

徐变变,范嘉林,孙 剑,等. 外源褪黑素对葡萄生理特性、果实品质及养分吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(17):152-157.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.17.021

外源褪黑素对葡萄生理特性、果实品质及养分吸收的影响

徐变变, 范嘉林, 孙 剑, 党 伟, 王 芳, 谢一鸣
(商丘市农林科学院,河南商丘 476000)

摘要:为探究外源褪黑素对葡萄生理特性、果实品质及养分吸收的调控效应,以夏黑葡萄为试验材料,研究不同浓度 CK(0 $\mu\text{mol/L}$)、T1(50 $\mu\text{mol/L}$)、T2(100 $\mu\text{mol/L}$)、T3(200 $\mu\text{mol/L}$)及 T4(400 $\mu\text{mol/L}$)的外源褪黑素处理对葡萄叶片生理特性、果实品质及叶片和果实养分含量等指标的影响。结果表明,随褪黑度浓度增加,叶片 SPAD 值、可溶性蛋白、脯氨酸、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性均呈先升高后下降的趋势,在 T2 处理时达最大值,较 CK 分别显著提高 11.60%、26.70%、14.80%、18.95% 和 62.45%,而丙二醛含量呈先下降后上升趋势,T2 处理时降低最显著,且与其他处理差异显著;T1~T3 处理的果实品质指标均高于 CK,其中,T2 处理的单粒质量、单穗质量、可溶性糖含量、维生素 C 含量和糖酸比较 CK 分别显著增加 30.72%、14.71%、38.91%、51.44% 和 66.33%,T1~T4 处理均降低可滴定酸含量;T2 处理的叶片氮和果实钾含量最高,较 CK 分别显著增加 25.75% 和 27.58%,且与 T3 处理无显著差异。主成分分析表明,T2 处理综合得分最高。综合分析,适宜浓度的外源褪黑素能够提高葡萄生理特性、改善果实品质及促进养分吸收,其中以 100 $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理效果最佳。

关键词:葡萄;外源褪黑素;生理特性;果实品质;养分吸收

中图分类号:S663.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)17-0152-06

褪黑素作为新型高能植物生长调节剂,具有用

量小、绿色环保等特点^[1-3]。大量研究表明,褪黑素不仅能够促进作物生长和养分吸收、调控品质^[4-6],还能延缓叶片衰老、增强抗性^[7]。赵开试验表明,浇灌外源褪黑素均可提高长富 2 号和烟富 3 号苹果叶片叶绿素含量^[8]。刘建龙在早酥梨上喷施外源褪黑素后发现,外源褪黑素不仅增加了梨单果质量,且提高了梨果实可溶性固形物和山梨醇等物质的含量^[9]。赵亮亮等研究报道,外源褪黑素处理较对照提高了玉露香梨叶片和果实中的氮、镁和铜含量^[10]。此外,刘芯伶等指出在干旱胁迫条件下,盆

收稿日期:2022-12-06

基金项目:河南省大宗水果产业技术体系资助项目(编号:Z2014-11-02);国家现代苹果产业技术体系建设专项(编号:CARS-28);河南省“四优四化”项目专项资金。

作者简介:徐变变(1990—),女,河南夏邑人,硕士,研究实习员,主要从事果树栽培生理研究工作。E-mail: xubianbian183360@163.com。

通信作者:谢一鸣,研究员,主要从事果树栽培与推广工作。E-mail:13937099586@163.com。

[12] 杨 玲,丛佩华,王 强,等. 不同苹果品种在贮藏过程中果实质构的变化[J]. 果树学报,2016,33(11):1439-1446.
[13] 王 斐,姜淑苓,陈秋菊,等. 脆肉梨果实成熟过程中质地性状的变化[J]. 果树学报,2016,33(8):950-958.
[14] 杜庆平,李伶俐,徐 强,等. 加工类型黄瓜果实脆度与其组织结构的关系[J]. 湖北农业科学,2012,51(5):940-942.
[15] 刘春香,何启伟,于占东. 黄瓜质地与组织结构、纤维素及果胶含量的关系[J]. 中国蔬菜,2003(5):3-7.
[16] 陈湘颖,丁 想,牛莹莹,等. 库勒勒香梨及其芽变品种沙 01 果实硬度差异的相关因素分析[J]. 西南农业学报,2020,33(5):952-957.
[17] 潘好斌,刘 东,邵青旭,等. 不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J]. 食品科学,2019,40(21):35-42.

[18] 潘秀娟,屠 康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报,2005,21(3):166-170.
[19] 姜 松,陈巧林. 水蜜桃在贮藏期间的质地变化规律的研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(5):4-5,8.
[20] 刘丙花,王开芳,王小芳,等. 基于主成分分析的蓝莓果实质地品质评价[J]. 核农学报,2019,33(5):927-935.
[21] 林蝉蝉,何舟阳,单文龙,等. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报,2020,37(4):520-532.
[22] 杨 植,王振磊. 基于 TPA 法评价枣果实质地及聚类分析[J]. 新疆农业科学,2019,56(10):1860-1868.
[23] 闫世江,张继宁,刘 洁. 聚类分析在黄瓜育种中的应用[J]. 当代生态农业,2012,21(增刊1):9-12.

栽金实 1 号猕猴桃幼苗根灌外源褪黑素后,可提高幼苗酶活性、降低丙二醛含量,进而提高其抗逆性^[11]。然而有关外源褪黑素对葡萄植株生理特性、果实品质及养分吸收的研究报道较少。

本研究选用露地夏黑葡萄开展田间试验,分析不同浓度的外源褪黑素对葡萄生理特性、果实内外在品质及营养含量的调控效应,确定最佳浓度,为其在果树上的增产提质提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年在河南商丘市梁园区双八镇薛庄(34°30′6″N,115°40′11″E)进行。该地属暖温带半湿润季风气候,年平均气温 14 ℃,无霜期 212 d,全年日照 2 200 h,年均降水量 710.9 mm。土壤为沙壤,主要理化性质:pH 值 7.48,有机质含量 11.12 g/kg、碱解氮含量 79.43 mg/kg、速效磷含量 11.37 mg/kg、速效钾含量 124.86 mg/kg。

1.2 试验材料

供试作物品种为 5 年生自根砧夏黑葡萄,露地栽培,株行距 1.0 m × 4.0 m。供试药剂为褪黑素(分析纯,纯度 99%),南京都莱生物技术有限公司。

1.3 试验设计

2022 年 5 月选取生长势一致的夏黑葡萄为试验材料。设置 5 个试验处理,每处理 5 株,3 次重复,完全随机排列。褪黑素浓度处理分别为 CK(0, 喷清水)、T1(50 μmol/L)、T2(100 μmol/L)、T3(200 μmol/L)和 T4(400 μmol/L),分别于 5 月 30 日(果实膨大期)和 6 月 30 日(果实转色期)各喷施 1 次,每次每株葡萄用量为 4 L,其他日常管理同当地。

1.4 取样方法

2022 年 8 月 10 日果实成熟时,按处理从每个树体各采集 10 张叶和葡萄 2 穗,组成混合样带回实验室,测定相关生理指标。

1.5 测定项目与方法

1.5.1 叶片生理指标测定 SPAD 值用叶绿素仪测定(SPAD 502);丙二醛和脯氨酸参照周祖富和黎兆安的方法^[12];参考李合生的方法^[13]测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性;考马斯亮蓝法^[14]测定可溶性蛋白含量。

1.5.2 果实外观品质参数测定 果实单粒质量采

用电子天平精度(0.01 g)测定;单穗质量采用普通天平测量;电子游标卡尺精度(0.01 mm)测定果实纵横径,纵径/横径为果形指数。

1.5.3 果实内在品质参数测定 果实硬度和可溶性固形物分别用硬度计(GY-4)和糖度计(PAL-1)测定;采用王学奎等的方法^[15]测定可溶性糖和维生素 C 含量;可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法^[16]测定。

1.5.4 养分含量测定 叶片、果实氮、磷、钾含量分别用凯氏定氮法、钼蓝比色法^[16]和火焰光度计测定。

1.6 数据分析

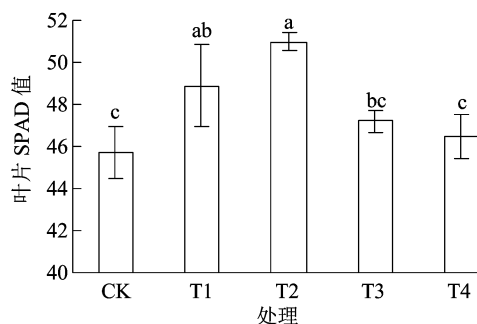
采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 17.0,对本试验数据进行处理、作图、方差分析与综合得分分析。

2 结果与分析

2.1 外源褪黑素对葡萄叶片生理特性的影响

2.1.1 外源褪黑素对葡萄叶片 SPAD 值的影响

由图 1 可知,随褪黑素浓度的增加,叶片叶绿素相对含量呈先增加后降低趋势。与 CK 相比,褪黑素处理均能增加葡萄叶片 SPAD 值,其中 T2 处理的叶片 SPAD 值最高,较 CK 显著增加 11.60%,且 T2 处理与 T3 和 T4 处理差异显著性($P < 0.05$)。



柱上不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平差异显著,下同

图1 外源褪黑素对夏黑葡萄叶片 SPAD 值的影响

2.1.2 外源褪黑素对葡萄叶片抗性物质的影响

由图 2 可知,T1、T2 和 T3 处理的葡萄叶片可溶性蛋白和脯氨酸含量较 CK 分别提高 8.90%、26.70%、21.43% 和 5.50%、14.80%、1.97%;葡萄叶片丙二醛含量由高到低依次为 T4 > CK > T3 > T1 > T2,其中,T1 和 T2 处理葡萄叶片丙二醛含量较 CK 分别显著降低 4.83% 和 33.25% ($P < 0.05$)。T4 处理的葡萄叶片可溶蛋白和脯氨酸含量显著低于其他处理,较其他处理分别降低 7.94%、15.47%、

27.34%、24.19% 和 5.62%、10.54%、17.79%、7.44%；T4 处理的叶片丙二醛含量高于其他处理，且显著高于 T1 和 T2 处理($P<0.05$)。由此可见，适宜浓度的褪黑素处理可提高葡萄叶片抗性，而高浓度的褪黑素则降低了葡萄叶片抗性。

2.1.3 外源褪黑素对葡萄叶片酶活性的影响 由图 3 可知，不同浓度褪黑素处理下，葡萄叶片中 SOD、POD 和 CAT 活性总体表现为先升高后降低。T1 和 T2 处理的 SOD 活性较 CK 分别增加 4.49% 和 18.95%，T3 和 T4 处理的 SOD 活性较 CK 分别降低 5.04% 和 12.51%，且 T2 处理与其他处理间差异显

著($P<0.05$)。T1、T2 和 T3 处理的 POD 和 CAT 活性较 CK 分别显著提高 4.34%、8.12%、8.67% 和 23.73%、62.45%、34.97% ($P<0.05$)，其中 T3 处理的 POD 活性最高，显著高于 CK、T1 和 T4 处理($P<0.05$)，且与 T2 处理差异不显著；T2 处理的 CAT 活性最高，显著高于其他处理，且各处理间差异显著；T4 处理的 SOD、POD 和 CAT 活性显著低于其他处理(T3 处理 SOD 活性除外)。由此表明，T2 处理可显著提高叶片抗氧化酶活性，T4 处理则显著降低叶片抗氧化酶活性。

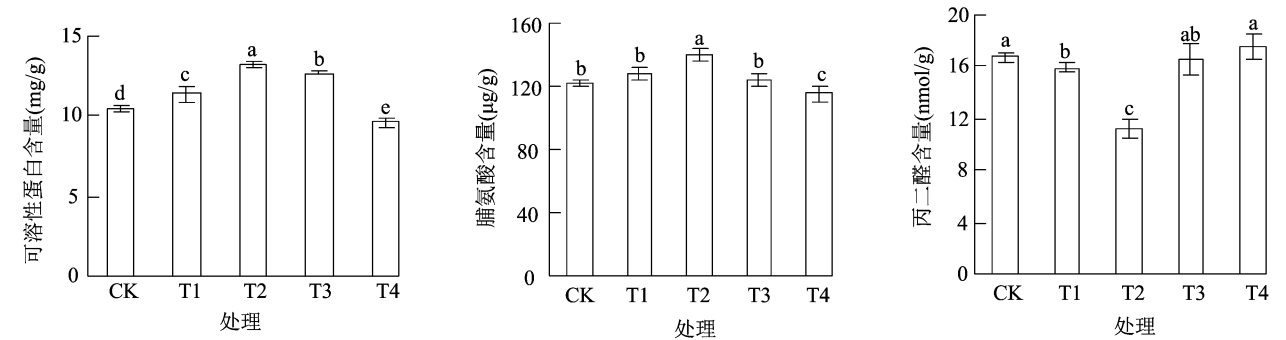


图2 外源褪黑素对夏黑葡萄叶片抗性物质的影响

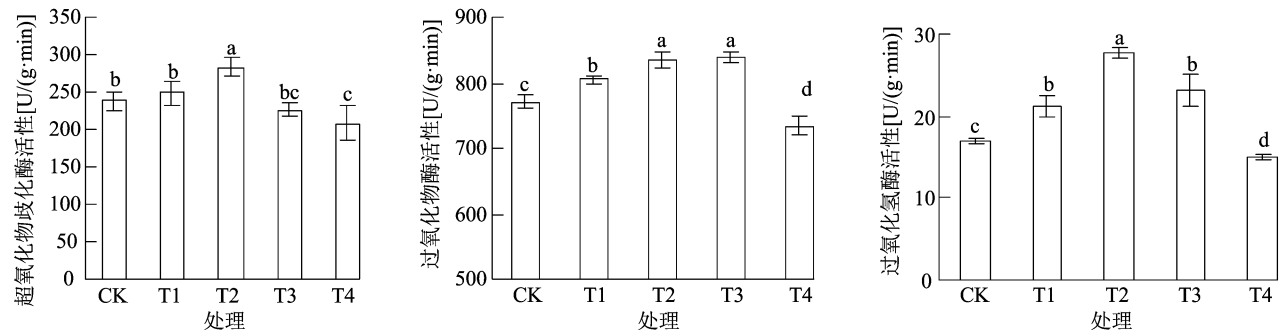


图3 外源褪黑素对夏黑葡萄叶片酶活性的影响

2.2 外源褪黑素对葡萄果实品质的影响

2.2.1 外源褪黑素对葡萄果实外观品质的影响

由表 1 可知，与 CK 相比，T1、T2 和 T3 处理均能增加葡萄单粒质量和单穗质量，其中 T2 处理的单粒质量和单穗质量最高，较 CK 分别显著提高 30.72% 和 14.71% ($P<0.05$)；T4 处理降低葡萄单粒质量和单穗质量，较 CK 分别显著降低 7.68% 和 5.52% ($P<0.05$)。褪黑素处理的果实硬度均显著高于 CK ($P<0.05$)，其中 T3 处理最高，较其他处理分别提高 11.05%、6.42%、0.21% 和 4.65%。褪黑素处理对葡萄果实果形指数无显著影响。

2.2.2 外源褪黑素对葡萄果实内在品质的影响

由表 2 可知，褪黑度处理的葡萄可滴定酸含量由高到低依次为 CK>T3>T1>T2>T4，T1、T2、T3、T4 处理较 CK 分别降低 14.29%、15.87%、3.17% 和 30.16%，T1、T2 和 T4 处理与 CK 和 T3 处理差异显著($P<0.05$)。除可滴定酸含量外，T1~T3 处理的葡萄内在品质指标均高于 CK，在 T2 处理下葡萄内在品质提高效果最佳，分别显著提高 11.76%、38.91%、66.33% 和 51.44% ($P<0.05$)。T4 处理下的葡萄果实可溶性糖和维生素 C 含量较其他处理显著下降。由此可见，T2 处理可提高果实内在品质，T4 处理则降低果实内在品质。

表 1 外源褪黑素对夏黑葡萄果实外观品质的影响

处理	单粒质量 (g)	单穗质量 (g)	果形指数	果实硬度 (kg/cm ²)
CK	5.86 ± 0.24c	480.71 ± 15.63c	1.05 ± 0.01a	8.51 ± 0.08c
T1	6.10 ± 0.16c	523.29 ± 1.91b	1.06 ± 0.02a	8.88 ± 0.27b
T2	7.66 ± 0.11a	551.42 ± 6.69a	1.07 ± 0.02a	9.43 ± 0.02a
T3	7.23 ± 0.23b	529.13 ± 4.51b	1.06 ± 0.01a	9.45 ± 0.13a
T4	5.41 ± 0.31d	454.17 ± 13.64d	1.05 ± 0.01a	9.03 ± 0.10b

注:同列数据后不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平差异显著,下同。

表 2 外源褪黑素对夏黑葡萄果实内在品质的影响

处理	可溶性固形物含量 (%)	可溶性糖含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	糖酸比	维生素 C 含量 (mg/100g)
CK	16.32 ± 0.25c	9.38 ± 0.25c	0.63 ± 0.02a	14.82 ± 0.85c	2.08 ± 0.14c
T1	18.57 ± 0.77a	10.85 ± 0.51b	0.54 ± 0.01b	20.10 ± 1.20b	2.67 ± 0.09b
T2	18.24 ± 0.27a	13.03 ± 0.64a	0.53 ± 0.03b	24.65 ± 2.25a	3.15 ± 0.21a
T3	17.26 ± 0.19b	9.64 ± 1.25bc	0.61 ± 0.04a	15.78 ± 1.43c	2.78 ± 0.14b
T4	16.60 ± 0.25bc	8.11 ± 0.23d	0.44 ± 0.04c	18.62 ± 1.04b	1.77 ± 0.11d

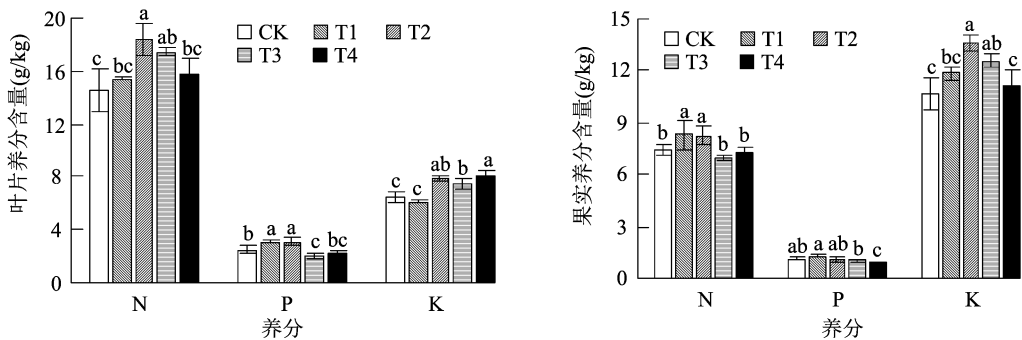


图 4 外源褪黑素对夏黑葡萄叶片和果实养分含量的影响

2.3 外源褪黑素对葡萄养分吸收的影响

由图 4 可知,褪黑素处理均增加了叶片氮含量,其中,T2 处理的叶片氮含量最高,较 CK 显著增加 25.75%,且与 T3 处理无显著性差异。褪黑素处理的叶片磷含量高低顺序依次为 T1 > T2 > CK > T4 > T3,其中,T1 处理的叶片磷含量最高,且与 T2 处理无显著性差异,T3 和 T4 处理降低叶片磷含量。除 T1 处理外,褪黑素处理均能显著增加叶片钾含量,其中,T4 处理的叶片钾含量最高,较 CK、T1 和 T3 处理分别显著增加 25.23%、31.33% 和 8.74% ($P < 0.05$),且与 T2 处理无显著性差异。

随褪黑素浓度的增加,果实氮、磷和钾含量先上升后下降。与 CK 相比,T1 处理的果实氮和磷含量最高,分别提高 13.04% 和 10.43%,且与 T2 处理差异不显著,T4 处理均降低果实氮和磷含量。褪黑素处理的果实钾含量高低顺序依次为 T2 > T3 >

T1 > T4 > CK,其中,T2 和 T3 处理的果实钾含量显著高于 CK 和 T4 处理,分别提高 27.58%、21.32% 和 18.20%、12.40% ($P < 0.05$),且 T2 和 T3 处理差异不显著。可见,T2 处理可以提高叶片和果实氮、磷、钾含量,T4 处理则降低叶片和果实磷含量。

2.4 外源褪黑素对葡萄生理特性、果实品质及养分吸收综合影响主成分分析

由表 3 可知,通过主成分分析,第 1 主成分特征值(F_1)的变量解释度为 69.03%,是最主要的解释变量,前 3 个成分的累计贡献率为 97.37%,表明 3 个成分为主要分析部分。对各处理在 3 个成分中进行综合评价,结果(表 4)表明,T2 得分最高,为 3.93,说明喷施 100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的褪黑素对提高葡萄生理特性、养分吸收、改善果实品质的综合效果最好。

表 3 主成分分析结果

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
F ₁	13.81	69.03	69.03
F ₂	3.79	18.95	87.98
F ₃	1.88	9.39	97.37

注:F₁、F₂ 和 F₃ 分别表示第 1、2、3 主成分。

表 4 不同处理对夏黑葡萄生理特性、果实品质及养分吸收的综合影响评分

处理	主成分得分			综合得分	排名
	F ₁	F ₂	F ₃		
CK	-3.09	-1.35	-0.90	-2.54	5
T1	1.16	-2.53	-0.12	0.32	3
T2	5.31	0.38	0.97	3.93	1
T3	0.59	2.33	-1.67	0.71	2
T4	-3.97	1.17	1.72	-2.43	4

3 讨论与结论

3.1 外源褪黑素对葡萄生理特性的影响

研究表明,外源褪黑素通过增加植物体内可溶性蛋白和脯氨酸含量,从而提高植物抗性^[17]。本试验结果表明,适宜浓度的外源褪黑素促进葡萄叶片中可溶性蛋白和脯氨酸积累,增强葡萄的抗性,且外源褪黑素浓度为 100 μmol/L 时,两者含量均显著高于其他处理,而外源褪黑素浓度为 400 μmol/L 则显著低于其他处理,表现出抑制效果,这与早期研究结果^[18-19]一致。推测高浓度的外源褪黑素可能也是一种逆境胁迫,造成植物体细胞受到胁迫,从而使其含量减少,具体机理有待进一步研究。外源褪黑素还能通过提高植物的抗氧化性来增强抗性^[20-22]。李贺等和朱红霞等分别在大豆和百日草幼苗上的研究发现,随外源褪黑素浓度增加,SOD、POD 和 CAT 活性均先增加后下降^[23-24],与本研究结果类似。本研究还发现,葡萄叶片 3 种酶活性与 MDA 含量互为因果关系,即酶活性上升,MDA 含量下降,这与于会丽等的研究结果^[25-26]一致。

3.2 外源褪黑素对葡萄果实品质的影响

陈忠诚等报道,在红小豆苗期、花荚期、鼓粒期分别喷施褪黑素均可增加单株粒质量和百粒质量,其中,100 μmol/L 褪黑素处理的红小豆单株粒质量在各生育期提高效果最显著,较 CK 分别增加 6.35%、12.07%和 9.46%^[27],本研究也表明,

100 μmol/L 褪黑素处理提高葡萄单粒质量和单穗质量最显著。同时,外源褪黑素处理可提高果实品质,这与前人分别在葡萄、甜樱桃和木瓜上的研究结果^[28-30]一致,可能是外源褪黑素处理提高了叶片 SPAD 值和果实钾元素的吸收,进而提高了葡萄的光合能力和促进了糖类物质的运输和转化,从而提高了果实品质^[31-32]。与此同时,本试验表明,随外源褪黑素浓度增加,葡萄果实品质先升高后降低,外源褪黑素浓度 50 ~ 200 μmol/L 果实品质指标均高于对照,而 400 μmol/L 则低于对照,这与高文华的研究结果^[33]一致,充分说明外源褪黑素对品质的改善呈现“低浓度促进,高浓度抑制”的作用。整体来说,100 μmol/L 褪黑素处理改善效果最显著。

3.3 外源褪黑素对葡萄养分吸收的影响

本研究发现,叶面喷施外源褪黑素处理均增加了葡萄叶片氮和果实中的钾含量,前人在黄瓜和苹果上的研究也有相似的发现,Brengi 等发现,外源褪黑素处理增加了盐胁迫条件下黄瓜叶片中 N、P 和 K⁺ 含量^[34],梁博文对盆栽富士苹果的研究也表明,外源施加褪黑素能促进果实对 N、P 和 K 的吸收^[35]。可能是由于施用外源褪黑素提高了葡萄的抗氧化酶活性和渗透调节物质的含量,降低了丙二醛含量,增强了葡萄的抗性,从而提高葡萄对养分的吸收能力^[36]。

综上所述,喷施外源褪黑素可提高葡萄抗性物质和抗氧化酶活性,调控葡萄内外在品质,促进叶片和果实养分含量的吸收,且外源褪黑素浓度为 100 μmol/L 时效果最佳。

参考文献:

[1] Wu S Q, Wang Y, Zhang J K, et al. Exogenous melatonin improves physiological characteristics and promotes growth of strawberry seedlings under cadmium stress [J]. Horticultural Plant Journal, 2021, 7(1): 13-22.

[2] Castañares J L, Bouzo C A. Effect of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.) under salt stress [J]. Horticultural Plant Journal, 2019, 5(2): 79-87.

[3] 徐 芳, 周海鹏, 郭早霞, 等. 植物褪黑素及其抗逆性研究 [J]. 基因组学与应用生物学, 2013, 32(2): 260-266.

[4] Wei W, Li Q T, Chu Y N, et al. Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(3): 695-707.

[5] Ibrahim M F M, Elbar O H A, Farag R, et al. Melatonin counteracts drought induced oxidative damage and stimulates growth, productivity and fruit quality properties of tomato plants [J]. Plants, 2020, 9(10): 1276.

- [6] Cao Y, Du P H, Ji J H, et al. Ionic combined with transcriptomic and metabolomic analyses to explore the mechanism underlying the effect of melatonin in relieving nutrient stress in apple [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23 (17) : 9855.
- [7] Wang P, Sun X, Li C, et al. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple [J]. Journal of Pineal Research, 2013, 54 (3) : 292-302.
- [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.
- [9] 刘建龙. 外源褪黑素对梨果实发育、采后品质和抗轮纹病的影响及其调控机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [10] 赵亮亮, 赵德英, 闫帅, 等. 外源褪黑素对梨叶片及果实矿质营养的影响[J]. 中国果树, 2022 (9) : 23-28.
- [11] 刘芯伶, 彭玉婷, 王云梅, 等. 外源褪黑素和脱落酸对干旱胁迫下猕猴桃幼苗生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39 (4) : 95-101.
- [12] 周祖富, 黎兆安. 植物生理学实验指导[M]. 南宁: 广西大学出版社, 2005: 32-117.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-167.
- [14] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 84-143.
- [15] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [17] 张嘉雯, 卢绍浩, 赵喆, 等. 外源褪黑素对低温胁迫下烟草幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22 (9) : 78-86.
- [18] 郭爱华. 外源褪黑素对盐胁迫下苦菜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (13) : 153-157.
- [19] 吴彩芳, 李红艳, 刘琴, 等. 外源褪黑素对桃生长及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2021, 38 (1) : 40-49.
- [20] Mirshekari A, Madani B, Yahia E M, et al. Postharvest melatonin treatment reduces chilling injury in sapota fruit [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100 (5) : 1897-1903.
- [21] Wang H, Wang D M, Zhang Z J, et al. Effects of exogenous melatonin on antioxidant capacity and nutrient uptake of *Lolium perenne* and *Medicago sativa* under drought stress [J]. Journal of Applied Ecology, 2022, 33 (5) : 1311-1319.
- [22] 苗卫东, 王萌, 高换超, 等. 外源褪黑素对低温胁迫下不同葡萄品种抗氧化酶活性和 AsA-GSH 循环的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (23) : 133-138.
- [23] 李贺, 姜欣悦, 陈忠诚, 等. 外源褪黑素对低温胁迫下大豆 V1 期幼苗光合荧光及抗氧化系统的影响[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42 (4) : 640-648.
- [24] 朱红霞, 李赛楠, 苏文青, 等. 外源褪黑素对铬胁迫下百日草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54 (9) : 64-69.
- [25] 于会丽, 徐变变, 徐国益, 等. 生物有机肥对苹果幼苗生长、生理特性以及土壤微生物功能多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38 (1) : 32-38.
- [26] 韩忠明, 胥苗苗, 王云贺, 等. 干旱胁迫对防风叶片保护酶活性、渗透调节物质含量及药材品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37 (6) : 91-97.
- [27] 陈忠诚, 金喜军, 李贺, 等. 外源褪黑素对红小豆生长、光合荧光特性及产量构成因素的影响[J]. 作物杂志, 2021 (6) : 88-94.
- [28] 钟莉莎. 褪黑素对‘夏黑’葡萄生长和果实品质及蔗糖代谢的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
- [29] Xia H, Shen Y Q, Shen T A, et al. Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties [J]. Molecules, 2020, 25 (3) : 753.
- [30] Fan S L, Li Q, Feng S, et al. Melatonin maintains fruit quality and reduces anthracnose in postharvest *Papaya* via enhancement of antioxidants and inhibition of pathogen development [J]. Antioxidants, 2022, 11 (5) : 804.
- [31] 李恭峰, 高亚新, 马万成, 等. 叶喷褪黑素对草莓生长、光合及果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2022 (12) : 80-85.
- [32] 张绍阳, 杨军, 刘桂华. 钾营养水平对艳光油桃果实品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35 (2) : 289-292.
- [33] 高文华. 外源褪黑素处理对西瓜生长及产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [34] Brengi S H, Khedr A A E M, Abouelsaad I A. Effect of melatonin or cobalt on growth, yield and physiological responses of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants under salt stress [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2022, 21 (1) : 51-60.
- [35] 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.
- [36] 王慧, 王冬梅, 张泽洲, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下黑麦草和苜蓿抗氧化能力及养分吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33 (5) : 1311-1319.