

三系培育新品种朝天椒的农艺性状与品质特性研究

张雪儿, 陈肖肖, 董怡, 王思睿, 胡悦, 丁小东, 贾冬英

Study on the Agronomic Traits and Quality Characteristics of New Varieties of Pod Peppers Hybridized with Three Lines

ZHANG Xueer, CHEN Xiaoxiao, DONG Yi, WANG Sirui, HU Yue, DING Xiaodong, and JIA Dongying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060123>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

苹果新品种‘瑞雪’、‘瑞香红’及其亲本香气物质差异分析

Analysis on the Difference of Aroma Volatile Compounds in New Apple Cultivars ‘Ruixue’, ‘Ruixianghong’ and Their Parents

食品工业科技. 2021, 42(21): 50-56 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010047>

博辣天剑朝天椒、皱线1号线椒和陶岭三味辣椒株系的品质分析及评价

Quality Analysis and Evaluation of Taoling Sanwei Pepper, Knit Line No.1 Line Pepper and Bola Tianjian Pod Pepper

食品工业科技. 2019, 40(5): 48-52,60 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.009>

不同品种紫薯粉面团品质特性

Quality Characteristics of Different Varieties of Purple Sweet Potato Flour Dough

食品工业科技. 2021, 42(2): 12-18,25 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040126>

西北旱区不同品种马铃薯薯饼加工品质特性分析

Processing quality characteristics analysis of potato-cake of different potato varieties in northwest arid area

食品工业科技. 2018, 39(5): 36-40 <https://doi.org/>

不同品种马铃薯雪花全粉品质特性与分子结构表征

Research on quality characteristics and molecular structure characterization of different varieties of potato flakes

食品工业科技. 2017(13): 7-12 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.13.002>

旱作不同品种(系)马铃薯对马铃薯面条品质特性的影响

Effects of Different Potato Cultivars(lines)in Dryland on the Quality Characteristics of Potato Noodles

食品工业科技. 2019, 40(19): 24-28,33 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.19.005>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张雪儿, 陈肖肖, 董怡, 等. 三系培育新品种朝天椒的农艺性状与品质特性研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 311–319. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060123

ZHANG Xueer, CHEN Xiaoxiao, DONG Yi, et al. Study on the Agronomic Traits and Quality Characteristics of New Varieties of Pod Peppers Hybridized with Three Lines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 311–319. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060123

· 分析检测 ·

三系培育新品种朝天椒的农艺性状 与品质特性研究

张雪儿¹, 陈肖肖², 董怡¹, 王思睿³, 胡悦³, 丁小东⁴, 贾冬英^{1,*}

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610065;

2. 四川省川椒种业科技有限责任公司, 四川自贡 643200;

3. 四川省富顺县农业农村局, 四川自贡 643200;

4. 四川大学分析测试中心, 四川成都 610065)

摘要: 为新品种朝天椒的开发利用提供理论依据, 以编号为 1~5 的 5 份不同杂交组合的三系培育新品种朝天椒种质资源为受试材料, 采用综合方法分析了其农艺性状和以辣椒素含量和挥发性物质为主的品质特性。结果表明, 5 种朝天椒的农艺性状存在较大差异, 其果长为 6.7~9.3 cm, 果重 2.40~6.26 g, 种子数比 15.3~28.1 个/g, 果肉比 71.10%~83.93%。5 种朝天椒均具有较高的营养价值, 但其营养品质有所不同。其中, 1 号朝天椒的碳水化合物、粗脂肪和灰分含量最高, 2 号朝天椒的水分含量最高, 3 号朝天椒的维生素 C 含量最高, 5 号朝天椒的蛋白质含量最高。5 种朝天椒的辣椒素含量较高且具有较高的辣度, 其中 5 号朝天椒的辣椒素类物质含量最高 (1.128 g/kg), 斯科维尔指数为 17399 SHU, 辣度为 116; 2 号朝天椒的辣椒素类物质含量最低 (0.464 g/kg), 斯科维尔指数为 7157 SHU, 辣度为 48。5 种朝天椒中共检出 100 种挥发性物质, 其中烯烃类物质的相对含量最高 (39.20%~61.73%), 其共同的呈香物质主要为烯烃类、酯类和醇类, 但该 3 类物质的种类与相对含量存在较大差异。Pearson 相关性分析结果显示, 新品种朝天椒的辣度与其果重和果肉比呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 与其种子数比呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。综合分析认为, 5 种新品种朝天椒均具有较高的辣度和营养价值、良好的色泽和香气, 均是加工干椒的适宜品种, 尤其是 5 号, 且 2 号、3 号和 4 号朝天椒还可鲜食、泡制、腌制或发酵。

关键词: 三系培育, 新品种, 朝天椒, 农艺性状, 品质特性

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0311-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060123



本文网刊:

Study on the Agronomic Traits and Quality Characteristics of New Varieties of Pod Peppers Hybridized with Three Lines

ZHANG Xueer¹, CHEN Xiaoxiao², DONG Yi¹, WANG Sirui³, HU Yue³, DING Xiaodong⁴, JIA Dongying^{1,*}

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Chuanjiao Seed Technology Co., Ltd., Zigong 643200, China;

3. Fushun Bureau of Agricultural and Rural Affairs, Zigong 643200, China;

4. Analytical and Testing Center, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for developing and utilizing new varieties of hot peppers, five new varieties of pod peppers (*Capsicum annuum* var. *Conoides*) hybridized with different combinations by three lines cultivation were selected and numbered as Sample 1, 2, 3, 4 and 5, and their agronomic traits and quality characteristics with an emphasis on capsaicinoids and volatile components were evaluated. The results showed that the peppers had different agronomic traits

收稿日期: 2022-06-15

基金项目: 四川大学自贡市校地科技合作专项资金项目 (2021CDZG-19)。

作者简介: 张雪儿 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品资源开发利用, E-mail: zxe3334444@163.com。

* 通信作者: 贾冬英 (1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与健康, E-mail: dyjia999@163.com。

with their ranges of fruit length, fruit mass, seed number ratio and pulp ratio being 6.7~9.3 cm, 2.40~6.26 g, 15.3~28.1 grain/g, and 71.10%~83.93%, respectively. All the samples possessed high nutritional values but their contents of major nutrients were not the same. Sample 1 contained the highest carbohydrates, crude fats and ash. Sample 2 had the highest water content. Sample 3 contained the highest vitamin C. Sample 5 had the highest protein content. All the samples possessed higher capsaicinoids content and pungency degree, of which Sample 5 had the highest content of capsaicinoids (1.128 g/kg), Scoville index (17399 SHU) and pungency degree (116) while Sample 2 showed the lowest content of capsaicinoids (0.464 g/kg), Scoville index (7157 SHU) and pungency degree (48). A total of 100 volatile components were detected in the five samples, among which olefins were the most abundant component, ranging from 39.20% to 61.73%. Olefins, esters and alcohols were the common aromatic substances of the samples, but their types and contents were different. Pearson correlation analysis displayed that the pungency degrees of the five samples were extremely significantly negatively correlated with their fruit mass and pulp ratio ($P<0.01$) but extremely significantly positively with their seed number ratio ($P<0.01$). In summary, five new varieties of pod peppers show higher pungency degree and nutritive value, good color and smell and are suitable for drying, especially Sample 5. Also, Samples 2, 3 and 4 can be consumed in fresh state and be used to prepare pickled, salted and fermented pepper products.

Key words: three-line hybrid; new varieties; pod peppers; agronomic traits; quality characteristics

朝天椒是茄科植物辣椒的变种,是一类果实朝上生长的辣椒的总称,包括单生和簇生两大类型、数十个品种,如小米辣、新一代辣椒、子弹头、七星椒等。朝天椒果实较小,辣度高,富含维生素 C、辣椒素、辣椒红素等营养与活性成分,具有较高的营养保健与经济价值,既可鲜食、干制、泡制,又是制备复合调味料、辣椒油树脂、辣椒素和辣椒红素等产品的重要原料。目前,朝天椒在我国贵州、四川、河南、新疆、云南等地区获得广泛种植,已成为当地农民脱贫致富的重要经济作物。然而,现有朝天椒存在辣度有余、香气不足、品质退化、产量偏低、抗性差等问题,因此亟需采用现代育种技术对其进行改良,以获得辣度和香气兼备、品质高、产量高、抗性高的新品种。三系培育是依靠植物的不育系、保持系和恢复系进行杂交育种的技术,具有成本低、制种纯度高等优势^[1],已被广泛用于农作物新品种的选育。

目前,有关朝天椒的研究主要集中在新品种选育、农艺性状及其生长发育过程中维生素 C、辣椒素和风味物质的变化等方面。任朝辉等^[2]以 53 份朝天椒品种资源为供试材料,分析了其粗脂肪、粗纤维、维生素 C 和辣椒素含量,发现不同品种朝天椒中这些成分的含量存在较大差异,说明品种是影响其化学组成的关键因素。杨笋^[3]探讨了 9 种朝天椒果实在成熟过程中辣椒素类物质与主要营养成分的变化规律,发现随着朝天椒果实成熟度的增加,其辣椒素类物质含量呈现 3 种变化规律——逐渐增加、逐渐减少和先减少后增大。刘蓉^[4]研究显示,朝天椒果实在青色期、转色期和成熟期中共检出 93 种不同的风味物质,包括醇类、酯类、酮类、醛类、烷烃、萜烯类等,其中前 4 类物质为朝天椒的主要风味贡献物质,且其种类和数量均随着朝天椒的成熟明显增多。李达等^[5]研究发现,朝天椒干椒中共含有 23 种挥发性风味物质,包括 8 种烷烃类、8 种烯类、3 种酯类、2 种醛类、1 种醇类和 1 种酚类。然而,有关三系培育新品种朝天椒的农艺性状和品质特性的研究却鲜

见报道。基于此,本文中以 5 种三系培育的新品种朝天椒种质资源为研究对象,分析了其农艺性状、色泽、主要营养成分和辣椒素的含量、辣度和挥发性物质,从而为新品种朝天椒资源的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

5 种新品种朝天椒 种质资源为四川省川椒种业科技有限责任公司提供的完全成熟的新鲜红椒,是以 4 种不育系朝天椒为母本、3 种恢复系朝天椒为父本,采用三系杂交技术培育而成,其编号和杂交组合如下:1 号(散朝 426-2A×辣椒王)、2 号(精朝 2-1-1A×飞艳 4-2)、3 号(大红朝 2-2-1A×飞艳 4-2)、4 号(散朝 426-2A×飞艳 4-2)和 5 号(川腾 2-1-2A×19 半散小 3),4℃ 冷藏保存。L(+)-抗坏血酸、辣椒素、二氢辣椒素 标准品,购自坛墨质检科技股份有限公司;甲醇、四氢呋喃均为色谱纯试剂,硫酸铜、硫酸、氢氧化钠、盐酸、无水乙醚、偏磷酸、冰乙酸、邻苯二胺均为分析纯试剂 购自成都市科隆化学品有限公司。

UV-2600A 型紫外可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司; Vapodest 450 全自动凯氏定氮仪 德国 Gerhardt 公司; Agilent 280 Duo 原子吸收分光光度计 美国 Agilent 公司; F-7000 荧光分光光度计 日本日立公司; CM-5 色差计 日本 Konica Minolta 公司; GC-MS-QP 2010Plus 型气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 选取色泽均匀、大小和成熟度一致、无病虫害和机械损伤的新鲜朝天椒,擦去其表面灰尘。

1.2.2 样品农艺性状测定 分别采用刻度尺和电子天平测定预处理朝天椒的果长和果重,采用人工计数测定单果种子数,分别按照以下公式计算其果肉比和种子数比:

$$\text{果肉比}(\%) = \frac{m}{M} \times 100$$

$$\text{种子数比}(\text{个/g}) = \frac{X}{M}$$

式中: m 和 M 分别表示辣椒果实去籽后质量(g)和辣椒果实质量(g); X 表示辣椒果实的单果种子数(个)。

1.2.3 样品色差分析 采用色差仪分析辣椒样品的 L^* 值和 a^* 值^[6], 其中 L^* 值表示亮度, 其值越大, 则样品色泽越明亮; a^* 值为红绿值, 正 a^* 值代表红色, 其值越大, 则样品越红^[7]。以 D65 作为照明光源, 使用标准白板对仪器进行校准, 测定区域直径为 3 mm, 选取不同样品的同一部位进行测定。

1.2.4 样品品质分析

1.2.4.1 水分测定 采用 GB 5009.3《食品安全国家标准 食品中水分的测定》规定的直接干燥法。

1.2.4.2 灰分测定 采用 GB 5009.4《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》规定的方法。

1.2.4.3 蛋白质含量测定 采用 GB 5009.5《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》规定的凯氏定氮法。

1.2.4.4 脂肪含量测定 采用 GB 5009.6《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》规定的酸水解法。

1.2.4.5 碳水化合物含量测定 参照 GB 28050《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》计算碳水化合物含量。

1.2.4.6 维生素 C 测定 采用 GB 5009.86《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》规定的荧光法。

1.2.4.7 矿物质含量测定 分别按照国家标准 GB 5009.14《食品安全国家标准 食品中锌的测定》、GB 5009.90《食品安全国家标准 食品中铁的测定》、GB 5009.91《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》、GB 5009.92《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.241《食品安全国家标准 食品中镁的测定》中规定的火焰原子吸收光谱法测定样品中的锌、铁、钾与钠、钙和镁的含量。

1.2.4.8 辣椒素类物质和辣度的测定 采用 GB/T 21266-2007《辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法》规定的方法, 分别按照以下公式计算辣椒素总量和斯科维尔指数, 并参照成善汉等^[8]的方法评价辣度级别, 即斯科维尔指数分别为 5000~15000 SHU 和 15000~30000 SHU 时对应的辣度级别为 6 级(中辣)和 7 级(高辣)。

$$\text{辣椒素总量 } W(\text{g/kg}) = \frac{W_a + W_b}{0.9}$$

式中: W 、 W_a 和 W_b 分别表示辣椒果实中辣椒素类物质总量及其辣椒素和二氢辣椒素的含量(g/kg); 0.9 表示后二者折算为辣椒素类物质总量的系数。

$$\text{斯科维尔指数(SHU)} = W \times 0.9 \times (16.1 \times 10^3) + W \times 0.1 \times (9.3 \times 10^3)$$

式中: 16.1×10^3 表示辣椒素或二氢辣椒素转换为斯科维尔指数的系数; 0.1 表示其余辣椒素类物质含量的折算系数; 9.3×10^3 表示其余辣椒素类物质转换为斯科维尔指数的系数。

1.2.5 样品中挥发性物质分析 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)测定辣椒中挥发性物质, 参照 Yin 等^[9]的方法并稍作修改。将 3.0 g 新鲜辣椒置于顶空固相微萃取瓶中, 45 ℃ 水浴中保持 30 min, 固定 SPME 进样器, 并将针头插入顶空瓶中, 45 ℃ 萃取 40 min。气相色谱条件: 升温程序为柱温 40 ℃, 保持 5 min 后以 5 ℃/min 的速率升至 150 ℃, 再以 10 ℃/min 的速率升至 280 ℃, 保持 2 min; 载气为高纯氦气, 流速 1.0 mL/min, 分流比 5:1。质谱条件: EI 源, 离子源温度 200 ℃、接口温度 220 ℃。样品经 GC-MS 检测后得到其总离子流图, 通过检索 NIST08.LIB 标准谱库, 对挥发性物质进行定性分析, 采用峰面积归一法计算其相对含量。

1.3 数据处理

除挥发性物质外, 朝天椒样品的农艺性状与色差平行测定 10 次, 其品质指标平行测定 3 次; 平行实验结果以“平均值±标准差”表示。采用 Excel 2010 对数据进行离散程度分析; 采用 SPSS 25.0 统计分析软件对数据进行方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著; 采用 Pearson 相关分析表征指标间的相关性; 采用 Origin 2017 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 新品种朝天椒的农艺性状和色差

新品种朝天椒的外观特征和农艺性状分别见图 1 和表 1。5 种朝天椒果实均呈线型, 顶端尖窄呈喙状, 且 2 号、3 号和 4 号朝天椒具有相似的果形, 这与该 3 种朝天椒具有共同的父本有关。1 号朝天椒的果形短粗, 5 号朝天椒果形细小, 这与二者杂交组合的母本和父本完全不同有关。不同品种朝天椒的农艺性状存在较大差异。其中, 2 号的果重、果长和果肉比最大; 其果重略高于 1 号, 但显著高于 3 号、4 号和 5 号($P < 0.05$); 其果长稍长于 4 号, 但显著长于 1 号、3 号和 5 号($P < 0.05$); 其果肉比与 3 号和 4 号接近, 但显著高于 1 号和 5 号($P < 0.05$)。5 号的果重最轻, 种子数比最高, 与其它 4 种样品差异显著($P < 0.05$)。这些结果表明杂交组合的不同是造成新品种朝天椒农艺性状差异的主要原因。

由图 1 可知, 5 种朝天椒均为红椒, 这是辣椒成熟过程中辣椒红素和辣椒玉红素等类胡萝卜素积累的结果^[10]。5 种朝天椒样品的色差值 L^* 和 a^* 见表 1。可以看出, 5 种样品的 L^* 值变异系数较小, 表明其明亮度区别较小。5 号样品色泽明亮, 其 L^* 值(33.73)显著高于其它 4 种样品($P < 0.05$), 接近于 Krzykowski 等^[11]($L^* = 33.1$)和 Pinar 等^[12]($L^* = 34.39$)的研究结果;



图 1 5 种新品种朝天椒的外观特征

Fig.1 Appearance features of five new varieties of pod peppers

表 1 5 种新品种朝天椒的农艺性状与色差

Table 1 Agronomic traits and chromatic aberration of five new varieties of pod peppers

指标	1	2	3	4	5	变异系数(%)
果重(g)	5.29±1.26 ^{ab}	6.26±1.32 ^a	4.10±0.77 ^c	5.11±0.81 ^b	2.40±0.40 ^d	34.87
果长(cm)	6.7±0.9 ^c	9.3±1.7 ^a	8.5±1.2 ^b	8.9±1.6 ^{ab}	6.7±1.3 ^c	21.88
种子数比(个/g)	20.1±2.5 ^b	15.3±2.0 ^c	18.8±3.6 ^{bc}	20.2±1.8 ^b	28.1±3.9 ^a	24.51
果肉比(%)	77.78±4.68 ^b	83.93±1.81 ^a	80.77±1.72 ^{ab}	79.38±1.77 ^{ab}	71.10±4.79 ^c	6.63
L^*	32.41±1.54 ^b	32.10±0.89 ^{bc}	32.52±1.42 ^b	31.15±1.20 ^c	33.73±1.45 ^a	4.68
a^*	32.76±1.85 ^a	33.05±2.38 ^a	33.02±2.55 ^a	30.66±1.41 ^b	34.35±2.11 ^a	7.16

注: 同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 表2、表3同。

4 号的明度偏暗, 其 L^* 值最低(31.15); 1 号、2 号、3 号、5 号的 a^* 值接近, 且均显著高于 4 号样品($P<0.05$)。

2.2 新品种朝天椒的主要营养成分

新品种朝天椒的主要营养成分含量见表 2。可以看出, 5 种朝天椒的水分、灰分和三大营养成分含量不尽相同。其中, 1 号的灰分(1.67 g/100 g)、碳水化合物(20.03 g/100 g)和脂肪(3.91 g/100 g)含量最高, 水分含量最低(70.18 g/100 g); 2 号的水分含量(78.05 g/100 g)最高, 碳水化合物(14.74 g/100 g)、蛋白质(2.91 g/100 g)和脂肪(3.20 g/100 g)含量最低; 3 号与 4 号的水分、碳水化合物、蛋白质和脂肪含量接近; 4 号的灰分含量(1.08 g/100 g)最低; 5 号的蛋

白质含量最高(4.63 g/100 g)。此外, 1 号、2 号、5 号的水分、碳水化合物和脂肪含量差异显著($P<0.05$), 1 号和 5 号的蛋白质含量显著高于 2 号($P<0.05$), 且 1 号和 5 号的灰分均显著高于 2 号、3 号和 4 号($P<0.05$)。究其原因可能与 5 种朝天椒的杂交组合不同有关。5 种朝天椒的蛋白质含量接近于任朝辉等^[13]报道的结果(2.36~3.67 g/100 g), 其灰分含量接近于 Martinez 等^[14]报道的结果(0.75%~2.43%)。

5 种朝天椒的 Zn 含量接近, 但其 K、Mg、Ca、Na 和 Fe 的含量存在较大差异, 这与其基因型和果实发育阶段矿物质积累变化不同有关^[15]。其中, 1 号的 Ca 含量最高, 2 号的 K、Mg、Na 和 Fe 含量最低,

表 2 新品种朝天椒中主要营养成分的含量

Table 2 Contents of major nutrients in new varieties of pod peppers

指标	1	2	3	4	5	变异系数(%)
水分(g/100 g)	70.18±0.52 ^d	78.05±0.08 ^a	76.29±0.01 ^b	76.07±0.26 ^b	73.40±0.19 ^c	3.88
碳水化合物(g/100 g)	20.03±0.42 ^a	14.74±0.08 ^d	15.67±0.16 ^c	16.10±0.22 ^c	17.06±0.04 ^b	11.49
蛋白质(g/100 g)	4.23±0.23 ^a	2.91±0.08 ^c	3.51±0.10 ^b	3.28±0.02 ^{bc}	4.63±0.23 ^a	18.10
脂肪(g/100 g)	3.91±0.08 ^a	3.20±0.10 ^c	3.39±0.04 ^b	3.47±0.06 ^b	3.43±0.07 ^b	7.21
灰分(g/100 g)	1.67±0.05 ^a	1.10±0.01 ^{cd}	1.15±0.03 ^c	1.08±0.01 ^d	1.49±0.01 ^b	19.30
钾(mg/kg)	7009±475 ^a	4847±154 ^c	5740±252 ^b	5395±206 ^{bc}	7064±314 ^a	15.95
镁(mg/kg)	553±8 ^{ab}	401±7 ^c	435±20 ^c	540±3 ^b	585±19 ^a	15.13
钙(mg/kg)	338±9 ^a	203±10 ^c	249±3 ^b	183±10 ^d	330±0 ^a	25.87
钠(mg/kg)	56.8±1.5 ^b	23.8±1.2 ^d	33.8±0.7 ^c	33.6±0.1 ^c	60.2±0.3 ^a	36.11
铁(mg/kg)	4.8±0.1 ^b	3.5±0.1 ^c	5.1±0.1 ^b	5.0±0.2 ^b	7.4±0.4 ^a	25.71
锌(mg/kg)	4.9±0.3 ^a	4.9±0.1 ^a	4.6±0.3 ^a	4.4±0.1 ^a	4.8±0.3 ^a	5.73
维生素C(mg/100 g)	77±2 ^c	107±2 ^d	182±6 ^a	150±1 ^b	135±5 ^c	30.85

5 号的 K、Mg、Na 和 Fe 含量最高。1 号与 5 号的 K、Mg、Ca 含量接近, 且显著高于其它 3 种辣椒 ($P<0.05$); 2 号与 3 号的 Mg 含量接近但显著低于其它 3 种辣椒 ($P<0.05$); 2 号、3 号与 4 号辣椒的 Ca 含量差异显著 ($P<0.05$)。1 号、2 号、5 号与 3 号或 4 号辣椒的 Na 含量差异显著 ($P<0.05$), 1 号、3 号与 4 号辣椒的 Fe 含量相近, 且显著高于 2 号辣椒 ($P<0.05$), 显著低于 5 号辣椒 ($P<0.05$)。

5 种新品种朝天椒的维生素 C 含量差异显著 ($P<0.05$), 这与其杂交组合不同有关。5 种朝天椒中, 3 号的维生素 C 含量最高 (182 mg/100 g), 4 号次之 (150 mg/100 g), 1 号的维生素 C 含量最低 (77 mg/100 g), 这些结果均在任朝辉等^[2]报道的朝天椒维生素 C 含量范围内 (50.8~225.4 mg/100 g)。

2.3 新品种朝天椒的辣椒素类物质与辣度

辛辣味是辣椒的主要特征风味, 其形成与辣椒素类物质的种类和含量密切相关^[16]。目前已发现 20 余种辣椒素类物质, 以辣椒素与二氢辣椒素为主, 二者占总量的 90% 以上, 故通常测定该两种物质的含量以表征辣椒的辣度^[17]。新品种朝天椒中辣椒素类物质含量及其辣度见表 3。可以看出, 5 种朝天椒的辣椒素类物质含量与辣度均存在显著差异 ($P<0.05$), 表明品种是影响辣椒辣度的重要因素, 采用不同杂交组合的三系培育技术可获得具有不同辣度的新品种辣椒。5 种朝天椒的辣椒素含量均高于二氢辣椒素含量, 这与 Ye 等^[18]的研究结果一致。5 种朝天椒中, 2 号的辣椒素含量 (0.283 g/kg) 与辣度最低, 其辣椒素总量略高于四川二荆条 (辣椒素总量 0.369 g/kg^[19]); 5 号朝天椒具有最高的辣椒素含量 (0.650 g/kg) 与二氢辣椒素含量 (0.366 g/kg), 其辣椒素总量是 2 号的 2.43 倍, 接近于云南小米辣 (辣椒素总量 1.10 g/kg^[20]), 其辣度最高, 辣度级别为 7 级, 属

于高辣品种。这与该两种朝天椒的杂交组合不同有关。1 号、3 号及 4 号的辣椒素总量和辣度介于 2 号与 5 号之间, 其辣度级别均为 6 级, 属于中辣品种。

5 种新品种朝天椒样品的农艺性状之间及其与辣椒素类物质含量的相关性分析见表 4。可以看出, 样品的辣椒素总量与其果重和果肉比呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与其种子数比呈极显著正相关 ($P<0.01$), 即辣椒果实越轻、果肉比越低、种子数越多, 其辣椒素总量和辣度越高, 这可能是因为辣椒的辣椒素总量主要受其品种影响。样品的果重与其种子数比呈显著负相关 ($P<0.05$), 与其果肉比呈极显著正相关 ($P<0.01$), 即辣椒果实越重, 种子数比越低, 果肉比越高。

2.4 新品种朝天椒的挥发性物质

新品种朝天椒的挥发性物质种类和相对含量见表 5。5 种朝天椒中共鉴定出 100 种挥发性物质, 包括 40 种烯烃、18 种酯类、15 种烷烃、13 种醇类、5 种芳香烃、4 种醛类、4 种酮类和 1 种羧酸, 主要为前 5 类物质, 但其挥发性物质种类不尽相同, 分别为 53、65、68、60 和 63 种 (图 2), 且 1 号与 5 号的挥发性物质种类和相对含量明显不同, 这与二者的杂交组合不同有关。然而, 2 号、3 号和 4 号中含有的烯烃、烷烃和酯类物质的种类接近, 这可能与三者的杂交组合具有共同的父本有关。5 种样品中, 1 号的烯烃类种类物质最多 (33), 但其挥发性物质种类最少 (53) 和酯类 (3) 与醇类 (4) 物质最少; 2 号的醛类物质种类最多 (4); 3 号的挥发性物质种类最多 (68), 其醇类 (9) 与酮类 (3) 物质最丰富, 包括二氢香芹醇、橙花叔醇等特征醇类; 4 号和 5 号的烷烃类物质种类最多 (11); 5 号的酯类物质种类最多 (15), 包括己酸异戊酯、异戊酸异戊酯等特征酯类。

烃类物质中烷烃类物质的香气较弱或无气味,

表 3 新品种朝天椒的辣椒素类物质含量与辣度

Table 3 Capsaicinoids content and pungency degree of new varieties of pod peppers

指标	1	2	3	4	5	变异系数 (%)
辣椒素 (g/kg)	0.403±0.008 ^c	0.283±0.009 ^d	0.464±0.008 ^b	0.402±0.000 ^c	0.650±0.002 ^a	28.74
二氢辣椒素 (g/kg)	0.115±0.001 ^d	0.135±0.006 ^c	0.180±0.008 ^b	0.188±0.001 ^b	0.366±0.008 ^a	47.66
辣椒素总量 (g/kg)	0.575±0.008 ^d	0.464±0.016 ^c	0.716±0.017 ^b	0.656±0.000 ^c	1.128±0.007 ^a	33.76
斯科维尔指数 (SHU)	8865±131 ^d	7157±251 ^c	11040±270 ^b	10118±4 ^c	17399±104 ^a	33.76
辣度	59±1 ^d	48±2 ^c	74±2 ^b	67±0 ^c	116±1 ^a	33.76
辣度级别	6(中辣)	6(中辣)	6(中辣)	6(中辣)	7(高辣)	6

表 4 新品种朝天椒的农艺性状与辣椒素类物质含量的相关性

Table 4 Relevance between agronomic traits and capsaicinoids content of new varieties of pod peppers

项目	辣椒素总量	果重	果长	果肉比	种子数比
辣椒素总量	1				
果重	-0.929**	1			
果长	-0.497	0.452	1		
果肉比	-0.944**	0.808**	0.490	1	
种子数比	0.816**	-0.761*	-0.523	-0.880**	1

注: *表示相关性显著 ($P<0.05$); **表示相关性极显著 ($P<0.01$)。

表5 新品种朝天椒中的挥发性物质及其相对含量(%)

Table 5 Volatile components and their relative contents in new varieties of pod peppers (%)

序号	物质	1号	2号	3号	4号	5号
1	3-侧柏烯	0.26	0.18	0.29	0.27	0.19
2	蒎烯	0.72	0.56	0.85	0.77	0.64
3	莰烯	0.03	—	0.03	0.03	0.02
4	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	5.00	3.19	4.34	4.37	3.53
5	左旋- β -蒎烯	1.21	0.80	1.21	1.12	1.00
6	月桂烯	7.39	4.38	5.07	5.11	4.23
7	水芹烯	2.08	1.15	1.49	1.44	1.33
8	3-萜烯	4.05	2.19	2.85	2.66	2.58
9	4-萜烯	0.53	0.27	0.40	0.37	0.26
10	(+)-柠檬烯	26.63	12.93	14.72	14.64	12.38
11	α -蒎烯	0.38	0.20	0.29	0.21	0.19
12	罗勒烯	1.43	1.49	2.74	1.12	0.73
13	γ -松油烯	1.93	0.93	1.31	1.26	1.00
14	萜品油烯	0.16	—	—	—	—
15	2-萜烯	1.11	0.55	0.71	0.62	0.55
16	别罗勒烯	0.08	—	0.06	—	—
17	水云烯	0.05	—	—	—	—
18	长叶蒎烯	0.42	0.80	0.87	0.45	0.36
19	(+)-长叶环烯	0.21	0.37	0.36	0.19	—
20	α -蒎烯	0.24	0.13	0.28	0.15	—
21	7-十四碳烯	0.14	0.16	—	0.19	—
22	1-十四烯	0.06	0.26	0.07	—	—
23	β -榄香烯	—	0.28	—	—	—
24	β -石竹烯	0.29	0.12	0.12	0.13	0.25
25	(9E)-9-十八碳烯	0.26	1.00	0.54	0.65	0.67
26	香树烯	0.71	1.85	1.58	1.00	20.78
27	雪松稀	0.57	1.09	1.20	0.94	—
28	(+)-香橙烯	—	—	—	—	0.61
29	顺-2-甲基-7-十八烯	0.20	—	—	—	—
30	(Z)-2-甲基-3-十一烯	—	0.05	0.03	—	—
31	(Z)-7-十六碳烯	—	0.24	0.18	—	0.48
32	(E)-5-十八碳烯	0.20	—	—	0.33	—
33	(5Z)-2,6,10-三甲基-1,5,9-十一碳三烯	0.16	0.12	0.16	0.10	0.09
34	(+)-氧化柠檬烯	0.18	—	0.06	0.11	0.12
35	顺式-(-)-2,4a,5,6,9a-六氢-3,5,5,9-四甲基(1H)苯并环庚烯	3.74	2.26	2.29	1.37	—
36	1H-苯并环庚烯四甲基,5,6,7,8,9,9a-六氢-3,5,5,9-四甲基-,(9S,9aS)-	—	—	—	—	0.17
37	α -依兰烯	—	—	—	—	1.40
38	2-甲基-7-十九碳烯	0.11	—	—	—	—
39	α -雪松稀	1.20	1.65	1.73	0.96	0.87
40	2-甲基-7-十六碳烯	—	—	—	0.22	0.27
	烯烃类	61.73(33)	39.20(28)	45.83(29)	40.78(28)	54.70(26)
41	壬基环丙烷	0.04	—	—	—	0.05
42	2-甲基-6-丙基十二烷	—	0.09	—	—	—
43	1,1,2-三甲基环十一烷	0.62	0.96	0.78	0.78	0.40
44	正十五烷	5.81	8.18	5.95	9.20	5.92
45	正十六烷	0.44	0.92	0.53	1.22	0.55
46	1,1-二甲基-3-己基环戊烷	3.68	4.28	2.79	3.51	3.04
47	2-甲基十四烷	2.86	4.89	3.22	4.28	3.71
48	正十七烷	—	1.45	0.73	1.91	—
49	2-甲基十七烷	0.86	1.46	0.89	2.39	2.58
50	正二十一烷	—	0.64	0.35	1.16	0.87
51	8-己基十五烷	—	0.31	0.15	0.37	0.72
52	正二十四烷	—	—	—	0.96	0.89
53	2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环	0.02	—	0.01	0.02	—
54	2,6,10,15-四甲基十七烷	0.25	—	—	—	—

续表 5

序号	物质	1号	2号	3号	4号	5号
55	3-甲基十七烷	—	—	—	—	0.22
	烷烃类	14.58(9)	23.18(10)	15.40(10)	25.80(11)	18.95(11)
56	茴香脑	4.96	8.97	10.66	9.71	3.96
57	苯乙烯	—	0.07	0.07	—	0.05
58	甲苯	—	0.04	0.04	0.08	0.03
59	p-伞花烃	2.49	1.18	1.41	1.57	1.23
60	异丙烯基甲苯	0.13	—	—	—	—
	芳香烃类	7.58(3)	10.26(4)	12.18(4)	11.36(3)	5.27(4)
61	甲酸己酯	—	0.57	1.51	—	—
62	异戊酸异戊酯	—	—	—	—	0.17
63	异丁酸己酯	—	0.57	0.22	0.28	0.85
64	异戊酸叶醇酯	—	—	—	—	0.06
65	顺式-3-己烯醇-2-甲基丁酸酯	—	0.05	—	—	0.03
66	3-甲基丁酸己(基)酯	—	6.38	—	—	5.19
67	2-甲基丁酸己酯	1.16	2.13	1.40	1.53	2.40
68	己酸异戊酯	—	—	—	—	0.13
69	异丁酸庚酯	—	—	—	—	0.08
70	正戊酸-(Z)-3-己烯酯	—	0.17	—	0.12	0.24
71	异戊酸己酯	—	0.14	0.07	0.10	0.14
72	正戊酸己酯	—	0.55	0.29	0.37	0.39
73	己酸己酯	1.52	3.60	2.83	2.87	2.26
74	庚酸丁酯	—	—	—	0.11	—
75	氯甲酸正壬基酯	—	—	0.19	—	—
76	癸酸异戊酯	—	0.28	0.30	0.63	0.57
77	壬二酸二己酯	—	0.34	0.38	0.57	0.26
78	2,2-二甲基丙酸庚酯	0.31	—	0.41	0.34	0.29
	酯类	2.99(3)	14.78(11)	7.60(10)	6.92(10)	13.06(15)
79	乙醇	—	0.04	0.04	0.08	0.05
80	1-戊醇	—	0.03	—	—	—
81	叶醇	—	0.73	—	—	—
82	芳樟醇	7.64	6.66	7.16	5.16	3.19
83	(-)-4-萜品醇	0.61	0.49	0.74	0.54	0.31
84	二氢香芹醇	—	—	0.34	—	—
85	1-戊烯-3-醇	—	—	0.01	—	—
86	4-甲基-1-戊醇	—	0.46	0.20	0.04	—
87	反式-2-己烯醇	—	—	0.38	—	—
88	9-十七醇	0.09	—	—	—	—
89	2-(4-甲基-2,4-环己二烯)-2-丙醇	—	—	—	—	0.05
90	顺式-4-侧柏醇	0.07	—	0.07	0.06	0.04
91	橙花叔醇	—	—	0.28	—	—
	醇类	8.41(4)	8.41(6)	9.22(9)	5.88(5)	3.64(5)
92	丙酮	0.27	—	—	—	—
93	3-戊酮	—	0.07	0.05	—	—
94	α -紫罗酮	—	0.09	0.09	—	—
95	2-羟基环十五烷酮	—	—	0.21	—	—
	酮类	0.27(1)	0.16(2)	0.35(3)	0	0
96	正己醛	—	0.05	—	—	—
97	2-己烯醛	—	0.56	0.42	—	—
98	十四醛三聚物	—	0.71	0.73	0.40	0.53
99	十五醛	—	0.57	0.62	0.85	0.84
	醛类	0	1.89(4)	1.77(3)	1.25(2)	1.37(2)
100	顺式-10-十七烯酸	—	—	—	0.11	—
	羧酸类	0	0	0	0.11(1)	0
	总计	95.56(53)	97.88(65)	92.35(68)	92.10(60)	96.99(63)

注: 括号中数字表示挥发性物质种类数量。

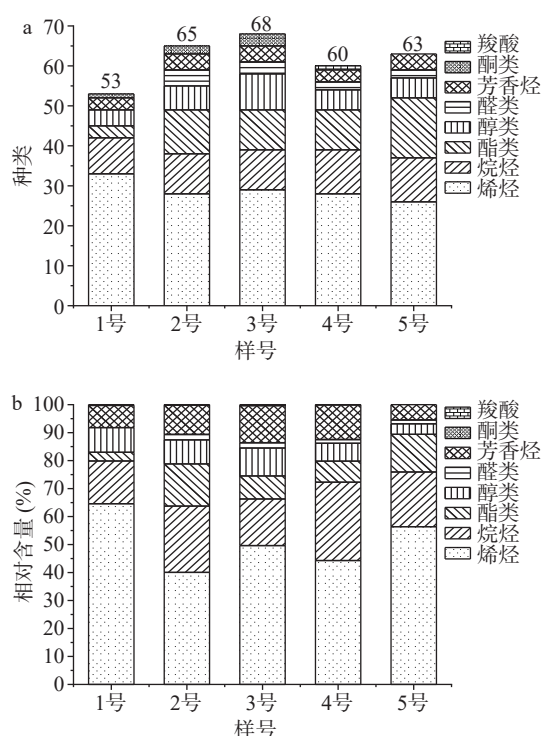


图2 新品种朝天椒的挥发性物质种类(a)及其相对含量(b)

Fig.2 Types (a) and relative contents (b) of volatile components in new varieties of pod peppers

对辣椒风味的贡献程度较低^[21],而烯烃类物质阈值较低,呈现水果和香料的复合香^[22],是辣椒的主要呈香物质。5种朝天椒的烯烃类物质的相对含量最高(39.20%~61.73%),且其种类丰富,包括蒎烯、月桂烯、(+)-柠檬烯、长叶蒎烯、 β -石竹烯、香树烯、 α -雪松烯等,以(+)-柠檬烯为主,其相对含量超过10%,呈柠檬果香味^[23],是朝天椒的主要风味物质。新品种朝天椒中酯类与醇类物质的相对含量较高,但其种类与含量存在较大差异。5种朝天椒中均含有己酸己酯、芳樟醇与2-甲基丁酸己酯,该3种物质分别呈嫩茭青刀豆香气和生水果香味^[24]、浓青香和木青香香气^[25]、强烈的水果青香香气和持久的似黑胡椒香味^[26],对辣椒的“刺激性”气味具有贡献作用。芳樟醇、茴香脑、2-甲基丁酸己酯、己酸己酯、罗勒烯和雪松烯^[4, 26-27]是辣椒中活跃的香气成分,在各种新鲜辣椒或辣椒粉中均被检出,可赋予辣椒果香与刺激性气味。然而,5种新品种朝天椒的挥发性物质组成与已报道的结果存在较大差异,这与其品种以及气候、土壤、水质和肥料等生长环境不同有关^[4, 28]。

3 结论

不同杂交组合的三系培育新品种朝天椒的农艺性状、辣椒素含量、主要营养成分含量和挥发性物质组成存在差异,烯烃类、酯类和醇类是其挥发性物质。5种朝天椒中,1号的果长最短,水分和维生素C含量最低,挥发性物质种类最少;2号的果长和果重最大,水分含量最高,挥发性物质种类多,蛋白质和脂肪的含量最低,辣度最小;3号的挥发性物质种类最多;4号的灰分最低;5号的果重和果肉比最小,

种子数比最高,辣度最大,挥发性物质种类多,蛋白质含量最高。由此可知,1号和5号适合于干制,尤其是后者,它是加工干椒的优良品种;2号、3号和4号既可鲜食和干制,还可用于加工泡椒和剁辣椒等辣椒制品。然而,本研究中缺乏与杂交组合的母本和父本辣椒样品的对比分析,未能深入探讨不同新品种朝天椒品质特性差异的根本原因。

参考文献

- [1] SWAMY B N, HEDAU N K, CHAUDHARI G V, et al. CMS system and its stimulation in hybrid seed production of *Capsicum annuum* L. [J]. *Scientia Horticult*, 2017, 222: 175-179.
- [2] 任朝辉, 廖卫琴, 周安韦, 等. 不同朝天椒品种资源营养品质分析 [J]. *种子*, 2020, 39(6): 72-75. [REN C H, LIAO W Q, ZHOU A W, et al. Nutritional quality analysis of different pod pepper varieties [J]. *Seed*, 2020, 39(6): 72-75.]
- [3] 杨笋. 辣椒中辣椒素类物质和营养品质及相关酶活性变化规律的研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2020. [YANG S. Study on the changes of capsaicinoids and nutritional quality and related enzymes in pepper [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2020.]
- [4] 刘蓉. 辣椒风味物质的研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008. [LIU R. Studies on the flavor compounds in capsicum [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.]
- [5] 李达, 傅维, 李响. 朝天椒及米椒中可挥发性风味物质含量研究 [J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(19): 41-43. [LI D, FU W, LI X. A preliminary study on the content of volatile flavor compounds of capsicum and rice chilli [J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(19): 41-43.]
- [6] WOLDEMARIAM H W, KIEBLING M, EMIRE S A, et al. Influence of electron beam treatment on naturally contaminated red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder: Kinetics of microbial inactivation and physicochemical quality changes [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2021, 67: 102588.
- [7] GUO Y M, BAI J J, DUAN X D, et al. Accumulation characteristics of carotenoids and adaptive fruit color variation in ornamental pepper [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 275: 109699.
- [8] 成善汉, 贺申魁, 陈文斌, 等. 不同基因型辣椒的辣椒素含量测定和辣度级别分析 [J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2009, 27(1): 38-42. [CHENG S H, HE S K, CHEN W B, et al. Detection of capsaicin and dihydrocapsaicin content and analysis of pungency degree in different pepper genotypes [J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2009, 27(1): 38-42.]
- [9] YIN H L, CHEN M J, LI P, et al. Study on the potential contribution of bacterial community on the volatile flavour of Yongfeng chilli paste [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2022, 57(8): 5553-5565.
- [10] YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Effect of ripening and variety on the physicochemical quality and flavor of fermented Chinese chili pepper (*Paojiao*) [J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130797.
- [11] KRZYKOWSKI A, DZIKI D, RUDY S, et al. Effect of pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 98: 25-30.

- [12] PINAR H, CETIN N, CIFTCI B, et al. Biochemical composition, drying kinetics and chromatic parameters of red pepper as affected by cultivars and drying methods[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 102: 103976.
- [13] 任朝辉, 陈兴侣, 田浩, 等. 不同朝天椒种质资源品质和产量的综合评价[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(8): 2191–2198. [REN C H, CHEN X L, TIAN H, et al. Comprehensive analysis on quality and yield of different pod pepper germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(8): 2191–2198.]
- [14] MARTINEZ M, DOS SANTOS C P, VERRUMA-BERNARDI M R, et al. Agronomic, physical-chemical and sensory evaluation of pepper hybrids (*Capsicum chinense* Jacquin)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 277: 109819.
- [15] SARPRAS M, AHMAD I, RAWOOF A, et al. Comparative analysis of developmental changes of fruit metabolites, antioxidant activities and mineral elements content in Bhut jolokia and other *Capsicum* species[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 105: 363–370.
- [16] 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. [YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Comparison and comprehensive analysis of quality characteristics of fermented Xiaomila in different cultivars[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(10): 87–95.]
- [17] 霍瑞春, 王国泽, 姚慧静, 等. 19种加工辣椒辣椒素提取、纯化及其含量测定[J]. *中国调味品*, 2022, 47(4): 167–172. [HUO R C, WANG G Z, YAO H J, et al. Extraction, purification and content determination of capsaicins from 19 kinds of processed pepper[J]. *China Condiment*, 2022, 47(4): 167–172.]
- [18] YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Evaluation of the physiochemical and aromatic qualities of pickled Chinese pepper (*Paojiao*) and their influence on consumer acceptability by using targeted and untargeted multivariate approaches[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109535.
- [19] 彭槩, 黄钧, 黄家全, 等. 不同产地和品种辣椒的特性差异分析[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(13): 159–167. [PENG C, HUANG J, HUANG J Q, et al. Analysis of the characteristics of peppers of different origins and varieties[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(13): 159–167.]
- [20] 刘录, 陈海云, 刘菲菲, 等. HPLC法测定云南省不同辣椒品种中辣椒碱及二氢辣椒碱的含量[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(5): 299–303. [LIU L, CHEN H Y, LIU F F, et al. Determination of capsaicine and dihydrocapsaicin in different kinds chills of Yunnan Province by high performance liquid chromatograph[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 299–303.]
- [21] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 199–205. [LU K, WANG X Y, SUN X J, et al. Analysis of the volatile components of fermented hot pepper from different varieties grown in Guizhou by electronic nose combined with SPME-GC-MS[J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 199–205.]
- [22] BOGUSZ J S, MARCO P H, VALDERRAMA P, et al. Analysis of volatile compounds in *Capsicum* spp. by headspace solid-phase microextraction and GC×GC-TOFMS[J]. *Analytical Methods*, 2015, 7(2): 521–529.
- [23] 王花俊, 王军, 楚首道, 等. 蒟蒻籽中挥发性香味成分的分析研究[J]. *中国调味品*, 2019, 44(11): 141–142, 156. [WANG H J, WANG J, CHU S D, et al. Analysis of volatile aroma components in dill seeds (*Anethii fructus*)[J]. *China Condiment*, 2019, 44(11): 141–142, 156.]
- [24] 钟燕青, 夏延斌. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同菌种发酵辣椒汁的香气分析[J]. *食品科技*, 2012, 37(8): 271–275. [ZHONG Y Q, XIA Y B. SPME-GC-MS analysis of flavor components in hot pepper sauce of various fermentation ways[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(8): 271–275.]
- [25] 杜勃峰, 李达, 肖仕芸, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 及主成分分析综合评价贵州典型辣椒品种香气品质[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(7): 149–155. [DU B F, LI D, XIAO S Y, et al. Comprehensive evaluation of aroma quality of different pepper based on HS-SPME-GC-MS and principal component analysis[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(7): 149–155.]
- [26] 熊学斌, 夏延斌, 张晓, 等. 不同品种辣椒粉挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(16): 161–164. [XIONG X B, XIA Y B, ZHANG X, et al. Gas chromatography-mass spectrometric analysis of volatile components in capsicum powder from different cultivars[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(16): 161–164.]
- [27] 叶子, 商智勋, 李美奇, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 非靶向分析不同发酵小米辣的风味差异[J]. *食品科学*, 2022, 43(6): 309–316. [YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Untargeted analysis of flavor differences among fermented *Capsicum frutescens* from different cultivars based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2022, 43(6): 309–316.]
- [28] MORALES-SORIANO E, KEBEDE B, UGAS R, et al. Flavor characterization of native Peruvian chili peppers through integrated aroma fingerprinting and pungency profiling[J]. *Food Research International*, 2018, 109: 250–259.