

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 stress<0.2)和正交偏最小二乘-判别分析(OPLS-DA)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 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。通过 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、果实香味与萜烯类、酯类及酮类具有显著相关性。NMDS 分析可以明显区分幼叶花青素着色极弱种质和幼叶花青素着色中的葡萄种质。以变量投影重要性(VIP>1 (variable importance in projection), P<0.05 为标准, 筛选到 17 种主要的挥发性物质, 其中己酸乙酯的 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 Xiaohe², HUANG Liping², WANG Min², XUN Zhili², ZHAO Qifeng²

(¹ College of Horticulture, Agricultural University of Shanxi, Jinzhong 030800, ² Institute 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

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

基金项目: 农业部作物种质资源精准鉴定项目(19221993); 农业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: Ministry of Agriculture Crop Germplasm Resources Precision Identification Project(19221993); Ministry of Agriculture Germplasm Resources Collection and Conservation Project (19221876); Shanxi Provincial Key Talent Team for Science and Technology Innovation (202204051002037); Biological Breeding Engineering Project of Shanxi Agricultural University (YZGC032)

identified, such as surface color of young leaves, surface gloss of young leaves, anthocyanin coloring of young leaves, color of mature fruit peel, 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 partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA). The results showed that 99 volatile compounds were detected from 62 grape germplasm resources, with significant differences among them. The average content of alcohols was the highest among all volatile compounds (13.83 mg/L), ranging from 37.87 µg/L (Jingya) to 456.56 µg/L (Fujiminori), followed by ester content of 13.53 mg/L, ranging from 16.19 µg/L (Su 38.) to 630.55 µg/L (Fujiminori). The lowest content of volatile compounds is acids at 0.44 mg/L, with a range of 0 µg/L (Su 38.) to 35.93 µg/L (Brighton). The results of correlation analysis between 8 agronomic traits and aroma compounds showed that there was a significant positive correlation between flesh aroma, upper surface color, upper surface gloss, and anthocyanin coloring, while there was a significant positive correlation between isoprene volatile compounds, alcohols and terpenes. Terpenes were significantly positively correlated with alcohols. Terpenes volatile compounds were highly significantly positively correlated with the upper surface color, upper surface gloss, and anthocyanin coloration of young leaves, while ester volatile compounds were highly significantly positively correlated with the color of fruit peel and the villi between leaf veins on the back of leaves. NMDS analysis of six classification standards showed that rose and strawberry flavors were significant differences. Grape germplasm resources with weak anthocyanin coloration in young leaves and anthocyanin coloration in young leaves could be clearly distinguished by NMDS analysis. 17 main volatile substances were selected by Orthogonal Partial Least Squares Discriminant (OPLS-DA) analysis (VIP>1) with P<0.05 as the standard. The results showed that the most important esters were ethyl hexanoate, ethyl butyrate, ethyl 2-hexenoate. And ethyl hexanoate had the highest VIP value (4.06) and the highest contribution rate. The content of ester substances in grape germplasm resources with extremely weak anthocyanin coloring in young leaves was higher than that in germplasm with anthocyanin coloring in young leaves. Germplasms in the coloration of young leaf anthocyanins have been screened for terpene substances, such as nerol α-Terpineol, terpenoid oleene, and linalool. Among the terpenes, the VIP value of nerol was the highest (2.07) and the contribution rate was the highest. The terpene substances in the germplasm of young leaf anthocyanin coloring were higher than those of varieties with extremely weak young leaf anthocyanin coloring. This study provides a theoretical reference for improving berry aroma quality traits and innovating grape germplasm resources.

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

葡萄属葡萄科 (*Vitaceae*) 葡萄属 (*Vitis L.*), 落叶多年生藤本植物, 栽培葡萄起源时间大约距今 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、酸、醛、酯、萜烯类化合物等^[6]。鲜食葡萄比酿酒葡萄具有更高的花香、甜味和香脂味^[7]。

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^[8]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^[9]人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，同样叶片长度等质量性状遗传多样性较为丰富。王美军等^[10]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^[1]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^[11]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，且不同种质资源香气化合物组分及含量存在差异^[12-13]。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^[14]，C₆ 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^[15]。

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，本研究选择了来自国家种质资源太谷葡萄圃的 62 份葡萄种质，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（Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS）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，以期为改良葡萄香气品质和今后育种提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料源自国家种质资源太谷葡萄圃（位于山西省晋中市太谷区山西农业大学（省农科院）果树研究所内）。2022 年 8-10 月，采集具有香气的葡萄种质 62 份（表 1），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 °C 冰箱，以供香气物质测定。

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》^[16]，对 62 份葡萄种质幼叶与成熟果实进行农艺性状进行鉴定。2022 年 5 月 18-23 日，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；2022 年 8-10 月，对成熟果实的果皮颜色、果实形状、果肉颜色、果肉香味相关性状进行调查。

1.3 挥发性物质的提取

SPME 萃取头选用 80 μm DVB/CWR/PDMS。为降低萃取头图层流失导致的误差，使用前需按照说明书

在 250 °C 的温度下老化 30 min。葡萄检测方法参考陈凯^[17]和孙磊^[18]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 pvpp 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，离心（4 °C 10000 rpm 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 GC-MS 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 m×0.25 mm×0.25 μm）。柱温升温程序为 50 °C，保持 1 min 后，以 3.0 °C/min 升至 220 °C，保持 5 min，氦气为载气，流速为 1 mL/min，进样口温度 250 °C，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 °C，传感线温度为 250 °C。

1.5 数据处理

使用 Excel 对数据进行整理和统计分析，Spass 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 NMDS（0.05< stress < 0.15，比较理想；0.15<stress< 0.20，可用），使用 Simca 正交偏最小二乘-判别分析（OPLS-DA）。

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 1 所示。幼叶上表面颜色有黄、绿、橙黄和紫红四种颜色；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、疏、中、密和极密 5 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；果肉颜色分为弱、中、强；果肉香味分为草莓味、玫瑰味及其它。

表 162 份葡萄种质资源信息及农艺性状鉴定

Table 1 Identification of agronomic traits of 62 grape germplasm resources

编号 Code	品种 Cultivar	种类 Type	幼叶 Young leaf				成熟浆果 Mature berries			
			上表面颜色 Color of the upper side	上表面光泽 Sheen on upper side	花青素着色 Anthocyanin colouration	叶背面绒毛 Haris between veins of lower	果皮颜色 Color of flesh	果实形状 Shape of fruit	果肉颜色 Color of flesh	果肉香味 Articular flavor
V1	奥利文	欧亚种	黄	有	无	无	黄绿	圆形	弱	玫瑰味
V2	康拜尔早生	欧美种	绿	无	无	密	兰黑	圆形	弱	其它
V3	藤稔	欧美种	橙黄	无	极弱	中	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V4	派切尔	欧亚种	橙黄	无	极弱	疏	兰黑	倒卵形	强	其它
V5	京亚	欧美种	橙黄	有	极弱	疏	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V6	白香蕉	欧美种	黄	无	极弱	疏	黄绿	倒卵形	弱	草莓味
V7	火星无核	欧美种	绿	无	无	极密	紫红	圆形	弱	草莓味
V8	贝蕾	欧美种	绿	无	无	疏	兰黑	近圆形	弱	草莓味
V9	延吉山葡萄	山葡萄	橙黄	有	中	极疏	黄绿	椭圆形	弱	其它
V10	大粒玫瑰香	欧亚种	橙黄	无	中	疏	紫红	圆形	弱	玫瑰味
V11	瑰宝	欧亚种	橙黄	有	强	无	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V12	伊豆锦	欧美种	橙黄	有	中	疏	紫红	圆形	强	草莓味
V13	巨峰	欧美种	绿	无	无	中	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V14	巨峰×巨鲸	欧美种	橙黄	无	中	疏	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V15	龙宝	欧美种	黄	无	弱	密	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V16	红瑞宝	欧美种	绿	无	无	极密	粉红	倒卵形	中	草莓味
V17	井川 1055	欧美种	绿	无	极弱	极密	红	倒卵形	弱	草莓味
V18	苏哈克	欧亚种	黄	有	弱	密	紫红	椭圆形	弱	其它
V19	比格基胡沙	欧亚种	橙黄	有	中	无	紫红	圆形	弱	玫瑰味

V20	依奇克玛	欧亚种	黄	有	弱	中	兰黑	倒卵形	弱	玫瑰味
V21	卡拉斯	欧亚种	橙黄	有	中	无	粉红	近圆形	弱	其它
V22	白巴尔图格弟尔	欧亚种	绿	有	无	极疏	红	椭圆形	弱	其它
V23	图雅吉什	欧亚种	黄	有	弱	密	兰黑	倒卵形	弱	其它
V24	黑德巴斯	欧亚种	橙黄	有	中	无	粉红	椭圆形	弱	其它
V25	科维丁卡	欧亚种	黄	有	弱	极疏	黄绿	近圆形	弱	其它
V26	苏 38 号	欧亚种	橙黄	有	中	中	紫红	椭圆形	中	玫瑰味
V27	苏 9-15	欧亚种	橙黄	有	中	无	红	椭圆形	弱	其它
V28	意大利	欧亚种	黄	有	弱	中	黄绿	椭圆形	弱	玫瑰味
V29	派克斯	欧亚种	橙黄	有	中	无	黄绿	椭圆形	弱	玫瑰味
V30	玫瑰香	欧亚种	橙黄	有	中	中	紫红	椭圆形	弱	玫瑰味
V31	柔丁香	欧美种	黄	有	弱	疏	黄绿	倒卵形	弱	草莓味
V32	维金拉斯	欧美种	绿	无	无	密	粉红	圆形	弱	草莓味
V33	布莱顿	欧美种	绿	无	无	中	紫红	圆形	弱	草莓味
V34	黑虎香	美洲种	绿	无	无	密	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V35	蜜而斯	欧美种	黄	无	弱	密	兰黑	圆形	弱	草莓味
V36	阿鲁什丁玫瑰	欧亚种	橙黄	有	中	中	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V37	五味子	欧美种	绿	无	无	密	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V38	红瑞宝	欧美种	绿	无	无	密	粉红	椭圆形	弱	草莓味
V39	11-5	欧美种	橙黄	有	中	疏	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V40	澳大利亚无核 6 号	欧亚种	黄	无	极弱	极密	粉红	倒卵形	弱	其它
V41	29-14	欧亚种	橙黄	有	中	疏	紫红	近圆形	弱	玫瑰味
V42	新藤稔	欧美种	黄	无	极弱	无	紫红	倒卵形	弱	草莓味

V43	8-11	欧亚种	紫红	有	强	极疏	黄绿	倒卵形	弱	玫瑰味
V44	无核翠宝	欧亚种	绿	有	无	无	黄绿	圆形	中	玫瑰味
V45	玫香宝	欧亚种	绿	有	弱	疏	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V46	8-27	欧美种	橙黄	有	中	无	紫红	倒卵形	弱	其它
V47	安云皇后	欧美种	绿	无	无	密	粉红	倒卵形	弱	草莓味
V48	四倍体玫瑰香	欧亚种	黄	无	弱	密	红	圆形	弱	玫瑰味
V49	巨玫瑰	欧亚种	橙黄	有	中	疏	紫红	倒卵形	弱	玫瑰味
V50	峰光	欧美种	紫红	无	强	极密	兰黑	倒卵形	弱	草莓味
V51	着色香	欧美种	绿	无	极弱	中	粉红	鸡心形	弱	草莓味
V52	矢富罗莎	欧亚种	紫红	有	强	无	紫红	椭圆形	弱	其它
V53	小白玫瑰	欧亚种	橙黄	有	中	极疏	黄绿	圆形	弱	玫瑰味
V54	极早蜜	欧美种	紫红	有	强	无	紫红	椭圆形	弱	草莓味
V55	美国绿	欧美种	绿	无	无	密	黄绿	椭圆形	弱	其它
V56	金星	欧美种	绿	无	无	中	紫红	圆形	弱	草莓味
V57	玉手指	欧美种	黄	无	弱	中	黄绿	鸡心形	弱	草莓味
V58	瑞都香玉	欧亚种	绿	无	极弱	密	兰黑	倒卵形	弱	玫瑰味
V59	瑞都科美	欧亚种	绿	有	极弱	无	黄绿	倒卵形	弱	玫瑰味
V60	爱神玫瑰	欧亚种	黄	有	极弱	中	粉红	椭圆形	弱	玫瑰味
V61	沈农香丰	欧美种	绿	无	无	极密	紫红	倒卵形	弱	草莓味
V62	沈农硕丰	欧美种	黄	无	弱	密	紫红	倒卵形	弱	草莓味

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，而且与其含量密切相关。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 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 2）。总挥发物的平均含量为 47.89 mg/L，其中醇类的平均含量在所有挥发物中最高（13.83 mg/L），变化范围为 37.87 μg/L（京亚）至 456.56 μg/L（滕稔），主要包括 2, 4-己二烯-1-醇和 1-癸醇等（图 1、表 2）；酯类含量次之为（13.53 mg/L），变化范围为 16.19 μg/L（苏 38 号）至 630.55 μg/L（滕稔）主要包括反式-2-辛烯酸乙酯、(E)-4-庚烯酸乙酯、庚酸乙酯等（图 1、表 2）；含量最低的挥发性物是酸类 0.44 mg/L，变化范围为 0 μg/L（苏 38 号等）至 35.93 μg/L（布莱顿）。（图 1、表 2）。

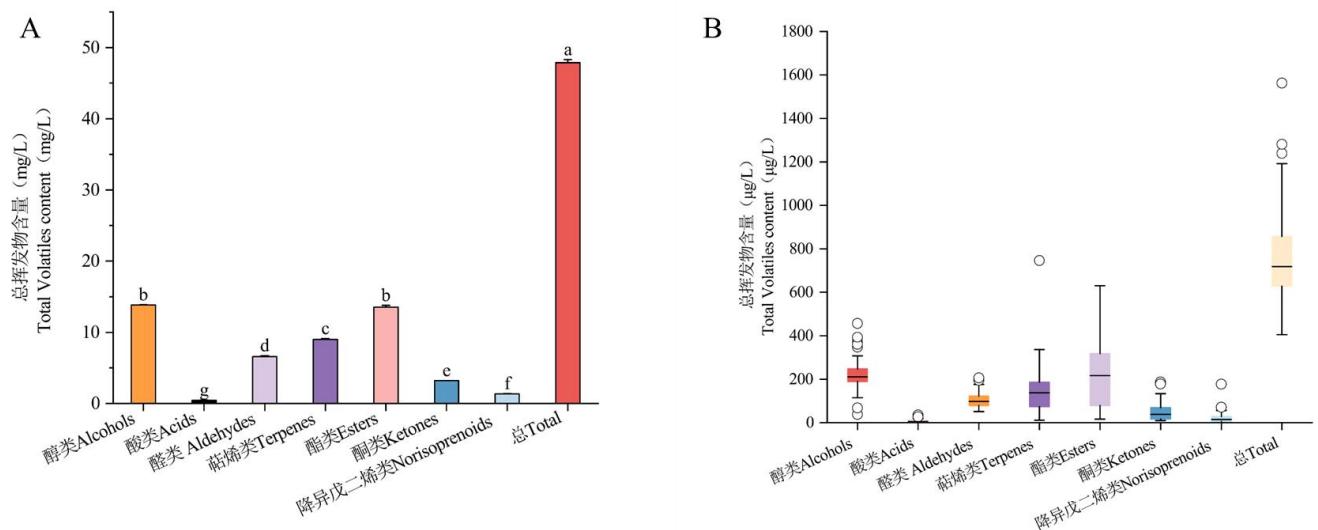
表 2 62 份葡萄种质资源品种挥发性物质含量

Table 2 Volatile Matter Content in 62 Grape Germplasm Resources

种类 Types	CAS	挥发性物质 Volatile compounds	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.
醇类（μg/L）	99-48-9	L-香芹醇	0.52	3.83	37.91
Alcohols	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-呋喃甲醇	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	苄醇	0.36	1.29	7.46
	112-30-1	1-癸醇	8.34	22.87	240.37
酸类（μg/L）	109-52-4	戊酸	0.14	0.81	6.09
Acids	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（μg/L）	6728-26-3	反式-2-己烯醛	13.63	16.06	67.50
Aldehyde	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
	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 ($\mu\text{g/L}$)	123-35-3	月桂烯	0.26	1.13	8.43
Terpenes	13466-78-9	3-蒈烯	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 ($\mu\text{g/L}$)	97-62-1	异丁酸乙酯	1.17	2.84	16.01
Esters	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
	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 (μg/L)	937-30-4	对乙基苯乙酮	3.79	3.18	17.86
Ketones	79-77-6	β-紫罗酮	0.18	1.04	8.60
	76-22-2	2-莰酮	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
	111-13-7	2-辛酮	5.78	5.97	20.69
降异戊二烯类 (μg/L)	8013-90-9	紫罗兰酮	1.40	7.29	58.10
Norisoprenoids	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



A:香气含量 ($P<0.05$) ;B:香气物质含量的范围和分布图。框内的水平线为中间值，框的高度等于四分位数间距，代表 50% 的数据分布，除了极端异常

值（用圆表示）

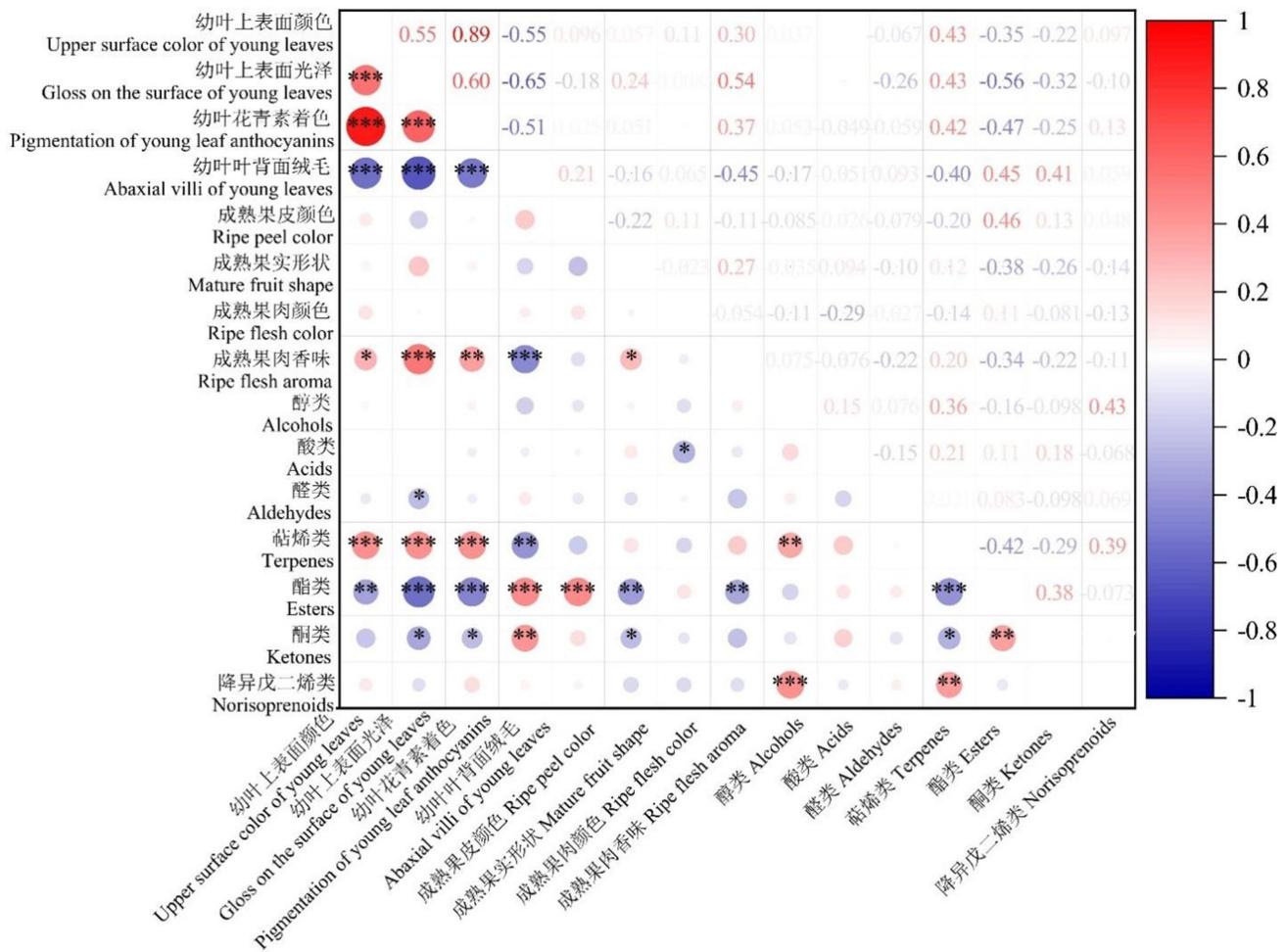
A:Histogram of Aroma Content in Mature Fruits of 62 Grape Germplasms ($P<0.05$). B:The range and distribution map of aroma substance content in mature fruits of 62 grape germplasm. The horizontal line inside the box is the median value, and the height of the box is equal to the interquartile spacing, representing 50% of the data distribution, except for extreme outliers (represented by circles).

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 cultiva

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 8 个农艺性状之间幼叶上表面光泽与表面颜色呈正相关，花青素着色与上表面颜色和上表面光泽呈显著正相关，果肉香味与上表面颜色、上表面光泽、花青素着色呈显著正相关。挥发性物质之间，降异戊二烯类挥发性物质与醇类、萜烯类呈显著正相关；萜烯类与醇类呈显著正相关。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、花青素着色呈极显著正相关，酯类挥发性物质与果皮颜色和叶背面叶脉间绒毛呈极显著正相关；与表面颜色、上表面光泽、花青素着色果实形状和果肉香味呈显著负相关。酮类挥发性物质与叶背面叶脉间绒毛呈显著正相关；但与上表面光泽、花青素着色、果实形状呈显著负相关。



*; **; *** 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 volatile substances and fruit traits of grape variety resources.

2.4 非度量多维尺度分析

NMDS (non-metric multidimensional scaling) 也是一种排序方法, 与主成分分析法区别在于, 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 NMDS 分析, 如图 3 所示: I 果肉香味 (stress=0.155), 玫瑰味和草莓味之间存在显著差异, II 花青素着色 (stress=0.17) 极弱和中之间存在显著差异, III 果实形状 (stress=0.169)、IV 上表面光泽 (stress=0.17)、V 上表面颜色 (stress=0.159) 和 VI 叶背面绒毛 (stress=0.171), 没有显著差异。

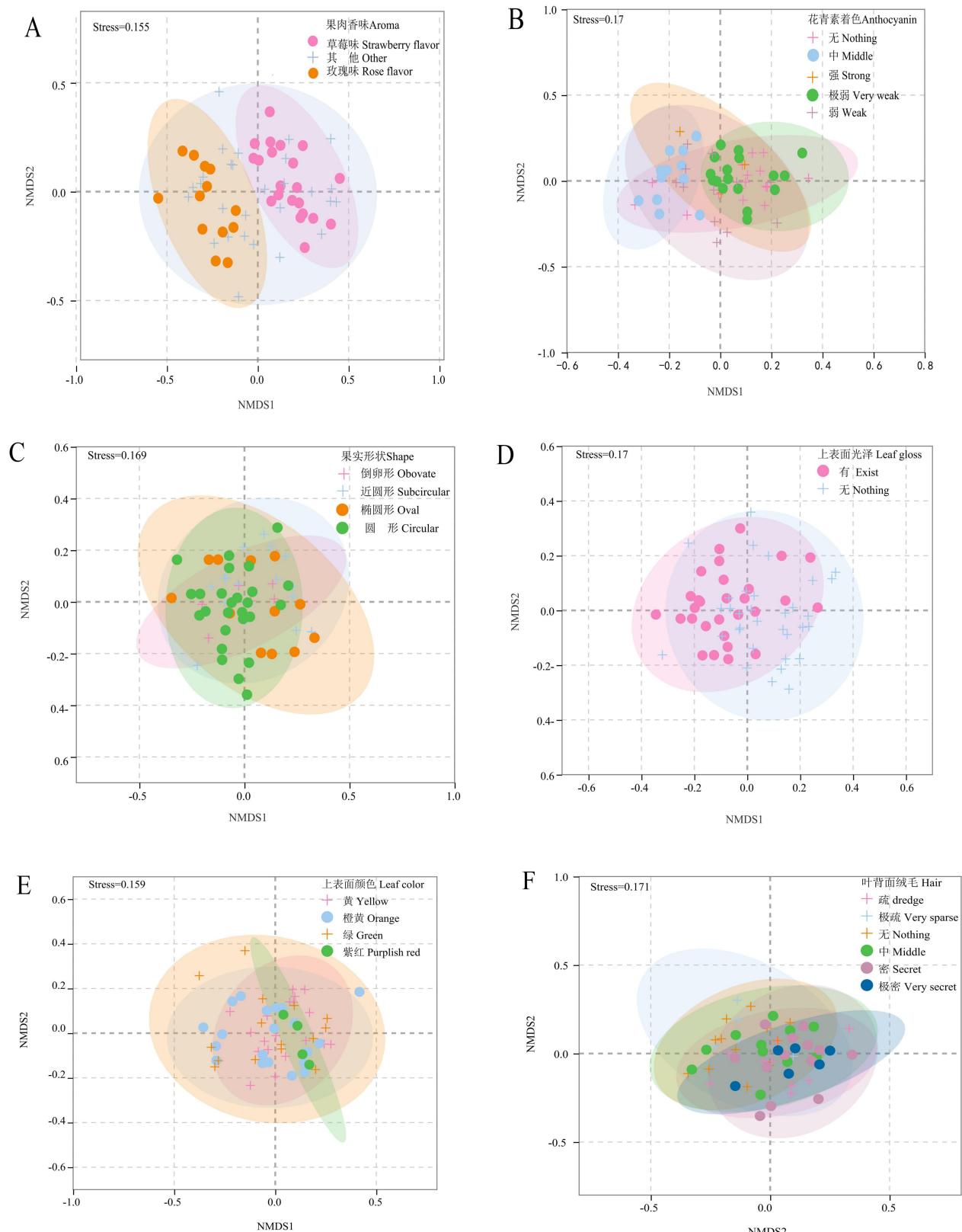


图 3 62 份葡萄种质资源挥发性成分在 6 种分类标准下的 NMDS 分析

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

2.5 正交偏小二乘-判别分析 (OPLS-DA)

通过 NMDS 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^[19]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之间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 (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。

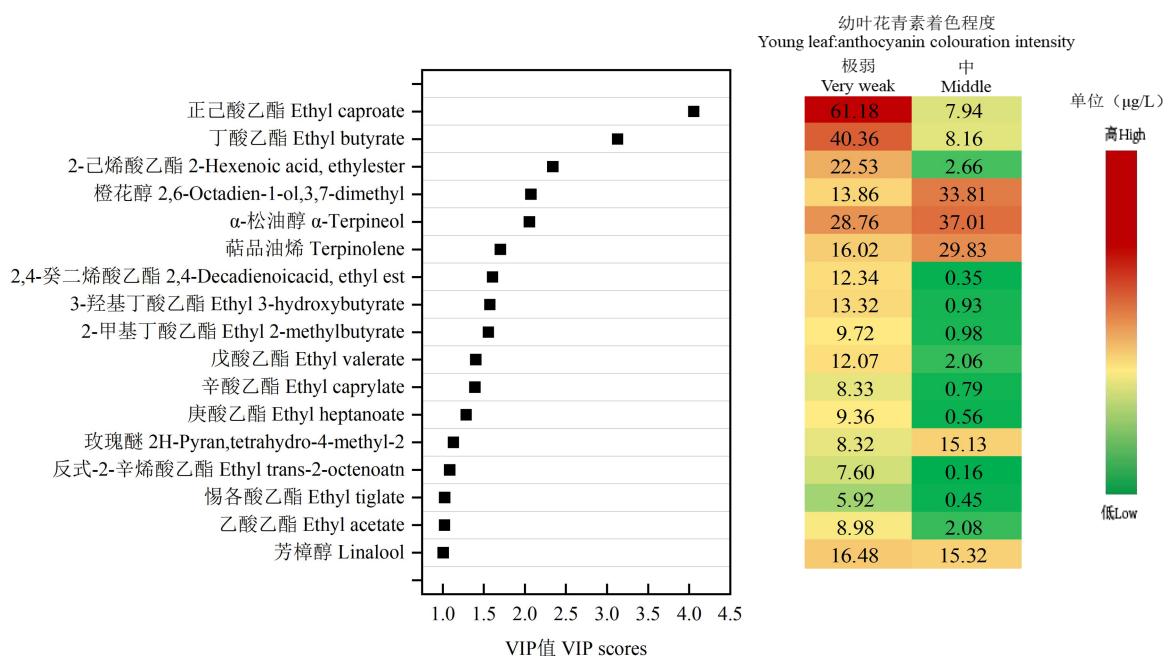


图 4 17 种特征性化合物的 VIP 值及相对含量

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^[20-21]。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^[22-24]。有研究表明, 李果实中香气物质有 100 多种^[25]。贾宇尧等^[26]在 5 种枣中检测到 8 类 (酯、酸、烃、酮、醛、醇、酚

及其它类)共 126 种香气物质。本研究通过对 62 份葡萄种质的挥发性物质进行测定分析, 检测到了 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七类, 含量与分布均有显著性差异。本研究发现醇类含量最高, 其次是酯类和萜烯类。Wu 等^[27]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葡萄的育种提供一定的理论基础^[28]。葡萄的形态特征和生物学特性主要由遗传因素决定, 在经过长期的自然生长或人工栽培, 种间、种内乃至品种间均表现出一定的多样性^[29]。张国海等^[30]对国家果树种质郑州葡萄资源圃内 562 份栽培品种叶片性状进行了调查, 分析发现在幼叶表面颜色、花青素着色、表面光泽等存在着丰富的多样性。不同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^[31]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^[32]基于罗勒 15 份种质资源进行植物学性状和挥发性成分聚类分析表明两种方式的聚类结果迥然不同, 把 15 份种质进行完全区分。目前, 没有人研究过葡萄香气物质与农艺性状之间的相关性。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呈极显著正相关: 与叶背面叶脉间绒毛呈负相关, 酯类与叶背面叶脉间绒毛和果皮颜色呈极显著正相关; 与上表面光泽和叶背面绒毛呈极显著负相关, 酮类与叶背面绒毛呈显著正相关; 与上表面光泽和花青素着色呈显著负相关。岳郁等^[33]对‘玉露香’和‘新世纪’杂交 F1 代品质性状与 OAV 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。

NMDS 减少排序轴展示主体间的相对位置, 用于分析不同葡萄种质资源的相对关系和差异, 幼叶花青素着色程度分为无、极弱、弱、中和强, NMDS 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。本文研究筛选出 17 个 ($VIP>1$, $p<0.05$) 潜在的关键挥发性物质, 最主要是酯类物质有己酸乙酯、丁酸乙酯、2-己烯酸乙酯等, 与吴玉森等在分析鲜食葡萄种质资源果实香气的研究结果相似^[34], 己酸乙酯 VIP 值最高, 贡献率最大, 奚晓军等^[35]发现‘巨峰’重要的香气物质为己酸乙酯, 与本研究结果一致。李凯等^[36]分析意大利葡萄果实香气测定己酸乙酯的 OAV 为 6.94, 酯类物质是草莓香型的特征性挥发物质^[37]。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味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^[15]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。萜烯类与降异戊二烯类挥发性物质高于花青素着色极

弱的品种。萜烯类挥发性物质有助于葡萄的花香、玫瑰味、绿色、香菜和柑橘类感官特征,主要决定玫瑰香型的葡萄^[38],各个单萜基因表达之间具有显著的相关性^[39],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(OPLS-DA)进一步筛选出 17 种香气物质,酯类中己酸乙酯 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。这一结果能够更好的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 PF, Lacombe T, Maul E, Nick P, Bitskinashvili K, Bisztray GD, Drori E, De Lorenzis G, Cunha J, Popescu CF, 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, Kuliyev V, Spotar G, Girollet 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 AM, 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(05):1355-1366.
Wang Y, Sun F, Li Y, Sulaiman Aizezi, Wu G, Guo P. Identification of aroma traits in 27 grape variety resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023,24 (05): 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:2023,1-9.
Zhu J, Guo X, Li B, Guo Y. Analysis of Aroma Components and Content Changes in Three Growth Stages of Three Aromatic Grape Fruits. *Fujian Agricultural Journal*: 2023,1-9.
- [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(03):454-460.
Wen K, Huang J, Pan Q, Duan C, Wang J. Research progress on grape aroma compounds and their influencing factors. *Journal of Fruit Trees*, 2012,29 (03): 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(03):159-165.
Wei L, Wang W, Tao J. Research progress on grape aroma compounds. *Fruit Trees in Southern China*, 2018,47 (03): 159-165.
- [7] 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.
- [8] 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(06):1185-1189.
Ma X, Zhao Q, Dong Z, Tang X, Wang M, Ren R. Variations and probability grading of fruit quantitative traits in fresh grape variety resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013,14 (06): 1185-1189
- [9] 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,(01):23-29.
Yang X., Sun Y., Zhou B., Fu W., Fang Y., & Meng. Leaf morphology evaluation and analysis of existing grape varieties in China. *Northern Horticulture*, (2021), (01), 23-29.

- [10] 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(05):489-495.
Wang Y, Huang L, Liu K, Yang G, Zhong X, Xu F, Bai P, Jin Y, Shi X. Phenotypic trait analysis of thorny grape leaves, flowers, fruits, and seeds. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science Edition)*, (2016), 42(05), 489-495.
- [11] 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,2023,1-9.
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)*: 2023,1-9.
- [12] 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*, 19(12), 21291-21309
- [13] 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(04):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 (04): 17-20
- [14] 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.
- [15] 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
- [16] 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.
- [17] 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* (Ottawa, Ont.), 2022, 162(Pt A): 112015.
- [18] 孙磊,钱旭,张国军,闫爱玲,王晓明,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(08):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 Monoterpene Accumulation between Greenhouse and Open Field Cultures of 'Xiangfei' and 'Early Rose Fragrance' Grapes. *Journal of Horticulture*, 2018,45 (08): 1467-1478
- [19] 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[J].食品与发酵工业,2020,46(24):210-217.
Li K, Shang J Y, Tian S F, Huang J Q Zhang Na 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 [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020,46 (24): 210-217.
- [20] 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 Wu 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.
- [21] Aragüez I, Valpuesta Fernández V. Metabolic engineering of aroma components in fruits. *Biotechnology journal*, 2013, 8(10): 1144-1158.
- [22] 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.
- [23] Antalick G., Suklje K., Blackman J. W.,Meeks, C. Deloire A., Schmidke, 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.
- [24] Díaz-Fernández Á, Díaz-Losada E, Cortés-Díéguez S. Approach to the Chemotaxonomic Characterization of Traditional Cultivation Grape Varieties through Their Varietal Aroma Profile. *Foods*, 2022, 11(10): 1427
- [25] 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(05):162-169+174.
Zhang Y, Zhu J, Tian R, Wang C, Jiang Yingchun, Wu Liming, Ye Yuanming. Analysis of functional substances and aroma components in the fruits of six plum varieties. *Fruit Tree of Southern China*, 2023,52 (05): 162-169+174
- [26] 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, Tu'erxun Ayi Dawuti, Halina Hamala, Han Gang. Aroma Analysis and Evaluation of Different Varieties of Red Dates. *Food*

- Research and Development, 2023,44 (18): 165-171.
- [27] 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
- [28] 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(07):2098-2104.
Zhang M X, Wu Y W, Duan Changqing. Research progress on aroma compounds in grapes and wine. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2008 (07): 2098-2104.
- [29] 朱磊,武欣,刘云清,于昕楚,李新月,臧延青,汤华成.葡萄种质资源鉴评研究进展.黑龙江八一农垦大学学报,2021,33(04):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 (04): 45-52+92.
- [30] 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,(06):1-4.
Liu X, Zhang G, Liu C, Guo D, Fan X., Sun H. Phenotypic diversity analysis of grape leaves. Northern Horticulture, (2010), (06), 1-4.
- [31] 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(05):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 (05): 1344-1354.
- [32] 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:1-22.
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: 1-22.
- [33] 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:1-19.
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: 1-19
- [34] 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.
- [35] 羿晓军,查倩,殷向静,蒋爱丽.'申华'葡萄果实特征香气成分分析.上海农业学报,2023,39(04):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 (04): 62-69.
- [36] 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(04):106-112.
Li K, Shang J Y, Wang X Z, Zhang N, Wang C X, Wang D, Zhang H, Tian S. Analysis of Italian grape fruit aroma based on HS-SPME-GC-MS technology. Northeast Agricultural Science, 2023,48 (04): 106-112.
- [37] 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
- [38] 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.
- [39] 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[J].中国农业科学,2022,55(05):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 [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2022,55 (05): 977-990.