

<https://doi.org/10.67290/2026.dw.11>

УДК 637.3.056

Максим Владимирович Шепелев

Ольга Михайловна Шухалова, канд. техн. наук

Григорий Новомирович Рогов, канд. техн. наук

ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Углич

ПРОТЕОЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА *Lactobacillus helveticus* КАК ИНСТРУМЕНТ ТЕХНОЛОГА-СЫРОДЕЛА

*В условиях высококонкурентного рынка органолептические характеристики сыра являются определяющими для потребительского выбора, что стимулирует производителей к расширению ассортимента. Поскольку внедрение новых технологий сопряжено со значительными инвестициями, перспективной альтернативой выступает применение культуры *Lactobacillus helveticus*, позволяющее улучшить сенсорный профиль сыров с низкой температурой второго нагревания и коротким сроком созревания без кардинальной модернизации производства. Благодаря мощной протеолитической системе *Lactobacillus helveticus* обеспечивает эффективную деградацию длинноцепочечных пептидов – предшественников горечи, накапливающихся при избытке молоко-свёртывающего фермента, а также интенсифицирует накопление свободных аминокислот и их катаболитов, выступающих естественными усилителями вкуса и аромата. Управление направлением метаболических потоков (в сторону ароматических альдегидов, спиртов и эфиров либо в сторону неароматических гидроксикислот) является критическим фактором, определяющим насыщенность и качество аромата созревающего сыра. В связи с этим роль *Lactobacillus helveticus* выходит за рамки технологического компонента, приобретая стратегическое значение.*

Ключевые слова: сыр, сыроделие, заквасочная микробиота, *Lactobacillus helveticus*

UDC 637.3.056

Maksim Vladimirovich Shepelev

Olga Mikhailovna Shukhalova, Candidate of Technical Sciences

Grigory Novomirovich Rogov, Candidate of Technical Sciences

VNIIMS – Branch of Gorbатов Research Center for Food Systems, Uglich

THE PROTEOLYTIC SYSTEM OF *Lactobacillus helveticus* AS A TOOL FOR THE CHEESE TECHNOLOGIST

*In a highly competitive market, the organoleptic characteristics of cheese are decisive for consumer choice, which encourages producers to expand their product range. Since the introduction of new technologies involves significant investment, a promising alternative is the use of *Lactobacillus helveticus*, which makes it possible to improve the sensory profile of cheeses with*

*a low second-heating temperature and a short ripening period without major modernization of production. Thanks to its powerful proteolytic system, *Lactobacillus helveticus* ensures effective degradation of long-chain peptides — precursors of bitterness that accumulate when too much rennet is used — and also intensifies the accumulation of free amino acids and their catabolites, which act as natural enhancers of taste and aroma. Control over the direction of metabolic fluxes, either toward aromatic aldehydes, alcohols, and esters or toward non-aromatic hydroxy acids, is a critical factor determining the intensity and quality of the aroma of ripening cheese. In this respect, the role of *Lactobacillus helveticus* goes beyond that of a technological component and acquires strategic significance.*

Keywords: *cheese, cheesemaking, starter microbiota, *Lactobacillus helveticus**

В условиях интенсивной конкуренции на рынке органолептические характеристики сыра (вкус, аромат, консистенция) приобретают ключевое значение как детерминанты потребительского выбора. В связи с этим значительное число сыродельных предприятий все больше ориентировано на поиск эффективных способов разнообразия уже существующего ассортимента за счет разработки новых видов сыров с уникальным вкусом-ароматическим профилем. Вместе с тем внедрение принципиально новых технологических решений в сыроделии сопряжено с необходимостью значительных капиталовложений. Применение лактобацилл как дополнительной культуры открывает возможность улучшения органолептических характеристик сыров с низкой температурой второго нагревания и коротким сроком созревания, а также разработки новых сортов сыра без существенной модификации производственных процессов.

Важную роль в формировании вкуса-ароматического профиля сыра играет протеолиз – ферментативный гидролиз молочных белков, сопровождающийся накоплением пептидов и аминокислот. Протеолиз в сыре инициируется остаточным молокосвёртывающим ферментом, плазмином, а также ферментами заквасочной и нативной микробиоты. На начальном этапе казеин гидролизуется преимущественно до крупных и средних (негорьких) пептидов за счёт протеолитической активности молокосвёртывающего фермента и, в меньшей степени, плазмينا. Впоследствии эти белки гидролизуются до короткоцепочечных пептидов и аминокислот ферментами заквасочной и незаквасочной микробиоты молока.

Известно, что превышение дозировки молокосвёртывающего фермента или наличия в молоке ферментов психротрофных нативных микроорганизмов, может приводить к избыточному накоплению длинноцепочечных пептидов – прямых предшественников горького вкуса [1]. В данном случае присутствие в составе заквасочной микробиоты *Lactobacillus helveticus* (*L. helveticus*) позволит избежать негативных последствий, т.к. он, обладая сильной протеолитической системой, обеспечивает эффективное расщепление как предшественников, так и уже образовавшихся горьких пептидов до свободных аминокислот. Это не только предотвращает накопление дефектных соединений выше порога восприятия [1], но и способствует формированию чистого, гармоничного и (что немаловажно) уникального вкуса-ароматического профиля сыра [2].

Традиционно *L. helveticus* используется при производстве сыров с высокой температурой второго нагревания: Грана Падано, Пармиджано-Реджано и др. Введение *L. helveticus* в состав заквасок для сыров с низкой температурой второго нагревания и коротким сроком созревания интенсифицирует протеолиз во время созревания. В результате возрастает спектр низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот, которые выступают в роли естественных усилителей вкуса и аромата, повышая насыщенность и полноту органолептического восприятия готового продукта без удлинения технологического цикла.

Вклад *L. helveticus* в улучшение вкуса и аромата сыров реализуется через несколько механизмов:

- интенсивный первичный протеолиз на ранних стадиях, создающий метаболический резерв аминокислот и пептидов;
- образование глутаминовой кислоты, отвечающей за насыщенный вкус «умами» и выраженный сырный аромат;
- активный катаболизм аминокислот с генерацией летучих ароматических соединений (альдегидов, спиртов, сложных эфиров, серосодержащих молекул), формирующих ореховые, карамельные, пряные ноты.

Метаболизм аминокислот (рис. 1) в ароматические соединения у лактобацилл осуществляется двумя основными путями. Первый путь – лиазный (элиминирование), характерный для ароматических аминокислот и метионина, приводит к образованию фенола (фенольный), индола (цветочно-журнальный, землистый) и метантиола (варёная капуста, сероводород). Второй, более значимый для формирования сложного аромата путь – это трансаминация [3]. Под действием аминотрансфераз аминокислота превращается в α -кетокислоту. Сами α -кетокислоты практически нейтральны, но служат важными предшественниками ароматических соединений. В реакции трансаминации акцептором аминокислотной группы выступает α -кетоглутарат, который лактобациллы активно продуцируют из глутаминовой кислоты с помощью глутаматдегидрогеназы (GDH). Благодаря избыточной продукции α -кетоглутарата лактобациллы обладают высоким потенциалом ароматообразования [4].

Образовавшаяся α -кетокислота далее под действием кетокислотной декарбоксилазы превращается в альдегид. Альдегиды нестабильны и под действием альдегиддегидрогеназы окисляются до карбоновых кислот [3]. Под действием алкогольдегидрогеназы альдегиды также могут восстанавливаться до спиртов. Карбоновые кислоты и спирты служат субстратами для эстераз и ацетилтрансфераз, образуя сложные эфиры, придающие сыру выраженные фруктовые и цветочные ноты [4].

Особого внимания заслуживают гидроксикислоты, образующиеся из α -кетокислот под действием дегидрогеназ. Гидроксикислоты не являются ароматическими соединениями, они вносят вклад во вкус, а именно в кислотность и могут придавать сыру пустой, кисловатый фон. Их накопление снижает интенсивность основного аромата, т.к. отвлекает метаболический поток от образования альдегидов, спиртов, кислот и эфиров. Таким образом, ферментативное направление превращения α -кетокислот (через альдегиды или через гидроксикислоты) является критическим фактором, определяющим насыщенность и качество аромата созревающего сыра.

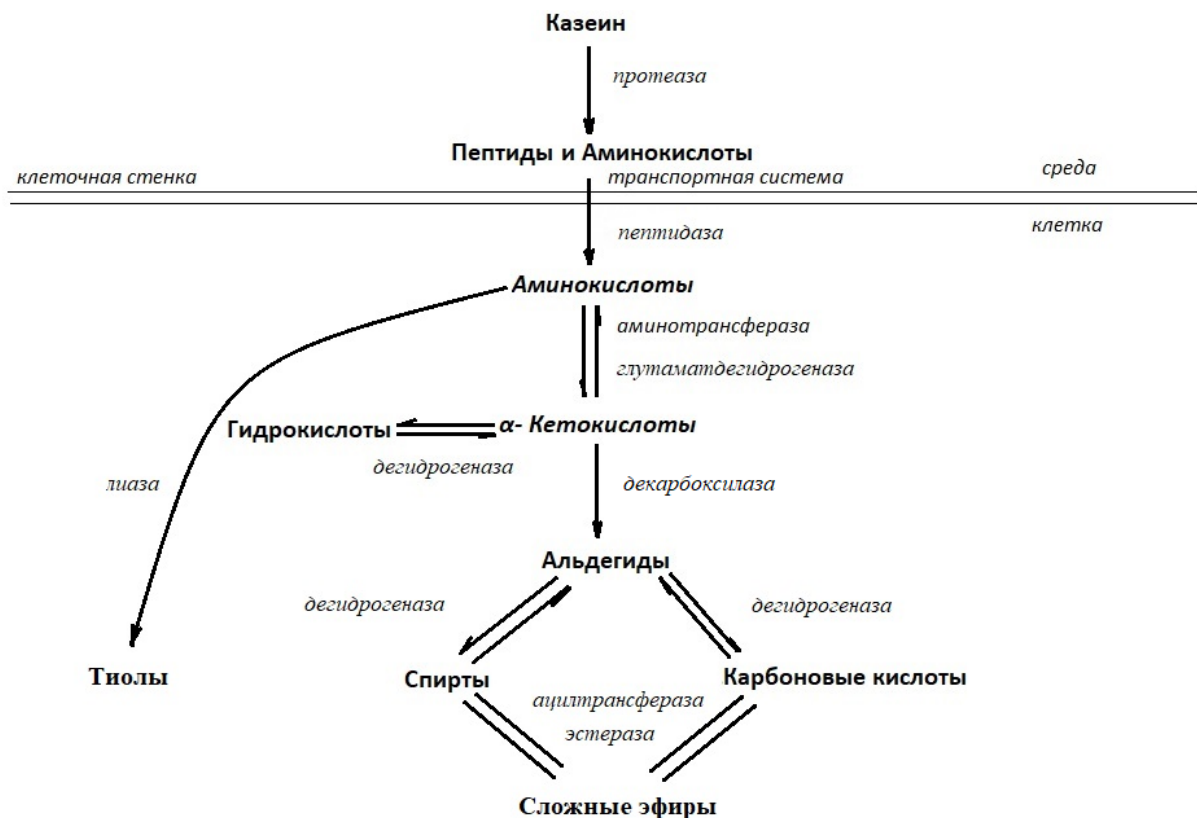


Рисунок 1. Метаболизм аминокислот в ароматические вещества в сыре под действием лактобацилл

Из каждой аминокислоты в ходе последовательных ферментативных реакций трансаминазного пути образуется свой, строго специфичный набор из альдегида, спирта, карбоновой кислоты и соответствующего сложного эфира. Например, лейцин даёт изовалериановый альдегид, изоамиловый спирт, изовалериановую кислоту и изоамилацетат, что в совокупности даёт солодово-бананово-сырную гамму. Фенилаланин – фенилацетальдегид, фенилэтиловый спирт, фенилуксусную кислоту и фенилэтилацетат – с медово-цветочным профилем. Валин – изомасляный альдегид, изобутиловый спирт, изомасляную кислоту и соответствующие эфиры с остро-сырными, сивушными и фруктовыми нотами. Это означает, что, варьируя аминокислотным составом сырья и подбирая заквасочные культуры с определённой ферментативной активностью, производитель может целенаправленно моделировать итоговый вкусо-ароматический профиль сыра, добавляя или усиливая конкретные оттенки вкуса и аромата [5].

Таким образом, *L. helveticus* представляет собой не просто технологический компонент, а стратегический инструмент дифференциации продукции на конкурентном рынке. Практический вывод однозначен: внедрение специализированных штаммов в составе заквасок – это не только способ улучшения качества, но и средство расширения ассортимента и создания конкурентных преимуществ без существенных капитальных затрат. Его применение в сырах как с коротким, так и с длительным сроком созревания позволяет повышать органолептические характеристики, не прибегая к радикальной модернизации производственных линий.

Список использованной литературы:

1. **Widyastuti, Y.** Role of *Lactobacillus helveticus* on flavor formation in cheese: Amino acid metabolism / Y. Widyastuti, P. Lisdiyanti, D. Tisnadjaja // *Annales Bogorienses*. 2014. Vol. 18, № 1. P. 1–11.
2. **Wang, H.** An application in Gouda cheese manufacture for a strain of *Lactobacillus helveticus* ND01 / H. Wang, L. Cui, W. Chen, H. Zhang // *International Journal of Dairy Technology*. 2011. Vol. 64, № 3. – P. 402–409. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00678.x>
3. **Yvon M.** Cheese flavour formation by amino acid catabolism / M. Yvon, L. Rijnen // *International Dairy Journal*. 2001. Vol. 11. P. 185–201 [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00049-8)
4. **Ardö, Y.** Flavour formation by amino acid catabolism / Y. Ardö // *Biotechnology Advances*. – 2006. Vol 24, № 3. P. 238–242. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.005>
5. **Smit, G.** Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products / G. Smit, B. A. Smit, W. J. M. Engels // *FEMS Microbiology Reviews*. 2005. Vol. 29, № 3. P. 591–610. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2005.04.002>