

62份葡萄种质资源果实香气物质遗传多样性分析

王环^{1,2}, 许艺凡^{1,2}, 张江妹^{1,2}, 李凤^{1,2}, 马小河²,
黄丽萍², 王敏², 荀志丽², 赵旗峰²

(¹山西农业大学园艺学院, 晋中 030800; ²山西农业大学果树研究所/果树种质创制和利用山西省重点实验室, 太原 030031)

摘要: 为了探究葡萄种质资源果实香气成分的遗传多样性, 以62份葡萄种质资源作为试验材料, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术检测样品中的挥发性物质, 进行显著性分析。鉴定葡萄种质资源幼叶上表面颜色、幼叶上表面光泽、幼叶花青素着色和成熟果肉香味等8个农艺性状, 将其与挥发性物质进行相关性分析, 并进一步通过非度量多维尺度分析(NMDS, non-metric multidimensional scaling, stress<0.2)和正交偏最小二乘-判别分析(OPLS-DA, orthogonal partial least squares-discriminant analysis)筛选出特征挥发性物质。结果表明, 在62份葡萄种质资源中共检测到7类99种挥发性物质, 主要是醇类、酯类和萜烯类, 含量分别为13.83 mg/L、13.53 mg/L、8.99 mg/L。各类挥发性物质之间存在显著的差异。8个农艺性状与香气物质相关性分析结果显示, 幼叶上表面颜色、上表面光泽、花青素着色、果皮颜色、果肉香味与萜烯类、酯类及酮类具有显著相关性。非度量多维尺度分析可以明显区分幼叶花青素着色极弱的种质和幼叶花青素着色中的种质。以变量投影重要性VIP(Variable importance in projection)>1, P<0.05为标准, 筛选到17种主要的挥发性物质, 其中正己酸乙酯的VIP值最高(4.07), 萜烯类中橙花醇VIP值最高(2.07)。本研究结果可为改善浆果香气品质性状和葡萄种质资源的创新提供一定的理论参考。

关键词: 葡萄种质资源; 农艺性状; 香气物质; 遗传多样性

Genetic Diversity Analysis of Aroma Substances in 62 Grape Germplasm Resources

WANG Huan^{1,2}, XU Yifan^{1,2}, ZHANG Jiangmei^{1,2}, LI Feng^{1,2}, MA Xiaohu², HUANG Liping²,
WANG Min², XUN Zhili², ZHAO Qifeng²

(¹College of Horticulture, Agricultural University of Shanxi, Jinzhong 030800; ²Institute of Fruit Trees, Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Fruit Germplasm Creation and Utilization, Taiyuan 030031)

Abstract: To investigate the genetic diversity of aroma components in grape germplasm resources, 62 grape germplasm resources were used as experimental materials. Headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry was used to detect volatile compounds, and significance analysis of aroma compounds was conducted. 8 agronomic traits were identified, such as color of the upper side, sheen on upper side, anthocyanin colouration of young leaves, articular flavor of mature berries, and so on. Correlation analysis was carried between volatile compounds and 8 agronomic traits. The characteristic volatile substances compounds was screened out by non-metric multidimensional scale analysis (NMDS, stress<0.2) and orthogonal

收稿日期: 2023-11-22 网络出版日期: 2024-05-07

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231122002>

第一作者的研究方向为葡萄种质资源评价及育种, E-mail: 2261100501@qq.com

通信作者: 赵旗峰, 研究方向为葡萄种质资源评价及育种, E-mail: gssqfzhao@163.com

荀志丽, 研究方向为葡萄种质资源评价及育种, E-mail: xzlgss@163.com

基金项目: 农业农村部作物种质资源精准鉴定项目(19221993); 农业农村部种质资源收集保存项目(19221876); 山西省科技创新重点人才团队(202204051002037); 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC032)

Foundation projects: Precision Identification Project of Crop Germplasm Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (19221993); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Germplasm Resource Collection and Preservation Project (19221876); Shanxi Provincial Key Talent Team for Science and Technology Innovation (202204051002037); Biological Breeding Engineering Project of Shanxi Agricultural University (YZGC032)

partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA). The results showed that a total of 99 volatile substances in 7 categories were detected in 62 grape germplasm resources, mainly alcohols, esters and terpenes, with the contents of 13.83 mg/L, 13.53 mg/L and 8.99 mg/L, respectively. There are significant differences among various volatile substances. The results of correlation analysis between 8 agronomic traits and aroma substances showed that the color of the upper side, sheen on upper side, anthocyanin colouration of young leaves, color of skin and articular flavor of mature berries were significantly correlated with terpenes, esters and ketones. Non-metric multidimensional scaling analysis can clearly distinguish the germplasms with very weak anthocyanin coloring of young leaves and the germplasms with middle anthocyanin coloring of young leaves. Based on the variable importance in projection (VIP) >1 , $P<0.05$ as the standard, 17 main volatile substances were screened, among which the VIP value of ethyl caproate was the highest (4.07), and the VIP value of nerol in terpenes was the highest (2.07). This study provides a theoretical reference for improving the aroma quality of berries and the innovation of grape germplasm resources.

Key words: grape germplasm resources; agronomic characters; aroma components; genetic diversity

葡萄属于葡萄科 (Vitaceae) 葡萄属 (*Vitis* L.), 是落叶多年生藤本植物, 栽培葡萄的起源时间大约距今 11000 年^[1]。葡萄是我国主栽果树之一, 栽培面积广, 种质资源丰富, 用途多样、营养物质丰富, 在经济发展和社会生活中具有重要的意义^[2]。香气是鲜食葡萄品质的重要组成部分, 是判断果实成熟度及商品价值的关键指标^[3-5]。葡萄果实中香气物质成分有醇类、酸类、醛类、酯类、萜烯类化合物等^[6]。鲜食葡萄比酿酒葡萄具有更高的花香味、甜味和香脂味^[3]。

葡萄种质资源香气物质的研究, 对葡萄种质资源的利用、挖掘与评价及创新方面具有重要的意义。马小河等^[7]对国家果树种质太谷葡萄圃 114 份鲜食有核葡萄品种的果实主要数量性状进行了分析研究, 为葡萄种质资源果实性状的描述规范和数据标准化的建立提供了参考。杨鑫等^[8]以中国农业科学院郑州果树研究所葡萄资源圃中保存的 342 个葡萄品种的成熟叶片为试材, 用度量性状与非度量性状相结合发现叶片形态性状具有丰富的遗传多样性, 叶片长度等性状遗传多样性较为丰富。王美军等^[9]通过主成分分析表明果实性状、叶片特征和种子性状能直观地反映种质的亲缘关系, 农艺性状可以直观地反映刺葡萄种内遗传多样性的大小。Dong 等^[11]对全世界 3525 个栽培和野生葡萄品种进行遗传数据分析, 表明酿酒葡萄和鲜食葡萄同时驯化, 并确定了浆果颜色等驯化性状相关的变异。荀志丽等^[10]利用顶空固相微萃取气质联用技术对 47 份葡萄种质进行了果实香气品质鉴定, 筛选出 9 份具有特征香气物质的葡萄种质。有研

究发现葡萄果实中有 800 余种香气物质, 且不同种质资源的香气化合物组分及含量存在差异^[11-12]。通过果实香味品质性状鉴定, 将葡萄分为草莓香型、玫瑰香型和麝香型^[13], C_6 化合物是葡萄中最基础的香气物质; 麝香型葡萄种质中的香气物质主要以醛类为主; 草莓香型葡萄种质的香气物质主要以醇类和酯类物质为主; 玫瑰香型葡萄种质的香气物质主要以萜烯类物质为主^[14]。

目前, 在葡萄种质资源遗传多样性研究中, 香气物质与主要农艺性状的相关性尚未得到充分研究。因此, 本研究以国家太谷葡萄种质资源圃的 62 份葡萄种质为材料, 对其幼叶及成熟果实的主要农艺性状进行鉴定。通过顶空固相微萃取结合气相质谱联用技术 (HS-SPME-GC-MS, headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry) 对香气物质进行检测, 分析葡萄果实香气物质与主要农艺性状的遗传多样性, 以期改良葡萄香气品质及育种提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为国家太谷葡萄种质资源圃 (位于山西省晋中市太谷区山西农业大学 (山西省农业科学院) 果树研究所) 内具有香气的 62 份葡萄种质 (表 1)。2022 年 8-10 月, 每份种质筛选生长良好、成熟度一致、无机械损伤、无病虫害的浆果 200 g, 液氮速冻, 储存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱, 以供香气物质测定。

表1 62份葡萄种质资源信息

Table 1 Information of 62 grape germplasm resources

编号 Code	品种 Cultivar	种类 Type	编号 Code	品种 Cultivar	种类 Type	编号 Code	品种 Cultivar	种类 Type
V1	奥利文	欧亚种	V22	白巴尔图格弟尔	欧亚种	V43	8-11	欧亚种
V2	康拜尔早生	欧美种	V23	图雅吉什	欧亚种	V44	无核翠宝	欧亚种
V3	滕稔	欧美种	V24	黑德巴斯	欧亚种	V45	玫香宝	欧亚种
V4	派切尔	欧亚种	V25	科维丁卡	欧亚种	V46	8-27	欧美种
V5	京亚	欧美种	V26	苏38号	欧亚种	V47	安云皇后	欧美种
V6	白香蕉	欧美种	V27	苏9-15	欧亚种	V48	四倍体玫瑰香	欧亚种
V7	火星无核	欧美种	V28	意大利	欧亚种	V49	巨玫瑰	欧亚种
V8	贝蕾	欧美种	V29	派克斯	欧亚种	V50	峰光	欧美种
V9	延吉山葡萄	山葡萄	V30	玫瑰香	欧亚种	V51	着色香	欧美种
V10	大粒玫瑰香	欧亚种	V31	柔丁香	欧美种	V52	矢富罗莎	欧亚种
V11	瑰宝	欧亚种	V32	维金拉斯	欧美种	V53	小白玫瑰	欧亚种
V12	伊豆锦	欧美种	V33	布莱顿	欧美种	V54	极早蜜	欧美种
V13	巨峰	欧美种	V34	黑虎香	美洲种	V55	美国绿	欧美种
V14	巨峰×巨鲸	欧美种	V35	蜜而斯	欧美种	V56	金星	欧美种
V15	龙宝	欧美种	V36	阿鲁什丁玫瑰	欧亚种	V57	玉手指	欧美种
V16	红瑞宝	欧美种	V37	五味子	欧美种	V58	瑞都香玉	欧亚种
V17	井川1055	欧美种	V38	红瑞宝	欧美种	V59	瑞都科美	欧亚种
V18	苏哈克	欧亚种	V39	11-5	欧美种	V60	爱神玫瑰	欧亚种
V19	比格基胡沙	欧亚种	V40	澳大利亚无核6号	欧亚种	V61	沈农香丰	欧美种
V20	依奇克玛	欧亚种	V41	29-14	欧亚种	V62	沈农硕丰	欧美种
V21	卡拉斯	欧亚种	V42	新藤稔	欧美种			

1.2 农艺性状的鉴定

根据《葡萄种质资源描述规范和数据标准》^[15],对62份葡萄种质幼叶与成熟果实的农艺性状进行鉴定。2022年5月18-23日,嫩梢5片叶时,随机选取10个嫩梢调查幼叶的上表面颜色、上表面光泽、花青素着色、叶背面绒毛4个性状,其中稍尖闭合至半开张的种质,观察稍尖第二个展开叶片;稍尖半开张以上至全开张的种质,则观察稍尖第4个展开的叶片,使用目测观察时以欧亚种玫瑰香作为参照种质。2022年8-10月,每份种质随机采集果粒无机械损伤的3个果穗作为观测对象,分别取果穗上部、中部和下部果粒,调查成熟果实的果皮颜色、果实形状、果肉颜色、果肉香味等性状。

1.3 挥发性物质的提取

SPME萃取头选用80 μm DVB/CWR/PDMS。为降低萃取头图流流失导致的误差,使用前按照说明书在250 °C的温度下老化30 min。葡萄检测方法参考Chen等^[16]和孙磊等^[17]的方法。制备样品时,从-80 °C冰箱取出样品100 g,快速去除籽和果梗,加入1.0 g交联聚乙烯吡咯烷酮和0.5 g D-葡萄糖酸内脂液氮研磨至粉末,装入50 mL离心管在4 °C冷浸4 h,4 °C 10000 r/min离心20 min,取6 mL上清液放入顶空瓶中,加入5 μL内标的2-辛醇(155 mg/L),1.0 g氯化钠。密封后,将顶空瓶放在40 °C 500 r/min的磁力旋转器,平衡30 min,针老化15 min,萃取30 min后,将萃取头插入气相色谱质谱联用仪(GC-MS, gas chromatography mass spectrometry)进样口中,解析8 min。

1.4 GC-MS分析

试验仪器为 Agilent 气相质谱色谱联用仪 (7890 B-7010 B), 色谱柱为 HP-INNOWAX (60 mm×0.25 mm×0.25 μm)。柱温升温程序为 50 ℃, 保持 1 min 后, 以 3.0 ℃/min 升至 220 ℃, 保持 5 min, 氦气为载气, 流速为 1 mL/min, 进样口温度 250 ℃, 不分流, 解析 8 min。质谱条件: EI 电离源, 电子能量 70 eV, 四级杆温度为 150 ℃, 传感线温度为 250 ℃。

1.5 数据处理

使用 Excel 对数据进行整理和统计分析, SPSS 计算平均值、标准差, 显著性分析采用 Auncan's 检验和单因素 ANOVA 分析。使用 Origin 2022 软件制作柱状图、箱线图、相关性分析和散点图。使用迈维云平台 (Metware Cloud, <https://cloud.metware.cn>) 进行非度量多维尺度分析 (0.05 < stress < 0.15, 比较

理想; 0.15 < stress < 0.20, 可用), 使用 Simca 进行正交偏最小二乘-判别分析 (OPLS-DA, orthogonal partial least squares-discriminant analysis)。

2 结果与分析

2.1 农艺性状的鉴定

对 62 份种质资源的幼叶与成熟浆果进行鉴定, 如表 2 所示。幼叶上表面颜色有黄、绿、橙黄和紫红 4 种颜色; 上表面光泽分为有光泽和无光泽; 花青素着色分为无、极弱、弱、中、强 5 类; 叶背面绒毛分为无、极疏、疏、中、密和极密 6 类。成熟浆果果皮颜色有黄绿、兰黑、紫红、粉红、红 5 种颜色; 果实形状有圆形、倒卵形、近圆形、椭圆形和鸡心形 5 种; 果肉颜色分为弱、中、强; 果肉香味分为草莓味、玫瑰味及其他。

表 2 种质农艺性状鉴定

Table 2 Agronomic traits identification of germplasm

编号 Code	幼叶 Young leaf				成熟浆果 Mature berries			
	上表面颜色	上表面光泽	花青素着色	叶背面绒毛	果皮颜色	果实形状	果肉颜色	果肉香味
	CUS	SUS	AC	HBVL	CS	SF	CF	AF
V1	黄	有	无	无	黄绿	圆形	弱	玫瑰味
V2	绿	无	无	密	兰黑	圆形	弱	其他
V3	橙黄	无	极弱	中	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V4	橙黄	无	极弱	疏	兰黑	倒卵形	强	其他
V5	橙黄	有	极弱	疏	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V6	黄	无	极弱	疏	黄绿	倒卵形	弱	草莓味
V7	绿	无	无	极密	紫红	圆形	弱	草莓味
V8	绿	无	无	疏	兰黑	近圆形	弱	草莓味
V9	橙黄	有	中	极疏	黄绿	椭圆形	弱	其他
V10	橙黄	无	中	疏	紫红	圆形	弱	玫瑰味
V11	橙黄	有	强	无	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V12	橙黄	有	中	疏	紫红	圆形	强	草莓味
V13	绿	无	无	中	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V14	橙黄	无	中	疏	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V15	黄	无	弱	密	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V16	绿	无	无	极密	粉红	倒卵形	中	草莓味
V17	绿	无	极弱	极密	红	倒卵形	弱	草莓味
V18	黄	有	弱	密	紫红	椭圆形	弱	其他
V19	橙黄	有	中	无	紫红	圆形	弱	玫瑰味
V20	黄	有	弱	中	兰黑	倒卵形	弱	玫瑰味
V21	橙黄	有	中	无	粉红	近圆形	弱	其他
V22	绿	有	无	极疏	红	椭圆形	弱	其他
V23	黄	有	弱	密	兰黑	倒卵形	弱	其他
V24	橙黄	有	中	无	粉红	椭圆形	弱	其他

表2(续)

编号 Code	幼叶 Young leaf				成熟浆果 Mature berries			
	上表面颜色	上表面光泽	花青素着色	叶背面绒毛	果皮颜色	果实形状	果肉颜色	果肉香味
	CUS	SUS	AC	HBVL	CS	SF	CF	AF
V25	黄	有	弱	极疏	黄绿	近圆形	弱	其他
V26	橙黄	有	中	中	紫红	椭圆形	中	玫瑰味
V27	橙黄	有	中	无	红	椭圆形	弱	其他
V28	黄	有	弱	中	黄绿	椭圆形	弱	玫瑰味
V29	橙黄	有	中	无	黄绿	椭圆形	弱	玫瑰味
V30	橙黄	有	中	中	紫红	椭圆形	弱	玫瑰味
V31	黄	有	弱	疏	黄绿	倒卵形	弱	草莓味
V32	绿	无	无	密	粉红	圆形	弱	草莓味
V33	绿	无	无	中	紫红	圆形	弱	草莓味
V34	绿	无	无	密	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V35	黄	无	弱	密	兰黑	圆形	弱	草莓味
V36	橙黄	有	中	中	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V37	绿	无	无	密	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V38	绿	无	无	密	粉红	椭圆形	弱	草莓味
V39	橙黄	有	中	疏	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V40	黄	无	极弱	极密	粉红	倒卵形	弱	其他
V41	橙黄	有	中	疏	紫红	近圆形	弱	玫瑰味
V42	黄	无	极弱	无	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V43	紫红	有	强	极疏	黄绿	倒卵形	弱	玫瑰味
V44	绿	有	无	无	黄绿	圆形	中	玫瑰味
V45	绿	有	弱	疏	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V46	橙黄	有	中	无	紫红	倒卵形	弱	其他
V47	绿	无	无	密	粉红	倒卵形	弱	草莓味
V48	黄	无	弱	密	红	圆形	弱	玫瑰味
V49	橙黄	有	中	疏	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V50	紫红	无	强	极密	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V51	绿	无	极弱	中	粉红	鸡心形	弱	草莓味
V52	紫红	有	强	无	紫红	椭圆形	弱	其他
V53	橙黄	有	中	极疏	黄绿	圆形	弱	玫瑰味
V54	紫红	有	强	无	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V55	绿	无	无	密	黄绿	椭圆形	弱	其他
V56	绿	无	无	中	紫红	圆形	弱	草莓味
V57	黄	无	弱	中	黄绿	鸡心形	弱	草莓味
V58	绿	无	极弱	密	兰黑	倒卵形	弱	玫瑰味
V59	绿	有	极弱	无	黄绿	倒卵形	弱	玫瑰味
V60	黄	有	极弱	中	粉红	椭圆形	弱	玫瑰味
V61	绿	无	无	极密	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V62	黄	无	弱	密	紫红	倒卵形	弱	草莓味

CUS: Color of the upper side; SUS: Sheen on upper side; AC: Anthocyanin colouration ;HBVL: Haris between veins of lower; CS: Color of skin; SF: Shape of fruit ;CF: Color of flesh ;AF: Articular flavor; The same as below

2.2 葡萄种质的香气物质多样性分析

葡萄果实的香气特征不仅与挥发性化合物的种类密切相关,还与其含量密切相关。利用 HP-SPME-GC-MS 对 62 份葡萄品种资源进行挥发性物质测定,共检测出 7 类 99 种挥发性物质,其中醇类 14 种、酸类 7 种、醛类 17 种、萜烯类 18 种、酯类 31 种、酮类 7 种、降异戊二烯类 5 种(表 3)。62 份种质的总挥发物的平均含量为 47.89 mg/L,其中醇类

的平均含量在 5 类挥发物中最高(13.83 mg/L),变化范围为 37.87 (京亚)~456.56 $\mu\text{g/L}$ (滕稔),主要包括 2,4-己二烯-1-醇和 1-癸醇等(图 1、表 3);酯类含量次之(13.53 mg/L),变化范围为 16.19 (苏 38 号)~630.55 $\mu\text{g/L}$ (滕稔),主要包括(E)-4-庚烯酸乙酯、庚酸乙酯、乙酸异戊酯和 2-(乙基硫基)丙酸乙酯等(图 1、表 3);酸类的平均含量最低,是 0.44 mg/L,变化范围为 0 (苏 38 号等)~35.93 $\mu\text{g/L}$ (布莱顿)。

表 3 62 份葡萄种质资源挥发性物质含量

Table 3 Content of volatile compounds in 62 grape germplasm resources

种类 Types	CAS 编号 CAS Rn	挥发性物质 Volatile compounds	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.
醇类($\mu\text{g/L}$) Alcohols	99-48-9	L-香芹醇	0.52	3.83	37.91
	928-97-2	(E)-3-己烯-1-醇	2.55	8.77	84.09
	928-94-9	顺-2-己烯-1-醇	1.88	3.24	12.56
	64275-73-6	顺式 5-辛烯-1-醇	2.19	8.83	72.18
	6032-29-7	2-戊醇	0.34	1.19	6.08
	60-12-8	苯乙醇	2.77	5.70	33.89
	507-70-0	2-茨醇	0.08	0.65	5.44
	34995-77-2	反- α 反- α , α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化-2-咪喃甲醇	15.04	37.18	236.85
	3391-86-4	1-辛烯-3-醇	5.56	4.46	17.41
	143-08-8	1-壬醇	0.08	0.64	5.40
	111-28-4	2,4-己二烯-1-醇	167.55	70.43	537.03
	111-27-3	正己醇	4.57	5.06	29.84
	100-51-6	苜醇	0.36	1.29	7.46
	112-30-1	1-癸醇	8.34	22.87	240.37
酸类($\mu\text{g/L}$) Acids	109-52-4	戊酸	0.14	0.81	6.09
	111-14-8	庚酸	0.40	1.43	7.48
	112-05-0	壬酸	0.69	2.73	14.26
	124-07-2	辛酸	0.12	0.64	4.68
	142-62-1	己酸	1.32	2.77	16.32
	1871-67-6	(E)-2-辛烯酸	1.50	8.19	60.99
	64-19-7	乙酸	2.82	4.51	20.25
醛类($\mu\text{g/L}$) Aldehyde	6728-26-3	反式-2-己烯醛	13.63	16.06	67.50
	66-25-1	己醛	27.53	26.52	131.32
	590-86-3	3-甲基丁醛	0.56	1.59	8.71
	5779-94-2	2,5-二甲基苯甲醛	2.14	3.28	10.25
	557-48-2	反,顺-2,6-壬二烯醛	2.22	4.40	45.65
	5392-40-5	柠檬醛	1.55	3.47	17.42
	4440-65-7	3-己烯醛	0.42	1.78	11.76
	432-25-7	β -环柠檬醛	0.61	2.34	19.97
	4313-03-5	(E,E)-2,4-庚二烯醛	7.24	9.39	96.56
	2548-87-0	反-2-辛烯醛	3.65	23.02	313.58
	18829-56-6	(E)-2-壬烯醛	2.78	3.70	27.25
142-83-6	(E,E)-2,4-己二烯醛	10.63	7.80	34.92	

表3(续)

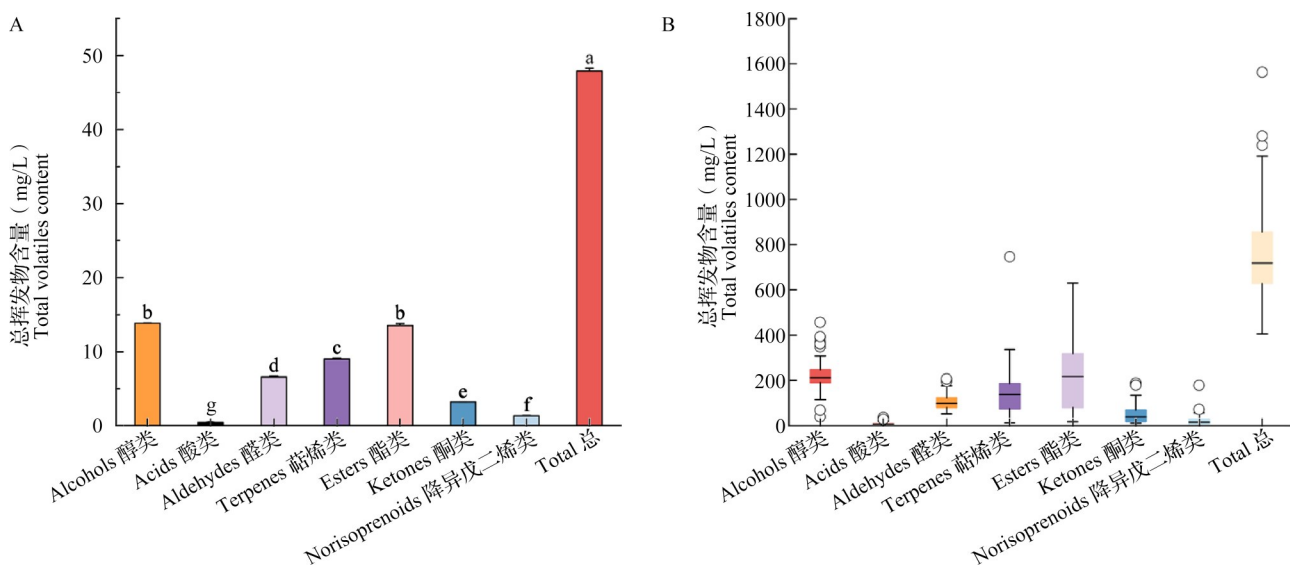
种类 Types	CAS编号 CAS Rn	挥发性物质 Volatile compounds	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.
醛类($\mu\text{g/L}$) Aldehyde	124-19-6	壬醛	8.97	16.69	129.17
	124-13-0	正辛醛	2.20	8.41	73.59
	122-78-1	苯乙醛	15.96	14.06	74.21
	111-71-7	庚醛	1.66	4.84	38.51
	100-52-7	苯甲醛	4.59	5.71	47.55
萜烯类($\mu\text{g/L}$) Terpenes	123-35-3	月桂烯	0.26	1.13	8.43
	13466-78-9	3-萜烯	4.79	18.64	146.81
	18172-67-3	左旋- β -蒎烯	10.45	20.47	156.01
	586-62-9	萜品油烯	19.56	26.68	237.08
	5989-27-5	D-柠檬烯	12.53	17.79	89.35
	99-83-2	α -水芹烯	0.49	2.10	13.77
	99-85-4	萜品烯	4.64	6.45	31.77
	127-91-3	β -蒎烯	4.35	15.43	102.60
	40716-66-3	反式-橙花叔醇	0.33	2.05	19.20
	106-25-2	橙花醇	17.80	27.17	125.76
	106-22-9	香茅醇	4.52	12.27	54.25
	10482-56-1	α -松油醇	2.46	9.46	87.82
	106-24-1	香叶醇	0.80	4.22	33.17
	98-55-5	α -松油醇	29.33	38.86	161.75
	78-70-6	芳樟醇	17.36	56.69	426.73
	562-74-3	4-萜烯醇	11.07	13.00	48.36
	2216-51-5	L-薄荷醇	1.66	6.04	52.12
	928-96-1	顺-3-己烯醇	2.58	7.76	85.84
酯类($\mu\text{g/L}$) Esters	97-62-1	异丁酸乙酯	1.17	2.84	16.01
	93-89-0	苯甲酸乙酯	7.72	10.15	40.87
	93-58-3	苯甲酸甲酯	0.17	0.89	6.93
	77-68-9	3-羟基-2,2,4-三甲基异丁酸戊酯	4.72	5.96	44.11
	7452-79-1	2-甲基丁酸乙酯	6.62	8.54	29.96
	7367-82-0	反式-2-辛烯酸乙酯	5.77	14.38	113.07
	628-97-7	十六酸乙酯	0.11	0.50	3.28
	5837-78-5	惕各酸乙酯	1.30	4.03	37.88
	54340-70-4	(E)-4-庚烯酸乙酯	11.15	22.79	199.62
	5405-41-4	3-羟基丁酸乙酯	10.48	11.79	37.48
	539-82-2	戊酸乙酯	10.25	19.42	150.31
	3025-30-7	(E,Z)-2,4-癸二烯酸乙酯	0.41	1.52	9.88
	2396-83-0	3-己烯酸乙酯	1.38	3.46	15.05
	2305-25-1	3-羟基己酸乙酯	2.58	10.22	97.05
	20461-97-6	2-(乙基硫基)丙酸乙酯	16.96	18.51	62.70
	1552-67-6	2-己烯酸乙酯	0.40	2.07	16.08
	142-92-7	乙酸己酯	5.08	14.83	97.97
	141-78-6	乙酸乙酯	0.19	1.53	18.11
	123-92-2	乙酸异戊酯	49.04	46.64	159.59
	123-66-0	己酸乙酯	0.64	1.96	12.05

表 3 (续)

种类 Types	CAS编号 CAS Rn	挥发性物质 Volatile compounds	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.
酯类($\mu\text{g/L}$) Esters	123-25-1	琥珀酸二乙酯	4.54	7.97	44.83
	119-36-8	水杨酸甲酯	0.28	1.27	10.85
	108-64-5	异戊酸乙酯	0.54	3.01	19.23
	106-70-7	己酸甲酯	9.23	17.54	169.06
	106-32-1	辛酸乙酯	7.45	13.34	107.14
	106-30-9	庚酸乙酯	35.42	52.70	255.43
	105-54-4	丁酸乙酯	2.45	4.72	17.40
	105-37-3	丙酸乙酯	0.33	2.10	18.63
	103-09-3	2-乙基己基乙酸酯	3.34	10.85	100.22
	101-97-3	苯乙酸乙酯	0.45	1.22	8.12
	110-38-3	正癸酸乙酯	1.02	2.25	12.67
酮类($\mu\text{g/L}$) Ketones	937-30-4	对乙基苯乙酮	3.79	3.18	17.86
	79-77-6	β -紫罗酮	0.18	1.04	8.60
	76-22-2	2-苻酮	6.42	26.07	174.36
	67-64-1	丙酮	0.74	1.63	8.60
	590-90-9	4-羟基-2-丁酮	29.92	52.76	290.34
	30086-02-3	(3E,5E)-3,5-辛二烯-2-酮	0.90	2.33	16.53
降异戊二烯类($\mu\text{g/L}$) Norisoprenoids	111-13-7	2-辛酮	5.78	5.97	20.69
	8013-90-9	紫罗兰酮	1.40	7.29	58.10
	23726-93-4	大马士酮	5.91	8.10	44.13
	16409-43-1	玫瑰醚	9.99	19.42	84.23
	14901-07-6	β -紫罗兰酮	2.25	6.34	44.13
127-41-3	α -紫罗酮	0.46	2.38	17.33	

CAS 编号在生物化学上是物质唯一识别码的代称, 每一个编号代表一种挥发性香气物质

CAS number is the name of the unique identification code of the substance in biochemistry, and each number represents a volatile aroma substance



A: 香气含量, 图中不同小写字母代表不同挥发性物质之间差异显著 ($P < 0.05$); B: 香气物质含量的范围和分布图

A: Histogram of aroma content, different lowercase letters in the figure represent significant differences between different volatile substances at $P < 0.05$ level; B: The range and distribution map of aroma substance content

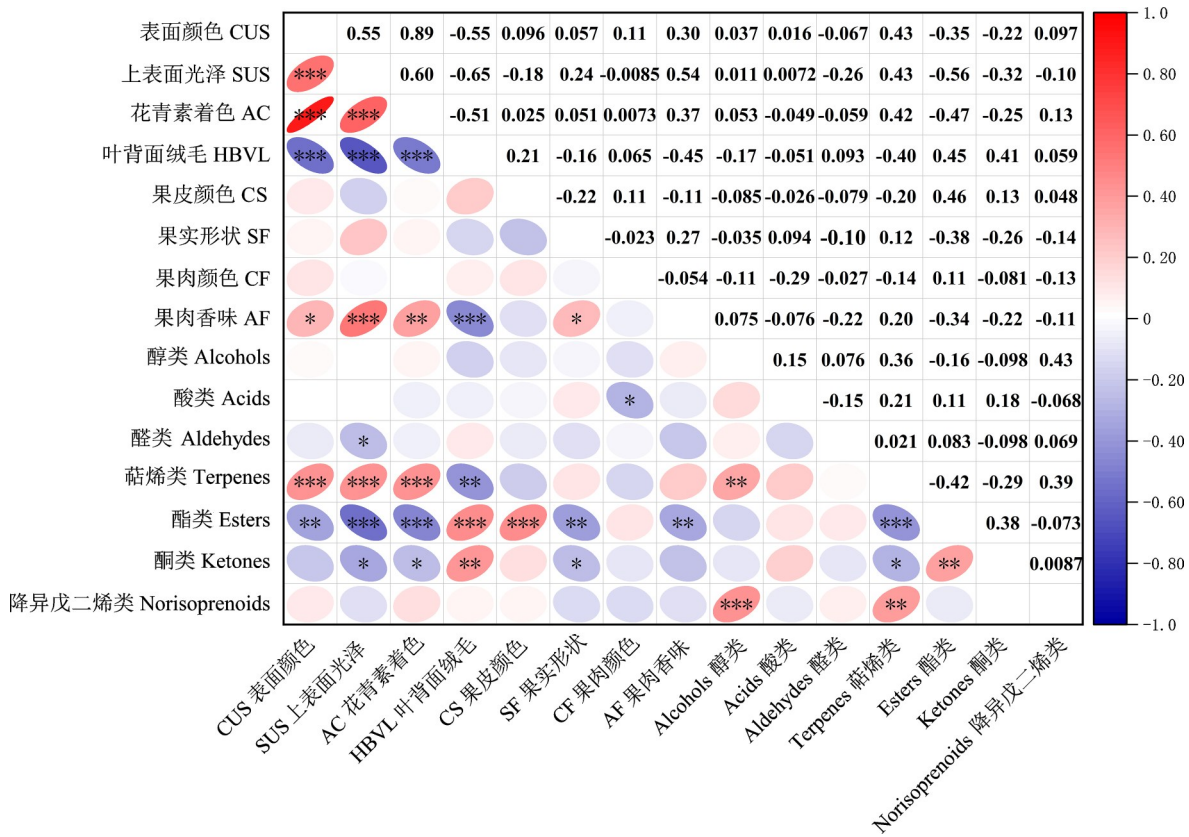
图 1 62 份葡萄成熟果实的香气含量

Fig. 1 Aroma contents in mature fruits of 62 grape cultivar

2.3 香气成分与农艺性状的相关性分析

为了进一步探究葡萄不同品种挥发性物质与农艺性状之间的关联,对8个农艺性状与7类挥发性物质进行了相关性分析(图2)。结果显示,在8个农艺性状之间,幼叶上表面光泽与上表面颜色呈极显著正相关,花青素着色与上表面颜色、上表面光泽均呈极显著正相关,果肉香味与上表面颜色、上表面光泽、花青素着色均呈显著或极显著正相关。挥发性物质之间,降异戊二烯类挥发性物质与醇类

和萜烯类均呈极显著正相关;萜烯类与醇类呈极显著正相关。在农艺性状与挥发性物质之间,萜烯类挥发性物质与幼叶上表面颜色、上表面光泽、花青素着色均呈极显著正相关。酯类挥发性物质与果皮颜色、叶背面绒毛均呈极显著正相关,与上表面颜色、上表面光泽、花青素着色、果实形状和果肉香味均呈极显著负相关。酮类挥发性物质与叶背面绒毛呈极显著正相关,与上表面光泽、花青素着色、果实形状均呈显著负相关。



*, **, *** 分别代表 0.05, 0.01, 0.001 水平上显著相关
 *, **, *** means significant correlation at 0.05, 0.01, 0.001 level, respectively

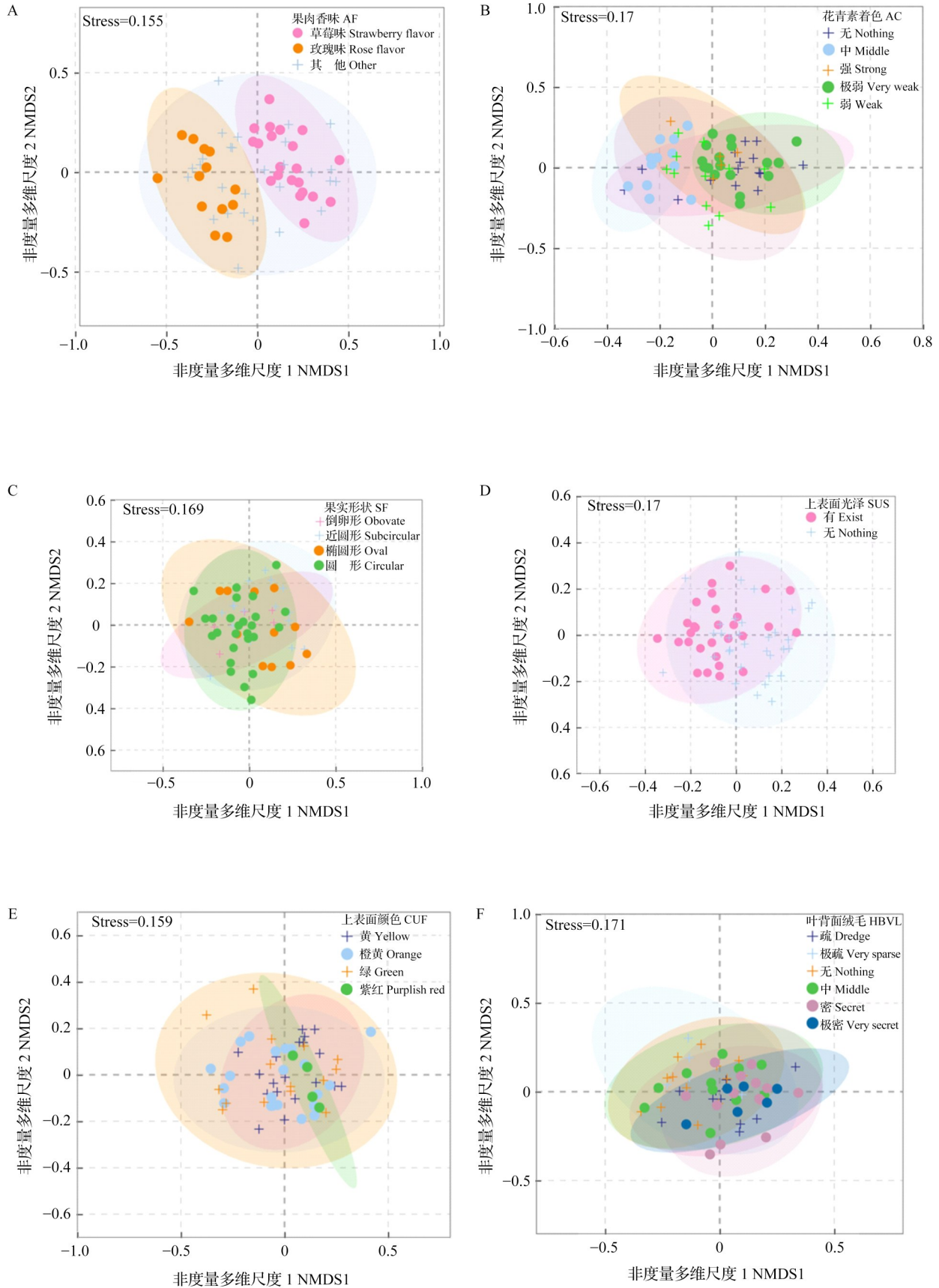
图2 葡萄种质资源香气物质与农艺性状相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between aroma substances and agronomic traits of grape germplasm resources

2.4 非度量多维尺度分析

非度量多维尺度分析是一种排序方法,与主成分分析法的区别在于,它能将多维度空间的研究对象转化成低维空间,同时在分析、归类中保留原始数据,降低极值对数据分析的影响,减小数值。将62份葡萄种质资源在6种分类标准下进行非度量多维尺度分析(图3),结果表明果肉香味(stress=

0.155),玫瑰味和草莓味种质之间差异显著,可明显区分开;花青素着色(stress=0.17),极弱和中种质之间差异显著,可区分开;果实形状(stress=0.169)、上表面光泽(stress=0.17)、上表面颜色(stress=0.159)和叶背面绒毛(stress=0.171),不同类别间差异不显著,无法区分。



NMDS: Non-metric multidimensional scaling

图3 62份葡萄种质资源挥发性成分在6种分类标准下的非度量多维尺度分析

Fig. 3 NMDS analysis of volatile compounds of 62 grape germplasm resources under 6 classification criteria

2.5 正交偏小二乘-判别分析(OPLS-DA)

通过非度量多维尺度分析,发现草莓味和玫瑰味存在显著差异,幼叶花青素着色极弱和中也有显著差异。此前,李凯等^[18]已对麝香型、玫瑰香型和草莓香型葡萄果实的香气成分进行了分析。因此,本研究采用正交偏最小二乘-判别(OPLS-DA)对幼叶花青素着色极弱与中的挥发性物质进行分析。以挥发性物质变量重要性投影值(VIP)大于1并且 $P < 0.05$ 作为标准,筛选出17个对分类模型贡献较大的特征性挥发物质,包括12种酯类和5种萜

烯类化合物(图4),其中,正己酸乙酯VIP值最大。17种特征挥发性物质中,13种挥发性物质(正己酸乙酯、丁酸乙酯、2-己烯酸乙酯、3-羟基丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、戊酸乙酯、辛酸乙酯、庚酸乙酯、反式-2-辛烯酸乙酯、惕各酸乙酯、乙酸乙酯和芳樟醇)在幼叶花青素着色极弱的种质中的含量高于幼叶花青素着色中的种质。而橙花醇、 α -松油醇、萜品油烯和玫瑰醚在幼叶花青素着色极弱的种质中的含量低于幼叶花青素着色中的种质。

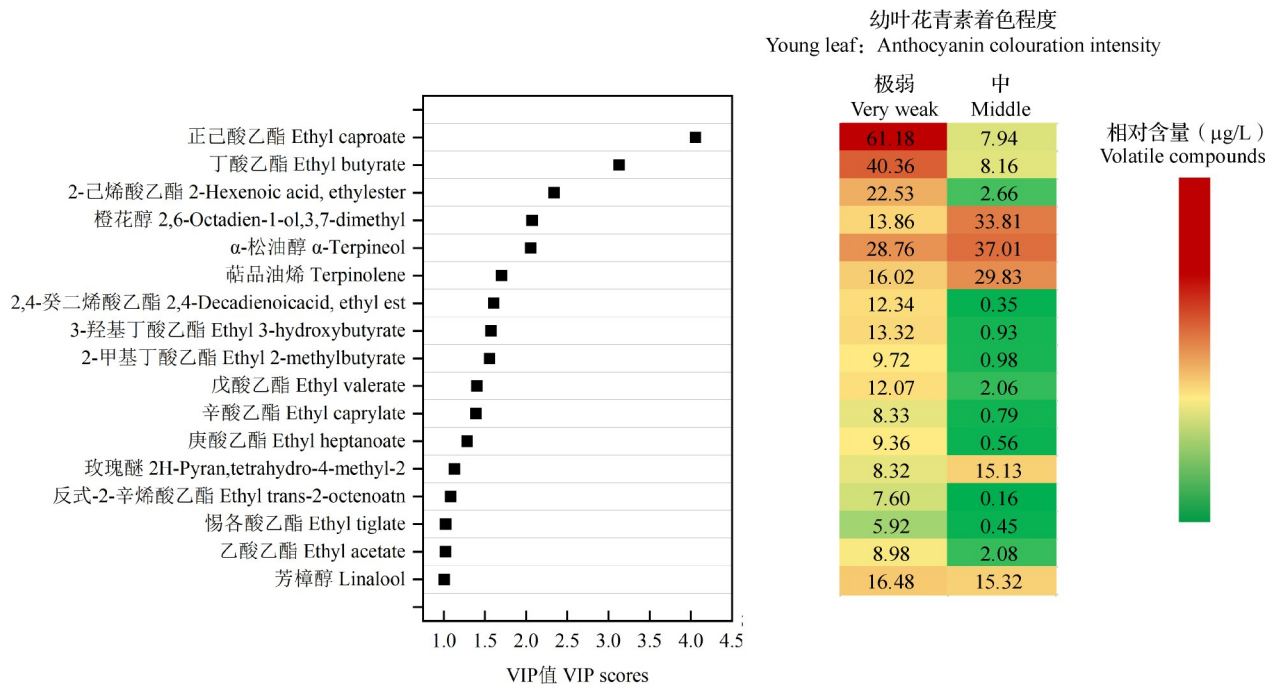


图4 17种特征性化合物的VIP值及相对含量

Fig. 4 VIP and relative content of 17 characteristic volatile compounds

3 讨论

随着葡萄新品种选育及审定数量的快速增加,葡萄在表型特征上的变异越来越多样,传统依据形态特征的种质鉴定方法在品种鉴别方面难度也越来越大^[19-20]。香气是最重要的果实品质之一,主要包括醇类、酯类、酸类、醛类、萜烯类、酮类和碳氢化合物等挥发性物质,每一种挥发性物质都有自己独特的的气味,通过不同的组合、浓度以及比例赋予每种葡萄特定的香气,被认为是区分品种的重要依据^[21-23]。有研究表明,李果实中香气物质有100多种^[24]。贾宇尧等^[25]在5种枣中检测到8类(酯类、酸类、烃类、酮类、醛类、醇类、酚类及其他类)共126种香气物质。本研究对62份葡萄种质的挥发性物质进行测定分析,检测到99种挥发性物质,包括酯类、

醇类、醛类、酸类、酮类、萜烯类及降异戊二烯类7类,含量与分布均有显著性差异。其中醇类含量最高,其次是酯类和萜烯类。Wu等^[26]采用固相微萃取-气相色谱/质谱联用技术(SPME-GC-MS)对19个葡萄品种的香气特征进行分析,发现果实香气中醇类为最基本的挥发物,香味的差异主要取决于酯类和萜烯类含量,与本研究结果一致。

香气物质是评价葡萄品质的重要指标之一,它构成了葡萄的特征风味。对葡萄果实香气物质的检测,可以确定其品种特性,为提高葡萄果实品质及其育种提供一定的理论基础^[27]。葡萄的形态特征和生物学特性主要由遗传因素决定,经过长期的自然生长或人工栽培,在种间、种内乃至品种间均表现出一定的多样性^[28]。刘鑫铭等^[29]对国家果树种质郑州葡萄资源圃内562份栽培品种的叶片性状

进行了调查,分析发现幼叶表面颜色、花青素着色、表面光泽等存在着丰富的多样性。花青素着色程度影响幼叶的颜色,花青素着色程度越强幼叶表面颜色越深。李桂芝等^[30]通过36份桃品种资源果实挥发性成分遗传多样性分析,发现挥发性物质之间有很大的差异,并且与品种类型、肉质、核粘离性和果肉颜色有一定关联。张亚娇等^[31]对罗勒15份种质资源的植物学性状和挥发性成分进行主成分分析和聚类分析,结果发现15份罗勒种质植物学性状和挥发性成分差异显著。目前,尚未有葡萄香气物质与农艺性状之间的相关性研究。通过挥发性物质与8个农艺性状的相关性分析发现,幼叶上表面颜色、上表面光泽和花青素着色与萜烯类挥发性物质均呈极显著正相关,与叶背面绒毛呈负相关;酯类与叶背面绒毛、果皮颜色均呈极显著正相关,与上表面光泽和叶背面绒毛均呈极显著负相关;酮类与叶背面绒毛呈极显著正相关,与上表面光泽、花青素着色均呈显著负相关。岳郁等^[32]对玉露香和新世纪杂交F₁的品质性状与香气活性值分析得到的13个特征香气进行相关性分析,发现正己醇与维生素C呈显著正相关,2-甲基丁酸乙酯和可溶性固形物呈显著正相关。

非度量多维尺度分析减少排序轴展示主体间的相对位置,可用于分析不同葡萄种质资源的相对关系和差异,结果显示幼叶花青素着色极弱与中之间存在着明显差异。正交偏最小二乘-判别分析能够有效识别关键葡萄挥发性物质。本研究筛选出17种(VIP>1, P<0.05)潜在的关键挥发性物质,其中酯类物质包括正己酸乙酯、丁酸乙酯、2-己烯酸乙酯等,与Wu等^[3]在分析鲜食葡萄种质资源果实香气的研究结果相似,正己酸乙酯VIP值最高,贡献率最大,奚晓军等^[33]发现巨峰重要的香气物质为正己酸乙酯,与本研究结果一致。李凯等^[34]研究表明,意大利葡萄果实中正己酸乙酯的香气阈值为6.94。酯类物质是草莓香型的特征性挥发物质^[35]。本研究发现花青素着色极弱的品种中酯类物质含量均高于花青素着色中的品种,草莓味的品种以酯类物质为主,花青素着色极弱或幼叶上表面颜色绿的种质与欧美种草莓香型品种有一定的相关性。本研究幼叶花青素着色中的品种萜烯类物质高于幼叶花青素着色极弱的品种,筛选出的萜烯类物质有橙花醇、 α -松油醇、萜品油烯和芳樟醇。牛早柱等^[14]发现玫瑰香型葡萄萜烯类主要物质芳樟醇、橙花醇等,与本研究结果一致。萜烯类挥发性物质是一类能

够为葡萄果实提供花香和玫瑰香味的物质,尤其是对于具有玫瑰香型的葡萄品种^[36]。研究表明,不同单萜挥发性物质之间存在着显著的相关性^[37]。花青素着色中的葡萄种质或幼叶上表面颜色为橙黄可以用来确定欧亚种玫瑰香型葡萄。

本研究62份葡萄种质资源共检测出99种香气物质,香气物质之间存在显著差异和一定的相关性,香气物质在玫瑰味和草莓味的葡萄种质间表现出较大差异,幼叶花青素着色程度与葡萄香气物质有一定的关联。通过正交偏最小二乘-判别分析(OPLS-DA)进一步筛选出17种香气物质,酯类中正己酸乙酯VIP值最高(4.06),萜烯类中橙花醇VIP值最高(2.07),幼叶花青素着色极弱的种质中酯类物质含量高于幼叶花青素着色中的种质,幼叶花青素着色中的种质的萜类物质含量高于幼叶花青素着色极弱的种质。这一结果能够更好地对欧美与欧亚种质资源进行鉴定,也为今后改善果实品质和育种提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] Dong Y, Duan S, Xia Q, Liang Z, Dong X, Margaryan K, Musayev M, Goryslavets S, Zdunić G, Bert P F, Lacombe T, Maul E, Nick P, Bitskinashvili K, Bisztray G D, Drori E, De Lorenzis G, Cunha J, Popescu C F, Arroyo-Garcia R, Arnold C, Ergül A, Zhu Y, Ma C, Wang S, Liu S, Tang L, Wang C, Li D, Pan Y, Li J, Yang L, Li X, Xiang G, Yang Z, Chen B, Dai Z, Wang Y, Arakelyan A, Kuliye V, Spotar G, Girrollet N, Delrot S, Ollat N, This P, Marchal C, Sarah G, Laucou V, Bacilieri R, Röckel F, Guan P, Jung A, Riemann M, Ujmajuridze L, Zakalashvili T, Maghradze D, Höhn M, Jahnke G, Kiss E, Deák T, Rahimi O, Hübner S, Grassi F, Mercati F, Sunseri F, Eiras-Dias J, Dumitru A M, Carrasco D, Rodriguez-Izquierdo A, Muñoz G, Uysal T, Özer C, Kazan K, Xu M, Wang Y, Zhu S, Lu J, Zhao M, Wang L, Jiu S, Zhang Y, Sun L, Yang H, Weiss E, Wang S, Zhu Y, Li S, Sheng J, Chen W. Dual domestications and origin of traits in grapevine evolution. *Science*, 2023, 379 (6635): 892-901
- [2] 王勇,孙锋,李玉玲,苏来曼·艾则孜,伍国红,郭平峰. 27份葡萄品种资源香味性状鉴定研究. *植物遗传资源学报*, 2023, 24 (5): 1355-1366
Wang Y, Sun F, Li Y L, Su L M, Ai Z Z, Wu G H, Guo P F. Identification of aroma traits in 27 grape variety resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24 (5): 1355-1366
- [3] Wu Y, Duan S, Zhao L, Gao Z, Luo M, Song S, Wang S. Aroma characterization based on aromatic series analysis in table grapes. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 31116
- [4] 朱骏驰,郭修武,李宝昌,郭印山. 3种香型葡萄果实香气物质

- 组分分析与3个生长阶段含量变化. 福建农业学报, 2023, 38(4):1-9
- Zhu J C, Guo X W, Li B C, Guo Y S. Analysis of aroma components and content changes in three growth stages of three aromatic grape fruits. *Fujian Agricultural Journal*, 2023, 38(4):1-9
- [5] 温可睿, 黄敬寒, 潘秋红, 段长青, 王军. 葡萄香气物质及其影响因素的研究进展. 果树学报, 2012, 29(3):454-460
- Wen K R, Huang J H, Pan Q H, Duan C Q, Wang J. Research progress on grape aroma compounds and their influencing factors. *Journal of Fruit Trees*, 2012, 29(3): 454-460
- [6] 魏玲玲, 王武, 陶建敏. 葡萄香气物质研究进展. 中国南方果树, 2018, 47(3):159-165
- Wei L L, Wang W, Tao J M. Research progress on grape aroma compounds. *Fruit Trees in Southern China*, 2018, 47(3): 159-165
- [7] 马小河, 赵旗峰, 董志刚, 唐晓萍, 王敏, 任瑞. 鲜食葡萄品种资源果实数量性状变异及概率分级. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6):1185-1189
- Ma X H, Zhao Q F, Dong Z G, Tang X P, Wang M, Ren R. Variations and probability grading of fruit quantitative traits in fresh grape variety resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(6): 1185-1189
- [8] 杨鑫, 孙宇杰, 周碧江, 付文静, 房玉林, 孟江飞. 中国现有葡萄品种叶片形态评价与分析. 北方园艺, 2021(1):23-29
- Yang X, Sun Y J, Zhou B J, Fu W J, Fang Y L, Meng J F. Leaf morphology evaluation and analysis of existing grape varieties in China. *Northern Horticulture*, 2021(1): 23-29
- [9] 王美军, 黄乐, 刘昆玉, 杨国顺, 钟晓红, 徐丰, 白描, 金燕, 石雪晖. 刺葡萄叶与花和果实及种子的表型性状研究. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2016, 42(5):489-495
- Wang M J, Huang L, Liu K Y, Yang G S, Zhong X H, Xu F, Bai M, Jin Y, Shi X H. Phenotypic trait analysis of thorny grape leaves, flowers, fruits, and seeds. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition*, 2016, 42(5): 489-495
- [10] 荀志丽, 马小河, 黄丽萍, 王敏, 赵旗峰. 47份鲜食葡萄种质资源果实香气品质鉴定分析. 山西农业大学学报:自然科学版, 2023, 3(5):83-91
- Xun Z L, Ma X H, Huang L P, Wang M, Zhao Q F. Identification and analysis of fruit aroma quality of 47 fresh grape germplasm resources. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 2023, 3(5):83-91
- [11] Panighel A, Flamini R. Applications of solid-phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry (SPME-GC/MS) in the study of grape and wine volatile compounds. *Molecules*, 2014, 19(12):21291-21309
- [12] 吴帅, 张岩, 张立华, 李庆亮, 谭伟. 鲜食香味葡萄种质资源果实性状的统计分析. 落叶果树, 2021, 53(4):17-20
- Wu S, Zhang Y, Zhang L H, Li Q L, Tan W. Statistical analysis of fruit traits of fresh flavored grape germplasm resources. *Deciduous Fruit Tree*, 2021, 53(4): 17-20
- [13] Yang C, Wang Y, Liang Z, Fan P, Wu B, Yang L, Li S. Volatiles of grape berries evaluated at the germplasm level by headspace-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, 2009, 114(3): 1106-1114
- [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. GC-MS analysis of aroma components in the fruits of 15 different grape varieties. *North China Agricultural Journal*, 2019, 34(S1): 85-91
- [15] 郭景南, 刘崇怀, 冯义彬, 樊秀彩, 李民. 《葡萄种质资源描述规范和数据标准》概述及使用讨论. 果树学报, 2010, 27(5):784-789
- Guo J N, Liu C H, Feng Y B, Fan X C, Li M. Overview and discussion on the use of "Specification and Data Standards for Grape Germplasm Resource Description". *Journal of Fruit Trees*, 2010, 27(5):784-789
- [16] Chen K, Qiu S, Liu C, Zhang L, Wu X, Ma L, Li J. Abiotic factors play important roles in complexity and characterization of aroma precursors in Vidal blanc grape. *Food Research International*, 2022, 162(Pt A): 112015
- [17] 孙磊, 钱旭, 张国军, 闫爱玲, 王晓玥, 王慧玲, 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, Xu H Y. Analysis of differences in monoterpenoid accumulation between greenhouse and open field cultures of 'Xiangfei' and 'Early Rose Fragrance' grapes. *Journal of Horticulture*, 2018, 45(8): 1467-1478
- [18] 李凯, 商佳胤, 田淑芬, 黄建全, 张娜, 王丹, 苏宏, 王超霞. 天津产区中性香型、玫瑰香型和草莓香型葡萄品种果实香气分析. 食品与发酵工业, 2020, 46(24):210-217
- Li K, Shang J Y, Tian S F, Huang J Q, Zhang N, Wang D, Su H, Wang C X. Analysis of fruit aroma of neutral aroma, rose aroma, and strawberry aroma grape varieties in Tianjin production area. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(24): 210-217
- [19] 刘伟, 王芸芸, 赵武娟, 赵雪辉, 董志刚. 21种不同类型葡萄种质资源遗传多样性的SSR分析. 中国农学通报, 2016, 32(34):143-148
- Liu W, Wang Y Y, Zhao W J, Zhao X H, Dong Z G. SSR analysis of genetic diversity of 21 different types of grape germplasm resources. *Chinese Journal of Agriculture*, 2016, 32(34): 143-148
- [20] Aragón I, Valpuesta Fernández V. Metabolic engineering of aroma components in fruits. *Biotechnology Journal*, 2013, 8(10): 1144-1158
- [21] Wang X, Chen Y, Zhang J, Wang Z, Qi K, Li H, Yin H. Comparative analysis of volatile aromatic compounds from a wide range of pear (*Pyrus L.*) germplasm resources based on HS-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, 2023, 418: 135963

- [22] Antalick G, Suklje K, Blackman J W, Meeks C, Deloire A, Schmidtko L M. Influence of grape composition on red wine ester profile: Comparison between Cabernet Sauvignon and Shiraz cultivars from Australian warm climate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(18): 4664-4672
- [23] Díaz-Fernández Á, Díaz-Losada E, Cortés-Diéguez S. Approach to the chemotaxonomic characterization of traditional cultivation grape varieties through their varietal aroma profile. *Foods*, 2022, 11(10): 1427
- [24] 张豫, 祝建, 田瑞, 王策, 蒋迎春, 吴黎明, 叶缘铭. 6 个李品种果实功能性物质与香气成分分析. *中国南方果树*, 2023, 52(5): 162-169, 174
Zhang Y, Zhu J, Tian R, Wang C, Jiang Y C, Wu L M, Ye Y M. Analysis of functional substances and aroma components in the fruits of six plum varieties. *Fruit Tree of Southern China*, 2023, 52(5): 162-169, 174
- [25] 贾宇尧, 石然启, 高京草, 吐尔逊阿依·达吾提, 哈力娜·哈麦拉, 韩刚. 不同品种红枣香气分析与评价. *食品研究与开发*, 2023, 44(18): 165-171
Jia Y Y, Shi R Q, Gao J C, Tuerxun Ayi D, Halina H, Han G. Aroma analysis and evaluation of different varieties of red dates. *Food Research and Development*, 2023, 44(18): 165-171
- [26] Wu Y, Zhang W, Duan S, Song S, Xu W, Zhang C, Wang S. In-depth aroma and sensory profiling of unfamiliar table-grape cultivars. *Molecules*, 2018, 23(7): 1703
- [27] 张明霞, 吴玉文, 段长青. 葡萄与葡萄酒香气物质研究进展. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 2098-2104
Zhang M X, Wu Y W, Duan C Q. Research progress on aroma compounds in grapes and wine. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(7): 2098-2104
- [28] 朱磊, 武欣, 刘云清, 于昕楚, 李新月, 臧延青, 汤华成. 葡萄种质资源鉴定研究进展. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2021, 33(4): 45-52, 92
Zhu L, Wu X, Liu Y Q, Yu X C, Li X Y, Zang Y Q, Tang H C. Research progress in grape germplasm resource evaluation. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural and Reclamation University*, 2021, 33(4): 45-52, 92
- [29] 刘鑫铭, 张国海, 刘崇怀, 郭大龙, 樊秀彩, 孙海生. 葡萄叶片表型多样性分析. *北方园艺*, 2010(6): 1-4
Liu X M, Zhang G H, Liu C H, Guo D L, Fan X C, Sun H S. Phenotypic diversity analysis of grape leaves. *Northern Horticulture*, 2010(6): 1-4
- [30] 李桂芝, 黄东慧, 王力荣, 吴金龙, 马兆成. 36 份桃品种资源果实挥发性成分遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(5): 1344-1354
Li G Z, Huang D H, Wang L R, Wu J L, Ma Z C. Genetic diversity analysis of volatile components in 36 peach varieties. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(5): 1344-1354
- [31] 张亚娇, 于福来, 元超, 陈晓鹭, 谢小丽, 王凯, 黄梅, 陈振夏, 官玲亮, 陈松笔. 基于植物性状和挥发性成分的罗勒种质资源遗传多样性分析. *热带作物学报*, 2023, 45(4): 825-836
Zhang Y J, Yu F L, Yuan C, Chen X L, Xie X L, Wang K, Huang M, Chen Z X, Guan L L, Chen S B. Genetic diversity analysis of basil germplasm resources based on plant traits and volatile components. *Journal of Tropical Crops*, 2023, 45(4): 825-836
- [32] 岳郁, 黄平, 陈虎, 于春亮, 彭建营. '玉露香' 与 '新世纪' 梨杂交 F₁ 代果实品质和香气成分的分析与评价. *食品科学*, 2023, 44(24): 277-285
Yue Y, Huang P, Chen H, Yu C Y, Peng J Y. Analysis and evaluation of the fruit quality and aroma components of the F₁ hybrid between 'Yuluxiang' and 'New Century' pears. *Food Science*, 2023, 44(24): 277-285
- [33] 奚晓军, 查倩, 殷向静, 蒋爱丽. '中华' 葡萄果实特征香气成分分析. *上海农业学报*, 2023, 39(4): 62-69
Xi X J, Cha Q, Yin X J, Jiang A L. Analysis of aroma components in 'Shenhua' grape fruits. *Shanghai Agricultural Journal*, 2023, 39(4): 62-69
- [34] 李凯, 商佳胤, 王学智, 张娜, 王超霞, 王丹, 张鹤, 田淑芬. 基于 HS-SPME-GC-MS 技术分析意大利葡萄果实香气. *东北农业科学*, 2023, 48(4): 106-112
Li K, Shang J Y, Wang X Z, Zhang N, Wang C X, Wang D, Zhang H, Tian S F. Analysis of Italian grape fruit aroma based on HS-SPME-GC-MS technology. *Northeast Agricultural Science*, 2023, 48(4): 106-112
- [35] Buratti S, Rizzolo A, Benedetti S, Torreggiani D. Electronic nose to detect strawberry aroma changes during osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, 2006, 71(4): E184-E189
- [36] Yue X, Ju Y, Fang Y, Zhang Z. Transcriptomics integrated with metabolomics reveals the effect of cluster thinning on monoterpene biosynthesis in 'Muscat Hamburg' grape. *Foods*, 2021, 10(11): 2718
- [37] 王慧玲, 闫爱玲, 孙磊, 张国军, 王晓玥, 任建成, 徐海英. 鲜食葡萄果实单萜合成关键基因的 eQTL 分析. *中国农业科学*, 2022, 55(5): 977-990
Wang H L, Yan A L, Sun L, Zhang G J, Wang X Y, Ren J C, Xu H Y. eQTL analysis of key genes for monoterpene synthesis in fresh grape fruits. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(5): 977-990