

# 乳酸菌对红曲黄酒品质的影响研究

董蕴<sup>1</sup>, 王强<sup>1</sup>, 仇港<sup>1</sup>, 杨成聪<sup>1</sup>, 罗晶晶<sup>1</sup>, 马磊<sup>2</sup>, 郭壮<sup>1</sup>, 赵慧君<sup>1\*</sup>

(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 襄阳 441021)

**摘要:** 该研究通过传统可培养法从米酒样品中分离出9株乳酸菌, 在相同的条件下添加9株乳酸菌发酵制备红曲黄酒, 并采用酸碱直接滴定法、折光仪法、高效液相-示差折光法和电子舌技术, 同时结合统计学的方法对添加不同乳酸菌制备的红曲黄酒的总酸、可溶性固形物、有机酸含量和滋味品质进行评价。结果表明, 这9株乳酸菌发酵制备的红曲黄酒总酸、可溶性固形物、有机酸的含量和滋味较未添加乳酸菌制备的红曲黄酒有较大差异, 且添加乳酸菌发酵的红曲黄酒的可溶性固形物的含量显著高于对照组, 总酸的含量的低于对照组, 并经主成分分析可知相同种类的乳酸菌发酵红曲黄酒样品的品质有相似的影响。

**关键词:** 米酒; 乳酸菌; 红曲黄酒; 电子舌; 主成分分析

Study on the Effect of Lactic Acid Bacteria on the Quality of Monascus Rice Wine

DONG Yun<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>1</sup>, QIU Gang<sup>1</sup>, YANG Cheng-cong<sup>1</sup>, LUO Jing-jing<sup>1</sup>, MA Lei<sup>2</sup>,

GUO Zhuang<sup>1</sup>, ZHAO Hui-jun<sup>1\*</sup>

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

Technology, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China;

2. Zaoyang Food and Drug Administration, Xiangyang 441200, Hubei, China)

**Abstract:** In this study, 9 strains of lactic acid bacteria (LAB) were isolated from rice wine samples by traditional culturable method. Under the same conditions, 9 strains of LAB were added to ferment monascus rice wine samples. Electronic tongue technology, high performance liquid chromatography-differential refraction method and statistical methods were used to studied the taste, organic acid, soluble solid and total acid of monascus rice wine samples with different LAB. The results showed that the contents of total acid, taste, soluble solids and organic acids of the 9 strains of LAB fermented monascus rice wine were significantly affected and the content of soluble solids in the samples added LAB was significantly higher than that in the control group and the

基金项目:湖北文理学院教师科研能力培育基金(2016zk023)

作者简介:董蕴(1997—),女(汉),本科,研究方向:食品生物技术。

\* 通信作者:赵慧君(1979—),女,副教授,博士,研究方向:食品生物技术。

- [19] Shin M S, Park S B, Shin K S. Molecular mechanisms of immunomodulatory activity by polysaccharide isolated from the peels of Citrus unshiu[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 576-583
- [20] Chen Y, Zhou M. Elevation of macrophage SeGSHPx gene expression prevents from its formation of foam cell and inhibits atherogenesis[J]. Chinese Medical Journal, 1996, 109(1): 339-351
- [21] 何利惠, 张元丽, 蒋林宏, 等. 苦瓜提取物对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬活性及 NO、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分泌的影响[J]. 中兽医医药杂志, 2014,

33(4): 55-58

- [22] 陈伟珠, 侯敢, 张海涛. 猪苓多糖对小鼠腹腔巨噬细胞一氧化氮生成、iNOS 活性和细胞内还原型谷胱甘肽含量的影响[J]. 广东医学院学报, 2003, 21(4): 319-320, 323
- [23] 程安玮. 甘草多糖的提取及对小鼠腹腔巨噬细胞的免疫调节[D]. 无锡: 江南大学, 2008
- [24] 徐智敏. L. casei 胞外多糖对 BALB/c 小鼠腹腔巨噬细胞及小肠巨噬细胞免疫调节作用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012

收稿日期:2019-03-06

content of total acid was lower than that in the control group. Principal component analysis (PCA) showed that the same kind of LAB has similar effects on the quality of monascus rice wine.

**Key words:** rice wine; lactic acid bacteria; monascus rice wine; electronic tongue; principal component analysis (PCA)

引文格式:

董蕴,王强,仇港,等. 乳酸菌对红曲黄酒品质的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 213-218

DONG Yun, WANG Qiang, QIU Gang, et al. Study on the Effect of Lactic Acid Bacteria on the Quality of Monascus Rice Wine[J]. Food Research and Development, 2020, 41(3): 213-218

红曲,又称红米、红米曲,能够治疗高血压,并且能够调节人体血脂<sup>[1-2]</sup>。红曲黄酒是将糯米作为原料,将红曲作为糖化发酵剂酿造而成的<sup>[3]</sup>,并且黄酒的酒精度比较低,口味清爽适口,富含极高的营养价值,同时黄酒还具有抗氧化抗衰老、降血压降胆固醇和调节机体新陈代谢的功能,因此适当的饮用有利于人体的健康<sup>[4-5]</sup>。乳酸菌是指发酵糖类主要产物为乳酸的一类无芽孢、革兰氏染色阳性细菌的总称<sup>[6]</sup>,它是一种存在与人体内的益生菌。而且乳酸菌能够控制人体内毒素水平,保护肝脏并增强肝脏的解毒、排毒功能<sup>[7-8]</sup>;具有免疫调节作用,增强人体免疫力和抵抗力<sup>[9-10]</sup>;能够使肠道菌群的构成发生有益变化,改善人体胃肠道功能,恢复人体肠道内菌群平衡,形成抗菌生物屏障,维护人体健康<sup>[11-12]</sup>;且具有抗肿瘤、预防癌症的作用<sup>[13]</sup>。

本试验主要研究乳酸菌对红曲黄酒的总酸、可溶性固形物、有机酸含量和滋味品质的影响。即在红曲黄酒样品中添加不同的乳酸菌,发酵完成后采用酸碱直接滴定法、折光仪法、高效液相一示差折光法和电子舌技术并结合统计学方法,研究红曲黄酒样品的理化性质、有机酸和各滋味指标的变化规律,分析添加乳酸菌对红曲黄酒的整体品质。本研究的目的是研究米酒来源乳酸菌对红曲黄酒的品质影响,探讨其在红曲黄酒中应用的可行性,以其为后续红曲黄酒产品的开发提供新的思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

米酒:湖北米婆婆生物科技有限公司;红曲:丽水力克生物科技有限公司;糯米:襄阳市鑫源超市。

内部溶液、参比溶液、阴离子溶液、阳离子溶液:日本 Insent 公司;乙腈(色谱纯)、磷酸二氢钾(分析纯)、磷酸(分析纯)、硫酸铜(分析纯)、亚铁氰化钾(分析纯)、次甲基(分析纯)、葡萄糖(分析纯)、氢氧化钠(分

析纯)、氯化钠(分析纯)、碳酸钙(分析纯):上海国药集团化学试剂有限公司;MRS 培养基、Luria-Bertani 培养基、石蕊牛乳培养基:青岛海博生物技术有限公司;AxyPrep PCR 清洁试剂盒:康宁生命科学有限公司;dNTP Mix、2×PCR mix、pMD 18-T 载体、rTaq:宝日医生生物技术(北京)有限公司(takara 中国);溶菌酶、蛋白酶 K:上海生工生物工程有限公司。

### 1.2 仪器与设备

LC-20ADXR 高效液相色谱仪:日本岛津公司;SA 402B 电子舌:日本 Insent 公司;Abbemat 350 全自动折光仪:奥地利安东帕中国有限公司;vetiri 梯度基因扩增仪:美国 AB 公司;BX53 全功能生物显微镜:美国奥林巴斯公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 米酒样品的采集

从湖北省孝感市采集 4 份米酒样品,装入采样箱中快速的带回实验室进行样品处理。

#### 1.3.2 米酒中乳酸菌的分离鉴定

将米酒样品各吸取 1 mL 上清后加入石蕊牛乳培养基在 37 °C 培养箱中富集 24 h,取富集液 0.5 mL 于 0.85 % 的生理盐水中进行倍比稀释,取稀释 10<sup>-5</sup> 倍和 10<sup>-6</sup> 倍的溶液在含有碳酸钙的 MRS 固体培养基上涂布,并在 37 °C 培养箱中培养 48 h,挑取有透明圈的单菌落纯化 3 次后用 30 % 的甘油将菌落冻存于 -80 °C 保存备用。

采用十六烷基三甲基溴化铵(cetrimonium bromide, CTAB)法提取菌株的 DNA 后用引物 27F 和 1495R 扩增菌株的 16S rDNA,扩增体系为:10× 聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)缓冲液 2.5 μL, dNTP (2.5 mmol/L) 2 μL, 27F 0.5 μL, 1495R 0.5 μL, rTaq 0.5 μL, DNA 模板 2 μL, ddH<sub>2</sub>O 补充至 25 μL; 扩增条件为:94 °C, 4 min; 94 °C, 45 s; 55 °C, 45 s; 72 °C, 1 min 30 s; 72 °C, 10 min; 30 个循环。1.0 % 琼脂糖凝胶电泳检

测 PCR 产物后清洁试剂盒进行清洁;随后将 PCR 清洁产物进行连接、转化和验证,将阳性克隆送往测序公司进行测序。将测序所得结果进行同源性分析后,应用 Mega7.0 软件构建系统发育树。

### 1.3.3 红曲黄酒的制作

糯米经浸米、蒸煮、晾晒后添加 80 g 红曲,295 mL 浆水和 390 mL 纯净水,同时将在米酒中分离出的 9 株乳酸菌分别加入酿造罐中,对照组不添加乳酸菌。黄酒放入 28 °C 培养箱中发酵 7 d 后置于 18 °C 中后发酵 14 d。将发酵好的红曲黄酒从培养箱中取出后,取 300 g 样品于离心机 4 °C 3 000 r/min 离心 10 min 取上清备用。

### 1.3.4 红曲黄酒中可溶性固形物与总酸的影响测定

1)可溶性固形物:将红曲黄酒滴 5 滴于全自动折光仪的镜面,测定红曲黄酒的可溶性固形物,取 3 个平行的平均值为最后测量值。

2)总酸:根据国标 GB/T 13662-2018《黄酒》测总酸的步骤,即将 10 mL 样品置于 150 mL 烧杯中,并加无二氧化碳的水 50 mL,置于磁力搅拌器上,搅拌时用氢氧化钠标准液滴定,直至 pH8.20 为终点。分别记录数据,同时做空白试验。

### 1.3.5 红曲黄酒滋味品质的测定

按照王玉荣<sup>[14]</sup>的方法,将红曲黄酒用电子舌来测定酸味、咸味、苦味、涩味和鲜味 5 个基本味及苦味、涩味、鲜味的 3 个回味。将在阴离子或阳离子中洗涤后的传感器在参比溶液中浸泡 30 s,得到参比溶液电势  $V_r$ ;再置于待测样品中浸泡 30 s,得到样品溶液电势  $V_s$ ,则可通过不同传感器  $V_s - V_r$  的电势差值评价鲜味、苦味、涩味、咸味和酸味的基本值;洗涤 3 s 后与参比溶液中浸泡 30 s,得到电势  $V_r'$ ,通过  $V_r' - V_r$  的电势差检测苦味、涩味和鲜味的回味。每个样品重复测 4 次,选后 3 次的测量数据作为本研究分析的原始数据。

### 1.3.6 红曲黄酒有机酸的测定

根据郭瑛<sup>[15]</sup>的方法测定红曲黄酒中有机酸的含量。其中标准曲线绘制:称取琥珀酸 1.5 g(加热)、酒石酸 0.75 g、苹果酸 0.3 g、乳酸 1.5 g、草酸 0.15 g,然后用超纯水溶解并定容至 50 mL,配置成混合标准母液。分别吸取 0.1、0.2、0.5、1.0、1.4 mL 的母液并用超纯水定容至 10 mL 再加 200  $\mu$ L 的磷酸混样做标曲,经 0.22  $\mu$ L 滤头过滤后使用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC) 测定。将红曲黄酒样品各取 2 mL 加 200  $\mu$ L 磷酸定容到 10 mL,再用 0.22  $\mu$ L 滤膜过滤后置于 2 mL 进样品中使用 HPLC 分析。

测定条件为检测器:紫外吸收检测器;流动相:采

用 0.01 mol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (pH2.9);柱温:30 °C;流速:1 mL/min;压力:22.0 MPa;进样体积:20  $\mu$ L;分离柱型号:C18 Agilent ZORBAX SB-Aq(4.6 $\times$ 250 mm)5  $\mu$ m;检测波长:214 nm。

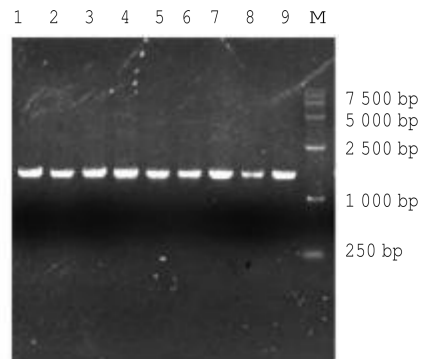
### 1.4 统计分析

本研究使用主成分分析 (principal component analysis, PCA) 对红曲黄酒滋味品质整体结构的差异进行分析;并使用 SAS9.0 软件进行数据分析,使用 Origin2017 软件绘图,同时使用 Mega7.0 构建系统发育树。

## 2 结果与分析

### 2.1 米酒曲中乳酸菌的分离鉴定

从 4 个米酒曲样品中共分离出了 9 株疑似乳酸菌菌株,所有菌株的过氧化氢试验均为阴性,革兰氏染色均为阳性,且形态均为球状。在菌株分离的基础上,本研究对疑似乳酸菌菌株进行了基因组 DNA 提取,并进一步对其 16S rDNA 进行了 PCR 扩增,将 PCR 扩增产物于 1.0 % 的琼脂糖凝胶电泳进行检测,如图 1 所示。



M 表示 DL15000 DNA Marker;1-9 分别表示菌株 IMAU50214、菌株 IMAU50215、菌株 IMAU50216、菌株 IMAU50218、菌株 IMAU50381、菌株 IMAU50382、菌株 IMAU50387、菌株 IMAU50399、菌株 IMAU50400。

图 1 乳酸菌 16S rDNA 的 PCR 扩增产物凝胶电泳图

Fig.1 Gel electrophoresis of PCR amplified product of lactic acid bacteria 16S rDNA

由图 1 可知,9 个泳道均在 1 500 bp 左右的位置出现了一条明亮的条带,同时所有泳道并未出现拖尾现象,因而所有菌株的 16S rDNA 片段 PCR 扩增较为成功,将 PCR 产物进行清洁、连接和建克隆后,送往测序公司进行测序,将反馈后的序列结果进行 Blast 分析,得到表 1 所示结果。

由表 1 可知,9 株乳酸菌菌株与其对应的模式菌株的序列同源性均达在 99 % 以上,菌株 IMAU50214、IMAU50215、IMAU50216 和 IMAU50218 被鉴定为

表1 乳酸菌16S rDNA序列分析结果

Table 1 Results of 16S rDNA sequence analysis of lactic acid bacteria

菌株编号	序列最相似菌株(登录号)	相似度/%	鉴定结果
IMAU50214	<i>Weissella cibaria</i> LMG17699T(AJ295989)	99	<i>Weissella cibaria</i>
IMAU50215	<i>Weissella cibaria</i> LMG 17699T(AJ295989)	99	<i>Weissella cibaria</i>
IMAU50216	<i>Weissella cibaria</i> LMG 17699T(AJ295989)	99	<i>Weissella cibaria</i>
IMAU50218	<i>Weissella cibaria</i> LMG 17699T(AJ295989)	99	<i>Weissella cibaria</i>
IMAU50381	<i>Weissella confusa</i> JCM1093(AB023241)	99	<i>Weissella confusa</i>
IMAU50382	<i>Weissella confusa</i> JCM1093(AB023241)	99	<i>Weissella confusa</i>
IMAU50387	<i>Pediococcus pentosaceus</i> DSM20336T(AJ305321)	99	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
IMAU50399	<i>Pediococcus pentosaceus</i> DSM20336T(AJ305321)	99	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
IMAU50400	<i>Pediococcus pentosaceus</i> DSM20336T(AJ305321)	99	<i>Pediococcus pentosaceus</i>

*Weissella cibaria* (食蜜魏斯氏菌), IMAU50381 和 IMAU50382 被鉴定为 *Weissella confusa* (融合魏斯氏菌), IMAU50387、IMAU50399 和 IMAU50400 被鉴定为戊糖片球菌。同时,将菌株在同源性分析的基础上,使用 Mega7.0 构建了系统发育树,结果如图 2 所示。

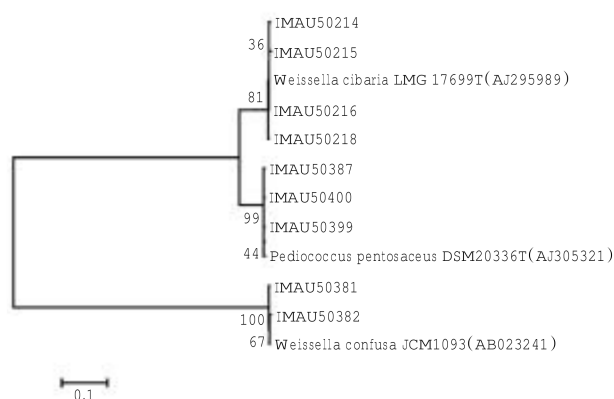


图2 基于米酒中乳酸菌16S rDNA序列系统发育树

Fig.2 Phylogenetic tree based on lactic acid bacteria 16S rDNA sequence in rice wine

由图 2 可知,菌株 IMAU50214、IMAU50215、IMAU50216 和 IMAU50218 与 *Weissella cibaria* LMG 17699T (AJ295989) 形成了第一个类群,鉴定为食蜜魏斯氏菌;菌株 IMAU50387、IMAU50400 和 IMAU50399 与 *Pediococcus pentosaceus* DSM20336T (AJ305321) 形成了第二个类群,鉴定为戊糖片球菌;菌株 IMAU50381 和 IMAU50382 与 *Weissella confusa* JCM1093 (AB023241) 形成了第三个类群,鉴定为融合魏氏菌。同时结合表 1 发现因此该鉴定结果的准确性较高。

## 2.2 不同乳酸菌菌株制备红曲黄酒总酸与可溶性固形物的分析

红曲黄酒的可溶性固形物主要是黄酒中的糖类物质,根据红曲黄酒所测得可溶性固形物和总酸的指标进行评价,结果如图 3 所示。

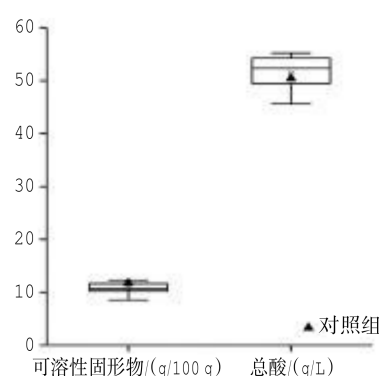


图3 红曲黄酒总酸和可溶性固形物箱型图

Fig.3 Box diagram of total acid and soluble solids in monascus yellow rice wine

由图 3 可知,较对照组,添加乳酸菌发酵的红曲黄酒的可溶性固形物和总酸有着显著的差异。添加乳酸菌发酵的红曲黄酒的可溶性固形物的含量显著高于对照组,总酸的含量低于对照组。并且,添加乳酸菌发酵的红曲黄酒的可溶性固形物含量变化幅度不大,而总酸含量变化幅度较大。

## 2.3 乳酸菌对红曲黄酒有机酸的影响

本研究使用 HPLC 对混合标准液进行分析,分析结果如图 4 所示。

由图 4 分析可知,较对照组而言,添加乳酸菌 *W. confusa* IMAU50381 和 *W. confusa* IMAU50382 发酵的红曲黄酒中,苹果酸经过“二次发酵”全部转化为乳酸,且菌株 IMAU50381 和 IMAU50382 均为(融合魏氏菌);添加乳酸菌 IMAU50387、IMAU50399 和 IMAU50400 发酵的红曲黄酒中苹果酸的含量增加,同时添加菌株 IMAU50387 和 IMAU50399 发酵的红曲黄酒乙酸降低,且这 3 株菌均为 *Pediococcus pentosaceus* (戊糖片球菌)。而添加乳酸菌的 IMAU50215 发酵的红曲黄酒中,琥珀酸的含量显著增加,同时乙酸的含量

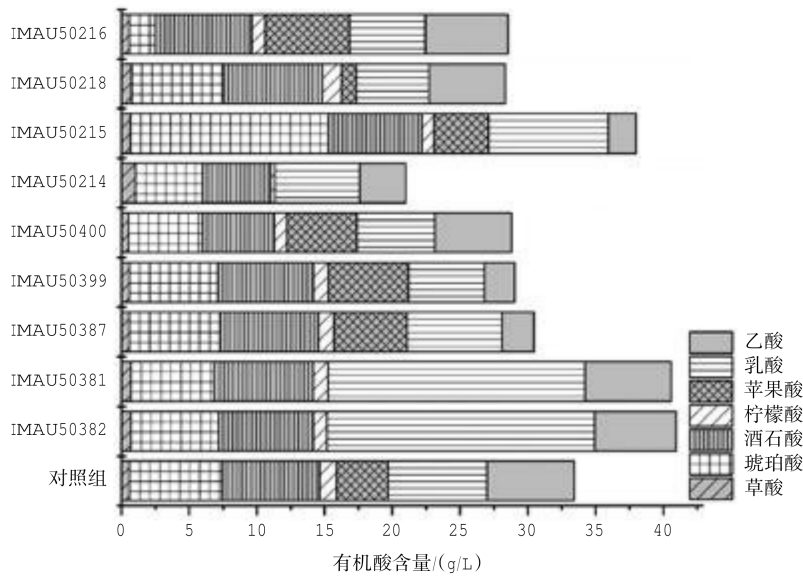


图 4 红曲黄酒样品有机酸含量堆积柱状图

Fig.4 Histogram of organic acid accumulation in monascus rice wine samples

减少。在添加 IMAU50214 发酵的红曲黄酒中柠檬酸含量减少同时苹果酸含量为零,且样品总体有机酸含量较对照组而言减少。

2.4 乳酸菌对红曲黄酒滋味的影响

本研究进一步对发酵红曲黄酒的各滋味进行相对强度分析,可得到结果如图 5 所示。

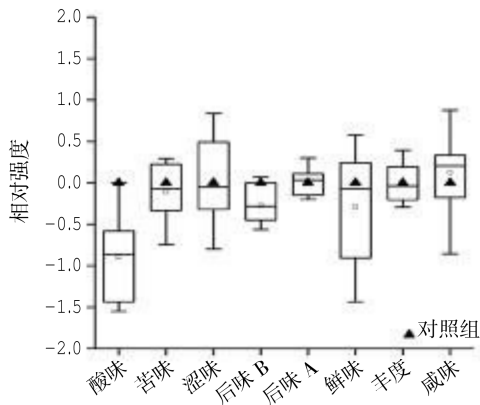


图 5 红曲黄酒各滋味指标相对强度箱型图

Fig.5 The relative strength of different flavor indexes of red koji rice wine box

经图 5 分析可知,与对照相比,添加乳酸菌发酵的红曲黄酒在酸味、苦味、后味 B(苦味的回味)和鲜味 4 个滋味指标上显著降低;但添加乳酸菌发酵的红曲黄酒在咸味上上升;同时,红曲黄酒对涩味、后味 A(涩味的回味)和丰度(鲜味的回味)影响不显著。

2.5 乳酸菌对红曲黄酒品质整体结构的差异性分析

主成分分析(principal component analysis,PCA)也称主分量分析,是识别算法中最基本的多元统计方

法,同时能够利用降维的思想,将多指标转变为少数综合指标<sup>[6]</sup>。本研究在使用电子舌分析添加乳酸菌发酵的红曲黄酒滋味品质的基础上,使用 PCA 对红曲黄酒的品质进行了分析。经 PCA 分析发现,信息主要集中在前 3 个主成分,累计方差贡献率为 90.44%,其中第一主成分和第二主成分的贡献率分别为 31.88%和 28.44%。同时基于主成分分析的添加乳酸菌发酵的红曲黄酒因子载荷图与因子得分图分别如图 6 和图 7 所示。

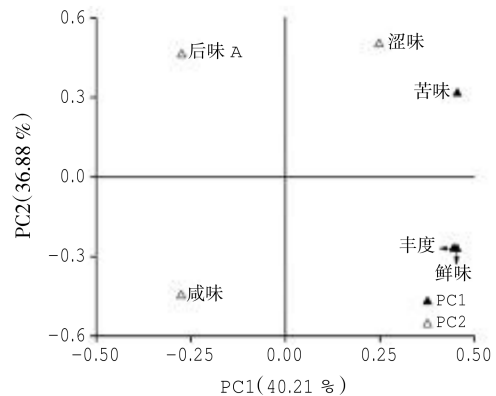


图 6 基于红曲黄酒品质主成分分析的因子载荷图

Fig.6 Factor loading diagram based on principal component analysis of red koji rice wine quality

由图 6 可知,第一主成分主要由鲜味、丰度(鲜味的回味)和苦味 3 个指标构成,第二主成分主要由涩味、咸味和后味 A(涩味的回味)3 个指标构成。且涩味和苦味分布在第一象限,后味 A(涩味的回味)分布在第二象限,咸味分布在第三象限,鲜味和丰度(鲜味的回味)分布在第四象限。

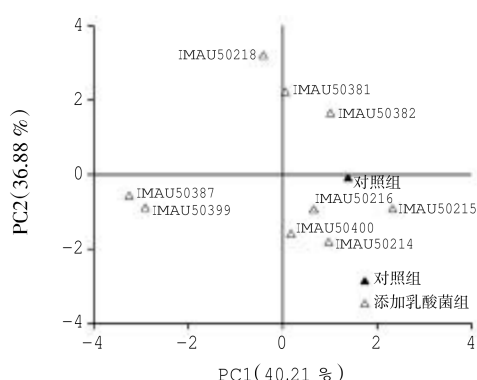


图7 基于红曲黄酒品质主成分分析的因子得分图

Fig.7 Factor score diagram based on principal component analysis of monascus rice wine quality

由图7可知,不添加乳酸菌发酵的红曲黄酒即对照组的空间排布整体在第四象限,添加乳酸菌菌株 IMAU50381 和 IMAU50382 发酵的红曲黄酒分布在第一象限,因此其涩味和苦味的滋味指标较高,且这两株菌均为 *Weissella confuse*; 添加乳酸菌菌株 IMAU50214、IMAU50215 和 IMAU50216 发酵的红曲黄酒分布在第四象限,因此其鲜味和丰度(鲜味的回味)的滋味指标较高,且这3株菌均为 *Weissella cibaria*; 添加乳酸菌菌株 IMAU50387、IMAU50400 和 IMAU50399 发酵的红曲黄酒分布在第三和第四象限,因此其咸味的滋味指标较高,且这3株菌均为 *Pediococcus pentosaceus*。因此可以发现同种乳酸菌发酵的红曲黄酒呈现出了明显的聚类趋势,且不同种类的乳酸菌发酵的红曲黄酒的各滋味品质各不相同,但是相同种类的乳酸菌发酵红曲黄酒样品的品质有相似的影响。

### 3 结论

本研究从米酒样品中分离出了9株乳酸菌,其中菌株 IMAU50214、IMAU50215、IMAU50216 和 IMAU50218 鉴定为 *Weissella cibaria*; 菌株 IMAU50387、IMAU50400 和 IMAU50399 鉴定为 *Pediococcus pentosaceus*; 菌株 IMAU50381 和 IMAU50382 鉴定为 *Weissella confuse*。随后用这9株乳酸菌发酵红曲黄酒,并将红曲黄酒进行分析,结果表明:添加乳酸菌发酵的红曲黄酒的溶解性固形物的含量显著高于对照组,总酸的含量低于对照组,并经PCA分析可知相同种类的乳酸菌发酵红曲黄酒的品质有相似的影响。

### 参考文献:

- [1] 康珏, 左嘉伟. 红曲霉及红曲的功能性研究[J]. 农产品加工, 2011(2): 67-69
- [2] 马美荣, 王正祥, 诸葛健. 红曲有效生理活性物质的研究现状与进展[J]. 酿酒科技, 1999(5): 14-15, 19
- [3] 梁璋成, 何志刚, 林晓姿, 等. 红曲黄酒酿造工艺与质量控制[J]. 东南园艺, 2014, 2(6): 103-107
- [4] 范怀德, 乔自林. 黄酒营养价值的研究[J]. 西北民族学院学报(自然科学版), 2000, 21(2): 47-49, 61
- [5] 倪莉, 吕旭聪, 黄志清, 等. 黄酒的生理功效及其生理活性物质研究进展[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 1-7
- [6] 尹胜利, 杜鉴, 徐晨. 乳酸菌的研究现状及其应用[J]. 食品科技, 2012, 37(9): 25-29
- [7] Mundi A, Delcenserie V, Amiri-Jami M, et al. Cell-free preparations of *Lactobacillus acidophilus* strain La-5 and *Bifidobacterium longum* strain NCC2705 affect virulence gene expression in *Campylobacter jejuni*[J]. *Journal of Food Protection*, 2013, 76(10): 1740-1746
- [8] Kakisu E, Abraham A G, Tironi Farinati C, et al. *Lactobacillus plantarum* isolated from kefir protects vero cells from cytotoxicity by type-II shiga toxin from *Escherichia coli* O157: H<sub>7</sub>[J]. *Journal of Dairy Research*, 2013, 80(1): 64-71
- [9] Čitar M, Hacin B, Tompa G, et al. Human intestinal mucosa-associated *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains with probiotic properties modulate IL-10, IL-6 and IL-12 gene expression in THP-1 cells[J]. *Beneficial Microbes*, 2015, 6(3): 325-336
- [10] Liu Q, Ni X Q, Wang Q, et al. *Lactobacillus plantarum* BSGP201683 isolated from giant Panda feces attenuated inflammation and improved gut microflora in mice challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli*[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 1885
- [11] Chen X Y, Woodward A, Zijlstra R T, et al. Exopolysaccharides synthesized by *Lactobacillus reuteri* protect against enterotoxigenic *Escherichia coli* in piglets[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2014, 80(18): 5752-5760
- [12] Hess P, Altenhofer A, Khan A S, et al. A *Salmonella* fim homologue in *Citrobacter freundii* mediates invasion in vitro and crossing of the blood-brain barrier in the rat pup model[J]. *Infection and Immunity*, 2004, 72(9): 5298-5307
- [13] 绵贯雅章, 李玉玖. 发挥乳酸菌在疾病预防中的作用[J]. 日本医学介绍, 2001, 22(3): 101-103
- [14] 王玉荣, 张俊英, 胡欣洁, 等. 湖北孝感和四川成都地区来源的曲霉对米酒滋味品质影响的评价[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 207-210
- [15] 郭瑛, 肖朝萍, 王红, 等. 高效液相色谱法测定乌梅有机酸[J]. 分析化学, 2004, 32(12): 1624-1626
- [16] 肖白, 刘亚伟, 施永刚, 等. 基于主成分分析的中压配电网供电可靠性评估[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(10): 7-12

收稿日期: 2019-02-25