте и в варианте, предусматривающем внесение ТГазы после образования сгустка, находился на уровне 23,9–24,0 %. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии значимого влияния ТГазы на выход мягкого кислотно-сычужного сыра.

Данные, опубликованные другими авторами, главным образом указывают на позитивное влияние фермента на выход сыров. Использование ТГазы в производстве моцареллы увеличивает выход сыра за счет снижения потерь компонентов сухих веществ в сыворотку [11]. Аналогичный эффект получен при использовании фермента в технологии сыра панир [12] и кваркового сыра [13], прежде всего, за счет повышения степени использования белков молока. Представлены также данные о снижении выхода сыра кашар на фоне обработки молока ТГазой [14].

Контроль массы сыров в процессе холодильного хранения демонстрирует снижение данного показателя на 15-е сутки на 5,0; 5,7 и 5,4% по вариантам производства соответственно. Во всех случаях фиксировалось отделение сыворотки с наиболее интенсивным синерезисом в начальной стадии хранения продукта. Масса сыров к концу наблюдений составила 94–95 % от первоначальной (рис. 2).

В доступной литературе отсутствует единая точка зрения о роли ТГазы в повышении содержания белка и других компонентов сухих веществ молока в мягких сырах. По некоторым данным [15, 16], ТГ-индуцированные сыры характеризуются снижением относительного содержания сухих веществ на фоне роста влагосвязывающей способности сычужных сгустков. Приводятся, однако, и сведения об увеличении массовой доли сухих веществ, прежде всего, белка, в результате обработки молочного сырья ТГазой [17].

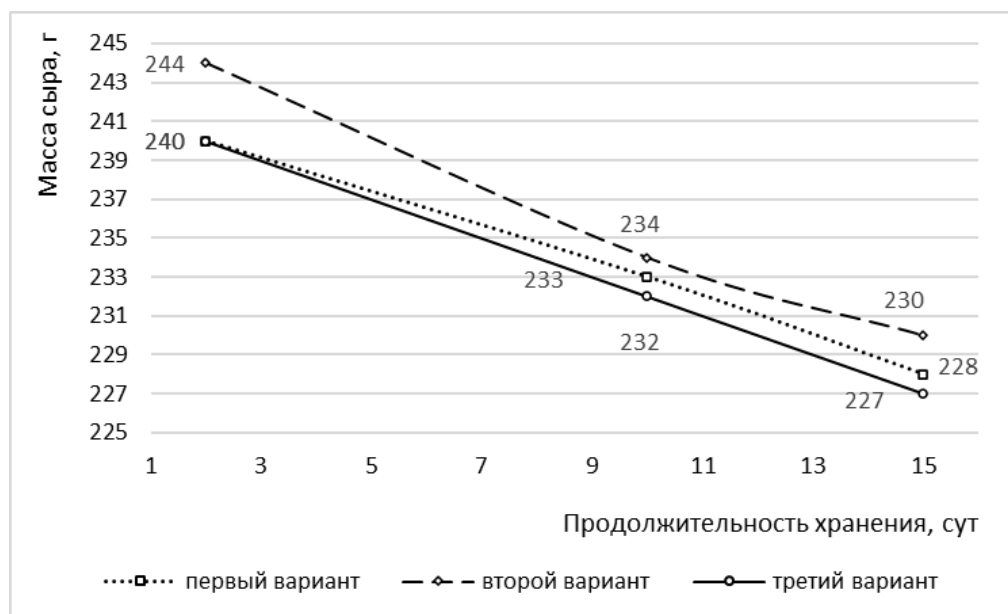


Рис. 2. Динамика массы сыров в период хранения в зависимости от стадии внесения ТГазы в продукт

В рамках собственных исследований для оценки эффективности перехода компонентов сухого остатка молока в готовый продукт определена массовая доля сухих веществ мягких сыров по вариантам производства. Расчеты проводили на 15-е сутки хранения (табл. 1).

Тенденция к увеличению содержания сухих веществ в ТГ-обработанных сырах прослеживалась в зависимости от стадии внесения фермента в ходе производства продукта: наибольшее значение по данному показателю (37,0 %) достигнуто использованием ТГазы при обработке сгустка. Суммарное превосходство сыров второго и третьего вариантов над контрольным по концентрации сухих веществ достигло 2,5–3,1 %. Наиболее вероятным объяснением этой закономерности является сохранение или – в случае с внесением фермента при обработке сгустка – повторная интеграция в продукт белков, лактозы и других компонентов молока из сыворотки. Справедливость данного утверждения может быть проиллюстрирована повышением степени перехода сухих веществ из молока в сыр с 61,9 до 67,3% на фоне использования ТГазы (табл. 1). Полученные нами данные согласуются с результатами исследований Т.М. Karzan et al. [18], в которых сообщается об увеличении содержания в сырах сухих веществ в среднем на 2–3% при использовании ТГазы в дозе от 4 до 8 ед/г белка.

Таблица 1

Эффективность перехода сухих веществ из молока в сыр на фоне применения ТГазы

Вариант	Сухие вещества в сырах		Степень перехода сухих веществ молока в сыр, %
	г	%	
Первый	77,30±0,91	33,9	61,88
Второй	83,70±3,22	36,4	67,03
Третий	84,00±2,95	37,0	67,25
Первый вариант – контрольный, второй вариант – внесение ТГазы одновременно с молокосвертывающим препаратом, третий вариант – внесение ТГазы после разрезки сгустка. ТГаза = 1,6 ед./г белка			

В рамках собственных исследований изучено влияние ферментативной обработки сырья на изменение содержания жира в продукции (табл. 2).

Полученные данные свидетельствуют о повышении степени использования молочного жира сырья в производстве мягкого сыра с 82,8 до 83,9–85,9 % за счет применения ТГазы, при этом наибольшая результативность по данному показателю достигнута за счет обработки молока ТГазой совместно с молокосвертывающим препаратом. Снижение концентрации молочного жира в сухом веществе ТГ-сыров по отношению к контролю можно объяснить ростом концентрации в готовом продукте компонентов сухого обезжиренного остатка молока, прежде всего, белков и лактозы. Установленные нами закономерности согласуются с результатами исследований А.М. Cadavid et al. [13], в которых сообщается о повышении массовой доли жира в сыре моцарелла при обработке молока ТГазой (концентрация 0,5 %). Сведения о снижении концентрации жира в сухом веществе ТГ-сыров нашли отражение в работе М.А. Ahmed et al. [19], где на примере сыра гауда, полученного по технологии ферментативной сшивки белков молока ТГазой (концентрация 0,08 %), установлено снижение содержания жира в продукте на 2 %.

Таблица 2

Массовая доля жира в сырах и степень их перехода из молока в сыр

Вариант	Содержание жира в сырах			Степень перехода жира молока в сыр, %
	абс., г	абс., %	в сухом веществе, %	
Первый	33,1±0,70	14,53	42,86	82,81
Второй	34,3±0,57	14,93	41,03	85,88
Третий	33,6±0,60	14,80	39,99	83,98

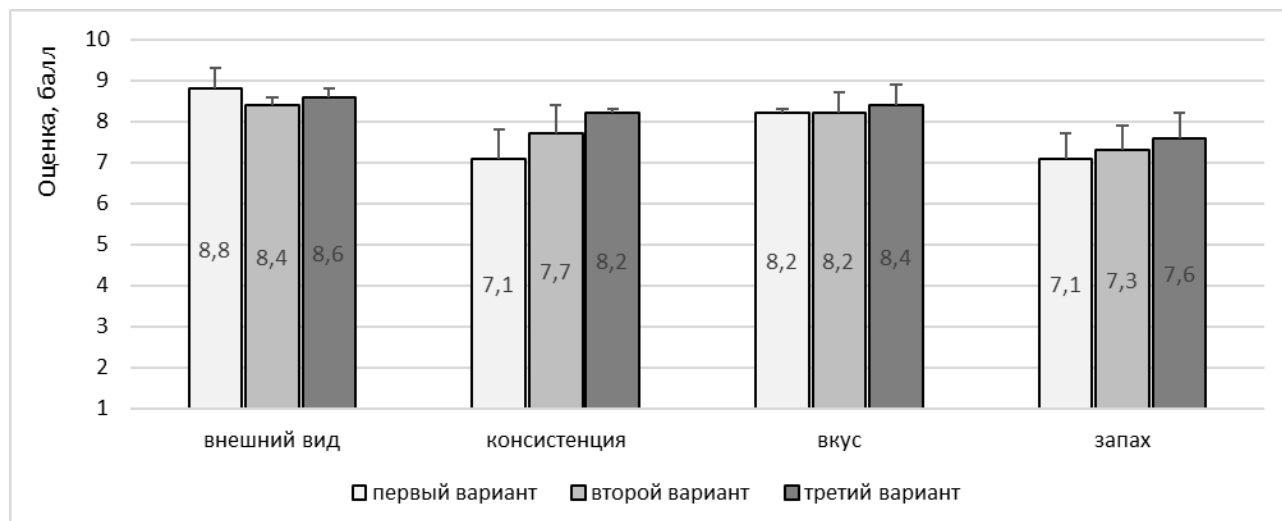


Рис. 3. Результаты органолептической оценки сыров

Некоторые авторы [20–22] сходятся во мнении, что внесение ТГазы в молоко в производстве сыров заметно улучшает органолептические характеристики продуктов. Сообщается, что стабилизация сенсорных свойств сыров, особенно консистенции и аромата, происходит из-за образования внутри- и межмолекулярных связей между белковыми молекулами. Улучшение цветовых характеристик сыров с ТГазой находит свое объяснение в более эффективном захвате сырной массой жирорастворимого β -каротина.

Нами также изучены сенсорные показатели сыров, и результаты их балльной оценки продемонстрированы на рис. 3.

Исследование органолептических показателей сыров по вариантам производства на 15-е сутки хранения не продемонстрировало значимых отличий по показателям внешнего вида и вкуса. Сыры всех вариантов имели характерный кисломолочный вкус (8,2–8,4 балла), слабо-выраженный запах, по-видимому, обусловленный использованием ГДЛ взамен бактериальной закваски (7,1–7,6 балла), и увлажненную замкнутую поверхность. Согласно представленным данным, внесение ТГазы в процессе обработки сгустка содействует получению однородной, в меру плотной консистенции сыра (8,2 балла). Внесение ферментного препарата перед свертыванием молока благодаря снижению потерь жира в сыворотку обеспечило получение более мягкой текстуры сыра (7,7 балла), в то время как выработка продукта по контрольной рецептуре приводит к получению мягкого сыра с нежной мажущейся консистенцией (7,1 балла). Установлено, что показатель консистенции сыра тесно ($+0,959$) коррелирует с общим содержанием сухих веществ в сырах.

Таким образом, в настоящей работе изучена степень перехода сухих веществ из молока в сыр по двум протоколам использования ферментного препарата микробной транскляминазы в производстве мягкого кислотно-сычужного сыра: а) внесение препарата одновременно с молокосвертывающим ферментом и б) внесение препарата на стадии обработки сгустка. Показано, что применение ферментного препарата содействует повышению эффективности перехода сухих веществ из молочного сырья в готовую продукцию на величину от 5,1 до 5,4 % в зависимости от стадии внесения фермента. Использование транскляминазы совместно с молокосвертывающим препаратом содействует повышению степени перехода молочного жира в сырную массу на 3,1 %. Протокол использования транскляминазы в процессе обработки сгустка результируется в формировании однородной в меру плотной консистенции сыра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Остроумов Л.А., Смирнова И.А., Захарова Л.М.* Особенности и перспективы производства мягких сыров // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – № 39 (4). – С. 80–86.
2. *Jaros D., Rohm H.* Enzymes exogenous to milk in dairy technology: transglutaminase // *Encyclopedia of dairy sciences*, 2nd edn. Dresden, 2011. – P. 297–300. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00155-2>.
3. *Яшкин А.И.* Современные подходы к применению микробной трансклутаминазы в сыроделии (аналитический обзор) // *Молочно-хозяйственный вестник*. – 2019. – № 1 (33). – С. 98–112. – <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2019-00010>.
4. *Motoki M., Seguro K.* Transglutaminase and its use in food processing // *Trends in food science and technology*. – 1998. – Vol. 98 (5). – P. 204–210. – [http://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00038-7](http://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00038-7).
5. *Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase-induced gels* / C. Schorsch, H. Carrie, A.H. Clark [et al.] // *International dairy journal*. – 2000. – Vol. 10 (8). – P. 519–528. – [http://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00052-2](http://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00052-2).
6. *Production of cheese from donkey milk as influenced by addition of transglutaminase* / A.G. D'Alessandro, G. Martemucci, P. Loizzo [et al.] // *Journal of dairy science*. – 2019. – Vol. 102 (12). – P. 10867–10876. – <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16615>.
7. *Romeih E., Walker G.* Recent advances on microbial transglutaminase and dairy application // *Trends in food science & technology*. – 2017. – Vol. 62. – P. 133–140. – <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.015>.
8. *DeJong G.A.H., Koppelman S.J.* Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications // *Journal of food science*. – 2002. – Vol. 67. – P. 2798–2806. – <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08819.x>.
9. *Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase* / A. Cozzolino, P. Di Pierro, L. Mariniello [et al.] // *Biotechnology and applied biochemistry*. – 2003. – Vol. 38 (3). – P. 289–295. – <http://doi.org/10.1042/BA20030102>.
10. *Bonisch M.P., Heidebach T.C., Kulozik U.* Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein // *Food hydrocolloids*. – 2008. – Vol. 22 (2). – P. 288–297. – <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.015>.
11. *Metwally M.M.E., El-Zeini H.M., Gazar E.F.* Impact of using transglutaminase enzyme in manufacturing low and high fat mozzarella cheese // *Journal of food, nutrition and population health*. – 2018. – Vol. 2 (1:5). – P. 1–7. – <https://doi.org/10.21767/2577-0586.10035>.
12. *Prakasan V., Chawla S.P., Sharma A.* Effect of transglutaminase treatment on functional properties of Paneer // *International journal of current microbiology and applied sciences*. – 2015. – Vol. 4 (5). – P. 227–238.
13. *Improving quark-type cheese yield and quality by treating semi-skimmed cow milk with microbial transglutaminase* / A.M. Cadavid, L. Bohigas, M. Toldrà // *LWT Food science and technology*. – 2020. – Vol. 131. – <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109756>.
14. *Gemici R., Önek Z.* Physical properties of half-fat Kashar cheese manufactured with and without transglutaminase // *The journal of graduate school of natural and applied sciences of Mehmet Akif Ersoy university*. – 2017. – Vol. 8 (2). – P. 166–171.
15. *Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production* / B. Özer, A.A. Hayaloglu, H. Yaman [et al.] // *International dairy journal*. – 2013. – Vol. 33 (2). – P. 129–134. – <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.02.001>.
16. *Topcu A., Bulat T., Özer B.* Process design for processed Kashar cheese (a pasta-filata cheese) by means of microbial transglutaminase: Effect on physical properties, yield and proteolysis // *LWT Food science and technology*. – 2020. – Vol. 125. – <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109226>.

17. De Sá E.M.F, Bordignon-Luiz M. The effect of transglutaminase on the properties of milk gels and processed cheese // *International journal of dairy technology*. – 2010. – Vol. 63 (2). – P. 243–251. – <http://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00568.x>.
18. Karzan T.M., Nawal H.S., Ashna T.A. The effect of microbial transglutaminase enzyme on some physicochemical and sensory properties of goat's whey cheese // *International food research journal*. – 2016. – Vol. 23 (2). – P. 688–693.
19. Effect of fat replacer or transglutaminase on the quality of low-fat Gouda-like cheese / M.A. Ahmed, A.M.M. El-Nimer, M.A. Mostafa [et al.] // *World journal of dairy & food sciences*. – 2015. – Vol. 10 (2). – P. 170–180.
20. UF-white soft cheese cross-linked by rosemary transglutaminase / O.A. Ibrahim, M.M. Nour, M.A. Khorshid [et al.] // *International journal of dairy science*. – 2017. – Vol. 12 (1). – P. 64–72. – <http://doi.org/10.3923/ijds.2017.64.72>.
21. Rennet type and microbial transglutaminase in cheese: effect on sensory properties / B. García-Gómez, L. Vázquez-Odériz, N. Muñoz-Ferreiro [et al.] // *European food research and technology*. – 2020. – Vol. 246. – P. 513–526. – <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03418-6>.
22. Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging / L. Darnay, F. Králik, G. Oros [et al.] // *Journal of food engineering*. – 2017. – Vol. 196. – P. 123–129. – <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.020>.

REFERENCES

1. Ostroumov L.A., Smirnova I.A., Zaharova L.M. Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv, 2015, No. 39(4), pp. 80–86. (In Russ.)
2. Jaros D., Rohm H. Enzymes exogenous to milk in dairy technology: transglutaminase, *Encyclopedia of dairy sciences*, 2nd edn. Dresden, 2011, P. 297–300, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00155-2>.
3. Yashkin A.I., *Molochno-hozyajstvennyj vestnik*, 2019, No. 1(33), P. 98–112, <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2019-00010>. (In Russ.)
4. Motoki M., Seguro K. Transglutaminase and its use in food processing, *Trends in food science and technology*, 1998, Vol. 98(5), P. 204–210, [http://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00038-7](http://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00038-7).
5. Schorsch C., Carrie H., Clark A.H., Norton I.T. *International dairy journal*, 2000, Vol. 10(8), P. 519–528, [http://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00052-2](http://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00052-2).
6. D'Alessandro A.G., Martemucci G., Loizzo P., Faccia M. Production of cheese from donkey milk as influenced by addition of transglutaminase, *Journal of dairy science*, 2019, Vol. 102(12), P. 10867–10876, <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16615>.
7. Romeih E., Walker G., Recent advances on microbial transglutaminase and dairy application, *Trends in food science & technology*, 2017, Vol. 62, P. 133–140, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.015>.
8. DeJong G.A.H., Koppelman S.J., Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications, *Journal of food science*, 2002, Vol. 67, P. 2798–2806, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08819.x>.
9. Cozzolino A., Di Pierro P., Mariniello L., Sorrentino A., Masi P., Porta R. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase, *Biotechnology and applied bio-chemistry*, 2003, Vol. 38(3), P. 289–295, <http://doi.org/10.1042/BA20030102>.
10. Bonisch M.P., Heidebach T.C., Kulozik U., Influence of transglutaminase protein crosslinking on the rennet coagulation of casein, *Food hydrocolloids*, 2008, Vol. 22(2), P. 288–297, <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.015>.

11. Metwally M.M.E, El-Zeini H.M., Gazar E.F., Impact of using transglutaminase enzyme in manufacturing low and high fat mozzarella cheese, *Journal of food, nutrition and population health*, 2018, Vol. 2(1:5), P. 1–7, <https://doi.org/10.21767/2577-0586.10035>.
12. Prakasan V., Chawla S.P., Sharma A., Effect of transglutaminase treatment on functional properties of Paneer, *International journal of current microbiology and applied sciences*, 2015, Vol. 4(5), P. 227–238.
13. Cadavid A.M., Bohigas L., Toldrà M., Improving quark-type cheese yield and quality by treating semi-skimmed cow milk with microbial transglutaminase, *LWT Food science and technology*, 2020, Vol. 131, 109756, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109756>.
14. Gemici R., Önek Z., Physical properties of half-fat Kashar cheese manufactured with and without transglutaminase, *The journal of graduate school of natural and applied sciences of Mehmet Akif Ersoy university*, 2017, Vol. 8(2), P. 166–171.
15. Özer B., Hayaloglu A.A., Yaman H., Gürsoy A. and Sener L., Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production, *International dairy journal*, 2013, Vol. 33(2), P. 129–134, <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.02.001>.
16. Topcu A., Bulat T., Özer B., Process design for processed Kashar cheese (a pasta-filata cheese) by means of microbial transglutaminase: Effect on physical properties, yield and proteolysis, *LWT Food science and technology*, 2020, Vol. 125, 109226, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109226>.
17. De Sá E.M.F, Bordignon-Luiz M., The effect of transglutaminase on the properties of milk gels and processed cheese, *International journal of dairy technology*, 2010, Vol. 63(2), P. 243–251, <http://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00568.x>.
18. Karzan T.M., Nawal H.S., Ashna T.A., The effect of microbial transglutaminase enzyme on some physicochemical and sensory properties of goat's whey cheese, *International food research journal*, 2016, Vol. 23(2), P. 688–693.
19. Ahmed M.A., El-Nimer A.M.M., Mostafa M.A. and Omar H., Effect of fat replacer or transglutaminase on the quality of low-fat Goudalike cheese, *World journal of dairy & food sciences*, 2015, Vol. 10(2), P. 170–180.
20. Ibrahim O.A., Nour M.M., Khorshid M.A., Mahmoud A. El.-Hofi, El-Sayed E., El-Tanboly, Nabil S. Abd-Rabou, UF-white soft cheese cross-linked by rosemary transglutaminase, *International journal of dairy science*, 2017, Vol. 12(1), P. 64–72, <http://doi.org/10.3923/ijds.2017.64.72>.
21. García-Gómez B., Vázquez-Odériz L., Muñoz-Ferreiro N., Romero-Rodríguez N., Vázquez Á., Manuel Rennet type and microbial transglutaminase in cheese: effect on sensory properties, *European food research and technology*, 2020, Vol. 246, P. 513–526, <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03418-6>.
22. Darnay L., Králik F., Oros G., Koncz A., Eirtha F., Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging, *Journal of food engineering*, 2017, Vol. 196, P. 123–129, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.020>.