

## 不同品种红枣酿醋的品质差异分析

张莹, 孟园, 马艳蕊, 贾田怡, 梁怀尹, 张一鸣, 刘光鹏, 初乐

### Analysis of Quality Differences of Jujube Vinegar Brewing with Different Cultivar of Jujube

ZHANG Ying, MENG Yuan, MA Yanrui, JIA Tianyi, LIANG Huaiyin, ZHANG Yiming, LIU Guangpeng, and CHU Le

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120287>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 13个品种红枣发酵酒的品质差异分析

Quality Difference Analysis of Jujube Wine of 13 Varieties

食品工业科技. 2023, 44(5): 277-284 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040306>

#### 11个主栽品种香菇可溶性糖和有机酸测定及滋味品质评价

Determination of Soluble Sugar and Organic Acid Components and Evaluation of Taste Quality of 11 Main Cultivars of *Lentinula edodes*

食品工业科技. 2022, 43(7): 273-279 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110296>

#### 黄土高原旱塬区不同品种苹果果实糖及有机酸含量比较分析

Comparative Analysis of Sugar and Organic Acid Contents of Different Apple Cultivars in Dryland of Loess Plateau

食品工业科技. 2021, 42(10): 248-254 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060350>

#### 酚酸及有机酸辅色对山楂酒贮藏期品质的影响

Effect of Phenolic Acid and Organic Acid Co-color on the Quality of Hawthorn Wine during Storage

食品工业科技. 2024, 45(5): 292-300 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030159>

#### 乳酸菌混合发酵对不同品种红枣浊汁品质的影响

Effect of Co-fermentation Technology with Lactic Acid Bacteria on the Quality of Cloudy Juice of Different Varieties of Red Jujube

食品工业科技. 2023, 44(16): 187-194 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022100270>

#### 基于主成分与聚类分析不同品种鲜食葡萄的氨基酸品质评价

Principal Component Analysis and Cluster Analysis for Evaluating Amino Acid of Different Table Grapes (*Vitis vinifera* L.) Varieties

食品工业科技. 2022, 43(6): 372-379 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070090>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张莹, 孟园, 马艳蕊, 等. 不同品种红枣酿醋的品质差异分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 300-311. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120287

ZHANG Ying, MENG Yuan, MA Yanrui, et al. Analysis of Quality Differences of Jujube Vinegar Brewing with Different Cultivar of Jujube[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 300-311. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120287

· 分析检测 ·

## 不同品种红枣酿醋的品质差异分析

张莹<sup>1</sup>, 孟园<sup>2</sup>, 马艳蕊<sup>2</sup>, 贾田怡<sup>3</sup>, 梁怀尹<sup>2</sup>, 张一鸣<sup>2</sup>, 刘光鹏<sup>2,4,\*</sup>, 初乐<sup>2,\*</sup>

(1. 山东农业工程学院, 山东济南 250100;

2. 中华全国供销合作总社济南果品研究所, 山东济南 250200;

3. 华中农业大学, 湖北武汉 430070;

4. 西北农林科技大学, 陕西咸阳 712100)

**摘要:** 为研究不同红枣品种酿制枣醋的品质差异, 本文以 6 个不同品种红枣酿制的枣醋为研究对象, 通过枣醋基本理化成分 (如 pH、总酸、总酚和总黄酮)、色泽、体外功能活性 (抗氧化能力和降血脂能力)、有机酸、氨基酸及挥发性香气成分分析, 并结合电子鼻和感官评价对 6 种枣醋进行了综合评价。结果表明, 不同红枣酿制的枣醋品质存在明显差异。具体表现为: 在理化分析方面, 以新疆灰枣醋的总酸和总黄酮含量均为最高, 分别为 54.87 g/L 和 1168.84 mg RE/L, 新疆骏枣醋的总酚含量最高, 为 1815.63 mg GAE/L; 河南灵宝大枣醋和阜平大枣醋具有较好的色值, 新疆骏枣醋表现出最好的抗氧化和降血脂功能活性, 阜平大枣醋的总有机酸含量最低, 含量为 47.07 g/L。新疆灰枣醋和新疆骏枣醋具有较高的必需氨基酸和总氨基酸含量, 而河北阜平大枣醋氨基酸含量较低。6 种枣醋共检测出 41 种挥发性香气, 不同枣醋间所含有的挥发性香气在种类和含量上都存在一定的差异。感官评价表明, 6 种红枣醋的感官存在一定的差异性, 6 种红枣均适合酿制枣醋, 其中新疆灰枣醋的感官接受度最佳。综上所述, 不同品种红枣酿制枣醋的品质存在一定差异, 新疆骏枣醋的高功能活性, 更适合作为功能性果醋; 而基于新疆灰枣醋的高感官接受度, 新疆灰枣也非常适合枣醋的加工。

**关键词:** 红枣品种, 枣醋, 有机酸, 氨基酸, 香气, 品质

中图分类号: TS264.2<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0300-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120287



本文网刊:

## Analysis of Quality Differences of Jujube Vinegar Brewing with Different Cultivar of Jujube

ZHANG Ying<sup>1</sup>, MENG Yuan<sup>2</sup>, MA Yanrui<sup>2</sup>, JIA Tianyi<sup>3</sup>, LIANG Huaiyin<sup>2</sup>, ZHANG Yiming<sup>2</sup>,  
LIU Guangpeng<sup>2,4,\*</sup>, CHU Le<sup>2,\*</sup>

(1. Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250100, China;

2. Jinan Fruit Research Institute all China Federation of Supply and Marketing Co-operatives, Jinan 250200, China;

3. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

4. Department of Forestry Engineering, Northwest A&F University, Xianyang 712100, China)

**Abstract:** To study the quality discrepancy of jujube vinegar brewed from different jujube varieties, six types of jujube vinegar made from different varieties of jujube were evaluated by the analysis of basic physicochemical components (such as pH, total acid, total phenol and total flavone), color, *in vitro* functional activity (antioxidant capacity and lipid-lowering ability), organic acids, amino acids, and volatile aroma components, combined with electronic nose and sensory evaluation.

收稿日期: 2023-12-25

基金项目: 海右计划产业领军人才本土类 (创新团队): 泉城特色果品基料高值加工关键技术研究及装备开发; 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0906)。

作者简介: 张莹 (1980-), 女, 本科, 副教授, 研究方向: 轻工食品工厂设计和技术研究, E-mail: 553646790@qq.com。

\* 通信作者: 刘光鹏 (1984-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬发酵研究和技术推广, E-mail: liuguangpeng99@163.com。

初乐 (1987-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果蔬汁研究和技术推广, E-mail: 785536270@qq.com。

The results showed that there were significant differences in the quality of jujube vinegar brewed from different jujubes. In terms of physical and chemical analysis, the total acid and total flavonoids of Xinjiang jujube vinegar were the highest, which were 54.87 g/L and 1168.84 mg RE/L, respectively. By contrast, the total phenolic content of Xinjiang Jun-jujube jujube vinegar was the highest, which was 1815.63 mg GAE/L. Henan Lingbao jujube vinegar and Fuping jujube vinegar had better color values. Xinjiang Jujube vinegar showed the best antioxidant and lipid lowering activities. Fuping jujube vinegar had the lowest total organic acid content of 47.07 g/L. Xinjiang gray jujube vinegar and Xinjiang Jun-jujube vinegar had higher essential amino acid and total amino acid content, while Hebei Fuping jujube vinegar had lower amino acid content. A total of 41 volatile aromas were detected in 6 kinds of jujube vinegar, and there were certain differences in the types and contents of volatile aromas contained in different kinds of jujube vinegar. The sensory evaluation showed that all jujubes were suitable for brewing jujube vinegar, among which Xinjiang Hui-jujube vinegar had the best sensory acceptance. In summary, there were certain differences in the quality of 6 kinds of jujube vinegar. The high functional activity of Xinjiang Jun-jujube vinegar made it more suitable as a functional fruit vinegar. Based on the high sensory acceptance of Xinjiang Hui-jujube vinegar, the Xinjiang Hui-jujube would be suitable for the vinegar processing too.

**Key words:** varieties of *Ziziphus jujuba* Mill.; jujube vinegar; organic acid; amino acid; aroma; quality

红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)被誉为“东方软黄金”,维生素、多酚、黄酮、氨基酸等含量高,具有丰富的营养价值,有养胃、健脾、益血、滋补、强身之效,深受消费者的喜爱。中国是世界第一大红枣生产国,红枣产量约占全球的 97% 以上<sup>[1]</sup>。其中,新疆的红枣产量约占全国的 49% 以上<sup>[2]</sup>,陕西、河北、山西、山东、河南的红枣产量共占全国的 40% 以上<sup>[3]</sup>。据国家统计局数据显示,2020 年我国红枣产量约为 517 万吨,2021 年产量约为 440 万吨,2022 年恢复性增产 20%,产量约为 500 万吨,红枣产量供过于求,供应量远超我国消费需求。红枣资源品种多样,代表性的品种有新疆灰枣、新疆骏枣、河南灵宝大枣、山东乐陵金丝小枣、陕西清涧滩枣、河北阜平大枣等<sup>[4]</sup>。

近年来红枣加工产业发展迅速,但是我国红枣加工仍处于初级阶段,除传统枣蜜饯、干枣等初级加工产品外,主要以原枣为主要产品流通形式,以批发市场为主要流通渠道,粗加工及深加工产品销售额占红枣总产量的不足 30%<sup>[5]</sup>。随着时代的发展和人们生活水平的日益提高,传统的食用方式和初级加工导致其高端品牌的缺失,使整个产业陷入低质量、同质化、粗放型竞争的不利地位,成为红枣产业发展的卡脖子问题,导致资源的浪费<sup>[6]</sup>。枣醋是以红枣为原料,经酒精和醋酸两阶段发酵后得到的营养丰富的饮品<sup>[7]</sup>。因其不仅含有发酵过程产生的丰富营养和活性物质,还含有从原料中提取的各种功能化合物,如酚类物质、类黄酮、超氧化物歧化酶(SOD)和维生素 C,具有抗氧化、抗癌、抑菌、降低血脂和血压、预防心血管疾病的作用,对人体健康非常有益<sup>[8]</sup>,另外,红枣醋富有令人愉悦的红枣香气,已越来越深受科研工作者和消费者的关注和喜爱。当前,国内外科研工作者针对红枣醋已经开展了一些相关研究,郭梦瑶等<sup>[9]</sup>筛选发现 1 株产酸能力好的木醋杆菌,并利用该菌株进行冬枣醋发酵工艺条件的优化,得到果香典型的高品质冬枣醋产品;王世忠等<sup>[10]</sup>以黄骅冬枣为原料,通过正交法优化液态发酵工艺,得到了总酸

5.2 g/100 mL,枣香浓厚,口感独特的冬枣醋产品;Budak 等<sup>[11]</sup>报道了枣醋制备全过程中有机酸(草酸、乳酸、乙酸等)、酚类(原儿茶酸、绿原酸、羟基苯甲酸等)活性物质的变化,并对生产全过程抗氧化活性进行了详细评价。总之,科研工作者对枣醋的研究多集中于菌种的筛选、工艺的优化、成分分析和功能性评价等方面,虽然 Kou 等<sup>[12]</sup>和 Wang 等<sup>[13]</sup>一些科研工作者已经报道了不同品种和不同产地红枣的活性物质、抗氧化活性等存在显著差异,但还没有关于不同品种红枣酿制枣醋品质差异的相关研究报道。

本研究拟对新疆灰枣、新疆骏枣、河南灵宝大枣、山东乐陵金丝小枣、陕西清涧滩枣、河北阜平大枣等 6 个代表性红枣品种酿制枣醋的理化指标、功能活性、氨基酸、香气成分、感官等品质差异进行分析,为生产不同品质的红枣醋提供理论依据,对推进红枣加工产业链发展具有重要意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

干红枣(含水量约 22% 左右) 品种:新疆灰枣、新疆骏枣、河南灵宝大枣、山东乐陵金丝小枣、陕西清涧滩枣、河北阜平大枣,市购;乙醇、酚酞、无水乙醇 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;盐酸、氢氧化钠、硝酸铝、硫酸亚铁 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;福林酚 分析纯,麦克林生化科技有限公司;亚硝酸钠 分析纯,太仓沪试试剂有限公司;醋酸钠 分析纯,天津市广成化学试剂有限公司;胰脂肪酶(15~35 units/mg) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;牛黄胆酸盐 分析纯,源叶(上海)有限公司;2-辛醇、乳酸、乙酸、柠檬酸、苹果酸等标准品 上海腾准生物科技有限公司。

LXJ-IIB 离心机 上海安亭科学仪器厂;BSC-150 恒温培养箱、YXQ-LS-100A 紫外可见分光光度计 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;S210 pH 计 梅特勒托利多仪器有限公司;SX-700 高压蒸汽灭菌锅 日本 Tomy kogyo 有限公司;TD15k-1 电子天

平 天津天马衡基仪器有限公司; CM-5 色差仪 日本柯尼卡美能达公司; SW-CJ-2FD 超净工作台 苏州安泰空气技术有限公司; 7890A 气相色谱仪、5975C 质谱仪、HP1100 液相色谱仪 美国 Agilent 公司; QTRAP 5500 液质联用仪(LC-MS) 美国 AB SCIEX 公司。

## 1.2 实验方法

1.2.1 红枣醋酿造工艺 将称重后的红枣用纯水清洗 3 次, 将红枣于 4 倍质量的纯水中煮沸 20 min 后补充纯水至原重量, 打浆, 降温至 50~55 °C 酶解 90 min, 离心取汁; 接种经活化的活性干酵母于 25 °C 静置发酵 7 d 后离心除酵母; 接种经活化扩培的醋酸菌于 180 r/min 的摇床中进行醋酸发酵, 设定发酵温度为 30 °C, 当酸度不再上升时, 发酵结束。

1.2.2 pH 与总酸的测定 参考 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》测定枣醋的 pH; 参考 GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》测定枣醋的总酸含量。

1.2.3 总多酚的测定 采用福林酚法测定总多酚含量, 参考 Chen 等<sup>[14]</sup>的方法, 略有修改。将枣醋样品做适当稀释, 取 1 mL 稀释液, 加入 2 mL 新鲜制备的 Folin-Ciocalteu 试剂(1:9, v/v) 和 2 mL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液(75 g/L)。涡旋 1 min 后, 将混合物在避光室温(25 °C)下静置 40 min。然后, 通过分光光度计在 760 nm 处测量混合物的吸光度。结果使用没食子酸作为标准表示, 总多酚标准曲线为:  $y=0.0164x-0.006$ ,  $R^2=0.9993$ 。

1.2.4 总黄酮的测定 采用稍作修改的 Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 比色法测定总黄酮含量<sup>[13]</sup>。简而言之, 将 1 mL 枣醋样品与 0.5 mL NaNO<sub>2</sub> (50 g/L) 和 0.5 mL 纯水混合。在室温下反应 5 min 后, 加入 1 mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (w/v) 并在室温下再反应 5 min。然后, 向混合物中加入 2 mL NaOH (2 mol/L), 在室温下静置 5 min。使用甲醇作为空白样品, 在 510 nm 处测量吸光度。以不同浓度的芦丁做标准曲线, 样品总黄酮含量以芦丁当量(RE)(mg RE/L)表示。总黄酮标准曲线为:  $y=0.4808x-0.0118$ ,  $R^2=0.9992$ 。

1.2.5 枣醋色值的测定 取 5 mL 枣醋于色差仪的比色皿中, 利用色差仪进行枣醋色值的测量,  $L^*$  代表亮度,  $a^*$  代表红色,  $b^*$  代表黄色。

### 1.2.6 体外抗氧化能力测试

1.2.6.1 DPPH 自由基清除能力的测定 参考李学震等<sup>[15]</sup>的方法, 略有修改, 进行 DPPH 自由基清除能力的测定, 配制 0.1 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液, 取枣醋 0.2 mL 加入 5 mL DPPH 溶液中, 常温避光 30 min 后, 于 517 nm 处测定吸光值。用不同浓度的水溶性维生素 C(V<sub>C</sub>) 制作标准曲线, 红枣醋对 DPPH·清除活性表示为 mg V<sub>C</sub>/L, 标准曲线为  $y=-450.168x+880.629$ ,  $R^2=0.9996$ 。

1.2.6.2 FRAP 还原力的测定 参考 Liu 等<sup>[5]</sup>的方法进行了少量修改, 进行 FRAP 还原力测定, 用无水乙醇配制 1000 mg/L 的 Trolox 乙醇溶液, 稀释成不同浓度梯度备用。取 0.3 mol/L 醋酸钠缓冲溶液 25 mL 与 10 mmol/L TPTZ(Tripyridyltriazine, 用 40 mmol/L 盐酸溶解) 2.5 mL 及 20 mmol/L FeCl<sub>3</sub> 2.5 mL 配成 TPTZ 溶液。取不同浓度的 Trolox 试剂 10 μL, 先加 1 mL H<sub>2</sub>O, 再加 1.8 mL TPTZ 试剂, 摇匀, 置于 37 °C 反应 10 min, 在 593 nm 下测量吸光度。以不同浓度 Trolox 溶液做标准曲线, 样品抗氧化活性以 mg Trolox/L 计, 标准曲线为  $y=870.23x+180.729$ ,  $R^2=0.9994$ 。

### 1.2.7 对胰脂肪酶抑制活性和对胆酸盐结合活性的测定

1.2.7.1 胰脂肪酶抑制率测定 参照唐茹萌等<sup>[16]</sup>的方法, 测定不同品种红枣酿制的枣醋对胰脂肪酶的抑制率。配制 Tris-HCl 缓冲液(0.01 mol/L、pH8.0) 备用。称取 0.05 g 胰脂肪酶用 Tris-HCl 缓冲液溶解并定容至 50 mL, 离心(2000 r/min、5 min)取上清液为脂肪酶溶液备用。用 Tris-HCl 缓冲液配制为 10 mmol/L 的对硝基苯磷酸二钠盐(PNPP)底物溶液备用。

先将 Tris-HCl 缓冲液 1 mL、不同品种红枣酿制的枣醋样品 1 mL 和脂肪酶溶液 1 mL 依次加入试管中, 37 °C 孵育 10 min, 然后加入 PNPP 底物溶液 1 mL, 37 °C 继续孵育 20 min 后, 在 405 nm 下测定吸光度。胰脂肪酶抑制率(I<sub>1</sub>)计算公式为:

$$I_1(\%) = [1 - (A_1 - A_0) / (B_1 - B_0)] \times 100$$

式中: A<sub>1</sub> 为样品反应体系的吸光度值; A<sub>0</sub> 为 Tris-HCl 缓冲液代替脂肪酶溶液反应的吸光度值; B<sub>1</sub> 为 Tris-HCl 缓冲液代替样品溶液反应的吸光度值; B<sub>0</sub> 为 Tris-HCl 缓冲液代替样品溶液及脂肪酶溶液反应体系的吸光度值。

1.2.7.2 枣醋对牛磺胆酸盐结合能力测定 参照唐茹萌等<sup>[16]</sup>的方法测定不同品种红枣酿制的枣醋对胆酸盐结合能力。配制 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液、60% 硫酸溶液备用。使用盐酸溶液(0.01 mol/L)配制成胃蛋白酶溶液(10 mg/mL, 模拟胃液)备用。使用磷酸缓冲液(0.01 mol/L, pH6.3)配制成胰蛋白酶溶液(10 mg/mL, 模拟肠液)备用。使用磷酸缓冲液(0.01 mol/L, pH6.3)配制成牛磺胆酸钠溶液(0.3 mmol/L, 模拟肠液)备用。

分别取 1 mL 不同品种红枣酿制的枣醋样品于试管中, 加入 1 mL 模拟胃液, 涡旋混匀, 在 37 °C 下水浴消化 1 h 后, 用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 至 6.3, 随后加入 4 mL 模拟肠液, 继续在 37 °C 下水浴消化 1 h。每个试管分别加入 4 mL 配制好的胆酸盐溶液, 在 37 °C 水浴反应 1 h。反应结束后, 4000 r/min 离心 10 min, 取 2.5 mL 上清液, 加入 60%

的硫酸溶液 7.5 mL 终止反应,将所有试管 70 °C 水浴 20 min,取出后立即冰浴 5 min,在 387 nm 处测定吸光值。胆酸盐结合率( $C_1$ )计算公式为:

$$C_1(\%) = (1 - A_1/A_0) \times 100$$

式中:  $A_1$  为样品反应体系的吸光度值;  $A_0$  为磷酸缓冲液代替样品溶液反应的吸光度值。

1.2.8 有机酸组成及含量的测定 参照 GB 5009.157-2016 《食品有机酸的测定》方法,采用 Agilent ZORBAX SB-C<sub>18</sub>(4.6 mm×250 mm) 色谱柱,二极管阵列检测器,柱温为 30 °C,使用 0.10 mol/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (pH2.7) 为流动相,流速为 0.80 mL/min,紫外检测波长为 210 nm,进样量为 20 μL。

1.2.9 氨基酸组成及含量的测定 氨基酸组分的提取,参照 Liu 等<sup>[5]</sup>的方法,采用液质联用仪进行测定<sup>[1]</sup>。

色谱条件:岛津公司的 Intertsil OSD-4 C<sub>18</sub> 色谱柱(150 mm×3.0 mm, 填料粒径 3.5 μm),流动相 A: 0.5% 甲酸水;流动相 B: 甲醇,流速 0.3 mL/min,柱温箱 25 °C,进样量 2 μL。

质谱条件:电喷雾电离源(ESI),正离子模式,离子化电压 5.5 kV,离子源 TurboIonSpray 探针的加热器气体温度为 600 °C。采用多反应监测(MRM)扫描方法对氨基酸进行碎裂和扫。

1.2.10 挥发性香气的测定 样品处理:参照黄锦涛<sup>[17]</sup>的方法,采用顶空固相微萃取的方法检测分析。将待测果醋通过 0.22 μm 膜过滤,吸取 5 mL 待测果醋放入 20 mL 顶空进样瓶中,加入一定稀释浓度的内标物 2-辛醇 6 μL,再加入 1 g NaCl,接着置于磁力搅拌器。将萃取头(65 μm CAR/PDMA SPME)在 GC-MS 仪进样口活化 20 min,将活化好的萃取头插入样品瓶中,置于恒温磁力搅拌器上 45 °C 萃取 30 min。萃取结束后,将萃取头拔出快速插入气相色谱进样口,于 250 °C 吸附 2 min,用于测定果醋挥发物成分。

色谱条件:色谱柱型号为 DB-wax(60 m×0.25 mm×0.25 μm),进样温度:250 °C

质谱条件:质谱接口温度 250 °C,离子源温度 230 °C,离子源 EI,电子能量 70 eV,扫描方式:全扫

描,扫描范围 20~350 amu。

进样方式:不分流模式,载气:氦气(99.999%)流速为 1 mL/min,程序升温:40 °C 下保持 5 min,以 3 °C/min 上升到 140 °C 保持 2 min,再以 10 °C/min 上升到 250 °C 保持 3 min。基于 NIST 数据库,对 6 种枣醋的挥发性物质进行质谱定性,定量通过与内标物的峰面积比较,得到香气物质的含量,mg/L,即:香气物质含量=香气物质峰面积×内标物含量/内标物峰面积。

1.2.11 电子鼻测定 样品预处理:分别吸取 1 mL 不同品种红枣酿制的枣醋,置于 20 mL 的顶空样品瓶中,平衡 20 min 后进行检测,每个样品重复 5 次。

检测条件:采用 PEN3 型电子鼻检测,检测器包含 10 种金属氧化物传感器,每个传感器所对应的香气类型如表 1。检测条件为:进气流速 300 mL/min,样品准备时间 60 s,分析采样 120 s。

表 1 PEN3 电子鼻传感器对应的香气类型  
Table 1 Aroma types corresponding to the PEN3 electronic nose sensor

序号	传感器编号	响应特性
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨类
4	W6S	氢化物
5	W5C	短链烷烃
6	W1S	甲基化物
7	W1W	醇类
8	W2S	醇类、醛类
9	W2W	有机硫化物
10	W3S	烷烃

1.2.12 感官评价 挑选 12 名具有经过培训的专业人员组成评估小组,包括包括 6 名男性和 6 名女性,年龄在 20~50 岁之间。以枣醋的酸味、色泽、甜味、香气、苦味和接受度作为评估指标,设定 4 个等级(表 2),每项指标满分 10 分,以平均得分为最终结果<sup>[17-19]</sup>。

### 1.3 数据处理

Origin 2021 软件绘制雷达图;TBtools 绘制热图;SIMCA 14.1 软件进行正交偏最小二乘判别分析

表 2 枣醋感官评定表

Table 2 Sensory evaluation form of jujube vinegar

指标和分数	等级			
	优(9~10分)	良(8~9分)	合格(6~7分)	差(<6分)
酸味	酸味柔和,刺激感小	酸味较柔和,刺激性小	酸味较柔和,有一定的刺激性	酸味柔和性差,刺激性强
色泽	浅琥珀色,颜色透亮,具有明显的红枣本色	浅琥珀色,颜色透亮,较明显的红枣本色	浅琥珀色,颜色暗淡,较明显的红枣本色	浅琥珀色,颜色暗淡,红枣本色不明显
甜味	回味有甜味	回味有一定的甜味	回味有较微弱的甜味	回味无甜味
香气	红枣果香典型性好,伴有发酵香气	红枣果香较典型,伴有发酵清香	红枣果香较淡,略有发酵清香	红枣果香典型性差,伴有发酵香气
苦味	无苦味	回味有较微弱的苦味	回味有一定的苦味	回味偏苦味
接受度	接受度好	接受度良好	可接受	接受度差

(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA), 并结合 SPSS 26.0 软件进行单因素分析,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种红枣枣醋的理化指标分析

对不同品种红枣酿制枣醋的几种基本理化指标(如 pH、总酸、总酚和总黄酮)进行分析, 发现不同品种红枣酿制的枣醋理化指标差异显著( $P < 0.05$ )。如图 1A 所示, 6 种红枣醋的总酸在 47.06~55.23 g/L 之间, 新疆灰枣和阜平大枣发酵的枣醋分别具有最高含量和最低含量的总酸, 总酸含量分别为 65.32 g/L 和 47.55 g/L, 而其它 4 种红枣发酵的枣醋总酸含量处于中间位置; 相比之下, 不同品种红枣发酵枣醋的 pH 与总酸含量大小相反, 新疆灰枣和阜平大枣发酵枣醋具有最低和最高的 pH, 分别为 2.75 和 3.22。另外, 新疆骏枣和金丝小枣发酵枣醋的总酸和 pH 差异不显著( $P > 0.05$ )。这与相关研究报道的不同品种红枣含有的总糖有关, 灰枣含有较高的糖含量, 经过酵母菌和醋酸菌发酵转化后, 产生了更多的醋酸<sup>[19]</sup>。

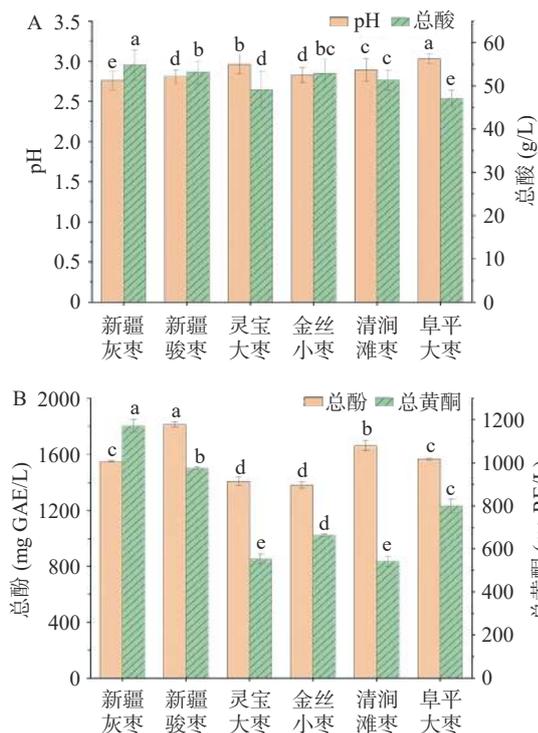


图 1 不同品种红枣醋基本理化指标分析图

Fig.1 Analysis of basic physicochemical indexes of different varieties of jujube vinegar

注: 同一指标不同小写字母表示数据差异显著,  $P < 0.05$ ; 图 2 同。

功能活性物质的含量可作为产品品质的指标之一, 对 6 种红枣醋的总酚、总黄酮含量进行分析结果如图 1B 所示, 不同红枣原料酿制枣醋的总酚和总黄酮存在一定的差异, 6 种红枣醋的总酚在 1389.56~1815.63 mg GAE/L 之间, 总黄酮含量在 583.26~1168.84 mg RE/L 之间。总酚含量最高是新疆骏枣醋, 其含量是总酚含量最低的金丝小枣醋的

1.3 倍; 而总黄酮含量最高的是新疆灰枣醋, 其含量是总黄酮含量最低的清涧滩枣醋的 2.0 倍。不同枣醋总酚和总黄酮的差异应该与不同产地的红枣品质有关<sup>[20-21]</sup>, 特别是因为生长在干旱地区(如新疆等地)的红枣更容易积累较多的多酚和黄酮类物质<sup>[22]</sup>。

### 2.2 不同品种红枣枣醋的色值差异分析

色泽作为液态食品质量的指标之一<sup>[23]</sup>, 采用 CM-5 型色差计检测 6 种枣醋的颜色。(L\*=0)到(L\*=100)表示从黑暗到明亮的变化; (-a\*)到(+a\*)表示颜色从绿色到红色的变化, (-b\*)到(+b\*)表示从蓝色到黄色的变化。在色差分析中, L\*和 b\*越大, 而 a\*越小代表产品的颜色越靓丽<sup>[13]</sup>。6 种红枣醋的色值分析如表 3 所示, 不同红枣原料酿造的红枣醋 L\*、a\*、b\*值均呈现显著性差异( $P < 0.05$ )。综合 6 种枣醋 L\*、a\*、b\*, 灵宝大枣和阜平大枣酿造的枣醋表现出较好的色泽, 表现为灵宝大枣醋最大的 b\*值(3.53±0.02( $P < 0.05$ ))和阜平大枣醋最大的 L\*值(L\*=22.95±0.02)。而新疆骏枣醋的颜色最暗淡(L\*=16.77±0.00), 原因可能与新疆骏枣较高含量的多酚, 在醋酸发酵阶段发生多酚严重氧化有关<sup>[23]</sup>。

表 3 不同红枣原料酿造枣醋的色值差异结果

Table 3 Results of different color values of jujube vinegar brewed from different raw materials

枣醋	L*	a*	b*
新疆灰枣醋	19.13±0.08 <sup>d</sup>	-1.32±0.02 <sup>bc</sup>	2.67±0.04 <sup>d</sup>
新疆骏枣醋	16.77±0.00 <sup>e</sup>	-1.37±0.03 <sup>cd</sup>	2.58±0.01 <sup>e</sup>
灵宝大枣醋	21.44±0.06 <sup>b</sup>	-1.46±0.04 <sup>de</sup>	3.53±0.02 <sup>a</sup>
金丝小枣醋	19.47±0.01 <sup>c</sup>	-1.30±0.01 <sup>bc</sup>	3.11±0.03 <sup>b</sup>
清涧滩枣醋	14.20±0.02 <sup>f</sup>	-1.14±0.03 <sup>a</sup>	1.51±0.02 <sup>e</sup>
阜平大枣醋	22.95±0.02 <sup>a</sup>	-1.48±0.01 <sup>e</sup>	2.50±0.04 <sup>f</sup>

注: 同列不同小写字母表示具有显著性差异  $P < 0.05$ ; 表 4 同。

### 2.3 不同品种红枣枣醋的功能活性分析

采用 DPPH 法和 FRAP 法评价枣汁发酵后抗氧化活性的变化。由图 2A 可知, 不同红枣原料酿造的红枣醋体外抗氧化能力均呈现显著性差异( $P < 0.05$ )。其中新疆骏枣醋的 DPPH 自由基清除能力最高, 与 768.21 mg/L 的 V<sub>C</sub> 抗氧化效果相当, 灵宝大枣醋的 DPPH 自由基清除能力最低与 530.39 mg/L 的 V<sub>C</sub> 抗氧化能力效果相当。不同红枣原料酿造的红枣醋 FRAP 还原能力呈现显著性差异( $P < 0.05$ ), 其中新疆骏枣醋的 FRAP 值最高, 与 892.67 mg/L 的水溶性 Ve 的还原能力相当, 阜平大枣醋的还原力虽低于新疆骏枣醋, 但两者并无显著性差异( $P > 0.05$ ), 其他四个品种红枣酿造的枣醋, FRAP 值均在 500 mg Trolox/L 以下, 还原能力较弱。新疆骏枣醋最优的抗氧化活性, 应该与其最高的总酚含量相关<sup>[24]</sup>。综上所述, 基于不同枣醋抗氧化活性分析, 新疆骏枣醋较优的抗氧化活性, 可能更适合作为制备高抗氧化活性枣醋的原料。

枣醋含有丰富的生物活性成分, 相关研究已经

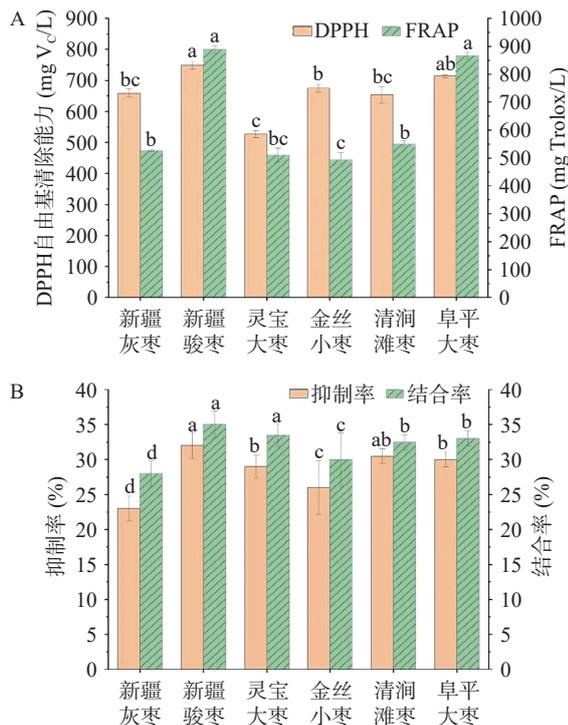


图 2 不同红枣品种酿造的枣醋体外功能活性

Fig.2 Antioxidant activity of jujube vinegar brewed from different jujube varieties *in vitro*

证实枣醋具有较好的降血脂活性<sup>[11,25]</sup>。作为促进脂肪消化和吸收的主要因子,胰脂肪酶和胆酸盐现在已成为降血脂研究的关键靶点。降低胰脂肪酶的活性或胆酸盐含量可有效抑制膳食脂肪的水解,防止其被肠道吸收,进而降低血液脂质水平。通过体外模拟肠胃环境,以胰脂肪酶抑制率和牛黄胆酸盐结合率作为评价指标,可对食品的降血脂活性进行评价<sup>[13]</sup>。图 2B 显示不同红枣原料酿造的枣醋体外对胰脂肪酶的抑制活性及对胆酸盐的结合活性呈现一定的差异性。其中,新疆骏枣醋展现出了良好的胰脂肪酶抑制活性和胆酸盐结合活性,分别为 32.5% 和 35%。清涧滩枣醋的胰脂肪酶抑制活性与新疆骏枣醋无显著差异( $P>0.05$ ),但胆酸盐结合能力显著弱于新疆骏枣醋( $P<0.05$ )。与之相反,灵宝大枣醋的胰脂肪酶抑制活性显著低于新疆骏枣醋( $P<0.05$ ),但胆酸盐结合能力与新疆骏枣醋无显著差异( $P>0.05$ )。其余四种品种红枣酿造的枣醋对胰脂肪酶的抑制活性及对胆酸盐的结合活性均显著弱于新疆骏枣醋。

## 2.4 不同品种红枣枣醋的有机酸含量分析

有机酸含量对枣醋的风味、化学稳定性、营养品质和可接受性都有重要影响<sup>[26]</sup>,如表 4 所示,灰枣醋的乙酸含量最高,为  $42.87\pm 1.15$  g/L,该结果与测定灰枣醋具有最高含量总酸的结果一致。酒石酸、苹果酸和乳酸是枣醋中除乙酸外的主要有机酸,新疆骏枣醋和灵宝大枣醋均具有相对较高含量的酒石酸和苹果酸,而清涧滩枣醋具有最高含量的乳酸,含量为  $6.38\pm 0.13$  g/L。较高的有机酸(柠檬酸、苹果酸、乳酸等)含量在提高枣醋营养价值同时,可减轻枣醋尖锐刺激性的酸味道,可以很好的调节枣醋的口感,令其更加丰富和协调,还可增加枣醋风味的复杂性(香料、烤和黄油味)和水果香气<sup>[27]</sup>。红枣醋检测的另外两种有机酸是柠檬酸和富马酸,在 6 种枣醋中的含量均较少,特别是富马酸的含量最少,该研究结果与相关研究报道的柠檬酸和富马酸在不同红枣品种中的含量较少相一致<sup>[24]</sup>,枣醋中较少含量的柠檬酸和富马酸可能与红枣原料中较低含量的两种有机酸相关。此外,新疆灰枣醋总有机酸含量为最高,含量为  $51.792\pm 1.662$  g/L,该结果应该与新疆灰枣较高含量的总糖含量转化了较多的乙酸相关。另外,新疆骏枣醋和灵宝大枣醋的总有机酸次之,六种枣醋中阜平大枣醋相对来说总有机酸含量是最低的,仅为 47.07 g/L。

## 2.5 不同品种红枣枣醋的游离氨基酸含量分析

分析了 6 个品种红枣酿制枣醋的 17 种氨基酸组成,如表 5,包括除了色氨酸(Try)外的 7 种必需氨基酸。总体而言,红枣醋中脯氨酸(Pro)含量最为丰富,达  $413.55\sim 885.64$  mg/kg,这与红枣中最高含量的脯氨酸相关<sup>[13]</sup>。蛋氨酸(Met)和苯丙氨酸(Phe)含量最低,分别在  $0.35\sim 0.51$  mg/kg 和  $1.62\sim 5.22$  mg/kg 范围内,与前人对红枣中氨基酸含量的研究结果一致<sup>[28-31]</sup>。Wu<sup>[32]</sup>曾报道 Pro 在调节基因表达、促进小肠和骨骼肌生长和减脂方面有一定的作用,相关研究亦表明红枣中 Pro 含量远高于玉米、小麦及大豆等<sup>[33]</sup>。

由表 5 可知,新疆灰枣酿制的枣醋必需氨基酸如苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸含量均高于其它红枣品种酿制的枣醋,且总氨基酸含量亦最高,陕西清涧红枣醋则次之。河北阜平大枣酿制的枣醋的必需氨基酸和总氨基酸含量均为

表 4 6 种红枣醋的有机酸含量分析

Table 4 Organic acid contents of jujube vinegar from the six cultivars

样品	酒石酸(g/L)	苹果酸(g/L)	乳酸(g/L)	柠檬酸(g/L)	富马酸(g/L)	乙酸(g/L)
新疆灰枣醋	$5.26\pm 0.28^d$	$1.76\pm 0.11^c$	$1.34\pm 0.08^d$	$0.55\pm 0.04^d$	$0.012\pm 0.002^a$	$42.87\pm 1.15^a$
新疆骏枣醋	$6.64\pm 0.06^a$	$3.35\pm 0.15^a$	$1.66\pm 0.06^c$	$0.86\pm 0.07^a$	$0.013\pm 0.002^a$	$38.66\pm 0.85^c$
灵宝大枣醋	$6.91\pm 0.35^a$	$3.11\pm 0.09^b$	$1.15\pm 0.05^e$	$0.71\pm 0.05^b$	$0.008\pm 0.001^b$	$38.92\pm 1.36^c$
金丝小枣醋	$5.12\pm 0.37^d$	$1.91\pm 0.08^c$	$1.42\pm 0.07^d$	$0.66\pm 0.07^c$	$0.007\pm 0.001^{bc}$	$40.96\pm 1.21^b$
清涧滩枣醋	$6.06\pm 0.12^c$	$1.29\pm 0.08^d$	$6.38\pm 0.13^a$	$0.62\pm 0.04^c$	$0.006\pm 0.001^c$	$35.59\pm 1.57^d$
阜平大枣醋	$6.55\pm 0.21^{ab}$	$1.85\pm 0.12^c$	$3.24\pm 0.11^b$	$0.61\pm 0.08^c$	$0.009\pm 0.002^b$	$34.81\pm 1.62^d$

表5 不同品种红枣枣醋游离氨基酸含量(mg/L)

Table 5 Free amino acid contents of jujube vinegar from the six cultivars (mg/L)

氨基酸名称	描述	产区分析						品种间分析
		新疆灰枣醋	新疆骏枣醋	灵宝大枣醋	金丝小枣醋	清涧滩枣醋	阜平大枣醋	
天冬氨酸	均值	69.4	36.61	324.15	64.21	42.15	22.76	5.34
	标准差	34.12	4.45	73.91	14.02	6.88	7.46	8.91
	变异系数	0.45	0.11	0.21	0.7	0.21	0.31	0.17
苏氨酸	均值	22.56	16.34	11.67	9.91	16.44	9.21	14.55
	标准差	3.16	1.51	1.05	0.95	2.31	0.25	1.02
	变异系数	0.58	0.92	0.35	0.34	0.84	0.26	0.24
丝氨酸	均值	46.52	21.59	25.66	17.98	26.83	17.55	25.18
	标准差	2.11	1.92	0.35	0.85	0.67	0.62	1.21
	变异系数	0.54	0.65	0.37	0.13	0.59	0.23	0.17
谷氨酸	均值	4.33	4.25	3.01	2.78	3.76	2.16	3.35
	标准差	0.35	0.21	0.16	0.24	0.26	0.15	0.18
	变异系数	0.54	0.24	0.95	0.39	0.23	0.64	0.25
脯氨酸	均值	494.52	456.52	413.55	885.64	697.52	510.26	576.18
	标准差	5.89	1.68	5.42	8.91	12.55	11.59	11.57
	变异系数	0.49	0	0.14	0.15	0.5	0.38	0.34
甘氨酸	均值	6.55	3.81	5.51	5.31	4.55	3.74	4.91
	标准差	0.21	0.22	0.23	0.17	0.11	0.15	0.22
	变异系数	0.3	0.07	0.17	0.33	0.25	0.28	0.17
丙氨酸	均值	12.81	6.31	14.26	6.35	7.85	4.45	8.66
	标准差	0.68	0.09	0.69	0.51	0.35	0.15	0.44
	变异系数	0.62	0	0.33	0.16	0.2	0.03	0.44
胱氨酸	均值	63.85	105.69	129.31	134.66	93.39	73.56	101.25
	标准差	1.88	2.52	5.22	4.55	3.82	2.48	3.35
	变异系数	0.39	0.15	0.58	0.28	0.35	0.03	0.25
缬氨酸	均值	25.82	15.98	14.02	10.99	20.51	6.28	15.44
	标准差	1.13	0.52	0.35	0.19	0.52	0.16	0.22
	变异系数	0.72	0.92	0.3	0.38	1.02	0.52	0.34
蛋氨酸	均值	0.51	0.48	0.38	0.35	0.38	0.39	0.41
	标准差	0.05	0.08	0.09	0.02	0.04	0.02	0.02
	变异系数	0.26	0.33	0.5	0.19	0.13	0.1	0.01
异亮氨酸	均值	7.15	4.25	7.52	4.05	3.65	2.12	4.71
	标准差	0.08	0.04	0.06	0.05	0.21	0.19	0.12
	变异系数	0.9	0.49	0.29	0.03	0.59	0.22	0.43
亮氨酸	均值	14.82	10.25	17.85	9.86	16.59	7.39	12.98
	标准差	0.36	0.52	0.43	0.28	0.35	0.37	0.49
	变异系数	0.53	0.39	0.14	0.17	0.43	0.01	0.36
酪氨酸	均值	5.72	5.732	8.86	4.31	4.38	3.1	5.33
	标准差	0.26	0.24	0.31	0.19	0.35	0.12	0.29
	变异系数	0.12	0.25	0.37	0.04	0.58	0.14	0.42
苯丙氨酸	均值	3.05	2.71	3.28	2.14	5.22	1.62	2.99
	标准差	0.13	0.16	0.11	0.09	0.18	0.15	0.17
	变异系数	0.92	0.62	0.33	0.35	1.37	0.06	0.47
赖氨酸	均值	9.56	7.75	13.42	9.51	11.88	6.53	9.75
	标准差	0.32	0.24	0.25	0.16	0.25	0.42	0.22
	变异系数	0.39	0.49	0.06	0.08	0.17	0.06	0.3
组氨酸	均值	9.55	7.85	13.66	9.86	12.05	6.55	9.88
	标准差	0.38	0.21	0.21	0.33	0.52	0.33	0.53
	变异系数	0.58	1.3	0.17	0.52	0.97	0.66	0.57
精氨酸	均值	9.44	7.85	12.98	9.65	12.05	6.59	9.63
	标准差	0.35	0.33	0.52	0.14	0.24	0.36	0.26
	变异系数	0.61	0.89	0.22	0.1	0.38	0.41	0.96

续表 5

氨基酸名称	描述	产区内分析						品种间分析
		新疆灰枣醋	新疆骏枣醋	灵宝大枣醋	金丝小枣醋	清涧滩枣醋	阜平大枣醋	
必需氨基酸	均值	68.25	47.29	50.88	35.84	57.12	25.36	47.55
	标准差	2.11	1.36	0.88	1.25	2.28	1.22	0.56
	变异系数	0.58	0.78	0.2	0.17	0.72	0.26	0.26
总氨基酸	均值	874.41	761.262	1069.97	1223.4	1036.32	709.62	858.09
	标准差	53.57	16.3	90.24	32.9	31.89	26.19	29.78
	变异系数	0.35	0.21	0.03	0.2	0.45	0.25	0.24

6 个品种中最低。新疆灰枣醋、新疆骏枣醋和陕西清涧枣醋中的精氨酸和组氨酸含量较其他 3 个品种枣醋高。河南灵宝大枣醋胱氨酸和山东金丝小枣醋脯氨酸含量较高。

综合上述,新疆灰枣醋和新疆骏枣醋具有较高的必需氨基酸和总氨基酸含量,河北阜平大枣醋氨基酸含量较低。除蛋氨酸外,不同品种红枣醋氨基酸含量差异均较大。由此表明,不同红枣品种酿醋的氨基酸含量存在有较大差异。

### 2.6 不同品种红枣醋的挥发性香气分析

挥发性化合物对消费者来说是食品中最重要的元素之一<sup>[22]</sup>。表 6 中展示了 SPME/GC-MS 检测出的不同品种枣醋所含有的挥发性香气成分及含量,如表 6 所示,六种枣醋共检测出 41 种香气物质,包括 7 种酯类,6 种酮类,5 种酸类,12 种醛类,9 种醇类以及其他 2 种萜烯类成分。通过 OPLS-DA(图 3A)可

实现 6 个不同红枣醋样品的有效区分,表明不同品种红枣酿醋的香气存在一定差异。其中,新疆灰枣醋检测出的香气成分最多,为 37 种;阜平大枣醋检测出的香气成分最少为 25 种。

分层聚类用于揭示化合物和枣醋间的关系,由图 3A 和图 3C 可知,灵宝大枣醋和金丝小枣醋 2 种醋的香气组成较为接近,新疆骏枣和灰枣醋香气组成最为接近,而清涧滩枣醋和阜平大枣 2 种枣醋则有着相近的香气成分。经过 200 次置换检验,如图 3B 所示,  $Q^2$  回归线与纵轴的相交点小于 0,说明模型拟合较好,该模型的验证有效。图 3C 较直观的显示了 6 种红枣醋中存在的不同香气化合物。总的来说,六种枣醋中所含有的挥发性香气在种类和数量上都存在一定的差异。

酯类物质对果酒或果醋的整体风格和主体香型具有重要影响,是构成果酒或果醋香气不可或缺的关系

表 6 不同品种红枣醋挥发性香气成分差异分析(mg/L)

Table 6 Difference analysis of aroma components of jujube vinegar from the six cultivars (mg/L)

挥发性物质		新疆灰枣醋	新疆骏枣醋	灵宝大枣醋	金丝小枣醋	清涧滩枣醋	阜平大枣醋
酯类		37.61	29.80	37.57	35.33	31.83	26.97
1	巴豆酸乙酯	0.51±0.02 <sup>b</sup>	ND	0.31±0.05 <sup>c</sup>	ND	0.65±0.04 <sup>a</sup>	ND
2	乙酸异戊酯	17.22±0.56 <sup>a</sup>	15.23±0.78 <sup>c</sup>	17.05±0.12 <sup>ab</sup>	10.52±0.22 <sup>d</sup>	16.89±0.69 <sup>b</sup>	8.56±0.34 <sup>e</sup>
3	丁酸异丁酯	4.13±0.22 <sup>c</sup>	7.12±0.31 <sup>a</sup>	4.32±0.36 <sup>c</sup>	5.66±0.28 <sup>b</sup>	4.22±0.21 <sup>c</sup>	2.16±0.11 <sup>d</sup>
4	丁酸甲酯	2.83±0.25 <sup>d</sup>	4.23±0.16 <sup>c</sup>	3.09±0.21 <sup>d</sup>	8.52±0.35 <sup>a</sup>	2.93±0.08 <sup>d</sup>	5.34±0.22 <sup>b</sup>
5	乙酸丙酯	1.36±0.11 <sup>a</sup>	ND	1.42±0.15 <sup>a</sup>	0.89±0.06 <sup>b</sup>	1.47±0.17 <sup>a</sup>	0.63±0.02 <sup>c</sup>
6	丙烯酸正丁酯	0.83±0.05 <sup>b</sup>	0.55±0.04 <sup>c</sup>	0.71±0.01 <sup>b</sup>	1.18±0.08 <sup>a</sup>	0.78±0.06 <sup>b</sup>	ND
7	乙酸丁酯	10.05±0.25 <sup>a</sup>	2.55±0.16 <sup>d</sup>	9.99±0.31 <sup>a</sup>	8.56±0.22 <sup>b</sup>	4.23±0.19 <sup>c</sup>	9.93±0.08 <sup>a</sup>
酮类		16.14	7.54	10.48	15.55	24.34	24.87
1	丙酮	4.79±0.12 <sup>b</sup>	3.56±0.21 <sup>c</sup>	4.76±0.08 <sup>b</sup>	5.12±0.15 <sup>a</sup>	4.73±0.22 <sup>b</sup>	3.26±0.15 <sup>d</sup>
2	2-己酮	4.44±0.25 <sup>a</sup>	2.12±0.04 <sup>d</sup>	3.28±0.16 <sup>bc</sup>	4.56±0.22 <sup>a</sup>	3.49±0.11 <sup>b</sup>	2.56±0.13 <sup>c</sup>
3	3-甲基-2-戊酮	0.87±0.03 <sup>c</sup>	1.21±0.04 <sup>b</sup>	0.92±0.06 <sup>c</sup>	1.85±0.03 <sup>a</sup>	0.90±0.05 <sup>c</sup>	0.52±0.03 <sup>d</sup>
4	3-羟基-2-丁酮	4.6±0.03 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND
5	甲基庚烯酮	ND	ND	ND	0.31±0.06 <sup>a</sup>	ND	ND
6	香叶基丙酮	1.44±0.02 <sup>c</sup>	0.65±0.13 <sup>c</sup>	1.52±0.01 <sup>c</sup>	3.71±0.17 <sup>c</sup>	15.22±0.73 <sup>ab</sup>	18.53±11.76 <sup>a</sup>
酸类		6.90	6.33	5.59	0.96	0	0
1	正癸酸	0.66±0.03 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND
2	丁酸	1.04±0.03 <sup>b</sup>	ND	1.44±0.03 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
3	己酸	0.77±0.012 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND
4	壬酸	1.74±0.03 <sup>b</sup>	4.1±0.01 <sup>a</sup>	4.15±0.02 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
5	辛酸	2.69±0.24 <sup>a</sup>	2.23±1.07 <sup>a</sup>	ND	0.96±0.0 <sup>b</sup>	ND	ND
醛类		55.80	62.36	38.90	32.61	129.50	57.49
1	2,4-二甲基苯甲醛	2.8±0.05 <sup>cd</sup>	4.3±0.15 <sup>b</sup>	3.04±0.04 <sup>c</sup>	1.72±0.06 <sup>d</sup>	9.99±1.7 <sup>a</sup>	ND
2	苯乙醛	0.52±0.05 <sup>c</sup>	1.52±0.05 <sup>a</sup>	0.59±0.05 <sup>c</sup>	0.82±0.08 <sup>c</sup>	0.68±0.05 <sup>d</sup>	0.92±0.05 <sup>b</sup>

续表 6

挥发性物质	新疆灰枣醋	新疆骏枣醋	灵宝大枣醋	金丝小枣醋	清涧滩枣醋	阜平大枣醋
3 苯甲醛	29.23±0.88 <sup>b</sup>	34.38±0.4 <sup>a</sup>	7.97±0.13 <sup>c</sup>	11±0.08 <sup>d</sup>	25.42±2.57 <sup>c</sup>	ND
4 反式-2-癸烯醛	0.99±0.02 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND
5 己醛	0.11±0.01 <sup>b</sup>	0.1±0.01 <sup>b</sup>	0.1±0.02 <sup>b</sup>	ND	0.12±0.02 <sup>b</sup>	0.25±0.02 <sup>a</sup>
6 丁醛	0.52±0.05 <sup>a</sup>	0.51±0.08 <sup>a</sup>	0.52±0.09 <sup>a</sup>	0.45±0.04 <sup>b</sup>	0.36±0.02 <sup>c</sup>	0.41±0.06 <sup>bc</sup>
7 2-甲基丁醛	0.52±0.05 <sup>b</sup>	0.47±0.04 <sup>b</sup>	0.51±0.02 <sup>b</sup>	0.21±0.05 <sup>c</sup>	0.85±0.04 <sup>a</sup>	0.42±0.06 <sup>bc</sup>
8 3-甲基丁醛	10.48±0.85 <sup>b</sup>	10.67±0.61 <sup>b</sup>	10.43±0.31 <sup>b</sup>	6.85±0.32 <sup>d</sup>	8.36±0.36 <sup>c</sup>	12.55±0.56 <sup>a</sup>
9 癸醛	3.3±0.12 <sup>d</sup>	3.89±0.15 <sup>d</sup>	6.29±0.57 <sup>c</sup>	5.62±0.24 <sup>dc</sup>	46.82±3.42 <sup>a</sup>	16.45±0.72 <sup>b</sup>
10 壬醛	7.33±0.27 <sup>c</sup>	6.52±2.61 <sup>c</sup>	9.45±0.11 <sup>b</sup>	5.3±0.07 <sup>d</sup>	28.5±0.45 <sup>a</sup>	10.68±0.74 <sup>b</sup>
11 十二醛	ND	ND	ND	0.28±0.06 <sup>c</sup>	4.53±0.63 <sup>b</sup>	15.81±0.09 <sup>a</sup>
12 十一醛	ND	ND	ND	0.35±0.02 <sup>b</sup>	3.87±0.18 <sup>a</sup>	ND
醇类	13.37	39.11	91.57	72.05	20.89	83.42
1 2-甲基丁醇	8.63±0.28 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	3.63±0.24 <sup>b</sup>
2 2-甲基丙醇	1.41±0.08 <sup>a</sup>	1.52±0.12 <sup>a</sup>	1.48±0.05 <sup>a</sup>	1.24±0.11 <sup>b</sup>	0.86±0.06 <sup>c</sup>	0.62±0.05 <sup>d</sup>
3 2-乙基己醇	0.33±0.02 <sup>c</sup>	ND	0.99±0.02 <sup>b</sup>	ND	ND	3.17±0.33 <sup>a</sup>
4 正丁醇	71.99±2.4 <sup>a</sup>	31.97±0.1 <sup>d</sup>	22.12±1.47 <sup>e</sup>	63.81±1.47 <sup>c</sup>	11.23±1.57 <sup>f</sup>	67.53±1.92 <sup>b</sup>
5 α-萜品醇	1.37±0.02 <sup>a</sup>	0.64±0.01 <sup>b</sup>	ND	ND	ND	ND
6 1-戊烯-3-醇	0.29±0.02 <sup>c</sup>	0.35±0.02 <sup>bc</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	0.62±0.03 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>b</sup>	0.25±0.02 <sup>c</sup>
7 苯乙醇	8.3±1.5 <sup>a</sup>	2.5±12.13 <sup>c</sup>	8.25±8.22 <sup>a</sup>	5.8±2.31 <sup>f</sup>	8.36±44.04 <sup>a</sup>	3.71±61.18 <sup>b</sup>
8 苜醇	1.67±0.02 <sup>a</sup>	ND	ND	0.56±0.01 <sup>b</sup>	ND	ND
9 异戊醇	ND	2.12±0.04 <sup>c</sup>	8.47±1.73 <sup>a</sup>	ND	ND	4.51±0.11 <sup>b</sup>
其它	11.74	15.44	13.04	19.41	24.94	38.32
1 α-蒎烯	9.19±0.14 <sup>c</sup>	13.85±0.62 <sup>d</sup>	13.04±0.05 <sup>d</sup>	19.4±0.54 <sup>c</sup>	24.94±6.5 <sup>b</sup>	38.32±7.32 <sup>a</sup>
2 β-蒎烯	2.55±0.11 <sup>a</sup>	1.59±0.38 <sup>b</sup>	ND	ND	ND	ND

注：“ND”表示未检测到该组分，同一行不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)。

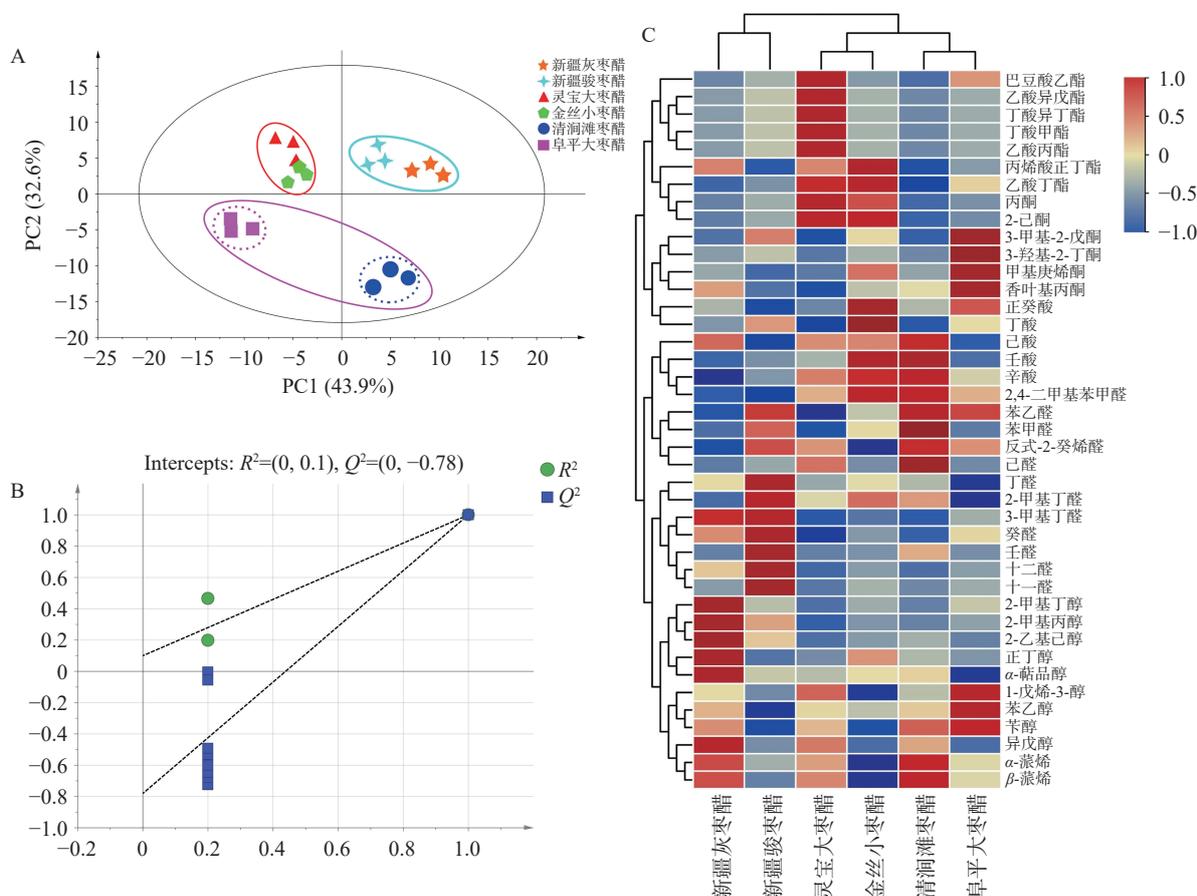


图3 不同品种枣醋的 OPLS-DA(A)、模型交叉验证结果(B)及香气成分聚类热图(C)

Fig.3 OPLS-DA (A), permutation test of permutation test of OPLS-DA model (B) and aroma heatmap (C) of jujube vinegar from the six cultivars

键成分<sup>[34]</sup>。其中新疆灰枣醋和灵宝大枣醋中乙酸异戊酯、丁酸异丁酯、丁酸甲酯和乙酸丁酯的含量较高, 乙酸异戊酯具有典型的香蕉香气, 乙酸丁酯也具有令人愉快的果香气味, 这些酯类成分相互作用, 能够赋予红枣醋更浓郁的果香。醇类化合物是红枣醋中含量最高种类较多的香气化合物, 新疆灰枣醋比其他几种枣醋的醇类种类多, 共检测出 8 种。同时新疆灰枣醋和阜平大枣醋中含有较高的正丁醇、2-甲基丁醇、苯乙醇和异戊醇, 正丁醇是醇类物质中含量最高的一类, 它具有淡淡的酒香味, 略有果香味道, 异戊醇具有芳香味, 其气味清香, 带有微甜、淡雅和水果般的香气, 苯乙醇则具有淡淡花香, 这些物质使得红枣醋气味更加丰富、香甜<sup>[35]</sup>。六种红枣醋中还含有丰富的酸类和醛酮类物质, 酸类物质是果酒或果醋中重要的香气协调物质, 能够影响果醋的感官品质。而仅在新疆灰枣醋中检测出丁酸、壬酸和辛酸等酸类, 其他几种枣醋中含量极少或未检出。苯甲醛、2,4-二甲基苯甲醛, 3-甲基丁醛, 3-甲基丁醛, 香叶基丙酮等醛酮类物质和 2 种蒎烯对枣醋风味的呈现也起到了重要作用, 香叶基丙酮是一种具有木兰香气的名贵香料, 具有新鲜、清、淡的花香香气, 略带甜蜜的玫瑰香韵味<sup>[36-37]</sup>,  $\alpha$ -蒎烯和  $\beta$ -蒎烯也是常见的芳香化合物, 具有松脂的清香气味, 它们共同构成了红枣醋独特的香气风味。

### 2.7 不同品种红枣醋的感官评价分析

将 6 种不同产区红枣发酵的枣醋进行电子鼻分析并将数据绘制成雷达图, 结果如图 4 所示。由图 4A 可知, 不同红枣品种酿制的红枣醋在 10 个传感器上均有响应, 且存在差异。总的来看, 枣醋的电子鼻数据在 W1W、W2S 和 W1S 这 3 种传感器的响应值高于其他 7 种传感器, 尤其以 W1W 传感器的响应值最高。新疆灰枣酿制的枣醋在 W1W、W1S 传感器上的响应值均高于其它红枣醋产品, 表明新疆灰枣醋具有较高含量甲基类化合物和醇类物质, 这与 SPME/GC-MS 分析检测测定新疆灰枣醋含有较高含量的 3 种醇类物质(2-甲基丁醇、 $\alpha$ -萜品醇和正丁醇)相关。新疆骏枣酿制的枣醋在 W2S 传感器上的响应值最大, 表明新疆骏枣醋含有较高含量的醇类物质或醛类物质, 香气检测分析发现, 新疆骏枣醋具有最高含量的苯甲醛和苯乙醛, 两种物质可能是新疆骏枣醋 W2S 传感器响应值最大的原因。另外研究发现, 阜平大枣在 W1S 传感器响应值仅次于灰枣醋, 灵宝大枣醋、金丝小枣醋和清涧滩枣醋在电子感官上的差异不显著, 该结果与香气检测分析的结果较为一致。

由图 4B 可知, 整体来看, 新疆灰枣醋具有最高的得分, 接受度最高, 得分均大于 8 分。该结果可能与新疆灰枣醋具有最高评价值的甜味、较高评价值的香气和最低的苦味值相关。阜平枣醋具有较高的颜色得分, 这与阜平枣醋具有较高的  $L^*$ 值和较低

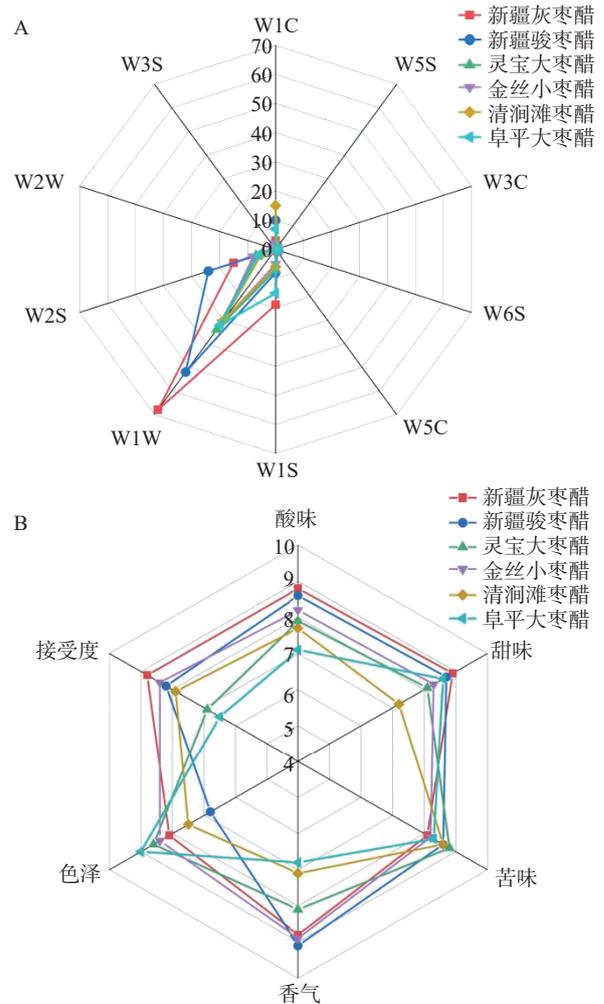


图 4 不同品种红枣醋的电子鼻雷达图(A)和感官评价雷达图(B)

Fig.4 Electronic nose radar diagram (A) and sensory aroma characteristics (B) of jujube vinegar from the six cultivars

$a^*$ 值相一致。但阜平红枣醋总体接受度得分最低, 这应该与阜平枣醋酸度值较低, 而苦味值较高相关。总的来说, 6 种红枣酿制红枣醋得分均在 6 分以上, 均适合红枣醋的酿制, 只是灵宝大枣酿制的枣醋接受度相对较差。

### 3 结论

本研究对 6 个不同品种红枣酿制的枣醋基本理化成分、色泽、体外功能活性、有机酸、氨基酸、挥发性香气成分和感官评价等品质指标进行了比较分析, 结果表明不同品种红枣酿制枣醋的总酸、总酚、总黄酮、色值、体外功能活性、有机酸、氨基酸、挥发性香气成分和感官评价等品质指标之间存在一定的差异性, 这些差异性决定了不同品种红枣酿制枣醋加工适宜性。6 种红枣醋的 pH 在 2.51~3.24 之间, 总酸在 47.06~55.23 g/L 之间, 以新疆灰枣醋的 pH 最低, 其总酸含量为 54.87 g/L。6 种红枣醋的总酚在 1389.56~1815.63 mg GAE/L 之间, 总黄酮含量在 583.26~1168.84 mg RE/L 之间, 以新疆骏枣醋的总酚含量最高, 为 1815.63 mg GAE/L; 乐陵金丝小枣醋的总酚含量最低, 为 1389.56 mg GAE/L。灵宝大

枣醋和阜平大枣醋表现出较好的色泽,表现为灵宝大枣醋最大 $b^*$ 值( $b^*=3.53\pm 0.02$ )和阜平大枣醋最大 $L^*$ 值( $L^*=22.95\pm 0.02$ )。6种红枣醋的体外抗氧化活性和降血脂活性均存在一定的差异,其中,新疆骏枣醋和阜平大枣醋表现出相对较高的抗氧化活性和降血脂活性。通过对6种红枣醋的有机酸含量分析,以新疆灰枣醋的总有机酸含量最高和阜平大枣醋的总有机酸含量最低,含量为51.79 g/L和47.07 g/L,新疆灰枣醋的高有机酸含量与较高含量的乙酸含量有关。对6种红枣醋的游离氨基酸含量进行分析,枣醋中脯氨酸(Pro)含量最为丰富,达413.55~885.64 mg/kg;新疆灰枣醋和新疆骏枣醋具有较高的必需氨基酸和总氨基酸含量,河北阜平大枣醋氨基酸含量较低。6种枣醋共检测出41种挥发性香气成分,包括7种酯类,6种酮类,5种酸类,12种醛类,9种醇类以及其他2种萜烯类成分,不同枣醋间所含有的挥发性香气在种类和含量上都存在一定的差异。电子鼻分析结果表明,醇类和醛类是决定不同枣醋间风味差异的主要物质。感官评价结果表明,6种红枣醋的感官存在一定的差异性,6种红枣在不同方面的感官得分均在6分以上,均适合酿制枣醋,其中新疆灰枣醋的感官接受度最佳。综上所述,不同品种红枣酿制枣醋的品质存在一定差异,新疆骏枣醋的高功能活性,更适合作为功能性果醋;而新疆灰枣醋的高感官接受度,也使新疆灰枣非常适合枣醋的加工。本研究将有助于评价这6个红枣品种酿制果醋的品质,为生产不同品质的红枣醋提供理论依据,但因原料导致发酵代谢差异,进而产生的品质差异的相关性以及机理解析有待于进一步研究。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] 王俊宇,梁志宏,尹蓉,等.红枣的功效与红枣酒的发酵工艺[J].农家参谋,2021(21):153-154. [WANG J Y, LIANG Z H, YIN R, et al. The efficacy of red dates and the fermentation process of red date wine[J]. The Farmers Consultant, 2021(21): 153-154.]
- [2] 关一,李甲贵.新疆红枣产业SWOT分析及“走出去”发展战略研究[J].新疆农垦科技,2022,45(3):21-24. [GUAN Y, LI J G. SWOT Analysis of Xinjiang Red Date Industry and Research on the Development Strategy of "Going Global"[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2022, 45(3): 21-24.]
- [3] 陈雅,廉苇佳,韩琛,等.响应面法优化红枣发酵酒酿造工艺研究[J].酿酒科技,2021(10):39-44. [CHEN Y, LIAN W J, HAN C, et al. Optimization of red date fermented wine brewing process using response surface methodology[J]. Liquor-making Science & Technology, 2021(10): 39-44.]
- [4] 尹蓉,张倩茹,王俊宇,等.13个品种红枣发酵酒的品质差异分析[J].食品工业科技,2023,44(5):277-284. [YIN R, ZHANG Q R, WANG J Y, et al. Analysis of quality differences in 13 varieties of red date fermented wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 277-284.]
- [5] LIU G P, WU M Y, LI Y F, et al. The effect of different pretreatment methods on jujube juice and lactic acid bacteria-fermented jujube juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 181: 114692.
- [6] PAN X, ZHANG S, XU X X, et al. Volatile and non-volatile profiles in jujube pulp co-fermented with lactic acid bacteria[J]. LWT, 2022, 154: 112772.
- [7] 王倩,尹玉茜,冯政华,等.基于电子舌探究超声催陈对木枣果醋品质的影响[J].食品与发酵工业,2024,50(1):177-182. [WANG Q, YIN Y Q, FENG Z H, et al. Exploring the effect of ultrasonic aging on the quality of jujube fruit vinegar based on electronic tongue[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(1): 177-182.]
- [8] LI G, YAN N, LI G, et al. Optimization of the process for green jujube vinegar and organic acid and volatile compound analysis during brewing [J]. Foods, 2023, 12(17): 3168.
- [9] 郭梦瑶,韩焯,李素燕.一株醋酸菌的分离鉴定及冬枣醋发酵条件的优化[J].中国酿造,2019,38(11):31-36. [GUO M Y, HAN Y, LI S Y, et al. Isolation and identification of a strain of acetic acid bacteria and optimization of fermentation conditions for winter jujube vinegar[J]. China Brewing, 2019, 38(11): 31-36.]
- [10] 王世忠,肖华志,周志江,等.液态发酵法生产冬枣醋的工艺研究[J].食品工业科技,2009,30(12):256-258,261. [WANG S Z, XIAO H Z, ZHOU Z J, et al. Research on the production process of winter jujube vinegar using liquid state fermentation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(12): 256-258, 261.]
- [11] BUDAK H N J F. Determination of changes in volatile aroma components, antioxidant activity and bioactive compounds in the production process of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) vinegar produced by traditional methods[J]. Fermentation, 2022, 8(11): 606.
- [12] KOU X, CHEN Q, LI X, et al. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 1037-1044.
- [13] WANG C, WANG R, FU C D, et al. Combining bioactive compounds and antioxidant activity profiling provide insights into assessment of geographical features of Chinese jujube[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101573.
- [14] CHEN L, LIU B, LI D, et al. Effects of fermentation on flavor and antioxidant activity in ginkgorice wine[J]. 2023, 53: 102652.
- [15] 李学震,和法涛,马艳蕊,等.不同桑黄菌株生长特性及发酵液的抗氧化活性[J].中国食用菌,2021,40(8):57-61,6. [LI X Z, HE F T, MA Y R, et al. Growth characteristics of different mulberry yellow strains and antioxidant activity of fermentation broth [J]. Edible Fungi of China, 2021, 40(8): 57-61,6.]
- [16] 唐茹萌,焦文雅,桑亚新,等.裙带菜多糖体外和体内降血脂活性[J].食品科学,2022,43(1):142-149. [TANG R M, JIAO W Y, SANG Y X, et al. *In vitro* and *in vivo* lipid-lowering activities of polysaccharides from *Undaria pinnatifida*[J]. Food Science, 2022, 43(1): 142-149.]
- [17] 黄锦涛.接种方式对低醇猕猴桃酒品质的影响及正渗透脱醇技术研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2022. [HUANG J T. The effect of inoculation methods on the quality of low alcohol kiwifruit wine and the study of forward osmotic dehydrolysis technology[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2022.]
- [18] LI B, ZHANG T, DAI Y, et al. Effects of probiotics on antioxidant activity, flavor compounds and sensory evaluation of *Rosa*

*roxburghii* Tratt[J]. 2023, 179: 114664.

[19] 李超敏, 豆康宁, 张臻, 等. 不同发酵方式对沙棘果醋感官评定的影响[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 67-69. [ LI C M, DOU K N, ZHANG Z, et al. The influence of different fermentation methods on the sensory evaluation of seabuckthorn fruit vinegar[J]. Chinese Condiment, 2014, 39(7): 67-69. ]

[20] 高京草, 哈力娜·哈麦拉, 韩刚, 等. 不同枣品种果实中主要糖分及其含量特征[J]. 北方园艺, 2017(16): 31-36. [ GAO J C, HALINA H M A L, HAN G, et al. The main sugar content and its characteristics in the fruits of different jujube varieties[J]. Northern Horticulture Nor Horticul, 2017(16): 31-36. ]

[21] 孙佳, 王磊, 万胜, 等. 新疆不同产地红枣品质差异及其与气候因子的关系[J]. 经济林研究, 2023, 41(3): 278-285. [ SUN J, WANG L, WAN S, et al. Differences in quality of red jujubes from different production areas in southern xinjiang and their relationship with climate factors[J]. Nonwood Forest Research, 2023, 41(3): 278-285. ]

[22] 郝慧敏, 黄丽萍, 纵伟. 基于主成分及聚类分析的不同产地红枣功能成分品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 253-259. [ HAO H M, HUANG L P, ZONG W, et al. Quality analysis of functional components of red dates from different regions based on principal component and cluster analysis[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(18): 253-259. ]

[23] SCIENCE C O F, ENGINEERING N A, F UNIVERSITY Y, CHINA, et al. Biotransformation of phenolic profiles and improvement of antioxidant capacities in jujube juice by select lactic acid bacteria[J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127859.

[24] PENG W Y, MENG D Q, YUE T L, et al. Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, and *Lactobacillus fermentum*[J]. Food Chemistry, 2021, 340: 127922.

[25] LI T, JIANG T, LIU N, et al. Biotransformation of phenolic profiles and improvement of antioxidant capacities in jujube juice by select lactic acid bacteria[J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127859.

[26] 李红蕊, 李志西, 赵晓野, 等. 红枣醋和枳椇醋减肥降血脂作用研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 257-260. [ LI H R, LI Z X, ZHAO X Y, et al. A study on the weight loss and blood lipid lowering effects of red date vinegar and zhi ju vinegar[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(2): 257-260. ]

[27] 刘杰超, 葛晓丹, 吕真真, 等. 半连续液态深层发酵红枣醋及其抗氧化活性[J]. 中国酿造, 2020, 39(5): 49-53. [ LIU J C, GE X D, LÜ Z Z, et al. Semi continuous liquid deep fermentation of jujube vinegar and its antioxidant activity[J]. China Brewing, 2020,

39(5): 49-53. ]

[28] 王梦洋, 王大红, 宋鹏辉, 等. 多菌种发酵的板栗红枣果醋品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(18): 143-147. [ WANG M Y, WANG D H, SONG P H, et al. Quality analysis of chestnut and jujube fruit vinegar fermented by multiple bacterial strains[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(18): 143-147. ]

[29] YUNFENG P, TIAN D, WENJUN W, et al. Effect of harvest, drying and storage on the bitterness, moisture, sugars, free amino acids and phenolic compounds of jujube fruit (*Zizyphus jujuba* cv. Junzao)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(2): 628-634.

[30] SUK-HYUN C, JUN-BAE A, NOBUYUKI K, et al. Distribution of free amino acids, flavonoids, total phenolics, and antioxidative activities of Jujube (*Zizyphus jujuba*) fruits and seeds harvested from plants grown in Korea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(12): 6594-6604.

[31] SONG J, BI J, CHEN Q, et al. Assessment of sugar content, fatty acids, free amino acids, and volatile profiles in jujube fruits at different ripening stages[J]. Food Chemistry, 2019, 270: 344-352.

[32] WU G Y. Functional amino acids in nutrition and health[J]. Amino Acids, 2013, 45(3): 407-411.

[33] MOHD A N, SWEE-KEONG Y, MOHD Y H, et al. Comparison of free amino acids, antioxidants, soluble phenolic acids, cytotoxicity and immunomodulation of fermented mung bean and soybean[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(5): 1648-1658.

[34] OLUKOSI O A, ADEBIYI A O. Chemical composition and prediction of amino acid content of maize-and wheat-Distillers' dried grains with soluble[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 185(3-4): 182-189.

[35] 赵一凡. 梨酒的酿造工艺研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019. [ ZHAO Y F. Research on the brewing process of pear wine[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science & Technology, 2019. ]

[36] 王洁茹, 朱星宇, 郭东起. 枣醋香气成分的分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 136-139, 44. [ WANG J R, ZHU X Y, GUO D Q. Analysis of aroma components in jujube vinegar[J]. Chinese Condiment, 2020, 45(11): 136-139, 44. ]

[37] 张丽华, 刘世豪, 靳学远, 等. 不同处理对发酵红枣汁键合态香气释放的影响[J]. 精细化工, 2023, 40(12): 2714-2722. [ ZHANG L H, LIU S H, JIN X Y, et al. The effect of different treatments on the release of bonded aroma in fermented jujube juice[J]. Fine Chemicals, 2023, 40(12): 2714-2722. ]