陈崇垚,吕俊俐,何娜,等.外源赤霉素喷施对'品丽珠'葡萄果实品质及单宁单体含量的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(6):79-88.
Chen C Y, Lü J L, He N, et al.Effect of exogenous gibberellin spraying on the quality and tannin monomer content of Cabernet Franc grape[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(6):79-88.
**doi**: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202504029

# 外源赤霉素喷施对'品丽珠'葡萄果实品质及单宁单体含量的影响

陈崇垚[1],吕俊俐[2],何娜[1],张艳霞[3],卢江[4],张建成[1*],董志刚[1,3*]

(1.山西农业大学 园艺学院,山西 晋中,030801;2.山西农业大学 期刊中心,山西 太原,030031;
3.山西农业大学 果树研究所,山西 晋中,030801;4.上海交通大学 农业与生物学院,上海,201100)

**摘　要**:[目的]探究不同发育时期喷施不同浓度赤霉素处理对葡萄果实品质和单宁单体含量的影响。[方法]以'品丽珠'葡萄为材料,通过花前、绿果期、转色前期、成熟期前期对果穗外源喷施4、7、10和13 mg/L浓度的赤霉素并设置清水对照组(CK),于果实不同发育时期进行采样,测定其果实可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)、总酚和单宁含量;利用超高效液相色谱法测定果实各组织7种单宁单体含量。[结果]不同时期喷施7 mg/L赤霉素处理均可提升采收期果实TSS含量,降低可滴定酸含量。花前喷施后,采收期果实中TSS含量比CK提高了26.5%,TA含量降低了12.8%,总酚提高了16.3%,单宁含量提高了28.86%;成熟期前期喷施后,与CK相比,采收期果实中TSS含量提高了24.3%,TA含量降低了8.7%,总酚含量提高了25.7%,单宁含量提高了33.82%。葡萄籽单宁含量始终为果皮的10~20倍,果皮中表没食子儿茶素和表儿茶素没食子酸酯含量较高,种籽中儿茶素含量最高。成熟期前期喷施赤霉素后,与CK相比,7和10 mg/L处理显著提高了采收期果实皮中未酯化的单宁单体含量,降低了种籽中酯化的单宁单体含量。[结论]成熟期前期7 mg/L浓度喷施显著提高'品丽珠'葡萄果实品质,促进了优质单宁单体的合成。

**关键词**:葡萄;赤霉素;果实品质;单宁
**中图分类号**:S663.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)06-0079-10

## Effects of exogenous gibberellin spraying on berry quality and tannin monomer content of Cabernet Franc grapes

Chen Chongyao[1], Lü Junli[2], He Na[1], Zhang Yanxia[3], Lu Jiang[4], Zhang Jiancheng[1*], Dong Zhigang[1,3*]
(*1.College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China; 2.Journal Center, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 3.Pomology Institute, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China; 4.College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201100, China*)

**Abstract**:[Objective]This study aimed to explore the effects of spraying different concentrations of gibberellin at different developmental stages on grape berry quality and tannin monomer content.[Methods]Cabernet Franc grapes were used as the test material. Grape clusters were sprayed with gibberellin at concentrations of 4, 7, 10 and 13 mg/L at different stages, including pre-flowering, green fruit, pre-veraison, and pre-maturity stages, with a water group as the control (CK). Samples were collected at different berry developmental stages to determine the contents of total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), total phenols, and tannins. The contents of seven tannin monomers in different berry tissues were determined using ultra-performance liquid chromatography.[Results]Spraying with 7 mg/L gibberellin at different stages increased the TSS content and reduced the titratable acid content in berries at harvest. After pre-flowering spraying, the TSS content in berries at harvest increased by

**收稿日期**:2025-04-14　　**修回日期**:2025-05-26
**基金项目**:国家现代农业产业技术体系(CARS-29-yc-5);山西省来晋工作奖励经费科研项目(SXBYKY2024032,SXBYKY2024028);山西省引进海外高层次人才项目(GSS-HT-20190702)
**作者简介**:陈崇垚(ORCID:0009-0003-7336-4809),硕士,研究方向:酿酒葡萄品质改良,E-mail:chenchongyao433@qq.com
*通信作者:董志刚,研究员,博士,E-mail:gssdzg@163.com;张建成,教授,博士,E-mail:zjcnd001@163.com

26.5%, TA content decreased by 12.8%, total phenol content increased by 16.3%, and tannin content increased by 28.86% compared to CK. After spraying at the pre-maturity stage, compared with CK, the TSS content in berries at harvest increased by 24.3%, TA content decreased by 8.7%, total phenol content increased by 25.7%, and tannin content increased by 33.82%. The tannin content in grape seeds was consistently 10~20 times higher than that in the skin. The skin had higher contents of EGC and ECG, while the seeds had the highest catechin content. After spraying at the pre-maturity stage, compared to CK, treatments with 7 and 10 mg/L significantly increased the content of non-esterified monomers in the skin of barriers at harvest and decreased the content of non-esterified tannin monomers in the seeds. [Conclusion]Spraying with 7 mg/L gibberellin at the pre-maturity stage significantly improved the quality of Cabernet Franc grapes and promoted the synthesis of high-quality tannin monomers.

**Keywords**: Grape, Gibberellin, Fruit quality, Tannin

葡萄(*Vitis vinifera* L.)是落叶藤本植物,葡萄科葡萄属,具有营养价值高和香甜可口的特点。山西省葡萄栽培和葡萄酒酿造历史久远,有多个酿酒葡萄特色产区,是国内发展葡萄及葡萄酒产业的主要地区之一。种质资源品质性状的评价被强调为品质改良研究的重要组成部分,也是挖掘和利用优良资源的基础[1-2]。葡萄中的糖和酸是评价果实品质的基本指标,对酿酒葡萄尤其重要。糖决定酒的潜在酒度,酸决定pH和味感平衡。高酒石酸含量有助于提高葡萄酒品质和稳定性。酚类物质如花色苷和单宁在葡萄酒中起着重要作用,花色苷决定了葡萄酒的色泽和澄清度,单宁影响口感结构[3-5]。单宁可与蛋白质发生反应,产生收敛干涩口感[6]。

单宁是一种重要的活性物质,是葡萄酒优劣的重要考量指标之一,其种类和含量不同对葡萄酒的口感、风味、贮藏性都有影响[7]。葡萄浆果的单宁含量很高,大量存在于果皮和籽中,其单体主要有7种,分别是表儿茶素(Epicatechin,EC)、表没食子儿茶素(Epigallocatechin gallate,EGC)、没食子儿茶素(Gallocatechin,GC)、儿茶素(Catechin,C)、没食子儿茶素没食子酸酯(Gallatechin gallate,GCG)、表儿茶素没食子酸酯(Epicatechin gallate,ECG)和表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate,EGCG)。单宁的涩味和结构特性与其聚合度密切相关,不同结构层次的单宁化合物在作用和生理功能上表现出显著差异。单体儿茶素(如表儿茶素、儿茶素等)可通过氧化聚合或酶促缩合形成链状结构的原花青素,并最终形成高分子量的缩合单宁。特定单体如EGCG、GCG、GC和CG,因其分子结构中富含羟基基团,表现出与蛋白质的强结合能力,但其诱发口腔涩感的机制存在差异[8]。值得注意的是,在酿酒葡萄的生长发育过程中,许多因素都会影响单宁的含量,特别是品种特性,不同葡萄品种的单宁含量差异显著。

赤霉素(GA)作为植物内源生长调控的关键信号分子,通过复杂的信号传导机制参与果树全生育期的生理调控。因GA促进作物生长发育,提早成熟,改进品质,提高产量,在现代果树生产中被广泛应用[9-10]。葡萄上通常用于拉长果穗,疏果,同时可用于诱导无核葡萄[11]。外源GA3处理可显著增加葡萄果实单宁含量,促进'西拉'葡萄果实单宁的合成[12]。具有生物活性的GA主要为GA1、GA3、GA4+7等,不同种类的调节剂对不同作物的促进效果不同。外源GA3处理可显著增加枣及葡萄果实单宁含量,而矮豌豆果实在外源GA4+7处理后所有单宁类化合物的合成均受到显著抑制[13]。赤霉素不论是喷雾、涂抹、蘸根,对不同作物都有增产作用。但施用过多的赤霉素,植物会出现黄而细长的枝条,即失绿、徒长现象,反而影响产量。

'品丽珠'(Cabernet Franc)为欧亚种酿酒葡萄,原产地法国,是波尔多地区最重要、最古老的三大红葡萄品种之一。该品种由河北怀来的中法庄园从法国引进,因为其良好的引种表现在全国进行了扩种[14],是一个很有发展前途的优质酿酒葡萄品种。单宁是造成葡萄酒涩味的分子,葡萄品种比葡萄酒陈酿过程对于单宁成分的影响更大。赤霉素存在显著的浓度阈值效应和品种特异性[15]。本试验通过研究外源赤霉素的喷施对'品丽珠'果实单宁单体含量的影响,旨在为酿酒葡萄精准化栽培提供理论依据,提高品质调控的工作效率。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与设计

本试验于山西农业大学果树研究所葡萄育种

园(37.34°N,11.49°E)进行。以七年生'品丽珠'葡萄为试材,往年多于9月25日至10月1日间成熟采收,南北行向,株行距为1.0 m×2.8 m,架式为'厂'字形架,其它栽培和病虫害防治措施均采用常规管理方法。分别于2023年5月20日(开花前,EL-14,7片叶子分开)、2023年6月21日(果实绿果期,EL-32,葡萄浆果绿且硬)、2023年7月25日(转色期前,EL-35,浆果开始变大并增色)和2023年9月6日(成熟期前,EL-37,果实种籽尚未成熟)对'品丽珠'葡萄果穗进行赤霉素喷施。每个处理时期分别喷施四个浓度的赤霉素,每个浓度三棵果树,赤霉素的浓度梯度设置为4 mg/L(T1)、7 mg/L(T2)、10 mg/L(T3)和13 mg/L(T4),并设置清水处理作为对照组(CK),采用喷穗方式,喷至果穗滴水即可。每个处理均处理6株无病害,且长势一致的果树。在花前处理后30 d后,以及其它时期处理的15 d后采集样本。采样时从葡萄穗的阴阳面及上、中、下随机取样,混匀后,液氮速冻后放入-80 ℃冰箱保存,用于后续试验。

### 1.2　试验方法

1.2.1　葡萄果实品质指标测定

可溶性固形物含量:取葡萄果汁,用数显折光仪(广州融测电子有限公司TD32)测定,重复3次。可滴定酸含量:吸取果汁2 mL于烧杯中,按照1:25的比例稀释葡萄果汁,用NaOH滴定法测定,重复3次。果实单宁含量采用Folin-Denis法[16]测定。葡萄果实总酚含量采用Folin-Phenol法[17]测定。

1.2.2　葡萄果实皮和籽中总单宁含量的测定

将液氮速冻后的葡萄果实放于蒸馏水中,用镊子将皮、籽、肉分离,吸水后迅速用液氮冷冻。采用Folin-Denis法测定各部分总单宁含量。

1.2.3　葡萄果实单宁单体含量的测定

试验所用仪器为超高效液相色谱仪(UPLC ACQUITYH-Class),生产于美国Waters公司,数据处理系统为Empower,选用ACQUITY TUV紫外检测器和ACQUITY UPLC HSST3 1.8 μm×2.1 mm×100 mm色谱柱。试验所用标准品分别为儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表没食子儿茶素没食子酸脂(EGCG)(UV检测,纯度≥98%),均购自Solarbio。所用乙腈、甲醇及乙酸均为色谱纯,水为娃哈哈纯净水。

果实可溶性单宁组分含量的测定方法参照刘霞[18]的方法,并做调整。

标准溶液的制备:取7个标准品各20 mg,分别置于10 mL容量瓶中,用80%甲醇溶解,作为对照品溶液用于定性;同时将7个标准品配置成混合标准品溶液,梯度稀释,用于定量。使用前用0.22 μm微孔滤膜过滤。

样品提取方法:将酿酒葡萄样品皮籽肉分离,液氮冷冻研磨后准确称取1 g于250 mL锥形瓶中,加入乙酸乙酯水溶液(V:V为9:1)50 mL,于摇床中100 r/min、20 ℃提取30 min,将上清液倒入茄形瓶中,按上述操作复提3次。将旋转蒸发装置设为温度40 ℃、100 r/min,蒸干后用2 mL甲醇溶液溶解沉淀,经0.22 μm的滤膜过滤后用于超高效液相色谱仪分析。

液相色谱条件:流动相A(4%乙酸水),流动相B(甲醇),流动相C(乙腈)。梯度洗脱(0 min,88%A,8%B,4%C;1 min,88%A,8%A,4%C;3 min,85%A,10%B,5%C;13 min,70%A,20%B,10%C;15 min,72%A,20%B,8%C;16 min,88%A,8%B,4%C;20 min,88%A,8%B,4%C),流速0.200 mL/min,柱温40 ℃。进样体积5 μL。

1.2.4　统计分析

采用Excel 2016软件计算平均值和标准差以及绘制图表。通过SPSS 25进行单因素方差分析,独立样本T检验,以及差异显著分析,差异显著水平为$\alpha=0.05$。

## 2　结果与分析

### 2.1　不同赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实糖酸含量的影响

由表1可见,花前喷施后,T1和T2采收期果实中可溶性固形物(TSS)含量显著提高,比CK提高了13.5%和26.5%;T2和T4均显著降低了可滴定酸(TA)含量,与CK相比,分别降低了12.8%和9.1%,T1和T3的降低幅度略低于T2和T4,但仍显著降低,降低了7.7%和6.0%。绿果期喷施后,各浓度喷施均提高了采收期果实中的TSS含量,降低了可滴定酸含量,与CK相比,T2果实中TSS提高了19.6%,可滴定酸含量降低了7.2%。转色期前期喷施后,T2和T3均显著提高了采收期

表1 赤霉素喷施后采收期'品丽珠'葡萄果实糖酸含量

**Table 1** The total soluble solids and titratable acids content in 'Cabernet Franc' grapes at harvest after gibberellin spraying

| 处理时间 Periods | 组别 Treatment | 可溶性固形物/% Soluble solids | 可滴定酸/(g/L) Titratable acid |
|---|---|---|---|
| 花前 Pre-flowering | T1 | 22.10±1.73 a | 8.50±0.58 b |
| | T2 | 24.63±1.66 b | 8.02±0.66 c |
| | T3 | 19.83±0.42 c | 8.65±0.67 b |
| | T4 | 19.20±0.42 c | 8.36±0.57 c |
| | CK | 19.47±0.42 c | 9.20±0.57 a |
| 绿果期 Green-fruit | T1 | 22.53±1.42 b | 9.00±0.66 a |
| | T2 | 24.00±1.66 a | 8.72±0.57 a |
| | T3 | 20.20±0.42 c | 9.16±0.67 a |
| | T4 | 21.40±0.42 b | 9.16±0.57 a |
| | CK | 20.07±0.42 c | 9.40±0.67 a |
| 转色期 Veraison | T1 | 21.20±1.73 bc | 8.70±0.66 b |
| | T2 | 23.65±1.66 a | 8.53±0.57 b |
| | T3 | 22.83±0.42 a | 8.63±0.67 b |
| | T4 | 21.80±0.42 b | 9.00±0.57 a |
| | CK | 20.80±0.42 bc | 9.10±0.67 a |
| 成熟期 Maturity | T1 | 22.23±1.42 b | 8.97±0.66 a |
| | T2 | 24.30±1.66 a | 8.67±0.57 b |
| | T3 | 21.47±0.42 bc | 8.76±0.67 b |
| | T4 | 21.90±0.42 b | 8.83±0.57 b |
| | CK | 19.83±0.42 c | 9.30±0.67 a |

注:不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column showed significant differences at $P<0.05$ level during the same growth stage.

果实中的TSS含量,与CK相比,分别提高了13.7%、9.8%、T1、T2和T3均显著降低了TA含量,与CK相比,分别降低了4.4%、6.3%、8.2%。成熟期喷施后,与CK相比,T2显著提高了采收期果实中的TSS含量,降低了可滴定酸含量,为24.3%和8.7%。

### 2.2 不同赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实总酚含量的影响

由图1可见,赤霉素喷施后'品丽珠'葡萄果实总酚含量先升高后降低。在花前喷施后,各处理果实生长发育过程中总酚含量变化不一致,与CK相比,T1和T2采收期果实中总酚含量显著升高,分别提高了27.6%和16.3%。绿果期喷施后,采收期果实中各处理总酚含量无显著性差异。转色期前期喷施15 d后,T3采收期果实中总酚含量相较于CK有所下降。成熟期喷施后,与CK相比,各浓度均提高了果实总酚含量,T1~T4分别提高了25.7%、25.7%、29.9%和11.9%。

### 2.3 不同赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实单宁含量的影响

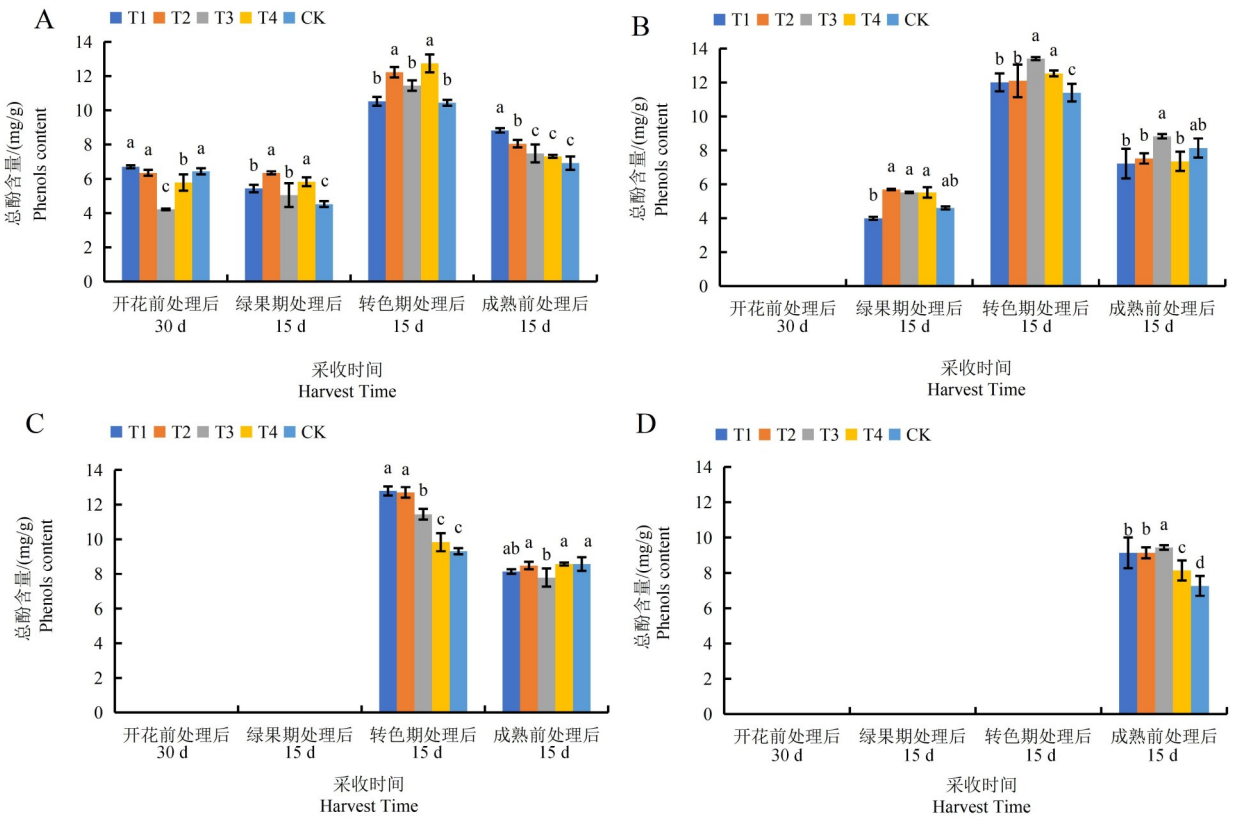
由图2可知,花前喷施后,各处理果实生长发育过程中单宁含量变化不一致,T2采收期果实中单宁含量最高,比CK提高了28.86%。绿果期喷施后,各处理果实生长发育过程中单宁含量先升高后降低,在转色期达到峰值,采收期果实中各处理单宁含量无显著性差异。转色期前期喷施15 d后,T2和T3单宁含量相较于CK显著提高,分别提高了82.60%和83.51%,采收期果实中各处理单宁含量无显著性差异。成熟期喷施后,与CK相比,T2果实单宁含量提高了33.82%,其它处理无显著差异。

### 2.4 不同赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实皮和籽单宁含量的影响

由于单宁主要存在于葡萄果实的皮与籽中,果肉中含量极低,故对果皮与籽中的单宁含量进行测定。由图3可见,各处理下'品丽珠'不同发育时期的果实籽中的单宁含量远高于果皮中。花前喷施后,采收期各处理果实果皮中单宁含量无显著差异;与CK相比,T1处理采收期果实籽中单宁含量最高,其它处理无显著性差异。绿果期喷施后,与CK相比,T1处理采收期果实皮中单宁含量显著降低,T1和T2显著降低了果实籽中的单宁,分别降低了15.5%和17.3%。转色期前期喷施后,T3显著提高了果皮中的单宁含量,T1、T2和T4降低了籽中的单宁含量;与CK相比,T3处理果皮中单宁含量提高29.3%。成熟期喷施后,与CK相比,T2果皮单宁含量略有提高,极显著降低了种籽中的单宁含量,降低了13.4%。

### 2.5 花前赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实皮和籽单宁单体含量的影响

同样由于单宁在果肉中含量极低,故对果皮与种籽中的单宁含量进行测定。由图4可见,花前喷施后,采收期各处理果实籽中单宁含量高于果皮。果皮中EGC含量较高,种籽中C和EC含量较高。与CK相比,T1处理显著降低了采收期果实皮中EGC、C和EC的含量,降低了种籽中EGCG含量。T2处理提高了果皮中的GC、EGC、




A－D:分别为花前、绿果期、转色期和成熟期赤霉素处理;T1－T4为4、7、10和13 mg/L浓度处理;不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);图2同

A－D: Gibberellin treatments during pre－flowering, green－fruit, veraison, and maturity, respectively; T1－T4 were treated with concentrations of 4、7、10 and 13 mg/L, respectively; Different lowercase letters indicate significant differences among treatments within the same periods at 0.05 level;Same as Fig. 2

**图1　赤霉素喷施处理下葡萄果实总酚含量**

**Fig.1**　Total phenolic content in grape berries under different gibberellin spray treatments

EC和ECG含量,降低了籽中7种单宁单体的含量。T3处理提高了采收期果实皮中GC、EGC、EC和ECG的含量,降低了种籽中6种单宁单体含量(除GC)。T4处理提高了采收期果实皮中EGCG、EC和ECG的含量;降低了种籽中EGCG、GCG和ECG单宁单体的含量。

### 2.6　绿果期赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实皮和籽单宁单体含量的影响

由图5可见,绿果期喷施后,采收期各处理果实籽中单宁含量高于果皮,果皮中EGC和ECG含量较高,种籽中C含量最高。与CK相比,T1处理提高了采收期果实皮中GC的含量,降低了种籽中C和ECG含量。T2处理提高了果皮中的7种单宁单体的含量,提高了籽中6种单宁单体的含量(除EC)。T3处理提高了采收期果实皮中GC、EGCG、GCG和ECG的含量,降低了种籽中C和EC含量。T4处理提高了采收期果实皮中GC、EGC、EGCG、GCG和ECG的含量,但降低了EC含量;降低了种籽中6种单宁单体的含量(除EGC)。

### 2.7　转色期前期赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实皮和籽单宁单体含量的影响

由图6可见,转色期前期喷施后,采收期各处理果实籽中单宁含量高于果皮,果皮中EGC和ECG含量较高,种籽中C含量最高。各处理均降低了果皮EGC、C、GCG和ECG的含量,提高了种籽中的EGC和EGCG的含量。与CK相比,T1处理只提高了采收期果实皮中GC的含量;降低了种籽中6种单宁单体的含量,只提高了EGC的含量。T2处理提高了果皮中的GC和EC含量,提高了籽中EGC和EGCG含量。T3处理提高了果皮中的7个单宁单体的含量,降低了种籽中C含量。T4处理降低了采收期果实皮5种单宁单体的含量,但提高了EGCG含量;提高了种籽中7种单宁单体的含量。

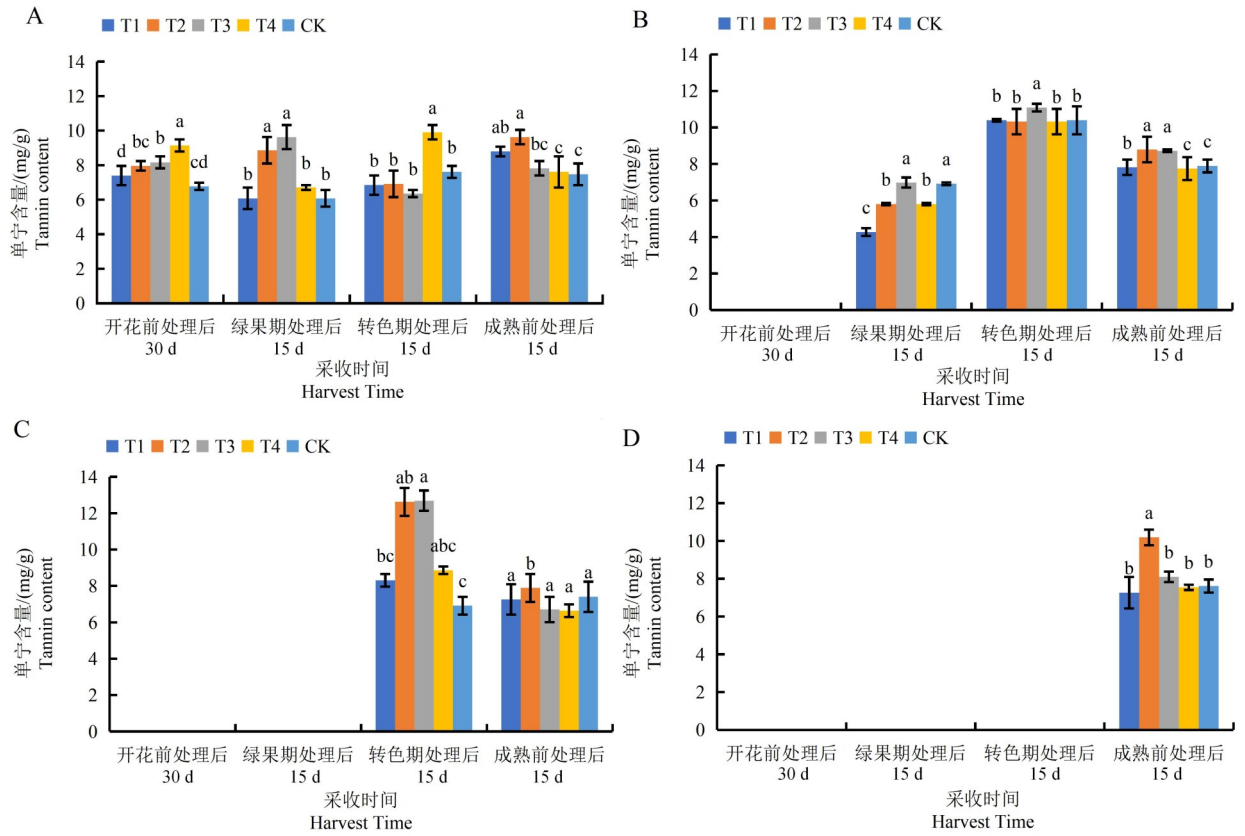



图2 赤霉素喷施处理下葡萄果实单宁含量

**Fig.2** Tannin content in grape berries under different gibberellin spray treatment

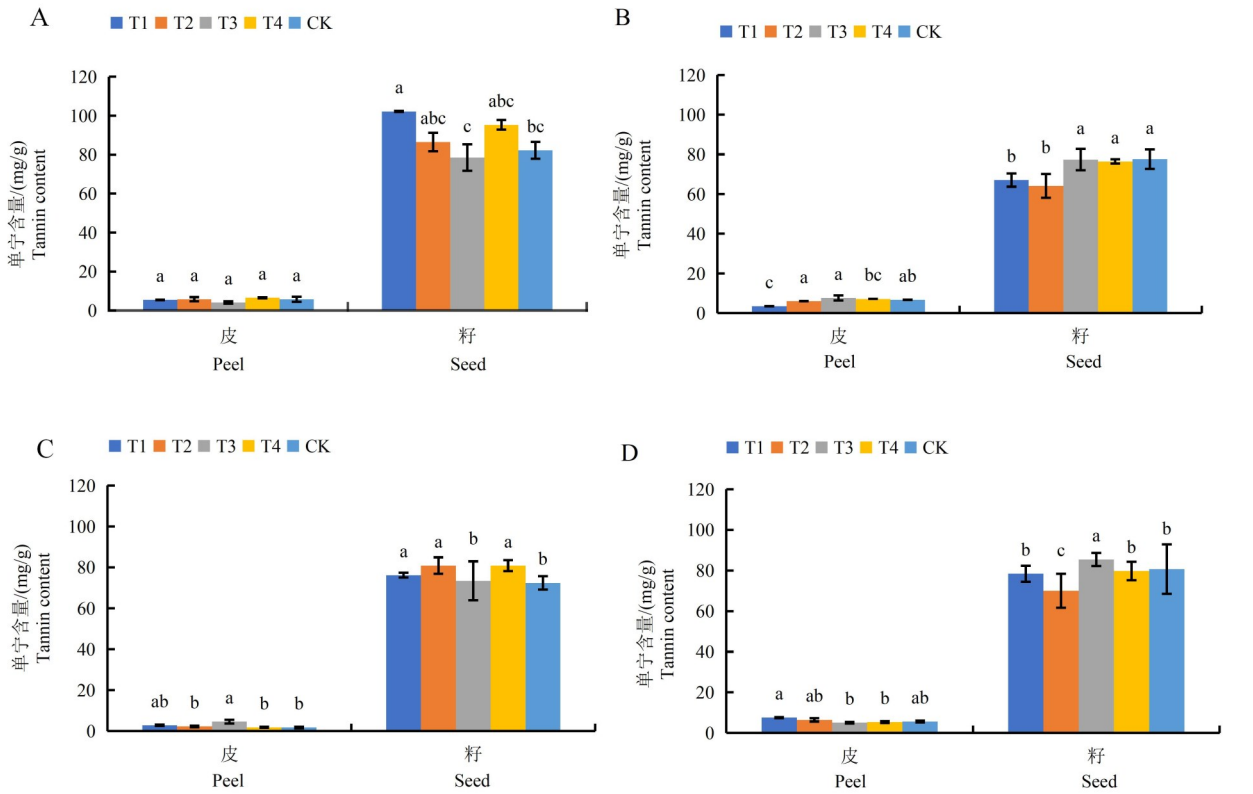
### 2.8 成熟期赤霉素喷施处理对'品丽珠'葡萄果实皮和籽宁单体含量的影响

由图7可见,成熟期喷施后,采收期各处理果实籽中单宁含量高于果皮,果皮中EGC和EC含量较高,种籽中C含量最高。与CK相比,T1处理提高了采收期果实皮中7种单宁单体的含量,降低了种籽中C、EGCG、EC、GCG和ECG含量。T2处理显著提高了果皮中的EGC、C、EC、GCG,降低了GC和EGCG的含量,降低了籽中5种单宁单体的含量(除GC和EGC)。T3处理提高了采收期果实皮中6种单体的含量,降低了EGCG含量;提高了种籽中GC和EGC含量。T4处理只提高了采收期果实皮和种籽中EGC的含量。

## 3 讨论

本研究探究外源赤霉素在花前、绿果期、转色期及成熟期不同浓度处理对果实品质指标的调控规律,通过喷穗法施加GA3后,利用分光光度法,测定了赤霉素作用的浓度阈值效应、时空特异性及其对葡萄品质形成的多维影响。结果显示,转色期前是单宁合成的关键时期。T2处理在开花前及成熟期前应用效果最佳,可显著提升可溶性固形物含量,降低可滴定酸含量至理想范围,优化糖酸比,符合优质葡萄酒品质需求,可能是低浓度赤霉素在成熟期前延缓代谢衰退,维持单宁含量。同时,该浓度通过延缓果实衰老维持单宁积累,其机制可能与GA3激活苯丙烷代谢途径及增强光合效率密切相关[19-20]。转色期后单宁骤降可能与GA3诱导乙烯合成加速单宁降解有关。此外,花前高浓度赤霉素虽显著提升单宁,但在绿果期至转色期可能抑制单宁合成。在花前处理后不久,低浓度的赤霉素略微提高了总酚含量,而高浓度赤霉素则显著降低了总酚含量。这可能是因为花前高浓度赤霉素优先促进细胞伸长,从而抑制了次生代谢过程(如总酚的合成)[21]。

在绿果期处理,赤霉素主要促进细胞膨大,可能暂时抑制了酚类物质的合成;但在高浓度下,植物通过适应性调节抵消了部分抑制效应。在转色

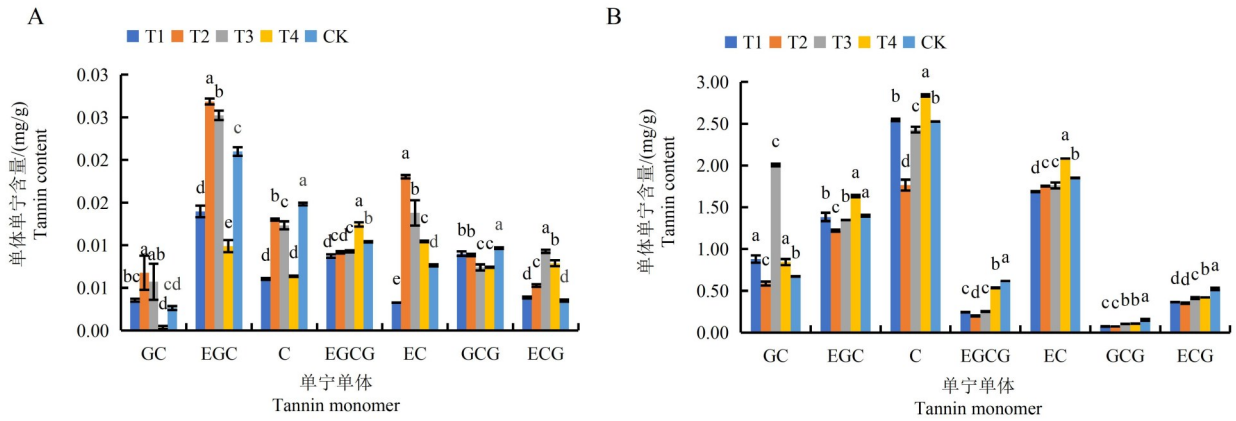



A－D:分别为花前、绿果期、转色期和成熟期赤霉素处理;T1－T4为4、7、10和13 mg/L浓度处理;不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

A－D:Gibberellin treatments during pre－flowering, green－fruit, veraison, and maturity, respectively; T1－T4 were treated with concentrations of 4、7、10 and 13 mg/L, respectively; Different lowercase letters indicate significant differences among treatments within the same tissues at 0.05 level

**图3　赤霉素喷施处理下'品丽珠'葡萄果实不同组织单宁含量**

**Fig.3**　Tannin content in different tissues of grape berries under gibberellin spraying treatments




A:皮中单宁含量变化;B:籽中单宁含量变化;;T1－T4为4、7、10和13 mg/L浓度处理;不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);GC:没食子儿茶素、EGC:表没食子儿茶素、C:儿茶素、EGCG:表没食子儿茶素没食子酸酯、EC:表儿茶素、GCG:没食子儿茶素没食子酸酯、ECG:表儿茶素没食子酸酯;图4～图7同

A:The tannin content in skin; B:The tannin content in seeds; T1－T4 were treated with concentrations of 4、7、10 and 13 mg/L, respectively; Different lowercase letters indicate significant differences among treatments within the same tissues at 0.05 level; GC:gallocatechin; EGC:epigallocatechin gallate; C:catechin; EGCG:epigallocatechin gallate; EC:Epicatechin; GCG:gallatechin gallate; ECG:epicatechin gallate;Same as Fig.4～Fig.7

**图4　花前赤霉素喷施处理下采收期果实不同组织单宁单体的含量**

**Fig.4**　The content of tannin monomers in different tissues of harvested berries under pre-flowering gibberellin spraying treatment

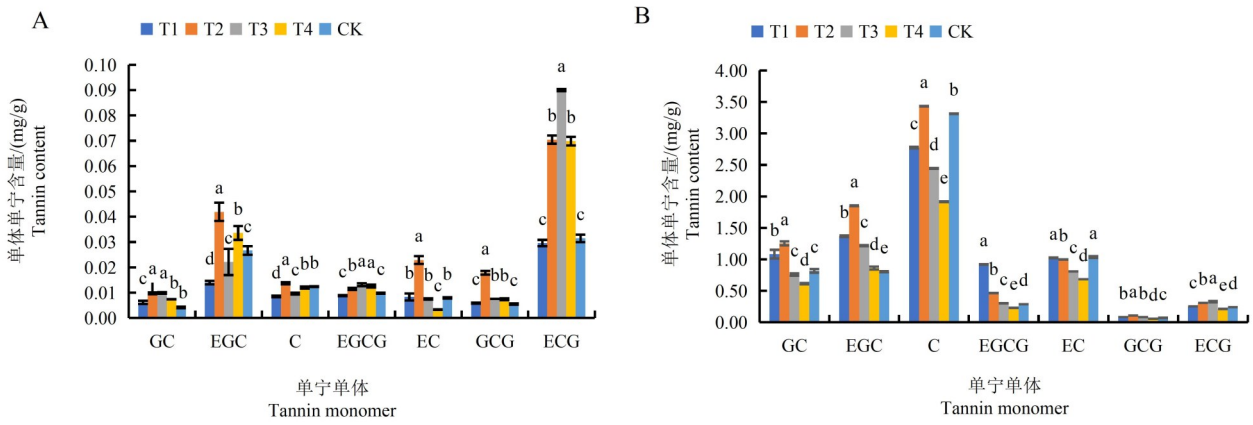



**图5 绿果期赤霉素喷施处理下采收期果实皮和籽单宁单体的含量**

**Fig.5** The content of tannin monomers in different tissues of harvested berries under green-fruit gibberellin spraying treatment

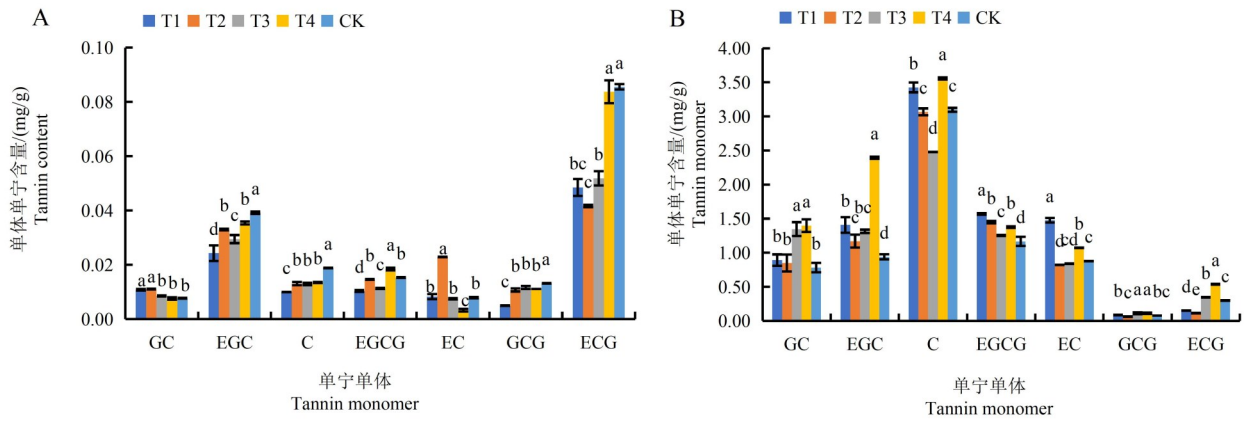



**图6 转色期赤霉素喷施处理下采收期果实皮和籽单宁单体的含量**

**Fig.6** The content of tannin monomers in different tissues of harvested berries under veraison gibberellin spraying treatment

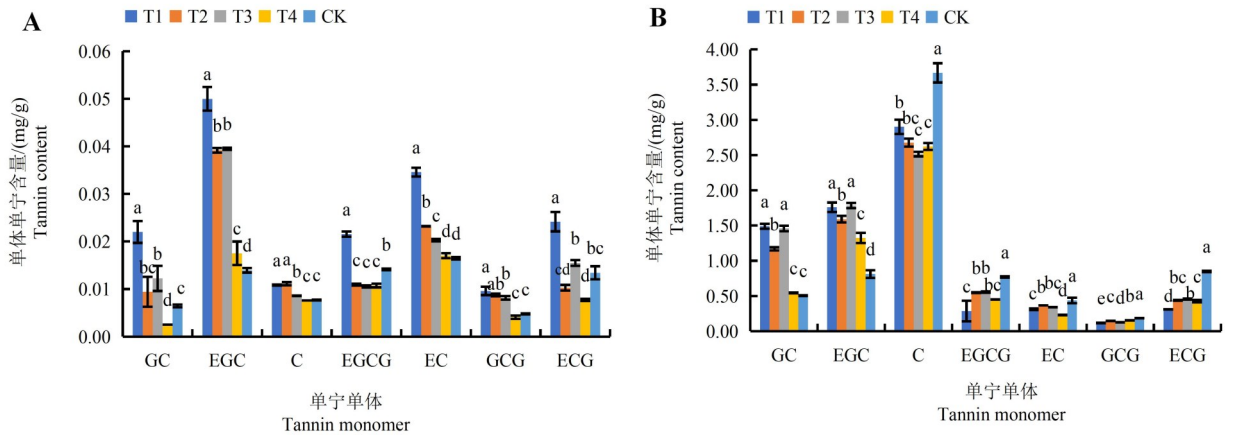



**图7 成熟期赤霉素喷施处理下采收期果实皮和籽单宁单体的含量**

**Fig.7** The content of tannin monomers in different tissues of harvested berries under maturity gibberellin spraying treatment

中期进行T2浓度赤霉素处理能够快速提升总酚含量,表明此时植物对激素调控的敏感性最强。在成熟期进行赤霉素处理后,在成熟期采样中发现赤霉素的作用存在浓度阈值效应。而成熟期T4处理组的效果有所回落,仅比CK高12%,可能是因为浓度过高引发了负反馈抑制。

同时,图1与图2综合分析反映赤霉素对单宁与总酚的调控存在竞争性资源分配。分子机制上,可能是由于GA3通过调控GA信号通路核心基因及苯丙烷代谢关键酶(PAL、CHS)活性影响酚类物质合成[22]。因此,酿酒葡萄栽培中在绿果期至成熟期采用T2(7 mg/L)GA3喷施,可平衡糖酸比与酚类积累,同时避免在转色期使用高浓度以规避代谢紊乱风险,可能是由于高浓度的赤霉素抑制单宁合成,同时抑制了果实的发育进度。

通过在不同生育期进行赤霉素处理,成熟期采样后分部位单宁含量分析,可解释赤霉素对单宁含量的影响。从处理时期来看,花前处理主要影响籽单宁积累,其中T1、T4浓度显著提升籽单宁含量,表明可能花前赤霉素可能通过调控花苞发育阶段影响单宁前体物质合成。绿果期处理呈现典型浓度依赖效应,T1抑制果皮EGC和EC合成,而中浓度(T2)显著促进EGC和EC增加,印证了适度赤霉素胁迫可激活酚类代谢通路[23]。转色期处理显示T3浓度对果皮GC的抑制与籽GC、EGC的激增形成对比,表明该阶段赤霉素可能通过调控不同部位的代谢分配促进籽单宁合成。同时,成熟期高浓度赤霉素(T4)对果皮GC、EGCG、ECG均产生显著抑制,降幅达24%~62%,而籽中GC在T2达到峰值后骤降,揭示过高浓度赤霉素处理可能破坏成熟期单宁稳定性。综合各生育期表现,赤霉素的浓度阈值效应显著:除绿果期外,低浓度(T1、T2)在多数处理中表现为促进单宁积累,尤其对EGC和EC的诱导作用突出;而高浓度(T3、T4)则普遍抑制单宁合成,这与刘迪迪[24]关于赤霉素对西拉单宁含量的影响的研究结果相同。尤其在成熟期降低ECG和EGCG的含量。

## 4　结论

探究外源赤霉素GA3对葡萄品质调控的浓度阈值效应及阶段性规律发现,转色前是单宁合成的关键期,低浓度T2(7 mg/L)处理显著提升糖分、降低酸度,优化糖酸比,同时延缓单宁衰退并促进总酚合成,符合优质葡萄酒需求;转色期赤霉素促进总酚合成的效应随浓度升高增强,但高浓度可能加速单宁降解;花前高浓度赤霉素抑制次生代谢,总酚下降,低浓度仅轻微提升。

## 参　考　文　献


[1]杨军纬. 我国野生葡萄对气候变化的适应性机制研究[D]. 福州:福建农林大学,2024.
Yang J W. Study on adaptation mechanism of wild grapes to climate change in China[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University,2024.

[2]吴文桐,马潇乐,王星,等. 129份葡萄属(*Vitis* L.)种质资源枝条抗寒性鉴定评价[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2025(2):22-29.
Wu W T,Ma X L,Wang X,et al. Evaluation and identification of cold resistance in branches of 129 grape (*Vitis* L.) germplasm resources[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2025(2):22-29.

[3]宋晨龙,吕珊珊,杨荣倩,等. 黑龙江大庆7个酿酒葡萄品种果实及其葡萄酒的品质分析[J]. 中国果树,2025(3):53-61.
Song C L,Lü S S,Yang R Q,et al. Quality analysis of berries and wines of seven wine grape varieties in Daqing,Heilongjiang Province[J]. China Fruits,2025(3):53-61.

[4]魏潇,章秋平,杨巍,等. 果实品质评价研究进展[J]. 特种经济动植物,2025,28(2):101-106.
Wei X,Zhang Q P,Yang W,et al. Research progress of fruit quality evaluation[J]. Special Economic Animals and Plants,2025,28(2):101-106.

[5]于筱,张付春,周晓明,等. 砧木嫁接对赤霞珠葡萄酿酒品质的影响[J]. 中国酿造,2025,44(3):171-177.
Yu X,Zhang F C,Zhou X M,et al. Effect of rootstock grafting on the quality of Cabernet Sauvignon wine[J]. China Brewing,2025,44(3):171-177.

[6]王红梅,彭璐,王悦,等. 五个品种葡萄理化特性及酚类物质组成的比较[J]. 食品与发酵工业,2019,45(7):74-81.
Wang H M,Peng L,Wang Y,et al. Comparison of physicochemical properties and phenolic composition of five grape varieties[J]. Food and Fermentation Industries,2019,45(7):74-81.

[7]刘霞,邢佳雨,冯敬雯,等. 葡萄酒口腔香气释放的影响因素研究[J]. 酿酒科技,2024(7):110-117,130.
Liu X,Xing J Y,Feng J W,et al. Review on factors affecting oral aroma release of wine[J]. Liquor-Making Science & Technology,2024(7):110-117,130.

[8]王升楠.基于干预多酚-蛋白互作的葡萄酒多糖调控涩感机制研究[D].西安:陕西师范大学,2022.
Wang S N. Study on mechanism of regulation of astringent sensation by wine polysaccharides based on intervention of polyphenol-protein interaction [D]. Xi′an: Shaanxi Normal University,2022.

[9]李永华,朱强. 长柄扁桃种子生物学特性及不同浓度赤霉素对其生长的影响[J]. 农业科技通讯,2014(10):107-110.
Li Y H,Zhu Q. Biological characteristics of almond seeds and effects of gibberellin with different concentrations on their growth [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology,2014(10):107-110.

[10]秦永红. 赤霉素在现代果树生产中的作用和使用方法[J]. 果树资源学报,2025,6(1):85-88.
Qin Y H. The effect and application methods of gibberellin in

modern fruit tree planting[J]. Journal of Fruit Resources, 2025,6(1):85-88.

[11]李瑞,黎振源,洪先龙,等.植物生长调节剂对水果品质的影响及机理研究进展[J].食品与发酵工业,2025,51(14):399-411.
Li R, Li Z Y, Hong Xianlong, et al. Effects of plant growth regulators on fruit quality and their mechanisms [J]. Food and Fermentation Industry,2025,51(14):399-411.

[12]刘迪迪,刘美迎,王珍,等. 赤霉素拉穗处理对西拉葡萄果实酚类物质的影响[J]. 食品科学,2018,39(17):40-46.
Liu D D, Liu M Y, Wang Z, et al. Effect of gibberellin-induced cluster elongation on phenolic contents of Syrah grapes [J]. Food Science,2018,39(17):40-46.

[13]潘军. 若干栽培措施对柿果实糖酸和单宁组分及含量变化的影响[D]. 扬州:扬州大学,2019.
Pan J. Effects of several cultivation measures on the changes of sugar, acid and tannin components and contents in persimmon fruit[D]. Yangzhou:Yangzhou University,2019.

[14]周雅洁,孙平平,张磊,等. 葡萄种质资源的收集和评价研究进展[J]. 果树资源学报,2025,6(2):98-103.
Zhou Y J, Sun P P, Zhang L, et al. Collection and evaluation of grape germplasm resources[J]. Journal of Fruit Resources, 2025,6(2):98-103.

[15]武俊琴. 鲜食新品种"巨玫瑰"生态适应性[D]. 重庆:西南大学,2008.
Wu J Q. Ecological adaptability of a new fresh-eating variety "Giant Rose"[D]. Chongqing:Southwest University,2008.

[16]赵亚蒙,刘迪迪,梁攀,等. 赤霉素对"西拉"葡萄果穗及果实品质的影响[J]. 北方园艺,2018(5):64-68.
Zhao Y M, Liu D D, Liang P, et al. Effect of GA3 on fruit cluster and fruit quality of 'Syrah' grape [J]. Northern Horticulture,2018(5):64-68.

[17]邱金玲,刘朋,熊维政,等. 金花葵中金丝桃苷的含量测定[J]. 中医学报,2015,30(12):1793-1795.
Qiu J L, Liu P, Xiong W Z, et al. Determination of the content of hyperin in Jinhuakui by HPLC method[J]. China Journal of Chinese Medicine,2015,30(12):1793-1795.

[18]张学玲,刘霞,蒋媛,等. 高效液相色谱法测定酿酒葡萄中单宁酸的含量[J]. 现代食品,2022,28(21):207-211.
Zhang X L, Liu X, Jiang Y, et al. Determination of tannic acid in wine grapes by HPLC[J]. Modern Food, 2022, 28(21): 207-211.

[19]王敏,韩守安,谢辉,等. 赤霉素穗轴涂抹处理对葡萄果实品质的影响[J]. 中国农学通报,2025,41(4):44-49.
Wang M, Han S A, Xie H, et al. Effects of gibberellin *Rachis* smearing treatment on grape fruit quality [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2025,41(4):44-49.

[20]王颖,荀志丽,黄丽萍,等.赤霉素处理对葡萄果实发育及品质的影响[J].中国果树,2023,(5):43-49,55.
Wang Y, Xun Z L, Huang L P, et al. Effects of gibberellin treatment on grape fruit development and quality [J]. Chinese Journal of Fruit Sciences,2023,(5):43-49,55.

[21]王颖. 外源赤霉素对葡萄果实品质及果皮花色苷代谢的影响[D]. 太谷:山西农业大学,2023.
Wang Y. Effects of exogenous gibberellin on fruit quality and anthocyanin metabolism of grape peel [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University,2023.

[22]杨民杰,楼东明,王康,等.外源赤霉素处理黄秋葵的转录组分析[J].分子植物育种,2025,23(22):7416-7423.
Yang M J, Lou D M, Wang K, et al. Transcriptome analysis of okra treated with exogenous gibberellin [J]. Molecular Plant Breeding,,2025,23(22):7416-7423.

[23]罗贵,朱历勇,谷雷,等.WRKY转录因子调控植物次生代谢物研究进展[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2025,53(3):115-128.
Luo G, Zhu L Y, Gu L, et al. Research Progress on the Regulation of Plant Secondary Metabolites by WRKY Transcription Factor [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition),2025,53(3):115-128.

[24]刘迪迪. 酿酒葡萄西拉优质栽培关键技术的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
Liu D D. Study on key techniques of high quality cultivation of wine grape Syrah [D]. Yangling: Northwest A & F University,2017.

(编辑:韩志强)