

李 斗,王宇航,杨江山,等. 外源亚精胺对酿酒葡萄叶片氮代谢、内源激素动态变化及果实品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(8): 1533-1541.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.08.017

## 外源亚精胺对酿酒葡萄叶片氮代谢、内源激素动态变化及果实品质的影响

李 斗<sup>1</sup>, 王宇航<sup>1</sup>, 杨江山<sup>1</sup>, 金 鑫<sup>1</sup>, 王春恒<sup>1</sup>, 戴子博<sup>1</sup>, 陈亚娟<sup>1</sup>, 邵 璋<sup>1</sup>, 冯丽丹<sup>2</sup>

(1.甘肃农业大学园艺学院,甘肃 兰州 730070; 2.甘肃省葡萄酒产业技术研发中心,甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为探究亚精胺(Spd)对酿酒葡萄叶片氮代谢、内源激素和果实品质的影响,筛选适于葡萄生产的 Spd 处理方法。本研究以 10 年生雷司令葡萄为试验材料,于开花期、坐果期、膨大期、转色期叶面喷施不同浓度[0.3 mmol/L(T1)、0.6 mmol/L(T2)、0.9 mmol/L(T3)、1.2 mmol/L(T4)]的亚精胺溶液,以喷施清水为对照(CK),测定不同时期叶片氮代谢、内源激素含量和果实品质相关指标,利用主成分分析法对果实品质进行综合评价。研究结果表明,适宜浓度的外源 Spd 处理能增强葡萄叶片氮代谢能力,提高叶片激动素(KT)、生长素(IAA)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量,降低脱落酸(ABA)含量,并提升果实品质;T3 处理在转色期显著提高了叶片硝态氮(NO<sub>3</sub>-N)和铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)含量,较 CK 分别提高 37.84%和 21.52%;T3 处理叶片 KT、IAA、GA<sub>3</sub>含量在开花期、转色期及成熟期显著高于 CK;T3 处理与 CK 相比显著提高了果实可溶性固形物、可溶性糖、维生素 C、葡萄糖、蔗糖、草酸、酒石酸、柠檬酸、苹果酸和富马酸含量。综上所述,适宜浓度的 Spd 处理可以增强雷司令葡萄叶片氮代谢能力,提高叶片 KT、IAA、GA<sub>3</sub>含量,降低 ABA 含量,提升果实品质,根据主成分分析结果,使用 0.9 mmol/L Spd 处理效果最佳。

**关键词:** 雷司令葡萄;亚精胺;氮代谢;内源激素;果实品质

**中图分类号:** S663.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2024)08-1533-09

## Effects of exogenous spermidine on nitrogen metabolism, dynamic changes of endogenous hormones in leaves and fruit quality of wine grape

LI Dou<sup>1</sup>, WANG Yuhang<sup>1</sup>, YANG Jiangshan<sup>1</sup>, JIN Xin<sup>1</sup>, WANG Chunheng<sup>1</sup>, DAI Zibo<sup>1</sup>, CHEN Yajuan<sup>1</sup>, SHAO Zhang<sup>1</sup>, FENG Lidan<sup>2</sup>

(1.College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2.Research and Development Center of Wine Industry in Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** To investigate the effects of spermidine (Spd) on nitrogen metabolism, endogenous hormones of wine grape leaves and fruit quality, and screen out the suitable Spd treatment method for wine grape production, 10-year-old Riesling grapes were used as experimental materials in this study. Spd solutions of 0.3 mmol/L (T1), 0.6 mmol/L (T2), 0.9 mmol/L (T3) and 1.2 mmol/L (T4) were sprayed on the leaves at flowering stage, fruit setting stage, expansion stage and veraison stage, and water was sprayed as control (CK). The nitrogen metabolism and the contents of endogenous hormones in leaves at different stages and the related indexes of fruit quality were measured, and the fruit quality was comprehensively evaluated by principal component analysis. The results showed that the appropriate concentration of exogenous Spd treatment could enhance the nitrogen metabolism capacity of grape leaves, increase the contents of

收稿日期:2023-11-08

基金项目:甘肃省科技计划项目(21CX6NA080);甘肃省科技重大专项(18ZD2NA006-4)

作者简介:李 斗(1997-),男,甘肃永昌人,硕士,主要从事果树栽培技术与生理研究。(E-mail)1976348148@qq.com

通讯作者:杨江山,(E-mail)yangjs@gsau.edu.cn

of fruit quality were measured, and the fruit quality was comprehensively evaluated by principal component analysis. The results showed that the appropriate concentration of exogenous Spd treatment could enhance the nitrogen metabolism capacity of grape leaves, increase the contents of

kinetin (KT), auxin (IAA) and gibberellin ( $GA_3$ ) in leaves, reduce the content of abscisic acid (ABA), and improve fruit quality. Specifically, T3 treatment significantly increased the contents of nitrate nitrogen ( $NO_3^-$ -N) and ammonium nitrogen ( $NH_4^+$ -N) in leaves during the color-changing stage, which were 37.84% and 21.52% higher than those of CK, respectively. The contents of KT, IAA, and  $GA_3$  in leaves in T3 treatment were significantly higher than those in CK during flowering, color-changing and ripening stages. Compared with CK, T3 treatment significantly increased the contents of soluble solids, soluble sugars, vitamin C, glucose, sucrose, oxalic acid, tartaric acid, citric acid, malic acid, and fumaric acid in fruits. In conclusion, the appropriate concentration of Spd treatment could enhance the nitrogen metabolism capacity of Riesling grape leaves, increase the contents of KT, IAA and  $GA_3$  in leaves, reduce ABA content, and improve fruit quality. According to the results of principal component analysis, the treatment of 0.9 mmol/L Spd had the best effect.

**Key words:** Riesling grape; spermidine; nitrogen metabolism; endogenous hormone; fruit quality

葡萄酒的品质取决于酿酒葡萄的质量<sup>[1]</sup>,在西北干旱地区,少雨和春秋凉爽气候使得葡萄生育期变短,叶片容易出现提前黄化、衰老现象,中晚熟品种常出现成熟度不够、含糖量不足以及产量低等问题,这给酿酒葡萄产业的可持续发展带来了很大的负面影响<sup>[2]</sup>。前人的研究表明,通过外源性喷施天然或合成诱导物,如脱落酸<sup>[3]</sup>、赤霉素<sup>[4]</sup>、茉莉酸甲酯<sup>[5]</sup>等能够有效保障作物营养供应,提高抗逆性,增强光合作用,最终达到优质丰产的目的,且针对不同葡萄品种可选用不同的生长调节剂,以提高坐果率,调控果实生长发育<sup>[6-7]</sup>。

多胺(Polyamine, PA)作为一种广泛分布于植物体内的生长调节剂,对植物生长可起到关键的调控作用。它能促进植物细胞分裂,促进生长,延缓衰老。腐胺(Put)、亚精胺(Spd)和精胺(Spm)是植物体内普遍存在的多胺<sup>[8-9]</sup>。在这些化合物中,Spd是一种相对分子量小的脂肪族氨基化合物,广泛分布于生物体内,在植物形态发生及应答非生物和生物胁迫中发挥关键性作用<sup>[10]</sup>。研究表明,Spd对植物氮代谢有一定的调控作用,而氮代谢在植物生长发育过程中起着重要作用,其合成的游离氨基酸不但参与次生代谢产物的合成,而且是衡量园艺作物营养价值的重要指标之一,能直接或间接对逆境胁迫作出响应<sup>[11]</sup>。余琦隆等<sup>[12]</sup>研究发现,外源Spd能减少生菜高温胁迫下铵态氮的含量,增加硝态氮含量及硝酸还原酶(NR)活性。Shan等<sup>[13]</sup>研究发现,Spd能通过调控氮代谢水平来提高番茄幼苗叶片的耐高温能力。Dong等<sup>[14]</sup>研究发现,Spd可增加玉米叶片中 $NO_3^-$ -N含量,促进叶片对 $NO_3^-$ 的吸收,调节玉米生长发育,并增强氨同化酶GS、GOGAT和GDH以及转氨酶GOT和GPT活性,促进玉米对过量氨的同化,有效缓解干旱胁迫引起的氨毒性和氮

代谢紊乱。同时,Spd对植物内源激素也有一定的调控作用,外源Spd可显著提高细胞分裂素(GA)含量,并能有效保护植物光合器官,减少水分损失<sup>[15]</sup>,内源激素在植物开花和果实发育中具有重要作用<sup>[16]</sup>。此外,外源喷施Spd还可提高小白杏<sup>[17]</sup>、梨<sup>[18]</sup>、桃<sup>[19]</sup>等果实可溶性固形物、维生素C、总酚、类黄酮含量,改善果实品质。但有关Spd对酿酒葡萄氮代谢和内源激素的调控效应以及对果实品质的影响鲜有报道。本试验以雷司令葡萄为试验材料,通过在各生育期喷施不同浓度的Spd溶液,研究Spd对葡萄叶片氮代谢、内源激素动态变化以及果实品质的影响,为提高葡萄品质和产量及高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验于2021年4-11月在甘肃农业大学葡萄园进行。试验材料为露地栽培10年生雷司令葡萄,株行距为0.8 m×2.0 m,单干双臂Y形整形。试验地(36°5′~37°10′N, 103°34′~103°47′E)海拔约1 517 m,年降水量349.90 mm,年蒸发量1 664.00 mm,年日照时数2 476.40 h,属中温带气候区,具有四季分明、光照充足、年降水不足且蒸发量大等特点。试验药剂为上海源叶生物技术有限公司生产的99%亚精胺(Spd)。

### 1.2 试验处理

试验分4个处理,分别为0.3 mmol/L Spd(T1)、0.6 mmol/L Spd(T2)、0.9 mmol/L Spd(T3)和1.2 mmol/L Spd(T4),以清水为对照(CK),各处理均添加Tween 80(0.1%,体积比),以增加Spd在植株上的附着效果,每个处理设3个重复,每个重复为5株葡萄。选择长势一致的葡萄植株分别于开花

期、坐果期、果实膨大期、果实转色期进行喷施处理(整株喷施至叶面布满水珠),各处理其他栽培管理措施保持一致。

分别在开花期、坐果期、果实膨大期、果实转色期每次喷施处理后的第3 d上午8:00取样,成熟期再取1次样,共取样5次。采集结果新梢的第1穗花序(果穗)节位和其上下1~2节位长势一致且健康无病虫害的功能叶片带回实验室进行相关指标测定。在果实成熟期各处理每株随机采摘4串果穗,并均匀摘取上中下位置的果粒,带回实验室进行指标测定。

### 1.3 测定指标和方法

1.3.1 叶片氮代谢指标的测定  $\text{NO}_3^-$ -N和 $\text{NH}_4^+$ -N的含量分别用水杨酸-硫酸溶液比色法<sup>[20]</sup>和靛酚蓝-分光光度法<sup>[21]</sup>测定。*NR*和*GS*活性分别用磺胺比色法<sup>[22]</sup>和 $\text{FeCl}_3$ 络合显色比色法<sup>[23]</sup>测定,*GOGAT*活性参照赵鹏等<sup>[24]</sup>的方法进行测定,*GDH*活性参照王小纯等<sup>[25]</sup>的方法进行测定。

1.3.2 叶片内源激素的测定 内源激素赤霉素( $\text{GA}_3$ )、生长素吲哚乙酸(*IAA*)、激动素(*KT*)和脱落酸(*ABA*)含量用高效液相色谱法测定,参考马宗桓等<sup>[26]</sup>的方法,用液氮将叶片快速研磨成粉末,称取2 g,用80%的色谱甲醇(超纯水配制)分3次洗入10 mL离心管中,在4℃冰箱中浸提24 h。8 000 r/min离心10 min后吸取2 mL上清液用旋转蒸发器在38℃下蒸干。测定前用1 mL甲醇复溶,过0.22  $\mu\text{m}$ 有机膜后进行内源激素含量测定。色谱条件:Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm×250.0 mm、5  $\mu\text{m}$ );流动相为甲醇和0.1%磷酸(1:9,体积比),流速为1.0 mL/min,检测波长为254 nm,柱温为30℃,进样量为10  $\mu\text{L}$ 。

1.3.3 果实主要品质指标的测定 采用随机抽样法,对100粒果实进行百粒重测定,果实可溶性固形物含量采用便携式数显折射计(日本Atago公司产品)测定,维生素C、单宁和总酚含量分别用碘量法<sup>[27]</sup>、Folin-Denis试剂法<sup>[28]</sup>和Folin-Ciocalteu试剂法<sup>[29]</sup>测定,可溶性糖含量用蒽酮-硫酸法测定<sup>[30]</sup>。

1.3.4 果实糖酸组分的测定 使用美国Waters公司生产的ACQUITY Arc高效液相色谱仪参照贺雅娟等<sup>[31]</sup>的方法进行果实蔗糖、葡萄糖和果糖含量的测定,色谱条件:XBridge BEH Amide 色谱柱(4.6 mm×150.0 mm、2.5  $\mu\text{m}$ ),柱温40℃,流动相

75%乙腈、0.2%乙胺以及24.8%超纯水,流速0.8 mL/min,进样量10  $\mu\text{L}$ ,检测波长为254 nm。

果实草酸、酒石酸、富马酸、柠檬酸、苹果酸含量测定参考李彦彪等<sup>[32]</sup>的方法,使用美国Waters公司生产的ACQUITY Arc高效液相色谱仪,色谱条件:亚特兰蒂斯T3柱(4.6 mm×150.0 mm、3  $\mu\text{m}$ ),流动相为20 mmol/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 溶液(用 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 将pH调至2.7),流速为0.50 mL/min,柱温为30℃,检测波长为210 nm,进样量为20  $\mu\text{L}$ 。

### 1.4 数据分析

用Excel 2016和Origin 2022进行数据处理及作图,用SPSS 23.0对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 Spd对雷司令葡萄叶片 $\text{NO}_3^-$ -N和 $\text{NH}_4^+$ -N含量的影响

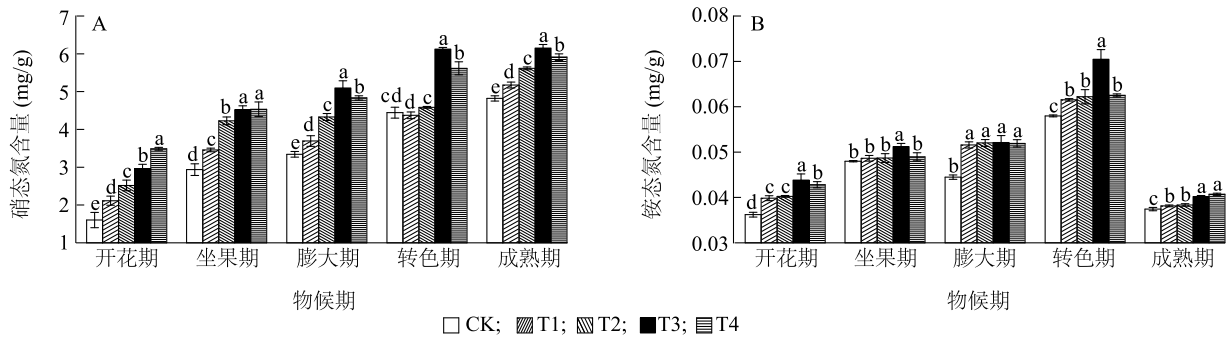
由图1A可知,随着葡萄叶片的生长发育,叶片中 $\text{NO}_3^-$ -N含量逐渐增加,与CK相比,除了转色期T1、T2处理,其他Spd处理后叶片中 $\text{NO}_3^-$ -N含量均提高,其中膨大期、转色期和成熟期T3处理 $\text{NO}_3^-$ -N含量均显著高于其他处理,且分别较CK提高了52.45%、37.84%和27.60%,开花期和坐果期T3处理 $\text{NO}_3^-$ -N含量显著高于CK,分别较CK提高84.95%和53.99%,各时期T3处理 $\text{NO}_3^-$ -N平均含量最高。由图1B可知,Spd处理后,开花期到成熟期葡萄叶片中 $\text{NH}_4^+$ -N含量呈先升后降的趋势。在转色期时各处理 $\text{NH}_4^+$ -N含量均达到峰值,其含量表现为 $\text{T3} > \text{T4} > \text{T2} > \text{T1} > \text{CK}$ ,开花期、坐果期和转色期T3处理 $\text{NH}_4^+$ -N含量均显著高于同时期其他处理。

### 2.2 Spd对雷司令葡萄叶片氮代谢关键酶活性的影响

如图2A所示,开花期至转色期,各处理*NR*活性迅速升高,CK处理在膨大期达到峰值后缓慢降低,Spd处理在转色期达到峰值后迅速降低。与CK处理相比,适宜浓度的Spd处理均提高了葡萄叶片*NR*活性,其中,开花期、坐果期、膨大期和成熟期T3处理*NR*活性均显著高于同时期其他处理,分别较CK提高了408.89%、92.9%、75.43%、70.61%,转色期T3处理和T4处理之间没有显著差异,但均显著高于其他处理,分别较CK提高了250.01%和248.38%。图2B显示,随着葡萄叶片的生长发育,*GS*活性呈逐渐增加的趋势,且各处理均在成熟期达到峰值。开花期

至成熟期 T3 处理均显著高于 CK, 分别较 CK 提高了 21.11%、184.20%、140.28%、27.62% 和 32.68%; 成熟期 T4 处理效果最优, T3 处理效果仅次于 T4, T3 和 T4 均显著高于 CK, 分别较 CK 提高了 32.68% 和 47.78%。从图 2C 和图 2D 可以看出, 随着葡萄叶片的成熟, Spd 处理后 *GOGAT* 和 *GDH* 活性均呈先升后降的趋势。CK 从开花期到坐果期 *GOGAT* 和 *GDH* 活性略有下降, 从坐果期到成熟期呈先升后降的趋势。

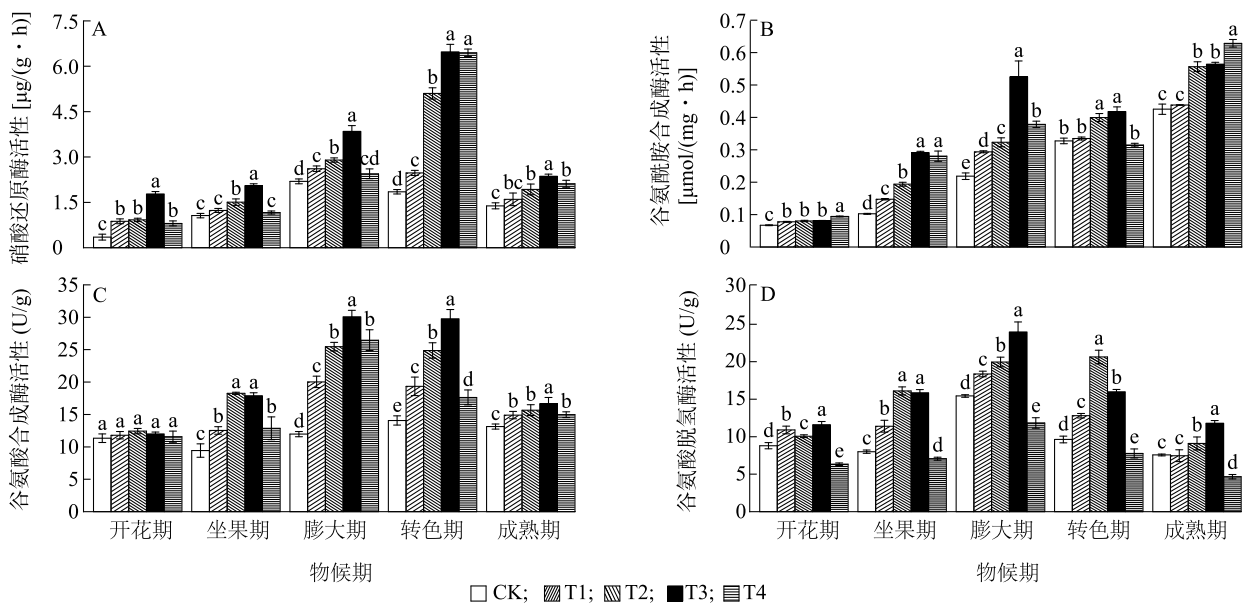
除开花期外, Spd 处理叶片 *GOGAT* 活性均显著高于 CK, 并在膨大期达到峰值; 膨大期、转色期和成熟期 T3 处理 *GOGAT* 活性显著高于同时期其他处理, 分别较同时期 CK 处理提高了 151.25%、111.61% 和 26.90%。与 CK 相比, 开花期至转色期 T1、T2 和 T3 处理 *GDH* 活性均有所提高, 但开花期至成熟期 T4 处理降低了 *GDH* 活性, 表明较高浓度的 Spd 可能会抑制叶片 *GDH* 活性。



CK: 清水对照; T1: 0.3 mmol/L Spd; T2: 0.6 mmol/L Spd; T3: 0.9 mmol/L Spd; T4: 1.2 mmol/L Spd。同一时期图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图1 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄叶片  $\text{NO}_3^-$ -N (A) 和  $\text{NH}_4^+$ -N (B) 含量的影响

Fig.1 Effects of exogenous spermidine (Spd) on the contents of  $\text{NO}_3^-$ -N (A) and  $\text{NH}_4^+$ -N (B) of Riesling grape leaves



CK、T1~T4 见图 1 注。同一时期图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图2 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄叶片硝酸还原酶 (A)、谷氨酰胺合成酶 (B)、谷氨酸合成酶 (C) 和谷氨酸脱氢酶 (D) 活性的影响

Fig.2 Effects of exogenous spermidine (Spd) on the activities of nitrate reductase (A), glutamine synthetase (B), glutamate synthase (C) and glutamate dehydrogenase (D) of Riesling grape leaves

### 2.3 Spd 对雷司令葡萄叶片内源激素的影响

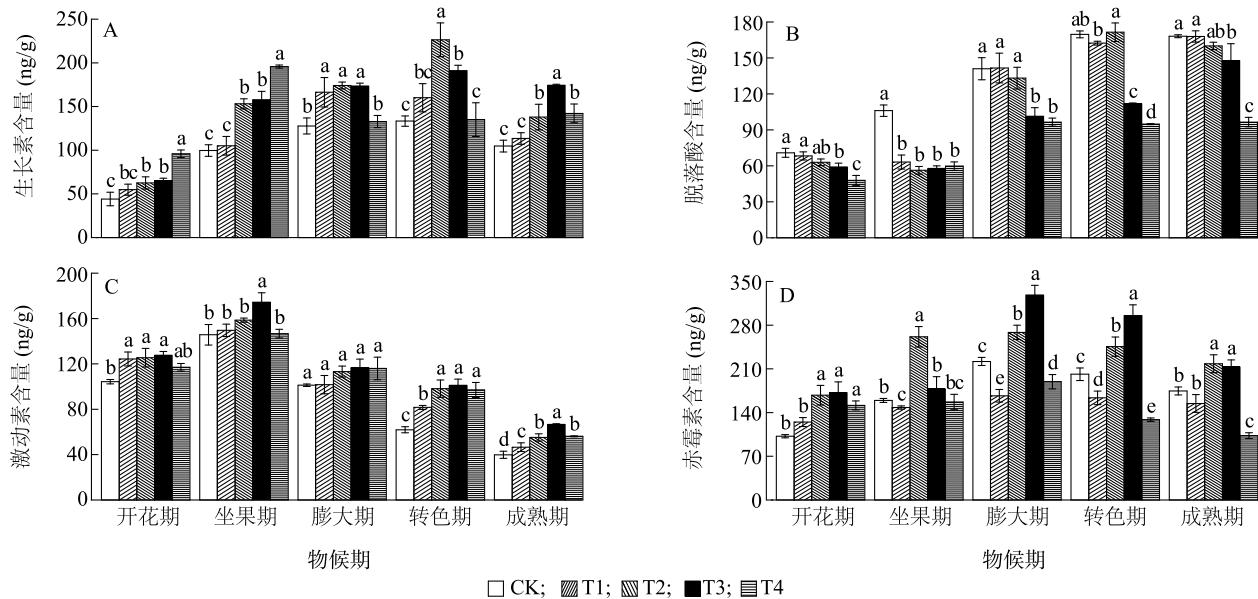
如图 3 所示, 随着叶片的生长发育, IAA、KT 和

$\text{GA}_3$  含量均呈先升后降的趋势, 叶片 ABA 含量呈先上升后趋于平稳的趋势。由图 3A 可见, 适宜浓度



的 Spd 处理增加了叶片中 IAA 含量。其中,开花期和坐果期 T4 处理 IAA 含量显著高于同时期其他处理,分别较 CK 提高了 117.23% 和 96.42%,成熟期 T3 处理 IAA 含量显著高于同时期其他处理。如图 3B 所示,适宜浓度的 Spd 处理可降低葡萄叶片中 ABA 的含量。其中,开花期、转色期和成熟期 T4 处理 ABA 含量均显著低于同时期其他处理。从图 3C

可以看出,各时期适宜浓度的 Spd 处理均增加了叶片中 KT 含量,其中,坐果期和成熟期 T3 处理 KT 含量显著高于同时期其他处理,分别较 CK 提高 19.70% 和 67.32%。图 3D 显示,适宜浓度的 Spd 处理能够提高叶片 GA<sub>3</sub> 含量,其中,膨大期和转色期 T3 处理叶片 GA<sub>3</sub> 含量显著高于其他处理,且分别较 CK 提高了 47.93% 和 46.70%。



CK、T1~T4 见图 1 注。同一时期图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 3 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄叶片生长素 (A)、脱落酸 (B)、激动素 (C) 和赤霉素 (D) 含量的影响

Fig.3 Effects of exogenous spermidine (Spd) on the contents of auxin (A), abscisic acid (B), kinetin (C) and gibberellin (D) in Riesling grape leaves

## 2.4 Spd 对雷司令葡萄果实品质的影响

2.4.1 Spd 对雷司令葡萄果实主要品质的影响 由表 1 可知,T3 处理可增加葡萄果实中可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 含量,其含量显著高于

CK, 分别较 CK 提高了 17.43%、16.24% 和 128.92%。与 CK 相比,Spd 处理的葡萄果实中单宁和总酚的含量及百粒重无显著差异。

表 1 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄果实主要品质指标的影响

Table 1 Effects of exogenous spermidine (Spd) on main quality indexes of Riesling grape berries

处理	可溶性固形物含量 (%)	可溶性糖含量 (mg/g)	维生素 C 含量 (mg/g)	总酚含量 (mg/g)	单宁含量 (mg/ml)	百粒重 (g)
CK	19.85±0.53b	101.01±9.61b	7.33±1.01b	1.01±0.21a	80.11±1.51ab	126.01±0.31a
T1	19.44±0.81b	111.41±6.71ab	7.63±1.33b	1.11±0.01a	74.01±2.81ab	127.71±3.61a
T2	20.53±1.07b	112.61±4.51ab	14.87±1.84a	1.11±0.01a	87.31±19.41ab	127.81±4.31a
T3	23.31±0.27a	117.41±6.11a	16.78±0.76a	1.11±0.11a	95.31±11.81a	128.41±1.31a
T4	17.32±1.71c	103.11±6.31b	8.15±1.65b	1.01±0.01a	70.71±11.31b	127.91±3.21a

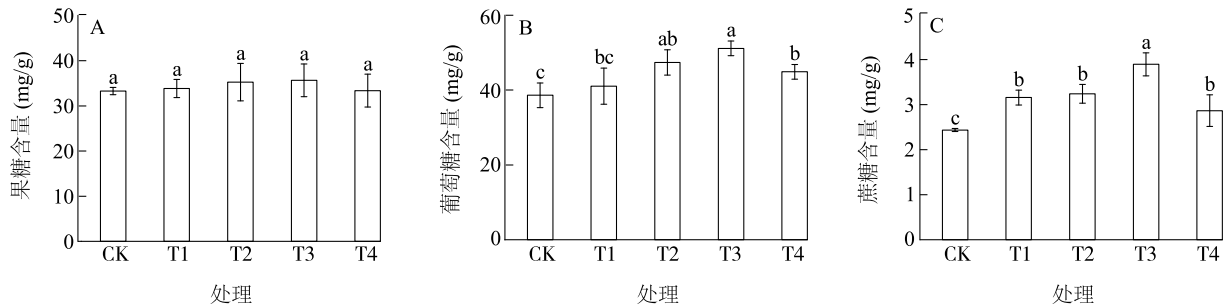
CK、T1~T4 见图 1 注。同列不同小写字母表示经 Duncan's 多重比较其差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.4.2 Spd 对雷司令葡萄果实糖组分含量的影响 由图 4 可看出,成熟期葡萄果实中糖组分含量表现

为葡萄糖>果糖>蔗糖,适宜浓度的 Spd 处理提高了果实葡萄糖、蔗糖含量,且随着 Spd 浓度的增加果实

中葡萄糖、蔗糖含量均呈先升后降趋势。其中, T3 处理葡萄糖和蔗糖含量均显著高于 CK, 与 CK 相

比, 葡萄糖和蔗糖含量分别提高 32.44% 和 59.91%。



CK、T1~T4 见图 1 注。图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

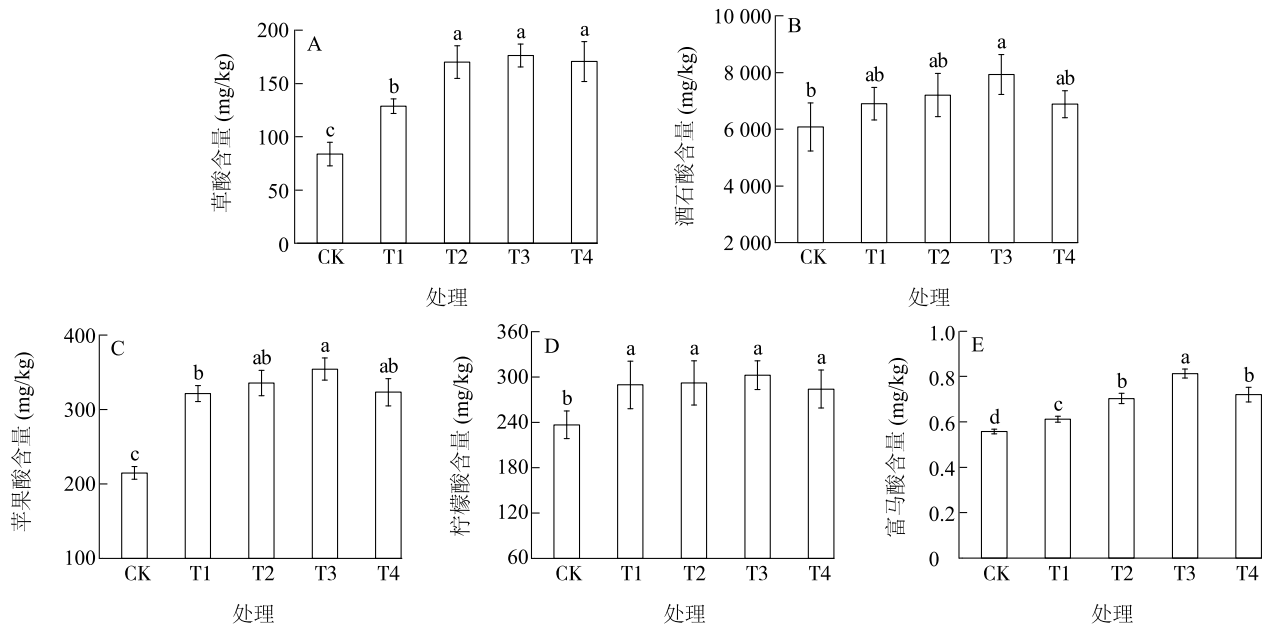
图 4 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄果实糖组分含量的影响

Fig.4 Effects of exogenous spermidine (Spd) on the content of sugar components in Riesling grape berries

#### 2.4.3 Spd 对雷司令葡萄果实酸组分含量的影响

从图 5 可以看出, 适宜浓度的 Spd 处理提高了雷司令葡萄果实有机酸含量。图 5A 显示, 草酸含量随着 Spd 浓度的增加呈先升后降的趋势, 其中 T2、T3 和 T4 处理均显著高于 CK 与 T1, 且分别较 CK 提高了 102.98%、110.37% 和 103.70%。由图 5B 可见, T3 处理酒石酸含量显著高于 CK, 较 CK 提

高了 30.40%。从图 5C 和图 5D 可看出, 与 CK 相比, 不同浓度 Spd 处理均显著提高了苹果酸和柠檬酸含量, 其中 T3 处理苹果酸和柠檬酸含量最高, 分别较 CK 提高了 64.97% 和 27.74%。图 5E 显示, T3 处理富马酸含量显著高于其他处理, 较 CK 提高了 45.64%。



CK、T1~T4 见图 1 注。图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 5 外源亚精胺 (Spd) 对雷司令葡萄果实酸组分含量的影响

Fig.5 Effects of exogenous spermidine (Spd) on the content of acid components in Riesling grape berries

#### 2.5 不同浓度 Spd 处理的雷司令葡萄果实品质的主成分分析

通过对雷司令葡萄果实的 14 项品质指标进行

主成分分析 (表 2), 共提取出 2 个特征值大于 1 的主成分, 且 2 个主成分的累计方差贡献率为 91.593%, 说明这 2 个主成分总体上可以反映出雷

司令葡萄果实品质指标的所有信息。最后,对不同浓度 Spd 处理的雷司令葡萄进行果实品质综合评价,从表 3 评价结果可见 T3 处理综合得分最高,由此可知 T3 处理葡萄果实品质较好(综合得分=方差贡献率1×FAC1+方差贡献率2×FAC2, FAC1 为各处理主成分 1 的得分; FAC2 为各处理主成分 2 的得分)。

表 2 不同浓度外源亚精胺 (Spd) 处理的雷司令葡萄果实品质的主成分方差分析

Table 2 Variance analysis of principal components of fruit quality of Riesling grapes treated with different concentrations of exogenous spermidine (Spd)

品种	主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
雷司令	1	10.715	76.532	76.532
	2	2.109	15.061	91.593

表 3 不同浓度外源亚精胺 (Spd) 处理的雷司令葡萄果实品质的主成分分析得分表

Table 3 Principal component analysis score table of fruit quality of Riesling grapes treated with different concentrations of exogenous spermidine (Spd)

处理	FAC1	FAC2	综合得分	排名
CK	-1.342	1.090	-0.863	5
T1	-0.188	-0.350	-0.197	3
T2	0.558	0.202	0.457	2
T3	1.317	0.578	1.095	1
T4	-0.344	-1.521	-0.492	4

CK、T1~T4 见图 1 注。FAC1:各处理主成分 1 的得分;FAC2:各处理主成分 2 的得分。

### 3 讨论

氮代谢在植物生长发育过程中起着重要作用,是植物体内重要的物质代谢之一<sup>[33]</sup>,而且氮的利用效率通常是作物产量的限制因素<sup>[34]</sup>。Zhang 等<sup>[35]</sup>研究表明,喷施 Spd 能够增加番茄  $\text{NO}_3^-$ -N 净流入量并提高了  $\text{NO}_3^-$ -N 含量及氮代谢关键酶活性。本试验结果显示,与 CK 相比除了转色期 T1、T2 处理,其余浓度 Spd 处理后番茄叶片中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量更高,表明 Spd 处理能通过增加  $\text{NO}_3^-$ -N 净流入量,使叶片对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收能力增强。*NR* 是  $\text{NO}_3^-$ -N 同化的第一个酶,也是限速酶,通常作为植物对无机氮利用程

度高低的重要指标之一,*NR* 活性越高,氮代谢越旺盛<sup>[36]</sup>。从本试验结果可知,葡萄叶片 *NR* 活性在适宜浓度 Spd 处理后显著提高,这与李丽杰<sup>[37]</sup>的研究结果相似。 $\text{NH}_4^+$ -N 通过 *GS*/*GOGAT* 循环途径和/或 *GDH* 途径合成谷氨酸和/或谷氨酰胺,谷氨酸和谷氨酰胺再进一步形成其他氨基酸或酰胺以供植物体利用<sup>[38]</sup>,*GS*、*GOGAT* 和 *GDH* 作为  $\text{NH}_4^+$ -N 同化的关键调节酶,在氮素同化过程中扮演重要角色<sup>[39]</sup>。Dong 等<sup>[14]</sup>的研究结果表明,Spd 可以通过增强氨同化酶 *GS*、*GOGAT* 和 *GDH* 活性以及转氨酶 *GOT* 和 *GPT* 活性来促进玉米体内过量氨的同化,有效缓解氨毒害和氮代谢紊乱。本试验结果也表明,适宜浓度的外源 Spd 处理提高了雷司令葡萄叶片 *GS*、*GOGAT* 和 *GDH* 活性,从而提高了  $\text{NH}_4^+$ -N 的同化速率。Zhang 等<sup>[35]</sup>的研究结果表明,叶面喷施 Spd 可加强 *GS*/*GOGAT* 循环途径(或 *GDH* 途径)和转氨通路的协同作用,从而降低番茄体内  $\text{NH}_4^+$ -N 的积累量。综上所述,叶面喷施适宜浓度的 Spd 可以提高植物氮代谢能力,进而增强其抗逆性,促进生长发育。

植物内源激素是一种天然存在于植物体内的能够调控植物生命活动的有机物质,与植物生长发育中代谢、调节以及控制都有密切的关系<sup>[40]</sup>。植物体内某一生理过程往往不是一种激素单独作用,而是多种激素协同作用的结果。研究表明 IAA、 $\text{GA}_3$ 、KT 和 ABA 等内源激素之间的协同调控可促进果实生长发育及同化产物积累,增大葡萄纵横径,提高单粒重<sup>[41]</sup>,从而改善果实品质。本试验结果显示,与 CK 相比,适宜浓度的 Spd 处理能够增加雷司令葡萄叶片 IAA、KT 和  $\text{GA}_3$  含量,并使叶片 ABA 含量下降。有文献报道,IAA、CTK 和 GA 能够促进细胞分裂、延缓器官衰老<sup>[42]</sup>。提高葡萄叶片中 IAA、玉米素核苷(ZR)和  $\text{GA}_3$  的含量,降低 ABA 的含量,可以调节葡萄叶片的生长发育,延缓叶片衰老<sup>[43]</sup>。因此,Spd 可能通过调节内源激素的水平来延缓叶片的衰老,进而改善农作物的产量与品质,这与杜兴良<sup>[44]</sup>的研究结果一致。

可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 含量作为葡萄重要品质指标,在一定范围内增加其含量对酿酒葡萄品质改善也有着重要意义。它们是葡萄果实口感的主要来源。许多研究表明,适宜浓度的 Spd 处理能改善果实品质<sup>[17,45]</sup>。本试验结果表明,适宜浓度的 Spd 处理均不同程度提高了雷司令葡萄

果实可溶性固形物、维生素 C 及可溶性糖含量。周江等<sup>[46]</sup>和朱新卫<sup>[47]</sup>的研究结果也表明,通过 Spd 处理能显著提高无核白葡萄和杏果实成熟过程中可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 含量。单宁和总酚作为葡萄中的次生代谢产物也是衡量葡萄品质的重要指标。单宁是葡萄酒的重要组成成分,它不仅是葡萄的主要成分,也是形成葡萄色泽、涩味和风味的主要因素,因此,单宁的含量在很大程度上决定着葡萄酒的稳定性<sup>[48]</sup>。酚类物质是影响葡萄果实发育和品质的重要物质,同时也是影响葡萄酒风味的另一个重要指标<sup>[49]</sup>。本试验结果显示,不同浓度的 Spd 处理后对雷司令葡萄果实中单宁和总酚含量影响不显著,这与 Aman 等<sup>[50]</sup>和王舒等<sup>[51]</sup>的研究结果不一致,外源 Spd 可提高芒果和樱桃果实总酚和单宁含量。在酿酒葡萄中,糖和有机酸含量对葡萄酒质量有很大的影响,研究结果表明,酿酒葡萄中的糖类大部分转化为酒精,约 10% 转化为脂类和酚酸类物质,蔗糖、葡萄糖及果糖含量的提高可以增加葡萄酒的风味;在葡萄酒中有机酸的种类和含量的改变,不但会影响葡萄酒的口感、色泽和稳定性,还能调节酸碱平衡<sup>[52]</sup>,张扬等<sup>[53]</sup>研究发现酒石酸等有机酸含量的提高可以增加葡萄酒的色泽和香气。本试验中应用 0.9 mmol/L Spd 处理后,雷司令葡萄果实中蔗糖、葡萄糖含量均高于对照,酒石酸、苹果酸、柠檬酸等有机酸含量也较对照显著提高。因此,适宜浓度的外源 Spd 处理可以提高酿酒葡萄果实中糖和有机酸含量。

综上所述,应用适宜浓度的外源 Spd 处理能调节雷司令葡萄叶片内源激素水平,增强葡萄叶片氮代谢能力,提高果实品质,通过对果实主要品质进行主成分分析并计算综合得分,结果显示 T3 处理得分最高,表明 0.9 mmol/L Spd 处理对提高雷司令葡萄果实品质效果最佳。

## 4 结 论

0.9 mmol/L Spd 处理能够显著提高酿酒葡萄氮代谢能力,增加叶片 KT、IAA、GA<sub>3</sub> 含量,降低 ABA 含量,提高葡萄果实品质,对酿酒葡萄的生产具有指导意义。

### 参考文献:

[1] LAURA R, ALESSIO A, GVANTSA S, et al. Microclimate of grape

bunch and sunburn of white grape berries: effect on wine quality [J]. *Foods*, 2023, 12(3): 621.

- [2] GIZELLA J, BARNA Á S, SZABINA S, et al. Delay in the ripening of wine grapes: effects of specific phytotechnical methods on harvest parameters [J]. *Agronomy*, 2023, 13(8): 1963.
- [3] 刘浩然,汪俏梅. 脱落酸对番茄部分果实性状和营养品质的影响 [J]. *核农学报*, 2020, 34(12): 2858-2864.
- [4] 郭淑萍,杨顺林,杨玉皎,等. GA<sub>3</sub> 和 CPPU 对无核翠宝葡萄果实品质的影响 [J]. *果树学报*, 2022, 39(10): 1834-1844.
- [5] 孙嘉茂,崔全石,王语晴,等. 苹果采前喷施 EBR 与 MeJA 对采后品质的影响 [J]. *园艺学报*, 2022, 49(10): 2236-2248.
- [6] 程大伟,何莎莎,谷世超,等. GA<sub>3</sub> 和 TDZ 对‘红艳无核’葡萄果实品质的影响 [J]. *果树学报*, 2021, 38(2): 212-221.
- [7] 曹雄军,谢太理,张 瑛,等. 植物生长调节剂对巨玫瑰葡萄夏果品质的影响 [J]. *南方农业学报*, 2013, 44(12): 2049-2052.
- [8] 向丽霞,胡立盼,孟 森,等. 叶面喷施亚精胺对高温胁迫下番茄叶绿素合成代谢的影响 [J]. *西北植物学报*, 2020, 40(5): 846-851.
- [9] MEHER, SHIVAKRISHNA P, ASHOK REDDY K. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2018, 25(2): 285-289.
- [10] 林必博,王 锋,周济铭. 亚精胺提高植物抗旱性作用机理的研究进展 [J]. *贵州农业科学*, 2020, 48(9): 6-10.
- [11] ASHRAF M, HARRIS P J C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants [J]. *Plant Science*, 2004, 166(1): 3-16.
- [12] 余琦隆,韩莹琰,郝敬虹,等. 外源亚精胺对高温胁迫下生菜氮代谢的影响 [J]. *中国农业科学*, 2022, 55(7): 1399-1410.
- [13] SHAN X, ZHOU H, SANG T, et al. Effects of exogenous spermidine on carbon and nitrogen metabolism in tomato seedlings under high temperature [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2016, 141(4): 381-388.
- [14] DONG L, LI L J, MENG Y, et al. Exogenous spermidine optimizes nitrogen metabolism and improves maize yield under drought stress conditions [J]. *Agriculture*, 2022, 12(8): 1270.
- [15] 李 秀,巩 彪,徐 坤. 外源亚精胺对高温胁迫下生姜叶片内源激素及叶绿体超微结构的影响 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(1): 120-129.
- [16] CHI Z H, WANG Y Q, DENG Q X, et al. Endogenous phytohormones and the expression of flowering genes synergistically induce flowering in loquat [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19(9): 2247-2256.
- [17] 朱新卫,张 辉,车凤斌,等. 亚精胺处理对小白杏货架期品质的影响 [J]. *新疆农业大学学报*, 2013, 36(3): 241-244.
- [18] 苏杨映兰. 多胺与植物生长调节剂对梨果实和花芽发育的影响 [D]. 扬州:扬州大学, 2015.
- [19] 汪开拓,雷长毅,韦盼盼,等. 亚精胺处理对桃果实贮藏品质及内源乙烯和多胺代谢的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(10): 92-99, 117.



- [20] 黎 冰. 氮素形态对赤霞珠葡萄氮代谢和蔗糖代谢调控机制的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [21] 梁剑光,朱 玲,徐正军. 靛酚蓝-分光光度法测定发酵液中氨态氮含量研究[J]. 食品与发酵工业,2006(9):134-137.
- [22] 李 慧,丛 郁,常有宏,等. 豆梨 NADH 型硝酸还原酶基因克隆、表达及酶活性分析[J]. 果树学报,2014,31(5):760-768.
- [23] 马宗恒,陈佰鸿,毛 娟,等. 施氮时期对酿酒葡萄叶片氮代谢酶及相关基因表达的影响[J]. 西北植物学报,2018,38(2):298-306.
- [24] 赵 鹏,何建国,熊淑萍,等. 氮素形态对专用小麦旗叶酶活性及籽粒蛋白质和产量的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(3):29-34.
- [25] 王小纯,熊淑萍,马新明,等. 不同形态氮素对专用型小麦花后氮代谢关键酶活性及籽粒蛋白质含量的影响[J]. 生态学报,2005(4):802-807.
- [26] 马宗恒,毛 娟,魏居灿,等. 施氮时期对葡萄叶片光合生理及内源激素水平的影响[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(5):86-93.
- [27] 王玉倩,张 娜,黄建全,等. 生长调节剂对‘天工墨玉’葡萄果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2021(4):58-62.
- [28] 耿娜娜,李学英,顾 丁,等. Folin-Denis 分光光度法测定五倍子中单宁酸的含量[J]. 安徽农业科学,2013,41(29):11848-11850,11915.
- [29] 王洪丽,张 戢,韩 洋,等. Folin-Ciocalteu 比色法测定未成熟黄瓜中的总酚含量[J]. 食品工业,2015,36(9):262-266.
- [30] 刘晓涵,陈永刚,林 励,等. 萘酚硫酸法与苯酚硫酸法测定枸杞子中多糖含量的比较[J]. 食品科技,2009,34(9):270-272.
- [31] 贺雅娟,马宗恒,韦霞霞,等. 黄土高原旱塬区不同品种苹果果实糖及有机酸含量比较分析[J]. 食品工业科技,2021,42(10):248-254.
- [32] 李彦彪,马维峰,贾 进,等. 河西走廊不同产地‘赤霞珠’酿酒葡萄果实品质评价[J]. 西北植物学报,2021,41(5):817-827.
- [33] 张一龙,李 雯,喻启坤,等. 狗牙根叶与根氮代谢对不同干旱胁迫的响应机制[J]. 草业学报,2023,32(7):175-187.
- [34] GU J F, LI Z K, MAO Y Q, et al. Roles of nitrogen and cytokinin signals in root and shoot communications in maximizing of plant productivity and their agronomic applications[J]. Plant Science, 2018,274:320-331.
- [35] ZHANG Y, HU X H, SHI Y, et al. Beneficial role of exogenous spermidine on nitrogen metabolism in tomato seedlings exposed to saline-alkaline stress[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2013,138(1):38-49.
- [36] 熊淑萍,吴克远,王小纯,等. 不同氮效率小麦品种苗期根系氮代谢及其吸收能力差异分析[J]. 麦类作物学报,2016,36(3):325-331.
- [37] 李丽杰. 外源亚精胺(Spd)对玉米干旱胁迫的缓解效应及调控机理[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [38] 王新磊,吕新芳. 氮代谢参与植物逆境抵抗的作用机理研究进展[J]. 广西植物,2020,40(4):583-591.
- [39] 白志刚,张均华,黄 洁,等. 氮肥运筹对水稻氮代谢及稻田土壤氮素迁移转化的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(11):3440-3448.
- [40] 樊丁宇,赵婧彤,阿布都卡尤木·阿依麦提,等. 喷施赤霉素对骏枣叶片发育及产量品质的影响[J]. 西北农业学报,2021,30(8):1199-1209.
- [41] LI J J, LIU B Y, LI X Y, et al. Exogenous abscisic acid mediates berry quality improvement by altered endogenous plant hormones level in ‘Ruiduhongyu’ grapevine[J]. Frontiers in Plant Science, 2021,12:739964.
- [42] 朱 燕,魏 佳,许自龙,等. 促生长植物激素对桑树叶衰老过程生理生化指标的影响[J]. 浙江农业学报,2023,35(6):1278-1285.
- [43] 王海波,王 帅,王孝娣,等. 6-BA 及氨基酸硒对葡萄叶片衰老的影响[J]. 果树学报,2017,34(11):1426-1434.
- [44] 杜兴良. 外源亚精胺对烤烟成熟期上部叶衰老特性及品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2021.
- [45] 李淑红,王 磊,史文婷,等. 不同营养液浓度对‘巨峰’葡萄生长发育和果实品质的影响[J]. 西北农业学报,2018,27(3):394-401.
- [46] 周 江,张 辉,吴 斌,等. 亚精胺处理对无核白葡萄贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2015,15(4):17-20.
- [47] 朱新卫. 精胺、亚精胺对杏果采后品质及生理效应的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
- [48] 撒晓梅,李 明. 不同施肥处理对酿酒葡萄浆果品质的影响[J]. 北方园艺,2023(6):26-33.
- [49] 魏烈权,卢世雄,马宗恒,等. 基于主成分分析法的嘉峪关 10 种酿酒葡萄品种品质评价[J]. 甘肃农业大学学报,2020,55(3):90-96.
- [50] AMAN U M, ZORA S. Improved fruit retention, yield and fruit quality in mango with exogenous application of polyamines[J]. Scientia Horticulturae, 2006,110(2):167-174.
- [51] 王 舒,董庆苓,胡 潇,等. 樱桃品种对樱桃酒品质及生物胺含量的影响[J]. 食品与发酵工业,2017,43(8):81-85.
- [52] 曹炜玉,路文鹏,舒 楠,等. 葡萄酒风味物质及其影响因素研究进展[J]. 中国酿造,2022,41(5):1-7.
- [53] 张 扬,彭晶晶,李坤一,等. 发酵前添加有机酸对西拉红葡萄酒颜色和感官质量的影响[J]. 食品与发酵工业,2023,49(7):90-98.

(责任编辑:黄克玲)