果 树 学 报 2026，43（9）：2394-2404
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20260069

301份葡萄种质资源花色苷组分和含量分析

徐志鹏，许 睿，张 颖，刘崇怀，孙 磊*，樊秀彩*

（中国农业科学院郑州果树研究所，郑州 450009）

摘 要：【目的】研究不同葡萄种质花色苷组成以及含量特征，筛选优异种质，促进种质资源创新利用。**【方法】**选取301份不同种类、不同果实颜色的葡萄种质材料，采用高效液相色谱-质谱（HPLC-MS）技术检测花色苷组分和含量，并对检测结果进行差异显著性分析和主成分分析。**【结果】**在301份葡萄种质中共检测出47种花色苷，其中二甲基花翠素类花色苷含量最高，其次是甲基花青素类花色苷，花葵素类花色苷含量最低。绿果类型种质只含有微量的花色苷，红果种质以甲基花青素类花色苷为主；紫果和黑果种质以二甲基花翠素类花色苷为主。野生葡萄花色苷总量显著高于欧亚种葡萄和欧美杂种葡萄。根据主成分分析，不同果色和种类葡萄种质之间花色苷组分结构差异明显。**【结论】**不同种类和果色种质之间花色苷组分及含量存在差异。二甲基花翠素类花色苷含量较高，同时也是红果种质和紫果种质中含量差异最大的花色苷。欧美杂种和欧亚种中花色苷的修饰程度总体高于野生葡萄，欧亚种中花色苷的香豆酰化修饰程度最高，欧美杂种中花色苷的乙酰化修饰程度最高。

关键词：葡萄；种质资源；花色苷组分；主成分分析

中图分类号：S663.1 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9980(2026)09-2394-11

Analysis of anthocyanin components and contents in 301 grape germplasm resources

Xu Zhipeng, Xu Rui, Zhang Ying, Liu Chonghuai, Sun Lei*, Fan Xiucai*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract:【Objective】The anthocyanin composition and content of grapes in different populations were studied for screening out superior germplasms, and promoting the innovative utilization of germplasm resources.【Methods】The components and contents of anthocyanins were determined by the high performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS) in the peels of 301 grape cultivars at ripening stage. The experimental materials comprised 133 accessions of *Vitis vinifera*, 126 accessions of *V. vinifera*-*V. labrusca*, and 42 accessions of wild grapes. The experimental materials were collected from the National Grape Germplasm Resources Repository of Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. In the experiment, 1.0 m×2.5 m plant spacing, single-stem and double-arm tree system, as well as very short and slightly pruning method were applied. At the fruit ripening stage, the berries that are completely ripe and colored were taken. After the berry was peeled, the peels were frozen with liquid nitrogen and put in an ultra-low temperature refrigerator at −80 ℃ for storage. The extraction method for anthocyanins was as follows: 0.5 g of frozen berry skin powder was dissolved in 8 mL of methanol solution containing 2% formic acid. The mixture was then subjected to ultrasonic oscillation for 10 minutes, followed by shaking at 28 ℃ and 220 $r \cdot min^{-1}$ for 30 minutes. Subsequently, it was centrifuged at 4 ℃ and 10 000 r min^{-1} for 10 minutes, and the supernatant was collected. The remaining precipitate in the centrifuge tube was extracted three more times by repeat-

收稿日期：2026-01-23 **接受日期：**2026-03-03

基金项目：国家自然科学基金项目（32202438）；河南省重点研发专项（261111114200）；农业农村部作物种质资源保护项目（2130135-34）；现代农业产业技术体系建设专项资金（CARS-29-yz-1）；中国农业科学院科技创新工程专项经费项目（CAAS-ASTIP-2026-ZFRI）

作者简介：徐志鹏，男，在读硕士研究生，研究方向为葡萄种质资源。E-mail：13262173656@163.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail：sunlei01@caas.cn；E-mail：fanxiucai@caas.cn

ing the above steps. The supernatants from all four extractions were combined. The solvent was removed by rotary evaporation at 40 ℃, and the residue was finally reconstituted to a final volume of 10 mL with an aqueous solution containing 2% formic acid and 10% methanol. The extract was wrapped in aluminum foil and stored in an ultra-low temperature freezer at −80 ℃ for subsequent analysis. For anthocyanin identification, five standard compounds were used: Cyanidin-3-*O*-glucoside, Delphinidin-3-*O*-glucoside, Malvidin-3-*O*-glucoside, Petunidin-3-*O*-glucoside and Peonidin-3-*O*-glucoside. Quantification of anthocyanins was performed by constructing a standard curve using Mv-3-*O*-G at five concentration levels (0−500 mg·L^{-1}) with three replicates. The anthocyanin content was determined using Mv-3-*O*-G as an external standard, and the contents of other anthocyanins were calculated as equivalents of Mv-3-*O*-G.【Results】Substantial differences were observed in the anthocyanin composition and concentration among grape accessions with different berry colors. In green-colored accessions, 1−12 types of anthocyanins were detected, while black-colored accessions contained 16−31. The remaining accessions exhibited a range of 3−28 types of anthocyanins. The total anthocyanin content progressively increased with the deepening of berry color, showing significant differences both in total content and composition among the various color groups. Green grape accessions contained only trace amounts of anthocyanins. In red grape accessions, peonidins were the most abundant, reaching 60.09 μg·g^{-1} and accounting for 56.57% of the total anthocyanin content. In both purple and black accessions, malvidins were predominant, with average contents of 966.77 μg·g^{-1} and 1 990.53 μg·g^{-1}, constituting 79.27% and 73.54% of the total anthocyanin content, respectively. The content and relative proportion of malvidins increased with the intensity of berry skin color. Malvidins represented the category with the most pronounced content difference between purple and red accessions, averaging 966.77 μg·g^{-1} in purple accessions compared to only 19.61 μg·g^{-1} in red accessions—a difference of approximately 50-fold. Wild grape accessions exhibited the highest total anthocyanin content, reaching 3 311.76 μg·g^{-1}, which was substantially greater than that of *V. vinifera*-*V. labrusca* (589.64 μg·g^{-1}) and *V. vinifera* (502.85 μg·g^{-1}). Among wild grapes, the accession Cinerea had the highest anthocyanin content at 26 430.02 μg·g^{-1}, followed by the *V. amurensis* accession Changbai No. 9 with 10 062.38 μg·g^{-1}, both possessing blue-black berry skin. Within cultivated varieties, the three accessions with the highest anthocyanin contents were the *V. vinifera*-*V. labrusca* ‘gf.67-198-3’ (5 532.54 μg·g^{-1}), the *V. vinifera* ‘Khyndogny’ (6 642.13 μg·g^{-1}), and the *V. vinifera*-*V. labrusca* ‘Shanxi No. 80’ (6 870.49 μg·g^{-1}), all of which were purple-black berry skin. Malvidins were the predominant anthocyanins in all three groups, accounting for 59.7%, 73.1%, and 87.2% of the total anthocyanins in *V. vinifera*-*V. labrusca*, *V. vinifera*, and wild grapes, respectively. The relative proportions of peonidins were similar in *V. vinifera*, and *V. vinifera*-*V. labrusca* (13.1% and 14.8%, respectively), as were those of delphinidins in *V. vinifera* and wild grapes (4.0% and 4.1%, respectively). Cyanidins were present at relatively low levels across all groups (0.7%−6.3%). Furthermore, pelargonidins were not detected in any wild grape accessions in this study, and were found only in low amounts in a subset of *V. vinifera* and *V. vinifera*-*V. labrusca* grape accessions. Anthocyanin acyl modifications in grape berry skins exhibited diversity, with a total of six types detected. Coumaroylation was the predominant form of acylation, while acetylation and caffeoylation were less frequent and were even absent in some germplasms. The level of coumaroylation in wild grapes (28.54%) was lower than that in *V. vinifera* (44.97%) and *V. vinifera*-*V. labrusca* (42.15%). Additionally, feruloylation, succinylation, and glycosyl-acylated anthocyanins were identified, though these three types were present in only trace amounts, each accounting for less than 1% of the total. The overall degree of acylation showed no significant difference between *V. vinifera* and *V. vinifera*-*V. labrusca*

(56.62% and 56.75%, respectively), both of which were considerably higher than that observed in wild grapes (34.18%).【Conclusion】Differences in anthocyanin composition and content were observed among germplasms of different varieties and fruit colors. Malvidins were the most abundant across all tested grape accessions and also showed the greatest content variation between red-fruited and purple-fruited accessions. The total degree of anthocyanin modification was higher in *V. vinifera*-*V. labrusca* and *V. vinifera* than in wild grapes. *V. vinifera* showed the highest level of coumaroylation, while *V. vinifera*-*V. labrusca* exhibited the highest degree of acetylation.

Key words: Grape; Germplasm resources; Anthocyanin composition; Principal component analysis

葡萄（*Vitis* L.）是全球栽培最广泛的果树之一，其果实加工产品丰富多样，经济价值显著。果实颜色作为葡萄核心外观品质性状，直接影响果品市场认可度，而这一性状主要由果皮中花色苷（anthocyanin）的单体组成与含量决定[1]。花色苷是黄酮类化合物的一种植物色素，广泛存在于植物液泡中[2]。花色素基本结构差异和糖基化后修饰程度的不同，影响花色苷的稳定性和显色特征[3]，进而使植物呈现出红、紫、黑等颜色[4]。葡萄果实中的花色苷种类较为丰富，主要包括花青素（cyanidin，Cy）、甲基花青素（peonidin，Pn）、花翠素（delphinidin，Dp）、甲基花翠素（petunidin，Pt）、二甲基花翠素（malvidin，Mv）以及花葵素（pelargonidin，Pg）等六大类[5-6]，且糖基化均以葡萄糖为主，单糖与双糖为主要形式，糖基上的酰化修饰进一步丰富了花色苷单体种类[7]。

葡萄属植物具有丰富的遗传多样性，根据植物学分类，可分为圆叶葡萄亚属和真葡萄亚属。其中圆叶葡萄亚属仅有3个种，主要分布在美国东南部和墨西哥。真葡萄亚属有70余种，分为北美、欧亚、东亚3个种群[8]。不同葡萄种质的花色苷组分与含量存在显著差异。已有研究表明，欧亚种葡萄（*V. vinifera*）中二甲基花翠素类花色苷含量较高，多数品种检测不到花葵素类[8-9]；欧美杂种（*V. vinifera*-*V. labrusca*）及东亚、北美种群野生葡萄中，单葡萄糖苷与双葡萄糖苷并存，且野生葡萄双葡萄糖苷含量更高，这与欧亚种通常不含双葡萄糖苷的特征形成鲜明对比[10-11]。然而现有研究多存在样本量有限、分类对比缺乏系统性等问题，难以全面揭示葡萄种质花色苷的多样性特征。

高效液相色谱-质谱技术（HPLC-MS）凭借分离能力强、检测灵敏、分析快速等优势，已成为花色苷鉴定的核心工具[12-14]。鉴于此，笔者依托301份涵盖欧亚种、欧美杂种及野生葡萄的多样化种质，采用HPLC-MS技术系统分析花色苷组分与含量，明确不同种类、不同颜色种质的花色苷特征差异，揭示不同种类花色苷的分布规律，筛选高含量花色苷的优异种质，以期为葡萄种质资源精准鉴定与优异高花色苷种质利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验材料取自中国农业科学院郑州果树研究所国家葡萄种质资源圃（郑州），共301份种质，包括欧亚种133份、欧美杂种126份、野生葡萄42份（毛葡萄、刺葡萄、山葡萄、腺枝葡萄、桑叶葡萄、甜冬葡萄）。采用1 m×2.5 m株行距，单干双臂树形，极短梢修剪。在果实成熟期，采集完全成熟且着色均匀的果实（使用手持折光仪测定果实可溶性固形物含量，直至其稳定不再增加，有核种质的种子需完全变褐），每份葡萄种质选取10个生长状况一致、成熟度相同的果穗，每个果穗上选取10粒果粒，共100粒果粒。剥下的果皮经液氮冷冻后避光放入−80 ℃超低温冰箱保存。

1.2 方法

（1）花色苷提取。花色苷的提取参考孙磊等[15]的方法并略作改动。首先，将冷冻的果皮研磨成粉末，全程液氮低温处理防止融化，称取0.5 g果皮粉末溶于8 mL含2%甲酸的甲醇溶液中，随后超声波振荡10 min，28 ℃ 220 r·min^{-1}条件下振荡30 min，然后4 ℃、10 000 r·min^{-1}离心10 min，收集上清液。离心管中剩余沉淀物按以上步骤重复提取3次，将3次上清液合并。经过40 ℃旋蒸去除溶剂，最后用含2%甲酸和10%甲醇的水溶液定容至10 mL，提取液经锡纸包裹放入−80 ℃超低温冰箱保存，等待上机检测。

（2）花色苷测定。花色苷的检测使用美国Waters公司的ACQUITY UPLC I-Class/Xevo TQ-XS超高效液相色谱仪-串联三重四极杆质谱仪、配备电喷雾离子源（electron spray ionization，ESI）、Masslynx4.1工作站，色谱参数：100 mm×2.1 mm ACQUITY UPLC C18色谱柱；检测器：photo-diadearray pAD检测器；进样量2 μL；流动相A：0.1%甲酸水溶液；流动相B：0.1%甲酸乙腈溶液；洗脱梯度：0.5 min 5% B，20 min 5%~40% B，2 min 40%~95% B；质谱条件：ESI电喷雾电离源；毛细管电压：2.0 kV；温度：120 ℃；离子扫描范围：50~1200 m·z^{-1}。使用Masslynx4.1和UNIFI进行数据采集和处理[16]。

用于花色苷定性分析的标准品共5种，分别是花青素-3-*O*-葡萄糖苷、花翠素-3-*O*-葡萄糖苷、二甲基花翠素-3-*O*-葡萄糖苷、甲基花青素-3-*O*-葡萄糖苷、甲基花翠素-3-*O*-葡萄糖苷。通过将样品中花色苷的出峰时间和标准品的保留时间进行比对，同时结合质谱特征碎片离子进行综合鉴定，确定花色苷种类。花色苷的定量分析通过建立5个水平（0、50、100、200、500 mg·L^{-1}）、3次重复的二甲基花翠素-3-*O*-葡萄糖苷（Mv-3-*O*-G）标准曲线，作为Mv-3-*O*-G的外标定量，其他花色苷含量均以相当于Mv-3-*O*-G的含量计算。

1.3　数据分析

采用Excel 2021软件处理试验数据，使用Origin 2024软件绘图，使用R语言进行主成分分析。

2　结果与分析

2.1　不同葡萄种质果皮中花色苷类型特征

在301份葡萄种质中共检测出47种花色苷，包含花青素类花色苷11种，花翠素类花色苷9种，甲基花青素类花色苷10种，甲基花翠素类花色苷7种，二甲基花翠素类花色苷8种，花葵素类花色苷2种（表1）。在供试葡萄种质中，花色苷平均含量（*w*，后同）最高的是二甲基花翠素-3,5-*O*-双葡萄糖苷，为304.26 μg·g^{-1}，占花色苷总量的31.50%。供试刺葡萄2号、长白9号、甜冬葡萄3份种质中含有较高含量的二甲基花翠素-3,5-*O*-双葡萄糖苷，分别为5 661.34、9 052.87、21 263.84 μg·g^{-1}。其次是二甲基花翠素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷，平均含量为162.49 μg·g^{-1}，占花色苷总量的16.82%。花翠素3-*O*-咖啡酰-5-*O*-葡萄糖苷含量最低（6.01 μg·g^{-1}），占花色苷总量的0.002%，并且只在刺葡萄湘刺2号中检测到该花色苷。由图1可知，二甲基花翠素类花色苷含量最高，占花色苷总含量的76.60%；其次是甲基花青素类、甲基花翠素类、花翠素类花色苷，分别占总含量的8.72%、6.16%、5.33%；花青素类花色苷含量较低，占总含量的3.13%；花葵素类花色苷含量最低，仅占花色苷总含量的0.06%。

2.2　不同颜色葡萄果皮花色苷组分的比较分析

不同颜色种质的花色苷组分和含量存在较大差异。在部分绿果种质中检测到微量的花色苷，分别检测到1~12种花色苷。在黑果种质中分别检测到16~31种花色苷，其余种质中分别检测到3~28种花色苷。不同果实颜色种质的花色苷平均含量和组成比例见表2和图2，随着果皮颜色的加深，花色苷总含量逐渐增加，不同颜色种质之间花色苷总含量和组分呈显著差异。绿果种质中只含有微量的花色苷；红果种质中含量最高的是甲基花青素类花色苷，为60.09 μg·g^{-1}，占花色苷总含量的56.57%；紫果、黑果种质中含量最高的均为二甲基花翠素类花色苷，分别为966.77和1 990.53 μg·g^{-1}，分别占花色苷总含量的79.27%和73.54%。随着果皮颜色的加深，二甲基花翠素类花色苷含量和相对比例增高。二甲基花翠素类花色苷是紫果和红果种质中含量差异最大的一类花色苷，且紫果种质显著高于红果种质，含量相差约50倍。

2.3　不同种类葡萄果皮花色苷组分分析

2.3.1　不同种类葡萄果皮花色苷组分比较　由表3可知，野生葡萄种质的花色苷总含量最高（3 311.76 μg·g^{-1}），显著高于欧美杂种和欧亚种（分别为589.64和502.85 μg·g^{-1}）。在野生葡萄中花色苷含量最高的种质为甜冬葡萄，总含量为26 430.02 μg·g^{-1}，其次是山葡萄长白九号，总含量为10 062.38 μg·g^{-1}，这两份种质的果皮颜色均为蓝黑色。在栽培品种中，花色苷含量最高的3份种质，分别是欧美杂种gf.67-198-3、欧亚种黑多内和欧美杂种山西80号，总含量分别为5 532.54、6 642.13和6 870.49 μg·g^{-1}，这3份种质的果皮颜色均为紫黑色。欧美杂种种质花青素类花色苷平均含量为42.53 μg·g^{-1}，显著高于欧亚种和野生葡萄。在欧美杂种、欧亚种及野生葡萄中，含量最高的花色苷均为二甲基花翠素类花色苷，分别占总花色苷的59.73%、73.08%和87.21%；欧亚种和欧美杂种中的甲基花青素类花色苷相对比例接

表 1 葡萄果皮中检测到的不同种类花色苷

Table 1 Different types of anthocyanins detected in grape skin

花色苷种类 Anthocyanins type	平均含量（范围） Average content (range)/（μg·g^{-1}）	百分比 Percent/%	保留时间 Retention time/min
花翠素3-*O*-咖啡酰-5-*O*-葡萄糖苷Dp-3-*O*-ca-5-*O*-glu	0.02(0~6.01)	0.002	6.10
甲基花翠素3-*O*-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷) Pt-3-*O*-(6"-ca-glu)	0.04(0~5.86)	0.004	9.60
花翠素3-*O*-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷) Dp-3-*O*-(6"-ca-glu)	0.10(0~6.31)	0.01	7.26
花葵素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Pg-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	0.13(0~17.14)	0.01	11.17
花翠素-3-*O*-糖酰葡萄糖苷Dp-3-*O*-gc-glu	0.31(0~6.16)	0.03	4.47
花青素3-*O*-糖酰葡萄糖苷Cy-3-*O*-gc-glu	0.35(0~6.83)	0.04	5.40
甲基花青素3-*O*-糖酰葡萄糖苷Pn-3-*O*-gc-glu	0.33(0~20.01)	0.04	6.38
花青素3-*O*-咖啡酰-5-*O*-葡萄糖苷Cy-3-*O*-ca-5-*O*-glu	0.40(0~53.54)	0.04	6.80
花青素3-*O*-乙酰化葡糖苷-5-*O*-葡萄糖苷Cy-3-*O*-ac-5-*O*-glu	0.45(0~8.80)	0.05	5.37
花葵素-3-*O*-葡萄糖苷Pg-3-*O*-glu	0.44(0~8.33)	0.05	5.43
花青素 3-*O*-（6"-琥珀酰基-葡萄糖苷）Cy-3-*O*-(6"-su-glu)	0.45(0~6.46)	0.05	7.80
花青素3-*O*-阿魏酰葡萄糖苷Cy-3-*O*-fe-glu	0.45(0~46.11)	0.05	8.85
甲基花青素3-*O*-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷) Pn-3-*O*-(6"-ca-glu)	0.48(0~91.21)	0.05	9.92
花翠素3-*O*-乙酰化葡糖苷-5-*O*-葡萄糖苷Dp-3-*O*-ac-5-*O*-glu	0.83(0~93.72)	0.09	4.63
甲基花青素3-*O*-乙酰化葡糖苷-5-*O*-葡糖苷Pn-3-*O*-ac-5-*O*-glu	2.13(0~61.77)	0.22	6.78
甲基花翠素3-*O*-乙酰化葡糖苷-5-*O*-葡糖苷Pt-3-*O*-ac-5-*O*-glu	2.23(0~65.64)	0.23	5.79
花青素3-*O*-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷) Cy-3-*O*-(6"-ca-glu)	2.27(0~121.65)	0.24	9.00
花青素3-*O*-(6"-乙酰化葡萄糖苷) Cy-3-*O*-(6"-ac-glu)	2.46(0~60.10)	0.26	8.10
甲基花青素3-*O*-咖啡酰-5-*O*-葡萄糖苷Pn-3-*O*-ca-5-*O*-glu	2.59(0~217.12)	0.27	8.58
二甲基花翠素3-*O*-(6"-咖啡酰-葡萄糖苷) Mv-3-*O*-(6"-ca-glu)	2.98(0~69.30)	0.31	10.15
甲基花青素3-*O*-阿魏酰葡萄糖苷Pn-3-*O*-fe-glu	2.96(0~225.21)	0.31	11.87
花翠素 3-*O*-(6"-乙酰化-葡萄糖苷) Dp-3-*O*-(6"-ac-glu)	3.24(0~109.60)	0.34	7.12
花青素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷Cy-3-*O*-cm-5-*O*-glu	3.85(0~197.16)	0.40	8.90
二甲基花翠素3-*O*-咖啡酰-5-*O*-葡萄糖苷Mv-3-*O*-ca-5-*O*-glu	4.16(0~201.26)	0.43	8.87
甲基花翠素3-*O*-(6"-乙酰化葡萄糖苷) Pt-3-*O*-(6"-ac-glu)	4.35(0~140.74)	0.45	8.41
花青素-3,5-*O*-双葡萄糖苷Cy-3,5-*O*-diglu	3.94(0~493.89)	0.47	3.09
花青素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Cy-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	4.80(0~77.39)	0.50	10.61
甲基花青素 3-*O*-(6"-乙酰化葡萄糖苷) Pn-3-*O*-(6"-ac-glu)	6.16(0~207.67)	0.64	9.41
花翠素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Dp-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	8.02(0~330.81)	0.83	9.68
甲基花翠素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷Pt-3-*O*-cm-5-*O*-glu	8.43(0~217.12)	0.87	8.97
花翠素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷Dp-3-*O*-cm-5-*O*-glu	9.34(0~1010.23)	0.97	8.00
花青素-3-*O*-葡萄糖苷Cy-3-*O*-glu	10.92(0~133.84)	1.13	4.68
甲基花青素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷Pn-3-*O*-cm-5-*O*-glu	11.20(0~345.26)	1.16	9.95
甲基花翠素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Pt-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	11.15(0~439.48)	1.16	10.81
甲基花青素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Pn-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	12.17(0~226.79)	1.26	11.79
花翠素-3,5-*O*-双葡萄糖苷Dp-3,5-*O*-diglu	14.27(0~828.97)	1.48	2.28
甲基花翠素-3-*O*-葡萄糖苷Pt-3-*O*-glu	15.17(0~479.91)	1.57	5.16
花翠素-3-*O*-葡萄糖苷Dp-3-*O*-glu	15.65(0~854.99)	1.62	3.80
二甲花翠素3-*O*-乙酰化葡糖苷-5-*O*-葡糖苷Mv-3-*O*-ac-5-*O*-glu	17.13(0~1027.76)	1.77	6.77
甲基花青素-3,5-*O*-双葡萄糖苷Pn-3,5-*O*-diglu	17.18(0~549.17)	1.78	4.25
甲基花翠素-3,5-*O*-双葡萄糖苷Pt-3,5-*O*-diglu	18.35(0~890.50)	1.90	3.38
甲基花青素-3-*O*-葡萄糖苷Pn-3-*O*-glu	29.21(0~640.22)	3.02	6.06
二甲基花翠素 3-*O*-(6"-乙酰化葡萄糖苷) Mv-3-*O*-(6"-ac-glu)	35.24(0~1874.65)	3.65	9.59
二甲基花翠素-3-*O*-葡萄糖苷Mv-3-*O*-glu	101.18(0~2158.46)	10.47	6.40
二甲基花翠素3-*O*-(6"-对香豆酰-葡萄糖苷) Mv-3-*O*-(6"-p-cm-glu)	114.66(0~3082.14)	11.87	11.54
二甲基花翠素3-*O*-香豆酰-5-*O*-葡萄糖苷Mv-3-*O*-cm-5-*O*-glu	162.49(0~2644.54)	16.82	9.87
二甲基花翠素-3,5-*O*-双葡萄糖苷Mv-3,5-*O*-diglu	304.26(0~21263.84)	31.50	4.41

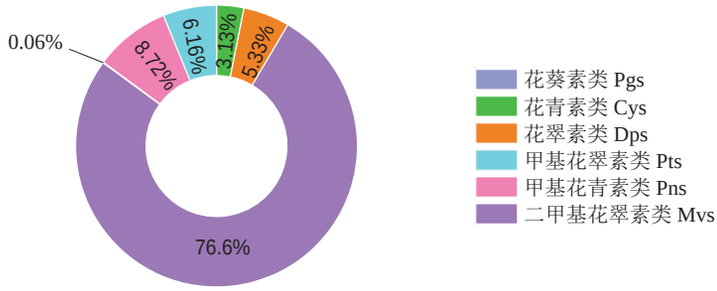


图1　葡萄种质中不同类型花色苷含量

Fig. 1　Content of different types of anthocyanins in grape germplasm

表2　不同颜色葡萄种质果皮各类花色苷含量

Table 2　Contents of various anthocyanin types in grape skins of different colors　　w/(μg·g^{-1})

花色苷种类 Anthocyanins types	绿色种质 Green germplasm	红色种质 Red germplasm	紫色种质 Purple germplasm	黑色种质 Black germplasm
花青素类Cys	6.60±0.07 d	17.73±1.00 c	37.64±1.27 b	65.70±2.09 a
甲基花青素类Pns	10.56±0.59 d	60.09±2.10 c	103.40±7.55 b	183.48±7.44 a
花翠素类Dps	2.21±0.17 c	3.50±0.39 c	49.40±1.88 b	226.38±6.48 a
甲基花翠素类Pts	1.08±0.12 c	3.90±0.42 c	61.13±2.69 b	238.62±8.06 a
二甲基花翠素类Mvs	6.06±1.34 d	19.61±0.98 c	966.77±25.09 b	1 990.53±80.11 a
花葵素类Pgs	–	1.43±0.16 a	0.46±0.09 b	1.37±0.11 a
总花色苷Total anthocyanins	26.52±0.97 d	105.62±5.04 c	1 221.30±39.71 b	2 705.11±53.21 a

注：–代表未检测到。同行不同小写字母表示在 $P<0.05$ 差异显著。下同。

Note: – represents not detected. Different small letters within the same row indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

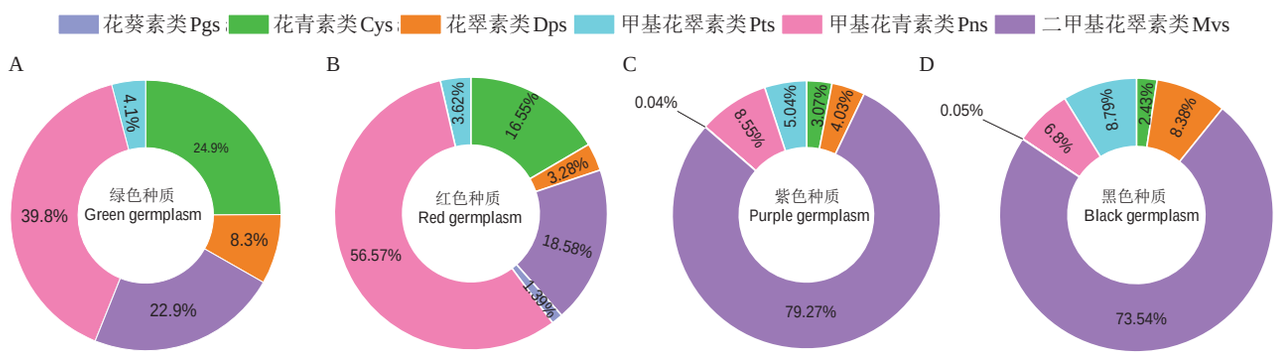


图2　不同颜色葡萄种质果皮各类花色苷组成比例

Fig. 2　Anthocyanin composition ratio in colored grape germplasm

近，为13.07%和14.78%；欧亚种和野生葡萄中花翠素类花色苷相对比例接近，为3.99%和4.09%；花青素类花色苷在3个品种中比例均较低（0.74%~6.30%）（图3）。

2.3.2　*不同种类葡萄果皮花色苷的修饰程度*　不同葡萄种质果皮花色苷的甲基化修饰程度都较高，野生葡萄果皮花色苷的甲基化修饰程度达到了95.22%，欧亚种达到了91.92%，欧美杂种为83.57%。而不同葡萄种质果皮中花色苷的酰化修饰表现出多样性，共检测到6类（表4）。其中，以香豆酰化修饰为主，乙酰化和咖啡酰化修饰相对较少，甚至部分种质未检测到这两种修饰。野生葡萄果皮花色苷的香豆酰化修饰程度为28.54%，低于欧亚种和欧美杂种（44.97%，42.15%）。除此之外，阿魏酰化、琥珀酰化和糖酰化修饰类花色苷含量极少，占比不到1%。欧亚种和欧美杂种的酰基化总修饰程度基本无差异，分别为56.62%和56.75%，远高于野生葡萄（34.18%）。

表3 不同种类葡萄种质果皮花色苷含量

Table 3 Anthocyanin content in skins of different grape germplasm $w/(\mu g \cdot g^{-1})$

花色苷种类 Anthocyanins types	欧亚种 *V. vinifera*		欧美杂种 *V. vinifera-V. labrusca*		野生葡萄 Wild grape	
	平均 Average	范围 Range	平均 Average	范围 Range	平均 Average	范围 Range
花青素类 Cys	18.67±0.93 b	0~207.17	42.53±2.16 a	0~671.53	22.87±2.47 b	0~213.47
甲基花青素类 Pns	62.23±1.56 c	0~828.87	90.98±2.26 b	0~992.83	100.16±4.43 a	0~968.00
花翠素类 Dps	21.05±2.41 c	0~628.76	54.96±2.45 b	0~1 458.41	134.69±3.56 a	0~1 957.39
甲基花翠素类 Pts	29.55±1.92 c	0~875.19	56.88±1.83 b	0~958.53	161.39±4.84 a	0~1 278.76
二甲基花翠素类 Mvs	371.07±10.05 b	0~4 540.39	350.01±10.81 b	0~5 268.87	2 912.72±33.13 a	0~23 562.69
花葵素类 Pgs	0.72±0.04 a	0~17.14	0.51±0.02 b	0~14.35	–	–
总花色苷 Total anthocyanins	502.85±9.99 c	5.89~6 642.13	589.64±8.52 b	0~6 870.49	3 311.76±65.94 a	0~26 430.02

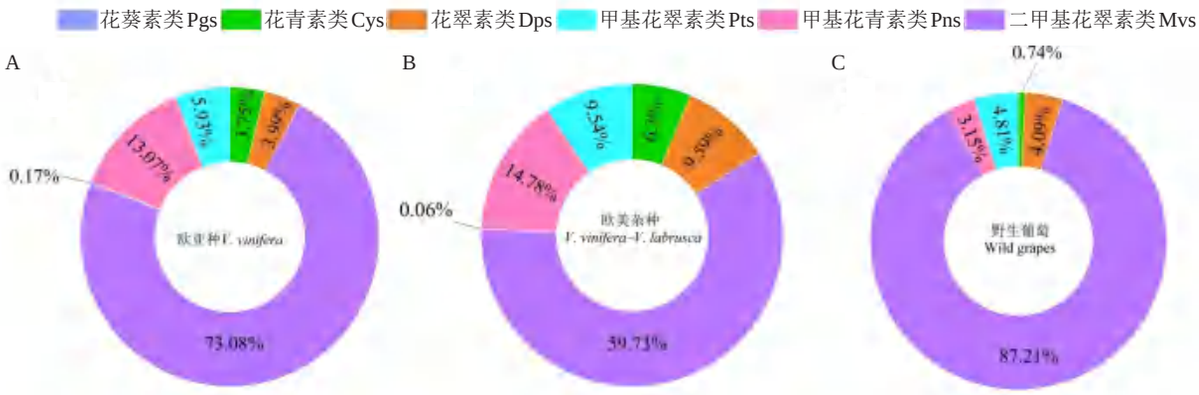


图3 不同种类葡萄种质果皮各类花色苷组成比例

Fig. 3 Anthocyanin composition ratios in different grape germplasm

表4 不同种类葡萄种质果皮花色苷酰基化修饰成分占比

Table 4 The proportion of acylated anthocyanins in skins of different grape germplasm %

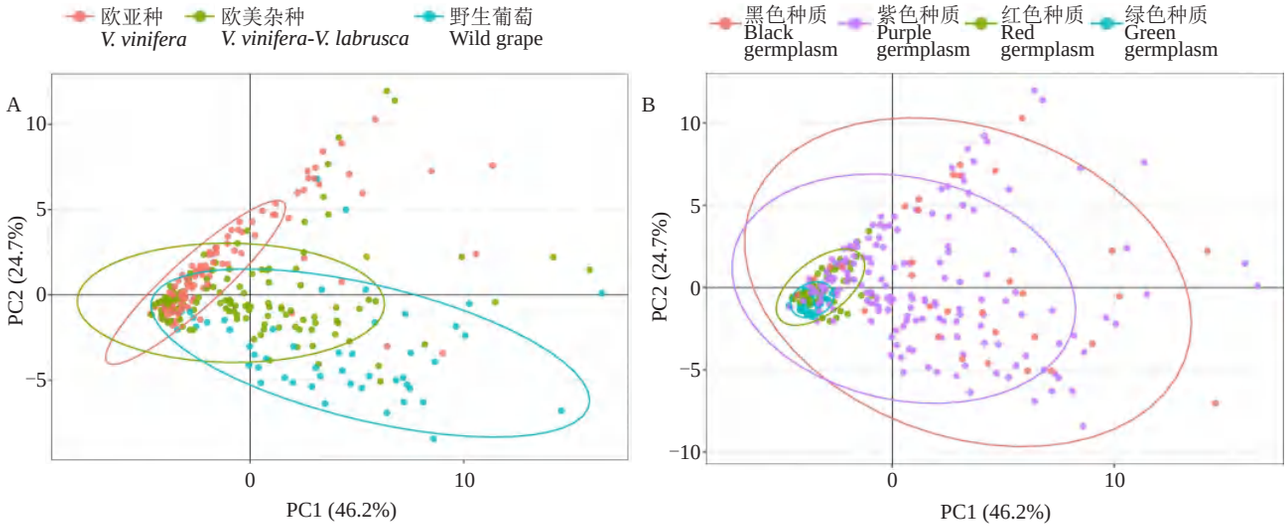
酰基化修饰种类 Species of acylation modification	欧亚种 *V. vinifera*	欧美杂种 *V. vinifera-V. labrusca*	野生葡萄 Wild grape
香豆酰化 Coumarylation	44.97	42.15	28.54
乙酰化 Acetylation	10.18	11.67	4.29
咖啡酰化 Coffeelation	0.88	2.08	1.22
阿魏酰化 Feruloylation	0.34	0.79	0.01
糖酰化 Glucosylation	0.14	0.03	0.10
琥珀酰化 Succinylation	0.11	0.03	0.02
总修饰 Total anthocyanins modification	56.62	56.75	34.18

2.4 不同颜色和不同种类葡萄种质果皮花色苷主成分分析

在对花色苷数据进行预处理后(将单体花色苷含量为0的视为未检出并进行删除;按检出率阈值prev≥20%过滤),筛选出28种花色苷并进行PCA分析。基于log1p变换并采用Pareto scaling标准化后,PCA的前2个主成分分别解释46.2%(PC1)与24.7%(PC2)的总体变异(累计为70.9%),表明前2个主成分已能较好地概括葡萄种质间花色苷组分差异。PCA得分图显示,葡萄种质按不同分类在主成分空间中呈现出不同的规律。按种类(3类:欧亚种、欧美杂种、野生葡萄)区分时(图4-A),欧亚种种质整体更集中,并主要分布于PC1较低区域;欧美杂种分布范围更广,呈现一定连续梯度;野生葡萄主要分布在PC1正方向,且离散度更大,其花色苷在总体积累水平及组分组成上与欧亚种和欧美杂种存在差异。以上结果表明,PC1和PC2基本可以将3个种类的葡萄种质明显区分。

按颜色(4类:黑色、紫色、红色、绿色)区分时(图4-B),绿色种质形成高度紧密的聚类并主要位于PC1负方向(较低)区域,而紫色、黑色等深色种质分布于PC1的范围更广,整体上颜色加深与PC1增大趋势一致。进一步将颜色与种类相结合可知(图5-A):在相同颜色种质中,不同种类的花色苷组分仍存在差异,说明颜色和种类均能影响花色苷组分。

根据不同种类花色苷在PC1和PC2上的载荷



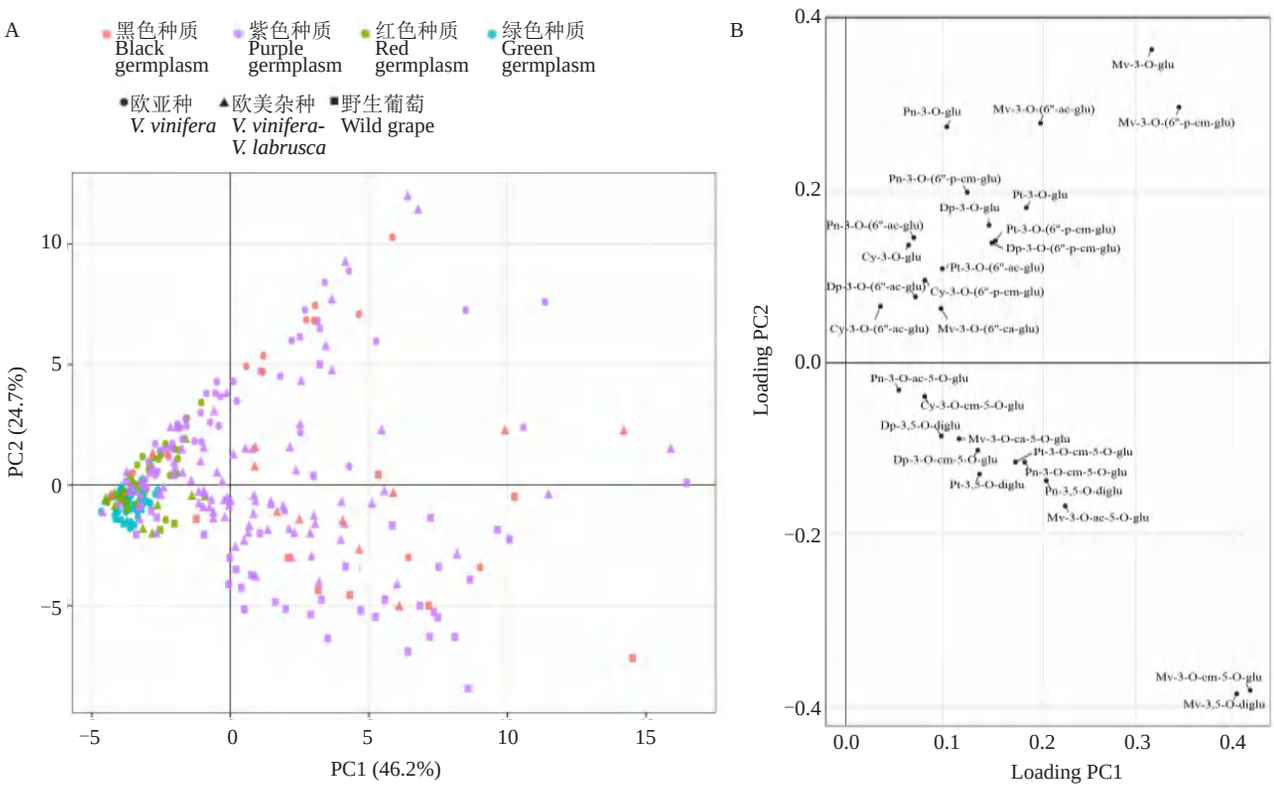
A. 不同种类葡萄种质花色苷主成分值散点图。B. 不同颜色葡萄种质花色苷主成分值散点图。

A. Principal component analysis score scatter plot of anthocyanins in different grape germplasms. B. Principal component analysis score scatter plot of anthocyanins in grape germplasms of different colors.

图4　不同分类葡萄种质花色苷主成分分析

Fig. 4　PCA of anthocyanins in different categories of grape germplasm

值绘制载荷图（图5-B），由载荷图结合主成分分析可知，欧亚种种质主要分布于PC2正方向区域，此区域主要包含3类不同酰化类型的花色苷。其中，香豆酰化类花色苷贡献较大，验证了表4结果；二



A. 不同颜色和种类的葡萄种质花色苷主成分值散点图。B. 不同种类花色苷在 PC1 和 PC2 上的载荷值。

A. Scatter plot of Principal component analysis scores of anthocyanins in grape germplasms with different colors and types. B. Loading values of different anthocyanin components on PC1 and PC2.

图5　不同颜色和种类的葡萄种质结合花色苷主成分分析

Fig. 5　PCA of anthocyanins in grapes of different colors and germplasm resources

甲基花翠素类花色苷全部分布于PC1正方向区域且贡献值较高，紫色和黑色种质主要分布于PC1正方向，表明两者中二甲基花翠素类花色苷含量较高，与表2结果相同。

3 讨 论

葡萄果皮含有丰富的花色苷，花色苷组成主要由遗传因素决定[10]。Liang等[5]通过分析葡萄种质果皮中花色苷组分和含量发现，不同种质之间花色苷组分存在差异，野生葡萄花色苷含量较高。但由于野生种质样本量较少，结论的普适性有待验证。江雨[17]在中国不同野生葡萄种质花色苷组分对比分析中指出，野生葡萄中以双糖花色苷为主。本研究在不同种类葡萄种质花色苷组分含量对比中发现，野生葡萄种质花色苷含量高于欧亚种和欧美杂种，且野生葡萄种质中双糖花色苷含量较高，与前人的研究结果一致[18]。然而本研究中部分野生种质花色苷含量低于前人的研究结果，这可能与试验材料的遗传背景差异及生长环境的不同有关。此外，在不同野生葡萄种质花色苷组分对比中发现，山葡萄株系花色苷总含量明显高于毛葡萄和刺葡萄。同时研究发现，在野生葡萄材料中总花色苷含量最高的种质是甜冬葡萄，远高于其他野生葡萄种质，可用作选育高花色苷含量品种的亲本。此外，桑叶葡萄中只包含了1种酰化修饰类型（香豆酰化），为二甲基花翠素3-*O*-（6''-对香豆酰-葡萄糖苷）。

花色苷的结构对稳定性影响较大。一般而言，甲基化和酰基化可提高花色苷的稳定性并影响其功能活性[19-20]。邢婷婷等[21]分析了14个欧亚种红色酿酒葡萄种质的花色苷组分结构，并检测到了香豆酰化、乙酰化、咖啡酰化3种酰化类型，这与报道的花色苷酰化类型相符[22-23]。在此基础上，本研究进一步检测到3种低含量的酰化类型，分别是阿魏酰化、糖酰化和琥珀酰化[24]。Ageorges等[9]指出在欧亚种中主要包含Cy、Dp、Pn、Pt和Mv类单糖花色苷和香豆酰化、乙酰化、咖啡酰化衍生物。本研究结果与之相似，并且发现在欧亚种和欧美杂种种质中香豆酰化类花色苷含量较高。

前人研究表明，花色苷组分与含量是决定葡萄果皮颜色的关键因素[25-26]。刘笑宏等[27]在对比8个葡萄品种花色苷组分和含量中发现，随着甲基化程度的提高，花色苷稳定性增强，从而加深葡萄果皮的红色色调。本研究在不同颜色种质的花色苷组分含量对比中也观察到类似规律：随着果皮颜色的加深，甲基化花色苷含量呈上升趋势。具体而言，黑色种质中甲基化花色苷含量明显高于紫色种质。

主成分分析可以在数据量较大时对数据进行降维处理，使数据更为直观地呈现[28-30]。基于主成分分析，本研究成功区分了不同种类及颜色的葡萄种质，并清晰地揭示了其花色苷组分的差异。相比以往葡萄花色苷组分的研究，本研究依托301份葡萄种质进行系统分类与对比，样本量更为充足，结论更具代表性和普遍性。

4 结 论

在301份葡萄种质中共检测到47种花色苷，不同种类、颜色种质之间花色苷组分和含量存在差异。不同颜色种质之间，绿果、红果种质以甲基花青素类花色苷为主，紫果、黑果种质以二甲基花翠素类花色苷为主。不同种类葡萄种质之间，野生葡萄种质中双糖花色苷含量较高，且种质间花色苷组分差异较大；欧亚种和欧美杂种种质中香豆酰化类花色苷含量较高，且欧亚种和欧美杂种种质中酰基化总修饰程度高于野生葡萄种质。通过对301份葡萄种质资源花色苷含量进行对比，筛选出甜冬葡萄、长白九号、黑多内等多个高花色苷含量种质，可用作选育高花色苷含量品种的亲本。

参考文献 References:

[1] Castellarin S D，Di Gaspero G，Marconi R，Nonis A，Peterlunger E，Paillard S，Adam-Blondon A F，Testolin R. Colour variation in red grapevines (*Vitis vinifera* L.)：Genomic organisation，expression of flavonoid 3'-hydroxylase，flavonoid 3'，5'-hydroxylase genes and related metabolite profiling of red cyanidin-/ blue delphinidin-based anthocyanins in berry skin[J]. BMC Genomics，2006，7：12.

[2] 孙建霞，张燕，胡小松，吴继红，廖小军. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J]. 中国农业科学，2009，42(3)：996-1008.
Sun Jianxia，Zhang Yan，Hu Xiaosong，Wu Jihong，Liao Xiaojun. Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins[J]. Scientia Agricultura Sinica，2009，42(3)：996-1008.

[3] 李雨陶，何怀华，曹圆，曾青青，张振文. 贺兰山东麓不同红葡萄品种与葡萄酒花色苷组分分析[J]. 中国酿造，2024，43(5)：47-52.
Li Yutao，He Huaihua，Cao Yuan，Zeng Qingqing，Zhang Zhenwen. Analysis of anthocyanin composition in different red grape

varieties and wine from the eastern foot of Helan Mountain[J]. China Brewing，2024，43(5)：47-52.

[4] Tian B，Harrison R，Morton J，Jaspers M. Changes in pathogenesis-related proteins and phenolics in *Vitis vinifera* L. cv.‘Sauvignon Blanc’grape skin and pulp during ripening[J]. Scientia Horticulturae，2019，243：78-83.

[5] Liang Z C，Wu B H，Fan P G，Yang C X，Duan W，Zheng X B，Liu C Y，Li S H. Anthocyanin composition and content in grape berry skin in *Vitis* germplasm[J]. Food Chemistry，2008，111(4)：837-844.

[6] He J J，Liu Y X，Pan Q H，Cui X Y，Duan C Q. Different anthocyanin profiles of the skin and the pulp of Yan73 (Muscat Hamburg × Alicante Bouschet) grape berries[J]. Molecules，2010，15(3)：1141-1153.

[7] 张素敏，隋洪涛，隋韶奕，刘凡. 葡萄花色苷的研究进展及应用前景[J]. 北方果树，2007(3)：1-3.
Zhang Sumin，Sui Hongtao，Sui Shaoyi，Liu Fan. Study progress of grape anthocyanidin and its application prospect[J]. Northern Fruits，2007(3)：1-3.

[8] 孔庆山. 中国葡萄志[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2004：18.
Kong Qingshan. Chinese journal of grapes[M]. China Agricultural Science and Technology Press，2004：18.

[9] Ageorges A，Fernandez L，Vialet S，Merdinoglu D，Terrier N，Romieu C. Four specific isogenes of the anthocyanin metabolic pathway are systematically co-expressed with the red colour of grape berries[J]. Plant Science，2006，170(2)：372-383.

[10] Arozarena I，Ayestarán B，Cantalejo M，Navarro M，Vera M，Abril I，Casp A. Anthocyanin composition of Tempranillo，Garnacha and Cabernet Sauvignon grapes from high- and low-quality vineyards over two years[J]. European Food Research and Technology，2002，214(4)：303-309.

[11] 段长青，贺普超，康靖全. 中国葡萄野生种花色素双糖苷的研究[J]. 西北农业大学学报，1997(5)：23-28.
Duan Changqing，He Puchao，Kang Jingquan. Anthocyanin diglucoside of the wild *Vitis* resources in China[J]. Acta Universitatis Agriculturalis Boreali-occidentalis，1997(5)：23-28.

[12] 周娜交，李益，高龙梅，吴明阳. 紫马铃薯花色苷提取工艺及检测方法研究进展[J]. 现代食品，2025，31(18)：102-105.
Zhou Najiao，Li Yi，Gao Longmei，Wu Mingyang. Advances in research on extraction process and analytical method of anthocyanin in purple potatoes[J]. Modern Food，2025，31(18)：102-105.

[13] 武亚敬，冀晓昊，于祎飞，时梦，王宝亮，王孝娣，刘凤之，李明亮，王贺，刘俊，王海波. 188个鲜食葡萄品种果皮中花色苷组分数据集[J]. 农业大数据学报，2025，7(2)：238-245.
Wu Yajing，Ji Xiaohao，Yu Yifei，Shi Meng，Wang Baoliang，Wang Xiaodi，Liu Fengzhi，Li Mingliang，Wang He，Liu Jun，Wang Haibo. Dataset of anthocyanin component contents in the skins of 188 grape varieties[J]. Journal of Agricultural Big Data，2025，7(2)：238-245.

[14] 陶慧慧，付鹏鸿，陈钱，王斯妤，张萌，杨思潮，胡新龙. 刺葡萄与欧美杂交种葡萄“夏黑”幼叶花色苷比较分析[J]. 中国南方果树，2023，52(5)：123-127.
Tao Huihui，Fu Penghong，Chen Qian，Wang Siyu，Zhang Meng，Yang Sichao，Hu Xinlong. Comparative analysis of anthocyanins in young leaves of *Vitis davidii* Foex. and Xiahei grape[J]. South China Fruits，2023，52(5)：123-127.

[15] 孙磊，樊秀彩，张颖，姜建福，孙海生，刘崇怀. 部分中国野生葡萄果皮花色苷组分分析[J]. 果树学报，2015，32(6)：1143-1151.
Sun Lei，Fan Xiucai，Zhang Ying，Jiang Jianfu，Sun Haisheng，Liu Chonghuai. Analysis of anthocyanin composition in berry skin of Chinese wild grape[J]. Journal of Fruit Science，2015，32(6)：1143-1151.

[16] 葛孟清，钟嵘，卢亚萍，黄超，肖鑫，房经贵. 红叶葡萄品种叶片花色苷种类的鉴定与分析[J]. 核农学报，2022，36(11)：2239-2248.
Ge Mengqing，Zhong Rong，Lu Yaping，Huang Chao，Xiao Xin，Fang Jinggui. Identification and analysis of leaf anthocyanin in red-leaved grape cultivars[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2022，36(11)：2239-2248.

[17] 江雨. 中国野生葡萄果实品质评价和主要物质组分研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2016.
Jiang Yu. The quality evalation and main components of Chinese wild grape berry[D]. Yangling：Northwest A & F University，2016.

[18] Li S C，Sun L，Fan X C，Zhang Y，Jiang J F，Liu C H. Polymorphism of anthocyanin concentration and composition in Chinese wild grapes[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research，2021，27(1)：34-41.

[19] 朱磊，李新月，胡禧熙，刘云清，于昕楚，武欣，臧延青，汤华成. 葡萄花色苷的组成及生物合成研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报，2021，33(5)：59-66.
Zhu Lei，Li Xinyue，Hu Xixi，Liu Yunqing，Yu Xinchu，Wu Xin，Zang Yanqing，Tang Huacheng. Research progress on composition and biosynthesis of grape anthocyanins[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University，2021，33(5)：59-66.

[20] Chen H W，Wang M M，Zhang L J，Ren F X，Li Y T，Chen Y，Liu Y Q，Zhang Z W，Zeng Q Q. Anthocyanin profiles and color parameters of fourteen grapes and wines from the eastern foot of Helan Mountain in Ningxia[J]. Food Chemistry：X，2024，24：102034.

[21] 邢婷婷，杨航宇，王雯染，杨晓慧，王军. 14个欧亚种红色酿酒葡萄品种(品系)的花色苷组成和含量分析[J]. 果树学报，2018，35(2)：147-157.
Xing Tingting，Yang Hangyu，Wang Wenran，Yang Xiaohui，Wang Jun. The compositions and contents of anthocyanins of 14 red wine grape varieties or clones (*Vitis vinifera*)[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(2)：147-157.

[22] 葛鑫宇，冉林武，张渌淘，王思玉，马彩霞，丁博文，魏佳仪，禄璐，米佳，闫亚美. 天然花色苷异构体及其生物活性研究进

展[J/OL]. 食品科学，1-20(2025-09-18)[2025-10-10]. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20250918.0959.024.
Ge Xinyu，Ran Linwu，Zhang Lutao，Wang Siyu，Ma Caixia，Ding Bowen，Wei Jiayi，Lu Lu，Mi Jia，Yan Yamei. Structural characterization and biological activities of anthocyanin isomers in nature：A review[J/OL]. Food Science，1-20(2025-09-18)[2025-10-10]. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20250918.0959.024.

[23] 夏玲，陈小兰，王自超，王慧春，张文剑. 酰基化花色苷的结构、稳定性及降血糖作用研究进展[J]. 食品与发酵工业，2025，51(15)：374-383.
Xia Ling，Chen Xiaolan，Wang Zichao，Wang Huichun，Zhang Wenjian. Progress in the study of structure，stability and hypoglycemic effect of acylated anthocyanins[J]. Food and Fermentation Industries，2025，51(15)：374-383.

[24] Nakayama T，Suzuki H，Nishino T. Anthocyanin acyltransferases：Specificities，mechanism，phylogenetics，and applications[J]. Journal of Molecular Catalysis B：Enzymatic，2003，23(2/3/4/5/6)：117-132.

[25] 杨亚蒙，韦静波，郭红娜，任宏伟，周子发，姬延伟. 影响葡萄着色的原因及改进措施[J]. 果树资源学报，2023，4(5)：56-58.
Yang Yameng，Wei Jingbo，Guo Hongna，Ren Hongwei，Zhou Zifa，Ji Yanwei. The reasons affecting grape coloring and improving measures[J]. Journal of Fruit Resources，2023，4(5)：56-58.

[26] 刘思凡. 欧亚种与欧山种红色酿酒葡萄果实中花色苷积累的差异研究[D]. 银川：宁夏大学，2020.
Liu Sifan. Differenced study of berry anthocyanin accumulation between *Vitis vinifera* and hybrid of *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* in red wine grapes[D]. Yinchuan：Ningxia University，2020.

[27] 刘笑宏，郭淑华，牛彦杰，杜远鹏，翟衡. 8个葡萄品种的花色苷组分及含量分析[J]. 果树学报，2017，34(4)：444-453.
Liu Xiaohong，Guo Shuhua，Niu Yanjie，Du Yuanpeng，Zhai Heng. Analysis of anthocyanin compositions and contents in eight grape cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2017，34(4)：444-453.

[28] Tan W，Xu M X，Xie S Q，Zhang Y，Wu S，Zou Q Y，Zhao Q F，Li Q L. Anthocyanin profiles in grape berry skins of different species of wine grapes in Shanxi，China[J]. Phyton，2021，90(2)：553-570.

[29] Gabaston J，Valls Fonayet J，Franc C，Waffo-Teguo P，de Revel G，Hilbert G，Gomès E，Richard T，Mérillon J M. Characterization of stilbene composition in grape berries from wild *Vitis* species in year-to-year harvest[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2020，68(47)：13408-13417.

[30] Faur C A，Ola D，Bunea C I，Călugăr A，Bora F D，Dulf F，Bunea A. Characterization of anthocyanins and lipid components in berries of nine red grapevine cultivars[J]. Agronomy，2025，15(10)：2443.