

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.02.008

杨海莺, 卢玉, 张春强, 等. 传统食品源乳酸菌对酸面团面包风味的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(2): 65-73.

YANG H Y, LU Y, ZHANG C Q, et al. Effect of lactic acid bacteria in traditional foods on the flavor of sourdough bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(2): 65-73.

传统食品源乳酸菌对酸面团 面包风味的影响

杨海莺^{1,2}, 卢玉¹, 张春强³, 姚倩儒¹, 李佳璞⁴, 牛兴和^{1,2}, 李慧^{1,2}✉

- 中粮营养健康研究院有限公司, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209;
- 南京财经大学 食品科学与工程学院/江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023;
- 中粮麦芽(大连)有限公司, 辽宁 大连 116200;
- 北京农学院, 北京 100020)

摘要: 乳酸菌在酸面团制作中扮演着重要角色, 对其风味等品质有显著影响。不同种类的乳酸菌在性能上存在差异, 为了选育特色酸面团用乳酸菌发酵剂, 开发差异化酸面团面包, 本研究对来自不同种类传统发酵食品中的乳酸菌, 进行糖代谢能力、产有机酸能力及风味特征评估, 并验证其对酸面团和面包风味的影响。结果显示, 有6株乳酸菌具有较强的糖代谢能力和产酸性能, 风味特征优良。其产生的挥发性风味物质主要包括醇类、酯类、酮类、醛类、酸类和其他类化合物。其中有2株植物乳杆菌可为酸面团面包贡献酸味、果味和酒酿味等特殊风味。这些筛选出的菌株为开发具有特征性香气成分的酸面团发酵剂提供了资源, 具有工业应用潜力。

关键词: 乳酸菌; 酸面团; 风味物质; 糖代谢能力; 产有机酸能力; 面包

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)02-0065-09

网络首发时间: 2024-03-09 18:04:08

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240308.1036.002>

Effect of Lactic Acid Bacteria in Traditional Foods on the Flavor of Sourdough Bread

YANG Hai-ying^{1,2}, LU Yu¹, ZHANG Chun-qiang³, YAO Qian-ru¹, LI Jia-pu⁴, NIU Xing-he^{1,2}, LI Hui^{1,2}✉

- Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition & Food, Beijing Key Laboratory of Nutrition, Health & Food Safety, Beijing 102209, China;
- College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics/Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China;
- COFCO Malt (Dalian) Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116200, China;
- Beijing University of Agriculture, Beijing 100020, China)

收稿日期: 2023-09-05

基金项目: 国家重点研发计划课题(2022YFF1100502)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2022YFF1100502)

作者简介: 杨海莺, 女, 1982年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为食品科学与农产品加工。E-mail: yanghaiying@cofco.com

通讯作者: 李慧, 女, 1972年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为粮食发酵和食品安全。E-mail: lhui@cofco.com

Abstract: Lactic acid bacteria (LAB) plays an important role in the production of sourdough, and has a significant impact on its flavor and other qualities. In order to select LAB starter culture for specialty sourdough and develop differentiated sour dough bread, this study evaluated the glucose metabolism capacity, organic acid production capacity and flavor characteristics of LAB strains isolated from different kinds of traditional fermented foods, and their effects on the flavor of sourdough and bread were also verified. The results showed that there were 6 LAB strains with strong glucose metabolism and acid production performance, and excellent flavor characteristics. The volatile flavor substances produced by these strains were mainly composed of alcohols, esters, ketones, aldehydes, acids, and other compounds. Among them, two *Lactobacillus plantarum* strains might be the main contributors of special flavors such as sourness, fruitiness and rice wine flavor to sourdough bread. These obtained strains provide resources for the development of sourdough starter culture with characteristic aroma components, and have potential for industrial application.

Key words: Lactic acid bacteria; sourdough; flavor substances; sugar metabolism; organic acid production; bread

酸面团由乳酸菌和酵母等菌株混合发酵制成，能够改善面制品的质构品质^[1]，提升产品风味^[2]。迄今为止，从面包中检测到的风味物质超过 36%是在酸面团及其制品中发现的^[3]。乳酸菌是酸面团体系中的优势菌株，通过代谢碳源生成有机酸，与发酵面团中的酯类、醛类等挥发性物质相互作用，从而呈现出丰富的特色风味^[4]。目前从酸面团中已鉴定出植物乳杆菌、发酵乳杆菌等 70 余种乳酸菌^[5]。不同来源的菌株产酸、产香能力差异非常大，异型发酵乳酸菌（短乳杆菌，面包乳杆菌等）主要产乙酸、乙醇和酯类等；而同型发酵乳酸菌（瑞士乳杆菌、干酪乳杆菌等）主要产酮类^[6]，因此乳酸菌株在工业应用前必须进行发酵、产酸、产香等性能评价，以保证菌株的性能优良和稳定。含有乳酸菌的发酵食品种类非常丰富，有谷物、乳类、酒精饮料、蔬菜、肉类等^[7]，从不同传统发酵资源收集特色菌株，可丰富用于面团发酵的乳酸菌菌种资源。

本研究采用分离自中国不同种类本土特色发酵食品的乳酸菌株，使用高效液相色谱法评估其糖代谢能力及有机酸产生能力，结合感官评价和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术分析其风味特征，并进一步探究不同乳酸菌对酸面团、面包感官品质的影响，以期筛选出性能优良的乳酸菌，为开发品质良好、风味独特的特色面种和面包提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验室保藏乳酸菌：分离纯化自老面、乳制品、发酵饮料、泡菜，其信息如表 1 所示。麦芽：中粮麦芽（大连）有限公司；葡萄糖、果糖、蔗糖、乳酸、乙酸、琥珀酸、苹果酸（均为分析纯）：上海源叶公司；1,2,3-三氯丙烷（色谱纯）：北京曼哈格公司；正构烷烃（色谱纯）：上海安谱公司。高筋面粉、黄油、白砂糖、食盐、商业酵母：市售。

表 1 乳酸菌来源及种类信息
 Table 1 Information on the source and type of lactic acid bacteria

菌株编号	菌株种类	来源	菌株编号	菌株种类	来源
L150	植物乳杆菌	老面	L163	植物乳杆菌	酥油
L199	植物乳杆菌	泡菜	L157	鼠李糖乳杆菌	老面
L164	植物乳杆菌	奶豆腐	L198	植物乳杆菌	泡菜
L195	植物乳杆菌	泡菜	L202	植物乳杆菌	饮料
L196	植物乳杆菌	泡菜	L161	发酵乳杆菌	奶碎
L158	副干酪乳杆菌	老面	L201	植物乳杆菌	泡菜
L165	植物乳杆菌	奶豆腐	L200	植物乳杆菌	泡菜

1.2 仪器与设备

SevenCompactTM pH 计：梅特勒-托利多公司；WH-11 生化培养箱：德国 Wiggins 公司；ACB-4A1 生物安全柜：新加坡 ESCO 公司；LA-20AT 高效液相色谱仪、GC-MS-QP2020NX 气相色谱-质谱联用仪：日本岛津公司；SMD-603S 电烤炉：无

锡胜麦公司；SMF-16 醒发箱：新麦公司；DLFU 粉碎机：瑞士布勒公司。

1.3 实验方法

1.3.1 菌株性能测定

1.3.1.1 菌株培养 乳酸菌以 1%接种量接入麦汁培养基（麦芽粉与水以 1:8 比例混合，65 °C 搅拌保温 60 min，过滤取上清液）中，37 °C 静置培养 48 h 待测。

1.3.1.2 pH 值及可滴定总酸度的测定 用 pH 计测定 pH 值。

参照 GB5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》^[8]第三法测定酸度（titratable total acidity, TTA）。

1.3.1.3 糖及有机酸分析 参照李慧^[9]的方法，采用高效液相色谱仪测定菌液上清中的糖和有机酸组分。

1.3.1.4 挥发性风味化合物分析 参照沈鑫等^[10]的方法，采用气相色谱-质谱联用仪测定乳酸菌液挥发性化合物的质量浓度，计算各物质的保留指数（retention index, RI）和气味活度值（odour active value, OAV）。

1.3.1.5 感官评价 对发酵 48 h 的乳酸菌液进行气味嗅闻，评价酸味香气、甜味香气、异味的浓郁程度，筛选无异味的样品。

1.3.2 酸面团应用实验

1.3.2.1 酸面团制作方法 以高筋面粉质量计，添加水 120%，商业酵母粉 0.2%、乳酸菌泥（菌液 4 000 r/min 离心 10 min 获得）20%，混合揉成面团，室温静置 40 min，36 °C 培养 1.5 h，之后 40 °C 培养 1.5 h 得到酸面团，置于 4 °C 冷藏备用。

1.3.2.2 面包制作 以高筋面粉质量计，添加糖 6%、盐 1.2%、黄油 5%、水 75%、酸面团 30%。面包工艺为：称量材料→搅打面团→静置→分割、搓圆→二次静置→排气整形→醒发→烘烤。

1.3.2.3 感官评价方法 酸面团、面包的感官评分标准参照沈鑫等的方法^[10]，从发酵味、酸味、异味 3 方面评估酸面团的风味表现；从风味（发酵香味、酸味、果香味、酒香味）和滋味（酒酿味、回甜味、回酸味）两方面评估面包的感官表现。

1.4 数据处理

实验做 3 次平行重复，数据用 Excel 软件计

算方差并作图，用 SPSS16.0 数据处理软件进行方差等数据分析，数据用均值 ± 方差表示。

2 结果与讨论

2.1 乳酸菌糖代谢能力和产有机酸能力评估

乳酸菌主要以葡萄糖、蔗糖或果糖为碳源，其糖代谢能力具有菌株差异性。菌液 pH 越低、TTA 越高，表示菌株产酸能力越强。本研究来源于老面、乳制品、发酵饮料、泡菜等发酵食品中的乳酸菌株中筛选出糖代谢率高（利用率在 50%以上）、TTA 较高（7.0 以上）、pH 较低（低于 3.32）的菌株 14 株（见表 2）。菌液中含量较高的有机酸主要是乳酸和苹果酸。有研究表明，乳酸和苹果酸可以使面团香味更丰富，添加乳酸后面团酮类物质增加了 4.5 倍，添加苹果酸使芳香环类物质增加了 50%^[11]。菌株 L196、L198、L199、L201 和 L161 均含有乳酸、乙酸、琥珀酸和苹果酸，有机酸种类丰富。通过菌液香气嗅闻，剔除有异味、酸甜味不协调的菌株，挑选菌株 L196、L198、L199、L201、L163 和 L161 进行风味物质分析和酸面团应用验证。

2.2 不同乳酸菌发酵液挥发性风味物质评估

乳酸菌液中共检出 OAV 值大于 1 的挥发性化合物 36 种，其中醇类 7 种、酯类 9 种、酮类 6 种、醛类 8 种、酸类 2 种、其他类 4 种（见表 3）。

不同乳酸菌的主要挥发性风味物质种类和含量不同。如图 1 所示，菌株 L163 和 L161 以醇类为主（相对含量 53%~75%），L196 和 L201 以酸类为主（相对含量 48%~53%），L198 的主要挥发性风味物质是酯类（相对含量达 50.86%），L199 的酯类、醛类和酸类物质所占比例相差不大，分别占 27.59%、28.67%和 24.47%。

醇类物质可提供发酵香、酒香、花香、水果香和面包香，6 株乳酸菌苯乙醇、芳樟醇的 OAV 值较高，对风味具有主要贡献，其中 L198 的 OAV 值更突出。L163 和 L161 发酵液中提供发酵、白兰地风味的异戊醇的 OAV 值比其他菌株高，说明其具有呈现浓郁发酵风味的潜力。酯类物质的阈值一般较低，是发酵香气的主要呈香物质^[12-13]。6 株乳酸菌丁酸甲酯、己酸乙酯和 2-甲基丁酸甲酯的

表 2 不同乳酸菌的糖利用率、pH、TTA、有机酸含量和风味描述
 Table 2 Sugar utilization, pH, TTA, organic acid content and flavor description of different Lactic acid bacteria

菌株编号	糖利用率/%			pH	TTA/°T	有机酸含量/(g/L)				风味描述	
	葡萄糖	蔗糖	果糖			乳酸	乙酸	琥珀酸	苹果酸		
L150	71.28±2.03 ^{bc}	55.63±0.56 ^d	68.23±1.82 ^a	3.16±0.03	10.00±0.02 ^a	10.25±0.10 ^a	0.30±0.02 ^b	—	—	1.89±0.02 ^f	甜味浓, 酸味较淡, 无异味
L199	83.12±2.90 ^a	83.17±1.32 ^b	50.00±1.00 ^d	3.06±0.02	9.23±0.02 ^b	8.89±0.15 ^b	0.26±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	—	2.76±0.12 ^d	甜味浓, 酸味较浓, 无异味
L164	61.87±1.20 ^{cd}	—	42.44±0.24 ^f	3.24±0.10	8.50±0.12 ^c	8.85±0.16 ^b	0.25±0.01 ^b	—	—	3.48±0.13 ^b	酸味较浓, 无甜味, 无异味
L195	78.14±1.50 ^{ab}	87.54±2.75 ^b	64.52±1.45 ^{ab}	3.14±0.04	8.43±0.10 ^c	8.64±0.02 ^{bc}	0.30±0.05 ^b	0.09±0.01 ^{ab}	—	2.22±0.02 ^e	酸味较浓, 甜味, 异味明显
L196	76.69±2.01 ^b	85.00±1.50 ^b	57.80±0.78 ^c	3.16±0.03	8.23±0.03 ^c	8.41±0.03 ^c	0.26±0.02 ^b	0.08±0.01 ^b	—	2.66±0.02 ^d	酸甜味较浓, 无异味
L158	59.84±1.00 ^d	59.84±0.53 ^e	39.36±0.24 ^e	3.01±0.01	7.47±0.04 ^f	8.35±0.12 ^c	0.15±0.02 ^d	0.10±0.01 ^{ab}	—	3.13±0.03 ^c	酸味较浓, 无甜味, 异味极淡
L165	63.62±1.20 ^c	—	46.21±0.62 ^e	3.19±0.06	8.30±0.03 ^c	8.26±0.03 ^{cd}	0.21±0.01 ^c	—	—	3.19±0.03 ^c	酸甜味较淡, 无异味
L163	64.88±1.32 ^c	4.53±0.08 ^e	50.71±0.51 ^d	3.27±0.04	7.83±0.12 ^d	8.16±0.05 ^d	0.26±0.01 ^b	—	—	3.27±0.12 ^b	酸甜味较浓, 无异味
L157	58.39±1.50 ^d	58.39±0.84 ^e	37.57±0.36 ^e	3.07±0.02	7.27±0.20 ^f	8.10±0.03 ^d	0.18±0.02 ^c	0.11±0.01 ^a	—	3.21±0.12 ^b	酸味较淡, 无甜味, 异味淡
L198	78.06±1.50 ^{ab}	85.57±1.56 ^b	60.50±0.61 ^b	3.10±0.03	7.90±0.10 ^d	7.74±0.05 ^e	0.26±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	—	2.28±0.02 ^e	酸甜味浓, 无异味
L202	77.99±1.80 ^{ab}	85.82±1.58 ^b	58.98±0.59 ^c	3.13±0.04	7.73±0.03 ^d	7.40±0.14 ^f	0.28±0.03 ^b	0.08±0.01 ^b	—	2.27±0.03 ^e	酸味较浓, 无甜味, 异味明显
L161	57.36±0.74 ^c	—	94.53±2.45 ^a	3.32±0.05	7.80±0.20 ^d	7.29±0.05 ^f	0.43±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	—	7.43±0.05 ^a	酸味较浓, 略有甜味, 无异味
L201	62.64±1.26 ^c	86.34±1.62 ^b	61.50±1.52 ^b	3.14±0.03	7.77±0.13 ^d	7.23±0.05 ^f	0.24±0.02 ^b	0.10±0.01 ^{ab}	—	2.28±0.02 ^e	酸味浓, 甜味较浓, 无异味
L200	76.88±1.03 ^b	85.63±1.36 ^b	59.20±0.53 ^{bc}	3.12±0.01	7.67±0.10 ^d	7.00±0.20 ^f	0.23±0.04 ^b	0.08±0.01 ^b	—	2.23±0.02 ^e	酸味较浓, 无甜味, 异味较浓

注: 同行不同字母表示数据存在显著差异性 ($P<0.05$), 下同。

Note: Different letters in the same line indicate significant differences in data ($P<0.05$), same as below.

表 3 乳酸菌液风味物质气相色谱-质谱法分析结果
 Table 3 GC-MS analysis results of different Lactic acid bacteria culture medium flavor substances

风味物质	阈值/ (mg/kg)	质量浓度/(mg/L)											风味描述	
		L196	L198	L199	L201	L163	L161	L196	L198	L199	L201	L163		L161
异戊醇	0.004	0.005±0.000 ^c	0.009±0.001 ^b	0.006±0.001 ^c	-	0.016±0.002 ^a	0.013±0.002 ^a	1.3	2.4	1.5	-	4.1	3.3	发酵、白兰地
苯乙醇	0.000 0.015	0.040±0.001 ^c	0.074±0.002 ^a	0.054±0.001 ^b	0.039±0.002 ^c	0.039±0.001 ^c	0.025±0.000 ^d	2 657.2	4 920.4	3 596.4	2 615.4	2 603.1	1 659.2	玫瑰、甜面包味
芳樟醇	0.000 22	0.004±0.001 ^c	0.033±0.002 ^a	0.010±0.001 ^b	-	-	-	16.4	149.5	44.7	-	-	-	柑橘、花香
正己醇	0.005 6	-	0.016±0.002 ^a	-	-	0.009±0.001 ^b	0.006±0.001 ^c	-	2.9	-	-	1.7	1.1	果味、酒精
正丁醇	0.2	-	-	-	-	0.542±0.040	0.584±0.050	-	-	-	-	2.7	2.9	甜、香蕉、威士忌
2-十一醇	0.008 6	-	0.032±0.001 ^a	-	0.014±0.001 ^b	0.023±0.001 ^b	0.021±0.001 ^b	-	3.7	-	1.6	2.7	2.5	蜡味、鲜鱼脂肪味
2-壬醇	0.058	-	-	-	-	-	0.064±0.002	-	-	-	-	-	1.1	奶油、奶酪、柑橘
乙酸甲酯	0.002	-	-	0.019±0.001	0.019±0.002	-	-	-	-	9.5	9.7	-	-	朗姆酒、威士忌
丁酸甲酯	0.001	0.007±0.001 ^d	1.260±0.030 ^a	0.204±0.010 ^b	-	0.011±0.002 ^c	0.011±0.002 ^c	7.1	1 259.9	204.2	-	10.8	11.4	苹果、香蕉、菠萝
己酸乙酯	0.000 01	0.002±0.000 ^b	0.006±0.001 ^a	0.001±0.000 ^c	0.002±0.001 ^{bc}	-	0.005±0.001 ^a	169.7	599.1	105.1	153.0	-	470.3	果味、菠萝、香蕉
乙酸乙酯	0.005	0.005±0.001 ^b	0.013±0.002 ^a	-	-	-	-	1.1	2.6	-	-	-	-	甜美的果味
2-甲基丁酸甲酯	0.000 1	-	-	0.004±0.001 ^b	0.004±0.001 ^b	0.009±0.001 ^a	0.008±0.001 ^a	-	-	35.3	36.5	90.4	75.9	青苹果、热带花香
辛酸乙酯	0.005	0.007±0.001 ^c	0.010±0.002 ^b	-	-	0.080±0.002 ^a	0.080±0.001 ^a	1.3	2.1	-	-	15.9	16.0	白兰地
癸酸甲酯	0.004 3	0.006±0.001 ^c	0.023±0.003 ^a	0.005±0.001 ^c	0.015±0.002 ^b	-	-	1.4	5.4	1.1	3.4	-	-	葡萄酒、果味、花香
癸酸乙酯	0.005	-	-	-	-	0.074±0.005	0.062±0.004	-	-	-	-	14.8	12.4	甜苹果、白兰地
顺-4-癸烯酸甲酯	0.000 7	-	-	0.204±0.002 ^a	0.010±0.002 ^b	-	0.005±0.001	-	-	-	-	-	1.8	果味
乙醛	0.000 32	0.010±0.001	-	-	-	0.012±0.002	-	29.9	-	-	-	-	-	辛辣、清新、清爽、果疏味
正辛醛	0.000 32	0.047±0.004 ^b	-	0.028±0.002 ^c	0.009±0.001 ^d	0.118±0.010 ^a	0.023±0.002 ^c	147.0	-	86.3	27.1	368.0	71.5	玫瑰、橙皮
正癸醛	0.000 08	-	0.040±0.002 ^a	-	-	0.023±0.002 ^b	0.010±0.001 ^c	-	495.7	-	-	289.5	130.6	柑橘、花香
苯甲醛	0.024	-	0.031±0.003	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	樱桃

续表 3

风味物质	阈值/ (mg/kg)	质量浓度/(mg/L)										风味描述		
		L196	L198	L199	L201	L163	L161	L196	L198	L199	L201		L163	L161
椰子醛	0.009 7	-	-	0.010±0.001	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	椰子、奶油、乳香
十一醛	0.000 03	-	-	-	-	0.031±0.002	-	-	-	-	-	1 035.8	-	柑橘香
十三醛	0.008	0.008±0.001	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	柑橘皮、葡萄柚皮
2-庚酮	0.001	-	0.009±0.002 ^b	0.005±0.001 ^c	0.002±0.001 ^c	0.024±0.002 ^a	-	-	8.9	5.0	1.9	23.7	-	奶酪、果味、椰子
3-羟基-2-丁酮	0.014	0.023±0.002 ^c	0.072±0.002 ^a	0.040±0.004 ^b	0.051±0.005 ^b	-	-	1.6	5.1	2.8	3.6	-	-	甜黄油、奶油、乳脂
2-壬酮	0.005	0.018±0.002 ^b	0.104±0.010 ^a	0.011±0.001	0.018±0.002 ^b	0.086±0.004 ^a	0.012±0.002 ^c	3.6	20.7	2.1	3.6	17.2	2.3	芝士、果味、奶油
仲辛酮	0.005	-	0.006±0.001	-	-	0.006±0.001	-	-	1.3	-	-	1.3	-	牛奶、奶酪、蘑菇
大马土酮	0.000 000 75	0.032±0.002 ^b	0.059±0.003 ^a	0.031±0.002 ^b	0.033±0.002 ^b	0.037±0.003 ^b	0.018±0.002 ^c	42 290	78 604	41 194.2	43 452.5	49 098.1	23 400.2	苹果、玫瑰、蜂蜜
2-戊酮	0.24	-	-	-	-	0.019±0.001	-	-	-	-	-	1.89	-	葡萄酒、香蕉
醋酸	0.001	0.240±0.010 ^b	0.709±0.020 ^a	0.206±0.020 ^c	0.195±0.010 ^c	-	-	240.4	708.9	206.3	195.4	-	-	刺鼻酸、过熟水果
异戊酸	0.012	-	0.032±0.002	-	-	-	-	-	2.7	-	-	-	-	奶酪、奶油、甜浆果
2-甲氧基-4-乙烯苯酚	0.003	0.008±0.001 ^b	0.032±0.002 ^a	0.006±0.001 ^{bc}	0.008±0.001 ^b	0.005±0.001 ^c	-	2.6	10.7	2.0	2.6	1.5	-	丁香、康乃馨
2-正戊基呋喃	0.005 8	-	0.011±0.001 ^b	-	-	0.011±0.001	0.007±0.001 ^a	-	1.8	-	-	1.9	1.3	果味、土豆、蔬菜
苯乙烯	0.003 6	-	-	-	-	0.008±0.001	-	-	-	-	-	2.2	-	油脂香气、花香
二甲基三硫醚	-	-	-	-	-	-	0.003±0.000	-	-	-	-	-	49 774.5	熟洋葱味、肉香味

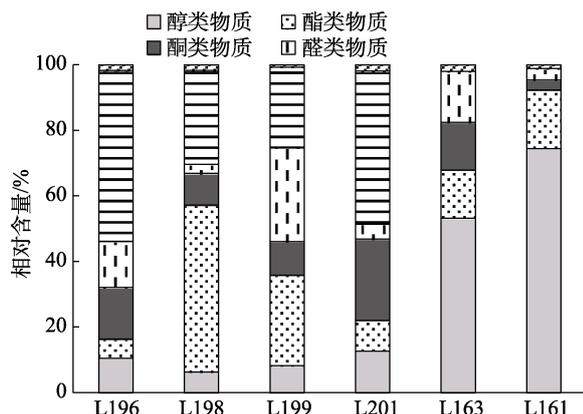


图 1 不同乳酸菌培养液中各类风味物质的相对含量

Fig.1 Relative contents of various flavor substances in different Lactic acid bacteria culture medium

OAV 值均较高, 对风味起到主要贡献作用。呈现水果风味的丁酸甲酯和己酸乙酯在 L198 中发酵液 OAV 值最高, 其次是 L199。L163 和 L161 呈现青苹果香和花香的 2-甲基丁酸甲酯 OAV 值较突出, 呈现白兰地、甜苹果等风味的辛酸乙酯和癸酸乙酯 OAV 值也高于其他菌株, 其中癸酸乙酯是这两株菌特有的物质。醛类物质是美拉德反应的重要产物, 在面包风味中起重要作用^[14-15]。6 株乳酸菌的醛类物质差异较大, 各有特色。除了 L198 外, 其他 5 株菌都含有壬醛, 赋予玫瑰和柑橘香气。呈现葡萄柚皮香的十三醛是 L196 独有的物质; 呈现椰奶香的椰子醛是 L199 独有的物质; L163 的醛类物质种类多, OAV 值均较高, 其中十一醛是其独有的物质。L198 含有正癸醛和苯甲醛, 前者 OAV 值突出, 后者是该菌独有的物质。乳酸菌的酮类物质主要有 2-庚酮、3-羟基-2-丁酮、2-壬酮和大马士酮。大马士酮的 OAV 值非常高, 范围在 23 400.2~78 604.03, 赋予苹果、玫瑰、蜂蜜等风味。其他酮类可呈现芝士、椰子、奶油、乳脂风味, 能够使面团和面包风味更多元化。乳酸菌的酸类物质有醋酸和异戊酸。异戊酸为 L198 独有的

酸类物质; L198 的醋酸 OAV 值最高, 赋予菌液浓郁的酸味。乳酸菌液中还有少量的其他类物质。除菌株 L161 外, 其他菌株都含有提供花香的 2-甲氧基-4-乙烯苯酚。2-正戊基呋喃在菌株 L198、L163 和 L161 发酵液中存在, 呈现果味、土豆、蔬菜等味道。苯乙烯为菌株 L163 独有, 呈现油脂香气、花香。二甲基三硫醚为 L161 独有, OAV 值高达 49 774.52, 呈现熟洋葱味和肉香味。

综上, 6 株乳酸菌在风味物质的产生能力上各有特色, 具有为酸面团提供特色风味的潜力。

2.3 不同乳酸菌对酸面团感官评价的影响

对 6 株乳酸菌制作的酸面团的风味进行感官评价, 结果如表 4 所示。

与商业乳酸菌相比, 乳酸菌酸面团都具有较好的酸味, 其中 L196 和 L201 得分最高, 结合表 3 的风味化合物含量来看, 这两株菌的酸类化合物含量均较高, 说明其酸味物质可能与面团酸味有关。L163 和 L161 面团的发酵味得分较高, 可能与其醇类化合物含量高相关。L198 异味得分最高, 说明其异味最淡; 其酯类物质浓度最高, 可能酯香味使面团呈现的异味最淡。L161 异味比较明显, 这可能与表 3 中其三甲基二硫醚 OAV 值非常高, 呈现洋葱味、熟肉味有关。

基于感官评分, 选取菌株 L198、L199 探究不同乳酸菌对酸面团面包味道的影响。

2.4 不同乳酸菌对面包感官评价的影响

如表 5 所示, L198 的酒味风味和酒酸味滋味分值均最高。3 种面包的酸味都在 3 分以下, 说明酸面团给面包带来了显著的酸味风味, 其中 L198 得分最高。此外 L198 果香味较突出, 且显著高于商业菌株。结合表 3 来看, 呈现不同果香风味的苯乙醇、芳樟醇、丁酸甲酯和己酸乙酯等

表 4 不同乳酸菌酸面团感官评分

Table 4 Sensory scores of sourdough made of different Lactic acid bacteria 分

感官	商业乳酸菌	L196	L198	L199	L201	L163	L161
酸味	6.67±0.54 ^a	8.70±1.00 ^b	6.40±1.10 ^a	8.00±1.00 ^{ab}	8.50±1.00 ^b	6.11±1.00 ^a	6.21±1.20 ^a
异味	7.30±1.52 ^{ab}	7.67±1.15 ^{ab}	8.67±0.58 ^a	8.33±0.58 ^{ab}	7.33±1.52 ^{ab}	7.20±1.00 ^{ab}	6.33±1.15 ^b
酸味	6.67±0.54 ^a	8.70±1.00 ^b	6.40±1.10 ^a	8.00±1.00 ^{ab}	8.50±1.00 ^b	6.11±1.00 ^a	6.21±1.20 ^a

注: 异味得分越高, 表示异味越不明显。同行不同字母表示数据存在显著差异性 ($P<0.05$)。

Note: Higher scores indicate less obvious for rare delicacy. Different letters in the same line indicate significant differences in data ($P<0.05$).

表 5 不同乳酸菌面包的感官评分

Table 5 Sensory scores of breads made of different Lactic acid bacteria

分

样品名称	风味得分				滋味得分		
	酒味	发酵香味	酸味	果香味	酒酿味	回甜	回酸
商业乳酸菌	1.64±0.46 ^a	6.80±0.50 ^a	1.13±0.47 ^b	0.58±0.32 ^b	1.08±0.50 ^b	5.62±2.30 ^a	1.85±1.50 ^a
L198	1.98±1.02 ^a	6.34±0.26 ^a	2.36±1.24 ^a	3.95±1.35 ^a	1.63±0.25 ^a	6.28±1.02 ^a	2.60±0.36 ^a
L199	1.83±1.07 ^a	6.56±0.56 ^a	1.83±0.67 ^{ab}	1.55±0.65 ^b	1.50±0.50 ^b	6.57±1.43 ^a	2.44±0.50 ^a

注：同列不同字母表示数据存在显著差异性 ($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences in data ($P<0.05$).

在 L198、L199 发酵液中含有较高且 OAV 值较大，与面包的果香有关。不同面包的回甜和回酸得分差异不显著，但 L198 和 L199 得分均高于商业菌株。以上结果表明，乳酸菌酸面团对面包滋味具有一定的影响，尤其在酸味、果味、酒酿味的特殊风味上可提供差异性。

3 结论

本研究通过糖代谢能力、产酸性能以及发酵风味物质的评估，从来自我国不同种类传统发酵食品的乳酸菌中筛选出了 6 株特色菌株，并在以酸面团为代表的烘焙用面种的应用中，通过感官评价优选出 L198 和 L199 两株植物乳杆菌。本研究详细探究了来自不同发酵食品的乳酸菌的风味化合物特征，为阐明乳酸菌对发酵酸面团的风味贡献提供理论参考。将筛选的两株乳酸菌应用于酸面团面包，其风味贡献能力较强，能够使面包呈现酸味、果香和酒酿味，使面包风味更加多元化，为开发具有特征性香气成分的酸面团发酵剂提供了理论依据，具有较大工业应用潜力。

参考文献：

- [1] 林倩竹, 陈玥, 於湘, 等. 加工条件及关键组分对烘焙食品品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 9-14.
LIN Q Z, CHEN Y, YU X, et al. Effects of processing conditions and key components on the quality of baked foods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(3): 9-14.
- [2] PARAMITHIOTIS S, TSIASIOTOU S, DROSINOS E H. Comparative study of spontaneously fermented sourdoughs originating from two regions of Greece: Peloponnesus and Thessaly[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(6): 883-890.
- [3] GAGLIO R, ALFONZO A, BARBERA M, et al. Persistence of a mixed lactic acid bacterial starter culture during lysine

- fortification of sourdough breads by addition of pistachio powder[J]. Food microbiology, 2020, 86(103349): 1-11.
- [4] 纪琳媛. 乳酸菌发酵剂在发酵面团中的应用[J]. 现代食品, 2016: 11-14.
JI L Y. Application of Lactic acid bacteria starter in fermented dough[J]. Modern Food, 2016: 11-14.
- [5] ZHAO C J, KINNER M, WISMER W, et al. Effect of glutamate accumulation during sourdough fermentation with lactobacillus reuteri on the taste of bread and sodium-reduced bread[J]. Cereal Chemistry, 2015, 92(2): 224-230.
- [6] KASELEHT K, PAALME T, MIHHALEVSKI A, et al. Analysis of volatile compounds produced by different species of lactobacilli in rye sourdough using multiple headspace extraction[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(9): 1940-1946.
- [7] 刘飞翔, 董其惠, 吴蓉, 等. 不同国家和地区传统发酵食品及其发酵微生物研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 338-350.
LIU F X, DONG Q H, WU R, et al. Recent advances in traditional fermented foods and starter cultures for their production in different countries and regions[J]. Food Science, 2020, 41(21): 338-350.
- [8] 中华人民共和国国家标准 食品安全国家标准 食品酸度的测定: GB 5009.239—2016[S].
National Standards of the People's Republic of China National, food safety standards, Determination of acidity of food: GB 5009.239—2016[S].
- [9] 李慧, 王惠玲, 吴雅琨, 等. 天然葡萄酒酵母菌种的分离、鉴定和酿造性能评价[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(11): 14-20.
LI H, WANG H L, WU Y K, et al. Study on the isolation, identification of native wine yeast and the evaluation of its oenological characteristics[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(11): 14-20.
- [10] 沈鑫, 杨海莺, 应欣, 等. 不同酵母对酸面团发酵剂及面包品质和风味的影响[J/OL]. 食品科学, 2023, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230316.1244.024.html>
SHEN X, YANG H Y, YING X, et al. Effects of different yeasts on sourdough starter and bread quality and flavor[J/OL]. Food Science, 2023, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230316.1244.024.html>
- [11] 苏雪倩. 有机酸对面包品质的影响及其机理研究[D]. 江南大

学, 2019.

SU X Q. Effects of organic acid on bread quality improvement and its mechanistic study[D]. Jiangnan university, 2019.

- [12] 周一鸣, 欧阳博雅, 向茜, 等. 不同乳酸菌发酵酸面团对面包品质及风味的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 176-183.

ZHOU Y M, OUYANG B Y, XIANG Q, et al. Effect of sourdough fermented by different lactic acid bacteria on bread quality and flavor[J]. Food Science, 2022, 43(2): 176-183.

- [13] 王益姝. 生香酵母及其面团发酵过程与面包香气特征研究[D]. 江南大学, 2016.

WANG Y S. Studies on dough fermented by aroma-producing yeast and aroma characteristics of bread[D]. Jiangnan university, 2016.

- [14] 刘若诗, 万晶晶, 张坤, 等. 燕麦酸面团发酵剂的冻干和储藏对面包风味的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 15-19.

LIU R S, WAN J J, ZHANG K, et al. Effects of freeze drying and storage of oat sourdough starter on volatile flavor compounds of bread[J]. Food Science, 2010, 31(21): 15-19.

- [15] FUJIMOTO A, ITO K, NARUSHIMA N, et al. Identification of lactic acid bacteria and yeasts, and characterization of food components of sourdoughs used in Japanese bakeries[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2019, 127(5): 575-581. 