

HS-SPME-GC-MS 测定西瓜植株 不同部位中挥发性成分

张馨予, 杜甫佑, 刘京宏

(长沙学院生物与化学工程学院 长沙 410022)

摘要: 试验采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术, 对西瓜早佳植株的不同部位(花、根、叶、茎)的冷冻干燥样品的挥发性成分分别进行测定。结果表明, 西瓜早佳 4 个部位共鉴定出 130 种挥发性成分, 其中花中 52 种, 根中 70 种, 叶中 43 种, 茎中 32 种; 2-己烯醛为花、叶、茎部位的最主要挥发性物质, 苯甲醇为根部位的最主要挥发性物质, 不同的挥发性成分赋予了西瓜不同部位特定的香气, 该结论为后续西瓜各部位挥发性成分的开发与加工利用提供了有力的理论依据。

关键词: 西瓜; 挥发性成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: S651

文献标识码: A

文章编号: 1673-2871(2023)09-022-08

Analysis of volatile components of different parts in watermelon by HS-SPME-GC-MS

ZHANG Xinyu, DU Fuyou, LIU Jinghong

(Department of Bioengineering and Chemical Science, Changsha University, Changsha 410022, Hunan, China)

Abstract: To identify the volatile components in different parts of watermelon (*Citrullus lanatus*) cv. Zaojia, the freeze-dried samples of different parts (flower, root, leaf and stem) in watermelon were used by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that 130 compounds were identified from four parts of watermelon, among which 52 volatile compounds were identified in the flower part, 70 volatile compounds were identified in the root part, 43 volatile compounds were identified in the leaf part, 32 volatile compounds were identified in the stem part. Among them, 2-hexenal is the essential volatile components in the flower, leaf and stem parts, and benzyl alcohol is the essential volatile components in the root part. The different volatile components impart a specific aroma to the four parts. In this experiment, the volatile components in different parts of watermelon were identified for the first time, providing a theoretical basis for the subsequent development, processing and utilization of volatile components in watermelon.

Key words: Watermelon; Volatile composition; HS-SPME; GC-MS

西瓜(*Citrullus lanatus*)别名西瓜、水瓜、月明瓜等,为葫芦科西瓜属一年生蔓生藤本植物,我国栽培西瓜品种繁多,主要以新疆、甘肃、山东、江苏等地最为有名^[1]。西瓜果肉味甜多汁,且含有大量的葡萄糖、果糖、氨基酸、苹果酸、番茄红素及维生素 C 等营养物质^[2],是一种富有营养价值且食用安全的水果,深受消费者的喜爱。西瓜种子含油,可用作食品,有清肺润肺、和中止渴功效,因此中医学称西瓜为“天然白虎汤”,果皮和花、根、茎、叶均可用药,具清热、利尿、降血压、治疗便秘等功能^[3-7]。目前,

国内外学者对西瓜不同部位(西瓜汁、果肉、果皮等)中的挥发性成分已报道共有 70 余种^[8-19],其中西瓜汁中主要挥发性成分为壬醛、反-2-壬烯醛、反、顺-2,6-壬二烯醛等,果肉中主要挥发性成分为雪松烯、十六烷酸、顺丁烯二酸二丁酯等,果皮中主要挥发性成分为环己烷、十六烷酸、油酸等。前人对西瓜挥发性成分的研究主要集中在果实方面,还未有西瓜花、根、茎、叶部位中挥发性成分的相关报道,缺乏相应部位挥发性成分的研究。顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)技术

收稿日期:2023-05-05;修回日期:2023-06-25

作者简介:张馨予,女,在读本科生,主要研究方向为天然产物分析与鉴定。E-mail:2859060214@qq.com

通信作者:刘京宏,男,讲师,主要研究方向为天然产物提取及药理活性评价。E-mail:258397297@qq.com

通过吸附/脱吸附技术富集样品中的挥发性和半挥发性成分,克服了传统样品处理技术的一些缺点,已广泛应用于食品、环境以及生物样品分析中^[20-21]。笔者的试验首次采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱技术,系统对西瓜植株不同部位(花、根、叶、茎)的挥发性成分进行测定,为合理开发西瓜相关部位挥发性成分提供有力依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

试验材料为早佳,由湖南农业大学中药材产业基地提供,编号 20220420。开花期采集各部位(花、根、叶、茎)样品,液氮速冻后分类保存于长沙学院生物与化学工程学院力行楼 S521 室-80℃冰箱中,于 2022 年 4 月底在湖南农业大学分析测试中心测定挥发性成分。

1.2 仪器与设备

试验用到的仪器与设备主要包括:GC/MS-QP2010 型气相色谱-质谱联用仪、GC/MS Solution 色谱工作站和 NIST.17 质谱数据库(日本岛津公司);恒温水浴锅(山东博科生物产业有限公司)、Stableflex 固相微萃取纤维头,类型为 PDMS[黑色(膜厚 100 μm)、蓝色(膜厚 30 μm)、灰色(膜厚 7 μm)、粉色(膜厚 75 μm)]、顶空萃取瓶(上海安谱实验科技股份有限公司)、Scientz 冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司)、PL203 电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]。

1.3 样品制备

将西瓜的花、根、茎、叶共 4 部分样品分别加入适量液氮后磨碎,置于-80℃冰箱中,24 h 后取出,再放入冷冻干燥机中 48 h 后制得干燥样品,磨碎成粉后过 60 目筛,得到的干燥粉末样品密封保存于避光阴凉处。西瓜花、根、叶、茎的 4 部分样品均设 3 个重复,共 12 组。精准称取 4 部位样品各 0.60 g 置于 10 mL 顶空萃取瓶中,尽量避免样品残留在瓶壁上,并使样品均匀分布在瓶底。

1.4 萃取

将气化室温度设定为 240℃,萃取纤维头缓慢插入气相色谱仪气化室中,老化 40 min。将水浴锅装置温度设定为 70℃,用铁夹将萃取瓶置于铁架台上固定,萃取瓶 1/3 处放入水浴锅中预热 40 min,将萃取进样手柄插入顶空样品瓶中,推出萃取纤维头萃取 40 min 后,缩回萃取纤维头,取出萃取手柄。

1.5 GC-MS 条件

HP-88 色谱柱[100.0 m×0.25 mm×0.20 μm,安捷伦科技(中国)有限公司];柱内温度 60℃;进样口温度 240℃;进样方式:分流;分流比例:0.5;载气高纯 He(纯度 99.99%);载气气体体积流速 1.37 mL·min⁻¹;程序升温条件为初始温度 60℃,维持 5 min;以 3℃·min⁻¹升至 140℃,保持 5 min;再以 5℃·min⁻¹升至 210℃,保持 10 min;最后以 5℃·min⁻¹升至 240℃,保持 10 min。分析检测时间共 76 min,于 10 min 后开始采集数据。

离子源:EI 源;离子源温度:200℃,接口温度:220℃;电子能量:70 eV;质荷比扫描范围:45~500 m·z⁻¹;质谱图采用 NIST.17 谱库进行检索比对。

1.6 数据分析

采用 SPSS16.0 进行数据统计分析。生物学重复 3 次,技术性重复 2 次,所有数值取平均值计算分析。

2 结果与分析

2.1 萃取纤维头选择

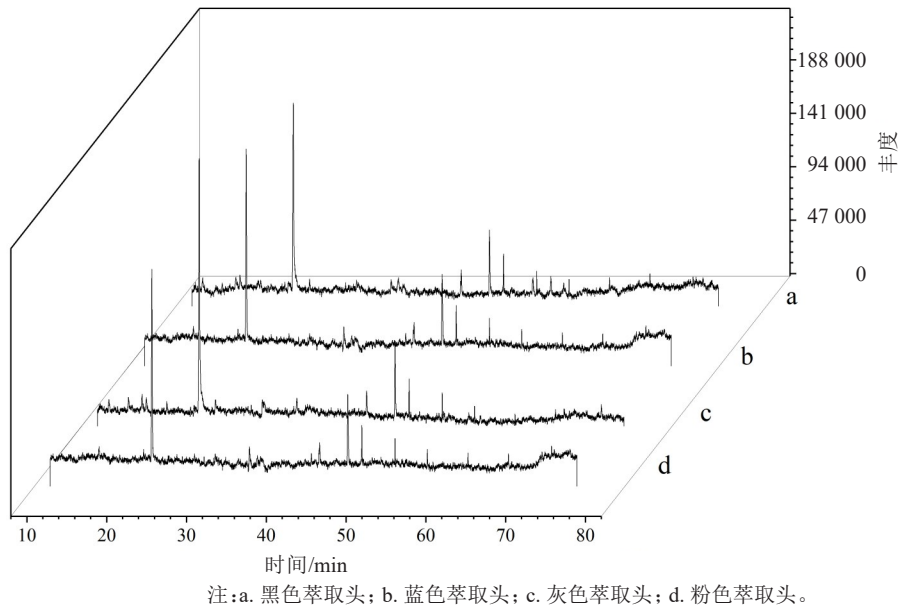
固相微萃取纤维头因吸附膜材料不同,吸附样品中的挥发性成分的种类和丰度也有区别,因此试验先取用西瓜冷冻干燥花样品 0.20 g,分别选取 4 种不同颜色萃取纤维头(黑色、蓝色、灰色、粉色)对样品的挥发性成分进行测定,筛选出适合测定西瓜挥发性成分的最佳萃取纤维头(图 1)。对吸附峰面积高含有量的挥发性成分种类的萃取头比较结果表明,黑色(16)>蓝色(12)>灰色(11)>粉色(5)。因此选取吸附挥发性成分数量相对较多、色谱峰丰度高、分离效果较好的黑色萃取纤维头进行试验研究。同时,通过萃取纤维头优化试验,发现西瓜花部位测定出的挥发性成分数量较少,还需进行柱温条件和取样量条件的优化,以达到最佳的检测效果。

2.2 柱温条件的优化选择

柱温是气相色谱柱检测挥发性物质的重要条件,最佳柱温一般为被分析物质中的平均沸点或稍低于平均沸点。试验选择 2 种柱温(50 和 60℃)条件和黑色萃取纤维头对西瓜冷冻干燥花部位样品 0.20 g 分别进行挥发性成分测定。结果表明,柱温条件在 50 和 60℃时高含有量挥发性成分的种类、丰度并无明显差异,选择 60℃为试验的柱温。

2.3 取样量的优化

取西瓜混合冷冻干燥花部位样品以称样递增方式进行取样量的优化,分别取 0.20 g 和 0.60 g 样品进行挥发性成分测定。结果表明,取样量为 0.20



注:a. 黑色萃取头; b. 蓝色萃取头; c. 灰色萃取头; d. 粉色萃取头。

图1 不同颜色萃取头测定西瓜花部位挥发性成分总离子流图

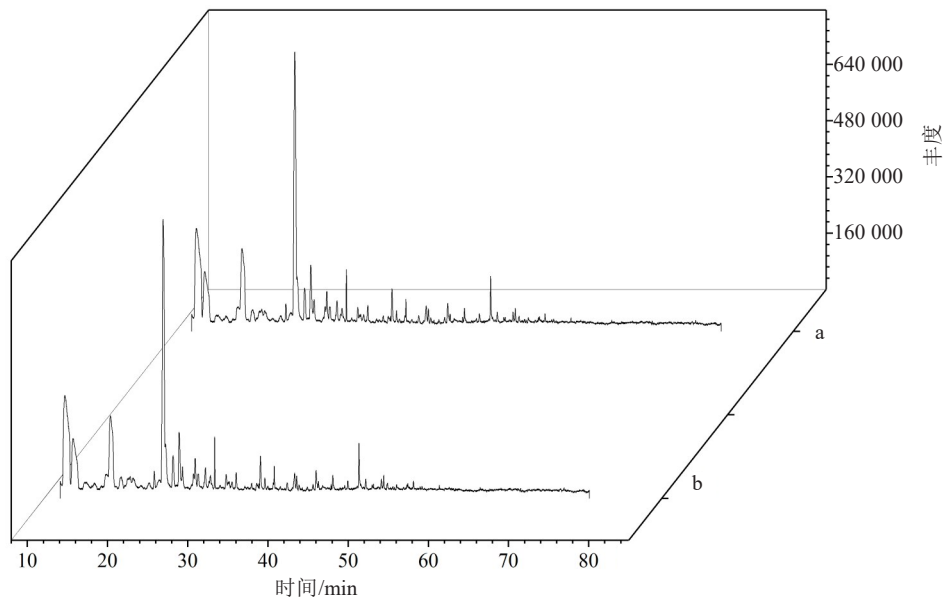
Fig. 1 Total ion current chromatogram of volatile compositions of flower part of *Citrullus lanatus* by different color extraction fiber heads

和 0.60 g 的挥发性成分种类存在极为明显的差异(图 2),取样量 0.60 g 测定出的高含量挥发性成分种类较多,达 52 种,而取样量 0.20 g 仅检测到 20 种挥发性成分,因此选择 0.60 g 作为试验的取样量。

2.4 西瓜不同部位挥发性成分解析

通过气相色谱-质谱对西瓜 4 个部位(花、根、叶、茎)进行检测,得出各部位挥发性成分的总离子流图(图 3)。通过检索 NIST.17 质谱数据库,根据

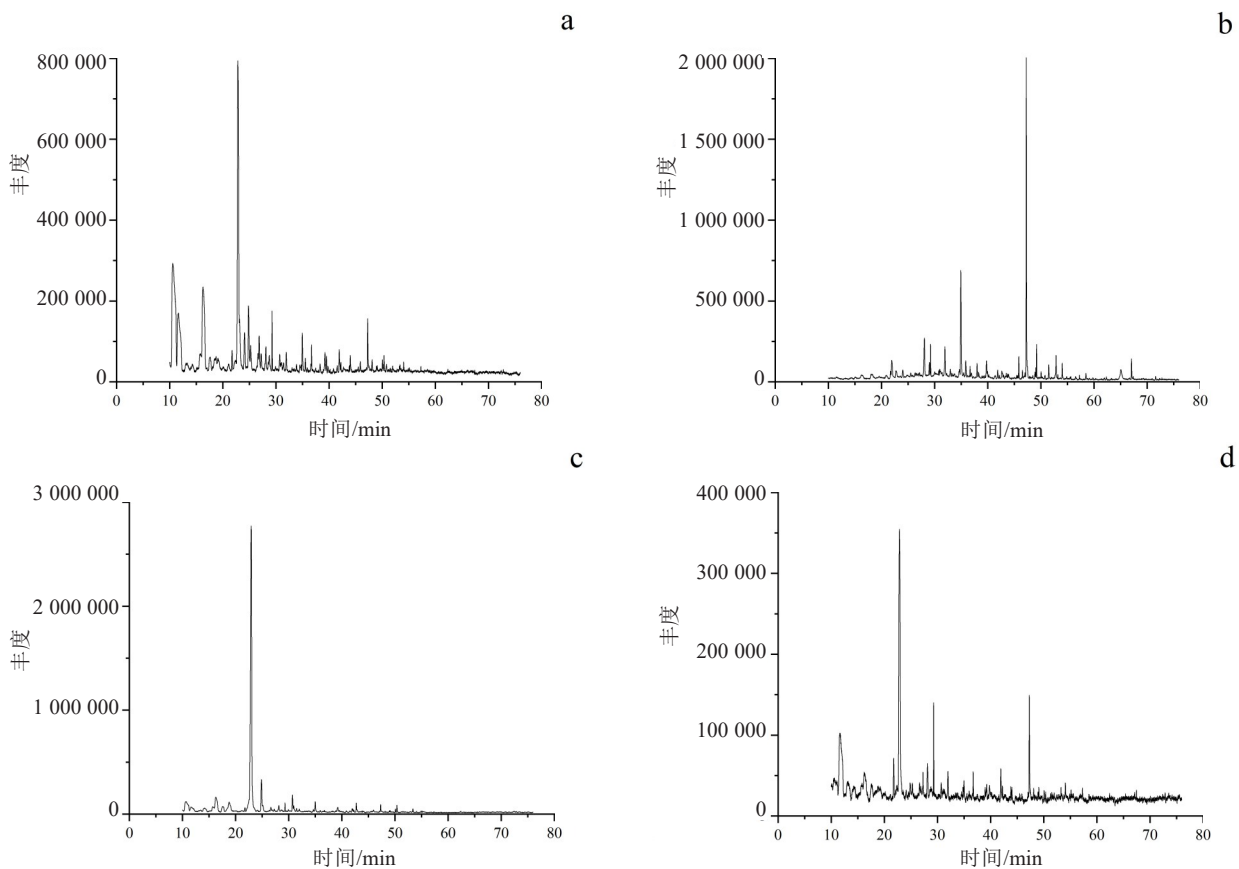
各离子峰的相对丰度等方面进行比对,用面积归一法对各积分色谱峰占总峰面积百分比进行计算,测得各组分相对百分比含量与种类(表 1 和表 2),共鉴定出 130 种不同的挥发性成分,其中花中 52 种,以醇类和醛类为主,让花具有浓郁而温馨的香味;根中 70 种,以烷烃类、醛类为主,使其具有独特的刺激性汽油味;叶中 43 种,以醛类、酮类为主,散发出清爽而甜美的香味;茎中 32 种,以醇类、醛类为



注:a. 取样量为 0.60 g; b. 取样量为 0.20 g。

图2 不同取样量测定西瓜花部位挥发性成分总离子流图

Fig. 2 Total ion current chromatogram of volatile compositions of flower part of *Citrullus lanatus* by different sample sizes



注:a.花; b.根; c.叶; d.茎。

图3 西瓜不同部位挥发性成分总离子流图

Fig. 3 Total ion current chromatogram of volatile compositions of different parts of *Citrullus lanatus*

表1 西瓜不同部位挥发性成分种类表

Table 1 The volatile types of different parts of

Citrullus lanatus

挥发性成分	种类/种			
	花	根	叶	茎
醛类	13	15	14	10
醇类	13	8	7	8
酯类	2	7	2	2
醚类	1	2	1	0
酮类	5	7	9	1
烷烃类	3	20	2	1
烯烃类	5	2	3	2
酚酸类	3	3	2	3
其他类	7	6	3	5
合计	52	70	43	32

主,让它赋有淡雅而清新的香味;每个部位特有的挥发性成分分别有 18、51、15、10 种。

西瓜 4 个部位中存在 11 种相同的挥发性成分,包括:己醛、2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、壬醛、苯甲醛、苯乙醛、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚、苯甲醇、苯乙醇、4-氧代己-2-烯醛、3,5-二叔丁基苯酚。采用相对峰面

积法进行相对含量的比较分析(图 4),己醛和顺-3-己烯-1-醇在花和叶中含量均较高,而在根和茎中含量低。2-己烯醛在叶中含量最高,是西瓜叶中最主要的挥发性成分,与其他 3 个部位相比,呈显著差异。壬醛和苯甲醛在根中含量均较高,而在其他部位含量很低。苯甲醇在根中含量最高,与其他 3 个部位相比,呈显著差异。而苯乙醛、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚、苯乙醇、4-氧代己-2-烯醛、3,5-二叔丁基苯酚等 5 个挥发性成分在各个部位中含量均较低。

3 讨论与结论

目前,国内外研究已报道了西瓜果汁^[11-13]、果肉^[14-17]、果籽^[18]和果皮^[19]中的挥发性成分,结合主成分分析对西瓜各部位起主要贡献的挥发性香气成分进行鉴定,发现不同部位主要挥发性成分的种类和含量均存在明显的差异,使得西瓜不同部位散发不同的特殊香气,西瓜汁和果肉中挥发性香气成分丰富,主要成分为乙醛、壬醛等,具有浓烈的清香和香甜味;果皮中挥发性成分较少,主要成分为乙醛,具有青草香味。在笔者的试验中,未做香气的主成分分析,

表2 西瓜植株不同部位挥发性成分分析

Table 2 Volatile compositions analysis of different parts from *Citrullus lanatus*

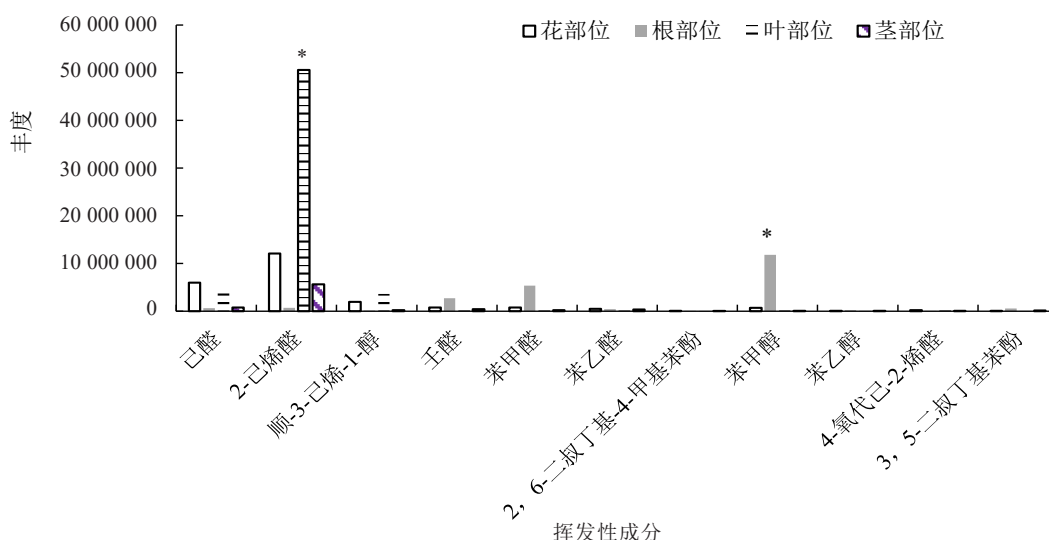
序号	时间/ min	化学名称	分子式	相对百分含量 /%			
				花	根	叶	茎
1	10.583	2-乙基呋喃	C ₆ H ₈ O	20.13		4.80	3.57
2	11.587	乙基烯丙基醚	C ₅ H ₁₀ O	10.20		1.86	
3	11.685	2-甲基丁烷	C ₅ H ₁₂				18.57
4	13.115	1,4-二噁烯	C ₄ H ₆ O ₂	1.47			
5	13.183	戊醛	C ₅ H ₁₀ O				5.16
6	14.158	1-戊烯-3-酮	C ₆ H ₈ O			1.73	
7	15.683	1-戊烯-3-醇	C ₅ H ₁₀ O	1.68		1.20	1.51
8	16.217	己醛	C ₆ H ₁₂ O	11.43	1.60	4.92	4.88
9	17.578	3-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O			1.68	
10	17.584	3,5-二甲基-1-己烯	C ₈ H ₁₆				3.14
11	17.635	丁基环丙烷	C ₇ H ₁₄	1.47			
12	18.049	2-正戊基呋喃	C ₉ H ₁₄ O		1.13		
13	18.493	戊-3-烯-2-酮	C ₅ H ₈ O	0.66			
14	18.739	2-乙基-1-丁烯	C ₆ H ₁₂	0.33			
15	18.783	反式-2-戊烯醛	C ₅ H ₈ O			3.96	
16	19.108	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	1.07			
17	19.924	(1,3-二甲基-2-亚甲基-环戊基)-甲醇	C ₉ H ₁₆ O			0.23	
18	20.072	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	0.45			
19	21.143	3,7,7-三甲基-1,3,5-环庚三烯	C ₁₀ H ₁₄	0.68			
20	21.927	十四烷	C ₁₄ H ₃₀		3.08		
21	22.755	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	23.23	1.67	62.89	35.28
22	23.133	1-乙基环丁烷	C ₆ H ₁₂ O	2.81			
23	23.537	7-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄		0.43		
24	24.014	2-己基-1-辛醇	C ₁₄ H ₃₀ O		1.29		
25	24.073	辛醛	C ₈ H ₁₆ O	2.32		0.15	0.88
26	24.846	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	3.74	0.45	4.49	1.29
27	25.107	二叔丁基二氮烯偶氮-叔丁烷	C ₈ H ₁₈ N ₂			0.78	
28	25.516	正十五烷	C ₁₅ H ₃₂		0.51		
29	25.915	癸基环戊烷	C ₁₅ H ₃₀		0.20		
30	26.344	植烷	C ₂₀ H ₄₂		0.60		
31	26.601	2-己基癸醇	C ₁₆ H ₃₄ O		0.33		
32	26.630	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	0.59		0.39	0.86
33	26.853	3-辛醇	C ₈ H ₁₆ O	1.39			0.50
34	26.918	正十八烷	C ₁₈ H ₃₈		0.37		
35	26.950	2,2,6-三甲基环己酮	C ₉ H ₁₆ O			0.14	
36	27.159	5-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄		0.43		
37	27.199	正庚醇	C ₇ H ₁₆ O	0.76			
38	27.574	2-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄		0.32		
39	28.067	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.44	6.74	0.78	2.82
40	28.582	2-乙基己醇	C ₈ H ₁₈ O	0.21		0.28	
41	28.748	3,5,5-三甲基-2-己烯	C ₉ H ₁₈	0.84			
42	28.765	3,5,5-三甲基-1-己烯	C ₉ H ₁₈				2.12
43	29.005	正十六烷	C ₁₆ H ₃₄		1.11		
44	29.943	1-甲基环己-3-烯-1-甲醛	C ₈ H ₁₂ O	0.17			
45	30.026	2,6,10-三甲基十五烷	C ₁₈ H ₃₈		0.63		
46	30.702	(E,E)-2,4-己二烯醛	C ₆ H ₈ O	0.77		0.39	0.88
47	30.787	3-亚甲基十三烷	C ₁₄ H ₂₈		0.31		
48	30.989	1-十六烯	C ₁₆ H ₃₂		0.54		
49	31.083	1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	0.24			0.33
50	31.382	十二醛	C ₁₂ H ₂₄ O		0.60		

表 2 续
Table 2 (Continued)

序号	时间/ min	化学名称	分子式	相对百分含量 /%			
				花	根	叶	茎
51	31.434	1-(2-亚甲基-环丙基)-环戊醇	C ₉ H ₁₄ O	0.44			
52	31.461	4,4-二乙基-螺[2.3]-5-己酮	C ₁₀ H ₁₆ O			0.27	
53	31.826	2,6,10-三甲基十三烷	C ₁₆ H ₃₄		0.48		
54	31.950	正癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O		3.15	0.31	
55	31.964	1,4-二甲基吡唑	C ₅ H ₈ N ₂	0.75			
56	31.975	[1-(羟基甲基)环己基]甲醇	C ₈ H ₁₆ O ₂				1.87
57	32.291	正十八烷	C ₁₈ H ₃₈		0.27		
58	32.966	十一烷基环戊烷	C ₁₆ H ₃₂		0.99		
59	33.034	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.17		0.11	
60	33.249	3,5,24-三甲基四十烷	C ₄₃ H ₈₈		0.40		
61	33.779	(3E)-3-乙基己-1,3-二烯	C ₈ H ₁₄			0.39	
62	33.801	2,4-二甲基-十一烷	C ₁₃ H ₂₈		0.30		
63	33.892	反式-2-辛烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	0.22			
64	34.504	3-甲硫基丙醛	C ₉ H ₁₂ O	0.33			
65	34.680	3-甲基十七烷	C ₁₈ H ₃₈		1.38		
66	34.976	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	1.55	13.23	1.24	1.40
67	35.533	反式-2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	0.48	0.64		
68	35.732	正十六烷	C ₁₆ H ₃₄		0.08		
69	35.914	3,5-辛二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O	0.19	2.15	0.19	
70	35.955	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O				0.57
71	36.231	α-律草烯	C ₁₅ H ₂₄		0.29		
72	36.586	顺式-3-壬烯-1-醇	C ₉ H ₁₈ O	0.23			
73	36.916	L-樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O		0.92		
74	37.349	匹诺酮	C ₁₀ H ₁₄ O		0.27		
75	37.460	4-乙基-3,8-二氧杂三环(5.1.0.0.2,4)辛烷	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.13			
76	37.741	3-亚甲基十三烷	C ₁₄ H ₂₈		0.16		
77	38.000	3,5-辛二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O		1.42		
78	38.245	顺式-1-甲基-9-氧杂双环[6.1.0]壬烷	C ₉ H ₁₆ O			0.18	
79	38.311	反-2-,顺-6-壬二烯醛	C ₉ H ₁₄ O	0.42	0.58		
80	38.799	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	C ₁₁ H ₁₈ O			0.14	
81	38.956	2-呋喃甲醇	C ₅ H ₆ O ₂				0.56
82	39.240	2,6-二甲基环己醇	C ₈ H ₁₆ O	0.82		0.70	
83	39.502	2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-甲醛	C ₁₀ H ₁₄ O	0.58		0.17	
84	39.758	冰片	C ₁₀ H ₁₈ O	0.29	2.03		1.04
85	39.964	十二醛	C ₁₂ H ₂₄ O		0.46		
86	40.184	4,4-二甲基-环己-2-烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O		0.17		
87	40.818	四甲基吡啶酮	C ₉ H ₁₇ NO			0.26	
88	41.434	苯乙酮	C ₈ H ₈ O		0.82		
89	41.541	硫代特戊酸	C ₅ H ₁₀ OS	0.29			
90	41.916	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	0.95	1.04	0.29	2.25
91	42.083	4-氧代己-2-烯醛	C ₆ H ₈ O ₂			0.16	
92	42.233	2-乙基丁酸-1,2,3-丙三酸酯	C ₂₁ H ₃₈ O ₆				0.46
93	42.726	5,6-二乙基-环己-1,3-二烯	C ₁₀ H ₁₆			0.70	
94	42.774	乙酸苄酯	C ₉ H ₁₀ O ₂		0.37		
95	42.851	4-乙基苯甲醛	C ₉ H ₁₀ O			0.21	
96	43.467	十六醛	C ₁₆ H ₃₂ O		0.24		
97	43.602	邻苯二甲醚	C ₈ H ₁₀ O ₂		0.12		
98	43.909	二乙二醇丁醚	C ₈ H ₁₈ O ₃		0.67		
99	44.013	二甲基亚砷	C ₂ H ₆ OS	0.56		0.14	1.10
100	45.474	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	C ₁₅ H ₂₄ O	0.17	0.30	0.08	0.34

表 2 续
Table 2 (Continued)

序号	时间/ min	化学名称	分子式	相对百分含量 /%			
				花	根	叶	茎
101	45.643	环十二烷	C ₁₂ H ₂₄		0.27		
102	45.865	丙酮香叶酯	C ₁₃ H ₂₂ O	0.24	1.68		0.46
103	46.522	肉豆蔻醛	C ₁₄ H ₂₆ O		0.53		
104	47.024	2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯	C ₁₆ H ₃₀ O ₄		0.28		
105	47.261	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	1.40	29.03	0.56	4.58
106	47.875	反式-橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O		0.27		
107	48.121	4-羟基丁酸	C ₄ H ₈ O ₃				0.67
108	48.149	α-紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O			0.06	
109	48.498	3-十五烷酮	C ₁₅ H ₃₀ O		0.22		
110	48.910	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.15	0.62	0.10	0.55
111	49.192	十五醛	C ₁₅ H ₃₀ O		1.99		
112	50.059	β-紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	0.38	0.51	0.24	
113	50.349	4-氧代己-2-烯醛	C ₆ H ₈ O ₂	0.41	0.17	0.47	0.48
114	50.819	4,7-二羟基-2,4,7,9-四甲基-5-癸炔	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	0.24	0.68		
115	51.708	2-吡咯甲醛	C ₅ H ₅ NO				0.16
116	51.942	α-亚乙基-苯乙醛	C ₁₀ H ₁₀ O		0.13		
117	52.859	百里酚	C ₁₀ H ₁₄ O		2.40		
118	53.357	α-酮己酸甲酯	C ₇ H ₁₂ O ₃	0.08		0.29	
119	54.061	3,5-二叔丁基苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	0.23	1.41	0.06	0.91
120	54.900	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环(4.1.0)庚-1-基]-3-丁烯-2 酮	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	0.12		0.09	
121	55.115	卡达茶	C ₁₅ H ₁₈	0.11			0.82
122	55.514	桂皮醛	C ₉ H ₈ O		0.14		
123	55.628	5,9,13-三甲基-4,8,12-四癸	C ₁₇ H ₂₈ O		0.24		
124	56.531	2-甲氧基苯甲醇	C ₈ H ₁₀ O ₂		0.43		
125	58.486	8α-甲基六氢-1,8(2H,5H)-萘二酮	C ₁₁ H ₁₆ O ₂		0.61		
126	59.798	肉桂醇	C ₉ H ₁₀ O		0.36		
127	61.967	二氢茉莉酮酸甲酯	C ₁₃ H ₂₂ O ₃		0.32		
128	67.068	邻苯二甲酸二异丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄		1.90		
129	71.600	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄		0.39		
130	72.383	二氢猕猴桃内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂		0.12	0.14	



注: *表示与其他3个部位相比,在0.05水平差异显著。

图 4 西瓜不同部位相同挥发性成分含量对比

Fig. 4 Comparison chart of the same volatile components in different parts of *Citrullus lanatus*

只对西瓜各部位中挥发性成分进行测定。今后可对西瓜各部位的挥发性成分的相对含量进行主成分分析,找出各部位主成分的特征值及其贡献率。

在笔者的试验中,西瓜花中挥发性成分相对含量最高的为2-乙基呋喃和2-己烯醛,2-乙基呋喃,呈强烈的焦香香气,可用作食品添加剂和香料^[22]。2-己烯醛是花、叶和茎的主要挥发性成分,当叶片被切断接触空气时,2-己烯醛就会大量释放出浓郁的绿叶香味,其作为香料和防腐剂在工业、化妆品业都得到普遍应用^[23]。异戊醇是花种特有的挥发性成分,有苹果白兰地香气,是我国规定的可允许使用的食用香料,可用作溶剂和化学分析的试剂、增塑剂^[24];西瓜根中挥发性成分含量最高的为苯甲醇和苯甲醛,苯甲醇具有微弱的芳香味,是最简单的芳香醇之一,可看作是苯基取代的甲醇,生产中可用于增塑剂、溶剂、防腐剂、肥皂、香料、染料等^[25]。百里酚是根中的特有挥发性成分,杀菌作用比苯酚强而且毒性低,对口腔咽喉黏膜具有杀菌作用,对龋齿腔还有局部麻醉、防腐等功效,能促进气管纤毛运动,利于气管黏液的分泌,起化痰作用^[26];西瓜叶中挥发性成分含量最高的为2-己烯醛,该部位特有的挥发性成分是反式-2-戊烯醛,均可用作食品香料;西瓜茎中挥发性成分含量最高的为2-己烯醛和2-甲基丁烷,该部位特有的挥发性成分是2-甲基丁烷和戊醛,2-甲基丁烷有令人愉快的芳香气味,可用于有机合成,也可用作溶剂、聚苯乙烯的发泡剂,戊醛主要在工业生产上可用作香料、橡胶促进剂等^[27]。这些高含量的挥发性成分赋予了西瓜各部位特殊的香气,同时还能有效地应用到工业生产中。

综上所述,笔者在试验中采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术对西瓜早佳品种的不同部位冷冻干燥样品中的挥发性成分进行测定,共鉴定出130种挥发性成分,其中花中52种,根中70种,叶中43种,茎中32种,各部位中均有特定的挥发性成分和11种相同的挥发性成分,赋予了西瓜不同部位特定的香气。该结论为后续西瓜各部位挥发性成分的开发与加工利用提供了有力的理论支撑。

参考文献

- [1] 李华安,时元林.西瓜皮提取物的成分及其药用价值[J].泰山医学院学报,1990(1):23-25.
- [2] 殷国健,王光灿,朱光辉.西瓜中微量元素含量的测定[J].广东微量元素科学,1999,6(1):64-65.
- [3] 王硕,周小雷,龚小妹,等.西瓜的药用价值文献研究[J].中华中医药杂志,2013(4):1023-1026.
- [4] 韩明,薛福玲,藺志锋,等.西瓜皮营养成分分析[J].食品研究与开发,2010,31(1):119-122.
- [5] 侯文启.HPLC法测定桂林西瓜霜中盐酸小檗碱的含量[J].中国现代药物应用,2010,4(9):18-19.
- [6] WANI A A, SOGI D S, SINGH P, et al. Characterization and functional properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed protein isolates and salt assisted protein concentrates[J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(4): 877-887.
- [7] 马磊,张勇.西瓜皮青皮治疗腰痛19例[J].中国民间疗法, 2010(1):71.
- [8] ABDEL K M, BALSAM O, INAS O. GC-MS analysis and biological activity of sudanese *Citrullus lanatus* L. (Cucurbitaceae) fixed oil[J]. World Journal of Pharmaceutical and Life Science, 2016, 2(6): 503-512.
- [9] MENDOZA-ENANO M L, STANLEY R, FRANK D. Dataset of volatile compounds in fresh and stored cut watermelon (*Citrullus lanatus*) under varying processing and packaging conditions[J]. Data in Brief, 2019, 26: 104299.
- [10] 张义杰,谷云,祁勇刚,等.不同发酵方法酿造西瓜醋的挥发性成分分析[J].中国酿造,2016,35(1):156-160.
- [11] 杨帆,陈尔豹,牛晓媛,等.GC-O-MS分析热处理前后西瓜汁挥发性风味成分[J].食品科学技术学报,2020,38(3):35-42.
- [12] 杨潇,刘野,胡蝶,等.热加工西瓜汁关键异味成分的初步鉴定[J].食品工业科技,2019,40(5):219-224.
- [13] 何聪聪,刘梦雅,刘建彬,等.SPME和SAFE结合GC-O-MS分析鲜榨西瓜汁挥发性香气成分[J].食品工业科技,2014,35(2):49-53.
- [14] 肖守华,马德源,王施慧,等.不同瓤色小型西瓜成熟果实挥发性风味物质GC-MS分析[J].中国园艺文摘,2014,30(5):1-7.
- [15] 周阳云,冯小路,王玉亮,等.气质联用法分析野西瓜果实的化学成分[J].药学实践杂志,2015,33(5):436-437.
- [16] 黄沁怡,秦琰琪,周锋瑜.不同成熟期西瓜挥发性物质成分的GC-MS分析[J].上海蔬菜,2019(2):68-70.
- [17] 任凯丽,苏永全,张化生,等.甘肃靖远旱砂西瓜挥发性香气成分分析[J].食品科学,2023,44(6):320-326.
- [18] 张文文,陆宁.生熟西瓜子中挥发性成分分析研究[J].农产品加工(学刊),2010(7):48-50.
- [19] 乐长高,黄国林.GC-MS测定西瓜皮中的挥发性成分[J].光谱实验室,1999,16(4):439-441.
- [20] 陈璐,王松,孙金沅,等.多次顶空固相微萃取方法的原理及应用[J].精细化工,2019,36(10):1989-1994.
- [21] 刘京宏,陈淼芬,钟晓红,等.HS-SPME-GC-MS测定黄花菜不同部位中挥发性成分[J].天然产物研究与开发,2020,32(3):464-472.
- [22] 刘伟男.2-乙基呋喃燃烧特性研究[D].杭州:浙江大学,2022.
- [23] 王新策,朱莉莉,陈庆敏,等.反式-2-己烯醛的生态生理功能及其在果蔬保鲜中的应用[J].中国果菜,2020,40(12):1-7.
- [24] 王倩,冯文倩,王雅楠,等.本土酿酒酵母发酵进程中异戊醇的合成代谢[J].中国食品学报,2022,22(6):95-105.
- [25] 李晓捷,易冬梅,周玉凤,等.苯甲醇选择氧化制苯甲醛研究进展[J].广州化工,2021,49(14):1-3.
- [26] 贾振宇,孙慧慧,郝旭昇,等.百里酚和香芹酚对阪崎克罗诺杆菌的抑制作用[J].食品工业科技,2018,39(20):79-86.
- [27] 孙晓岩,项曙光.2-甲基丁烷、2,2-二甲基丁烷-苯-环丁酮体系液液平衡数据的测定与关联[J].高校化学工程学报,2014,28(2):412-415.