

植物乳杆菌-酿酒酵母混合预发酵对鲜湿面理化性质、贮藏特性及风味品质的影响

任元元, 孟资宽*, 邹 育, 李宇航, 王拥军

(四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川 成都 611130)

摘要: 研究酿酒酵母、植物乳杆菌不同混合发酵方案对鲜湿面感官品质、质构特性、贮藏特性和风味品质的影响。将老面团中筛选的酿酒酵母和植物乳杆菌制成发酵菌剂, 接种于面团中进行发酵用以生产鲜湿面, 结果表明: 混合发酵鲜湿面感官评分高于单一菌种发酵, 酿酒酵母发酵可以改善鲜湿面的硬度和弹性, 酿酒酵母、植物乳杆菌和混合发酵都可以有效提高鲜湿面中蛋白质含量, 混合发酵组蛋白质质量分数达到 $(7.82 \pm 0.36)\%$; 在 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 处理后, 酿酒酵母发酵和混合发酵组鲜湿面质构品质和感官评分得到提高, 且贮藏期内植物乳杆菌发酵、酿酒酵母发酵、混合发酵组的老化焓 ΔH 相比对照组出现下降, 植物乳杆菌发酵和混合发酵组的色泽相比于对照组更亮 (L^* 值更大); 相比对照组中的 40 种香气成分, 植物乳杆菌发酵组检测到 48 种香气成分, 酿酒酵母发酵组检测到 49 种香气成分, 混合发酵组检测到 53 种香气成分, 醛类、酯类、酸类为鲜湿面条的主要风味物质, 发酵组 3 类物质相对含量都出现明显提高, 说明混合发酵可以促进风味物质的产生。主成分分析表明, 各组分香气成分具有明显区别。

关键词: 混合发酵; 鲜湿面; 品质分析; 贮藏特性; 风味成分

Effects of Mixed Culture Fermentation with *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* on Physicochemical Properties, Storage Characteristics and Flavor Quality of Wet Noodles

REN Yuanyuan, MENG Zikuan*, ZOU Yu, LI Yuhang, WANG Yongjun

(Sichuan Food and Fermentation Industry Research & Design Institute Co. Ltd., Chengdu 611130, China)

Abstract: This study was undertaken in order to explore the effects of mixed culture fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* on the sensory quality, texture characteristics, storage characteristics and flavor quality of wet noodles. Wet noodles were prepared by inoculating dough with *S. cerevisiae* and/or *L. plantarum* isolated from old dough. The sensory score of mixed culture fermented noodles was higher than that of single strain fermentation. *S. cerevisiae* fermentation improved the hardness and elasticity of wet noodles, both single and mixed strain fermentations effectively increased the protein content of noodles, and the protein content of mixed culture fermented noodles was $(7.82 \pm 0.36)\%$. After sterilization at $120\text{ }^\circ\text{C}$, the sensory score and texture quality of noodles fermented with *S. cerevisiae* alone and in combination with *L. plantarum* increased, the enthalpy change (ΔH) for aging decreased in the single and mixed strain fermentation groups compared with the control group during storage, and the L^* value (brightness) of the *L. plantarum* and mixed strain fermentation groups was greater than that of the control group. A total of 40, 48, 49 and 53 aroma components were detected in the control, *L. plantarum*, *S. cerevisiae*, and mixed strain fermentation groups, respectively. Aldehydes, esters and acids were identified as the major flavor substances of wet noodles. The relative contents of these three substances in the fermentation groups increased significantly, indicating that mixed strain fermentation can promote the production of flavor substances. Furthermore, principal component analysis of the aroma composition data showed a clear separation of the four groups.

Keywords: mixed strain fermentation; wet noodles; quality analysis; storage characteristics; flavor components

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220407-075

中图分类号: TS21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2023) 06-0190-07

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 四川省科技计划项目 (2020YFN0148)

第一作者简介: 任元元 (1987—) (ORCID: 0000-0001-5717-0471), 女, 高级工程师, 硕士, 研究方向为粮油加工及主食生物发酵。E-mail: zhushisuo@126.com

*通信作者简介: 孟资宽 (1990—) (ORCID: 0000-0002-9485-5653), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为粮油加工及主食生物发酵。E-mail: 810632314@qq.com

引文格式:

任元元, 孟资宽, 邹育, 等. 植物乳杆菌-酿酒酵母混合预发酵对鲜湿面理化性质、贮藏特性及风味品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 190-196. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220407-075. <http://www.spkx.net.cn>

REN Yuanyuan, MENG Zikuan, ZOU Yu, et al. Effects of mixed culture fermentation with *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* on physicochemical properties, storage characteristics and flavor quality of wet noodles[J]. Food Science, 2023, 44(6): 190-196. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220407-075. <http://www.spkx.net.cn>

鲜湿面是一种经过熟制的水分含量较高的面条, 与目前市售的挂面相比, 其具有食用方便、生产成本低的特点^[1-2], 具有良好的市场潜力。由于鲜湿面的水分通常在45%~60%之间^[3], 目前市场上的鲜湿面产品存在弹性差、易变质、食用风味差等问题。同时, 由于鲜湿面经过熟制, 产品在保质期容易老化变硬^[4]。酒精保鲜、有机酸浸泡是鲜湿面常用的防腐技术^[5], 添加乳酸链球菌素、纳他霉素、壳聚糖等天然防腐剂也可有效抑制腐败菌的繁殖^[6], 辐照保鲜技术在国外也逐渐应用于湿面条的保鲜^[7]。鲜湿面的品质体现在感官品质、蒸煮品质、营养特性等几个方面, 面粉品质、改良剂、加工工艺都可以对鲜湿面的品质产生影响。陈海峰等^[8]研究了黄原胶对面条品质的改善作用, 其可以有效降低面条蒸煮损失, 提高面条弹性。肖东等^[9]在鲜湿面中加入瓜尔胶等多糖, 可以在减缓老化的同时提高鲜湿面的质构与感官品质。

通过高通量分析发现, 老面团中的主要微生物为酿酒酵母和乳酸菌^[10]。王金水等^[11]研究表明, 植物乳酸菌的生长代谢可以提高面团黏度、筋力。廖兰^[12]、韩红超^[13]等研究表明, 植物乳杆菌或酵母菌发酵可以改变面团蛋白分子二、三级结构。焦捷等^[14]发现, 酵母菌和植物乳杆菌可以明显改善青稞面条的感官品质。此外酵母粉和植物乳杆菌发酵都有利于提高面包、米线等产品中的风味物质种类^[15-16]。

目前, 植物乳杆菌和酵母菌在鲜湿面中的应用还鲜有研究见于报道。本实验利用从传统老面团中筛选的植物乳杆菌和酿酒酵母发酵鲜湿面面团, 研究菌种直投发酵对鲜湿面品质、贮藏特性和风味的影响, 以期为提高鲜湿面工业化产品的使用品质、营养风味和保质期提供生物技术与理论支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

植物乳杆菌及酿酒酵母菌剂来自于实验室自制(老面团中筛选、纯化, 经扩培离心后冻干制成), 植物乳杆菌菌剂菌含量为 2.5×10^{11} CFU/g, 酿酒酵母菌剂菌含量为 4.2×10^{10} CFU/g; 面粉 河北金沙河面业集团有限公司。

1.2 仪器与设备

压面机 邢台永泰设备制造厂; 气相色谱仪

日本岛津公司; GK-600凯氏定氮仪 山东格林凯瑞仪器有限公司; TA-20质构仪 上海保圣实业发展有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鲜湿面的制备

称取1 000 g面粉于和面盆中, 加入330 g温水和15 g食盐, 再分别加入2 g酿酒酵母菌剂、植物乳杆菌剂和混合菌剂(比例为1:1), 和面机和面10 min, 然后置于32 ℃、相对湿度为75%的培养箱中发酵, 发酵时间分别为60、90 min和120 min。然后经压面, 于沸水中煮1 min, 沥干、称量, 密封包装、灭菌。灭菌条件分别为90、100、110、120 ℃灭菌20 min。植物乳杆菌、酿酒酵母菌和混合发酵鲜湿面分别记为LPN、SCN和LSN。

1.3.2 鲜湿面感官品质评价

在GB/T 25005—2010《感官分析 方便面感官评价方法》基础上进行一定修改, 取50 g鲜湿面浸入300 mL开水中搅拌后散开, 浸泡1 min后, 选取12名从事食品专业的感官评价员(男女各6名)在舒适的环境中进行品尝评价。具体评分标准为: 色泽(10分)、表观状态(10分)、适口性(20分)、韧性(25分)、黏性(15分)、光滑性(5分)、食味(15分), 共100分。

1.3.3 鲜湿面质构特性检测^[17]

分别取50 g鲜湿面条放入碗中, 加入约300 mL的沸水, 搅拌后散开, 浸泡1 min后用滤纸吸干表面水分。取3根无物理损伤、粗细均匀的鲜湿面条放在质构仪平台的固定位置上测定其质构特性, 每个样品测定6次, 去除最大和最小值后取平均值。参数设置: P/50探头, 设定测试速率1.00 mm/s, 停留时间1 s, 应变75%, 触发力5 g。

1.3.4 鲜湿面老化特性检测^[18]

采用差示扫描量热法, 取10 mg待测鲜湿面样品均匀地平铺于坩埚中, 压盖密封, 4 ℃条件下贮藏21 d, 再于25 ℃进行差示扫描量热测定。设定升温程序如下: 扫描温度范围为20~95 ℃, 升温速率均为10 ℃/min。测定时以空坩埚作为参比, 载气为氮气, 流速50 mL/min。每组样品平行测试3次, 取平均值。

1.3.5 鲜湿面风味成分测定

参照文献[19]方法并作修改。准确称取5 g鲜湿面样品、1.5 g氯化钠于20 mL顶空瓶中压盖, 温度70 ℃于水浴锅加热平衡15 min, 然后将顶空萃取头插入玻璃瓶

内。萃取时间为40 min, 萃取完成后, 进行气相色谱-质谱分析。

色谱条件: 毛细管色谱柱为 HP-INNOWAX (60 m×250 μm, 0.25 μm); 手动进样, 进样温度 240 °C; 起始温度45 °C, 保持时间3 min, 以3 °C/min 速率升至120 °C, 保留3 min, 再以12 °C/min 速率升至220 °C, 保留15 min; 以He为载气, 恒流量 1.67 mL/min, 不分流进样。

质谱条件: 电接口温度250 °C; 离子源温度230 °C; 电子电离源, 能量70 eV; 质量扫描范围 m/z 35~500。将挥发性风味成分的离子扫描质谱图与NIST数据库进行对比分析, 并对匹配度大于80 (最大值为100) 的香气化合物通过峰面积归一化方法进行定量。

1.4 数据统计分析

采用SPSS 19.0软件进行统计和相关性分析, 采用GraphPad Prism8.0进行热力图分析。

2 结果与分析

2.1 菌种及发酵时间对鲜湿面感官品质的影响

如表1所示, 在相同的发酵时间下, SCN组感官评分高于LPN组, LPN组随着发酵时间的延长感官评分增加, 但90 min和120 min样品没有显著差异, SCN组和LSN组在90 min时感官评分最高。结果表明, 两种菌复配发酵的效果好于单一菌种发酵。

表1 不同发酵菌种和发酵时间对鲜湿面评分的影响

Table 1 Effects of starter culture and fermentation time on the sensory score of wet noodles

| 样品 | 发酵时间/min | 感官评分 |
|-----|----------|-------------------------|
| LPN | 60 | 70.44±4.42 ^c |
| | 90 | 78.44±3.61 ^c |
| | 120 | 80.12±3.77 ^c |
| SCN | 60 | 78.39±2.84 ^c |
| | 90 | 86.56±4.22 ^b |
| | 120 | 76.43±3.54 ^d |
| LSN | 60 | 81.27±3.83 ^c |
| | 90 | 90.4±3.25 ^a |
| | 120 | 79.82±2.47 ^c |

注: 同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 表2、4、5同。

为进一步明确不同菌种发酵对鲜湿面品质的影响, 选择单一和复配菌种发酵90 min的鲜湿面与未发酵的鲜湿面进行品质分析。

2.2 混菌发酵对鲜湿面理化品质的影响

质构特性是评价面条品质的重要因素, 而通过微生物发酵可以改变面团的成分组成和物质结构, 从而影响鲜湿面的质构品质。如表2所示, SCN、LSN组样品的

硬度、弹性得到显著提高, LPN组样品的硬度和弹性与对照组无明显区别, 3组发酵样品咀嚼性和回复力相比对照组基本无显著改变。这可能是因为添加酵母发酵改变了面团的面筋蛋白结构, 从而改善了鲜湿面的硬度和弹性^[20]。同时发酵后产生的有机酸可以降低面团pH值, 有利于蛋白质和相关酶类之间的作用, 最终产品具有良好的质构特性。

表2 不同组分鲜湿面质构特性

Table 2 Effects of starter culture on texture characteristics of wet noodles

| 样品 | 硬度/g | 弹性 | 咀嚼性/g | 回复力/g |
|-----|------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 对照 | 6 560.41±99.21 ^c | 0.84±0.03 ^c | 2 769.14±77.37 ^b | 0.55±0.01 ^{ab} |
| LPN | 6 673.36±70.22 ^c | 0.87±0.02 ^b | 2 781.79±94.38 ^b | 0.56±0.02 ^a |
| SCN | 7 552.61±121.86 ^b | 0.91±0.0 ^a | 2 805.24±53.13 ^a | 0.54±0.02 ^b |
| LSN | 8 364.77±94.33 ^a | 0.91±0.02 ^a | 2 757.81±62.56 ^b | 0.56±0.01 ^a |

面团发酵过程中, 蛋白质和碳水化合物是微生物生长和代谢的主要营养成分。不同的微生物发酵其代谢特点具有区别。分析样品的营养成分组成 (表3), 发酵组样品的蛋白质含量都得到显著提高, SCN组总蛋白质质量分数最高达到7.94%, 总碳水化合物相比对照组出现下降, 其中SCN组碳水化合物质量分数下降最明显, 为45.94%, 各个样品的总脂肪含量无显著变化。这可能是因为, 在发酵过程中植物乳杆菌和酿酒酵母代谢产生了一定量的淀粉酶, 在产生气体及其他代谢产物过程中消耗了部分碳水化合物^[21], 从而产品水分含量相同的情况下, 蛋白质的相对含量得到提高。

表3 不同组分鲜湿面主要成分组成

Table 3 Effects of starter culture on major components of wet noodles

| 指标 | 对照 | LPN | SCN | LSN |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 总蛋白质质量分数/% | 7.41±0.34 ^b | 7.77±0.27 ^a | 7.94±0.24 ^a | 7.82±0.36 ^a |
| 总脂肪质量分数/% | 0.19±0.013 ^a | 0.18±0.011 ^a | 0.18±0.01 ^a | 0.18±0.01 ^a |
| 总碳水化合物质量分数/% | 48.16±3.52 ^a | 46.38±3.12 ^b | 45.94±2.21 ^b | 46.29±2.38 ^b |

注: 同行字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 灭菌条件对发酵鲜湿面贮藏品质的影响

发酵后, 面团的成分组成和理化品质发生了改变, 尤其是糊化性质的改变会影响产品在高温处理后的品质特点。实验过程中发现发酵后面条通过高温处理具有更好的食用品质。

对灭菌后样品的质构特性和感官品质进行检测, 结果如图1所示。随着灭菌温度的提高, 对照组硬度、弹性和咀嚼性总体上呈下降趋势。LPN组质构特性在不同灭菌温度下有一定波动, 但变化不明显。SCN和LSN组的质构指标随着灭菌温度提高而提高, SCN组硬度和弹性变化较为明显, 120 °C灭菌后, 硬度达到7 989 g, 弹性达到1.01。LSN组弹性和咀嚼性提高较为明显, 120 °C灭菌

后分别达到1.01和3 072 g。相比于对照组，发酵样品的感官评分显著提高，尤其是SCN和LSN组样品最高评分分别达到88.4和91.2。同时，由图1可以发现，在温度升高的情况下，对照组的感官评分逐渐下降，而SCN和LSN组样品的感官评分随着温度提高而提升，在120 °C时达到最高。这说明鲜湿面可以通过高温灭菌的方式在延长保质期的同时提高品质。

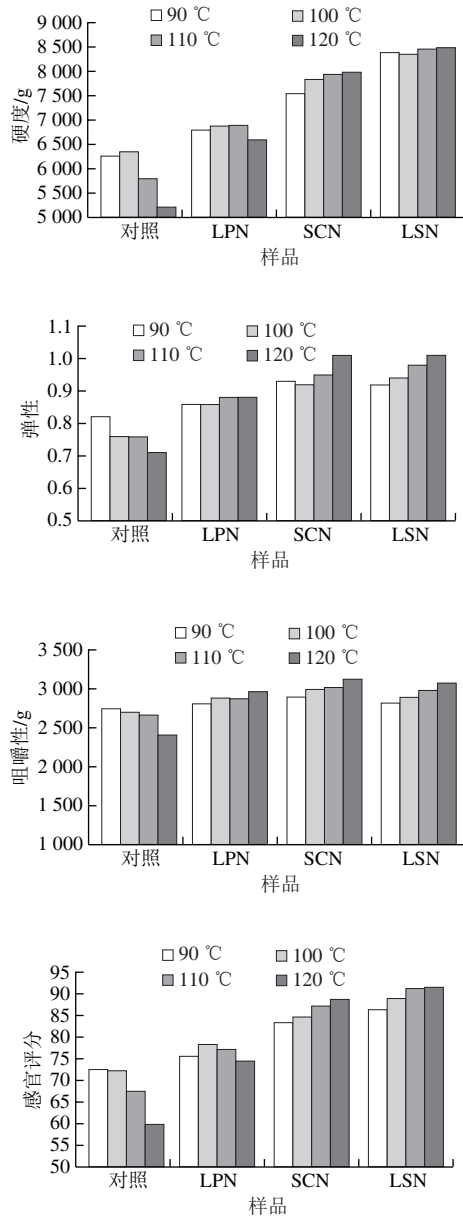


图1 不同鲜湿面高温处理后感官评分

Fig. 1 Effects of starter culture on sensory score of wet noodles after high temperature treatments

根据图1结果，检测各个样品120 °C处理后的不同贮藏期内，鲜湿面差示扫描量热吸热峰的老化特性参数，结果如表4所示。随着贮藏期的延长，鲜湿面淀粉老化重

结晶所需的老化焓 ΔH 越来越大，而发酵组的鲜湿面淀粉重结晶 ΔH 相对对照组出现下降，说明发酵后鲜湿面在贮藏期内的回生程度得到抑制，这与孙银凤等^[22]的研究结果相似。不菌种发酵对鲜湿面老化抑制情况也不同，这可能是微生物在发酵过程中产生了生物多糖或低分子糊精，一方面与鲜湿面中的水分形成了凝胶结构，另一方面多糖和糊精与淀粉分子产生吸引，从而减少了淀粉分子之间的重排列，起到了抑制老化的作用^[23-24]。

表4 不同鲜湿面经高温处理后在贮藏期内 ΔH 分析

Table 4 Analysis of ΔH for aging of high-temperature treated wet noodles during storage

| 样品 | 0 d | 15 d | 30 d | 45 d | 60 d | 75 d | 90 d |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 对照 | 0.82±0.05 ^a | 1.32±0.08 ^b | 1.95±0.09 ^c | 2.29±0.08 ^d | 2.57±0.14 ^e | 2.84±0.22 ^f | 3.13±0.13 ^g |
| LPN | 0.74±0.07 ^a | 1.14±0.12 ^b | 1.75±0.05 ^b | 1.91±0.14 ^b | 2.19±0.03 ^b | 2.27±0.04 ^b | 2.34±0.08 ^b |
| SCN | 0.61±0.06 ^a | 1.02±0.06 ^a | 1.67±0.20 ^c | 1.76±0.03 ^c | 1.90±0.01 ^c | 2.04±0.12 ^c | 2.08±0.02 ^c |
| LSN | 0.52±0.11 ^d | 0.91±0.03 ^d | 1.64±0.07 ^c | 1.76±0.06 ^c | 1.86±0.05 ^c | 1.99±0.03 ^c | 2.02±0.07 ^c |

由表5可知，在贮藏期内，发酵组样品的色泽相比于对照组更亮（ L^* 值更大），对于同一鲜湿面样品随着贮藏时间的延长， L^* 值逐渐减小面条色泽越来越暗，说明随着贮藏时间的增加面条褐变程度逐渐加深，而添加菌种发酵尤其是添加植物乳杆菌有利于抑制面条褐变。分析原因，一是因为发酵过程中，植物乳杆菌和酿酒酵母代谢产生有机酸，降低了面条的pH值，既影响了多酚氧化酶的活性，同时又降低了面条的水分活度^[25-26]。二是因为在发酵过程中，植物乳杆菌和酿酒酵母的存在，抑制了腐败菌的繁殖及多酚氧化酶的产生^[27]。

表5 不同鲜湿面经高温处理后贮藏期内色度变化

Table 5 Color change of wet noodles during storage

| 色度 | 样品 | 0 d | 15 d | 30 d | 45 d | 60 d | 75 d | 90 d |
|-------|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| L^* | 对照 | 86.74±4.24 ^a | 77.65±4.14 ^a | 73.38±3.78 ^b | 69.47±4.12 ^c | 64.75±3.04 ^d | 61.34±2.71 ^e | 58.26±2.48 ^f |
| | LPN | 87.55±3.54 ^a | 84.37±4.20 ^b | 80.15±5.15 ^c | 76.62±2.86 ^d | 72.29±3.44 ^e | 71.49±3.62 ^e | 68.88±2.08 ^f |
| | SCN | 85.82±4.97 ^a | 82.37±2.89 ^b | 79.46±4.33 ^b | 73.33±2.64 ^d | 69.94±3.75 ^e | 66.56±2.22 ^f | 61.98±2.80 ^g |
| | LSN | 86.48±4.11 ^a | 84.22±4.08 ^b | 80.25±3.25 ^c | 77.31±3.11 ^c | 74.79±2.79 ^d | 71.28±2.20 ^e | 70.14±3.07 ^f |
| a^* | 对照 | 1.47±0.09 ^a | 1.11±0.07 ^b | 0.62±0.06 ^c | 0.94±0.06 ^b | 1.35±0.13 ^a | 1.12±0.12 ^a | 1.04±0.12 ^a |
| | LPN | 1.47±0.13 ^a | 0.94±0.07 ^b | 0.71±0.08 ^b | 1.15±0.08 ^a | 1.02±0.04 ^b | 0.76±0.06 ^b | 0.83±0.09 ^d |
| | SCN | 1.66±0.13 ^a | 1.31±0.14 ^a | 1.44±0.07 ^a | 0.82±0.05 ^c | 0.77±0.03 ^d | 1.13±0.09 ^a | 1.42±0.09 ^a |
| | LSN | 1.52±0.17 ^b | 0.95±0.08 ^b | 0.79±0.05 ^b | 1.24±0.14 ^a | 0.95±0.12 ^a | 0.66±0.04 ^b | 1.29±0.08 ^b |
| b^* | 对照 | 8.99±0.37 ^a | 11.25±0.62 ^b | 12.41±0.44 ^a | 13.75±0.35 ^b | 13.24±0.51 ^a | 15.04±0.74 ^a | 15.47±0.58 ^a |
| | LPN | 9.57±0.61 ^b | 11.22±0.54 ^a | 12.07±0.64 ^b | 12.49±0.33 ^b | 13.24±0.84 ^a | 13.79±0.46 ^b | 14.05±0.62 ^b |
| | SCN | 10.03±0.56 ^b | 10.72±0.36 ^b | 11.34±0.48 ^b | 11.24±0.79 ^a | 12.22±0.52 ^a | 12.85±0.48 ^b | 13.68±0.66 ^c |
| | LSN | 9.79±0.27 ^b | 10.56±0.78 ^b | 11.86±0.58 ^b | 12.75±0.10 ^b | 12.96±0.42 ^b | 13.61±0.51 ^b | 13.42±0.64 ^c |

2.4 混菌发酵对鲜湿面风味的影响

通过气相色谱-质谱得到4种鲜湿面样品的挥发性香气成分如图2所示。4种鲜湿面样品中共检测到56种挥发性香气物质，各样品的香气成分组成存在一定差异。其中，己醛、十碳酸醛、芳樟醇、十二烷、磷酸三乙酯、壬酸、己酸等物质的含量较高。

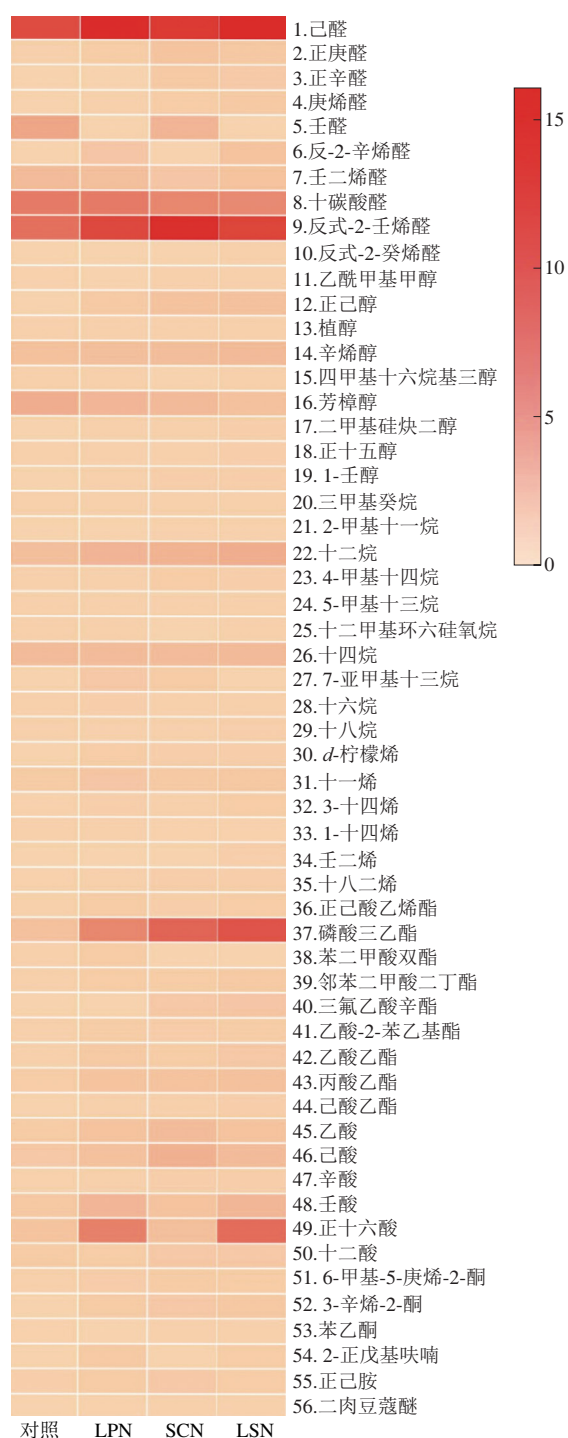


图2 不同鲜湿面风味成分热图

Fig. 2 Heatmap of flavor components in wet noodles fermented with different starter cultures

通过对比发现, 对照组中共检测到40种香气成分, 包括醛类6种、醇类6种、烃类6种、烯类4种、酮类2种、酯类7种、酸类6种、其他化合物3种。LPN组检测到48种香气成分, 包括醛类7种、醇类8种、烃类9种、烯类5种、酮类2种、酯类8种、酸类6种、其他化合物3种。SCN组检测到49种香气成分, 包括醛类8种、

醇类8种、烃类9种、烯类5种、酮类3种、酯类8种、酸类6种、其他化合物2种。LSN组检测到53种香气成分, 包括醛类9种、醇类9种、烃类9种、烯类6种、酮类3种、酯类8种、酸类6种、其他化合物3种。发酵后, 醛类、酯类、醇类物质种类增多, 这与王丹等^[28]的研究结果相似。

醛类、酯类、酸类为鲜湿面条的主要风味物质, 与对照组进行对比, 发酵组3类物质相对含量都出现明显提高。如图3所示, LPN组醛类相对含量为35.91%、酯类相对含量达到9.32%、酸类相对含量为10.94%, SCN组醛类相对含量为37.92%、酯类相对含量为11.53%、酸类相对含量为7.58%, LSN组醛类相对含量为36.79%、酯类相对含量为14.15%、酸类相对含量为13.35%。这表明由不同菌种发酵代谢产生的香气物质种类及相对含量不同。4组样品中LSN组主要风味物质的相对含量最高, 说明混合发酵可以促进风味物质的产生。

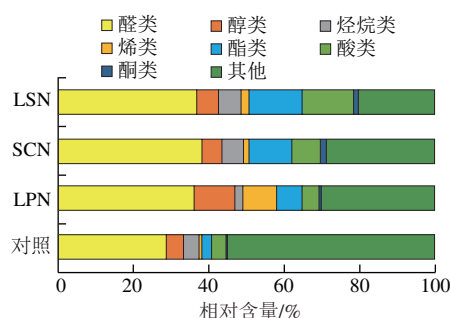


图3 不同鲜湿面各类型挥发物质比较

Fig. 3 Relative contents of volatile substances in wet noodles fermented with different starter cultures

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 可以将复杂的多维变量精简为少数几个代表性变量, 是食品研究中一种常用的统计分析方法^[29-30]。为了进一步分析4组样品挥发性香气成分的差异, 采用PCA对样品香气成分进行分析。如表6、图4所示, PC1的贡献率为60.83%, PC2的贡献率为24.90%, 两个PC累计贡献率大于85%, 可以较好地反映4个样品中挥发性成分的信息。由图4a可知, 4组样品分布在不同区域, 说明各组样品风味物质存在较大差异。由图4b可知, 香气成分分布与PC分布图具有基本的一致性趋势, 对照组代表性组分为壬二烯醛、十碳酸醛等物质, LPN组的代表组分为四甲基十六烷基三醇、1-十四烯、苯二甲酸双酯等物质, SCN组的代表组分为正辛醛、三氟乙酸辛酯、辛酸, LSN组的代表组分为十二烷、邻苯二甲酸二丁酯、丙酸乙酯。各组分香气成分具有明显区别, 尤其是添加酵母发酵的SCN和LSN组, 酯类物质包括三氟乙酸辛酯、邻苯二甲酸二丁酯、丙酸乙酯为含量较高的风味物质, 说明各组可以进行良好区分。

表6 鲜湿面风味成分PC特征值及方差贡献率

Table 6 Characteristic values and variance contribution rates of first three principal components for flavor components in wet noodles

| PC | 特征值 | 方差贡献率/% | 累计方差贡献率/% |
|----|--------|---------|-----------|
| 1 | 34.063 | 60.827 | 60.827 |
| 2 | 13.945 | 24.902 | 85.729 |
| 3 | 7.992 | 14.271 | 100.000 |

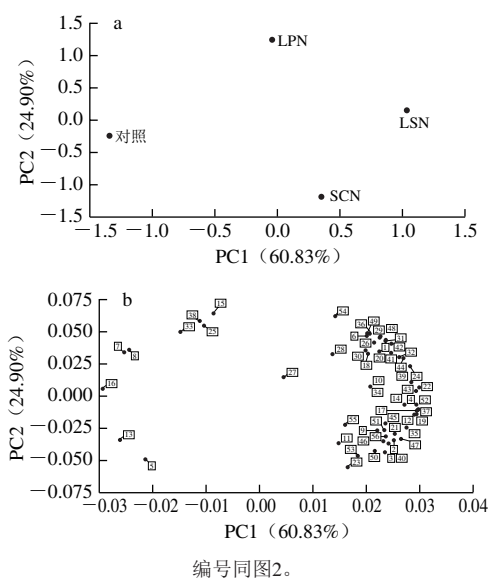


图4 不同鲜湿面风味成分PCA得分图(a)和载荷图(b)

Fig. 4 PCA score plot (a) and loading plot (b) of volatile flavor compounds in wet noodles fermented with different starter cultures

3 结论

通过将酿酒酵母和植物乳杆菌混合发酵应用鲜湿面制作中, 研究分析对比了不同菌种组合发酵鲜湿面感官品质、质构品质、成分变化, 研究了发酵鲜湿面的贮藏特性及香气成分变化。

对比不同发酵鲜湿面样品, 酿酒酵母发酵可以改善鲜湿面的硬度和弹性, 酿酒酵母、植物乳杆菌和混合发酵都可以有效提高鲜湿面中蛋白质含量, LSN组蛋白质质量分数达到(7.82±0.36)%。对比不同发酵鲜湿面样品, SCN和LSN组鲜湿面在120℃处理后质构特性和感官评分得到提高, 说明鲜湿面可以通过高温灭菌的方式在延长保质期的同时提高品质。经过120℃灭菌后, 在贮藏期内LPN、SCN、LSN组鲜湿面的ΔH相对对照组出现下降, 说明发酵起到了抑制老化的作用; 在贮藏期内, 发酵组样品尤其是LPN和LSN组的色泽相比于对照组更亮(L*值更大), 说明添加菌种发酵尤其是添加植物乳杆菌有利于抑制面条褐变。对比不同发酵鲜湿面样品, 相对对照组中的40种香气成分, LPN组检测到48种香气成分, SCN组检测到49种香气成分, LSN组检测到53种香气成分, 发酵组分中的醛类、酯类物质种类增多, 醛

类、酯类、酸类物质含量得到提高, 说明混合发酵可以促进风味物质的产生。PCA显示, 各组分香气成分具有明显区别, 可以进行良好区分。

综上结果说明, 发酵鲜湿面的综合品质好于对照组, 而酿酒酵母和植物乳杆菌混合发酵效果优于单一菌种。

参考文献:

- [1] 刘晓真. 我国面制主食产业化的现状及趋势分析[J]. 粮食加工, 2014, 39(6): 1-4.
- [2] 王治中, 陈洁, 王远辉, 等. 干热处理面粉对鲜湿面品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 58-62. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2018.01.010.
- [3] HAN M W, PARK K J, JEONG S W, et al. Effects of pediocin treatment on the microbial quality of wet noodles during storage[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2007, 14(3): 328-331.
- [4] 肖东, 周文化, 邓航, 等. 鲜湿面抗老化剂复配工艺优化及老化动力学[J]. 农业工程学报, 2015(23): 261-268. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2015.23.035.
- [5] 张庆霞. 非热杀菌技术在生鲜湿面防腐保鲜中的应用研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 289-294. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024147.
- [6] 李莹莹, 李平, 韦胜, 等. 天然食品防腐保鲜剂在生鲜湿面中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(1): 194-200.
- [7] LI M, ZHU K X, GUO X, et al. Effect of water activity (a_w) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 526-530. DOI:10.1016/j.ifset.2011.06.005.
- [8] 陈海峰, 杨其林, 姚科, 等. 黄原胶对面条品质的影响[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 70-74.
- [9] 肖东, 周文化, 陈帅, 等. 亲水多糖对鲜湿面货架期内水分迁移及老化进程的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 298-303. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618047.
- [10] LI H F, FU J K, HU S, et al. Comparison of the effects of acetic acid bacteria and lactic acid bacteria on the microbial diversity of and the functional pathways in dough as revealed by high-throughput metagenomics sequencing[J]. International Journal of Food Microbiology, 2021, 346(1): 1-12. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109168.
- [11] 王金水, 杨森, 尹艳丽, 等. 植物乳酸菌M616对发酵面团发酵特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 83-87. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.014.
- [12] 廖兰, 文晓艳, 陈林萍, 等. 植物乳杆菌B02012对酸面团小麦蛋白结构和免疫特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 22-29. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180802-006.
- [13] 韩红超, 李文钊, 周航, 等. 发酵时间对馒头品质及面筋蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 15-19. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201812003.
- [14] 焦捷, 哈晓敏, 杜艳, 等. 微生物发酵对青稞挂面理化及感官特性的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(2): 170-175.
- [15] 张薇, 程晓燕, 黄卫宁, 等. 含天然酵母粉发酵面包的营养与老化特性及风味化合物特征[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 33-38. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201423007.
- [16] MA S, WANG Z, TIAN X, et al. Effect of synergistic fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* on thermal properties of wheat bran dietary fiber-wheat starch system[J]. Food Chemistry, 2021, 373: 89-96. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.131417.

- [17] 李真, 朱昀昊, 艾志录, 等. 胖大海胶对鲜湿面流变学特性及蒸煮品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(8): 86-92. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016176.
- [18] 肖东, 周文化, 邓航, 等. 多糖类食品添加剂抑制鲜湿面老化机理研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 121-126. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2017.03.02.
- [19] ZHANG K Y, ZHAO D, SONG J F, et al. Effects of green wheat flour on textural properties, digestive and flavor characteristics of the noodles[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(3): 1-12. DOI:10.1111/jfpp.15199.
- [20] 郭兴凤, 张莹莹, 任聪, 等. 小麦蛋白质的组成与面筋网络结构、面制品品质关系的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 119-124. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2018.06.021.
- [21] 吴小霞. 乳酸菌对老面馒头品质的影响及其淀粉消化特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [22] 孙银凤, 徐岩, 黄卫宁, 等. 不同发酵基质的酸面团对酵母面团体系面包烘焙及老化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 37-42. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513008.
- [23] CHEN Y, ZHANG Y F, JIANG L, et al. Moisture molecule migration and quality changes of fresh wet noodles dehydrated by cold plasma treatment[J]. Food Chemistry, 2020, 328(1): 1-10. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127053.
- [24] ASHWINI A, JYOTSNA R, INDRANI D. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 700-707. DOI:10.1016/j.foodhyd.2008.06.002.
- [25] 王馨雨, 杨绿竹, 王婷, 等. 植物多酚氧化酶的生理功能、分离纯化及酶促褐变控制的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 222-236. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190411-145.
- [26] SACCHETTI G, NERI L, LAGHI L, et al. Multidisciplinary approach to study the effect of water status and mobility on the activity of peroxidase in solutions[J]. Food Chemistry, 2014, 144: 36-43. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.05.130.
- [27] 牛猛, 于琦, 幸新干, 等. 全麦鲜湿面褐变机制及抑制方法的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 90-94. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.18.047.
- [28] 王丹, 宋春梅, 王长文, 等. HS-SPME-GC-MS法分析发酵过程中荞麦和小麦面团香气成分变化[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 207-216. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820031.
- [29] 朱涔铭, 郝正祺, 郭顺堂. 不同菌种发酵所得酸豆乳风味物质的主成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(17): 5971-5981. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.17.030.
- [30] 吕旭聪, 蒋雅君, 胡荣康, 等. 红曲黄酒传统酿造用曲的特征挥发性风味成分分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 222-233. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.05.028.