

益生菌在发酵乳制品中的存活特性及对肠道健康功效的研究进展

薛龙

青岛爱行天下广告传媒有限公司, 山东 青岛 266555

摘要: 益生菌因其有助于调节肠道菌群平衡、增强免疫功能和改善代谢状况等健康效益, 近年来在发酵乳制品中的应用受到广泛关注。然而, 益生菌在乳制品加工、储存以及进入人体消化系统的过程中面临复杂环境, 应激因素影响其活性与定植效果。本文系统梳理了影响益生菌在发酵乳制品中存活率的主要因素, 分析其生理特性与适应机制, 进一步探讨其在人体肠道内的生物学作用机制与健康效应, 并结合最新研究成果, 提出优化益生菌存活与功能发挥的策略。通过整合基础研究与产业实践, 为功能性乳制品的开发提供理论依据和技术支持。

关键词: 益生菌 发酵乳制品 存活率 肠道健康 微生态平衡

引言

益生菌 (Probiotics) 是指摄入一定数量后对宿主健康有益的活性微生物, 主要包括双歧杆菌、乳酸杆菌、嗜酸乳杆菌等。它们被广泛应用于酸奶、乳酪、奶饮料等发酵乳制品中, 既能参与风味物质形成, 又赋予产品额外的健康价值。随着消费者对“功能食品”“肠道养护”等概念的认知提升, 益生菌乳制品逐步成为乳品市场的增长亮点。

然而, 益生菌从生产到食用全过程面临多重挑战, 包括高温杀菌、低 pH 环境、氧暴露、储存氧化以及胃酸、胆汁的消化屏障等, 这些因素会显著降低其活菌数量, 从而削弱其生物学功能。因此, 如何提升益生菌在发酵乳制品中的存活率, 以及在肠道中的功能保持能力, 是当前研究的重点方向。

本文从益生菌在乳制品中的存活机制入手, 探讨其与载体环境的相互作用, 进一步分析其对肠道生态系统的调节作用, 并综述当前国内外在该领域的研究进展, 旨在为功能性

乳制品的开发与健康食品创新提供系统性参考。

1 影响益生菌在乳制品中存活率的主要因素

1.1 加工条件对益生菌活性的影响

在发酵乳制品的工业生产中, 益生菌常与传统发酵菌种 (如保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌) 共同使用, 用于酸奶、乳酪等产品的生产。但加工过程中诸多物理、化学因素会影响益生菌的活性, 特别是温度、酸度和氧暴露。

温度是影响益生菌活性的关键因素之一。益生菌一般为中温性嗜好菌, 其最佳生长温度约为 35~40°C。然而, 乳制品的巴氏杀菌处理需达到 72°C 以上, 虽不会直接杀死后添加的益生菌, 但若在高温下存放或运输, 仍可能造成其活性下降。此外, 发酵过程中 pH 值逐渐降低, 当低于 4.0 时, 许多益生菌种 (如 *Bifidobacterium* 属) 会受到强烈抑制, 表现为生长缓慢甚至失活^[1]。

氧的影响亦不容忽视。多数益生菌为厌氧或微需氧菌种, 对氧高度敏感。商业乳品包装

中常含有空气,且储存期间存在溶氧升高问题,尤其是采用透明塑料瓶的冷藏酸奶,受光照影响可能诱发氧化应激反应,从而降低益生菌的生理活性。

1.2 储存条件与运输方式对活菌含量的制约

益生菌乳制品在完成生产后,必须经过长时间的冷藏运输与货架存放期,这一过程对益生菌的生存状态提出较高要求。研究发现,在4℃冷藏条件下,某些乳酸菌种类在30天内活菌数量减少达2~3个对数单位,严重影响最终摄入量与产品功能性^[2]。

影响其稳定性的关键因素还包括乳制品中的营养成分稳定性,如乳糖、蛋白质等底物是否足以支持益生菌代谢;同时,包装材料的密封性、遮光性能与阻氧能力也会对其稳定性产生影响。理想的包装应能防止水分流失、抑制氧气渗透,并提供适宜微环境,以延长产品保质期并维持益生菌活性。

2 提升益生菌在发酵乳制品中存活率的策略

2.1 微胶囊化与载体保护技术的应用

针对益生菌在加工和胃肠道环境中面临的生存挑战,微胶囊化技术成为提高其稳定性与生物利用度的有效手段。该技术通过将益生菌包裹于天然或合成的生物材料中,形成物理屏障,减缓环境胁迫因子对其直接作用,从而在产品储存及胃肠道传输过程中保持活性。

常用的包埋材料包括海藻酸钠、明胶、乳清蛋白、壳聚糖等,这些材料具有良好的生物相容性与透气性。海藻酸钠-钙结合系统被广泛应用于乳制品中,其形成的凝胶结构可在胃酸环境中保持稳定,并在小肠碱性条件下释放益生菌。此外,双层包埋、复合包裹等技术也逐渐被引入,以增强对热、酸、氧的复合防护能力。

在产品形式上,微胶囊可直接混合于发酵乳饮料或酸奶中,不仅不会显著改变口感,还可赋予产品功能性标签,满足消费者对健康饮品的差异化需求。实际应用表明,包埋处理可将益生菌存活率提高2~3倍,并显著提升其通过胃肠道的存活能力^[3]。

2.2 协同菌种与益生元复合应用的优势

另一种提升益生菌活性的策略是与其他菌种或益生元(如低聚果糖、菊粉)进行复合应用。协同菌种指的是在发酵过程中可与目标益生菌协作生长的微生物,例如嗜热链球菌与乳酸杆菌组合可产生适宜pH缓冲系统,减缓酸度上升速度,为益生菌生长创造友好环境。

益生元作为可选择性被益生菌利用的营养底物,可在产品储存过程中持续供能,延缓益生菌衰退。同时,益生元在进入肠道后还能作为营养来源支持益生菌定植,发挥协同促进作用。研究表明,含益生元的复合乳制品中,益生菌的活性保持时间普遍延长5~7天,对产品保健功能提升明显^[4]。

此外,有学者尝试在发酵乳制品中添加天然抗氧化剂如维生素C、多酚类物质,增强对氧应激的缓冲能力,减少氧自由基对益生菌细胞膜的损伤。通过多因子协同保护,可形成“生理-物理-营养”三位一体的保护屏障,提升益生菌的整体生存能力。

3 益生菌对肠道健康的主要作用机制

3.1 调节肠道微生态平衡

肠道微生态系统是人体健康的重要屏障,由数万亿微生物组成,维持着消化吸收、免疫防御与代谢调节等关键功能。益生菌通过竞争性黏附、营养竞争、产酸抑菌等方式,帮助抵御有害菌定植,维护肠道菌群稳定性。例如,乳酸菌可降低局部pH值,不利于致病菌如沙门氏菌、大肠杆菌的生存;同时,其代谢产物如乳酸、醋酸具有一定抑菌能力,形成天然“生物屏障”。

此外，部分益生菌可与宿主肠道上皮细胞表面受体结合，竞争性排除致病菌附着点，从而减少肠道炎症与感染风险。通过调节菌群比例，益生菌还能影响短链脂肪酸（SCFA）如乙酸、丁酸的产生，这些代谢产物被证实可作为肠上皮细胞能量来源，促进肠道修复与上皮屏障完整性。

3.2 促进免疫系统成熟与抗炎反应

益生菌通过刺激肠道相关淋巴组织（GALT），可调节体内免疫反应，促进机体对外来病原的识别与清除。研究表明，益生菌能上调抗炎性细胞因子如 IL-10，抑制炎症性细胞因子如 TNF- α 的过度释放，从而减轻炎症反应。某些菌株如 *Lactobacillus casei* 还被发现可增强肠道黏膜 IgA 抗体分泌，提高局部免疫防御能力^[5]。

在儿童与老年人等免疫易感人群中，长期摄入含益生菌的乳制品有助于增强免疫系统成熟与功能恢复。一项临床试验显示，定期摄入 LGG 酸奶的学龄儿童，其呼吸道感染发病率明显低于对照组，说明益生菌通过“调节-激活-保护”的机制在提升宿主免疫功能中发挥重要作用。

3.3 缓解功能性肠病与代谢综合征症状

近年来研究表明，益生菌在缓解肠易激综合征（IBS）、溃疡性结肠炎、便秘等功能性胃肠疾病方面具有积极作用。例如，特定乳酸菌可调节肠道神经-内分泌通路，改善肠道蠕动功能，减少腹痛、腹胀等不适症状；而 *Bifidobacterium* 属则在降低肠道炎症、重建菌群生态方面显示良好效果。

在代谢性疾病如肥胖、糖尿病等方面，益生菌通过影响肠道菌群构成、调节代谢信号通路及改善胰岛素敏感性等路径，亦表现出潜在干预价值。动物实验显示，长期补充益生菌可显著降低小鼠体脂含量与空腹血糖水平，为其作为功能性食品提供了理论基础。

4 影响益生菌功能发挥的关键因素及应对策略

4.1 胃肠道屏障对益生菌活性的挑战

益生菌从乳制品进入人体肠道之前，需经历口腔、胃部、小肠等多个生理关卡，其中最严峻的是胃酸和胆汁的考验。胃液的 pH 值通常在 1.5~3.0 之间，具有强烈的杀菌作用，益生菌若无法在短时间内通过胃部，极易被胃酸杀死。而进入小肠后，胆盐则会对细胞膜造成破坏，使益生菌的完整性受损，从而影响其后续定植能力与功能表达。

应对这一挑战，科学界从菌株选育、包埋技术以及食品载体调配等方面开展研究。例如，通过筛选耐酸耐胆的菌株、开发耐胃酸包埋载体或同步摄入缓冲类食品（如高蛋白酸奶）等策略，均可有效提升益生菌穿越消化屏障的能力。研究显示，在摄入高蛋白发酵乳的同时补充益生菌，可使其胃内滞留时间缩短，降低酸暴露时间，从而增加进入小肠的活菌数量。

4.2 宿主个体差异对益生菌效果的影响

益生菌在人体内的功能效果具有高度个体化特征。不同个体的肠道菌群结构差异显著，这种“原始生态”的不同将直接影响益生菌的定植效率与协同能力。例如，同一菌株在不同人群中的代谢通路激活程度不同，甚至存在“非反应者”现象，即摄入益生菌后无明显功能改善。

此外，年龄、饮食习惯、生活方式、健康状况等因素也会影响益生菌的生物作用。在婴幼儿、老年人、慢性病患者等特殊群体中，肠道菌群生态相对脆弱，益生菌更易定植并产生较强干预作用，而在肠道环境较稳定的健康成年人中，作用效果可能相对温和。

针对这种个体差异，未来益生菌应用可能向“精准营养”方向发展，通过肠道菌群检测与健康数据建模，为不同人群匹配最适合的益

生菌组合与摄入量，实现个性化营养干预与健康管理。

5 研究进展与未来发展方向

5.1 新型菌株开发与合成生物技术介入

近年来，随着基因组测序与微生物组研究的发展，研究者不断发现具有特定功能的新型益生菌菌株。例如某些耐热乳酸菌、分泌多肽类免疫调节因子的工程菌株，显示出更强的抗胃酸性、更长的保留时间与更广泛的健康效益。在此基础上，合成生物学手段被引入益生菌改良中，通过特定基因编辑或代谢途径优化，使益生菌具备更强的定植能力与功能表达能力。

这些“下一代益生菌”不仅可用于改善传统功能，还可针对特定疾病进行定制性干预，如治疗乳糖不耐受、调节神经递质代谢、甚至参与情绪调节等。未来随着法规与伦理监管的完善，这类菌株有望成为益生菌功能拓展的重要方向。

5.2 临床研究与健康功效评价体系的建立

尽管益生菌在体外实验与动物模型中表现出众多有益功能，但在人体中的实际作用尚需大量临床试验证实。目前益生菌研究面临的挑战之一是缺乏标准化的评估体系，不同研究间菌株不同、剂量不同、摄入周期不同，导致研究结果可比性差，难以形成统一共识。

因此，建立统一的益生菌功能评价标准与临床研究指南迫在眉睫。应加强跨学科合作，结合微生物组学、营养学、临床医学等多领域，

推动益生菌由“食品成分”向“功能因子”转变，获得更广泛的医学认可与市场准入支持。

5.3 产业发展趋势与消费者教育

随着公众对肠道健康认知的提高，益生菌乳制品市场持续扩张，但也出现了产品过度宣传、功能标签不实、菌株命名混乱等问题。行业需加强对益生菌产品的法规监管，统一标识体系，推动企业真实标注菌株来源、活菌数量及功能证据，增强消费者信任。

同时，加强消费者教育也是关键，帮助其理解益生菌并非万能，对其摄入方式、剂量、持续性等有一定要求。通过科学普及与知识透明，才能实现益生菌产品的真正价值，让其在疾病预防与健康促进中发挥应有作用。

结论

益生菌作为功能性微生物在发酵乳制品中的应用，不仅提升了乳品的营养与保健价值，更在调节肠道菌群、促进免疫功能、改善代谢健康等方面展现出广阔的应用前景。然而，其活性受加工工艺、储存条件、个体差异与摄入方式等多重因素影响，因此提升益生菌在发酵乳制品中的稳定性与生物功能，是今后研究与产业发展的重点。

本文系统分析了益生菌在乳制品中的存活机制、保护技术、肠道作用途径及影响因子，并展望了其未来在新型菌株开发、精准营养干预和产业标准化方面的发展方向。未来，随着科技进步与消费认知提升，益生菌将在健康食品领域发挥更加重要的作用，推动人类迈向更加科学的“肠道健康时代”。

参考文献

- [1]姚依彤. 内蒙古传统发酵酸马奶中酵母菌的分离鉴定及与乳酸菌的共存性研究[D]. 内蒙古民族大学, 2024.
- [2]小美. 微胶囊化酸马奶粉制备工艺研究[D]. 内蒙古民族大学, 2024.
- [3]刘雷. 优良特性双歧杆菌的筛选及其在发酵乳中的应用[D]. 内蒙古农业大学, 2024.

[4] 金星语. 乳双歧杆菌微胶囊的制备及其特性分析[D]. 内蒙古农业大学, 2024.

[5] 文静. 乳酸菌和酵母菌混合发酵提升矮子板鸭品质及质量安全的研究[D]. 南昌大学, 2024.