

发酵乳制品中益生菌存活特性及营养品质变化分析

霍文轩

三明学院, 福建 三明 365004

[摘要] 发酵乳既是益生菌的重要载体, 也是乳源营养物质转化形成活性肽、有机酸和风味物质的复杂体系。本文依据公开研究数据, 分析益生菌在发酵及冷藏期间的增殖、衰减和菌种互作特征, 并讨论糖、酸、蛋白质、活性代谢物及质构品质的变化。研究表明, 益生菌存活具有明显的菌株和基质依赖性, 适宜复配菌种、益生元及稳定冷链可缓解后酸化, 提高活菌稳定性和综合营养品质。

[关键词] 发酵乳; 益生菌; 存活特性; 营养品质

DOI: 10.64635/ja.2026.1568

中图分类号: TS252.54

文献标识码: A

Analysis of Probiotic Survival Characteristics and Nutritional Quality Changes in Fermented Dairy Products

Huo Wenxuan

Sanming University, Sanming, Fujian 365004, China

Abstract: Fermented dairy products serve not only as important carriers of probiotics but also as complex systems in which milk-derived nutrients are transformed into bioactive peptides, organic acids, and flavor compounds. Based on publicly available research data, this study analyzes the proliferation, decline, and strain interactions of probiotics during fermentation and refrigerated storage, and discusses changes in sugars, acids, proteins, bioactive metabolites, and textural quality. The results indicate that probiotic survival is strongly dependent on strain characteristics and the food matrix. Appropriate combinations of starter cultures, prebiotics, and a stable cold chain can alleviate post-acidification, improve viable probiotic stability, and enhance overall nutritional quality.

Keywords: fermented dairy products; probiotics; survival characteristics; nutritional quality

引言

发酵乳以乳或乳制品为原料, 经乳酸菌发酵形成凝胶结构和特征风味。除传统发酵菌外, 添加双歧杆菌、植物乳植杆菌、干酪乳酪杆菌等益生菌, 可进一步提升产品功能属性。然而, 益生菌从接种、发酵、冷却、贮藏直至食用要经历温度、酸、氧和营养限制, 其活菌数量往往随货架期延长而下降。

与此同时, 发酵乳的营养品质并非静止不变。乳糖被分解, 有机酸不断积累, 乳蛋白发生有限水解, 部分氨基酸、活性肽和风味化合物增加; 若后酸化过强, 则可能造成乳清析出、口感过酸及益生菌死亡。因而, 发酵乳品质评价应同时关注活菌数量、代谢产物、质构和感官稳定性, 而不能仅以发酵终点的菌数判断产品质量。

1 发酵乳中益生菌的存活规律

1.1 发酵阶段的增殖与菌种互作

发酵初期, 乳中乳糖、氨基酸、维生素和矿物质可为菌体生长提供底物。传统酸奶发酵菌之间通常存在营养互补: 部分菌株水解乳蛋白并释放小肽和氨基酸, 另一些菌株则产生甲酸、二氧化碳或其他促生长

物质。益生菌加入后, 菌种之间可能形成共生、竞争或拮抗关系, 其结果取决于菌株特性和接种比例, 而不能仅依据菌种名称推断。

多菌群发酵羊乳的公开试验显示, 由嗜热链球菌与 5 株乳杆菌组成的复合组凝乳时间为 4.70 小时; 传统双菌组为 5.60 小时; 5 株乳杆菌组则需 10.60 小时。三组凝乳时活菌数均达到每毫升 10 的 9 次方个以上^[3]。该结果说明, 嗜热链球菌能够提高产酸效率并缩短凝乳时间, 而缺少高效产酸菌时, 即使乳杆菌种类较多, 也不一定具有更高的发酵效率。

复合菌并非越多越好。菌株利用相同糖源或氨基酸时可能发生竞争, 产酸速度差异还会改变凝乳过程。某些菌株在单独培养时生长良好, 进入多菌体系后却可能因抑菌代谢物积累而减少。因此, 工业筛选应比较单菌与复配组的产酸曲线、凝乳时间和终点活菌数, 并验证菌株在贮藏阶段能否持续存活。

原料乳种类同样影响菌体生长。绵羊奶与牛奶酸奶的对比研究表明, 两者分别在约 5 小时和 4.5 小时达到发酵终点; 虽然绵羊奶凝乳稍慢, 但其蛋白质和乳固体含量较高, 形成的凝胶结构更为致密^[2]。这说

明发酵速度不是评价益生菌载体优劣的唯一指标，乳基质的缓冲能力和营养组成也会影响后续存活。

1.2 冷藏阶段的活菌衰减及影响因素

发酵结束并不意味着微生物代谢停止。在 4 摄氏度冷藏条件下，部分乳酸菌仍能缓慢利用残余乳糖，导致乳酸继续增加、酸碱度下降，即后酸化现象。酸度升高会破坏菌体跨膜质子平衡，并增加维持细胞稳态所需的能量。当可利用营养逐渐耗尽后，菌体损伤和死亡速度加快。

研究及产品评价通常将每克或每毫升百万至千万数量级的活菌作为益生菌发酵乳货架期内的数量参考，但实际功能还与菌株特性和摄入量有关^[1]。模拟酸胁迫研究显示，在酸碱度为 1 至 3 的条件下，13 株常见乳酸菌的抑制率均超过百分之 90^[1]。该数据虽不能直接等同于发酵乳冷藏环境，却表明酸耐受性是菌株能否经历贮藏和胃肠消化的重要筛选指标。

在 4 摄氏度、21 天贮藏试验中，添加干酪乳杆菌的绵羊奶酸奶活菌数始终较高；第 21 天时，其活菌数量约为普通绵羊奶酸奶的 10 倍，并超过牛奶酸奶的 100 倍^[2]。差异既与添加菌株有关，也受到绵羊奶乳固体、蛋白质含量和缓冲能力影响。因此，该数据只能说明特定菌株在特定基质中的适应性，不能直接推断所有绵羊奶产品均优于牛奶产品。

另一项植物乳植杆菌发酵乳研究显示，在 4 摄氏度贮藏 21 天后，普通发酵乳总活菌数对数值为 6.4，添加益生菌组为 7.6，其中目标益生菌的对数值仍为 7.1^[6]。虽然各组菌数均随贮藏时间下降，但益生菌组保持了较高的数量水平。由此可见，货架期评价必须进行菌株选择性计数，若只检测乳酸菌总数，可能无法判断目标益生菌是否真正存活。

氧暴露也是双歧杆菌等厌氧或低氧耐受菌株死亡的重要原因。包装材料透氧率较高、灌装顶部空间过大或冷链温度波动，都会促进氧化损伤。温度升高还会加速后酸化，使产品在达到标示保质期前出现活菌下降和感官劣变。因此，稳定冷链和低透氧包装是维持活菌数量的基础条件。

2 发酵与贮藏期间营养品质变化

2.1 糖、酸和蛋白质的转化

乳糖是乳酸菌的主要发酵底物。发酵过程中，乳糖被转化为乳酸及少量乙酸等代谢产物，使酸碱度下降并促使酪蛋白聚集。乳糖减少有利于部分乳糖消化能力不足者食用，但发酵乳并非完全不含乳糖，其残留量取决于菌株、发酵时间和配方。

冷藏期间乳酸继续积累会提高酸味并降低活菌稳定性。酸度适度上升有助于抑制腐败菌，但后酸化过强会造成蛋白质网络收缩和乳清析出。因而，控制发酵终点、快速降温并筛选低后酸化菌株，是兼顾微生物安全和感官品质的关键。

乳蛋白总量在发酵前后通常不会大幅增加，但蛋白质存在形式会发生明显变化。菌体蛋白酶和肽酶可将酪蛋白水解为较小的肽和游离氨基酸，改善消化特性，并可能释放具有抗氧化或其他生物活性的肽。多菌群羊乳发酵研究共检测出 883 种代谢化合物；与传统双菌组相比，复合菌组鉴定出的 18 种差异肽中有 13 种含量上调，同时 2 种差异糖均上调^[3]。这说明菌群组合不仅改变产酸速度，也会重塑蛋白质和碳水化合物代谢。

但蛋白水解并非越强越好。过度水解可能产生苦味肽，削弱乳蛋白凝胶结构，导致黏度下降。因此，活性肽增加需要与风味和质构变化结合分析，不宜单独作为品质提高的依据。

2.2 生物活性物质及功能特性变化

益生菌能够合成或转化叶酸、氨基酸、有机酸及其他小分子代谢物，也可通过蛋白水解释放生物活性肽。这些变化使发酵乳的功能品质具有动态性：某些活性物质在发酵阶段迅速形成，某些物质则在冷藏期间继续增加，但同时也有热敏或氧敏成分发生降解。

植物乳植杆菌发酵乳在 4 摄氏度贮藏 21 天期间，体外血管紧张素转换酶抑制率由百分之 22.3 提高到百分之 49.3；与此同时，氨基丁酸、甘油酸、苹果酸等代谢物增加，并与抑制活性呈较强正相关^[6]。该结果表明，冷藏期内的缓慢蛋白水解和代谢转化可能提升部分体外功能活性。但体外抑制率不等同于人体降压效果，仍需消化稳定性及临床研究验证。

添加功能性多糖也能改变发酵乳的营养和抗氧化特征。当山楂叶多糖添加量为百分之 0.12 时，发酵乳持水力达到百分之 60.24；添加多糖后，两类自由基清除率最高分别达到百分之 80.7 和百分之 81.6，均显著高于空白组^[4]。这些数值说明植物多糖可同时作为结构改良成分和抗氧化物质，但不同抗氧化检测方法的反应机制不同，结果不能简单等同于人体内抗氧化效应。

发酵还可能改变维生素含量。部分菌株能够合成叶酸等维生素，另一些菌株则会将其作为生长因子消耗。因此，同类发酵乳的维生素变化可能方向相反。

评价营养提升时应采用实际检测数据,而不能仅凭“含益生菌”推断所有营养素均增加。

2.3 质构、持水性与风味品质变化

发酵乳的营养接受度最终要通过质构和风味实现。乳酸使酪蛋白形成三维凝胶网络,菌株产生的胞外多糖能够填充网络孔隙、结合水分并提高黏度。若凝胶网络过弱,产品容易乳清析出;若多糖和蛋白相互作用过强,则可能出现黏口或组织粗糙。

多菌群羊乳研究中,嗜热链球菌与 5 株乳杆菌复合组的持水性、质构和流变特性优于另外两组^[3]。绵羊奶酸奶的硬度、稠度、黏聚性和黏性指数也整体高于牛奶酸奶,其感官综合评分差异主要体现在滋味、组织状态和喜爱程度^[2]。这些结果提示,原料乳组成对质构的贡献可能大于单一益生菌的作用。

益生元能够在支持菌体生长的同时调节凝胶结构。菊粉、低聚果糖、低聚半乳糖与酵母葡聚糖复配后,可减缓乳双歧杆菌发酵乳的后酸化,减少乳清析出,并维持较高活菌水平;复配组的凝胶强度、内聚性和弹性也优于未添加组^[5]。然而,益生元添加量过高可能增加粉感、甜度或黏度,因此应以活菌稳定性、感官评价和配方成本共同确定用量。

风味变化主要来自乳酸、乙酸、乙醛、双乙酰、酮类和酯类等化合物。适量酸和羰基化合物可形成清新乳香,过度后酸化则导致刺激性酸味。不同菌株的风味代谢途径差异明显,复合发酵需要避免某一菌株过度增殖掩盖主体风味。

3 益生菌存活与营养品质的协同调控

3.1 菌株、基质及冷链条件的综合优化

发酵乳调控的核心不是单纯提高出厂菌数,而是保证目标益生菌在整个货架期内保持有效数量,同时维持营养、质构和风味稳定。首先,应选择酸耐受、低温稳定且与商业发酵剂相容的菌株,通过单菌和复配试验确定接种比例。菌株筛选还应包含胆盐耐受、安全性和功能稳定性评价,避免只依据产酸速度进行选择。

其次,应优化乳基质。提高乳固体和蛋白质含量可增强缓冲能力与凝胶结构;适量益生元可为菌体提供选择性营养,并改善持水性。已有数据证明,复配益生元能够缓解后酸化并提高乳双歧杆菌的贮藏稳定性^[5],但配方效果具有菌株专一性,需要逐一验证。

再次,应精确控制发酵终点和冷却速度。达到目标酸度后应迅速降至冷藏温度,减少余热条件下持续产酸。贮藏和运输宜保持 4 摄氏度左右的稳定环境,

并选择阻氧性较好的包装。货架期试验除检测第 0 天和终点外,还应设置多个中间时间点,分析活菌衰减、酸度、乳清析出和感官品质的变化速度。

最后,应建立多指标评价体系。微生物指标应区分目标益生菌和发酵菌总数;营养指标应包括乳糖、有机酸、游离氨基酸和代表性活性肽;品质指标应覆盖黏度、持水性、后酸化和感官接受度。由于不同研究的菌株、原料、培养条件和计数方法不一致,文献中的活菌数据不能直接排列优劣,产品开发仍需在统一条件下进行对照试验。

4 结语

发酵乳中益生菌的存活是菌株特性、菌种互作、乳基质组成、酸度、氧暴露和贮藏温度共同作用的结果。益生菌通常在发酵阶段快速增殖,在冷藏初期保持相对稳定,随后因后酸化、营养耗竭和氧化胁迫逐渐减少。公开数据表明,适宜菌种与基质组合可使发酵乳贮藏 21 天后仍维持较高活菌水平;复合发酵还能缩短凝乳时间,并促进活性肽、有机酸及其他功能代谢物形成。

发酵与冷藏并非单纯的营养损失过程。乳糖降低、蛋白质有限水解和部分活性代谢物增加可提升产品功能品质,但过度产酸也会损害活菌、质构和风味。因此,今后的发酵乳开发应由“追求高初始菌数”转向“保障货架期末有效菌数”,通过菌株复配、益生元调节、快速冷却、低氧包装和稳定冷链,实现益生菌存活、营养功能与感官品质的协同优化。

【参考文献】

- [1] 戴一佳,赵亮. 益生菌对发酵乳品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 388-396.
- [2] 杨续金,侯燕军,呼斯乐,等. 凝固型绵羊奶酸奶的发酵特性及活菌数变化[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 69-74.
- [3] 许双双,吕嘉枋,巨瑞,等. 三组多菌群益生菌发酵羊乳酸乳的特性分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 104-113.
- [4] 赵岩岩,赵圣明,李帅,等. 山楂叶多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 73-79.
- [5] 巩涵,郭悦,王感恩,等. 不同益生元对乳双歧杆菌 PB200 益生菌发酵乳特性的改善作用[J]. 乳业科学与技术, 2025, 48(2): 1-8.
- [6] ZHANG M, JIANG Y, CAI M, et al. Characterization and ACE Inhibitory Activity of Fermented Milk with

Probiotic *Lactobacillus plantarum* K25 as Analyzed
by GC-MS-Based Metabolomics Approach[J].

Journal of Microbiology and Biotechnology, 2020,
30 (6) : 903-911.