

酸面团发酵技术应用研究进展

周春艳^{1,2,3}, 张华铮⁴, 陈红兵^{1,2}, 高金燕^{3,*}, 袁娟丽^{1,2,3}, 于凤莲^{1,2,3}

(1.南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047;

2.南昌大学中德联合研究院, 江西南昌 330047;

3.南昌大学生命科学与食品工程学院, 江西南昌 330047;

4.南昌大学图书馆, 江西南昌 330031)

摘要:酸面团发酵技术是一种传统的生物加工技术,但目前又拓展了新的内容。本文介绍了酸面团发酵技术在提高发酵产品的营养价值、改善焙烤产品的流变学特性与感官品质、延长产品的货架期、制备低血糖生成指数的面包及研制可供乳糜泻患者安全食用的低致敏焙烤产品等方面的应用,并对目前酸面团发酵技术所具有的优势和存在的问题进行了总结和分析。总之,酸面团发酵技术在食品工业中的应用前景广阔,值得深入研究。

关键词:酸面团发酵,乳酸菌,酵母

Progress in application of sourdough fermentation technology

ZHOU Chun-yan^{1,2,3}, ZHANG Hua-zheng⁴, CHEN Hong-bing^{1,2},

GAO Jin-yan^{3,*}, YUAN Juan-li^{1,2,3}, YU Feng-lian^{1,2,3}

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2.Sino-German Joint Research Institute, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

3.School of Life Sciences and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

4.Library of Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Sourdough fermentation is a traditional biotechnology, and it is developed with modern technology. This paper introduced the applications of sourdough fermentation technology, including enhancing the nutritional value of fermentation foods, improving the rheological properties and sensory qualities of baked products, preparing low glycemic index of bread and developing low sensitized baked products for celiac disease patients. Moreover, the advantages and problems existing in the sourdough fermentation technology were also summarized and analyzed. In conclusion, sourdough fermentation technology had a widely application prospect in the food industry, and it was worth further being studied.

Key words: sourdough fermentation; lactic acid bacteria; yeast

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)17-0375-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.17.076

酸面团发酵是一种古老的生物加工技术,在食品制造中应用历史悠久。作为一种发酵方式,酸面团是将谷物粉主要是小麦或黑麦粉、水(也可以加入

盐)混匀后经自然感染来自于环境或谷物粉中具有酸化和发酵能力的乳酸菌和酵母所得到一种面团^[1]。随着社会不断进步,经济全球化不断深入,人们的饮食文化日益多样化,食品卫生与安全成为备受人们关注的话题。而酸面团发酵技术因其自身所具有的优势,使它并没有因人们对焙烤产品的要求越来越高而衰落,相反,由于它在改善焙烤产品的风味、质构、货架期和营养特性方面所发挥的积极作用,以及在制造功能性食品和低致敏的无麸质食品方面所具有的优势,使得经酸面团发酵技术制作出的产品越

收稿日期: 2013-12-24 * 通讯联系人

作者简介: 周春艳(1990-),女,硕士研究生,研究方向:营养与食品卫生。

基金项目: 国家国际科技合作专项资助(2013DFG31380);江西省“赣鄱英才555工程”领军人才培养计划(18000034);江西省国际合作项目(2012BDH80019);南昌大学食品科学与技术国家重点实验室项目(SKLF-ZZB-201302)。

15825.

[41] Roessler P G. Purification and characterization of acetyl-coa carboxylase from the Diatom *Cyclotella cryptica* [J]. *Plant Physiology*, 1990, 92(1): 73-78.

[42] Harun R, Davidson M, Doyle M, et al. Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35(1): 741-747.

来越受到消费者的青睐,同时也使得酸面团发酵技术重新得到食品工业界的重视^[3]。

1 酸面团的分类

根据酸面团发酵采用的技术,酸面团可分为三类: I型酸面团一般作为发酵剂,其特点是连续发酵,即始终保持微生物处于活性状态,具备高的代谢活性和发酵能力。这种酸面团中的优势乳酸菌菌种为 *Lactobacillus sanfranciscensis*,此外,还有异型发酵乳酸菌 *pontis* 乳酸杆菌 (*Lactobacillus pontis*)、短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*)、发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*)、食果糖乳杆菌 (*Lactobacillus fructivorans*)。酵母菌主要是梅林假丝酵母 (*Candida milleri*)、霍氏假丝酵母 (*C. holmii*)、酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 和少孢酵母 (*S. exiguus*) (现命名为 *Exigua* 酿酒酵母 (*Kazachstania exigua*))^[1]。II型酸面团是在工业化水平上,利用生物反应器或大型容器将温度控制在 30℃ 以上且发酵时间在数天以上的一种液体面团,主要用于面团酸化和作为面团改良剂。在这种酸面团中面包乳杆菌 (*Lactobacillus panis*)、罗伊氏乳杆菌 (*Lactobacillus reuteri*)、约氏乳杆菌 (*Lactobacillus johnsonii*) 和 *pontis* 乳酸杆菌 (*Lactobacillus pontis*) 这些耐酸的乳酸菌菌种为优势菌,自然感染的酵母菌生长受到抑制,因此,面团中需加入商业酵母^[3]。III型酸面团是对 II型酸面团进行干燥和稳定处理后得到的,由于它的品质相对于 I型酸面团更稳定,更易于操作,耗时更短,所以主要应用于工业中^[4]。III型酸面团中的优势乳酸菌是戊糖片球菌 (*Pediococcus pentosaceus*)、植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) 和短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*) 等一些能够抗干燥处理的菌种^[1]。

2 酸面团发酵技术的应用

2.1 提高发酵产品中营养物质的利用率并产生生活性肽

2.1.1 膳食纤维 酸面团发酵技术通过控制麸皮中内源性微生物,来影响内源性木聚糖酶的活性,使具有类似于 β -葡聚糖功能的拉伯木聚糖的溶解性增强^[5]。在 Kopec 等^[6]的研究中发现加入了菊粉且经过酸面团发酵焙烤出的小麦冷冻面包,其化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 有显著提高。此外, Rizzello 等^[7]也证实了加入 5% 的来自于 *Triticum Aestivum* sp. 小麦的谷皮后,经酸面团发酵焙烤出的小麦面包,膳食纤维的含量有显著增加,另外,游离氨基酸和总酚的含量也有所提高。

全麦谷物类焙烤产品是膳食纤维的重要来源,酸面团发酵技术被公认为是加工全面谷物最有效的生物加工技术^[8],它的使用显著地提高了谷皮中膳食纤维的利用率,同时也显著影响了其他营养物质的吸收,改善了焙烤产品的营养价值。

2.1.2 维生素 全谷物是 B 族维生素的主要来源。酸面团发酵技术影响着焙烤产品中维生素的含量,尤其是叶酸的含量。如, Kariluoto 等^[9]的研究证实了从黑麦酸面团中分离出的 3 株酵母菌梅林假丝酵母

CBS8195 (*Candida milleri* CBS8195)、酿酒酵母 TS 146 (*Saccharomyces cerevisiae* TS 146)、德尔布有孢圆酵母 (*Torulaspora delbrueckii* TS 207) 和阳性对照组中的 7 株乳酸菌,保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus*)、干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*)、弯曲乳杆菌 (*Lactobacillus Curvatus*)、发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*)、瑞士乳杆菌 (*Lactobacillus helveticus*)、片球菌属 (*Pediococcus spp.*)、嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*) 可以使面团中的叶酸含量显著提高。在 Gujska 等^[10]的研究中发现用酵母和乳酸菌发酵的黑麦面包中叶酸含量反而下降。此外,酸面团发酵时间的长短对焙烤产品中维生素的含量也有显著影响。延长酸面团的发酵时间可以维持全麦谷物焙烤产品中维生素 B₁ 的含量保持不变,而延长酵母发酵的时间,焙烤产品中核黄素的含量明显得到提高^[8]。另外,焙烤产品中维生素的含量还受焙烤条件的影响。

焙烤酵母发酵可显著提高焙烤产品中维生素的含量。而酸面团发酵技术由于涉及众多的微生物代谢和发酵技术参数,使焙烤产品中维生素的含量有的增加,有的下降。因此,提高酸面团中维生素的含量还需筛选更合适的微生物菌种及设定更优的发酵参数。

2.1.3 矿物质 全谷物是矿物质的最好来源,但由于谷皮中富含植酸,影响了矿物质的生物利用度。酸面团发酵技术通过酸化发酵环境提高具有降解植酸能力的内源性谷物酶活性或使用特异性水解功能的乳酸菌株和酵母菌株降解植酸,来显著提高全麦粉中矿物质的利用度。如,在 Leenhardt 等^[11]的研究中证实酸面团发酵全麦小麦粉,当 pH 达到 5.5 时内源性植酸酶活性最强,可降解 70% 的植酸。Reale 等^[12]从南部意大利小麦酸面团中分离得到的植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*)、弯曲乳杆菌 (*Lactobacillus curvatus*) 和酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*),具有植酸酶活性可显著降低植酸的含量,被广泛应用于面包焙烤行业中。

低 pH 有利于植酸降解,但过酸的环境会对面团中微生物的活性及焙烤产品的口感和结构产生不利影响。因此,在寻找耐酸的酵母和乳酸菌同时使焙烤产品的品质有所改善,矿物质利用度有所提高等方面还需进行深入地研究。

2.1.4 生物活性多肽 酸面团发酵技术可使发酵产品合成一种对人体健康具有积极作用的生物活性多肽。该多肽是天然蛋白中的一段隐藏的序列,可由植物、微生物的蛋白酶及消化酶水解获得,在发酵产品中含量相对较高^[13]。如, Coda 和 Rizzello 等^[7,14]研究发现全谷物小麦、斯佩耳特小麦、卡姆小麦和黑麦经含特定乳酸菌株的酸面团发酵后,可以合成具有显著清除自由基功能且能够抑制亚油酸自氧化的抗氧化多肽。在 Rizzello 等^[15]的其他研究中还证实大部分的酸面团乳酸菌都具有合成抗癌多肽露那辛 (Lunasin) 的功能,其中,弯曲乳杆菌 SAL33 (*Lactobacillus curvatus* SAL33) 和短乳杆菌 AM7

(*Lactobacillus brevis* AM7) 合成露那辛的能力最强。另外,在 Inoue 等^[16]的研究中还发现用植物乳杆菌 C48 (*L. plantarum* C48) 和乳酸乳球菌乳亚种 PU1 (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* PU1) 对荞麦、苜蓿、鹰嘴豆和藜麦的混合物进行酸面团发酵,可产生一种具有抗高血压、预防糖尿病等能力的 γ 氨基丁酸,其合成量显著优于焙烤酵母且能超过了人均每日摄入量的需求。

目前在酸面团发酵中研究较多的活性肽为抗氧化多肽。此外,酸面团发酵技术还可以合成具有阿片活性、免疫调节作用、抗血栓、降低胆固醇作用的多种其他生物活性多肽^[17]。

2.2 改善发酵产品物性功能、感官品质并延长货架期

2.2.1 合成胞外多糖,改善面团和面包的工艺性能

酸面团乳酸菌合成的胞外多糖对面团和面包的工艺性能能产生积极的影响。葡聚糖的产生可以使面包体积增加 20%,显著影响面团的流变学性和焙烤产品的质构,而胞外多糖与麸质蛋白网络结构相互影响,可以增强面团的稳定性和持气性^[18]。此外,葡聚糖和果聚糖等胞外多糖还可以代替面包产品中的亲水胶体,作为纯天然抗老化剂等^[19]。在 Korakli 等^[20]的研究中发现经过 24h 发酵后的小麦和黑麦酸面团,旧金山乳杆菌 LTH2590 (*L. sanfranciscensis* LTH2590) 可以合成 0.5%~1% 果聚糖。在 Schwab 等^[21]和 Tiekling 等^[22]的研究中证实来自于小麦和高粱酸面团中的 *frumenti* 乳杆菌 (*Lactobacillus frumenti*)、*pontis* 乳杆菌 (*Lactobacillus pontis*)、嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*)、罗伊氏乳杆菌 (*Lactobacillus reuteri*) 和魏斯氏菌 (*Weissella cibaria*) 可以合成果聚糖和葡聚糖等胞外多糖。

目前,酸面团中乳酸菌合成的胞外多糖由于具有良好的流变学性能,能够满足工业化生产需求,可以大量合成且纯化程度较高,已引起研究者们广泛的兴趣。此外,越来越多的酸面团乳酸菌被专门用于合成胞外多糖,应用在制药业和其他的食品行业中。

2.2.2 合成有机酸,改善流变学特性提高焙烤产品品质 酸面团发酵产生的有机酸可以增强乳酸菌株特异水解蛋白酶对麸质蛋白 (gluten)、淀粉和阿拉伯基木聚糖的水解作用,或提供低 pH 发酵环境使能够形成网状结构的麸质蛋白的溶解性及膨胀性增加,显著提高和改善焙烤产品体积和流变学特性^[23]。如,Corsetti 等^[24]用旧金山乳杆菌 57 (*Lactobacillus sanfranciscensis* 57) 和植物乳杆菌 13 (*Lactobacillus plantarum* 13) 发酵小麦粉,内源性木聚糖内切酶被激活,降低了面包硬化和老化的速度。Clarke 等^[25]证实了用植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*) 发酵的酸面团体系 pH 更低,使得面团的流变学指标及焙烤面包的体积都有所增加。对于黑麦酸面团,环境酸化 pH 降低使与麸质蛋白功能相近的可溶性阿拉伯糖基木聚糖溶解,L-阿拉伯呋喃糖酶、内源性木聚糖酶和木糖苷酶活性增

加,最终面团的弹性结构增强,焙烤产品的口感和体积得到改善和提高^[26-27]。此外,有机酸还可以增加焙烤产品的风味,抑制腐败微生物的生长和延长商品货架期。

有机酸的产生强烈地影响着面团的混合特性,过酸或 pH 较低会缩短面团搅拌时间并降低面团的稳定性。过酸的环境还会导致麸质蛋白过度水解,破坏面团流变学特性影响焙烤产品的质构。此外,酸面团酸度的控制目前只能根据经验和基础技术,控制效果并不理想。所以提高对酸面团酸度的监控是焙烤产品品质有所改善的关键。

2.2.3 合成芳香物质,改善焙烤产品风味 酸面团发酵中的风味物质可分为两类:一类是不具有挥发性的有机酸,如乳酸;另一类是具有挥发性的化合物,包括醇、醛、酮、酯等^[28]。酸面团中的酵母主要产生 2-甲基-1-丙醇、2,3-二甲基-1-丙醇和它的异醇类,异型发酵乳酸菌主要产生乙酸乙酯,某些特定的醇类和醛类,而一些同型发酵的乳酸菌则产生二乙酰和羰基化合物^[29]。焙烤产品的风味是由所含乳酸和乙酸的比例来决定的。研究表明,酸面团发酵时加入外源酶,可增强非挥发性乙酸或乳酸的产生^[30]。如,Di Cagno 等^[31]将柠檬明串珠菌 23B (*Leuconostoc citreum* 23B)、乳酸乳球菌乳亚种 11M (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 11M)、希氏乳杆菌 51B (*Lactobacillus hilgardii* 51B) 和脂肪酶、内源性木聚糖酶和 α -淀粉酶相混合发酵,面团中乳酸的含量和生成速度都有显著提高。此外,在酸面团中加入果糖和柠檬酸盐,可以增强乳酸菌产挥发性化合物醇和 2-甲基-1-丙醇的能力,优化焙烤产品的风味^[32-33]。

焙烤产品中风味物质的产生除与酸面团微生物的代谢产物有关,还与发酵过程中蛋白水解产生的游离氨基酸,发酵时间的长短,发酵温度的高低及焙烤条件下面团中的游离氨基酸与醛糖和酮糖发生的美拉德和焦糖化反应有关。因此,发酵产品中风味物质合成的优化还需筛选恰当的发酸微生物,控制好发酵条件和焙烤条件等。

2.2.4 合成抗菌物质,延长产品货架期 青霉菌 (*Penicillium*)、曲霉属 (*Aspergillus*)、念珠菌属 (*Monilia*)、毛霉菌 (*Mucor*)、栗蕈寄生菌属 (*Endomyces*)、分枝孢子菌属 (*Cladosporium*)、镰刀菌 (*Fusarium*) 和根霉属菌 (*Rhizopus*) 等是引起焙烤产品腐败的主要微生物^[34]。酸面团乳酸菌在发酵过程中产生的有机酸、细菌素等物质能够抵抗多种腐败微生物和病原微生物生长,是最天然的生物防腐剂。酸面团中抑制霉菌生长的乳酸菌主要来自于乳酸菌属,该属的乳酸菌可以产生乙酸、乳酸、丙酸等有机酸,其中,丙酸的抑菌性最强^[35-36]。另外酸面团中的一些乳酸菌核糖体还可以合成一种能够抑制近缘微生物生长和繁殖的多肽,我们称之为细菌素^[37]。酸面团中可以产生细菌素的乳酸菌主要为罗伊氏乳杆菌 (*L. reuteri*)、巴伐利亚乳杆菌 (*L. bavaricus*)、弯曲乳杆菌 (*L. curvatus*) 和植物乳杆菌 (*L. plantarum*)^[37]。其中研究最多的是罗伊氏乳杆菌,它可以产生细菌素

Reuterin、reuterin、reutericyclin^[38]。如, Sabir 等^[39]研究发现用酸面团发酵焙烤出的面包产品货架期明显变长, 其中保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus Bulgaricus*) 的作用最显著。此外, 酸面团中的有些乳酸菌还可以产生一些低分子量多肽, 抑制真菌的生长, 如植物乳杆菌 MiLAB 393 (*L.plantarum* MiLAB 393) 可以产生改变真菌构巢曲霉 (*Aspergillus nidulans*) 蛋白的表达的环二肽 cyclo(L-Phe-L-Pro) 和 cyclo(L-Phe-trans-4-OH-L-Pro)^[34]。

酸面团中乳酸菌产生的抑菌物质相对于传统的食品防腐剂, 更能够满足目前消费者对食品高品质的需求。目前有些乳酸菌产生的细菌素如 subtilin、cerein、thuricin 和 plantaricin 等已分离纯化鉴定, 可专门用作商业用的食品防腐剂, 其中 nisin 已经商业化^[37]。

2.3 制备低血糖生成指数 (Glycemic index, GI) 面包

酸面团发酵尤其在较低的 pH(3.5~4.0) 条件下或加入一定的可溶性膳食纤维的发酵方式可以作为降低血糖指数的“有效工具”^[40]。酸面团发酵制备低 GI 值的面包, 主要与有机酸尤其是乳酸的产生有关, 乳酸可降低淀粉的消化率, 而乙酸和丙酸可延长胃排空时间^[41]。此外, 酸面团发酵还可通过合成多肽和氨基酸调节葡萄糖的代谢, 合成的游离多酚化合物增强葡萄糖耐受和胰岛素的敏感性, 酸化使阿拉伯木聚糖溶解降低餐后血糖反应等^[40-42]。

研究表明, 用来自于小麦和黑麦酸面团中的乳酸菌发酵大麦和小麦全麦可制备出低血糖指数的面包, 发酵含膳食纤维的黑麦可制备出低 II (Insulin index) 的面包^[8]。如, Novotni 等^[41]采用含不同乳酸菌的发酵剂制作全麦面包, 测定健康受试者摄入面包后 2h 内的血糖生成指数的变化, 结果证实, 采用发酵过程中能同时生成乳酸和乙酸的三种商业发酵剂, 包括 LV4 (含有短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*) 和酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *chevalieri*))、PL1 (发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*))、PL3 (含有植酸酶的发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*)), 制成全麦面包的 GI 显著低于未采用酸面团发酵制成的对照组全麦面包 (GI 为 70), 依次为 50、56 和 56。又如, 在 De Angelis 等^[43]的研究中, 健康受试者食用了用焙烤酵母发酵制得的小麦面包引起的 GI 为 72%, 而食用了用植物乳杆菌 P1 (*Lactobacillus plantarum* P1) 和短乳杆菌 P2 (*Lactobacillus brevis* P2) 发酵的含 5% 燕麦纤维、小麦粉和全麦小麦粉制得的面包引起的 GI 为 53.7%, 且后者制备出的面包在结构、口感和风味上都更具有优势。

低 GI 的膳食对糖尿病、心血管疾病和葡萄糖耐受受损的肥胖患者有着积极地影响。普通焙烤产品常引起较高的血糖指数, 而酸面团发酵技术不仅显著地降低了焙烤产品尤其是面包产品的 GI 指数, 还能满足这些人群对营养物质的基本需求。因此, 酸面团发酵技术在制备低 GI 产品方面所具有的优势值得被重视并被广泛应用。

2.4 制备新型的无麸质焙烤食品

麸质蛋白包括麦醇溶蛋白和麦谷蛋白, 前者是导致乳糜泻的主要抗原蛋白, 包括 α/β 、 γ 、 ω 型, 其中 α -麦醇溶蛋白序列中含的致乳糜泻表位最多。酸面团发酵技术主要通过水解蛋白, 使大的肽段降解为小分子肽段, 消除致敏性表位, 降低小麦制品对乳糜泻人群的致敏性。如, Di Cagno^[44]等选用具有肽酶活性的消化乳杆菌 15M (*Lactobacillus alimentarius* 15M)、短乳杆菌 14G (*Lactobacillus brevis* 14G)、旧金山乳杆菌 7A (*Lactobacillus sanfranciscensis* 7A) 和希氏乳杆菌 51B (*Lactobacillus hilgardii* 51B) 进行酸面团发酵, 可水解 α -醇溶蛋白中的致乳糜泻肽段 p31-43 (L-G-Q-Q-Q-P-F-P-P-Q-Q-P-Y), 水解百分率介于 35%~50% 之间。该研究者进一步用上述乳酸菌及其细胞质提取液发酵小麦粉, 再与无致乳糜泻致敏性的燕麦、小米和荞麦粉混合发酵 2h 后制成面包, 然后进行人体食物激发实验, 乳糜泻患者食用更安全^[44]。此研究认为选用能水解富含脯氨酸的多肽的特定乳酸菌株、混合无致乳糜泻致敏性的谷物粉以及延长发酵时间可制备出可供乳糜泻患者安全食用的产品^[45]。Rollán 等^[46]也表明从自然酸面团分离出的植物乳杆菌 CRL 759 (*Lactobacillus plantarum* CRL 759) 和植物乳杆菌 CRL 778 (*Lactobacillus plantarum* CRL 778) 具有水解 p31-43 的能力, 其中植物乳杆菌 CRL 778 水解能力最强, 水解百分率可达 78%。

另外, 乳酸菌和来自真菌的脲酶混合进行酸面团发酵也可显著降解麸质蛋白, 也可制备出可供乳糜泻患者食用的食品^[47]。如, De Angelis 等^[47]选用旧金山乳杆菌 7A、LS3、LS10、LS19、LS23、LS38、LS47 (*Lactobacillus sanfranciscensis* 7A、LS3、LS10、LS19、LS23、LS38、LS47), 消化乳杆菌 15M (*Lactobacillus alimentarius* 15M)、短乳杆菌 14G (*Lactobacillus brevis* 14G) 和希氏乳杆菌 51B (*Lactobacillus hilgardii* 51B), 并添加来自真菌米曲霉菌 (*Aspergillus oryzae*) 和黑曲霉菌 (*Aspergillus niger*) 的脲酶混合发酵硬粒小麦粗粉, 可将麸质蛋白含量降至 20ppm (无麸质食品中麸质蛋白的限量标准) 以下, 焙烤出的意大利披萨的感官性质优于常规无麸质披萨。按照上述的发酵方法, Di Cagno^[48]等发酵小麦粉后, 制成甜的焙烤食品。8 名乳糜泻患者每人每天摄入 200g 此焙烤食品 (相当于 10g 麸质蛋白), 进行为期 60d 的麸质蛋白激发实验, 结果证实此发酵方法制成的食品可供乳糜泻患者安全食用。

目前乳糜泻患者最有效的治疗方法就是严格的无麸质饮食。但相对于传统食品, 缺乏麸质蛋白的无麸质食品往往口感较差, 缺乏维生素、矿物质和纤维等营养物质^[49]。酸面团发酵技术的应用不仅可以降解致乳糜泻蛋白表位, 而且可以改善制品的品质, 现已成功地应用于无麸质食品的研制中, 且备受关注。

3 结语

目前, 酸面团发酵技术应用广泛, 尤其在西方

国家。在我国主食以小麦和大米为主,而小麦主要用于制作馒头和面类食品。采用酸面团发酵技术加工小麦,尤其是黑麦、大麦和燕麦等制作出的焙烤产品在我国并不多见,这不仅使大量的非小麦谷物不能得到很好的利用,也使国民的主食过于单一。但随着酸面团发酵技术焙烤出的产品所具有的优势越来越受到公众的认识和认可,我国的研究人员也逐渐开启了对酸面团发酵技术的研究热潮^[50-52]。

酸面团发酵在加工和利用小麦和黑麦等谷物中,一直被认为是不可或缺的生物加工技术。此外,它还可以应用于对燕麦、大麦、大米、玉米和小米等谷物,木薯、藜麦和荞麦等非谷物及苜蓿的发酵中^[53],显著增加焙烤产品和发酵产品的种类。相关研究表明,酸面团中的微生物菌系与人体或动物小肠中的乳酸微生物菌系有很大一部分重叠。因此,可以尝试并开展相关研究将动物肠道中的微生物应用于酸面团发酵技术中。此外,在酸面团发酵过程中还存在一些问题,如酸面团体系不稳定且较难控制,酸面团发酵技术工业化和自动化水平比较低,规模也不够大。针对这些问题,构建稳定的酸面团体系,保障产品品质,以及实现酸面团发酵技术的工业化也将成为目前和未来的研究重点和发展方向。

参考文献

- [1] Corsetti A. Technology of sourdough fermentation and sourdough applications [M]. Place PublishdCORSETTI A: Springer, 2013: 85-103.
- [2] Ganzle M G, Vermeulen N, Vogel R F. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough [J]. Food Microbiol, 2007, 24(2): 128-138.
- [3] Wieseb B G, Strohm W, Rainey F A, et al. *Lactobacillus panis* sp. nov., from sourdough with a long fermentation period [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1996, 46(2): 449-453.
- [4] Decock P, Cappelle S. Bread technology and sourdough technology [J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1): 113-120.
- [5] Katina K, Juvonen R, Laitila A, et al. Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking [J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(2): 126-134.
- [6] Kopeć A, Pysz M, Borczak B, et al. Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54(3): 499-505.
- [7] Rizzello C G, Coda R, Mazzacane F, et al. Micronized by-products from debranned durum wheat and sourdough fermentation enhanced the nutritional, textural and sensory features of bread [J]. Food Research International, 2012, 46(1): 304-313.
- [8] Gobetti M, Rizzello C G, Di Cagno R, et al. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods [J]. Food Microbiology, 2014, 37: 30-40.
- [9] Kariluoto S, Aittamaal M, Korhola M, et al. Effects of yeasts and bacteria on the levels of folates in rye sourdoughs [J]. Int J Food Microbiol, 2006, 106(2): 137-143.
- [10] Gujska E, Michalak J, Klepacka J. Foliates stability in two types of rye breads during processing and frozen storage [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2009, 64(2): 129-134.
- [11] Leenhardt F, Levrat - verny M - A, Chanliaud E, et al. Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(1): 98-102.
- [12] Reale A, Mannina L, Tremonte P, et al. Phytate degradation by lactic acid bacteria and yeasts during the wholemeal dough fermentation: a 31P NMR study [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(20): 6300-6305.
- [13] Korhonen H, Pihlanto A. Bioactive peptides from food proteins [M]. Handbook of Food Products Manufacturing: Health, Meat, Milk, Poultry, Seafood, and Vegetables, YH Hui. John Wiley, 2007: 5-38.
- [14] Coda R, Rizzello C G, Pinto D, et al. Selected lactic acid bacteria synthesize antioxidant peptides during sourdough fermentation of cereal flours [J]. Appl Environ Microbiol, 2012, 78(4): 1087-1096.
- [15] Rizzello C G, Nionelli L, Coda R, et al. Synthesis of the cancer preventive peptide lunasin by lactic acid bacteria during sourdough fermentation [J]. Nutr Cancer, 2012, 64(1): 111-120.
- [16] Inoue K, Shirai T, Ochiai H, et al. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing γ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57(3): 490-495.
- [17] Coda R, Rizzello C G, Pinto D, et al. Selected lactic acid bacteria synthesize antioxidant peptides during sourdough fermentation of cereal flours [J]. Appl Environ Microbiol, 2012, 78(4): 1087-1096.
- [18] Lacaze G, Wick M, Cappelle S. Emerging fermentation technologies: development of novel sourdoughs [J]. Food Microbiology, 2007, 24(2): 155-160.
- [19] Tiekling M, Korakli M, Ehrmann M A, et al. In situ production of exopolysaccharides during Sourdough fermentation by cereal and intestinal isolates of lactic acid bacteria [J]. Appl Environ Microbiol, 2003, 69(2): 945-952.
- [20] Korakli M, Gúnzle M, Vogel R. Metabolism by bifidobacteria and lactic acid bacteria of polysaccharides from wheat and rye, and exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* [J]. J Appl Microbiol, 2002, 92(5): 958-965.
- [21] Schwab C, Mastrangelo M, Corsetti A, et al. Formation of oligosaccharides and polysaccharides by *Lactobacillus reuteri* LTH5448 and *Weissella cibaria* 10M in sorghum sourdoughs [J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(5): 679-684.
- [22] Tiekling M, Korakli M, Ehrmann M A, et al. In situ production of exopolysaccharides during sourdough fermentation by cereal and intestinal isolates of lactic acid bacteria [J]. Appl Environ Microbiol, 2003, 69(2): 945-952.
- [23] Galle S. Sourdough: A Tool to Improve Bread Structure [M].

Place PublishdGALLE S:Springer.2013:217-228.

- [24] Corsetti A, Gobbetti M, DE Marco B, *et al.* Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling[J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48(7):3044-3051.
- [25] Clarke C, Schober T, Arendt E. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality[J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(5):640-647.
- [26] Brandt R M. Bedeutung von Rohwarenkompontenten [J]. *Handbuch Sauerteig*. B. Behr's Verlag, Hamburg, 2006:41-55.
- [27] M A, M N, Knudsen B, *et al.* Changes in dietary fibre, phenolic acids and activity of endogenous enzymes during rye bread-making [J]. *European Food Research and Technology*, 2002, 214(1):33-42.
- [28] Paterson A, Piggott J R. Flavour in sourdough breads: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, 17(10):557-566.
- [29] Spicher G, Rabe E E, Sommer R, *et al.* Communication; on the behaviour of heterofermentative sourdough bacteria and yeasts in mixed culture [J]. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1982, 174:222-227.
- [30] Paterson A, Piggott J R. Flavour in sourdough breads: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, 17(10):557-566.
- [31] Di Cagno R, De Angelis M, Corsetti A, *et al.* Interactions between sourdough lactic acid bacteria and exogenous enzymes: effects on the microbial kinetics of acidification and dough textural properties[J]. *Food Microbiology*, 2003, 20(1):67-75.
- [32] Gobbetti M, Corsetti A. Co-metabolism of citrate and maltose by *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* CBI citrate-negative strain: effect on growth, end-products and sourdough fermentation [J]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1996, 203(1):82-87.
- [33] Hansen Å, Hansen B. Flavour of sourdough wheat bread crumb [J]. *Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und Forschung*, 1996, 202(3):244-249.
- [34] Dal Bello F, Clarke C I, Ryan L A M, *et al.* Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 [J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 45(3):309-318.
- [35] Paul Ross R, Morgan S, Hill C. Preservation and fermentation: past, present and future [J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 79(1):3-16.
- [36] Schaurer J, Magnusson J. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1-3):70-78.
- [37] Gautam N, Sharma. Bacteriocin: safest approach to preserve food products [J]. *Indian J Microbiol*, 2009, 49(3):204-211.
- [38] Gánzle M G. Reutericyclin: biological activity, mode of action, and potential applications [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2004, 64(3):326-332.
- [39] Sabir D A, Sharef P H. Effect of Using Sourdough on the Rheological Properties, Sensory and Shelf Life Stability of Loaf Bread [J]. *Journal of Agricultural science and Technology*, 2013, 3(4):306-312.
- [40] Lappi J, Selinheimo E, Schwab C U, *et al.* Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(1):152-158.
- [41] Novotni D, Curic D, Bituh M, *et al.* Glycemic index and phenolics of partially-baked frozen bread with sourdough [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2011, 62(1):26-33.
- [42] Solomon T, Blannin A. Effects of short-term cinnamon ingestion on *in vivo* glucose tolerance [J]. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 2007, 9(6):895-901.
- [43] De Angells M, Rizzello C G, Alfonsi G, *et al.* Use of sourdough lactobacilli and oat fibre to decrease the glycaemic index of white wheat bread [J]. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98(6):1196-1205.
- [44] Di Cagno R, De Angelis M, Lavermicocca P, *et al.* Proteolysis by Sourdough Lactic Acid Bacteria; Effects on Wheat Flour Protein Fractions and Gliadin Peptides Involved in Human Cereal Intolerance [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2002, 68(2):623-633.
- [45] Di Cagno R, De Angelis M, Auricchio S, *et al.* Sourdough Bread Made from Wheat and Nontoxic Flours and Started with Selected Lactobacilli Is Tolerated in Celiac Sprue Patients [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2004, 70(2):1088-1096.
- [46] Roll N G, De Angelis M, Gobbetti M, *et al.* Proteolytic activity and reduction of gliadin-like fractions by sourdough lactobacilli [J]. *J Appl Microbiol*, 2005, 99(6):1495-1502.
- [47] De Angelis M, Cassone A, Rizzello C G, *et al.* Mechanism of degradation of immunogenic gluten epitopes from *Triticum turgidum* L. var. *durum* by sourdough lactobacilli and fungal proteases [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2010, 76(2):508-518.
- [48] Di Cagno R, Barbato M, DI Camillo C, *et al.* Gluten-free sourdough wheat baked goods appear safe for young celiac patients: a pilot study [J]. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 2010, 51(6):777-783.
- [49] Zannini E, Pontonio E, Waters D M, *et al.* Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2012, 93(2):473-485.
- [50] 何玉珍. 酸面团面包的品质研究 [J]. *中国食品工业*, 2007(8):72-74.
- [51] 刘若诗, 万晶晶, 黄卫宁, 等. 冻干酸面团发酵剂对发酵面团及面包香气的影响 [J]. *食品科学*, 2011(8):11-15.
- [52] 彭微, 杨雪娟, 张军, 等. 类食品乳杆菌 412 发酵酸面团中风味物质分析 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14):126-130.
- [53] Vogelmann S A, Seitter R M, Singer U, *et al.* Adaptability of lactic acid bacteria and yeasts to sourdoughs prepared from cereals, pseudocereals and cassava and use of competitive strains as starters [J]. *Int J Food Microbiol*, 2009, 130(3):205-212.