



# 不同砧木对鲜食葡萄生长和香气品质的影响

孙磊<sup>1</sup>, 王晓玥<sup>2</sup>, 王慧玲<sup>3</sup>, 闫爱玲<sup>1</sup>, 张国军<sup>1</sup>, 任建成<sup>1</sup>, 徐海英<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>北京市林业果树科学研究院, 北京 100093; <sup>2</sup>北京市落叶果树工程技术研究中心, 北京 100093; <sup>3</sup>农业部华北园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 北京 100093

**摘要:**【目的】研究葡萄玫瑰香味性状, 为生产中筛选合适的砧木以及相关配套栽培技术提供依据。【方法】将早熟玫瑰香味葡萄品种‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’嫁接在 5 种砧木(110R、1103P、S04、3309M、5BB)上, 以自根苗为对照, 形成 10 个砧穗组合。以成熟期果实为试材, 采用顶空固相微萃取的方法, 借助气相色谱-质谱联用仪检测果实中挥发性香气化合物和糖苷结合态化合物的种类和含量, 依据 NIST11 谱库和化合物保留指数进行化合物定性, 建立标准曲线进行化合物的定量和半定量。比较不同砧穗组合葡萄果实香气含量的差异, 并进行主成分分析、回归分析和香气轮廓分析。【结果】就香气化合物种类而言, 各种组合一共检测到 56 种游离态化合物和 33 种糖苷结合态化合物。其中, 5BB 对两个品种的游离态香气化合物种类没有影响, 瑞都香玉/3309M 中未检测到 2-甲基-3-丁烯-2-醇、庚醛和 3-甲基丁醛, 瑞都红玉/3309M 中未检测到 1-己醇和  $\beta$ -大马士酮。此外, 就香气化合物含量而言, 1103P、110R 和 S04 可显著增加‘瑞都香玉’果实中游离态萜烯化合物总量, 而 5BB 对‘瑞都香玉’各类游离态化合物的浓度表现出显著的抑制作用。5 种砧木都可以提高‘瑞都红玉’果实中游离态萜烯化合物总量, 但对两个品种果实中糖苷结合态化合物的影响都不显著。利用主成分分析可以明显将两个品种区分开。回归分析表明, 1-己醇、香叶酸和里那醇是‘瑞都红玉’各种砧穗组合中共有的特征化合物。从香气轮廓上看, 110R、1103P、S04 和 3309M 对‘瑞都香玉’果实中柑橘香和其他花香的贡献显著高于自根苗, 而 5BB 则对‘瑞都红玉’果实中的花香贡献最大。【结论】为充分发挥香气品质, 推荐使用 110R、1103P 和 S04 作为‘瑞都香玉’的砧木, 不建议使用 5BB 作为‘瑞都香玉’的砧木; 110R、1103P、S04、5BB 和 3309M 都适合作为‘瑞都红玉’的砧木。

**关键词:** 葡萄; 砧木; 嫁接; 香气

## The Influence of Rootstocks on the Growth and Aromatic Quality of Two Table Grape Varieties

SUN Lei<sup>1</sup>, WANG XiaoYue<sup>2</sup>, WANG HuiLing<sup>3</sup>, YAN AiLing<sup>1</sup>, ZHANG GuoJun<sup>1</sup>, REN JianCheng<sup>1</sup>, XU HaiYing<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing 100093; <sup>2</sup>Beijing Engineering Research Center for Deciduous Fruit Trees, Beijing 100093; <sup>3</sup>Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture, Beijing 100093

**Abstract:**【Objective】The aim of this study was to investigate the aromatic characteristics of Muscat grape varieties, so as to provide a reference in selecting the optimal scion/rootstock combination and updating the vine management program. 【Method】Table grape varieties Ruiduxiangyu and Ruiduhongyu were grafted on five rootstock varieties (110R, 103P, SO4, 3309M, and 5BB) to form ten

收稿日期: 2020-12-11; 接受日期: 2021-02-08

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001405)、国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-29)、北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20200114)、北京市自然科学基金(6192017)

联系方式: 孙磊, E-mail: sunlei@baafs.net.cn。王晓玥, E-mail: wangxiaoyue1988@163.com。孙磊与王晓玥为同等贡献作者。通信作者徐海英, E-mail: haiyingxu63@sina.com

scion-rootstock combinations, while self-rooted vines were used as control. Head space solid-phase extraction method and gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) was applied to extract the volatile and glycoside-bound compounds in the ripening berries, the compounds were identified by the library of National Institute of Standards and Technology version 2011 and retention index, and the standard curve was used to quantify/semi-quantify the compounds. And then, correlation analysis, principle component analysis and aromatic profile analysis were conducted to investigate differences among all the combinations. 【Result】 A total of 56 volatile compounds and 33 glycoside-bound compounds were identified. The types of volatile compounds in these two varieties were not affected by 5BB. 2-Methyl-3-buten-2-ol, heptanal and 3-Methyl butanal were not detected in XY/3309M, whilst 1-hexanol and  $\beta$ -damascenone were not detected in HY/3309M. 1103P, 110R and SO4 could significantly increase the total content of volatile terpenoids in Ruiduxiangyu, while 5BB significantly reduced all kinds of volatile compounds. For Ruiduhongyu, these five rootstocks could increase the total content of free form terpenoid. The effects of five rootstocks on the glycoside-bound compounds in both varieties were insignificant. These two table grape varieties could be distinctly separated by principal components analysis, and 1-hexanol, geranic acid and linalool were the common biomarker compounds in all the rootstock of Ruiduhongyu. 110R, 1103P, SO4 and 3309M enhanced the citrus and floral flavor in Ruiduxiangyu, while 5BB stimulated the floral profiles in Ruiduhongyu. 【Conclusion】 Therefore, the rootstock varieties of 110R, 1103P and SO4 were recommended to be used in the commercial production of Ruiduxiangyu, while 5BB was not suggested in practice. 5BB, 110R, 1103P, SO4, 5BB and 3309M were appropriate as the rootstock for Ruiduhongyu.

**Key words:** grape; rootstock; graft; aroma

## 0 引言

【研究意义】葡萄生产在中国果树产业中具有比较重要的价值和地位,我国自 2015 年起就已经成为世界鲜食葡萄的最大生产国。香气是鲜食葡萄的重要品质性状,为发挥和利用香味品种的特点,让香味性状充分体现,研究和比较不同砧木对玫瑰香味葡萄品种果实香气化合物种类和含量的影响,可为产业上选配合适的砧穗组合提供依据。【前人研究进展】‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’含有丰富的萜烯类化合物而呈现出玫瑰香味<sup>[1]</sup>,‘瑞都香玉’在果实发育过程中,单萜中的橙花醇、香叶醇含量在成熟初期达到最大值,而里那醇、萜品醇含量在成熟中期达到峰值<sup>[2]</sup>。当前葡萄栽培中的砧木品种主要有 5BB、SO4、110R、101-14、3309M 等,前人主要研究了不同砧木对接穗品种生长势、产量、生理生化指标、花青素和氨基酸的影响,近几年才开始关注砧木对葡萄香气品质的影响,比如 WANG 等<sup>[3]</sup>研究发现‘赤霞珠’嫁接在 1616C、SO4、125AA、Cosmo2 和 5BB 上积累的挥发性化合物含量更高;而嫁接在 5A、Freedom、1447P、5C、99R 和 1103P 上,果实品质和香气化合物含量更低。CHENG 等<sup>[4]</sup>比较了‘霞多丽’品种在不同砧木之间挥发性化合物和糖苷结合态化合物的差异,发现 1103P 可以显著提高游离态醛酮类化合物的含量。‘金手指’嫁接在 SO4 和 3309C 上,果实中 *E*-2-己烯醛和己醛的含量增加<sup>[5]</sup>,而‘夏黑’嫁接在 SO4 上主要降低了酯类化合物的含量<sup>[6]</sup>。【本研究切入点】砧木调控葡萄

果实香气的研究较少,报道集中于酿酒葡萄,虽然有一些研究者选择鲜食品种为材料,但尚未深入比较砧木对不同类型香气化合物种类和含量的影响,缺乏对游离态和结合态化合物以及香气贡献值的分析。【拟解决的关键问题】通过气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS),采用顶空固相微萃取的方法,检测不同砧穗组合中‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’果实中游离态化合物和糖苷结合态化合物的种类和含量。综合分析比较不同砧穗组合与自根苗的差异,筛选出有利于香气化合物积累的砧木,为产业提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间、地点

本研究田间采样地点位于北京市平谷区马昌营镇前芮营村,采样时间为 2019 年。葡萄园采用简易避雨、地表覆盖园艺地布和滴灌供水管理模式,机械埋土越冬。香气检测在北京市林业果树科学研究院进行。

### 1.2 试验材料和试剂

接穗品种为欧亚种 (*Vitis vinifera*) 鲜食葡萄‘瑞都香玉’<sup>[7]</sup>和‘瑞都红玉’<sup>[8]</sup>,由北京市林业果树科学研究院选育。砧木品种分别为河岸葡萄 (*V. riparia*) × 沙地葡萄 (*V. rupestris*) 组合选育的 3309M,抗根瘤蚜、耐盐碱。冬葡萄 (*V. berlandieri*) × 沙地葡萄 (*V. rupestris*) 组合选育的 1103P 和 110R,耐盐碱、耐旱。冬葡萄 (*V. berlandieri*) × 河岸葡萄 (*V. riparia*) 组合选育的 5BB 和 SO4,抗根结线虫、耐旱。共组成 10 种砧穗组合:瑞都香玉/3309M、瑞都香玉/1103P、

瑞都香玉/110R、瑞都香玉/5BB、瑞都香玉/SO4、瑞都红玉/3309M、瑞都红玉/1103P、瑞都红玉/110R、瑞都红玉/5BB、瑞都红玉/SO4, 以‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’自根苗作为对照, 接穗品种名称在图表中使用简写: ‘瑞都香玉’-XY, ‘瑞都红玉’-HY。2017年4月, 砧木和自根苗定植, 6月嫁接, 栽培架式为篱架T型(顺行平棚架), 树形为顺行水平龙干形<sup>[9]</sup>, 南北向种植, 株行距为2 m×3 m。

标准品包括1-己醇、(E)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯-1-醇、(E)-2-己烯-1-醇、(Z)-2-己烯-1-醇、1-戊醇、3-辛醇、正辛醇、 $\beta$ -苯乙醇、己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-庚醛、苯甲醛、(E,Z)-2,6-壬二酸、己酸、月桂烯、柠檬醛、柠檬烯、里那醇、 $\alpha$ -松油醇、4-松油醇、 $\beta$ -香茅醇、香茅醛、香叶醇、 $\beta$ -紫罗兰酮和4-甲基-2-戊醇均购自Sigma-Aldrich公司, 用于结合态化合物提取的固相萃取柱Cleanert PEP-SPE column购自天津博纳艾杰尔科技有限公司(中国)。

### 1.3 方法

1.3.1 取样及处理 同一处理4株为一小区, 随机区组试验, 每小区选取长势基本一致的3株树, 3个小区重复。2019年8月底, 每个处理于树体东、西两侧各部位随机采取68穗果实带回实验室进行果实重量、可溶性固形物以及可滴定酸的测定。采用数显糖度计(Atago, PAL-1)测定可溶性固形物(TSS), 读取5个数据; 0.1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH 滴定法测定可滴定酸, 3次重复。

1.3.2 游离态和结合态香气化合物提取 游离态: 将放置于-80℃超低温冰箱中的葡萄果实取出, 称量50 g用于香气提取分析。用液氮迅速冷冻, 剪掉果梗、去籽; 之后加入0.5 g D-葡萄糖酸内酯, 抑制糖苷酶活性, 加入2 g 交联聚乙烯基吡咯烷酮(PVPP)防止样品氧化, 将葡萄果实打碎成粉末, 均匀混合后转移到50 mL离心管中, 在室温条件下静置2 h; 随后进行离心, 转速为8 000 r/min, 时间为10 min, 离心后将上清液转入50 mL离心管中, 取5 mL果汁用于进样及GC-MS分析, 每个样品做两个技术重复。剩余果汁于-80℃超低温冰箱中冻存。

结合态: 称取1.63 g 柠檬酸、0.79 g 柠檬酸钠以及16 g 氯化钠, 加入50 mL蒸馏水, 配置成柠檬酸缓冲溶液(pH 5, 2 mol·L<sup>-1</sup>); 加入10 mL 甲醇, 而后加入10 mL 蒸馏水, 活化固相萃取柱; 加入澄清葡萄汁2 mL; 之后加入2 mL 蒸馏水进行洗脱, 将葡萄汁样品中含有的极性低分子量物质除掉; 加入二氯甲烷

5 mL, 去除葡萄果汁样品中的游离态香气化合物; 加入甲醇20 mL, 并用圆底烧瓶收集(50 mL)洗脱出来的液体。将洗脱液体旋转蒸干, 条件为: 真空下30℃; 加入柠檬酸缓冲液(2 mol·L<sup>-1</sup>、pH 5)5 mL, 对糖苷结合态香气组分进行溶解, 需混合均匀; 取4.9 mL混合液装入20 mL的样品瓶中, 并将样品瓶用带有聚四氟乙烯隔垫的盖子拧紧; 加入提前配置好的浓度为100 g·L<sup>-1</sup>的糖苷酶(AR 2000)100  $\mu$ L, 放置于40℃恒温培养箱中酶解16 h; 以上操作, 每个样品需做两个独立重复。

1.3.3 气相色谱条件和定性定量分析 气相色谱与质谱联用的检测条件和香气物质定性定量分析方法参见SUN等<sup>[10]</sup>, 利用全离子扫描图谱, 将质谱图与NIST 11谱库检索, 并根据已有标准品的色谱保留时间和质谱信息, 计算保留指数, 进行定性分析。对于有标准品的化合物, 利用其相应的标准曲线进行定量, 没有标准品的化合物, 利用化学结构相似、官能团相似、碳原子数相近的标准品进行半定量。

### 1.4 数据统计与分析

统计分析使用软件SPSS20.0, 香气轮廓雷达图的绘制使用Excel 2019。主成分分析采用XLSTAT 2019进行绘制, 聚类热图通过MetaboAnalyst 4.0进行分析绘制, 正交偏最小二乘判别分析使用SIMCA-p 14.0软件。

## 2 结果

### 2.1 砧木对‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’品种理化指标的影响

两个品种的果实品质指标如表1所示。‘瑞都香玉’组合中, XY/SO4单穗重最大, 显著高于XY/3309M、XY/5BB和XY; ‘瑞都红玉’组合中, HY/110R单穗重最大, 显著高于HY/3309M、HY/SO4和HY。

‘瑞都香玉’各组合单粒重在5.3—6.4 g; ‘瑞都红玉’各组合差异很小, 单粒重在5.0—5.5 g。XY/5BB的可溶性固形物含量显著高于自根苗, 其他组合与自根苗相比无显著性差异, 而且各种砧穗组合中可滴定酸含量无显著差异。‘瑞都红玉’各组合和自根苗之间的可溶性固形物含量无显著差异, 而各砧穗组合的可滴定酸含量显著高于自根苗。‘瑞都红玉’组合中自根苗固酸比最高, ‘瑞都香玉’组合中固酸比最高为XY/5BB。综合而言, 5种砧木品种均提高了‘瑞都红玉’的可滴定酸含量, 砧木5BB提高了‘瑞都香玉’果实的可溶性固形物含量。

表 1 不同砧穗组合的理化指标  
Table 1 Physiochemical properties of different scion-rootstock combinations

组合 Combinations	单穗重 Cluster weight (g)	可溶性固形物含量 Total soluble solids	可滴定酸含量 Titratable acid (g·L <sup>-1</sup> )	固酸比 TSS/TA	瑞都红玉 HY	单穗重 Cluster weight (g)	可溶性固形物含量 Total soluble solids	可滴定酸含量 Titratable acid (g·L <sup>-1</sup> )	固酸比 TSS/TA
XY	366±32bc	17.0±1.1bc	5.85±0.15	29.1	HY	297±29c	18.4±1.9	3.55±0.34d	51.8
XY/1103P	420±74ab	16.1±0.6bc	5.65±0.32	28.5	HY/1103P	410±51ab	17.7±1.1	4.48±0.14ab	39.5
XY/110R	390±114ab	15.9±1.5c	5.36±0.39	29.7	HY/110R	435±34a	17.2±1.1	4.43±0.01abc	37.5
XY/3309M	269±65c	16.3±0.4bc	5.34±0.15	30.5	HY/3309M	332±62bc	16.9±1.1	4.13±0.08c	40.9
XY/5BB	314±85bc	18.3±0.6a	5.58±0.15	32.8	HY/5BB	431±66a	17.9±0.9	4.27±0.13bc	41.9
XY/SO4	501±138a	17.3±0.9ab	5.77±0.33	30.0	HY/SO4	304±46c	17.5±0.8	4.57±0.11a	38.3

同列不同小写字母表示样品之间具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。下同  
Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below

2.2 不同砧穗组合中游离态和结合态化合物的特征

用于定量的标准化合物和标准曲线见附表 1, 在‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’两个品种的成熟期果实中, 共检测到 56 种游离态化合物, 如表 2 和表 3 所示。根据其化学结构可分为 10 种 C6/C9 化合物、8 种醇类化合物、3 种脂肪酸类化合物、6 种醛酮类化合物、4 种 C13 降异戊二烯类化合物和 25 种萜烯类化合物。

从游离态化合物的种类看, 两个品种嫁接在 5BB 上, 都能检测到 56 种化合物, 其他 4 种砧木都会影响嫁接后果实中化合物种类, 如在 XY/3309M 中未检测到 2 甲基-3-丁烯-2-醇、庚醛和 3-甲基丁醛, 在 XY/1103P、XY/110R、XY/SO4 中均未检测到 2 甲基-3-丁烯-2-醇和庚醛两种物质。

对‘瑞都香玉’而言, 5BB 对各类游离态化合物的浓度表现出显著的抑制作用, 其余 4 种砧木均能促进游离态化合物总量的积累。其中 1103P、110R 和 SO4 对萜烯类化合物的积累具有显著的促进作用, 比如里那醇、月桂烯、*cis*-氧化玫瑰、氧化里那醇的含量都是自根苗的 2 倍以上, *D*-柠檬烯、 $\beta$ -顺式罗勒烯、橙花醇、香叶醇、香茅醇、 $\beta$ -水芹烯的含量都是自根苗的 3 倍以上, 而  $\alpha$ -松油醇和脱氢里那醇含量则达到自根苗的 6 倍以上。

对‘瑞都红玉’而言, 5 种砧木均可提高果实中里那醇的含量, 对照中含量为 211.68  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 砧穗组合中的含量为 502.77—745.76  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。除 1103P 外, 其余 4 种砧木可明显抑制 1-己醇、E-2-己烯醇、3-甲基丁醛、6-甲基-5-庚烯-2-醇、香叶醇以及降异戊二烯总量的积累。如自根苗和 1103P 中 1-己醇含量为分别为 368.05 和 324.30  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 而在其他 4 种砧木中的含量

为 0—26.96  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。自根苗中降异戊二烯总量为 70.27  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 其他 4 种砧木中含量在 12.7—23.887  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

在‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’两个品种的成熟果实中, 分别检测到 30 种和 33 种糖苷结合态化合物, 包括 24 种萜烯类化合物、7 种醇类和 2 种 C6 化合物, 其中, ‘瑞都香玉’中没有检测到反式-2 己烯醛、顺式-3-己烯醛和 6-甲基-5-庚烯-2-醇, 如表 4 和表 5 所示。对‘瑞都香玉’而言, 5 种砧木对所有化合物的影响都较小。5 种砧木均降低了‘瑞都红玉’反式-2-己烯醛含量以及萜烯类化合物的总量。

2.3 香气化合物主成分分析

为了研究不同砧木对香味物质的影响, 解析不同砧穗组合下的特征香气成分, 对游离态化合物和结合态化合物分别开展主成分分析 (PCA)。从游离态化合物的 PCA 分析结果 (图 1-A) 可以看出, 第一主成分贡献率为 86.04%, 第二主成分贡献率为 4.97%, PC1 可以很好地将‘瑞都香玉’中的 4 种砧穗组合与‘瑞都香玉’自根苗和‘瑞都红玉’所有组合区分开。从化合物分布的情况来看, 大部分化合物集中分布在第一、四象限, 萜烯类化合物集中分布于第四象限, 与 XY/1103P、XY/110R、XY/SO4 分布重叠在一起。

从糖苷结合态化合物的 PCA 分析结果看 (图 1-B), 第一主成分贡献率为 48.71%, 第二主成分贡献率为 22.51%, 第一主成分可以很好地将两个品种的砧穗组合分开, ‘瑞都红玉’自根苗和各砧穗组合全部集中分布在坐标左侧, ‘瑞都香玉’自根苗和各砧穗组合全部集中分布在坐标右侧。从化合物分布的情况来看, 结合态萜烯化合物主要分布在第一、二象限, 其他结合态化合物主要分布在第三、四象限, 其中‘瑞都香玉’各砧穗组合与萜烯化合物分布重叠。

表 2 ‘瑞都香玉’砧穗组合中游离态化合物的浓度  
Table 2 The concentration of free compounds in Ruiduxiangyu ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )

化合物 Compounds	编号 Code	XY	XY/1103P	XY/110R	XY/3309M	XY/5BB	XY/SO4
1-己醇 1-Hexanol	F1	117.65±13.12cd	532.59±49.31b	1400.88±232.69a	88.18±12.74c	33.02±38.16d	455.11±117.64b
(E,E)-2,4-山梨醛 (E,E)-2,4-Hexadienal	F2	188.95±101.84d	623.32±80.60a	542.53±31.82ab	222.84±34.14c	69.33±29.56d	453.65±94.53bc
(E)-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol	F3	296.22±45.88d	920.56±77.50b	1671.57±378.11a	199.93±15.39d	126.19±49.56d	618.36±92.72c
(E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	F4	32.54±4.83d	97.13±9.08a	79.29±5.71b	33.66±3.50d	29.62±5.88d	61.99±14.17c
己醛 Hexanal	F5	3166.58±269.92d	9923.92±485.43a	9163.16±1112.38ab	4050.08±209.20c	3115.53±843.93d	7334.79±1956.49bc
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	F6	1.49±1.16b	2.86±0.26a	2.58±0.06a	2.42±0.06a	2.41±0.15a	2.29±0.09a
(Z)-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol	F7	61.14±27.21c	311.03±86.45b	330.57±46.05b	24.42±16.26c	10.71±2.80c	458.40±111.65a
3-己烯醛 3-Hexenal	F8	97.70±43.80d	410.63±52.58a	326.34±32.12ab	118.40±21.32d	56.76±20.63d	269.40±64.85bc
2-己烯醛 2-Hexenal	F9	8884.31±2871.72d	30413.95±2970.66a	25101.37±1314.27ab	10215.89±1131.87d	5966.56±1301.03d	20571.58±4397.99bc
(E)-3-己烯醇 (E)-3-Hexen-1-ol	F10	1.67±2.81c	5.10±7.81bc	20.68±16.97a	2.45±1.69bc	3.81±2.16bc	12.41±3.41ab
合计 Total		12848.25±3327.65c	43241.08±3721.62a	38638.96±2965.68a	14958.26±1404.19d	9413.94±2198.66c	30237.99±6581.08b
乙醇 Ethanol	F11	295.16±55.70e	985.12±91.68bc	1347.46±129.03a	605.48±102.05d	739.67±91.40d	1149.54±179.91ab
2-甲基-3-丁烯-2-醇 2-methyl-3-Buten-2-ol	F12	22.94±35.55b	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	64.84±5.68a	0.00±0.00c
3-辛烯醇 3-Octenol	F13	2.03±0.43d	6.11±0.29b	9.98±0.49a	3.21±0.20c	1.18±0.28d	6.44±1.18b
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	F14	2.13±0.43d	5.01±0.32b	5.97±0.29a	3.51±1.27c	3.28±0.49c	5.12±0.79b
1-正辛醇 1-Octanol	F15	1.24±0.32d	3.11±0.23b	3.64±0.17a	1.50±0.12d	0.85±0.17d	2.81±0.35b
3-辛醇 3-Octanol	F16	0.58±0.04d	0.51±0.28d	1.47±0.07a	0.65±0.02c	0.47±0.07d	1.24±0.21b
苯甲醇 Benzyl alcohol	F17	432.64±9.87b	512.84±13.91a	508.61±19.55a	453.99±10.40c	418.30±5.08b	495.04±12.95a
$\beta$ -苯乙醇 $\beta$ -Phenylethyl alcohol	F18	418.42±3.97e	450.94±4.89c	490.02±14.71a	425.37±3.25d	413.36±3.27e	469.67±10.31b
合计 Total		1175.14±74.08e	1963.64±103.07bc	2367.15±155.09a	1493.72±99.27d	1641.95±102.82d	2129.86±199.56ab
乙酸 Acetic acid	F19	407.17±30.09c	634.54±143.14b	818.53±100.73a	474.30±42.13c	414.79±59.99c	780.81±87.38ab
己酸 Hexanoic acid	F20	314.30±15.78cd	419.79±38.47b	518.68±91.03a	287.86±16.62cd	278.35±27.77d	352.12±54.87c
2-乙基酸 2-Hexenoic acid	F21	103.84±2.94b	122.22±9.08ab	147.48±61.48a	96.70±3.92	93.12±4.83b	93.53±46.32b
合计 Total		825.30±25.87c	1176.56±182.00b	1484.69±161.74a	858.87±60.01c	786.27±90.39c	1226.47±132.74b
3-甲基丁醛 3-Methylbutanal	F22	6.87±8.27b	10.38±0.77b	10.67±2.06b	0.00±0.00c	26.38±4.17a	7.07±2.21b
戊醛 Pentanal	F23	2.52±1.63c	13.20±1.74b	19.88±2.38a	2.18±0.60c	2.81±1.26c	14.62±3.73b
庚醛 Heptanal	F24	1.27±1.97b	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	3.28±0.71a	0.00±0.00c
(Z)-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal	F25	3.28±0.91c	8.44±0.44b	14.10±2.89a	4.42±0.24c	2.09±0.23c	14.85±2.83a
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	F26	1.97±1.52b	3.65±0.08a	4.15±0.24a	3.13±0.06ab	2.37±1.16b	3.90±0.22a
苯甲醛 Benzaldehyde	F27	10.03±3.69c	34.30±1.96a	33.77±2.69a	10.14±0.96b	4.98±0.77c	34.33±8.07a
合计 Total		25.94±6.75c	69.96±3.17a	82.57±5.81a	19.86±1.73d	41.91±5.51b	74.77±14.56a

续表 2 Continued table 2

化合物 Compounds	编号 Code	XY	XY/1103P	XY/110R	XY/3309M	XY/5BB	XY/SO4
6 甲基-5 庚烯-2 酮 6-Methyl-5-heptene-2-one	F28	5.26±0.64c	8.88±2.25b	11.44±2.39a	5.99±0.09c	5.19±0.20c	8.59±0.78b
6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	F29	22.45±6.49d	141.12±15.36b	209.93±44.35a	58.00±6.84c	33.70±9.10d	168.72±32.96b
cis-香叶基丙酮 cis-Geranylacetone	F30	2.14±0.08de	2.67±0.22a	2.42±0.11bc	2.17±0.05c	2.05±0.03e	2.58±0.17ab
β-大马酮 β-Damascenone	F31	2.63±0.28c	26.21±5.78ab	22.24±2.23b	1.12±1.29c	2.18±0.22c	27.43±3.32a
合计 Total		32.48±6.49d	178.88±23.05b	246.03±44.83a	67.28±6.17c	43.13±9.54d	207.32±36.31ab
trans-氧化玫瑰 trans-Rose oxide	F32	13.44±1.66d	28.30±4.40ab	26.51±1.66b	18.41±1.65c	15.53±3.69d	30.91±4.43a
cis-氧化玫瑰 cis-Rose oxide	F33	37.20±7.45d	121.64±22.05ab	109.03±6.95b	52.89±5.34c	42.79±11.53d	140.87±26.05a
橙花醚 Nerol oxide	F34	20.47±6.82cd	122.88±31.75ab	102.65±4.54b	21.46±2.04c	10.81±1.31d	144.97±25.25a
里那醇 Linalool	F35	4213.53±1664.10c	11877.63±1474.71a	10740.21±400.38a	5206.93±647.59c	2513.28±707.62c	8208.78±1505.57b
脱氢里那醇 Hotrienol	F36	44.13±10.23c	287.24±150.59b	279.02±32.47b	23.89±4.84c	30.73±13.73c	423.46±93.48a
α-松油醇 α-Terpineol	F37	204.03±53.02c	1341.87±221.69a	1252.50±226.55a	240.85±37.23b	149.95±63.69c	1451.51±284.55a
吡喃型氧化里那醇 Linalool oxide pyranoside	F38	21.95±3.76bc	46.69±3.37a	54.40±7.58a	19.44±2.78c	16.39±2.97c	46.20±11.64a
香茅醇 Citronellol	F39	52.94±13.73c	170.19±10.44a	178.24±14.62a	89.49±6.24b	47.58±13.70c	183.13±24.72a
橙花醇 Nerol	F40	99.29±28.57d	367.26±27.44b	382.06±35.63b	157.88±25.75c	88.54±31.18d	452.72±64.91a
香叶醇 Geraniol	F41	116.92±36.98c	533.04±75.82a	436.00±17.09a	158.44±16.02c	102.89±38.45c	510.62±78.14a
cis-呋喃型氧化里那醇 cis-Furan linalool oxide	F42	14.58±1.66c	45.44±9.12a	46.16±4.00a	16.76±0.88b	19.14±3.95bc	43.95±5.77a
4-松油醇 4-Terpineol	F43	4.17±1.09bc	18.38±3.74a	16.95±1.35a	3.81±0.30c	3.25±0.96c	20.28±3.92a
β-月桂烯 β-Myrcene	F44	463.08±318.57d	1617.47±213.04a	1476.12±84.41ab	622.66±70.19c	64.64±3.50e	1166.46±218.50bc
β-水芹烯 β-Phellandrene	F45	36.78±21.36c	136.38±21.04a	119.68±5.91a	46.82±4.86b	13.45±6.90c	119.77±21.90a
D-柠檬烯 D-Limonene	F46	157.55±69.63c	820.29±151.03a	719.69±30.26a	165.33±22.06c	75.10±36.70c	683.66±131.45a
β-cis-罗勒烯 β-cis-Ocimene	F47	256.88±113.14d	990.02±171.41a	818.35±49.08ab	282.10±32.12c	127.39±45.01d	732.06±142.59b
β-trans-罗勒烯 β-trans-Ocimene	F48	183.46±66.25d	583.95±86.80a	499.09±25.70ab	202.21±18.91c	107.23±27.56d	433.98±77.03b
别罗勒烯 Allo-Ocimene	F49	42.14±10.85d	103.97±13.84a	97.82±4.83ab	45.11±3.12c	31.76±6.43d	81.66±12.47b
(E,Z)-别罗勒烯 (E,Z)-Allo-Ocimene	F50	54.90±19.12d	160.35±25.01a	144.01±8.13ab	61.34±5.46c	33.92±6.89d	123.80±22.58b
γ-松油烯 γ-Terpinene	F51	24.12±8.26c	99.37±17.28a	81.92±5.35a	24.27±2.88c	13.85±7.29c	81.49±11.77a
异松油烯 Terpinolen	F52	133.52±38.40cd	1019.26±249.26a	496.91±85.66b	88.28±21.61d	73.23±39.39d	841.36±152.28a
香叶醛 Geranial	F53	7.52±1.66c	20.88±0.74a	21.26±3.74a	10.02±0.78c	6.69±1.52c	18.45±2.40a
香叶酸 Geranic acid	F54	388.72±109.55d	1362.07±116.43a	1504.09±29.40a	363.59±90.33d	184.61±70.22d	1065.70±203.94b
橙花醛 Neral	F55	4.52±0.39c	7.17±0.25a	7.75±1.01a	5.19±0.15c	4.24±0.35c	7.04±0.69a
cis-异香叶醇 cis-Isogeraniol	F56	2.18±0.06c	2.32±0.09bc	2.60±0.30a	2.39±0.18b	2.22±0.05bc	2.29±0.09bc
合计 Total		6598.01±2575.64d	21884.08±2739.45a	19613.00±731.47ab	7929.58±976.57c	3779.19±1125.05d	17015.10±2623.61b

同行不同小写字母表示样品之间具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。下同  
Different lowercase letters of the same line indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below



表 3 ‘瑞都红玉’组合中游离态化合物的浓度

Table 3 The concentration of free compounds in Ruiduhongyu ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )

化合物 Compound	编号 Code	HY	HY/1103P	HY/110R	HY/3309M	HY/5BB	HY/SO4
1-己醇 1-Hexanol	F1	368.05±84.96a	324.30±35.94a	4.30±7.99b	0.00±0.00b	16.08±12.64b	26.96±41.77b
(E,E)-2,4-山梨醛 (E,E)-2,4-Hexadienal	F2	22.99±7.37	24.18±3.98	28.14±7.95	29.29±8.66	28.67±7.41	29.21±10.71
(E)-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol	F3	441.63±52.88a	348.01±37.39b	48.55±19.10c	85.56±13.37c	75.62±16.17c	72.04±37.98c
(E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	F4	8.76±1.09	8.25±1.08	9.93±0.70	9.80±0.75	9.40±1.45	9.12±1.05
己醛 Hexanal	F5	949.37±98.11c	1261.79±154.04ab	1455.86±102.83a	1250.78±181.58b	1349.49±249.31ab	1351.89±164.19ab
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	F6	2.58±0.28a	2.36±0.25a	1.25±0.15b	1.08±0.07b	1.15±0.08b	1.18±0.22b
(Z)-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol	F7	13.75±2.38a	13.30±3.59a	5.58±1.12c	8.07±1.11bc	8.75±1.69b	8.33±3.02bc
3-己烯醛 3-Hexenal	F8	0.90±1.97	1.58±2.04	3.57±2.68	3.80±4.27	4.06±5.19	3.79±3.58
2-己烯醛 2-Hexenal	F9	1593.28±153.32b	1614.96±226.54b	2009.14±172.51a	2086.53±248.32a	2045.66±298.90a	1902.99±278.22a
(E)-3-己烯醇 (E)-3-Hexen-1-ol	F10	9.04±1.49a	8.98±1.12a	1.68±0.91c	2.07±0.38bc	2.58±0.44bc	2.81±0.91b
合计 Total		3410.36±228.45	3607.71±436.35	3567.98±247.59	3476.97±412.73	3541.45±566.14	3408.34±397.39
乙醇 Ethanol	F11	165.57±23.29c	266.18±39.85b	288.08±38.69b	126.98±26.29c	336.93±32.32a	295.48±42.59b
2-甲基-3-丁烯-2-醇 2-methyl-3-Buten-2-ol	F12	15.98±7.45d	48.96±10.23c	48.58±7.20c	62.18±6.94b	82.25±7.35a	79.35±4.71a
3-辛烯醇 3-Octenol	F13	2.58±0.28a	2.36±0.25a	1.25±0.15b	1.08±0.07b	1.15±0.08b	1.18±0.22b
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	F14	1.16±0.04	1.32±0.16	1.17±0.14	1.20±0.37	1.09±0.19	1.26±0.31
1-正辛醇 1-Octanol	F15	0.64±0.03a	0.64±0.08a	0.52±0.03b	0.48±0.02b	0.51±0.03b	0.51±0.04b
3-辛醇 3-Octanol	F16	0.36±0.18	0.48±0.02	0.32±0.16	0.30±0.15	0.39±0.01	0.38±0.03
苯甲醇 Benzyl alcohol	F17	414.01±1.72b	428.44±5.70a	409.75±1.55c	408.91±1.03c	408.76±0.66c	409.57±1.62c
$\beta$ -苯乙醇 $\beta$ -Phenylethyl alcohol	F18	412.05±1.16b	417.36±2.26a	408.09±0.37c	407.84±0.62c	408.62±0.51c	408.55±0.99c
合计 Total		1012.34±28.00c	1165.75±48.28b	1157.76±40.58b	1008.98±21.28c	1239.71±33.32a	1196.28±44.65ab
乙酸 Acetic acid	F19	196.95±10.66b	216.60±13.39a	189.78±11.86b	175.20±6.44c	186.70±5.46bc	196.67±10.59b
己酸 Hexanoic acid	F20	253.32±3.84b	286.40±13.19a	255.53±18.00b	249.15±3.27b	258.49±14.86b	246.98±9.53b
2-乙烯酸 2-Hexenoic acid	F21	87.45±2.25	85.89±0.87	86.03±1.64	85.52±1.12	87.43±4.91	85.30±2.09
合计 Total		537.73±14.78b	588.89±21.47a	531.35±27.86bc	509.87±9.56c	532.62±22.13bc	528.95±21.32bc
3-甲基丁醛 3-Methylbutanal	F22	3.66±0.75a	3.34±0.77a	0.39±0.55b	0.19±0.17b	0.50±0.23b	0.18±0.29b
戊醛 Pentanal	F23	0.91±0.21c	1.62±0.78b	1.62±0.54b	1.42±0.35bc	0.88±0.58c	2.34±0.66a
庚醛 Heptanal	F24	2.09±0.17	2.55±0.31	2.89±0.16	2.83±0.86	2.58±0.53	2.72±0.38
(Z)-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal	F25	2.40±0.14a	1.76±0.05b	1.73±0.04b	1.75±0.12b	1.70±0.02b	2.02±0.70b
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	F26	2.77±0.01a	2.73±0.01b	2.72±0.01b	2.72±0.01b	2.75±0.04ab	2.75±0.05ab
苯甲醛 Benzaldehyde	F27	4.29±0.21a	4.39±0.15a	3.91±0.23b	3.85±0.17b	3.94±0.13b	3.97±0.15b
合计 Total		16.12±0.78a	16.38±1.32a	13.26±0.44bc	12.75±1.56c	12.33±0.86c	13.98±0.81b

续表 3 Continued table 3

化合物 Compound	编号 Code	HY	HY/1103P	HY/110R	HY/3309M	HY/5BB	HY/SO4
6 甲基-5 庚烯-2 酮 6-Methyl-5-heptene-2-one	F28	4.48±0.04bc	4.62±0.07a	4.37±0.03d	4.47±0.05c	4.55±0.04ab	4.58±0.12a
6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	F29	61.72±5.21b	115.50±11.56a	4.35±4.88d	6.28±4.30cd	11.02±2.68cd	15.27±17.34c
cis-香叶基丙酮 cis-Geranylacetone	F30	2.02±0.02	2.02±0.02	2.05±0.05	2.04±0.02	2.03±0.02	2.03±0.02
β-大马酮 β-Damascenone	F31	2.05±0.01a	2.02±0.01a	2.00±0.01a	0.00±0.00c	0.67±1.03b	2.00±0.01a
合计 Total		70.27±5.23b	124.16±11.62a	12.77±4.91d	12.78±4.32d	18.26±1.83cd	23.88±17.29c
trans-氧化玫瑰 trans-Rose oxide	F32	8.76±0.31b	9.53±0.52a	8.29±0.25c	7.96±0.22c	9.54±0.32a	9.41±0.30a
cis-氧化玫瑰 cis-Rose oxide	F33	12.73±0.89b	15.64±1.70a	11.48±0.77b	10.06±1.18c	15.48±1.13a	14.98±1.07a
橙花醚 Nerol oxide	F34	7.01±0.51a	6.85±0.42a	6.20±0.16b	6.12±0.04b	6.12±0.09b	6.26±0.20b
里那醇 Linalool	F35	211.68±77.35d	649.96±94.44ab	502.77±73.98c	614.12±86.34b	745.76±84.72a	615.55±90.50b
脱氢里那醇 Hotrienol	F36	14.52±3.80c	33.32±5.54a	22.84±4.78b	23.91±2.94b	29.30±2.26a	32.47±4.50a
α-松油醇 α-Terpineol	F37	20.36±3.70c	37.74±5.60a	22.31±3.28c	19.81±3.87c	30.67±3.22b	31.80±6.87b
吡喃型氧化里那醇 Linalool oxide pyranoside	F38	6.07±0.21c	7.47±0.31a	6.66±0.32b	7.07±0.51ab	7.08±0.28a	7.35±0.42a
香茅醇 Citronellol	F39	18.24±1.27b	24.72±2.76a	14.99±1.16d	14.05±0.74d	17.03±1.58bc	15.41±1.49cd
橙花醇 Nerol	F40	48.43±4.06a	44.17±5.13b	17.11±2.14c	15.83±0.91c	16.41±1.51c	17.60±3.13c
香叶醇 Geraniol	F41	138.60±21.62a	50.40±7.66b	21.96±5.05c	17.98±2.49c	20.54±3.97c	20.02±4.29c
cis-呋喃型氧化里那醇 cis-Furan linalool oxide	F42	5.74±1.01e	9.02±1.15c	7.60±1.07d	7.80±1.09cd	12.70±0.89a	11.11±1.14b
4-松油醇 4-Terpineol	F43	1.93±0.11bc	2.05±0.13b	1.79±0.08cd	1.71±0.09d	2.26±0.09a	2.05±0.19b
β-月桂烯 β-Myrcene	F44	80.48±27.88	69.59±4.93	76.10±26.46	70.81±6.21	75.97±9.06	88.56±46.68
β-水芹烯 β-Phellandrene	F45	8.96±2.22	9.07±1.01	8.46±2.00	9.18±4.40	10.87±3.59	7.45±1.72
D-柠檬烯 D-Limonene	F46	14.62±4.39	21.97±4.54	18.19±3.78	18.10±7.76	18.15±6.31	22.15±9.80
β-cis-罗勒烯 β-cis-Ocimene	F47	62.55±5.18	74.16±9.57	64.81±7.57	71.76±7.03	72.21±3.78	70.65±11.49
β-trans-罗勒烯 β-trans-Ocimene	F48	68.57±3.19	74.55±5.75	69.79±4.80	74.38±4.87	75.13±2.58	73.88±7.39
别罗勒烯 Allo-Ocimene	F49	23.46±0.91	24.06±0.60	23.51±0.86	23.87±1.15	24.46±0.95	23.92±1.34
(E,Z)-别罗勒烯 (E,Z)-Allo-Ocimene	F50	25.04±1.03	26.51±1.03	25.23±0.93	25.95±1.63	26.62±1.27	26.27±1.96
γ-松油烯 γ-Terpinene	F51	5.90±0.90	7.82±1.13	7.08±1.07	7.50±2.01	7.41±1.89	8.18±2.36
异松油烯 Terpinolen	F52	19.57±2.19	19.73±5.07	19.61±4.90	18.49±3.49	20.13±1.96	24.40±4.24
香叶醛 Geranial	F53	10.70±1.99a	5.12±0.23b	4.30±0.44bc	4.04±0.12c	4.20±0.18bc	4.10±0.20c
香叶酸 Geranic acid	F54	144.05±15.23a	140.57±25.75a	55.76±6.26b	62.03±9.02b	48.20±3.08b	63.86±8.81b
橙花醛 Neral	F55	4.73±0.19a	3.82±0.05b	3.60±0.09c	3.55±0.02c	3.56±0.03c	3.57±0.04c
cis-异香叶醇 cis-Isogeraniol	F56	2.32±0.05b	2.70±0.14a	2.22±0.04c	2.24±0.03bc	2.26±0.05bc	2.24±0.07bc
合计 Total		965.01±101.51e	1370.52±165.93a	1022.68±95.09de	1138.32±129.58cd	1302.04±103.52ab	1203.24±167.56bc

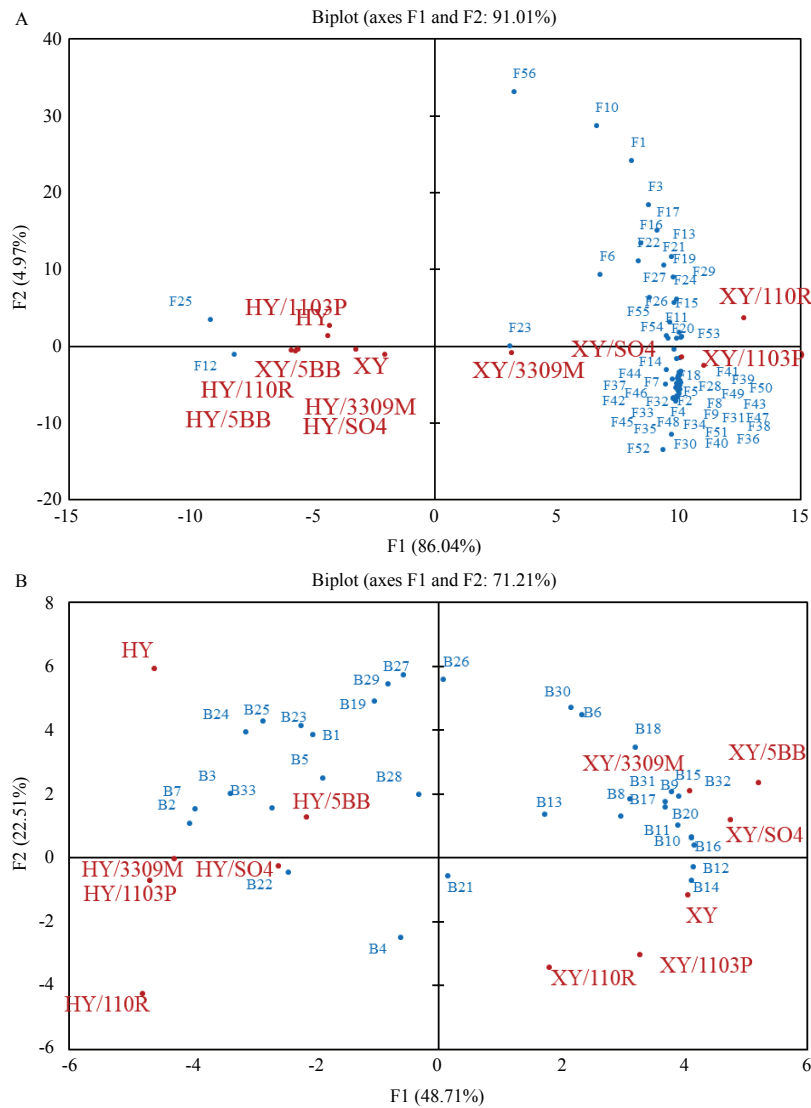


表 4 ‘瑞都香玉’组合中结合态化合物的浓度  
Table 4 The concentration of glycoside-bound compounds in Ruiduxiangyu ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )

化合物 Compound	编号 Code	XY	XY/1103P	XY/110R	XY/3309M	XY/5BB	XY/SO4
(E)-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol	B1	—	—	—	—	—	—
(Z)-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol	B2	—	—	—	—	—	—
合计 Total		—	—	—	—	—	—
3-辛烯醇 3-Octenol	B3	0.28±0.00c	0.27±0.00c	0.29±0.00c	0.36±0.00a	0.31±0.02b	0.28±0.01c
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	B4	1.25±0.05bc	1.43±0.04a	1.30±0.03ab	1.11±0.10c	1.20±0.09bc	1.13±0.03c
1-正辛醇 1-Octanol	B5	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.39±0.00b	0.41±0.01a	0.42±0.01a	0.41±0.00ab
3-辛醇 3-Octanol	B6	0.40±0.00a	0.38±0.00bc	0.37±0.00c	0.41±0.01a	0.40±0.01a	0.39±0.01ab
6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	B7	—	—	—	—	—	—
苯甲醇 Benzyl alcohol	B8	424.52±1.62	422.78±6.62	420.06±0.02	430.89±17.86	423.79±12.02	423.52±3.45
$\beta$ -苯乙醇 $\beta$ -Phenylethyl alcohol	B9	412.97±0.63	411.16±2.06	411.10±0.08	412.45±4.76	412.27±4.25	412.43±1.54
合计 Total		839.42±2.31	836.02±8.72	833.13±0.09	845.21±22.73	837.97±16.38	837.75±4.98
trans-氧化玫瑰 trans-Rose oxide	B10	9.54±0.03c	9.25±0.08c	8.73±0.05d	9.87±0.13b	10.06±0.24b	10.61±0.10a
cis-氧化玫瑰 cis-Rose oxide	B11	15.19±0.09c	14.21±0.18d	12.68±0.09e	16.19±0.26b	16.51±0.69b	18.38±0.27a
橙花醚 Nerol oxide	B12	8.97±0.11cd	8.65±0.06de	8.14±0.04e	9.65±0.45ab	9.33±0.39bc	9.99±0.19a
里那醇 Linalool	B13	23.32±1.19	22.69±1.27	23.68±6.80	23.40±2.49	27.58±1.30	23.88±1.30
脱氢里那醇 Hotrienol	B14	2.81±0.01	2.79±0.00	2.79±0.02	2.81±0.01	2.82±0.00	2.79±0.00
$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	B15	7.85±0.18	7.59±0.20	7.25±0.04	7.89±0.56	8.49±0.41	8.21±0.33
吡喃型氧化里那醇 Linalool oxide pyranoside	B16	5.58±0.06	5.61±0.12	5.49±0.01	5.60±0.21	5.67±0.18	5.59±0.02
香茅醇 Citronellol	B17	16.05±0.16b	15.84±0.73b	15.42±0.01b	17.16±1.44ab	18.65±1.70a	19.34±0.76a
橙花醇 Nerol	B18	25.14±0.36	23.78±1.75	22.51±0.07	28.12±4.99	27.84±3.82	29.09±2.26
香叶醇 Geraniol	B19	9.13±0.18	8.76±0.94	8.13±0.04	10.64±2.50	13.36±3.16	11.31±1.34
cis-呋喃型氧化里那醇 cis-Furan linalool oxide	B20	2.15±0.02	2.13±0.02	2.12±0.00	2.16±0.07	2.18±0.05	2.17±0.02
$\beta$ -月桂烯 $\beta$ -Myrcene	B21	54.50±0.69	55.02±0.93	75.52±28.74	54.90±1.34	58.18±0.64	55.24±0.72
$\beta$ -水芹烯 $\beta$ -Phellandrene	B22	6.28±0.17	5.87±0.63	5.80±0.12	6.42±1.12	5.56±0.14	6.27±0.01
D-柠檬烯 D-Limonene	B23	8.50±0.27	7.68±1.05	7.59±0.27	10.57±0.35	9.26±2.66	9.41±1.04
$\beta$ -cis-罗勒烯 $\beta$ -cis-Ocimene	B24	40.90±0.39	39.56±1.97	38.96±0.50	41.47±4.00	40.84±4.28	41.96±1.82
$\beta$ -trans-罗勒烯 $\beta$ -trans-Ocimene	B25	53.86±0.16	53.06±1.08	52.89±0.29	54.31±2.27	54.02±2.57	54.64±0.91
别罗勒烯 Allo-Ocimene	B26	21.31±0.02	21.25±0.06	21.28±0.05	21.51±0.27	21.82±0.29	21.57±0.07
(E,Z)-别罗勒烯 (E,Z)-Allo-Ocimene	B27	21.36±0.04	21.32±0.07	21.31±0.04	21.55±0.26	21.86±0.27	21.62±0.10
$\gamma$ -松油烯 $\gamma$ -Terpinene	B28	5.32±0.05	5.02±0.38	4.99±0.10	5.45±0.75	5.39±0.97	5.59±0.36
异松油烯 Terpinolen	B29	8.46±0.18b	8.00±0.72b	7.69±0.24b	9.94±0.12a	10.10±1.02a	8.86±0.66ab
香叶醛 Geranial	B30	4.76±0.07bcd	4.69±0.14cd	4.41±0.08d	5.16±0.37ab	5.22±0.17a	5.05±0.12abc
香叶酸 Geranic acid	B31	53.73±4.18	52.07±5.01	49.43±0.32	52.66±0.26	54.80±1.47	46.29±0.06
橙花醛 Neral	B32	4.84±0.11c	4.78±0.07c	4.44±0.03d	5.35±0.26b	5.70±0.04a	5.37±0.14ab
cis-异香叶醇 cis-Isogeraniol	B33	2.12±0.00bc	2.07±0.00c	2.11±0.00bc	2.24±0.03a	2.28±0.07a	2.17±0.02b
合计 Total		411.65±6.28	401.71±15.61	413.35±24.02	425.00±21.58	437.51±15.57	425.42±11.18

表 5 ‘瑞都红玉’组合中结合态化合物的浓度  
Table 5 The concentration of glycoside-bound compounds in Ruiduhongyu ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )

化合物 Compound	编号 Code	HY	HY/1103P	HY/110R	HY/3309M	HY/5BB	HY/SO4
(E)-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol	B1	1.86±0.42a	0.51±0.72b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.42±0.60b
(Z)-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol	B2	2.08±0.11	2.43±0.12	1.59±0.22	1.96±0.41	1.89±0.09	1.92±0.20
合计 Total		3.93±0.53a	2.94±0.60ab	1.59±0.22c	1.96±0.41bc	1.89±0.09c	2.34±0.40bc
3-辛烯醇 3-Octenol	B3	0.41±0.00	0.42±0.01	0.39±0.18	0.34±0.03	0.36±0.02	0.37±0.02
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	B4	1.28±0.07	1.28±0.00	1.22±0.03	1.21±0.15	1.16±0.05	1.26±0.03
1-正辛醇 1-Octanol	B5	0.45±0.00	0.45±0.00	0.40±0.01	0.41±0.03	0.42±0.01	0.42±0.01
3-辛醇 3-Octanol	B6	0.39±0.00a	0.38±0.00bc	0.36±0.00d	0.37±0.00c	0.39±0.01a	0.39±0.01ab
6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	B7	23.86±0.33	20.75±0.42	15.27±2.10	26.38±5.71	22.77±4.27	16.11±4.12
苯甲醇 Benzyl alcohol	B8	415.88±0.80bc	418.67±0.62abc	414.10±2.81c	421.67±4.40ab	424.34±2.96a	421.78±0.74ab
$\beta$ -苯乙醇 $\beta$ -Phenylethyl alcohol	B9	410.39±0.26	410.06±0.76	409.33±1.12	410.23±1.25	411.19±1.00	411.47±0.01
合计 Total		852.67±0.65	852.01±0.96	841.06±6.26	860.61±11.58	860.62±0.23	851.80±3.33
trans-氧化玫瑰 trans-Rose oxide	B10	7.43±0.03a	7.36±0.01a	7.08±0.01b	7.31±0.10a	7.43±0.11a	7.39±0.04a
cis-氧化玫瑰 cis-Rose oxide	B11	8.72±0.09ab	8.52±0.01b	7.68±0.02c	8.34±0.33b	9.16±0.30a	8.62±0.11b
橙花醚 Nerol oxide	B12	0.81±0.06ab	0.69±0.01bc	0.32±0.00d	0.55±0.08c	0.97±0.15a	0.88±0.06a
里那醇 Linalool	B13	18.71±0.36c	19.74±0.03bc	16.01±1.04c	24.90±3.73ab	30.15±3.68a	25.01±1.39ab
脱氢里那醇 Hotrienol	B14	0.16±0.02cd	0.21±0.01bc	0.12±0.01d	0.25±0.03b	0.38±0.07a	0.29±0.03b
$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	B15	7.07±0.02b	7.05±0.06b	6.63±0.06c	7.03±0.18b	7.47±0.14a	7.19±0.04b
吡喃型氧化里那醇 Linalool oxide pyranoside	B16	5.34±0.03	5.26±0.01	5.28±0.00	5.28±0.02	5.36±0.05	5.32±0.02
香茅醇 Citronellol	B17	14.14±0.14	14.44±0.24	13.18±0.49	14.47±0.87	15.27±0.54	13.93±0.29
橙花醇 Nerol	B18	24.78±0.34a	22.94±0.45ab	19.14±1.23c	22.17±2.41ab	22.70±1.04ab	20.56±0.37bc
香叶醇 Geraniol	B19	33.17±0.47a	9.54±0.20bc	7.83±0.81c	9.81±1.20b	10.57±0.77b	9.40±0.31bc
cis-呋喃型氧化里那醇 cis-Furan linalool oxide	B20	2.08±0.01b	2.06±0.00b	2.08±0.00b	2.07±0.02b	2.14±0.03a	2.09±0.01b
$\beta$ -月桂烯 $\beta$ -Myrcene	B21	62.85±1.41	54.85±1.95	55.49±3.85	55.20±2.10	55.38±1.00	56.07±0.16
$\beta$ -水芹烯 $\beta$ -Phellandrene	B22	6.27±0.31	6.46±0.45	6.94±0.39	6.68±1.21	6.65±0.38	5.88±0.16
D-柠檬烯 D-Limonene	B23	12.16±0.25	10.33±1.02	8.42±0.62	13.24±2.83	10.49±0.73	10.11±0.28
$\beta$ -cis-罗勒烯 $\beta$ -cis-Ocimene	B24	56.19±0.73a	46.28±0.83b	43.58±0.12c	47.05±1.39b	47.94±0.23b	46.18±0.36b
$\beta$ -trans-罗勒烯 $\beta$ -trans-Ocimene	B25	63.56±0.41a	56.84±0.00c	54.92±0.23d	56.96±0.60bc	57.92±0.62b	56.60±0.20c
别罗勒烯 Allo-Ocimene	B26	22.84±0.14a	21.06±0.40c	20.49±0.03d	21.53±0.17b	21.69±0.09b	21.42±0.05bc
(E,Z)-别罗勒烯 (E,Z)-Allo-Ocimene	B27	22.81±0.05a	21.49±0.06b	20.90±0.36c	21.58±0.20b	21.74±0.09b	21.51±0.06b
$\gamma$ -松油烯 $\gamma$ -Terpinene	B28	5.18±0.17	5.51±0.37	5.33±0.18	5.57±0.85	5.61±0.34	5.07±0.07
异松油烯 Terpinolen	B29	10.29±0.18a	9.27±0.59bc	8.49±0.22c	9.33±0.11bc	9.46±0.52ab	9.46±0.09ab
香叶醛 Geranial	B30	5.48±0.30a	4.25±0.02b	4.11±0.05b	4.29±0.14b	4.33±0.29b	4.43±0.05b
香叶酸 Geranic acid	B31	50.60±0.24a	39.90±0.50b	42.12±0.95b	41.66±2.10b	47.69±3.63a	48.07±2.09a
橙花醛 Neral	B32	4.25±0.05a	4.00±0.01b	3.82±0.01c	3.93±0.06bc	4.23±0.13a	4.24±0.04a
cis-异香叶醇 cis-Isogeraniol	B33	2.23±0.06c	2.44±0.00ab	2.25±0.03c	2.48±0.10a	2.44±0.03ab	2.34±0.01bc
合计 Total		447.11±0.51a	380.52±2.64cd	362.20±0.35d	391.66±16.61bc	407.15±10.24b	392.07±5.98bc



A：游离态化合物。F1—F10：C6/C9 化合物；F11—F18：醇类；F19—F21：脂肪酸；F22—F27：醛酮类；F28—F31：降异戊二烯类；F32—F56：萜烯类。B：结合态化合物。B1—B2：C6/C9 化合物；B3—B9：醇类；B10—B33：萜烯类  
A: Free compound. F1-F10: C6/C9 compounds; F11-F18: Alcohols; F19-F21: Fatty acids; F22-F27: Carbonyl compound; F28-F31: Norisoprenoids; F32-F56: Terpenoids. B: Bound compound. B1-B2: C6/C9 compounds; B3-B9: Alcohols; B10-B33: Terpenoids

图 1 不同砧穗组合化合物的主成分分析  
Fig. 1 PCA Analysis of compounds in different scion-rootstock combination

2.4 不同砧穗组合中特征化合物的回归分析

针对两个品种各种砧穗组合中的游离态化合物开展正交偏最小二乘法分析(OPLS-DA)。对‘瑞都香玉’而言,XY/3309M 中筛选不到特征化合物,其他 4 种砧木均能筛选出特征化合物,从回归模型得分图上可以看出 4 种砧木非常明显地将其他砧穗组合区分开(附图 1)。拟合度检验之后的  $R^2X$ 、 $R^2Y$ 、 $Q^2Y$  值均在 0.764—0.992,表明该回归模型有较好的预测能力(表 6)。嫁接苗和自根苗之间

的特征化合物变量分析表明,在各个砧穗组合中共有 18 种 VIP 得分大于 1 的特征化合物,其中有 5 个特征化合物从 XY/1103P 中筛选出来,分别为 2-己烯醛、里那醇、己醛、萜品油烯和  $\beta$ -月桂烯;有 9 个特征化合物从 XY/110R 中筛选出来,比 XY/1103P 多了 (*E*)-2-己烯醇、1-己醇、香叶酸和醋酸;有 6 个特征化合物从 XY/5BB 中筛选出来,有 14 个特征化合物从 XY/SO4 中筛选出来。2-己烯醛、里那醇、己醛是 4 种砧穗组合的共有特征化

合物（附表 2）。

对‘瑞都红玉’而言，所有 5 种砧木都能筛选出特征化合物。拟合度检验之后的 R<sup>2</sup>X、R<sup>2</sup>Y、Q<sup>2</sup>Y 值都在 0.498—0.946。其中，1-己醇、香叶酸和里那醇是所有砧穗组合中共有的特征化合物（附表 2、附图 2）。

表 6 各砧穗组合中游离态化合物的正交偏最小二乘法验证

Table 6 Validation of OPLS-DA models on free form compounds for the comparison between each grafted vine and others

正交偏最小二乘法模型 OPLS-DA Model	组分 Component	R <sup>2</sup> X (cum)	R <sup>2</sup> Y (cum)	Q <sup>2</sup> Y (cum)	R <sup>2</sup> Y Intercept	Q <sup>2</sup> Y Intercept
HY/others vs. HY/1103P	1+4	0.969	0.998	0.961	0.853	-0.9
HY/others vs. HY/110R	1+3	0.955	0.925	0.675	0.735	-1.13
HY/others vs. HY/3309M	1+4	0.972	0.988	0.887	0.839	-1.16
HY/others vs. HY/5BB	1+3	0.941	0.890	0.563	0.763	-1.11
HY/others vs. HY/SO4	1+0	0.673	0.117	-0.0125	0.263	-0.285
XY/others vs. XY/1103P	1+2	0.967	0.908	0.577	0.497	-1.29
XY/others vs. XY/110R	1+2	0.977	0.968	0.915	0.491	-1.14
XY/others vs. XY/3309M	0+0	—	—	—	—	—
XY/others vs. XY/5BB	1+1	0.943	0.646	0.445	0.376	-0.631
XY/others vs. XY/SO4	1+2	0.966	0.943	0.72	0.495	-0.979

2.5 不同砧穗组合的香气轮廓分析

香气值 (odor activity value, OAV) 是评价葡萄及葡萄酒中挥发性成分对香气贡献的一个常规指标，通常由挥发性成分的浓度除以其感官阈值得到，当化合物 OAV>1 时认为该化合物对整体的香气起到贡献作用；且 OAV 值越大，贡献也越大。化合物的感官阈值与香气描述均参考已发表的文献<sup>[11-18]</sup>（附表 3），化合物溶解介质为水溶液，计算所有样品的每个化合物的 OAV 值，筛选 OAV 值大于 1 的化合物（附表 4—7），并将化合物按其气味特征进行分类，对样品的香气轮廓进行模拟。将葡萄香气类型分为 10 类：1=玫瑰香、2=青草香、3=柠檬香、4=柑橘香、5=薄荷味、6=蘑菇味、7=脂肪味、8=甜味、9=其他花香、10=其他果香。

在‘瑞都香玉’品种的游离态香气化合物中，共有 24 种化合物的浓度大于阈值，己醛、3-己醛、β-大马酮、*cis*-氧化玫瑰、*trans*-氧化玫瑰、里那醇、β-月桂烯等具有非常高的香气值，赋予葡萄青草香、玫瑰香、柑橘香等其他花香和果香等香气特征。在‘瑞都红玉’品种的游离态香气物质中，共有 14 种化合物浓度大于阈值，*E*-2-壬烯醛、*cis*-氧化玫瑰、*trans*-氧化玫瑰、里那醇等具有较高的香气值。

从图 2-A 可以看出，‘瑞都香玉’嫁接苗和自根苗香气轮廓基本一致，主要由青草香、柑橘香、其他

花香和其他果香构成，除 XY/5BB 外，其他 4 种砧木的青草香、柑橘香、其他花香和其他果香味均显著高于自根苗，其中 XY/1103P 中己醛的香气值高达 2205.31，里那醇的香气值高达 1 979.61。‘瑞都红玉’品种的嫁接苗和自根苗的香气轮廓基本一致，主要由柑橘香、其他花香和其他果香构成，5 种砧木的柑橘香、花香与果香均显著高于自根苗，且 HY/5BB 的香味最高。

在‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’的结合态香气物质中，共有 6 种化合物浓度大于阈值，*cis*-氧化玫瑰和 *trans*-氧化玫瑰具有较高的香气值，可赋予葡萄玫瑰香的香气特征。从图 2-B 可看出，两个品种不同砧穗组合香味类型基本一致，XY/3309M、XY/5BB、XY/SO4 的玫瑰香味显著高于自根苗，其他香味均无显著性差异，HY/5BB 的玫瑰香味显著高于自根苗。

3 讨论

3.1 不同砧木影响葡萄果实生长和理化指标

近年来，嫁接技术在许多国家得到广泛应用，葡萄砧木的使用提高了抗逆性，扩大了葡萄的栽培地域和面积。砧木对葡萄生长发育和浆果品质有一定的影响，因此，砧穗组合的研究一直受到关注。魏灵珠等<sup>[19]</sup>研究了鲜食葡萄品种‘新雅’嫁接在 20 种不同砧木上的表现，发现 5BB 和 101-14 显著提高了果穗重。

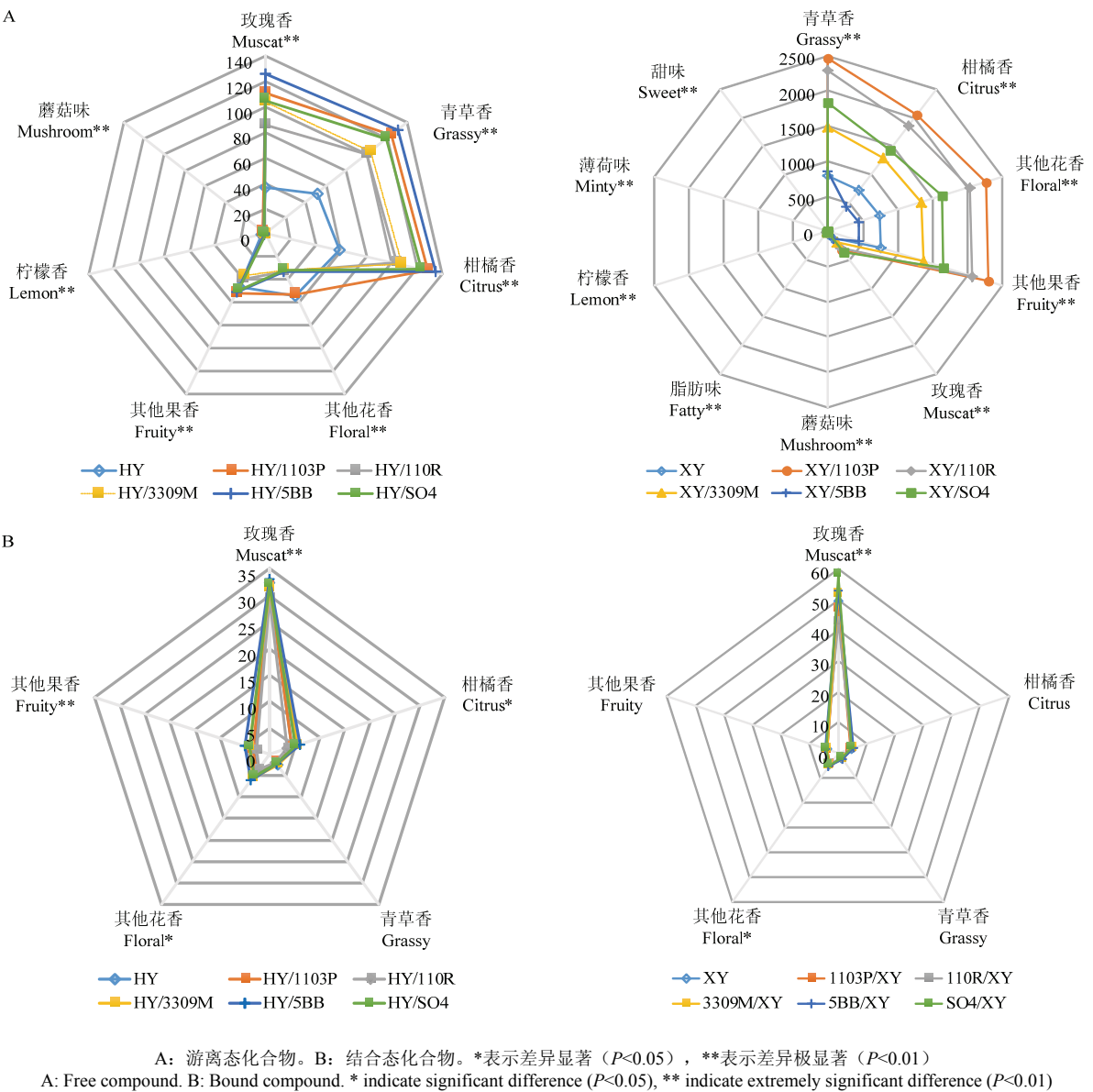


图 2 不同砧穗组合化合物的香气轮廓

Fig. 2 The aroma profile of aromatic compounds in different scion-rootstock combinations

本研究发现，‘瑞都香玉’嫁接在 SO4 上，果穗重显著高于自根苗，而‘瑞都红玉’嫁接在 110R 上，果穗重显著高于自根苗，只有 3309M 对两个品种的果实重量无显著影响。REYNOLDS 等<sup>[20]</sup>发现 5BB、SO4、5C 和 3309C 可以提高葡萄可溶性固形物含量(TSS)，但对可滴定酸(TA)含量无影响；李敏敏等<sup>[21]</sup>发现冬葡萄×河岸葡萄的砧木 5BB、SO4、5C、188-08 可显著提高‘赤霞珠’果实 TSS，河岸葡萄×沙地葡萄的砧木 3309C 和 101-14M 可促进早熟，显著降低 TA，可能是嫁接品种的基因型差异导致，也可能受到气候

土壤等条件影响。糖和酸的含量在很大程度上决定了鲜食葡萄的感官品质和风味，沈碧薇等<sup>[22]</sup>的研究表明，‘瑞都红玉’嫁接在‘华佳 8 号’上，可溶性固形物含量和固酸比显著提高，优于其他砧木。也有报道认为砧木对葡萄的可溶性固形物含量影响不大<sup>[23-24]</sup>。本研究中 XY/5BB 的 TSS 显著高于自根苗，‘瑞都红玉’各组合的 TSS 无显著性差异，其他砧木对于提高接穗品种的成熟度也无显著作用。砧木显著提高了‘瑞都红玉’的可滴定酸含量，继而降低了固酸比。砧木对‘瑞都香玉’的可滴定酸含量无显著影响，保持了果

实 TSS/TA 的水平,从而保持了果实风味。

一般认为不同的砧木根系结构的差异导致了对水和矿质营养的吸收能力不同<sup>[5]</sup>,例如对氮素的吸收能力和利用效率不同导致果实生理生化指标的差异;另外,砧木通过影响接穗品种的生长势、成熟期及果穗微气候,导致果实理化指标的改变,有研究表明砧木也可以通过调控果实中精氨酸和脯氨酸的比例来影响糖分的积累<sup>[25]</sup>,钾离子可以沉淀果汁中的酒石酸,因此很大程度上影响可滴定酸含量<sup>[26]</sup>,不同砧木、接穗品种、土壤条件下钾离子吸收能力不同,比如甜冬葡萄和沙地葡萄对矿质元素的吸收能力比较强,主要原因是基因型差异导致<sup>[27]</sup>。

### 3.2 不同砧木影响葡萄果实香气品质

目前,关于砧木对葡萄果实香气化合物的影响十分有限。WANG 等<sup>[3]</sup>研究了不同砧木对酿酒葡萄‘赤霞珠’香气成分的影响,结果表明 110R、Riparia Gloire 和 SO4 降低了酯类化合物含量,而 101-14、Ganzin 1、110R 和 5BB 提高了降异戊二烯类化合物的含量。CHENG 等<sup>[4]</sup>则研究了 101-14、1103P、Beta、5BB 和 SO4 对‘霞多丽’品种香气品质的影响,发现游离态的苯乙醛、结合态的 1-辛烯-3-醇、结合态的 (*E*)-2-壬醛、结合态的-1,2,4-三甲基苯和结合态的 1,2,3,4-四甲基苯这 5 种化合物是区分自根苗和嫁接苗果实香气特征的关键化合物。由于香气化合物组成和浓度与葡萄品种、年份及风土等因素密切相关,嫁接试验中这些因素与砧木的互作可能使砧木对香气化合物的影响复杂化。本研究中,对于游离态化合物的种类来说,除 5BB 对两个品种的化合物种类均没有影响外,其他 4 种砧木都会影响嫁接后果实中游离态化合物种类。就香气化合物浓度而言,砧木对‘瑞都红玉’组合游离态化合物浓度的影响比较小,而 1103P、110R 和 SO4 显著增加了‘瑞都香玉’的游离态化合物总量,5BB 则对‘瑞都香玉’各类游离态化合物的浓度表现出显著的抑制作用。此外,同一砧木分别与‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’嫁接,对果实的特征香气化合物的影响也存在差异,这些结果均强调了接穗品种与砧木互作对香气化合物影响的重要性。通过比较两个品种葡萄果实的香气化合物发现,‘瑞都香玉’比‘瑞都红玉’具有更高的 *cis*-氧化玫瑰含量,可归因于高浓度的香茅醇,香茅醇可作为前体经溴化甲氧基化、消除、酸诱导环合三步反应合成氧化玫瑰<sup>[28]</sup>,因此,在游离态和结合态的化合物相关性分析中,香茅醇与氧化玫瑰具有较强的相关性。萜烯是玫瑰香型葡萄中柑橘香

和花香的主要贡献化合物,对鲜食葡萄的香气表现尤为重要。值得注意的是,本研究中 1103P、110R 和 SO4 对‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’的游离态萜烯类化合物的积累均具有促进作用。砧木可以间接地通过影响葡萄植株的库源关系和果穗微环境从而导致葡萄果实香气化合物的差异。

萜烯化合物的合成与光照条件密切相关,生长势相对较弱的砧穗组合其果穗曝光量可能相对较高<sup>[29]</sup>,从而有利于萜烯化合物在葡萄果实中积累。砧木也可直接地影响与香气化合物代谢相关的基因表达和蛋白合成而调控香气化合物的积累,前人研究表明砧木在胁迫条件下对葡萄基因表达的影响更明显<sup>[30]</sup>。然而,ZOMBARDI 等<sup>[31]</sup>发现即使在非胁迫条件下,抗旱性较强的 1103P 有利于 MYB14 的合成从而上调 *VviSTS* 表达,促进对水分亏缺响应非常敏感的芪类化合物合成。本研究中,1103P、110R 和 SO4 均属于抗旱性的砧木,且前人的研究表明在干旱胁迫条件下葡萄果实萜烯化合物的合成显著提高<sup>[32]</sup>,因此,推测本研究中尽管采用避雨栽培和滴灌供水不会造成干旱胁迫,但抗旱性较强的 1103P、110R 和 SO4 可能依然会上调‘瑞都香玉’和‘瑞都红玉’葡萄果实中萜烯合成的关键基因的表达而促进萜烯化合物的合成,这有待进一步的研究。此外,小分子物质(如水、离子、氨基酸和激素等)和大分子物质(如 miRNA、蛋白等)均可通过愈合部在砧木和接穗间移动<sup>[33-35]</sup>。近年来的研究发现,miRNA 在不同嫁接组合的接穗中丰度的差异也可能导致接穗表型改变<sup>[36]</sup>。本研究中,1103P、110R 和 SO4 对萜烯化合物的影响可能也与 miRNA 的丰度有关。

## 4 结论

1103P、110R、3309、5BB、SO4 等 5 种砧木对‘瑞都红玉’组合游离态化合物浓度的影响比较小,砧木对两个品种结合态化合物的含量则无显著影响。1103P、110R 和 SO4 可显著增加‘瑞都香玉’的游离态化合物总量,5BB 则对‘瑞都香玉’各类游离态化合物的浓度表现出显著的抑制作用。从游离态的香气轮廓来看,1103P、110R 和 SO4 三种砧木均能显著提高葡萄的玫瑰香味。

## 参考文献 References

- [1] 孙磊,朱保庆,王晓玥,孙晓荣,闫爱玲,张国军,王慧玲,徐海英. 早中熟鲜食葡萄 5 个品种及其亲本果实单萜成分分析. 园艺学报,



- 2016, 43(11): 2109-2118.
- SUN L, ZHU B Q, WANG X Y, SUN X R, YAN A L, ZHANG G J, WANG H L, XU H Y. Monoterpene analysis of five middle-early ripening table grape varieties and their parents. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(11): 2109-2118. (in Chinese)
- [2] 张克坤, 王海波, 王孝娣, 史祥宾, 王宝亮, 郑晓翠, 刘凤之. ‘瑞都香玉’葡萄果实挥发性成分在果实发育过程中的变化. *中国农业科学*, 2015, 48(19): 3965-3978.
- ZHANG K K, WANG H B, WANG X D, SHI X B, WANG B L, ZHENG X C, LIU F Z. Evolution of volatile compounds during the berry development of ‘Ruidu Xiangyu’ grape. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(19): 3965-3978. (in Chinese)
- [3] WANG Y, CHEN W K, GAO X T, HE L, YANG X H, HE F, DUAN C Q, WANG J. Rootstock-mediated effects on Cabernet Sauvignon performance: vine growth, berry ripening, flavonoids, and aromatic profiles. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20: 401.
- [4] CHENG J, LI H Q, WANG W R, DUAN C Q, WANG J, HE F. The influence of rootstocks on the scions’ aromatic profiles of *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay. *Scientia Horticulturae*, 2020, 272: 109517.
- [5] JIN Z X, SUN H, SUN T Y, WANG Q J, YAO Y X. Modifications of ‘gold finger’ grape berry quality as affected by the different rootstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(21): 4189-4197.
- [6] JIN Z X, SUN T Y, SUN H, YUE Q Y, YAO Y X. Modifications of Summer Black grape berry quality as affected by the different rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 2016, 210: 130-137.
- [7] 徐海英, 张国军, 闫爱玲. 早熟葡萄新品种‘瑞都香玉’. *园艺学报*, 2009, 36(6): 929.
- XU H Y, ZHANG G J, YAN A L. A new early maturity grape Cultivar ‘Ruidu Xiangyu’. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(6): 929. (in Chinese)
- [8] 张国军, 闫爱玲, 孙磊, 王晓玥, 王慧玲, 任建成, 徐海英. 早熟、红色玫瑰香味葡萄新品种‘瑞都红玉’的选育. *果树学报*, 2016, 33(12): 1592-1595.
- ZHANG G J, YAN A L, SUN L, WANG X Y, WANG H L, REN J C, XU H Y. A new early ripening red table grape cultivar with muscat flavor ‘Ruidu Hongyu’. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(12): 1592-1595. (in Chinese)
- [9] 王晓玥, 张国军, 孙磊, 赵印, 闫爱玲, 王慧玲, 任建成, 徐海英. 2 种架式对 3 个鲜食葡萄品种栽培性状及果实品质的影响. *中国农业科学*, 2019, 52(7): 1150-1163.
- WANG X Y, ZHANG G J, SUN L, ZHAO Y, YAN A L, WANG H L, REN J C, XU H Y. Effects of two trellis systems on viticultural characteristics and fruit quality of three table grape cultivars. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(7): 1150-1163. (in Chinese)
- [10] SUN L, ZHU B Q, ZHANG X Y, WANG H L, YAN A L, ZHANG G J, WANG X Y, XU H Y. The accumulation profiles of terpene metabolites in three Muscat table grape cultivars through HS-SPME-GCMS. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 5.
- [11] WEN Y Q, ZHONG G Y, GAO Y, LAN Y B, DUAN C Q, PAN Q H. Using the combined analysis of transcripts and metabolites to propose key genes for differential terpene accumulation across two regions. *BMC Plant Biology*, 2015, 15: 240.
- [12] NOGUEROL-PATO R, GONZALEZ-BARREIRO C, CANCHO-GRANDE B, MARTINEZ M C, SANTIAGO J L, SIMAL-GANDARA J. Floral, spicy and herbaceous active odorants in Gran Negro grapes from shoulders and tips into the cluster, and comparison with Brancellao and Mouratón varieties. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 2771-2782.
- [13] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma. *Flavour and Fragrance Journal*, 2006, 21(2): 207-213.
- [14] 张文文, 吴玉森, 陈毓谨, 郑奇志, 马超, 许文平, 张才喜, 王世平. 3 种巨峰系葡萄的香气特征. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2018, 36(5): 51-59, 66.
- ZHANG W W, WU Y S, CHEN Y J, ZHENG Q Z, MA C, XU W P, ZHANG C X, WANG S P. Aroma characteristics of three Kyoho grapevine series. *Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2018, 36(5): 51-59, 66. (in Chinese)
- [15] WU Y S, DUAN S Y, ZHAO L P, GAO Z, LUO M, SONG S R, XU W P, ZHANG C X, MA C, WANG S P. Aroma characterization based on aromatic series analysis in table grapes. *Scientific Reports*, 2016, 6: 31116.
- [16] PINEAU B, BARBE J C, VAN LEEUWEN C, DUBOURDIEU D. Which impact for  $\beta$ -damascenone on red wines aroma? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(10): 4103-4108.
- [17] FENOLL J, MANSO A, HELLIN P, RUIZ L, FLORES P. Changes in the aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Muscat Hamburg during ripening. *Food Chemistry*, 2009, 114(2): 420-428.
- [18] 蔡建. 发酵前处理工艺对天山北麓‘赤霞珠’葡萄酒香气改良研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- CAI J. Study on aroma quality improvement for Cabernet Sauvignon wines based on pre-fermentation technology from north slope of Tianshan mountains [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [19] 魏灵珠, 沈碧薇, 程建徽, 向江, 崔鹏飞, 李明山, 吴江. 砧木对‘新雅’葡萄生长及果实品质的影响. *果树学报*, 2020, 37(9):

- 1346-1357.
- WEI L Z, SHEN B W, CHENG J H, XIANG J, CUI P F, LI M S, WU J. Effect of different rootstocks on growth and quality of 'Xinya' grape. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(9): 1346-1357. (in Chinese)
- [20] REYNOLDS A G, WARDLE D A. Rootstocks impact vine performance and fruit composition of grapes in British Columbia. *Horticulture Technology*, 2001, 11(3): 419-427.
- [21] 李敏敏, 袁军伟, 刘长江, 韩斌, 黄家珍, 郭紫娟, 赵胜建. 砧木对河北昌黎产区赤霞珠葡萄生产和果实品质的影响. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 59-63.
- LI M M, YUAN J W, LIU C J, HAN B, HUANG J Z, GUO Z J, ZHAO S J. Effects of rootstocks on the growth and berry quality of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon grapevine in Changli zone, Hebei Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 59-63. (in Chinese)
- [22] 沈碧薇, 魏灵珠, 崔鹏飞, 程建徽, 向江, 吴江. 不同砧木对 '瑞都红玉' 葡萄生长结果与果实品质的影响. *果树学报*, 2020, 37(3): 350-361.
- SHEN B W, WEI L Z, CUI P F, CHENG J H, XIANG J, WU J. Effects of different rootstocks on the growth and berry quality in 'Ruidu Hongyu' grapevines. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(3): 350-361. (in Chinese)
- [23] NUZZO V, MATTHEWS M. Response of fruit growth and ripening to crop level in dry-farmed cabernet sauvignon on four rootstocks. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2006, 57: 314-324.
- [24] WOOLDRIDGE J, LOUW P J E, CONRADIE W J. Effects of rootstock on grapevine performance, petiole and must composition, and overall wine score of *Vitis vinifera* cv. Chardonnay and Pinot Noir. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2010, 31(1): 45-48.
- [25] BERDEJA M, HILBERT G, DAI Z W, LAFONTAINE M, STOLL M, SCHULTZ H, DELROT S. Effect of water stress and rootstock genotype on Pinot Noir berry composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2014, 20: 409-421.
- [26] GACIA M, IBRAHIM H, GALLEGO P, PUIG P H. Effect of three rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Negrette, grown hydroponically. I. Potassium, calcium and magnesium nutrition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2001, 22: 101-103.
- [27] JOGAIAH S, OULKAR D P, BANERJEE K, SHARMA J, PATIL A G, MASKE S R, SOMKUWAR R G. Biochemically induced variations during some phenological stages in Thompson Seedless grapevines grafted on different rootstocks. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2013, 34: 36-45.
- [28] LUAN F, MOSANDL A, MUNCH A, WUST M. Metabolism of geraniol in grape berry mesocarp of *Vitis vinifera* L. cv. Scheurebe: Demonstration of stereoselective reduction, E/Z isomerization, oxidation and glycosylation. *Phytochemistry*, 2005, 66(3): 295-303.
- [29] HE L, XU X Q, WANG Y, CHEN W K, SUN R Z, CHENG G, LIU B, CHEN W, DUAN C Q, WANG J, PAN Q H. Modulation of volatile compound metabolome and transcriptome in grape berries exposed to sunlight under dry-hot climate. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 59.
- [30] DELAUNOIS B, COLBY T, BELLOY N, CONREUX A, HARZEN A, BAILLIEUL F, CLÉMENT C, SCHMIDT J, JEANDET P, CORDELIER S. Large-scale proteomic analysis of the grapevine leaf apoplastic fluid reveals mainly stress-related proteins and cell wall modifying enzymes. *BMC Plant Biology*, 2013, 13: 24.
- [31] ZOMBARDO A, CROSATTI C, BAGNARESI P, BASSOLINO L, RESHEF N, PUCCIONI S, FACCIOLO P, TAFURI A, DELLEDONNE M, FAIT A, STORCHI P, CATTIVELLI L, MICA E. Transcriptomic and biochemical investigations support the role of rootstock-scion interaction in grapevine berry quality. *BMC Genomics*, 2020, 21(1): 468.
- [32] GAMBETTA G A, HERRERA J C, DAYER S, FENG Q, HOCHBERG U, CASTELLARIN S D. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 2020, 71(16): 4658-4676.
- [33] ALBACETE A, MARTÍNEZ-ANDÚJAR C, MARTÍNEZ-PÉREZ A, THOMPSON A J, DODD I C, PÉREZ-ALFOCEA F. Unravelling rootstock × scion interactions to improve food security. *Journal of Experimental Botany*, 2015, 66(8): 2211-2226.
- [34] HARADA T. Grafting and RNA transport via phloem tissue in horticultural plants. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125 (4), 545-550.
- [35] QIU L L, JIANG B, FANG J, SHEN Y K, FANG Z X, RM S K, YI K K, SHEN C J, YAN D L, ZHENG B S. Analysis of transcriptome in hickory (*Carya cathayensis*), and uncover the dynamics in the hormonal signaling pathway during graft process. *BMC Genomics*, 2016, 17(1): 935.
- [36] WARSCHESKY E J, KLEIN L L, FRANK M H, CHITWOOD D H, LONDO J P, VON-WETTBERG E J B, MILLER A J. Rootstocks: Diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends in Plant Science*, 2016, 21(5): 418-437.

(责任编辑 赵伶俐)