

不同品种南瓜发酵特性与品质比较研究

冉曜琦¹, 李咏富^{1*}, 何扬波¹, 李国林¹, 石 彬¹, 罗其琪¹, 穆 娇²

(1. 贵州省农业科学院-贵州省现代农业发展研究所, 贵阳 550009;

2. 贵州成有王记善沅食品有限公司, 黔南 550600)

摘 要: **目的** 比较不同品种南瓜发酵后品质和挥发性成分的差异。**方法** 选取 8 个不同品种的南瓜, 进行自然发酵, 对发酵后南瓜的 pH、总酸、维生素 C、总酚、抗氧化活性、生物胺、有机酸和挥发性成分进行测定分析。**结果** 发酵后, 健美南瓜的 pH 最低为 3.28, 黄狼南瓜的总酸含量最高为 37.06 g/kg, 金韩蜜本的维生素 C 含量最高为 21.68 mg/kg, 总酚含量最高的品种是金韩蜜本为 163.90 mg/kg, 其次是黄狼南瓜为 160.06 mg/kg; 抗氧化活性最强的品种为金韩蜜本和黄狼南瓜; 所有样品生物胺含量均低于 1000 mg/kg; 挥发性成分种类最高的品种为金韩蜜本共 59 种, 含量为 5.36 $\mu\text{g/g}$ 。**结论** 不同品种发酵南瓜在品质上具有明显差异, 黄狼南瓜和金韩蜜本的各项检测指标排名靠前, 该研究为发酵南瓜的品种选择提供了理论参考。

关键词: 南瓜; 品种; 发酵; 品质; 挥发性成分

Comparative study on fermentation characteristics and quality of different varieties of pumpkin

RAN Yao-Qi¹, LI Yong-Fu^{1*}, HE Yang-Bo¹, LI Guo-Lin¹, SHI Bin¹, LUO Qi-Qi¹, MU Jiao²

(1. Guizhou Academy of Agricultural Sciences-Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550009, China; 2. Guizhou Chengyouwangji Shan Yuan Food Co., Ltd., Qiannan 550600, China)

ABSTRACT: Objective To explore the differences in the quality and volatile substances of different varieties of pumpkin after fermentation. **Methods** Eight different varieties of pumpkin were selected in this study for natural fermentation. The measurements of pH, total acids, vitamin C, total phenol, antioxidant capacity, biogenic amines, organic acids and volatile components of fermented pumpkin were determined. **Results** After fermentation, the pH of Jianmei pumpkin was the lowest 3.28, the highest content of total acid in Huanglang pumpkin was 37.06 g/kg, the highest content of VC in Jinhanmiben pumpkin was 21.68 mg/kg, and the highest content of total phenol in Jinhanmiben pumpkin was 163.90 mg/kg, followed by Huanglang pumpkin was 160.06 mg/kg. The varieties with the highest antioxidant capacity were Jinhanmiben pumpkin and Huanglang pumpkin. The biogenic amine content of all samples was lower than 1000 mg/kg. The variety with the highest volatile substances was Jinhanmiben pumpkin with a total of 59 species and the content was 5.36 $\mu\text{g/g}$. **Conclusion** Different varieties of fermented pumpkin have obvious differences in quality, Huanglang pumpkin and Jinhanmiben pumpkin root rank high in various detection indexes. This study provides a theoretical reference for the selection of fermented pumpkin varieties.

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2022]重点 10 号)、贵州省农科院青年基金科技项目(黔农科院青年科技基金[2022]18 号)

Fund: Supported by the Guizhou Provincial Science and Technology Support Project (Qianke Support [2022] Key10), and the Guizhou Academy of Agricultural Sciences Youth Science and Technology Fund Project (Guizhou Academy of Agricultural Sciences Youth Fund [2022] No.18)

***通信作者:** 李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向农产品加工。E-mail: 344856786@qq.com

***Corresponding author:** LI Yong-Fu, Ph.D, Associate Professor, Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550009, China. E-mail: 344856786@qq.com

KEY WORDS: pumpkin; varieties; fermentation; quality; volatile substances

0 引言

南瓜又名番瓜、倭瓜、麦瓜,为葫芦科一年蔓生草本植物,耐旱性强,栽培适应性广,在我国境内种植区域广阔,富含碳水、氨基酸、维生素、多酚、果胶、矿物质等多种对人体有益成分,可以有效防治高血压、糖尿病以及提高人体免疫力,是一种营养丰富的高钾低钠健康型蔬菜,具有很高的开发利用价值^[1-2]。据统计,截至 2021 年,我国南瓜产量已位居全球首位,种植面积全球排名第二^[3]。然而,在加工产品方面仅限于南瓜饼、南瓜粥和南瓜粉等传统产品,因此,开发新型南瓜产品对产业进一步发展具有重要意义^[4]。

发酵是一种传统食品加工技术,在蔬菜加工过程中被广泛应用,通常采用食盐涂抹在蔬菜上,借助蔬菜自身附着的天然有益微生物在封闭式的环境下发酵而成^[5]。有研究表明,南瓜经过发酵处理不仅能够改善其自然风味,还可增强营养成分,并可以有效延长保质期,具有良好的市场前景^[6-7]。

目前关于发酵南瓜的研究报道较多,主要集中在发酵菌株筛选、发酵工艺优化以及挥发性成分分析等方面^[8-9]。如李慧等^[10]从不同品牌酸奶中筛选出适宜南瓜发酵的乳酸菌,观察到接种乳酸菌后的南瓜呈现出独特口感、风味和丰富营养特性;彭兴兴等^[11]对未发酵南瓜和发酵南瓜的挥发性成分进行了对比分析,结果显示发酵后的南瓜与未发酵南瓜在风味物质上存在显著差异。此外,有研究表明原料品种对发酵制品的品质具有影响^[12],如罗文珊等^[13]发现不同品种芥菜对发酵泡菜的品质影响显著;江雪梅等^[14]发现 13 种不同品种辣椒发酵的剁椒品质差异显著,其中富含高蛋白且风味丰富的品种加工效果较好。然而目前针对不同品种南瓜在传统发酵工艺下的品质差异却鲜有报道。

鉴于此,本研究选取了 8 个不同品种的南瓜为实验原料,通过自然发酵对其 pH、总酸、维生素 C (vitamin C, VC)、抗氧化活性、生物胺、有机酸以及挥发性成分进行对比分析,旨在为发酵南瓜产品的品种选择提供理论依据,并推动其开发与利用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

南瓜原料共 8 个品种,均来源于贵州省毕节市金沙冠香坊酸汤专用原料种植基地,样品信息如下:兴蔬大果蜜本(P1)、牛腿南瓜(P2)、黄狼南瓜(P3)、金韩蜜本(P4)、贵族 1 号(P5)、磨盘南瓜(P6)、香芋南瓜(P7)、健美南瓜(P8)。

无水乙醇、甲醇、福林酚(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);乙腈(色谱纯,美国 Fisher 公司);氢氧化钠、氯

化钠(分析纯,北京化工厂);0.22 μm 滤膜(天津津腾公司);酒石酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸、色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺(99.9%标准品,上海麦克林生化科技股份有限公司);2-辛醇、C7~C40 正构烷烃(色谱纯,美国 Sigma 公司);没食子酸、芦丁、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical 2, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate diammonium salt, ABTS)(分析纯,上海源叶生物科技有限公司);磷酸(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司);磷酸二氢铵(分析纯,成都金山化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

FA-1004 电子天平(精度 0.1 mg,上海舜宇恒平科学仪器有限公司);CT14RD 高速台式冷冻离心机(上海天美科学仪器有限公司);HH-4S 电热恒温水浴锅(上海捷呈实验仪器有限公司);PHSJ-4F 型 pH 计(上海雷磁仪器厂);1260 型高效液相色谱仪、Agilent ZOBAX SB-Aq-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)[安捷伦科技(中国)有限公司];3020 型酶标仪、Trace1300 型气相色谱仪、TSQ8000 型质谱仪、TG-5MS 色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国赛默飞世尔科技有限公司);手动固相微萃取装置(美国 Supelco 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

从 8 个品种的南瓜中,挑选无霉变、无损伤的南瓜,清洗并自然晾干,去皮、去瓤后切成约 3 cm 左右的小块,用破碎机进行绞碎,精确称取 1000 g 绞碎后的南瓜与 100 g 无碘食盐,搅拌均匀,装入 2 L 无菌土坛中,水封后进行自然发酵,发酵 40 d 后得到发酵南瓜样品^[11],每次取样前对取样工具进行清洗和灭菌处理。

1.3.2 pH 和总酸含量测定

pH 采用 pH 计直接对发酵南瓜汁进行测定,总酸参照 GB/T 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》。

1.3.3 VC 含量测定

采用 2,6-二氯酚法^[15],精确称取 5 g 样品,加 2%的草酸 5 mL,定容至 100 mL,充分混匀后,5000 r/min 离心 10 min 后经 0.22 μm 滤膜过滤,得到待测液。用已标定的 2,6-二氯酚酚溶液滴定至终点。计算公式(1)为:

$$N=V_1 \times K \times V \times 1000 / (W \times V_2) \quad (1)$$

其中, N 为每 1 kg 样品所含的 VC 的量, mg; V_1 为滴定样品液所用去染料体积, mL; V_2 为样品测定时所用滤液体积, mL; V 为样品提取液的总体积, mL; K 为 1 mL 染料能氧化抗坏血酸的质量, mg; W 为称取样品重量, g。

1.3.4 总酚含量测定

总酚采用福林酚法^[16],精确称取 5 g 样品,加入蒸馏

水 15 mL, 5000 r/min 常温离心 5 min, 取 1 mL 上清液, 分别加入 1 mL 福林酚和 3 mL 7.5% 碳酸钠溶液, 再用蒸馏水定容至 10 mL, 避光反应 30 min, 在酶标仪在 765 nm 处测吸光度。以没食子酸浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线方程为 $Y=0.0156X+0.0251$, $r^2=0.997$, 结果为每千克样品中没食子酸的毫克当量(mg/kg)。

1.3.5 抗氧化活性测定

DPPH 自由基清除率的检测参照 TANG 等^[17]的方法, 精确称取 5 g 样品, 用蒸馏水定容 25 mL, 5000 r/min 离心 5 min, 取上清液 100 μ L, 加入 100 μ L DPPH 溶液(0.2 mmol/L), 室温避光静置 30 min, 在酶标仪 517 nm 处测吸光度, 同时设样品空白组 and 对照组。计算公式(2)为:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\%=(1-\frac{A_{\text{样}}-A_{\text{空}}}{A_{\text{对照}}})\times 100\% \quad (2)$$

其中, $A_{\text{样}}$ 为样品与 DPPH 溶液反应的吸光度; $A_{\text{空}}$ 为样品空白组的吸光度; $A_{\text{对照}}$ 为 DPPH 溶液空白组的吸光度。

ABTS⁺ 自由基清除率检测参照刘薇等^[18]的方法, 精确称取 5 g 样品, 用蒸馏水定容 50 mL, 5000 r/min 离心 5 min, 取上清液 40 μ L, 加入 160 μ L ABTS⁺ 工作液(2.6 mmol/L 过硫酸钾溶液与 7.45 mmol/L ATBS 溶液等量混合室温避光静置 14 h), 室温避光静置 5 min 后, 在酶标仪 734 nm 处测吸光度, 同时设样品空白组 and 对照组。计算公式(3)为:

$$\text{ABTS}^+\text{ 自由基清除率}/\%=(1-\frac{A_{\text{样}}-A_{\text{空}}}{A_{\text{对照}}})\times 100\% \quad (3)$$

其中, $A_{\text{样}}$ 为样品与 ABTS⁺ 溶液反应的吸光度; $A_{\text{空}}$ 为样品空白组的吸光度; $A_{\text{对照}}$ 为 ABTS⁺ 溶液空白组的吸光度。

1.3.6 生物胺测定

参照 GB 5009.208—2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》的液相色谱法。

1.3.7 有机酸测定

参照熊瑛等^[19]的方法, 精确称取 5 g 样品, 加入 0.2 g 活性炭, 定容至 50 mL, 8000 r/min 离心 5 min, 取上清液过 0.22 μ m 水系滤膜后进行检测。

有机酸混标的标准曲线绘制: 分别配制 0.1、0.5、1.0、5.0、10.0 mg/mL 的有机酸混标溶液, 过 0.22 μ m 水系滤膜后, 上机检测, 并以有机酸浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线。

液相色谱条件: 采用 Agilent ZOBAX SB-Aq-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μ m); 流动相为: 95% 0.01 mol/L 磷酸二氢铵溶液和 5% 的甲醇溶液; 流速为 0.8 mL/min; 进样量 10 μ L; 柱温 25°C; 检测波长 210 nm。

1.3.8 挥发性成分测定

采用气相色谱-质谱法, 参照何扬波等^[20]的方法略有调整。精确称取 5.0 g 样品于 20 mL 顶空瓶中, 加入 0.5 g 氯化钠和 20 μ L 2-辛醇(100 mg/L), 于 70°C 水浴中平衡 15 min, 插入老化后的固相萃取头, 吸附 30 min, 上机解

析 5 min 后进行检测。

色谱条件: TG-5MS 色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μ m), 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min, 不分流进样; 升温程序为初始温度 50°C, 保持 5 min, 以 3°C/min 升温至 120°C, 保持 3 min, 然后以 4°C/min 升温至 180°C, 保持 3 min, 最后以 5°C/min 升温至 250°C, 保持 20 min。

质谱条件: 采用电子轰击离子源, 接口温度 250°C, 离子源温度 320°C, 全程扫描范围 40~650 amu。

定性、定量方法: 定性采用 NIST 2017 系统, 选取匹配度高于 80% 以上的化合物, 并结合保留指数进行比对(误差小于 3%)定性挥发性成分; 定量采用内标法, 以 2-辛醇为内标计算挥发性成分的含量。

1.4 数据处理

实验结果采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件对数据进行分析处理, 所有结果保留 2 位小数; 图表采用 Origin 9.0 软件进行作图。

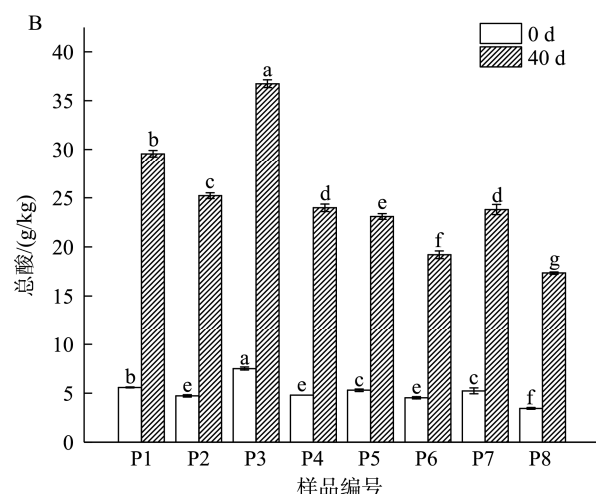
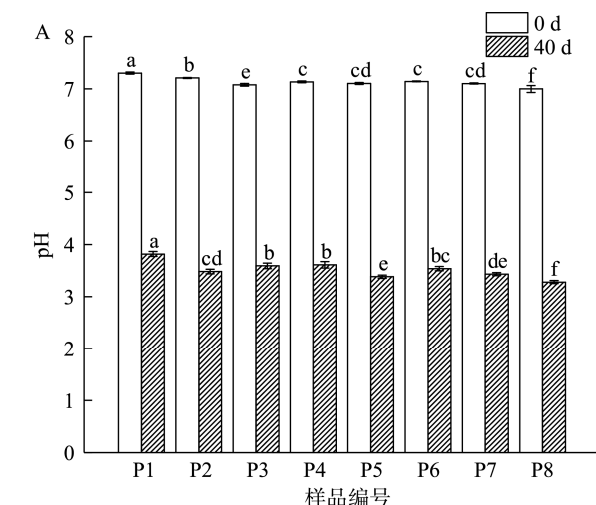
2 结果与分析

2.1 不同品种南瓜发酵 pH 和总酸比较分析

pH 和总酸是发酵南瓜重要的理化指标, 可以直接反应发酵的成熟度, 并对其口感和风味具有影响^[21]。在南瓜发酵过程中, 乳酸菌代谢产生有机酸或其他酸性物质, 导致 pH 下降、总酸含量增加。由图 1 可知, 在经过 40 d 的发酵后, 8 个不同品种发酵南瓜的 pH 从 7.00~7.29 下降至 3.28~3.82, 其中 P8 的 pH 为 3.28, 显著低于($P<0.05$)其他品种, 说明其游离氢离子含量相对较高; 8 个不同品种南瓜在发酵 0 d 时, 总酸为 3.46~7.53 g/kg, 经过 40 d 发酵后, 总酸大幅升高为 17.28~37.06 g/kg, 总酸最高的品种为 P3, 高达 37.06 g/kg, 其次是 P1, 为 29.57 g/kg, 而 P8 的总酸最低($P<0.05$)仅为 17.34 g/kg, 除 P8 外, 其他品种的总酸均高于袁晶等^[22]测定的发酵南瓜酱的总酸 18.90 g/kg, 以上结果表明品种与发酵方式对发酵南瓜的总酸具有较大影响, 品种 P1 和 P3 的含酸量较高。

2.2 不同品种南瓜发酵 VC 含量比较分析

VC 是发酵南瓜中的一项重要营养指标, 但 VC 的稳定性较差, 容易被氧化, 在高温和光照条件下会受到影响^[23]。对 8 个不同品种南瓜在发酵 0 d 和发酵 40 d 的 VC 含量进行检测, 由图 2 可知, 8 个不同品种南瓜在发酵 0 d 时, VC 含量为 67.96~97.65 mg/kg, 除 P2 和 P8 外, 其他品种南瓜的 VC 含量差异显著($P<0.05$), 其中 P1 和 P4 的 VC 含量最高分别为 92.25 mg/kg 和 97.65 mg/kg, 显著高于($P<0.05$)其他品种; 经过 40 d 的发酵, 8 个不同品种发酵南瓜的 VC 含量为 8.01~21.68 mg/kg, 相较于发酵 0 d, VC 含量大幅下降, 其中 P1 和 P4 的 VC 含量分别为 20.94 mg/kg 和 21.68 mg/kg, 仍显著高于($P<0.05$)其他品种。表明南瓜



注: 不同字母表示组间具有显著性差异, $P < 0.05$, 下同。

图 1 不同品种发酵南瓜的 pH(A)和总酸(B)($n=3$)

Fig.1 pH (A) and total acid (B) of different varieties of fermented pumpkin ($n=3$)

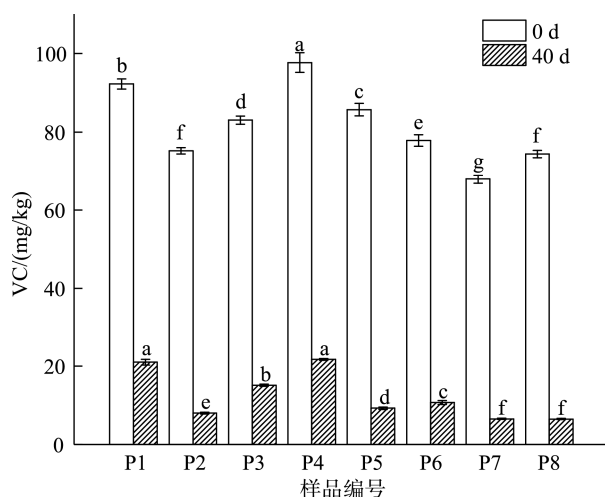


图 2 不同品种发酵南瓜的 VC 含量($n=3$)

Fig.2 VC content of different varieties of fermented pumpkin ($n=3$)

在发酵过程中微生物生长代谢以及某些具有氧化性代谢产物导致了 VC 含量显著降低; 其次, VC 含量较高的南瓜品种在发酵后仍有相对较高的 VC 含量。

2.3 不同品种南瓜发酵总酚含量比较分析

总酚作为一种植物次生代谢产物, 因其卓越的抗氧化活性而备受关注。对发酵 40 d 后的 8 个不同品种发酵南瓜的总酚含量进行检测, 如图 3 所示, 8 个不同品种发酵南瓜的总酚含量为 90.48~163.90 mg/kg, 除 P1、P5 和 P7 外, 其余品种的总酚含量差异显著($P < 0.05$), 其中总酚含量最高的品种是 P4, 为 163.90 mg/kg, 其次是 P3 和 P6, 分别为 160.06 mg/kg 和 151.08 mg/kg, 而含量最低的品种是 P8, 仅有 94.48 mg/kg。此外, 发酵南瓜的总酚含量远低于新鲜南瓜的总酚含量 3.12~8.66 g/kg^[24], 说明发酵对南瓜总酚含量的影响呈现下降趋势。

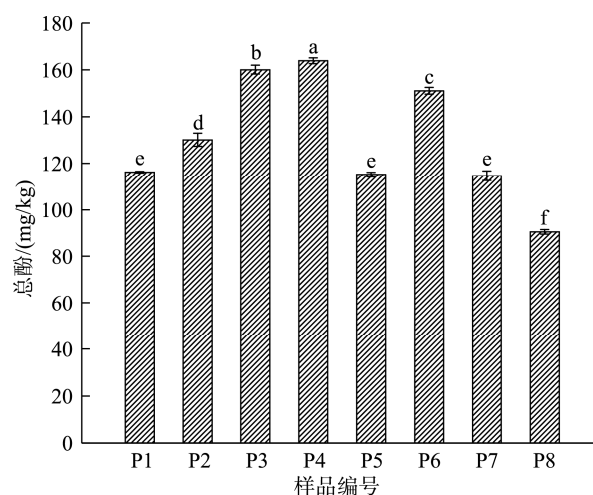


图 3 不同品种发酵南瓜的总酚含量($n=3$)

Fig.3 Total phenol content of fermented pumpkin of different varieties ($n=3$)

2.4 不同品种南瓜发酵抗氧化活性比较分析

DPPH 自由基和 ABTS⁺自由基清除能力是评估体外抗氧化水平的两种方法, 且这两种方法具有良好的重现性和稳定性。检测发酵 40 d 后不同品种发酵南瓜对 DPPH 自由基和 ABTS⁺自由基的清除率, 如图 4 所示, 8 个不同品种发酵南瓜对 DPPH 自由基的清除率为 69.04%~84.08%, 对 ABTS⁺自由基的清除率为 49.95%~68.68%。其中 P4 对 DPPH 自由基清除率和对 ABTS⁺自由基清除率均最高, 分别为 84.00% 和 68.68%, 其次为 P3, 分别为 82.13% 和 64.67%。相较于其他品种, P4 和 P3 表现出了更强的抗氧化活性。整体来看, 不同品种发酵南瓜对 DPPH 自由基的清除能力具有显著差异($P < 0.05$), 对 DPPH 自由基清除能力较强的品种对 ABTS⁺自由基的清除能力仍较强。此外, VC 和总酚含量与抗氧化活性呈正相关关系, 并对其具有

重要贡献^[25], P4 中的 VC 和总酚含量高于其他品种, 或是其抗氧化活性较高的原因。

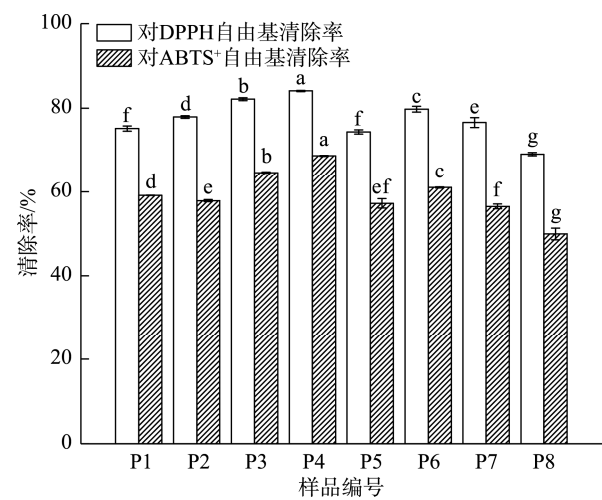


图 4 不同品种发酵南瓜对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基清除率(n=3)

Fig.4 Scavenging rates of different varieties of fermented pumpkin on DPPH free radical and ABTS⁺ free radical (n=3)

2.5 不同品种南瓜发酵生物胺含量比较分析

生物胺是一类具有生物活性的含氮化合物, 其过量摄入会导致神经系统和心血管系统受损^[26]。发酵食品存在生物胺超标的风险, 因为某些微生物代谢的脱羧酶可将氨基酸脱羧产生生物胺, 导致过量生成的生物胺, 并对食品原有的营养成分和储藏稳定性造成不利影响^[27-28]。因此, 对发酵 40 d 后不同品种发酵南瓜中的生物胺含量进行检测至关重要。由表 1 所示, 8 个不同品种发酵南瓜的生物胺总量为 165.88~251.07 mg/kg, 与市售泡菜中生物胺的含量接近, 均低于食品中生物胺的安全限量 1000 mg/kg^[29]。其中, 苯乙胺未检出, 尸胺仅在 P4 中被检测到, 色胺含量相对较少仅在 P2、P4、P5 和 P7 中检出, 为 4.63~19.53 mg/kg。腐胺是发酵南瓜中主要存在的生物胺, 其含量为 63.94~81.91 mg/kg。

组胺是一种国际公认毒性较强的生物胺, 在所有样品中均检出, 其含量为 32.98~39.82 mg/kg, 均低于组胺安全限量 100 mg/kg^[15]。有研究表明, 发酵时间与生物胺的含量呈正相关关系^[30], 本研究所有样品均发酵 40 d 以上, 发酵时间相对较长或是造成生物胺含量较高的原因。

2.6 不同品种南瓜发酵有机酸含量比较分析

有机酸是发酵南瓜中重要的呈味成分, 主要来源于样品自身和微生物在发酵过程中所产生的代谢产物^[31]。检测经过 40 d 发酵后 8 个不同品种发酵南瓜的有机酸含量, 由表 2 可知, 乳酸是发酵南瓜的主要有机酸, 含量为 15.89~28.12 g/kg, 占有有机酸总量的 60%以上, 其中 P3 和 P4 的乳酸含量显著高于(P<0.05)其他品种, 且有机酸总含量分别为 33.05 g/kg 和 34.66 g/kg; 除 P2 和 P8 未能检出柠檬酸外, 酒石酸、苹果酸、乳酸、乙酸和丁二酸在所有样品中均可检出; 在 8 个品种发酵南瓜中, 苹果酸的含量较低为 0.13~0.51 mg/kg, 因为南瓜在发酵过程中, 苹果酸会被乳酸菌分解为乳酸和二氧化碳, 导致苹果酸含量下降而乳酸含量增加^[32]; 此外, P2 和 P7 的酒石酸含量显著高于(P<0.05)其他品种, P3 和 P4 的乙酸含量显著高于(P<0.05)其他品种, P5 的丁二酸含量显著高于(P<0.05)其他品种。表明不同品种发酵南瓜中的有机酸含量具有显著差异, 发酵南瓜中微生物代谢的主要有机酸为乳酸, 乳酸是主要的酸味来源。

2.7 不同品种南瓜发酵挥发性成分比较分析

8 个不同品种发酵南瓜的挥发性成分的种类及含量如表 3 所示, 共检测出 67 种挥发性成分, 醇类 16 种、醛类 14 种、酮类 6 种、酸类 6 种、酯类 17 种、苯酚类 4 种、烯类 4 种, 共有挥发性成分 35 种, 不同品种发酵南瓜的挥发性成分存在差异, P1 为 51 种 4.84 μg/g、P2 为 52 种 6.45 μg/g、P3 为 55 种 5.84 μg/g、P4 为 59 种 5.36 μg/g、P5 为 53 种 3.13 μg/g、P6 为 51 种 5.63 μg/g、P7 为 54 种 5.25 μg/g、P8 为 52 种 5.47 μg/g, 其中醇类和酯类是发酵南瓜的主要

表 1 不同品种发酵南瓜的生物胺含量(mg/kg)

Table 1 Content of biogenic amines in different varieties of fermented pumpkin (mg/kg)

品种	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺	总量
P1	-	-	68.21±1.43 ^d	-	33.70±0.98 ^c	-	23.92±0.69 ^b	38.63±1.84 ^a	165.88±4.93 ^c
P2	4.63±0.81 ^d	-	71.71±2.93 ^c	-	38.39±0.99 ^a	59.72±1.12 ^c	23.83±0.23 ^b	33.44±1.03 ^b	234.66±7.11 ^b
P3	-	-	63.94±0.82 ^c	-	35.62±0.57 ^b	69.31±1.22 ^a	27.89±0.58 ^a	19.49±1.02 ^d	217.08±4.20 ^c
P4	13.23±0.83 ^b	-	81.91±2.89 ^a	28.26±0.15 ^a	38.73±0.67 ^a	66.12±1.21 ^b	28.41±0.44 ^a	13.15±0.18 ^f	244.45±6.36 ^a
P5	19.53±1.29 ^a	-	77.22±1.55 ^b	-	39.82±0.51 ^a	57.04±0.47 ^d	28.03±0.39 ^a	27.88±1.10 ^c	251.07±5.31 ^a
P6	-	-	68.83±0.66 ^d	-	39.56±0.82 ^a	60.93±0.59 ^c	21.39±0.12 ^d	-	191.35±2.18 ^d
P7	6.49±0.92 ^c	-	65.00±0.36 ^c	-	33.18±0.65 ^c	52.56±0.62 ^c	21.00±0.18 ^d	17.90±0.84 ^{de}	196.50±3.57 ^d
P8	-	-	69.19±1.65 ^d	-	32.98±0.96 ^c	47.93±0.22 ^f	22.45±0.49 ^c	16.86±1.28 ^c	191.06±4.61 ^d

注: -表示未检出, 同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 下同。

表 3(续)

编号	保留时间/min	化合物中文名称	挥发性成分含量/(μg/g)							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	28.36	二氢- α -紫罗兰酮	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.15
2	28.61	大马士酮	-	0.03	0.04	0.03	0.01	-	-	0.02
3	30.02	α -紫罗酮	0.04	0.17	0.10	0.10	0.05	0.11	0.13	0.24
4	30.63	香叶基丙酮	0.08	0.12	0.10	0.12	0.05	0.13	0.09	0.31
5	31.94	β -紫罗兰酮	0.06	0.09	0.08	0.07	0.05	0.09	0.06	0.13
6	32.12	开司米酮	-	0.03	0.02	0.03	-	0.04	0.03	0.04
总计			0.20	0.46	0.35	0.37	0.18	0.42	0.36	0.89
酸类										
1	7.28	乙酸	0.34	0.35	0.26	0.43	0.22	0.33	0.23	0.36
2	21.65	辛酸	-	0.70	-	-	-	-	-	-
3	24.49	壬酸	0.07	0.19	0.22	0.09	0.04	0.12	0.06	0.02
4	27.56	癸酸	0.04	0.25	-	-	0.06	-	0.11	0.07
5	33.82	月桂酸	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	46.06	棕榈酸	0.16	0.15	0.27	0.26	0.17	0.20	0.07	0.27
总计			0.60	1.66	0.75	0.79	0.50	0.66	0.47	0.74
酯类										
1	6.09	乙酸乙酯	0.65	0.28	1.74	0.41	0.68	1.61	1.31	1.22
2	12.62	2-甲基丁基乙酸酯	0.02	-	-	0.01	-	0.03	0.10	0.01
3	19.8	2-乙基-己酸乙酯	0.02	-	-	0.01	0.05	0.04	-	-
4	21.2	乙酸苯甲酯	-	-	-	-	0.02	0.02	-	0.03
5	21.99	辛酸乙酯	0.02	0.17	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	-
6	24.48	2-壬烯酸甲酯	0.01	-	-	0.01	0.01	0.02	-	-
7	24.75	水杨酸乙酯	0.01	-	0.05	0.05	-	0.01	0.01	0.01
8	25.19	乙酸薄荷酯	0.05	0.12	0.21	0.21	0.04	0.04	0.02	0.01
9	28.56	癸酸乙酯	-	0.07	-	0.01	0.01	-	0.01	-
10	32.21	十一酸乙酯	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03
11	33.12	二氢猕猴桃内酯	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05
12	35.96	茉莉酮酸甲酯	-	-	-	0.01	-	-	-	-
13	46.91	棕榈酸乙酯	0.38	0.15	0.15	0.13	0.06	0.07	0.05	0.07
14	50.96	亚油酸乙酯	0.07	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
15	51.08	油酸乙酯	0.35	0.11	0.13	0.06	0.03	0.07	0.03	0.11
16	51.13	亚麻酸乙酯	-	-	0.05	0.02	0.01	0.02	-	-
17	51.19	反油酸乙酯	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
总计			1.67	1.00	2.43	1.06	0.97	2.03	1.64	1.58
苯酚类										
1	21.14	3-乙基苯酚	0.13	0.10	0.27	0.34	0.08	0.16	0.25	0.05
2	23.15	3,4-二甲氧基甲苯	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
3	24.96	4-乙基愈创木酚	0.03	0.09	0.01	0.10	0.03	0.19	0.04	0.06
4	29.18	甲基丁香酚	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
总计			0.19	0.23	0.32	0.48	0.13	0.38	0.33	0.16
烯类										
1	29.09	α -柏木烯	0.11	0.03	0.06	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02
2	29.55	罗汉柏烯	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-
3	30.18	香橙烯	0.06	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.01	0.03
4	30.39	α -依兰烯	0.01	0.01	0.02	0.01	-	0.02	0.01	0.01
总计			0.19	0.06	0.11	0.10	0.05	0.10	0.03	0.07

注: -表示未检出。

挥发性成分, 分别为 1.05~2.40 $\mu\text{g/g}$ 和 0.97~2.43 $\mu\text{g/g}$ 之间, 与周春丽等^[33]的研究结果一致。醇类成分中乙醇和苯乙醇在 8 个样品中均检出且含量较高, 其中乙醇含量最高的品种是 P2 为 0.57 $\mu\text{g/g}$, 苯乙醇含量最高的品种是 P8 为 0.75 $\mu\text{g/g}$, 苯乙醇具有玫瑰花花香; 酯类成分中乙酸乙酯在 8 个样品中均检出且含量较高, 与彭兴兴等^[34]的研究结果一致; 醛类成分中, 8 个样品均测出椰子醛和(*E,E*)-2,4-庚二烯醛, 其中 P1 椰子醛含量较高为 0.48 $\mu\text{g/g}$, 椰子醛具有椰子香味, 而(*E,E*)-2,4-庚二烯醛具有脂香和清香; 酸类成分中, 除 P2 辛酸含量 0.70 $\mu\text{g/g}$ 较高, 其余样品均为乙酸含量较高, 乙酸主要来自于发酵过程中的微生物代谢, 可降低 pH 和改善风味; 酮类成分中, 所有样品中均检出不同含量的二氢 α -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和 β 紫罗兰酮, 有研究表明, 这些酮类物质是由胡萝卜素或类胡萝卜素在酶或氧化剂作用下降解生成的^[35]; 苯酚类成分中, 3-乙基苯酚、3,4-二甲氧基甲苯、4-乙基愈创木酚和甲基丁香酚在 8 个品种的发酵南瓜中均检出, 其中 P3 和 P4 含有较高的 3-乙基苯酚含量, 分别为 0.27 $\mu\text{g/g}$ 和 0.34 $\mu\text{g/g}$; 烯类成分含量较少, 除 P1 为 0.19 $\mu\text{g/g}$, 其余样品中含量仅为 0.03~0.11 $\mu\text{g/g}$ 含量相对较少, 此外, α -柏木烯和香橙烯在所有样品中均可检出。

3 结 论

通过选取 8 个不同品种南瓜进行自然发酵, 并对不同品种发酵南瓜的品质和挥发性成分进行了对比分析。结果显示: 不同品种发酵南瓜的 pH、总酸、VC 含量、总酚含量、抗氧化活性、生物胺和有机酸均具有明显差异。所有品种发酵南瓜的 pH 均低于 4, 其中黄狼南瓜的总酸最高; 金韩蜜本南瓜是 VC 含量最高品种; 总酚、DPPH 自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率最高的品种为金韩蜜本, 其次为黄狼南瓜; 此外, 所有样品中生物胺的总含量均未超标; 在挥发性成分方面, 种类最多的品种为金韩蜜本, 其次为黄狼南瓜, 不同品种发酵南瓜的挥发性成分在种类和含量上具有差异, 或与品种间自身挥发性成分差异有关。综合以上所述, 黄狼南瓜和金韩蜜本南瓜在 8 个不同品种发酵南瓜中表现出较高的理化品质和较多的挥发性成分种类, 根据综合营养成分分析, 是适合加工发酵南瓜的优秀品种, 这一结果为发酵南瓜的加工提供了理论参考, 并对进一步推动南瓜综合开发利用具有重要意义。

参考文献

- [1] 李俊星, 杨李益, 云天海. 南瓜加工品开发与利用研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(4): 1-4.
- [2] LI JX, YANG LY, YUN TH. Research progress in the development and utilization of pumpkin processed products [J]. China Cucurb Veg, 2018, 31(4): 1-4.
- [3] 冯爱青, 丁永娟, 刘爽, 等. 不同品种南瓜果实发育过程营养成分的分析[J]. 农业科技通讯, 2018, (9): 152-154.
- [4] FENG AIQ, DING YJ, LIU S, *et al.* Analysis of nutritional components in fruit development of different varieties of pumpkin [J]. Bull Agric Sci Technol, 2018, (9): 152-154.
- [5] 杨晓惠, 韦云路, 李菲, 等. 南瓜活性成分及其深加工食品研究进展[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(7): 4-7.
- [6] YANG XH, WEI YL, LI F, *et al.* Research progress on active ingredients of pumpkin and its deep processed food [J]. Cere Oils, 2021, 34(7): 4-7.
- [7] 李艳红, 段荣芳, 王海娟. 优化南瓜汁制品的工艺探究[J]. 农产品加工, 2023, (13): 30-32.
- [8] LI YH, DUAN RF, WANG HJ. Study on the technology of pumpkin juice beverage [J]. Farm Prod Process, 2023, (13): 30-32.
- [9] 黄玉立, 赵楠, 黄庆, 等. 发酵蔬菜风味物质形成机制及影响因素研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 279-285.
- [10] HUANG YL, ZHAO L, HUANG Q, *et al.* Research progress in formation mechanism and influencing factors of flavor compounds in fermented vegetables [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(24): 279-285.
- [11] 赵杰, 唐琴丽. 发酵蔬菜研究进展[J]. 食品工业, 2023, 44(8): 225-230.
- [12] ZHAO J, TANG QL. Research progress of fermentation vegetables [J]. Food Ind, 2023, 44(8): 225-230.
- [13] PARK JS, NA HS. Development of fermented pumpkin porridge as a meal replacement [J]. Korean J Food Preserv, 2018. DOI: 10.11002/KJFP. 2018.25.5.501
- [14] PARK, EUN J, CORALIA V, *et al.* Fortification of gamma-aminobutyric acid and bioactive compounds in *Cucurbita moschata* by novel two-step fermentation using *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum* [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.065
- [15] DIMITROVSKI D, VETADJOKA MD, HRISTOV H, *et al.* Developing probiotic pumpkin juice by fermentation with commercial probiotic strain *Lactobacillus casei* 431 [J]. J Food Process Preserv, 2021. DOI: 10.1111/jfpp.15245
- [16] 李慧, 赵婧, 陈超, 等. 南瓜汁发酵优良乳酸菌的筛选与鉴定[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(2): 99-102.
- [17] LI H, ZHAO J, CHEN C, *et al.* Isolation and identification of lactobacillus for pumpkin juice fermentation [J]. Food Res Dev, 2014, 35(2): 99-102.
- [18] 彭兴兴, 林伟锋, 陈中. 两株乳杆菌发酵南瓜汁过程中挥发性物质的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 92-97.
- [19] PENG XX, LIN WF, CHEN Z. Study on volatile compounds of fermented pumpkin juice by two *Lactobacillus* [J]. China Brew, 2016, 35(4): 92-97.
- [20] 叶子, 商智勋, 李美奇, 等. 不同品种发酵小米辣品质特性比较与综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 87-95.
- [21] YE Z, SHANG ZX, LI MQ, *et al.* Comparison and comprehensive analysis of quality characteristics of fermented Xiaomila in different cultivars [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(10): 87-95.
- [22] 罗文珊, 张艳, 徐玉娟, 等. 不同芥菜品种对发酵泡菜品质的影响规律[J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 43-55.
- [23] LUO WS, ZHANG Y, XU YJ, *et al.* Effects of different mustard varieties on the quality of fermented pickle [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(5): 43-55.
- [24] 江雪梅, 王锋, 周书栋, 等. 不同辣椒品种对发酵剁辣椒品质及风味的影响[J]. 中国调味品, 2023, 48(4): 1-6.
- [25] JIANG XM, WANG F, ZHOU SD, *et al.* Effects of different chili varieties on the quality and flavor of fermented minced chili [J]. China Cond, 2023, 48(4): 1-6.

- [15] 石彬, 李咏富, 何扬波, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照对“贵长”猕猴桃储藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6042–6048.
- SHI B, LI YF, HE YB, *et al.* Effects of ^{60}Co - γ ray irradiation on storage quality of “Guichang” kiwifruit [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(15): 6042–6048.
- [16] HU QP, XU JG. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(5): 2026–2033.
- [17] TANG W, XING Z, LI C, *et al.* Molecular mechanisms and in vitro antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* MA2 [J]. Food Chem, 2017, 221: 1642–1649.
- [18] 刘薇, 邱乐, 杨婧, 等. ABTS 与邻二氮菲- Fe^{3+} 法测定保健食品抗氧化能力比较分析[J]. 食品工业, 2013, 34(3): 120–124.
- LIU W, QIU L, YANG J, *et al.* Comparisons of the performance of ABTS and (1,10)-2 phenanthroline- Fe^{3+} in antioxidant capacity measuring [J]. Food Ind, 2013, 34(3): 120–124.
- [19] 熊瑛, 寻思颖, 孙棣, 等. 高效液相色谱法测定酸汤中的有机酸[J]. 中国调味品, 2012, 37(7): 71–73.
- XIONG Y, XUN SY, SUN L, *et al.* Determination of organic acids in sour soup by high performance liquid chromatography [J]. China Cond, 2012, 37(7): 71–73.
- [20] 何扬波, 李国林, 李咏富, 等. 红酸汤发酵过程中微生物区系及挥发性物质组成变化分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 177–190.
- HE YB, LI GL, LI YF, *et al.* Analysis of microflora and volatile substances change in red sour soup during fermentation [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(19): 177–190.
- [21] 汪冬冬, 鲍永碧, 管锐, 等. 温度对甘蓝泡菜发酵过程中风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47: 233–240.
- WANG DD, BAO YB, GUAN R, *et al.* Effect of temperature on the flavor of cabbage Paocai during fermentation [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47: 233–240.
- [22] 袁晶, 康三江, 张海燕, 等. 5 种不同益生菌发酵南瓜浆的发酵性能及抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7732–7737.
- YUAN J, KANG SJ, ZHANG HY, *et al.* Study on fermentation performance and antioxidant activity of *Cucurbita moschata* D. pulp fermented by 5 kinds of different probiotics [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(19): 7732–7737.
- [23] RAMESH MN, WOLF W, TEVINI D, *et al.* Microwave blanching of vegetables [J]. J Food Sci, 2002, 67(1): 390–398.
- [24] 乔淑丽, 曹艳玲. 不同品种南瓜果皮、果肉中多酚含量的测定分析[J]. 食品安全导刊, 2019. DOI: 10.16043/j.cnki.cfs.2019.21.071
- QIAO SL, CAO YL. Determination and analysis of polyphenol content in peel and pulp of different varieties of pumpkin [J]. China Food Saf Magaz, 2019. DOI: 10.16043/j.cnki.cfs.2019.21.071
- [25] FULGENTIUS L, AMANDA S, KOONJ S. Determination of radical scavenging activity and total phenols of wine and spices: A randomized study [J]. Antioxidants, 2013, 2(3): 110–121.
- [26] FAVARO G, PASTORE P, SACCANI G, *et al.* Determination of biogenic amines in fresh and processed meat by ion chromatography and integrated pulsed amperometric detection on Au electrode [J]. Food Chem, 2007, 105(4): 1652–1658.
- [27] 邢茜, 陈浩, 曲桂芹, 等. 高效液相法测定市售腌制蔬菜商品中 8 种生物胺的含量[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(5): 161–165.
- XING Q, CHEN H, QU GQ, *et al.* The content of 8 bioamines in pickled vegetables was determined by HPLC [J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(5): 161–165.
- [28] 李伟, 杨敏. 生物胺对食品质量和安全的影响[J]. 食品安全导刊, 2023, (11): 32–35.
- LI W, YANG M. Effects of biogenic amines on food quality and safety [J]. China Food Saf Magaz, 2023, (11): 32–35.
- [29] JIN YH, LEE JH, PARK YK, *et al.* The occurrence of biogenic amines and determination of biogenic amine-producing lactic acid bacteria in kkakdugi and chonggak kimchi [J]. Foods, 2019, 8(2): 73.
- [30] 唐小曼, 唐焱, 张其圣, 等. 传统发酵蔬菜中生物胺的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 345–348.
- TANG XM, TANG Y, ZHANG QS, *et al.* Research progress of biogenic amines in traditional fermented vegetable [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(15): 345–348.
- [31] 曾竟蓝, 马胤鹏, 秦丹, 等. 果酒中有机酸的作用及检测方法研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(6): 183–187.
- ZENG JL, MA YP, QIN D, *et al.* Research on effect and detection method of organic acids in fruit wine [J]. China Brew, 2018, 37(6): 183–187.
- [32] 田晓彩, 尹蓉, 张倩茹, 等. 不同品种红枣发酵酒有机酸及香气成分分析[J]. 食品科技, 2022, 47(9): 257–263.
- TIAN XC, YI R, ZHANG QR, *et al.* Analysis of organic acids and flavoring components in jujube wines produced by different varieties of jujube [J]. Food Sci Technol, 2022, 47(9): 257–263.
- [33] 周春丽, 刘伟, 李慧, 等. 混合菌株发酵南瓜汁及其香气分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 301–310.
- ZHOU CL, LIU W, LI H, *et al.* Mixed culture fermentation of pumpkin juice and its aroma analysis [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(5): 301–310.
- [34] 彭兴兴, 郭巧云, 杨士琳. 发酵过程中南瓜汁挥发性成分的变化[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 8–14.
- PENG XX, GUO QY, YANG SL. The change of volatile compounds in fermented pumpkin juice [J]. Food Res Dev, 2021, 42(15): 8–14.
- [35] 李瑜. 新鲜南瓜和南瓜汁挥发性风味物质的成分比较[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 208–210.
- LI Y. Solid phase microextraction followed by GC-MS analysis of volatile flavor compounds in fresh pumpkin and pumpkin juice [J]. Food Sci, 2010, 31(2): 208–210.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介

冉曜琦, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: 776541025@qq.com

李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: 344856786@qq.com