益生菌在功能性乳制品中功效与作用机制研究进展

张 兵，付 强，唐世云，孟卫芹，付石军*

山东省滨州畜牧兽医研究院，山东滨州 256600

摘 要：益生菌以乳酸菌（LAB）为主，在功能性乳制品研究开发中起关键作用。LAB可调节肠道，改善相关疾病，其潜在功能有竞争黏附位点、产生杀菌素、改善肠道通透性、释放活性代谢物、调节免疫力和刺激细胞保护反应等。本文主要介绍益生菌在功能性乳制品中的功效与作用机制，并分析其应用中可能面临的困难和挑战，为功能性乳制品开发和应用提供参考。

关键词：功能性乳制品；益生菌；肠道健康；免疫调节；肠脑轴

文章编号：1671–4393（2025）05–0093–08 DOI:10.12377/1671–4393.25.05.15

中国乳业线上阅读

0 引言

近年来，随着人们对健康食品需求的增加，益生菌在乳制品中的应用越来越广泛。益生菌种类繁多，在疾病预防和治疗中有显著效果。功能性乳制品是在传统乳制品基础上，通过添加某些特定成分或改变生产工艺，使其具有特定功能（如增强免疫力、改善肠道健康、调节血糖等）。功能性乳制品涉及多个领域，包括益生菌、益生元、蛋白质、维生素和矿物质等。本文主要介绍益生菌在改善肠道健康、调节代谢紊乱和抗肿瘤方面的功效及作用机制，以及在乳制品加工和市场化开发中可能面临的问题，为产业应用提供理论支持。

1 改善肠道健康

1.1 功能性消化不良（FD）

FD是一种慢性非器质性胃肠道疾病，目前药物治疗效果有限，且存在一定安全问题。肠道微生物

基金项目：山东省中央引导地方科技发展资金项目（YDZX2023015）；滨州市农社领域科技创新政策引导计划项目（2022SHFZ030）

作者简介：张 兵（1969–），男，山东邹平人，硕士，研究员，研究方向为农业产业及政策；
付 强（1980–），男，山东菏泽人，硕士，助理研究员，研究方向为微生物应用；
唐世云（1974–），男，山东荣成人，硕士，副研究员，研究方向为食品加工与安全；
孟卫芹（1980–），女，山东庆云人，硕士，副研究员，研究方向为食品加工与检验。
*通信作者：付石军（1980–），男，山东临沂人，博士，研究员，研究方向为动物营养与饲料。

的存在和组成在FD的发生和发展中起着至关重要的作用。沈郁等[1]观察比较FD患者饮用含格氏乳杆菌LG21的酸奶（180 g/d）16 周后的情况，发现FD症状发生率（43.8%）低于干预前（100.0%），差异有统计学意义（$P<0.001$）。孙二娜等[2]利用副干酪乳杆菌LC-37饮料对30 名FD患者进行为期21 d的临床实验，结果表明，饮用LC-37饮料14 d后，显著缓解受试者FD症状。Shen等[3]系统总结益生菌调节肠道菌群和改善FD的作用，介绍不同益生菌的临床效果，并指出不足，如选取哪些菌种最有益还存在混淆，益生菌或益生元在FD治疗中的长期有效性还有待确定。

1.2 乳糖不耐症

乳糖不耐症是一种遗传性常染色体隐性遗传性状，外显率不完全，其症状是由小肠中未吸收的乳糖移动到结肠引起的，在结肠内乳糖被肠道菌群代谢成乳酸、氢气、甲烷和二氧化碳，乳酸刺激肠壁，增加肠蠕动而出现腹泻。食用益生菌是治疗乳糖不耐症的方法之一。保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌等LAB具有较高活性的β-半乳糖苷酶，可降解乳糖，食用这种发酵乳制品可明显降低乳糖不耐症的发生率[4]。Cano-Contreras和Ahn等[5, 6]均采用Meta分析证明了益生菌在缓解成人乳糖不耐症方面的有效性。

1.3 腹泻

在临床治疗中，广谱抗生素的长期使用易引发肠道微生态失衡，导致具有代谢和保护功能的有益菌群显著减少，进而诱发腹泻等常见的药物相关不良反应。近年研究显示，益生菌干预在特定患者群体中展现出潜在的临床价值：一项纳入2003例患者的meta分析证实，益生菌制剂可使重症脑卒中患者胃肠道并发症发生率降低（$P<0.000\ 1$）[7]。Skrzydło-Radoma ń ska[8]等报道，使用多菌株合生元制剂可显著改善肠易激综合征（IBS）症状。在危重症领域，Alsuwaylihi等[9]报道，鼠李糖乳杆菌GG和蜡样芽孢杆菌A05的使用降低了危重患者腹泻的发生率。然而，Lee等[10]在另一项meta分析研究中，不支持益生菌对危重症患者腹泻治疗的有益作用。因此，益生菌在减少危重症患者腹泻方面的最佳剂量和有效性尚无定论。

2 调节代谢紊乱

代谢综合征以一系列代谢异常（向心性肥胖、胰岛素抵抗、高血压和血脂异常）为特征，对动脉粥样硬化性心血管疾病和II型糖尿病（T2D）发展构成重大风险。大量证据表明，肠道微生物群的组成对代谢紊乱的发病机制有影响。特定细菌菌株及其代谢物（如脂肪酸、生物活性肽和神经递质）可被视为某些代谢紊乱（肥胖、心血管疾病甚至癌症）的辅助疗法，达到调节能量消耗、预防肥胖和治疗并发症的目的[11~14]。

2.1 糖代谢紊乱

糖尿病是以高血糖为特征的慢性代谢性疾病，主要分为1型糖尿病（T1D）和2型糖尿病（T2D）两类。T1D是由自身免疫细胞破坏和无胰岛素分泌引起的，T2D是由胰岛素抵抗引起的。许多体外和体内研究表明，食用富含益生菌和益生元的乳制品可通过影响肠道微生物和短链脂肪酸（SCFA）产生来控制血糖水平[15~17]。其机制是SCFA在肠末与G蛋白偶联受体41/43结合，刺激肠上皮细胞释放激素，如胰高血糖素样肽1（glucagon-like peptide 1，GLP1）、肽YY（peptide YY，PYY）、瘦素、饥饿激素（ghrelin）和胰岛素等，影响饱腹感和血糖稳态[18]。

2.2 脂代谢紊乱

人体的脂质在许多生理活动中发挥作用，当脂质合成和分解间的平衡被打破时，机体就会发生脂质代谢紊乱，可能引发多种代谢相关疾病，如高脂血症、肥胖症、脂肪肝和心血管疾病等[19]。

高脂血症，通常指血浆中甘油三酯和（或）总

中国乳业杂志上网读

胆固醇升高，许多LAB可产胆盐水解酶（BSH），将结合型胆盐转变成游离胆汁酸和氨基酸。其中，部分游离胆汁酸能与甘氨胆酸钠或牛磺胆酸钠结合并随粪便排出；另一部分重新进入肝肠循环，作为信号分子与相关胆汁酸受体结合，通过影响胆汁酸代谢通路调节体内的胆固醇含量。因此添加益生菌能降低血脂、胆固醇水平[20]。例如，嗜酸乳杆菌NX2-6可降低油酸诱导的HepG2细胞中的甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇（LDL-c），同时发挥抗氧化作用[21]。

肥胖是一种由多种遗传和非遗传因素（如环境因素）引起的复杂代谢紊乱，益生菌和益生元可通过调节肠道微生物组发挥治疗作用[22, 23]。Shen等[24]主要从两个方面总结益生菌预防肥胖的机制。首先，摄入一定量的LAB后（约10^9 CFU/d或以上），一些特定菌株可调节宿主肠道菌群组成，包括降低厚壁菌/拟杆菌比值（F/B比）和生物多样性等。此外，肠道中的LAB可刺激肠上皮细胞紧密连接蛋白的表达，改善被高脂饮食（HFD）或产脂多糖（LPS）破坏的肠道通透性。其次，源自宿主肠道LAB的代谢物，如SCFA、亚油酸（LA）和γ-氨基丁酸（GABA）等，可通过肠脑轴刺激并调节食欲和饱腹感，达到减肥效果。同时，这些代谢物可调节体内与脂质代谢相关的信号通路，包括经典的腺苷酸活化蛋白激酶（AMPK）信号通路。结果表明，短链脂肪酸通过参与各种人体代谢过程，具有有效预防和抑制肥胖的潜力[25]。

2.3 高血压

高血压易引起患者心脏等器官损伤，并与糖脂代谢紊乱密切相关，是引发心脏病的主要因素。药物治疗是缓解高血压主要手段，但有副作用[26, 27]。近年来，食疗成为治疗高血压研究热点。Yu等[28]试验发现，饲喂含有植物乳杆菌Y44的复合发酵剂的酸奶对自发性高血压大鼠（SHR）的高血压有改善作用，可降低血压、恢复肠道菌群多样性和增加SCFA。研究显示，SCFA通过各种机制影响人体血压，其中一些代谢物具有已知的配体（如小鼠的GPR41、GPR43、GPR109a和Olf78，人类的OR51E2），这些配体可作为高血压的治疗靶点[29]，因此，更深入了解肠道微生物群产生的代谢物非常重要。

2.4 尿酸代谢紊乱

高尿酸血症是一种代谢紊乱，其特征是嘌呤代谢异常，导致尿酸（UA）在血液中积聚。痛风是高尿酸血症的常见临床表现，食用益生菌已被研究作为直接或间接改善血液中高UA水平的潜在方案之一，其机理在于益生菌能产生肌苷水解酶和其他核苷降解酶，导致肌苷分解和尿酸（UA）合成减少，缓解高尿酸血症[30~33]。于鑫迪等[34]以副干酪乳杆菌259和商业发酵剂为发酵菌株，研发一款降嘌呤的功能性牦牛酸奶，对肌苷和鸟苷的降解率最高达到84.6%和 86.5%。乐卿清等[35]以复合益生菌配方喂养三高模型C57BL/6小鼠2 周，结果表明，复合益生菌配方可降低试验小鼠的高尿酸、高血脂和高血糖，并对非酒精性脂肪性肝病有显著缓解作用。Kim等[36]评估15 种LAB降解肌苷和次黄嘌呤的能力，在氧酸钾（PO）诱导高尿酸血症的大鼠模型中，得出嗜热链球菌 IDCC 2201 对血清尿酸水平的降低幅度最大。这些研究结果表明，益生菌可用作高尿酸血症患者的辅助治疗。

3 潜在天然抗肿瘤

数据显示，健康宿主的肠道微生物群与结直肠癌（CRC）患者的肠道微生物群显著不同。肠球菌、消化链球菌、大肠杆菌、志贺氏菌、克雷伯菌、链球菌、梭杆菌、沙门氏菌、拟杆菌和普雷沃菌在CRC患者中更常见，其中产肠毒素脆弱拟杆菌分泌肠毒素，可能与CRC发生相关，具核梭杆菌促进CRC细胞增殖，可增加CRC风险[37]。目前，在治疗、预防结直肠癌方面，益生菌的应用十分有限，主要集中在降低CRC发病率、减轻治疗相关副作用和增强抗癌疗效等方面。益生菌抗癌作用的潜在机

中国乳业杂志社版权

制，主要包括恢复微生物组成、加强肠道屏障完整性、诱导癌细胞凋亡、清除致癌物和调节宿主免疫反应[38]。

在体外培养试验方面，Saffar等[39]研究嗜酸乳杆菌上清液和酿酒酵母对结直肠细胞系的抗癌作用，结果表明益生菌可有效抑制结直肠癌细胞增殖，甚至逆转其发育。此外，对与结直肠癌相关细胞基因和miRNA 谱的研究表明，益生菌通过增加肿瘤抑制因子microRNA 及其靶基因表达，同时减少癌基因，在预防CRC中起到至关重要的作用。短双歧杆菌lw01产生的关键代谢物吲哚-3-乳酸（ILA），通过指导未成熟结肠巨噬细胞分化来改善癌前炎性肠道环境，抑制肿瘤发生[40]。

在动物方面，Li等[41]实验表明，酸奶可有效预防小鼠结肠炎相关的结直肠肿瘤发生。酸奶中的d-乳酸可激活GPR81，抑制促炎巨噬细胞极化，促进结肠损伤后的炎症消退，抑制CAC进展，为慢性炎症性肠病患者补充酸奶提供理论依据。Su等[42]研究发现，乳酸乳球菌（HkyuLL 100）通过恢复肠道菌群和分泌功能蛋白α-甘露糖苷酶抑制小鼠CRC肿瘤发生。Chen等[43]研究表明，植物乳杆菌（LP-CBT）通过修复肠道屏障功能抑制AOM/DSS结肠癌模型小鼠的肿瘤发展。此外，使用MC38 皮下肿瘤模型进一步证实了LP-CBT 对结直肠癌的抑制作用[43]。然而值得注意的是，动物和人类间存在显著差异，上述证据主要是基于细胞培养的检测结果，未经人体临床试验证实。

4 当前困难和挑战

功能性乳制品具备多种益生机制，有广阔的应用前景。然而，其乳品加工和市场化应用仍面临困难和挑战。

4.1 口感和风味

风味可能是某些消费者选择食物的第一个指标，其次才是健康益处。若添加功能性成分给产品带来令人不快的味道，即使有健康益处，消费者可能也不会对其感兴趣。通常，在乳制品中添加益生菌可能对产品味道和香气产生负面影响，因此，生产具有高度感官接受度的功能性乳制品是一项艰巨任务。

4.2 安全性

虽然益生菌在食品工业中显示出良好的应用前景，但并非所有临床试验都证实其有效性。这是因为益生菌的效果会因剂量、环境、菌株类型以及试验个体的性别和遗传差异而异[44]。对健康、亚健康群体来说，食用益生菌通常是安全的，但对高危人群和长期免疫功能低下人群来说，可能是机会性疾病的病原体。有研究表明，灭活或无活力的益生菌及其代谢副产物（后生元）均能为宿主的健康提供益处，这为功能性食品领域发展提供了潜在机会[45]。然而有报道称，特定的后生元治疗和预防疾病存在局限性和潜在副作用。在7 项针对5 岁以下儿童的随机比较研究中，有3 项发现后生元可引起呕吐、腹胀和严重脱水[46]。因此，虽然后生元较益生菌有一定优势，但还需深入研究确定其生物学效应和安全性。此外，益生菌菌株剂量不当和过度定植可能损害肠道粘液层，甚至加重结肠炎和结直肠癌的发展[47]。因此鉴于个体在遗传背景、肠道微生物基线特征和环境因素方面存在差异，若要取得理想的临床效果，有时开展个性化微生物疗法是不可避免的。

4.3 功能成分的稳定性和活性保持

功能性乳制品具有菌株特异性，一些试验使用多种LAB混合物，但混合原因无法考证。据报道，益生菌活力保持在＞10^6 CFU/mL的水平是功能性冰淇淋的先决条件[48]。小肠（回肠）中LAB浓度应≥10^6 CFU/g，而大肠中LAB浓度应≥10^8 CFU/g，才能在肠道内形成稳定的优势菌群，发挥其积极的作用。但功能性乳制品在满足国家乳制品标准的同时，其功能性成分在乳品加工及销售过程中易受温

中国乳业杂志社版权

度、光照、氧气、胃液、胆汁和各种蛋白酶等因素的影响而失去活性。因此，有必要增加LAB的剂量以消除这些不良反应，这将导致生产和加工成本增加。相比之下，后生元在生产及应用中更稳定、安全。

针对益生菌失活问题，有研究采取纳米技术和微胶囊包封技术，将活菌细胞输送到肠道，并在胃肠运输过程中帮助维持LAB的活性，这将大大降低LAB产品的生产、运输和保存成本，提高LAB的生物利用度[49，50]。

4.4 市场推广和应用

虽然功能性乳制品可能吸引食品制造商迎合注重健康的消费者，但研发功能性乳制品面临诸多技术挑战，后续还需向消费者宣传益生菌的功效，提高产品知名度和市场份额，获得认可并促进消费，这需要投入大量资金和人力[51]。

5 结语

益生菌为提升乳制品的产品附加值提供了有效途径，探索新策略、利用益生菌或其活性成分具有可观前景。在当前“一带一路”背景下，我国乳制品企业迎来新的发展机遇。2023年中央一号文件提出“积极发展牛羊产业，继续实施奶业振兴行动”，从国家宏观层面将奶业发展进一步提升到新的高度，相信随着研究的深入和技术的发展，人们对功能性乳制品的健康益处认知将不断提升，以及消费者对功能性食品的需求持续增长，功能性乳制品的未来发展前景将十分广阔。

参考文献

[1] 沈郁，高雷，苏丹婷，等. 含有LG21乳酸菌酸奶对功能性消化不良人群症状改善的效果评价[J].健康研究，2023，43（2）：130-134.

[2] 孙二娜，张小妹，赵伊凡，等. 副干酪乳杆菌LC-37乳酸菌饮料对人体的促消化和调节肠道菌群作用[J]. 中国食品学报，2021，21（10）：95-100.

[3] Shen X，xie A，Li Z，et al. Research Progress for Probiotics Regulating Intestinal Flora to Improve Functional Dyspepsia：A Review[J]. Foods （Basel， Switzerland），2024，13（1）：151.

[4] Lin M Y，Savaiano D，Harlander S. Influence of nonfermented dairy products containing bacterial starter cultures on lactose maldigestion in humans[J]. Journal of Dairy Science，1991，74（1）：87-95.

[5] Cano-contreras A D，Minero Alfaro I J，Medina L ó pez V M，et al. Efficacy of i3.1 Probiotic on Improvement of Lactose Intolerance Symptoms：A Randomized，Placebo-controlled Clinical Trial[J]. Journal of Clinical Gastroenterology，2022，56（2）：141-147.

[6] Ahn S I，Kim M S，Park D G，et al. Effects of probiotics administration on lactose intolerance in adulthood：A meta-analysis[J]. Journal of Dairy Science，2023，106（7）：4489-4501.

[7] Liu X，Zhang Y，Chu J，et al. Effect of probiotics on the nutritional status of severe stroke patients with nasal feeding that receive enteral nutrition：A protocol for systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Medicine，2021，100（17）：e25657.

[8] Skrzyd ł o-Radoma ń ska B，Prozorow-Kr ó l B，Cichoż-Lach H，et al. The Effectiveness of Synbiotic Preparation Containing Lactobacillus and Bifidobacterium Probiotic Strains and Short Chain Fructooligosaccharides in Patients with Diarrhea Predominant Irritable Bowel Syndrome-A Randomized Double-Blind，Placebo-Controlled Study[J]. Nutrients，2020，12（7）：1999.

[9] Alsuwaylihi A S，Mccullough F. The safety and efficacy of probiotic supplementation for critically ill adult patients：a systematic review and meta-analysis[J]. Nutrition Reviews，2023，81（3）：322-332.

[10] Lee Z Y，Lew C C H，Ortiz-Reyes A，et al. Benefits and harm of probiotics and synbiotics in adult critically ill patients. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials with trial sequential analysis[J]. Clinical Nutrition （Edinburgh， Scotland），2023，42（4）：519-531.

[11] He Y J，You C G. The Potential Role of Gut Microbiota in the Prevention and Treatment of Lipid Metabolism Disorders[J]. International Journal of Endocrinology，2020，（1）：8601796.

[12] Rastelli M，Knauf C，Cani P D. Gut Microbes and Health：A Focus on the Mechanisms Linking Microbes， Obesity，and Related Disorders[J]. Obesity （Silver Spring， Md.），2018，26（5）：792-800.

中国乳业线上阅读

[13] Caricilli A M，Saad M J A. Gut microbiota composition and its effects on obesity and insulin resistance[J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care，2014，17（4）：312–318.

[14] Fan Y，Pedersen O. Gut microbiota in human metabolic health and disease[J]. Nature Reviews. Microbiology，2021，19（1）：55–71.

[15] Barros C P，Grom L C，Guimarães J T，et al. Paraprobiotic obtained by ohmic heating added in whey–grape juice drink is effective to control postprandial glycemia in healthy adults[J]. Food Research International，2021，140：109905.

[16] Yao Y， Hong Q， Ding S，et al. Meta–analysis of the effects of probiotics on hyperlipidemia[J]. Current Research in Food Science，2024，9：100885.

[17] Bock P M，Telo G H，Ramalho R，et al. The effect of probiotics， prebiotics or synbiotics on metabolic outcomes in individuals with diabetes： a systematic review and meta–analysis[J]. Diabetologia，2021，64（1）：26–41.

[18] Zhang S，Zhao J，Xie F，et al. Dietary fiber–derived short–chain fatty acids： A potential therapeutic target to alleviate obesity–related nonalcoholic fatty liver disease[J]. Obesity Reviews： An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity，2021，22（11）：e13316.

[19] Xu L，Yang Q，Zhou J. Mechanisms of Abnormal Lipid Metabolism in the Pathogenesis of Disease[J]. International Journal of Molecular Sciences，2024，25（15）：8465.

[20] Zhao M，Kuang W，Yang J，et al. Cholesterol lowering in diet–induced hypercholesterolemic mice using Lactobacillus bile salt hydrolases with different substrate specificities[J]. Food & Function，2024，15（3）：1340–1354.

[21] Tang C，Meng F，Pang X，et al. Protective effects of Lactobacillus acidophilus NX2–6 against oleic acid–induced steatosis， mitochondrial dysfunction， endoplasmic reticulum stress and inflammatory responses[J]. Journal of Functional Foods，2020，74：104206.

[22] Nicolucci A C， Hume M P， Martínez I，et al. Prebiotics Reduce Body Fat and Alter Intestinal Microbiota in Children Who Are Overweight or With Obesity[J]. Gastroenterology，2017，153（3）：711–722.

[23] Zhang L，Wang F，Wang R，et al. Effects of probiotics，prebiotics， and synbiotics on cardiometabolic risk factors in children and adolescents with overweight or obesity： a systematic review and Bayesian network meta–analysis[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition，2024：1–15.

[24] Shen Y L，Zhang L Q，Yang Y，et al. Advances in the role and mechanism of lactic acid bacteria in treating obesity[J]. Food Bioengineering，2022，1（1）：101–115.

[25] Yue C，Tang Y，Chang M，et al. Dietary supplementation with short– and long–chain structured lipids alleviates obesity via regulating hepatic lipid metabolism， inflammation and gut microbiota in high–fat–diet–induced obese mice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2024，104（9）：5089–5103.

[26] Chen M Y，Meng X F，Han Y P，et al. Profile of crosstalk between glucose and lipid metabolic disturbance and diabetic cardiomyopathy： Inflammation and oxidative stress[J]. Frontiers in Endocrinology，2022，13：983713.

[27] Thomopoulos C，Bazoukis G，Grassi G，et al. Monotherapy vs combination treatments of different complexity： a meta–analysis of blood pressure lowering randomized outcome trials[J]. Journal of Hypertension，2021，39（5）：846–855.

[28] Yu J， Sun M， Jiang S，et al. Oral Administration of Fermented Milk from Co–Starter Containing Lactobacillus plantarum Y44 Shows an Ameliorating Effect on Hypertension in Spontaneously Hypertensive Rats[J]. Foods （Basel，Switzerland），2024，13（5）：641.

[29] R Muralitharan R，Marques F Z. Diet–related gut microbial metabolites and sensing in hypertension[J]. Journal of Human Hypertension，2021，35（2）：162–169.

[30] Lin J H， Lin C H， Kuo Y W，et al. Probiotic Lactobacillus fermentum TSF331， Lactobacillus reuteri TSR332， and Lactobacillus plantarum TSP05 improved liver function and uric acid management–A pilot study[J]. PLOS ONE， 2024，19（7）： e0307181.

[31] Kuo Y W， Hsieh S H， Chen J F，et al. Lactobacillus reuteri TSR332 and Lactobacillus fermentum TSF331 stabilize serum uric acid levels and prevent hyperuricemia in rats[J]. PeerJ，2021，9：e11209.

[32] Zhao X，Peng F，Liu Z，et al. Lactic acid bacteria with anti–hyperuricemia ability： Screening in vitro and evaluating in mice[J]. Food Bioscience，2023，52：102411.

[33] Wang H， Mei L， Deng Y，et al. Lactobacillus brevis DM9218 ameliorates fructose–induced hyperuricemia through inosine degradation and manipulation of intestinal dysbiosis[J]. Nutrition，2019，62：63–73.

[34] 于鑫迪，刘静雅，任秀梅，等. 功能性牦牛酸奶制备、贮藏期内品质及降嘌呤活性研究[J]. 食品工业科技，2024，45（21）：20–29.

[35] 乐卿清，杨隆河，蔡兵，等. 复合益生菌配方对高尿酸、高血脂和高血糖小鼠的调节作用[J]. 中国食品工业，2022（20）：100–103.

[36] Kim D，Moon J S，Kim J E，et al. Evaluation of purine–nucleoside degrading ability and in vivo uric acid lowering of Streptococcus thermophilus IDCC 2201， a novel antiuricemia

中国乳业线上阅读

strain[J]. PloS One，2024，19（2）：e0293378.
[37] Shao X，Sun S，Zhou Y，et al. Bacteroides fragilis restricts colitis-associated cancer via negative regulation of the NLRP3 axis[J]. Cancer Letters，2021，523：170-181.
[38] Ha S，Zhang X，Yu J. Probiotics intervention in colorectal cancer：From traditional approaches to novel strategies[J]. Chinese Medical Journal，2024，137（1）：8-20.
[39] Saffar K N，Larypoor M，Torbati M B. Analyzing of colorectal cancerrelated genes and microRNAs expression profiles in response to probiotics Lactobacillus acidophilus and Saccharomyces cerevisiae in colon cancer cell lines[J]. Molecular Biology Reports，2024，51（1）：122.
[40] Li Y，Li Q，Yuan R，et al. Bifidobacterium breve-derived indole-3-lactic acid ameliorates colitis-associated tumorigenesis by directing the differentiation of immature colonic macrophages[J]. Theranostics，2024，14（7）：2719-2735.
[41] Li X，Yan Y，Du X，et al. Yogurt Prevents Colitis-Associated Colorectal Cancer in Mice[J]. Molecular Nutrition & Food Research，2023，67（24）：e2300444.
[42] Su A C Y，Ding X，Lau H C H，et al. Lactococcus lactis HkyuLL 10 suppresses colorectal tumourigenesis and restores gut microbiota through its generated alpha-mannosidase[J]. Gut，2024，73（9）：1478-1488.
[43] Chen Y Y，Fei F，Ding L L，et al. Integrated gut microbiome and metabolome analysis reveals the inhibition effect of Lactobacillus plantarum CBT against colorectal cancer[J]. Food & Function，2024，15（2）：853-865.
[44] Kim C S，Jung M H，Choi E Y，et al. Probiotic supplementation has sex-dependent effects on immune responses in association with the gut microbiota in community-dwelling older adults：a randomized，double-blind，placebo-controlled，multicenter trial[J]. Nutrition Research and Practice，2023，17（5）：883-898.
[45] Yadav M K，Kumari I，Singh B，et al. Probiotics，prebiotics and synbiotics：Safe options for next-generation therapeutics[J]. Applied Microbiology and Biotechnology，2022，106（2）：505-521.
[46] Malag ó n-Rojas J N，MantziarI A，Salminen S，et al. Postbiotics for Preventing and Treating Common Infectious Diseases in Children：A Systematic Review[J]. Nutrients，2020，12（2）：389.
[47] Qu S，Zheng Y，Huang Y，et al. Excessive consumption of mucin by over-colonized Akkermansia muciniphila promotes intestinal barrier damage during malignant intestinal environment[J]. Frontiers in Microbiology，2023，14：1111911.
[48] Sarkar S. pROBIOTIC icecream as a functional food – a review[J]. Nutrition & Food Science，2024，54（5）：865-889.
[49] Razavi S，Janfaza S，Tasnim N，et al. Nanomaterial-based encapsulation for controlled gastrointestinal delivery of viable probiotic bacteria[J]. Nanoscale Advances，2021，3（10）：2699-2709.
[50] Xu C，Ban Q，Wang W，et al. Novel nano-encapsulated probiotic agents：Encapsulate materials，delivery，and encapsulation systems[J]. Journal of Controlled Release：Official Journal of the Controlled Release Society，2022，349：184-205.
[51] 李凯锋，胡姝敏，宫春颖，等.牛初乳益生菌粉调节免疫和肠道菌群保健功能的研究[J].中国乳业，2024（9）：73-79.

Research Progress on the Efficacy and Mechanism of Action of Probiotics in Functional Dairy Products

ZHANG Bing，FU Qiang，TANG Shiyun，MENG Weiqin，FU Shijun*
Shandong Binzhou Animal Science and Veterinary Research Academy，Binzhou Shandong 256600

Abstract：Probiotics，mainly lactic acid bacteria（LAB），play a key role in the research and development of functional dairy products.They can regulate the intestines and improve intestinal related diseases.Their potential functions include competing for adhesion sites，producing bactericides，improving intestinal permeability，

下转106页

中国乳业线上阅读

LUO Xiaohong*
Xinjiang Tianrun Biological Technology Co.，Ltd.，Urumqi Xinjiang 830000

Abstract：[Objective]Based on yogurt，optimized the vacuum freeze-drying process and screened different types of pectin and starch，and made a freeze-dried yogurt block with excellent quality and sensory.[Method]Vacuum freeze-drying technology was adopted. Taking the appearance and sensory evaluation results of freeze-dried yogurt blocks as reference standards. By optimizing the freeze-drying process and comparing the effects of adding different types of pectin and starch on freeze-dried yogurt blocks，the optimal production process was determined.[Result] High-quality freeze-dried yogurt blocks could be produced by using smaller heating intervals and lower terminal temperatures. The types of pectin and starch also had a significant impact on the product. Under the optimal production conditions in this study，the protein content of the freeze-dried yogurt blocks produced was 15.5 g/100 g，the fat content wass 11.4 g/100 g，the moisture content was 1.4 g/100 g，and the viable count of lactic acid bacteria was 8×10^8 CFU/g.[Conclusion]This study developed a freeze-dried yogurt block with excellent sensory quality，providing a reference for the process optimization and industrial production of freeze-dried yogurt blocks.

Keywords：freeze-dried yogurt block；freeze drying；pectin；starch

▲上接99页

releasing active metabolites，regulating immunity and stimulating cellular protective responses，etc.This review mainly introduced the efficacy and mechanism of action of probiotics in functional dairy products，and analyzed the possible difficulties and challenges in their application，providing a reference for the development and application of functional dairy products.

Keywords：functional dairy product；probiotic；intestinal health；immune regulation；gut-brain axis

中国乳业线上阅读