

自然发酵液中 3 株优势菌对鲜湿米粉食味品质的影响

Effects of three dominant bacteria from natural fermentation broth on the taste quality of fresh rice noodles

胡子斌 杨海涛 袁洁瑶 刘艳兰 易翠平

HU Zi-bin YANG Hai-tao YUAN Jie-yao LIU Yan-lan YI Cui-ping

(长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南 长沙 410114)

(School of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:目的:拓宽发酵鲜湿米粉的菌种选择,开发不同菌株在鲜湿米粉(FRN)中的应用。方法:以糊化、质构、蒸煮拉伸、电子鼻、电子舌及感官评定为评价指标,以发酵乳杆菌(*Limosilactobacillus fermentum* FR-21)、东方醋酸杆菌(*Acetobacter orientalis* AO-21)、植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum* YI-Y2013)及空白样为影响因素,对不同菌株发酵的鲜湿米粉食味品质进行分析。结果:*L. fermentum* FR-21 发酵改善了粘米粉的谷值黏度、崩解值、最终黏度和回生值等糊化指标,并且降低了 FRN 的质构黏性,提高其感官硬度及典型的酵香风味(气味 4.0 分)等;*A. orientalis* AO-21 发酵的 FRN 蒸煮损失最低(1.63%)、质构硬度及咀嚼性高、后味相对较强,并且具有明显的酸性气味(气味 3.7 分);*L. plantarum* YI-Y2013 发酵在谷值黏度、崩解值、最终黏度和回生值等糊化指标及质构黏性上与 *L. fermentum* FR-21 发酵相近($P<0.05$),而 *L. plantarum* YI-Y2013 发酵的 FRN 具有最高的拉伸性(48.83 ± 1.00),并且气味芳香、米香纯正(气味 4.6 分)。结论:3 株不同菌株控制发酵可以使鲜湿米粉呈现出不同的食味品质,可以利用其发酵特点生产不同风味品质的米粉产品。

关键词:发酵乳杆菌;植物乳杆菌;东方醋酸杆菌;食味品质

Abstract; Objective: To broaden the selection of strains for fermenting fresh rice noodle and develop the application of different strains in fresh rice noodle (FRN). **Methods:** With

gelatinization, texture, cooking stretching, electronic nose, electronic tongue and sensory evaluation as evaluation indexes, and *L. fermentum* FR-21, *A. orientalis* AO-21, *L. plantarum* YI-Y2013 and blank samples as influencing factors, the eating quality of FRN fermented by different strains was analyzed. **Results:** *L. fermentum* FR-21 fermentation improved the gelatinization indexes of indica rice flour, such as valley viscosity, disintegration value, final viscosity and retrogradation value, and reduced the texture viscosity of FRN, and improved its sensory hardness and typical fermented flavor (smell 4.0 points). The FRN fermented by *A. orientalis* AO-21 had the lowest cooking loss (1.63%), high texture hardness and chewability, relatively strong aftertaste, and obvious acidic odor (smell 3.7 points). *L. plantarum* YI-Y2013 was similar to *L. fermentum* FR-21 in gelatinization index and textural viscosity, such as valley viscosity, disintegration value, final viscosity and retrogradation value ($P<0.05$), while the FRN fermented by *L. plantarum* YI-Y2013 had the highest extensibility (48.83 ± 1.00), and the smell was fragrant and pure (smell 4.6 points). **Conclusion:** The controlled fermentation of three different strains can make FRN present different taste qualities, and rice noodles with different flavor qualities can be produced by using their fermentation characteristics.

Keywords: *L. fermentum* FR-21; *L. plantarum* YI-Y2013; *A. orientalis* AO-21; taste quality

发酵是传统食品加工的一种方法,可赋予食品优良的食用品质^[1-2]。其中自然发酵是鲜湿米粉生产过程中重要的加工步骤之一,可改善米粉的凝胶品质和口感,赋予其更丰富的发酵风味^[3]。大米自然发酵时涉及的微生物种类及数量繁多,有些微生物能够在发酵过程中逐渐

基金项目:国家自然科学基金(编号:32072265)

作者简介:胡子斌,男,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:易翠平(1973—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: yicp9639@csust.edu.cn

收稿日期:2022-11-07 改回日期:2023-04-14

成为优势菌,如乳杆菌属、葡糖醋杆菌属等^[4-5],极大地影响了鲜湿米粉的品质。与自然发酵不同,纯菌种控制发酵在发酵前期就能快速形成优势菌,在改善食品食味品质的同时也保证了产品品质的稳定性。不同纯菌种发酵对鲜湿米粉食味品质如风味、质构等的影响不同。Park 等^[6]研究了不同霉菌、酵母菌、乳酸菌发酵的大米风味,其中醇类、酯类、醛类等风味物质的变化差异显著;周显青等^[7]在利用植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、酿酒酵母发酵大米时发现,发酵能够显著改善鲜湿米粉的弹性和筋道感,其中植物乳杆菌对鲜湿米粉的品质改性最好。实验室前期在大米自然发酵液中分离出了植物乳杆菌、发酵乳杆菌和醋酸杆菌等优势菌群^[4-5]。其中植物乳杆菌是人体中重要的菌群,不仅可以调节肠道菌群的稳定平衡,还具有抗氧化、抑菌等活性,被广泛应用于乳制品、泡菜、果汁、谷物等食品的发酵中^[8]。研究^[9-10]表明,植物乳杆菌(*L. plantarum* YI-Y2013)发酵显著改变了鲜湿米粉的质构、蒸煮损失、拉伸性能、风味等特性。发酵乳杆菌同样是一种益生菌,可增强人体的免疫力、抑制病原菌等,并且也是乳制品、豆制品、蔬菜类等传统发酵食品中的优势菌^[11]。王水泉等^[12]利用发酵乳杆菌发酵的豆乳中,豆乳表面更为细腻、风味优良。在高粱面包的酸面团发酵中,发酵乳杆菌也能够改善酸面团的流变特性和质构品质^[13];醋酸杆菌属是醋、酸奶、谷物等发酵食品中的优势菌属^[14-15],可将乙醇转化为醋酸,也可产生乳酸、琥珀酸等有机酸,赋予食品优良的酸香气味,在改善食品气味上具有一定的优势^[16]。然而,自然发酵液中,优势发酵乳杆菌及醋酸杆菌对鲜湿米粉食味品质方面的研究鲜有报道,它们对鲜湿米粉的质构特性及风味品质等方面的影响以及与植物乳杆菌发酵的鲜湿米粉品质有何差别,尚不清楚。

研究拟以实验室前期从大米自然发酵液中筛选出的 3 株优势菌株发酵乳杆菌(*L. fermentum* FR-21)、东方醋酸杆菌(*A. orientalis* AO-21)和植物乳杆菌(*L. plantarum* YI-Y2013)作为研究对象,通过探究发酵对鲜湿米粉食味品质的影响,判断发酵菌种对产品特征品质形成的作用,为生产不同风味特征的鲜湿米粉提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

粳米:湖南长沙翔祥食品有限公司;

植物乳杆菌(*L. plantarum* YI-Y2013):实验室分离自湖南常德金健米粉厂自然发酵液;

东方醋酸杆菌(*A. orientalis* AO-21)和发酵乳杆菌(*L. fermentum* FR-21):实验室分离自湖南常德津市米粉厂自然发酵液。

1.2 仪器与设备

恒温培养箱:BPH-9042 型,上海一恒科学仪器有限公司;

双人单面净化工作台:SW-CT-2FD 型,苏州净化设备有限公司;

磨浆机:SY-12 型,浙江鲨鱼食品机械有限公司;

快速黏度分析仪:StarchMaster2 型,瑞典 Perten 公司;

质构仪:TA-XT plus 型,英国 Stable Micro System 公司;

电子鼻:PEN3 型,天津西纳智能科技有限公司;

电子舌:SA-402B 型,北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鲜湿米粉的制备

(1) 工艺流程:

粳米→发酵→清洗→磨浆→蒸片→挤压→煮粉→蒸粉→水洗→沥水→成品

(2) 粳米与水的料液比为 1:1.2 (g/mL),发酵温度 37 ℃,发酵时间 48 h,接菌量为 10⁸ CFU/mL;以紫外灭菌的大米经无菌水浸泡 48 h 作为对照。粳米经 48 h 发酵浸泡后磨浆干燥成水分含量在 8%左右的粳米粉,过 80 目筛,4 ℃保藏备用。

(3) 蒸片时称取 80 g 粳米粉,粳米粉与水的配比为 4:3 (g/mL),蒸片时间 6 min,重复两次;采用手动压面条机挤粉,挤压出的鲜湿米粉为圆粉,直径约为 0.3 cm,将挤压的圆粉水煮 1 min;沸水蒸粉 3 min;再冷水冲洗 30 s;最后晾干表面水分,装袋备用(鲜湿米粉的含水量为 64%~66%)。

1.3.2 米粉糊化特性测定 参考 Park 等^[3]的方法并略作修改。称取 3.0 g 左右的粳米粉(水分含量 8%)于测试专用铝盒中,加入 25 mL 蒸馏水配成米浆,1 min 内加热到 50 ℃,以 900 r/min 搅拌 10 s,随后以 160 r/min 的恒定剪切应力进行搅拌,直到分析结束。样品以 12 ℃/min 的速度加热到 95 ℃,保持 2.5 min,然后以 12 ℃/min 的速度冷却至 50 ℃,保持 2 min。

1.3.3 质构测定 参考 Charutigon 等^[17]的方法并略作修改。将鲜湿米粉样品置于 P/36R 探头下方进行测试;参数设置为:测前速度 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,回程速度 5 mm/s,停留时间 5 s,变形量 50%;重复 6 次,取平均值。

1.3.4 蒸煮损失 选择长度为 10 cm 左右的鲜湿米粉,称取质量为 m_1 (约 10 g)。放入质量为 m_2 的烧杯中,加入 150 mL 沸水,煮制 90 s,再用适量的去离子水清洗米粉,洗液并入烧杯中。加热至烧杯中残留少量水分后,放入 105 ℃烘箱中,烘干至恒重。称取烧杯和固形物总质

量为 m_3 ,按式(1)计算损失。

$$L=\frac{m_3-m_2}{m_1(1-M)}\times 100\%,$$

(1)

式中:

- L ——蒸煮损失,%;

m_1 ——鲜湿米粉质量,g;

m_2 ——烧杯质量,g;

m_3 ——烧杯和固形物总质量,g;

M ——鲜湿米粉的水分含量,%。

1.3.5 拉伸性能 参考易翠平等^[9]的方法并略作修改。取一根制备好的鲜湿米粉,将其缠绕在质构分析仪的 A/SPR 探头上进行测试。测试参数为:测前速度 2.00 mm/s,测试速度 3.0 mm/s,回程速度 8.0 mm/s,目标距离 90.000 mm。重复测定 6 次,取其平均值。

1.3.6 风味测定

(1) 电子鼻测定:参考 Geng 等^[18]的方法并做一些修改。鲜湿米粉的挥发性成分用 PEN3 电子鼻测定,它由 10 种金属氧化物半导体传感器组成。将 3.0 g 新鲜发酵米粉样品置于 20 mL 顶空管中,在 4 ℃下密封 1 h,在 25 ℃下平衡 1 h,然后使用电子鼻进行测试。电子鼻参数设置为:样品制备 5 s,采样间隔 1 s,传感器自动清洗 120 s,传感器归零 5 s,注射流速 400 mL/min,测试 60 s,重复 3 次。

(2) 电子舌:参考 Buratti 等^[19]的方法并做一些修改。称取 5 g 鲜湿米粉,加入 100 mL 参比液(2.236 5 g KCl+0.045 g 酒石酸,按 1 000 mL 量计算)研磨,4 000 r/min 离心 15 min,取上清液过滤,作为待测样品。电子舌经过活化校准后进行测定。

(3) 感官评价:参考罗文波等^[20]的方法并略做修改。选取 8 名训练有素的成员(4 名男性和 4 名女性)进行感官评价,以鲜湿米粉的气味、色泽、硬度、弹性、黏性及外观 6 项内容作为评价指标,评定分数分为 5 个分段,具体

评判见表 1。

1.3.7 数据处理 采用 OriginPro 9.1 进行绘图,利用 SPSS 26.0 软件进行方差分析,结果以平均值±标准差表示,每组平行 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同菌株发酵对籼米粉糊化特性的影响

如表 2 所示,相比于未发酵的空白样(NO-FR),发酵籼米粉的谷值黏度、最终黏度、回生值和糊化温度显著降低,而在峰值黏度及崩解值上显著增加($P<0.05$)。其中,*L. plantarum* YI-Y2013 发酵籼米粉具有最高的峰值黏度(2 569 mPa·s),可能是其发酵降低了淀粉表面的蛋白质含量,使淀粉与水的结合能力增强^[21]。亦有研究^[22]提出,淀粉中相对结晶度的改变使得淀粉在崩解前吸水能力增加,从而提高了籼米粉的峰值黏度。NO-MR 的谷值黏度最高(2 457 mPa·s),其次是 *A. orientalis* AO-21 发酵的籼米粉(1 822 mPa·s),两者在高温糊化条件下的抗剪切能力较强^[23]。而 *L. fermentum* FR-21 与 *L. plantarum* YI-Y2013 两种发酵籼米粉具有相对较低的谷值黏度和较高的崩解值,其相对较高的崩解值,反映出淀粉颗粒内部破裂程度高,米粉更容易糊化^[24]。此外,3 种发酵籼米粉的回生值显著低于 NO-FR(1 347 mPa·s),表明发酵后籼米粉的老化程度会有所降低,籼米粉品质的稳定性增强。在王东坤等^[25]研究发现中,植物乳杆菌强化发酵也降低了大米粉的谷值黏度及回生值,但是在峰值黏度及糊化温度上存在一定的变化差异,可能与大米原料的发酵时间及发酵形态(颗粒状或粉末状)等因素有关^[3,18,25]。

2.2 不同菌株发酵对鲜湿米粉质构品质的影响

如图 1 所示,未发酵的鲜湿米粉(NO-FR)与不同菌株发酵的鲜湿米粉在硬度、黏性、咀嚼度上有所差异($P<0.05$),而在弹性、内聚性和回复性上无显著差异。其中

表 1 鲜湿米粉感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard for fresh rice noodles

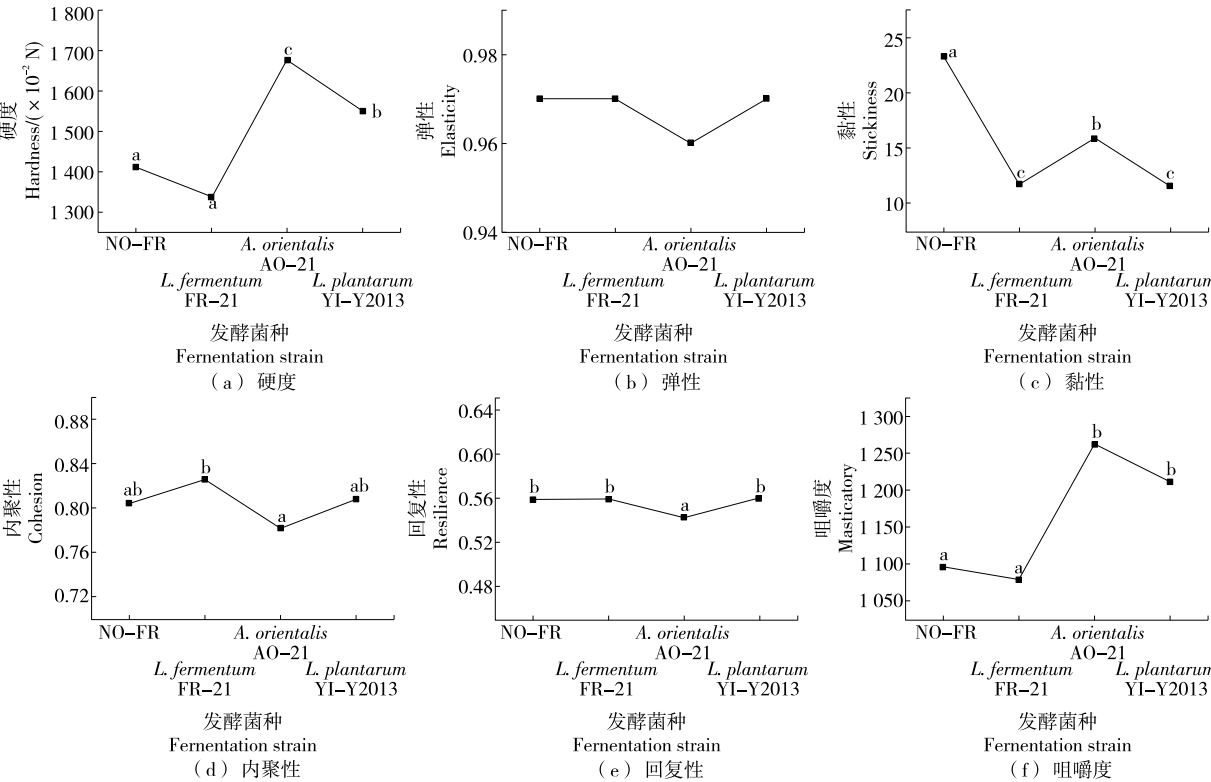
气味	色泽	硬度	弹性	黏性	外观	评定分数
米香浓郁、清香纯正	洁白透亮、富有光泽	米粉硬度适中,适口性好	弹性极佳、口感筋道	米粉间粘黏大、不易分开	米粉形态完整,表面光滑	4~5
米香味较好,无明显酸味	色泽均匀、较为光亮	米粉稍软,适口性好	弹性较好	米粉间粘黏较大	米粉形态完整,表面较为光滑	3~4
米香味不明显、酸性气味突出,但可接受	色泽较为均匀、透性和光亮不明显	米粉较软,但可接受	弹性一般	米粉间粘黏较小、容易分开	米粉表面光滑性不明显,无明显碎条	2~3
稍有异味,气味接受性略低	色泽不均、透性和亮度较差	米粉较软,接受度低	弹性较差,口感筋道较差	米粉间粘黏弱、易分开	米粉较为粗糙,有明显碎条	1~2
异味明显、接受性极低	色泽不均、透性和亮度差	米粉过软,不可接受	弹性差或无弹性	米粉间不粘黏	米粉形态不完整,表面多粗糙,不光滑	0~1

表 2 发酵对籼米粉糊化特性的影响[†]

Table 2 Effects of fermentation on pasting properties of indica rice flour

发酵菌种	峰值黏度/ (mPa·s)	谷值黏度/ (mPa·s)	崩解值/ (mPa·s)	最终黏度/ (mPa·s)	回生值/ (mPa·s)	糊化温度/ ℃
NO-FR	2 457.00±2.83 ^a	2 116.00±52.32 ^b	341.00±7.07 ^a	3 463.00±28.28 ^c	1 347.00±14.00 ^c	91.35±0.57 ^c
<i>L. fermentum</i> FR-21	2 514.00±8.49 ^b	1 612.00±1.41 ^a	902.00±7.07 ^c	2 929.00±5.67 ^a	1 317.00±7.07 ^a	83.90±0.07 ^a
<i>A. orientalis</i> AO-21	2 473.00±4.24 ^a	1 758.50±14.85 ^a	715.50±10.61 ^b	3 086.00±2.83 ^b	1 328.50±2.26 ^b	85.95±0.57 ^b
<i>L. plantarum</i> YI-Y2013	2 569.00±11.31 ^c	1 649.00±42.43 ^a	920.00±31.11 ^c	2 940.50±20.51 ^a	1 291.50±21.50 ^a	84.30±0.50 ^a

[†] 同列字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 1 发酵对鲜湿米粉质构的影响

Figure 1 Effects of fermentation on the texture of fresh rice noodles

L. fermentum FR-21 发酵的鲜湿米粉与 NO-FR 在硬度和咀嚼度上无显著差异,且均低于 *A. orientalis* AO-21 和 *L. plantarum* YI-Y2013 两种菌发酵的鲜湿米粉($P<0.05$);*L. plantarum* YI-Y2013 发酵的鲜湿米粉,其黏性与 *L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉相似,而咀嚼度则与 *A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉无显著差异;*A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉硬度最高,且黏性在 3 种发酵鲜湿米粉中最高。与 NO-FR 相比,发酵显著降低了鲜湿米粉的黏度,不仅可以降低米粉在生产过程中对机器的粘连性,也能够增加米粉在食用时的爽口性。不同于 NO-FR 及 *L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉,*L. plantarum* YI-Y2013 与 *A. orientalis* AO-21 发酵

的两种鲜湿米粉具有较高的硬度及咀嚼度,可能是因为这两株菌的发酵使大米淀粉颗粒表面的部分蛋白被去除,使得淀粉与水分子更容易形成氢键,从而增强了米粉的凝胶结构^[3]。王东坤等^[25]研究了植物乳杆菌强化发酵的鲜湿米粉中,鲜湿米粉的硬度、咀嚼性等的影响与试验中 *L. plantarum* YI-Y2013 与 *A. orientalis* AO-21 发酵的两种鲜湿米粉结果相一致。然而,在易翠平等^[9]的研究中,不同来源的植物乳杆菌制备的发酵鲜湿米粉中,其硬度、弹性、咀嚼性及回复性等方面差异显著,表明即使同类型的菌种发酵也可能会对鲜湿米粉产生不同的质构结果。

2.3 不同菌株发酵对鲜湿米粉蒸煮损失及拉伸性的影响

如图2所示,发酵后鲜湿米粉在蒸煮损失上普遍低

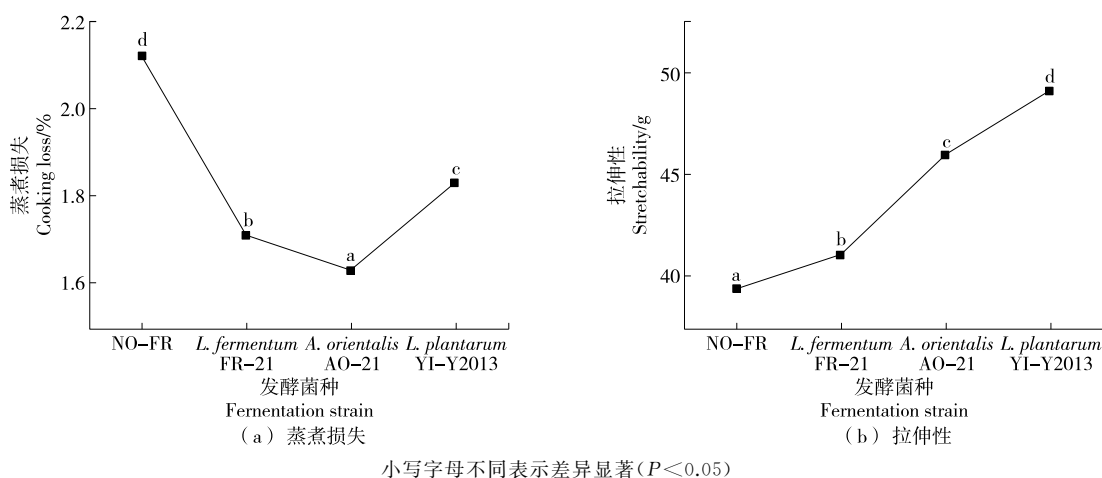


图2 发酵对鲜湿米粉蒸煮损失及拉伸性的影响

Figure 2 Effect of fermentation on cooking loss and tensile property of fresh rice noodles

于 NO-FR,在拉伸性上均高于 NO-FR,发酵极大改善了鲜湿米粉的蒸煮损失和拉伸性,这与周永升等^[26]的研究结果相一致;不同菌株发酵制备的鲜湿米粉具有显著性差异($P < 0.05$),*L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉在蒸煮损失上仅次于 *A. orientalis* AO-21 的,而在拉伸性上显著低于另外两种发酵鲜湿米粉的;*L. plantarum* YI-Y2013 发酵的鲜湿米粉具有最高的拉伸性,与易翠平等^[9]的研究结果一致,但是其蒸煮损失却相对较高;*A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉则在 3 种发酵样品中具有最低的蒸煮损失。这可能是因为 *A. orientalis* AO-21 发酵产生的有机酸含量高,如醋酸、柠檬酸、琥珀酸等^[27-28],而经有机酸加工处理的淀粉可获得低沉降,高剪切性等淀粉特性^[29],从而改善了米粉的蒸煮损失及拉伸性。

2.4 发酵对鲜湿米粉风味的影响

2.4.1 电子鼻分析 采用电子鼻对不同菌株发酵的鲜湿米粉样品进行检测。图 3 显示了主要成分分析(PCA)和

线性判别分析(LDA)的结果。由图 3(a)可知,发酵后 PC1 整体气味右移,且 PC1 的累积变异系数为 83.02%,表明其对风味物质的整体贡献大;4 种发酵鲜湿米粉间的气味差异显著,而有研究^[4-5,10]表明醛类、醇类等物质是鲜湿米粉中的主要挥发性成分,酸性挥发物依据发酵菌株的不同也可能成为主要成分。因此,不同菌株发酵制备的鲜湿米粉可能对醛类、醇类、酸类等挥发物的影响不同,进而产生不同的气味差异^[6]。Park 等^[6]研究的不同菌株发酵的大米也具有显著的风味差异。由图 3(b)可知,4 种鲜湿米粉样品之间没有重叠部分,表明 4 种鲜湿米粉样品间的气味容易区分。

2.4.2 电子舌 由图 4 可知,相比 NO-FR,3 种发酵鲜湿米粉在苦味、鲜味、后味、丰富度等滋味方面有所降低,各种滋味的变化可能是因为发酵改变了蛋白质含量,导致各种氨基酸含量变化,最终呈现出不同的味觉体现^[30]。其中 *L. fermentum* FR-21 发酵鲜湿米粉在苦味和鲜味上较为明显,*L. plantarum* YI-Y2013 发酵的鲜湿米粉则

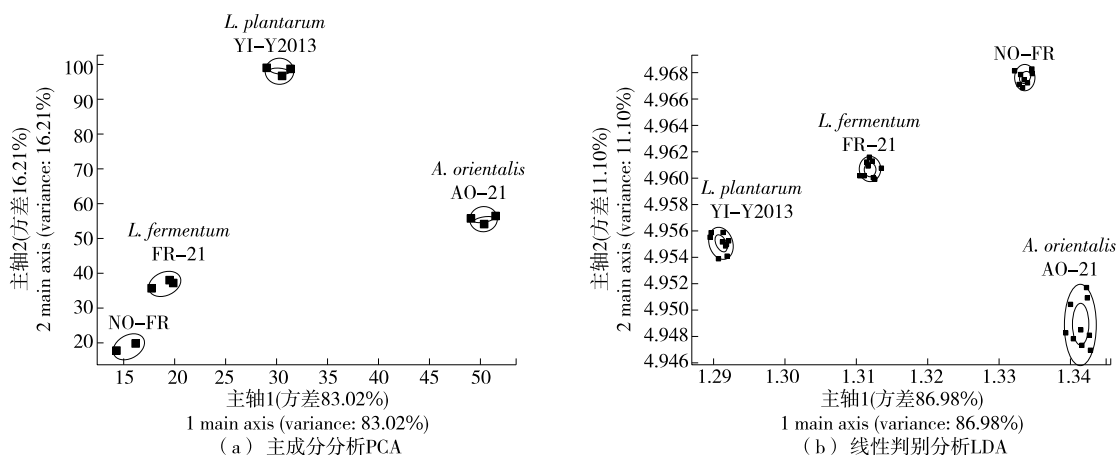


图3 发酵鲜湿米粉的电子鼻分析图

Figure 3 Electronic nose analysis of fermented fresh rice noodles

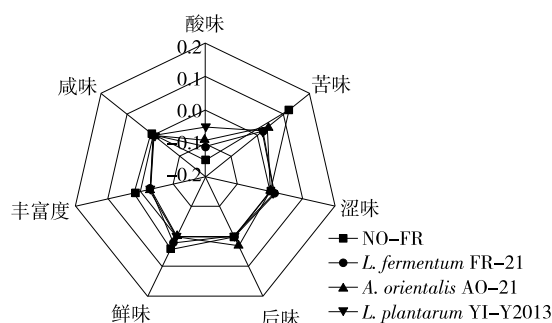


图 4 发酵鲜湿米粉的电子舌分析图

Figure 4 Electronic tongue analysis of fermented fresh rice noodles

在涩味上较为显著,而 *A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉则在苦味和后味上相对凸显,这可能是由于不同菌株发酵产生了不同风味类型的氨基酸,使得鲜湿米粉样品之间的味觉差异显著。

2.4.3 感官评定 如图 5 所示,3 种发酵鲜湿米粉在外观、色泽、黏性和弹性上具有相似的评分结果,而在硬度和气味的感官评分上差异显著;*L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉在感官硬度上的评分最高,其次是 *L. plantarum* YI-Y2013 和 *A. orientalis* AO-21 两种发酵鲜湿米粉。在气味上,*L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉具有典型的醇香味;*L. plantarum* YI-Y2013 发酵的鲜湿米粉则具有纯正的米香味,前期研究^[4-5]发现其风味物质主要是醛类及醇类;而 *A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉具有较浓的酸性气味。综合气味评定结果表明,*L. fermentum* FR-21 发酵的鲜湿米粉气味评分低于 *L. plantarum* YI-Y2013 发酵的鲜湿米粉,而 *L. plantarum* YI-Y2013 的气味评分最高,*A. orientalis* AO-21 的最低,这可能与人们对酸性气味的接受程度有关。与 3 种发酵鲜湿米粉相比,NO-FR 在外观、色泽、硬度上的评分最低,且米粉间的黏性最大。因此,发酵后鲜湿米粉的感官评定结果明显优于 NO-FR,*L. fermentum* FR-21 和 *L. plantarum* YI-Y2013 两种菌发酵的鲜湿米

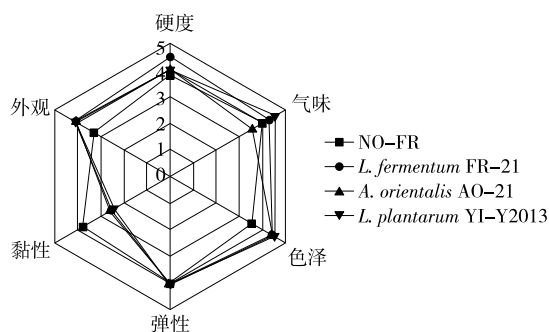


图 5 发酵鲜湿米粉的感官评定雷达图

Figure 5 Sensory evaluation radar chart of fermented fresh rice noodles

粉感官评定结果较好,而 *A. orientalis* AO-21 发酵的鲜湿米粉则稍微次之。

3 结论

试验表明,3 种不同菌株发酵对糙米原料的糊化特性和鲜湿米粉的品质均具有不同程度的改善。相对而言,*L. fermentum* FR-21 与 *L. plantarum* YI-Y2013 发酵的两种鲜湿米粉具有较好的食味品质,且在气味上更容易被接受;*A. orientalis* AO-21 发酵也提高了鲜湿米粉的凝胶品质,其较强的酸性风味被部分消费者喜爱。3 种不同菌株均改善了鲜湿米粉的食味品质,并且呈现出不同的变化特征,后续可对菌种的复配及鲜湿米粉的挥发性成分进行研究,以测出 3 种菌株发酵后的挥发性物质成分及最佳的菌种发酵配比。

参考文献

- [1] SANLIER N, GOKCEN B B, SEZGIN A C. Health benefits of fermented foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(3): 506-527.
- [2] 欧阳跳. 开发菌类食品前景广阔[J]. 粮食经济与科技, 1994 (5): 43.
- [3] OUYANG T. The prospect of developing mushroom food is broad [J]. Grain Science and Technology and Economy, 1994(5): 43.
- [4] PARK T W, SUNG J M, CHOI Y S, et al. Effect of natural fermentation on milled rice grains: Physicochemical and functional properties of rice flour[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 106005.
- [5] YI C P, ZHU H, TONG L T, et al. Volatile profiles of fresh rice noodles fermented with pure and mixed cultures[J]. Food Research International, 2019, 119: 152-160.
- [6] YI C P, ZHU H, YANG R H, et al. Links between microbial compositions and volatile profiles of rice noodle fermentation liquid evaluated by 16S rRNA sequencing and GC-MS [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 118: 108774.
- [7] PARK M K, KIM Y S. Distinctive formation of volatile compounds in fermented rice inoculated by different molds, yeasts, and lactic acid bacteria[J]. Molecules, 2019, 24(11): 2 123.
- [8] 周显青, 李亚军, 张玉荣. 不同微生物发酵对大米理化特性及米粉食味品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(14): 4-8.
- [9] ZHOU X Q, LI Y J, ZHANG Y R. Influences of different fermentation microorganisms on physicochemical properties of rice and eating quality of rice noodles[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 31(14): 4-8.
- [10] 梁婉诗, 刘欣桐, 麦婉, 等. 组学技术在植物乳杆菌及其发酵食品中的研究进展[J]. 现代食品科技, 2023, 39(5): 376-385.
- [11] LIANG W S, LIU X T, MAI W, et al. Advances in omics techniques in lactiplantibacillus plantarum and its application in fermented food[J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(5): 376-385.
- [12] 易翠平, 樊振南, 祝红, 等. 植物乳杆菌发酵对鲜湿米粉品质的

- 影响: I. 力学性能[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(12): 1-6.
- YI C P, FAN Z N, ZHU H, et al. Quality of fresh rice noodles fermented with *Lactobacillus plantarum*: I. mechanical properties [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32 (12): 1-6.
- [10] 樊振南, 易翠平, 祝红, 等. 植物乳杆菌发酵对鲜湿米粉品质的影响: II. 食味品质[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(1): 7-12.
- FAN Z N, YI C P, ZHU H, et al. Quality of fresh rice noodles fermented with *Lactobacillus plantarum*: II. eating quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(1): 7-12.
- [11] 敖晓琳, 蒲彪, 蔡义民, 等. 发酵乳杆菌及其益生特性研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(2): 121-127.
- AO X L, PU B, CAI Y M, et al. Research progress of *Lactobacillus fermentum* and its probiotic characteristics [J]. Journal of Food Science and Biotechnology. 2015, 34(2): 121-127.
- [12] 王水泉, 包艳, 张延超, 等. 具有潜在益生特性的发酵乳杆菌在豆乳中的发酵特性[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(5): 7-11.
- WANG S Q, BAO Y, ZHANG Y C, et al. Fermentation properties of potential probiotic *Lactobacillus fermentum* in soymilk[J]. Dairy Industry in China, 2010, 38(5): 7-11.
- [13] FALASCONI I, FONTANA A, PATRONE V, et al. Genome-Assisted characterization of *Lactobacillus fermentum*, *Weissella cibaria*, and *Weissella confusa* strains isolated from sorghum as starters for sourdough fermentation [J]. Microorganisms, 2020, 8 (9): 1 388.
- [14] WANG Z M, LU Z M, SHI J S, et al. Exploring flavour-producing core microbiota in multispecies solid-state fermentation of traditional Chinese vinegar[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 26818.
- [15] KIRYU T, KISO T, NAKANO H, et al. Involvement of *Acetobacter orientalis* in the production of lactobionic acid in Caucasian yogurt ("Caspian Sea yogurt") in Japan [J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92: 25-34.
- [16] ZHANG L, HONG Q P, YU C F, et al. *Acetobacter* sp. improves the undesirable odors of fermented noni (*Morinda citrifolia* L.) juice[J]. Food Chemistry, 2022, 401(1): 134126.
- [17] CHARUTIGON C, JITPUPAKDREE J, NAMSREE P, et al. Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 642-651.
- [18] GENG D H, LIU L, ZHOU S M, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* inoculum on the fermentation rate and rice noodle quality[J]. Journal of Oleo Science, 2020, 69(9): 1 031-1 041.
- [19] BURATTI S, CASIRAGHI A, MINGHETTI P, et al. The joint use of electronic nose and electronic tongue for the evaluation of the sensorial properties of green and black tea infusions as related to their chemical composition[J]. Food and Nutrition Sciences, 2013, 4(6): 605-615.
- [20] 罗文波, 林亲录, 黄亮, 等. 不同品种籼米生产的鲜湿米粉理化特性与感官品质[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 7-12, 48.
- LUO W B, LIN Q L, HUANG L, et al. Study on physicochemical and sensory properties of fresh rice noodles produced by different varieties of indica rice [J]. Food & Machinery, 2011, 27(3): 7-12, 48.
- [21] LI Z, WANG L, CHEN Z, et al. Impact of protein content on processing and texture properties of waxy rice flour and glutinous dumpling[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 81: 30-36.
- [22] LUO Y, LIU Q, LIU J, et al. Effect of starch multi-scale structure alteration on japonica rice flour functionality under infrared radiation drying and storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 143: 111126.
- [23] 潘治利, 张垚, 艾志录, 等. 马铃薯淀粉糊化和凝胶特性与马铃薯粉品质的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 197-201.
- PAN Z L, ZHANG Y, AI Z L, et al. Relationship between gelatinization and gelling properties of potato starch and potato noodles[J]. Food Science, 2017, 38(5): 197-201.
- [24] 赵卿宇, 郭辉, 沈群. 两种香米在不同温度储存过程中理化性质和食用品质的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 160-168.
- ZHAO Q Y, GUO H, SHEN Q. Variations in physicochemical properties and eating quality of two fragrant rice varieties during storage at different temperatures[J]. Food Science, 2021, 42(9): 160-168.
- [25] 王东坤, 张佳艳, 李才明, 等. 植物乳杆菌强化发酵对鲜湿米粉品质的影响及作用机理分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48 (7): 134-139.
- WANG D K, ZHANG J Y, LI C M, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* enhanced fermentation on the quality of fresh rice noodles and its mechanism[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(7): 134-139.
- [26] 周永升, 杨日坤, 孙晓波, 等. 半干米粉的发酵工艺优化及蒸煮品质、质构特性分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(4): 34-41.
- ZHOU Y S, YANG R K, SUN X B, et al. Optimization of fermentation process and analysis of cooking quality and texture properties of semi-dry rice noodles [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(4): 34-41.
- [27] CHENG L L, LUO J F, LI P, et al. Microbial diversity and flavor formation in onion fermentation[J]. Food & Function, 2014, 5(9): 2 338-2 347.
- [28] YANG X H, LI S H, JIA X Q, et al. A four-microorganism three-step fermentation process for producing medium-chain-length polyhydroxyalkanoate from starch[J]. 3 Biotech, 2020, 10: 352.
- [29] KARMA V, GUPTA A D, YADAV D K, et al. Recent developments in starch modification by organic acids: A review[J]. Starch, 2022, 74: 2200025.
- [30] 刘娜. 乳酸菌与酵母菌协同发酵米酸特征风味形成机理研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021: 28.
- LIU N. Study on the formation mechanism of characteristic flavor of rice acid fermented by lactic acid bacteria and yeast [D]. Guiyang: Guizhou University, 2021: 28.