

砧木对欧亚种葡萄‘小味多’果实挥发性物质的影响

周晓航, 王雯染, 李惠清, 王 军, 何 非*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 葡萄与葡萄酒研究中心, 农业农村部葡萄酒加工重点实验室, 北京 100083)

摘要: 以欧亚种酿酒葡萄‘小味多’为接穗, 分别嫁接‘101-14’、‘5BB’、‘SO4’、‘Beta’和‘1103P’5种砧木, 并以‘小味多’自根苗作为对照, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术, 连续2 a (2016—2017年)分析不同砧穗组合‘小味多’采收期葡萄果实的挥发性物质。结果表明, 年份间气候差异是影响‘小味多’葡萄果实香气化合物含量的决定性因素, 同时其也受到砧木品种的显著影响。与自根苗‘小味多’相比, 5种砧木均显著增加了葡萄果实中 C_6/C_9 类物质的含量。砧木‘5BB’显著增加了 C_{13} -降异戊二烯类、萜烯类物质的含量; 砧木‘1103P’显著增加了结合态羰基化合物类物质的含量; 砧木‘101-14’显著增加了游离态羰基化合物类物质的含量, 显著降低了结合态 C_{13} -降异戊二烯类物质的含量; 砧木‘Beta’显著增加了结合态 C_{13} -降异戊二烯类、萜烯类物质的含量; 砧木‘SO4’显著增加了 C_{13} -降异戊二烯类、结合态羰基化合物类、游离态萜烯类物质的含量。正交偏最小二乘判别分析结果表明, (*E*)-2-己烯醛、(*Z*)-2-己烯醛、己醛等 C_6/C_9 化合物是区分嫁接苗和自根苗的共同差异挥发性化合物。总体而言, 在北京地区使用砧木‘5BB’嫁接有利于‘小味多’葡萄采收期果实萜烯类和 C_{13} -降异戊二烯类物质的积累。

关键词: 葡萄; 砧木; ‘小味多’; 挥发性物质; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用

Effect of Rootstocks on the Volatiles in Grape Berries of *Vitis vinifera* L. cv. ‘Petit Verdot’

ZHOU Xiaohang, WANG Wenran, LI Huiqing, WANG Jun, HE Fei*

(Key Laboratory of Viticulture and Enology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Center for Viticulture and Enology, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this study, the wine grape cultivar *Vitis vinifera* L. cv. ‘Petit Verdot’ was used as the scion for ‘101-14’, ‘5BB’, ‘SO4’, ‘Beta’ and ‘1103P’ rootstocks as well as self-rooted control. The volatile components of ‘Petit Verdot’ grape berries from the commercial harvest period in 2016–2017 were analyzed by using head space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The results showed that the climate differences between vintages were the decisive factor affecting the contents of volatile components in ‘Petit Verdot’ grapes, which were also significantly affected by rootstocks. Compared with the self-rooted control, all five rootstocks significantly increased the contents of C_6/C_9 compounds in grapes. ‘5BB’ significantly increased the contents of C_{13} -norisoprenoids and terpenes, ‘1103P’ significantly increased the content of bound carbonyl compounds, ‘101-14’ significantly increased the content of free carbonyl compounds and significantly decreased the content of bound C_{13} -norisoprenoids, ‘Beta’ significantly increased the contents of bound C_{13} -norisoprenoids and terpenes, and ‘SO4’ significantly increased the contents of C_{13} -norisoprenoids, bound carbonyl compounds and free terpenes. Orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) results showed that C_6/C_9 compounds, such as (*E*)-2-hexenal, (*Z*)-2-hexenal and hexanal, were the common differential volatile components

收稿日期: 2022-09-26

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-29)

第一作者简介: 周晓航 (1999—) (ORCID: 0000-0003-1922-7638), 女, 硕士研究生, 研究方向为酿酒葡萄栽培。

E-mail: m13258111505@163.com

*通信作者简介: 何非 (1983—) (ORCID: 0000-0002-7541-6188), 男, 讲师, 博士, 研究方向为酿酒葡萄栽培与葡萄酒酿造。

E-mail: wheyfey@cau.edu.cn

to differentiate the grafted grapes from the self-rooted ones. In general, grafting 'Petit Verdot' onto the rootstock '5BB' in Beijing was conducive to the accumulation of terpenes and C₁₃-norisoprenoids in grapes during harvest.

Keywords: grape; rootstock; 'Petit Verdot'; aroma compounds; head space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220926-274

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2023) 16-0251-09

引文格式:

周晓航, 王雯染, 李惠清, 等. 砧木对欧亚种葡萄·小味多·果实挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 251-259.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220926-274. <http://www.spkx.net.cn>

ZHOU Xiaohang, WANG Wenran, LI Huiqing, et al. Effect of rootstocks on the volatiles in grape berries of *Vitis vinifera* L. cv. 'Petit Verdot'[J]. Food Science, 2023, 44(16): 251-259. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220926-274. <http://www.spkx.net.cn>

香气是构成葡萄果实及葡萄酒感官品质的重要指标之一^[1]。香气物质在葡萄果实中通常以游离态和糖苷结合态2种形式存在, 其中游离态形式对葡萄果实和葡萄酒香气的呈现有直接贡献, 而结合态香气物质则在葡萄酒酿造和陈酿过程中通过水解释放出游离态的苷元, 通过累加、协同、抑制等相互作用赋予葡萄酒丰富而独特的香气轮廓^[2]。

葡萄果实和葡萄酒中的香气物质主要包括萜烯类、C₁₃-降异戊二烯类、甲氧基吡嗪类、酯类、醇类、挥发性酸类物质和含硫化合物等。萜烯是葡萄中一类重要的次生代谢产物^[3], 目前在酿酒葡萄果实中已经发现了70多种萜烯类物质^[4], 其中对葡萄和葡萄酒香气有重要贡献的物质主要是单萜、倍半萜及其衍生物^[5]。C₁₃-降异戊二烯类化合物是由类胡萝卜素及含40个碳原子的萜类物质氧化降解产生^[6], 在葡萄酒中呈现令人愉悦的花果香气味^[7]。甲氧基吡嗪是一类含氮的六元杂环化合物^[8], 被认为是葡萄和葡萄酒中青椒、芦笋、青豆等生青气味的主要来源^[9]。酯类物质主要赋予葡萄和葡萄酒果香, 对葡萄酒的香气感官品质起着积极作用。醇类物质主要包括C₆/C₉醇和其他高级醇, 其中C₆/C₉醇赋予葡萄和葡萄酒青草味和植物味, 而高级醇则赋予了葡萄酒化学味, 通常被认为对葡萄酒的感官有负面影响。挥发性酸类物质赋予葡萄酒脂肪味和酸腐味, 一般认为它们会对葡萄酒的香气产生不利影响^[10]。含硫化合物通常是在发酵或陈酿过程中产生^[11], 特别是硫醇类物质会赋予葡萄酒独特的香气^[12]。

因为具有抗根瘤蚜、抗线虫、抗旱、抗盐碱、耐寒、耐湿等优良特性^[13-16], 葡萄砧木在葡萄栽培中广泛使用。Cheng Jing等^[17]分析了5种砧木嫁接对‘霞多丽’葡萄果实挥发性物质特征的影响, 发现砧木‘1103P’能显著提高果实中游离和结合态香气物质含量。Wang Yu等^[18]通过比较8个砧木品种对‘赤霞珠’葡萄挥发性物质的影响, 发现砧木‘110R’、‘Riparia Gloire’和‘SO4’可以显著降低‘赤霞珠’葡萄果实中酯类物质的含量。韩

晓等^[19]研究发现, 砧木‘1103P’可以显著提高‘丹娜’葡萄果实中C₆/C₉类物质的含量, ‘SO4’则可以显著提高‘丹娜’葡萄果实中C₁₃-降异戊二烯类物质的含量。李敏敏等^[20]以8个砧木品种分别嫁接‘小味多’, 研究其对‘小味多’葡萄生长、结果和果实品质的影响, 结果表明, ‘101-14’、‘3309C’为砧木嫁接的主干粗度显著小于其自根苗, 其余6种砧木嫁接的‘小味多’主干粗度与自根苗无显著差异。显然, 砧木对接穗品种果实品质及营养生长的影响取决于气候-土壤条件。

‘小味多’原产于法国, 是法国波尔多六大法定品种之一, 其果实有机酸和单宁含量较高, 所酿葡萄酒香气馥郁, 酒体丰满而强劲, 适宜陈酿, 多用于红葡萄酒的混酿以加强葡萄酒的结构感。近些年来, ‘小味多’葡萄在我国一些产区开始试种和推广^[21]。关于‘小味多’葡萄酒挥发性物质已有相关报道, 但是关于不同砧木嫁接对‘小味多’葡萄果实挥发性物质的影响目前报道较少。本实验通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(head space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)联用技术, 以‘小味多’自根苗葡萄为对照, 比较5个砧木品种嫁接对商业成熟期‘小味多’葡萄果实游离态和结合态香气化合物组分和含量的影响, 以期为实际生产中‘小味多’嫁接砧木的选择与应用提供一定参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

本实验于2016—2017年连续2 a在中国农业大学上庄实验站(40.14°N, 116.19°E)进行。葡萄园为平地, 海拔高度为49 m, 年平均气温12.5 °C, 年平均降雨量约630 mm, 年日照时数2 662 h, 无霜期211 d。2016—2017年连续2 a的气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>), 观测点与实验地的直线距离约为45.2 km。

实验所用的5个砧木品种分别为‘101-14’、‘1103P’、‘Beta’、‘5BB’、‘SO4’。接穗品种为‘小味多’（记为PV）。砧木苗于2010年定植，当年绿枝嫁接‘小味多’，以自根苗作为对照。葡萄园南北行向，行距2.5 m、株距1.2 m。每5株葡萄为1个单元，每个单元栽植同一个砧穗组合的苗木；每种砧穗组合设置3个单元，计为3个生物学重复。葡萄叶幕形为改良的VSP（M-VSP），留梢量为12~15支/m（行），叶幕高度和宽度分别保持在约1.2 m和0.7 m。灌溉方式为滴灌。采用常规葡萄园管理方法按照相同的标准进行滴灌、施肥和病虫害防控等田间操作。于每年商业采收期进行样品采集，每个处理每次重复随机采集300粒葡萄浆果。采集后放入冰盒，立即带回实验室。随机选取100粒浆果用于葡萄果实理化指标的测定，其余样品液氮速冻后保存于-40℃冰箱中以备后续香气物质的分析。

二氯甲烷、酒石酸（均为分析纯）、葡萄糖北京化工厂；己醇、(E)-3-己烯醇、(Z)-3-己烯醇、(E)-2-己烯醇、(Z)-2-己烯醇、己醛、壬醛、(E)-2-己烯醛、月桂烯、柠檬烯、里那醇、 α -萜品醇、香茅醇、柠檬醛、香叶基丙酮、香叶醇、橙花醇、茶螺烷、 β -大马士酮、 β -紫罗兰酮和4-甲基-2-戊醇（内标）等香气标准品美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

PAL-1手持糖度计 日本ATAGO公司；PB-10 pH计、BSA223S天平 赛多利斯有限公司；FD-1C-50冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司；S63300HBT超声波仪 上海冠特超声仪器有限公司；Micro 17R离心机 美国赛默飞世尔公司；6890-5975 GC-MS联用仪 美国Agilent公司；Cleanert PEP-SPE固相萃取柱（150 mg/6 mL） 美国Bonna-Agela科技公司；50/30 μ m DVB/CAR/PDMS萃取纤维 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 果实理化指标检测

参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定^[22]。每个砧穗组合每次重复随机选取100粒葡萄浆果用于理化指标分析。首先称量100粒浆果的百粒质量，再将100粒葡萄浆果压榨取汁，8 000 r/min条件下离心10 min，取上清液用手持糖度计测定总可溶性固形物含量（以°Brix表示）；用pH计测定pH值；用酸碱滴定法测定可滴定酸含量，以酒石酸当量表示，单位为g/L。

1.3.2 游离态挥发性物质的提取

参考Wen Yaqin等^[23]的实验方法，每个生物学重复取葡萄果实50 g，用液氮冷冻，除梗去种子，加入0.5 g D-(+)-葡萄糖酸 δ -内酯，在液氮保护下研磨成粉末。然后在4℃条件下静置浸提4 h，之后离心得到澄清葡萄汁，其中一部分直接用于游离态挥发性物质的检

测，另外一部分葡萄汁用于糖苷结合态挥发性物质的提取。每个样品进行2次重复。

1.3.3 结合态香气物质的提取

固相萃取柱依次加入10 mL甲醇和10 mL水进行活化，然后加入1 mL上述澄清葡萄汁，之后加入5 mL蒸馏水洗脱去除糖、酸等低分子质量的极性化合物，加入5 mL二氯甲烷洗脱去除游离态挥发性物质的干扰，最后用20 mL色谱纯甲醇将结合态香气物质洗脱。收集洗脱液至50 mL的圆底烧瓶内，用真空旋转蒸发仪蒸干，加入10 mL柠檬酸/柠檬酸钠缓冲液（0.2 mol/L，pH 2.5）重新溶解，转移至新的离心管中，加入10 μ L内标溶液，置于100℃恒温油浴锅中1 h以水解糖苷态香气物质。反应结束后用于糖苷结合态香气物质的检测。

1.3.4 挥发性物质的检测

参考Wu Yuwen等^[24]的方法，取5.0 mL上述澄清葡萄汁或酸解溶液于20 mL香气进样小瓶中，加入1.00 g NaCl，准确加入10 μ L的4-甲基-2-戊醇溶液（内标，1.001 8 mg/mL），用带有聚四氟乙烯隔垫的盖子拧紧，置于CTC-PAL自动进样装置上加热搅拌30 min，然后将已活化的SPME萃取头（50/30 μ m DVB/CAR/PDMS）插入进样小瓶的顶空部分，在40℃条件下继续加热搅拌30 min，随后取出SPME萃取头自动插入GC-MS进样口，在250℃条件下解吸8 min。

GC-MS条件：HP-INNOWAX毛细管柱（60 m \times 0.25 mm，0.25 μ m）；载气为高纯度氦气，流速为1 mL/min。升温程序如下：50℃保持1 min，然后以3℃/min升温至220℃，最后保持5 min。电子电离源；进样口温度250℃，采取不分流模式；电离能量70 eV；离子源温度230℃；质谱接口温度280℃；质量扫描范围为30~350 u。

挥发性物质的定性根据NIST11标准谱库中的保留指数和质谱信息进行。挥发性物质定量根据对应的标准曲线。根据葡萄果实的糖、酸含量，配制葡萄汁模拟液（200 g/L葡萄糖、7 g/L酒石酸，pH值用1 mol/L的NaOH溶液调至3.4），然后用模拟液溶解挥发性物质的标准品制备标准品母液（混标），再用模拟液进行15个梯度稀释，GC-MS检测前加入10 μ L的内标溶液，使用同样的萃取方法和GC-MS分析条件，检测并制作标准曲线。没有标准品的香气物质利用具有相同化学结构或相近碳原子数的标准品或内标化合物进行定量。挥发性物质的含量以mg/kg（果实鲜质量）表示。

1.4 统计分析

采用SPSS（V23.0）软件进行统计分析，用Duncan多重比较进行年份与砧木的双因素方差分析（ $P<0.05$ ）；

采用SIMCA 14.1进行主成分分析 (principal component analysis, PCA)。

2 结果与分析

2.1 气象数据

根据葡萄果实发育物候期, 计算各个物候阶段所经历的日数、有效积温、日照时数、日平均温度、日平均温差和降雨量 (表1)。由表1可知, 2个年份的生长季降雨量差异显著, 其余气象指标无显著差异。2016年的降雨量小于2017年, 两年的降雨量分别为538.7 mm和653.6 mm, 在转色期, 2016年的降雨量是2017年的1.8倍, 而在成熟期, 2017年的降雨量是2016年的2.13倍。

表1 2016—2017年生长季气象数据

Table 1 Meteorological indices during the growing seasons of 'Petit Verdot' grapes in two vintages (2016–2017)

发育阶段	时间/d		有效积温/°C		日照时数/h		日平均温度/°C		日平均温差/°C		降雨量/mm	
	2016年	2017年	2016年	2017年	2016年	2017年	2016年	2017年	2016年	2017年	2016年	2017年
A-B	16	16	184.7	215.7	141.2	169.0	22.1	23.5	15.0	16.7	8.9	18.6
B-C	55	55	852.9	871.2	340.8	352.0	25.5	25.8	11.1	12.3	313.8	309.8
C-D	14	15	246.8	241.4	91.6	95.7	27.6	26.1	8.6	9.7	84.6	47.0
D-E	44	39	549.1	527.2	248.0	248.6	22.4	23.5	11.0	10.5	131.4	278.2
A-E	129	125	1843.0	1855.0	821.6	865.3	24.4	24.7	11.4	12.3	538.7	653.6

注: A、B、C、D、E分别表示初花期、坐果期、转色开始、转色完成和采收期; A: 2016-5-20、2017-5-13; B: 2016-6-8、2017-5-29; C: 2016-8-2、2017-7-23; D: 2016-8-25、2017-8-7; E: 2016-9-25、2017-9-14。

2.2 砧木对‘小味多’葡萄果实理化指标的影响

如表2所示, ‘小味多’嫁接苗的浆果百粒质量均高于自根苗; 砧木‘101-14’、‘1103P’、‘Beta’嫁接的‘小味多’果实, 其可溶性固形物含量高于自根苗, 而砧木‘5BB’、‘SO4’嫁接的‘小味多’果实可溶性固形物含量低于自根苗; ‘小味多’嫁接苗果实的pH值均略高于自根苗; PV/1103P组合葡萄果实的可滴定酸含量高于自根苗, 而砧木‘101-14’、‘Beta’、‘5BB’、‘SO4’嫁接的‘小味多’果实的可滴定酸含

量低于自根苗。双因素方差分析结果表明, 砧木对‘小味多’葡萄果实理化指标无显著影响, 年份对果实百粒质量、可溶性固形物、pH值有显著影响。

2.3 砧木对‘小味多’果实游离态挥发性物质的影响

由表3可知, 2016年‘小味多’各砧穗组合和自根苗采收期葡萄果实中游离态挥发性物质的种类相同, 共检测到52种物质。‘小味多’各砧穗组合葡萄果实中游离态挥发性物质的含量与自根苗相比存在显著差异。

与自根苗相比, ‘101-14’、‘Beta’和‘SO4’嫁接显著增加了葡萄果实游离态挥发性物质的含量。其中砧木‘5BB’嫁接的‘小味多’果实中游离态挥发性物质浓度增加量最显著, 其次为PV/SO4组合。5种砧穗组合中, C₆/C₉类物质增加量最显著; 相比而言, PV/SO4组合增加量最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合。PV/5BB组合酸类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合醇类物质增加量最显著, PV/1103P组合增加量显著低于其他砧穗组合。PV/5BB组合苯类物质增加量最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合。PV/5BB组合羰基化合物类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合。PV/5BB组合C₁₃-降异戊二烯类物质增加量最显著, PV/1103P组合增加量显著低于其他砧穗组合。PV/5BB组合萜烯类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合。

2017年‘小味多’各砧穗组合和自根苗采收期葡萄果实中游离态挥发性物质的种类相同, 共检测到51种物质, 与2016年结果略有差别。‘小味多’各砧穗组合葡萄果实中游离态挥发性物质的含量与自根苗相比存在显著差异。

与自根苗相比, 砧木‘101-14’、‘Beta’、‘1103P’和‘SO4’嫁接显著增加了葡萄果实游离态挥发性物质的含量。其中砧木‘101-14’嫁接的‘小味多’果实中游离态挥发性物质浓度增加量最显著, 其次为PV/SO4组合。5种砧穗组合中PV/SO4组合C₆/C₉类物质

表2 采收期‘小味多’不同砧穗组合和自根苗葡萄果实的理化指标

Table 2 Physicochemical parameters of 'Petit Verdot' grape berries from self-rooted and grafted vines during harvest period

指标	年份	砧穗组合						显著性		
		PV	PV/101-14	PV/1103P	PV/Beta	PV/5BB	PV/SO4	砧木	年份	砧木×年份
浆果百粒质量/g	2016	144.71±3.57 ^a	142.31±5.04 ^a	166.93±17.05 ^a	196.14±77.59 ^a	236.27±101.41 ^a	210.05±88.14 ^a	ns	*	ns
	2017	126.41±10.68 ^c	150.63±5.63 ^{ab}	162.6±7.12 ^a	140.55±16.76 ^{bc}	158.88±7.62 ^{ab}	148.18±12.35 ^{ab}			
总可溶性固形物含量/°Brix	2016	20.57±0.38 ^{ab}	20.87±0.35 ^a	19.17±1.67 ^{ab}	20.77±1.25 ^a	19.57±0.64 ^{ab}	18.87±0.83 ^b	ns	***	ns
	2017	16.83±2.74 ^b	18.05±0.35 ^{ab}	18.80±0.70 ^{ab}	19.87±1.62 ^a	17.67±0.21 ^{ab}	18.00±0.80 ^{ab}			
pH	2016	3.16±0.10 ^a	3.10±0.04 ^a	3.08±0.06 ^a	3.20±0.16 ^a	3.18±0.08 ^a	3.06±0.05 ^a	ns	***	ns
	2017	2.83±0.07 ^b	3.02±0.03 ^a	3.07±0.01 ^a	3.05±0.06 ^a	3.00±0.05 ^a	3.03±0.10 ^a			
可滴定酸质量浓度/(g/L)	2016	8.46±0.89 ^a	10.29±0.66 ^a	11.40±4.13 ^a	9.16±2.84 ^a	9.73±1.32 ^a	11.88±1.18 ^a	ns	ns	*
	2017	13.81±0.94 ^a	11.62±0.05 ^b	11.12±1.36 ^b	9.31±1.22 ^c	11.21±1.12 ^b	9.00±0.28 ^c			

注: 不同字母表示同一年份不同处理间差异显著 ($P < 0.05$); 双因素方差分析检验年份、砧木和年份×砧木差异的显著性水平; ns, 不显著; *. $P < 0.05$; **. $P < 0.01$; ***. $P < 0.001$ 。表3、4同。

增加最显著, PV/101-14组合C₆/C₉类物质增加量显著低于其他砧穗组合; PV/101-14组合酸类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/101-14组合醇类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/SO4组合苯类物质增加最显著, PV/1103P组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/101-14组合羰基化合物类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/101-14组合C₁₃-降异戊二烯类物质增加量最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合萜烯类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合。

砧木‘5BB’可以提高果实中游离态萜烯类化合物和游离态C₁₃-降异戊二烯类化合物的含量, 砧木‘SO4’可以提高果实中游离态C₆/C₉类化合物的含量。砧木‘101-14’可以提高果实中游离态羰基化合物类物质的含量。砧木‘SO4’可以提高果实中游离态C₁₃-降异戊二烯类、游离态萜烯类物质的含量。对‘小味多’葡萄果实中的游离态挥发性物质进行双因素方差分析, 结果如表3所示。砧木对游离态挥发性物质的含量有显著影响, 对萜烯类、苯类、C₁₃-降异戊二烯类、醇类、C₆/C₉类、羰基化合物类、酸类和总游离态挥发性物质的含量均有极显著影响。年份对萜烯类、C₁₃-降异戊二烯类、苯类、羰基化合物类、酯类、醇类、C₆/C₉类化合物、酸类和总游离态挥发性物质的含量均有极显著影响。且年份和砧木的交互作用对C₁₃-降异戊二烯类、羰基化合物类、醇类、C₆/C₉类化合物、酸类和总游离态挥发性物质的含量

有显著影响。综上, 年份和砧木都对游离态挥发性化合物有较大影响。

2.4 砧木对‘小味多’果实结合态香气物质的影响

2016年‘小味多’各砧穗组合和自根苗采收期葡萄果实中结合态香气物质的种类相同, 共检测到53种物质。由表4可知, ‘小味多’各砧穗组合葡萄果实中结合态香气物质的含量与自根苗相比存在显著差异。

与自根苗相比, 5个砧穗组合均显著增加了葡萄果实结合态香气物质的含量。其中砧木‘5BB’嫁接的‘小味多’果实中结合态香气物质增加最显著, 其次为PV/Beta组合。5种砧穗组合中PV/5BB组合酸类物质含量增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合醇类物质增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合苯类物质增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合羰基化合物类物质增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合酯类物质增加最显著, PV/1103P组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合C₁₃-降异戊二烯类物质增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合萜烯类物质增加最显著, PV/101-14组合增加量显著低于其他砧穗组合。

2017年‘小味多’各砧穗组合和自根苗采收期葡萄果实中结合态香气物质的种类相同, 共检测到53种物质。‘小味多’各砧穗组合葡萄果实中结合态香气物质的含量与自根苗相比存在显著差异。

表3 采收期‘小味多’不同砧穗组合和自根苗葡萄果实游离态挥发性物质含量

Table 3 Contents of free volatile compounds in ‘Petit Verdor’ grape berries from self-rooted and grafted vines during harvest period

游离态挥发性物质	年份	含量/ (mg/kg)						显著性		
		PV	PV/101-14	PV/1103P	PV/Beta	PV/5BB	PV/SO4	砧木	年份	砧木×年份
酸类	2016	10.83±0.23 ^c	11.67±1.44 ^c	11.12±1.52 ^c	10.79±0.08 ^c	16.51±0.79 ^a	14.00±0.58 ^b	***	***	***
	2017	40.06±0.76 ^b	51.33±1.05 ^a	38.35±3.21 ^b	24.04±11.74 ^c	34.38±5.91 ^{bc}	32.88±0.97 ^{bc}			
醇类	2016	16.07±1.26 ^c	16.50±1.40 ^{bc}	15.8±1.87 ^c	15.89±0.14 ^c	22.04±0.20 ^a	18.58±0.27 ^b	***	***	***
	2017	42.82±0.89 ^{bc}	74.92±0.39 ^a	43.12±3.95 ^{bc}	38.2±0.88 ^{cd}	47.75±6.06 ^b	36.41±0.11 ^d			
苯类	2016	27.57±1.41 ^c	26.78±1.79 ^c	30.19±1.58 ^b	26.79±0.24 ^c	38.45±1.42 ^a	32.68±0.88 ^b	***	***	*
	2017	11.99±0.74 ^a	12.64±0.20 ^a	11.65±1.34 ^a	11.76±4.63 ^a	15.29±2.95 ^a	15.45±2.93 ^a			
C ₆ /C ₉ 类化合物	2016	267.95±9.71 ^c	304.08±7.54 ^d	349.04±32.90 ^c	316.39±3.93 ^d	499.77±5.98 ^a	420.39±14.41 ^b	***	***	***
	2017	420.58±26.58 ^b	520.81±11.82 ^a	537.54±41.76 ^b	307.63±17.95 ^a	530.71±31.68 ^a	575.59±34.95 ^a			
羰基化合物	2016	44.92±3.23 ^{bcd}	47.54±2.03 ^{bc}	41.93±6.28 ^{cd}	37.90±2.04 ^b	60.00±5.16 ^a	51.05±2.45 ^b	***	***	***
	2017	81.76±2.39 ^{bc}	107.91±2.62 ^a	79.68±11.26 ^{bc}	70.03±4.36 ^c	91.45±15.43 ^b	67.77±2.62 ^c			
C ₁₃ -降异戊二烯类	2016	30.63±0.81 ^c	30.15±2.10 ^c	29.77±3.35 ^c	30.42±0.63 ^c	47.75±3.04 ^a	40.91±0.54 ^b	***	***	***
	2017	14.49±0.50 ^c	23.57±0.50 ^a	10.61±0.66 ^d	10.11±2.26 ^d	20.61±1.69 ^b	22.80±2.35 ^{ab}			
萜烯类	2016	5.67±0.34 ^b	4.34±0.61 ^c	5.93±0.19 ^b	4.25±0.27 ^c	8.45±0.87 ^a	7.35±0.31 ^{ab}	***	***	***
	2017	23.95±1.62 ^b	27.93±0.34 ^a	29.59±1.37 ^a	27.06±1.24 ^{ab}	30.01±3.29 ^a	24.19±1.97 ^b			
其他	2016	5.99±0.23 ^d	8.39±1.79 ^c	7.99±1.01 ^c	8.58±0.90 ^c	16.67±1.57 ^b	20.10±0.82 ^a	***	***	***
	2017	23.64±8.68 ^b	29.93±0.06 ^{ab}	22.90±1.08 ^b	23.83±2.68 ^b	31.24±2.46 ^a	23.32±1.25 ^b			
总游离态挥发性物质	2016	409.63±16.76 ^d	449.45±10.56 ^{cd}	491.76±48.70 ^c	451.03±6.14 ^{cd}	709.65±13.75 ^a	605.07±13.72 ^b	***	***	***
	2017	659.27±26.94 ^b	849.04±15.79 ^a	773.43±57.48 ^a	512.66±20.94 ^c	801.45±64.55 ^a	798.41±38.01 ^a			

与自根苗相比, 5个砧穗组合均显著增加了葡萄果实结合态香气物质的含量。其中砧木‘1103P’嫁接的‘小味多’果实中结合态香气物质含量增加最显著, 其次为PV/5BB组合。5种砧穗组合中PV/5BB组合酸类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合醇类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/101-14组合苯类物质含量增加最显著, PV/Beta组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/1103P组合羰基化合物类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/1103P组合酯类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/5BB组合C₁₃-降异戊二烯类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合; PV/1103P组合萜烯类物质增加最显著, PV/SO4组合增加量显著低于其他砧穗组合。

砧木‘5BB’可以提高果实中结合态C₆/C₉类化合物、酯类、羰基化合物类、萜烯类化合物和C₁₃-降异戊二烯类化合物的含量。砧木‘1103P’可以提高果实中结合态羰基化合物类物质的含量; 砧木‘Beta’可以提高果实中结合态C₁₃-降异戊二烯类、结合态萜烯类物质的含量; 砧木‘SO4’可以提高果实中结合态羰基化合物类物质的含量。对‘小味多’葡萄果实中的结合态香气物质进行双因素方差分析, 结果如表4所示。砧木对结合态香气物质的含量有显著影响, 对萜烯类、C₁₃-降异戊二烯类、醇类、羰基化合物类、酸类和总结合态香气物质的含量有极显著影响。年份对结合态香气物质的含量均有

显著影响, 对萜烯类、C₁₃-降异戊二烯类、醇类、羰基化合物类、酯类、酸类和总结合态香气物质的含量有极显著影响。且年份和砧木的交互作用对C₁₃-降异戊二烯类、羰基化合物类、醇类、酸类和总结合态香气物质的含量有显著性影响。综上, 年份和砧木都对结合态香气化合物有较大影响。

2.5 ‘小味多’砧穗组合差异挥发性化合物的筛选

为了进一步明确不同砧穗组合之间的相似性和差异性, 对挥发性化合物进行PCA(图1), 前两个PC解释了总方差的95%, 其中PC1为52.2%, PC2为41.1%, PC1可将2016年和2017年的样品明显区分开, 2016年各砧穗组合差异大, 而2017年各砧穗组合差异相对较小。

尽管PCA对年际间的差异有很好的区分度, 但是仍无法将各个砧穗组合区分, 其差异性化合物也不能明确。由此可见, 年份显著影响挥发性物质含量。为了进一步明确砧木对‘小味多’葡萄果实挥发性物质的影响, 消除年份的干扰, 采用正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discrimination analysis, OPLS-DA)对6组样品进行分析, 结果如图2所示。结果表明, OPLS-DA可以很好地将近2个年份的结果区分开, 并且不同砧穗组合与自根苗也能很好地区分。如表5所示, PV/1103P和PV/Beta与自根苗的差异化合物最多, PV/101-14组合与自根苗差异物质最少。整体来看, (E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醛、己醛等C₆/C₉类化合物是区分嫁接苗和自根苗的共性差异化合物。

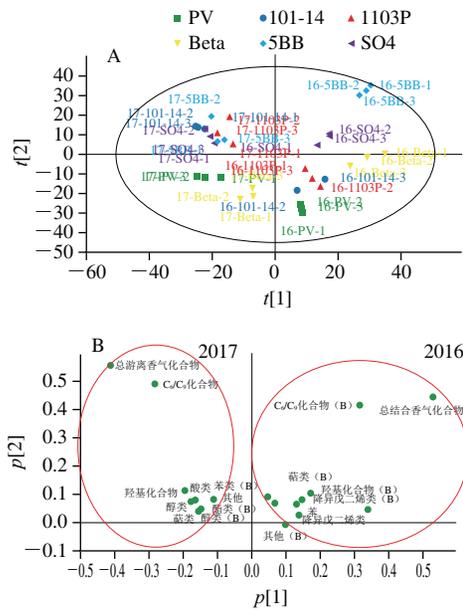
表4 采收期‘小味多’不同砧穗组合和自根苗葡萄果实结合态香气物质含量

Table 4 Contents of bound volatile compounds in ‘Petit Verdor’ grape berries from self-rooted and grafted vines during harvest period

结合态香气物质	年份	含量/(mg/kg)						显著性		
		PV	PV/101-14	PV/1103P	PV/Beta	PV/5BB	PV/SO4	砧木	年份	砧木×年份
酸类	2016	10.88±0.41 ^b	10.31±1.01 ^b	10.77±1.5 ^b	11.79±1.83 ^b	14.14±0.42 ^a	12.24±0.04 ^b	***	***	**
	2017	4.12±0.19 ^c	4.90±0.03 ^{ab}	5.43±0.27 ^a	4.85±0.45 ^{bc}	5.62±0.55 ^{ab}	4.83±0.36 ^{bc}			
醇类	2016	51.98±1.56 ^c	45.37±4.55 ^d	58.54±3.44 ^b	48.49±1.36 ^{cd}	65.21±1.39 ^a	52.73±1.35 ^c	***	***	**
	2017	40.17±1.87 ^c	47.31±0.08 ^{ab}	52.96±3.39 ^a	48.37±4.88 ^{ab}	53.33±5.32 ^a	45.57±3.34 ^{bc}			
苯类	2016	32.25±3.09 ^d	31.19±3.42 ^d	32.20±4.67 ^d	40.48±6.23 ^{ab}	43.6±0.27 ^a	34.37±0.94 ^{cd}	**	*	***
	2017	27.63±1.27 ^c	41.48±1.87 ^a	35.63±4.08 ^b	28.79±4.56 ^c	34.37±2.21 ^b	30.72±2.06 ^{bc}			
羰基化合物	2016	122.55±0.56 ^b	110.31±18.2 ^b	126.62±3.17 ^b	168.36±38.33 ^a	171.33±8.01 ^a	132.85±11.65 ^b	***	***	***
	2017	46.25±3.48 ^c	54.96±0.21 ^{ab}	58.54±4.96 ^a	49.11±5.68 ^{bc}	56.33±5.57 ^{ab}	48.9±2.87 ^{bc}			
酯类	2016	11.18±0.90 ^b	11.39±0.18 ^b	10.59±1.09 ^b	12.69±3.06 ^b	15.11±0.44 ^a	12.6±0.39 ^b	*	***	ns
	2017	31.87±2.10 ^a	32.57±0.29 ^a	34.95±2.17 ^a	31.59±2.18 ^a	34.74±3.19 ^a	30.70±3.29 ^a			
C ₁₃ -降异戊二烯类	2016	46.77±3.23 ^c	30.43±1.29 ^d	44.94±3.01 ^c	62.88±8.26 ^{ab}	70.33±6.74 ^a	57.03±5.50 ^b	***	***	***
	2017	30.72±2.50 ^a	33.58±0.17 ^a	36.96±7.87 ^a	35.96±11.71 ^a	39.69±4.26 ^a	32.40±0.62 ^a			
萜烯类	2016	100.55±4.62 ^b	101.76±8.39 ^b	113.55±3.66 ^b	120.35±19.34 ^{ab}	137.66±5.33 ^a	112.03±14.56 ^b	***	***	ns
	2017	76.54±2.88 ^c	93.82±0.20 ^{ab}	100.38±8.49 ^a	88.83±9.55 ^{abc}	99.69±9.74 ^a	84.27±6.03 ^{bc}			
其他	2016	11.14±0.23 ^{bc}	9.13±2.34 ^c	15.65±0.48 ^a	15.84±3.25 ^a	13.84±2.37 ^{ab}	12.26±1.19 ^{abc}	**	***	***
	2017	4.89±0.22 ^c	6.11±0.17 ^a	5.19±0.62 ^{ab}	4.13±0.37 ^{cd}	3.96±0.31 ^{dc}	3.30±0.44 ^e			
总结合态香气物质	2016	555.08±10.34 ^d	646.54±53.29 ^e	660.77±10.91 ^c	864.74±67.4 ^b	1051.76±26.18 ^a	812.77±37.37 ^b	***	***	***
	2017	447.76±26.40 ^d	586.32±9.06 ^{ab}	622.42±47.64 ^a	499.08±41.6 ^{cd}	606.80±31.05 ^{ab}	550.73±10.20 ^{bc}			

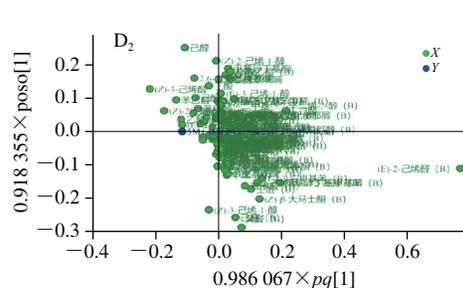
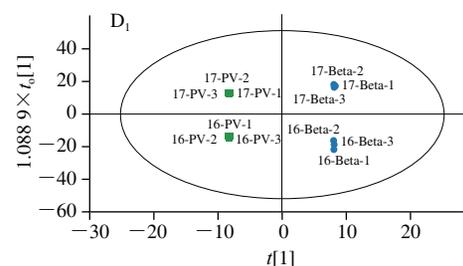
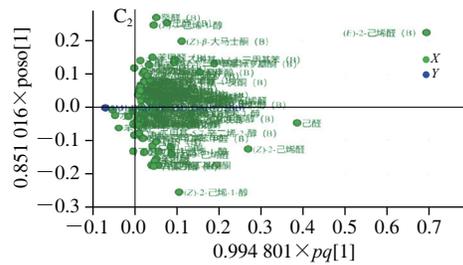
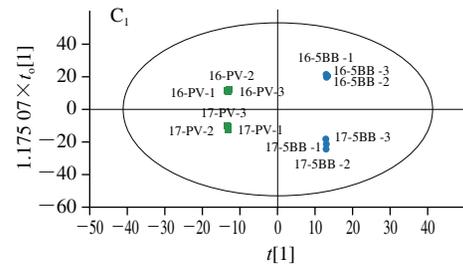
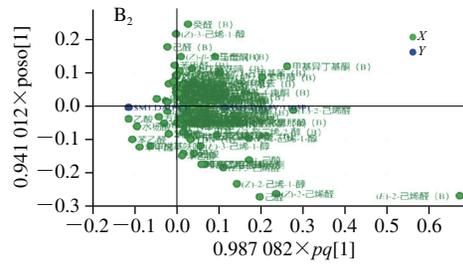
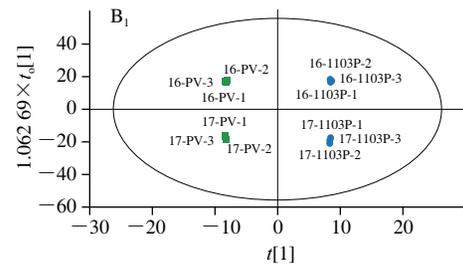
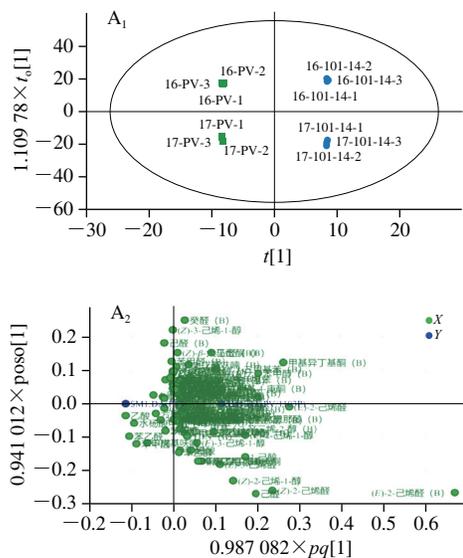
表5 ‘小味多’中通过OPLS-DA模型识别的主要差异化合物
Table 5 Primary biomarker compounds identified by the OPLS-DA model in ‘Petit Verdrot’ grape berries

砧穗组合	主要差异化合物
PV/101-14	癸醛、甲基异丁基酮、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯-1-醇、壬醛、(Z)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯醛、2,6-二甲基-4-庚酮、均三甲苯、癸酸甲酯、(Z)- β -大马士酮、大马士酮
PV/1103P	(E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醛、己醛、甲基异丁基酮、1-己醇、(Z)-2-己烯-1-醇、苯甲醇、癸醛、(Z)-3-己烯醛、(E)-2-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯-1-醇、己醛、壬醛、2,6-二甲基-4-庚酮、辛酸乙酯、苯甲醛、苯乙醛、1,2,3-三甲基苯、(Z)- β -大马士酮
PV/Beta	(E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醛、(Z)-3-己烯醛、辛酸乙酯、1-己醇、癸醛、己醛、(Z)- β -大马士酮、1,2,3-三甲基苯、(Z)-3-己烯-1-醇、2-乙炔基-1,3,5-三甲基苯、壬醛、(Z)-2-己烯-1-醇、苯甲醛、苯乙醛、2,6-二甲基-4-庚酮、甲基异丁基酮、(E)-2-己烯-1-醇
PV/5BB	(E)-2-己烯醛、己醛、(Z)-2-己烯醛、辛酸乙酯、(Z)-2-己烯-1-醇、癸醛、苯甲醇、(Z)- β -大马士酮、(Z)-3-己烯醛、(Z)-3-己烯-1-醇、(E)-2-己烯-1-醇、2-乙炔基-1,3,5-三甲基苯、1,2,3-三甲基苯、辛酸乙酯、2,6-二甲基-4-庚酮、甲基异丁基酮、苯甲醛、1-己醇、大马士酮
PV/SO4	(E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醛、己醛、(Z)-2-己烯-1-醇、1-己醇、己醛、(Z)-3-己烯醛、癸醛、大马士酮、(E)-2-己烯-1-醇、(E)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯-1-醇、(Z)- β -大马士酮、2,6-二甲基-4-庚酮、辛酸乙酯、甲基异丁基酮



A. 散点图; B. 载荷图。

图1 采收期‘小味多’不同砧穗组合和白根苗葡萄香气物质的PCA图
Fig. 1 PCA scatter and loading plots of volatile compounds in ‘Petit Verdrot’ grape berries from self-rooted and grafted vines during harvest period



4 结论

嫁接砧木品种的差异会对‘小味多’成熟期葡萄果实挥发性物质的积累起到重要影响,但年份间气候差异对其造成的影响往往会超过砧木品种的影响。(E)-2-己烯醛、(Z)-2-己烯醛、己醛等C₆/C₉类化合物是区分嫁接苗和自根苗的共性差异挥发性化合物。总体而言,在北京地区使用砧木‘5BB’嫁接有利于‘小味多’葡萄采收期果实萜烯类和C₁₃-降异戊二烯类物质的积累,对葡萄果实的酿酒品质有正面影响。

参考文献:

- 赵一凡, 彭文婷, 李惠清, 等. 五个欧亚种酿酒葡萄果实类黄酮及香气物质差异分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021(6): 1-12. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2021.06.001.
- 王雅琛, 韦瀚, 潘秋红. C₁₃降异戊二烯衍生物在葡萄和葡萄酒中积累与调控的研究进展[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 264-277. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.20200263.
- 张慧敏, 潘秋红. 葡萄酒中挥发性萜烯物质的产生机制及影响因素研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 249-258. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200802-024.
- MATEO, JIMENEZ J J. Monoterpenes in grape juice and wines[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 881(1): 557-567. DOI:10.1016/S0021-9673(99)01342-4.
- 邓凤莹, 梁世弦, 陈彦蓓, 等. 3个鲜食葡萄冬果挥发性香气成分分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(5): 1145-1151. DOI:CNKI:SUN:GXNY.0.2020-05-021.
- 孟楠, 刘斌, 潘秋红. 葡萄果实降异戊二烯类物质合成调控研究进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1673-1682. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0195.
- WILLIAMS P J, SEFTON M A, FRANCIS I L. Glycosidic precursors of varietal grape and wine flavor[M]. 1992. DOI:10.1021/bk-1992-0490.ch007.
- 谷晓博, 张雪, 王克清, 等. 葡萄酒中生气味的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(12): 277-284. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025991.
- ANDREEA B, BELINDA K, GARY P. Chemical and sensory evaluation of silicone and polylactic acid-based remedial treatments for elevated methoxypyrazine levels in wine[J]. Molecules, 2016, 21: 1-13. DOI:10.3390/molecules21091238.
- SUSAN E. EBELER. Analytical chemistry: unlocking the secrets of wine flavor[J]. Food Reviews International, 2001, 17(1): 45-64. DOI:10.1081/FRI-100000517.
- 马捷, 刘延琳. 葡萄酒中重要挥发性硫化物的代谢及基因调控[J]. 微生物学报, 2011, 51(1): 14-20. DOI:CNKI:SUN:WSXB.0.2011-01-005.
- 刘全. 葡萄与葡萄酒中含硫化物研究进展[J]. 酿酒科技, 2020(7): 65-70. DOI:10.13746/j.njkj.2020072.
- 房玉林, 孙伟, 张振文, 等. 葡萄砧木的研究和利用概况[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2010(7): 74-80. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2010.07.023.
- JIN Z X, SUN T Y, SUN H, et al. Modifications of ‘Summer Black’ grape berry quality as affected by the different rootstocks[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 210: 130-137. DOI:10.1016/j.scienta.2016.07.023.
- 刘更森, 樊连梅, 冷翔鹏, 等. 葡萄砧木的应用及其研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2018(3): 52-57. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2018.03.010.
- FERRIS H, ZHENG L, WALKER M A. Resistance of grape rootstocks to plant-parasitic nematodes[J]. Journal of Nematology, 2012, 44(4): 377-86. DOI:10.1186/1742-9994-9-34.
- CHENG J, LI H, WANG W, et al. The influence of rootstocks on the scions’ aromatic profiles of *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 272: 109517. DOI:10.1016/j.scienta.2020.109517.
- WANG Y, CHEN W K, GAO X T, et al. Rootstock-mediated effects on cabernet sauvignon performance: vine growth, berry ripening, flavonoids, and aromatic profiles[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(2): 401. DOI:10.3390/ijms20020401.
- 韩晓, 杨航宇, 陈为凯, 等. 欧亚种‘丹娜’葡萄不同砧穗组合果实香气物质的差异比较[J]. 食品科学, 2022, 43(24): 223-231. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220216-108.
- 李敏敏, 袁军伟, 刘长江, 等. 不同砧木对‘小味尔多’葡萄生长和果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 139-143. DOI:10.3969/j.issn.1001-7461.2017.03.26.
- 包雪梅. 烟台产区‘小味尔多’等干红葡萄酒特征香气物质的对比分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2014(4): 15-18. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2014.04.003.
- 国家质量监督检验检疫总局. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.)[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 29-36. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.11.092.
- WU Y W, PAN Q H, QU W J, et al. Comparison of volatile profiles of nine litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars from Southern China[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(20): 9676-9681. DOI:10.1021/jf902144c.
- KALUA C M, BOSS P K. Evolution of volatile compounds during the development of Cabernet Sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(9): 3818-3830. DOI:10.1021/jf803471n.
- ZHONG X J, TIAN Y S, HONG S, et al. Modifications of ‘Summer Black’ grape berry quality as affected by the different rootstocks[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 210: 130-137. DOI:10.1016/j.scienta.2016.07.023.
- DAL SANTO S, TORNIELLI G B, ZENONI S, et al. The plasticity of the grapevine berry transcriptome[J]. Genome Biology, 2013, 14(6): 1-18. DOI:10.1186/gb-2013-14-6-r54.
- LECOURIEUX F, KAPPEL C, PIERI P, et al. Dissecting the biochemical and transcriptomic effects of a locally applied heat treatment on developing ‘Cabernet Sauvignon’ grape berries[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 75-76. DOI:10.3389/fpls.2017.00053.
- GOUOT J C, SMITH J P, HOLZAPFEL B P, et al. Grape berry flavonoid responses to high bunch temperatures post véraison: effect of intensity and duration of exposure[J]. Molecules, 2020, 24(23): 4341. DOI:10.3390/molecules24234341.
- 温可睿, 黄敬寒, 潘秋红, 等. 葡萄香气物质及其影响因素的研究进展[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 454-460. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.2012.03.020.
- BAUMES R, WIRTH J, BUREAU S, et al. Biogenesis of C₁₃-norisoprenoid compounds: experiments supportive for an apocarotenoid pathway in grapevines[J]. Analytica Chimica Acta, 2002, 458(1): 3-14. DOI:10.1016/S0003-2670(01)01589-6.
- 孙磊, 王晓玥, 王慧玲, 等. 不同砧木对鲜食葡萄生长和香气品质的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(20): 4405-4429. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2021.20.014.
- 李善菊, 曲晨艳, 师守国. 不同砧木对‘阳光玫瑰’白兰地品质的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 89-96. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.08.015.
- DUAN L L, PAN Q H, TANG X J, et al. Characteristic aroma compounds in two new *Vitis vinifera* cultivars (table grapes) and impact of vintage and greenhouse cultivation[J]. South African Journal of Enology and Viticulture, 2016, 35: 264-277. DOI:10.21548/35-2-1015.
- 郑秋玲, 肖慧琳, 唐美玲, 等. 不同砧木对‘赤霞珠’干红葡萄酒香气成分的影响[J]. 中国酿造, 2020, 39(10): 119-124. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2020.10.023.
- 刘万好, 王建萍, 杨亚凯, 等. 不同砧木对‘阳光玫瑰’葡萄果实香气的影响[J]. 烟台果树, 2021(4): 11-13. DOI:10.3969/j.issn.1005-9938.2021.04.006.
- 于昕, 赵玉花, 相广庆, 等. 盐碱处理下砧木‘SA15’和‘SA17’对‘美乐’葡萄生长和果实品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(6): 1022-1029. DOI:10.7685/jnau.201901033.