

植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果实着色及品质的影响

王艳蒙¹, 麦斯乐¹, 韩守安², 温 玥^{1*}, 谢 辉², 张 雯²

(1 新疆农业大学 园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆农业科学院 园艺作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘 要:为了探究 S-ABA、MeJA、COR 3 种植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果实着色及品质的影响, 筛选出促进葡萄果实着色和品质提升的最佳处理, 设置 100 mg/L S-ABA、60 mg/L MeJA、2 000 倍 COR 稀释液 3 个处理, 于转色初期蘸穗, 处理后至成熟期分 7 次采样, 对果实粒重、纵横径以及可溶性固形物、总酸、花色苷、叶绿素、类胡萝卜素和酚类物质含量等进行连续测定分析。结果表明, (1) S-ABA、MeJA、COR 处理均可以促进果实着色, 显著提高果面色泽参数 a^* 、红色葡萄果实颜色指数(CIRG), 并降低色泽参数 L^* 、 b^* 和色度角 h ; 3 个处理花色苷含量分别比对照显著提高 169.09%、31.55%、142.27%。(2) S-ABA、MeJA、COR 处理均可以提高果实品质, 其可溶性固形物含量分别比对照显著提高 9.17%、7.45%、9.74%, 总酸含量分别降低 6.81%、4.14%、9.25%, 固酸比分别提高 17.90%、12.16%、20.82%。(3) S-ABA、MeJA、COR 处理的果实粒重、纵径、横径增大, 类黄酮、黄酮、黄烷醇、总酚含量增加, 总酸和单宁含量下降, 但其果形指数和果柄拉力无显著变化。(4) 花色苷含量与可溶性固形物含量、 a^* 、CIRG 值呈显著正相关($P < 0.05$), 而与 h 、 L^* 、 b^* 、总酸含量、叶绿素含量呈显著负相关; 同时, 花色苷含量与总酚含量呈显著正相关, 与类黄酮含量、黄烷醇含量、黄酮含量呈显著负相关。研究发现, 100 mg/L S-ABA 和 2 000 倍 COR 在转色初期蘸穗处理均能有效促进‘火焰无核’葡萄果实着色, 改善果实品质; 果面色泽参数 a^* 和 CIRG 值与花色苷含量显著正相关, 可以作为果实着色情况量化的参考指标。

关键词:植物生长调节剂; ‘火焰无核’葡萄; 着色; 果实品质

中图分类号: Q945; S663.1

文献标志码: A

Effect of Plant Growth Regulators on Fruit Coloration and Quality of the ‘Flame Seedless’ Grape Berry

WANG Yanmeng¹, MAI Sile¹, HAN Shouan², WEN Yue^{1*}, XIE Hui², ZHANG Wen²

(1 College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2 Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to explore the effects of S-ABA, methyl jasmonate (MeJA), and coronarin (COR) plant growth regulators on the color and quality of ‘Flame Seedless’ grapes, and to screen out the best measure to promote the coloration and quality of ‘Flame Seedless’ grapes, we set up three treatments of

收稿日期: 2023-06-10; 修改稿收到日期: 2023-09-19

基金项目: 新疆维吾尔自治区天山创新团队项目(2022D14014); 现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-29-ZP-08); “天山英才”青年科技拔尖人才项目(2022TSYCCX0068); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B02045-2); 新疆鲜食葡萄宜机标准化综合栽培技术研究项目(2022B02034-2)

作者简介: 王艳蒙(1998-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培与生理研究。E-mail: 2224365336@qq.com

* 通信作者: 温 玥, 副教授, 博士, 主要从事果树栽培与生理研究。E-mail: wenyue900701@163.com

100 mg/L S-ABA, 60 mg/L MeJA, and 2 000 times dilution of COR, and dipped the grape cluster at the early stage of color change and sampled seven times from the treatment to the mature stage. The berry weight, longitudinal and transverse diameter, the contents of soluble solids, total acid, anthocyanin, chlorophyll, carotenoids, and phenolic compounds were measured and analyzed continuously. The results showed that, (1) S-ABA, MeJA, and COR treatments could promote fruit coloration, significantly increase the fruit surface color parameter a^* , and decrease the L^* , b^* , and h . The contents of anthocyanin in the three treatments were significantly increased by 169.09%, 31.55%, and 142.27%, respectively. (2) S-ABA, MeJA, and COR treatments could improve fruit quality. Compared with the control, the soluble solids content increased by 9.17%, 7.45%, and 9.74%, the total acid content decreased by 6.81%, 4.14%, and 9.25%, and the soluble solids to total acid ratio increased by 17.90%, 12.16%, and 20.82%, respectively. (3) S-ABA, MeJA, and COR treatments increased the berry weight, longitudinal diameter, and transverse diameter, increased flavonoids, flavonoid, flavanols, and total phenols content, and decreased total acid and tannins contents, but had no effect on fruit shape index and pedicel enduring pulling force. (4) Anthocyanin content was positively correlated with soluble solid content, a^* and CIRG value ($P < 0.05$), but negatively correlated with h , b^* , total acid content and chlorophyll content; the anthocyanin content was positively correlated with total phenols content, but negatively correlated with flavonoids content, flavanols content, and flavonoid content. The results showed that 100 mg/L S-ABA and 2 000 times dilution of COR in the early stage of veraison could effectively promote the color of ‘Flame Seedless’ grapes and improve fruit quality. The a^* and CIRG value of fruit color were positively correlated with anthocyanin content, which could be used as a reference index for quantifying fruit coloration.

Key words: plant growth regulators; ‘Flame Seedless’ grape; coloration; fruit quality

新疆是中国重要的鲜食葡萄生产基地,其生态条件得天独厚,葡萄品质优良,在中国葡萄产业中具有不可替代的重要地位^[1]。‘火焰无核’葡萄果实酸甜适中,口感松脆,果皮入口化渣,深受广大消费者的喜爱,是新疆主栽的早熟优良品种。然而在高温产区及设施栽培条件下易出现着色困难,色泽不均一等问题,对葡萄商品价值以及果农的经济效益造成严重影响。

色泽是葡萄重要的外观指标^[2],生产中经常施用乙烯利等植物生长调节剂促进果实着色,但使用不当会对果实品质造成较大不利影响^[3]。安全优质色泽调控方案的选择评价已成为生产中亟待解决的关键问题。

植物生长调节剂(plant growth regulators)是与植物激素具有相似生理和生物学效应的物质。外源施用 S-诱抗素(S-ABA)、茉莉酸甲酯(MeJA)等植物生长调节剂能够促进葡萄^[4-6]、富士苹果^[7]、春蜜桃等^[8]果实着色,改善果实品质。MeJA 不仅可以有效提高果实可溶性固形物的含量,增加花色苷含量,还可以促进果皮中总酚、类黄酮等酚类物质的积累^[9-10]。ABA 处理可以促进类黄酮代谢,外源喷施适宜浓度的 ABA 可增加植物中类黄酮、花色苷含量^[11]。S-ABA 与 MeJA 在生产中有一定的作用

效果,但是价格昂贵,难以在生产上大面积使用。冠菌素(COR)是一种新型的植物生长调节剂,与 S-ABA、MeJA 结构相似,具有活性高、用量低等优点。

目前,生产中关于冠菌素的研究主要集中在提高作物抗性方面^[12-13],作者前期研究表明 COR 对于促进果实着色也具有积极的作用。另外,植物生长调节剂的应用效果受品种特性、环境条件、栽培措施等共同影响,应用不当会造成不良的结果,在应用前要根据品种特性进行相关试验,制定适宜的应用方法。

因此,本试验以露地栽培的‘火焰无核’葡萄为试材,于果实转色初期分别用 100 mg/L S-ABA、60 mg/L MeJA、2 000 倍 COR 进行蘸穗,对其果实成熟过程中各项生长指标、着色情况、品质指标进行分析,并比较三者的作用效果,综合分析确定最佳处理,为‘火焰无核’葡萄优质高效促着色生产调控技术的选择和应用提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验基地概况

试验于 2022 年 4—10 月在新疆农业科学院综合试验场葡萄示范园(87°28'E,45°56'N)内进行,该地位于准噶尔盆地南缘的天山北坡,地势平缓,属于

温带大陆性气候,全年干旱,降水稀少,蒸发量大;园中土壤为壤土和沙、壤土和粘土的混合物,土壤 pH 值为 7.93,氮、磷、钾含量丰富,分别为 112.07 mg/kg、137.13 mg/kg、271.00 mg/kg。

1.2 试验材料

研究以‘火焰无核’葡萄为试材,露地栽植,12年生,南北行向,株行距为 3.5 m×2 m,高“厂”形树形,水平棚架栽培模式,架高 1.8 m。生长调节剂为 S-ABA(四川龙麟福生科技有限责任公司)、MeJA(西格玛奥德里奇上海贸易有限公司)和 COR[成都新朝阳作物科学股份有限公司(原液浓度为 0.006%)]。

1.3 试验设计

试验前依据大量文献并结合作者前期试验结果,确定了各个生长调节剂处理最优浓度,设置 3 个处理,分别为 S-ABA 100 mg/L, MeJA 60 mg/L, COR 2 000 倍,以清水为对照。

1.4 处理方法

试验材料土肥水正常管理,修剪、抹芽定梢、灌水和病虫害防治措施均保持一致。选择长势和负载量基本一致的葡萄植株,果实膨大期对果穗进行修剪,使穗形和穗粒数保持一致。

于‘火焰无核’葡萄转色初期(花后 47 d),使用设计浓度的 S-ABA、MeJA 和 COR 进行蘸穗处理,以清水为对照(CK),处理与对照溶液均加入体积分数 0.1%的展着剂及体积分数 1%的无水乙醇(溶解 MeJA),浸蘸果穗 3~5 s,每一果粒都要均匀沾上溶液,直至果穗上有水滴滴下为止。每处理以 10 穗为 1 个重复,重复 3 次,共 30 穗。

1.5 样品采集

于‘火焰无核’葡萄花后 47 d 先进行采样,采样后进行生长调节剂处理,以后分别于花后 49 d、51 d、53 d、55 d、57 d、59 d 各取样 1 次,共 7 次。

取样时间固定在取样日 8:00—13:00,分别从长势一致的果穗的上、中、下部位随机选取 6~8 粒果实,共 200 粒。

将样品分为两部分:一部分样品进行粒重、可溶性固形物等基础品质指标测定;另一部分样品放入冰盒带回实验室放入-80℃冰箱备用。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 粒重、纵径、横径、果柄耐拉力和果实硬度

随机取 15 颗果粒,粒重使用精度 1/10000 电子天平测定;果粒纵横径使用游标卡尺测量;果柄拉

力、果粒硬度使用 HF-50 型数显推拉力计测定。

1.6.2 果实可溶性固形物及总酸含量

随机选取 10 颗果粒混合测定,重复 3 次。可溶性固形物、总酸含量采用爱拓 PAL-BX | ACID 2 型糖酸度计测定,并依据测定结果计算固酸比(可溶性固形物含量/总酸含量)。

1.6.3 果实色泽指标

不同处理随机选取 15 粒具有代表性的果粒,利用色差仪测定每个果实赤道(中纬线)处对称两面的色泽参数(L^* 、 a^* 、 b^*)后,参照孟祥云等^[14]的方法,计算 C^* 、色度角 h (hue angle)、红色葡萄果实颜色指数(color index of red grape, CIRG)。根据 CIELab 系统, L^* 表示系统的亮度; a^* 表示系统的红绿值; b^* 表示系统的黄蓝值; C^* 表示样品的饱和度,值越大,表示所测的颜色越纯; h 表示色调角,值越小,表示红色越深;CIRG 为色泽指数,可以评价果实外观色泽,CIRG<2 为黄绿色,2<CIRG<4 为粉色,4<CIRG<5 为红色,5<CIRG<6 为深红色。

1.6.4 果皮花色苷、叶绿素和类胡萝卜素含量

剥取果皮用来测定花色苷、叶绿素和类胡萝卜素含量。花色苷含量采用 pH 示差法进行测定,叶绿素和类胡萝卜素含量参照黄秋婵等^[15]的方法进行测定。

1.6.5 果皮酚类物质含量

果皮黄酮含量采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠比色法测定;类黄酮含量采用氯化铝比色法测定;总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 法测定;单宁含量采用 Folin-Denis 法测定;黄烷醇含量采用香草醛-盐酸法测定。

1.7 数据处理

数据采用 Excel 2021、SPSS 27.0 进行整理、统计分析,Origin 2021 进行绘图。

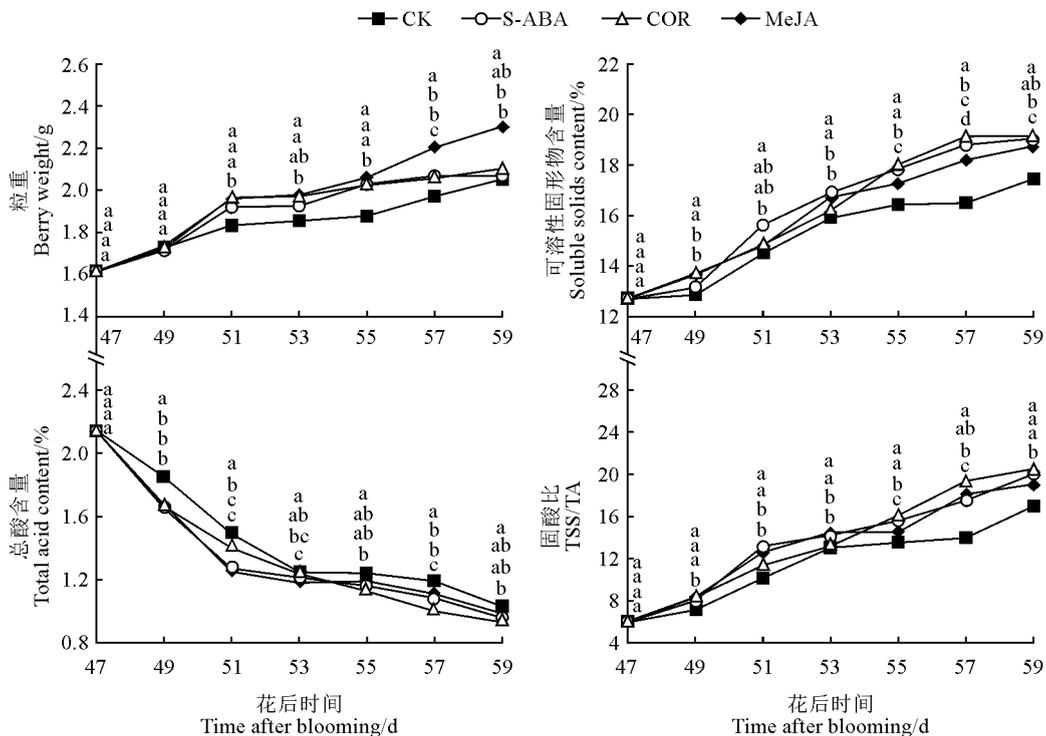
2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果实形态及理化指标的影响

从图 1 可知,随着‘火焰无核’葡萄果实的成熟,各处理和 CK 的粒重、可溶性固形物含量、固酸比均呈上升趋势,而总酸含量呈下降趋势;与 CK 相比,各处理的粒重、可溶性固形物含量、固酸比均不同程度增加,而总酸含量不同程度下降。其中,各处理粒重在花后 47~51 d 迅速上升,在花后 51~59 d 上升速度减缓;各处理可溶性固形物在花后 49~53 d 开

始迅速累积,花后 55~59 d 积累减缓,各处理与同期 CK 均存在显著性差异,提升幅度表现为 COR (2 000 倍)处理优于 S-ABA(100 mg/L)和 MeJA(60 mg/L)处理;各处理与 CK 总酸含量在花后 47~53

d 均呈快速下降阶段,在花后 53~59 d 均呈缓慢下降阶段,且各处理总酸含量均低于相应 CK;各处理固酸比在花后 59 d 均显著高于 CK,而 3 种生长调节剂处理之间无显著差异。



CK,S-ABA、MeJA、COR 分别表示清水、100 mg/L S-ABA、60 mg/L MeJA、2 000 倍 COR 处理;同期不同小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同处理‘火焰无核’葡萄转色期至成熟期粒重、可溶性固形物含量、总酸含量和固酸比的变化动态
CK, S-ABA, MeJA, and COR stand for treatments with water, 100 mg/L S-ABA, 60 mg/L MeJA, 2 000 times dilution of COR, respectively; Different lowercase letters within same stage represent significant differences among treatments at 0.05 level ($P < 0.05$). The same as below.

Fig. 1 Dynamic changes in berry weight, soluble solids content, total acid content and solid to acid ratio of ‘Flame Seedless’ grape berry from veraison stage to mature stage under different treatments

表 1 不同处理下‘火焰无核’葡萄果实成熟期形态及理化指标的变化

Table 1 The morphological and physicochemical indexes of ‘Flame Seedless’ grape berry at the mature stage under different treatments

处理 Treatment	粒重 Berry weight/g	纵径 Longitudinal diameter/cm	横径 Transverse diameter/cm	果形指数 Fruit shape index	果柄拉力 Pedicel durable pulling force/N	果粒硬度 Berry durable pressing force/N	可溶性固形物 Soluble solids/%	总酸 Total acid/%	固酸比 Ratio of TSS to TA
CK	2.05b	1.45b	1.51b	0.96a	4.49a	1.73b	17.45c	1.03a	16.98b
S-ABA	2.07b	1.46b	1.51ab	0.96a	3.99a	1.97a	19.05ab	0.96ab	20.02a
COR	2.10ab	1.46b	1.53ab	0.96a	4.18a	1.71b	19.15a	0.93b	20.52a
MeJA	2.30a	1.53a	1.57a	0.97a	4.12a	1.70b	18.75b	0.99ab	19.05a

注:表中同列不同小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters within same column in the table represent significant difference among treatments at 0.05 level ($P < 0.05$). The same below.

由表 1 可知,在‘火焰无核’葡萄果实成熟期,粒重在 S-ABA、COR、MeJA 处理后均不同程度增大,其中 MeJA 处理增幅达到显著水平,与 CK 相比提高了 12.21%;果实纵横径在 S-ABA、COR、MeJA 处理后均比 CK 有所提高,但仅 MeJA 处理的纵径和横径增幅均达到显著水平,分别为 5.75% 和 4.54%;果形指数和果柄拉力在各处理下均变化不显著;果粒硬度仅在 S-ABA 处理下比 CK 显著提高了 14.11%,而果实总酸含量仅在 COR 处理下比 CK 显著降低 9.25%,两者在其余处理下均未受到显著影响;在 S-ABA、COR、MeJA 处理下,果实可溶性固形物含量分别比 CK 显著提高了 9.17%、9.74%、7.45%,固酸比分别比 CK 显著提高了 17.90%、20.82%、12.16%。以上结果说明 3 种生

长调节剂处理对提升果实品质均有较好的效果。

2.2 植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果皮着色的影响

外源 S-ABA、MeJA 和 COR 处理均可以改善‘火焰无核’葡萄果实色泽(图 2)。随着‘火焰无核’葡萄果实成熟,各生长调节剂处理及 CK 果实着色面积均逐渐增加,红色不断加深。

在花后 49 d 时, S-ABA 处理最先开始着色,花后 51 d 时, COR、MeJA 处理和 CK 均开始着色;在花后 59 d 时, S-ABA 处理最先完成转色,果面呈深红色;在果实成熟期, S-ABA、MeJA 和 COR 处理可不同程度促进‘火焰无核’着色,其中以 S-ABA 处理促进着色效果最佳, COR 处理效果次之, MeJA 处理效果最差。

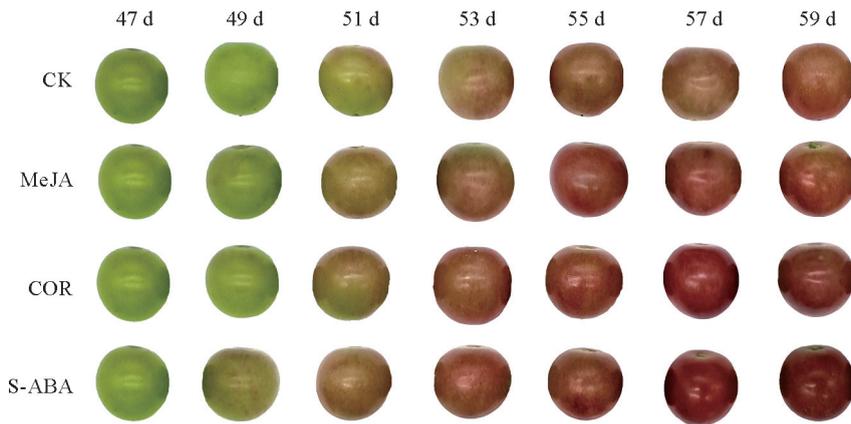


图 2 不同处理的‘火焰无核’葡萄转色期至成熟期果实着色情况

Fig. 2 Coloration in ‘Flame Seedless’ grape berry from veraison stage to mature stage under different treatments

表 2 不同处理下‘火焰无核’葡萄转色期至成熟期果皮色泽指标的变化

Table 2 The peel color index of ‘Flame Seedless’ grape berry from veraison stage to mature stage under different treatments

处理 Treatment	L^*	a^*	b^*	C^*	h	CIRG
CK	27.22±1.01a	12.98±1.04c	13.04±2.18a	19.06±0.94a	43.10±7.59a	3.12±0.31c
S-ABA	21.23±2.39b	15.42±0.55a	6.26±2.12c	16.89±0.63a	21.07±6.34b	4.33±0.41a
COR	22.27±1.63b	15.30±1.08ab	7.69±1.60bc	17.56±0.79a	26.15±5.11b	3.99±0.22ab
MeJA	23.30±1.48b	13.16±0.49bc	10.01±1.57ab	16.77±1.42a	36.89±3.13a	3.67±0.29bc

由表 2 可知,在‘火焰无核’葡萄果实成熟期, S-ABA 处理果实的 L^* 最低,其次为 COR 处理与 MeJA 处理,各处理的 L^* 均高于 CK,处理之间无显著差异,且均有利于果面亮度提升;各处理的 a^* 均高于 CK,且 S-ABA 处理和 COR 处理与 CK 存在显著性差异,有利于果实色泽更红;各处理的 b^* 、 C^* 、 h 均显著低于 CK;各处理的 CIRG 值与 CK 相

比均有所提高,其中 S-ABA 处理的 CIRG 最高,果皮红色最深。

2.3 植物生长调节剂对‘火焰无核’葡萄果皮中色素含量的影响

首先,随着‘火焰无核’葡萄果实成熟,各处理和 CK 果皮花色苷含量呈逐渐上升趋势;与 CK 相比, S-ABA、MeJA、COR 处理均促进了果皮花色苷的积

累,且促进效果表现为 $S\text{-ABA} > \text{COR} > \text{MeJA}$ (图 3)。其中, $S\text{-ABA}$ 、 COR 、 MeJA 处理果皮花色苷含量在花后 49~53 d 迅速上升,而 CK 在花后 51~55 d 上升迅速,说明 $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 、 COR 处理均可以使葡萄果皮中花色苷提前积累;在花后 59 d, $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 和 COR 处理均显著提高了果皮中花色苷含量,分别比 CK 显著提高了 169.09%、31.55% 和 142.27%,各处理间的差异也均达到显著水平。

其次,在‘火焰无核’葡萄果实成熟过程中,各处理及 CK 果皮中叶绿素、类胡萝卜素和胡萝卜素含量均呈下降趋势,但各植物生长调节剂处理均不同程度低于同期 CK (图 3)。其中,果皮中叶绿素含量

在 $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 和 COR 处理下均不同程度降低,且在花后 47~51 d 下降迅速,在花后 51~59 d 下降减缓,但各处理均低于同期 CK ,其中 $S\text{-ABA}$ 处理的降幅大多达到显著水平;各处理果皮中类胡萝卜素含量均低于 CK ,除花后 51 d 外, $S\text{-ABA}$ 处理和 COR 处理的降幅均达到显著水平;各处理和 CK 果皮中胡萝卜素含量整体均呈下降趋势,除处理 53 d 和 59 d 的 MeJA 处理外,各处理均显著低于同期 CK ,且在花后 55~59 d 3 个处理间均无显著差异。可见,外源 $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 和 COR 处理促进了果皮中光合色素的降解,从而促进了果皮中花色苷的合成。

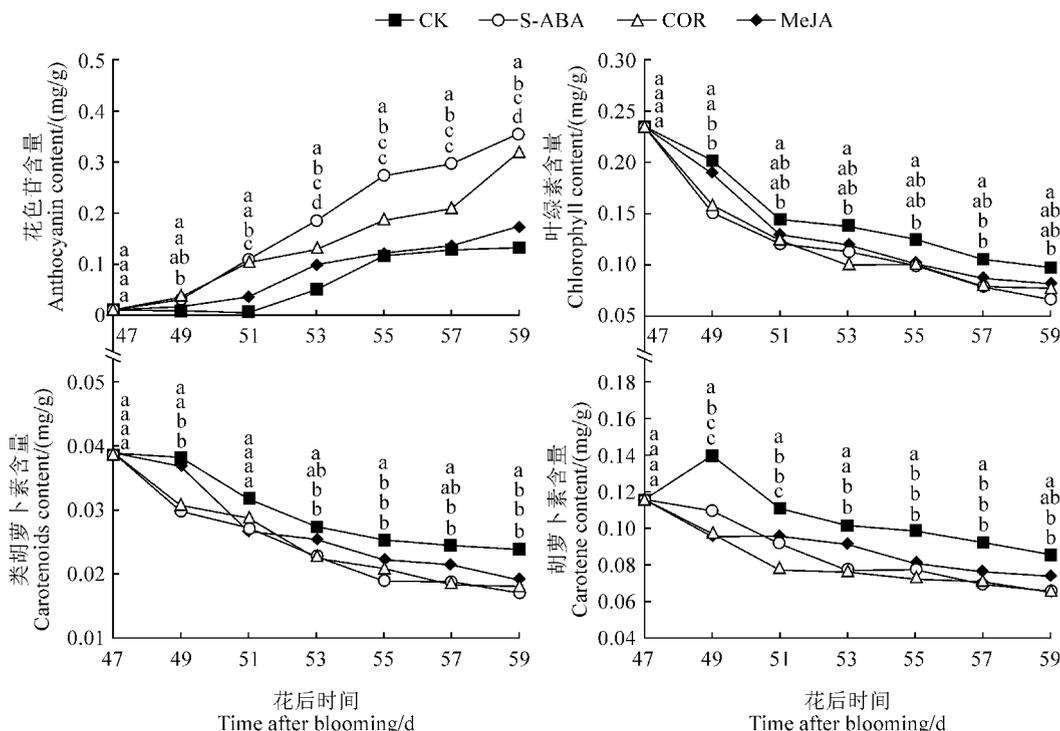


图 3 不同处理‘火焰无核’葡萄转色期至成熟期果皮色素含量的变化动态

Fig. 3 Dynamic variation of pigments content of ‘Flame Seedless’ grape peel from the veraison stage to the mature stage under different treatments

2.4 植物生长调节剂处理对‘火焰无核’葡萄果皮中酚类物质含量的影响

酚类化合物作为植物代谢过程中重要的次生代谢产物,能够介导植物防御不同的生物和非生物胁迫,进而改善果实品质。在‘火焰无核’葡萄果实成熟过程中,各处理果皮中类黄酮含量、黄酮含量、黄烷醇含量变化趋势一致,均呈不断下降趋势;与 CK 相比, $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 、 COR 处理不同程度提高‘火焰无核’葡萄果皮中的类黄酮含量、黄酮含量和黄烷醇含量(图 4)。同时, $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 和 COR 处理与

CK 果皮中总酚含量随着果实的成熟呈先上升后下降的趋势;与 CK 相比,各处理均可以不同程度提高‘火焰无核’葡萄果皮中总酚含量,且 MeJA 处理均始终处于较高水平,增幅大多达到显著水平;在花后 59 d 时, $S\text{-ABA}$ 、 MeJA 与 COR 处理果皮中总酚含量分别比 CK 提高 6.36%、12.54%、25.07%(图 4)。另外,随着‘火焰无核’葡萄果实的成熟,果皮中单宁含量在各处理和 CK 中均整体呈先下降后上升再下降的趋势,除 49 d 的 COR 处理外,各生长调节剂处理在花后 51~59 d 始终显著低于 CK (图 4)。

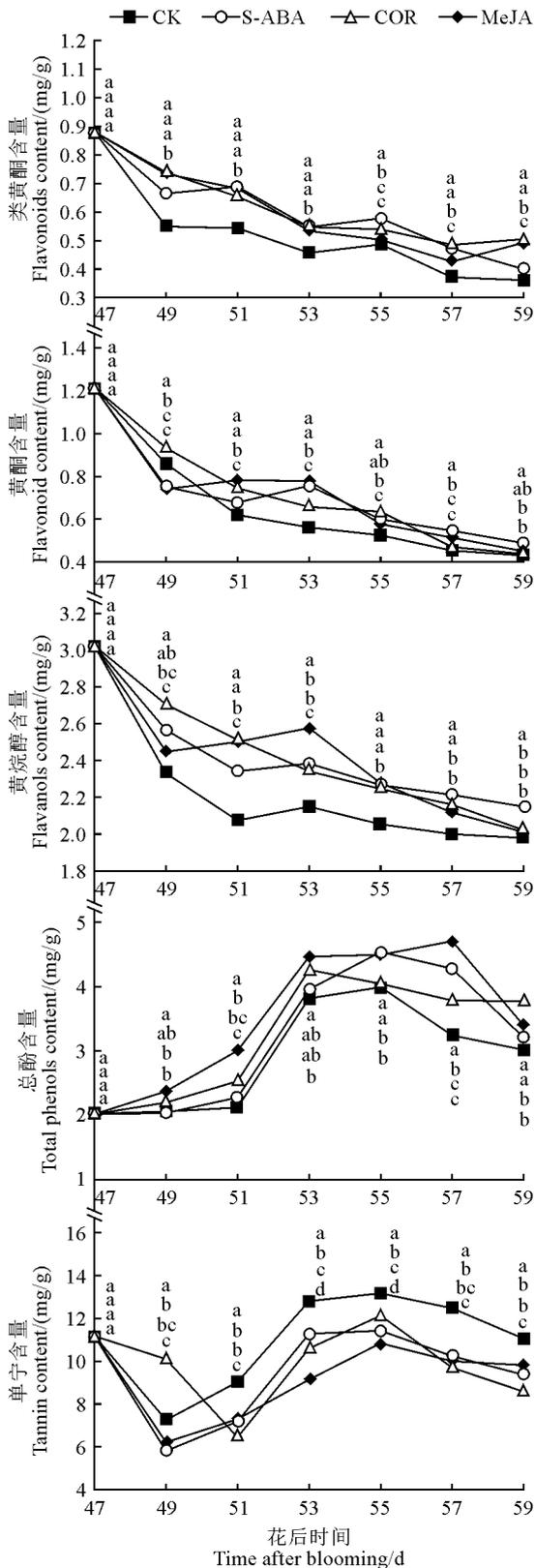


图4 不同处理‘火焰无核’葡萄转色期至成熟期果皮酚类物质含量的变化动态

Fig. 4 Dynamic change on phenolic compounds content in ‘Flame Seedless’ grape peel from the veraison stage to the mature stage under different treatments

2.5 ‘火焰无核’葡萄成熟过程中果实各指标间的相关性分析

由图5可知,在‘火焰无核’葡萄成熟期,果实花色苷含量与 a^* 、CIRG 值、可溶性固形物含量呈显著正相关($P < 0.05$),而与 h 、 L^* 、 b^* 、总酸含量、类胡萝卜素含量、叶绿素含量呈显著负相关; a^* 与 CIRG 值、可溶性固形物含量呈显著正相关,而与 h 、 L^* 、 b^* 、总酸含量呈显著负相关; b^* 与 h 、 L^* 、总酸含量、 C^* 呈显著正相关,而与 CIRG 值呈显著负相关; C^* 与 L^* 呈显著正相关,而与 CIRG 呈显著负相关; L^* 与 h 、 b^* 、总酸含量呈显著正相关,而与 CIRG 值、可溶性固形物含量呈显著负相关; h 与总酸含量呈显著正相关,而与 CIRG 值呈显著负相关。

在‘火焰无核’葡萄转色初期至成熟期,S-ABA、COR、MeJA 处理下葡萄果实色素含量、品质指标和酚类物质进行相关性分析。结果(图6)表明,花色苷含量与可溶性固形物含量呈显著正相关($P < 0.05$),而与类黄酮含量、黄烷醇含量、黄酮含量呈显著负相关;可溶性固形物含量与总酚含量呈显著正相关,而与总酸含量、类黄酮含量、黄酮含量呈显著负相关;类黄酮含量与黄酮含量、黄烷醇含量呈显著正相关,而与总酚含量呈显著负相关。以上结果表明,果皮花色苷的积累伴随着果实中可溶性固形物积累和总酸降解,同时花色苷的积累也与类黄酮和黄酮类物质的转化相关。

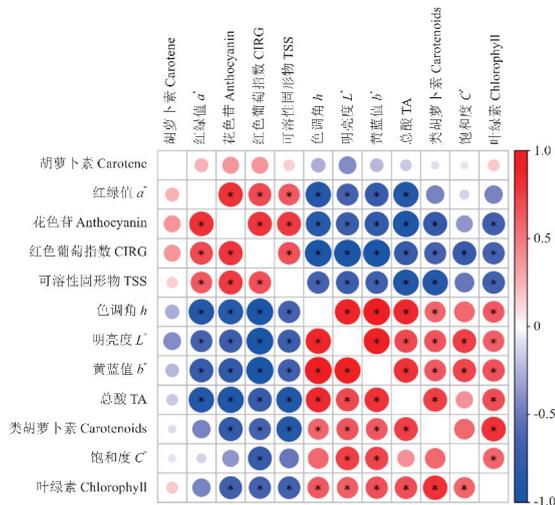


图5 ‘火焰无核’葡萄成熟期果皮色泽指标、色素含量、品质指标之间的相关性分析

Fig. 5 Correlation between peel color indexes, pigment content, and quality indexes during the mature stage of ‘Flame Seedless’ grape

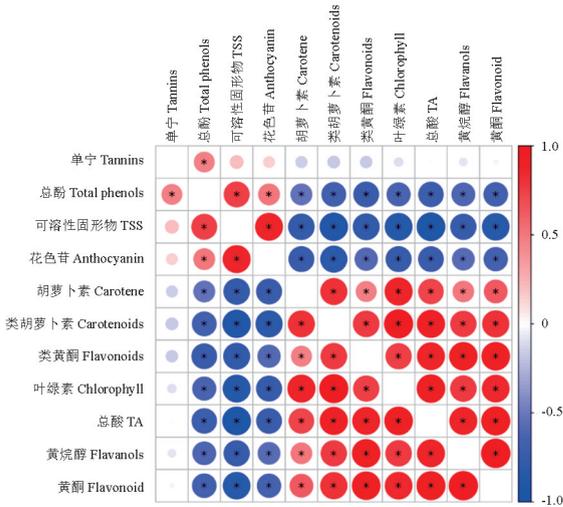


图6 ‘火焰无核’葡萄果实转色期至成熟期色素含量、品质指标、酚类物质含量之间相关性

Fig. 6 Correlation between pigment content, quality indexes, and phenolic compounds content of ‘Flame Seedless’ grape from veraison stage to mature stage

3 讨论

3.1 植物生长调节剂对葡萄果实着色的调控效应

果实着色是由于叶绿素、类胡萝卜素和花色苷等多种色素综合作用下形成,果皮呈现红色是由于花色苷在细胞中生物合成和积累的结果^[16]。高原等^[17]研究发现,随着果实的成熟,果皮中叶绿素含量逐渐降低,花色苷含量逐渐升高,且成熟时果皮中花色苷含量决定了果实的着色程度。MeJA 通过诱导叶绿素降解和花色苷的合成来影响果皮颜色^[18]。如在转色期采用 MeJA 处理‘圣诞玫瑰’葡萄,促进了果皮中花色苷的积累,加快了叶绿素的降解,进而改善了果实色泽^[19]。S-ABA 处理可以增加葡萄果皮总花色苷含量,对不同种类花色苷含量提高效果显著,并且连续施用两次比仅施用一次效果更加明显^[20]。用不同浓度 S-ABA 对‘巨峰’葡萄进行叶面喷施,发现 25 mg/L S-ABA 降低叶绿素含量、促进花色苷含量效果最佳^[21]。本研究结果表明,‘火焰无核’葡萄果实成熟过程中,花色苷不断积累,叶绿素、类胡萝卜素、胡萝卜素逐渐降解,从而促进果实着色,且叶绿素、类胡萝卜素、胡萝卜素等作为果皮底色,含量不断降低,远远低于花色苷含量,更有利于果实着色,并以 COR 处理的叶绿素、类胡萝卜素、胡萝卜素含量始终处于较低水平,说明 COR 处理促进降解叶绿素能力较 S-ABA 和 MeJA 更强。

S-ABA、MeJA 的应用可以刺激果皮中红色色素的积累^[22-23]。韩春红等^[24]研究发现,叶面喷施 MeJA 处理后,红皮梨果皮的花色苷含量上升,叶绿素含量降低,果皮 a^* 上升, L^* 、 b^* 下降,促进了果实着色。本研究发现 S-ABA、COR 与 MeJA 处理均显著提高了‘火焰无核’葡萄果面色泽参数 a^* , 明显降低了 L^* 和 b^* , 3 种生长调节剂处理均可以提高果实着色程度,且 S-ABA 处理最先开始着色,促进着色效果最佳;同时果面着色程度、果面色泽指标与果皮色素含量变化结果表现一致,进一步验证了外源 S-ABA、COR 与 MeJA 确实能够促进葡萄果实着色。

3.2 植物生长调节剂对葡萄果实品质的调控效果

可溶性固形物、总酸含量及固酸比是评价葡萄果实内在品质的重要指标。在转色期使用不同浓度 S-ABA 处理‘Beidaneh Ghermez’葡萄可使其可溶性固形物含量升高^[25]。转色期连续 2 次对‘新郁’喷施不同浓度 MeJA,可以增加果实可溶性固形物含量,对果实总酸含量影响不明显^[26]。本研究中 S-ABA、COR 和 MeJA 处理显著提高了‘火焰无核’葡萄可溶性固形物含量,增大固酸比,而 S-ABA 和 MeJA 却未对总酸含量产生显著影响。本研究发现‘火焰无核’葡萄果实花色苷含量与可溶性固形物含量存在着明显的协同变化关系,随着可溶性固形物含量的升高,花色苷含量逐渐增加,而且可溶性固形物积累的时期和花色苷积累的时期相吻合,说明只有当糖达到一定的浓度时,果实才开始着色,这与前人结果^[27]相一致。

喷施不同浓度和不同次数 S-ABA 对不同品种欧李果实的单果重改变效果存在一定的差异^[28]。采前施用 MeJA 增加了甜樱桃和苹果的果实重量^[29-30]。本研究中 MeJA 处理显著增大了‘火焰无核’葡萄果实纵径、横径和粒重,对果形指数无显著影响,而 S-ABA 处理和 COR 处理在果实纵径、横径、粒重、果形指数方面与对照差异不显著。果实硬度是影响消费者口感的重要品质,前人研究发现采前 S-ABA、MeJA 处理草莓,能够有效抑制冷藏过程中果实的软化,增加了果实的贮藏期^[31];而采前 MeJA 处理李果实,对果实硬度没有影响^[32]。本研究中 S-ABA 处理增加了果实硬度,但对果柄拉力无显著影响,这可能与喷施时期和处理浓度有关。

酚类、黄酮类化合物是广泛存在于自然界植物中的重要次生代谢产物,具有抗炎,降低血管脆性,降低血脂和胆固醇的作用。施用不同浓度的 S-ABA、MeJA 可以使不同品种葡萄总酚含量、类黄酮

含量显著提高^[33-34],在苹果研究上也得到了相似的结果^[31];COR处理可以显著诱导酚类和黄酮类物质在桑叶中的积累^[35]。本试验S-ABA、COR与MeJA处理均提高了‘火焰无核’葡萄果皮中类黄酮、黄酮、总酚、黄烷醇含量,降低了单宁含量。

4 结论

在‘火焰无核’葡萄果实转色期,100 mg/L S-

ABA、2 000倍COR和60 mg/L MeJA处理均能促进葡萄果实可溶性固形物的积累,增大固酸比,同时增加果皮中花色苷的积累,有效促进了‘火焰无核’葡萄果实着色,改善了果实外观和内在品质,其中以S-ABA处理促进着色效果最佳;COR处理在增加可溶性固形物含量和改善果实着色方面均有较好的效果。 a^* 与可溶性固形物含量、花色苷含量呈显著正相关,可以作为量化指标较好地反映果实着色情况。

参考文献:

- [1] 高幸,周德.中国葡萄种植产业布局的时空变迁及影响因素解析:基于1998—2018年省级面板数据[J].中国农业资源与区划,2022,43(4):201-209.
GAO X, ZHOU D. Spatial dynamics of grape plantation layout and its influential factors in China: Based on provincial panel data from 1998 to 2018[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(4): 201-209.
- [2] 穆维松,冯建英,田东,等.我国鲜食葡萄产业的国际贸易与国内需求形势[J].中国果树,2019(2):5-10.
MU W S, FENG J Y, TIAN D, et al. The international trade and domestic demand of the table grape industry in China[J]. *China Fruits*, 2019(2): 5-10.
- [3] 邵白俊杰,田嘉,郝志超,等.乙烯利对库尔勒香梨果实发育进程和品质的影响[J].西北植物学报,2023,43(2):265-275.
SHAO-BAI J J, TIAN J, HAO Z C, et al. Effects of ethephon on fruit developmental process and quality of Korla fragrant pear[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2023, 43(2): 265-275.
- [4] 李芳菲,马文瑶,程大伟,等.植物生长调节物质对葡萄着色影响的研究进展[J].果树学报,2019,36(7):928-938.
LI F F, MA W Y, CHENG D W, et al. Advances in grape coloration regulated by plant growth regulators[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(7): 928-938.
- [5] 徐献斌,李慧,耿晓月,等.ABA信号通路对葡萄果皮花青苷生物合成的调控机制研究[J].西北植物学报,2021,41(3):406-415.
XU X B, LI H, GENG X Y, et al. Regulation mechanism of ABA pathway genes on anthocyanin biosynthesis in grape skins[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(3): 406-415.
- [6] KOK D. Alterations in chromatic color characteristics and phenolic compounds of ‘Early Cardinal’ grape (*Vitis vinifera* L.) as affected by various concentrations of foliar abscisic acid and melatonin treatments[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2022, 64(1): 1-10.
- [7] RUDELL D R, FELLMAN J K, MATTHEIS J P. Preharvest application of methyl jasmonate to ‘Fuji’ apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence[J]. *HortScience*, 2005, 40(6): 1760-1762.
- [8] 李秋利,高登涛,魏志峰,等.不同浓度茉莉酸甲酯对春蜜桃果实品质的影响[J].浙江农业学报,2018,30(6):985-991.
LI Q L, GAO D T, WEI Z F, et al. Effect of different concentrations of methyl-jasmonate on fruit quality of Chunmi peach[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(6): 985-991.
- [9] WANG S Y, SHI X C, LIU F Q, et al. Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review[J]. *Food Chemistry*, 2021, 353: 129-482.
- [10] 孙晓文.茉莉酸酯类对葡萄果实着色及品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [11] HU B, LI J Q, WANG D, et al. Transcriptome profiling of *Litchi chinensis* pericarp in response to exogenous cytokinins and abscisic acid[J]. *Plant Growth Regulation*, 2018, 84(3): 437-450.
- [12] GUO Y L, HUANG G M, WEI Z X, et al. Exogenous application of coronatine and alginate oligosaccharide to maize seedlings enhanced drought tolerance at seedling and reproductive stages[J]. *Agricultural Water Management*, 2023, 279: 108-185.
- [13] FENG T Y, ZHANG Y, HE M, et al. Coronatine alleviates cold stress by improving growth and modulating antioxidative defense system in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings[J]. *Plant Growth Regulation*, 2022, 96(2): 283-291.
- [14] 孟祥云,王枝翠,王雨歌,等.地面遮阴对新疆‘红地球’葡萄果实着色的影响[J].果树学报,2014,31(1):60-65.
MENG X Y, WANG Z C, WANG Y G, et al. Effects of terrestrial shading on the berry coloring of ‘Red Globe’ grape (*Vitis vinifera* L.) in Xinjiang[J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(1): 60-65.
- [15] 黄秋婵,韦友欢,韦方立,等.常见夹竹桃科植物叶片颜色及类胡萝卜素含量的比较分析[J].安徽农业科学,2011,39(25):15 203-15 204.
HUANG Q C, WEI Y H, WEI F L, et al. The comparative analysis of leaf color and carotenoids content of the common Apocynaceae plants[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sci-*

- ences, 2011, **39**(25): 15 203-15 204.
- [16] OLIVARES D, CONTRERAS C, MUÑOZ V, *et al.* Relationship among color development, anthocyanin and pigment-related gene expression in ‘Crimson Seedless’ grapes treated with abscisic acid and sucrose[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, **115**: 286-297
- [17] 高原, 孙百灵, 曲柏宏. 果树果实着色研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011(22): 25-26.
- GAO Y, SUN B L, QU B H. Research progress on fruit coloring of fruit trees[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011 (22): 25-26.
- [18] RUDELL D R, MATTHEIS J P, FAN X, *et al.* Methyl jasmonate enhances anthocyanin accumulation and modifies production of phenolics and pigments in ‘Fuji’ apples[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2002, **127**(3): 435-441.
- [19] 孙晓文, 高登涛, 魏志峰, 等. 茉莉酸酯类对‘圣诞玫瑰’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 果树学报, 2016, **33**(1): 43-51.
- SUN X W, GAO D T, WEI Z F, *et al.* Effect of jasmonates on coloration and quality of the ‘Christmas Rose’ grape berry [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, **33**(1): 43-51.
- [20] KOYAMA R, ROBERTO S R, DE SOUZA R T, *et al.* Exogenous abscisic acid promotes anthocyanin biosynthesis and increased expression of flavonoid synthesis genes in *Vitis vinifera* × *Vitis labrusca* table grapes in a subtropical region [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, **9**: 323.
- [21] 李芳菲, 王 莎, 谷世超, 等. 叶面喷施 ABA 和 PDJ 对‘巨峰’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 果树学报, 2020, **37** (3): 362-370.
- LI F F, WANG S, GU S C, *et al.* Effects of foliar application of ABA and PDJ on the coloration and quality of ‘Kyo-ho’ grape berry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, **37**(3): 362-370.
- [22] KATAYAMA-IKEGAMI A, SAKAMOTO T, SHIBUYA K, *et al.* Effects of abscisic acid treatment on berry coloration and expression of flavonoid biosynthesis genes in grape [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, **7**(9): 1 325-1 336.
- [23] CONCHA C M, FIGUEROA N E, POBLETE L A, *et al.* Methyl jasmonate treatment induces changes in fruit ripening by modifying the expression of several ripening genes in *Fragaria chiloensis* fruit[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, **70**: 433-444.
- [24] 韩春红, 李 博, 杨英军, 等. MeJA 和 PDJ 对 3 个红皮梨品种果实着色及糖酸含量的影响[J]. 中国果树, 2022(12): 14-19.
- HAN C H, LI B, YANG Y J, *et al.* Effects of MeJA and PDJ on fruit coloring and sugar and acid content of three red pear cultivars[J]. *China Fruits*, 2022(12): 14-19.
- [25] AMIRI M E, FALLAHI E, PARSEH S. Application of ethephon and ABA at 40% veraison advanced maturity and quality of ‘Beidaneh Ghermez’ grape[J]. *Acta Horticulturae*, 2010(884): 371-377.
- [26] 张 斌, 王 勇, 肯吉古丽·苏力旦, 等. 不同浓度茉莉酸甲酯对“新郁”葡萄果实着色及品质的影响[J]. 新疆农业科技, 2021(2): 27-30.
- ZHANG B, WANG Y, KENJIGULI Sulidan, *et al.* Effects of different concentrations of methyl jasmonate on fruit coloring and quality of “Xinyu” grape[J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2021(2): 27-30.
- [27] GONZÁLEZ-SANJOSÉ M L, DIEZ C. Relationship between anthocyanins and sugars during the ripening of grape berries [J]. *Food Chemistry*, 1992,**43**(3): 193-197.
- [28] 王鹏飞, 付鸿博, 张 瑜, 等. 采前喷施脱落酸对欧李果实品质的影响[J]. 核农学报, 2021, **35**(9): 2 083-2 093.
- WANG P F, FU H B, ZHANG Y, *et al.* Effects of abscisic acid spraying on fruit quality of *Cerasus humilis*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, **35**(9): 2 083-2 093.
- [29] KUCUKER E, OZTURK B. The effects of aminoethoxyvinylglycine and methyl jasmonate on bioactive compounds and fruit quality of ‘North Wonder’ sweet cherry[J]. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 2015, **12**(2): 114-119.
- [30] ÖZTÜRK B, ALTUNTAS E, YILDIZ K, *et al.* Effect of methyl jasmonate treatments on the bioactive compounds and physicochemical quality of ‘Fuji’ apples [J]. *Cienciae Investigación Agraria*, 2013, **40**(1): 201-211.
- [31] DARWISH O S, ALI M R, KHOJAH E, *et al.* Pre-harvest application of salicylic acid, abscisic acid, and methyl jasmonate conserve bioactive compounds of strawberry fruits during refrigerated storage[J]. *Horticulturae*, 2021, **7**(12): 568.
- [32] KARAMAN S, OZTURK B, GENÇ N, *et al.* Effect of pre-harvest application of methyl jasmonate on fruit quality of plum (*Prunus salicina* Lindell cv. “Fortune”) at harvest and during cold storage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2013, **37**(6): 1 049-1 059.
- [33] SANDHU A K, GRAY D J, LU J, *et al.* Effects of exogenous abscisic acid on antioxidant capacities, anthocyanins, and flavonol contents of muscadine grape (*Vitis rotundifolia*) skins[J]. *Food Chemistry*, 2011, **126**(3): 982-988.
- [34] 孙永蓉, 宫鹏飞, 李 蔚, 等. 茉莉酸甲酯处理对‘黑比诺’葡萄果皮酚类物质及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, **47**(12): 196-202.
- SUN Y R, GONG P F, LI W, *et al.* Effects of methyl jasmonate treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of ‘Pinot Noir’ grape peel[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, **47**(12): 196-202.
- [35] 王 娜. 冠菌素诱导桑树抗细菌性疫病的生理机制[D]. 江苏镇江: 江苏科技大学, 2017.