

庞夫花, 王庆莲, 袁华招, 等. 不同栽培模式对草莓果实挥发性香气物质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(2): 359-366.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.02.018

## 不同栽培模式对草莓果实挥发性香气物质的影响

庞夫花, 王庆莲, 袁华招, 蔡伟建, 王珑静, 赵密珍

(江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为探明不同栽培模式对草莓果实挥发性香气物质的影响, 以红颜(HY)、天使8号(TS8H)为试验材料, 设置常规土壤栽培和高架基质栽培2种模式进行栽培试验。果实成熟后, 采用搅拌棒吸附萃取(SBSE)结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对草莓果实的香气成分进行测定与分析。结果表明: 2个草莓品种中共检测出83种、12大类挥发性香气物质。其中, 脂肪酯29种、内酯3种、芳香族酯6种、脂肪醇4种、萜烯醇5种、呋喃酮2种、脂肪酮3种、萜烯酮2种、脂肪酸6种、脂肪醛8种、萜烯6种、其他9种。香气组分中, 内酯、萜烯醇、脂肪酯相对含量较高。常规土壤栽培处理红颜果实内酯、萜烯醇、脂肪酯相对含量分别为46.77%、21.46%、16.18%, 天使8号分别为44.20%、25.71%、19.77%; 高架基质栽培处理红颜果实内酯、萜烯醇、脂肪酯相对含量分别为51.17%、24.21%、13.10%, 天使8号分别为43.59%、18.11%、16.54%。不同栽培模式下, 同一品种中90%以上挥发性香气物质种类一致, 主要挥发性香气物质均为 $\gamma$ -癸内酯、 $\gamma$ -十二内酯、反式橙花叔醇; 高架基质栽培方式下红颜果实 $\gamma$ -癸内酯和天使8号果实4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(DMMF)的相对含量明显高于常规土壤栽培。综上, 高架基质栽培在维持草莓果实主要挥发性香气物质稳定的同时, 还可以提升果实的果香、甜香味。

**关键词:** 草莓; 栽培模式; 挥发性香气物质

**中图分类号:** S668.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2024)02-0359-08

## Effects of different cultivation modes on volatile aromatic substances of strawberry fruit

PANG Fu-hua, WANG Qing-lian, YUAN Hua-zhao, CAI Wei-jian, WANG Long-jing, ZHAO Mi-zhen

(Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of cultivation modes on volatile aroma components of strawberry fruit, two cultivation modes of conventional soil cultivation and elevated substrate cultivation were set up to carry out cultivation experiments with Benihoppe (HY) and Angel 8 (TS8H) as experimental materials. After fruit ripening, the aroma components of strawberry fruit were determined and analyzed by stir bar sorptive extraction (SBSE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that 83 kinds of volatile aroma substances were detected in the two straw-

berry varieties, which could be divided into 12 categories. Among them, there were 29 fatty esters, three lactones, six aromatic esters, four fatty alcohols, five terpene alcohols, two furanones, three fatty ketones, two terpene ketones, six fatty acids, eight fatty aldehydes, six terpenes and nine others. Among the aroma components, the relative contents of lactone, terpene alcohol and fatty ester were higher. Under conventional soil cultivation, the rela-

**收稿日期:** 2022-12-30

**基金项目:** 国家园艺种质资源库项目(NHGRC2022-NH16); 农业农村部作物种质资源保护项目(19210895); 徐州市政策引导类计划项目(KC21332)

**作者简介:** 庞夫花(1989-), 女, 山东新泰人, 硕士, 助理研究员, 主要从事草莓种质资源鉴定研究。(E-mail) pangfuhua0929@163.com

**通讯作者:** 赵密珍, (E-mail) njzhaomz@163.com

tive contents of lactone, terpene alcohol and fatty ester of Benihoppe were 46.77%, 21.46% and 16.18%, respectively, and those of Angel 8 were 44.20%, 25.71% and 19.77%, respectively. Under the treatment of elevated substrate cultivation, the relative contents of lactone, terpene alcohol and fatty ester of Benihoppe were 51.17%, 24.21% and 13.10%, respectively, and those of Angel 8 were 43.59%, 18.11% and 16.54%, respectively. Under different cultivation modes, more than 90% of the volatile aroma substances in the same variety were the same, and the main volatile aroma substances were  $\gamma$ -decalactone,  $\gamma$ -dodecalactone and *trans*-nerolidol. The relative contents of  $\gamma$ -decalactone in Benihoppe and 4-methoxy-2, 5-dimethyl-3 (2H)-furanone (DMMF) in Angel 8 in elevated substrate cultivation were higher than those in conventional soil cultivation. In summary, elevated substrate cultivation can not only maintain the stability of the main volatile aroma substances in strawberry fruits, but also enhance the fruity and sweet aroma of fruits.

**Key words:** strawberry; cultivation mode; volatile aroma components

草莓 (*Fragaria ananassa* Duchesne) 属于蔷薇科 (Rosaceae) 蔷薇亚科 (Rosoidae) 草莓属 (*Fragaria*) 多年生草本植物<sup>[1]</sup>, 生产周期短、经济效益高, 是世界栽培面积最广的小浆果<sup>[2]</sup>。目前, 中国已成为世界最大的草莓生产国和消费国, 产量占世界总产量的 50% 以上<sup>[3]</sup>。随着生活质量的提高, 消费者对草莓品质提出了更高的要求。香气成分和含量是评价草莓品质的重要指标<sup>[4-7]</sup>。香气是由众多的挥发性化合物共同组成<sup>[8-10]</sup>, 含量仅占鲜果质量的 0.001%~0.010%<sup>[11-14]</sup>, 主要受草莓品种<sup>[15-18]</sup>、栽培条件<sup>[19-20]</sup>、成熟度<sup>[21-22, 13]</sup>和采后贮藏条件<sup>[23]</sup>等影响。

随着草莓种植者老龄化及劳动力成本逐年增加, 高架基质栽培已逐步替代传统土壤栽培, 成为草莓种植的新趋势。高架基质栽培与常规土壤栽培有不同的水肥管理模式。目前在高架基质配方、营养液成分及其对草莓生长、产量、品质及风味的影响方面已有大量的研究<sup>[24-26]</sup>, 但尚未见高架基质栽培方式对草莓果实香气影响的报道。本研究以红颜和天使 8 号为试验材料, 以常规土壤栽培为对照, 分析高架基质栽培模式对草莓果实挥发性香气物质的种类、相对含量的影响, 为草莓的品质栽培提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及处理

试验于 2020 年在江苏省农业科学院试验基地进行。以草莓品种红颜 (HY)、天使 8 号 (TS8H) 为材料, 设置高架基质栽培和常规土壤栽培 2 种栽培方式, 共 4 个处理。2020 年 9 月初草莓定植, 不同栽培模式下均采用常规栽培管理方案。果实成熟期, 各处理采摘 1 000 g 鲜果样品, 液氮速冻后, 置于 -80 °C 超低温冰箱保存待测。

### 1.2 草莓果实挥发性香气物质相对含量测定

委托农业农村部茶树生物学与资源利用重点实验室 (杭州) 采用搅拌棒吸附萃取 (Stir bar sorptive extraction, SBSE) 结合气相色谱质谱 (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术对草莓果实中的挥发性成分进行提取和测定。

参照王梦琪等<sup>[27]</sup>的方法进行磁力搅拌棒吸附萃取: 将 100 mg 低温冻干草莓粉末放入 20 ml 密封顶空玻璃瓶中, 迅速加入 5.0 ml 100 °C 的蒸馏水、PDMS 涂层磁力搅拌棒 Twister (10.0 mm×1.0 mm, 24  $\mu$ l, 德国 Gerstel 公司产品), 旋紧瓶盖, 以 1 000 r/min 在 70 °C 恒温下搅拌吸附 0.5 h, 最后, 将搅拌棒在 GC-MS 的进样口解吸附, 进行 GC-MS 分析。

使用 Agilent GC 7890B/5977B (美国 Agilent 公司产品) 和 HP-5MS column 色谱柱 (柱长 30 m, 柱内径 250  $\mu$ m, 粒径 0.25  $\mu$ m, 美国 Agilent 公司产品) 进行气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析: 传输线温度 250 °C, 载气为 99.999% 的氦气, 恒定流速为 1.6 ml/min。初始柱温 50 °C, 以 4 °C/min 的速率升至 265 °C。质谱条件: 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C, 质谱传输线温度为 250 °C, 质量扫描范围 30~600 u, 溶剂延迟 3.0 min。热脱附 (TDU) 为溶剂排空模式, 初始温度 30 °C, 以 100 °C/s 速率升温至 240 °C。冷进样 (CIS) 系统条件为: 液氮冷却至 -100 °C, -100 °C 平衡 1.0 min, 以 12 °C/s 升温到 280 °C, 保持时间 3.0 min。

采用 Agilent chemstation /LECO ChromaTOF 工作站 (NIST 2014 谱库) 结合正构烷烃保留指数对香气物质进行定性分析; 采用峰面积归一法, 即样品中单一化合物的峰面积与总峰面积的百分比, 进行香气物质的相对定量分析。各处理重复测定 2 次。

1.3 聚类分析

以 2 为底数,各化合物的峰面积取对数后利用 HemI1.0.3.7-Heatmap Illustrator 软件进行香气物质聚类分析。

2 结果与分析

2.1 栽培模式对草莓果实挥发性香气物质相对含量影响

不同栽培处理下,2 个草莓品种(HY、TS8H)检测到的香气物质成分及相对含量如表 1 所示。从表中可知,2 个草莓品种中共检测出 83 种香气物质,其中红颜常规土壤栽培处理 67 种,红颜高架基质栽培处理 68 种,天使 8 号常规土壤栽培处理 72 种,天使 8 号高架基质栽培处理 75 种。根据香气物质化学结构的差异,可分为 12 类,包含脂肪酯、内酯、芳香族酯、脂肪醇、呋喃酮、脂肪酮、萜烯酮、脂肪酸、脂肪醛、萜

烯和其他等。相对含量较高的香气物质为  $\gamma$ -癸内酯、 $\gamma$ -十二内酯、反式橙花叔醇、己酸甲酯、丁酸甲酯、芳樟醇、己酸、辛酸等。不同栽培模式下,同一品种 90% 以上香气物质种类一致。红颜常规土壤栽培处理比红颜高架基质栽培处理多出邻二甲苯、十一醛、辛酸辛酯 3 种成分;少了乙酸反-2-己烯酯、顺式呋喃型芳樟醇氧化物、 $\delta$ -癸内酯、(反,反,反)-12-羟基-3,7,11-三甲基-2,6,10-三烯乙酸十二酯 4 种物质。天使 8 号常规土壤栽培处理比天使 8 号高架基质栽培处理多出丁酸乙酯、邻二甲苯、反式-肉桂酸乙酯 3 种香气成分,而少了庚醛、 $\gamma$ -松油烯、反-2-己烯酸丁酯、水杨酸甲酯、2,6-对二叔丁基对甲酚、月桂酸、己酸 9-癸烯-1-酯 7 种物质。红颜高架基质栽培中特有的顺式呋喃型芳樟醇氧化物、 $\delta$ -癸内酯等香气物质能使草莓果实呈现果香、奶香味。

表 1 不同栽培模式下草莓果实香气物质成分与相对含量  
Table 1 Aroma components and relative content of strawberry fruit under different cultivation modes

香气物质		红颜		天使 8 号	
		常规土壤栽培	高架基质栽培	常规土壤栽培	高架基质栽培
脂肪酯	丁酸甲酯(%)	6.31	4.30	1.12	0.61
	异戊酸甲酯(%)	0.30	0.37	6.35	5.59
	丁酸乙酯(%)	—	—	0.67	—
	丁酸异丙酯(%)	0.25	0.20	0.13	0.09
	异戊酸乙酯(%)	—	—	0.76	0.26
	乙酸异戊酯(%)	0.15	0.07	2.84	3.83
	己酸甲酯(%)	7.52	6.63	4.80	3.92
	己酸乙酯(%)	0.04	0.04	1.48	0.36
	乙酸己酯(%)	0.04	0.04	0.29	0.20
	乙酸反-2-己烯酯(%)	—	0.06	0.20	0.13
	己酸异丙酯(%)	0.09	0.05	0.11	0.06
	丁酸异戊酯(%)	—	—	0.12	0.16
	辛酸甲酯(%)	0.17	0.20	0.12	0.07
	丁酸己酯(%)	0.01	0.01	0.02	0.01
	反-2-己烯酸丁酯(%)	—	—	—	0.02
	辛酸乙酯(%)	0.03	0.01	0.06	0.02
	丁酸 1-甲基己酯(%)	0.13	0.15	0.11	0.08
	乙酸辛酯(%)	—	—	0.01	0.01
	3-甲基丁酸己酯(%)	—	—	0.02	0.02
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇单异丁酸酯(%)	0.13	0.13	0.10	0.09
	己酸己酯(%)	—	—	0.02	0.01
	丁酸辛酯(%)	0.02	0.01	0.01	0.01

续表 1 Continued 1

香气物质		红颜		天使 8 号	
		常规土壤 栽培	高架基质 栽培	常规土壤 栽培	高架基质 栽培
内酯	异戊酸正辛酯(%)	0.02	0.02	0.04	0.03
	己酸辛酯(%)	0.04	0.05	0.05	0.03
	辛酸辛酯(%)	0.57	—	0.01	0.51
	肉豆蔻酸异丙酯(%)	0.07	0.08	0.09	0.07
	棕榈酸甲酯(%)	0.22	0.38	0.17	0.26
	十八烷酸甲酯(%)	0.07	0.30	0.07	0.08
	己酸 9-癸烯-1-酯(%)	—	—	—	0.01
	γ-癸内酯(%)	21.43	28.92	23.55	22.49
	δ-癸内酯(%)	—	0.06	—	—
	γ-十二内酯(%)	25.34	22.19	20.65	21.10
芳香族酯	乙酸苄酯(%)	—	—	0.05	0.07
	水杨酸甲酯(%)	0.04	0.04	—	0.03
	戊酸苄酯(%)	—	—	0.03	0.03
	反式-肉桂酸乙酯(%)	—	—	0.09	—
脂肪醇	水杨酸异辛酯(%)	0.75	0.11	0.06	1.30
	3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸甲酯(%)	0.02	0.04	0.02	0.03
	1-辛醇(%)	0.14	0.15	0.08	0.08
	1-壬醇(%)	0.03	0.03	0.03	0.03
	4,7-二羟基-2,4,7,9-四甲基-5-癸炔(%)	0.07	0.16	0.08	0.05
	1-十六醇(%)	0.23	0.12	0.06	0.26
萜烯醇	顺式呋喃型芳樟醇氧化物(%)	—	0.06	—	—
	芳樟醇(%)	1.49	3.12	3.72	3.38
	反式橙花叔醇(%)	19.83	20.88	21.89	14.65
	异雪松醇(%)	0.05	0.04	0.03	0.03
	植醇(%)	0.09	0.11	0.07	0.05
呋喃酮	4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(%)	0.49	0.82	2.21	7.67
	呋喃酮(草莓酮)(%)	0.01	0.07	0.05	0.14
脂肪酮	2-庚酮(%)	0.44	0.42	—	—
	3-壬酮(%)	0.03	0.03	0.03	0.05
	3-十三酮(%)	0.04	0.09	0.05	0.06
萜烯酮	香叶基丙酮(%)	0.04	0.04	0.04	0.05
	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮(%)	0.09	0.03	0.03	0.04
脂肪酸	己酸(%)	2.15	1.45	1.52	1.60
	辛酸(%)	1.60	0.81	0.28	0.29
	3-羟基辛酸(%)	0.04	0.07	—	—
	壬酸(%)	0.90	0.72	0.56	0.45
	月桂酸(%)	0.10	0.40	—	0.17
	棕榈酸(%)	0.33	0.81	0.41	0.39
脂肪醛	乙醛(%)	0.33	0.57	0.52	0.39
	2-己烯醛(%)	0.06	0.18	0.14	0.18

续表 1 Continued 1

香气物质		红颜		天使 8 号	
		常规土壤栽培	高架基质栽培	常规土壤栽培	高架基质栽培
萜烯	庚醛(%)	0.07	0.11	—	0.06
	辛醛(%)	0.04	0.05	0.05	0.07
	3-(羟基甲基)-4-甲基己醛(%)	—	—	0.07	0.08
	壬醛(%)	0.39	0.65	0.45	0.52
	癸醛(%)	0.12	0.22	0.13	0.13
	十一醛(%)	0.02	—	—	—
	柠檬烯(%)	0.23	0.33	0.20	0.21
	$\gamma$ -松油烯(%)	0.01	0.03	—	0.03
	反式- $\beta$ -法尼烯(%)	0.02	0.02	0.02	0.01
	$\alpha$ -法尼烯(%)	0.02	0.03	0.03	0.02
其他	(反,反,反)-12-羟基-3,7,11-三甲基-2,6,10-三烯乙酸十二酯(%)	—	0.02	—	—
	角鲨烯(%)	4.20	0.43	0.22	4.83
	<i>N,N</i> -二丁基甲酰胺(%)	0.53	0.92	0.65	0.50
	癸烷(%)	0.19	0.14	0.33	0.28
	十一烷(%)	1.34	1.16	1.53	1.42
	樟脑磺酸(%)	0.03	0.06	0.04	0.05
	新植二烯(%)	0.12	0.07	0.02	0.03
	对二甲苯(%)	0.13	0.05	0.12	0.06
	邻二甲苯(%)	0.07	—	0.03	—
	4-异丙基甲苯(%)	0.13	0.07	0.09	0.07
	2,6-对二叔丁基对甲酚(%)	—	—	—	0.03

—表示未检测到。

2.2 不同处理草莓果实挥发性香气物质聚类分析

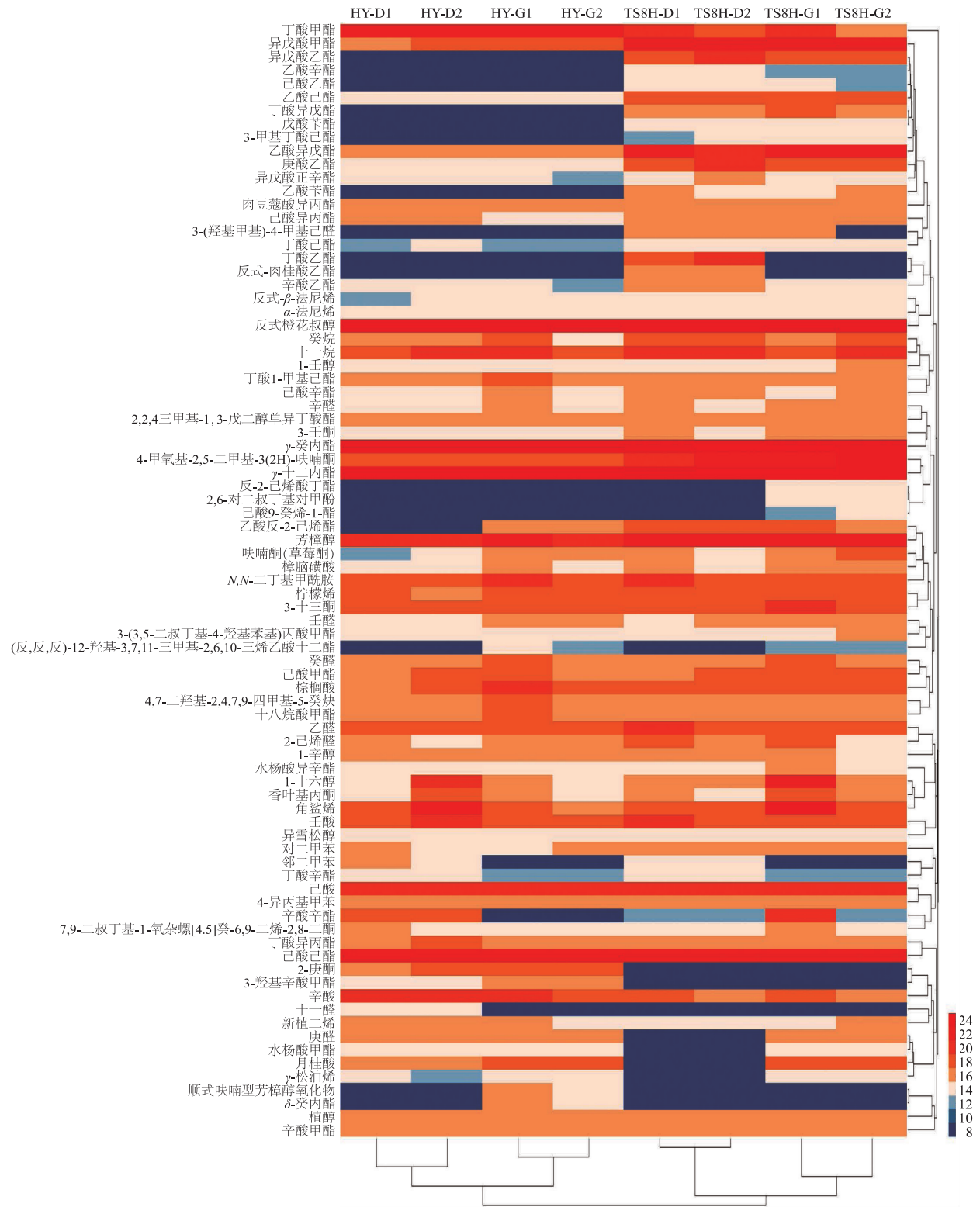
不同处理下草莓果实挥发性香气物质聚类分析结果如图 1 所示。从图 1 中可以看出,不同栽培模式下,同一品种挥发性香气物质种类和相对含量基本一致,可归为一类。高架基质栽培下,2 个品种的呋喃酮、3-十三酮、棕榈酸甲酯、月桂酸等香气物质相对含量高于常规土壤栽培。其中,呋喃酮是草莓的主要香气特征物质,具有草莓的典型果香、甜香<sup>[8]</sup>。上述分析结果表明,品种是草莓果实中挥发性香气物质相对含量的决定性因素;不同栽培方式下,同一品种挥发性香气物质种类基本稳定,高架基质栽培模式可以提升草莓果实中的果香和甜香。

2.3 挥发性香气物质相对含量分析

不同栽培模式下,2 个草莓品种不同种类香气物质的相对含量如表 2 所示。从表 2 可知,不同处

理草莓果实中相对含量较高的香气物质种类基本一致。4 个处理草莓果实中内酯类物质相对含量都在 40%以上,均为最高;其次是萜烯醇类物质和脂肪酯类物质。高架基质栽培处理红颜内酯、萜烯醇、呋喃酮、脂肪醛化合物相对含量分别比常规土壤栽培增加 4.40 个百分点、2.75 个百分点、0.39 个百分点、0.75 个百分点,而脂肪酯、萜烯、芳香族酯、脂肪酸化合物相对含量分别下降 3.08 个百分点、3.62 个百分点、0.62 个百分点、0.86 个百分点。高架基质栽培模式下,天使 8 号芳香族酯、呋喃酮、萜烯化合物相对含量分别增加 1.21 个百分点、5.55 个百分点、4.63 个百分点,而脂肪酯、萜烯醇、内酯化合物相对含量分别下降 3.23 个百分点、7.60 个百分点、0.61 个百分点。综上可知,高架基质栽培可以提高草莓中呋喃酮化合物的相对含量,降低脂肪酯化合物的相对含量。





HY-D1、HY-D2 分别为草莓品种红颜常规土壤栽培重复 1 和重复 2;HY-G1、HY-G2 分别为草莓品种红颜高架基质栽培重复 1 和重复 2; TS8H-D1、TS8H -D2 分别为草莓品种天使 8 号常规土壤栽培重复 1 和重复 2;TS8H-G1、TS8H-G2 分别为草莓品种天使 8 号高架基质栽培重 复 1 和重复 2。

图 1 不同栽培模式下草莓果实挥发性香气物质热图及聚类分析

Fig.1 Heat map and cluster analysis of volatile aroma substances in strawberry fruit under different cultivation mode

表 2 不同栽培模式对草莓果实挥发性香气物质相对含量的影响  
Table 2 Effects of different cultivation modes on the relative content of volatile aroma substances in strawberry fruit

香气物质	红颜		天使 8 号	
	常规土壤栽培	高架基质栽培	常规土壤栽培	高架基质栽培
脂肪酯(%)	16.18	13.10	19.77	16.54
内酯(%)	46.77	51.17	44.20	43.59
芳香族酯(%)	0.81	0.19	0.25	1.46
脂肪醇(%)	0.47	0.46	0.25	0.42
萜烯醇(%)	21.46	24.21	25.71	18.11
呋喃酮(%)	0.50	0.89	2.26	7.81
脂肪酮(%)	0.51	0.54	0.08	0.11
萜烯酮(%)	0.13	0.07	0.07	0.09
脂肪酸(%)	5.12	4.26	2.77	2.90
脂肪醛(%)	1.03	1.78	1.36	1.43
萜烯(%)	4.48	0.86	0.47	5.10
其他(%)	2.54	2.47	2.81	2.44

2.4 不同处理对各类香气物质种类的影响

不同处理各类香气物质的种类如图 2 所示。2 种栽培方式下,红颜和天使 8 号中脂肪酯类香气物质的种类最多,其次为脂肪醛类、脂肪酸类、萜烯类等。不同栽培方式下,同一品种同类香气物质的种类基本一致。虽然内酯类香气物质相对含量最高,但香气物质类型并不多,主要为  $\gamma$ -癸内酯和  $\gamma$ -十二

内酯;高架基质栽培方式下红颜新增了  $\delta$ -癸内酯。虽然  $\delta$ -癸内酯的相对含量仅为 0.06%,但其可给草莓果实带来奶油香和桃子果香。

2.5 特征香气物质分析

草莓香气物质中  $\gamma$ -癸内酯、4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、 $\gamma$ -十二内酯、芳樟醇、反式橙花叔醇、己酸甲酯、丁酸甲酯、己酸、乙酸己酯、己酸乙酯等为草莓特征香气物质。高架基质栽培方式下,红颜果实特征香气物质相对含量(88.38%)高于常规土壤栽培的 84.63%。其中, $\gamma$ -癸内酯、4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(DMMF)、芳樟醇、反式橙花叔醇等物质的相对含量增加比较明显。而高架基质栽培方式下,天使 8 号果实特征香气物质相对含量(75.98%)低于常规土壤栽培的 81.23%。虽然高架基质栽培方式下,天使 8 号果实的 4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(DMMF)、 $\gamma$ -十二内酯、己酸等物质的相对含量高于常规土壤栽培,但反式橙花叔醇、己酸甲酯、丁酸甲酯、乙酸乙酯、己酸乙酯等物质的相对含量明显低于高架基质栽培。综上,虽然高架基质栽培方式下草莓果实中脂肪酯类化合物的含量有所降低,但使得果实呈现浓郁的果香、奶香及草莓香气的  $\gamma$ -癸内酯(红颜)、4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(天使 8 号)等物质相对含量得到了较大的提高。

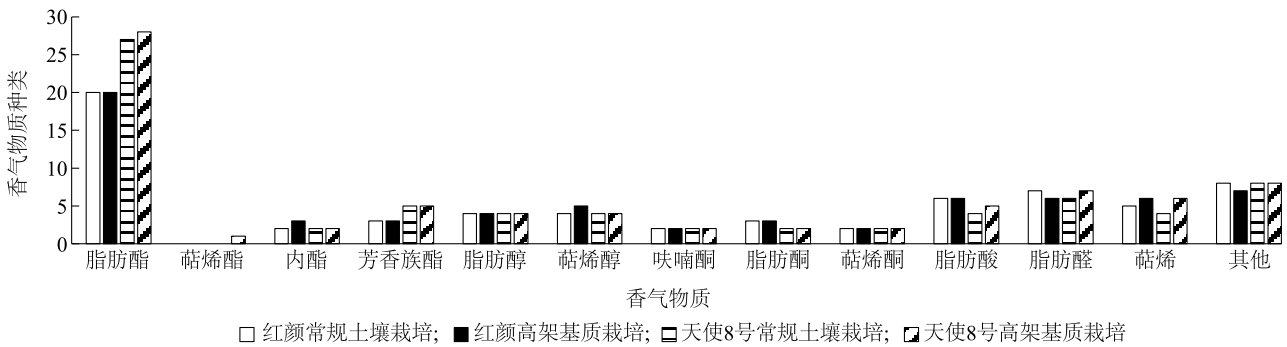


图 2 不同处理草莓果实各类挥发性香气物质种类变化  
Fig.2 The changes of various volatile aroma substances in strawberry fruit under different treatments

3 讨论与结论

草莓果实香气是由多种挥发性香气物质共同作用形成的<sup>[8]</sup>。品种类型、栽培措施及采收期等均能引起挥发性香气物质含量的变化。已有研究结果表明不同品种草莓果实香气成分的总量及种类存在较大差异,疏花疏果、辐照、遮阴及摘叶等处理亦会引

起草莓果实香气物质含量的变化。香气组成中,酯类物质的相对含量较高(50%以上),种类也最丰富<sup>[6-7,9-10,12,28-32]</sup>。本试验结果与上述结果基本一致。

王娟等<sup>[11]</sup>采用 GC-MS 技术从 8 个草莓品种(系)中共检测到 46 种挥发性化合物,主要为酯类、醇类、酮类、醛类、酸类等。其中,红颜中己酸、丁酸甲酯、4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮以及沉香

醇等物质的含量较高,品种白雪公主中丁酸己酯、乙酸苄酯、 $\gamma$ -十二内酯、DMMF、沉香醇、己酸、 $\gamma$ -癸内酯等物质的含量较高。赵静等<sup>[28]</sup>采用 GC-MS 技术测定出红颜成熟果实中香气成分有 55 种,醇类和酯类物质的含量较高,以己酯、乙酯、乙酸乙酯、沉香醇、橙花叔醇、(E)-2-乙醛等为主要香气成分。本研究发现不同栽培模式下草莓果实香气物质主要为内酯、萜烯醇、脂肪酯等。2 个品种果实中  $\gamma$ -癸内酯、 $\gamma$ -十二内酯、反式橙花叔醇、丁酸甲酯、己酸甲酯、己酸等物质的相对含量均较高。此外,本研究还发现不同栽培模式下,同一品种 90% 以上香气物质种类一致。高架基质栽培方式下,草莓果实呋喃酮、3-十三酮、 $\delta$ -癸内酯、棕榈酸甲酯、月桂酸等香气物质的相对含量增加,从而使得果实呈现更为浓郁的果香、甜香、奶香,提升草莓感官品质。

#### 参考文献:

- [1] 雷家军,代汉萍,邓明琴,等. 中国草莓属植物的分类研究[J]. 园艺学报,2006,33(1):1-5.
- [2] 赵密珍,钱亚明. 江苏省草莓生产现状调查分析[J]. 江苏农业科学,2010(3):1-2.
- [3] 张运涛,雷家军,赵密珍,等. 新中国果树科学研究 70 年——草莓[J]. 果树学报,2019,36(10):1441-1452.
- [4] LATRASSE A, MAARSE H. Volatile compounds in foods and beverages fruits III [M]. New York: Marcel Dekker,1991:329-387.
- [5] 张运涛,董 静,王桂霞. 草莓香气的形成和香气育种[J]. 中国农业科学,2004,37(7):1039-1044.
- [6] LAMBERT Y, DEMAZEAU G, LARGETEAU A. Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment[J]. Food Chemistry,1999,67(1):7-16.
- [7] 张运涛,王桂霞,董 静,等. 33 个欧美草莓品种果实挥发性物质的分析[J]. 果树学报,2011,28(3):438-442.
- [8] CAPRIOLI G. Influence of freezing and different drying methods on volatile profiles of strawberry and analysis of volatile compounds of strawberry commercial jams [J]. Molecules,2021,26(14):4153.
- [9] 赵国富,王金敖,谢庭辉. 红颜草莓不同发育时期营养品质及香气变化[J]. 浙江农业学报,2018,30(12):2044-2048.
- [10] 庞夫花,赵密珍,袁华招,等. 草莓‘宁玉’及其亲本果实发育过程中香气成分分析[J]. 江西农业学报,2019,31(6):16-21.
- [11] 王 娟,孙 瑞,王桂霞,等. 8 个草莓品种(系)果实特征香气成分比较分析[J]. 果树学报,2018,35(8):967-976.
- [12] AL-TAHER F, NEMZER B. Identification of aroma compounds in freeze-dried strawberries and raspberries by HS-SPME-GC-MS[J]. Journal of Food Research,2020,9(4):30-40.
- [13] 王 玲,尹克林. ‘达赛莱克特’草莓果实发育成熟过程中香气物质的变化及其特征成分的确定[J]. 果树学报,2018,35(4):433-441.
- [14] BLANCH G P, CASTILLO M L R. Changes in strawberry volatile constituents after pre-harvest treatment with natural hormonal compounds [J]. Flavour and Fragrance Journal,2012,27(2):180-187.
- [15] 董 静,钟传飞,王桂霞,等. 日中性草莓不同季节果实挥发性成分差异[J]. 中国农业科学,2019,52(13):2309-2327.
- [16] 付 磊,冒德寿,洪 鏊,等. 不同品种草莓的特征香气成分[J]. 食品工业,2021,42(1):202-205.
- [17] 王富强. 不同草莓品种果实可溶性固形物、鞣花酸和香气物质对比及变化趋势[D]. 合肥:安徽农业大学,2019.
- [18] DU X, PLOTTO A, BALDWIN E, et al. Evaluation of volatiles from two subtropical strawberry cultivars using GC-Olfactometry, GC-MS Odor activity values, and sensory analysis[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry,2011,59(23):12569-12577.
- [19] 周明源,路 河,王红清. 不同栽培模式对草莓生长发育的影响[J]. 中国蔬菜,2020(5):59-64.
- [20] 郑伟丽,张艳春,凤舞剑,等. 草莓高架栽培模式下不同基质配比筛选[J]. 现代化农业,2020(11):30-32.
- [21] 倪溢楠. 草莓果实品质评价及香气资源挖掘[D]. 扬州:扬州大学,2021.
- [22] 隋 静,姜远茂,彭福田,等. 草莓果实发育过程中芳香物质含量和醇酰基转移酶活性的变化[J]. 园艺学报,2007,34(6):1411-1417.
- [23] 陈敬鑫,张德梅,张晓寒,等. 低氧贮藏对采后草莓果实香气物质生物合成的影响[C]//中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集. 北京:中国食品科学技术学会,2020:387-388.
- [24] 张志宏,高秀岩,杜国栋,等. 草莓生产的发展趋势——省力化栽培[J]. 中国农学通报,2007,23(10):101-103.
- [25] 施羊林,陈小文,许庆广,等. 不同栽培介质及 EC 值对温室草莓生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(8):562-566.
- [26] 王壮伟,赵密珍,吴伟民,等. 不同品种草莓高架基质栽培研究[J]. 园艺与种苗,2014,8(12):1-4.
- [27] 王梦琪,朱 荫,张 悦,等. 搅拌棒吸附萃取结合气相色谱-质谱联用技术分析西湖龙井茶的挥发性成分[J]. 食品科学,2020,41(4):141-148.
- [28] 赵 静,王帅帅,张 岩,等. ‘红颜’草莓果实成熟过程中香气成分的变化[J]. 安徽农业大学学报,2019,46(2):330-336.
- [29] 刘松忠,姜远茂,彭福田,等. 疏果处理对草莓果实芳香成分的影响[J]. 西北农业学报,2004,13(2):172-175.
- [30] 姚思敏薇,陈诗晴,周冠伟,等. <sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线对草莓贮藏过程中色香味形的影响[J]. 食品工业科技,2018(4):254-259.
- [31] 彭 鑫,王喜乐,倪彬彬,等. 遮阴对草莓光合特性和果实品质的影响[J]. 果树学报,2018,35(9):1087-1097.
- [32] 姜远茂,彭福田,刘松忠,等. 草莓摘叶处理对果实芳香物质的影响[J]. 园艺学报,2004,31(2):230-232.

(责任编辑:石春林)