

陈霖虹, 傅曼琴, 陆胜勇, 等. 不同品种南瓜品质和挥发性成分分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 223–233. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040110

CHEN Linhong, FU Manqin, LU Shengyong, et al. Analysis of Quality and Volatile Components in Different Varieties of Pumpkin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 223–233. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040110

· 分析检测 ·

不同品种南瓜品质和挥发性成分分析

陈霖虹^{1,2}, 傅曼琴^{2,*}, 陆胜勇^{2,3}, 李璐², 钟玉娟⁴, 李俊星⁴, 肖更生^{1,*}

(1.仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510225;

2.广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610;

3.江门市植保有限公司, 广东江门 529000;

4.广东省农业科学院蔬菜研究所, 广东省蔬菜新技术研究重点实验室, 广东广州 510640)

摘要:以 5 个品种南瓜为研究对象, 比较其理化性状、营养成分、总酚及抗氧化活性和挥发性成分间的差异。采用灰色关联分析综合评价了南瓜 9 个主要品质性状; 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法分析南瓜果实挥发性成分, 并对其主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。结果表明, 5 种南瓜的干物质、肌醇、抗坏血酸含量分别介于 36.95%~50.91%、1.48~17.02 mg/g 和 2.17~15.26 mg/100 g, 均表现为香缘早最高, 221-09 最低; 香缘早的 pH (7.95) 和蔗糖含量最高 (52.04 mg/g)、总酸含量最低 (7.54 mg/kg), 而黑小宝 pH (7.26) 和蔗糖最低 (20.17 mg/g)、总酸最高为 29.75 mg/kg; 淀粉含量介于 1.06%~3.65%, 表现为 221-09 最高而黑小宝最低; 果糖、葡萄糖含量分别介于 21.39~57.97 mg/g 和 15.74~39.51 mg/g, 均为 221-09 最高而香缘早最低; 总酚含量、DPPH 值和 ABTS 值分别介于 2.44~3.00 mg GAE/g、0.15~0.33 mg TE/g 和 0.09~0.25 mg TE/g 之间, 均为 221-09 含量最高而香缘 1 号最低。灰色关联分析结果表明, 香缘早位列第一, 其次为 221-09, 综合品质优。5 种南瓜共检测出 50 种挥发性成分, PCA 分析发现香缘早香气成分最丰富且与其余品种具有显著性差异。相对香气活度值大于 1 的风味成分有 1-辛烯-3 醇、芳樟醇、2-甲基-2-丁醛、己醛、青叶醛、壬醛、反式-2-壬醛、3, 5-辛二烯-2-酮、 β -紫罗酮, 确定其为关键香气成分。本研究结果可为南瓜优良育种、品质评价、加工及产品开发提供参考依据。

关键词:南瓜, 品质, 挥发性成分, 灰色关联分析

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)05-0223-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040110



本文网刊:

Analysis of Quality and Volatile Components in Different Varieties of Pumpkin

CHEN Linhong^{1,2}, FU Manqin^{2,*}, LU Shengyong^{2,3}, LI Lu², ZHONG Yujuan⁴, LI Junxing⁴, XIAO Gengsheng^{1,*}

(1. Food College of Light Industry, Zhongkai College of Agricultural Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China;

3. Jiangmen Plant Protection Co., Ltd., Jiangmen 529000, China;

4. Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key Laboratory for New Technology Research of Vegetables, Guangzhou 510640, China)

收稿日期: 2023-04-16

基金项目: 广东省农业科学院食品营养与健康研究中心建设运行经费 (XTXM 202205); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (2023KJ110); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020220003); 广东省农业科学院 (R2020PY-JX011, 202109TD)。

作者简介: 陈霖虹 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 873498743@qq.com。

*** 通信作者:** 傅曼琴 (1985-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: fumanqin84@126.com。

肖更生 (1965-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 果蔬精深加工, E-mail: guoshuxgs@163.com。

Abstract: Five varieties of pumpkins were used as the research objects to compare their physical and chemical properties, nutritional components, total phenols, antioxidant activity and volatile components. Grey correlation analysis was used to comprehensively evaluated the nine main quality characters of pumpkins, the volatile components of pumpkins were analyzed by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, and principal component analysis (PCA) was carried out. The results showed that the contents of dry matter, inositol and ascorbic acid in the five kind of pumpkins ranged from 36.95% to 50.91%, 1.48 to 17.02 mg/g and 2.17 to 15.26 mg/100 g, respectively, all of which were the highest value in Xiangyuanzao and the lowest value in 221-09. Xiangyuanzao had the highest pH value (7.95) and sucrose content (52.04 mg/g), the lowest value of total acid content (7.54 mg/kg), while Heixiaobao had the lowest pH value (7.26) and sucrose content (20.17 mg/g), and the highest value of total acid was 29.75 mg/kg. Starch content ranged from 1.06% to 3.65%, showing that 221-09 was the highest and Heixiaobao was the lowest. Fructose and glucose contents were ranged from 21.39 to 57.97 mg/g and 15.74 to 39.51 mg/g, respectively, both of which were the highest value in 221-09 and the lowest value in Xiangyuanzao. The total phenol content, DPPH value and ABTS value ranged from 2.44 to 3.00 mg GAE/g, 0.15 to 0.33 mg TE/g and 0.09 to 0.25 mg TE/g, respectively, the content of 221-09 was the highest and Xiangyuanyihao was the lowest. The results of grey correlation analysis showed that the Xiangyuanzao edge ranked first, with excellent overall quality, followed by 221-09. A total of 50 volatile aroma components were detected in 5 kinds of pumpkins. PCA analysis found that the Xiangyuanzao components were the most abundant and significantly different from other varieties. The flavor components with relative aroma activity value (ROAV) greater than 1 were 1-octene-3 alcohol, linalool, 2-methyl-2-butenal, hexanal, (E)-2-hexenal, nonanal, (E)-2-nonenal, (E,E)-3,5-octadien-2-one and beta-ionone, which were determined as the key aroma components. The results of this study can provide a reference for the excellent breeding, quality evaluation, processing and product development of pumpkin.

Key words: pumpkin; quality; volatile components; grey correlation analysis

南瓜(*Cucurbita moschata* D.)为葫芦科(*Cucurbitaceae*)南瓜属(*Cucurbita*)一年蔓生草本植物,起源于美洲。南瓜的环境适应能力强,易于栽培,因此在我国南北方均有着广泛的种植区域^[1-2]。目前,世界南瓜产量约为 2700 万吨,中国产量占世界总产量一半^[3]。《本草纲目》中记载,南瓜性味甘温,有补中益气、消炎止痛、解毒杀虫、明目定睛等功效^[4]。南瓜兼食用、药用、保健和观赏价值为一体,其中果实主要被用作于粮食,果实中的主要成分为淀粉及其他糖类物质,同时富含维生素 C、肌醇等生物活性及营养成分,具有很高的食用及药用价值,开发价值与市场前景广阔。

南瓜果实中的淀粉和可溶性固形物含量受到多基因的共同调控,马玮等^[5]的研究表明,二者在果实的生长发育及采后各个时期均存在着密切的转化关系,对于果实的风味、口感和营养价值起着重要的作用,也是评价南瓜品质的重要指标。南瓜作为具有降血糖功效的食物之一^[6],已有研究表明其降糖功效与其糖分及肌醇之间的比例有着重大关系^[7]。肌醇是南瓜果实中降血糖的主要功能成分,属 B 族维生素,能够促进新陈代谢与发育、抑制胆固醇生成及动脉硬化^[8],不同南瓜品种中肌醇含量差异较大,筛选出富含肌醇的南瓜品种对其深加工及开发利用有着重要意义。挥发性成分能够客观地反映出果实的风味特点,是果实风味品质重要指标之一。南瓜具有特殊的清香味,由于供试材料的差异,其结果也不尽相同,但都表现为以醛类、醇类、酮类为主^[9-10]。

目前对于南瓜的研究还较多集中在品种的选育、栽培技术与南瓜加工品开发与利用方面上,因而培育出具有高营养价值的特色南瓜品种成为南瓜育

种的重点方向。本研究以黑小宝、香缘早、香缘 1 号、221-08、221-09 这 5 个南瓜品种为研究对象,对南瓜果肉的品质指标包括干物质、淀粉、pH、总酸、肌醇、抗坏血酸、糖类化合物和总酚、抗氧化活性及挥发性成分进行分析对比,进而挑选出综合品质最优的南瓜品种,以期对南瓜品种的选育及其深加工提供一定的理论参数和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

本研究所用南瓜 均为广东省农业科学院蔬菜研究所自行选育,名称或编号为黑小宝、香缘早、香缘 1 号、221-08 和 221-09 这 5 个品种的成熟南瓜,采收于广东省农业科学院蔬菜研究所白云基地,室温贮藏;无水乙醇(分析纯)、无水甲醇(分析纯)、乙腈(色谱级)、甲醇(色谱级)、酚酞 天津大茂化学试剂公司;氢氧化钠、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS) 上海麦克林生化科技有限公司;偏磷酸、Trolox(维生素 E 衍生物) 天津科密欧化学试剂有限公司;碳酸钠、过硫酸钾 天津福晨化学试剂厂;果糖、葡萄糖、蔗糖、抗坏血酸、肌醇、没食子酸等标准品、Folin-Ciocalteu 试剂 上海源叶生物科技有限公司;28 种烷烃混标(C₅~C₃₂) 上海安谱瑾氏标准技术服务有心公司。

ME204 电子分析天平、101-3ABS 电热鼓风干燥箱 上海科恒实业发展有限公司;HWS-26 电热恒温水浴锅 上海恒科学仪器有限公司;PBJ-S03E 不锈钢破壁料理机 江门市贝尔斯顿电器有限公司;DL-800B 超声波清洗器 上海之信仪器有限公司;

JW-1042 型离心机 安徽嘉文仪器装备有限公司; LC-20AT 高效液相色谱、UV-1800 紫外可见分光光度计 日本岛津公司; pH 计 梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司; DRC-1000REC 冻干机 东京理化器械株式会社; SB-1300 旋转蒸发仪 广州腾朗科技仪器有限公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 上海力辰邦西仪器科技有限公司; GC-MS 7890-5977B-ODP 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 南瓜果实理化性状指标测定 果实干物质含量根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行测定; 淀粉含量参照 GB 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中酶水解法进行测定; pH 采用 pH 计在室温下测定; 总酸含量参照 GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中酸碱指示剂滴定法进行测定。

糖类化合物含量采用高效液相色谱法测定^[11]。试样制备: 取南瓜果浆 1.0 g 与 2 mL 蒸馏水混合均匀, 超声处理 15 min, 10000 r/min 离心 10 min, 取上清液用一次性注射器通过 0.22 μm 水系膜注入 1.5 mL 液相瓶。色谱条件: 色谱柱为 Shodex Asahipak NH₂P-50 4E(4.6 mm $\times$ 250 mm), 检测器为蒸发光(ELSD)检测器, 柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 漂移管温度为 50 $^{\circ}\text{C}$, 流动相为 70% 乙腈, 流速 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL 。标准品为果糖、葡萄糖、蔗糖 3 种糖类物质, 果糖标准曲线为: $y=336700x-16104$, $R^2=0.9992$; 葡萄糖标准曲线为: $y=301913x-138990$, $R^2=0.9991$; 蔗糖标准曲线为: $y=373324x-112774$, $R^2=0.9997$ 。

1.2.2 南瓜果实营养成分测定 肌醇含量使用高效液相色谱法来进行测定。试样制备及色谱条件同糖类化合物。标准曲线为: $y=2000000x-231545$, $R^2=0.9941$ 。

抗坏血酸含量采用高效液相色谱法进行测定。试样制备: 取南瓜果肉 100 g 左右, 加入等质量的 20 g/L 的偏磷酸溶液, 均质混匀。取 2 g 混合均匀的匀浆试样用 20 g/L 的偏磷酸溶液于 50 mL 容量瓶定容, 之后至离心管内超声提取、离心, 将上清液过 0.45 μm 水相滤膜, 得到抗坏血酸待测液。色谱条件: C₁₈ 色谱柱(4.6 $\times$ 250 mm, 5 μm), 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$; 二极管阵列检测器 PDA, 检测波长为 254 nm; 流动相: 0.1% 的 (NH₄)₂HPO₄, 调节至 pH 至 2.7; 流速: 1.0 mL/min; 进样量: 10 μL 。标准曲线为: $y=26889x-61228$, $R^2=0.9984$ 。

1.2.3 南瓜果实总酚和抗氧化活性测定

1.2.3.1 总酚含量测定 参考 Yu 等^[12]的方法提取总酚并稍作修改: 准确称取 1 g 南瓜果肉冻干粉末置于烧杯中, 用 70% 乙醇溶液在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下搅拌提取三次, 合并提取液, 随后将上清液使用旋转蒸发仪蒸发至干燥, 最后用甲醇将提取液定容至 10 mL。取稀释

后的提取液 1 mL, 加入 2 mL 50% Folin-Ciocalteu 试剂, 振荡混合, 再加入 2 mL 10% 碳酸钠溶液, 避光放置 1 h, 测定 760 nm 处吸光值。

1.2.3.2 抗氧化活性的测定 DPPH 自由基清除率: 参考 Arise 等^[13]的方法进行测定并做适当修改。将 DPPH 溶于 80% 甲醇中, 至其最终浓度为 100 $\mu\text{mol/L}$, 避光保存备用。取 0.4 mL 的待测液与 0.6 mL 的 DPPH 溶液于试管中避光反应 30 min, 于 517 nm 下测定其吸光度; 以 Trolox 为标准品, 测定不同浓度 Trolox 对 DPPH 自由基的清除率并绘制标准曲线 ($y=0.0144x+0.0148$, $R^2=0.9967$), 结果以 Trolox 当量 (mg TE/g) 表示。

ABTS⁺自由基清除率: 参考 Feng 等^[14]的方法进行测定并做适当修改。取 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液与 7 mmol/L ABTS 溶液按体积比 1:1 混合, 记为 ABTS 储备液。将其置于避光条件下反应 12 h 后, 用 80% 甲醇稀释至其在 734 nm 波长下的吸光度为 0.70 ± 0.02 , 得到 ABTS 工作液。取 0.4 mL 待测液, 加入 3.6 mL ABTS 工作液, 摇匀后在避光条件下反应 30 min, 于波长 734 nm 下测定其吸光度; 以 Trolox 为标准品, 通过测定其不同浓度与清除率绘制标准曲线 ($y=0.0188x+0.0016$, $R^2=0.9986$), 结果以 Trolox 当量 (mg TE/g) 表示。

1.2.4 品质指标的灰色关联分析 5 个不同品种南瓜果实的 9 个品质指标包括干物质、淀粉、pH、总酸、肌醇、抗坏血酸、糖类化合物、总酚、抗氧化活性。参考任凯丽等^[15]的方法, 计算出 5 个南瓜品种的等权关联度和加权关联度。

1.2.5 南瓜果实挥发性成分分析 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱法(GC-MS)检测南瓜的挥发性成分含量。参考 Verzera 等^[16]的方法, 并略作修改。取 4.0 g 南瓜果肉浆, 置顶空瓶中, 加入 1.2 g NaCl, 40 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴, 磁力搅拌转速 150 r/min, 在恒温加热磁力搅拌器中平衡 10 min 后, 将萃取针插入顶空瓶中萃取吸附 40 min, 最后将吸附完成的萃取头拔出并插入到 GC-MS 进样器中, 同时启动仪器采集数据, 解吸 5 min。

色谱条件: DB-5 MS 色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 载气: He, 流速为 1.0 mL/min。进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 手动进样且不分流; 程序升温: 柱初温 45 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升到 140 $^{\circ}\text{C}$, 再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升到 220 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min。

质谱条件: 电离方式为电子轰击离子源(Electron impact ion source); 电离电压 70 eV; 传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 电子倍增器电压 1353 V; 四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; 质量扫描范围 33~50 u。

定性: 以 C₅~C₃₂ 饱和烷烃作为标准, 用相同的升温程序对正构烷烃进行性分离与测定, 并计算测试样品中各组分的保留指数(Retention indices, RI), 结合计算机 NIST 14.0 库进行相似度检索及参考文献

和数据库中相关物质的保留指数进行共同定性。

$$RI = 100N + 100n(t_{R_n} - t_{R_N}) / (t_{R(N+n)} - t_{R_N})$$

式中, N 为色谱图中位于目标物质左侧正构烷烃的碳原子数, n 为位于目标物质两侧的正构烷烃碳原子数之差, t_{R_n} 、 t_{R_N} 和 $t_{R(N+n)}$ 分别是色谱图中待测物质、待测物质左侧、待测物质右侧正构烷烃的保留时间。

定量: 相对含量按照峰面积归一化法计算, 求出各个挥发性成分的相对含量。

1.2.6 相对气味活度值测定 参考 Liang 等^[17] 的计算方法, 采用相对气味活度值(Relative odor activity value, ROAV)评价各挥发性成分对南瓜果肉风味的贡献, 将样品风味贡献最大的组分设为 $ROAV_{\max} = 100$, 其他挥发性成分由以下公式计算:

$$ROAV = \frac{C_A}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_A} \times 100$$

其中: C_A 为各风味组分的相对百分含量(%); T_A 为各风味组分的感觉阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$); C_{stan} 为对样品风味贡献最大的风味组分的相对百分含量(%); T_{stan} 为对样品风味贡献最大的风味组分的感觉阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$)。

1.3 数据处理

所有实验处理均重复 3 次, 结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示; 采用 Microsoft Excel 2019 计算 5 个南瓜品种的 9 个品质指标的关联系数及关联度, 分析香气成分的相对含量; 采用 Origin 2018 与 SIMCA 13.0 绘图; 数据运用 SPSS 26.0 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种南瓜果实理化性状指标比较

不同品种南瓜的果实理化性状结果如表 1 所示。5 个南瓜品种中, 除黑小宝与 221-09 的干物质含量之间无显著性差异($P>0.05$), 其余各个指标之间差异显著($P<0.05$)。由表 1 可知, 香缘早的干物质含量最高, 为 50.91%, 221-09 干物质含量最低(36.95%)。干物质含量直接影响着南瓜果肉的干湿度。干物质含量越低, 水分含量则越高, 南瓜果肉则表现为更湿润, 风味更淡。相反, 干物质含量越高, 南瓜果肉的口感及风味则更好^[18]。

在 5 个不同品种南瓜当中, 221-09 南瓜的淀粉

表 1 不同品种南瓜果实理化性状指标

Table 1 Physical and chemical properties of different varieties of pumpkin fruits

南瓜品种	干物质含量(%)	淀粉含量(%)	pH	总酸(mg/kg)
黑小宝	38.50 $\pm$ 1.58 ^d	1.06 $\pm$ 0.04 ^e	7.26 $\pm$ 0.01 ^e	29.75 $\pm$ 0.22 ^a
香缘早	50.91 $\pm$ 2.20 ^a	2.51 $\pm$ 0.02 ^c	7.95 $\pm$ 0.02 ^a	7.54 $\pm$ 1.37 ^e
香缘1号	46.63 $\pm$ 1.91 ^b	2.72 $\pm$ 0.08 ^b	7.55 $\pm$ 0.01 ^c	18.65 $\pm$ 1.37 ^c
221-08	42.88 $\pm$ 1.55 ^c	1.34 $\pm$ 0.06 ^d	7.70 $\pm$ 0.01 ^b	11.50 $\pm$ 0.69 ^d
221-09	36.95 $\pm$ 1.96 ^d	3.65 $\pm$ 0.07 ^a	7.40 $\pm$ 0.01 ^d	19.84 $\pm$ 3.44 ^b

注: 同一列不同小写字母表示品种间差异显著, $P<0.05$ 。

含量最高, 为 3.65%, 黑小宝品种南瓜的淀粉含量最低, 为 1.06%。淀粉是植物体内重要储能物质, 主要包括直链淀粉和支链淀粉。对于果肉硬度的保持也有着重要作用, 南瓜果肉淀粉含量与其面度、糯性、质地关系密切。淀粉含量较低时果肉较粗、无弹性, 淀粉含量较高时表现为粉糯。因此, 淀粉含量越高, 越能符合人们对南瓜口感“粉、面”的要求, 品质更佳。

如表 1 所示, 5 个品种南瓜的 pH 为 7.26~7.95, 均呈中性; 总酸含量具有显著性差异($P<0.05$), 其中黑小宝的总酸含量最高, 为 29.75 mg/kg, 香缘早的总酸含量最低(7.54 mg/kg)。在前人的研究结果中可以发现, 总酸含量与南瓜品质的关系呈负相关^[19], 因此可知, 总酸含量越低, 南瓜果实整体品质则越优。

糖度是衡量果实品质的重要指标^[20], 果实内积累的可溶性固形物主要由果糖、葡萄糖、蔗糖等可溶性糖类物质组成, 在果实品质成分和风味物质合成中具有重要作用^[21]。有研究表明, 南瓜果实中的淀粉和可溶性固形物之间存在着相互转化的关系, 与糖类物质在南瓜体内的合成、运输以及代谢调控有关^[22], 共同影响着南瓜果实的风味和口感。如图 1 所示, 除香缘早与 221-08 果糖含量之间无显著性差异($P>0.05$), 其余品种南瓜果肉中的果糖、葡萄糖、蔗糖含量之间具有显著性差异($P<0.05$)。其中果糖和葡萄糖含量最高的是 221-09, 分别为 57.97 和 39.51 mg/g; 而蔗糖含量最高的是香缘早为 52.04 mg/g。在 Darudi 等^[23] 对于中国南瓜和其可溶性固形物含量的研究中发现, 中国南瓜果实的质量、厚度及产量等性状与其可溶性固形物含量呈显著正相关关系。且蔗糖对于南瓜果实的甜度影响最大, 也是合成果实淀粉和挥发性成分的基础, 表明蔗糖含量是南瓜果实口感品质的关键因素^[24-25], 因此, 香缘早中蔗糖含量显著高于其余品种, 可以推测香缘早果肉甜度最高, 口感品质最优。

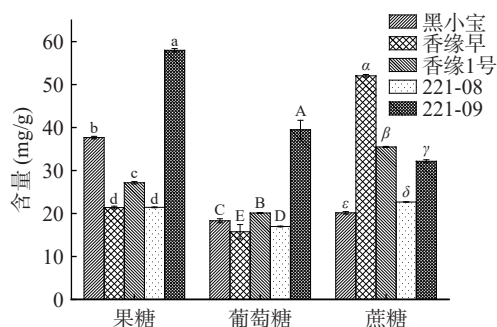


图 1 不同品种南瓜果实糖类化合物含量

Fig.1 Content of carbohydrate compounds in different varieties of pumpkin fruits

注: 不同样品同一系列字母不同代表组间具有显著性差异, $P<0.05$; 图 2~图 3 同。

2.2 不同品种南瓜果实营养成分比较

南瓜肌醇类物质含量丰富, 具有降脂、降糖功效, 在血糖调控的信号传递中起到重要作用^[26]。

Xia 等^[27]研究证明了南瓜肌醇具有降糖的功能,且不需要经过酸解,只需直接食用就可以达到降糖作用^[28]。由图 2A 可知,不同品种南瓜的肌醇类物质存在显著性差异($P<0.05$)。香缘早中肌醇含量最高,为 17.02 mg/g,其次是香缘 1 号(14.32 mg/g),含量最少的是 221-09,仅为 1.48 mg/g。与杨红娟等^[29]研究选育出的富肌醇南瓜品种的肌醇含量为 16.44 mg/g 相比,香缘早也属于富肌醇南瓜品种之一。

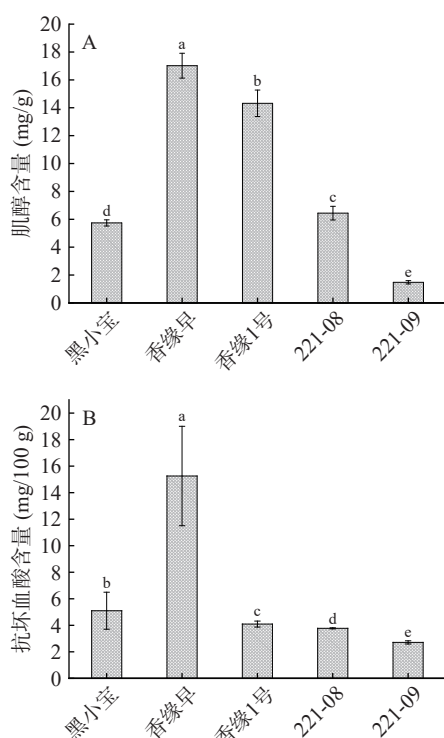


图2 不同品种南瓜果实肌醇(A)和抗坏血酸(B)含量
Fig.2 Inositol (A) and ascorbic acid (B) content of different varieties of pumpkin fruits

5 种南瓜果肉的抗坏血酸含量差异性显著($P<0.05$)。如图 2B 所示,香缘早果肉中抗坏血酸含量最高,为 15.26 mg/100 g,其次是黑小宝(5.10 mg/100 g),221-09 则最低,为 2.17 mg/100 g。抗坏血酸含量对于南瓜的口感的影响不明显,但是当其含量低于 10 mg/100 g 时,南瓜的各项营养指标含量都会偏低^[18]。因此抗坏血酸含量越高,南瓜果实整体品质越佳。

2.3 不同品种南瓜果实总酚和抗氧化活性比较

水果和蔬菜中的酚类物质属于对人体健康有益的主要生物活性化合物,有利于预防疾病和增强免疫系统^[30]。不同南瓜品种总酚的含量如图 3A 所示,黑小宝总酚含量显著高于香缘早、香缘 1 号和 221-08,但显著低于 221-09($P<0.05$)。221-09 总酚含量最高,为 3.00 mg GAE/g,其次为黑小宝(2.74 mg GAE/g),香缘 1 号的总酚含量最低,为 2.44 mg GAE/g。锁冠文^[31]对超声波处理后的南瓜汁进行测定,总酚含量介于 2.03~2.46 mg GAE/g,与本文实验结果相接近。

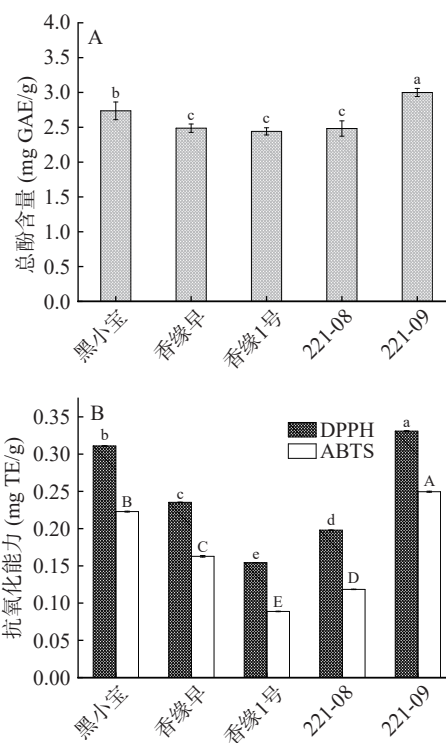


图3 不同品种南瓜果实总酚含量(A)、DPPH 值和 ABTS 值(B)

Fig.3 Total phenols content (A), DPPH value and ABTS value (B) of different varieties of pumpkin fruits

南瓜果肉中的酚类活性物质与其抗氧化活性相关。采用 DPPH 自由基清除法、ABTS⁺自由基清除法 2 种方法来评估 5 个品种南瓜果肉的抗氧化能力,结果如图 3B 所示,不同南瓜品种的抗氧化能力具有显著性差异($P<0.05$)。其中,221-09 品种南瓜 DPPH 和 ABTS 值最高,分别为 0.33 和 0.25 mg TE/g,香缘 1 号 DPPH 和 ABTS 值最低,分别为 0.15 和 0.09 mg TE/g。DPPH 与 ABTS 值抗氧化能力的结果相一致,且与总酚含量结果相似,这是由于水果和蔬菜当中的总酚含量与抗氧化活性之间存在一定线性关系^[32],但由于不同品种南瓜中所含多酚的种类及含量不同,造成总酚与抗氧化能力的趋势不完全相同,另外南瓜提取液中可能含有一些其他的抗氧化物质,具有清除自由基的效果^[33]。其抗氧化活性能力顺序均为: 221-09>黑小宝>香缘早>221-08>香缘 1 号。

2.4 5 个不同品种南瓜 9 个品质指标的灰色关联度分析

对 5 个品种南瓜的 9 个品质指标进行灰色关联分析,干物质、淀粉、糖类化合物、肌醇、抗坏血酸、总酚含量和抗氧化能力越高,南瓜综合品质则越好,因此选用最大值组成参考数列的最优值;5 个品种南瓜 pH 均为中性,故最小值为最优值;总酸与南瓜品质呈负相关,在一定程度上越低越好,因此以最小值为最优值作为参考数列。等权关联度和加权关联度结果见表 2,各个品种南瓜关联度大小分别代表其品质性状的优劣,关联度越大,综合品质越优。

表2 不同品种南瓜 9 个品质指标的灰色关联度

Table 2 Grey correlation of nine quality indicators of different varieties of pumpkins

品种	等权关联度	排名	加权关联度	排名
黑小宝	0.6021	3	0.6284	4
香缘早	0.7706	1	0.9234	1
香缘1号	0.5873	4	0.6708	3
221-08	0.5387	5	0.5918	5
221-09	0.7699	2	0.8107	2

从表2可知,5个不同品种南瓜综合品质性状的等权关联度大小排序为香缘早>221-09>黑小宝>香缘1号>221-08,综合品质性状的加权关联度大小排序为香缘早>221-09>香缘1号>黑小宝>221-08。等权关联度与加权关联度2种方法的南瓜品种排名基本相同,香缘早排名均为第一,等权关联度为0.7706,加权关联度为0.9234。其次为221-09,排名最后的为221-08。9个品质指标的灰色关联度分析结果表明香缘早是其中优异南瓜品种资源。

2.5 挥发性成分

挥发性有机化合物对人体健康有着积极的益处,果实挥发性成分是果实独特风味的重要组成,是

影响果实品质及消费者喜好程度的关键因素^[34]。利用GC-MS对5个南瓜品种果肉中的挥发性成分进行检测和分析,采用NIST 14.0谱库及正构烷烃混合物计算保留指数(RI)分别对各个色谱峰进行相似度检索比较,并选择匹配度高的检索结果作为有效香气物质,使用面积归一化法计算各个挥发性成分相对百分含量。

2.5.1 不同品种南瓜挥发性成分的GC-MS分析

由图4、表3可知,5种南瓜果肉共检测出50种挥发性成分,包括醛类21种、醇类13种、酮类8种、烃类5种、烷类2种和其他类1种共6大类。其中醛类物质种类最多,包括反式丁烯醛、2-甲基-2-丁醛、2-甲基-2-丁烯醛、己醛等。醇类物质次之,主要有己醇、1-辛烯-3-醇等。说明醛类和醇类是南瓜果肉中主要挥发性成分,这与陈敏氢等^[35]的研究结果相似。比较同类物质不同品种发现,己醇、2-甲基-2-丁醛、D-柠檬烯和3-辛酮在同类物质中含量最高,同时2-甲基-2-丁醛在黑小宝与221-09整体挥发性成分含量中最高,分别为41.17%和27.92%。5个南瓜品种中同时被检测到且相对含量均超过2%的物质有1-辛烯-3-醇、己醛、D-柠檬烯和3-辛酮。

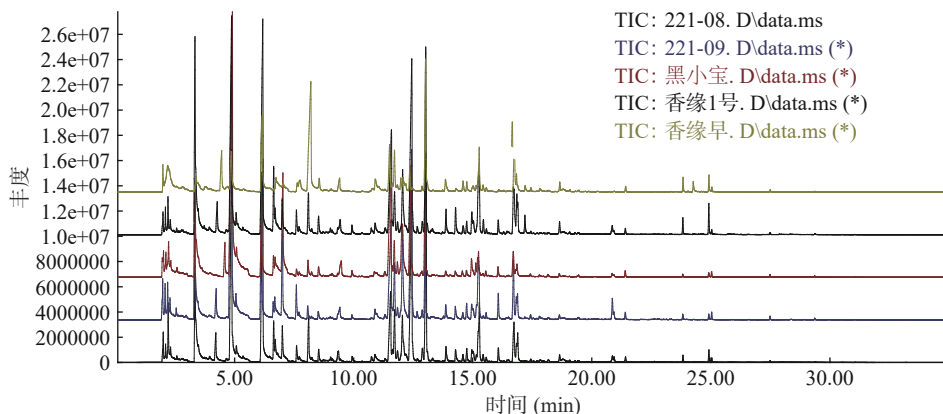


图4 不同品种南瓜 GC-MS 总离子流图

Fig.4 GC-MS total ion current map of different varieties of pumpkins

表3 不同品种南瓜果肉挥发性成分 GC-MS 分析

Table 3 GC-MS analysis of volatile components in pumpkin pulp of different cultivars

序号	类别	化合物	保留指数(RI)		保留时间 (min)	CAS号	相对含量(%)				
			计算值	参考值			黑小宝	香缘草	香缘1号	221-08	221-09
1	醇类	乙醇	426	427	2.217	000064-17-5	3.02±0.00	8.31±0.02	—	3.60±0.01	—
2		3-己烯-1-醇	844	853	7.723	000928-96-1	0.42±0.00	2.20±0.00	0.76±0.00	0.67±0.00	—
3		己醇	858	861	8.114	000111-27-3	0.85±0.00	17.82±0.02	2.26±0.00	2.88±0.00	0.72±0.00
4		环己醇	874	876	8.536	000108-93-0	0.83±0.00	1.44±0.00	1.07±0.00	0.87±0.00	0.46±0.00
5		1-辛烯-3-醇	979	978	11.540	003391-86-4	8.36±0.04	4.50±0.00	9.96±0.02	6.32±0.01	10.63±0.00
6		3-辛醇	994	995	11.981	000589-98-0	—	0.96±0.00	—	—	—
7		苯甲醇	978	971	13.290	000100-52-7	—	—	0.35±0.00	—	—
8		芳樟醇	1101	1100	15.145	000078-70-6	0.51±0.00	0.46±0.00	—	0.38±0.00	—
9		2,6-二甲基环己醇	1111	1110	15.454	005337-72-4	—	—	0.50±0.00	—	—
10		顺-3-壬烯-1-醇	1156	1156	16.741	010340-23-5	—	4.67±0.00	—	3.10±0.00	—
11		3,6-亚壬基-1-醇	1160	1156	16.843	056805-23-3	—	1.67±0.00	2.75±0.01	—	—
12		(Z)-6-壬烯-1-醇	1172	1175	17.194	035854-86-5	—	—	0.95±0.00	—	—
13		4-萜烯醇	1181	1179	17.431	000562-74-3	—	—	—	—	0.11±0.00

续表 3

序号	类别	化合物	保留指数(RI)		保留时间 (min)	CAS号	相对含量(%)					
			计算值	参考值			黑小宝	香缘草	香缘1号	221-08	221-09	
14	醛类	反式丁烯醛	624	638	3.383	000123-73-9	—	—	17.18±0.01	7.28±0.06	6.66±0.06	
15		巴豆醛	635	644	3.586	004170-30-3	4.95±0.07	—	—	—	3.43±0.06	
16		2-甲基-2-丁醛	705	719	4.844	000497-03-0	38.42±0.04	2.83±0.03	11.00±0.10	—	26.09±0.00	
17		2-甲基-2-丁烯醛	708	722	4.899	001115-11-3	—	5.16±0.00	—	21.53±0.12	—	
18		3-甲基-2-丁醛	721	737	5.071	000107-86-8	—	—	1.69±0.00	—	1.34±0.01	
19		己醛	777	780	6.157	000066-25-1	8.35±0.01	13.85±0.04	16.71±0.03	16.21±0.03	12.84±0.02	
20		2-乙基丁烯醛	802	—	6.633	019780-25-7	—	—	—	—	0.87±0.00	
21		反式-2-乙基-2-丁烯醛	803	—	6.644	063883-69-2	1.03±0.00	—	—	1.95±0.00	—	
22		2-甲基-2-戊烯醛	817	826	7.012	000623-36-9	9.27±0.02	—	1.98±0.00	3.00±0.00	6.56±0.00	
23		青叶醛	839	847	7.610	006728-26-3	0.58±0.00	0.90±0.00	1.23±0.00	0.95±0.00	2.55±0.01	
24		庚醛	893	899	9.035	000111-71-7	—	—	0.27±0.00	0.25±0.00	—	
25		2-乙基-2-戊烯醛	925	—	9.938	003491-57-4	—	—	0.43±0.00	0.34±0.00	0.30±0.00	
26		(E)-2-庚烯醛	952	957	10.748	018829-55-5	—	—	0.42±0.00	—	—	
27		苯甲醛	958	959	10.914	000100-52-7	1.04±0.00	2.91±0.00	1.14±0.00	1.17±0.00	1.12±0.01	
28		正辛醛	1001	1002	12.189	000124-13-0	—	0.76±0.00	—	—	—	
29		(E)-十三碳-2-烯醛	1057	—	13.868	007069-41-2	—	—	—	—	0.51±0.00	
30		反-2-辛烯醛	1058	1058	13.879	002548-87-0	—	—	1.23±0.00	—	—	
31		(Z)-6-壬烯醛	1104	1094	15.238	002277-19-2	—	—	5.89±0.01	—	5.60±0.01	
32		壬醛	1105	1108	15.263	000124-19-6	2.29±0.01	3.99±0.00	—	3.98±0.00	—	
33		反式-2-壬醛	1161	1161	16.878	018829-56-6	1.07±0.00	—	—	1.67±0.01	1.22±0.01	
34		2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	1146	1152	18.648	000432-25-7	0.17±0.00	0.66±0.00	0.51±0.00	0.20±0.00	0.15±0.00	
35		7-甲基-3,4-辛二烯	1017	—	12.661	037050-05-8	—	—	—	—	0.46±0.00	
36		对伞花烃	1024	1023	12.871	000099-87-6	—	0.40±0.58	—	—	—	
37		炔类	3,7,7-三甲基-1,3,5-环庚三烯	1024	—	12.878	003479-89-8	—	—	—	—	0.39±0.00
38		邻-异丙基苯	1024	1023	12.885	000527-84-4	—	—	0.66±0.00	0.74±0.00	—	
39		D-柠檬烯	1029	1032	13.010	005989-27-5	5.10±0.01	10.56±0.02	10.25±0.02	10.11±0.02	4.90±0.01	
40		3-辛酮	985	985	11.712	000106-68-3	2.79±0.01	3.64±0.00	2.17±0.01	2.95±0.00	3.62±0.00	
41		2,5-辛二酮	982	985	11.628	003214-41-3	—	0.83±0.00	—	—	—	
42		3,5-辛二烯-2-酮	1077	1076	14.433	038284-27-4	1.57±0.00	—	3.00±0.00	1.13±0.00	—	
43	酮类	2,6,6-三甲基-2-环己基-1,4-二酮	1224	1224	16.444	001125-21-9	—	—	0.06±0.00	—	—	
44		5,6,7,7a-四氢-3,6-二甲基-2(4H)-苯并呋喃酮	1307	—	20.862	075684-66-1	—	—	—	—	1.02±0.00	
45		α-紫罗酮	1436	1437	23.829	000127-41-3	0.23±0.00	0.87±0.00	0.67±0.00	0.32±0.00	0.18±0.00	
46	香叶基丙酮	1459	1455	24.264	003796-70-1	—	0.78±0.00	—	—	—		
47	β-紫罗酮	1493	1491	24.919	000079-77-6	0.37±0.00	1.08±0.00	1.26±0.00	0.59±0.00	0.17±0.00		
48	烷类	环癸烷	1058	—	13.879	000293-96-9	—	—	—	0.83±0.00	—	
49		2-乙基-1,6-二氧螺环[4.4]-壬烷	1087	1082	14.749	038401-84-2	—	0.78±0.00	—	—	—	
50	其他类	甲氧基苯基肼	906	—	9.400	1000222-86-6	2.11±0.00	1.46±0.00	1.28±0.00	1.17±0.01	1.55±0.00	
合计							93.33±1.09	93.49±1.87	97.63±0.40	94.19±0.39	93.45±0.30	

注: “—”表示未检出,保留指数(RI)参考值来源于NIST网站(<https://webbook.nist.gov/chemistry/cas-ser/>)。

2.5.2 不同品种南瓜挥发性成分种类组成及相对含量 由图 5A 可知,从种类数量上看,黑小宝、香缘早、香缘 1 号、221-08 和 221-09 分别共检测出 22、26、29、27、27 种挥发性成分,除香缘早外,其余四种南瓜醛类物质数量明显高于其他类物质,是重要的挥发性成分。由图 5B 可知,从相对含量上看,同一品种不同物质之间,醛类和醇类物质相对含量均显著高于另外三种物质($P<0.05$),醛类物质含量基本最高,占挥发性成分总量的 31.06%~69.24%;其次是醇类,占总量的 11.92%~42.03%,在整个分类物质中占据

较大比重,说明了醛类和醇类物质是南瓜果肉中主要的挥发性成分。在同种类物质不同品种南瓜之间,仅香缘早中醇类物质相对含量显著高于其余四种品种($P<0.05$),相对含量为 42.03%,醇类物质带有特殊花果香气特征,且阈值较小,对南瓜整体风味起积极的作用^[36],显著提高香缘早中花果香气成分。黑小宝、香缘 1 号、221-08 和 221-09 四种南瓜中醛类物质相对含量均超过 55%,其中 221-09 的醛类含量接近 70%,香缘早中醛类物质含量为 31.06%,醛类物质通常表现为青草香和果香,但是当其含量高于一定值

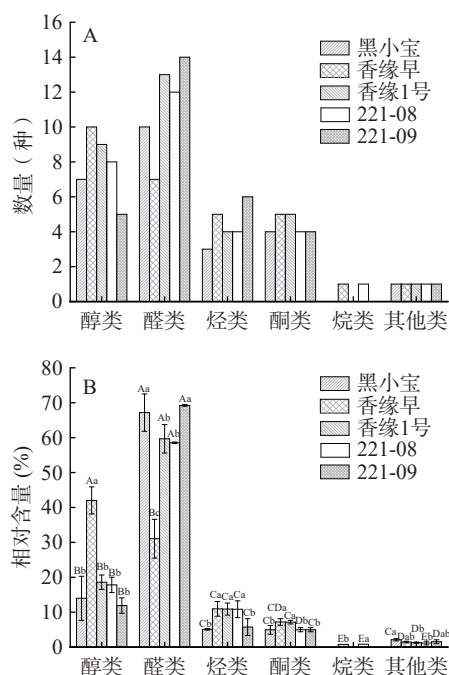


图5 不同品种南瓜挥发性成分种类组成(A)及相对含量(B)

Fig.5 Species composition (A) and relative content (B) of volatile components in different varieties of pumpkins

注: 大写字母不同代表同一品种不同物质之间差异显著 ($P < 0.05$), 小写字母不同代表同一物质不同品种之间差异显著 ($P < 0.05$)。

时, 会产生腐败味, 对整体风味物质产生不良影响^[37], 因此认为, 醛类物质在香缘早中表现出来的整体风味更加柔和。酮类物质通常带有花果香味等令人愉悦的香气且阈值较高^[38], 香缘早和香缘1号中酮类物质相对含量显著高于黑小宝、221-08和221-09 ($P < 0.05$), 因此酮类物质对于香缘早和香缘1号整体风味的修饰作用显著高于其余南瓜 ($P < 0.05$)。烃类和烷类物质往往具有较高的气味阈值^[39], 对于南瓜整体风味形成影响不大。

2.5.3 不同品种南瓜挥发性成分主成分分析 采用PCA的方法对南瓜挥发性成分数据进行分析, 样品的挥发性成分聚集成为两个主成分, 可以清晰地样品间的差异展现出来^[40]。前两个组分PC1和PC2分别占37.6%和27.1%, 解释了总差异的64.7%, 表明两个主要组分可以基本反映不同样本的主要特征信息^[41]。在本研究中, 所有样品均被分开, 同一品种南瓜的重复性样品紧密聚集在一起, 说明了实验是可重复和可靠的。如图6所示, 黑小宝与221-09, 样品间存在重叠, 表明其在挥发性成分上存在相似之处。而香缘1号、221-08和香缘早没有任何重叠, 表示其在挥发性成分上有一定差异。且黑小宝、香缘1号、221-08和221-09相对聚集, 都能够很好地与香缘早区分开, 这表明香缘早与其余四种南瓜之间的挥发性成分具有明显差异。

2.5.4 不同品种南瓜挥发性成分相对气味活度值 挥发性成分对于样品整体的风味贡献程度与其相对含量及其阈值有关, 当其相对含量一定时, 感觉阈值

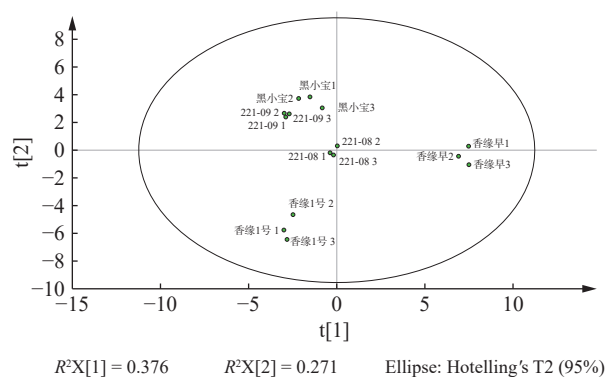


图6 不同品种南瓜挥发性成分的PCA评分图

Fig.6 PCA score graph of volatile components of different varieties of pumpkins

越低, 越容易被嗅觉器官所感知。5个品种南瓜中发现且已被报道的感官阈值的挥发性成分有26种, 本研究只对这些物质进行分析。ROAV值是一种可以量化样品中挥发性风味成分对于物质整体香气贡献值的指标, 当 $ROAV > 1$, 表明该风味组分对样品的风味贡献最大, 属于关键特征风味组分; $0.1 \leq ROAV < 1$, 表明该风味组分对样品风味起到修饰作用; $ROAV < 0.1$, 说明该风味组分对样品风味影响不显著。在一定范围内, ROAV值越大, 说明该物质对于样品总体的风味贡献越大^[42]。由表4可以看出, $ROAV > 1$ 的风味化合物有9种: 1-辛烯-3-醇、芳樟醇、2-甲基-2-丁醛、己醛、青叶醛、壬醛、反式-2-壬醛、3,5-辛二烯-2-酮、 β -紫罗酮, 属于南瓜果肉中的关键特征风味组份, 具有明显的青香、果香等清香气味, 是呈现南瓜香气的主要化合物。 $0.1 \leq ROAV < 1$ 的风味化合物有11种, 属于南瓜中的修饰性风味化合物, 其中D-柠檬烯和3-辛酮的贡献值要高于其余风味化合物, 表现出浓郁的果实香气。

实验结果表明, 不同品种南瓜中的关键香气物质存在差异, 黑小宝的关键特征挥发性香气种类最多, 为1-辛烯-3-醇、己醛、 β -紫罗酮、芳樟醇、2-甲基-2-丁醛、壬醛、反式-2-壬醛和3,5-辛二烯-2-酮8种, 其次为221-08(1-辛烯-3-醇、己醛、 β -紫罗酮、芳樟醇、壬醛、反式-2-壬醛和3,5-辛二烯-2-酮)7种, 221-09具有6种关键特征挥发性香气(1-辛烯-3-醇、己醛、 β -紫罗酮、2-甲基-2-丁醛、青叶醛和反式-2-壬醛), 香缘早(1-辛烯-3-醇、己醛、 β -紫罗酮、芳樟醇和壬醛)与香缘1号(1-辛烯-3-醇、己醛、 β -紫罗酮、2-甲基-2-丁醛和3,5-辛二烯-2-酮)均为5种。 β -紫罗酮对5种南瓜贡献最大, 表现出浓郁的果香及茶香味。对香缘早和香缘1号贡献作用第二的香气成分是1-辛烯-3-醇, 具有独特蘑菇味和薄荷味; 黑小宝、221-08和221-09中贡献作用第二的香气成分是具有纸板味的反式-2-壬醛。具有不良气味的反式-2-壬醛及3,5-辛二烯-2-酮在香缘早中均没有被检测出来。此外, 对南瓜整体风味具有修饰作用的挥发性成分在香缘早中种类最多, 分别为环己醇、3,6-亚壬基-1-醇、2-甲基-2-丁醛、正辛醛、D-柠檬烯、3-辛酮和

表 4 不同品种南瓜相对气味活度值的结果分析
Table 4 Results of the relative odour activity values of different varieties of pumpkins

序号	化合物	阈值(μg/kg) ^[43-44]	香气描述 ^[43-44]	ROAV				
				黑小宝	香缘早	香缘1号	221-08	221-09
1	环己醇	3.500	樟脑薄荷味	0.45	0.27	0.17	0.29	0.54
2	1-辛烯-3-醇	1.000	蘑菇味、薄荷味、土味、鲜味	15.82	2.92	5.53	7.50	43.77
3	3-辛醇	18.000	玫瑰味、柑橘味	—	0.03	—	—	—
4	芳樟醇	0.220	花香, 果香, 木青香	4.39	1.36	—	2.05	—
5	3,6-亚壬基-1-醇	3.000	黄瓜样香气	—	0.36	0.51	—	—
6	(Z)-6-壬烯-1-醇	1.000	黄瓜样香气、青香	—	—	0.53	—	—
7	4-萜烯醇	1.200	暖胡椒香、淡泥土香	—	—	—	—	0.38
8	2-甲基-2-丁醛	4.000	青香	18.17	0.46	1.53	—	26.86
9	2-甲基-2-丁烯醛	500.000	香草、金属味	—	0.01	—	0.05	—
10	己醛	4.500	木香、清香、果香、肥皂味	3.51	1.99	2.06	4.27	11.75
11	青叶醛	8.700	青草香	0.13	0.07	0.08	0.13	1.21
12	庚醛	3.000	青草香、果香味	—	—	0.05	0.10	—
13	(E)-2-庚烯醛	13.000	脂肪香、甜香、柑橘香	—	—	0.02	—	—
14	正辛醛	0.700	脂香、橙香、蜂蜜香、青草香、果香	—	0.70	—	—	—
15	反-2-辛烯醛	3.000	脂肪香、肉味、黄瓜样香气	—	—	0.23	—	—
16	壬醛	1.000	油脂香、甜橙香、玫瑰味	4.33	2.59	—	4.72	—
17	反式-2-壬醛	0.100	纸板味	20.24	—	—	19.81	50.24
18	对伞花烃	11.400	柑橘、木香	—	0.02	—	—	—
19	邻-异丙基苯	8.400	胡萝卜味	—	—	0.04	0.10	—
20	D-柠檬烯	34.000	柑橘、柠檬香气	0.28	0.20	0.17	0.35	0.59
21	3-辛酮	18.000	果实香味	0.29	0.13	0.07	0.19	0.83
22	2,5-辛二酮	2.520	—	—	0.21	—	—	—
23	3,5-辛二烯-2-酮	1.000	哈喇味	2.97	—	1.67	1.34	—
24	α-紫罗酮	10.600	木质味	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07
25	香叶基丙酮	60.000	青香、果香、木兰香	—	0.01	—	—	—
26	β-紫罗酮	0.007	果香味、茶香	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2,5-辛二酮 7 种, 具有青草香、果香以及独特蜂蜜香气, 对修饰香缘早香气起到积极作用; 221-08 具有环己醇、青叶醛、庚醛、邻-异丙基苯、D-柠檬烯和 3-辛酮 6 种修饰香气成分, 其中邻-异丙基苯特有胡萝卜香气; 对香缘 1 号起到修饰作用的香气成分为环己醇、3,6-亚壬基-1-醇、Z-6-壬烯-1-醇、反-2-辛烯醛和 D-柠檬烯 5 种, 反-2-辛烯醛具有脂肪及肉香气; 对黑小宝及 221-09 香气起修饰作用的香气成分均为 4 种, 黑小宝为环己醇、青叶醛、D-柠檬烯和 3-辛酮, 提供了青草香及果香, 221-09 为环己醇、4-萜烯醇、D-柠檬烯和 3-辛酮, 其中 4-萜烯醇是 221-09 中所特有, 具有独特的暖胡椒香及泥土香气, 修饰南瓜整体香味。

3 结论

本实验以 5 个不同品种南瓜为研究对象, 分析干物质、淀粉、pH、总酸、糖类化合物、肌醇、抗坏血酸、总酚、抗氧化活性等作为评价指标。除淀粉含量以外, 其余 3 个理化性状指标均表现为香缘早最佳; 同时, 香缘早的肌醇、抗坏血酸及对南瓜果实口感有重要影响的蔗糖含量也显著高于其余品种($P<0.05$); 总酚和抗氧化能力结果相似, 均表明 221-09 活性成分较其余 4 种南瓜高, 其次为黑小宝, 香缘 1 号最低。通过对南瓜果实品质指标进行灰色关联度综合

评价分析, 结果表明香缘早位列第一, 综合品质优。不同南瓜品种资源的香气成分存在差异, 香缘早含有的香气成分最为丰富且差异性最大, 其中起主要贡献作用的香气成分是 β-紫罗酮、1-辛烯-3-醇、壬醛、己醛、芳樟醇。综上, 香缘早品种南瓜为优质南瓜资源。本研究可为南瓜的品种筛选、质量评价和加工及产品开发提供参考。

参考文献

[1] 李新净, 叶佳净, 陈学进, 等. 南瓜新品种百蜜嫩瓜 1 号的选育[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(3): 99-102. [LI X Z, YE J J, CHEN X J, et al. Selection and breeding of a new pumpkin variety Bainimengngua No. 1[J]. Chinese Gourd Vegetables, 2022, 35(3): 99-102.]

[2] 陈雅琪. 南瓜籽油 Pickering 乳液的制备及其稳定性与消化特性的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022. [CHEN Y Q. Study on preparation, stability and digestive properties of pumpkin seed oil Pickering emulsion[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2022.]

[3] ANTONELA N G, SUZANA R B, MARIJA B S, et al. Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products[J]. Molecules, 2023, 28(2): 858.

[4] 李俊星, 杨李益, 云天海. 南瓜加工产品开发与利用研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(4): 1-4. [LI J X, YANG L Y, YUN T H. Research progress on the development and utilization of pumpkin processing products[J]. Chinese Gourd Vegetable, 2018, 31(4): 1-4.]

- [5] 马玮, 史玉滋, 段颖, 等. 南瓜果实淀粉和可溶性固形物研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(11): 1-5. [MA W, SHI Y Z, DUAN Y, et al. Research progress on starch and soluble solids of pumpkin fruit[J]. Chinese Gourd Vegetables, 2018, 31(11): 1-5.]
- [6] HEMEI S, ZENGXIAN S. Hypolipidaemic and hypoglycaemic properties of pumpkin polysaccharides[J]. *3 Biotech*, 2017, 7(3): 159.
- [7] 谢元恒. 中国南瓜 Bin 图谱构建和果实相关性状 QTL 定位[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2020. [XIE Y H. Binmap constructing and QTL Mapping of fruit related traits in *Cucurbita moschata* pumpkin[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2020.]
- [8] 李健秀, 王树清, 景丽杰, 等. 植酸钠水解制取肌醇新工艺研究[J]. 化学世界, 1998(11): 583-585. [LI J X, WANG S Q, JING L J, et al. Study on the preparation of inositol by hydrolysis of sodium phytate[J]. Chem World, 1998(11): 583-585.]
- [9] 卢引. 不同栽培品种南瓜对糖尿病的作用及挥发性成分的研究[D]. 郑州: 河南大学, 2014. [LU Y. Study on the effects and volatile components of different cultivars of pumpkin on diabetes mellitus[D]. Zhengzhou: Henan University, 2014.]
- [10] 李俊星, 钟玉娟, 罗剑宁, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME/GC-MS 技术的香芋南瓜果实香气物质解析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 244-250, 297. [LI J X, ZHONG Y J, LUO J N, et al. Analysis of aroma substances of sweet potato and pumpkin fruit based on electronic nose and HS-SPME/GC-MS technology[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 244-250, 297.]
- [11] FU M Q, AN K J, XU Y J, et al. Effects of different temperature and humidity on bioactive flavonoids and antioxidant activity in Pericarpium Citri Reticulata (*Citrus reticulata* 'Chachi') [J]. *LWT*, 2018, 93: 167-173.
- [12] YU Q, DUAN J, YU N, et al. Enhancing the antityrosinase activity of saponins and polyphenols from *Asparagus* by hot air coupled with microwave treatments[J]. *LWT*, 2020, 124: 109174.
- [13] ARISE A K, ALASHI A M, NWACHUKWU I D, et al. Antioxidant activities of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) protein hydrolysates and their membrane ultrafiltration fractions[J]. Food & Function, 2016, 7(5): 2431-2437.
- [14] FENG Y B, XU B G, YAGOUR E G A, et al. Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic[J]. Food Chemistry, 2020, 343: 128404.
- [15] 任凯丽, 苏永全, 张化生, 等. 甘肃靖远早砂西瓜挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 320-326. [REN K L, SU Y Q, ZHANG H S, et al. Analysis of volatile aroma components of watermelon from Jingyuan dry sand in Gansu Province[J]. Food Science, 2023, 44(6): 320-326.]
- [16] VERZERA A, DIMA G, TRIPODI G, et al. Fast quantitative determination of aroma volatile constituents in melon fruits by headspace-solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2011, 4(2): 141-149.
- [17] LIANG Q, XIONG W, ZHOU Q, et al. Glucosinolates or erucic acid, which one contributes more to volatile flavor of fragrant rapeseed oil[J]. Food Chemistry, 2023, 412: 135594.
- [18] 杨宏, 李跃建, 王长林, 等. 南瓜口感评价与营养成分的相关性和回归分析[J]. 中国蔬菜, 2016(11): 25-32. [YANG H, LI Y J, WANG C L, et al. Correlation and regression analysis of taste evaluation and nutritional components of pumpkin[J]. Chinese Vegetables, 2016(11): 25-32.]
- [19] 尹国香, 张焕春, 刘学卿, 等. 早熟南瓜新品种红阳南瓜的选育[J]. 中国蔬菜, 2011(6): 100-101. [YIN G X, ZHANG H C, LIU X J, et al. Breeding of a new early ripe pumpkin variety Hongyang gourd[J]. Chinese Vegetables, 2011(6): 100-101.]
- [20] 王锋, 黄文枫, 胡艳平, 等. 不同南瓜砧木对海南冬季薄皮甜瓜生长发育及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2022(20): 50-53. [WANG F, HUANG W F, HU Y P, et al. Effects of different pumpkin rootstocks on growth and quality of thin-skin melon in Hainan in winter and spring[J]. Yangtze River Vegetables, 2022(20): 50-53.]
- [21] 关博洋, 殷菲彤, 刘云芬, 等. 贮藏温度对采后龙眼果实糖代谢及其相关酶活性的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 348-355. [GUAN B Y, YIN F L, LIU Y F, et al. Effect of storage temperature on glucose metabolism and related enzyme activities of postharvest longan fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 348-355.]
- [22] SONNEWALD U, FERNIE A R. Next-generation strategies for understanding and influencing source-sink relations in crop plants[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2018, 43: 63-70.
- [23] DARRUDI R, NAZERI V, SOLTANI F, et al. Evaluation of combining ability in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* Duchesne accessions for fruit and seed quantitative traits[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2018, 9: 70-77.
- [24] CORRIGAN V K, IRVING D E, POTTER J F. Sugars and sweetness in buttercup squash[J]. Food Quality and Preference, 2000, 11(4): 313-322.
- [25] 王安君. 基于 RNA-Seq 的南瓜果实重要品质形成的代谢和分子调控研究[D]. 广州: 暨南大学, 2017. [WANG A J. Metabolic and molecular regulation of important quality formation in pumpkin fruit based on RNA-Seq[D]. Guangzhou: Jinan University, 2017.]
- [26] 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. [YANG X H, WEI Y L, LI F, et al. Research progress on active ingredients of pumpkin and its deep processed food[J]. Grain & Oils, 2021, 34(7): 4-7.]
- [27] XIA T, WANG Q. Hypoglycaemic role of *Cucurbita ficifolia* (Cucurbitaceae) fruit extract in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(9): 1753-1757.
- [28] 熊玲, 陈京晓, 牟明远, 等. 南瓜的营养保健价值分析及产品的开发现状[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 395-400. [XIONG L, CHEN J X, MOU M Y, et al. Nutritional and health value analysis and product development status of pumpkin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 395-400.]
- [29] 杨红娟, 顾卫红, 唐庆久, 等. 富肌醇南瓜种质资源的创新与利用[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 157-162. [YANG H J, GU W H, TANG Q J, et al. Innovation and utilization of myo-inositol-rich pumpkin germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(1): 157-162.]
- [30] DUYEN H. H N, HASSAN E, XHENSILA L, et al. Chemical composition and health attributes of agri-foods: A Scientific overview on black foods[J]. Sustainability, 2023, 15(4): 3852-3852.
- [31] 锁冠文. 超声波处理对南瓜汁贮藏期间品质的影响[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2022. [SUO G W. Effect of ultrasonic treatment on the quality of pumpkin juice during storage[D]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Normal University, 2022.]
- [32] WANG H, CAO G H, PRIOR, R L. Total antioxidant capacity of fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44

(3): 701–705.

[33] LEICHTWEIS M G, MOLINA A K, PIRES T C. S, et al. Biological activity of pumpkin byproducts: Antimicrobial and antioxidant properties[J]. *Molecules*, 2022, 27(23): 8366–8381.

[34] 李晓颖, 宋立琴, 李明媛, 等. 果实挥发性成分的生物合成与代谢调控研究进展[J]. *农业生物技术学报*, 2023, 31(3): 629–642.

[LI X Y, SONG L Q, LI M Y, et al. Research progress on biosynthesis and metabolic regulation of volatile components in fruits[J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2023, 31(3): 629–642.]

[35] 陈敏敏, 王彬, 刘建汀, 等. 南瓜 5 个品种果肉的挥发性成分分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(6): 633–643. [CHEN M D, WANG B, LIU J T, et al. Analysis of volatile components in pulp of five pumpkin varieties[J]. *Chin J Botanica Sinica*, 2020, 28(6): 633–643.]

[36] 吕世懂, 吴远双, 姜玉芳, 等. 不同产区乌龙茶香气特征及差异分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(2): 146–153. [LÜ S D, WU Y S, JIANG Y F, et al. Aroma characteristics and difference analysis of Oolong tea from different producing regions[J]. *Food Science*, 2014, 35(2): 146–153.]

[37] 刘潇. 高温胁迫下电子束辐照对储藏籼稻脂质变化规律的影响机制研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2023. [LIU X. Effect mechanism of electron beam irradiation on lipid changes in indica rice under high temperature stress[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance & Economics, 2023.]

[38] 陈琪. 辣椒红油的制备、光稳定性研究及其在风干肠的应用[D]. 成都: 成都大学, 2023. [CHEN Q. Study on preparation and photostability of capsicum red oil and its application in air-dried

intestine[D]. Chengdu: Chengdu University, 2023.]

[39] 周小男. 薏米面条加工和贮藏过程中脂肪的酸败及风味变化研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022. [ZHOU X N. Study on fat rancidity and flavor changes during processing and storage of job's tears noodles[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2022.]

[40] 陈磊, 毕秀芳, 焦文成, 等. 不同品牌泡姜中关键挥发性风味物质分析[J]. *中国调味品*, 2022, 47(11): 151–157, 172. [CHEN L, BI X F, JIAO W C, et al. Analysis of key volatile flavor compounds in different brands of pickled ginger[J]. *Chinese Condiments*, 2022, 47(11): 151–157, 172.]

[41] 张馨文. 超高压处理对沃柑汁品质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2022. [ZHANG X W. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of citrus juice[D]. Nanning: Guangxi University, 2022.]

[42] LIU N F, SHEN S S, HUANG L F, et al. Revelation of volatile contributions in green teas with different aroma types by GC-MS and GC-IMS[J]. *Food Research International*, 2023, 169: 112845.

[43] 谢永恒. 甜瓜中关键香气物质鉴定及其相互作用研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2021. [XIE Y H. Identification and interaction of key aroma substances in melon[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2021.]

[44] 王佳童. 茶枝柑-白茶关键品质化学成分研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022. [WANG J T. Study on chemical constituents of key quality of Mandarin and white tea[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.]