

多巴胺对甘肃河西走廊阳光玫瑰葡萄光合性能及品质的影响¹

戴子博, 杨江山*, 李斗, 陈亚娟, 邵璋, 王宇航

(甘肃农业大学园艺学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: 【目的】研究多巴胺 (Dopamine) 对葡萄光合性能及品质的影响机制, 筛选出生产上适宜的调控浓度和方法。【方法】以设施延后栽培阳光玫瑰葡萄植株为试材, 通过 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (T1)、 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (T2)、 $150 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (T3)、 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (T4) 多巴胺喷施叶片, 以清水为对照 (CK)。分别于初花期、幼果期 (花后 30 d)、果实膨大期 (花后 60 d)、转色期 (花后 90 d) 进行处理。测定了不同时期叶片的光合性能和成熟果实品质相关指标。【结果】多巴胺处理能够改善设施延后栽培阳光玫瑰葡萄叶片质量, 增强其光合性能, 以 T2 处理效果最为显著, T2 处理下叶片厚度、栅栏组织、海绵组织、上表皮、下表皮厚度及栅海比不同时期平均值较 CK 分别增加了 8.72%、13.68%、8.62%、23.18%、12.44% 和 3.92%。多巴胺处理在不同时期均可以提高叶片 Chl a、Chl b、Car、Chl t 含量和 P_n , 其中 T2 处理不同时期平均值较 CK 分别增加了 48.37%、61.26%、111.72%、53.44% 和 16.97%。多巴胺处理均提升了葡萄果实外观品质、可溶性固形物、固酸比、可溶性糖、维生素 C、总酚、花青素、总类黄酮、糖组分 (果糖、葡萄糖和蔗糖) 含量, 降低了果实可滴定酸和单宁含量, 其中 T2 处理不同时期平均值较 CK 分别降低了 21.83% 和 26.35%。【结论】与 CK 相比, 喷施多巴胺可以改善阳光玫瑰葡萄叶片质量, 提升其光合性能, 进而提高葡萄果实品质, 通过对葡萄果实品质综合评价得出以 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 多巴胺处理效果最优。

关键词: 阳光玫瑰葡萄; 多巴胺; 光合特性; 品质

中图分类号: S663.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)11-0001-08

The impact of dopamine on the photosynthetic performance and quality of Shine Muscat grapes in the hexi corridor of gansu province

DAI Zibo, YANG Jiangshan*, LI Dou, CHEN Yajuan, SHAO Zhang, WANG Yuhang

(¹College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: 【Objective】The hexi corridor region in gansu province experiences high temperatures in summer, cold and cool conditions in autumn and winter, scarce rainfall, barren soil, and varying degrees of salinization, which can lead to premature yellowing and senescence of grape leaves. This results in weakened photosynthesis, reduced assimilates, insufficient nutrient storage in the plant, and often leads to insufficient fruit ripening and a decrease in yield, severely restricting the sustainable development of delayed cultivation of grapes in facilities. Dopamine has physiological functions such as enhancing the photosynthetic capacity of crops, promoting plant growth and development, and improving fruit quality. To study the mechanism of dopamine's

收稿日期: 2024-05-28 接受日期: 2024-09-19

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: 戴子博, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为果树栽培技术与生理。Tel: 17797677271, E-mail:

1715740386@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13993124338, E-mail: yangjs@gsau.edu.cn

impact on the photosynthetic performance and quality of grapes, and to screen for suitable control concentrations and methods for production. **【 Methods 】** The experiment used Shine Muscat grapes grown in a delayed facility cultivation as the material, setting four exogenous dopamine concentrations: 50 μM (T1), 100 μM (T2), 150 μM (T3), and 200 μM (T4), with water as the control (CK). The whole plant was sprayed at different stages: the initial flowering stage, young fruit stage (30 days after flowering), fruit expansion stage (60 days after flowering), and color change stage (90 days after flowering). Photosynthetic performance of the leaves at different stages and fruit quality indicators at maturity were measured. **【 Results 】** The results showed: (1) Dopamine treatment could enhance the leaf quality of Shine Muscat grapes cultivated in delayed facilities, with the treatment at T2 being the most pronounced. Under the T2 treatment, the leaf thickness, palisade tissue, spongy tissue, upper epidermis, lower epidermis thickness, and palisade to spongy tissue ratio at different stages increased by 8.72%, 13.68%, 8.62%, 23.18%, 12.44%, and 3.92% respectively, compared to the control (CK). (2) Dopamine treatment could improve the photosynthetic performance of grape leaves. Specifically, the average content of Chl a at different stages increased by 24.42%, 48.37%, 42.56%, and 19.08% with treatments T1 to T4 respectively, compared to CK; the average content of Chl b increased by 30.67%, 61.26%, 48.17%, and 16.34% respectively; the average content of Car increased by 60.76%, 111.72%, 99.30%, and 31.37% respectively; the average content of Chl t increased by 26.88%, 53.44%, 44.77%, and 18.00% respectively; the average net photosynthetic rate (P_n) increased by 7.09%, 16.97%, 12.69%, and 7.86% respectively; the average stomatal conductance (G_s) increased by 5.17%, 18.28%, 14.14%, and 5.17% respectively; the average intercellular CO_2 concentration (C_i) decreased by 4.55%, 6.27%, 5.86%, and 2.48% respectively; the average transpiration rate (T_r) increased by 3.98%, 8.17%, 7.45%, and 4.95% respectively; and the average water use efficiency (WUE) increased by 3.01%, 7.83%, 4.87%, and 2.92% respectively. All the above indicators were optimal with the T2 treatment, significantly higher than the control ($P < 0.05$). (3) Dopamine treatment improved the appearance quality of grape fruits, soluble solids, sugar-acid ratio, soluble sugars, Vc, total phenols, anthocyanins, total flavonoids, and sugar components (fructose, glucose, and sucrose) content, while reducing the content of titratable acidity and tannins in the fruits, with the T2 treatment showing the most significant effect and the T3 treatment being the next best. Specifically, the single fruit weight increased by 26.32%, 16.56%, 7.54%, and 3.53% with treatments T1 to T4 respectively, compared to the control (CK); fruit firmness increased by 9.27%, 33.66%, 19.51%, and 1.46% respectively; the content of soluble solids increased by 10.64%, 13.83%, 11.57%, and 8.38% respectively; the content of titratable acidity decreased by 6.55%, 10.48%, 11.79%, and 21.83% respectively; the content of soluble sugars increased by 3.32%, 4.92%, 3.36%, and 3.12% respectively; the content of total phenols increased by 40.82%, 20.86%, 12.32%, and 6.56% respectively; the content of tannins decreased by 19.78%, 26.35%, 20.13%, and 18.45% respectively; the content of fructose increased by 1.78%, 7.92%, 6.65%, and 0.06% respectively; the content of glucose increased by 27.17%, 23.64%, 21.00%, and 20.18%

respectively. **【Conclusion】** Compared to the control (CK), dopamine treatment can improve the leaf quality of Shine Muscat grapes cultivated in delayed facilities and enhance their photosynthetic performance, thereby improving the fruit quality. Treatment with 100 μM dopamine can significantly increase leaf thickness, palisade and spongy tissue thickness, upper and lower epidermis thickness, and the palisade to spongy tissue ratio, and improve the content of photosynthetic pigments in the leaves, thereby enhancing the utilization rate of chlorophyll light energy and the net photosynthetic rate. After dopamine treatment, the appearance quality of grape fruits, soluble solids, sugar-acid ratio, soluble sugars, vitamin C (Vc), total phenols, anthocyanins, total flavonoids, fructose, glucose, and sucrose content were increased, while the content of titratable acidity and tannins in the fruits were reduced. Through principal component analysis to comprehensively evaluate the impact of various indicators on the fruit quality of Shine Muscat grapes, it was concluded that the treatment with 100 μM dopamine was the most effective.

Key words: Shine Muscat grapes; Dopamine; Photosynthetic characteristics; Fruit quality

植物的光合性能对其生长发育、产量及品质的形成起着至关重要的作用，而提高植物的光合性能则是提升植物产量与品质的重要途径^[1]。光合色素是植物进行光合的基石，与碳水化合物的合成有着紧密的联系，而叶绿素在某种程度上能够反映其对光能的利用率及生产有机物的能力^[2-3]。为提高植物的光合性能，常采用合理的水肥、修剪、栽培密度、架形、病虫害防治、激素利用和环境因子调控等措施，创造光合作用充分的营养条件和环境条件，提高植物叶片质量和叶绿素含量，进而提高植物的产量和品质。

多巴胺（Dopamine）是一种以酪氨酸为起始物质生成的儿茶酚胺类神经递质^[4]，在植物中可以调控细胞内的各种生命活动、参与活性氧（ROS）的清除、与植物内源激素互作等，从而影响植株的生长和发育^[5]。研究表明，多巴胺对植物的光合系统具有保护和促进作用，多巴胺能够通过调控植物叶片气孔导度来提高其对 CO_2 的利用效率，并维持高浓度的叶绿素^[6]；多巴胺显著减轻了盐胁迫对植物净光合速率的抑制作用，使植物能够保持正常的生长光合能力^[7]；在整个生育期内，多巴胺均提高了苹果叶片的叶绿素含量和百叶重^[8]；多巴胺还可提高植株的光合效率，并能明显抑制叶绿素降解相关基因的表达，进而有效增加苹果叶片的叶绿素含量^[9]。

品质的优劣直接影响着植物的经济效益，果实的品质决定着消费者的选择倾向，消费者一般喜欢选择果实饱满、酸甜适度、营养成分含量高的水果。多巴胺在果树、瓜类、马铃薯、菌根植物等植物的品质改善方面有着广泛应用。研究表明，多巴胺能够提高苹果的可溶性固形物和花青苷含量，促进果实对营养元素的吸收^[10]；多巴胺能够促进苹果果柄的伸长、果实的生长和着色，并提高了果形指数和单果质量，进而改善了苹果的外观品质^[8]；100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的多巴胺处理增加了西瓜果实的纵横径和单瓜质量，显著降低了西瓜果实有机酸含量、增加了蛋白质含量，从而改善了果实品质^[11]；在马铃薯中，儿茶酚胺类物质（主要包括多巴胺、去甲肾上腺素、肾上腺素）含量的增加会引起果糖、葡萄糖和蔗糖含量的增加，淀粉含量则有所下降^[12]；在 4 $^{\circ}\text{C}$ 的贮藏环境下，加快了马铃薯的呼吸速率与淀粉降

解速率，提高了可溶性糖的含量，但多巴胺含量却呈明显下降趋势，这进一步证实了儿茶酚胺对植物体内糖代谢的调控作用^[13]；多巴胺还能促进盐胁迫下菌根植物的蔗糖磷酸合酶、细胞壁转化酶和中性转化酶等基因的表达，进而增加其体内果糖和葡萄糖的含量^[14]。

但有关多巴胺对葡萄光合性能和果实品质上的研究却鲜有报道，因此研究其对葡萄植株光合特性及果实品质的调控效应，从而指导生产实践具有重大意义。甘肃河西走廊地区夏季高温、秋冬冷凉，干旱少雨，土壤贫瘠，并伴有不同程度的盐碱化，容易造成葡萄叶片过早黄化衰老，光合作用减弱使得同化物减少，树体养分贮藏不足，常造成果实成熟不充分，产量下降等问题，从而严重制约着葡萄产业的可持续发展。笔者在本研究中主要以设施延后栽培阳光玫瑰葡萄为试材，通过多巴胺处理，研究其对葡萄叶片光合色素含量、光合参数、叶绿素荧光参数以及果实品质相关指标的影响，探究多巴胺生理作用机制和适宜处理方法，为葡萄优质生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料和试验地概况

试验材料：试验以7年生，自根砧木阳光玫瑰葡萄为试材，挑选生长良好、树势一致且无病害植株，对葡萄进行不同浓度多巴胺处理，于2023年4—11月在武威市凉州区林业技术中心葡萄示范基地进行，葡萄行株距3.5 m×2.5 m，T型架，东西走向。

试验地概况：试验地（N 37°23'~38°12'，E 101°59'~103°23'）海拔1500~2000 m，为温带大陆性干旱气候，其特点有：四季分明、光照充足、降水量少、昼夜温差大等。年均降雨量约100 mm，蒸发量约2020 mm，年日照时数约2 873.4 h，昼夜温差约7.9 °C。

1.2 试验设计

试验以设施延后栽培阳光玫瑰葡萄为试材，通过50 μmol·L⁻¹（T1）、100 μmol·L⁻¹（T2）、150 μmol·L⁻¹（T3）、200 μmol·L⁻¹（T4）多巴胺喷施叶面处理，以清水为对照（CK）。分别于初花期、幼果期（花后30 d）、果实膨大期（花后60 d）、转色期（花后90 d）进行处理，以叶片开始滴液为准，每个处理设3个重复，每个重复5株，且在坐果后对树势一致的果穗挂牌标记。

叶片在初花期、幼果期、果实膨大期、转色期及成熟期（花后120 d）5个时期取样（前4个时期在多巴胺处理后的第5天取样），果实只在成熟期取样。取样具体时间为上午8:00—9:00葡萄园可见光条件下进行。每棵树采集功能叶片及果实，叶片放于冰盒中带回实验室，用液氮迅速冷冻后置于-80 °C超低温冰箱中，以备于后续进行各项指标测定。

供试药剂为多巴胺盐酸盐，为4-(2-氨基乙基)-1, 2-苯二酚盐酸盐，按干燥品计算，含C₈H₁₁NO₂·HCl不少于98.0%，常温保存，呈白色结晶性粉末状，易溶于水，对热、光和空气敏感。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 叶片光合特性指标的测定

石蜡切片的制作与观察：在各物候期采样时间时，每个处理挑选 3 株树势良好的植株取健康无病虫害的功能叶片，用剪刀剪取 0.3 cm×0.5 cm 的小块，迅速放入 FAA 固定液中，抽气待叶片浸入 FAA 固定液中备用，之后经脱水、透明、浸蜡、包埋、切片、脱蜡、染色（用甲苯胺蓝母液 1% 稀释至 0.1% 染色）后，用中性树胶封片，烘干后待上机镜检。将制作好的石蜡切片置于正倒置一体显微镜下观察并测量其叶片厚度、栅栏和海绵组织厚度以及上下表皮厚度，所测数据均为 10 个视野下的平均值。

光合色素含量测定：取 0.1 g 新鲜叶片，加入 10 mL 80% 丙酮，于黑暗条件下萃取过夜，待叶片变白后用紫外分光光度计（岛津 UV-1800）在 470、645 和 663 nm 波长下测定吸光值，用于计算 Chl a、Chl b、Chl t 和 Car 含量。

光和参数测定：参照张振兴等^[15]的方法并稍作调整，采用便携式光合仪（Yaxin-1105）测定各处理下功能叶片光合参数： P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 。

叶绿素荧光参数测定：参照胡琳莉^[16]的方法并稍作调整。使用调制叶绿素荧光成像仪 IMAGIN-PAM 进行测定。取功能叶片剪掉叶柄，经 30 min 暗适应后，将叶片放平固定在测定台上测量参数： F_v/F_m 、 $Y(II)$ 、 qP 、 qN 、 $Y(NPQ)$ 、 ETR 。

1.3.2 果实品质相关指标的测定

果实外观品质测定：单粒质量使用电子天平称量。果实纵横径使用数显电子游标卡尺测量。果实硬度使用 GY-4 数显水果硬度计测定。

果实内在品质测定：可溶性固形物含量使用手持 PAL-1 数显折射仪测定。可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法^[17]测定。固酸比用可溶性固形物含量与可滴定酸含量之比表示。可溶性总糖含量采用蒽酮-硫酸法^[18]测定。维生素 C 含量采用 2, 6-二氯靛酚滴定法^[19]测定。

酚类物质含量测定：总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 试剂法^[20]测定。单宁含量采用 Folin-Denis 试剂法^[21]测定。花青素含量采用 pH 示差法^[22]测定。总类黄酮含量采用氯化铝比色法^[23]测定。

糖组分及含量测定：使用高效液相色谱仪（美国 Waters Acquity Arc）进行测定，具体测定方法参照贺雅娟等^[24]和李彦彪等^[25]的方法。

1.4 数据处理

所有试验数据采用 Excel 2019 进行整理，SPSS 25.0 进行统计学处理和单因素方差分析，判断其差异显著性（ $p < 0.05$ ），绘图软件使用 Origin 2022。

2 结果与分析

2.1 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合特性的影响

2.1.1 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片组织结构的影响

从表 1 中可以看出：在初花期，多巴胺处理下各指标较 CK 均无显著性差异。在幼果期，叶片厚度只有 T3 处理较 CK 差异显著（ $p < 0.05$ ），较 CK 提高了 8.40%；海绵组织厚度 T2 和 T3 处理显著高于 CK（ $p < 0.05$ ），较 CK 分别提高了 13.13% 和 14.16%。在膨大期，

多巴胺处理下叶片厚度、栅栏和海绵组织厚度较 CK 均有所提升，但各处理间无显著性差异。在转色期，叶片厚度、栅栏和海绵组织以及上下表皮厚度均达到峰值，其中不同处理下叶片厚度由高到低依次为 T2 (151.90 μm) > T3 (145.87 μm) > T1 (145.57 μm) > T4 (138.27 μm)，较 CK 分别 (132.43 μm) 提高了 14.70%、10.14%、9.92%和 4.40%，T1~T3 处理显著高于 CK ($p < 0.05$)；栅栏组织厚度各处理较 CK 分别增加了 22.44%、27.64%、24.96%和 14.33%，除 T4 外均达到显著差异 ($p < 0.05$)；海绵组织厚度只有 T2 处理较 CK 显著增加 10.51% ($p < 0.05$)；上表皮厚度 T2 和 T3 处理较 CK 呈显著性差异 ($p < 0.05$)；下表皮厚度 T2 处理较 CK 呈显著性差异 ($p < 0.05$)。

在成熟期（成熟期组织结构解剖图见图 1），不同处理下叶片厚度排列顺序为：T2 > T3 > T1 > T4 > CK，其中 T1~T3 处理较 CK 达到显著差异 ($p < 0.05$)；栅栏组织厚度 T2 和 T3 处理显著高于 CK ($p < 0.05$)，较 CK 分别增加了 23.78%和 14.98%；海绵组织厚度各处理较 CK 分别提高了 9.42%、11.87%、11.07%和 11.31%，较 CK 均达到显著差异 ($p < 0.05$)；上表皮厚度 T2~T4 处理较 CK 呈显著性差异 ($p < 0.05$)；下表皮厚度 T2 和 T4 处理较 CK 呈显著性差异 ($p < 0.05$)，较 CK 分别提高了 17.58%和 16.48%。栅海比各物候期不同处理较 CK 均无显著性差异。

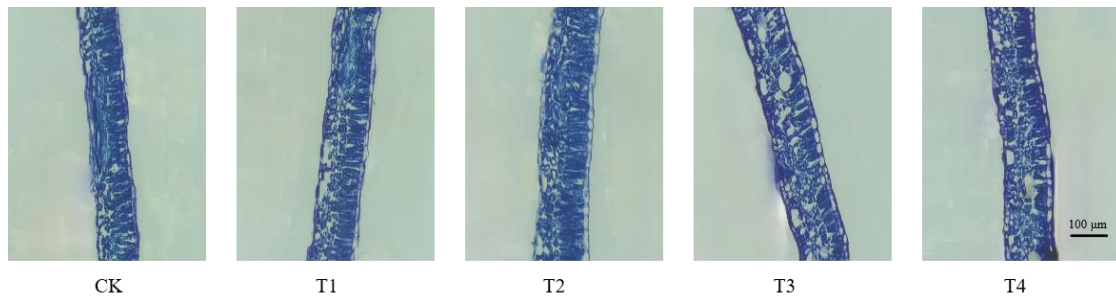


图 1 不同处理下葡萄成熟期叶片横切图

Fig. 1 Transverse section of leaves of grape at maturity stage under different treatments

表 1 外源多巴胺对阳光玫瑰葡萄不同物候期叶片组织结构的影响

Table 1 The effect of exogenous dopamine on the leaf tissue structure at different phenological stages of Shine Muscat grapes

物候期 Phenological period	对照与处理 Control and treatment	叶片厚度 Blade thickness/ μm	栅栏组织厚度 Palisade mesophyll thickness/ μm	海绵组织厚度 Sponge tissue thickness/ μm	上表皮厚度 Upper epidermis thickness/ μm	下表皮厚度 Thickness of lower epidermis/ μm	栅海比 Ratio of palisade tissue to spongy tissue
初花期 Initial flowering	CK (对照)	92.63±2.23 a	35.67±0.95 a	42.90±2.97 a	6.07±0.42 a	4.90±0.29 a	0.84±0.07 a
	T1	89.97±4.37 a	34.13±0.94 a	38.90±2.05 a	5.93±0.45 a	4.97±0.61 a	0.88±0.07 a
	T2	93.73±2.94 a	35.93±3.04 a	41.97±1.91 a	6.23±0.37 a	5.13±0.49 a	0.86±0.11 a
	T3	93.87±3.17 a	36.37±2.46 a	44.13±1.89 a	6.20±0.24 a	5.37±0.21 a	0.82±0.04 a
	T4	92.77±3.22 a	33.47±0.74 a	41.07±2.92 a	6.80±0.37 a	5.00±0.36 a	0.82±0.08 a
幼果期 Young fruit stage	CK (对照)	103.97±3.26 b	38.10±1.92 a	46.20±2.30 bc	7.10±0.22 a	5.23±0.33 a	0.83±0.08 a
	T1	102.67±2.64 b	37.67±1.87 a	45.50±3.31 c	7.03±0.60 a	5.73±0.12 a	0.83±0.07 a
	T2	108.90±2.89 ab	39.27±2.60 a	52.27±1.60 a	7.30±0.33 a	5.80±0.29 a	0.75±0.07 a
	T3	112.70±2.29 a	40.80±1.58 a	52.74±2.40 a	7.43±0.21 a	5.73±0.21 a	0.78±0.06 a
	T4	108.20±2.13 ab	38.63±2.24 a	51.57±2.80 ab	7.20±0.29 a	5.80±0.16 a	0.75±0.08 a
膨大期 Expansion period	CK (对照)	114.80±4.49 a	39.13±0.45 a	53.13±3.25 a	7.20±0.33 a	6.00±0.08 a	0.74±0.04 a
	T1	115.47±3.40 a	40.17±1.94 a	54.97±2.79 a	7.17±0.25 a	6.07±0.46 a	0.73±0.07 a
	T2	123.50±4.32 a	43.37±2.14 a	57.30±4.79 a	7.63±0.31 a	6.27±0.37 a	0.76±0.08 a
	T3	122.97±3.75 a	42.27±0.59 a	57.17±4.05 a	7.43±0.17 a	5.97±0.12 a	0.74±0.05 a
	T4	115.33±3.92 a	39.73±2.92 a	54.87±2.00 a	7.30±0.22 a	6.03±0.41 a	0.72±0.03 a
转色期 Veraison period	CK (对照)	132.43±1.96 c	42.83±3.66 b	62.50±2.79 b	8.67±0.39 c	6.73±0.49 b	0.68±0.09 a
	T1	145.57±3.21 b	51.83±2.55 a	65.07±2.19 ab	9.77±0.25 c	7.43±0.45 ab	0.80±0.04 a
	T2	151.90±1.44 a	54.03±2.98 a	69.07±2.47 a	13.00±1.07 a	8.20±0.29 a	0.78±0.03 a
	T3	145.87±1.54 b	52.90±3.14 a	68.00±3.19 ab	11.27±0.74 b	7.60±0.79 ab	0.78±0.06 a
	T4	138.27±3.99 c	48.40±2.26 ab	63.63±1.72 ab	9.47±0.56 c	7.77±0.45 ab	0.76±0.06 a

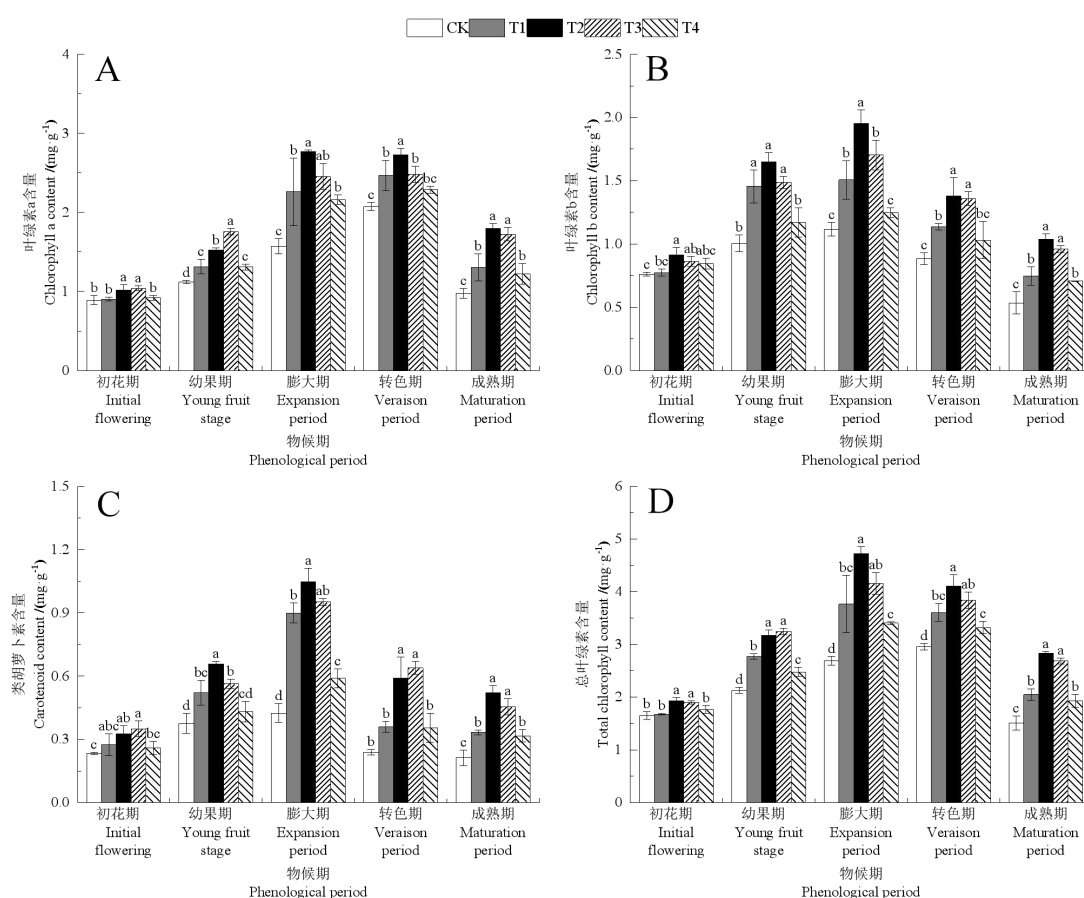
成熟期 Maturity period	CK (对照)	116.63±5.70 c	38.27±1.44 c	54.50±2.06 b	7.50±0.08 c	6.07±0.34 b	0.70±0.05 a
	T1	126.90±3.97 ab	40.93±3.47 bc	59.63±2.05 a	8.17±0.21 c	6.27±0.26 ab	0.69±0.08 a
	T2	131.30±2.19 a	47.37±0.62 a	60.97±1.11 a	10.83±0.57 a	7.13±0.39 a	0.78±0.02 a
	T3	128.80±3.40 ab	44.00±2.44 ab	60.53±3.89 a	10.53±0.53 a	6.87±0.57 ab	0.73±0.06 a
	T4	121.87±2.62 bc	41.23±1.73 bc	60.67±0.65 a	9.43±0.70 b	7.07±0.40 a	0.68±0.03 a

注：表中不同小写字母表示同列同一物候期各处理间差异显著 ($p < 0.05$)。

Note: Different small letters in the table indicated that there were significant differences among treatments in the same phenological period in the same column ($p < 0.05$).

2.1.2 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合色素含量的影响

由图 2 可以看出，从初花期到成熟期，不同处理下阳光玫瑰葡萄叶片的 Chl a、Chl b、Car 和 Chl t 含量呈先升后降的变化趋势，多巴胺处理后均提高了叶片不同时期 Chl a、Chl b、Car 和 Chl t 含量，其中 T2 处理效果最优，显著高于 CK ($p < 0.05$)。T2 处理下各时期 Chl a 含量较 CK 分别增加 14.78%、35.64%、76.33%、31.39%和 84.77%；Chl b 含量较 CK 分别增加 19.84%、64.03%、74.85%、56.47%和 94.59%；Car 含量较 CK 分别增加 40.05%、75.25%、146.63%、146.73%和 145.82%；Chl t 含量较 CK 分别增加 17.12%、49.06%、75.72%、38.88%和 88.25%。



图中不同小写字母表示同一物候期不同处理间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

Different small letters in the figure indicated that there was a significant difference between different treatments in the same phenological period ($p < 0.05$). The same below.

图 2 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合色素含量的影响

Fig. 2 Effect of dopamine on photosynthetic pigment content in leaves of Shine Muscat grape

2.1.3 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合参数的影响

由图 3 可以看出，随着多巴胺处理浓度的增加，叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 和 WUE 大致呈先升后降的变化趋势，叶片 C_i 呈先降后升的变化趋势。多巴胺处理提升了叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 和 WUE 不同时期平均值，降低了叶片 C_i 不同时期平均值，其中， P_n 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 7.09%、16.97%、12.69%和 7.86%； G_s 不同时期平均值较 CK 分别增加 5.17%、18.28%、14.14%和 5.17%； T_r 不同时期平均值较 CK 分别增加 3.98%、8.17%、

7.45%和 4.95%；WUE 不同时期平均值较 CK 分别增加 3.01%、7.83%、4.87%和 2.92%；Ci 不同时期平均值较 CK 分别降低 4.55%、6.27%、5.86%和 2.48%。且均为 T2 处理效果最优，显著高于 CK ($p < 0.05$)。

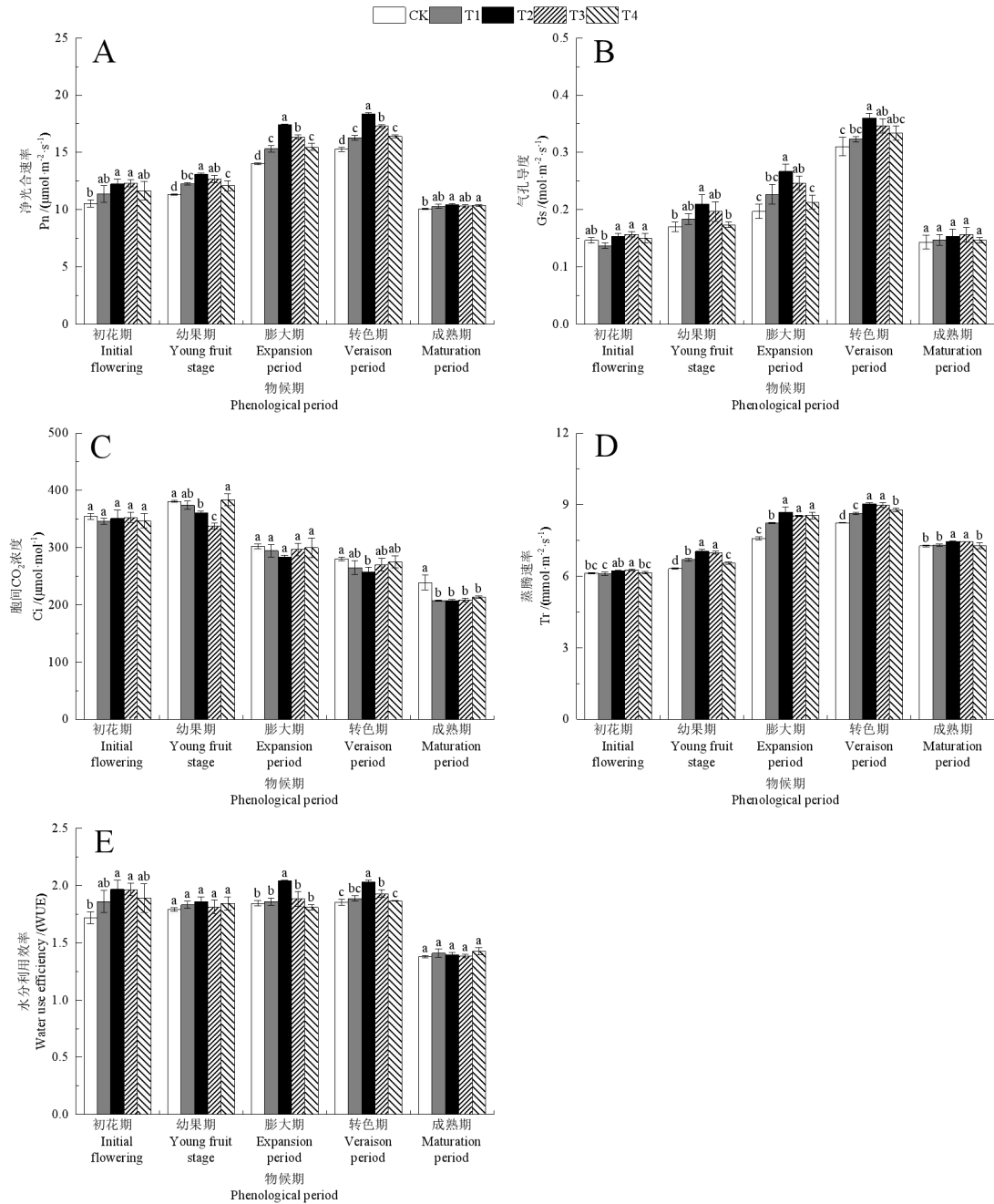


图 3 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合参数的影响

Fig. 3 Effects of dopamine on photosynthetic parameters of Shine Muscat grape leaves

2.1.4 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

由图 4 可以看出，随着阳光玫瑰葡萄的生长发育，叶片 F_v/F_m 、 $Y(II)$ 、 qN 和 ETR 大致呈先升后降的趋势；叶片 qP 呈先升后降再升的趋势；叶片 $Y(NPQ)$ 呈“降-升-降-升”的波浪形变化趋势。多巴胺处理有效提高了叶片 F_v/F_m 、 $Y(II)$ 、 qP 、 qN 、 $Y(NPQ)$

和ETR不同时期平均值，其中， F_v/F_m 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 1.91%、7.50%、5.28%和 1.99%；Y (II) 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 8.26%、12.33%、9.79%和 4.20%；qP 不同时期平均值 T1~T3 处理较 CK 分别增加 7.62%、10.90%和 8.41%，而 T4 在部分时期降低 qP；qN 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 7.22%、20.61%、18.48%和 8.06%；Y (NPQ) 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 23.96%、46.19%、45.20%和 17.99%；ETR 不同时期平均值 T1~T4 处理较 CK 分别增加 5.91%、17.38%、14.07%和 1.27%。以上各指标均为 T2 和 T3 处理效果最优，显著高于 CK ($p < 0.05$)。

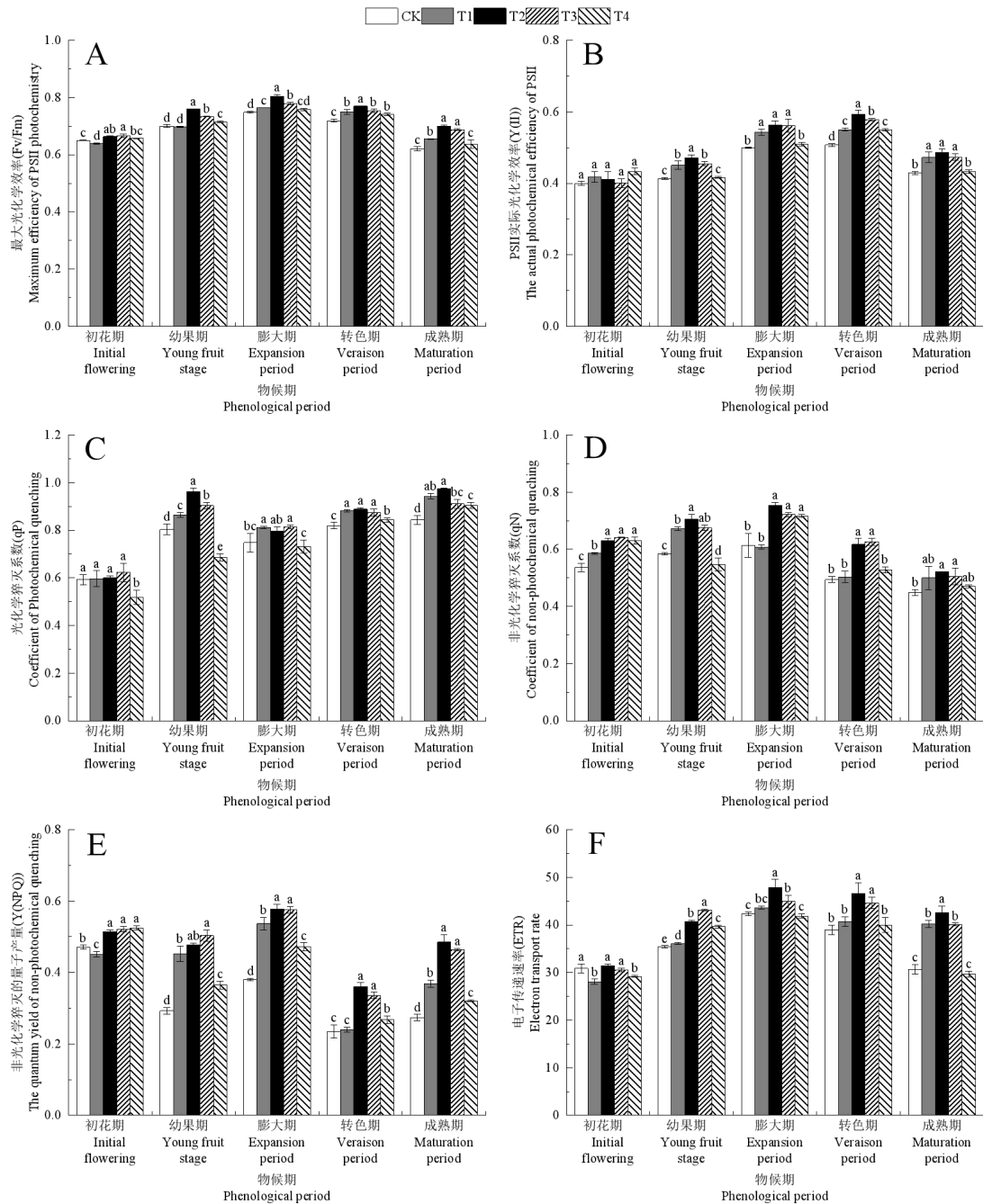
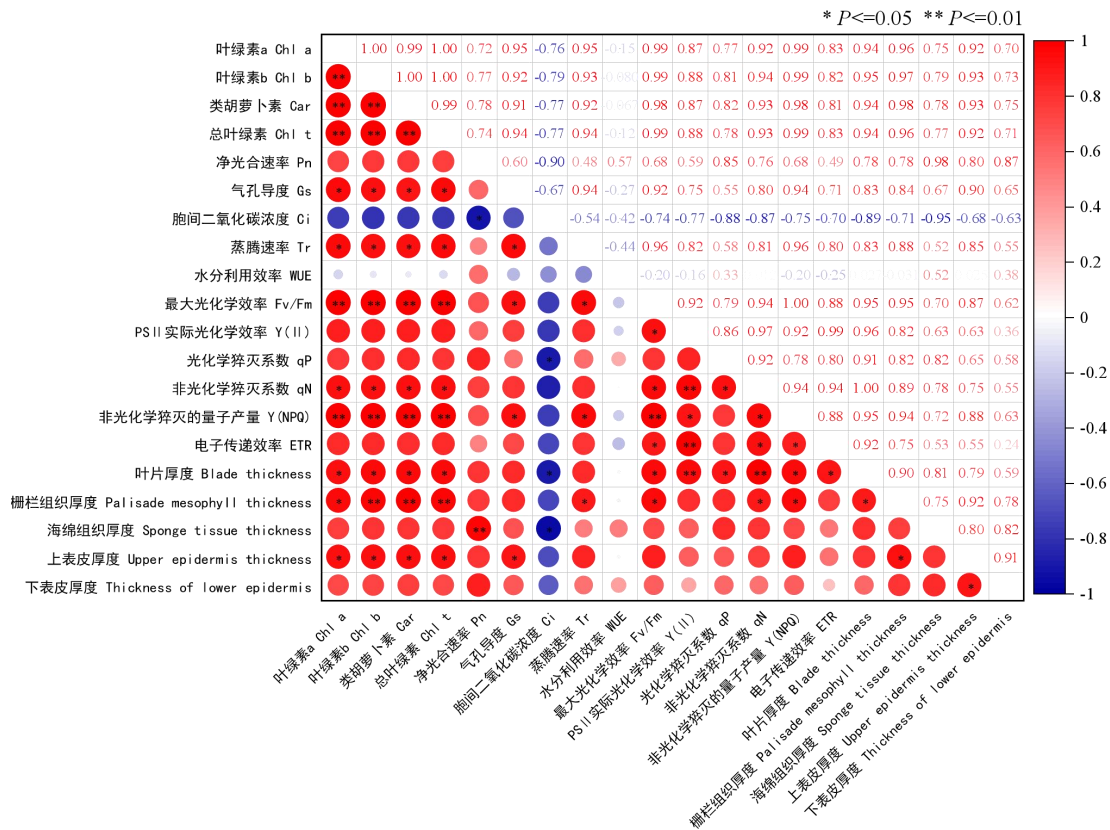


图 4 多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

Fig. 4 Effect of dopamine on chlorophyll fluorescence parameters of Shine Muscat grape leaves

2.1.5 阳光玫瑰葡萄叶片光合性能与组织结构的相关性分析

由图 5 可以看出，光合性能指标与葡萄叶片组织结构间存在一定的相关性。Chl a 与叶片厚度、栅栏组织厚度和上表皮厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；Chl b、Car 和 Chl t 三者与栅栏组织厚度均呈极显著正相关 ($p < 0.01$)，与叶片厚度和上表皮厚度均显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 P_n 与海绵组织厚度呈极显著正相关 ($p < 0.01$)；叶片 G_s 与上表皮厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 C_i 与叶片厚度和海绵组织厚度显著负相关 ($p < 0.05$)；叶片 T_r 与栅栏组织厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 F_v/F_m 与叶片厚度和栅栏组织厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 Y (II) 与叶片厚度呈极显著正相关 ($p < 0.01$)；叶片 qP 与叶片厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 qN 与叶片厚度呈极显著正相关 ($p < 0.01$)，与栅栏组织厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 Y (NPQ) 与叶片厚度和栅栏组织厚度显著正相关 ($p < 0.05$)；叶片 ETR 与叶片厚度显著正相关 ($p < 0.05$)。



*表示在 0.05 水平显著相关，**表示在 0.01 水平极显著相关。

* means significant difference ($p < 0.05$), ** means extremely significant difference ($p < 0.01$).

图 5 阳光玫瑰葡萄叶片光合性能与组织结构的相关性分析热图

Fig. 5 Heatmap of correlation analysis between photosynthetic performance and tissue structure of Shine Muscat grape leaves

2.2 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实品质的影响

2.2.1 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实外观品质的影响

由图 6 可以看出，相较于 CK，适宜浓度多巴胺处理下，葡萄果实的单粒质量、果实纵横径和硬度有一定程度的提升。其中，不同处理下单粒质量由高到低依次为 T2>T3>T1>T4，较 CK 分别提高了 26.32%、16.56%、7.54%和 3.53%（图 6-A），T2 和 T3 处理较 CK 达到显著差异（ $p<0.05$ ）；果实纵径只有 T2 处理显著高于 CK（ $p<0.05$ ），提高了 12.53%（图 6-B）；果实横径 T1~T4 处理较 CK 分别提高了 7.01%、12.65%、9.68%和 5.42%（图 6-C），较 CK 均呈显著性差异（ $p<0.05$ ）；果形指数各处理较 CK 均有所下降，但变化幅度比较小（图 6-D）；果实硬度 T1~T4 处理较 CK 分别提高了 9.27%、33.66%、19.51%和 1.46%（图 6-E），T1~T3 处理较 CK 达到显著差异，且 T2 处理效果最为显著（ $p<0.05$ ）。

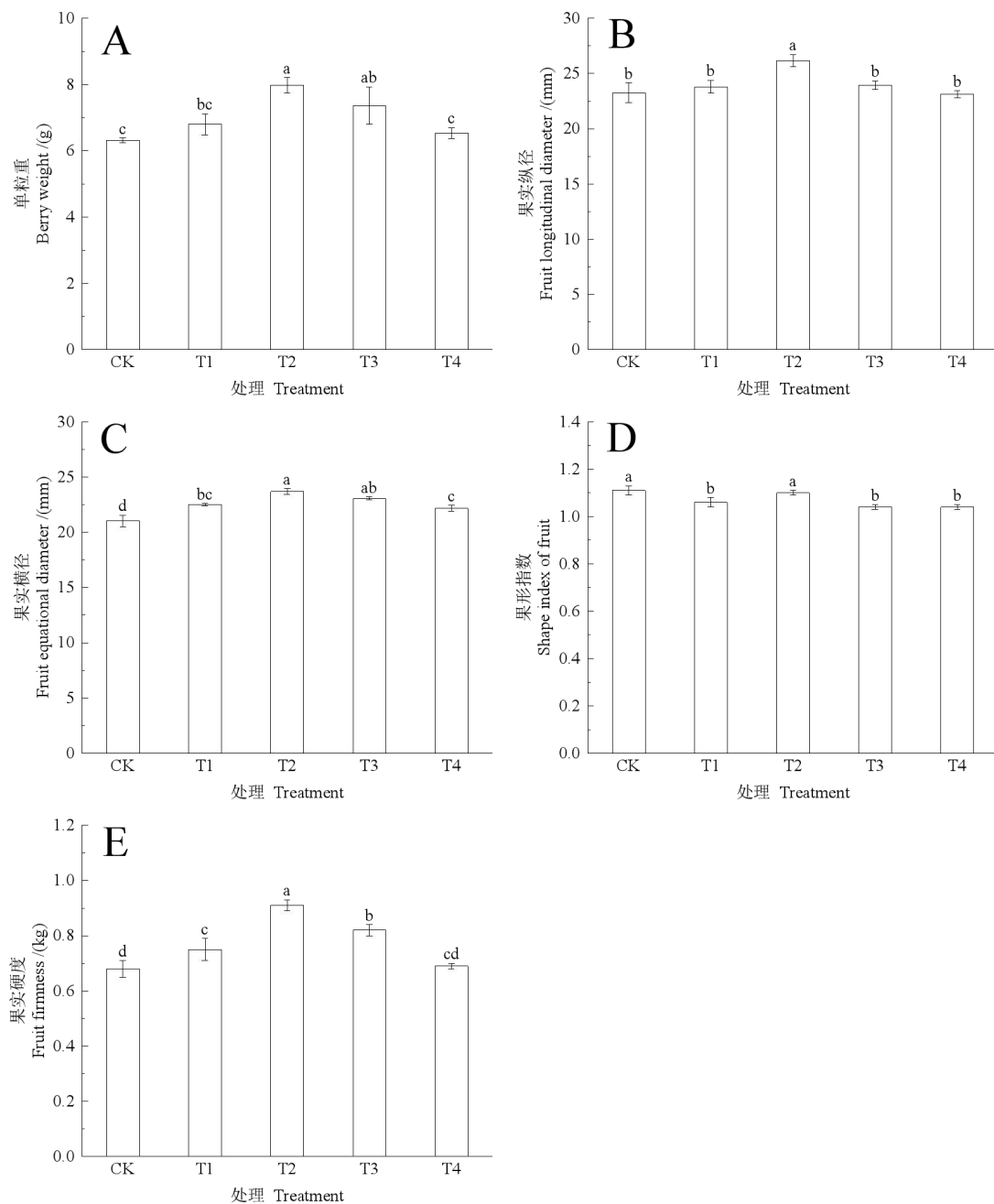


图 6 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实外观品质的影响

Fig. 6 Effects of dopamine on the external quality of Shine Muscat grape berries

2.2.2 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实内在品质的影响

由图 7 可以看出，相较于 CK，适宜浓度多巴胺处理下，葡萄果实可溶性固形物、固酸比、可溶性糖和维生素 C 含量均有一定程度的提升，而可滴定酸的含量则明显下降。其中，果实可溶性固形物含量 T1~T4 处理较 CK 分别增加了 10.64%、13.83%、11.57% 和 8.38%（图 7-A），较 CK 均达到显著差异（ $p < 0.05$ ）；不同处理下可滴定酸含量由高到低依次为 T4 > T1 > T3 > T2，较 CK 分别降低了 6.55%、10.48%、11.79% 和 21.83%（图 7-B），T1~T3 处理较 CK 达到显著差异，T2 处理效果最为显著（ $p < 0.05$ ）；果实固酸比 T1~T4 处理较 CK 分别提高了 15.52%、36.05%、18.47% 和 7.12%（图 7-C），除 T4 外较 CK 均呈显著性差异（ $p < 0.05$ ）；果实可溶性糖含量 T1~T4 处理较 CK 分别增加了 3.32%、4.92%、3.36% 和 3.12%（图 7-D），较 CK 均呈显著性差异（ $p < 0.05$ ）；维生素 C 含量 T1~T3 处理较 CK 分别显著增加 61.90%、166.67% 和 123.81%，T4 处理较 CK 无显著性差异（图 7-E）。

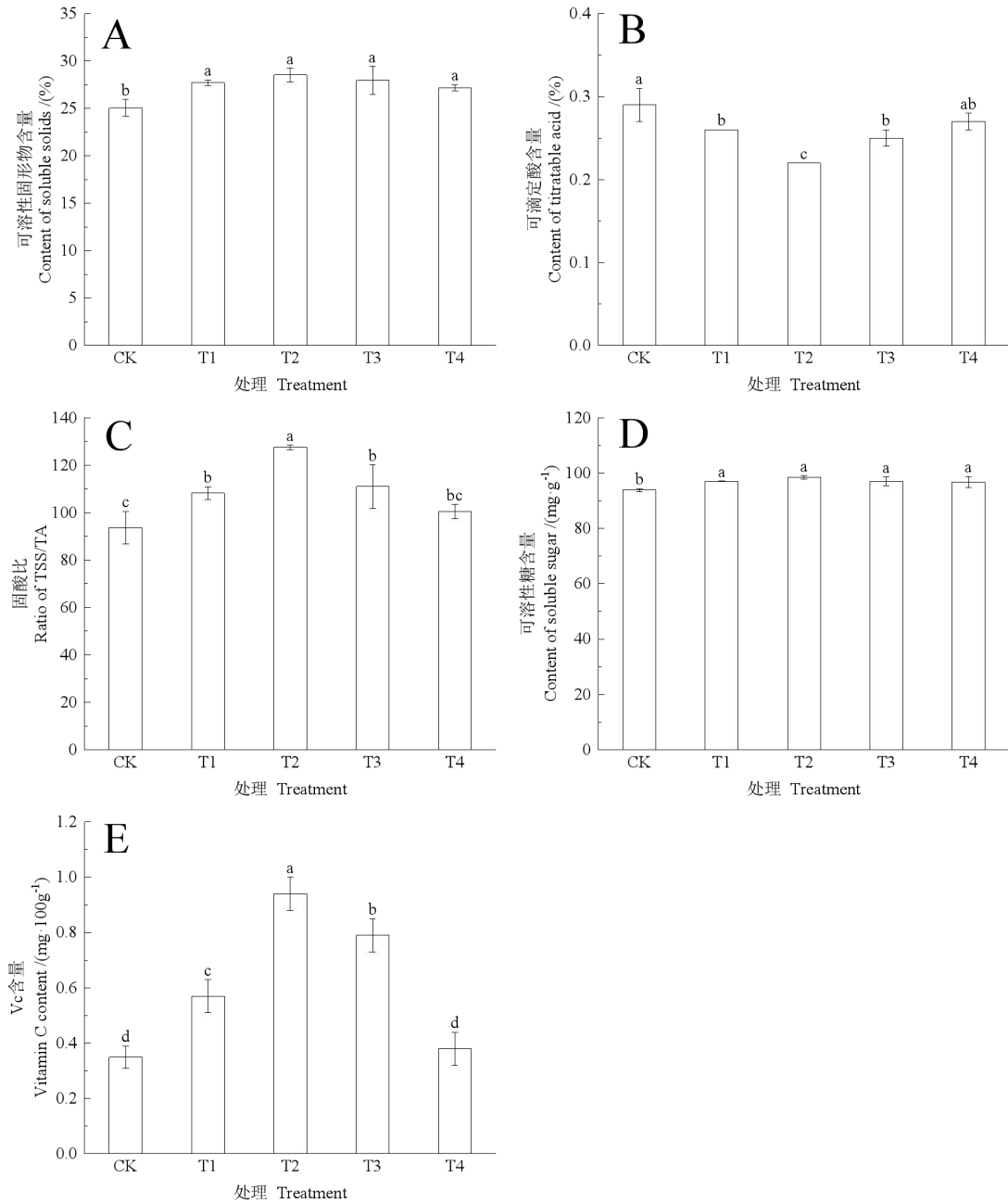


图 7 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实内在品质的影响

Fig. 7 Effect of dopamine on the intrinsic quality of Shine Muscat grape fruit

2.2.3 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实酚类物质含量的影响

由图 8 可以看出，相较于 CK，不同浓度多巴胺处理均可提高阳光玫瑰葡萄果实总酚、花青素和总类黄酮含量，降低单宁含量。其中，各处理的总酚含量由高到低依次为 T2 ($14.21 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T3 ($12.20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T1 ($11.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T4 ($10.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)，较 CK ($10.09 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 分别提高了 40.82%、20.86%、12.32%和 6.56%，但各处理较 CK 均未达到显著差异 (图 8-A)；单宁含量 T1~T4 处理均显著低于 CK ($p < 0.05$)，较 CK 分别降低了 19.78%、26.35%、20.13%和 18.45% (图 8-B)，其中 T2 处理效果最为显著 ($p < 0.05$)，T3 处理次之；花青素含量 T1 和 T4 处理较 CK 无显著性差异，而 T2 和 T3 处理显著高于

CK ($p < 0.05$), 较 CK 分别提高了 156.71% 和 113.92% (图 8-C), T2 处理效果最为显著; 总类黄酮含量 T2 处理下总类黄酮含量提高效果最为显著 ($p < 0.05$), 较 CK 增加了 119.39%, 其次为 T1、T3 和 T4 处理, 较 CK 分别增加了 77.19%、76.32% 和 55.27% (图 8-D), 各处理均显著高于 CK ($p < 0.05$)。

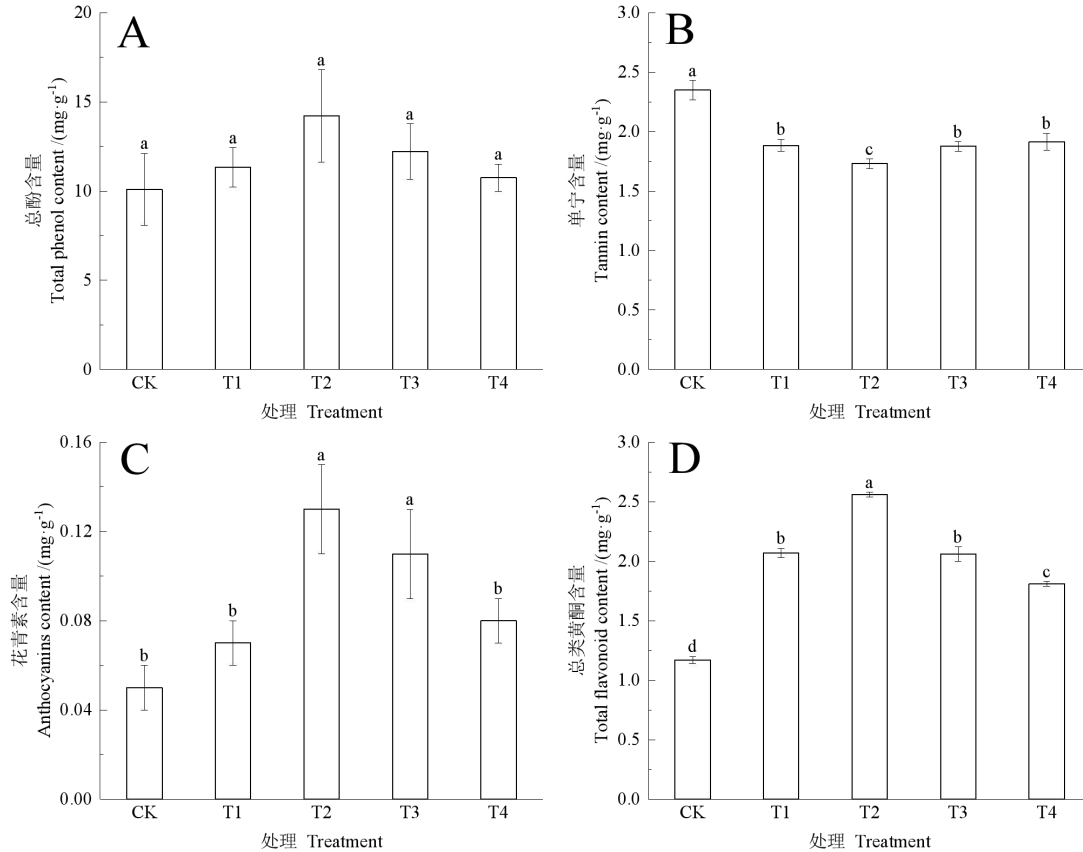


图 8 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实酚类物质含量的影响

Fig. 8 Effect of dopamine on the content of phenols in Shine Muscat grape fruit

2.2.4 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实糖组分含量的影响

由图 9 可以看出, 相较于 CK, 不同浓度多巴胺处理均可提高阳光玫瑰葡萄果实果糖、葡萄糖和蔗糖含量。其中, 果糖含量 T1~T4 处理较 CK 分别增加了 1.78%、7.92%、6.65% 和 0.06%, 但较 CK 均无显著性差异 (图 9-A); 各处理的葡萄糖含量由高到低依次为 T2 ($44.45 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T3 ($43.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T1 ($42.30 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) > T4 ($42.01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 较 CK 分别 ($34.95 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 提高了 27.17%、23.64%、21.00% 和 20.18% (图 9-B), 各处理较 CK 均呈显著性差异, 且 T2 处理效果最为显著 ($p < 0.05$); T2 处理下蔗糖含量提高效果最为显著 ($p < 0.05$), 较 CK 增加了 50.31%, 其次为 T3、T1 和 T4 处理, 较 CK 分别增加了 49.17%、19.56% 和 13.42% (图 9-C), 各处理均显著高于 CK ($p < 0.05$)。

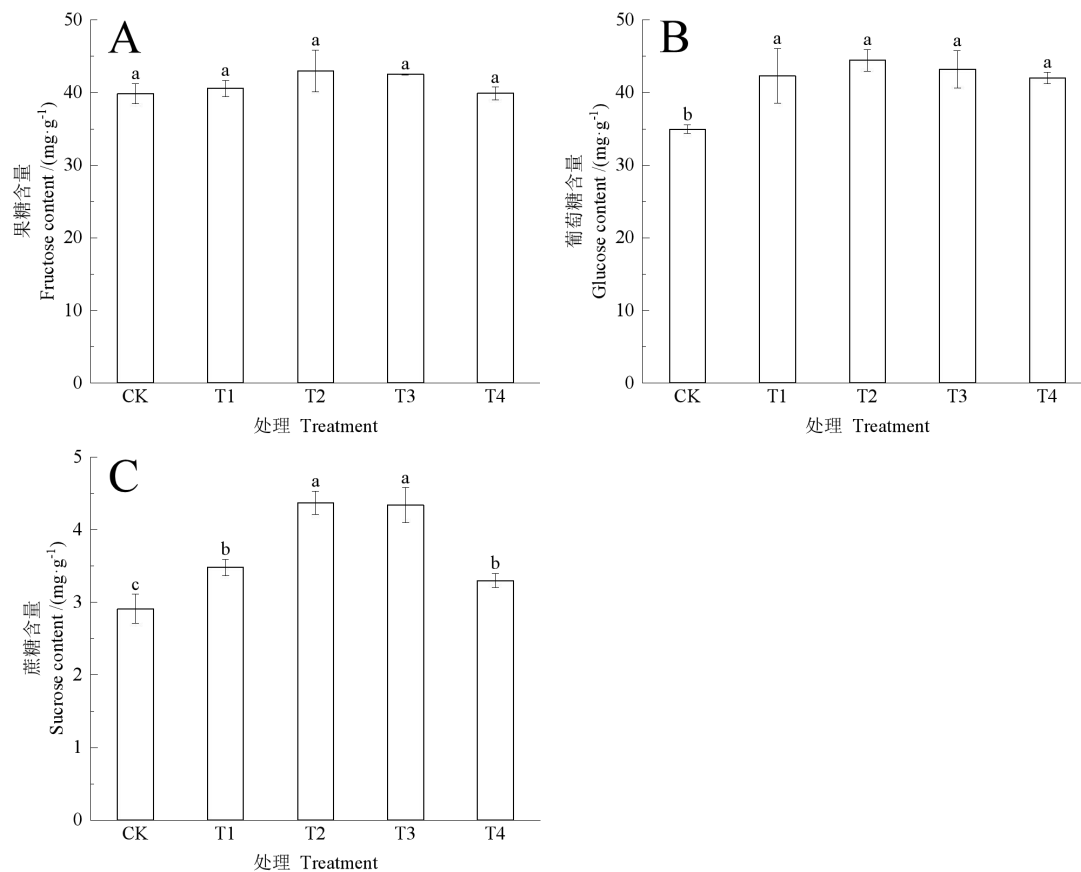


图9 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实糖组分含量的影响

Fig. 9 Effect of dopamine on the content of sugar components in Shine Muscat grape fruit

2.2.5 多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实品质的综合评价

通过对葡萄成熟期果实共 16 项指标进行主成分分析, 结果如下表所示。由表 2 可知, 阳光玫瑰葡萄提取出 2 个主成分, 各主成分的特征值均大于 1, 且这两个主成分的累计方差贡献率达到了 97.08%, 说明阳光玫瑰的 2 个主成分总体上可以反映出各指标的所有信息。对不同浓度多巴胺处理阳光玫瑰葡萄进行综合评价分析, 得出综合评价方程, 结果如表 2 所示, 阳光玫瑰葡萄的综合得分由高到低依次为 T2>T3>T1>T4>CK, 根据得分越高处理效果越好的原则, 各处理表现为: T2 处理效果最佳, T3 次之, 说明多巴胺浓度为 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理下的果实品质最佳。(综合得分=方差贡献率 1 \times FAC1+方差贡献率 2 \times FAC2)

表 2 多巴胺处理对阳光玫瑰葡萄的主成分得分表

Table 2 The principal component score table of dopamine treatment on Shine Muscat grapes

处理	FAC1	FAC2	综合得分	排名
Treatment			Comprehensive score	Ranking
CK	-1.31	1.20	-1.08	5
T1	-0.07	-0.83	-0.12	3
T2	1.35	0.67	1.26	1
T3	0.49	0.15	0.45	2
T4	-0.46	-1.19	-0.50	4
特征值 Eigen value	14.30	1.23		
方差贡献率 Variance contribution/%	89.39	7.69		
累计方差贡献率 Cumulative variance proportion/%	89.39	97.08		

注：主成分分析中葡萄果实品质指标为成熟期测定值。

Note: The quality index of grape fruit in principal component analysis was measured at maturity stage.

3 讨论

3.1 关于多巴胺对阳光玫瑰葡萄叶片光合性能影响的研究

叶片是植物进行光合与蒸腾作用的器官，其解剖组织结构和外部形态在一定程度上表现了植物光合性能的强弱以及对外界环境的适应程度^[26]。植物叶片栅栏组织厚度越厚、每层细胞排列整齐度越高，植物水分散失则越慢^[27]；反之栅栏组织少，且排列疏松，则能提升叶片与外界的气体和水分的交换^[28]。表皮作为植株的保护层之一，由一层薄壁细胞紧密连接构成，充当着保护植物免受不良环境影响的屏障^[29]。Shen 等^[30]通过对甘草施用外源硅，从而增加了其叶片厚度、栅栏和海绵组织厚度。本试验研究结果表明，喷施适宜浓度多巴胺可增加阳光玫瑰葡萄叶片于幼果期至成熟期叶片厚度、栅栏和海绵组织厚度；同时，增加了叶片在转色和成熟期的上下表皮厚度以及栅海比。笔者在本研究中比较了不同物候期葡萄叶片解剖结构差异，发现其叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度及上下表皮厚度随葡萄的生长发育呈单峰变化趋势，且均在转色期达到峰值，为理解葡萄生长周期提供了叶片组织结构变化方面的重要视角。

对于植物而言，光合作用尤为重要，其将太阳能转换为植物生育所需的化学能，植物本身的生长发育状况也在很大程度受着光合作用强弱的影响，且与植物品质紧密相关^[31-32]。光合色素含量是植物光合作用中非常关键的一环，参与了光能的吸收、传递和转化，反映了植物对外部光照的适应程度和光合作用强度，高含量光合色素有助于植物维持较高水平的的光合^[33-34]。陈莹等^[35]研究发现，施用多巴胺可以提高苹果幼苗 Chl a、Chl b、Car 和 Chl t 含量。本研究结果表明，不同物候期喷施不同浓度多巴胺均增加了阳光玫瑰葡萄叶片 Chl a、

Chl b、Car 和 Chl t 含量，表明外源多巴胺在一定程度上可以保护叶绿素不被降解，光合色素含量的增加有利于提高葡萄叶片的光合速率。李超等^[36]研究发现，水培施用多巴胺增加了苹果叶片叶绿素含量和净光合速率。本研究结果表明，适宜浓度（ $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ）多巴胺处理显著提高阳光玫瑰葡萄叶片 P_n ，在幼果、膨大和转色期显著增加叶片 G_s ，于幼果期至成熟期显著提高叶片 T_r ，于幼果、转色和成熟期降低了叶片 C_i 。这与唐仲文等^[37]的研究结果相似，外源多巴胺提高了铜胁迫下苹果叶片 P_n 、 G_s 和 T_r 。多巴胺在调节光合作用氧还原的过程中起着重要作用，在对分离的菠菜叶绿体研究中，多巴胺能介导光合氧还原，这些化合物可能作为化学类似物的自然介质，或者氧还原因子，允许氧还原参与光合作用的能量转换^[38]。多巴胺对植物光合作用的促进可能是直接的，也可能是间接的，例如 C_i 的降低可能受到气孔因素或非气孔因素的共同影响。

此外，植物叶片叶绿素荧光是光合性能的重要组成部分，与植株对光能的吸收利用、转化传递密切相关，不仅影响着植株碳循环的动态平衡，同时影响着生长发育的进程^[39-41]。其中叶片 F_v/F_m 反映了 PSII 反应中心光能转化效率，其值越大，则 PSII 活性越强^[42]。Liu 等^[43]研究发现，外源多巴胺可提高马蹄草的 F_v/F_m ，与本试验研究结果一致。Y (II) 包含了高效的光子吸收和电子转移 Y (II) 会随着 PSII 功能的变弱而随之降低，高 Y (II) 一般则表示植株有高光合效率^[44]。ETR 主要反映了植株在实际光强条件下的表观电子传递效率。此外，热耗散是植物所吸收光能消耗的途径之一，具有保护 PSII 的作用，qP 是指植物热耗散的能力^[45]；Y (NPQ) 是指 PSII 天线色素光能吸收过程中未能被用于光合电子传递而以热形式而耗散的部分光能，反映了光系统对过剩光能的耗散能力^[46]。本研究结果表明，不同物候期喷施适宜浓度多巴胺可不同程度提高阳光玫瑰葡萄叶片 Y (II)、qP、qN、ETR 和 Y (NPQ) 值，说明外源多巴胺可增强葡萄的光合性能，提高其叶片的光能转化和利用效率，同时提升热耗散，推测多巴胺可能在植物生长发育过程中有一定保护作用。这与前人研究结果相似，外源多巴胺有效增加了黄瓜的光合性能和叶绿素荧光参数^[47]。这些发现为多巴胺在植物生长调节中的应用提供了新的视角，并可能有助于开发提高植物光合作用效率的策略。

综上所述，喷施 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 多巴胺显著增加了葡萄叶片厚度、栅栏和海绵组织厚度，提升了葡萄叶片 Chl a、Chl b、Car 和 Chl t 含量，提高了植株光能利用效率以及叶绿素荧光参数。表明多巴胺改善了葡萄叶片质量，增强了其光合性能，有助于植株的生长发育与果实品质的提升。

3.2 关于多巴胺对阳光玫瑰葡萄果实品质影响的研究

鲜食葡萄的果实形态特征是衡量其品质的重要指标，果农在追求产量的同时也追求着单果及果穗外观所具有的商业价值，葡萄果实是否饱满可口，形态是否美观也是消费者判断其品质的一大标准。果实硬度很大程度影响了果实的口感，果实硬度受细胞膨压的影响，果实细胞体积越大，硬度越低^[48]。在前人研究中，在苹果盛花期或果实发育早期施用 CTK

及赤霉素类调节剂，显著提升了果实果质量并促进了果实纵径延长^[49]。冀泽宇等^[50]研究发现，外源多巴胺可以提升霜霉病胁迫下黄瓜的果实纵横径与单瓜质量。本研究结果和前人研究结果一致，在本试验中，不同浓度多巴胺处理提升了阳光玫瑰葡萄成熟期果实的纵横径、单粒质量以及硬度，增加了果肉脆度和果肉紧实度，这些改善表明，多巴胺的应用对于提高葡萄果实的品质具有积极作用，有助于提升其市场竞争力和消费者满意度。

同时，鲜食葡萄的营养也是衡量其品质的重要指标，果农除了追求高产高品相还应追求健康良好的营养价值。其中，可溶性固形物、可滴定酸含量及固酸比等是衡量果实品质的重要指标^[51]，植株通过激素含量的动态变化来调控果实的生长发育进程，进而影响可溶性固形物与可滴定酸的含量。本研究结果表明，多巴胺处理增加了阳光玫瑰葡萄果实可溶性固形物含量，降低了可滴定酸含量。这与前人研究结果一致，多巴胺处理增加了苹果果实的可溶性固形物含量，降低了可滴定酸含量^[8]。葡萄果实中可溶性糖与维生素 C 含量在一定程度上影响着果实的品质。在前人研究中，外源多巴胺提升了在苯丙酸胁迫下黄瓜的可溶性糖和维生素 C 含量^[52]，与本研究结果一致：不同浓度多巴胺均提升了葡萄果实可溶性糖和维生素 C 含量，多巴胺的应用显示出其在增强葡萄营养品质方面的潜力。

果实中酚类物质是一类重要的营养成分，它们能够中和体内自由基，从而减少氧化应激对细胞造成的损害，在保护健康、预防疾病等方面发挥着重要作用。酚类物质有效成分主要是酚类化合物，包含单宁类、花色苷类以及黄酮类等。在植物中，酚类物质含量会受到多种因素影响，如外界环境、栽培管理措施及品种差异等^[53]。花青素是一种存在于果皮中的水溶性天然色素，是类黄酮化合物之一。类黄酮是葡萄中最多的一种次生代谢产物，对作物的生长发育和果实品质都有很大作用^[54]。本研究结果表明，多巴胺处理对阳光玫瑰葡萄果皮总酚含量无显著变化；不同浓度多巴胺处理均显著降低了果皮单宁含量，显著提升了总类黄酮含量；而果皮花青素含量在较高浓度多巴胺处理（ $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $150\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ）后显著上升。说明多巴胺可以通过增加果实类黄酮和可溶性糖含量，进而改善果实品质^[55]。

葡萄果实中糖组分及其含量很大程度影响了果实的品质和风味^[56]，糖不仅能作为基础能源物质供植株生长发育^[57]，还可用作次生代谢物质的合成原料，改善果实品质^[58]。糖分积累是植物叶片将光合产物通过韧皮部运送至果实后通过蔗糖代谢的过程^[59]。被输入到葡萄果实中的糖分主要有果糖、葡萄糖和蔗糖，对葡萄果实品质构成有关键作用^[60]。植物坐果及其发育受源库互作影响碳水化合物分配，从而调控植物产量与果实品质^[61]。王西成等^[62]研究表明，随着葡萄果实的逐渐成熟，其果糖、葡萄糖和蔗糖含量也随之而增加。本研究发现，阳光玫瑰葡萄成熟期果实的糖分积累以果糖、葡萄糖为主，而蔗糖积累相对较少，这种现象可能源于蔗糖本身的低积累量加之受到糖代谢相关酶的调控。先前的研究已经证实，外源多巴胺能够促进黄瓜果实果糖、葡萄糖和蔗糖的积累^[50]。本试验结果与之相一致：不同浓度多巴胺处理提高了阳光玫瑰葡萄成熟期果实中果糖、葡萄糖和蔗糖含量，表明多巴胺处理可以促进果实糖分的积累。同时说明了多巴胺可以通过调节植物叶片的组织结构

和光合作用效率等，增强植物对有机物的合成及营养物质的吸收能力，进而提高果实的整体品质。这些发现进一步证实了多巴胺在植物生长发育及果实品质形成中的积极作用，为葡萄和其他作物的栽培提供了新的策略和理论依据。

4 结论

喷施多巴胺可以改善阳光玫瑰葡萄叶片质量，增强其光合性能，进而提高了果实品质，以 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 多巴胺处理效果最佳，该研究对鲜食葡萄的生产具有一定的指导意义。

参考文献 References:

- [1] 尹启源, 刘兰兰, 王志奎, 李红伟. 果树施肥技术[J]. 现代农村科技, 2023(10): 78-79.
YIN Qiyuan, LIU Lanlan, WANG Zhikui, LI Hongwei. Fruit tree fertilization techniques[J]. Modern Rural Science and Technology, 2023, (10): 78-79.
- [2] 郭之燕, 邓全恩, 罗红, 段洪浪, 崔雍, 赵永菊, 王港, 高超. 贵州省 2 个主栽花椒品种光合特性的比较[J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 196-206.
GUO Zhiyan, DENG Quan'en, LUO Hong, DUAN Honglang, CUI Yong, ZHAO Yongju, WANG Gang, GAO Chao. Comparison of photosynthetic characteristics of two major *Zanthoxylum bungeanum* cultivars in Guizhou province[J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(1): 196-206.
- [3] 罗孟容, 梁文斌, 杨艳, 汤玉喜, 黎蕾, 李永进, 张金贵. 干旱胁迫对栀子光合作用及叶绿体超微结构的影响[J]. 经济林研究, 2021, 39(3): 165-174.
LUO Mengrong, LIANG Wenbin, YANG Yan, TANG Yuxi, LI Lei, LI Yongjin, ZHANG Jingui. Effect of drought stress on photosynthesis and chloroplast ultrastructure of *Gardenia jasminoides*[J]. Non-wood Forest Research, 2021, 39(3): 165-174.
- [4] 王珍, 韩超, 廖新成. 多巴胺含磷衍生物的合成及表征[J]. 郑州大学学报(理学版), 2009, 41(1): 112-115.
WANG Zhen, HAN Chao, LIAO Xincheng. Synthesis and characterization of dopamine phosphorus-containing derivatives[J]. Journal of Zhengzhou University (Science Edition), 2009, 41(1): 112-115.
- [4] 王珍, 韩超, 廖新成. 多巴胺含磷衍生物的合成及表征[J]. 郑州大学学报(理学版), 2009, 41(1): 112-115.
WANG Zhen, HAN Chao, LIAO Xincheng. Synthesis and structure characterization of phosphorylated dopamine derivatives[J]. Journal of Zhengzhou University (Natural Science Edition), 2009, 41(1): 112-115.
- [5] KULMA A, SZOPA J. Catecholamines are active compounds in plants[J]. Plant Science, 2007, 172(3): 433-440.
- [6] LIANG B W, GAO T T, ZHAO Q, MA C Q, CHEN Q, WEI Z W, LI C Y, LI C, MA F W. Effects of exogenous dopamine on the uptake, transport, and resorption of apple ionome under moderate drought[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 755.
- [7] LI C, SUN X K, CHANG C, JIA D F, WEI Z W, LI C Y, MA F W. Dopamine alleviates salt-induced stress in *Malus hupehensis*[J]. Physiologia Plantarum, 2015, 153(4): 584-602.
- [8] 赵开. 外源褪黑素和多巴胺对苹果果实生长发育的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.

ZHAO Kai. Effects of exogenous melatonin and dopamine on fruit growth and development of apple[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021.

[9] ENDRESS R, JÄGER A, KREIS W. Catecholamine biosynthesis dependent on the dark in betacyanin-forming *Portulaca* callus[J]. Journal of Plant Physiology, 1984, 115(4): 291-295.

[10] 梁博文. 多巴胺和褪黑素对干旱和养分胁迫下苹果矿质养分吸收的调控研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.

LIANG Bowen. Regulatory function of dopamine and melatonin on mineral nutrient uptake in *Malus* under drought and nutrient stresses[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.

[11] 王改晴. 多巴胺预处理对西瓜干旱胁迫的缓解效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.

WANG Gaiqing. Study on the alleviating effect of dopamine pretreatment on the drought stress of watermelon[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.

[12] SKIRYCZ A, SWIEDRYCH A, SZOPA J. Expression of human dopamine receptor in potato (*Solanum tuberosum*) results in altered *Tuber* carbon metabolism[J]. BMC Plant Biology, 2005, 5: 1.

[13] SZOPA J, WILCZYŃSKI G, FIEHN O, WENCZEL A, WILLMITZER L. Identification and quantification of catecholamines in potato plants (*Solanum tuberosum*) by GC-MS[J]. Phytochemistry, 2001, 58(2): 315-320.

[14] GAO T T, ZHANG Z J, LIU X M, WU Q, CHEN Q, LIU Q W, VAN NOCKER S, MA F W, LI C. Physiological and transcriptome analyses of the effects of exogenous dopamine on drought tolerance in apple[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2020, 148: 260-272.

[15] 张振兴, 孙锦, 郭世荣, 童辉. 钙对盐胁迫下西瓜光合特性和果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1929-1938.

ZHANG Zhenxing, SUN Jin, GUO Shirong, TONG Hui. Effects of supplemental calcium on the photosynthetic characteristics and fruit quality of watermelon under salt stress[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 1929-1938.

[16] 胡琳莉. 铵营养缓解小型大白菜幼苗弱光胁迫的生理和分子机制[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.

HU Linli. Physiological and molecular mechanism of the alleviation role of ammonium nitrate in mini Chinese cabbage under low light intensity [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.

[17] 陈屏昭, 杜红波, 秦燕芬, 杨宏贵, 李成树, 莫正芬. 果蔬品含酸量测定方法的改进及其应用[J]. 浙江农业科学, 2013, 54(4): 451-453.

CHEN Pingzhao, DU Hongbo, QIN Yanfen, YANG Honggui, LI Chengshu, MO Zhengfen. Improvement and application of fruit and vegetable acid content determination method[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2013, 54(4): 451-453.

[18] 刘晓涵, 陈永刚, 林励, 庄满贤, 方晓娟. 蒽酮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.

LIU Xiaohan, CHEN Yonggang, LIN Li, ZHUANG Manxian, FANG Xiaojuan. Comparison of methods in determination of polysaccharide in *Lycium barbarum* L.[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(9): 270-272.

[19] 胡琼, 王森, 张自强, 邵凤侠, 吴毅. 不同批次南方鲜食枣吊果实品质对比分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(11): 63-68.

HU Qiong, WANG Sen, ZHANG Ziqiang, SHAO Fengxia, WU Yi. Comparison in quality of southern fresh *Zizyphus jujube* in different batches[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017,

37(11): 63-68.

[20] 王洪丽, 张戎, 韩洋, 管玉格, 谢婷婷. 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.

WANG Hongli, ZHANG Yu, HAN Yang, GUAN Yuge, XIE Tingting. Determination of the total polyphenol in immature cucumber by folin-ciocalteu colorimetric method[J]. The Food Industry, 2015, 36(9): 262-266.

[21] 耿娜娜, 李学英, 顾丁, 刘林. 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.

GENG Nana, LI Xueying, GU Ding, LIU Lin. Determination of tannic acid content in gallnut by folin-denis spectrophotometry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(29): 11848-11850.

[22] 王艺菲, 辛秀兰, 陈亮, 霍俊伟. pH 示差法测定不同种类蓝莓忍冬总花色苷含量[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(7): 75-78.

WANG Yifei, XIN Xiulan, CHEN Liang, HUO Junwei. Total anthocyanins content in different species of *Lonicera caerulea* linn. by pH-differential spectrophotometry[J]. Food Research and Development, 2014, 35(7): 75-78.

[23] 刘政海, 李六林, 董志刚, 谭伟, 李晓梅, 唐晓萍. 梅鹿辄葡萄 4 个营养系果实酚类物质变化研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(7): 114-118.

LIU Zhenghai, LI Liulin, DONG Zhigang, TAN Wei, LI Xiaomei, TANG Xiaoping. Changes of phenolic compounds in four clones of Merlot grape[J]. China Brewing, 2017, 36(7): 114-118.

[24] 贺雅娟, 马宗桓, 韦霞霞, 李玉梅, 李彦彪, 马维峰, 丁孙磊, 毛娟, 陈佰鸿. 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.

HE Yajuan, MA Zonghuan, WEI Xiaxia, LI Yumei, LI Yanbiao, MA Weifeng, DING Sunlei, MAO Juan, CHEN Baihong. Comparative analysis of sugar and organic acid contents of different apple cultivars in dryland of Loess Plateau[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 248-254.

[25] 李彦彪, 马维峰, 贾进, 牟德生, 李生保, 毛娟. 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.

LI Yanbiao, MA Weifeng, JIA Jin, MOU Desheng, LI Shengbao, MAO Juan. Evaluation on fruit quality of cabernet sauvignon wine grapes from different producing areas in Hexi Corridor[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(5): 817-827.

[26] 陈雪峰, 景晨娟, 赵习平, 武晓红. 植物叶片组织结构在抗逆研究中的应用进展[J]. 河北农业科学, 2018, 22(3): 50-53.

CHEN Xuefeng, JING Chenjuan, ZHAO Xiping, WU Xiaohong. Advances in application of plant leaf tissue structure in the research of stress tolerance[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2018, 22(3): 50-53.

[27] 郭学民, 刘建珍, 翟江涛, 肖啸, 吕亚娟, 李丹丹, 裴士美, 张立彬. 16 个品种桃叶片解剖结构与树干抗寒性的关系[J]. 林业科学, 2015, 51(8): 33-43.

GUO Xuemin, LIU Jianzhen, ZHAI Jiangtao, XIAO Xiao, LÜ Yamei, LI Dandan, PEI Shimei, ZHANG Libin. Relationship between leaf anatomical structure and trunk cold resistance of 16 peach cultivars[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(8): 33-43.

[28] 张钢. 国外木本植物抗寒性测定方法综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(5): 14-20.

ZHANG Gang. Review on methods for measuring frost hardiness in woody plants abroad[J]. World Forestry Research, 2005, 18(5): 14-20.

[29] 李国华, 徐涛, 陈国云, 岳海, 梁国平. 10 个品种澳洲坚果叶片解剖学的比较研究[J]. 热带作物学报,

2009, 30(10): 1437-1441.

LI Guohua, XU Tao, CHEN Guoyun, YUE Hai, LIANG Guoping. Anatomical structure of leaves of 10 *Macadamia* cultivars[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(10): 1437-1441.

[30] SHEN Z H, CHENG X J, LI X, DENG X Y, DONG X X, WANG S M, PU X Z. Effects of silicon application on leaf structure and physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. and *Glycyrrhiza inflata* Bat. under salt treatment[J]. BMC Plant Biology, 2022, 22(1): 390.

[31] SINGH J, PANDEY P, JAMES D, CHANDRASEKHAR K, ACHARY V M, KAUL T, TRIPATHY B C, REDDY M K. Enhancing C3 photosynthesis: An outlook on feasible interventions for crop improvement[J]. Plant Biotechnology Journal, 2014, 12(9): 1217-1230.

[32] 王瑞, 陈永忠, 杨小胡, 何高峰, 李靖. 油茶光合作用及其影响因素研究进展[J]. 经济林研究, 2007, 25(2): 78-83.

WANG Rui, CHEN Yongzhong, YANG Xiaohu, HE Gaofeng, LI Jing. Literature review of researches on photosynthesis in *Camellia oleifera* L. and its affecting factors[J]. Nonwood Forest Research, 2007, 25(2): 78-83.

[33] 刘兆新, 刘妍, 刘婷如, 何美娟, 姚远, 杨坚群, 甄晓宇, 栗鑫鑫, 杨东清, 李向东. 控释复合肥对麦套花生光系统II性能及产量和品质的调控效应[J]. 作物学报, 2017, 43(11): 1667-1676.

LIU Zhaoxin, LIU Yan, LIU Tingru, HE Meijuan, YAO Yuan, YANG Jianqun, ZHEN Xiaoyu, LI Xinxin, YANG Dongqing, LI Xiangdong. Effect of controlled-release compound fertilized on photosystem II performance, yield and quality of intercropped peanut with wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(11): 1667-1676.

[34] 陆志峰, 鲁剑巍, 潘勇辉, 鲁飘飘, 李小坤, 丛日环, 任涛. 钾素调控植物光合作用的生理机制[J]. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1773-1784.

LU Zhifeng, LU Jianwei, PAN Yonghui, LU Piaopiao, LI Xiaokun, CONG Rihuan, REN Tao. Physiological mechanisms in potassium regulation of plant photosynthesis[J]. Plant Physiology Journal, 2016, 52(12): 1773-1784.

[35] 陈莹. 多巴胺对盐胁迫下苹果根系发育及生理特性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.

CHEN Ying. Effects of dopamine on root development and physiological characteristics of apple under salt stress[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.

[36] 李超. 外源褪黑素和多巴胺对苹果抗旱耐盐性的调控功能研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

LI Chao. Regulatory function of exogenous melatonin and dopamine on salt and drought tolerance in *malus*[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.

[37] 唐仲文. 多巴胺在调控苹果重金属镉和铜胁迫中的功能研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.

TANG Zhongwen. Function of dopamine in regulating apple heavy metal cadmium and copper stress[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2022.

[38] KANAZAWA K, SAKAKIBARA H. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendish banana[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(3): 844-848.

[39] 徐兴利, 金则新, 何维明, 王兴龙, 车秀霞. 不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6343-6353.

XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, WANG Xinglong, CHE Xiuxia. Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Sinocalycanthus chinensis* seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6343-6353.

- [40] 王义婧, 李岩, 徐胜, 何兴元, 陈玮, 吴娴. 高浓度臭氧对美国薄荷 (*Monarda didyma* L.) 叶片光合及抗性生理特征的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 696-703.
- WANG Yijing, LI Yan, XU Sheng, HE Xingyuan, CHEN Wei, WU Xian. Effects of elevated ozone concentrations on photosynthetic and resistant physiological characteristics of *Monarda didyma* L. leaves[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(3): 696-703.
- [41] 齐晓媛, 王文莉, 胡少卿, 刘梦雨, 郑成淑, 孙宪芝. 外源褪黑素对高温胁迫下菊花光合和生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2496-2504.
- QI Xiaoyuan, WANG Wenli, HU Shaoqing, LIU Mengyu, ZHENG Chengshu, SUN Xianzhi. Effects of exogenous melatonin on photosynthesis and physiological characteristics of *Chrysanthemum* seedlings under high temperature stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(7): 2496-2504.
- [42] 王晓芳, 相昆, 孙岩, 崔冬冬, 亓雪龙, 王来平, 翟衡, 李勃. 叶面肥对‘巨峰’葡萄光氧化胁迫的缓解效应[J]. 果树学报, 2017, 34(3): 312-320.
- WANG Xiaofang, XIANG Kun, SUN Yan, CUI Dongdong, QI Xuelong, WANG Laiping, ZHAI Heng, LI Bo. Protective effects of foliar fertilizer on ‘Kyoho’ grape under photooxidation[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(3): 312-320.
- [43] LIU X M, GAO T T, ZHANG Z J, TAN K X, JIN Y B, ZHAO Y J, MA F W, LI C. The mitigation effects of exogenous dopamine on low nitrogen stress in *Malus hupehensis*[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(11): 2709-2724.
- [44] 蔡倩, 白一光. 果粮间作对仁用杏生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 农业科技与装备, 2020(6): 1-4.
- CAI Qian, BAI Yiguang. Effect of fruit-grain intercropping on growth and chlorophyll fluorescence parameters of kernel-apricot[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2020(6): 1-4.
- [45] 王文林, 万寅婧, 刘波, 王国祥, 唐晓燕, 陈昕, 梁斌, 庄巍. 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 3933-3940.
- WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, WANG Guoxiang, TANG Xiaoyan, CHEN Xin, LIANG Bin, ZHUANG Wei. Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3933-3940.
- [46] 卢广超, 许建新, 薛立, 张柔, 吴彩琼, 邵怡若. 低温胁迫对4种幼苗的叶绿素荧光特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(2): 44-49.
- LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, ZHANG Rou, WU Caiqiong, SHAO Yiruo. Effects of low temperature stress on chlorophyll fluorescence characteristics of four types of tree species seedlings[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(2): 44-49.
- [47] JI Z Y, LIU Z Y, HAN Y Y, SUN Y. Exogenous dopamine promotes photosynthesis and carbohydrate metabolism of downy mildew-infected cucumber[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 295: 110842.
- [48] 赵邯, 刘春菊, 李越, 李大婧, 李斌, 牛丽影, 肖亚冬, 于蕊. 果蔬成分与细胞结构对其质地特性的影响[J]. 核农学报, 2024, 38(5): 931-942.
- ZHAO Han, LIU Chunju, LI Yue, LI Dajing, LI Bin, NIU Liying, XIAO Yadong, YU Rui. Effects of composition and cell structure on textural characteristics of fruits and vegetables[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2024, 38(5): 931-942.
- [49] 闫国华, 甘立军, 孙瑞红, 张利华, 周燮. 赤霉素和细胞分裂素调控苹果果实早期生长发育机理的研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 11-16.
- YAN Guohua, GAN Lijun, SUN Ruihong, ZHANG Lihua, ZHOU Xie. A study on the mechanisms of exo

- gibberellins and cytokinins in the growth regulation of young apple fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000, 27(1): 11-16.
- [50] 冀泽宇. 外源多巴胺对黄瓜霜霉病的缓解效应及其机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- JI Zeyu. Alleviation effect and mechanism of exogenous dopamine on cucumber downy mildew[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2022.
- [51] 郭欣欣, 舒群, 刘春秀, 马伟荣, 何英云. 云南 14 个砂梨品种 (资源) 果实品质差异的综合评价[J]. *中国南方果树*, 2023, 52(6): 162-165.
- GUO Xinxin, SHU Qun, LIU Chunxiu, MA Weirong, HE Yingyun. Comprehensive evaluation of fruit quality differences among 14 varieties of *Pyrus pyrifolia* in Yunnan[J]. *South China Fruits*, 2023, 52(6): 162-165.
- [52] 陆心宇. 外源多巴胺对苯丙氨酸胁迫下黄瓜抑制作用的缓解机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- LU Xinyu. Study on the alleviating mechanism of the inhibitory effect of exogenous dopamine on phenylpropionic acid stress in cucumber[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021.
- [53] 张娟, 王晓宇, 田呈瑞, 赵旗峰, 马小河, 唐晓萍, 马婷婷, 马锦锦. 基于酚类物质的酿酒红葡萄品种特性分析[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(7): 1370-1382.
- ZHANG Juan, WANG Xiaoyu, TIAN Chengrui, ZHAO Qifeng, MA Xiaohe, TANG Xiaoping, MA Tingting, MA Jinjin. Analysis of phenolic compounds in red grape varieties[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(7): 1370-1382.
- [54] 卢素文, 郑暄昂, 王佳洋, 房经贵. 葡萄类黄酮代谢研究进展[J]. *园艺学报*, 2021, 48(12): 2506-2524.
- LU Suwen, ZHENG Xuan'ang, WANG Jiayang, FANG Jinggui. Research progress on the metabolism of flavonoids in grape[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, 48(12): 2506-2524.
- [55] WANG Y P, ZHANG Z J, WANG X C, YUAN X, WU Q, CHEN S Y, ZOU Y J, MA F W, LI C. Exogenous dopamine improves apple fruit quality via increasing flavonoids and soluble sugar contents[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 280: 109903.
- [56] 周敏. 刺葡萄矿质营养变化规律与钾对果实糖分积累的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- ZHOU Min. Research on nutrients change rule of *Vitis davidii* Foëx. and influence of potassium to fruit sugar accumulation. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [57] LECOURIEUX F, KAPPEL C, LECOURIEUX D, SERRANO A, TORRES E, ARCE-JOHNSON P, DELROT S. An update on sugar transport and signalling in grapevine[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(3): 821-832.
- [58] ANGELES-NÚÑEZ J G, TIESSEN A. *Arabidopsis* sucrose synthase 2 and 3 modulate metabolic homeostasis and direct carbon towards starch synthesis in developing seeds[J]. *Planta*, 2010, 232(3): 701-718.
- [59] 李利梅, 王秀芹, 杨培培, 黄卫东, 战吉成. 赤霞珠葡萄果实糖积累与糖代谢相关酶的关系[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2011(7): 24-27.
- LI Limei, WANG Xiuqin, YANG Peipei, HUANG Weidong, ZHAN Jicheng. Relationship between sugar accumulation and sugar metabolism related enzymes during Cabernet Sauvignon berries development[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2011(7): 24-27.
- [60] 闫梅玲, 王振平, 范永, 周明, 孙盼, 单守明, 代红军. 蔗糖代谢相关酶在赤霞珠葡萄果实糖积累中的作用[J]. *果树学报*, 2010, 27(5): 703-707.
- YAN Meiling, WANG Zhenping, FAN Yong, ZHOU Ming, SUN Pan, SHAN Shouming, DAI Hongjun. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in Cabernet Sauvignon grape fruit[J]. *Journal of*

Fruit Science, 2010, 27(5): 703-707.

[61] WHITE A C, ROGERS A, REES M, OSBORNE C P. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate[J]. Journal of Experimental Botany, 2016, 67(1): 31-45.

[62] 王西成, 吴伟民, 赵密珍, 钱亚明, 王壮伟. NAA 对葡萄果实中糖酸含量及相关基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(3): 425-434.

WANG Xicheng, WU Weimin, ZHAO Mizhen, QIAN Yaming, WANG Zhuangwei. Effect of NAA treatment on sugar acid content and related gene expression in grape berries[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(3): 425-434.