

不同地区指形朝天椒品质差异分析及综合评价

陈菊¹,李文馨¹,孙惠桢²,王雪雅¹,蓬桂华¹,孙小静¹,何建文^{1*}

(1. 贵州省农业科学院辣椒研究所, 贵州 贵阳 550006; 2. 贵州省农业对外经济合作中心, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 以5个地区的指形朝天椒为原料,通过测定其10项品质指标,分析该指标显著性差异,建立综合评价模型进行朝天椒品质综合评价,并对品种进行聚类分析。结果表明,朝天椒品质指标间存在不同程度的差异;HS-1~HS-5分别检测出66、64、62、66种和60种挥发性物质,各自分别含有8、12、6、9种和12种特有物质,而5种朝天椒中均含有的挥发性物质有27种。 β -蒎烯是HS-1、HS-2和HS-5中含量最多的挥发性物质,HS-3、HS-4中含量最多的挥发性物质为十六烷。基于朝天椒的10个品质指标,主成分分析提取3个主成分,根据这3个主成分对朝天椒的品质进行综合评价,最终得出的最优品种为HS-1,这可为辣椒育种和加工优质原材料的选择提供指导作用。

关键词: 指形朝天椒;特有物质;共有物质;主成分分析;综合评价;聚类分析

Analysis and Comprehensive Evaluation of Quality Differences of Cluster Red Pepper in Different Regions

CHEN Ju¹, LI Wenxin¹, SUN Hui'an², WANG Xueya¹, PENG Guihua¹, SUN Xiaojing¹, HE Jianwen^{1*}

(1. Chili Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China; 2. Agricultural Foreign Economic Cooperation Center of Guizhou Province, Guiyang 550001, Guizhou, China)

Abstract: Ten quality indicators of cluster red pepper samples from five different regions were measured to analyze the significant differences in these indicators. A comprehensive evaluation model was established for the overall quality assessment of cluster red pepper, followed by cluster analysis of the varieties. The results showed that there were varying degrees of differences among the quality indicators of cluster red pepper. 66, 64, 62, 66, and 60 types of volatile substances were detected in HS-1 to HS-5, respectively, each containing 8, 12, 6, 9, and 12 unique substances. Among the five types of cluster red pepper, there were 27 common volatile substances. The β -pinene was the most abundant volatile substance in HS-1, HS-2, and HS-5, while hexadecane was the most abundant in HS-3 and HS-4. Based on the 10 quality indicators of cluster red pepper, principal component analysis extracted three principal components. These three principal components were used to comprehensively evaluate the quality of cluster red pepper, and the optimal variety was determined to be HS-1. This study was expected to serve as guidance for chili breeding and selecting high-quality raw materials for processing.

Key words: cluster red pepper; unique substance; common substance; principal component analysis; comprehensive evaluation; cluster analysis

引文格式:

陈菊,李文馨,孙惠桢,等. 不同地区指形朝天椒品质差异分析及综合评价[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 116-124.
CHEN Ju, LI Wenxin, SUN Hui'an, et al. Analysis and Comprehensive Evaluation of Quality Differences of Cluster Red Pepper in Different Regions[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 116-124.

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2022]重点016号); 贵州省农业科学院青年基金项目(黔农科院青年基金[2023]18号、黔农科院青年基金[2019]15号)

作者简介: 陈菊(1992—), 女(布依), 硕士研究生, 研究方向: 辣椒及其制品研究开发。

*通信作者: 何建文(1982—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向: 辣椒种质资源创新与遗传改良。

辣椒(*Capsicum annuum* L.)属于茄科,为1年生或多年生植物,又被称为海椒、辣茄、辣子、番椒、海椒、辣角等^[1-4]。辣椒富含维生素、辣椒素和矿物质等^[3],具有抗氧化、抑菌、开胃的功效^[5-6],是一种脂肪含量少的食品和调味品,是世界第三大蔬菜作物^[7]。朝天椒是辣椒的一个变种^[8],其果型较小,一般单生或簇生朝天生长,辣度高,营养丰富。

在日常烹饪中,辣椒是一种受到消费者欢迎的香辛料,其可与酸、甜、咸、香、鲜等味相互作用,使口味更加协调^[9]。辣椒及其加工产品的品质受蛋白质、总糖、粗脂肪、粗纤维、辣椒素、挥发性物质含量等指标的影响^[7]。蛋白质具有人体所需的必需氨基酸,能够提高产品的营养价值。粗脂肪含量与辣椒风味呈正相关,含量越高,辣椒香味越浓^[10]。糖与植物的生长发育、呼吸代谢、产量的形成和品质等各方面均有联系^[11]。辣椒素具有减肥、抗癌、降糖、免疫调节和缓解疼痛等作用^[12-13],已被广泛应用于食品、医疗及军事等领域^[9]。粗纤维对人体肠道的蠕动有着重要作用^[14-16]。脂肪酸的组成及其配比在很大程度上决定了辣椒的营养价值和保健功效^[17]。

随着人们生活水平的提高,人们越来越注重食品的品质。所以辣椒品质综合分析已成为研究热点,目前针对不同辣椒的种质资源品质和产量的综合评价报告较多,针对不同地区同种型状的朝天椒综合评价分析较少,且对于不同朝天椒的特有风味物质和共有风味物质的分析也鲜有报道。因此全面分析不同地区同种性状的朝天椒综合品质,分析其独有及共有风味物质极具研究意义。本研究以5个地区的朝天椒作为研究对象,对其粗脂肪、粗纤维、蛋白质等10项品质指标进行测定,分析其差异显著性及不同地区朝天椒的特有和共有风味物质,并对其综合品质进行评价,以期为生产加工辣椒粉或辣椒其他产品的原料选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

试验所用材料来自5个地区2021年种植的干红指型朝天椒,详细信息见表1。

表1 5种朝天椒品种及来源地

Table 1 Five cluster red pepper varieties and origins

编号	品种名称	果型	来源地
HS-1	内52	指形朝天椒	内蒙古
HS-2	河南三樱椒	指形朝天椒	河南省
HS-3	甘肃829	指形朝天椒	甘肃省
HS-4	印度小米辣	指形朝天椒	印度
HS-5	红曼巴	指形朝天椒	贵州省

石油醚、四氢呋喃、无水乙醇、甲醇、硫酸(均为分

析纯):天津市富宇精细化工有限公司;氢氧化钠(分析纯):重庆川东化工(集团)有限公司;2-辛醇标准品($\geq 99.5\%$,色谱纯):上海源叶生物科技有限公司;辣椒红素标准品($\geq 95\%$,色谱纯):上海惠诚生物科技有限公司;辣椒素标准品($\geq 98\%$,色谱纯)、二氢辣椒素标准品($\geq 98\%$,色谱纯)、总糖含量检测试剂盒(BC2710)、还原糖检测试剂盒(BC0230):北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

萃取纤维(50/30 μm DVB/CAR/PDMS)、手动 SPME 装置:美国 Supelco 公司;气相质谱联用仪(7890B/7000D):美国安捷伦有限公司;电热鼓风干燥箱(DHG-9240A):上海焯南仪器有限公司;全自动索氏脂肪分析仪(SQXTEL8000)、全自动粗纤维分析仪(FIBER8000)、全自动凯氏定氮仪(KTELLEC8000):福斯华(北京)科贸有限公司;紫外-可见分光光度计(1510):赛默飞世尔科技公司;数控超声波清洗机(FX-500S):济宁丰鑫超声设备有限公司;电子天平(BSA423S型):塞多利科学仪器(北京)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

样品经55 $^{\circ}\text{C}$ 烘72h后经粉碎机粉碎2min过筛,将过40目筛的辣椒粉用于指标测定。

1.3.2 指标测定

总糖含量、还原糖含量采用试剂盒测定;辣椒素和二氢辣椒素含量测定及样品辣度计算参考 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》进行测定;辣椒红素含量参照韩晓岚等^[18]的方法进行测定;粗脂肪含量采用全自动索氏脂肪分析仪进行测定;蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪进行测定;粗纤维含量采用全自动粗纤维分析仪进行测定。以上试验每个样品做3个平行。

1.3.3 挥发性物质测定

挥发性物质测定参考文献[19-20]的方法并加以改动,称取1.0g粉碎后的干辣椒粉于10mL固相微萃取采样瓶中,加入5 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 2-辛醇(甲醇溶解)30 μL 作为内标,用含聚四氟乙烯衬里的硅橡胶盖子密封,将密封好的样品瓶于60 $^{\circ}\text{C}$ 磁力搅拌器中热平衡8min,然后将已老化的50/30 μm PDMS萃取头通过隔垫插入样品瓶内,推出纤维头,使之距样品面约5mm,顶空吸附40min后,快速移出萃取头,并迅速将萃取头插入气相质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)进样口(250 $^{\circ}\text{C}$)热解吸5min,每个样品3个平行试验。色谱条件:采用HP-5MS 5%毛细管柱(30m \times 250 μm \times 0.25 μm);载气为高纯He(99.999%),流速1mL/min,不分流;进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$;升温程序为起始温度45 $^{\circ}\text{C}$,以3.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至85 $^{\circ}\text{C}$ (保留2min),再

以 2.5 °C/min 升至 126 °C(保留 2 min),然后以 1 °C/min 升至 140 °C,最后以 20 °C/min 升至 280 °C。质谱条件:电子电离源,电子轰击能量 70 eV;发射电流 34.6 μA;离子源温度 230 °C;四极杆温度 150 °C;接口温度 280 °C;质量扫描范围 20~550 amu。

谱图分析:将试验数据通过 NIST17 标准谱库进行自动检索和人工解析,将匹配度大于 85% 作为物质鉴定依据,检索鉴定,采用内标相对定量法,得到各挥发性物质生物相对含量,计算公式如下。

$$C_i = \frac{A_i}{B} \times \frac{m_B}{m}$$

式中: C_i 为*i*物质的浓度,μg/g; A_i 为*i*物质的峰面

积; B 为内标物峰面积; m_B 为内标物的添加量,g; m 为样品质量,g。

1.4 数据处理

所有数据采用 Excel 进行整理,以平均值±标准差表示;数据的差异显著性分析和主成分分析采用 SPSS 19 软件;采用 Origin 2017 软件和维恩图在线制作软件作图;采用 Minitab 软件聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同地区指形朝天椒品质指标比较

5 种朝天椒的总糖、还原糖、辣椒红素、蛋白质、粗脂肪、粗纤维、辣椒素和二氢辣椒素的测定结果见表 2。

表 2 不同品种朝天椒营养指标比较

Table 2 Comparison of nutritional indexes of different varieties of cluster red pepper

样品	总糖含量/ (mg/g)	还原糖含量/ (mg/g)	辣椒红素含 量/(mg/g)	蛋白质含 量/%	粗脂肪含 量/%	粗纤维含 量/%	辣椒素含量/ (mg/g)	二氢辣椒素 含量/(mg/g)	辣度
HS-1	38.35±0.69 ^a	11.06±1.36 ^c	35.64±0.03 ^a	15.92±0.01 ^b	25.84±0.19 ^a	32.39±0.11 ^c	6.57±0.05 ^a	2.68±0.25 ^a	1 056.45±3.57 ^a
HS-2	43.58±0.36 ^a	15.45±0.19 ^b	20.53±0.02 ^d	16.49±0.01 ^a	15.96±0.24 ^c	32.88±0.10 ^{bc}	0.64±0.17 ^c	ND	73.40±2.43 ^c
HS-3	45.20±0.33 ^a	18.36±0.06 ^{ab}	34.65±0.07 ^b	13.38±0.03 ^d	14.57±0.19 ^d	35.97±0.09 ^a	2.31±0.26 ^d	1.17±0.25 ^d	398.09±4.07 ^d
HS-4	38.35±0.13 ^a	11.06±0.25 ^c	14.66±0.01 ^e	11.72±0.01 ^e	17.38±0.01 ^b	28.82±0.16 ^d	4.14±0.04 ^c	2.62±0.26 ^b	772.14±0.46 ^c
HS-5	44.09±0.88 ^a	19.02±0.94 ^a	22.24±0.17 ^c	14.66±0.03 ^e	12.49±0.14 ^c	33.35±0.08 ^b	5.92±0.14 ^b	1.68±0.18 ^c	867.77±3.85 ^b

注:ND 为未检出;同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 2 可知,总糖含量为 38.35~45.20 mg/g,HS-3 含量最高;HS-5 的还原糖含量最高,为(19.02±0.94) mg/g。对于辣椒红素、蛋白质、粗脂肪、辣椒素、二氢辣椒素的含量和辣度来说,各品种间均有显著性差异($P<0.05$),其中辣椒素、辣椒红素、粗脂肪、二氢辣椒素含量和辣度最高的品种均为 HS-1,含量分别为(6.57±0.05)mg/g、(35.64±0.03) mg/g、(25.84±0.19)%、(2.68±0.25)mg/g 和

1 056.45±3.57,分别约是最低含量品种的 10.3、2.4、2.1、2.3 倍和 14.4 倍;HS-2 的蛋白质含量最高,是最低含量品种 HS-4 的 1.4 倍;HS-3 的粗纤维含量最高,HS-4 最低。

2.2 不同地区指形朝天椒挥发性物质分析

不同品种朝天椒挥发性风味成分见表 3。

由表 3 可知,5 种朝天椒品种总共检测出 120 种

表 3 不同品种朝天椒挥发性风味物质组成

Table 3 Composition of volatile flavor compounds in different varieties of cluster red pepper

编号	化合物名称	含量/(μg/g)				
		HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5
1	(E)-2-壬烯醛	-	-	-	-	1.2
2	1-甲基-1H-吡咯-2-甲醛	0.8	-	0.3	-	-
3	吡咯-2-甲醛肟	-	0.8	-	-	-
4	2,4-二甲基苯甲醛	0.8	-	1.2	-	-
5	3,4-二氢-1(2H)-喹啉甲醛	-	-	3.3	-	-
6	4-乙基苯甲醛	-	-	-	1.2	-
7	苯乙二醛	4.4	3.9	5.0	7.8	5.6
8	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚	-	2.5	-	-	-
9	2-甲氧基-4-乙基苯酚	3.9	3.7	4.3	3.1	3.0
10	麦芽酚	1.5	1.4	1.3	1.7	1.5
11	6,10-二甲基-5,9-十一碳烯-2 酮	-	2.3	-	-	2.8
12	(E,E)-9,11-十八碳二烯酸甲酯	3.2	11.3	6.1	32.6	5.3
13	(Z,Z,Z)-9,12,15-十八碳三烯酸甲酯	1.0	1.9	1.4	6.3	1.2

续表3 不同品种朝天椒挥发性风味物质组成

Continue table 3 Composition of volatile flavor compounds in different varieties of cluster red pepper

编号	化合物名称	含量/($\mu\text{g/g}$)				
		HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5
14	(Z)-6-十八碳烯酸甲酯	-	2.7	2.0	15.2	2.5
15	11-十八碳烯酸甲酯	1.5	-	-	-	-
16	9,12-十八碳二烯酸(Z,Z)-甲酯	-	-	-	1.5	-
17	(Z)-9-十六碳烯酸甲酯	-	-	-	3.5	-
18	碳酸壬基乙烯基酯	2.6	-	-	3.0	-
19	17-十八碳烯酸	-	-	-	-	2.5
20	顺-7-十六碳烯酸	-	4.3	-	1.4	-
21	E-9-十四碳烯酸	-	-	-	2.3	-
22	Z-11-十四碳烯酸	1.7	-	-	-	-
23	Z-8-甲基-9-十四碳烯酸	-	-	-	-	0.7
24	4-乙烯基- $\alpha,\alpha,4$ -三甲基-3-(1-甲基乙烯基)-,[1R-(1 α ,3 α ,4 β)]-环己烷醇	2.8	-	-	-	-
25	1-乙烯-1-甲基-2,4-双(1-甲基乙烯基)-,[1S-(1 α ,2 β ,4 β)]-环己烷	-	-	3.9	-	5.5
26	2-亚甲基-5-(1-甲基乙烯基)-8-甲基-双环[5.3.0]癸烷	-	-	-	-	4.9
27	4,8,8-三甲基-2-亚甲基-4-乙烯基双环[5.2.0]壬烷	1.4	-	5.5	-	-
28	(E)-2-壬烯-1-醇	1.5	-	1.5	1.5	1.8
29	3-戊基-(2Z)-2,4-烯二烯-1-醇	1.3	1.0	1.0	1.8	-
30	β -蒎烯	-	-	-	-	2.3
31	α -长叶蒎烯	4.3	2.4	1.1	3.3	6.2
32	(+)- β -柏木萜烯	4.0	-	1.3	-	-
33	(+)-苜蓿烯	-	-	1.3	-	-
34	(+)-香橙烯	-	15.7	-	-	-
35	(3E,7E)-4,8,12-三甲基十三-1,3,7,11-四烯	-	-	-	-	0.8
36	2,4a,5,6,7,8,9,9a-八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-(4aS-顺)-1H-苯并环庚烯	60.2	41.9	14.8	8.5	18.2
37	(E)-4-十四碳烯	-	-	-	-	0.5
38	(E)-5-十四碳烯	3.4	1.2	2.5	3.6	-
39	(Z)-6-十三碳烯	5.7	17.4	-	1.6	10.4
40	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基苯	1.4	0.8	-	2.8	0.7
41	1-十八烯	-	-	-	19.2	2.1
42	2-甲基-1-十四碳烯	-	-	0.5	-	-
43	3,7,7-三甲基-1,3,5-环庚三烯	-	0.9	-	-	-
44	(Z)-7-十六碳烯	-	-	-	1.0	-
45	9,10-脱氢-环异长叶烯	-	-	0.8	-	2.6
46	α R-喜马烯	4.0	2.8	-	1.0	-
47	α -脱氢芳基喜马六烯	0.6	0.2	-	0.5	0.6
48	β -蒎烯	323.7	183.2	62.5	31.0	71.1
49	γ -脱氢芳基喜马六烯	0.9	0.4	-	0.5	0.6
50	石竹烯	10.6	-	-	4.0	-
51	香橙烯氧化物 2	-	0.6	-	-	-
52	雪松烯	11.5	8.5	2.1	7.8	5.5
53	衣兰烯	13.5	7.2	1.9	3.4	-
54	异芳樟烯环氧化物	0.4	0.4	-	-	-
55	氧杂环十四烷-2 酮	3.9	-	-	-	-
56	1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	4.9	7.8	7.1	8.4	7.6
57	1-(3-羟基-4-甲氧基苯基)-乙酮	-	-	-	0.5	-
58	2-羟基-环十五酮	1.2	-	-	1.9	-
59	2-辛酮	12.9	23.5	17.3	2.8	7.5
60	3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4 酮	3.1	2.0	1.8	-	-
61	5,6,7,7a-四氢-4,4,7a-三甲基-(R)-2(4H)-苯并呋喃酮	5.5	3.1	2.6	6.9	3.1
62	β -紫罗兰酮	9.4	6.4	7.7	6.4	5.2

续表3 不同品种朝天椒挥发性风味物质组成

Continue table 3 Composition of volatile flavor compounds in different varieties of cluster red pepper

编号	化合物名称	含量/($\mu\text{g/g}$)				
		HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5
63	反式- β -紫罗兰酮	10.6	-	-	-	11.3
64	香草乙酮	0.9	0.6	0.6	-	-
65	1-十五烷醇乙酸酯	4.8	-	-	6.8	2.7
66	十二烷酸甲酯	-	3.3	-	6.4	-
67	十六烷酸甲酯	6.8	2-	12.5	64.8	13.9
68	十三烷酸 12-甲基-甲酯	1.2	4.5	2.2	9.4	2.5
69	十五烷酸甲酯	2.9	2.4	3.6	12.0	3.3
70	乙酸十三烷基酯	-	-	2.6	-	-
71	十二烷酸	3.1	0.7	3.0	3.4	0.5
72	十五烷酸	-	-	-	2.9	-
73	正十六烷酸	-	1.5	-	8.5	-
74	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯	0.9	1.0	0.8	0.8	0.7
75	2-甲基丁酸 4-甲基戊酯	-	1.5	2.6	-	2.6
76	4-甲基戊酸甲酯	16.5	-	-	-	-
77	8-甲基壬酸 4-甲基戊酯	10.5	-	2.0	9.1	2.2
78	8-甲基壬酸 2-甲基丁酯	5.9	-	1.4	-	-
79	8-甲基壬酸甲酯	2.4	1.5	1.9	2.8	2.7
80	8-甲基壬酸异戊酯	18.4	1.3	3.6	11.9	3.6
81	8-甲基壬酸正戊酯	0.9	-	-	-	-
82	苯甲酸 2-甲基-4-乙酰苯基酯	-	2.9	-	-	-
83	肉豆蔻酸甲酯	-	-	-	4.1	-
84	水杨酸甲酯	13.4	-	9.6	11.7	8.8
85	烟酸甲酯	-	2.7	-	-	-
86	硬脂酸甲酯	-	0.3	0.4	1.8	0.2
87	5-羟基-6-甲氧基-8-[(4-氨基-1-甲基丁基)氨基]喹啉三氢溴酸盐	26.4	19.2	7.0	18.5	14.2
88	8-甲基-6-壬酸	16.2	-	8.4	19.1	13.1
89	8-甲基壬酸	6.9	0.6	1.8	3.9	3.0
90	苯甲酸	0.9	-	-	-	-
91	壬酸	-	-	-	-	9.4
92	1-氯-十六烷	12.0	-	-	-	-
93	2,4-二乙基-1,3,2-二氧硼烷	-	-	1.3	-	-
94	2-甲基-2-苯基-环氧乙烷	-	-	-	0.6	-
95	3-己基-1,1-二甲基-环戊烷	56.9	-	23.8	102.1	-
96	N-十五烷基乙酰胺	-	-	-	-	2.1
97	环十二烷	-	-	3.3	2.6	-
98	十二甲基-环六硅氧烷	28.1	5.1	4.0	18.5	-
99	十甲基-环戊硅氧烷	19.8	4.0	2.6	12.0	-
100	十六甲基环八硅氧烷	5.4	7.8	7.7	3.8	-
101	十六烷	164.6	70.8	92.1	280.7	38.8
102	1,2,3,4,4a,8a-六氢- $-\alpha, \dots, 4a, 8$ -四甲基-[2R-(2 $\alpha, \dots, 4a, \alpha, \dots, 8a, \alpha, \dots$)]-2-萘甲醇	-	3.4	-	-	-
103	2-丁基-1-辛醇	14.2	11.5	19.6	65.9	19.0
104	顺-橙花叔醇	-	1.0	-	-	-
105	苯甲醇	5.9	1.9	1.5	8.8	3.5
106	苯乙醇	2.8	1.8	2.9	2.7	3.0
107	芳樟醇	0.8	10.2	2.9	1.2	0.6
108	甲基间甲苯甲醇	-	2.5	-	-	-
109	1,3-二氯苯	-	-	-	-	0.6
110	2-甲基萘	-	-	-	-	0.7
111	3-甲氧基-4,7-二甲基-1H-异吲哚	-	-	-	-	3.6

续表3 不同品种朝天椒挥发性风味物质组成

Continue table 3 Composition of volatile flavor compounds in different varieties of cluster red pepper

编号	化合物名称	含量/($\mu\text{g/g}$)				
		HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5
112	艾蒿素	-	2.3	-	-	-
113	对伞花烃	-	-	0.6	-	-
114	香兰素	2.5	-	2.4	4.0	1.5
115	(1R,4aS,8aR)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,4a,5,6,8a-六氢萘	16.1	1.5	1.4	-	-
116	4,4a,5,6,7,8-六氢-4,4a-二甲基-6-(1-甲基亚乙基)-(4R-顺)-2(3H)-萘酮	-	9.8	2.9	-	4.5
117	(E)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	-	-	3.4	9.8	12.2
118	4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	-	5.1	3.0	8.5	-
119	R-(E)-1-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-1-戊烯-3-酮	-	0.9	-	-	-
120	(1R,2S)-1-氨基-2-茛醇	-	1.8	-	-	1.8
	挥发性物质总含量	992.4	567.8	401.6	916.8	370.2
	挥发性物质种类	66	64	62	66	60

注:-表示未检出该物质。

挥发性风味成分,其中 HS-1、HS-2、HS-3、HS-4 和 HS-5 分别检测出 66、64、62、66 种和 60 种物质, β -蒎烯是 HS-1、HS-2 和 HS-5 中含量最多的挥发性物质,烯烴类物质具有花香、果香味^[21-22]。 β -蒎烯热解可生成月桂烯,而月桂烯是合成橙花醇、香叶醇、香茅醛等的重要原料^[23]。HS-3、HS-4 中含量最高的挥发性物质为十六烷。从挥发性物质总含量上看,HS-1 最高为 992.4 $\mu\text{g/g}$,

其次为 HS-4(916.8 $\mu\text{g/g}$),HS-5 最低(370.2 $\mu\text{g/g}$),仅有 HS-1 的 37.3%。

为了进一步了解 5 种辣椒间的挥发性物质差异,对它们特有的挥发性物质进行分析,结果见图 1。

不同颜色的图形代表不同样品,图形之间交叠部分数字为两个样品间共有的物质种数,多个图形之间交叠部分数字为多个样品之间共有物质种数。

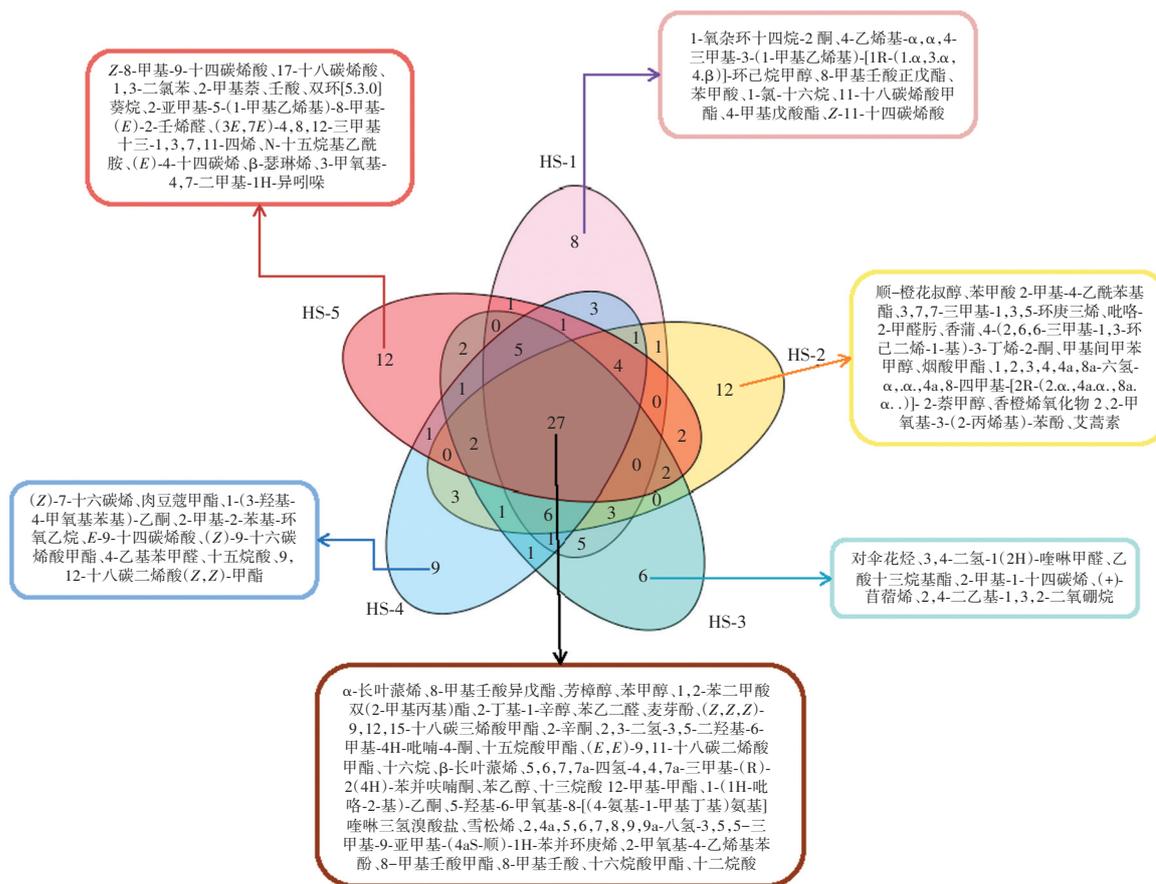


图1 5种朝天椒挥发性物质韦恩图

Fig.1 Venn diagram of volatile substances in five types of cluster red pepper

由图1可知,5种朝天椒共同含有的挥发性物质有27种,如 α -长叶蒎烯、8-甲基壬酸异戊酯、1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮、芳樟醇、苯甲醇、2-丁基-1-辛醇、苯乙二醛、麦芽酚等,其中酮类物质赋予辣椒的花香味^[24-25],酯赋予其酯香味^[26],醇类物质多以青果、花香等香气为主^[20]。HS-1有8种特有物质,如11-十八碳烯酸甲酯、4-甲基戊酸酯、Z-11-十四碳烯酸等;HS-2含12种特有物质,如顺-橙花叔醇、苯甲酸2-甲基-4-乙酰苯基酯、甲基间甲苯甲醇等;HS-3中有对伞花烃、3,4-二氢-1(2H)-喹啉甲醛、乙酸十三烷基酯等6种特有物质;HS-4的独有物质有9种,如(Z)-7-十六碳烯、肉豆蔻酸甲酯、十五烷酸等;HS-5的特有物质则有12种,如Z-8-甲基-9-十四碳烯酸、17-十八碳烯酸、壬酸等。

2.3 不同地区指形朝天椒营养指标及挥发性物质主成分分析

对5种朝天椒的粗脂肪、粗纤维、总糖、蛋白质、挥发性风味物质总含量等10个指标进行主成分分析,相关特征值见表4。

表4 主成分特征值及累计贡献率

Table 4 Eigenvalues and cumulative contribution rates of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	5.132	51.320	51.320
2	2.404	24.035	75.355
3	1.958	19.580	97.935

选取特征值大于1的成分作为主成分^[27-29],由表4可知,有3个主成分,并且这3个主成分的累计方差贡献率为97.935%(一般累计方差贡献率大于70%是比较满意的结果),说明这3个因子能够代表5个样品的原10个指标的全部信息(97.935%),故选择这3个主成分对5个样品的品质进行综合评价。

主成分的影响程度可通过主成分载荷矩阵中的变量表达^[30]。数据经过旋转后,各因子趋于两极分化,更有利于进一步确定各因子的实际含义,各指标的主成分载荷见表5。

表5 主成分的载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of principal components

指标	主成分1		主成分2		主成分3	
	载荷(U_{1i})	因子得分系数	载荷(U_{2i})	因子得分系数	载荷(U_{3i})	因子得分系数
X ₁ (总糖)	-0.432	-0.979	0.132	0.204	0.008	0.011
X ₂ (还原糖)	-0.394	-0.892	0.285	0.442	-0.004	-0.005
X ₃ (辣椒红素)	-0.039	-0.088	0.119	0.185	0.672	0.940
X ₄ (蛋白质)	-0.135	-0.306	-0.319	-0.494	0.419	0.587
X ₅ (粗脂肪)	0.321	0.728	-0.216	-0.335	0.427	0.598
X ₆ (粗纤维)	-0.338	-0.765	0.154	0.238	0.411	0.575
X ₇ (辣椒素)	0.173	0.391	0.571	0.885	0.079	0.110
X ₈ (二氢辣椒素)	0.392	0.887	0.293	0.454	0.058	0.081
X ₉ (辣度)	0.268	0.607	0.499	0.774	0.076	0.106
X ₁₀ (挥发性物质总含量)	0.408	0.924	0.233	0.362	0.072	0.101

由表4和表5可知,第1主成分的方差贡献率为51.320%,其主要反映总糖、还原糖、粗脂肪、粗纤维、二氢辣椒素和挥发性物质总含量的信息;第2主成分的方差贡献率为24.035%,反映辣椒素和辣度的信息;第3主成分方差贡献率为19.580%,主要反映辣椒红素和蛋白质的信息。

将各指标数据进行标准化后,对3个主成分进行打分,分别用 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 表示3个主成分得分,其值等于载荷(U_i)与9个变量的标准值(X_i)乘积的加合值。 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 的计算公式如下。

$$Y_1=U_{11}X_1+U_{12}X_2+U_{13}X_3+U_{14}X_4+U_{15}X_5+U_{16}X_6+U_{17}X_7+U_{18}X_8+U_{19}X_9+U_{110}X_{10}; Y_2=U_{21}X_1+U_{22}X_2+U_{23}X_3+U_{24}X_4+U_{25}X_5+U_{26}X_6+U_{27}X_7+U_{28}X_8+U_{29}X_9+U_{210}X_{10}; Y_3=U_{31}X_1+U_{32}X_2+U_{33}X_3+U_{34}X_4+U_{35}X_5+U_{36}X_6+U_{37}X_7+U_{38}X_8+U_{39}X_9+U_{310}X_{10},$$

分数越高表明该

主成分的贡献越大。同时分别以第1、2、3主成分的特征值除以特征值总和作为权重数,构建的综合评价模型为 $Y=0.5\times Y_1+0.25\times Y_2+0.21\times Y_3$,评分情况见表6。

表6 综合评分结果

Table 6 Comprehensive score

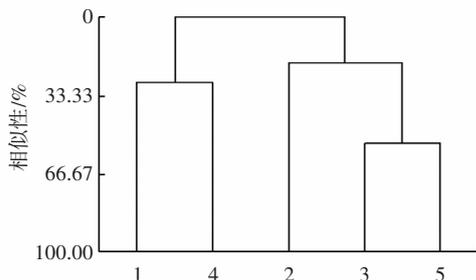
品种	Y_1	Y_2	Y_3	Y	排名
HS-1	2.39	0.18	1.95	1.74	1
HS-4	2.51	0.44	-1.83	1.09	2
HS-5	-1.07	1.34	-0.39	-0.32	3
HS-3	-1.92	0.52	0.64	-0.77	4
HS-2	-1.91	-2.47	-0.37	-1.73	5

由表6可知,5种朝天椒的综合评分由高到低依

次为 HS-1>HS-4>HS-5>HS-3>HS-2,由此可见,HS-1 品种的朝天椒综合品质最好。

2.4 不同地区指形朝天椒综合品质指标聚类分析

对这 5 个品种朝天椒的品质指标进行聚类分析,结果见图 2。



1~5 分别为 HS-1、HS-2、HS-3、HS-4 和 HS-5。

图 2 不同朝天椒品种聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of different types of cluster red pepper

由图 2 可知,5 种辣椒被聚为两大类,其中主成分综合排名前二的 HS-1 和 HS-4 聚为一类,这一类聚集了粗脂肪、二氢辣椒素和挥发性风味物质含量高的品种。HS-5、HS-3 和 HS-2 聚为一类,这一类聚集了总糖、还原糖、粗纤维含量高的品种。

3 结论

本研究对 5 种不同指型朝天椒的品质指标进行分析,发现 HS-3 的总糖含量最高;HS-5 的还原糖含量最高;辣椒素、辣椒红素、粗脂肪和二氢辣椒素含量最高的品种均为 HS-1;HS-2 的蛋白质含量最高;HS-3 的粗纤维含量最高,HS-4 最低;5 种辣椒中 HS-1 最辣。 β -蒎烯是 HS-1、HS-2 和 HS-5 中含量最多的挥发性物质,十六烷是 HS-3、HS-4 中含量最多的挥发性物质。HS-1、HS-2、HS-3、HS-4 和 HS-5 朝天椒中含有的共同挥发性物质有 27 种,特有物质分别有 8、12、6、9 种和 12 种。经主成分分析,将测定朝天椒的 10 个指标简化为 3 个主成分因子,其累计方差贡献率达到 97.935%,基本反映了原始数据的全部信息,并通过综合评价得出 HS-1 评分最高,即品质最好。聚类分析将 5 种朝天椒品种分为两类,第一类聚集了粗脂肪、二氢辣椒素和挥发性风味物质含量高的品种,第二类聚集了总糖、还原糖、粗纤维含量高的品种。辣椒的品质差异是其遗传因素及生长环境等多方面因素相互作用的结果,本研究可为朝天椒品质分级及加工原料的进一步选择提供理论指导。

参考文献:

[1] 程晓齐. 干辣椒制作发酵型辣椒酱的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
CHENG Xiaoyi. Study on the preparation of fermented chili sauce with dried chili[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021.

[2] KIM I K, ABD EL-ATY A M, SHIN H C, et al. Analysis of volatile compounds in fresh healthy and diseased peppers (*Capsicum annuum* L.) using solvent free solid injection coupled with gas chromatography-flame ionization detector and confirmation with mass spectrometry[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2007, 45(3): 487-494.

[3] 郭森. 发酵辣椒原料酱的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2014.
GUO Miao. Study on the fermentative of chili sauce[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014.

[4] KIM S, PARK M, YEOM S I, et al. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in *Capsicum* species[J]. Nature Genetics, 2014, 46(3): 270-278.

[5] 沙漠. 乳酸菌发酵辣椒酱及其产品工艺研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
SHA Mo. Study on the technologies of fermented chilli sauce by lactic acid bacteria and its productions[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012.

[6] VAN AVESAAT M, TROOST F J, WESTERTERP-PLANTENGA M S, et al. Capsaicin-induced satiety is associated with gastrointestinal distress but not with the release of satiety hormones[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2016, 103(2): 305-313.

[7] 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]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
YANG Sun. Study on the changes of capsaicinoids and nutritional quality and related enzymes in pepper[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020.

[8] 高佳, 田玉肖, 罗芳耀, 等. 16 个优良朝天椒组合干制品质分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1386-1392.
GAO Jia, TIAN Yuxiao, LUO Fangyao, et al. Analysis and evaluation of drying quality of 16 excellent pod pepper materials[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(4): 1386-1392.

[9] 郭超男, 年国芳, 徐建宗, 等. 25 种新疆主栽辣椒品种品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 4051-4058.
GUO Chaonan, NIAN Guofang, XU Jianzong, et al. Quality analysis of 25 kinds of main pepper varieties planted in Xinjiang[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(12): 4051-4058.

[10] 张祥, 刘雨婷, 李平平, 等. 6 个地方名优辣椒品种干椒品质测定及分析[J]. 长江蔬菜, 2020(22): 60-64.
ZHANG Xiang, LIU Yuting, LI Pingping, et al. Quality determination and analysis of dried pepper of 6 local famous pepper cultivars[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2020(22): 60-64.

[11] WANG Z C, STUTTE G W. The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(5): 816-823.

[12] 贾为华. 辣椒素的抗疲劳作用及其作用机理研究进展[J]. 中国调味品, 2020, 45(8): 187-190.
JIA Weihua. Research progress on anti-fatigue effect of capsaicin and its mechanism[J]. China Condiment, 2020, 45(8): 187-190.

[13] 张世奇, 唐兰兰, 孙劲毅, 等. 辣椒素降糖作用及其机制研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 262-269.
ZHANG Shiqi, TANG Lanlan, SUN Jinyi, et al. Research progress on hypoglycemic effect and mechanism of capsaicin[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(13): 262-269.

[14] 谢静, 马梦婷, 陈小静, 等. 膳食纤维对肠道菌群影响的研究进展[J]. 农产品加工, 2021(3): 67-72.
XIE Jing, MA Mengting, CHEN Xiaojing, et al. Research progress in the effect of dietary fiber structures on the gut microbiota[J]. Farm Products Processing, 2021(3): 67-72.

[15] PATHANIA S, KAUR N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application

- as functional ingredients[J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2022, 27: 100295.
- [16] MERENKOVA S, ZININA O, STUART M, et al. Effects of dietary fiber on human health: A review[J]. *Human Sport Medicine*, 2020, 20(1): 106-113.
- [17] 戈伟, 王述彬, 刘金兵, 等. 不同辣椒材料果皮脂肪酸组成分析[J]. *中国蔬菜*, 2013(8): 56-60.
- GE Wei, WANG Shubin, LIU Jinbing, et al. Analysis of fatty acid composition in pericarp of different pepper varieties[J]. *China Vegetables*, 2013(8): 56-60.
- [18] 韩晓岚, 胡云峰, 赵学志, 等. 辣椒中辣椒红素提取工艺研究及其含量测定[J]. *中国食物与营养*, 2010, 16(10): 35-37.
- HAN Xiaolan, HU Yunfeng, ZHAO Xuezhi, et al. Extraction and determination of capsanthin from paprika[J]. *Food and Nutrition in China*, 2010, 16(10): 35-37.
- [19] XU X X, WU B B, ZHAO W T, et al. Correlation between autochthonous microbial communities and key odorants during the fermentation of red pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. *Food Microbiology*, 2020, 91: 103510.
- [20] 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 Kuan, WANG Xueya, SUN Xiaojing, 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.
- [21] MORALES-SORIANO E, KEBEDE B, UGÁS 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.
- [22] LIANG H P, HE Z, WANG X Y, et al. Bacterial profiles and volatile flavor compounds in commercial Suancai with varying salt concentration from Northeastern China[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109384.
- [23] 童张法, 王坤, 孙丽霞, 等. α -蒎烯+对伞花烃和 β -蒎烯+对伞花烃体系减压汽液平衡数据的测定与关联[J]. *高校化学工程学报*, 2011, 25(5): 734-739.
- TONG Zhangfa, WANG Kun, SUN Lixia, et al. Measurement and correlation of VLE data for α -pinene+p-cymene and β -pinene+p-cymene systems at reduced pressures[J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2011, 25(5): 734-739.
- [24] 李达, 王知松, 丁筑红, 等. 固相微萃取-气-质联用法对于辣椒焙前后风味化合物的分析评价[J]. *食品科学*, 2009, 30(16): 269-271.
- LI Da, WANG Zhisong, DING Zhuhong, et al. SPME-GC-MS analysis of flavor components in dried capsicum before and after baking[J]. *Food Science*, 2009, 30(16): 269-271.
- [25] SONG Y T, DU B F, DING Z H, et al. Baked red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder flavor analysis and evaluation under different exogenous Maillard reaction treatment[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 139: 110525.
- [26] SHI J, NIAN Y Q, DA D D, et al. Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 124: 109182.
- [27] 年国芳, 郭超男, 徐建宗, 等. 新疆制干辣椒品质综合评价及加工适宜性分析[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(4): 317-325.
- NIAN Guofang, GUO Chaonan, XU Jianzong, et al. Comprehensive quality evaluation and processing suitability analysis of Xinjiang dried pepper[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(4): 317-325.
- [28] 崔桂娟, 亢灵涛, 侯宇豪, 等. 基于主成分与聚类分析的辣椒品质综合评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(14): 49-55.
- CUI Guijuan, KANG Lingtao, HOU Yuhao, et al. Comprehensive evaluation of hot pepper quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(14): 49-55.
- [29] 郭家刚, 杨松, 伍玉蕊, 等. 基于主成分与聚类分析的蓝莓品质综合评价研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(12): 53-60.
- GUO Jiagang, YANG Song, WU Yuhao, et al. Comprehensive evaluation of blueberry quality based on principal component and cluster analysis[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(12): 53-60.
- [30] 许文静, 陈昌琳, 邓莎, 等. 基于主成分分析和聚类分析的蓝莓品质综合评价[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(13): 311-319.
- XU Wenjing, CHEN Changlin, DENG Sha, et al. Comprehensive evaluation of blueberry quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(13): 311-319.

加工编辑:刘艳美
收稿日期:2022-08-11