

## 喷施茉莉酸甲酯对高丛越橘品种‘海岸’成熟果实挥发性成分的影响

刘梦溪<sup>1,①</sup>, 田瑞平<sup>2,①</sup>, 曾其龙<sup>1</sup>, 於虹<sup>1</sup>, 韦继光<sup>1,②</sup>

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014;  
2. 南京农业大学 作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏 南京 210095]

### Effects of spraying methyl jasmonate on volatile components of ripe fruits of *Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’

LIU Mengxi<sup>1,①</sup>, TIAN Ruiping<sup>2,①</sup>, ZENG Qilong<sup>1</sup>, YU Hong<sup>1</sup>, WEI Jiguang<sup>1,②</sup> (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(2): 71-73

**Abstract:** Methyl jasmonate (MeJA) solution with a volume fraction of 0.25% was sprayed on fruits of *Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’ during green fruit period. The types and contents of volatile components of ripe fruits were detected by using headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry technology. The results show that 36 volatile components are identified from fruits of the treatment group with a total content of 187.27  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and the types and total contents of volatile components of the treatment group are higher than those of the control group (without spraying MeJA). The total contents of aldehydes and ketones are significantly ( $P < 0.05$ ) different between the treatment group and the control group, while the total contents of esters, alcohols, and terpenes are not significantly different between these two groups. In the treatment group, the contents of components including 2-hexenal, (*E,Z*)-2, 6-nonadienal, *trans*-2-nonanal, 6-methyl-5-hepten-2-one, (*E*)-6, 10-dimethyl-5, 9-undecadien-2-one, and 1-octene-3-ol, etc. are obviously higher than those in the control group, and components including octanal, 2-nonanone, acetic acid, hexyl ester,  $\alpha$ -pinene, and  $\beta$ -ocimene, etc. are present. It is suggested that spraying MeJA before harvest can improve the flavor quality of *V. corymbosum* ‘Gulfcoast’ fruits and enrich fruit aroma level.

**关键词:** 茉莉酸甲酯; 高丛越橘品种‘海岸’; 挥发性成分

**Key words:** methyl jasmonate; *Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’; volatile component

中图分类号: Q946.8; S663.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)02-0071-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.02.10

植物果实的挥发性成分不但与生产管理措施有关,还与品种有关<sup>[1]</sup>。多年来,大多数越橘(*Vaccinium* spp.)育种工作主要致力于改善和维持果实的外部品质<sup>[2-5]</sup>,而关于越橘栽培品种果实挥发性成分的研究较少<sup>[2]</sup>。高丛越橘品种‘海岸’(*Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’)具有适应性强、产量高及抗病虫害能力强等优点<sup>[6-7]</sup>,但在南京地区其成熟果实的香气较淡。茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)是一种天然的植物生长调节剂,具有对人体无毒、环境友好的特点,可参与调控植物次生代谢物合成以及花和果实风味<sup>[8-10]</sup>。

本研究在‘海岸’绿果期向果实喷施体积分数0.25% MeJA溶液,利用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用(HS-

SPME-GC-MS)技术检测其成熟果实挥发性成分的种类和含量,以期明确喷施 MeJA 对高丛越橘品种‘海岸’成熟果实风味的影响。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

选取江苏省中国科学院植物研究所实验地内长势良好的4年生高丛越橘品种‘海岸’盆栽苗作为样株。样株株高90~100 cm,冠幅65~75 cm,行距2.5 m、株距1.2 m,东西行向。实验期间及时供水、合理施肥、防控病虫害和鸟害。

收稿日期: 2020-10-29

基金项目: 江苏省农业自主创新项目(CX(20)3015)

作者简介: 刘梦溪(1987—),女,江苏苏州人,博士,助理研究员,主要从事越橘果实品质提升方面的研究。

田瑞平(1986—),女,河南开封人,硕士,实验师,主要从事植物基因组及代谢物分析研究。

① 共同第一作者

② 通信作者 E-mail: wjg728@126.com

引用格式: 刘梦溪, 田瑞平, 曾其龙, 等. 喷施茉莉酸甲酯对高丛越橘品种‘海岸’成熟果实挥发性成分的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 71-73.

使用的 Trace1310 气相色谱仪、TSQ 9000 三重四级杆质谱仪和 TriPlus RSH 自动进样器购自美国 Thermo Fisher 公司; 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维头购自美国 Supelco 公司; BSA124S 分析天平 (精度 0.1 mg) 购自德国 Sartorius 公司。以 3-辛醇 (纯度 98%, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司) 为内标、C7-C30 正构烷烃混标 (正己烷稀释至  $40 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ ) (美国 Sigma-Aldrich 公司) 为标准品。

## 1.2 方法

1.2.1 MeJA 处理 结合预实验及相关研究<sup>[8]</sup>的结果, 使用体积分数 0.25% MeJA 溶液 (用体积分数 10% 乙醇溶液配制) 进行处理。选取 10 株盆栽苗, 平均分成 2 组, 即处理组和对照组。于 2020 年 5 月 6 日 (绿果期) 傍晚在处理组果实表面均匀喷洒 MeJA 溶液, 在对照组果实表面均匀喷洒体积分数 10% 乙醇溶液, 每株喷洒 250 mL。

1.2.2 果实挥发性成分测定 于 2020 年 6 月 3 日 (盛熟期) 取样。取样时, 每组随机选择 3 株样株, 在样株树冠上部东、南、西、北、中 5 个方位各选取 10 个完整的成熟果实, 单株果实混匀, 放入冰盒中带回实验室后, 立即用液氮研磨成粉状; 取 3 g 左右的粉末, 精确称量后迅速转入 20 mL 顶空瓶中进行检测。每株为 1 个生物学重复。

测定前, 在进样口将固相微萃取纤维头在 250  $^{\circ}\text{C}$  条件下老化 30 min。测定时, 加入 5  $\mu\text{L}$  内标, 3 mL NaCl 饱和溶液和 2 g 维生素 C, 迅速盖紧盖子, 在 40  $^{\circ}\text{C}$  条件下将固相微萃取纤维头插入样品瓶上空, 吸附 30 min, 插入进样口进行色谱分析。

色谱条件: TG-5MS 毛细管色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25  $\mu\text{m}$ ); 载气为氦气 (纯度 99.999%), 流速 1.0 mL $\cdot$ min $^{-1}$ ; 升温程序: 起始温度 40  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 6 min; 以 4  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率升温至 190  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 1 min; 以 10  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率升温至 250  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 2 min; 进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件: 接口温度 280  $^{\circ}\text{C}$ ; 离子源温度 300  $^{\circ}\text{C}$ , 电离方式 EI, 电子能量 70 eV; 扫描质量范围 30~350 amu。

## 1.3 数据分析

使用 Trace Finder 软件处理数据, 与标准谱库 NIST library (2017) 比对, 筛选出得分在 80 分以上且正反比绝对值大于 700 的成分, 结合各成分的保留指数, 手动去除硅氧环状化合物及无特征风味的饱和烷烃类成分, 确定最终鉴定结果。参照文献<sup>[11]</sup>中的方法计算各成分的保留指数, 参考周金鑫等<sup>[8]</sup>的方法计算各成分的含量, 使用 SPSS 23.0 统计分析软件进行独立样本 *t* 检验, 分析各成分含量在对照组和处理组间的差异显著性水平。

## 2 结果和分析

对喷施茉莉酸甲酯后高丛越橘品种‘海岸’成熟果实的挥发性成分进行了检测和分析, 结果见表 1。结果表明: 与对照

表 1 喷施茉莉酸甲酯对高丛越橘品种‘海岸’成熟果实挥发性成分的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )

Table 1 Effect of spraying methyl jasmonate on volatile components of ripe fruits of *Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’ ( $\bar{X} \pm SD$ )

| 成分<br>Component  | 保留时间/min<br>Retention time | 含量/( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) <sup>1)</sup><br>Content <sup>1)</sup> |                     |
|--|----------------------------|--|---------------------|
|  |                            | CK   | T                   |
| 醛类 Aldehydes   |                            | 73.47 $\pm$ 10.84b   | 105.28 $\pm$ 13.13a |
| pentanal   | 3.119                      | 0.96 $\pm$ 0.18a   | 0.72 $\pm$ 0.15a    |
| hexanal  | 5.799                      | 36.66 $\pm$ 5.53a  | 39.41 $\pm$ 4.19a   |
| 2-hexenal  | 8.143                      | 15.15 $\pm$ 2.42b  | 31.76 $\pm$ 2.76a   |
| heptanal   | 10.433                     | —  | 0.93 $\pm$ 0.03     |
| (Z)-2-heptenal   | 12.892                     | 0.72 $\pm$ 0.07b   | 0.96 $\pm$ 0.08a    |
| octanal  | 14.924                     | —  | 1.16 $\pm$ 0.22     |
| benzeneacetaldehyde  | 16.567                     | 0.74 $\pm$ 0.70a   | 1.37 $\pm$ 0.31a    |
| (E)-4-nonenal  | 18.650                     | —  | 0.40 $\pm$ 0.06     |
| nonanal  | 19.025                     | 12.59 $\pm$ 1.32a  | 15.86 $\pm$ 3.29a   |
| (E,Z)-2,6-nonadienal   | 20.877                     | 3.07 $\pm$ 0.44b   | 6.61 $\pm$ 1.98a    |
| trans-2-nonenal  | 21.111                     | 2.26 $\pm$ 0.30b   | 4.36 $\pm$ 0.90a    |
| decanal  | 22.818                     | 1.26 $\pm$ 0.17a   | 1.70 $\pm$ 0.32a    |
| 酮类 Ketones   |                            | 10.20 $\pm$ 0.70b  | 14.71 $\pm$ 0.52a   |
| 2,3-butanedione  | 2.006                      | 1.65 $\pm$ 0.17a   | 2.24 $\pm$ 0.48a    |
| 6-methyl-5-hepten-2-one                                      | 14.253                     | 5.93 $\pm$ 0.47b   | 7.94 $\pm$ 0.38a    |
| 2-nonanone   | 18.583                     | —  | 1.01 $\pm$ 0.14     |
| 2-undecanone   | 25.887                     | 1.24 $\pm$ 0.11a   | 1.44 $\pm$ 0.26a    |
| (E)-1-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-2-buten-1-one | 28.880                     | 0.18 $\pm$ 0.05a   | 0.11 $\pm$ 0.01a    |
| (E)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one                       | 30.994                     | 1.20 $\pm$ 0.09b   | 1.93 $\pm$ 0.23a    |
| 酯类 Esters  |                            | 5.64 $\pm$ 1.10a   | 5.27 $\pm$ 0.62a    |
| methyl isovalerate   | 5.006                      | 5.64 $\pm$ 1.10a   | 3.28 $\pm$ 0.63b    |
| acetic acid, hexyl ester                                     | 15.444                     | —  | 1.98 $\pm$ 0.26     |
| 醇类 Alcohols  |                            | 54.47 $\pm$ 2.89a  | 59.06 $\pm$ 2.84a   |
| trans-2-hexenol  | 8.894                      | —  | 3.63 $\pm$ 0.57     |
| 1-hexanol  | 9.008                      | 9.32 $\pm$ 1.39a   | 8.54 $\pm$ 0.64a    |
| 1-octen-3-ol   | 13.968                     | 2.37 $\pm$ 0.33b   | 4.29 $\pm$ 0.43a    |
| eucalyptol   | 15.990                     | 4.72 $\pm$ 0.43a   | 2.27 $\pm$ 0.30b    |
| (Z)-2-octen-1-ol   | 17.673                     | —  | 0.26 $\pm$ 0.02     |
| linalool   | 18.864                     | 32.16 $\pm$ 3.56a  | 33.99 $\pm$ 1.96a   |
| $\alpha, \alpha, 4$ -trimethylbenzenemethanol                | 22.060                     | 0.38 $\pm$ 0.04a   | 0.43 $\pm$ 0.04a    |
| (-)- $\alpha$ -terpineol                                     | 22.241                     | 4.42 $\pm$ 0.99a   | 4.14 $\pm$ 0.20a    |
| geraniol   | 24.552                     | 1.08 $\pm$ 0.08a   | 1.44 $\pm$ 0.21a    |
| 萜烯类 Terpenes   |                            | 2.07 $\pm$ 0.40a   | 2.93 $\pm$ 0.45a    |
| $\alpha$ -pinene   | 11.778                     | —  | 0.05 $\pm$ 0.01     |
| limonene   | 15.923                     | 0.47 $\pm$ 0.11a   | 0.52 $\pm$ 0.09a    |
| $\beta$ -ocimene   | 16.440                     | —  | 0.13 $\pm$ 0.01     |
| trans- $\beta$ -ocimene                                      | 16.846                     | —  | 0.34 $\pm$ 0.04     |
| 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-cyclohexene                  | 18.371                     | 1.00 $\pm$ 0.31a   | 0.77 $\pm$ 0.11a    |
| caryophyllene  | 30.002                     | 0.38 $\pm$ 0.06b   | 0.88 $\pm$ 0.22a    |
| caryophyllene oxide  | 34.895                     | 0.20 $\pm$ 0.03a   | 0.21 $\pm$ 0.05a    |
| 总计 Total   |                            | 145.87 $\pm$ 13.03b  | 187.27 $\pm$ 11.52a |

<sup>1)</sup> CK: 对照组 (未喷施 MeJA) The control group (without spraying MeJA); T: 处理组 (喷施体积分数 0.25% MeJA) The treatment group (spraying MeJA with a volume fraction of 0.25%). 同行中不同的小写字母表示在对照组和处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same row indicate the significant ( $P < 0.05$ ) difference between the control group and treatment group. —: 未检出 Undetected.

组(未喷施 MeJA)相比,处理组(喷施体积分数 0.25% MeJA)高丛越橘品种‘海岸’成熟果实中挥发性成分的种类和总含量均增加。处理组共鉴定出 36 个挥发性成分,总含量  $187.27 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,包括醛类成分 12 个、酮类成分 6 个、酯类成分 2 个、醇类成分 9 个、萜烯类成分 7 个,总含量分别为 105.28、14.71、5.27、59.06 和  $2.93 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;对照组中共检测出 26 个挥发性成分,包括醛类成分 9 个、酮类成分 5 个、酯类成分 1 个、醇类成分 7 个、萜烯类成分 4 个,总含量分别为 73.47、10.20、5.64、54.47 和  $2.07 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

醛类和酮类成分的总含量在处理组和对照组间差异显著 ( $P < 0.05$ ),处理组成熟果实中醛类和酮类成分的总含量分别较对照组增加了 43.3% 和 44.2%。处理组醛类成分中,具青草味的 2-己烯醛(2-hexenal)和反式-2-壬烯醛(*trans*-2-nonenal)及具黄瓜味的(*E,Z*)-2,6-壬二烯醛[(*E,Z*)-2,6-nonadienal]的含量均较对照组增加了 1 倍左右;该组酮类成分中,具果香味的甲基庚烯酮(6-methyl-5-hepten-2-one)和具木兰香味的香叶基丙酮[(*E*)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one]的含量分别较对照组增加了 33.9% 和 60.8%。

酯类、醇类和萜烯类成分的总含量在处理组和对照组间差异不显著,但处理组具蘑菇味的 1-辛烯-3-醇(1-octen-3-ol)和具丁香味的石竹烯(caryophyllene)的含量分别较对照组增加了 81.0% 和 131.6%。另外,正庚醛(heptanal)、正辛醛(octanal)、2-壬酮(2-nonanone)、乙酸己酯(acetic acid, hexyl ester)、反式-2-己烯醇(*trans*-2-hexenol)、(*Z*)-2-辛烯醇[(*Z*)-2-octen-1-ol]、 $\alpha$ -蒎烯( $\alpha$ -pinene)、 $\beta$ -罗勒烯( $\beta$ -ocimene)和反式- $\beta$ -罗勒烯(*trans*- $\beta$ -ocimene)为处理组特有的挥发性成分,具有浓郁的果香和花香,能够调和、修饰成熟果实的整体香气。

### 3 讨论和结论

研究发现,植物体内的短链脂肪族衍生物来自脂氧合酶(LOX)途径<sup>[10]</sup>。本研究处理组(喷施体积分数 0.25% MeJA)高丛越橘品种‘海岸’成熟果实中(*E,Z*)-2,6-壬二烯醛、反式-2-壬烯醛、2-己烯醛和 1-辛烯-3-醇等短链脂肪族衍生物的含量显著高于对照组(未喷施 MeJA),说明采前喷施 MeJA 可提高高丛越橘品种‘海岸’成熟果实中短链脂肪族衍生物的

含量,这可能是由于 MeJA 可激活这些成分合成途径中的结构基因及转录因子上调表达,使相关酶活性提高,并促进更多前体化合物生成 C6、C8、C9 的醛、醇、酮和酯<sup>[10]</sup>,相关机制有待深入研究。

综上所述,采前喷施 MeJA 可提高高丛越橘品种‘海岸’成熟果实中部分挥发性成分的含量,并增加部分具有浓郁果香和花香的成分,使果实香气层次更加丰富。

### 参考文献:

- [1] GILBERT J L, GUTHART M J, GEZAN S A, et al. Identifying breeding priorities for blueberry flavor using biochemical, sensory, and genotype by environment analyses [J]. PLOS ONE, 2015, 10 (9): e0138494.
- [2] FARNETI B, KHOMENKO I, GRISSENTI M, et al. Exploring blueberry aroma complexity by chromatographic and direct-injection spectrometric techniques [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 617.
- [3] 於虹,贺善安. 世界的蓝莓产业及研究现状 [J]. 落叶果树, 2013, 45(3): 19-22.
- [4] 孙海悦,李亚东. 世界蓝莓育种概述 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(9): 116-122.
- [5] 徐国辉,张明军,雷蕾,等. 2018 年美国公布的全球蓝莓新品种及其育种趋势分析 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(7): 1-8.
- [6] 顾娟,贺善安. 蓝浆果与蔓越桔 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 130-131.
- [7] 方铁飞,陈华江,杨曙方,等. 蓝莓品种‘海岸’的引种表现及栽培技术 [J]. 现代园艺, 2016, 10: 41-43.
- [8] 周金鑫,魏恬恬,袁晓雨,等. 外源茉莉酸甲酯处理对玫瑰花香成分及含量的影响 [J]. 分子植物育种, 2019, 17(14): 4776-4784.
- [9] 李蔚. 外源茉莉酸甲酯调控‘贵人香’葡萄品质机制研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学园艺学院, 2020: 19.
- [10] LUO M, ZHOU X, HAO Y, et al. Methyl jasmonate pretreatment improves aroma quality of cold-stored ‘Nanguo’ pears by promoting ester biosynthesis [J]. Food Chemistry, 2021, 338: 127846.
- [11] VAN DEN DOOL H, KRATZ P D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography [J]. Journal of Chromatography, 1963, 11: 463-471.

(责任编辑: 佟金凤)