

喷施乙烯利和磷酸二氢钾对宁夏贺兰山东麓产区美乐葡萄果实着色的影响

万卓吾¹,付东艳²,张理健¹,曾茂宇¹,曾桂花¹,张振文^{1,3*}

(1.西北农林科技大学 葡萄酒学院,陕西 杨凌 712100;2.宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业技术协同创新中心,宁夏 银川 750104;
3.西北农林科技大学 宁夏贺兰山东麓葡萄酒试验示范站,宁夏 银川 750104)

摘要:为了解决宁夏贺兰山东麓美乐 (*Vitis vinifera* L.)果实着色不佳的问题,以喷施含0.01% (V/V)吐温20去离子水作为对照,于浆果转色初期、转色完成期、转色完成后2周、浆果转色初期+转色完成期、转色完成期+转色完成后2周、浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周在叶背及果穗上分别喷施300 mg/L的乙烯利和0.3%的磷酸二氢钾,分别考察喷施乙烯利和磷酸二氢钾对果实酚类物质及单体花色苷含量的影响。结果表明,喷施乙烯利和磷酸二氢钾的所有处理均显著提高了葡萄果皮总花色苷含量 ($P<0.05$)。浆果转色初期喷施300 mg/L乙烯利对果皮总花色苷含量 (12.31 mg/g)和总单宁含量 (25.59 mg/g)的提升效果最佳。浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周分别喷施0.3%磷酸二氢钾的葡萄果皮总花色苷 (9.90 mg/g)、总酚 (60.33 mg/g)及总单宁 (26.16 mg/g)含量最高。综上,在浆果转色初期喷施300 mg/L乙烯利或在浆果成熟过程中分3次喷施0.3%的磷酸二氢钾可以改善宁夏贺兰山东麓美乐果实着色度。

关键词:贺兰山东麓;美乐;乙烯利;磷酸二氢钾;花色苷

中图分类号:TS262.6 文章编号:0254-5071 (2025)09-0052-06 doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.09.009

引文格式:万卓吾,付东艳,张理健,等. 喷施乙烯利和磷酸二氢钾对宁夏贺兰山东麓产区美乐葡萄果实着色的影响[J]. 中国酿造, 2025, 44(9):52-57.

Effects of spraying ethephon and potassium dihydrogen phosphate on fruit coloration of Merlot grape from eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia

WAN Zhuowu¹, FU Dongyan², ZHANG Lijian¹, ZENG Maoyu¹, ZENG Guihua¹, ZHANG Zhenwen^{1,3*}

(1.College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.Collaborative Innovation Center for Wine Industry Technology of Ningxia Helan Mountain Eastern Foothills, Yinchuan 750104, China; 3.Ningxia Helan Mountain's East Foothill Wine Experiment and Demonstration Station of Northwest A&F University, Yinchuan 750104, China)

Abstract:To address the issue of poor coloration in Merlot (*Vitis vinifera* L.) fruit on the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia, using deionized water containing 0.01% (V/V) tween 20 as a control, the leaf back and ear were sprayed with 300 mg/L ethephon and 0.3% potassium dihydrogen phosphate at different berry veraison stages: initial veraison, final veraison, 2 weeks after final veraison, initial+final veraison, final veraison+2 weeks after final veraison, and initial+final veraison+2 weeks after final veraison, and the effects of spraying ethephon and potassium dihydrogen phosphate on phenolic compounds and monomeric anthocyanin content in the fruit were investigated. The results showed that all treatments (spraying ethephon and potassium dihydrogen phosphate) significantly increased total anthocyanin content in grape pericarp ($P<0.05$). Spraying 300 mg/L ethephon during initial veraison stage had the optimal effect in increasing the total anthocyanin content (12.31 mg/g) and total tannin content (25.59 mg/g) of the grape pericarp. Total anthocyanins (9.90 mg/g), total phenols (60.33 mg/g), and total tannins (26.16 mg/g) contents were the highest in grape pericarp sprayed with 0.3% potassium dihydrogen phosphate at initial veraison+final veraison+2 weeks after final veraison stages. In conclusion, spraying 300 mg/L ethephon at initial veraison stage or spraying 0.3% potassium dihydrogen phosphate three times during berry maturation could improve coloration of Merlot grape fruit on the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia.

Key words:eastern foothills of Helan Mountain; Merlot; ethephon; potassium dihydrogen phosphate; anthocyanins

葡萄果皮中的色素以花色素类为主,通常与糖苷结合以花色苷的形式存在,直接影响葡萄果实的色泽^[1]。贺兰山东麓产区位于宁夏贺兰山东侧山脚下,属于典型的大陆性干旱半干旱气候,该区光能热量充足,干旱少雨,是我国

优质的酿酒葡萄种植区和葡萄酒产区之一^[2]。美乐 (*Vitis vinifera* L.)是贺兰山东麓产区主栽的酿酒葡萄品种之一,适应性强,耐寒抗旱,具有果香浓郁、单宁柔和、适酿性强等特点,适宜沙质土壤、温暖干燥的气候条件^[3],但由于产

收稿日期:2025-02-05 修回日期:2025-05-25

基金项目:宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业技术协同创新中心葡萄酒领域科技人才开放课题(CXZXKT2024001);国家葡萄产业技术体系建设专项(CARS-29-zp-6)

作者简介:万卓吾(1999-),男,硕士研究生,研究方向为酿酒葡萄栽培技术。

*通讯作者:张振文(1960-),男,教授,硕士,研究方向为葡萄生态、生理生化及栽培技术。

区环境因素的影响,美乐在部分产区表现为花色苷及其衍生物积累不足,导致果实着色较差。全龙萍等^[4]在山东产区通过草炭+微生物菌剂复合处理使美乐果实花色苷含量提高了327.08%,有效改善了果实着色;赵芳芳等^[5]在贺兰山东麓产区通过喷施油菜素内酯提高了美乐果实着色率和花色苷含量,其中0.6 mg/L油菜素内酯处理的果实着色率和花色苷分别提高了13.03%和21.07%。

乙烯是一种加速果实成熟以及衰老脱落等生理过程的激素,参与植株的整个生长发育过程^[6]。在一定条件下,乙烯利不仅可以释放出乙烯,还能诱导植株产生乙烯。近年来有研究表明,乙烯利处理葡萄可以促进叶绿素降解和合成花色苷等酚类物质,从而提高果实着色^[7-10]。葡萄果实转色期之前其内源乙烯的含量显著增加^[7],乙烯利处理能诱导葡萄果实内源乙烯含量的增加,上调花色苷合成基因的表达,从而促进花色苷含量的增加和果实着色^[11]。刘美迎等^[10]于转色期对‘赤霞珠’葡萄果实喷施400 mg/L乙烯利,结果发现有助于提高其葡萄酒中的酚类物质含量,并有效提高葡萄酒的饱和度及红黄色色调。在果树栽培管理中,叶面施肥是一种高效经济的根外施肥技术,其中磷酸二氢钾作为常用的叶面肥,在植物上使用十分安全,不易造成叶片的灼烧。磷和钾是果树生长发育过程中的重要营养元素,对调节植物生长发育、提高光合同化、产量与品质形成等均具有重要作用^[12]。赵婷等^[13]于转色末期在‘赤霞珠’葡萄叶片上喷施3 g/L磷酸二氢钾,果实花色苷含量提高了30%。

本研究针对贺兰山东麓美乐葡萄果实着色不良、采收时粉果较多、葡萄酒颜色欠佳等问题,以喷施含0.01%(V/V)吐温20去离子水作为对照,于果实转色初期、转色完成期、转色完成后2周、果实转色初期+转色完成期、转色完成期+转色完成后2周、果实转色初期+转色完成期+转色完成后2周在叶背及果穗上分别喷施300 mg/L乙烯利和0.3%磷酸二氢钾,分别考察喷施乙烯利和磷酸二氢钾对宁夏贺兰山东麓产区酿酒葡萄美乐果实酚类物质及单体花色苷含量的影响,筛选出能够促进美乐果实着色的技术方案,为生产优质葡萄酒奠定理论和技术基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本试验在西夏小产区的张骞郡葡萄酒产业园进行,葡萄园为砾石土壤、质地疏松、通气性良好。葡萄供试品种为美乐(*Vitis vinifera* L.),2017年定植,株行距1.0 m×3.5 m,篱架、厂字形树形,南北行向。

乙腈、甲酸、甲醇(均为色谱纯):德国Merck公司;福林酚、氢氧化钠、无水硫酸铜、甲基纤维素、氯化铝、甲酸、盐酸、甲醇、乙酸乙酯、硫酸铵、氯化钾、醋酸钠、亚硝酸钠(均为分析纯):天津科密欧化学试剂有限公司;芦丁、(+)-儿茶素、

干没食子酸等标准品(纯度均>98%):美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

FD5-2.5E冷冻干燥机:美国SIM公司;KQ-300DE型数控超声波清洗器:昆山超声仪器有限公司;5804R离心机:德国Eppendorf公司;Centrivap离心浓缩仪:美国Labconco公司;UV-1800紫外/可见分光光度计、LC-2030高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)仪:日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 葡萄果实田间喷施处理

本试验于2024年进行,晴天早晨8:00-9:00喷施叶片背面和果穗,如喷施24 h内出现降雨则进行补喷。每个处理30株,重复3次。在不同时期喷施乙烯利和磷酸二氢钾,共设计13个处理。乙烯利质量浓度为300 mg/L(内加0.01%的吐温20),分别在葡萄果实成熟过程不同时期进行单一时期喷施处理和多个时期连续喷施处理,共设置6个处理:转色初期(编号为E1);转色完成期(编号为E2);转色完成后2周(编号为E3);浆果转色初期+转色完成期(编号为E4)、转色完成期+转色完成后2周(编号为E5);浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周(编号为E6)。磷酸二氢钾质量分数为0.3%(加0.01%的吐温20),分别在浆果成熟过程不同时期进行单一时期喷施处理和多个时期连续喷施处理,共设置6个处理:转色初期(编号为PK1)、转色完成期(编号为PK2)、转色完成后2周(编号为PK3)、浆果转色初期+转色完成期(编号为PK4)、转色完成期+转色完成后2周(编号为PK5)、浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周(编号为PK6)。以含0.01%(V/V)吐温20的去离子水为对照(CK)。

1.3.2 样品采集

在浆果成熟进程(糖酸变化)监控的基础上,参照《葡萄种质资源描述规范》,当种子完全变褐、果实可溶性固形物和总酸的含量在连续5 d内基本不再变化,即对试验处理进行取样。采样于早上8:00-10:00进行,每个处理随机采集30个果穗,立刻进行液氮速冻后置于干冰中运回实验室,置于-80 ℃的低温冰箱备用。

1.3.3 分析检测

总酚含量:采用福林-肖卡法^[14]测定,结果以没食子酸当量(gallic acid equivalent, GAE)表示;总花色苷含量:采用pH示差法^[15]测定,结果以二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷当量(dimethicillin-3-O-glucoside equivalent, DGE)表示;总单宁含量:采用甲基纤维素沉淀法^[16]测定,以儿茶素当量(catechin equivalent, CE)表示。以干基计。

各花色苷组分提取参照HE J J等^[17]的方法进行,定性定量分析参照YANG P等^[18]的方法进行,其含量以二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷当量(DGE)表示。以干基计。

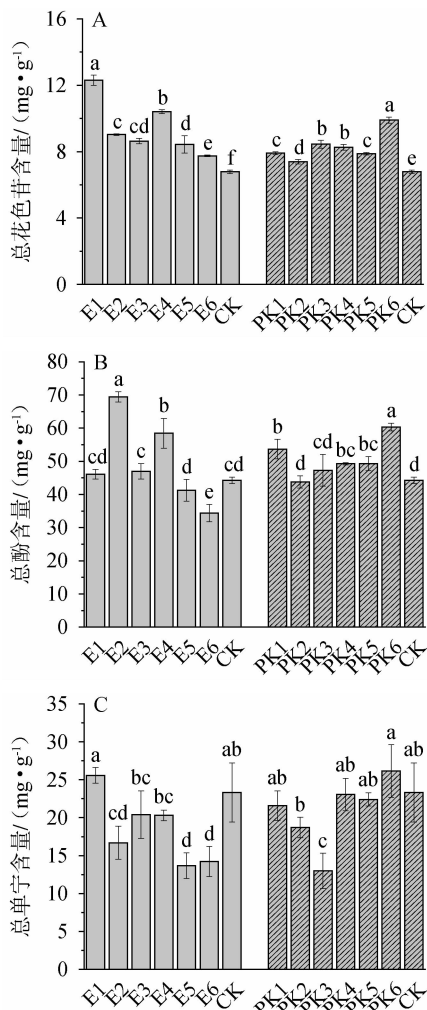
1.3.4 数据处理

所有数据结果以“平均值±标准差”表示。采用Excel 2019进行数据整理及基本统计分析;采用PASW Statistics 18.0进行单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA),采用Duncan法进行处理间均值的多重比较($P<0.05$ 表示差异显著)。

2 结果与分析

2.1 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮酚类物质含量的影响

喷施300 mg/L乙烯利及0.3%磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮总花色苷、总酚及总单宁含量的影响见图1。



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图1 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮中总花色苷(A)、总酚(B)及总单宁(C)含量的影响

Fig. 1 Effect of spraying ethephon and potassium dihydrogen phosphate on the contents of total anthocyanins (A), total phenols (B) and total tannins (C) of Merlot grape pericarp

2.1.1 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮总花色苷含量的影响

花色苷是苯丙氨酸途径的最终产物,其含量高低直接

影响了酿酒葡萄和葡萄酒的品质和经济价值^[19]。由图1A可知,喷施乙烯利所有处理均显著提高果皮总花色苷的含量($P<0.05$),与刘美迎等^[10,20-22]研究结果一致。浆果转色初期喷施乙烯利(E1)的效果最好,果皮总花色苷含量(12.31 mg/g)较对照显著提高了81.59%($P<0.05$),浆果转色初期+转色完成期喷施乙烯利(E4)较对照(CK)显著提高了53.31%($P<0.05$),其他乙烯利喷施处理(E2、E3、E5、E6)较对照(CK)显著提高了14.14%~33.43%($P<0.05$)。花色苷的合成需要糖类物质的参与,因此花色苷的含量和糖的含量通常呈现正相关的关系^[23],乙烯利处理可促进葡萄果实糖分的积累^[10,21-22],从而提高花色苷的含量。

喷施磷酸二氢钾所有处理亦显著提高了果皮总花色苷的含量($P<0.05$),与前人在赤霞珠和Rasha葡萄上的研究结果一致^[13,24-25]。浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周连续喷施磷酸二氢钾(PK6)的效果最好,果皮总花色苷含量(9.90 mg/g)较对照(CK)显著提高了45.80%($P<0.05$),浆果转色完成2周(PK3)、浆果转色初期+转色完成期喷施磷酸二氢钾(PK4)较对照(CK)分别显著提高了24.45%和21.65%($P<0.05$),其他磷酸二氢钾喷施处理(PK1、PK2、PK5)较对照(CK)显著提高了8.84%~16.49%($P<0.05$),与钾肥能促进着色相关基因*DFR*、*LDOX*、*UFGT*的表达有关^[26]。同时,钾可以通过提高糖代谢相关酶活性,促进淀粉向糖的转化,进而提高葡萄果实中的总糖含量^[27],间接促进花色苷的积累。

2.1.2 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮总酚含量的影响

酚类物质是一类重要的次生代谢产物,不仅对葡萄酒的感官特性(颜色、香气、口感等)有重要贡献,而且对人体健康也有许多潜在益处^[28]。由图1B可知,浆果完成期喷施乙烯利(E2)果皮总酚含量(69.39 mg/g)最高,较对照(CK)显著提高了56.74%($P<0.05$),浆果转色初期+转色完成期连续喷施乙烯利(E4)较对照(CK)显著提高了32.03%($P<0.05$),与前人在美乐和赤霞珠果实上的研究结果一致^[21,29]。浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周连续喷施乙烯利(E6)较对照(CK)显著降低了22.39%,其他乙烯利喷施处理(E1、E3、E5)果皮总酚含量与对照(CK)没有显著差异($P>0.05$)。

浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周连续喷施磷酸二氢钾(PK6)果皮总酚含量(60.33 mg/g)最高,较对照(CK)显著提高了36.28%($P<0.05$),浆果转色初期喷施磷酸二氢钾(PK1)较对照(CK)显著提高了21.21%($P<0.05$),浆果转色初期+转色完成期喷施磷酸二氢钾(PK4)、转色完成期+转色完成后2周连续喷施磷酸二氢钾(PK5)较对照(CK)分别显著提高了11.27%和11.36%($P<0.05$),其他磷酸二氢钾喷施处理(PK2、PK3)与对照(CK)没有显著差异($P>0.05$)。磷能够通过提高三磷酸腺苷(adenosine

triphosphate, ATP)活性影响醇酯的合成,钾能提高叶片的光合作用、CO₂同化、叶片与果实间糖分的转移,从而间接有益于果实成熟过程中酚类物质的合成^[90]。

2.1.3 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮总单宁含量的影响

单宁对葡萄酒的颜色具有积极作用^[91],如减缓花色苷的降解、与花色苷结合形成稳定的单宁-花色苷复合物等。由图1C可知,浆果转色初期(E1)、转色完成后2周(E3)、转色初期+转色完成期(E4)喷施乙烯利果皮总单宁含量与对照(CK)没有显著差异($P>0.05$),但浆果转色初期喷施乙烯利果皮总单宁含量(25.59 mg/g)较对照(CK)提高了9.73%,与LIU M Y等^[29]在赤霞珠果实上的研究结果一致。其他乙烯利处理(E2、E5、E6)较对照(CK)却显著降低了果皮总单宁含量($P<0.05$)。

除浆果转色完成期(PK2)、转色完成后2周(PK3)喷施磷酸二氢钾果皮总单宁含量显著低于对照(CK)外($P<$

0.05),其他磷酸二氢钾喷施处理与对照(CK)没有显著差异($P>0.05$),与赵婷等^[13]研究结果一致。

2.2 喷施乙烯利及磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮花色苷组分的影响

通过HPLC对果实花色苷物质进行分析,共检测出9种单体花色苷,其中包括非酰化花色苷5种、酰化花色苷4种(2种乙酰化花色苷和2种对香豆酰化花色苷)。

2.2.1 喷施乙烯利对美乐葡萄果皮花色苷组分的影响

喷施乙烯利对美乐葡萄果皮花色苷组分的影响见表1。由表1可知,浆果转色初期(E1)、转色初期+转色完成期(E4)喷施乙烯利对果皮单体花色苷总量的提升效果最佳,分别较对照(CK)显著提高了90.47%和71.71%($P<0.05$)。转色完成期(E2)、浆果转色完成后2周(E3)、转色初期+转色完成期+转色完成后2周(E6)连续喷施乙烯利较对照(CK)分别显著提高了44.87%、38.52%和17.86%($P<0.05$)。结果与本研究总花色苷含量的结果基本一致。

表1 喷施乙烯利对美乐葡萄果皮花色苷组分及含量的影响
Table 1 Effect of spraying ethylene on anthocyanin composition and contents of Merlot grape pericarp

花色苷组分	E1	E2	E3	E4	E5	E6	CK	mg/g
非酰化花色苷								
花翠素-3-O-葡萄糖苷	2.60±0.08b	2.19±0.11c	2.03±0.02c	3.03±0.11a	1.80±0.00d	1.24±0.06e	1.26±0.05e	
花青素-3-O-葡萄糖苷	1.39±0.04b	1.07±0.00cd	1.43±0.04b	2.04±0.12a	1.15±0.00c	1.02±0.03d	0.77±0.03e	
甲基花翠素-3-O-葡萄糖苷	2.53±0.05a	2.13±0.02b	1.94±0.05c	2.58±0.12a	1.65±0.01d	1.31±0.01e	1.38±0.05e	
甲基花青素-3-O-葡萄糖苷	5.92±0.13b	5.32±0.12c	5.72±0.05b	8.23±0.02a	4.21±0.00d	5.40±0.10c	2.94±0.22e	
二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷	17.92±0.30a	13.38±0.25b	11.85±0.07c	13.73±0.02b	9.82±0.01d	9.98±0.10d	8.81±0.88e	
合计	30.36±0.60a	24.09±0.28b	22.97±0.05b	29.61±0.35a	18.63±0.00c	18.95±0.16c	15.16±1.03d	
比例/%	65.73	68.53	68.36	71.11	69.10	66.31	62.52	
酰化花色苷								
甲基花青素-3-O-(6-O-乙酰化)-葡萄糖苷	1.01±0.04bc	1.17±0.16b	1.11±0.05bc	1.61±0.01a	0.87±0.00c	1.07±0.00bc	0.57±0.21d	
二甲花翠素-3-O-(6-O-乙酰化)-葡萄糖苷	5.88±0.19a	4.47±0.20b	4.25±0.19bc	4.40±0.01bc	3.34±0.02d	3.47±0.04d	3.73±0.68cd	
甲基花青素-3-O-(反式-6-O-对香豆酰化)-葡萄糖苷	1.58±0.13b	1.53±0.03b	1.48±0.01b	2.05±0.21a	1.16±0.01c	1.45±0.03b	0.94±0.02c	
二甲花翠素-3-O-(反式-6-O-对香豆酰化)-葡萄糖苷	7.36±0.32a	3.87±0.01b	3.78±0.15b	3.97±0.37b	2.96±0.01c	3.64±0.02b	3.85±0.00b	
合计	15.83±0.22a	11.04±0.31bc	10.62±0.29cd	12.03±0.58b	8.33±0.03f	9.63±0.06de	9.09±0.86ef	
比例/%	34.27	31.43	31.62	28.89	30.90	33.69	37.48	
总含量	46.19±0.38a	35.13±0.59c	33.59±0.34c	41.64±0.93b	26.96±0.03d	28.58±0.21d	24.25±1.88e	

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

乙烯利处理对于果皮非酰化花色苷含量的提升幅度大于酰化花色苷。所有乙烯利处理均提高了果皮非酰化花色苷含量,浆果转色初期(E1)、转色初期+转色完成期(E4)喷施乙烯利较对照(CK)显著提高了100.26%和95.32%($P<0.05$),转色完成期(E2)、转色完成后2周(E3)、转色完成期+转色完成后2周(E5)、转色初期+转色完成期+转色完成后2周(E6)喷施乙烯利分别较对照显著提高了

58.91%、51.52%、22.89%和25.00%($P<0.05$)。除转色完成期+转色完成后2周(E5)、转色初期+转色完成期+转色完成后2周(E6)喷施乙烯利处理的果皮酰化花色苷含量较对照(CK)没有显著差异外($P>0.05$),其他处理较对照显著提高了16.83%~74.15%($P<0.05$),而酰基化修饰能促进花色苷颜色加深,增强花色苷的稳定性^[32],故乙烯利处理的果实花色苷颜色更深且稳定性更高,与马文婷等^[20]研究

结果一致。

浆果转色初期(E1)、转色完成期(E2)、转色完成后2周(E3)、转色初期+转色完成期(E4)、转色完成期+转色完成后2周(E5)、转色初期+转色完成期+转色完成后2周(E6)喷施乙烯利处理及对照(CK)的果皮非酰化花色苷含量占单体花色苷总量的比例分别为65.73%、68.53%、68.36%、71.11%、69.10%、66.31%和62.52%，果皮酰化花色苷含量占单体花色苷总量的比例分别为34.27%、31.43%、31.62%、28.89%、30.90%、33.69%和37.48%。

2.2.2 喷施磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮花色苷组分的影响

喷施磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮花色苷组分的影响

结果见表2。由表2可知，喷施磷酸二氢钾所有处理均显著提高了果皮单体花色苷总量($P<0.05$)。浆果转色完成后2周(PK3)喷施磷酸二氢钾处理使果皮单体花色苷总量(32.32 mg/g)提升幅度最大，较对照(CK)显著提高33.28% ($P<0.05$)，其次为浆果转色初期+转色完成期(PK4)喷施磷酸二氢钾处理较对照(CK)显著提高了23.51% ($P<0.05$)，浆果转色完成期(PK2)、转色完成期+转色完成后2周(PK5)、转色初期+转色完成期+转色完成后2周(PK6)喷施磷酸二氢钾处理分别较对照(CK)显著提高了19.13%、19.42%和17.86% ($P<0.05$)，浆果转色初期(PK1)喷施磷酸二氢钾处理较对照(CK)显著提高了13.11% ($P<0.05$)。

表2 喷施磷酸二氢钾对美乐葡萄果皮花色苷组分及含量的影响

Table 2 Effect of spraying potassium dihydrogen phosphate on anthocyanin composition and contents of Merlot grape pericarp

	mg/g						
花色苷组分	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	PK6	CK
非酰化花色苷							
花翠素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	1.83±0.01b	1.74±0.04b	2.35±0.02a	1.75±0.05b	1.82±0.06b	1.24±0.06c	1.26±0.05c
花青素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	1.66±0.02a	1.19±0.00d	1.32±0.04bc	1.31±0.05c	1.41±0.05b	1.02±0.03e	0.77±0.03f
甲基花翠素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	1.55±0.04cd	1.65±0.13bc	2.17±0.04a	1.77±0.12b	1.80±0.05b	1.31±0.01e	1.38±0.05de
甲基花青素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	5.52±0.10a	4.57±0.23b	4.60±0.08b	4.41±0.05b	4.48±0.00b	5.40±0.10a	2.94±0.22c
二甲花翠素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	8.51±0.15d	10.36±0.57bc	11.92±0.18a	11.09±0.14ab	10.32±0.23bc	9.98±0.10c	8.81±0.88d
合计	19.07±0.32bc	19.51±0.70bc	22.36±0.07a	20.33±0.31b	19.83±0.26bc	18.95±0.15c	15.16±1.03d
比例/%	69.52	67.53	69.18	67.88	67.96	66.31	62.52
酰化花色苷							
甲基花青素-3- <i>O</i> -(6- <i>O</i> -乙酰化)-葡萄糖苷	0.95±0.14ab	0.99±0.04ab	0.95±0.01ab	0.70±0.16bc	0.86±0.06ab	1.07±0.00a	0.57±0.21c
二甲花翠素-3- <i>O</i> -(6- <i>O</i> -乙酰化)-葡萄糖苷	3.05±0.50b	3.87±0.05ab	4.13±0.11a	3.92±0.31ab	3.88±0.15ab	3.47±0.04ab	3.73±0.68ab
甲基花青素-3- <i>O</i> -(反式-6- <i>O</i> -对香豆酰化)-葡萄糖苷	1.50±0.03a	1.16±0.02b	1.24±0.07b	1.15±0.07b	1.24±0.03b	1.45±0.03a	0.94±0.02c
二甲花翠素-3- <i>O</i> -(反式-6- <i>O</i> -对香豆酰化)-葡萄糖苷	2.86±0.15c	3.36±0.06b	3.64±0.15ab	3.85±0.20a	3.38±0.26b	3.64±0.02ab	3.85±0.00a
合计	8.36±0.81b	9.38±0.07ab	9.96±0.34a	9.62±0.20a	9.36±0.08ab	9.63±0.06a	9.09±0.86ab
比例/%	30.48	32.47	30.82	32.12	32.08	33.69	37.48
总含量	27.43±1.13c	28.89±0.77bc	32.32±0.26a	29.95±0.12b	29.18±0.19bc	28.58±0.21bc	24.25±1.89d

喷施磷酸二氢钾果皮酰化花色苷含量与对照(CK)没有显著差异($P>0.05$)，但所有处理均显著增加了果皮非酰化花色苷含量($P<0.05$)。浆果转色完成后2周(PK3)喷施磷酸二氢钾果皮非酰化花色苷含量(22.36 mg/g)较对照(CK)显著提高了47.49% ($P<0.05$)，其次为浆果转色初期+转色完成期(PK4)喷施磷酸二氢钾较对照(CK)显著提高了34.10% ($P<0.05$)，浆果转色初期(PK1)、转色完成期(PK2)、转色完成期+转色完成后2周(PK5)、浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周(PK6)喷施磷酸二氢钾分别较对照(CK)显著提高了25.79%、28.69%、30.80%和25.00% ($P<0.05$)。

3 结论

喷施乙烯利和磷酸二氢钾的所有处理均显著提高了

美乐果皮总花色苷含量，其中喷施乙烯利的效果略优于磷酸二氢钾。不同时期喷施300 mg/L的乙烯利，浆果转色初期喷施提高果皮总花色苷含量和总单宁含量的效果最佳，浆果转色完成期喷施果皮总酚提升幅度最大。不同时期喷施0.3%的磷酸二氢钾，浆果转色初期+转色完成期+转色完成后2周连续喷施对提升果皮总花色苷含量及总酚、总单宁含量的效果最好。

为了提高贺兰山东麓产区美乐果实着色度，建议在浆果转色初期喷施300 mg/L的乙烯利或在浆果成熟过程中分3次喷施0.3%的磷酸二氢钾。

参考文献：

[1] YIN H N, WANG L, WANG F C, et al. Effects of UVA disappearance and presence on the acylated anthocyanins formation in grape berries[J].

- Food Chem Mol Sci**, 2022, 5: 100142.
- [2] 胡瑞祺, 杨薇熹, 凌梦琪, 等. 贺兰山东麓产区地块间‘赤霞珠’和‘马瑟兰’葡萄酒香气差异分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(6): 49-58.
- [3] 许泽华, 牛锐敏, 沈甜, 等. 贺兰山东麓葡萄果实品质及其与环境因子的相关性分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2023(5): 34-41.
- [4] 全龙萍, 王明, 周波, 等. 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄生长发育和果实品质的影响[J]. 植物生理学报, 2023, 59(12): 2344-2354.
- [5] 赵芳芳, 孙艳丽, 乔子纯, 等. 油菜素内酯对酿酒葡萄果实着色及品质的影响[J]. 农业科学研究, 2021, 42(3): 38-42.
- [6] LIU M C, PIRRELLO J, CHERVIN C, et al. Ethylene control of fruit ripening: Revisiting the complex network of transcriptional regulation[J]. **Plant Physiol**, 2015, 169(4): 2380-2390.
- [7] CHERVIN C, EL-KEREAMY A, ROUSTAN J P, et al. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit[J]. **Plant Sci**, 2004, 167(6): 1301-1305.
- [8] CHERVIN C, TIRA-UMPHON A, TERRIER N, et al. Stimulation of the grape berry expansion by ethylene and effects on related gene transcripts, over the ripening phase[J]. **Physiol Plantarum**, 2008, 134(3): 534-546.
- [9] CRAMER G R, GHAN R, SCHLAUCH K A, et al. Transcriptomic analysis of the late stages of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon) berry ripening reveals significant induction of ethylene signaling and flavor pathways in the skin[J]. **BMC Plant Biol**, 2014, 14: 370.
- [10] 刘美迎, 姜军生, 姜乃春, 等. 乙烯利处理‘赤霞珠’葡萄果实对其葡萄酒中酚类物质组分的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(1): 48-58.
- [11] EL-KEREAMY A, CHERVIN C, ROUSTAN J P, et al. Exogenous ethylene stimulates the long-term expression of genes related to anthocyanin biosynthesis in grape berries[J]. **Physiol Plantarum**, 2003, 119(2): 175-182.
- [12] 周敏, 毛曦, 陈环, 等. 葡萄钾营养及其在果实中积累的研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34(6): 752-761.
- [13] 赵婷, 赵亚蒙, 王雨婷, 等. 磷酸二氢钾对酿酒葡萄‘赤霞珠’果实类黄酮物质的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 118-123.
- [14] JAYAPRAKASHA G K, SINGH R P, SAKARIAH K K. Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models *in vitro*[J]. **Food Chem**, 2001, 73(3): 285-290.
- [15] MENG J F, FANG Y L, QIN M Y, et al. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi County (China)[J]. **Food Chem**, 2012, 134(4): 2049-2056.
- [16] MERCURIO M D, DAMBERGS R G, HERDERICH M J, et al. High throughput analysis of red wine and grape phenolics-adaptation and validation of methyl cellulose precipitable tannin assay and modified Somers color assay to a rapid 96 well plate format[J]. **J Agr Food Chem**, 2007, 55(12): 4651-4657.
- [17] HE J J, LIU Y X, PAN Q H, et al. Different anthocyanin profiles of the skin and the pulp of Yan73 (Muscat Hamburg×Alicante Bouschet) grape berries[J]. **Molecules**, 2010, 15(3): 1141-1153.
- [18] YANG P, YUAN C L, WANG H, et al. Stability of anthocyanins and their degradation products from Cabernet Sauvignon red wine under gastrointestinal pH and temperature conditions[J]. **Molecules**, 2018, 23(2): 354.
- [19] 邢婷婷, 杨航宇, 王雯染, 等. 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.
- [20] 马文婷, 王振平. 脱落酸和乙烯利对‘蛇龙珠’葡萄果实品质及花色苷的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(5): 81-88.
- [21] 张燕, 任磊, 代红军. 浆果生长期水杨酸和乙烯利处理对梅鹿辄葡萄品质的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(11): 110-117.
- [22] 林玲, 张瑛, 谢太理, 等. 水杨酸和乙烯利处理对‘桂葡3号’葡萄果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016(1): 21-23.
- [23] LECOURIEUX F, KAPPEL C, LECOURIEUX D, et al. An update on sugar transport and signalling in grapevine[J]. **J Exp Bot**, 2014, 65(3): 821-832.
- [24] 李文涛, 王令宇, 杨毓贤, 等. 施钾时期对葡萄转色和品质及钾吸收基因表达的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 345-352.
- [25] ZAREEI E, JAVADI T, ARYAL R. Biochemical composition and antioxidant activity affected by spraying potassium sulfate in black grape (*Vitis vinifera* L. cv. Rasha)[J]. **J Sci Food Agr**, 2018, 98(15): 5632-5638.
- [26] 何平, 李林光, 王海波, 等. 叶面喷施钾镁钙肥对桃果实着色、品质及着色相关基因表达的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(10): 89-94.
- [27] 胡荣平. 围棚及钾肥对避雨栽培葡萄萌芽及果实高品质形成的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
- [28] SUN H Y, ZHANG X Y, SHEN Y X, et al. Inhibitory effects of red wine on lipid oxidation in fish oil emulsion and angiogenesis in zebrafish embryo[J]. **J Food Sci**, 2017, 82(3): 781-786.
- [29] LIU M Y, SONG C Z, CHI M, et al. The effects of light and ethylene and their interaction on the regulation of proanthocyanidin and anthocyanin synthesis in the skins of *Vitis vinifera* berries[J]. **Plant Growth Regul**, 2016, 79(3): 377-390.
- [30] TOPALOVIC A, SLATNAR A, STAMPAR F, et al. Influence of foliar fertilization with P and K on chemical constituents of grape cv. ‘Cardinal’[J]. **J Agr Food Chem**, 2011, 59(18): 10303-10310.
- [31] 马懿, 喻康杰, 赖晓琴, 等. 单宁添加对赤霞珠葡萄酒颜色和花色苷含量变化的影响及其相关性研究[J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 81-88.
- [32] 陈绍依, 周鸿翔, 邱美娟, 等. 水果类发酵酒中花色苷的辅色效应研究进展[J]. 中国酿造, 2025, 44(1): 13-19.