

## 基于仿生学技术不同发酵方式酸浆水品质评价

李 姚, 孔祥聪, 琚兴波, 侯强川, 郭 壮, 王玉荣

### Evaluation of Suanjiangshui Quality in Different Fermentation Methods Based on Biomimetic Technology

LI Yao, KONG Xiangcong, QU Xingbo, HOU Qiangchuan, GUO Zhuang, and WANG Yurong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021090241>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 福鼎白茶风味的电子鼻和电子舌评价

Evaluation of Fuding white tea flavor using electronic nose and electronic tongue

食品工业科技. 2017(12): 25-30

#### 基于电子鼻与电子舌技术评价氯吡脲对甜瓜品质的影响

Effects of Forchlorfenuron on Quality of Melon Based on Electronic Nose and Electronic Tongue

食品工业科技. 2019, 40(14): 24-30

#### 基于电子舌与电子鼻评价烘培时间对黄秋葵籽风味品质的影响

Effect of Baking Time on Flavour Quality of Okra Seed Based on Electronic Tongue and Electronic Nose

食品工业科技. 2018, 39(24): 289-293

#### 电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用

Analysis of Flavor Difference of Mulberry Juice by E-Nose and E-Tongue

食品工业科技. 2020, 41(12): 234-237,244

#### 基于主成分和聚类分析的不同乳酸杆菌制备酸浆水品质评价

Quality Evaluation of Suanjiangshui Prepared by Different *Lactobacillus* Based on Principal Components and Cluster Analysis

食品工业科技. 2019, 40(23): 242-246

#### 基于电子鼻、电子舌和GC-MS分析饲料中添加金枪鱼蒸煮液对巴马香猪猪肉气味和滋味的影响

Electronic Nose, Electronic Tongue and GC-MS for Odor and Taste Analysis of Bama Pork with Dietary Tuna Cooking Liquid Supplement

食品工业科技. 2019, 40(23): 229-234



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李姚, 孔祥聪, 琚兴波, 等. 基于仿生学技术不同发酵方式酸浆水品质评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 125–131. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090241

LI Yao, KONG Xiangcong, QU Xingbo, et al. Evaluation of Suanjiangshui Quality in Different Fermentation Methods Based on Biomimetic Technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 125–131. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090241

· 生物工程 ·

# 基于仿生学技术不同发酵方式酸浆水品质评价

李 姚<sup>1,2</sup>, 孔祥聪<sup>1,2</sup>, 琚兴波<sup>3</sup>, 侯强川<sup>1,2</sup>, 郭 壮<sup>1,2</sup>, 王玉荣<sup>1,2,\*</sup>

(1.湖北文理学院, 湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北襄阳 441053;

2.湖北文理学院, 乳酸菌生物技术与工程襄阳市重点实验室, 湖北襄阳 441053;

3.湖北豫家餐饮管理有限公司, 湖北襄阳 441000)

**摘 要:** 为比较研究纯种发酵与加引子发酵酸浆水品质差异, 本研究分别采用发酵乳杆菌纯种发酵和以老卤水为引子发酵两种方式制作酸浆水, 并使用电子舌、电子鼻和色度仪等仿生学设备对其感官品质进行检测。结果显示, 发酵乳杆菌纯种发酵的酸浆水鲜味明显高于加引子发酵, 而酸味和涩味呈现相反的趋势; 挥发性风味方面, 乳酸菌纯种发酵的酸浆水中芳香类物质的强度显著高于加引子发酵 ( $P<0.05$ ); 经色度仪检测发现, 乳酸菌纯种发酵酸浆水明亮度及绿度较引子发酵酸浆水高, 二者色差显著 ( $P<0.05$ )。多元统计学分析结果显示不同发酵方式制作的酸浆水品质整体存在显著性差异, 导致差异的主要指标为鲜味、芳香类以及烷烃类挥发性风味物质。综上, 乳酸菌纯种发酵的酸浆水品质更优。

**关键词:** 酸浆水, 纯菌发酵, 引子, 电子舌, 电子鼻, 色度仪

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)13-0125-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090241



本文网刊:

## Evaluation of Suanjiangshui Quality in Different Fermentation Methods Based on Biomimetic Technology

LI Yao<sup>1,2</sup>, KONG Xiangcong<sup>1,2</sup>, QU Xingbo<sup>3</sup>, HOU Qiangchuan<sup>1,2</sup>, GUO Zhuang<sup>1,2</sup>, WANG Yurong<sup>1,2,\*</sup>

(1.Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Ingredients, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China;

2.Xiangyang Lactic Acid Bacteria Biotechnology and Engineering Key Laboratory, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China;

3.Hubei Yujia Catering Management Co., Ltd., Xiangyang 441000, China)

**Abstract:** In order to compare and study the quality difference of Suanjiangshui between purebred fermentation and starter fermentation, *Lactobacillus fermentum* pure-bred fermentation and old brine fermentation were used to make Suanjiangshui, and the sensory quality was detected by bionic equipment such as electronic tongue, electronic nose and colorimeter. The results showed that the umami of pure fermentation of *Lactobacillus fermentum* was obviously higher than that of fermentation with old brine, while the sourness and astringency showed opposite trend. In terms of volatile flavor, the intensity of aromatic substances in Suanjiangshui fermented by pure lactic acid bacteria was significantly higher than that fermented by starters ( $P<0.05$ ). The colorimeter detection showed the brightness and greenness of pure lactic acid bacteria fermented Suanjiangshui were higher than those of starters fermented, and the color difference between them was significant ( $P<0.05$ ). The results of multivariate statistical analysis indicated that there were significant differences in the

收稿日期: 2021-09-22

基金项目: 襄阳市基础研究类科技计划项目 (2021ABS002937); 湖北文理学院教师科研能力培育基金“科技创新团队” (2020kpytd009)。

作者简介: 李姚 (2000-), 女, 本科, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 2125962594@qq.com。

\* 通信作者: 王玉荣 (1993-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品微生物与生物技术, E-mail: wangyurong1993@163.com。

overall quality of Suanjiangshui produced by different fermentation methods, and the main indicators that caused the differences were umami, aromatic and alkane volatile flavor substances. In general, the quality of Suanjiangshui fermented by pure lactic acid bacteria was better.

**Key words:** Suanjiangshui; pure bacteria fermentation; starters; electronic tongue; electronic nose; colorimeter

浆水是以芹菜或白菜等为主料加少量面粉和大量水自然发酵而成的,其不仅是中国地理标志产品酸浆面的特征风味来源,亦是陕南和甘肃等地浆水面的主要配料<sup>[1]</sup>。近年来研究人员针对酸浆水及其微生物开展了多项研究,主要包括微生物多样性<sup>[2]</sup>、降胆固醇菌株的筛选<sup>[3]</sup>、亚硝酸盐含量分析<sup>[4]</sup>以及相关饮料研制<sup>[5]</sup>等方面,而有关酸浆水发酵方式上的研究相对较少。目前,酸浆水的制作以农家自制为主,一般采用自然发酵的方式,发酵进程较难调控,产品品质不稳定,发展受限。张晓辉等<sup>[6]</sup>对采集自山西和甘肃的浆水中细菌多样性进行分析发现,浆水中存在致病菌和条件致病菌,说明急需改善加工环境或筛选适于酸浆水发酵的菌株来降低潜在风险。王丽萍等<sup>[7]</sup>探讨了面粉添加量、发酵温度和保藏方法等工艺因素对浆水品质的影响,阐明实现浆水品质的标准化的重要途径为选择特定菌种发酵。亦有研究人员发现,纯种发酵更适合发酵蔬菜类制品的制作<sup>[8]</sup>。周书楠等<sup>[9]</sup>研究发现,乳酸杆菌是琚湾酸浆面浆水中的绝对优势细菌微生物,并推测乳酸菌发酵对于酸浆水风味的形成起着至关重要的作用。采用 16S rRNA 高通量测序技术,彭飞等<sup>[10]</sup>发现乳酸杆菌属亦是北方浆水中的优势菌属。张振东等<sup>[11]</sup>采用六种纯培养方式对酸浆水中乳酸菌进行分离,发酵乳杆菌的株数占总分离株的 48.89%,变性梯度凝胶电泳结果亦显示发酵乳杆菌和德式乳杆菌为酸浆水中的主要乳酸菌。这些研究为筛选酸浆水发酵菌株提供了指导。

本研究分别采用发酵乳杆菌纯种发酵和加引子发酵两种方式制作浆水,并尝试使用电子舌、电子鼻和色度仪从滋味、风味和色泽三个维度对浆水的感官品质进行评价。电子舌通过人工脂膜技术可实现同时对浆水中基本味(酸、苦、涩、咸和鲜味)以及回味(涩、苦和鲜味)进行测定,具有检测速度快、结果准确等优点,目前,在葡萄酒<sup>[12]</sup>、蜂蜜<sup>[13]</sup>、蘑菇<sup>[14]</sup>和奶制品<sup>[15]</sup>等食品的滋味检测中应用广泛。电子鼻通过其金属氧化电极对食品中典型挥发性风味物质进行测定,从而对浆水挥发性风味进行评价,常用于水果<sup>[16]</sup>、猪肉<sup>[17]</sup>、白酒<sup>[18]</sup>和食用油<sup>[19]</sup>等食品的检测。色度仪则直接显示三刺激值并将其转化为颜色空间标度,从而对食品的明亮度、红蓝度和黄绿度进行测定,目前广泛应用于饮用水<sup>[20]</sup>、番茄酱<sup>[21]</sup>、牛肉鲜度<sup>[22]</sup>和鲜切果蔬褐变程度<sup>[23]</sup>等的检测。通过比较乳酸菌纯种发酵和加引子发酵浆水品质差异,以期为酸浆水的纯种发酵以及即食型产品的生产提供一定的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

酸浆水 采集自襄阳市枣阳市琚湾镇各大面馆,主要原料均为芹菜和面粉,经 24 h 左右自然发酵而成;纯种发酵用菌株 由传统发酵食品研究所提供,即对 15 个酸浆水样本中乳酸菌进行分离鉴定,然后从每个样本中挑选一株发酵乳杆菌进行后续实验,共计 15 株;芹菜 市售;面粉 中粮面业(海宁)有限公司;葡萄糖 西陇科学股份有限公司;氯化钠 国药集团化学试剂有限公司;MRS 培养基 青岛海博生物技术有限公司;阳离子溶液、阴离子溶液、内部溶液、预处理溶液、参比溶液 日本 Insent 公司。

SA 402B 电子舌(配备 5 个味觉传感器电极和 2 个参比电极) 日本 Insent 公司;PEN3 电子鼻(配备 10 个金属氧化电极) 德国 Airsense 公司;Ultra Scan PRO 色度仪 美国 Hunter Lab 公司;CR21N 高速离心机 日本日立公司;PHS-3C 台式酸度计 上海仪电科学仪器股份有限公司;LRH-70 生化培养箱 上海一恒科学仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品采集 从湖北省襄阳市枣阳市琚湾镇的不同面馆采集 15 份自然发酵酸浆面浆水样品,装入无菌采样瓶后密封置于含有冰盒的采样箱中低温运回实验室迅速完成乳酸菌的分离纯化。

1.2.2 酸浆水样品制作 原料前处理:取纯净水煮沸后按 0.5%(w/v)比例添加面粉制备面粉浆液,煮沸放凉按 1% 比例加入漂烫过的芹菜,搅拌均匀制成浆汤后分装至小发酵罐中,每罐 500 mL 备用。

浆水制备:将前期分离至酸浆面浆水的 15 株发酵乳杆菌接入 MRS 培养基中活化(37 ℃ 静置培养 24 h)两代后 10000 r/min 离心 10 min,沉淀即为菌体,取菌体接入含 1% 葡萄糖的 100 mL 面粉浆液中 30 ℃ 静置培养 24 h 制成菌液。将菌液按 5%(v/v)的比例接入分装好的浆汤中,30 ℃ 发酵 24 h,制备纯种发酵浆水,编号分别为 T1~T15。以采集的 15 份自然发酵酸浆为引子,按照 5%(v/v)的比例加入到制备好的浆汤,30 ℃ 发酵 24 h,制备引子发酵酸浆,编号依次为 Z1~Z15。制备 T1 的发酵乳杆菌分离至制备 Z1 的引子,制备 T2 的菌株来源于发酵 Z2 的引子,依次类推。

1.2.3 不同发酵方式浆水滋味特征分析 准确量取 50 mL 发酵后的浆水样品和 100 mL 纯净水混合均匀,静置 30 min 后进行抽滤,取滤液参考王丹丹等<sup>[24]</sup>的测试方法使用电子舌进行参数测试。为减少系统

误差,每次测定时均设置 Z1 号样品作为对照样本,数据分析时待测样品与对照样本的差值即为待测样品各滋味品质的相对强度值。

1.2.4 不同发酵方式浆水挥发性风味测定 准确吸取 15 mL 发酵好的浆水于电子鼻样品瓶中,水浴锅中 50 ℃ 保温 30 min,室温平衡 10 min 后插入电子鼻探头进行进样,参考张松等<sup>[25]</sup>的测试方法进行参数测试。每个样品测试 90 s,由于传感器的响应值在 70 s 后达到稳定,选取 85、86 和 87 s 时的响应值作为本研究的测试结果。

1.2.5 不同发酵方式浆水色泽分析 本研究参考郭壮等<sup>[26]</sup>的研究对不同发酵方式浆水的色泽进行评价。将浆水装入 50 mm×50 mm 的专用比色皿中,采用色度仪对其色泽品质进行评价,测试模式选择透测试,读数以 CIE1976 色度空间值  $L^*$ (暗→亮:0→100), $a^*$ (绿→红+), $b^*$ (蓝→黄+)表示。

1.3 数据处理

采用主成分分析(principal component analysis, PCA)、非加权组平均法(unweighted pair-group method with arithmetic, UPGMA)和多元方差分析法(multivariate analysis of vari-ance, MANOVA)对不同发酵方式浆水的整体品质进行分析,采用  $t$  检验、Mann-Whiney 检验和冗余分析(Redundancy analysis, RDA)对不同发酵方式浆水品质差异的关键性指标进行甄别。采用 Cannoco 4.5 软件、MATLAB 2016b 软件和 Origin 2017 完成数据分析和可视化。

2 结果与分析

2.1 不同发酵方式浆水品质分析

据湾酸浆面风味特征为酸、香、辣,是湖北省非物质文化遗产和中国地理标志产品<sup>[27]</sup>,其酸味及主体香味主要来源于酸浆水,因此,酸浆水口感、风味等发酵特征对成品酸浆面品质有着重要的影响。本研究首先使用电子舌对 15 份发酵乳杆菌单菌发酵酸浆水及 15 份老卤水引子发酵酸浆水的滋味特征进行了测定,两类样本的 8 个滋味指标测定结果见图 1。

由图 1 可知,不同发酵方式制作的浆水酸、苦、

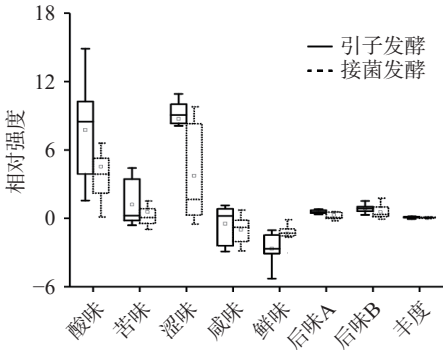


图 1 不同发酵方式酸浆水各滋味指标相对强度箱型图

Fig.1 Box diagram of relative intensity of each taste index of Suanjiangshui with different fermentation methods

涩、咸和鲜味之间均具有较大的差异,其中,涩味的差异性最大,酸味次之;后味 A(涩的回味)、后味 B(苦的回味)和丰度(鲜的回味)之间的差异性较小。发酵乳杆菌纯种发酵的浆水鲜味相对强度明显高于用引子发酵,而酸味和涩味正好相反。浆水经过多轮次发酵,其中的微生物相较冻存过的纯种菌株能更快适应浆汤环境,发酵产酸更快;此外,不同农户自制老卤水发酵轮次多且不尽相同也使得其中乳酸等有机酸不断积累,这也可能是导致用其发酵浆水酸度较单菌发酵浆水强度大且组内差异亦较后者明显的原因。值得注意的是不同发酵乳杆菌接菌发酵浆水涩味差异较大,表明这些菌株虽然都分离至自然发酵浆水但并不都适宜单独发酵酸浆水。

本研究进一步使用电子鼻对不同发酵方式浆水的挥发性风味进行了测定,结果见表 1。

由表 1 可知,发酵乳杆菌纯种发酵制作的浆水在三个对芳香类风味灵敏的传感器(W1C、W3C 和 W5C)上的响应强度显著高于加引子发酵浆水( $P<0.05$ ),而在对有机硫化物、萜类物质(W1W)以及烷烃灵敏的传感器(W3S)上的响应值呈现相反的趋势( $P<0.05$ )。由此可见,总体上发酵乳杆菌纯种发酵制备的浆水挥发性风味要明显优于用引子发酵的浆水,这与前期研究发现的发酵乳杆菌发酵的酸浆水芳香类风味物质的含量高于植物乳杆菌与德氏乳杆菌发

表 1 不同发酵方式酸浆水风味特性及差异

Table 1 Flavor characteristics and differences of Suanjiangshui by different fermentation methods

传感器	性能描述	引子发酵	接菌发酵
W1C	对芳香类物质灵敏	0.77(0.77,0.71-0.82) <sup>b</sup>	0.79(0.78,0.76-0.82) <sup>a</sup>
W5S	对氮氧化物灵敏	1.45(1.45,1.3-1.77) <sup>a</sup>	1.40(1.40,1.31-1.54) <sup>a</sup>
W3C	芳香类物质灵敏	0.88(0.89,0.85-0.91) <sup>b</sup>	0.89(0.89,0.88-0.91) <sup>a</sup>
W6S	对氢气有选择性	1.52(1.27,1.17-3.23) <sup>a</sup>	1.60(1.35,1.23-3.11) <sup>a</sup>
W5C	对芳香类物质灵敏	0.94(0.94,0.92-0.95) <sup>b</sup>	0.95(0.94,0.93-0.95) <sup>a</sup>
W1S	对甲烷灵敏	4.71(4.55,4.2-5.59) <sup>a</sup>	4.65(4.79,3.85-5.39) <sup>a</sup>
W1W	对有机硫化物、萜类物质灵敏	1.73(1.80,1.29-2.18) <sup>a</sup>	1.55(1.55,1.08-1.96) <sup>b</sup>
W2S	对乙醇灵敏	2.15(2.08,1.98-2.70) <sup>a</sup>	2.19(2.14,1.89-2.72) <sup>a</sup>
W2W	对有机硫化物灵敏	1.82(1.87,1.30-2.25) <sup>a</sup>	1.65(1.71,0.98-1.93) <sup>a</sup>
W3S	对烷烃灵敏	1.72(1.72,1.60-1.85) <sup>a</sup>	1.64(1.62,1.54-1.77) <sup>b</sup>

注:表中数据表示“平均值(中位数,最小值-最大值)”,同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ );表2同。



酵浆水的结论相似<sup>[28]</sup>。此外,望诗琪等<sup>[29]</sup>采用气相色谱-质谱联用技术从珞湾酸浆面浆水中检测出的挥发性风味物质有 159 种,并推测较高含量 3-丁炔-1-丁醇的检出可能来源于浆水的盛装容器。因此,引子发酵浆水不良风味相对强度较单一菌株发酵浆水高可能是因为引子中微生物种类复杂,开放发酵易滋生污染菌。此外,部分引子原是盛于塑料容器中发酵,长时间循环使用亦可能掺入杂味。

为更准确显示接菌及加引子发酵酸浆水的色泽特征和差异,本研究使用色度仪对的色泽特征进行了测定,分析结果见表 2。

表 2 不同发酵方式酸浆水各色度指标的差异性分析

Table 2 Analysis on the difference of chromaticity indexes of Suanjiangshui with different fermentation methods

品质指标	引子发酵	接菌发酵
$L^*$ (暗→亮: 0→100)	31.40(31.95,27.03-34.49) <sup>b</sup>	34.42(34.52,27.05-41.11) <sup>a</sup>
$a^*$ (绿→红+)	-0.45(-0.48,-0.87-0.06) <sup>a</sup>	-0.80(-0.89,-1.39-0.12) <sup>b</sup>
$b^*$ (蓝→黄+)	-3.55(-3.80,-4.29-1.81) <sup>a</sup>	-3.32(-3.38,-4.31-1.29) <sup>a</sup>

好的浆水呈淡乳白色,略带绿色,色泽均匀不分层,表面无白膜。经检测,本研究采用引子发酵和接菌发酵制作的浆水色泽均较为明亮,整体偏绿偏蓝,符合酸浆水发酵特征。经对比,发酵乳杆菌纯种发酵制备的酸浆水其明亮度显著高于加引子发酵( $P<0.05$ ), $a^*$ 值则呈现出相反的趋势( $P<0.05$ )。由此可见,较之加引子发酵,乳酸菌纯种发酵的酸浆水颜色偏亮偏绿,通过计算发现二者色差值( $\Delta E^*$ )为 3.05,因而不同发酵方式对酸浆水色泽有明显的影响。不同发酵方式酸浆水色差明显可能与其酸度及发酵程度有关,电子舌检测结果显示,加引子发酵酸浆水酸度高于加发酵乳杆菌发酵,说明引子发酵酸浆水发酵程度更高,pH 降低及微生物活动会导致芹菜叶绿素损失率增加<sup>[30]</sup>。

## 2.2 不同发酵方式制备酸浆水整体品质差异性分析

本研究使用 PCA、MANOVA 和 UPGMA,以电子舌和电子鼻测试指标为对象,进一步探究了不同发酵方式酸浆水整体感官品质差异。由 PCA 发现,总方差 87.92% 的贡献率来自于前 6 个主成分(principal component, PC),其方差贡献率依次为 32.89%、20.14%、13.65%、9.82%、6.40% 和 5.01%。由此可知,6 个主成分可以代表原始数据 18 个变量的绝大部分信息。基于 PC1 和 PC2 不同发酵方式酸浆水品质的因子载荷图如图 2 所示。

由图 2 可知,影响接菌和引子发酵浆水整体品质的关键感官指标为涩味、酸味、W5S、W2W、W1W 和 W1C。涩味在 PC1 中的系数为 0.49,PC2 中载荷最高的正影响指标为酸味,其载荷量为 0.40,而在 PC2 中载荷最高的负影响指标为 W1C(对芳香类物质灵敏),其载荷量为 0.26。即 PC1 的主要差异集中在涩味,而 PC2 的主要差异则集中在酸味和 W1C。

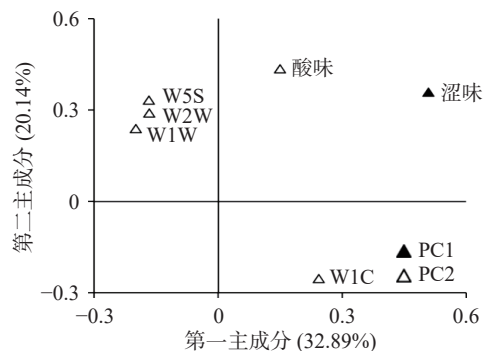


图 2 不同发酵方式酸浆水品质的因子载荷图

Fig.2 Factor load diagram of Suanjiangshui quality with different fermentation methods

基于 PC1 和 PC2 不同发酵方式酸浆水品质的因子得分图见图 3。

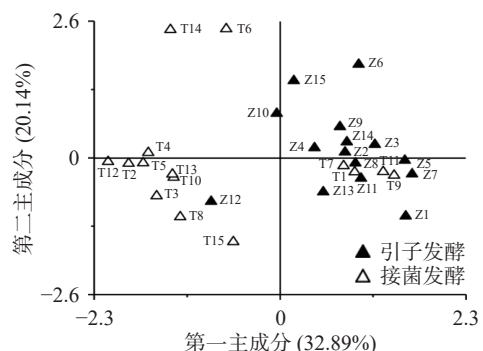


图 3 不同发酵方式酸浆水品质的因子得分图

Fig.3 Factor score diagram of Suanjiangshui quality with different fermentation methods

由图 3 可知,基于感官特征接菌发酵与加引子发酵浆水样品具有明显的分离趋势,引子发酵酸浆水样本主要集中在 X 轴正轴方向,发酵乳杆菌接菌发酵样品大多分布在第二、三象限,部分样品在横纵坐标上均较为分散。此外,引子发酵酸浆水 Z12 与接菌发酵样本较为接近,而接菌发酵酸浆水 T1、T7、T9 和 T11 与引子发酵样品聚在一起,究其原因,引子来源于不同家庭手工制作酸浆水其微生物组成及品质不完全相同,因此 15 个样本并未完全重叠,而 15 株发酵乳杆菌来源于对应的 15 个引子,引子和菌株发酵酸浆水部分样本品质会较为相近。引子发酵与接菌发酵对应编号样本间亦存在差异。结合因子载荷图,与接菌发酵浆水相比,引子发酵酸浆酸涩味较浓但芳香味却不及前者。整体上,乳酸菌纯种发酵的酸浆水在滋味和风味品质上要优于引子发酵。将数据进行归一化处理,采用 UPGMA 对 PCA 结果进行进一步验证。其结果如图 4 所示。

由图 4 可知,当平均距离为 3.0 时,酸浆水样品可分为 3 个聚类。聚类 I 共计 18 个酸浆水样品,其中,引子发酵样品 14 个,发酵乳杆菌发酵样品 4 个;聚类 II 共计 10 个酸浆水样品,其中,乳酸菌发酵的样品有 9 个,仅 1 个样品为引子发酵;而聚类 III 中 2 个样品,均为发酵乳杆菌发酵浆水。由此可见,

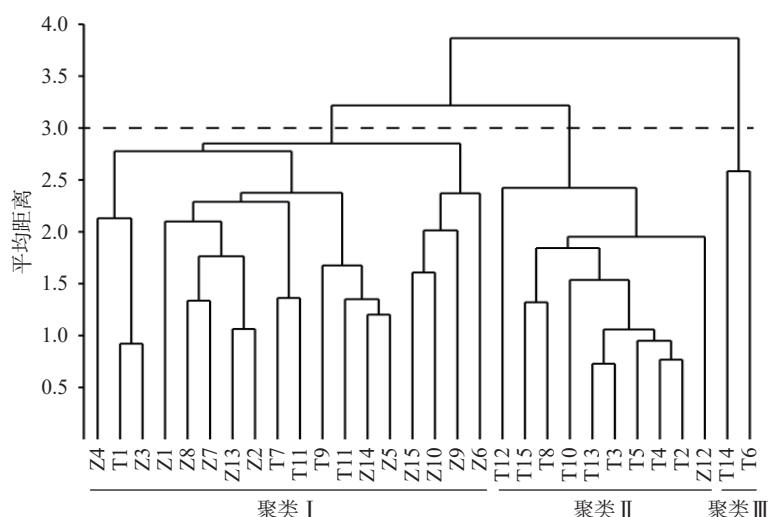


图 4 基于 UPGMA 的不同发酵方式酸浆水滋味和风味品质评价

Fig.4 Evaluation of the taste and flavor quality of Suanjiangshui by different fermentation methods based on UPGMA

UPGMA 聚类分析的结果与 PCA 基本一致,即乳酸菌纯种发酵与引子发酵的酸浆水样品在滋味和风味品质上存在明显差异。

### 2.3 不同发酵方式酸浆水品质与各感官指标间关系

本研究通过 PCA 和 UPGMA 聚类分析等多元统计学分析发现了不同发酵方式会对酸浆水的滋味和风味品质造成明显的影响。通过  $t$  检验亦发现,不同发酵方式的部分滋味和风味指标存在差异显著 ( $P<0.05$ )。为进一步探究导致酸浆水品质整体结构的不同的感官指标,本研究采用 RDA 这一有监督的多元统计学方法对导致上述差异的指标进行解析,结果如图 5 所示。

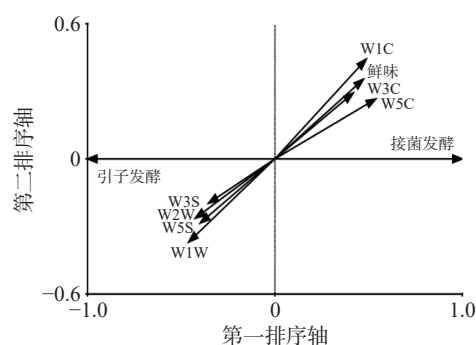


图 5 冗余分析双序图

Fig.5 Biplot of redundancy analysis

由图 5 可知, W3S、W2W、W5S、W1W、W1C、W5C、W3C 和鲜味与 RDA 排序约束轴上的酸浆水样品具有良好的赋值相关,即上述 8 个指标代表了不同发酵方式制作酸浆水品质总体结构差异显著相关的关键指标。W3S、W2W、W5S 和 W1W 位于引子发酵一侧,说明这 4 个指标在加引子发酵的酸浆水中强度高于乳酸菌纯种发酵;而鲜味、W1C、W3C 和 W5C 则呈现出相反的趋势。结合 2.1 中结果可知, W3S、W1C、鲜味、W3C 和 W5C 在两者中存在显著性差异 ( $P<0.05$ ),而 W2W 和 W5S 差异不

显著 ( $P>0.05$ )。由此可见,发酵乳杆菌纯种发酵制作的酸浆水中芳香类物质含量较高、烷烃类物质含量较低是导致其与加引子发酵方式制作的酸浆水品质差异的主要原因。

### 3 结论

使用电子舌、电子鼻和色度仪并结合多元统计学方法解析不同发酵方式的酸浆水品质,结果显示 15 株发酵乳杆菌纯种发酵的酸浆水鲜味、芳香类风味和明亮度等指标均显著高于加引子发酵酸浆水 ( $P<0.05$ ),而酸味、涩味、有机硫化物等指标强度呈现相反趋势 ( $P<0.05$ )。整体上以发酵乳杆菌纯种发酵制作的酸浆水品质更优。同时考虑到乳酸菌接菌发酵浆水品质可控性更强、成品安全性较高的特点,后期可进一步对菌株生长特性进行研究,尝试筛选互补菌株进行混菌发酵。

### 参考文献

- [1] 柳艳云,杨亚强,段学辉.西北传统美食浆水的研究进展[J].食品与发酵工业,2017,43(11):262-267. [LIU Yanyun, YANG Yaqiang, DUAN Xuehui. Research progress of northwest traditional food syrup[J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(11): 262-267.]
- [2] 胡莹莹,赵丽,史力学,等.浆水发酵中的优势乳酸菌分离鉴定[J].甘肃农业科技,2021,52(4):43-48. [HU Yingying, ZHAO Li, SHI Lixue, et al. Isolation and identification of dominant lactic acid bacteria in Jiangshui fermentation[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2021, 52(4): 43-48.]
- [3] 李雪萍,李建宏,李敏权,等.浆水中降胆固醇乳酸菌的筛选及其功能特性[J].微生物学报,2015,55(8):1001-1009. [LI Xueping, LI Jianhong, LI Minquan, et al. Screening and functional characteristics of cholesterol-lowering lactic acid bacteria in plasma water[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2015, 55(8): 1001-1009.]
- [4] 贾亚莉,贾建民,艾对元,等.甘肃浆水传统发酵过程中亚硝酸盐含量动态变化分析[J].生物技术进展,2016,6(1):59-66. [JIA Yali, QI Jianmin, AI Duiyuan, et al. Analysis of dynamic changes of nitrite content in the traditional fermentation process of

- Jiangshui in Gansu Province[J]. *Advances in Biotechnology*, 2016, 6(1): 59–66.]
- [5] 杨豆豆, 万瑞斌, 田凤鸣, 等. 芹菜浆水饮料的研制[J]. *甘肃高师学报*, 2017, 22(12): 59–62. [YANG Doudou, WAN Ruibin, TIAN Fengming, et al. Development of celery syrup beverage[J]. *Journal of Gansu Normal University*, 2017, 22(12): 59–62.]
- [6] 张晓辉, 杨靖鹏, 王少军, 等. 浆水中细菌多样性分析及乳酸菌的分离鉴定[J]. *食品科学*, 2017, 38(4): 70–76. [ZHANG Xiaohui, YANG Jingpeng, WANG Shaojun, et al. Bacterial diversity analysis and isolation and identification of lactic acid bacteria in plasma water[J]. *Food Science*, 2017, 38(4): 70–76.]
- [7] 王丽萍, 李珊妮, 柴春蓉, 等. 传统发酵食品浆水工艺对其品质影响研究进展[J]. *湖北农业科学*, 2019, 58(S1): 7–9. [WANG Liping, LI Shanni, CHAI Chunrong, et al. Research progress on the effect of traditional fermented food Jiangshui technology on its quality[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2019, 58(S1): 7–9.]
- [8] 李幼蓓. 泡菜与乳酸菌[J]. *中国酿造*, 2001(4): 7–9. [LI Youbo. Kimchi and lactic acid bacteria[J]. *China Brewing*, 2001(4): 7–9.]
- [9] 周书楠, 席修璞, 董蕴, 等. 珙湾酸浆面浆水细菌多样性评价[J]. *中国酿造*, 2018, 37(1): 49–53. [ZHOU Shunan, XI Xiupu, DONG Yun, et al. Evaluation of bacterial diversity in the Jiangshui of Juwan physalis[J]. *Chinese Brewing*, 2018, 37(1): 49–53.]
- [10] 彭飞, 刘长根, 黄涛, 等. 应用 16S rRNA 高通量测序技术比较浆水和酸菜中细菌群落[A]. 中国食品科学技术学会: 第十六届益生菌与健康国际研讨会摘要集[C]. 中国食品科学技术学会: 中国食品科学技术学会, 2021: 1. [PENG Fei, LIU Changgen, HUANG Tao, et al. Comparison of bacterial communities in Jiangshui and sauerkraut by 16S rRNA high throughput sequencing[A]. Chinese Society of Food Science and Technology. Abstracts of the 16th International Symposium on probiotics and health[C]. Chinese Society of Food Science and Technology: Chinese Society of Food Science and Technology, 2021: 1.]
- [11] 张振东, 舒娜, 倪慧, 等. 枣阳酸浆水中乳酸菌的可培养多样性及其分离方式评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(4): 129–134, 152. [ZHANG Zhendong, SHU Na, NI Hui, et al. Evaluation of the culturable diversity of lactic acid bacteria in Zao Yang Suanjiangshui and its isolation method[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(4): 129–134, 152.]
- [12] CETÓ X, GONZÁLEZ-CALABUIG A, CAPDEVILA J, et al. Instrumental measurement of wine sensory descriptors using a voltammetric electronic tongue[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2015, 207: 1053–1059.
- [13] DIAS L A, PERES A M, VILAS-BOAS M, et al. An electronic tongue for honey classification[J]. *Microchimica Acta*, 2008, 163(1-2): 97–102.
- [14] PHAT C, MOON B K, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192(11): 1068–1077.
- [15] DI ROSA A R, LEONE F, CHELI F, et al. Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment—a review[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 210(10): 62–75.
- [16] BAIETTO M, WILSON A D. Electronic-nose applications for fruit identification, ripeness and quality grading[J]. *Sensors*, 2015, 15(1): 899–931.
- [17] HUANG L, ZHAO J, CHEN Q, et al. Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145(1): 228–236.
- [18] XIAO Z, YU D, NIU Y, et al. Characterization of aroma compounds of Chinese famous liquors by gas chromatography–mass spectrometry and flash GC electronic-nose[J]. *Journal of Chromatography B*, 2014, 945(9): 92–100.
- [19] XU L, YU X, LIU L, et al. A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202(8): 229–235.
- [20] 冯萃敏, 王晓彤, 谢寒, 等. 茶多酚消毒剂对饮用水色度变化的影响[J]. *中国科技论文*, 2016, 11(15): 1786–1790. [FENG Cuimin, WANG Xiaotong, XIE Han, et al. Effect of tea polyphenol disinfectant on chromaticity change of drinking water[J]. *Chinese Sci-tech Papers*, 2016, 11(15): 1786–1790.]
- [21] 王念, 刘梦婷, 张润杰, 等. 市售番茄调味酱色泽和质构特性的评价分析[J]. *食品工业*, 2017, 38(3): 156–159. [WANG Nian, LIU Mengting, ZHANG Runjie, et al. Evaluation and analysis of color and texture characteristics of tomato sauce in market[J]. *Food Industry*, 2017, 38(3): 156–159.]
- [22] SCHELKOPF C S, RICE E A, SWENSON J K, et al. Nix Pro color sensor provides comparable color measurements to HunterLab colorimeter for fresh beef[J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2021(8476).
- [23] RANA S S, PRADHAN R C, MISHRA S. Image analysis to quantify the browning in fresh cut tender jackfruit slices[J]. *Food Chem*, 2019, 278(25): 185–189.
- [24] 王丹丹, 凌霞, 王念, 等. 基于电子舌技术对市售生抽酱油滋味品质的评价[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(6): 244–249. [WANG Dandan, LING Xia, WANG Nian, et al. Evaluation of taste quality of commercial soy sauce based on electronic tongue technology[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2017, 43(6): 244–249.]
- [25] 张松, 张覃轶, 张顺平. 基于便携式电子鼻的同香型白酒识别[J]. *酿酒科技*, 2018(6): 25–29. [ZHANG Song, ZHANG Qinyi, ZHANG Shunping. Identification of the same flavor liquor based on portable electronic nose[J]. *Brewing Science and Technology*, 2018(6): 25–29.]
- [26] 郭壮, 凌霞, 王念, 等. 市售生抽酱油品质评价[J]. *中国调味品*, 2017, 42(8): 90–94. [GUO Zhuang, LING Xia, WANG Nian, et al. quality evaluation of commercial soy sauce[J]. *Chinese Condiment*, 2017, 42(8): 90–94.]
- [27] 尚雪娇, 马磊, 余海忠, 等. 基于 Miseq 测序技术的珙湾酸浆面浆水真菌多样性评价[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(16): 158–163. [SHANG Xuejiao, MA Lei, YU Haizhong, et al. Evaluation of fungal diversity in Juwan sour pulp surface water based on Miseq sequencing technology[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(16): 158–163.]

- [28] 周书楠, 杨成聪, 郭志鹏, 等. 基于主成分和聚类分析的不同乳酸杆菌制备酸浆水品质评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 242–246. [ ZHOU Shunan, YANG Chengcong, GUO Zhipeng, et al. Quality evaluation of acid pulp water prepared by different *Lactobacilli* based on principal component and cluster analysis[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(23): 242–246. ]
- [29] 望诗琪, 王强, 杨成聪, 等. 气相色谱-质谱和电子鼻联用对涪湾酸浆面浆水风味品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(20): 127–132. [ WANG Shiqi, WANG Qiang, YANG Chengcong, et al. Study on the flavor and quality of Juwan yoghurt noodle by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. Food Research and Development, 2018, 39(20): 127–132. ]
- [30] 曹家蕊, 王冰, 李方巍, 等. pH 值对热处理后菠菜和油菜类囊体膜稳定性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 41–46. [ CAO Jiarui, WANG Bing, LI Fangwei, et al. Effect of pH value on thylakoid membrane stability of spinach and rape after heat treatment[J]. Food Science, 2019, 40(20): 41–46. ]