

27份葡萄品种资源香味性状鉴定研究

王 勇, 孙 锋, 李玉玲, 苏来曼·艾则孜, 伍国红, 郭平峰

(新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所, 吐鲁番 838200)

摘要: 对吐鲁番地区核心葡萄品种资源的香味性状进行综合评价研究, 为葡萄香味品种选育提供可靠数据, 以提高育种效率。以27份葡萄品种资源为试验材料, 通过果实香味表型鉴定、萜类物质测定、主要萜类物质调控基因位点分型测定研究, 对资源进行综合鉴定, 研究品种间的香味性状差异, 筛选优异香味育种材料。27份品种表现草莓香、无香、玫瑰香、混合香等4种香型。共检测到26种萜类物质, 在4种香型品种中均有分布, 但在物质种类和含量上存在显著差异, 玫瑰香型品种的萜类物质种类和含量高于草莓香型和无香型品种; 玫瑰香型品种间也存在显著差异, 香味浓郁品种的萜类物质种类和含量高于香味清淡品种; 混合香型品种的橙花醇、香茅醇、玫瑰醚含量高于其他3种香型品种的平均含量。里那醇、香叶醇、橙花醇、香茅醇、玫瑰醚等为玫瑰香型品种的主要萜类物质。27份品种的主要萜类物质调控基因位点基因型表现为显性纯合型T/T、显性杂合型G/T、隐性纯合型G/G。阳光玫瑰和早康宝为T/T型, 无核白、红地球、巨峰、白香蕉、无核白鸡心、SP1153为G/G型, 其他品种均为G/T型。研究认为阳光玫瑰、早康宝是理想的玫瑰香味育种材料, 早收麝香、香妃、贵妃玫瑰、意大利、绿洲宝石、无核翠宝等品种具有浓郁或较浓郁的玫瑰香味且携带香味显性杂合基因G/T, 可以考虑用作育种材料, 通过自交或品种间杂交, 选育香味品种, 将能提高育种效率。葡萄DXS基因KASP SNP分型检测是鉴定玫瑰香型品种或杂交后代单株的有效手段。

关键词: 葡萄; 品种资源; 香味; 萜类物质; 基因分型

Deciphering the Aroma Profiles of 27 Grape Varieties Resources

WANG Yong, SUN Feng, LI Yuling, SU Laiman · AI Zezi, WU Guohong, GUO Pingfeng

(Research Institute of Grape and Melon of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Turpan 838200)

Abstract: The aroma profiles of core grape germplasm resources in the Turpan region were evaluated to provide reliable data for the improvement of the breeding efficiency of different aromatic grape varieties. In this study, the terpenoid profiles and the genetic loci controlling these components were analyzed in 27 grape varieties. The fruit aromatic phenotypes were analyzed and compared among the different varieties to identify aromatic types most suitable for breeding. These varieties were classified based on four flavors, namely, strawberry, no aroma, rose, and mixed aroma. Twenty-six terpenoids were detected in these varieties. While these terpenoids were found in all aromatic categories, there were significant differences in the compounds and concentrations between the different categories. The rose-flavored varieties showed higher terpenoid concentrations than the varieties with strawberry or no aroma. The significant differences were also observed among the different rose-flavored varieties. The content of nericanol, citronel and rose ether was higher than the average content of the other three fragrant varieties. The main terpenoids identified in the rose-flavored varieties were linalol, geraniol, nerolol, citronellol. At the major terpene regulatory genetic loci, three genotypes including the dominant homozygous T/T, heterozygous G/T, and recessive G/G were detected in the 27 grape varieties. Sunshine Rose and Zaokangbao were T/T; coreless white, Red Earth, Jufeng, white banana, coreless

收稿日期: 2023-03-01 修回日期: 2023-04-02 网络出版日期: 2023-04-28

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230301001>

第一作者研究方向为葡萄资源与育种, E-mail: wangyong3711100@163.com

通信作者: 孙 锋, 研究方向为葡萄资源、育种及品种推广应用, E-mail: sunfeng8302871@163.com

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项基金(CARS-29-yc-7); 新疆维吾尔自治区创新环境(人才、基地)建设专项(PT2029)

Foundation projects: Modern Agro-industry Technology Research System (CARS-29-yc-7); Xinjiang Uygur Autonomous Region Innovation Environment (Talent, Base) Construction Project (PT2029)

white heart, and SP1153 were G/G; other varieties were G/T. The findings suggested that Sunshine Rose and Zaokangbao were ideal breeding materials for the rose aroma. Zaoshou Musk, fragrant Concubine, noble Concubine rose, Italy, oasis gem, and seedless Cuibao varieties had strong or relatively strong rose aroma and carried the heterozygous G/T genotype, and these varieties could be used for breeding via by self-crossing or cross-breeding.

Key words: grape; variety resources; aroma; terpenes; genotyping

葡萄(*Vitis* L.)是我国重要的果树树种^[1],因营养物质丰富、用途多样,在经济发展和生活中具有重要的意义。吐鲁番地区是我国主要的葡萄产区,以得天独厚的气候和自然条件,使葡萄在品质上闻名国内外^[2]。但随着人民生活水平的提高,对葡萄果实品质的要求也越来越高,而香味是葡萄果实品质的重要指标之一。吐鲁番地区主要以无核白种植为主,无核白鸡心、波尔莱特、无核紫、火焰无核等品种有少量种植^[3],目前缺乏适应当地种植的综合性状优异的香味品种。根据当地栽培条件开展香味品种资源综合评价和香味品种选育,对当地葡萄产业发展具有重要意义。葡萄果实中的香气物质以游离状态和结合状态存在,游离状态具有挥发性,可以刺激人类的嗅觉和味觉,形成果实香气;结合状态在酸或酶的作用下水解转变为游离状态。游离状态香气物质有醛类、萜烯类、酯类及芳香物质等,它们在果实中存在累加、协同、抑制等关系,通过种类、浓度、成份间的相互作用等因素形成了果实的不同香型^[4]。葡萄按果实香味类型,分为草莓香型、无香味类型、玫瑰香型^[5]。草莓香型葡萄果实主要特征香气物质为酯类物质,主要有乙酸乙酯、丁酸乙酯、2-丁烯酸乙酯和2-己烯酸乙酯等^[6]。无香味类型葡萄果实主要特征香气物质为少量的萜烯类和酯类物质,主要是醛类和醇类化合物,香气特征不明显^[7]。玫瑰香型葡萄果实主要特征香气物质为萜烯类物质,主要有香叶醇、里那醇、橙花醇、香茅醇、 α -松油醇等^[8]。Battilana等^[9]挖掘出调控香叶醇、里那醇、橙花醇等物质形成的候选基因*DXS*(1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate synthase),该基因位于LG5上。Luan等^[10]证实*DXS*基因调控萜类物质代谢。Emanuelli等^[11]认为葡萄果实玫瑰香味是由*VvDXS*基因的SNP突变引起的,该位点突变造成第284个氨基酸由赖氨酸转为天冬酰胺。孙磊等^[12]研究认为*VvDXS*基因表达与单萜类物质的积累显著关联。葡萄是基因高度杂合、生育周期很长的植物,香味品种选育时间长、效率低。本团队已从事40多年葡萄资源与育种工作,建有葡萄种质

资源圃,从国内外收集品种资源500余份。在前期对资源圃品种资源鉴定的基础上,选择27份核心资源,开展果实香味表型、萜类物质、主要萜类物质调控基因位点分型测定研究,对核心资源进行精准评价,为香味品种选育及杂交育种亲本提供可靠数据,以提高育种效率。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为无核白、红地球、巨峰等27份葡萄品种资源(表1),均为5~6年生植株,来自新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所葡萄种质资源圃。为水平棚架多蔓种植,柱高2 m,株行距为4 m×0.5 m。

1.2 试验方法

1.2.1 果实香味鉴定 试验实施于2021-2022年。果实香味通过人为味觉鉴定,由4名葡萄科研专业技术人员组成鉴定小组。果实香味类型分为草莓香、无香、玫瑰香、混合香等4种,对照品种分别为夏黑、无核白、玫瑰香、宝光。将果实香味程度分为5种类型:(1)淡:香味清淡;(2)稍淡:具有一定香味;(3)中等:与各类型对照品种香味接近;(4)较浓:香味稍浓于对照品种;(5)浓:香味浓于对照品种,表现特别浓郁。

鉴定时每个品种品尝后,用清水漱口后,再品尝下一个,保证鉴定结果的准确性。根据果肉萜类物质含量,分为3个等级,高($\geq 25\%$)、中($\geq 15\%$, $< 25\%$)、低($< 15\%$),根据萜类物质种类,将品种果肉的萜类物质种类分为3个等级,高(19~26种)、中(13~18种)、低(4~12种)。

1.2.2 果实香味物质测定 采集完全成熟果实,每个品种约200 g,使用自封袋和锡箔纸密封,通过干冰速冻和保存,委托湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所开展26种萜类物质检测,具体方法如下:

检测设备:Agilent GC7890/MS5975(美国安捷伦科技有限公司)

检测方法:固相微萃取(SPME):在15 mL装有

磁力搅拌器的顶空瓶中加入 0.5 g NaCl, 5 g 新鲜葡萄研磨样品, 30 ℃ 平衡 10 min, 插入聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 纤维头, 30 ℃ 吸附 30 min, 250 ℃ 解吸 5 min, 用于 GC-MS 分析。

色谱条件: 毛细管色谱柱 DB-WAX (60 m×0.25 μm×0.25 μm), 载气为高纯氮气, 流速 1 mL/min, 进样口温度为 250 ℃, 辅助加热器温度为 280 ℃, 采用程序升温, 初始温度 55 ℃, 保留 1 min, 以 5 ℃/min 的速度升温至 220 ℃, 保留 6 min, 后运行温度为 240 ℃, 运行总时长 44 min。

质谱条件: EI 电离源, 电子能量为 70 eV。离子源温度 230 ℃, 质谱扫描范围 20~550 m/z, 使用 NIST08 谱库结合谱图相减进行结果分析。

1.2.3 果实香味物质调控基因位点检测 参照王勇等^[13]的方法, 在 5 月份采集葡萄植株幼叶提取品种资源基因组 DNA。参照北京市林业果树科学研究院孙磊老师提供的葡萄 DXS 位点信息, 委托北京君唯诺科技有限公司设计并合成 KASP 标记引物序列(表 2)。使用 2720 PCR 仪扩增。PCR 反应体系: 体系总体积为 10 uL, 其中 HiGeno 2× Probe Mix 5 uL, 5 umol/mL Primer Mix 1 uL, 20 umol/mL DNA 模板 1 uL, ddH₂O 3 uL。反应程序为 95 ℃ 10 min, 95 ℃ 20 s, 55~61 ℃ 45 s, 10 个循环, 每循环降低 0.6 ℃; 95 ℃ 20 s, 55 ℃ 45 s, 35 个循环, 利用 ABI7500 采集荧光信号, 进行 SNP (Single nucleotide polymorphisms) 分型, 程序为 35 ℃, 1 min。

表 1 试验材料

Table 1 Test materials

序号 No.	品种名称 Variety name	系谱 Genealogy	来源 Source	序号 No.	品种名称 Variety name	系谱 Genealogy	来源 Source
1	无核白	古老品种	不祥	16	意大利	Bicane x Muscat	意大利
2	红地球	C12~80×S45~48	美国			Hamburg	
3	巨峰	石原早生×森田尼	日本	17	无核白鸡心	Gold×Q25-6	美国
4	白香蕉	康可×麝香沙斯拉	美国	18	昆香无核	葡萄园皇后×康耐诺	中国新疆石河子葡萄研究所
5	阳光玫瑰	安芸津 21 号×白南	日本	19	绿洲宝石	红地球×早玫瑰	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
6	贵妃玫瑰	红香蕉×葡萄园皇后	中国山东省葡萄科学研究所	20	无核翠宝	瑰宝×无核白鸡心	中国山西省农科院果树研究所
7	玫瑰香	亚历山大×黑罕	英国	21	火州翠玉	红地球×莫莉莎无核	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
8	爱神玫瑰	玫瑰香×京早晶	中国北京市农林科学院林业果树研究所	22	SP6164	SP91226×意大利	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
9	紫霞玫瑰	SP1015×火州紫玉	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所	23	SP10140	玫瑰香×里扎马特	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
10	早收麝香	玫瑰香×葡萄园皇后	美国	24	SP1015	马奶子×玫瑰香	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
11	瑰宝	依斯比沙×维拉玫瑰	中国山西省农科院果树研究所	25	SP539	SP122×SP10140	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
12	苏 67	不祥	苏联	26	SP1153	红宝石无核×无核白鸡心	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
13	莫丽莎无核	克瑞森无核×B40-208	美国	27	SP4614	苏 107×白亚	中国新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所
14	香妃	(玫瑰香+莎芭珍珠)×绯红	中国北京市农林科学院林业果树研究所				
15	早康宝	瑰宝×无核白鸡心	中国山西省农科院果树研究所				

表2 葡萄果实萜类物质代谢调控基因 DXS KASP 标记引物序列信息

Table 2 Information of DXS KASP marker sequence of terpene metabolism regulation gene in grape fruit

基因名称 Gene name	正向引物1 Forward primer 1	正向引物2 Forward primer 2	反向引物 Reverse primer
DXS	GAAGGTGACCAAGTTCATGCTGAGAA TTACGAGAGGTTGCCAAG	GAAGGTCGAGTCAACGGATTAGAG AATTACGAGAGGTTGCCAAT	CCAATTCATGCATCGGTCCGCC

1.3 数据分析

通过Excel处理数据、分析数据并作图。

2 结果与分析

2.1 27份葡萄品种资源果实香味性状鉴定与评价

27份葡萄品种资源果实鉴定结果如表3所示,具有浓郁香味的有7份,其中巨峰和白香蕉为浓郁草莓香味;阳光玫瑰、贵妃玫瑰、早收麝香、香妃为浓郁玫瑰香味;SP539为浓郁混合香味,但偏重草莓香味。具有较浓玫瑰香味的有3份,为意大利、绿洲宝石、无核翠宝;具有中等玫瑰香味的有4份,为玫瑰香、莫丽莎无核、SP10140、SP4614;具有稍淡玫瑰香味的有6份,为瑰宝、早康宝、昆香无核、紫霞玫瑰、SP6164、SP1015;具有淡玫瑰香味的有5份,为爱神玫瑰、苏67、无核白鸡心、火州翠玉、SP1153;无香味的有2份,为无核白和红地球。

2.2 果实萜类物质组成测定

2.2.1 不同香味类型品种资源果实萜类物质种类与含量 27份葡萄品种资源果实共测到26种萜类物质(表4)。不同香味类型资源含有的萜类物质种

类与含量见表5。在不同香味类型上,无香味类型品种无核白和红地球分别含有萜类物质5种、4种,总含量分别为1.24%、3.01%;草莓香型品种分别含有萜类物质9种、8种,总含量分别为1.31%、2.10%;混合香型品系SP539含有萜类物质16种,总含量为5.87%。这说明萜类物质在无香味类型和草莓香型品种果实中均有分布,但在种类和含量上相对较少。

在22种玫瑰香型品种中萜类物质含有的种类在5~24种,最多的是早收麝香,最少的是SP1153。玫瑰香味浓郁品种阳光玫瑰、贵妃玫瑰、早收麝香、香妃分别含有20、19、24、20种萜类物质;较浓香味品种意大利、无核翠宝、绿洲宝石分别有18、20、20种萜类物质;中等香味品种玫瑰香、莫丽莎无核、SP10140、SP4614分别含有21、18、21、14种萜类物质;稍淡香味品种瑰宝、早康宝、昆香无核、紫霞玫瑰、SP6164、SP1015分别含有18、21、18、19、20、17种萜类物质;淡香味品种爱神玫瑰、苏67、无核白鸡心、火州翠玉、SP1153分别含有12、12、19、14、5种萜类物质。说明葡萄果实含有的萜类物质数量与

表3 27份葡萄品种资源果实香味性状鉴定表

Table 3 Identification of fruit flavor characteristics of 27 grape varieties

序号 No.	品种名称 Variety name	香味类型 Flavor types	香味程度 Flavor degree	序号 No.	品种名称 Variety name	香味类型 Flavor types	香味程度 Flavor degree	序号 No.	品种名称 Variety name	香味类型 Flavor types	香味程度 Flavor degree
1	无核白	无	无	10	早收麝香	玫瑰香味	浓郁	19	绿洲宝石	玫瑰香味	较浓
2	红地球	无	无	11	瑰宝	玫瑰香味	稍淡	20	无核翠宝	玫瑰香味	较浓
3	巨峰	草莓香味	浓郁	12	苏67	玫瑰香味	淡	21	火州翠玉	玫瑰香味	淡
4	白香蕉	草莓香味	浓郁	13	莫丽莎无核	玫瑰香味	中等	22	SP6164	玫瑰香味	稍淡
5	阳光玫瑰	玫瑰香味	浓郁	14	香妃	玫瑰香味	浓郁	23	SP10140	玫瑰香味	中等
6	贵妃玫瑰	玫瑰香味	浓郁	15	早康宝	玫瑰香味	稍淡	24	SP1015	玫瑰香味	稍淡
7	玫瑰香	玫瑰香味	中等	16	意大利	玫瑰香味	较浓	25	SP539	混合香型偏草莓香味	浓郁
8	爱神玫瑰	玫瑰香味	淡	17	无核白鸡心	玫瑰香味	淡	26	SP1153	玫瑰香味	淡
9	紫霞玫瑰	玫瑰香味	稍淡	18	昆香无核	玫瑰香味	稍淡	27	SP4614	玫瑰香味	中等

序号同表1,下同

The number is the same as table 1, the same as below

果肉玫瑰香味程度具有一定的正比关系,但不是绝对的关系,比如 SP4614 虽然萜类物质种类 14 种,但香味中等;无核白鸡心虽然萜类物质种类 19 种,但香味清淡(表 5)。

22 种玫瑰香型品种中萜类物质总含量在 0.71%~52.06%。最高的是无核翠宝,最低的是 SP1153。玫瑰香味浓郁品种早收麝香、阳光玫瑰、香妃、贵妃玫瑰萜类物质总含量分别为高、高、高、中等级;较浓香味品种意大利、无核翠宝、绿洲宝石均为高等级;中等香味品种玫瑰香、莫丽莎无核、SP10140、SP4614 分别为中、中、高、低等级;稍淡香味品种瑰宝、早康宝、昆香无核、紫霞玫瑰、SP6164、

SP1015 分别为高、高、低、低、中、中等级;淡香味品种均为低等级。这说明香味浓郁品种萜类物质总含量高,香味清淡品种萜类物质总含量低。但也存在特殊情况,中等香味品种 SP4614 虽然萜类物质总含量低,但香味中等。稍淡香味品种瑰宝、早康宝虽然萜类物质总含量高,但香味稍淡(表 5)。

27 份葡萄品种资源果实萜类物质种类与含量测定的结果分析(表 5)表明,萜类物质在 4 种香型品种中均有分布,但在玫瑰香型品种中的种类和含量具有显著优势。在玫瑰香型品种中,果实中含有萜类物质种类多、含量高的品种,玫瑰香味更浓郁,但也存在一些例外情况。

表 4 27 份葡萄品种资源果实主要萜类物质

Table 4 Main terpene compounds in fruits of 27 grape varieties

序号 No.	萜类物质 Terpenoids	CAS 号 CAS No	序号 No.	萜类物质 Terpenoids	CAS 号 CAS No
1	trans-氧化玫瑰	876-18-6	14	β -月桂烯	123-35-3
2	cis-氧化玫瑰	16409-43-1	15	β -水芹烯	555-10-2
3	橙花醚	1786-08-9	16	D-柠檬烯	5989-27-5
4	里那醇	78-70-6	17	β -cis-罗勒烯	3338-55-4
5	脱氢里那醇	29957-43-5	18	β -trans-罗勒烯	3779-61-1
6	α -松油醇	98-55-5	19	别罗勒烯	673-84-7
7	吡喃型氧化里那醇	14049-11-7	20	(E,Z)-别罗勒烯	7216-56-0
8	香茅醇	106-22-9	21	γ -松油烯	99-85-4
9	橙花醇	106-25-2	22	异松油烯	586-62-9
10	香叶醇	106-24-1	23	香叶醛	141-27-5
11	cis-呋喃型氧化里那醇	5989-33-3	24	香叶酸	459-80-3
12	4-松油醇	562-74-3	25	橙花醛	106-26-3
13	4-甲基-2-戊醇	108-11-2	26	cis-异香叶醇	5944-20-7

CAS 号为化学文摘社的简称

CAS number is the abbreviation of Chemical Abstracts Service

表 5 27 份葡萄品种资源果实主要萜类物质统计

Table 5 Statistics of main terpene compounds in fruits of 27 grape varieties

香味类型 Flavor types	品种名称 Variety name	香味程度 Flavor degree	萜类物质种类 Types of terpenoids		萜类物质含量 Content of terpenoids	
			种类 Types	等级 Level	含量(%)Content	等级 Level
无香型 Non aromatic type	无核白	无	5	低	1.24	低
	红地球	无	4	低	3.01	低
草莓香型 Strawberry aroma type	巨峰	浓郁	9	低	1.31	低
	白香蕉	浓郁	8	低	2.10	低
混合香型 Mixed fragrance type	SP539	浓郁	16	中	5.87	低

表5(续)

香味类型 Flavor types	品种名称 Variety name	香味程度 Flavor degree	萜类物质种类 Types of terpenoids		萜类物质含量 Content of terpenoids	
			种类 Types	等级 Level	含量(%) Content	等级 Level
玫瑰香型 Rose fragrance type	阳光玫瑰	浓郁	20	高	28.78	高
	贵妃玫瑰	浓郁	19	高	19.83	中
	玫瑰香	中等	21	高	19.74	中
	爱神玫瑰	淡	12	低	3.30	低
	早收麝香	浓郁	24	高	36.51	高
	瑰宝	稍淡	18	中	27.24	高
	苏67	淡	12	低	3.76	低
	无核翠宝	较浓	20	高	52.06	高
	莫丽莎无核	中等	18	中	14.92	中
	香妃	浓郁	20	高	49.37	高
	早康宝	稍淡	21	高	39.18	高
	意大利	较浓	18	中	38.96	高
	无核白鸡心	淡	19	高	9.67	低
	昆香无核	稍淡	18	中	8.19	低
	绿洲宝石	较浓	20	高	31.13	高
	紫霞玫瑰	稍淡	19	高	10.42	低
	火州翠玉	淡	14	中	5.59	低
	SP6164	稍淡	20	高	18.88	中
	SP10140	中等	21	高	27.88	高
	SP1015	稍淡	17	中	21.37	中
SP1153	淡	5	低	0.71	低	
SP4614	中等	14	中	4.97	低	

2.2.2 26种萜类物质在27份品种资源中的分布
26种萜类物质在27份品种资源中的分布见表6,里那醇和 α -松油醇在27份品种资源中均有分布。里那醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、橙花醛在4种香型品种中均有分布。橙花醚、脱氢里那醇、吡喃型氧化里那醇、香叶醇、cis-呋喃型氧化里那醇、4-甲基-2-戊醇、 β -月桂烯、 β -水芹烯、 β -trans-罗勒烯、别罗勒烯、 γ -松油烯、香叶醛、香叶酸、cis-异香叶醇等14种萜类物质只在具有玫瑰香味品种中分布。trans-氧化玫瑰、cis-氧化玫瑰、4-松油醇、D-柠檬烯、(E,Z)-别罗勒烯、异松油烯等6种萜类物质在草莓香型和

玫瑰香型品种中分布,而无香型品种没有分布。cis-氧化玫瑰、橙花醚、里那醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、香叶醇、 β -月桂烯、D-柠檬烯、 β -cis-罗勒烯、(E,Z)-别罗勒烯、异松油烯、香叶醛、香叶酸、橙花醛、cis-异香叶醇等16种萜类物质在混合香型品种中有分布。香叶醇、(E,Z)-别罗勒烯在21份玫瑰香型品种资源中均有分布,cis-氧化玫瑰、 β -cis-罗勒烯在20份玫瑰香型品种资源中有分布, β -月桂烯、异松油烯、香叶酸、脱氢里那醇在19份玫瑰香型品种资源中有分布,香茅醇在18份玫瑰香型品种资源中有分布。

表 6 萜类物质在 27 份品种资源中的分布统计

Table 6 Distribution statistics of terpene compounds in 27 varieties

序号 No.	萜类物质 Terpenoids	含有该物质品种数量 Number of varieties containing the substance				总数 Total
		无香型品种 Non aromatic variety	草莓香型品种 Strawberry flavor varieties	混合香型品种 Mixed fragrance line	玫瑰香型品种 Rose flavor varieties	
1	trans-氧化玫瑰	0	1	0	4	5
2	cis-氧化玫瑰	0	1	1	20	22
3	橙花醚	0	0	1	8	9
4	里那醇	2	2	1	22	27
5	脱氢里那醇	0	0	0	19	19
6	α -松油醇	2	2	1	22	27
7	吡喃型氧化里那醇	0	0	0	17	17
8	香茅醇	2	2	1	18	23
9	橙花醇	1	2	1	22	26
10	香叶醇	0	0	1	21	22
11	cis-吡喃型氧化里那醇	0	0	0	15	15
12	4-松油醇	0	2	0	13	15
13	4-甲基-2-戊醇	0	0	0	1	1
14	β -月桂烯	0	0	1	19	20
15	β -水芹烯	0	0	0	12	12
16	D-柠檬烯	0	1	1	17	19
17	β -cis-罗勒烯	1	0	1	20	22
18	β -trans-罗勒烯	0	0	0	11	11
19	别罗勒烯	0	0	0	12	12
20	(E,Z)-别罗勒烯	0	1	1	21	23
21	γ -松油烯	0	0	0	4	4
22	异松油烯	0	1	1	19	21
23	香叶醛	0	0	1	5	5
24	香叶酸	0	0	1	19	20
25	橙花醛	1	2	1	22	26
26	cis-异香叶醇	0	0	1	12	12

2.2.3 27 份葡萄品种资源果实里那醇等主要萜类物质的含量 玫瑰香味主要特征物质里那醇、 α -松油醇、香叶醇、橙花醇、香茅醇、玫瑰醚(trans-氧化玫瑰和 cis-氧化玫瑰)等在不同香味类型和玫瑰香型品种的含量见图 1、图 2。在玫瑰香型品种资源中,里那醇含量在 0.65%~38.77%(最高的是无核翠宝,最低的是 SP1153),平均含量是无香型品种资源的 6.77 倍、草莓香型品种的 18.49 倍、混合香型品系 SP539 的 22.43 倍; α -松油醇含量在 0.01%~1.17%(最高的是香妃,最低的是 SP1153),其平均含量仅次于

草莓香型品种资源,是无香型品种资源的 14 倍、草莓香型品种的 0.38 倍、混合香型品种的 7 倍;香叶醇含量在 0~4.79%(最高的是早康宝,最低的是 SP1153),平均含量为 1.77%,无香型品种和草莓香型品种的含量为零,混合香型品种含量为 1.20%;橙花醇含量在 0.03%~4.67%(最高的是莫丽莎无核,最低的是 SP1153),平均含量为无香型品种资源的 54.5 倍、草莓香型品种的 7.79 倍;香茅醇含量在 0~1.539%(最高的是玫瑰香,最低的是瑰宝、无核翠宝、香妃、早康宝、意大利),平均含量为无香型品种

的20.5倍、草莓香型品种的2.05倍;玫瑰醚含量在0~0.414%之间(最高的是玫瑰香,最低的是SP1153),平均含量是草莓香型品种的5倍,无香型品种果实含量为零。

测定和分析结果表明,6种萜类物质在22个玫瑰香型品种中的含量存在很大差异,有的物质相对多,有的物质相对少,从而构成了果实的不同口感。玫瑰香型品种中的里那醇、香叶醇、橙花醇、香茅醇、玫瑰醚5种萜类物质的含量远高于无香型和草莓香型,其中里那醇的含量最高,香叶醇仅在具有玫瑰香味的品种中出现, α -松油醇在草莓香味和玫瑰香味品种均有一定含量,且前者高于后者。混合香型品系SP539果实中橙花醇、香茅醇、玫瑰醚含量均最高,其中橙花醇含量达1.61%;3种物质在玫瑰香型品种中

的含量次之,且比较接近SP539果实的含量。

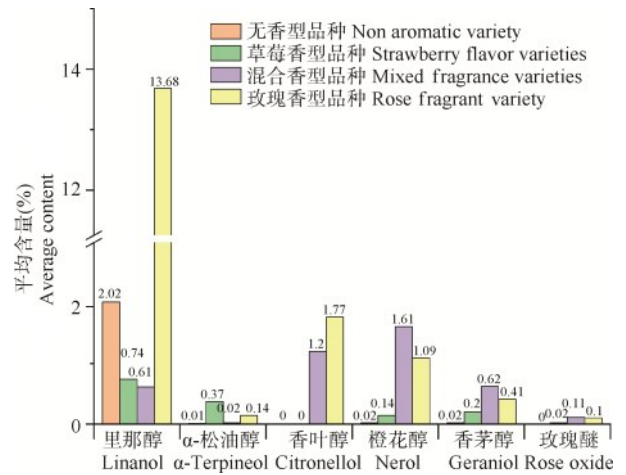


图1 不同香味类型品种果肉主要萜类物质平均含量

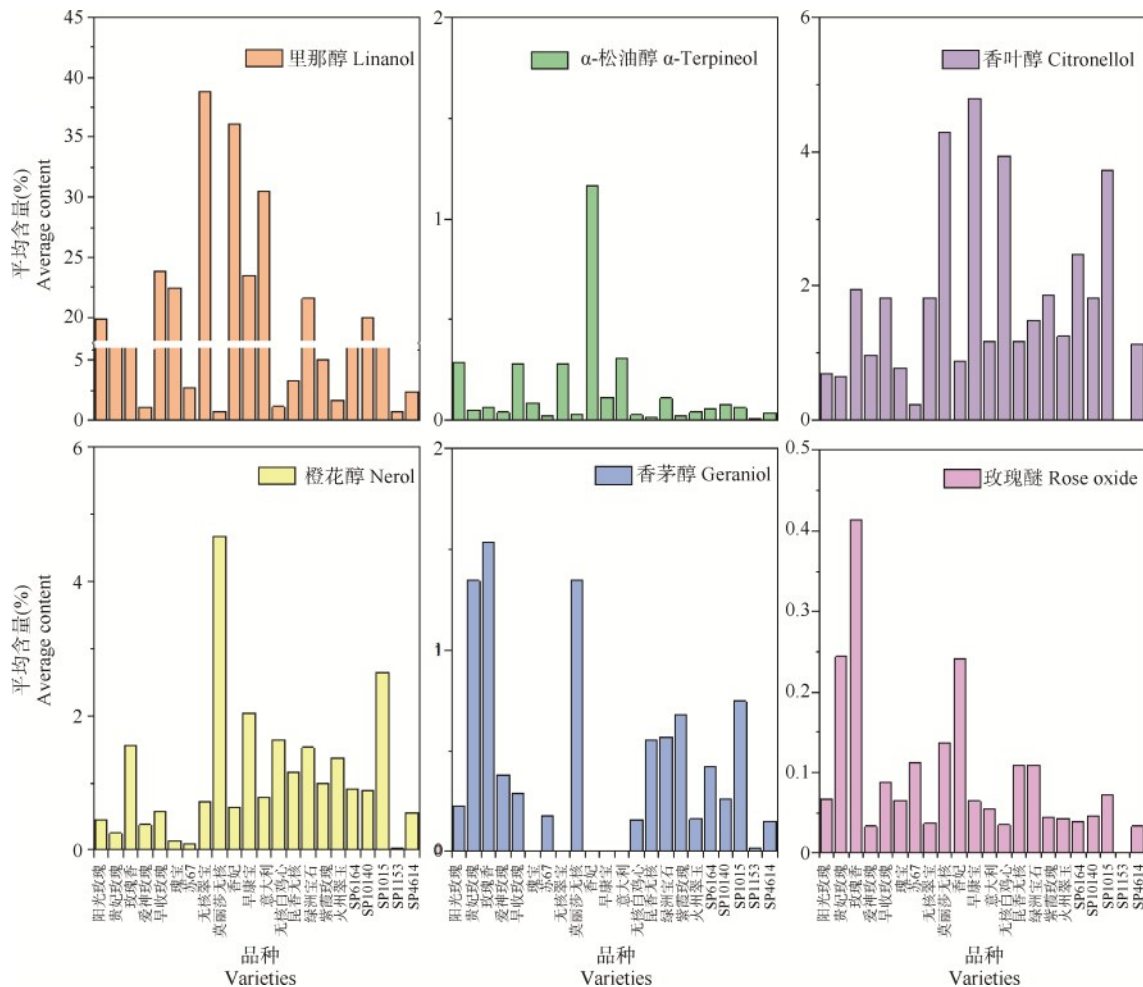


图2 玫瑰香型品种果肉主要萜类物质平均含量

Fig. 2 Average content of main terpene compounds in the flesh of rose flavor varieties

Fig. 1 Average content of main terpene compounds in pulp of different flavor types

2.3 果实萜类物质调控基因位点基因型检测

27份品种资源果实萜类物质调控基因DXS位点基因型检测结果如表7。G表示隐性基因型,T表

示显性基因型。无香型和草莓香型4个品种的位点基因型均为隐性纯合G/G型。混合香型品系SP539的为显性杂合G/T型。22个玫瑰香型品种中,阳光

玫瑰、早康宝的位点为显性纯合 T/T 型, 贵妃玫瑰、玫瑰香、爱神玫瑰等 18 个品种的位点为显性杂合 G/T 型, 无核白鸡心、SP1153 的位点为隐性纯合 G/G 型。

萜类物质调控基因位点基因型检测为 T/T 和 G/G 品种果实的香味类型及主要萜类物质含量如表 8 所示。纯合显性基因型品种阳光玫瑰为浓玫瑰香型, 含有 6 种玫瑰香特征物质, 早康宝为稍淡玫瑰香型, 含有除香茅醇之外的 5 种玫瑰香特征物质。纯合隐性基因型位点品种 SP1153 为淡玫瑰香味, 无核白无香味, 含有除香叶醇和玫瑰醚之外的 4 种

玫瑰香特征物质; 红地球无香味, 含有里那醇、 α -松油醇、香茅醇 3 种玫瑰香特征物质; 巨峰和白香蕉为浓草莓香型, 均含有除香叶醇之外的 5 种玫瑰香特征物质。从 6 种玫瑰香特征物质含量来看, G/G 型品种远低于 T/T 型品种, 但草莓香型白香蕉在 α -松油醇和香茅醇, 巨峰在香茅醇上的含量表现异常。分析结果表明, 基因 *DXS* 可能控制葡萄萜类物质的表达量, 基因 *DXS* 的 KASP 标记对葡萄香味物质调控位点的基因型检测具有较高准确性。

表 7 27 份品种资源果实萜类物质调控基因位点基因型

Table 7 Genotypes of terpene regulatory loci in fruits of 27 varieties

序号 No.	品种名称 Variety name	香味位点基因型 Fragrance locus genotype	序号 No.	品种名称 Variety name	香味位点基因型 Fragrance locus genotype	序号 No.	品种名称 Variety name	香味位点基因型 Fragrance locus genotype
1	无核白	G/G	10	早收麝香	G/T	19	绿洲宝石	G/T
2	红地球	G/G	11	瑰宝	G/T	20	无核翠宝	G/T
3	巨峰	G/G	12	苏 67	G/T	21	火州翠玉	G/T
4	白香蕉	G/G	13	莫丽莎无核	G/T	22	SP6164	G/T
5	阳光玫瑰	T/T	14	香妃	G/T	23	SP10140	G/T
6	贵妃玫瑰	G/T	15	早康宝	T/T	24	SP1015	G/T
7	玫瑰香	G/T	16	意大利	G/T	25	SP539	G/T
8	爱神玫瑰	G/T	17	无核白鸡心	G/G	26	SP1153	G/G
9	紫霞玫瑰	G/T	18	昆香无核	G/T	27	SP4614	G/T

表 8 位点基因型为 T/T、G/G 的品种香味类型与主要萜类物质含量

Table 8 Flavor type and main terpene content of varieties with genotype T/T and G/G at the locus

基因型 Genotype	品种名称 Variety name	香味类型 Aroma types	里那醇 (%) Linalol	α -松油醇 (%) α -Terpineol	香茅醇 (%) Citronellol	橙花醇 (%) Nerol	香叶醇 (%) Geraniol	玫瑰醚 (%) Rose oxide
T/T	阳光玫瑰	浓玫瑰	19.861±3.200	0.287±0.074	0.228±0.082	0.451±0.100	0.698±0.403	0.067±0.010
	早康宝	稍淡玫瑰	23.445±3.699	0.111±0.030	-	2.032±0.501	4.789±0.996	0.065±0.017
G/G	无核白鸡心	淡玫瑰	1.129±0.398	0.024±0.004	0.158±0.164	1.646±0.226	3.936±0.425	0.035±0.012
	SP1153	淡玫瑰	0.651±0.188	0.005±0.005	0.017±0.039	0.028±0.011	-	-
	无核白	无	1.174±0.036	0.004±0.004	0.014±0.012	0.044±0.008	-	-
	红地球	无	2.868±0.812	0.016±0.003	0.031±0.006	-	-	-
	巨峰	浓草莓	0.739±0.180	0.013±0.018	0.215±0.103	0.208±0.084	-	0.0133±0.023
	白香蕉	浓草莓	0.738±0.087	0.717±0.137	0.19±0.062	0.070±0.012	-	0.038±0.008

玫瑰醚为 trans-氧化玫瑰与 cis-氧化玫瑰含量的和; - 表示含量为零

Rose ether was the sum of Trans oxidized rose and Cis oxidized rose; - indicates zero content

3 讨论

3.1 葡萄果实主要萜类物质种类及其含量对香味的贡献

种质是品种培育的物质基础,香味是葡萄种质资源特异性的重要指标,也是衡量葡萄果实品质的重要体现。玫瑰香是葡萄果实的主要香型,香气物质主要以萜烯类物质为主^[14]。孙磊等^[15]从京秀、香妃及其5个杂交后代品种果实检测到29种游离态单萜类物质,分析发现不同品种在含量上存在很大差异,浓玫瑰香型品种香妃的含量最高,是无香味类型品种京秀的150倍,5个杂交后代中浓香型瑞都香玉的含量最高,瑞都红玉、瑞都红玫和瑞都早红接近且居中,瑞都脆霞最低。本研究共检测到26种单萜类物质,香味类型、香味程度不同的品种果实含有的化合物种类和含量分布有较大差异,其中早收麝香、早康宝、阳光玫瑰、香妃、无核翠宝、绿洲宝石、意大利、瑰宝等品种相对高;无核白、红地球、巨峰、白香蕉、SP1153、爱神玫瑰、苏67、火州翠玉、SP4614等品种相对低。

许多学者^[2,5,12,16-19]研究认为里那醇、橙花醇、香叶醇、 α -松油醇、香茅醇是玫瑰香型葡萄主要单萜成分,这些物质含量高、阈值低^[16]是葡萄果实玫瑰香味的特征香气的主要来源。不同品种的香气成分、物质含量存在一定的差异^[14]。本研究发现里那醇、 α -松油醇、橙花醇在所有具有玫瑰香味品种中均有分布,香叶醇在除SP1153之外的所有具有玫瑰香味的试验品种中均有分布,香茅醇在除瑰宝、无核翠宝、香妃、早康宝、意大利之外的所有具有玫瑰香味的试验品种中均有分布。里那醇^[14,20-22]是最主要的单萜化合物,对玫瑰香葡萄果实香气的贡献最大。通过对萜类物质成分分析发现,在大多数具有玫瑰香味的品种中里那醇的含量占绝对优势,香味越浓郁,含量相对越高,比如香妃、早收麝香、阳光玫瑰、无核翠宝等,含量相对少的,香味比较清淡,比如SP1153、无核白鸡心、火州翠玉。玫瑰醚在玫瑰香葡萄果实中的含量很低,但可以作为葡萄玫瑰香味有无的评判指标^[23]。香茅醇、香叶醇及氧化玫瑰等化合物,是主要贡献萜类成分,但含量高低并不是玫瑰香味的主要决定因素^[22]。本研究分析发现,除SP1015和SP1153之外所有玫瑰香味品种均含有氧化玫瑰,但每个品种的相对含量均很低。香叶醇含量排前3的品种有早康宝、莫丽莎无核、无核白鸡心,但香味程度分别为稍淡、中等、淡;香茅醇含量

最高的是玫瑰香、贵妃玫瑰、莫丽莎无核,但香味程度分别为中等、浓郁、中等,证明香茅醇、香叶醇及氧化玫瑰等化合物的含量高低对玫瑰香味不具有决定作用。在非玫瑰香型葡萄品种上,张文文等^[24]研究了巨峰、夏黑、藤稔3个草莓香型葡萄的香气特征,认为里那醇是3个品种香气的主要贡献化合物,并在3个葡萄果肉中检测到一定量的 α -松油醇。张海宁等^[25]研究认为草莓香型品种夏黑的特征香气存在芳樟醇、香叶醇、橙花醇。高佳胤等^[26]在非玫瑰香型品种贵人香中检测到橙花醇、里那醇、松油醇等萜类物质,认为这些物质对丰富贵人香葡萄风味特征,改善香气品质可能具有更重要的作用。本研究在草莓香型品种巨峰、白香蕉中也均检测到里那醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、玫瑰醚,但在含量上较低,进一步证实这些萜类物质在草莓香味构成上具有一定贡献。Ruiz-Garcia等^[23]、孙磊等^[12,15]认为,玫瑰醚对葡萄果实玫瑰香味有很大的关联性,所有玫瑰香型葡萄品种都存在氧化玫瑰,而非玫瑰香型葡萄中都不存在氧化玫瑰。本研究在SP1153、无核白、红地球果实中未检测到cis-氧化玫瑰和Trans-氧化玫瑰的含量,在巨峰果实中检测到少量的trans-氧化玫瑰,在白香蕉果实中检测到少量的cis-氧化玫瑰,这与其他学者的试验结果存在一定差异。

3.2 葡萄萜类物质调控基因及相关位点基因型检测

葡萄果实玫瑰香味的遗传机理研究是当前国内外葡萄科研热点,玫瑰香味是多种香味物质组成,受到多个基因调控^[27],但这些香味物质的形成可能与某个基因存在关联性^[9],研究发现*VvDXS*基因控制单萜类次生代谢物表达,与多个香味物质的产生高度关联^[28],控制着单萜类物质的合成^[29]。Emanuelli等^[30]对148个葡萄*DXS1*基因测序认为,大多数玫瑰香型品种的K284N位点的基因型为杂合显性G/T,仅有1个玫瑰香型品种的K284N位点为纯合显性T/T,无香味类型和青草香型品种的均为纯合型G/G;孙磊等^[12]对具有浓郁玫瑰香味的葡萄亚历山大*DXS1*基因多次测序,发现亚历山大的K284N位点的基因型为杂合显性G/T。本研究对27份品种的K284N位点的基因型进行了检测,在2个无香味类型和2个草莓香型品种上均检测出纯合型G/G,在草莓与玫瑰香混合型SP539上检测出杂合型G/T,在22个玫瑰香型中检测出2个纯合T/T,19个杂合型G/T,1个G/G,该结果与Emanuelli等^[11]、孙磊等^[12]的观点一致,均证明葡萄玫瑰香味产生于

与 *DXSI* 基因 K284N 位点有关。

3.3 葡萄果实香味、萜类物质组成及位点基因型的关系

在化合物种类和含量上,显性纯合型(T/T)品种阳光玫瑰(浓郁玫瑰香)含有20种化合物,总含量为28.78%,早康宝(稍淡玫瑰香)含有21种化合物,总含量为39.18%。显性杂合型(G/T)品种早收麝香(浓郁玫瑰香)、无核翠宝(较浓玫瑰香)、火州翠玉(淡玫瑰香)、爱神玫瑰(淡玫瑰香),早收麝香含有的物质种类最多为24种,无核翠宝化合物总量最多为52.06%,火州翠玉含有14种化合物,总含量为5.59%,爱神玫瑰含有12种化合物,总含量为3.30%。隐性纯合型(G/G)SP1153(淡玫瑰香)、无核白(无香型),两个品种均含有里那醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇,萜类物质总含量分别为仅为0.713%、1.24%。这表明可以根据 *DXSI* 基因 K284N 位点基因型筛选玫瑰香型品种,但不能用来判断果实玫瑰香味程度。早康宝葡萄果实在种类和含量呈现优势,但香味表现稍淡,这可能与糖、酸的不协调有关。

4 结论

本研究通过对不同香型葡萄所含物质种类、含量以及基因位点的测定,发现里那醇、橙花醇、香叶醇、 α -松油醇、香茅醇是玫瑰香型葡萄主要单萜成分,确定了阳光玫瑰、早康宝两个品种的玫瑰香味主要特征物质形成调控基因 *DXSI* 位点基因型为显性纯合型 T/T,是理想的香味育种材料,而 SP1153 不适合做香味育种材料。早收麝香、香妃、贵妃玫瑰、意大利、绿洲宝石、无核翠宝等品种具有浓郁或较浓郁的玫瑰香味且携带香味显性杂合基因 G/T,可以考虑用作育种材料,可以通过自交或品种间杂交,选育出香味品种,将能提高育种效率。通过对 *DXS* 基因 KASP SNP 分型检测是鉴定葡萄玫瑰香型品种或杂交后代单株的有效手段。

参考文献

- [1] 王鹏,樊秀彩,张颖,李民,刘崇怀,姜建福,李秀珍.600份葡萄种质资源果柄耐拉力鉴定评价.植物遗传资源学报,2019,20(5):1197-1212
Wang P, Fan X C, Zhang Y, Li M, Liu C H, Jiang J F, Li X Z. Identification and evaluation of pulling force of fruit stalk for 600 grape germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2019,20(5):1197-1212
- [2] 蒲胜海,张计峰,丁峰,马雪琴.新疆葡萄产业发展现状及研究动态.北方园艺,2013(13):200-203

- Pu S H, Zhang J F, Ding F, Ma X Q. The development status and research trends of Xinjiang grape industry. Northern Horticulture, 2013(13):200-203
- [3] 吾尔尼沙·卡得尔,刘凤之,刘丽媛.新疆吐鲁番葡萄产业发展及转型升级建议.中国果树,2021(11):94-97
Wu R N S·Ka D E, Liu F Z, Liu L Y. Suggestions on the development, transformation and upgrading of Xinjiang Turpan grape industry. China Fruit Tree, 2021(11):94-97
- [4] 马娜.草莓香型葡萄果实香气物质 QTL 定位及候选基因分析.沈阳:沈阳农业大学,2019
Ma N. QTL mapping and candidate gene analysis of strawberry aroma grape fruit aroma substances. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019
- [5] Mateo J J, Jimenez M. Monoterpene in grape juice and wines. Journal of Chromatography A, 2000, 881: 557-567
- [6] 刘翠霞.葡萄果实单萜化合物含量的 QTL 定位及其合成调控的候选基因筛选.武汉:中国科学院武汉植物园,2017
Liu C X. QTL mapping of monoterpene content in grape fruit and screening of candidate genes for its synthesis regulation. Wuhan: Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2017
- [7] Yang C X, Wang Y J, Liang Z C, Fan P G, Wu B H, Yang L, Wang Y N, Li S H. Volatiles of grape berries evaluated at the germplasm level by headspace-SPME with GC-CM. Food Chemistry, 2009, 114: 1106-1114
- [8] 杨晓旭.葡萄果实香气物质的 QTL 定位及关联分析研究.沈阳:沈阳农业大学,2017
Yang X X. QTL location and correlation analysis of aroma substances in grape fruit. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017
- [9] Battilana J, Costantini L, Emanuelli F, Sevinci F, Segala C, Moser S, Velasco R, Versini G, Grando M S. The 1-deoxy-d-xylulose 5-phosphate synthase gene co-localizes with a major QTL affecting monoterpene content in grapevine. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 118: 653-669
- [10] Luan F, Wusit M. Differential incorporation of 1-deoxy-d-xylulose into (3S)-linalool and geraniol in grape berry exocarp and mesocarp. Phytochemistry, 2002, 60: 451-459
- [11] Emanuelli F, Battilana J, Costantini L, Le-Cunff L, Boursiquot J M, This P, Grando M S. A candidate gene association study on muscat flavor in grapevine (*Vitis vinifera* L). BMC Plant Biology, 2010, 10: 17
- [12] 孙磊,朱保庆,孙晓荣,许晓青,王晓玥,张国军,闫爱玲,徐海英.‘亚历山大’葡萄果实单萜生物合成相关基因转录及萜类物质积累规律.中国农业科学,2014,47(7):1379-1386
Sun L, Zhu B Q, Sun X R, Xu X Q, Wang X Y, Zhang G J, Yan A L, Xu H Y. Transcription of genes related to monoterpene biosynthesis and accumulation of terpenoids in ‘Alexandria’ grape fruit. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(7): 1379-1386
- [13] 王勇,李玉玲,孙锋,伍国红,骆强伟,李超,白世践,郑贺云.利用 SCAR 标记 SCF27 对葡萄无核性状的鉴定研究.分子植

- 物育种, 2018, 16(4): 1197-1207
- Wang Y, Li Y L, Sun F, Wu G H, Luo Q W, Li C, Bai S J, Zheng H Y. Identification of seedless character of grape using SCAR marker SCF27. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(4): 1197-1207
- [14] 牛早柱, 陈展, 赵艳卓, 牛帅科, 魏建国, 杨丽丽. 15个不同葡萄品种果实香气成分的GC-MS分析. *华北农学报*, 2019, 34(S1): 85-91
- Niu Z Z, Chen Z, Zhao Y Z, Niu S K, Wei J G, Yang L L. Analysis of aromatic components from the berries of fifteen grape varieties by GC-MS. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(S1): 85-91
- [15] 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
- [16] Ribéreau-Gayon P, Boidron J N, Terrier A. Aroma of Muscat grape varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1975, 23: 1042-1047
- [17] 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
- [18] 涂崔, 潘秋红, 朱保庆, 吴玉文, 王志群, 段长青. 葡萄与葡萄酒单萜化合物的研究进展. *园艺学报*, 2011, 38(7): 1397-1406
- Tu C, Pan Q H, Zhu B Q, Wu Y W, Wang Z Q, Duan C Q. Progress in study of monoterpene compounds in grape and wine. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(7): 1397-1406
- [19] 孙磊, 钱旭, 张国军, 闫爱玲, 王晓玥, 王慧玲, 任建成, 徐海英. '香妃'和'早玫瑰香'葡萄温室与露地栽培单萜积累差异分析. *园艺学报*, 2018, 45(8): 1467-1478
- Sun L, Qian X, Zhang G J, Yan A L, Wang X Y, Wang H L, Ren J C, Xu H Y. Differential monoterpenes accumulation of 'Xiangfei' and 'Zao Meiguixiang' grapes between greenhouse and open-field cultivation. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(8): 1467-1478
- [20] 商佳胤, 田淑芬, 朱志强, 李树海, 集贤, 高扬. 采收时间对玫瑰香葡萄果实品质及芳香化合物组分的影响. *华北农学报*, 2013, 28(1): 155-162
- Shang J Y, Tian S F, Zhu Z Q, Li S H, Ji X, Gao Y. The effect of harvest time on the quality and aroma components of rose grape fruit. *North China Agricultural Journal*, 2013, 28(1): 155-162
- [21] 秦欢. 川渝地区'阳光玫瑰'果实主要香气成分分析及部分品质与气候因子相关性研究. 重庆: 西南大学, 2019
- Qin H. Analysis of the main aroma components of the fruit of 'Sunshine Rose' in Sichuan and Chongqing and the correlation between some quality and climate factors. Chongqing: Southwest University, 2019
- [22] 王慧玲, 王晓玥, 闫爱玲, 孙磊, 张国军, 任建成, 徐海英. 不同架式'爱神玫瑰'葡萄果实成熟期间单萜积累及相关基因的表达. *中国农业科学*, 2019, 52(7): 1136-1149
- Wang H L, Wang X Y, Yan A L, Sun L, Zhang G J, Ren J C, Xu H Y. The accumulation of monoterpenes and the expression of its biosynthesis related genes in 'Aishen Meigui' grape berries cultivated in different trellis systems during ripening stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(7): 1136-1149
- [23] Ruiz-Garcia L, Hellin P, Flores P, Fenoll J. Prediction of Muscat aroma in table grape by analysis of rose oxide. *Food Chemistry*, 2014, 154: 151-157
- [24] 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 Jiaotong University: Agricultural Science*, 2018, 36(5): 51-59, 66
- [25] 张海宁, 王亚超, 马辉, 袁小单, 马永昆. GC-MS分析夏黑葡萄中挥发性香气成分. *江苏农业科学*, 2014, 42(8): 294-297
- Zhang H N, Wang Y C, Ma H, Yuan X S, Ma Y K. GC-MS analysis of volatile aroma components in summer black grapes. *Jiangsu Agricultural Science*, 2014, 42(8): 294-297
- [26] 商佳胤, 李树海, 集贤, 黄建全, 朱志强, 田淑芬. 2种生物有机肥对葡萄芳香物质组分的影响. *西北植物学报*, 2012, 32(9): 1829-1835
- Shang J Y, Li S H, Ji X, Huang J Q, Zhu Z Q, Tian S F. Effect of two kinds of bio-organic fertilizers on the aroma components of grapes. *Journal of Northwest Botany*, 2012, 32(9): 1829-1835
- [27] Lin J, Massonnet M, Cantu D. The genetic basis of grape and wine aroma. *Horticulture Research*, 2019, 6(1): 1-24
- [28] Doligez A, Bouquet A, Danglot Y, Lahogue F, Riaz S, Meredith C, Edwards K, This P. Genetic mapping of grapevine (*Vitis vinifera* L.) applied to the detection of QTLs for seedlessness and berry weight. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, 105(5): 780-795
- [29] Dalla-Costa L, Emanuelli F, Trenti M, Moreno-Sanz P, Lorenzi S, Coller E, Moser S, Slaghenaufi D, Cestaro A, Larcher R, Gribaudo I, Costantini L, Malnoy M, Grando M S. Induction of terpene biosynthesis in berries of microvine transformed with VvDXS1 alleles. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 8: 22-44
- [30] Emanuelli F, Sordo M, Lorenzi S, Battilana J, Grando M S. Development of user-friendly functional molecular markers for VvDXS gene conferring muscat flavor in grapevine. *Molecular Breeding*, 2014, 33(1): 235-241