齐鲁工业大学学报 第40卷 第5期 2026年10月出版
JOURNAL OF QILU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Vol.40 No.5 Oct.2026
DOI:10.16442/j.cnki.qlgydxxb.2026.05.004 【食品与生物工程】

发酵型杂粮煎饼中微生物菌群结构解析及其工艺控制研究进展

林张耀[1],傅茂润[1,2*],黄艳红[2,3],何克成[4],曲 颖[4],何树国[4]
1.齐鲁工业大学(山东省科学院)食品科学与工程学院,山东 济南 250353;
2.山东省健康食品资源挖掘与创制重点实验室,山东 济南 250353;
3.山东省食品发酵工业研究设计院,山东 济南 250013;
4.九品贡(山东)食品有限公司,山东 泰安 271504

摘要:发酵型杂粮煎饼作为一种传统食品,因其风味独特、营养丰富和健康益处而备受青睐,其品质核心在于发酵过程中复杂的微生物菌群活动。本文系统综述了发酵型杂粮煎饼中的主要微生物菌群,包括以*Lactobacillus*(乳酸菌)和*Pediococcus*(片球菌)为主的乳酸菌(LAB),和以*Saccharomyces*(酵母菌)和*Candida*(假丝酵母)为核心组成的酵母菌。重点阐述这些微生物在自然发酵过程中的动态演替规律:初期由肠杆菌科和霉菌等好氧微生物主导,中期乳酸菌迅速成为绝对优势菌群,后期酵母菌和耐酸乳酸菌共同作用。本文还深入探讨了温度、时间、pH、原料配比等关键工艺参数对微生物群落及最终产品品质的影响。最后,对基于微生物组学技术的菌种选育、定向发酵控制、功能性产品开发及智能化生产等未来发展趋势进行了展望,旨在为发酵型杂粮煎饼的工业化、标准化和高品质化发展提供理论参考。

关键词:发酵型杂粮煎饼;微生物菌群;菌落动态变化;发酵工艺;标准化生产
中图分类号:Q819 **文献标志码**:A **文章编号**:2097-2792(2026)05-32-07

Research progress on microbial community structure analysis and process control in fermented coarse cereal pancakes

LIN Zhangyao[1],FU Maorun[1,2*],HUANG Yanhong[2,3],HE Kecheng[4],QU Ying[4],HE Shuguo[4]
1.College of Food Science and Engineering,Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences),Jinan 250353,China;
2.Shandong Key Laboratory of Healthy Food Resources Exploration and Creation,Jinan 250353,China;
3.Shandong Food Ferment Industry Research and Design Institute,Jinan 250013,China;
4.Jiupingong (Shandong) Food Co.,Ltd.Taian 271504,China

Abstract:Fermented multigrain pancakes, as a traditional food, are highly favored for their unique flavor, rich nutrition and health benefits.The core of their quality lies in the complex microbial community activities during the fermentation process.This article systematically reviews the main microbial flora in fermented multigrain pancakes, including *Lactobacillus* and *Pediococcus* as the main lactic acid bacteria,and *Saccharomyces* and *Candida* as the core yeast.The dynamic succession rules of these microorganisms during the natural fermentation process were elaborated in detail:in the early stage,aerobic microorganisms such as Enterobacteriaceae and molds dominated;in the middle stage,lactic acid bacteria rapidly became the absolute dominant bacterial group;in the later stage,yeast and acid-resistant lactic acid bacteria worked together. This article also delves deeply into the influence of key process parameters such as temperature,time,pH,and raw material ratio on the microbial community and the quality of the final product.Finally, the future development trends such as strain selection and breeding based on microbiomic

收稿日期:2025-10-25 **网络出版时间**:2026-10-31
基金项目:山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目、齐鲁工业大学(山东省科学院)科教产融合试点工程重大创新类项目(2025ZDZX15-02)
作者简介:林张耀,硕士生,研究方向:食品加工
* **通信作者**:傅茂润,博士、教授;研究方向:农产品加工与贮藏;skyfmr@163.com

technology, directional fermentation control, functional product development and intelligent production were prospected, aiming to provide theoretical references for the industrialization, standardization and high-quality development of fermented multigrain pancakes.

Key words: fermented multigrain pancake; microbial flora; dynamic changes of colonies; fermentation process; standardized production

杂粮煎饼是北方地区的传统主食，其中发酵型制品以玉米、小米、高粱、荞麦及豆类等多种谷物为原料，经混合、发酵、摊制等工序加工而成。相较于未发酵的煎饼，发酵不仅使其具有独特酸香风味与疏松口感，还能通过微生物代谢降低原料中的植酸等抗营养因子，提升蛋白质与微量元素的生物利用度，并可能生成益生元与活性肽类等功能性成分[1-2]。

传统发酵过程多依赖自然环境中的微生物（如自然发酵或面团发酵），导致产品品质波动较大，难以实现稳定与标准化生产。现有研究多集中于工艺改进与成品品质分析，而对发酵过程中起关键作用的微生物菌群缺乏系统深入的研究。近年微生物组学研究取得系列突破性进展：宏基因组学与宏基因组组装基因组（MAGs）技术的应用，已成功解析印度传统谷物发酵食品 Jalebi 等类似体系的微生物组成，发现 *Lapidilactobacillus dextrinicus*、肠球菌等优势菌株携带 CRISPR-Cas 基因簇及多种功能基因，为杂粮煎饼核心菌群挖掘提供了技术支撑[3]；高通量测序与代谢组学联合分析揭示，谷物原料种类是驱动发酵菌群分化的关键因素，类似酸面团的研究证实，酵母菌属（如 *Kazachstania*）在不同杂粮基质中均保持优势，而细菌群落组成则随谷物营养成分差异显著变化，这一发现为杂粮配方优化提供了微生物层面的理论依据[4]。同时，自然发酵体系的安全性隐患也通过微生物组研究得到更清晰的阐释，传统工艺中潜在的腐败菌（如克雷伯氏菌、肠杆菌）与致病微生物不仅导致品质波动，其代谢产物还可能增加食品安全风险，而近年筛选的枯草芽孢杆菌（*Bacillus velezensis*）等功能菌株，已被证实可高效降解农药残留等污染物，为发酵体系安全强化提供了新路径[5]。由于自然发酵所依赖的微生物来源复杂、菌群结构不稳定，易造成不同批次产品品质差异显著，甚至带来潜在的食品安全风险[6-7]。因此，明确发酵过程中的核心微生物组成、揭示其动态变化规律，并在此基础上实现发酵工艺的精准调控，对提高产品一致性、保障食品安全及推动产业技术升级具有重要意义。

本研究系统分析发酵型杂粮煎饼中微生物菌群的组成与功能，探讨菌群结构与工艺参数之间的相互作用，阐述通过工艺调控优化微生物组成的可能途径，并对该领域未来的研究方向进行展望，以期为相关理论发展和技术应用提供参考。

1　发酵型杂粮煎饼中的微生物菌群多样性

发酵型杂粮煎饼的微生物菌群主要来源于原料（杂粮粉）、生产环境（设备、空气）以及添加的发酵剂（如老面、酸浆水或商业发酵剂）。其菌群结构是一个动态演替的生态系统，以细菌和真菌为主，其中乳酸菌和酵母菌占据绝对主导地位[8-9]。图 1 展示了发酵型杂粮煎饼核心微生物菌群及其功能关系。

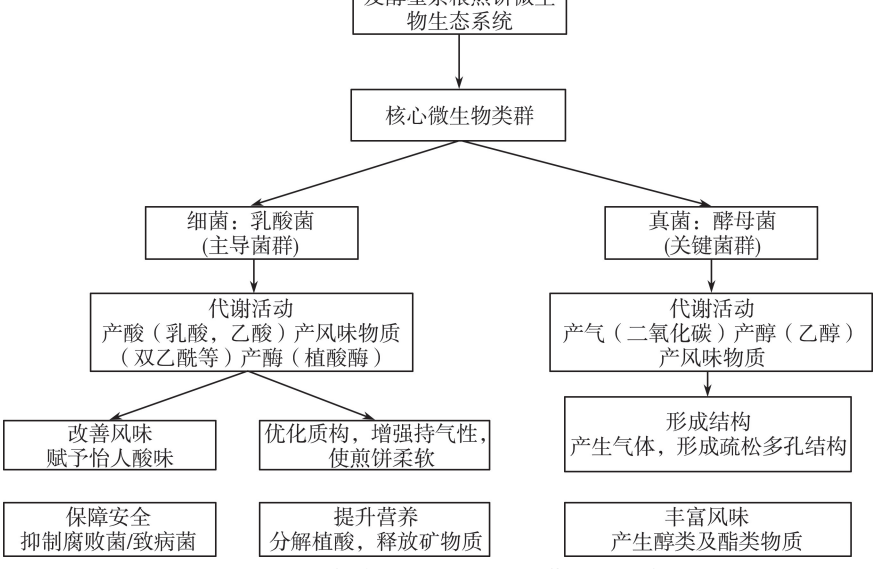


图 1　发酵型杂粮煎饼核心微生物菌群及其功能

1.1 核心细菌菌群:乳酸菌

乳酸菌在发酵过程中发挥着主导作用,其数量与多样性对产品的酸度和风味具有关键影响。高通量测序结果显示,发酵体系中的优势菌属主要包括乳酸杆菌属(如植物乳杆菌、干酪乳杆菌、发酵乳杆菌)、片球菌属(如戊糖片球菌)以及明串珠菌属等[10]。

乳酸菌代谢碳水化合物,进行同型或异型发酵,生成大量乳酸及少量乙酸,使面团 pH 从初始约 6.0 下降至 4.0 以下。这一变化不仅带来宜人的酸味,更重要的是形成了酸性环境,抑制腐败菌与致病菌生长,增强了产品的安全性。同时,pH 下降促使面筋蛋白(即便在杂粮中含量有限)发生结构变化,提升面团持气性,改善煎饼质构,使其更加柔软、富有弹性。此外,许多乳酸菌可分泌植酸酶,分解杂粮中的植酸,提高钙、锌、磷等矿物质的生物有效性。乳酸菌还能代谢产生双乙酰、乙醛等风味物质,共同构成煎饼特有的风味基础[11-13]。

1.2 核心真菌菌群:酵母菌

酵母菌与乳酸菌共生,是影响产品体积和风味的另一关键微生物类群。主要属种包括酵母属(*Saccharomyces cerevisiae*)和假丝酵母属(*Candida* spp.)等[14-15]。酵母菌在代谢过程中会消耗糖类,通过有氧呼吸和无氧发酵产生大量二氧化碳和乙醇。其中,二氧化碳气体能够被面筋与淀粉形成的网络结构所捕获,促使面团体积膨大,最终使煎饼内部形成疏松多孔的蜂窝状质构。酵母菌产生的乙醇可与乳酸菌代谢产生的有机酸发生酯化反应,生成乙酸乙酯等具有果香味的酯类物质,丰富风味的层次感。同时,酵母菌自身的代谢产物也是风味的重要组成部分[16-17]。

1.3 菌群互作关系

乳酸菌、酵母菌与杂粮间的协同作用如图 2 所示。在发酵过程中,乳酸菌和酵母菌并非独立作用,而是存在着复杂的互作关系,主要表现为共生关系。酵母菌分解糖类产生的中间代谢产物和氨基酸,可刺激乳酸菌的生长;而乳酸菌产酸降低 pH,为酵母菌创造了更适宜的生长环境(抑制细菌竞争),同时其代谢产生的肽和氨基酸也是酵母菌所需的氮源。这种互利共生是自然发酵成功的关键。同时二者也会竞争有限的碳源(糖类)和氮源。在发酵后期,pH 过低或营养耗尽可能会抑制酵母菌的活性。此外,原料中的酶系(如淀粉酶、蛋白酶)以及其它微量微生物(如醋酸菌)也参与了这个复杂的生态系统,共同塑造了最终产品的特性[18]。

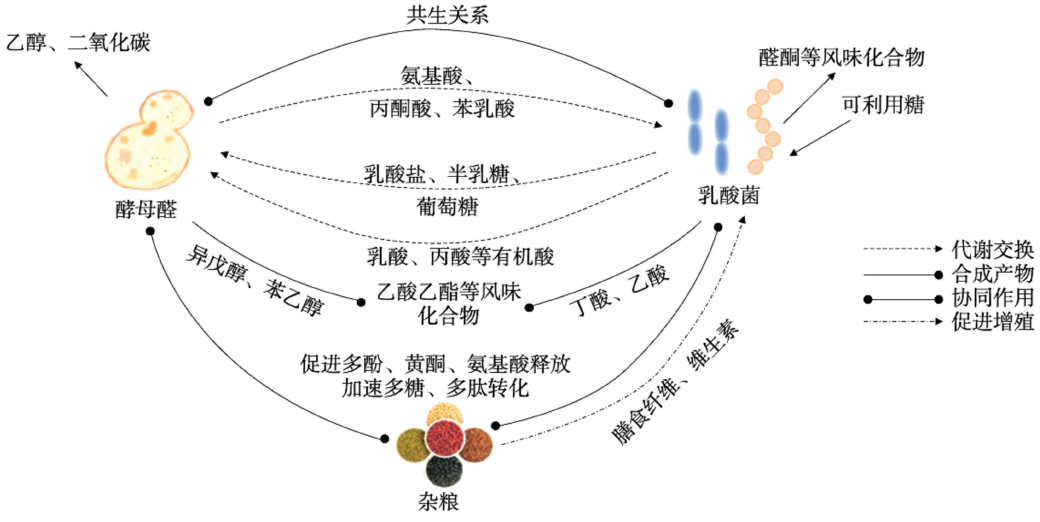


图 2 乳酸菌、酵母菌与杂粮的协同作用[19]

2 发酵过程中微生物菌群的动态变化

自然发酵是一个微生物群落连续演替的动态过程(表 1),通常可分为 3 个阶段:初始阶段(0~6 h):好氧和兼性厌氧微生物共同生长。肠杆菌科细菌和霉菌等利用可溶性糖快速繁殖,并消耗氧气。此阶段 pH 下降缓慢;主发酵阶段(>6~24 h):随着氧气耗尽和酸度初步积累,乳酸菌(特别是同型发酵乳酸菌)开始占据绝对主导地位,迅速产酸,pH 急剧下降(可降至 4.0 以下)。酵母菌数量也在此阶段达到峰值。肠杆菌科

等不耐酸菌群被显著抑制;稳定与成熟阶段(24 h 以后):体系进入厌氧和酸性环境,由耐酸性的异型发酵乳酸菌和酵母菌维持活动[20-21]。风味物质(如酯类)的合成在此阶段更为活跃,风味趋于醇和、复杂。微生物总量趋于稳定或略有下降。

表 1　发酵过程中微生物菌群的动态变化

阶段划分	时间范围/h	主要微生物活动	环境与化学变化	结果与特征
初始阶段	0~6	肠杆菌科细菌、霉菌等好氧和兼性厌氧菌活跃;利用可溶性糖快速繁殖	氧气被快速消耗;pH 下降缓慢	为后续的厌氧和酸性环境创造条件
主发酵阶段	>6~24	乳酸菌占据绝对主导,快速产酸;酵母菌数量达到峰值	氧气耗尽,酸度初步积累;pH 急剧下降	肠杆菌科等不耐酸菌群被显著抑制;形成主要的酸性环境
稳定与成熟阶段	>24	耐酸性的异型发酵乳酸菌和酵母菌维持活动	体系保持稳定的厌氧和酸性环境	风味物质合成活跃,风味趋于醇和、复杂;微生物总量趋于稳定

3　工艺控制对微生物菌群及产品品质的影响

工艺参数是调控微生物菌群结构和代谢活动的“指挥棒”,直接决定了发酵的进程和产品的最终品质。

3.1　原料配比

原料是微生物生长的基础,其成分差异直接影响发酵过程中菌群的选择与富集。不同杂粮(如玉米、小米、高粱、荞麦及豆类)在淀粉组成、蛋白质结构与膳食纤维含量等方面存在明显不同。以豆粉为例,其较高的蛋白质含量可能促进某些蛋白水解菌的生长[22];而原料中较多的膳食纤维可能通过吸附水分与营养物质,在一定程度上减缓发酵进程。因此,通过调整并优化杂粮配比,可为目标功能菌群创造更适宜的营养环境。

此外,在原料中添加适量高筋小麦粉有助于在面团中形成面筋网络结构,这对保持气体、形成煎饼的理想质构具有重要作用[23]。面筋本身虽非微生物的直接营养来源,但其形成的物理结构能够影响面团中水分的分布与营养物质的扩散效率,从而间接调控微生物所处的微环境条件[24]。

水分活度(A_w)是控制微生物生长的重要因素[25]。加水量影响面团的黏稠度和流动性,进而影响氧气和营养物质的传递。水分过高,面团过软,利于兼性厌氧的乳酸菌生长;水分过低,则会抑制所有微生物的活性。

3.2　发酵工艺参数

发酵工艺参数是调控微生物代谢的关键。温度是影响微生物生长与代谢的重要因素。如表 2 所示,在不同温度下,微生物的生长活性、产酸产气速率和菌群结构会发生明显变化。较低的发酵温度(25~30 ℃)有利于乳酸菌较快产酸,形成明显的酸味,但产气速率相对较慢,发酵时间较长;30~37 ℃是多数乳酸菌和酵母菌的适宜温度,此时酸、气产生较为均衡,常作为生产中的标准温度[27];若温度超过 37 ℃,可能仅适合部分嗜热乳酸菌生长,会抑制酵母菌的代谢活性,导致产品酸度过高而膨松度不足。可见,温度不仅影响菌群数量,还会引起菌群结构的显著演替。

发酵时间则直接关系代谢产物的积累程度。时间过短,产酸、产气不足,煎饼风味平淡、体积小、质地密实;时间过长则会导致酸度过高,口感过酸,同时酵母因营养消耗和 pH 下降而活性衰退,产气能力降低,甚至引起煎饼塌陷或产生不良风味。因此,确定最佳发酵终点(通常以 pH 或滴定酸度作为监测指标)十分重要。此外,发酵初始 pH 可通过添加酸性或碱性物质进行调节,以引导微生物群落的演替方向。较低的初始 pH 有利于抑制杂菌,促进乳酸菌的快速生长和优势形成[28]。

表 2　根据发酵温度和酵母浓度,面团发酵高度达到 8 cm 的时间[26]

发酵温度/℃	酵母浓度/(g·kg^{-1})		
	20	40	60
5	21 h	3 h+50 min	3 h
15	3 h	1 h	35 min
35	50 min	25 min	15 min

不同加水量对煎饼质构的影响如表 3 所示。当加水时量越大面糊中水分更充足,流动性越强,添加更大量的水使得面糊更快糊化,糊化使硬度增加的同时弹性随之降低,从而使硬度在水添加质量分数 140%条件下达到峰值开始下降[29]。咀嚼性的变化趋势也相同,同样是增长到一个峰值随后便降低,这是由于起始加水量相对较低,导致面糊比较黏稠,流动性较差、面糊糊化过慢,从而得到较为软糯的煎饼;当加水量过高时,由于糊化过快弹性较低,得到硬度更低的煎饼。除加水量 100%条件下,弹性均无明显差异。结合感官评价得出加水量为 120%~160%时为响应面最优条件。

表 3 不同加水量对煎饼质构的影响[30]

加水量/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ
100	2.54± 0.41^{a}	1.10± 0.18^{a}	2.11± 0.39^{e}
120	4.16± 0.83^{b}	0.91± 0.07^{b}	2.79± 0.54^{c}
140	6.73± 1.10^{ab}	0.91± 0.12^{b}	4.04± 0.50^{a}
160	4.54± 0.92^{ab}	0.95± 0.17^{ab}	2.99± 0.41^{b}
180	3.66± 0.66^{b}	0.92± 0.18^{b}	2.33± 0.47^{d}

注:不同小写字母表示同一处理组不同差异显著。

3.3 发酵剂类型(接种方式)

如图 3 所示,根据引入微生物的方式,可分为自然发酵和接种发酵。自然发酵是依赖原料和环境中的土著微生物[31]。优点是可能形成复杂独特的地域性风味;缺点是菌群不稳定,易受环境波动影响,发酵结果不可预测,且存在被致病菌或产毒菌株污染的风险(如金黄色葡萄球菌、霉菌污染)。

接种发酵主要有两种方式:使用传统发酵剂或商业定向发酵剂。传统发酵剂如“老面”或“酸浆水”,含有较为稳定的复合菌群,但仍存在一定的批次差异。商业定向发酵剂则是实现规模化、标准化生产的关键,其通过对特定功能菌株(如高产酸、具风味合成能力、耐酸或含植酸酶活性的乳酸菌与酵母菌)进行筛选与复配而成。这种方式能迅速启动发酵,使目标菌群占据主导,有效抑制杂菌生长,提升产品安全性;同时能够精确控制发酵过程与终产品品质,确保不同批次间的一致性;此外,还可通过添加具有特定功能的菌株(如产胞外多糖菌种改善持水性,或引入益生菌增强健康功效)来定向优化产品特性。

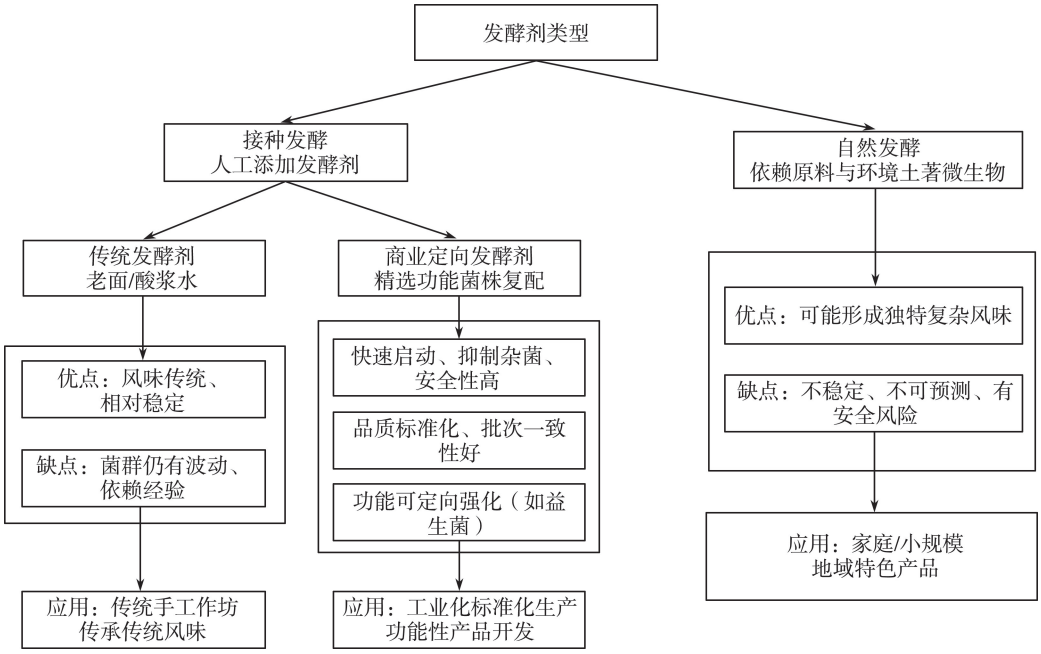


图 3 发酵型杂粮煎饼的发酵剂分类及其特征[32]

3.4 烹饪工艺

煎烙过程是微生物活动的终结,但烹饪参数直接影响最终品质。适宜的锅温(通常 170~190 ℃)能使煎饼表面迅速发生美拉德反应和焦糖化反应,形成金黄色泽和诱人香气,内部淀粉充分糊化、蛋白质变性凝固,固定住多孔结构。温度过低会导致煎饼湿黏、不易熟;温度过高则易外焦里生。煎烙时的油量、锅体材质和受热均匀性也会影响煎饼的质构和风味[33]。

3.5　感官评价标准

感官评价是通过人的味觉、触觉、视觉、嗅觉和听觉对食品与其他物质相互作用进行评价的指标。由于煎饼中化学物质丰富,相互作用机理尚不明确,感官评价能很好地解释某一感官品质的总体状况。

刘靖彦等[34]选择 10 位食品从业人员组成评判小组,建立了煎饼的感官评价方法,并在 25 ℃恒温实验室内对煎饼进行样品测评。评判小组人员在试验前 12 h 未饮酒、未抽烟、未食麻辣刺激性食物;评判小组人员单独进行评定,不进行商议;测试完一个样品后,以纯净水漱口,3 min 后进行下一个样品测试。感官评分标准见表 4。

表 4　煎饼感官评价标准

因素和赋分		标准	分值
外观	完整度(20 分)	质地细腻、光滑,完整性好	16~20
		质地较细腻,有气孔,完整性较好	10~14
		有明显气孔,易碎	4~8
	颜色(10 分)	颜色饱满、干净	8~10
		颜色略单一、较暗淡	5~7
		颜色暗淡、灰白	2~4
	光泽(10 分)	有明显光泽	8~10
		稍有光泽	5~7
		无光泽	2~4
风味	味道(20 分)	口味香甜、有回味	13~20
		略有淀粉味	8~12
		有淀粉味、口味单一	1~7
	香气(10 分)	香味浓郁、清晰	8~10
		略有香味	5~7
		无香味	2~4
口感	黏性(10 分)	细腻清爽、不粘牙	8~10
		有黏性、基本不粘牙	5~7
		松软、粘牙	2~4
	硬度(10 分)	硬度适中、松软	8~10
		口感较生硬	5~7
		口感生硬、易碎	2~4
	韧性(10 分)	有嚼劲	8~10
		嚼劲稍差	5~7
		口感疏松、较软	2~4
总分			100

4　结论与展望

发酵型杂粮煎饼的品质受微生物菌群活动的直接影响。乳酸菌与酵母菌作为核心菌群,通过代谢过程产生酸类、气体,分解抗营养因子并形成风味物质,从而塑造了产品在口感、质地和营养等方面的特征。原料组成、温度、时间、pH 及接种方式等工艺条件,均会调控菌群结构及其代谢活性,进而影响最终产品的综合品质。传统自然发酵虽然有助于形成独特风味,但其可控性较弱。今后的研究应借助微生物生态学与多组学技术,进一步揭示发酵过程中菌群间的相互作用机制,并以此为基础,开发高效、稳定且具备多重功能的定向复合发酵剂。融合传统工艺经验与现代食品生物技术、智能化控制手段,实现发酵过程的精准管理,是推动该产品实现标准化、工业化与品质提升的关键路径,也对传统食品的现代化转型与消费升级具有积极意义。

参考文献：

[1] 樊月，刘伟，徐芬，等.不同种类山东煎饼特征风味成分差异分析[J].食品科学，2020，41(12)：173-179.
[2] 马燕芹，孙成洋，时东倩，等.山东楼德煎饼产业现状及发展对策[J].农村经济与科技，2014，25(10)：113-114.
[3] Stoica C. Lactobacillus (Lapidilactobacillus) dextrinicus [EB/OL]. https://www.tgw1916.net/Lactobacillus/dextrinicus.html，2025-11-14.
[4] Heil C，Schwarzkopf E，et al.Flour Choice Shapes Sourdough Microbial Communities [J].Microbiology Spectrum，2025：1-9.
[5] Longdom Publishing S L.Characterization of Lactic Acid Bacteria Found in Fermented Cereal Products [EB/OL].https://www.longdom.org/open-access/characterization-of-lactic-acid-bacteria-found-in-fermented-cereal-products-1100428.html，2025-08-23
[6] 唐明礼，王勃，刘贺，等.煎饼发酵面糊中优势菌种的筛选与鉴定[J].食品科学，2015，36(17)：207-211.
[7] 乔沈.传统发酵食品的安全性研究进展探索[J].中国食品，2021(9)：130-131.
[8] 胡丽花.传统主食馒头发酵剂微生物的筛选及对馒头品质的影响[D].郑州：河南工业大学，2010.
[9] Lu Yingjian，Memon A，Fuerst P，et al.Changes in the phenolic acids composition during pancake preparation：Whole and refined grain flour and processed food classification by UV and NIR spectral fingerprinting method—Proof of concept[J].Journal of Food Composition and Analysis，2017，60：10-16.
[10] Assocle M S，Okidi L，Ongeng D.The effect of rosemary，ginger，or garlic on microbial shelf life and sensory acceptability of nutritionally enriched cassava-based pancake (Kabalagala)[J].Applied Food Research，2024，4(1)：100384.
[11] 王琪，薛润泽，彭佳伟，等.乳酸菌发酵藜麦和燕麦工艺优化及抗氧化活性研究[J].中国调味品，2025，50(9)：18-28.
[12] 刘海龙，张卿，王家枢，等.乳酸菌发酵型枸杞果酱的研制及贮藏品质分析[J].中国调味品，2025，50(9)：102-109.
[13] 刘海平，文兴金，张云飞，等.添加乳酸菌对玉米大豆混合青贮品质和微生物的影响[J].四川农业大学学报，2025，43(4)：1003-1010.
[14] 高天佩.酵母发酵多谷物煎饼工艺研究及品质评价[D].长春：吉林农业大学，2018.
[15] 唐明礼，王勃，刘贺，等.煎饼发酵面糊中酵母菌的鉴定及保护剂配方的优化[J].食品工业科技，2015，36(18)：219-223.
[16] 陈迪，徐言平，白良琛，等.传统酸面团中微生物种类及其对发酵馒头风味特性影响的研究进展[J].河南工业大学学报(自然科学版)，2026，47(1)：121-129.
[17] 刘海平，文兴金，张云飞，等.添加乳酸菌对玉米大豆混合青贮品质和微生物的影响[J].四川农业大学学报，2025，43(4)：1003-1010.
[18] 吴鹏，沈伊亮，陈清婵，等.传统米发糕发酵剂中乳酸菌和酵母菌的分离鉴定[J].食品科学，2009，30(13)：171-173.
[19] 杨欢，刘敬科，李朋亮，等.乳酸菌协同酵母菌发酵杂粮面包降糖效果研究进展[J].食品与机械，2024，40(11)：211-218.
[20] 虞昕磊，袁跃斌，李志豪，等.发酵过程中茄衣烟叶表面微生物群落结构及主要代谢物的相关变化规律[J].中南农业科技，2025，46(8)：87-93.
[21] 李佳芯，练银银，宋佳佳，等.酵母菌与乳酸菌协同发酵对酸菜品质和风味的影响[J].食品与发酵工业，2026，52(7)：201-209.
[22] 兰海龙.荞麦系列食品生产工艺研究[D].西安：陕西科技大学，2014.
[23] 邢鐳桢.小米煎饼的配方工艺优化及品质改良研究[D].邯郸：河北工程大学，2023.
[24] Rakmai J，Haruthaithanasan V，Chompreeda P，et al.Development of gluten-free and low glycemic index rice pancake：Impact of dietary fiber and low-calorie sweeteners on texture profile，sensory properties，and glycemic index[J].Food Hydrocolloids for Health，2021，1：100034.
[25] 刘靖彦.马铃薯煎饼加工技术研究[D].北京：中国农业机械化科学研究院，2022.
[26] 侯红雁，申晨，霍文婕，等.同型发酵乳杆菌对低水分紫花苜蓿青贮发酵品质及体外消化率的影响[J].草地学报，2021，29(4)：835-841.
[27] Birch A N，Petersen M A，Hansen Å S.The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature[J].LWT-Food Science and Technology，2013，50(2)：480-488.
[28] Ma Fengyun，Lee Y Y，Park E，et al.Influences of hydrothermal and pressure treatments of wheat bran on the quality and sensory attributes of whole wheat Chinese steamed bread and pancakes[J].Journal of Cereal Science，2021，102：103356.
[29] Kumar P K，Parhi A，Sablani S S.Development of high-fiber and sugar-free frozen pancakes：Influence of state and phase transitions on the instrumental textural quality of pancakes during storage[J].LWT，2021，146：111454.
[30] 邢鐳桢，刘敬科，张晓頔，等.响应面法优化小米煎饼加工工艺研究[J].农产品加工，2025(2)：51-56.
[31] 刘洁.不同发酵剂对全麦面包质构及风味的影响分析[J].黑龙江粮食，2025(6)：69-71.
[32] 王诚，孔德玲，唐敏学，等.复合微生物发酵菌剂改善煎饼品质的研究[J].食品工业，2024，45(10)：95-97.
[33] 王平平，杨芙莲.响应面法优化甜荞麦超微粉煎饼的工艺配方[J].粮油食品科技，2018，26(6)：7-13.
[34] 刘靖彦，杜志龙，张小燕，等.煎饼加工技术研究现状及展望[J].农业工程，2022，12(6)：78-83.

(责任编辑：王亚宾；校　对：孙洪清)