

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

周书楠¹ 杨成聪¹ 郭志鹏¹ 雷敏¹ 马磊² 郭壮^{1*}

(1.湖北文理学院食品科学技术学院,鄂西北传统发酵食品研究所,湖北襄阳 441053;

2.枣阳市食品药品监督管理局,湖北枣阳 441021)

摘要: 使用电子舌、电子鼻和色度仪,并结合主成分和聚类分析对 *Lactobacillus fermentum* (发酵乳杆菌)、*L.delbrueckii* (德氏乳杆菌) 和 *L.casei* (干酪乳杆菌) 制备酸浆水的品质进行了评价。结果发现,不同乳杆菌发酵酸浆水样品在空间排布和聚类上具有明显的分离趋势,而同组样品之间则表现出明显的聚类趋势。在滋味品质上,*L.delbrueckii* 制备的酸浆水的酸味显著高于其他两组 ($P < 0.05$),丰度显著高于 *L.fermentum* 制备的酸浆水 ($P < 0.05$),而苦味和咸味显著低于其余两组 ($P < 0.05$);在风味品质上,*L.fermentum* 发酵的酸浆水芳香类物质的含量显著偏高 ($P < 0.05$);而在色泽品质上,*L.delbrueckii* 明亮度较优 ($P < 0.05$)。综上所述可知,*L.delbrueckii* 更适用于酸浆水的发酵。

关键词: 主成分分析 聚类分析 乳酸杆菌 酸浆水

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

ZHOU Shu-nan¹, YANG Cheng-cong¹, GUO Zhi-peng¹, LEI Min¹, MA Lei², GUO Zhuang^{1*}

(1. Northwest Hubei Research Institute of Traditional Fermented Food, College of

Food Science and Technology, Hubei University of Arts and Science, Xiayang 441053, China;

2. Zaoyang Food and Drug Administration, Zaoyang 441021, China)

Abstract: The quality of the suanjiangshui prepared by *Lactobacillus fermentum*, *L.delbrueckii* and *L.casei* was evaluated using electronic tongue, electronic nose and colorimeter, combined with principal component and cluster analysis. The results showed that different *Lactobacillus* fermentation suanjiangshui samples had obvious separation tendency in spatial arrangement and clustering, while the same group showed obvious clustering trend. In terms of taste quality, the acidity of the suanjiangshui prepared by *L. delbrueckii* was significantly higher than that of the other two groups ($P < 0.05$), and the richness was significantly higher than that of *L.fermentum* ($P < 0.05$), while the bitterness and saltiness were significantly lower than those of the other two groups ($P < 0.05$). In terms of flavor quality, the content of aromatic substances in the fermented suanjiangshui by *L.fermentum* was significantly higher ($P < 0.05$). *L.delbrueckii* was better in color quality ($P < 0.05$). In conclusion, *L.delbrueckii* is more suitable for the fermentation of suanjiangshui.

Key words: principal component analysis; cluster analysis; *Lactobacillus*; suanjiangshui

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)23-0242-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.039

引文格式: 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.

酸浆水作为我国传统的发酵食品之一,因其口感酸甜、生津解乏,并且富含乳酸菌而受到广大消费者的喜爱^[1]。酸浆水是使用面粉与烫芹菜为发酵原料,每天用新鲜的面汤勾兑老浆水制作而成^[2]。在适宜的条件下,发酵原料经微生物发酵生成以乳酸为主的各种有机酸,从而形成了酸浆水特有的风味^[3]。

李欣等^[4]和 Li 等^[5]研究发现,乳酸杆菌的发酵特性和能力对酸浆水品质有着直接的影响,且乳酸杆菌能发酵碳水化合物,改善蔬菜制品的风味,使营养成分更易吸收^[6]。周书楠等^[7]和张晓辉等^[8]研究发现,酸浆水中的优势细菌是乳杆菌(*Lactobacillus*),且其相对含量可能高达 99.72%。目前,对于酸浆水的研

收稿日期: 2019-02-18

作者简介: 周书楠(1998-),女,本科,研究方向: 食品生物技术, E-mail: 1829554543@qq.com。

* 通讯作者: 郭壮(1984-),男,博士,副教授,研究方向: 食品生物技术, E-mail: guozhuang1984@163.com。

基金项目: 湖北文理学院教师科研能力培育基金“双百行动计划”专项(PYSB20181055)。

究主要集中在优势菌株的分离^[9]、亚硝酸盐^[10]、风味成分^[11]和发酵工艺^[12]等方面,而乳酸杆菌对酸浆水发酵品质的影响研究却相对较少。

电子舌、电子鼻和色度仪常用于发酵蔬菜的滋味^[13]、气味^[14]和色泽^[15]品质评价中,能够排除人为因素的影响,实现各指标的数字化评价。由于其产出数据指标较多,因而将多元统计学方法积极引入到产品品质的区分中显得尤为重要。曾亮等^[16]采用主成分和聚类分析对混合采集的不同品种和花期的茶树花的品质进行了分类研究,王玉荣等^[17]采用主成分分析对米酒的品质进行了分类研究,有效证明了两类方法在产品品质的区分中应用的可行性。

研究表明,纯种发酵和自然发酵制作的发酵制品的品质存在较大的差异,且纯种发酵更适用于发酵蔬菜类制品的制作^[18]。因此本研究采用 *L.fermentum*(发酵乳杆菌)、*L.delbrueckii*(德式乳杆菌)和 *L.casei*(干酪乳杆菌)进行了酸浆水的制备,使用电子舌、电子鼻和色度仪对酸浆水的感官指标进行了测定,并结合主成分和聚类分析对酸浆水的品质进行了评价和分类研究,以期对酸浆水发酵菌株的筛选和工业化提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

15株 *L.fermentum*: HBUAS53211、HBUAS53212、HBUAS53213、HBUAS53214、HBUAS53218、HBUAS53224、HBUAS53226、HBUAS53227、HBUAS53228、HBUAS53234、HBUAS53235、BUAS53241、HBUAS53244、HBUAS53254和 HBUAS53271 均分离自湖北省枣阳市琚湾酸浆面浆水中; 15株 *L.delbrueckii*: HBUAS53122、HBUAS53123、HBUAS53125、HBUAS53129、HBUAS53131、HBUAS53133、HBUAS53136、HBUAS53147、HBUAS53156、HBUAS53160、HBUAS53207、HBUAS53154、HBUAS53195、HBUAS53134和 HBUAS53146 均分离自湖北省枣阳市琚湾酸浆面浆水中; 15株 *L.casei*: HBUAS53301、HBUAS53307、HBUAS53308、HBUAS53309、HBUAS53310、HBUAS53312、HBUAS53315、HBUAS53316、HBUAS53317、HBUAS53319、HBUAS53320、HBUAS53323、HBUAS53329、HBUAS53337和 HBUAS53350 均分离自湖北省襄阳市浓香型白酒窖泥中; 所有菌株均由湖北文理学院鄂西北传统发酵食品菌种资源库提供; 面粉 邢台金沙河面业有限责任公司; 芹菜(西芹) 襄阳市609菜市场; 食盐 广东省盐业有限公司; 内部溶液、阳离子溶液、阴离子溶液、预处理溶液和参比溶液 日本 Insent 公司。

SA 402B 电子舌 日本 Insent 公司; PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司; Ultra Scan PRO 色度仪 美国 Hunter Lab 公司; SHP-080 生化培养箱 上海精宏实验设备有限公司; CR21N 高速离心机 日本日立公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同乳杆菌酸浆水样品制作 挑选分离自酸碱水中 *L.fermentum*、*L.delbrueckii* 和 *L.casei* 各 15 株于 5 mL 液体 MRS 试管中活化,再转至 150 mL 液体 MRS 三角瓶中扩大培养,待培养结束后,5000 r/min

离心 5 min,取菌泥溶于 30 mL 生理盐水制成菌液备用。取纯净水煮沸后冷却至室温,按纯净水质量比例添加 0.5% 的面粉和 1% 的芹菜后煮沸 1 min,冷却后分装。A1~A15 号样品中分别添加 100 mL *L.fermentum* 菌液, B1~B15 分别添加 100 mL *L.delbrueckii* 菌液, C1~C15 分别添加 100 mL *L.casei*,并置于 37 °C 发酵 24 h, 8000 r/min 离心 5 min 后备用。

1.2.2 基于电子舌酸浆水滋味品质评价 准确量取 40 mL 酸浆水和 80 mL 超纯水混合均匀后 8000 r/min 离心 5 min 后上机待测。本研究参考王丹丹等^[19]对于腌制大头菜滋味测定的方法,并对样品处理进行适当优化后,对酸浆水的酸、苦、涩、咸和鲜味等基本味,以及涩、苦和鲜味的回味进行数字化测定。

1.2.3 基于电子鼻酸浆水风味品质评价 准确吸取 15 mL 酸浆水样品与 50 mL 电子鼻样品瓶中,于 50 °C 加热 30 min,冷却至室温后平衡 15 min 后即插入探头进行进样。本研究参考朱娜等^[20]对于果实风味测定的方法并进行适当优化,其进样流量为 180 mL/min,清洁时间为 90 s,测试时间为 60 s。本研究选择 49、50 和 51 s 时的响应值为测试数据。

表 1 电子鼻标准传感器阵列与性能描述

Table 1 Standard sensor arrays and

performance specification in electronic nose

序号	传感器名称	性能描述	备注
1	W1C	对芳香型化合物灵敏	甲苯 0.010%
2	W5S	对氮氧化物反应物灵敏	NO ₂ 0.001%
3	W3C	对芳香型化合物灵敏	苯 0.010%
4	W6S	对氢气具有选择性	H ₂ 0.100%
5	W5C	对烷烃、芳香型化合物灵敏	丙烷 0.001%
6	W1S	对环境中的甲烷灵敏	CH ₄ 0.100%
7	W1W	对硫化物和很多有机砜烯类化合物灵敏	H ₂ S 0.001%
8	W2S	对乙醇灵敏	CO 0.001%
9	W2W	对有机硫化物和芳香成分灵敏	H ₂ S 0.001%
10	W3S	用于烷烃高浓度检测,对甲烷非常灵敏	CH ₄ 0.100%

1.2.4 基于色度仪酸浆水色泽品质评价 准确量取 250 mL 备用酸浆水样品进行抽滤,滤液 8000 r/min 离心 5 min 后,取上清液 150 mL 于 50 mm × 50 mm 色度仪专用比色皿中待测。使用白板与黑板对色度仪进行校准后进行酸浆水样品色泽的数字化测定。参考邹金等^[21]对于生抽色泽测定的方法,本研究选择的模式为反射模式,每个样品重复测定 3 次,读数以 CIE1976 色度空间值 L^* (暗→亮: 0→100) a^* (绿→红+) b^* (蓝→黄+) 表示。

1.3 统计学分析

使用 Mann-Whiney test 和 Kruskal-Wallis test 对不同种类乳酸杆菌制备酸浆水品质评价指标之间的差异进行分析;采用主成分分析(principal component analysis, PCA)、典范对应分析(Canonical

correspondence analysis ,CCA)、聚类分析(Cluster analysis ,CA)和多元方差分析(Multivariate analysis of variance ,MANOVA)对不同乳酸杆菌发酵制备酸浆水品质差异进行分析。

除主成分分析使用 PAST3 软件,其他分析均使用 MATLAB 2016b 软件;所有图均使用 Origin 2017 软件绘制。

2 结果与讨论

2.1 不同乳酸杆菌发酵对酸浆水品质的影响

2.1.1 不同乳酸杆菌发酵对酸浆水滋味品质的影响

本研究首先使用电子舌技术对 45 个酸浆水样品的酸、苦、涩、咸和鲜味,以及涩、苦和鲜味的回味进行数字化分析,以不同种乳酸杆菌为分组依据,3 组酸浆水的箱型图如图 1 所示。

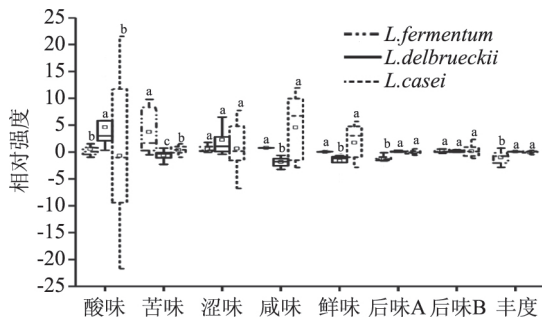


图 1 不同乳酸杆菌制备酸浆水滋味指标的箱型图

Fig.1 Box diagram of the taste index of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*

注:两组之间均采用 Mann-Whiney test,含有不同字母的同一指标间差异显著($P < 0.05$)。

由图 1 可知,同一种乳酸杆菌制备酸浆水的滋味品质差异相对较小,而不同乳酸杆菌制备酸浆水的滋味品质之间差异则较大。经 Kruskal-Wallis test 发现 3 组酸浆水样品的苦、咸、鲜和回味 A(涩的回味)的差异极显著($P < 0.001$)。酸和丰度(鲜的回味)的差异非常显著($P < 0.01$)。经 Mann-Whiney test 发现 *L. delbrueckii* 制备酸浆水在酸味的强度上显著高于其他两组($P < 0.05$),在丰度的强度上显著高于 *L. fermentum* 制备的酸浆水($P < 0.05$),而在苦味和咸味的相对强度上显著低于其余两组($P < 0.05$)。值得注意的是,酸味作为酸浆水重要的特征滋味,在一定强度内,其相对强度越大越能促进人的食欲和解乏,其口感也更佳。因此 *L. delbrueckii* 制备酸浆水的滋味品质整体要优于其他两组。

2.1.2 不同乳酸杆菌发酵对酸浆水风味品质的影响 本研究使用电子鼻对酸浆水中的 10 组典型物质类型进行测定,以不同乳酸杆菌为分组依据,3 组

酸浆水的雷达图如图 2 所示。由图 2 可知,不同乳酸杆菌制备酸浆水在 W1C(对芳香类物质灵敏)、W5S(对氮氧化物灵敏)、W6S(对氢气有选择性)、W5C(对烷烃、芳香类物质灵敏)、W1S(对甲烷灵敏)和 W3S(对烷烃灵敏)风味指标上差异较大,而在 W3C(对芳香类物质灵敏)、W1W(对有机硫化物、砷类物质灵敏)、W2S(对乙醇灵敏)和 W2W(对有机硫化物灵敏)风味指标上差异较小。由此可见,不同乳酸杆菌制备酸浆水风味品质的差异主要体现在芳香类物质、氮氧化物和烷烃类物质上。经 Kruskal-Wallis test 发现, W1C、W5S、W5C、W1S 和 W3S 5 个指标在不同乳酸杆菌制备酸浆水之间的差异极显著($P < 0.001$);经 Mann-Whiney test 发现 *L. fermentum* 在芳香类物质和烷烃类物质的含量显著高于其他两组($P < 0.05$),而在氮氧化物和甲烷的含量上显著低于其他两组($P < 0.05$)。值得注意的是 *L. fermentum* 制备酸浆水的风味和其他两组差异较大,而其他两组的差异相对较小。综上所述, *L. fermentum* 制备酸浆水的风味品质整体上略优于其他两组。

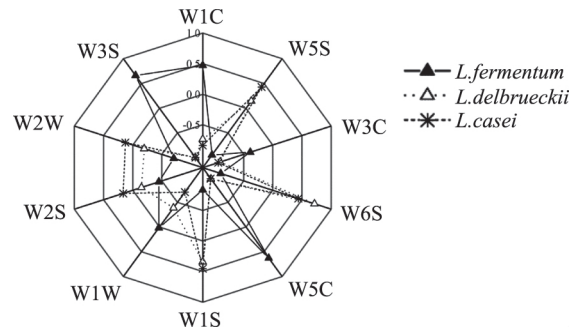


图 2 不同乳酸杆菌制备酸浆水风味指标的雷达图

Fig.2 Radar diagram of the flavor index of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*

2.1.3 不同乳酸杆菌发酵对酸浆水色泽品质的影响

本研究使用色度仪对不同乳杆菌酸浆水的色泽品质进行了评价,其具体强度值如表 2 所示,3 组酸浆水在 L^* (明亮度)和 a^* (红绿度)上差异极显著($P < 0.001$),在 b^* (黄蓝度)上差异非常显著($P < 0.01$)。经 Mann-Whiney test 发现 *L. delbrueckii* 制备酸浆水在明亮度显著高于 *L. fermentum*($P < 0.05$),其在黄蓝度上显著高于 *L. casei*($P < 0.05$)。值得注意的是,酸浆水的明亮度越高,红绿度和黄蓝度的绝对值越接近零,其色泽品质则越优。综上所述, *L. delbrueckii* 制备酸浆水的色泽品质相较于其他两组更优。

2.2 基于主成分和聚类分析不同乳酸杆菌制备酸浆水的差异性分析

2.2.1 基于主成分和 UPGMA 聚类分析酸浆水的差

表 2 不同乳酸杆菌制备酸浆水色泽指标的差异性分析

Table 2 Difference analysis of water color indicators of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*

色度空间值	<i>L. fermentum</i>	<i>L. delbrueckii</i>	<i>L. casei</i>	P 值
L^*	31.4(31.95 27.03~34.49) ^b	35.78(36.02 29.28~41.11) ^a	37.68(37.85 34.52~42.09) ^a	<0.001
a^*	-0.45(-0.48 -0.87~-0.06) ^a	-1.01(-0.97 -1.39~-0.64) ^b	-0.82(-0.89 -1.28~-0.06) ^b	<0.001
b^*	-3.55(-3.8 -4.29~-1.81) ^a	-3.45(-3.55 -4.15~-2.11) ^a	-4.1(-4.12 -5.33~-3.28) ^b	0.003

注:31.4(31.95 27.03~34.49) 平均值(中位数,最小值-最大值)。同一行字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

异性 由电子舌、电子鼻和色度仪测定的多维数据直接用于酸浆水品质的分析较为困难,无法对酸浆水整体的差异性进行分析。本研究首先使用 PCA 对 8 个滋味指标、10 个风味指标和 3 个色泽指标进行降维分析。同时,为排除因分组带来的误差,本研究进一步使用有监督的 CCA 对 3 组酸浆水样品的空间排序进行进一步分析,并结合 CA 对 PCA 和 CCA 的结果进行进一步的验证。基于 PCA 分析 3 组酸浆水样品的 3D 因子载荷图如图 3 所示。

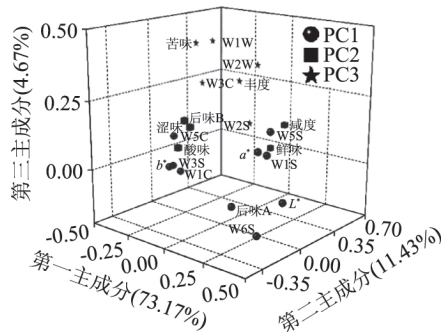


图 3 不同种乳酸杆菌制备酸浆水的 3D 因子载荷图

Fig.3 3D factor load diagram of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*

由图 3 可知,总方差贡献率的 89.27% 来自前 3 个主成分,其贡献率分别为 73.17%、11.43% 和 4.67%,因此 3 个综合变量可以代表绝大部分原始变量的信息,本研究成功地将 21 个品质评价指标降维到 3 个不相关的综合变量。由图 3 亦可知,PC1 主要由后味 A、W1C、W5S、W6S、W5C、W1S、W3S、 L^* 、 a^* 和 b^* 等 10 个指标构成,其中 PC1 的正影响指标有 L^* 、W6S、W5S、W1S、 a^* 和后味 A,明亮度的载荷量最高为 0.37,而负影响指标有 W1C、W5C、 b^* 和 W3S, W3S 的载荷量最高为 0.37,因此 PC1 的主要差异集中在烷烃、芳香类物质和明亮度上;PC2 的正影响指标为鲜味和咸味,咸味的载荷量最高为 0.60,而负影响指标由酸味、涩味和后味 B 构成,其中酸味的载荷量最高为 0.39,即 PC2 的主要差异集中在酸味和咸味;PC3 由苦味、丰度、W1W、W2W、W3C 和 W2S,且 6 个指标均为正影响指标,且苦味的载荷量最高为 0.44,即 PC3 的主要差异集中在苦味上。从不同乳酸杆菌发酵分组来看,PC1 得分最高的为 *L. casei*,PC2 得分最高的为 *L. delbrueckii*,而 PC3 得分最高的为 *L. fermentum*。

由图 4a 可知,3 组酸浆水样品在空间排布上具有一定的分离趋势,其中 *L. fermentum* 发酵的酸浆水样品与其他两组具有明显的分离趋势,而 *L. delbrueckii* 发酵的酸浆水尽管有部分与 *L. casei* 存在重合,但整体上还是存在一定的分离趋势。本研究进一步使用非加权聚类分析对 3 组酸浆水样品进行分析,由图 4b 可知,当距离大于 3.0 时,45 个酸浆水样品可分为 2 个大的聚类,其中聚类 I 全部由 *L. fermentum* 发酵的酸浆水构成,而聚类 II 则由其余两组酸浆水构成;距离为 2.5 时,45 个酸浆水样品可分为 2 个大的聚类,其中聚类 I 全部由 *L. fermentum* 发酵的酸浆水构

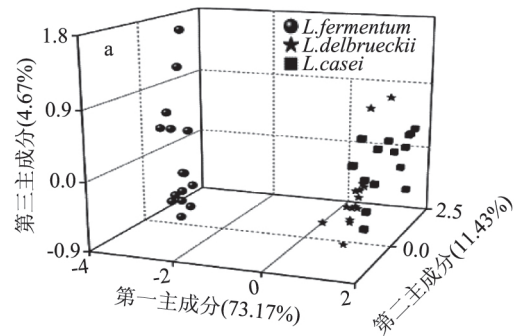


图 4 不同乳酸杆菌制备酸浆水样品因子得分图 (a) 和聚类分析图 (b)

Fig.4 Factor score diagram (a) and cluster analysis of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*

注: A 代表 *L. fermentum* 制作酸浆水; B 代表 *L. delbrueckii* 制作酸浆水; C 代表 *L. casei* 制作酸浆水。

成,而聚类 II 则包含 *L. delbrueckii* 发酵的酸浆水和 *L. casei* 发酵的酸浆水。由此可知,聚类分析的结果与 PCA 的结果一致,进一步说明了 PCA 结果的正确性。2.2.2 基于典范对应和聚类分析酸浆水整体结构的差异性 本研究为排除分组给分析结果带来的影响,进一步使用有监督的多元统计学方法对 3 组酸浆水的空间排布进行分析。以不同乳酸杆菌为分组依据的结果如图 5 所示。

由图 5a 可知,3 组酸浆水样品在空间排布上具有明显的分离趋势,*L. fermentum* 发酵的酸浆水样品全部位于 X 轴原点左侧,*L. delbrueckii* 发酵的酸浆水样品全部位于第四象限,而 *L. casei* 发酵的酸浆水则全部位于第一象限。由图 5b 可知,*L. delbrueckii* 与 *L. casei* 发酵的酸浆水之间具有极显著差异 ($P < 0.001$),且两者均与 *L. fermentum* 发酵的酸浆水具有极显著差异 ($P < 0.001$),由此也印证了 CCA 结果的正确性。聚类分析可根据聚类距离的不同获得不同的聚类结果,而主成分分析结果与聚类距离在 2.5 时的结果基本相同,说明通过两种方法均能对酸浆水样品进行分类分析。通过这些分析手段可为后续酸浆水发酵菌株的筛选提供一定的参考依据,从而指导酸浆水的工业化生产。

3 结论

使用电子舌、电子鼻和色度仪对 *L. fermentum*、*L. delbrueckii* 和 *L. casei* 制备酸浆水的品质进行了评价,并结合主成分和聚类分析对其差异进行了分析。不同乳酸杆菌发酵酸浆水样品在空间排布和聚类上具有明显的分离趋势,而同组样品之间则表现出明显

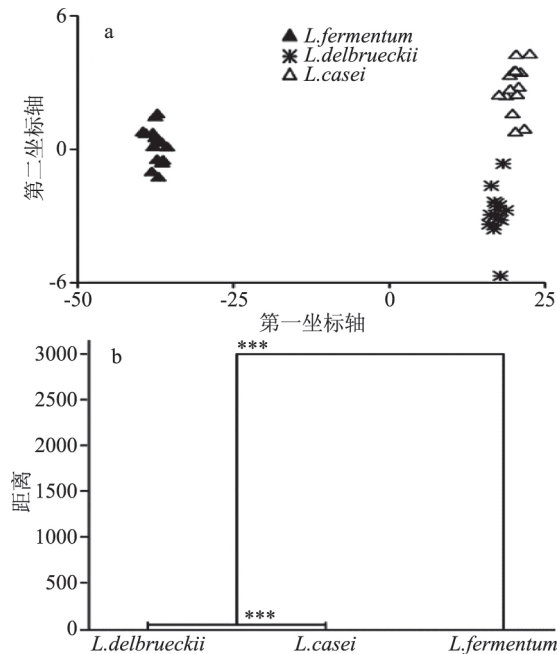


图5 不同乳酸杆菌准备酸浆水样品的典范对应分析图(a)和聚类分析图(b)

Fig.5 Canonical correspondence analysis(a) and cluster analysis(b) of suanjiangshui samples fermented by different kinds of *Lactobacillus*
注: ***表示差异极显著($P < 0.001$)。

的聚类趋势。电子舌结果显示, *L. delbrueckii* 制备的酸浆水在酸味的强度上显著高于其他两组($P < 0.05$), 在丰度的强度上显著高于 *L. fermentum* 制备的酸浆水($P < 0.05$), 而在苦味和咸味的相对强度上显著低于其余两组($P < 0.05$); 电子鼻结果表明, *L. fermentum* 在部分芳香类物质的含量上显著高于其他两组; 在色泽品质上 *L. delbrueckii* 发酵的酸浆水其明亮度较优。综上所述, *L. delbrueckii* 更适合酸浆水的发酵。

参考文献

- [1]侯智勇,刘阳,卢雪松,等.川北地区传统发酵浆水菜贮存条件的初步研究[J].中国调味品,2017,42(11):53-56.
- [2]蔡宏宇,葛东颖,马磊,等.基于PCR-DGGE研究涪湾酸浆水中细菌多样性及乳酸菌的分离鉴定[J].食品研究与开发,2018,39(15):149-153.
- [3]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.
- [4]李欣,武俊瑞,田甜,等.大庆自然发酵酸浆中乳酸菌的分离鉴定及耐酸菌株初步筛选[J].食品科学,2014,35(1):

150-154.

- [5]Li H, Cao Y. Lactic acid bacterial cell factories for gamma-aminobutyric acid[J]. Amino Acids, 2010, 39(5): 1107-1116.
- [6]武帅帅,冯云霄,康倩,等.不同地区浆水菜中可培养乳酸菌的组成分析[J].基因组学与应用生物学,2017,36(3):952-959.
- [7]周书楠,席修璞,董蕴,等.涪湾酸浆面浆水细菌多样性评价[J].中国酿造,2018,37(1):49-53.
- [8]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.
- [9]何玲,李勤振.浆水芹菜发酵过程中优势菌群的分离、鉴定及变化[J].食品科技,2010,35(5):36-40.
- [10]郑洁,胡向轩,张莉,等.甘肃省市售浆水中亚硝酸盐含量测定[J].中国食品卫生杂志,2014,26(5):437-440.
- [11]侯智勇,杨静,窦小玲,等.浆水饮料的调配、澄清及挥发性风味成分分析[J].食品工业,2017,38(1):9-13.
- [12]辛博,吕嘉枋,闫亚梅,等.浆水发酵过程中中亚硝酸盐含量的工艺研究[J].中国调味品,2014,39(5):6-9.
- [13]Zhao N, Zhang C, Yang Q, et al. Selection of taste markers related to lactic acid bacteria microflora metabolism for chinese traditional paocai: A gas chromatography - mass spectrometry - based metabolomics approach[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2016, 64(11): 2415-2422.
- [14]Baldwin E A, Bai J, Plotto A, et al. Electronic noses and tongues: Applications for the food and pharmaceutical industries[J]. Sensors, 2011, 11(5): 4744-4766.
- [15]Yao Y, Pan S, Fan G, et al. Evaluation of volatile profile of Sichuan dongcai, a traditional salted vegetable, by SPME-GC-MS and E-nose[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 64(2): 528-535.
- [16]曾亮,傅丽亚,罗理勇,等.不同品种和花期茶树花挥发性物质的主成分和聚类分析[J].食品科学,2015,36(16):88-93.
- [17]王玉荣,张俊英,胡欣洁,等.湖北孝感和四川成都地区来源的酒曲对米酒滋味品质影响的评价[J].食品科学,2015,36(16):207-210.
- [18]王秋霞,路建东,金玲,等.乳酸菌菌种差异对泡菜发酵风味的影响[J].粮食与食品工业,2016,23(1):41-46.
- [19]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.
- [20]朱娜,潘磊庆,鄢慧颖,等.基于电子鼻检测“霞晖5号”桃果实的冷害[J].食品科学,2014,35(4):95-100.
- [21]邹金,凌霞,王丹丹,等.基于多元统计学分析的市售甜面酱品质综合评价[J].中国酿造,2017,36(5):152-155.

订阅《食品工业科技》期刊，
知晓食品科技最新进展