植物基食品乳酸菌发酵技术研究进展

关倩倩[1,2]， 熊 涛[1]， 谢明勇[*1]
（1. 食品科学与技术国家重点实验室，南昌大学，江西 南昌 330047；2. 南昌大学 食品学院，江西 南昌 330031）

摘要： 植物基食品泛指用植物来源的原料制成的食品。进入大健康时代，植物基食品具有较大的增长空间。乳酸菌发酵技术在多元化的植物基食品开发方面具有明显潜力，可实现植物基食品风味口感和营养健康功效的多元化。因此，植物基乳酸菌发酵食品产业面临良好的发展机遇。作者对国内外植物基乳酸菌发酵食品的类型、相关基础理论和关键技术研究以及产业化现状等进行了综述，并分别从基础理论、关键技术、产品开发等方面简要讨论了植物基乳酸菌发酵食品产业未来发展趋势，旨在为新型植物基乳酸菌发酵食品研发提供参考。

关键词： 植物基食品；乳酸菌发酵技术；风味口感；营养健康；产业化
中图分类号：TS 205.5 **文章编号：**1673-1689(2022)07-0001-11 **DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.07.001

Research Progress in Lactic Acid Bacteria Fermentation Technology of Plant-Based Foods

GUAN Qianqian[1,2]， *XIONG Tao*[1]， *XIE Mingyong*[*1]
（1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 2. College of Food Science & Technology, Nanchang University, Nanchang 330031, China）

Abstract: Plant-based foods generally refer to food made from plant materials. There is much room for the growth of plant-based foods in the era of great health. Lactic acid bacteria (LAB) fermentation technology has great potentials in the development of diversified plant-based foods, which can achieve the diversification of flavor and health of plant-based foods. Thus, LAB-fermented plant-based foods industry is very promising in the future. This review summarizes the types of LAB-fermented plant-based foods, the relevant basic theories, key technologies as well as the industrialization status at home and abroad, and briefly discusses the main development trend of LAB-fermented plant-based food industry from the aspects of basic theory, key technology, and product a development. The aim of this review is to provide reference for the research and development of new LAB fermented plant-based food products.

Keywords: plant-based foods, lactic acid bacteria fermentation technology , flavor and taste , nutrition and health, industrialization

收稿日期： 2022-03-30
基金项目： 国家自然科学基金重点项目(32130082)；国家自然科学基金项目(32160547)；江西省蔬菜产业技术体系岗位专家项目(JXARS-06)；云南省重大科技专项计划-生物种业及农产品精深加工项目(202002AE320006)。
* **通信作者：** 谢明勇(1957—)，男，博士，教授，中国工程院院士，博士研究生导师，主要从事食源性多糖与果蔬发酵研究。
E-mail：xmync@163.com

近年来，心脑血管疾病、癌症、糖尿病、肥胖等慢性疾病的发病率不断升高。《2018 全球营养报告》[1]指出，有 20%的死亡与饮食营养失衡有关，动物源脂肪、蛋白质摄入量过多而富含膳食纤维的植物源食物摄入量严重不足，已成为影响全球慢性疾病发病率和死亡率的首要危险因素。大量研究表明[2-3]，在日常饮食中增加全谷物、果蔬、坚果和豆类等植物源食物的摄入，不仅可以平衡膳食，还可以大大降低 2 型糖尿病、高血脂、脂肪肝、心脑血管疾病等慢性疾病的患病风险。在全球消费者健康与保健意识日益增强、人们对健康食品需求不断增加的大背景下，植物基食品逐渐发展成为全球食品行业的新兴领域，市场增长空间广阔。然而，由于技术壁垒较低，使得市面上现有的植物基食品同质化程度高且产品品质参差不齐。因此，如何提升产品品质、实现品类的多元化是当前植物基食品行业发展面临的严峻挑战。

乳酸菌发酵作为一种先进的食品生产技术，在乳品中的应用已有上百年历史，乳酸菌发酵乳在全球已形成一个庞大市场，发酵乳制品可通过调节肠道健康预防慢性疾病也逐渐成为全球共识。近年来，随着植物基食品在全球蓬勃发展，乳酸菌发酵技术在植物基食品中的应用受到关注，将该技术应用于植物基食品行业，可实现产品风味口感和健康功效的多元化，在新型植物基食品开发方面优势明显，可为植物基食品行业带来新的变革。作者对近年来国内外市场上出现的植物基乳酸菌发酵食品的类型、相关基础理论研究现状进行了综述，探讨了植物基乳酸菌发酵食品生产关键技术突破及其产业化进展，最后展望了植物基乳酸菌发酵食品产业未来发展趋势，以期为我国植物基乳酸菌发酵食品相关领域研究及新型植物基发酵食品开发提供参考。

1 植物基乳酸菌发酵食品类型及产品特征

根据目前市场及文献报道，按照原料的不同将植物基乳酸菌发酵食品分为以下几类：

1.1 乳酸菌发酵果蔬食品

乳酸菌发酵果蔬食品是以新鲜果蔬为原料，经过预处理、打浆、均质、杀菌等工艺，接种乳酸菌发酵而成的一类功能性发酵果蔬产品。乳酸菌发酵技术不仅能够改善果蔬风味[4-6]、增亮果蔬色泽[7]，还可增强果蔬产品营养价值[8]和益生功能[9-16]，延长果蔬的保质期[17]。国外对乳酸菌发酵果蔬食品的研究与开发起步较早，产品主要以发酵果蔬汁为主。早在 2001 年，日本大制药公司就开发出一款含大蒜、甘薯、南瓜、西红柿等 8 种蔬菜的乳酸菌发酵蔬菜汁饮料产品，其独特的风味获得了消费者的青睐[18]。近年来国外市场上不断有新的复合发酵果蔬汁产品推出。相对而言，国内的乳酸菌发酵果蔬产业发展较晚。随着作者所在团队直投式益生菌发酵果蔬关键技术的突破[19-20]，国内市场上近年也推出了乳酸菌发酵果蔬饮料、果蔬原浆、果蔬粉、果蔬果冻、果蔬冰淇淋、果蔬糕等多种新型乳酸菌发酵果蔬产品，大大丰富了乳酸菌发酵果蔬食品的种类(见表 1)。

1.2 乳酸菌发酵植物蛋白食品

乳酸菌发酵植物蛋白食品主要是基于黄豆、核桃、杏仁、巴旦木、椰浆等富含植物蛋白类营养的植物基原料，经过预处理、浸泡、磨浆、过滤、均质、杀菌等工艺，接种乳酸菌发酵而成的一类功能性发酵植物蛋白产品。植物蛋白具有脂肪低、热量低和无胆固醇等特点，且不含乳糖，是乳糖不耐症患者的良好选择[21]。乳酸菌发酵可去除某些植物蛋白原料本身不愉悦的风味，大大提升产品的风味与营养价值[22-24]。常用于发酵的植物蛋白原料还有豌豆、霹雳果、腰果、花生等。目前市场上乳酸菌发酵植物蛋白产品主要有植物酸奶和发酵植物蛋白饮料等(见表 1)。

1.3 乳酸菌发酵谷物食品

乳酸菌发酵谷物食品是以谷物为主要原料，采用酶法和发酵相结合的技术，利用酶将谷物中的淀粉转化为乳酸菌可利用的低聚糖，再添加适当的氮源物质，经乳酸菌发酵而成的一种功能性发酵谷物产品。谷物原料经乳酸菌发酵后不仅风味、口感更加丰富[25-28]，且产生了活性多肽、黄酮、多酚等多种功能活性物质，具有更好的营养健康功效[29-31]。此外，相对于普通谷物食品，乳酸菌发酵谷物产品的抗氧化能力[32-33]、抑菌性能[34-35]以及降胆固醇[36]等益生功效都得到提升。

1.4 植物基乳酸菌发酵药食同源食品

植物基乳酸菌发酵药食同源食品是将植物基药食同源食品中的有效成分进行萃取提纯，然后接种乳酸菌发酵而成的一类功能性发酵产品。乳酸菌发酵在增加药食同源植物活性成分[37-40]及提升其功效[41-44]方面均有明显优势。同时，乳酸菌发酵还可以改善药食同源植物的风味[45]，使良药变得不再“苦

表 1　国内外市场上部分植物基乳酸菌发酵食品

Table 1　Some commercial LAB-fermented plant-based products in domestic and foreign markets

植物基乳酸菌发酵食品			生产企业
乳酸菌发酵果蔬食品	国外	含大蒜、甘薯、南瓜、西红柿等 8 种蔬菜的乳酸菌发酵蔬菜汁	日本大制药公司
		复合发酵蔬菜汁(甜菜根、胡萝卜、马铃薯、西芹根等)	瑞士 Biotta 公司
		羽衣甘蓝发酵果蔬汁；以柠檬、火龙果和美人柑为原料的发酵果汁	澳洲 Bio-E Australia 公司
		乳酸菌发酵椰子汁/三重浆果汁/复合果蔬汁	美国 NextFoods 公司
	国内	乳酸菌发酵胡萝卜/芒果/雪梨/椹好/蓝枸饮料	华润江中制药集团有限责任公司
		乳酸菌发酵桑葚/胡萝卜/枸杞/芒果/木瓜/香蕉/榴莲等固体饮料；乳酸菌发酵桑葚菓稀棒；乳酸菌发酵桑葚/芒果菓稀冻	江中食疗科技有限公司
		乳酸菌发酵果汁果冻	蜡笔小新(福建)食品工业有限公司
		乳酸菌发酵胡萝卜饮料	东鹏饮料集团
		乳酸菌发酵系列果蔬原浆；乳酸菌发酵胡萝卜/芒果/雪梨饮料	江西旷达生物科技有限公司
		十七萃酵素发酵果蔬汁饮料	完美(中国)有限公司
乳酸菌发酵植物蛋白食品	国外	发酵豆乳/酸豆乳	日本 Pokka Sapporo 公司
		以椰浆、豌豆蛋白和马铃薯蛋白为基料的植物酸奶	日本大阪制药公司
		以腰果为基料的植物酸奶	法国 Danone 公司
		以椰浆为基料的植物酸奶	美国 Chobani 公司/澳洲 Coyo 公司
	国内	以大豆为基料的常温植物酸奶 Flogurt	达利食品集团有限公司
		以豆乳基底为主，椰浆、巴旦木等植物基底为辅的植物酸奶	农夫山泉股份有限公司
		以椰子和大豆为基料的植物酸奶	北京三元食品股份有限公司
		发酵核桃乳饮料	河北养元智汇饮品股份有限公司
乳酸菌发酵谷物食品	国外	以无麸质燕麦为基底的发酵植物酸奶	芬兰 Valio 公司/瑞典 Oatly 公司
	国内	以米蛋白为基料的乳酸菌发酵乳	江中食疗科技有限公司
植物基乳酸菌发酵药食同源食品	国内	以山楂、白果、决明子、百合、麦芽、海带、枸杞、莲子、葛根等天然药食同源植物为原料的发酵饮料	江苏恒康生物科技有限公司
		人参、覆盆子、黄精、酵素原液	普惠天成生物科技有限公司
		乳酸菌发酵白果饮料	鲁南制药集团股份有限公司
		人参益生菌发酵原液	百宝明珠

口”。因此，乳酸菌发酵为药食同源植物的开发利用开辟了新的领域。

1.5　乳酸菌发酵茶饮料

乳酸菌发酵茶饮料是指以茶叶为基质，添加或者不添加其他食品原辅料和(或)营养物质，通过乳酸菌发酵而成的具有独特风味的茶饮料。乳酸菌发酵不仅能够改善茶饮料的风味[46-47]，还可增加其黄酮、总多酚等活性成分的含量，显著提升茶饮料的抗氧化能力[47-48]。

2　植物基乳酸菌发酵食品的应用基础研究

2.1　植物基发酵食品中乳酸菌的多样性及其演替规律

在发酵食品成熟过程中，微生物的群落结构会随着底物的消耗以及代谢产物的积累呈现规律性动态变化，而这一动态变化规律直接决定了产品的稳定性[49-50]。因此，明确传统发酵食品成熟过程中微生物的演替规律对于发酵食品品质的控制十分重

要。近年来,随着高通量测序技术及多组学技术的广泛应用,关于传统植物基发酵食品中乳酸菌多样性及其演替规律的报道越来越多。作者所在团队分别对我国四川泡菜[51-52]、西北浆水[53]、南方酸笋[54-55]、腌菜[56]、东北辣白菜及东北酸菜[57]等传统发酵蔬菜中的微生物多样性进行了系统分析,发现明串珠菌属、乳球菌属、魏斯氏菌属、片球菌属及乳杆菌属是我国传统发酵蔬菜中的优势微生物,尽管不同种类发酵蔬菜在自然发酵过程中微生物演替规律不完全一致,但普遍呈现出从不耐酸的明串珠菌属、片球菌属、乳球菌属、魏斯氏菌属逐渐过渡到耐酸的乳杆菌属的过程。郭昊翔对我国传统酸粥在自然发酵过程中的细菌多样性进行了系统研究,发现片球菌属和乳杆菌属在发酵初期均具有较高的相对丰度,随着发酵进行,片球菌属相对丰度下降,而乳杆菌属相对丰度上升[58]。毛晋春对不同发酵时期的酸面团样品进行高通量测序分析,发现乳球菌属、明串珠菌属、魏斯氏菌属及肠球菌属是传统发酵酸面团中的优势乳酸菌,主要参与酸面团的中后期发酵[59]。

2.2 植物基发酵食品中的多菌种协同发酵

在传统发酵食品体系中,微生物通过相互作用共同推动发酵进程,从而形成发酵食品独特的风味和品质[60]。作者所在团队对我国传统果蔬自然发酵过程中存在的多菌种协同发酵现象进行了研究[51,61],发现在发酵早期,以明串珠菌属为主的异型乳酸发酵菌启动发酵,通过 HMP 途径代谢环境中的蔗糖产生乳酸、乙酸、乙醇和 CO_2,CO_2 为参与前中期发酵的乳球菌属、片球菌属、魏斯氏菌属及参与中后期发酵的乳杆菌属等其他乳酸菌提供了有利的厌氧环境。以植物乳杆菌、戊糖乳杆菌等为主的乳杆菌属主导并完成中后期发酵,通过 EMP 途径代谢环境中的葡萄糖、果糖等底物,产生大量乳酸及风味物质。通过对传统蔬菜发酵过程中筛选出的 2 株优势菌株——肠膜明串珠菌和植物乳杆菌进行共培养,发现两者存在明显的竞争关系,这种竞争的相互作用关系导致两者混合培养时乳酸、乙酸的生成量与单独培养相比差异显著[62]。Singracha 等通过接种耐盐乳酸菌与耐盐酵母菌用于酱油的减盐发酵,结果发现两者在酱油风味形成中存在明显的协同作用。在盐水发酵开始阶段,发酵体系 pH 在 6.0~7.0,有利于耐盐乳酸菌的生长,此时耐盐乳酸菌产生大量乳酸迅速使酱醪酸化,当 pH 降至 5.0 以下时,耐盐乳酸菌的生长受到抑制,而耐盐酵母菌开始大量繁殖,产生醇类、呋喃酮等风味物质,赋予酱油独特的焦糖味[63]。

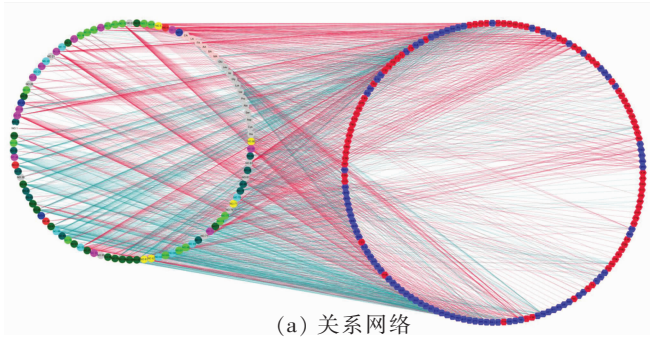
2.3 植物基发酵食品中微生物和产品风味的相关性

传统发酵食品中复杂的微生物菌群通过产生风味物质或者风味前体物质,赋予产品独特的风味,其代谢机理复杂,形成的风味迥异[64-65]。揭示微生物菌群和风味之间的相关性,深入挖掘发酵过程中对产品风味形成具有重要贡献的功能微生物,可为传统发酵食品的现代化转型升级奠定重要的理论基础。近年来,越来越多的国内外学者采用以宏基因组学、宏转录组学和代谢组学为代表的食品组学技术,结合多元统计学分析方法,对传统发酵食品体系中复杂的微生物菌群结构与风味物质之间的相关性进行分析,由此将传统发酵食品中的微生物菌群与风味真正关联起来。在以乳酸菌发酵为主导的植物基发酵食品体系中,作者所在团队采用双向正交偏最小二乘法(the two-way orthogonal partial least squares,O2PLS)结合宏转录组学,对我国传统四川泡菜发酵过程中微生物组和有机酸、氨基酸、挥发性风味物质等进行了关联分析[52,66](见图 1),从微观与宏观两个层面探讨了功能微生物的基因表达和关键酶对四川泡菜风味物质代谢通路的调控作用,重新构建四川泡菜发酵代谢网络,预测了包括乳杆菌目、肠杆菌目和假单胞菌目在内的菌群为四川泡菜特征风味物质生成的关键功能微生物。Yan 等采用多元统计学分析构建了我国传统酸面团中核心菌种与香气物质间的相互关系,发现旧金山乳杆菌和发酵乳杆菌与老面馒头中乙酸、戊醛、己醛等十几种风味物质呈现较高的正相关;而核心乳酸菌种食窦魏斯氏菌则与特征挥发性香气物质相关性不显著[67]。上述研究极大地拓展了对于传统发酵食品中微生物菌群与产品风味形成之间关联性的认识。然而,这种关联最终还需要通过微生物纯培养、组合培养以及原位培养等实验手段加以验证。

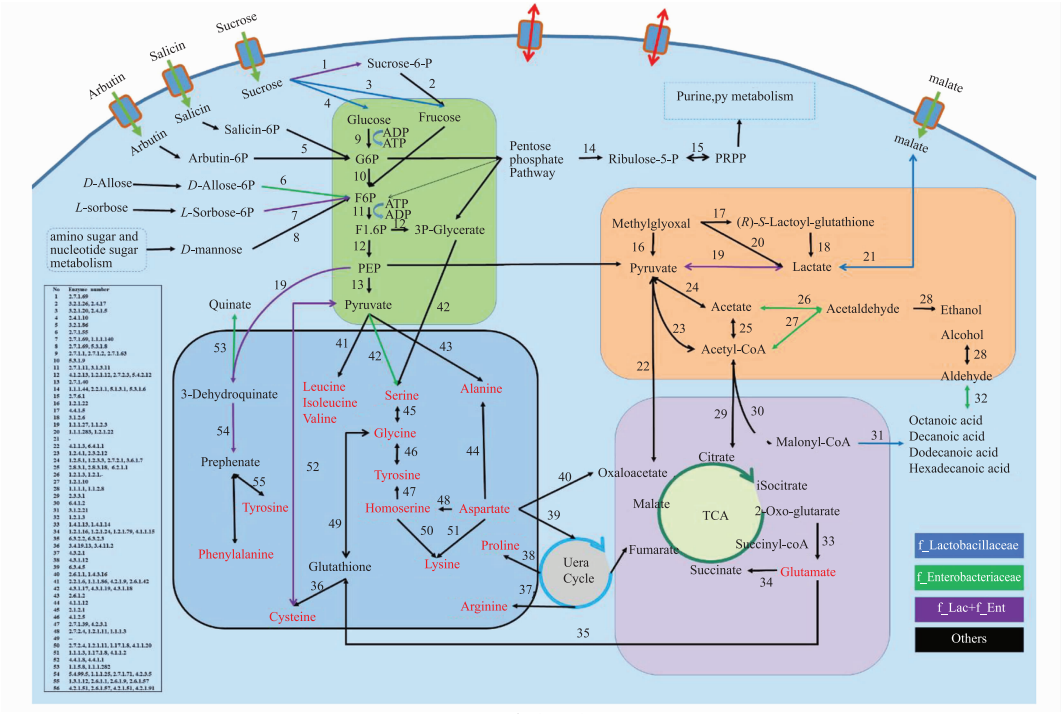
3 植物基食品乳酸菌发酵关键技术突破

3.1 植物基发酵专用优良乳酸菌菌种的选育

植物基传统发酵食品中蕴藏着丰富的微生物资源,挖掘并开发利用其中的乳酸菌资源,可为植物基传统发酵食品的工业化和现代化生产提供科



(a) 关系网络



(b) 代谢调控

图 1　泡菜发酵过程中微生物与风味的关系网络及代谢调控

Fig. 1　Correlation network as well as the meta-pathways between microbiota and flavours of Paocai fermentation ecosystem

学保障。早在 20 世纪 80 年代,美国学者为了更好地指导以圆白菜为原料的酸菜规模化生产,对酸菜发酵过程中的微生物菌系动态变化进行研究并据此筛选出了可用于酸菜工业化生产的优良发酵菌种——肠膜明串珠菌。近年来,从植物基传统发酵食品中筛选优良发酵菌株然后用于植物基纯种发酵的报道越来越多。Bocchi 等选育了具有优良燕麦发酵性能的乳杆菌和双歧杆菌各一株,并将其用于燕麦的发酵,发现发酵后的燕麦饮料中特定氨基酸、维生素和多酚(类黄酮和酚酸)等含量明显增加,而燕麦中富含的低聚糖含量及结构并未发生改变[30]。江南大学陈卫团队筛选出肠膜明串珠菌 SCCDZN2、植物乳杆菌 VuNNMMY10-L1 和耐乙醇片球菌 VCQWZ3-L7 等一批具有优良泡菜发酵性能的乳酸菌株,将菌株复配用于泡菜发酵,可赋予泡菜良好的风味[68]。内蒙古农业大学张和平团队选育了两株具有优良豆乳发酵性能的乳酸菌株嗜热链球菌 S10 和植物乳杆菌 P-8,将两株菌进行复合用于豆乳的发酵,可大大改善豆乳的风味和口感[69]。丹麦科汉森公司开发了专门用于大豆、燕麦和椰子等发酵的植物基发酵剂 Nu-Trish LGG,包含双歧杆菌 BB-12 和鼠李糖乳杆菌 LGG[70]。杜邦丹尼斯克公司开发了可用于大豆、椰子、坚果、燕麦、玉米、大米、水果和蔬菜等多种植物基原料发酵的植物基发酵剂——Danisco® VEGE cultures 发酵剂,包含嗜酸乳杆菌 NCFM 和乳双歧杆菌 HN019。国内和合生

物科技有限公司筛选了豆酸乳发酵专用复合乳酸菌组合——保加利亚乳杆菌 HH-LB57、嗜热链球菌 HH-ST08 和植物乳杆菌 HH-LP56，在此基础上开发出植物基发酵豆酸乳干、豆酸乳片、豆酸乳粉等产品。作者所在团队创建了一套植物基发酵专用益生菌菌种高通量筛选体系(见图 2)，迄今已从传统发酵豆制品、发酵果蔬制品等 2 000 多份样品中筛选出含植物乳杆菌 NCU116[71-79]、植物乳杆菌 NCU622[4]、鼠李糖乳杆菌 NCU2217[80-81]和嗜酸乳杆菌 NCU426[82]在内的 7 000 多株植物基发酵专用菌种，构建了我国具有自主知识产权的植物基发酵专用益生菌库，其中，已挖掘出发酵性能优良并具有胃酸和胆盐耐受性强、肠道黏附性好、可调节肠道微生态平衡、缓解便秘、调节免疫等功能特性的植物基发酵专用益生菌 386 株[19]。

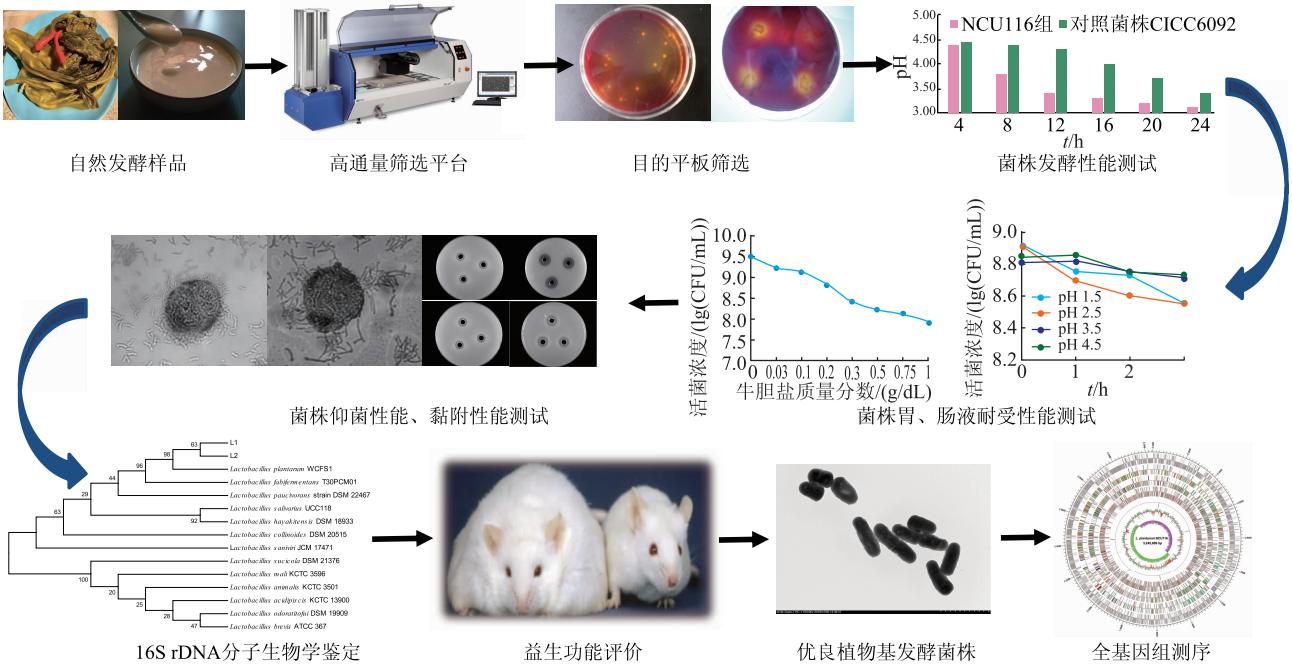


图 2　植物基发酵专用益生菌菌种高通量筛选体系

Fig. 2　High-throughput screening system for probiotic strains specialized for plant-based fermentation

3.2　高活性植物基发酵专用乳酸菌菌剂的制备

3.2.1　植物基发酵乳酸菌菌种的高密度培养　高密度培养是实现高活性直投式发酵剂规模化生产的重要基础。目前国内主要采取优化培养基配方结合分批补料流加培养等方式来达到乳酸菌高密度培养的目的，由此得到的乳酸菌菌体浓度一般在 1×10^9~1×10^{10} CFU/mL。Wang 等通过简化培养基配方，控制最佳发酵条件(发酵 pH、中和剂、曝气速率和搅拌转速)等方式，将鼠李糖乳杆菌 LS-8 的高密度培养浓度提升到了 4.5×10^9 CFU/mL，比在 MRS 培养基中提升了 9 倍[83]。孙媛媛等通过优化培养基配方、恒定 pH 分批培养和恒定 pH 自动反馈补糖培养等方式，使发酵乳杆菌 CCFM422 在恒定 pH 6.0 条件下分批培养时活菌浓度提高到了 1.3×10^{10} CFU/mL[84]。杨瑞冬以工业化生产为出发点，通过优化培养基配方对布氏乳杆菌 IMAU80233 高密度培养工艺进行优化，使发酵罐中发酵液活菌浓度达到 3.81×10^9 CFU/mL[85]。作者所在团队将指数流加、模糊逻辑控制、智能反馈控制及提升式菌体悬浮培养等技术集成创新，用于植物基发酵乳酸菌菌种的规模化高密度培养，将工厂发酵液中活菌浓度提升到 1.9×10^{10} CFU/mL[20]。

3.2.2　植物基发酵乳酸菌菌剂的制备　真空冷冻干燥技术是目前国际上通用的乳酸菌菌剂制备方法，可使菌体在长期保存过程中维持较高的活性和稳定性。然而，在冻干过程中，菌株形态、细胞膜结构与成分等乳酸菌的内在特性，以及高密度培养条件和冻干保护剂配方等因素均会影响菌体的冻干存活率进而影响其活性[86]。提高冻干过程中菌体活性的方法主要有两种：1)调整菌株的内在生理状

态，如通过优化培养基配方促进菌体生物膜的形成[87]或改变菌体细胞膜不饱和脂肪酸比例[88]，以及通过冷胁迫、热胁迫、酸胁迫或多种胁迫交互使用等预处理方法增强乳杆菌抗冻能力[89-92]等；2）通过寻找最佳的冻干保护剂配方、优化预冷冻条件及冻干工艺参数等方式降低冷冻干燥对乳酸菌的损伤[93-95]。目前制备的菌剂产品中活菌数普遍在 1×10^{9}~1×10^{11} CFU/g[96-98]。作者所在团队发明了两步干燥法生产高活性乳酸菌菌剂的规模化制备技术，在真空冷冻干燥之前增加真空干燥的步骤，获得的冻干菌剂中乳酸菌活菌数高达 2.6×10^{12} CFU/g[20]。

4 植物基乳酸菌发酵食品的产业化进展

4.1 植物基乳酸菌发酵食品产业现状

植物基乳酸菌发酵食品不仅有效保留了植物原料本身丰富的维生素、矿物质、膳食纤维和植物化合物，经乳酸菌发酵后营养还得到全面提升。后疫情时代，公众卫生健康意识的提高推动了包括益生菌发酵行业在内的大健康产业快速发展和相关消费升级，植物基乳酸菌发酵食品这一细分领域更是进入了高速发展阶段。以植物基酸奶为例，根据美国植物基协会（Plant Based Foods Association，PBFA）和食品研究所（Good Food Institute，GFI）联合 SPINS 发布的数据显示：2020 年，植物基酸奶在美国零售市场已达到 3.43 亿美元，销售增长率为 20.2%，几乎是传统零售酸奶增长的 7 倍。而相对于庞大的植物基食品市场，植物基酸奶只是“冰山一角”。随着人们健康意识的不断提升，以大豆、燕麦、椰子、杏仁等为原料制成的植物基乳酸菌发酵食品也表现出强劲的增长态势。目前，国内外许多大型企业，如国外的朝日集团、达能、Chobani、Ripple Foods 等以及国内的农夫山泉股份有限公司、北京三元食品股份有限公司、内蒙古伊利实业集团股份有限公司等都对植物基乳酸菌发酵食品进行了规划以及产品开发。

作者所在团队从事植物基益生菌发酵关键技术与产业化应用研究 20 余年，在该领域取得了一系列突破性进展，尤其在果蔬益生菌发酵关键技术与产业化应用领域，先后突破果蔬发酵益生菌菌种高通量筛选和高活性工程菌菌剂规模化制备等技术瓶颈，率先掌握适合工业化生产的果蔬发酵菌种及其菌剂制备等核心技术，发明了直投式益生菌发酵果蔬生产新工艺，创制了发酵果蔬原浆、发酵果蔬饮料等 9 种益生菌发酵果蔬生产技术，生产出美味、营养、安全、方便的 13 类益生菌发酵果蔬全新系列产品，实现了直投式益生菌发酵果蔬关键技术的产业化突破，相关技术和产品在国内 100 多家企业得到应用[19]。

4.2 植物基乳酸菌发酵食品产业面临的技术难题

作者所在团队前期在果蔬乳酸菌发酵关键技术与产业化应用方面取得了阶段性成果，随着产业化不断推进，发现尚存在以下难点亟须解决：

1）大罐发酵过程中产品的稳定性问题　一方面，植物基原料基质不同于乳制品，其种类多样、底物成分非常复杂；另一方面，大规模发酵过程中发酵罐上下的料液稠度、罐压、pH 等参数的差异都会导致产品品质稳定性难以控制。要解决这一问题，除了要保证植物基原料的稳定性之外，还需要从前期菌种筛选和后期放大生产的工艺控制两方面着手，来确保大罐发酵过程中产品的稳定性；

2）后酸化问题　后酸化是酸奶大规模生产中面临的一大难题，而植物基原料规模化发酵中也同样存在这一问题。对于活菌型产品，产品在运输、销售过程中乳酸菌仍在缓慢生长繁殖，继续发酵产酸。后酸化现象会影响产品的口感和风味，使产品感官质量下降，甚至严重影响产品的品质并缩短保质期。筛选对酸敏感的弱后酸化菌种是从根本上解决这一难题的关键所在。

5 植物基乳酸菌发酵食品产业未来发展趋势

目前，植物基乳酸菌发酵食品研究尚处于起步阶段，但其独特的优势契合了消费者的需求，顺应了大健康产业的发展趋势，市场前景十分广阔。然而，植物基乳酸菌发酵食品仍存在品种单一、风味和货架期不稳定等问题。此外，在植物基发酵专用复合菌剂开发、营养和安全性评价以及发酵产品风味和口感调控等方面仍有较大的质量提升空间。鉴于此，未来可从以下方面开展研究，以加快推进植物基乳酸菌发酵食品的产业化进程：1）在基础理论方面，揭示不同植物基乳酸菌发酵产品中功能组分和风味物质的形成机制，为产品的健康效应、风味改善及主体风味的协同增强研究提供理论依据；2）在关键技术方面，突破植物基乳酸菌发酵产品风味

及质构优化、货架期产品稳定性等系列技术瓶颈，寻找更多适合发酵的植物基原料，同时针对不同的植物基原料，筛选合适的发酵菌种，并开发出性能稳定、活性高、后酸化可控的专用直投式发酵益生菌菌剂，优化发酵工艺等；3）在新产品开发方面，开发具有调节血脂（血压、血糖）、抗衰老、抗氧化等功效的新型功能性植物基乳酸菌发酵产品，针对不同消费群体，开发具有特殊风味和营养健康功效的植物基乳酸菌发酵新产品等；4）在其他方面，制定植物基乳酸菌发酵食品的行业、国家或国际标准，完善乳酸菌及其发酵植物基产品的安全性和功能性评价科学体系等。

参考文献：

[1] FANZO J, HAWKES C, UDOMKESMALEE E, et al. 2018 Global Nutrition Report[R]. London: Global Nutrition Report, 2019.

[2] SCHWINGSHACKL L, SCHWEDHELM C, HOFFMANN G, et al. Food groups and risk of all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies[J]. **American Journal of Clinical Nutrition**, 2017, 105(6): 1462-1473.

[3] AMBIKA S, BHUPATHIRAJU S, RIMM E, et al. Plant-based dietary patterns and incidence of type 2 diabetes in US men and women: results from three prospective cohort studies[J]. **PLoS Medicine**, 2016, 13(6): 1-18.

[4] 熊涛，马晓娟. 植物乳杆菌 NCU166 发酵胡萝卜浆风味物质的分析[J]. 食品科学，2013，34(2): 152-154.

[5] 苏能能，关倩倩，彭珍，等. 乳酸菌发酵对桑葚浆品质及抑菌性能的影响[J]. 食品与发酵工业，2018，44(9): 117-124.

[6] 杨冲，彭珍，熊涛. 南丰蜜桔汁乳酸菌发酵过程中品质的变化[J]. 食品工业科技，2018，39(11): 1-5.

[7] OLIVEIRA S, ARAUJO C, BORGES G, et al. Improvement in physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic *Lactobacilli*[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2020, 134: 1-9.

[8] 邵齐，彭珍，熊涛. 乳酸菌发酵对芒果浆理化指标、营养成分和风味物质的影响[J]. 饮料工业，2017，20(5): 43-48.

[9] ZHANG Z, FAN S, HUANG D, et al. Polysaccharides from fermented *Asparagus officinalis* with *Lactobacillus plantarum* NCU116 alleviated liver injury via modulation of glutathione homeostasis, bile acid metabolism, and SCFA production[J]. **Food & Function**, 2020, 11(9): 7681-7695.

[10] GAO H, WEN J, HU J, et al. Polysaccharide from fermented *Momordica charantia* L. with *Lactobacillus plantarum* NCU116 ameliorates type 2 diabetes in rats[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2018, 201: 624-633.

[11] GAO H, WEN J, HU J, et al. *Momordica charantia* juice with *Lactobacillus plantarum* fermentation: chemical composition, antioxidant properties and aroma profile[J]. **Food Bioscience**, 2019, 29: 62-72.

[12] WAN Y, SHI H, XU R, et al. The origin of hypoglycemic benefits of probiotic-fermented carrot pulp[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2019, 67(3): 895-904.

[13] GAO H, WEN J, HU J, et al. Fermented *Momordica charantia* L. juice modulates hyperglycemia, lipid profile, and gut microbiota in type 2 diabetic rats[J]. **Food Research International**, 2019, 121: 367-378.

[14] LI C, DING Q, NIE S, et al. Carrot juice fermented with *Lactobacillus plantarum* NCU116 ameliorates type 2 diabetes in rats[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2014, 62(49): 11884-11891.

[15] WAN Y, XU M, GILBERT R, et al. Colloid chemistry approach to understand the storage stability of fermented carrot juice[J]. **Food Hydrocolloids**, 2019, 89: 623-630.

[16] LI C, NIE S, ZHU K, et al. *Lactobacillus plantarum* NCU116 fermented carrot juice evokes changes of metabolites in serum from type 2 diabetic rats[J]. **Food Research International**, 2016, 80: 36-40.

[17] DIMITROVSKI D, VELICKOVA E, DIMITROVSKA M, et al. Synbiotic functional drink from *Jerusalem artichoke* juice fermented by probiotic *Lactobacillus plantarum* PCS26[J]. **Journal of Food Science and Technology**, 2016, 53(1): 766-774.

[18] 佚名. 日本研制新型的蔬菜饮料[J]. 四川食品与发酵，2003，39(1): 43-43.

[19] GUAN Q, XIONG T, XIE M. Influence of probiotic fermented fruit and vegetables on human health and the related industrial development trend[J]. **Engineering**, 2021, 7(2): 212-218.

[20] 谢明勇，熊涛，关倩倩. 益生菌发酵果蔬关键技术研究进展[J]. 中国食品学报，2014，14(10): 1-9.

[21] 闫宗伟. 植物蛋白饮料的营养状况及未来发展[J]. 现代食品，2021(16): 101-103.

[22] MONTEMURRO M, PONTONIO E, CODA R, et al. Plant-based alternatives to yogurt: state-of-the-art and perspectives of new

biotechnological challenges[J]. **Foods**，2021，10(2)：316-337.
[23] 马志梅，褚少兴. 植物蛋白发酵饮料的发展前景[J]. 食品工业科技，2014，35(11)：36-37.
[24] 李彤，彭珍，熊涛. 乳酸菌发酵对复合豆乳饮料营养成分、香气成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业，2018，44(4)：111-118.
[25] NIONELLI L，CURRI N，CURIEL J A，et al. Exploitation of Albanian wheat cultivars: characterization of the flours and lactic acid bacteria microbiota，and selection of starters for sourdough fermentation[J]. **Food Microbiology**，2014，44：96-107.
[26] PALLA M，AGNOLUCCI M，CALZONE A，et al. Exploitation of autochthonous Tuscan sourdough yeasts as potential starters[J]. **International Journal of Food Microbiology**，2019，302：59-68.
[27] PONTONIO E，NIONELLI L，CURIEL J，et al. Iranian wheat flours from rural and industrial mills: exploitation of the chemical and technology features，and selection of autochthonous sourdough starters for making breads[J]. **Food Microbiology**，2015，47：99-110.
[28] 苏颖晶，李理，余保宁，等. 解淀粉乳杆菌 L6 发酵的全谷物酸奶及其功能性研究[J]. 中国酿造，2018，37(4)：33-37.
[29] ZIARNO M，BRY J，PARZYSZEK M，et al. Effect of lactic acid bacteria on the lipid profile of bean-based plant substitute of fermented milk[J]. **Microorganisms**，2020，8(9)：1-15.
[30] BOCCHI S，ROCCHETTI G，ELLI M，et al. The combined effect of fermentation of lactic acid bacteria and *in vitro* digestion on metabolomic and oligosaccharide profile of oat beverage[J]. **Food Research International**，2021，142：1-12.
[31] BASINSKIENE L，JUODEIKIENE G，VIDMANTIENE D，et al. Non-alcoholic beverages from fermented cereals with increased oligosaccharide content[J]. **Food Technology and Biotechnology**，2016，54(1)：36-44.
[32] 王清爽，高珊，朱灵灵，等. 干酪乳杆菌发酵对脱脂薏米营养品质的影响[J]. 中国食品学报，2021，21(3)：146-152.
[33] NIONELLI L，PONTONIO E，GOBBETTI M，et al. Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation[J]. **International Journal of Food Microbiology**，2018，266：173-182.
[34] MANINI F，CASIRAGHI M，POUTANEN K，et al. Characterization of lactic acid bacteria isolated from wheat bran sourdough [J]. **LWT–Food Science and Technology**，2016，66：275-283.
[35] AL-MOHAMMADI A，ISMAIEL A，IBRAHIM R，et al. Chemical constitution and antimicrobial activity of kombucha fermented beverage[J]. **Molecule**s，2021，26(16)：1-18.
[36] SAKANDAR H，USMAN K，IMRAN M. Isolation and characterization of gluten-degrading *Enterococcus mundtii* and *Wickerhamomyces anomalus*，potential probiotic strains from indigenously fermented sourdough （Khamir）[J]. **LWT – Food Science and Technology**，2018，91：271-277.
[37] 郑苗，何佳，吕丹丹，等. 怀山药乳酸菌饮品发酵工艺及其活性成分的研究[J]. 食品科技，2018，43(7)：104-107.
[38] 国立东，李秀萍，张焕，等. 一株酸面团源乳酸菌的益生特性及其对刺五加叶总皂苷的影响[J]. 食品工业科技，2021，42(14)：121-126.
[39] 刘梦培，李佳，纵伟，等. 乳酸菌和酵母菌发酵对杜仲雄花茶汁品质及抗氧化活性的影[J]. 中国酿造，2020，39(5)：71-76.
[40] 屈青松，林峰，赵崇研，等. 发酵乳杆菌发酵人参工艺优化及人参皂苷抗氧化活性测定[J]. 中成药，2020，42(10)：2738-2743.
[41] 郑苗，何佳，吕丹丹，等. 复合乳酸菌发酵怀山药工艺及其抗氧化活性[J]. 中国酿造，2018，37(2)：106-110.
[42] YOU Y，LIU Y，AI Z，et al. *Lactobacillus fermentum* KP-3-fermented ginseng ameliorates alcohol-induced liver disease in C57BL/6N mice through the AMPK and MAPK pathways[J]. **Food & Function**，2020，11(11)：9801-9809.
[43] QU Q，YANG F，ZHAO C，et al. Effects of fermented ginseng on the gut microbiota and immunity of rats with antibiotic-associated diarrhea[J]. **Journal of Ethnopharmacology**，2021，267：1-10.
[44] 陈艳艳，于波，潘黛安，等. 乳杆菌发酵葛根水提液工艺研究及其解酒功效探讨[J]. 中国酿造，2020，39(8)：182-186.
[45] 中国人民武装警察部队工程大学. 一种复合乳酸菌发酵人参果汁饮料及其制备方法：CN201710874375.4[P]. 2017-12-19.
[46] 刘佳奇，熊涛，李军波，等. 乳酸菌发酵茶饮料的工艺优化及其发酵前后香气成分分析[J]. 食品与发酵工业，2016，42(8)：109-115.
[47] 刘佳奇，彭珍，熊涛. 乳酸菌发酵对红茶饮料营养成分、香气成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学，2017，38(24)：130-136.
[48] TONG T，LIU Y J，KANG J，et al. Antioxidant activity and main chemical components of a novel fermented tea[J]. **Molecules**，2019，24(16)：2917-2931.
[49] WANG Z，LU Z，YU Y，et al. Batch-to-batch uniformity of bacterial community succession and flavor formation in the

fermentation of Zhenjiang aromatic vinegar[J]. **Food Microbiology**, 2015, 50: 64-69.
[50] XIAO C, LU Z, ZHANG X, et al. Bio-heat is a key environmental driver shaping the microbial community of medium-temperature daqu[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 2017, 83(23): 1-13.
[51] XIONG T, GUAN Q, SONG S, et al. Dynamic changes of lactic acid bacteria flora during Chinese sauerkraut fermentation[J]. **Food Control**, 2012, 26: 178-181.
[52] XIAO Y, XIONG T, PENG Z, et al. Correlation between microbiota and flavours in fermentation of Chinese Sichuan paocai[J]. **Food Research International**, 2018, 114: 123-132.
[53] LIU Z, PENG Z, HUANG T, et al. Bacterial community dynamics and physicochemical characteristics in natural fermentation of Jiangshui, a traditional food made in northwest China[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2019, 99: 3391-3397.
[54] GUAN Q, ZHENG W, MO J, et al. Evaluation and comparison of the microbial communities and volatile profiles in homemade suansun from Guangdong and Yunnan provinces in China[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2020, 100: 5197-5206.
[55] GUAN Q, ZHENG W, HUANG T, et al. Comparison of microbial communities and physiochemical characteristics of two traditionally fermented vegetables[J]. **Food Research International**, 2020, 128: 1-12.
[56] LIU Z, LI J, HUANG T, et al. Comparison of the bacterial communities in home-made Nanfeng yancai with and without salt[J]. **Food Research International**, 2019, 125: 1-12.
[57] LIU Z, PENG Z, HUANG T, et al. Comparison of bacterial diversity in traditionally homemade paocai and Chinese spicy cabbage [J]. **Food Microbiology**, 2019, 83: 141-149.
[58] 郭昊翔. 基于细菌群落结构变化的内蒙古自然发酵酸粥代谢产物及风味的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
[59] 毛晋春. 传统发酵酸面团微生物群落动态变化及其主要发酵菌株分离筛选[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
[60] 王慧琳, 周炜城, 任聪, 等. 传统发酵食品微生物学研究进展[J]. 生物学杂志, 2018, 35(6): 1-5.
[61] TAO X, XIAO L, GUAN Q, et al. Starter culture fermentation of Chinese sauerkraut: growth, acidification and metabolic analyses [J]. **Food Control**, 2014, 41(1): 122-127.
[62] XIONG T, PENG F, LIU Y, et al. Fermentation of Chinese sauerkraut in pure culture and binary co-culture with *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum*[J]. **LWT–Food Science and Technology**, 2014, 59(2): 713-717.
[63] SINGRACHA P, NIAMSIRI N, VISESSANGUAN W, et al. Application of lactic acid bacteria and yeasts as starter cultures for reduced-salt soy sauce (moromi) fermentation[J]. **LWT–Food Science and Technology**, 2016, 78: 181-188.
[64] CUI S, ZHAO N, LU W, et al. Effect of different *Lactobacillus* species on volatile and nonvolatile flavor compounds in juices fermentation[J]. **Food Science & Nutrition**, 2019, 7(2): 2214-2223.
[65] LI Q, KANG J, MA Z, et al. Microbial succession and metabolite changes during traditional serofluid dish fermentation[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2017, 84: 771-779.
[66] XIAO Y, HUANG T, XU Y, et al. Metatranscriptomics reveals the gene functions and metabolic properties of the major microbial community during Chinese Sichuan paocai fermentation[J]. **Food Microbiology**, 2020, 98: 1-10.
[67] YAN B, SADIQ F A, CAI Y, et al. Microbial diversity in traditional type I sourdough and jiaozi and its influence on volatiles in Chinese steamed bread[J]. **LWT– Food Science and Technology**, 2019, 101: 764-773.
[68] 云琳. 不同发酵方式的萝卜泡菜风味特征解析及发酵剂菌种的筛选[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
[69] 郭帅. 适用于豆乳发酵的嗜热链球菌筛选及其应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
[70] CARMEN M, JENSEN P, BULDO P. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on physicochemical properties of fermented plant-based raw materials[J]. **Foods**, 2021, 10(3): 1-26.
[71] LI C, NIE S, DING Q, et al. Cholesterol-lowering effect of *Lactobacillus plantarum* NCU116 in a hyperlipidaemic rat model[J]. **Journal of Functional Foods**, 2014, 8(1): 340-347.
[72] 丁翘, 李川, 朱科学, 等. 植物乳杆菌 NCU116 对高脂饮食大鼠肾脏的保护作用[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 236-240.
[73] LI C, NIE S, ZHU K, et al. *Lactobacillus plantarum* NCU116 improves liver function, oxidative stress and lipid metabolism in rats with high fat diet induced non-alcoholic fatty liver disease[J]. **Food & Function**, 2014, 5(12): 3216-3223.
[74] LI C, CAO J, NIE S, et al. Serum metabolomics analysis for biomarker of *Lactobacillus plantarum* NCU116 on hyperlipidaemic rat model feed by high fat diet[J]. **Journal of Functional Foods**, 2018, 42: 171-176.

[75] ZHOU X，HONG T，YU Q，et al. Exopolysaccharides from *Lactobacillus plantarum* NCU116 induce c-jun dependent Fas/Fasl-mediated apoptosis via TLR2 in mouse intestinal epithelial cancer cells[J]. **Scientific Reports**，2017，7: 1-13.
[76] LI C，NIE S，ZHU K，et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* NCU116 on loperamide-induced constipation in mice [J]. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**，2015，66(5): 533-538.
[77] XIE J，NIE S，YU Q，et al. *Lactobacillus plantarum* NCU116 attenuates cyclophosphamide-induced immunosuppression and regulates Th17/Treg cell immune responses in mice[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**，2016，64: 1291-1297.
[78] XIE J，YU Q，NIE S，et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* NCU116 on intestine mucosal immunity in immunosuppressed mice [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**，2015，63(51): 10914-10920.
[79] XIE J，FAN S，NIE S，et al. *Lactobacillus plantarum* NCU116 attenuates cyclophosphamide-induced intestinal mucosal injury，metabolism and intestinal microbiota disorders in mice[J]. **Food & Function**，2016，7(3): 1584-1592.
[80] 南昌大学. 一株具有缓解便秘功效的鼠李糖乳杆菌及其应用: ZL201810978544.3[P]. 2019-01-11.
[81] 南昌大学. 一株鼠李糖乳杆菌 NCU2217: ZL201810978527.X[P]. 2019-01-04.
[82] 南昌大学. 一株嗜酸乳杆菌 NCU426: ZL201810978365.X[P]. 2019-01-04.
[83] WANG T，LU Y，YAN H，et al. Fermentation optimization and kinetic model for high cell density culture of a probiotic microorganism: *Lactobacillus rhamnosus* LS-8[J]. **Bioprocess and Biosystems Engineering**，2020，43(5): 515-528.
[84] 孙媛媛，崔树茂，唐鑫，等. 发酵乳杆菌的生长限制性因素分析及高密度培养工艺优化[J]. 食品与发酵工业，2021，47(6): 1-10.
[85] 杨瑞冬. *Lactobacillus buchneri* IMAU80233 发酵工艺研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学，2019.
[86] 李明慧，尚一娜，霍麒文，等. 真空冷冻干燥对乳酸菌损伤机制的研究进展[J]. 食品科学，2018，39(19): 273-279.
[87] E J J，RONGZE M，CHEN C，et al. Improving the freeze-drying survival rate of *Lactobacillus plantarum* LIP-1 by increasing biofilm formation based on adjusting the composition of buffer salts in medium[J]. **Food Chemistry**，2021，338: 1-10.
[88] E J J，MA L，CHEN Z，et al. Effects of buffer salts on the freeze-drying survival rate of *Lactobacillus plantarum* LIP-1 based on transcriptome and proteome analyses[J]. **Food Chemistry**，2020，326: 1-9.
[89] 王晓萌，甄妮，田启远，等. 冷休克处理提高嗜酸乳杆菌的冻干存活率[J]. 中国食品学报，2021，21(3): 203-209.
[90] ZHEN N，ZENG X，WANG H，et al. Effects of heat shock treatment on the survival rate of *Lactobacillus acidophilus* after freeze-drying[J]. **Food Research International**，2020，136: 1-10.
[91] E J J，CHEN J，CHEN Z C，et al. Effects of different initial pH values on freeze-drying resistance of *Lactiplantibacillus plantarum* LIP-1 based on transcriptomics and proteomics[J]. **Food Research International**，2021，149: 1-9.
[92] 杨婕，郭金凤，李宝坤，等. 酸 - 冷交互胁迫对保护冷冻干燥发酵乳杆菌活性的作用[J]. 食品科学，2020，41(2): 101-106.
[93] JUAN Z，QIAN L，WEI C，et al. Short communication: protection of lyophilized milk starter *Lactobacillus casei* Zhang by glutathione[J]. **Journal of Dairy Science**，2016，99(3): 1846-1852.
[94] WANG G，PU J，YU X，et al. Influence of freezing temperature before freeze-drying on the viability of various *Lactobacillus plantarum* strains[J]. **Journal of Dairy Science**，2020，103(4): 3066-3075.
[95] WANG G，YU X，LU Z，et al. Optimal combination of multiple cryoprotectants and freezing -thawing conditions for high *Lactobacilli* survival rate during freezing and frozen storage[J]. **LWT–Food Science and Technology**，2018，99: 217-223.
[96] 于平，胡淳玉，黄星星，等. 产肌醇的植物乳杆菌 ZJ2868 菌粉制备工艺[J]. 中国食品学报，2021，21(9): 142-149.
[97] 江南大学. 一种高活性乳杆菌菌粉真空干燥生产工艺及应用: 中国，ZL201711365392.1[P]. 2018-04-03.
[98] 武汉微康益生菌研究院有限公司. 一种高活菌数嗜酸乳杆菌菌粉的制备方法: CN202110087742.2[P]. 2021-04-23.