

苏安祥, 张传伟, 刘春利, 等. 糯米与糯玉米发酵酒品质的比较 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 26–32. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110071

SU Anxiang, ZHANG Chuanwei, LIU Chunli, et al. Quality Comparison of Glutinous Rice Fermented Wine and Waxy Maize Fermented Wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 26–32. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110071

· 研究与探讨 ·

# 糯米与糯玉米发酵酒品质的比较

苏安祥<sup>1</sup>, 张传伟<sup>2</sup>, 刘春利<sup>2</sup>, 葛晓钰<sup>1</sup>, 薛梅<sup>1</sup>, 姚丽<sup>3,\*</sup>

(1. 南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心,  
江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室, 江苏南京 210023;  
2. 安丘农业技术推广中心, 山东安丘 262100;  
3. 江苏卫生健康职业学院, 江苏南京 211800)

**摘要:** 为研究糯米和糯玉米对发酵酒品质的影响, 本实验选取粳糯米、粳糯米和糯玉米三种原料, 测定它们的水分、蛋白质、灰分、淀粉和脂肪含量以及三种原料发酵酒的还原糖、可溶性固形物、酒精度及总酸的含量, 并通过感官评定、电子舌、电子鼻进行发酵酒感官品质分析。结果表明, 粳糯米、粳糯米和糯玉米中蛋白质、淀粉、脂肪含量具有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 糯玉米发酵酒还原糖 (12.69 g/100 g)、可溶性固形物 (12.89%)、酒精度 (2.0%) 及总酸 (13.06 g/L) 的含量最低, 感官评分低于粳糯米、粳糯米发酵酒, 但是尚在可接受范围 (感官评分  $\geq 60$ ), 显示糯玉米作为原料酿造发酵酒具有可行性。

**关键词:** 粳糯米, 粳糯米, 糯玉米, 发酵酒, 感官品质

中图分类号: TS261.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)17-0026-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110071



本文网刊:

## Quality Comparison of Glutinous Rice Fermented Wine and Waxy Maize Fermented Wine

SU Anxiang<sup>1</sup>, ZHANG Chuanwei<sup>2</sup>, LIU Chunli<sup>2</sup>, GE Xiaoyu<sup>1</sup>, XUE Mei<sup>1</sup>, YAO Li<sup>3,\*</sup>

(1. Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Key Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China;  
2. Anqiu Agricultural Technology Extension Center, Anqiu 262100, China;  
3. Jiangsu Health Vocational College, Nanjing 211800, China)

**Abstract:** In order to study the influence of glutinous rice and waxy maize on the quality of fermented wine, Indica glutinous rice, Japonica glutinous rice and waxy maize were selected as raw materials. The content of moisture, protein, ash, starch and fat were measured. The content of reducing sugar, soluble solids, alcohol, and total acid of the fermentation process were tested. After the fermentation was completed, the taste and smell of the fermented wine were determined through the sensory evaluation, electronic tongue and electronic nose. The results showed that the protein, starch and fat content in Indica glutinous rice, Japonica glutinous rice and waxy maize had significant differences ( $P < 0.05$ ). The reducing sugar (12.69 g/100 g), soluble solids (12.89%), alcohol content (2.0%) and total acid (13.06 g/L) were the lowest in waxy maize fermented wine, and the sensory score was lower than that of Indica glutinous rice and Japonica glutinous rice fermented wine, but it was still within the acceptable range (sensory score  $\geq 60$ ), showing the feasibility of using waxy maize as a raw material for brewing fermented wine.

**Key words:** Indica glutinous rice; Japonica glutinous rice; waxy maize; fermented wine; sensory quality

收稿日期: 2021-11-08

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD); 江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (TAPP); 江苏卫生健康职业学院校级科研项目 (JKB202010)。

作者简介: 苏安祥 (1984-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: xiangansu@126.com。

\* 通信作者: 姚丽 (1984-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 食品营养, E-mail: 359410508@qq.com。

米酒是我国传统的低度发酵酒,其营养成分丰富,包括糖类和多种小分子营养物质如氨基酸、醇类、有机酸等<sup>[1]</sup>。米酒通常以糯米为主要原料。糯米是我国常见的粮食之一,其本身含有多种营养成分,包括蛋白质、碳水化合物、脂质、矿物质和多种维生素,对脾胃虚弱、气血亏虚的人群有着一定的食补功效<sup>[2]</sup>。糯米中含大量的支链淀粉,分子排列较直链淀粉更疏松,吸水能力较强,在蒸煮糊化后含大量水分,有利于微生物迅速生长繁殖<sup>[3]</sup>,微生物将糯米中的糖、蛋白质等大分子物质降解为小分子物质如低聚糖、氨基酸和有机酸等,使得糯米酒具有酸甜醇厚的风味<sup>[4]</sup>。用糯米酿造的米酒出汁率高、酒精度低、口感柔和,且含有多种人体必需氨基酸、生物短肽和维生素,因此广受消费者的喜爱<sup>[5-6]</sup>。但是,目前市场上米酒为主的低度发酵酒存在产品同质化较重,风味单一等问题,需要开拓新的发酵酒产品。

近年来,科技工作者在发酵酒的新产品开发方面进行了大量的尝试,开发了以大米、红米、香米、黑米、紫米和糯玉米等为原料的发酵酒<sup>[7-10]</sup>。糯玉米作为新型玉米品种,近年来发展较快,糯玉米籽粒中 $V_A$ 、 $V_{B1}$ 、 $V_{B2}$ 的含量高于稻米,作为原料成本更低,开发糯玉米酒对于延长糯玉米产业链,丰富发酵酒产品具有重要意义。然而目前国内关于不同原料种类对发酵酒感官品质影响的研究较少。同时,有研究表明发酵酒原料中淀粉支直链之比越大,越可能酿造出较高品质的发酵酒<sup>[11-12]</sup>。因此,本文选择支直链淀粉比例较高的粳糯米、籼糯米和糯玉米为原料,研究其对发酵酒的发酵过程、感官品质等指标的影响,为发酵酒酿造原料选择提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

籼糯米、粳糯米(产地安徽)、糯玉米(产地广西南宁) 苏果超市;甜酒曲 安琪酵母股份有限公司;氢氧化钠、对硝基苯酚、乙酸钠、无水乙酸钠、乙酸均为分析纯,上海国药集团化学。

ASTREE 电子舌 法国 Alpha MOS 公司; $\alpha$ -FOX3000 电子鼻 法国 Alpha MOS 公司;250B 数显生化培养箱 金坛市精达仪器制造有限公司;LH-T32 可溶性固形物含量测定仪 杭州陆恒生物。

1.2 实验方法

1.2.1 原料成分分析

1.2.1.1 水分 水分的测定方法参考:GB 5009.3-2016 直接干燥法。

1.2.1.2 蛋白质 蛋白质的测定方法参考:GB 5009.5-2016 分光光度法。

1.2.1.3 淀粉 淀粉的测定方法参考:GB 5009.9-2016 酶水解法。

1.2.1.4 灰分 灰分测定方法参考:GB 5009.4-2016 食品中总灰分的测定。

1.2.1.5 脂肪 脂肪测定方法参考:GB 5009.6-2016 索氏抽提法。

1.2.2 酿酒过程及参数测定

1.2.2.1 酿酒步骤 糯米(籼米、粳米)酿酒步骤参考文献并略作修改<sup>[13]</sup>:将米淘洗 2~3 次至水不浑浊,水中浸泡约 6 h,直至米粒无白心;蒸米约 40 min,米粒透而不烂,淋 2 遍凉白开后均匀摊开冷却至 30 ℃,均匀拌入 0.5%(V/V)甜酒曲,反复搅拌,不可压实,确保通气,随后,将米压实在中间挖一凹坑,便于通气。料水比 1:0.8,28 ℃ 发酵 4 d。

糯玉米酿酒步骤参考文献并略作修改<sup>[14]</sup>:糯玉米去杂后浸泡于体积分数 5% 的乳酸溶液中,48 至 55 ℃ 下保持 60 至 72 h,用打浆机将浸泡的玉米粒打碎。水料比 3:1,蒸煮 30 min 后,摊开冷却至 30 ℃,拌入 0.5%(V/V)甜酒曲,28 ℃ 发酵 4 d。

发酵过程中每隔 24 h 测定一次还原糖、可溶性固形物、酒精度和总酸。

1.2.2.2 还原糖测定 还原糖测定方法参考:GB 5009.7-2016 直接滴定法。

1.2.2.3 可溶性固形物含量测定 使用可溶性固形物含量测定仪测定。

1.2.2.4 酒精度测定 酒精度测定方法参考:GB 5009.225-2016 酒精计法。

1.2.2.5 总酸测定 总酸测定方法参考:GB/T 12456-2008 酸碱滴定法。

1.2.3 发酵酒的品质分析

1.2.3.1 感官评价 由 10 人组成的评定小组,按照文献报道的感官评定标准<sup>[11]</sup>,对成品发酵酒的感官质量进行评价,得分为总评分的平均值。感官得分 $\geq 60$ 分为可接受。感官评定标准见表 1。

表 1 发酵酒感官评定标准  
Table 1 Sensory standard of fermented wine

| 总分      | 评分标准        | 得分(分) |
|---------|-------------|-------|
| 色泽(20分) | 淡黄色,有光泽     | 15~20 |
|         | 淡黄色,无光泽     | 8~14  |
|         | 颜色较浅,色泽不良   | 0~7   |
| 香味(30分) | 香气浓郁        | 21~30 |
|         | 香气一般        | 11~20 |
|         | 香气差         | 0~10  |
| 滋味(30分) | 糖酸适度,酒体完整   | 21~30 |
|         | 糖酸较适度,酒体较完整 | 11~20 |
|         | 糖酸失调,有异味    | 0~10  |
| 形态(20分) | 澄清透明,无沉淀    | 15~20 |
|         | 半透明,有少量沉淀   | 8~14  |
|         | 浑浊,较多沉淀     | 0~7   |

1.2.3.2 电子舌 电子舌对三种试样溶液各采样 120 s,样品间用超纯水清洗 10 s<sup>[15]</sup>,各传感器性能见表 2。

1.2.3.3 电子鼻 称取 2 g 发酵酒放入 20 mL 的样品瓶中,用具有 12 根不同类型传感器的电子鼻分析

表2 电子舌传感阵列性能

Table 2 Performance of electronic tongue sensor arrays

| 传感器  | AHS | CTS | NMS | ANS | SCS |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 代表滋味 | 酸   | 咸   | 鲜   | 甜   | 苦   |

发酵酒的风味(表3)。分析条件:载气:洁净干燥空气;流速  $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ;顶空产生参数:产生时间 60 s;产生温度  $60^\circ\text{C}$ ;顶空注射参数:注射体积  $2500 \mu\text{L}$ ;注射速率  $2500 \mu\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ ;获得参数:获得时间 360 s;延滞时间  $120 \text{ s}^{[16]}$ 。

表3 电子鼻传感器阵列性能

Table 3 Performance of electronic nose sensor arrays

| 传感器      | 性能                 |
|----------|--------------------|
| LY2/LG   | 氯、氮氧化物,氧化分子        |
| LY2/G    | 对氨、胺、醇类和酮类物质敏感     |
| LY2/AA   | 氨、酮                |
| LY2/GH   | 对氨和胺类物质敏感          |
| LY2/gCTL | 对硫化氢敏感             |
| LY2/gCT  | 丙烷、丁烷、乙醇           |
| T30/1    | 对有机化合物灵敏,极性化合物、氯化氢 |
| P10/1    | 烃类                 |
| P10/2    | 甲烷、丙烷、脂肪酸、非极性分子    |
| P40/1    | 氟利昂、氧化分子           |
| T70/2    | 对芳香族化合物灵敏          |
| PA/2     | 对含氮物质敏感            |

### 1.3 数据处理

每个样品重复 6 次,数据结果以平均值 $\pm$ 标准差表示,采用 SPSS 软件对试验数据进行统计分析,以 The one-way analysis of variance(ANOVA)进行显著性分析, $P<0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 糯米和糯玉米主要化学成分的对比

3 种原料的主要化学成分见表 4,可以看出,3 种原料的主要化学成分存在明显差异,糯玉米的水分(54.78%)、灰分(1.79 g/100 g)和脂肪(1.54 g/100 g)含量均显著高于粳糯米和籼糯米( $P<0.05$ ),而蛋白质(4.87 g/100 g)和淀粉(25.26 g/100 g)含量显著低于粳糯米和籼糯米( $P<0.05$ )。粳糯米的水分和淀粉含量明显高于籼糯米,而蛋白质、灰分和脂肪含量低于籼糯米。三种原料中,糯玉米的水分、灰分和脂肪的含量最高,粳糯米的淀粉含量最高,籼糯米的蛋白质

表4 三种原料的主要化学成分

Table 4 The main chemical components of the three raw materials

| 成分  | 水分 (%)             | 蛋白质 (g/100 g)     | 淀粉 (g/100 g)       | 灰分 (g/100 g)      | 脂肪 (g/100 g)      |
|-----|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 粳糯米 | $15.27 \pm 0.26^b$ | $7.63 \pm 0.47^b$ | $75.89 \pm 0.14^b$ | $0.55 \pm 0.03^a$ | $0.57 \pm 0.17^a$ |
| 籼糯米 | $11.53 \pm 0.37^a$ | $8.25 \pm 0.69^c$ | $73.63 \pm 0.44^b$ | $0.76 \pm 0.12^a$ | $0.92 \pm 0.31^b$ |
| 糯玉米 | $54.78 \pm 0.75^c$ | $4.87 \pm 0.15^a$ | $25.26 \pm 0.63^a$ | $1.79 \pm 0.07^b$ | $1.54 \pm 0.29^c$ |

注:同一列不同字母之间表示有统计学差异, $P<0.05$ ,表5同。

含量最高。

原料中的水分、淀粉和蛋白质占比较大。有文献报道<sup>[17-21]</sup>,原料中水分的含量影响淀粉颗粒结构,在加热过程中,淀粉通过吸水膨胀进而产生糊化反应,在一定范围内该反应的充分程度与原料水分含量成正比。淀粉包括直链淀粉和支链淀粉,由于支链淀粉结构更为疏松,所以吸水性更强,更容易糊化。蛋白质在微生物酶的作用下降解成小分子的肽和氨基酸,为微生物发酵提供养分,经微生物利用后转化成高级醇和对应酯类,高级醇含量过高会产生异味,且成品酒中蛋白质剩余量过多也会使酒容易变质,影响酒的储存<sup>[22-24]</sup>。因此原料蛋白质含量过高会破坏发酵酒的品质,缩短贮藏时间<sup>[25]</sup>。此外,脂肪含量也对发酵酒品质有影响,适量的饱和脂肪酸有利于发酵酒产生香气,含量过高则会破坏风味<sup>[26]</sup>。由于 3 种原料的化学成分有较大差异,且这些成分也对最终的发酵酒品质有决定性作用,因此推断这三种原料的发酵特性也有较大差别。

### 2.2 糯米和糯玉米发酵酒发酵过程中主要理化指标的变化

**2.2.1 还原糖含量的变化** 在发酵过程中的糖化阶段,微生物分泌出糖化酶,原料中的淀粉经糖化酶的催化分解成还原糖,为酵母提供生长繁殖所需的养分。发酵阶段 3 种原料发酵酒中还原糖含量的变化见图 1。可以看出,还原糖含量在发酵过程中逐渐减少且呈现出先快(0~72 h)后慢(72~96 h)的下降趋势,以糯玉米发酵为例,前 72 h 还原糖含量降低了  $6.25 \text{ g/100 g}$ ,后 24 h 降低了  $0.27 \text{ g/100 g}$ 。这是因为在早期酵母迅速生长繁殖,能迅速地把糖化阶段产生的还原糖大量发酵成酒精、二氧化碳和有机酸,而到了发酵后期,酒精和有机酸的含量增加,抑制了酵母菌的生长繁殖,导致酵母活性降低,降低了还原糖分解的速度<sup>[27-29]</sup>。

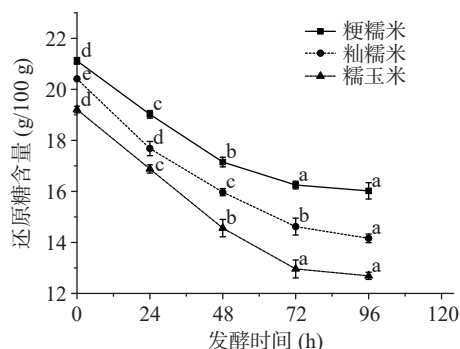


图1 发酵阶段发酵酒中还原糖含量的变化

Fig.1 Changes of reducing sugar content in fermented wine during fermentation

注:同一条线上不同字母之间表示差异显著, $P<0.05$ ;图2~图4同。

整个发酵阶段,糯玉米发酵酒中还原糖含量下降趋势更明显,且含量明显低于粳糯米和籼糯米,一方面是由于糯玉米的淀粉含量低于粳糯米和籼糯米



(表 4),可产生还原糖的底物较少,另一方面是由于糯玉米的质地相较于糯米坚硬,不利于微生物对营养成分的摄取和利用,同时,试验所使用的甜酒曲是以糯米为基质进行筛选和培育的根霉菌,玉米和糯米中直链和支链淀粉的比例差异,以及蛋白质、脂肪等含量的差异会影响微生物的生长,传统甜酒曲更适应于糯米为原料的生长环境<sup>[30]</sup>,导致糯玉米发酵过程中还原糖产生较少,而产生的还原糖被转化利用的效率与糯米发酵过程相同,最终表现为还原糖下降较快。

**2.2.2 可溶性固形物含量的变化** 可溶性固形物是发酵酒发酵阶段的重要指标之一,与含有滋味、风味物质多少直接相关,对发酵酒的风味品质具有重要影响。发酵阶段 3 种原料发酵酒的可溶性固形物含量变化见图 2。由图可以看出,可溶性固形物的含量在发酵过程中逐渐减少且呈现出先快(24~48 h)后慢(48~96 h)的下降趋势,以糯玉米发酵为例,前 48 h 可溶性固形物含量降低了 4.35%,后 48 h 降低了 1.08%。这是因为在早期酵母迅速生长繁殖,利用发酵酒中的可溶性固形物,将其转化成酒精、有机酸和其他风味物质。可溶性固形物大部分为还原糖、糊精和低聚糖。此外,研究显示,发酵酒中可溶性固形物的含量与原料蛋白质含量有关<sup>[31]</sup>。糯玉米的蛋白质含量明显低于两种糯米,这也是糯玉米发酵酒中可溶性固形物的含量更低的原因之一。

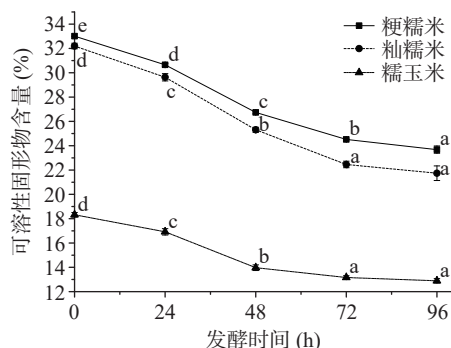


图 2 发酵阶段发酵酒中可溶性固形物含量的变化

Fig.2 Changes of soluble solids content in fermented wine during fermentation

**2.2.3 酒精度的变化** 发酵酒中的酒精来源于酵母的无氧呼吸作用。酵母在各种酶的共同催化下,经无氧呼吸将还原糖分解成酒精和二氧化碳。发酵阶段 3 种发酵酒中酒精度的变化见图 3。

由图可见,发酵酒中酒精度在发酵过程中逐渐上升且呈现出先快(0~48 h)后慢(48~96 h)的上升趋势,以糯玉米发酵为例,前 48 h 酒精含量上升了 1.2%,后 48 h 上升了 0.5%。这是因为在 48 h 内酵母处于对数生长期,大量的酵母将发酵酒中的还原糖经无氧呼吸分解成酒精,所以 48 h 内发酵酒的酒精度快速上升;48 h 以后酵母进入平衡期和衰老死亡期,且发酵产生的酒精、二氧化碳和有机酸抑制了酵母的生长繁殖,导致酵母分解速度下降,所以 48 h 以后酒精度上升缓慢<sup>[11]</sup>。

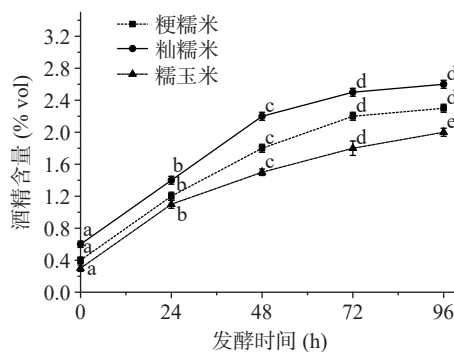


图 3 发酵阶段发酵酒中酒精度的变化

Fig.3 Changes of alcohol content in fermented wine during fermentation

**2.2.4 总酸含量的变化** 发酵酒中的总酸主要来自乳酸球菌、酵母菌等将糖类、蛋白质、脂质等转化生成的有机酸(如乳酸、琥珀酸等),原料和酒曲中也含有少量有机酸,这些酸类物质对发酵酒的风味有着重要影响<sup>[32-35]</sup>。三种发酵酒在发酵阶段总酸含量的变化见图 4。可以看出发酵酒中总酸含量在发酵过程中逐渐上升且呈现出先快后慢的上升趋势。主要因为前 48 h 发酵酒中还原糖含量相对较高,且酵母处于生长对数期,数量多,代谢快,因此产生了大量有机酸;48 h 后酵母生长趋于平缓甚至衰亡,代谢减少,因此总酸含量缓慢上升。发酵阶段籼糯米和梗糯米总酸含量大于糯玉米,可能因为籼糯米和梗糯米的蛋白质含量高于糯玉米,经酶催化水解产生的氨基酸较多。另外,还原糖在发酵酒成分中占比较大,虽然 3 种原料中糯玉米的脂肪含量最高,但由于其还原糖含量明显低于其他两种糯米,所以总酸含量也在 3 种原料中较低。

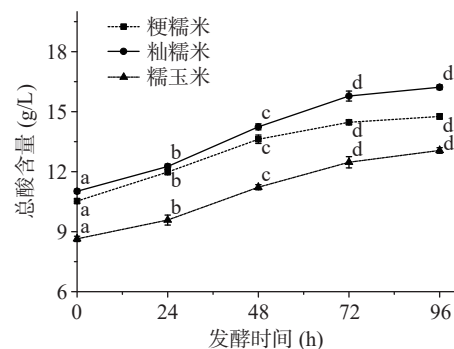


图 4 发酵阶段发酵酒中总酸含量的变化

Fig.4 Changes of total acid content in fermented wine during fermentation

## 2.3 糯米和糯玉米发酵酒成品的品质分析

**2.3.1 感官分析** 对 3 种发酵酒产品进行感官评价,结果见表 5。可以看出梗糯米感官评分最高(82.10 分),糯玉米感官评分最低(60.30 分)。糯玉米酒感官评分低的原因主要包括颜色较深,香气不够浓郁,透明度较差。结合还原糖、可溶性固形物、酒精度、酸度等指标综合分析,3 种发酵酒中梗糯米酒的还原糖、可溶性固形物含量均最高;籼糯米酒的酒精度和

总酸含量最高,导致酒味和酸味较重;糯玉米酒的还原糖、可溶性固形物、酒精度和总酸含量明显低于两种糯米酒,导致各项风味不足。

表5 三种发酵酒的感官评分  
Table 5 The sensory scores of three fermented wines

| 发酵酒品质 | 感官评分(分)                 |
|-------|-------------------------|
| 粳糯米   | 82.10±2.05 <sup>b</sup> |
| 籼糯米   | 78.30±2.49 <sup>b</sup> |
| 糯玉米   | 60.30±1.70 <sup>a</sup> |

2.3.2 电子舌分析 从图5中可以看出,三种发酵酒在AHS和SCS传感器上的响应值基本相近,说明三种发酵酒在酸度和苦味上无明显差异;在ANS传感器上,糯玉米的响应值略低于籼糯米,说明糯玉米酒的甜度略低于籼糯米酒;在CTS和NMS传感器上,糯玉米酒的响应值明显低于籼糯米酒和粳糯米酒,说明糯玉米酒的咸度、鲜度明显低于两种糯米酒;粳糯米酒和籼糯米酒的各个滋味响应值有重叠现象,说明两种糯米酒的各个滋味指标无明显差异。

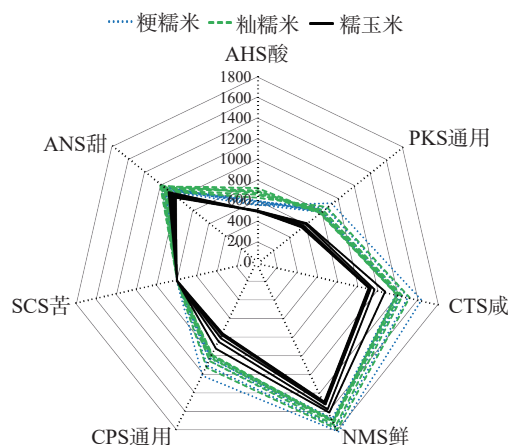


图5 三种发酵酒的电子舌雷达图  
Fig.5 Radar diagram of electronic tongue of three fermented wines

由图6可看出,粳糯米酒和籼糯米酒的点分布在二、三象限,且有聚集现象,糯玉米酒的点分布在一、四象限,与两种糯米酒的距离较远,说明糯玉米酒和两种糯米酒的滋味品质有较大差异;两种糯米酒的点在第三象限的分布更密集,与电子舌的甜味传感器距离更近,说明它们的滋味品质和甜味的相关性较大;糯玉米酒的点分布在酸味传感器周围,说明糯玉米酒的滋味品质与酸度的相关性较大。

2.3.3 电子鼻分析 由图7可看出,粳糯米酒和籼糯米酒对各传感器的风味响应值几乎相同,说明这两者的挥发性成分浓度无明显差异;两种糯米酒对传感器P10/1、P10/2、P40/1、T70/2的风味响应值明显高于糯玉米酒,说明这两种糯米酒的烃类、甲烷、氟和芳香类化合物相对含量高于糯玉米酒,因此香气更加浓郁;糯玉米酒对传感器LY2/gCT的风味响应值明显大于两种糯米酒,说明糯玉米酒的丙烷、丁烷类物质相对含量较高。

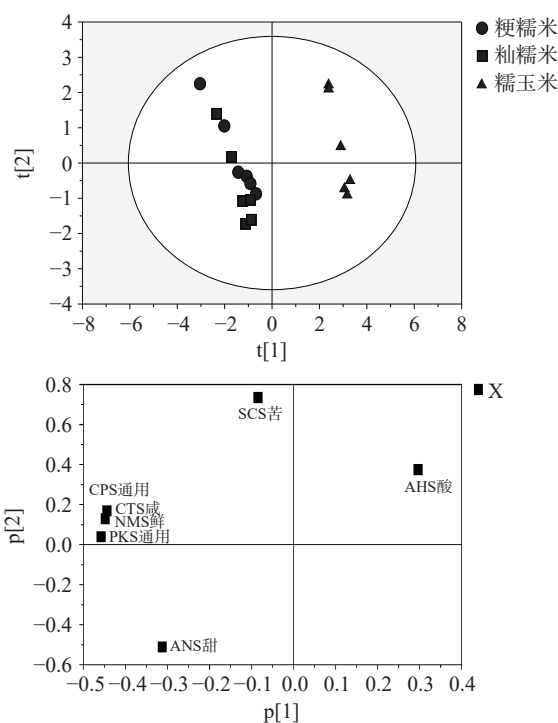


图6 三种发酵酒的主成分图和载荷图  
Fig.6 Plot of principal components and load diagram of three fermented wines

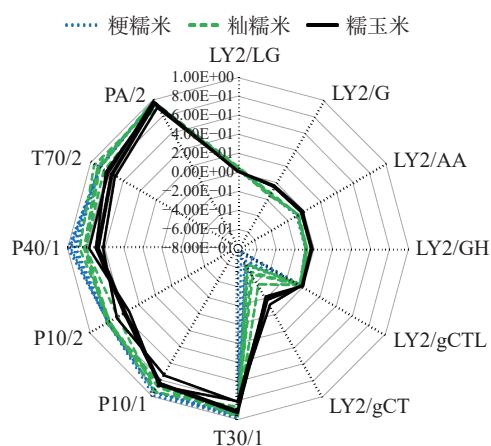


图7 三种发酵酒的电子鼻雷达图  
Fig.7 Radar diagram of electronic nose of three fermented wines

由图8可知,第1主成分的贡献率为98.69%,第2主成分的贡献率为0.99%,总贡献率为99.68%>

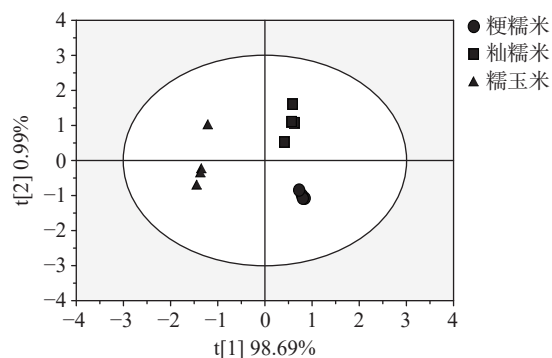


图8 三种发酵酒的电子鼻PCA分析图  
Fig.8 PCA analysis diagram of electronic nose of three fermented wines

85%,说明该结果可以准确反映样品风味的整体信息。第 1 主成分的贡献率远大于第 2 主成分的贡献率,说明样品的横坐标间距越大,样品相对差异也越大;第 2 主成分的贡献率相对更小,说明样品纵坐标的相对距离与样品相对差异无显著关系。糯玉米酒与粳糯米酒、籼糯米酒的横坐标间距较大,说明糯玉米酒的气味与后两者存在一定差别;粳糯米酒和籼糯米酒的横坐标间距较小,说明两种糯米酒的气味无较大差异。

### 3 结论

本实验选择粳糯米、籼糯米和糯玉米三种原料,采用甜酒曲作为发酵剂制作发酵酒,比较不同原料发酵过程中理化指标、感官、滋味、风味差异,研究不同原料对发酵酒品质的影响。不同原料的化学成分组成不同,影响微生物对营养物质的利用,导致发酵速度不同,其中糯玉米发酵较慢,发酵终点糯玉米酒的还原糖、可溶性固形物、酒精度和总酸含量分别为 12.69 g/100 g、12.89%、2.0%、13.06 g/L,而粳糯米发酵酒的各项对应值分别为 16.02 g/100 g、23.68%、2.3%、14.76 g/L。最终导致不同原料对发酵酒的滋味和气味差异,但尚在可接受范围,玉米酒具有独特的玉米香气,提示糯玉米作为原料酿造发酵酒具有可行性,后期需在发酵剂的针对性选育和发酵条件优化方面进一步研究,以提高发酵效率,改善发酵酒品质。

### 参考文献

- [1] CAI H Y, ZHANG Q, SHEN L Z, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of Chinese rice wine fermented with different rice materials and starters[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 111: 226–234.
- [2] LOYPIMAI P, MOONGNARM A, CHOTTANOM P. Phytochemicals and antioxidant capacity of natural food colorant prepared from black waxy rice bran[J]. *Food Bioscience*, 2016, 15: 34–41.
- [3] SHEN Y, ZHANG N, XU Y R, et al. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked rice starches differential in amylose content[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 128: 775–781.
- [4] ZENG F, GAO Q Y, HAN Z, et al. Structural properties and digestibility of pulsed electric field treated waxy rice starch[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1313–1319.
- [5] ZHANG T X, LI X X, CHEN L, et al. Digestibility and structural changes of waxy rice starch during the fermentation process for waxy rice vinasse[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 57: 38–45.
- [6] 朱思洁, 苏伟, 刘莉. 红稗黑糯米混合发酵酒的工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(13): 105–109. [ZHU S J, SU W, LIU L. Study on the process of bacca sedge and black glutinous rice wine by mixed fermentation[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(13): 105–109.]
- [7] 陈祈磊, 夏兵兵, 丁琦峰, 等. 红米/大米半固态酿制米酒的比较研究[J]. 成都大学学报, 2011, 30(3): 209–211. [CHEN Q L, XIA B B, DING Q F, et al. Comparative study on semi-solid state fermentation of rice wine with rice and red rice[J]. *Journal of Chengdu University*, 2011, 30(3): 209–211.]
- [8] 利勤. 香米米酒加工工艺研究及品质分析[D]. 成都: 西华大学, 2013. [LI Q. Study on brewing technology of aroma rice wine and quality analysis[D]. Chengdu: Xihua University, 2013.]
- [9] 刘达玉, 马艳华, 王新惠, 等. 黑米酒的酿造及其品质分析研究[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(9): 86–90. [LIU D Y, MA Y H, WANG X H, et al. Studies on the brewing technology and the quality analysis of black rice wine[J]. *Food Research and Development*, 2012, 33(9): 86–90.]
- [10] 宗秀丽. 糯玉米发酵酒加工工艺的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016. [ZONG X L. Research on processing technology of waxy corn fermented wine[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016.]
- [11] 杨停, 贾冬英, 马浩然, 等. 糯米化学成分对米酒发酵及其品质影响的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(5): 119–123. [YANG T, JIA D Y, MA H R, et al. Influence of chemical composition of glutinous rice on fermentation and quality of rice wine[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(5): 119–123.]
- [12] 蒋世云. 不同淀粉质对米甜酒品质影响的研究[J]. *中国酿造*, 2003(3): 23–25. [JIANG S Y. Study on the effect of different starchy on the quality of rice sweet wine[J]. *China Brewing*, 2003(3): 23–25.]
- [13] 刘妲. 糯米甜酒酿造新工艺的研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2011. [LIU D. Study on new process for the preparation of wine from glutinous rice[D]. Liuzhou: Guangxi Institute of Technology, 2011.]
- [14] 王磊, 陈宇飞, 李玉邯. 糯玉米酒发酵工艺条件优化研究[J]. *酿酒科技*, 2015(10): 35–38. [WANG L, CHEN Y F, LI Y H. The optimization of technical parameters of glutinous corn wine[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2015(10): 35–38.]
- [15] 姚远, 陶玉贵, 葛飞, 等. 两种酿酒酵母发酵对桑葚米酒理化品质及香气成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 242–250, 261. [YAO Y, TAO Y G, GE F, SONG P, et al. Effects of aroma components and physicochemical quality of mulberry rice wine fermented by two *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(24): 242–250, 261.]
- [16] 张高楠, 苏钰亭, 赵思明, 等. 4 种甜米酒主要营养成分与滋味特征对比及分析[J]. *华中农业大学学报*, 2018, 37(2): 89–95. [ZHANG G N, SU Y T, ZHAO S M, et al. Analyses of nutritional composition in four kinds of fermented sweet rice wines and sensory evaluation with electronic tongue[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018, 37(2): 89–95.]
- [17] 刘红. 基于苦荞与糯米发酵开发调味料酒关键技术研究[D]. 成都: 西华大学, 2020. [LIU H. Research on key technology of seasoning wine based on tartary buckwheat and oryza glutinosa fermentation[D]. Chendu: Xihua University, 2020.]
- [18] 李华敏, 王艺欣, 李林, 等. 甜米酒发酵工艺条件研究[J]. *中国酿造*, 2018, 37(7): 199–202. [LI H M, WANG Y X, LI L, et al. Fermentation technology of sweet rice wine[J]. *China Brewing*, 2018, 37(7): 199–202.]
- [19] ENGLEZOS V, RANTSIOU K, CRAVERO F, et al. Volatile profile of white wines fermented with sequential inoculation of

- Starmerella bacillaris* and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Food Chemistry*, 2018, 257: 350–360.
- [20] CORTIELLA Gil I C, ÚBEDA C, COVARRUBIAS J, et al. Chemical, physical, and sensory attributes of Sauvignon blanc wine fermented in different kinds of vessels[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 66: 102521.
- [21] HUANG J T, LI H C, WANG Y Q, et al. Evaluation of the quality of fermented kiwi wines made from different kiwifruit cultivars[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42: 101051.
- [22] JIANG X H, LU Y Y, LIU S Q. Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulaspora delbrueckii*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 132: 109929.
- [23] PÉREZ D, JAEHDE I, GUILLAMÓN J M, et al. Screening of *Saccharomyces* strains for the capacity to produce desirable fermentative compounds under the influence of different nitrogen sources in synthetic wine fermentations[J]. *Food Microbiology*, 2021, 97: 103763.
- [24] TIAN T T, YANG H, YANG F, et al. Optimization of fermentation conditions and comparison of flavor compounds for three fermented greengage wines[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 89: 542–550.
- [25] TUFARIELLO M, RIZZUTI A, PALOMBI L, et al. Non-targeted metabolomic approach as a tool to evaluate the chemical profile of sparkling wines fermented with autochthonous yeast strains[J]. *Food Control*, 2021, 126: 108099.
- [26] SCHMIDT V C, OLSEN K, MOURITSEN O. Umami potential of fermented beverages: Sake, wine, champagne, and beer[J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 128971.
- [27] ZHONG W, LIU S Q, YANG H, et al. Effect of selected yeast on physicochemical and oenological properties of blueberry wine fermented with citrate-degrading *Pichia fermentans*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 145: 111261.
- [28] SON E Y, LEE S M, KIM M, et al. Comparison of volatile and non-volatile metabolites in rice wine fermented by Koji inoculated with *Saccharomycopsis fibuligera* and *Aspergillus oryzae*[J]. *Food Research International*, 2018, 109: 596–605.
- [29] BONTO A P, JEARANAI K N, SREENIVASULU N, et al. High uptake and inward diffusion of iron fortificant in ultrasonicated milled rice[J]. *LWT*, 2020, 128: 109459.
- [30] BONTO A P, TIOZON R N, SREENIVASULU N, et al. Impact of ultrasonic treatment on rice starch and grain functional properties: A review[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 71: 105383.
- [31] CHOI S, LEE J. Volatile and sensory profiles of different black rice (*Oryza sativa* L.) cultivars varying in milling degree[J]. *Food Research International*, 2021, 141: 110150.
- [32] DIAS L G, HACKE A, BERGARA S F, et al. Identification of volatiles and odor-active compounds of aromatic rice by OSME analysis and SPME/GC-MS[J]. *Food Research International*, 2021, 142: 110206.
- [33] GONG M, ZHOU Z L, JIN J S, et al. Effects of soaking on physicochemical properties of four kinds of rice used in Huangjiu brewing[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 91: 102855.
- [34] HONDA C, KATSUTA R, YAMADA M, et al. Novel glucoamylase-resistant gluco-oligosaccharides with adjacent  $\alpha$ -1, 6 branches at the non-reducing end discovered in Japanese rice wine, sake[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 251: 116993.
- [35] JIN Z, CAI G L, WU C, et al. Profiling the key metabolites produced during the modern brewing process of Chinese rice wine[J]. *Food Research International*, 2021, 139: 109955.