

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0224

褪黑素处理对盐胁迫下马铃薯生长和光合作用的影响

顾玉倩, 商开晰, 胡峻清, 汪文官, 尉辉, 刘素慧

(山东农业工程学院 济南 250000)

摘要:为缓解盐胁迫对马铃薯生长和产量的影响,以马铃薯品种费乌瑞它为试验材料,采用 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NaCl溶液模拟盐胁迫环境,以未被盐胁迫喷去离子水为对照1(CK1),以盐胁迫后喷去离子水为对照2(CK2),以50、100、150、200 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的褪黑素喷施盐胁迫下的马铃薯盆栽苗为处理(T1~T4),研究不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯生长发育和光合特性的影响。结果表明,喷施不同浓度的褪黑素均可以提高马铃薯对盐胁迫的抗性。与CK2相比,喷施褪黑素的马铃薯株高、茎粗以及叶片厚度的最大增幅分别为39.05%、66.99%、128.07%;叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率的最大增幅分别为63.95%、61.08%、34.78%、28.07%、55.21%;马铃薯地上部干质量、地上部鲜质量、单株结薯数及平均单薯质量的最大增幅分别为266.87%、97.96%、150.00%、114.47%。在不同浓度褪黑素处理中,T3处理($150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的增幅均最大。综上,喷施褪黑素可提高费乌瑞它对盐胁迫的抗性,其中喷施 $150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素提高马铃薯耐盐性的效果最好,研究结果可为盐碱地马铃薯栽培提供生长调节剂应用策略,并为耐盐马铃薯品种选育提供理论支持。

关键词:马铃薯;盐胁迫;褪黑素;生长;光合作用

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)12-102-08

Effects of melatonin treatment on the growth and photosynthesis of *Solanum tuberosum* L. under salt stress

GU Yuqian, SHANG Kaixi, HU Junqing, WANG Wenguan, WEI Hui, LIU Suhui

(Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250000, Shandong, China)

Abstract: To mitigate the effects of salt stress on the growth and yield of potato, a pot experiment was conducted using the potato cultivar Favorita as the test material. A $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl solution was used to simulate a salt-stressed environment. Two control groups were set up: Control 1 (CK1, non-salt-stressed plants sprayed with deionized water) were established by spraying salt-stressed potato seedlings with melatonin at concentrations of 50, 100, 150, and $200 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. This study aimed to investigate the effects of different melatonin concentrations on the growth, development, and photosynthetic characteristics of potato under salt stress. The results showed that foliar application of melatonin at various concentrations could improve the salt stress resistance of potato. Compared with CK2, the maximum increases in plant height, stem diameter, and leaf thickness of melatonin-treated potato were 39.05%, 66.99%, and 128.07%, respectively. For photosynthetic parameters, the maximum increases in chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration, and transpiration rate were 63.95%, 61.08%, 34.78%, 28.07%, and 55.21%, respectively. Regarding yield-related traits, the maximum increases in aboveground dry mass, aboveground fresh mass, number of tubers per plant, and average single tuber mass were 266.87%, 97.96%, 150%, and 114.47%, respectively. Among all melatonin treatments, T3 ($150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) exhibited the highest increments in all measured indices. In conclusion, foliar application of melatonin can enhance the salt stress resistance of Favorita potato, with $150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ being the optimal concentration. The findings provide an application strategy for growth regulators in potato cultivation on saline-al-kali land and offer theoretical support for the breeding of salt-tolerant potato cultivar.

Key words: *Solanum tuberosum* L.; Salt stress; Melatonin; Growth; Photosynthesis

收稿日期:2025-03-20;修回日期:2025-05-20

基金项目:山东农业工程学院项目(sgyhx2024-26)

作者信息:顾玉倩,女,在读本科生,研究方向为设施园艺栽培学。E-mail:3210622240@qq.com

通信作者:刘素慧,女,副教授,研究方向为设施蔬菜栽培生理学。E-mail:330730016@qq.com

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科茄属的一年生草本植物,属于浅根系作物,耐盐性较差,土地盐渍化导致马铃薯病害严重、减产甚至绝收,严重影响马铃薯产量及品质,也对经济效益造成巨大损失^[1]。罗红剑^[2]研究表明,盐胁迫会导致马铃薯植株矮化、叶片黄化,严重时甚至死亡。姚彦红等^[3]研究表明,盐胁迫会降低马铃薯的光合作用效率,影响其生长发育和产量。褪黑素(melatonin, MT)是一种在植物中广泛存在的激素,属于吲哚类植物生长调节剂,也是一种天然的抗氧化剂,能够通过外源施加的方法达到缓解逆境胁迫的目的^[4-6],其化学名称为N-乙酰基-5-甲氧基色胺^[7]。王春林等^[8]研究表明,外源施加褪黑素能够缓解盐胁迫对植物生长的抑制作用等。包颖等^[9]研究也表明,褪黑素处理能显著提高植物在盐胁迫下的存活率。尽管已有研究证实,褪黑素对植物耐盐性具有一定的缓解作用,但关于褪黑素对盐胁迫下马铃薯生长及光合特性影响方面的研究尚不充分。鉴于此,笔者以费乌瑞它为材料,探讨不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯生长及光合特性的影响,以期为马铃薯耐盐性改良提供新思路,为提高在盐渍化土壤条件下马铃薯的产量和品质奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2024年3月6日至5月12日在山东农业工程学院日光温室中进行。供试材料为马铃薯品种费乌瑞它(Favorita),试验中使用的褪黑素购于安徽泽生科技有限公司。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,以未被盐胁迫喷去离子水为对照1(CK1),以盐胁迫喷去离子水为对照2(CK2),以盐胁迫后喷施50、100、150、200 μmol·L⁻¹MT溶液为处理,分别记作T1~T4(表1)。

3月20日,选取生长健壮、无病虫害的长势

表1 马铃薯的不同MT浓度组合

Table 1 Different combinations of MT concentrations in potato

处理 Treatment	c(NaCl)/(mmol·L ⁻¹)	c(MT)/(μmol·L ⁻¹)
CK1	0	0
CK2	150	0
T1	150	50
T2	150	100
T3	150	150
T4	150	200

均匀的盆栽苗进行盐胁迫试验,处理浓度为150 mmol·L⁻¹的NaCl溶液,每个处理3次重复,每个重复20株。盐胁迫处理第2天开始,选择傍晚用不同浓度褪黑素喷施叶片,以药液附于叶面但不下滴为标准,CK1和CK2喷施去离子水为对照,均连续喷施5 d。在褪黑素处理后的1、4、7、10和13 d测定株高、茎粗、叶片厚度、叶绿素含量等指标,在处理的4、7、10 d测定马铃薯的光合特性,于4月25日测定地上部鲜质量和干质量,于5月12日测定单薯质量。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标 使用直尺从茎基部到生长点测量株高;使用游标卡尺从距土面1 cm左右测量茎粗。使用叶片厚度计(YH-1浙江托普仪器有限公司)测量叶片厚度。

1.3.2 叶绿素相对含量 采用SPAD-502 Plus叶绿素仪(日本Konica Minolta公司)测定叶绿素相对含量。每株在同一叶片的同一位置测3次作为重复。

1.3.3 光合特性 采用Li-6400光合作用测定仪(美国Li-COR公司)对马铃薯幼苗从上到下第2~4个枝条完全展开的顶端叶片测定净光合速率(P_n)、胞间CO₂浓度(C_i)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)。

1.3.4 地上部干鲜质量 每个处理选择3株马铃薯作为重复,测量干质量和鲜质量,在测量鲜质量前要将每株马铃薯用清水洗净,然后用滤纸将每株马铃薯表面的水分吸干后再进行马铃薯鲜质量的称量。测完鲜质量后将马铃薯幼苗放入信封中并且做好标记。把装好的信封先放在温度为105 °C的烘干箱中杀青30 min,然后再用80 °C的烘干箱将马铃薯烘干到恒质量后,测量马铃薯的干质量。

1.3.5 单薯质量 将每株马铃薯结出的幼薯采摘下来并进行清洗,然后放在天平上称量,每个处理选择3株马铃薯作为重复。

1.4 数据处理

采用Excel 2020软件进行数据处理及制作图表;使用DPS v 9.01进行数据统计分析,采用Duncan's新复极差法进行差异显著性比较。

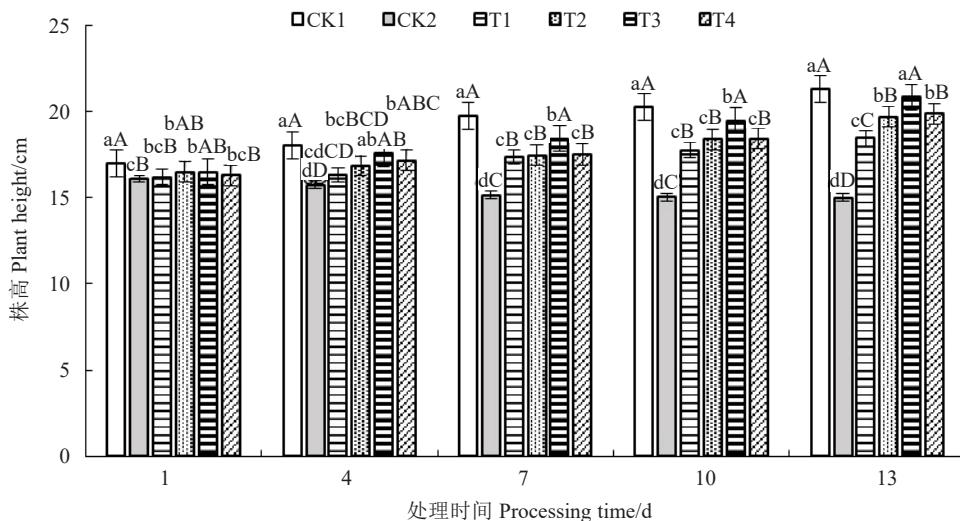
2 结果与分析

2.1 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯生长指标的影响

由图1可知,与CK1相比,盐胁迫处理后马铃薯的株高呈下降趋势,CK2的株高低于喷施褪黑素的处理;喷施后的7~13 d,褪黑素处理的马铃薯株

高均极显著高于 CK2,且随时间的延长,株高总体上呈上升趋势,其中 T3 处理的株高均最大,且与其他褪黑素处理的差异均达极显著水平。喷施 MT 后的 1~13 d,随褪黑素浓度增加,处理组的株高均呈先上升后下降的趋势。喷施后 13 d,T1、T2、T3

和 T4 处理分别比 CK2 极显著提高了 3.47、4.71、5.85 和 4.87 cm,促进效果均在 23.16% 以上,其中 T3 处理最高,达 39.05%,其次为 T4 处理。以上数据表明,不同浓度褪黑素处理均能有效促进盐胁迫下马铃薯株高增长。



注:不同大写字母表示同一时间的不同处理在 0.01 水平差异极显著,不同小写字母表示同一时间的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different capital letters indicate extremely significant difference among different treatments of the same time at 0.01 level, different small letters indicate significant difference among different treatments of the same time at 0.05 level. The same below.

图 1 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯株高的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of melatonin on the plant height of potato under salt stress

由图 2 可知,与 CK1 相比,盐胁迫处理后马铃薯的茎粗呈下降趋势;喷施后的 7~13 d,褪黑素处理的马铃薯茎粗均极显著高于 CK2,且随时间的延长,茎粗总体呈增长趋势,除 CK1 外,T3 处理的茎粗均最大,且极显著高于其他褪黑素处理。喷施褪

黑素后的 1~13 d,随浓度增加,茎粗均呈先上升后下降的趋势。喷施后 13 d,与 CK2 相比,褪黑素处理的马铃薯茎粗分别提高 0.45、0.57、0.69、0.61 cm,提高效果均在 43.69% 以上,除 CK1 外,T3 处理最高,比 CK2 极显著提高 66.99%,其次为 T4 处理。

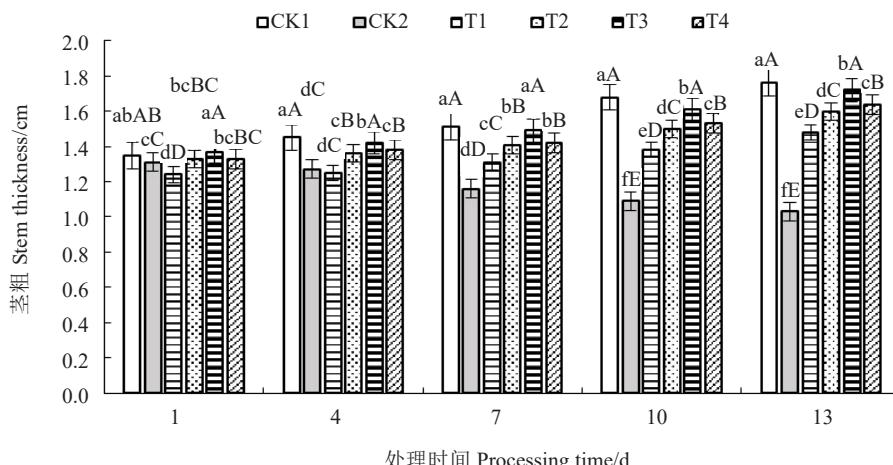


图 2 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯茎粗的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of melatonin on stem thickness of potato under salt stress

在喷施褪黑素后的1~13 d, T3与T4处理均有极显著差异。以上数据表明,不同浓度褪黑素处理均能有效促进盐胁迫下马铃薯茎粗增加。

由图3可知,与CK1相比,盐胁迫处理后马铃薯的叶片厚度呈下降趋势;喷施褪黑素后的7~13 d,褪黑素处理的马铃薯叶片厚度均极显著高于CK2,且随时间的延长,叶片厚度总体呈上升趋势,其中T3处理的叶片厚度均最大,且极显著高于处理10~13 d的其他褪黑素处理。喷施褪黑素后的1~13 d,随浓度增加,褪黑素处理组的叶片厚度均呈先上升后下降的趋势。喷施后13 d,与CK2相比,褪黑素处理的马铃薯叶片厚度分别极显著提高0.45、0.61、0.73、0.63 cm,提高效果均在78.95%以上,其中T3

处理最高,为128.07%,其次为T4处理。T3处理在喷施后第1、4、7天与T4处理差异不显著,在喷施后的第10天和第13天,T3与T4处理均有极显著差异。以上数据表明,不同浓度褪黑素处理均能有效促进盐胁迫下马铃薯叶片厚度增大。

2.2 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯光合特性的影响

由图4可知,与CK1相比,在褪黑素处理后的4~13 d,盐胁迫处理的叶绿素相对含量均呈下降趋势,且与CK1间的差异均达极显著水平,最大降幅为褪黑素处理13 d的CK2,下降幅度达42.38%。与CK2相比,褪黑素处理的叶绿素相对含量均极显著升高,处理后4~13 d,随浓度增加,褪黑素处理的

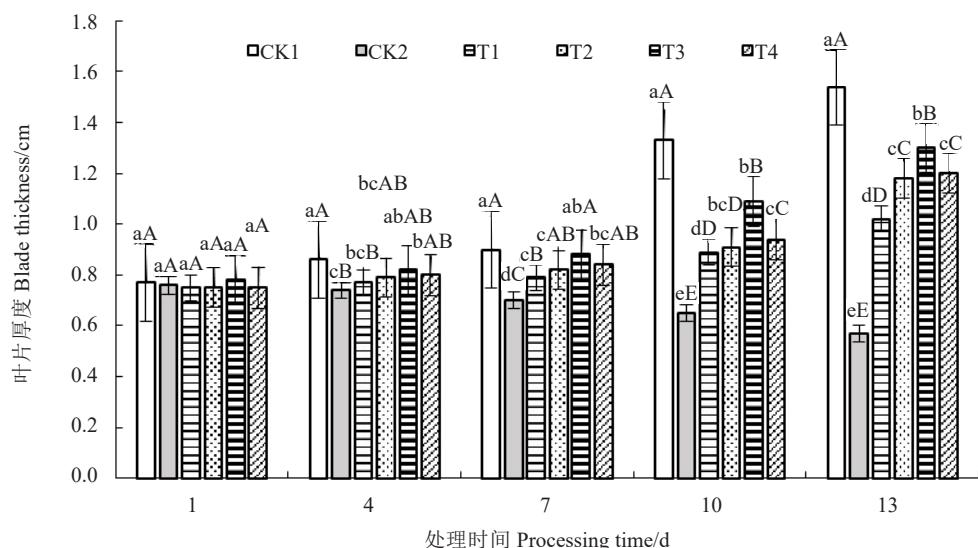


图3 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯叶片厚度的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of melatonin on the blade thickness of potato under salt stress

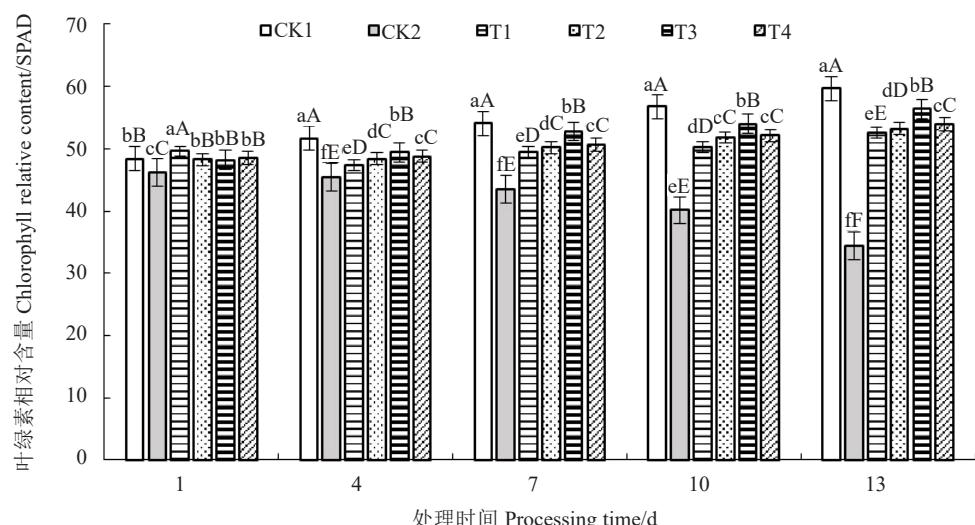


图4 不同浓度褪黑素对盐胁迫下马铃薯叶绿素相对含量的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of melatonin on chlorophyll relative content of potato under salt stress

叶绿素相对含量均呈先上升后下降的趋势,促进效果均为T3>T4>T2>T1,处理后13 d,促进效果均在52.91%以上,其中T3处理最高,为63.95%,其次为T4处理,增幅为56.69%。

由图5可知,与CK1相比,盐胁迫后马铃薯幼苗的净光合速率极显著降低,处理后4、7、10 d的CK2净光合速率分别降低46.15%、55.73%、58.89%。喷施后10 d内,与CK2相比,褪黑素处理

的净光合速率均极显著提高,且随时间的延长,净光合速率总体呈下降趋势,其中T3处理的净光合速率总体上最高,极显著高于CK2和其他褪黑素处理。喷施后的10 d内,随浓度增加,褪黑素处理的净光合速率均呈先上升后下降的趋势。喷施后10 d,T1、T2、T3、T4处理的净光合速率较CK2分别极显著提高0.12、0.53、1.13、0.88 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,提高效果均在6.49%以上,其中T3处理最高,增幅为

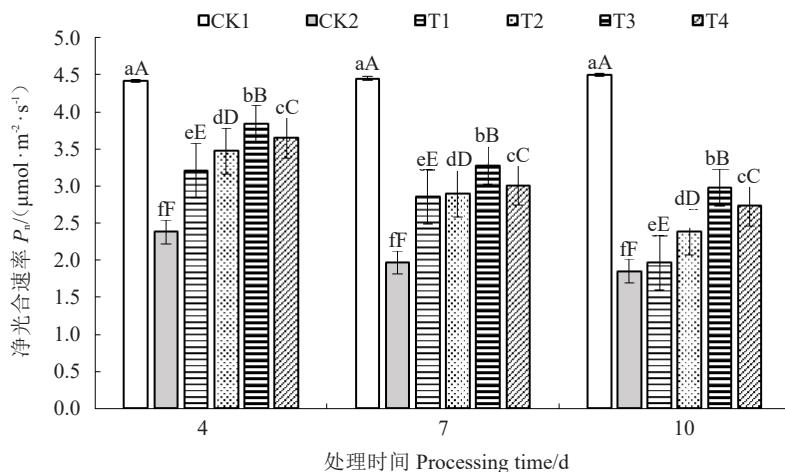


图5 褪黑素对盐胁迫下马铃薯净光合速率的影响

Fig. 5 Effects of melatonin on net photosynthetic rate of potato under salt stress

61.08%,其次为T4处理,增幅为47.57%。

从图6可以看出,与CK1相比,盐胁迫后马铃薯幼苗的胞间CO₂浓度极显著降低,褪黑素处理的4、7、10 d的CK2胞间CO₂浓度分别极显著降低了21.00%、32.28%和38.27%。与CK2相比,喷施褪黑素后的10 d内,褪黑素处理的胞间CO₂浓度均极显著提高,且随时间的延长,胞间CO₂浓度总体呈下

降趋势,其中T3处理的胞间CO₂浓度总体上最高,极显著高于CK2和其他褪黑素处理。喷施后10 d内,胞间CO₂浓度随褪黑素浓度增加呈先上升后下降的趋势。喷施后10 d,与CK2相比,T1、T2、T3、T4处理的胞间CO₂浓度分别极显著提高了4.09%、16.08%、28.07%和18.42%,其中T3处理效果最佳,T4处理次之。

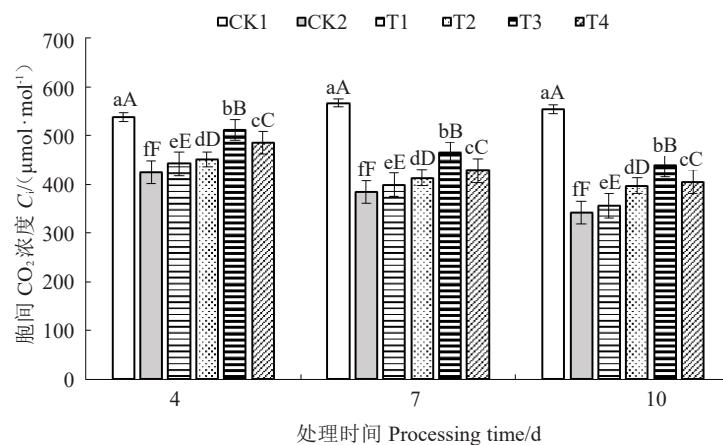


图6 褪黑素对盐胁迫下马铃薯胞间CO₂浓度的影响

Fig. 6 Effects of melatonin on intercellular carbon dioxide concentration of potato under salt stress

由图 7 可知,与 CK1 相比,盐胁迫后马铃薯幼苗的气孔导度极显著降低,褪黑素处理 4、7 和 10 d 的 CK2 气孔导度分别降低 23.18%、28.64% 和 33.07%。与 CK2 相比,喷施褪黑素的马铃薯气孔导度均极显著提高,且随时间的延长,气孔导度总体呈下降趋势,其中 T3 处理的气孔导度总体上最

高,极显著高于 CK2 和其他褪黑素处理。喷施后 10 d 内,褪黑素处理的气孔导度随褪黑素浓度增加均呈先上升后下降的趋势。喷施后 10 d,与 CK2 相比,T1、T2、T3、T4 处理的气孔导度分别极显著提高了 13.44%、17.79%、34.78% 和 20.55%;其中 T3 处理增幅最大,T4 处理次之。

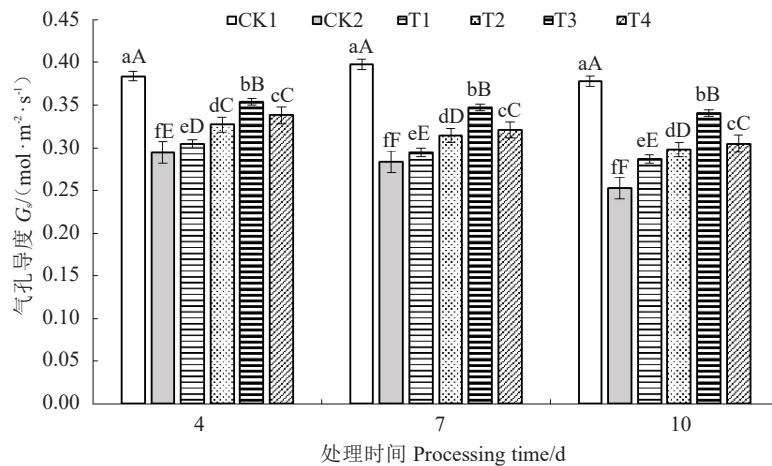


图 7 褪黑素对盐胁迫下马铃薯气孔导度的影响

Fig. 7 Effects of melatonin on intercellular stomatal conductance of potato under salt stress

由图 8 可知,与 CK1 相比,盐胁迫后马铃薯的蒸腾速率极显著降低,在褪黑素处理的 4、7、10 d 的 CK2 蒸腾速率分别降低了 32.59%、40.05%、50.08%。与 CK2 相比,喷施褪黑素的马铃薯蒸腾速率均极显著升高,且随时间的延长,蒸腾速率总体呈下降趋势,其中 T3 处理的蒸腾速率总体上最高,极显著高于 CK2 和其他褪黑素处理。喷施后 10 d 内,褪黑素处理的蒸腾速率随褪黑素浓度的增加均呈先上升后下降的趋势。喷施后 10 d,与 CK2 相比,T1、T2、T3、T4 处理的蒸腾速率分别极显著提高了 30.06%、39.57%、55.21% 和 43.56%;其中 T3 处

理增幅最大,T4 处理次之。

2.3 褪黑素对盐胁迫下马铃薯干鲜质量的影响

由表 2 可知,与 CK1 相比,盐胁迫后马铃薯的地上部鲜质量和干质量分别极显著降低了 44.34% 和 80.47%。与 CK2 相比,喷施褪黑素的马铃薯鲜质量和干质量均极显著提高,且随褪黑素浓度增加呈先上升后下降的趋势,T3 处理的马铃薯鲜质量和干质量均最大,极显著高于 CK2 和其他褪黑素处理。与 CK2 相比,T1、T2、T3、T4 处理的马铃薯鲜质量分别极显著提高 29.72%、38.63%、97.96% 和 46.54%,干质量分别极显著提高 48.19%、115.06%、

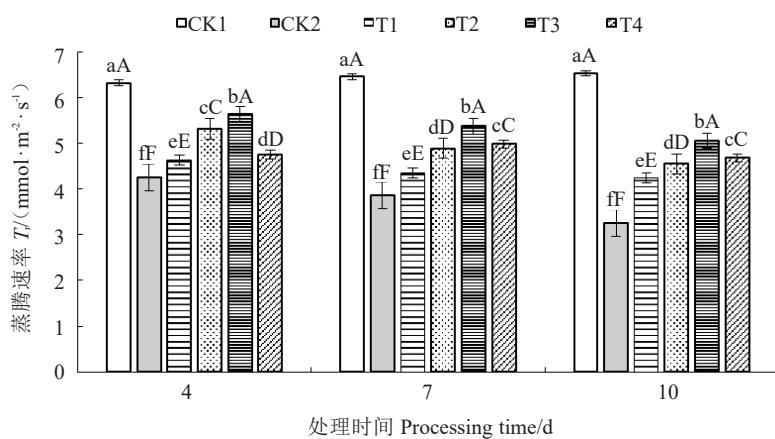


图 8 褪黑素对盐胁迫下马铃薯蒸腾速率的影响

Fig. 8 Effects of melatonin on transpiration rate of potato under salt stress

表 2 不同浓度褪黑素处理对马铃薯地上部干鲜质量的影响

Table 2 Effects of different concentrations of melatonin treatment on the aboveground dry and fresh mass of potato

处理 Treatment	鲜质量 Fresh mass	干质量 Dry mass
CK1	34.28 bB	8.50 aA
CK2	19.08 fF	1.66 fE
T1	24.75 eE	2.46 eD
T2	26.45 dD	3.57 dC
T3	37.77 aA	6.09 bB
T4	27.96 cC	3.72 cC

注:同列不同大写字母表示不同处理在 0.01 水平差异极显著,不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different capital letters in the same column indicate extremely significant difference among different treatments at 0.01 level, different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

266.87% 和 124.10%, 其中 T3 处理对盐胁迫下马铃薯鲜质量和干质量的增幅最大, T4 处理次之。

2.4 褪黑素对盐胁迫下马铃薯产量的影响

由表 3 可知,与 CK1 相比,盐胁迫后马铃薯的单株结薯数和平均单薯质量分别显著降低了 66.67%、59.33%。喷施褪黑素处理的马铃薯平均单薯质量极显著高于 CK2,只有 T3 处理的单株结薯数显著高于 CK2。随着褪黑素浓度增大,单株结薯数和平均单薯质量均呈先上升后下降的趋势。其中 T3 处理的单株结薯数和平均单薯质量均最大,较 CK2 分别显著提高 150.00% 和 114.47%。T1、T2 和 T4 处理的单株结薯数与 CK2 差异不显著,但平均单薯质量均极显著高于 CK2。

表 3 不同浓度褪黑素处理对马铃薯单株结薯数及平均单薯质量的影响

Table 3 Effects of different concentrations of melatonin treatment on the tuber number per plant and single tuber mass of potato

处理 Treatment	单株结薯数 Number of tuber per plant	平均单薯质量 Average single tuber mass/g
CK1	6 aA	52.49 aA
CK2	2 bA	21.35 eE
T1	4 abA	33.91 dD
T2	4 abA	38.20 bB
T3	5 aA	45.79 aA
T4	3 abA	35.55 cC

3 讨论与结论

中国盐碱地面积达 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 限制了中国作

物产量的进一步提升^[10]。贾晓丽^[11]研究表明,植物在遭受盐胁迫时,往往会产生生理性干旱,严重影响植物的外观形态发育,喷施褪黑素可改善盐胁迫对作物生长的抑制效用^[12]。刘易等^[13]研究发现,不同程度的盐胁迫均抑制了马铃薯幼苗的生长,尤其是株高和鲜质量表现得更为显著。徐玉伟等^[14]研究表明,盐胁迫会降低黄瓜幼苗的株高、茎粗和叶面积等指标,而本试验表明,盐胁迫不仅对株高和鲜质量的抑制更为显著,而且对干质量、单株结薯数、平均单薯质量的抑制也较为显著。马艳明^[15]研究表明,盐胁迫可导致马铃薯生长发育及产量严重下降,本试验表明,褪黑素可缓解盐胁迫对马铃薯株高、干质量、鲜质量、平均单薯质量等的不良影响,进一步揭示了褪黑素可提高马铃薯的耐盐性。

盐胁迫下马铃薯的光合特性也受到显著抑制。于国红等^[16]研究发现,马铃薯品系 135、冀张薯 5 号、费乌瑞它等 10 个马铃薯品种(系)在盐胁迫下叶绿素含量均显著降低,且在本试验中,费乌瑞它在盐胁迫下叶绿素含量及净光合速率也受到显著抑制,与前人的研究结果一致;但是,不同品种所受干旱胁迫的反应情况不同,因此,需要特别注意品种选择。此外,还有研究表明,褪黑素可以通过调控植物光合特性,保持叶绿体结构和功能的完整性,进而促进植株干物质积累^[17-18]。这与本试验盐胁迫下马铃薯叶绿素含量、净光合速率等光合特性受到抑制,而喷施褪黑素后光合特性得到缓解的结论相似。本试验对盐胁迫下的马铃薯喷施不同浓度的褪黑素后,叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率等均有不同程度的提高,尤其以 T3 处理最为显著,与彭笑洁等^[19]在萝卜、王丽英^[20]在黄瓜以及黎力乙^[21]在紫花苜蓿上的研究结果一致。

综上所述,盐胁迫对马铃薯的株高、茎粗、叶片厚度、地上部干质量、地上部鲜质量、叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、单株质量和单株结薯数均有不同程度的抑制;对盐胁迫下的马铃薯喷施不同浓度的褪黑素后,能够有效缓解盐胁迫带来的一系列损伤和部分负面影响。综合来说,T3 处理的缓解作用效果最明显,其次为 T4 处理。喷施 150 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素后,平均单薯质量显著高于盐胁迫对照组,说明褪黑素能有效促进植株生长,提高逆境抗性。本研究结果可为提高盐碱地马铃薯产量和进一步选育耐盐碱马铃薯品种提供参考。

参考文献

- [1] 杨瑞洁,韩雪,张丽莉,等.耐盐促生菌的分离鉴定及其对马铃薯盐胁迫的缓解效果[C]//第二十五届中国马铃薯大会,中国作物学会马铃薯专业委员会.马铃薯产业与大食物观(2024),2024:415-416.
- [2] 罗红剑.脱毒马铃薯费乌瑞它高产栽培技术试验示范研究及应用[D].贵阳:贵州大学,2011.
- [3] 姚彦红,康益晨,杨昕宇,等.NaCl 胁迫对马铃薯生理生化特性产量及品质的影响[J].甘肃农业科技,2020(4):36-42.
- [4] 林丽果,宋锐,林选栋,等.不同盐浓度下硅对高羊茅苗期生长及光合特征的影响[J].草业科学,2017,34(7):1442-1451.
- [5] 聂萌恩,宁娜,张一中,等.褪黑素对盐胁迫下高粱种子萌发的缓解效应及生理机制[J].种子,2023,42(4):31-40.
- [6] ARNAO M B, HERNANDEZ RUIZ J. Melatonin against environmental plant stressors: A review[J]. Current Protein and Peptide Science, 2021, 22(5):413-429.
- [7] AHMAD S, KAMRAN M, DING R X, et al. Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings[J]. PeerJ, 2019, 7:e7793.
- [8] 王春林,王凤琴.褪黑素在植物抵御逆境胁迫过程中的作用[J].安徽农业科学,2023,51(21):11-13.
- [9] 包颖,魏琳燕,陈超.水杨酸和茉莉酸甲酯对盐胁迫下月季品种月月粉生理特性的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2020,35(6):1040-1045.
- [10] 陈丽珊,周红艳,林伟伟.外源褪黑素对盐胁迫下水稻苗期碳氮代谢的影响[J].生态学杂志,2023,42(7):1635-1643.
- [11] 贾晓丽.干旱、盐胁迫对月季的生理生化特性及观赏品质的影响[D].新疆石河子:石河子大学,2020.
- [12] 赵长延,柳延涛,贾秀萍,等.盐碱胁迫下褪黑素对作物生理机制影响的研究进展[J].生物技术通报,2025,41(2):18-29.
- [13] 刘易,江应红,王亚玲,等.外源亚精胺对盐胁迫下马铃薯幼苗生长和抗逆生理特征的影响[J].西北植物学报,2023,43(12):2079-2087.
- [14] 徐玉伟,郭世荣,程玉静,等.Ca(NO₃)₂对盐胁迫下黄瓜幼苗生长及膜质过氧化的影响[J].中国蔬菜,2010(4):14-18.
- [15] 马艳明.StCPD 基因过表达马铃薯对盐胁迫的生理响应及转录组分析[D].兰州:甘肃农业大学,2023.
- [16] 于国红,刘朋程,李明哲,等.不同马铃薯品种(品系)耐盐性鉴定与综合评价[J].江苏农业科学,2022,50(18):188-194.
- [17] YANG X L, XU H, LI D, et al. Effect of melatonin priming on photosynthetic capacity of tomato leaves under low-temperature stress[J]. Photosynthetica, 2018, 56(3):884-892.
- [18] WANG P, YIN L H, LIANG D, et al. Delayed senescence of apple leaves by exogenous melatonin treatment: Toward regulating the ascorbate- glutathione cycle[J]. Journal of Pineal Research, 2012, 53(1):11-20.
- [19] 彭笑洁,崔玉莹,王浩,等.外源褪黑素对盐胁迫下萝卜幼苗生长的影响[J].中国瓜菜,2024,37(5):157-162.
- [20] 王丽英.褪黑素预处理对黄瓜幼苗耐盐性的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [21] 黎力乙.外源褪黑素对盐胁迫下苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.