



外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗生长及抗性生理的影响

华智锐

(商洛学院 生物医药与食品工程学院/商洛市秦岭植物良种繁育中心,陕西商洛 726000)

摘要 为研究外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗生长及抗性生理的影响,以千屈菜种子为材料,选择对千屈菜幼苗生长发育、光合色素影响显著的 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 溶液作为盐胁迫处理,然后使用不同浓度(0、50、100、150、200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)的外源褪黑素喷施千屈菜幼苗,检测外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗的主要生长指标和生理指标的影响。结果表明,NaCl 胁迫显著抑制千屈菜幼苗的根长、株高、鲜质量等,还导致千屈菜幼苗丙二醛(MDA)、脯氨酸和可溶性蛋白含量显著高于蒸馏水处理的对照组(CK),而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性和叶绿素含量显著低于对照。与单独 NaCl 胁迫处理(MT0)相比,低浓度的褪黑素能在一定程度上缓解 NaCl 胁迫对幼苗造成的伤害,而高浓度褪黑素则会使伤害加剧,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理的千屈菜幼苗生长得到显著改善,幼苗根长、株高、鲜质量与单独 NaCl 胁迫处理(MT0)比较分别升高 25.61%、38.15%和 53.01%,干鲜比降低 62.75%,脯氨酸和可溶性蛋白含量分别增加 30.55%和 35.86%,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量分别提升 34.46%、34.16%、34.39%。SOD、POD、CAT 酶活性分别上升 68.91%、30.61%和 19.55%,MDA 含量较单独 NaCl 胁迫处理下降 30.67%。外源褪黑素浓度在低于 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时能够减轻盐胁迫带来的伤害,超过 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时会使伤害加剧,缓解千屈菜幼苗 NaCl 胁迫伤害效果最佳的褪黑素浓度为 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

关键词 褪黑素;千屈菜;NaCl 胁迫;生长指标;生理指标

近年来,由于工业污染加剧、化肥过度使用以及人类对土地资源过度开发利用等,导致土壤盐渍化^[1]问题越来越严重,给中国农业生产造成威胁并限制其可持续发展。土壤盐浓度过高会导致植物营养亏损、水分缺乏、阻碍种子萌发和幼苗生长,植物细胞内进入较多 Na^+ 和 Cl^- ,破坏植物体内离子平衡^[2],且过多的离子也会减弱植物吸收和利用其他元素,导致植物新陈代谢紊乱,积累过量活性氧(ROS)等有毒物质,严重时会造成植株死亡。因此,盐渍化土壤治理一直是中国研究的重点课题,种植耐盐植物以及如何提高植物耐盐能力是当今盐碱荒地改良和修复的有效方法之一。

外源调节物质,以其快速的功效和低廉的成本,广泛应用于提高植物耐盐性并成为研究热点。使用较多的外源调节物质主要包含外源甜菜碱、

外源褪黑素和生长素、赤霉素、脱落酸等外源植物激素。其中,褪黑素(melatonin, MT),别名褪黑激素、松果腺素,其分子式为 $\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_2$,化学名称为 N-乙酰基-5-甲氧基色胺,是一种存在于大多数动植物体内的吲哚胺类化合物,于 1958 年第一次从牛的松果体中分离出来^[2],其在大多数植物体内起着非常重要的调控作用,能够促进植株生长发育,通过增强植株抗氧化酶活性清除过量活性氧,并降低叶绿素的分解速度从而提高植株耐盐能力;此外,褪黑素还能增强植株对于盐碱、干旱、高温等多种逆境胁迫的抵抗能力^[1]。向警等^[3]研究表明,在盐胁迫条件下添加不同浓度的 MT 可明显增强水稻种子的萌发和嫩芽的生长发育,幼苗丙二醛(MDA)含量下降、抗氧化酶活性增强、渗透调节物质含量增加,细胞新陈代谢能力增强;左月桃等^[4]研究发现,MT 能显著地减轻盐

收稿日期:2023-10-17 修回日期:2023-11-30

基金项目:陕西省科技厅重点研发计划(2021NY-066)。

作者简介:华智锐,男,硕士,副教授,主要从事园林植物生理生态研究。E-mail:huazhirui2000@163.com

胁迫对小黑麦幼苗的伤害,促进抗氧化酶的活性增强和渗透调节物质积累,增强小黑麦幼苗的抗盐能力;刘婷婷等^[5]研究发现,用浓度为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理过的黄瓜幼苗株高、茎粗、叶长和叶宽之比、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性和根系活力较在盐渍环境中有较大提高,MDA 含量降低,说明施加外源 MT 增强了其清除活性氧的能力,减轻了膜质过氧化对黄瓜幼苗造成的损伤;江丹^[6]研究发现,盐胁迫抑制棉花的正常生长发育,积累过量 ROS 和 MDA,添加 MT 后缓解了盐分胁迫对棉花幼苗生长的限制、叶绿素的降解速度,增强了棉花幼苗的抗氧化能力。

千屈菜(*Lythrum salicaria* L.)又名水枝柳、水柳、对叶莲,别名马鞭草、败毒草,是千屈菜科千屈菜属多年生挺水宿根草本植物^[7]。其叶呈披针形,且对生,花为紫红色,穗状花序,姿态秀丽,观赏价值较高。千屈菜喜欢明亮、透风、温暖的生长环境,喜欢水分,在中国各地广泛分布,它主要生存在池沼、河岸边以及沟渠中^[8],繁殖能力强,可以作为盐碱地重要的观赏性植物^[9-10]。千屈菜全草药用,植株有较高的药用价值,可以收敛止血、清热解毒、舒筋活血,治疗便血、肠炎、瘀血、闭经、痢疾等症效果较佳^[11]。迄今为止,有关千屈菜的研究主要集中在千屈菜栽培^[11]、繁殖、园林造景以及对水体净化的作用^[12]等,以及盐碱^[10,13]、干旱^[14]和重金属^[15]等逆境胁迫对千屈菜生长发育及各项生理指标的影响。不少学者研究 MT 对盐胁迫下香椿^[2]、水稻^[3]、棉花^[6]、小黑麦^[4]、西瓜^[16]等植物的幼苗生长和生理特性的影响,表明 MT 可以调节多种植物的生长发育,增强植株抗逆性,但尚未出现有关 MT 影响千屈菜幼苗耐盐性的报道。本研究以千屈菜幼苗为材料,通过 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液模拟盐胁迫环境,测定不同浓度的 MT 对盐胁迫下千屈菜幼苗生长和生理指标的影响,探究 MT 在提高千屈菜幼苗的抗盐生理机制,摸索出最适宜千屈菜幼苗生长的 MT 浓度,以期对盐碱地区的千屈菜种植提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料为 2022 年 9 月采自陕西省商洛市镇安县木王国家森林公园的千屈菜种子,种子萌发试验于 2023 年 2 月底在商洛学院丹江校区试

验田进行,幼苗移栽试验于 2023 年 5 月在商洛学院丹江校区 5 号楼 506 实验室进行。选大小一致、颗粒饱满,种皮无破损的千屈菜种子,蒸馏水浸种 10 min 后,70% 的酒精消毒 1 min,无菌水多次清洗后拌播种(丹江校区 5 号楼南侧试验田);4 月底,将高度为 10~15 cm、长势相同的千屈菜幼苗随机移植到口径 20 cm、高度为 15 cm,栽培基质为原土的花盆中,每盆 3 株,每隔 2 d 浇 1 次水,待千屈菜幼苗恢复到正常生理状态时,再进行 NaCl 胁迫试验处理。

1.2 试验方法

试验随机选取 120 株幼苗,将其平均分成 6 组为 6 个处理,处理方法如表 1 所示,采用叶面正反两面喷施 MT,以叶面湿润并且不滴水为标准,每隔 3 d 进行 1 次 NaCl 胁迫,1 d 喷施 1 次外源 MT。处理 9 d 之后,随机选取幼苗测定相关生长指标。每项处理重复 3 次,每次重复 6 株幼苗。

表 1 试验处理方法

Table 1 Test treatment method

处理 Treatment	处理方法 Treatment method
CK	蒸馏水 Distilled water
MT0	500 mL $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl
MT1	500 mL $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl+10 mL $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT
MT2	500 mL $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl+10 mL $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT
MT3	500 mL $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl+10 mL $150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT
MT4	500 mL $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl+10 mL $200 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT

注:CK,MT0,MT1,MT2,MT3,MT4 表示在 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐胁迫处理下分别添加 0、50、100、150、200 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源 MT 处理。

Note: CK, MT0, MT1, MT2, MT3 and MT4 represent exogenous MT treatment with 0, 50, 100, 150 and 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ under $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ salt stress.

1.3 指标的测定方法

测定千屈菜幼苗株高(cm)和根长(cm)^[17]后在蒸馏水下冲洗,用滤纸吸去幼苗多余水分,用万分之一电子天平测定千屈菜幼苗鲜质量(g),再将千屈菜幼苗放入烘箱 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青 30 min,于 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干后用电子天平称其干质量(g),用丙酮提取法^[18]测定千屈菜幼苗叶绿素 a 和叶绿素 b 含量,采取硫代巴比妥酸比色法^[18]测定千屈菜幼苗丙二醛(MDA)含量,采取氮蓝四唑显色法^[19]测定千屈菜幼苗超氧化物歧化酶(SOD)的活性,

采取愈创木酚法^[19]测定千屈菜幼苗过氧化物酶(POD)活性,采取紫外吸收法^[20]测定千屈菜幼苗过氧化氢酶(CAT)活性,采取 G-250(考马斯亮蓝)染色法^[21]测定千屈菜幼苗可溶性蛋白含量,采取茚三酮显色法^[22]测定千屈菜幼苗脯氨酸含量,其中每项指标测定重复 3 次,取平均值作为最终结果。

1.4 数据处理与分析

采取 Excel 2019 对试验数据进行统计并且作图,利用 DPS 数据处理软件进行数据的方差分析,利用单因素方差分析对不同处理间的数据进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗生长指标的影响

由表 2 可知,千屈菜幼苗在经过 NaCl 胁迫

表 2 不同浓度外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗生长指标的影响

Table 2 Effects of different concentrations of exogenous melatonin on growth indicators of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress

处理 Treatment	根长/cm Root length	株高/cm Shoot height	单株鲜质量/g Fresh mass per plant	单株干质量/g Dry mass per plant	干鲜比 Dry-fresh ratio
CK	9.124±0.460 a	14.969±0.306 a	3.902±0.226 a	0.643±0.043 a	0.080±0.018 c
MT0	6.834±0.569 bc	10.544±0.729 d	2.079±0.086 de	0.365±0.063 cd	0.306±0.029 a
MT1	8.345±0.306 ab	13.310±0.435 b	2.488±0.123 c	0.462±0.006 bc	0.197±0.014 b
MT2	8.584±0.895 a	14.567±0.585 b	3.181±0.161 b	0.540±0.060 b	0.114±0.010 c
MT3	8.278±0.362 ab	12.359±0.203 c	2.287±0.088 cd	0.499±0.071 b	0.210±0.042 b
MT4	6.629±0.209 c	11.833±0.374 c	2.035±0.072 e	0.294±0.058 d	0.276±0.042 a

注:数据表示形式为“平均值±标准差”,数后不同小写字母表示在不同处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: The data were “mean ± standard deviation”, different lowercase letters indicate significant differences between treatments($P < 0.05$).

2.2 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片脯氨酸和可溶性蛋白含量的影响

从图 1 可以看出,NaCl 胁迫处理使得千屈菜幼苗新鲜叶片中的脯氨酸和可溶性蛋白含量较 CK 均出现升高的态势,分别升高了 53.10% 和 19.88%,说明在盐胁迫下,千屈菜幼苗具有一定的维持渗透平衡的能力。与单独 NaCl 胁迫处理 MT0 相比,经外源褪黑素处理后千屈菜叶片中脯氨酸和可溶性蛋白含量均增加,且均在 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素处理(MT2)时含量最高,与 MT0 比较,MT2 处理时脯氨酸和可溶性蛋白含量分别增加 30.55% 和 35.86% ($P < 0.05$)。

2.3 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片中 MDA 含量的影响

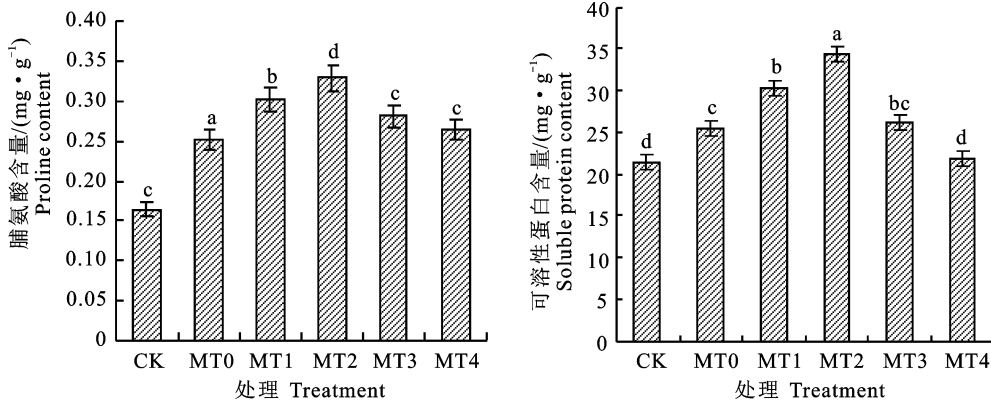
从图 2 可以看出,在 NaCl 胁迫处理下,千屈

处理后,其根长、鲜质量、株高与对照组(CK)对比均出现显著性下降($P < 0.05$),而干鲜比与 CK 对比却出现显著性升高($P < 0.05$),根长与 CK 对比降低 20.40%,株高与 CK 对比降低 27.66%,鲜质量与 CK 对比降低 34.60%,而干鲜比升高 64.52%,说明千屈菜幼苗的生长发育被 NaCl 胁迫处理显著抑制。与单独 NaCl 胁迫 MT0 相比,外源褪黑素处理后,随着 MT 浓度的升高,千屈菜幼苗受 NaCl 胁迫后的根长、株高和鲜质量均呈现先升后降的趋势,但用过高或过低浓度褪黑素处理均不如 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素(MT2)处理效果明显,MT2 处理后的千屈菜幼苗根长、株高、鲜质量与单独 NaCl 胁迫处理 MT0 相比分别升高 25.61%、38.15%、53.01%,干鲜比降低 62.75%,说明在 NaCl 胁迫作用下,用 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源褪黑素处理,对千屈菜幼苗生长的促进作用效果最佳。

菜幼苗叶片中 MDA 含量与 CK 比较呈现出显著性上升的趋势($P < 0.05$),表明 NaCl 胁迫提高了千屈菜幼苗细胞膜质过氧化程度。经 MT1 到 MT4 处理后,MDA 含量较单独盐胁迫处理(MT0)分别下降 15.95%、30.67%、18.40%、9.82%,其中 MT2 处理时 MDA 含量下降最多,表明 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗膜脂过氧化损害缓解效果最佳。

2.4 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

从图 3 可以看出,NaCl 胁迫处理(MT0)下千屈菜幼苗的 SOD、POD、CAT 3 种抗氧化酶活性与 CK 相比均呈现显著性降低趋势,分别下降 50.65%、25.76%、21.96% ($P < 0.05$)。经不同浓度外源褪黑素处理(MT1~MT4)后,3 种酶活



图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$), the same below

图 1 不同浓度外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片脯氨酸和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of exogenous melatonin on proline and soluble protein content in leaves of seedlings of *Lythrum salicaria* under NaCl stress

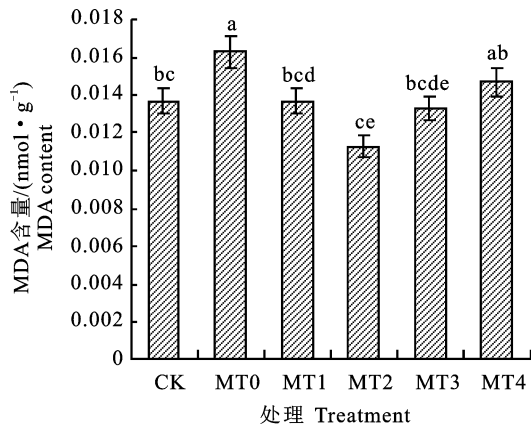


图 2 不同浓度外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effect of different concentrations of exogenous melatonin on MDA content in leaves of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress

性随着褪黑素浓度升高均呈现先升后降趋势,且 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源褪黑素处理时与 MT0 相比差异最显著,3 种酶活性分别上升 68.91%、30.61%、19.55% ($P < 0.05$)。

2.5 外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片叶绿素含量的影响

从图 4 可以看出,单独 NaCl 胁迫处理千屈菜幼苗时,其叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量较 CK 均呈现出明显降低趋势,分别下降 28.44%、27.60% 和 28.25% ($P < 0.05$)。在施加外源褪黑素后,千屈菜幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量较单独盐胁迫处理 (MT0) 均有所增加,MT1 至 MT4 处理下叶绿素 a 含量分别较

MT0 增加 19.83%、34.46%、28.00% 和 15.60%,叶绿素 b 含量增加 11.61%、34.16%、24.72% 和 13.80%,总叶绿素含量增加 17.97%、34.39%、27.26% 和 15.20%。千屈菜幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均在 MT2 处理时较 MT0 处理提升幅度大,分别达 34.46%、34.16%、34.39%。

3 讨论

幼苗时期对大多数植物生物量形成至关重要,该时期也会非常容易被外界各种逆境胁迫损伤。盐胁迫会使土壤中盐分积累,引起土壤溶液的水势低于细胞水势,造成幼苗水分流失,妨碍其生长和发育^[23]。干鲜比的变化与其生物量的积累也有很大的关系,干鲜比随着生物量的升高而降低,反映了植物新陈代谢的快慢,干鲜比越大,新陈代谢越慢。本研究发现,NaCl 胁迫显著抑制千屈菜幼苗的根长、株高、鲜质量,说明其限制千屈菜幼苗的正常生长,千屈菜幼苗干鲜比增高,说明 NaCl 胁迫使幼苗的生物量下降,新陈代谢变慢。而低浓度褪黑素能显著地减轻 NaCl 胁迫对千屈菜幼苗生长的抑制,这与郭爱华^[24]在盐胁迫下外源褪黑素能显著促进苦菜幼苗生长的研究结果相吻合。本研究结果表明,与单独 NaCl 胁迫相比较,千屈菜幼苗在经过外源性褪黑素处理后,根长、鲜质量和株高在盐胁迫下随着 MT 浓度的升高,三者均呈现先升后降趋势,能缓解盐胁迫对幼苗生长造成的抑制作用,但过高或过低浓度褪黑素处理均不如 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素处

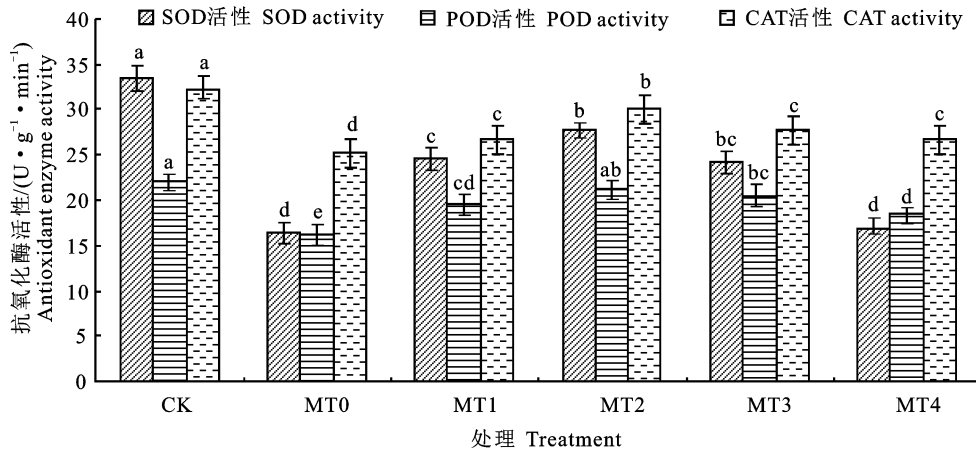


图3 不同浓度外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of exogenous melatonin on antioxidant oxidase activities in leaves of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress

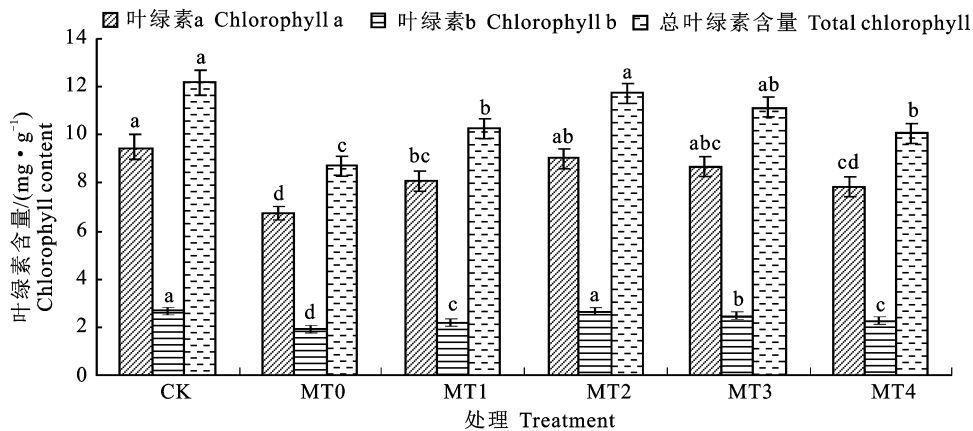


图4 不同浓度外源褪黑素对 NaCl 胁迫下千屈菜幼苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effect of different concentrations of exogenous melatonin on chlorophyll content in leaves of seedlings of *Lythrum salicaria* under NaCl stress

理效果明显。

渗透调节是植物为了应对盐胁迫而开启的自我防御机制,在盐胁迫下,植物在细胞质大量积累具有调节细胞渗透压作用的物质,如脯氨酸、可溶性蛋白和可溶性糖等,使植物体内保持渗透平衡,减少因细胞渗透性失水而引起的细胞膜损伤。李中清^[25]研究发现,褪黑素使混合盐碱胁迫处理下的梭梭幼苗的脯氨酸和可溶性蛋白含量大幅度上升。本研究结果说明,褪黑素能使细胞大量积累脯氨酸、可溶性蛋白等渗透调节物质,通过调节细胞的渗透压,改善盐胁迫对千屈菜幼苗造成的细胞损伤和代谢失衡,这与前人研究结果相符合。

丙二醛(MDA)是植物在盐碱胁迫、干旱胁迫等逆境胁迫下体内产生过多的活性氧从而导致膜脂氧化的最终生成物,也是评判植物中脂质过

氧化强度的一个指标,其含量可以直接反映植物体内膜受损的程度。赵丽娟等^[26]研究发现,在盐分胁迫处理下,外源褪黑素能引起紫花苜蓿幼苗叶片中MDA含量明显降低。本研究发现,盐胁迫使千屈菜幼苗叶片MDA含量显著地增加,膜受损程度加重,施加外源褪黑素使千屈菜幼苗叶片MDA含量明显降低,可显著地减轻NaCl胁迫对千屈菜幼苗造成的膜脂过氧化伤害。

盐胁迫会使植物体内产生过量的活性氧等有毒物质,为了适应盐胁迫,于是植物形成了一系列生理调节机制,主要是以超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)为代表的抗氧化酶系统通过清除细胞内过量的活性氧等有毒物质而保护细胞免受氧化损伤。陈莉等^[27]发现,外源施加不同浓度的褪黑素时,SOD、POD和

CAT活性均随着褪黑素浓度增加呈先升后降趋势,在施加 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素时,棉花抗氧化酶活性达到最高。本研究中NaCl胁迫使千屈菜幼苗的SOD、POD、CAT活性与对照相比均出现显著性降低,对千屈菜幼苗造成了伤害,而添加褪黑素可以增强幼苗的抗氧化酶活性,从而维持千屈菜幼苗体内细胞膜的稳定性,降低盐胁迫对千屈菜幼苗的伤害,其中 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的外源褪黑素对千屈菜幼苗的缓解作用最为明显,其原因可能是过高浓度褪黑素在盐胁迫期间清理掉幼苗中大量活性氧,当活性氧恢复到标准水平或者活性氧水平过低,导致千屈菜幼苗感知不到逆境胁迫对自身的伤害,促进效果不如低浓度褪黑素明显。

植物主要通过光合作用进行有机物质积累,而进行光合作用的主要色素就是叶绿素,叶片中叶绿素含量的多少可以反映植物光合能力的强弱,叶绿素a和叶绿素b的含量也可以衡量植株的光合能力。但盐胁迫会破坏叶绿体结构,导致叶绿素降解,降低叶片中叶绿素含量。李阳等^[28]发现,棉花幼苗受到逆境胁迫时,棉花幼苗叶绿素合成受阻,从而导致叶绿素含量下降,外源施用褪黑素可以有效地提升棉花幼苗叶片内叶绿素含量,提高幼苗抗盐能力。本研究发现,千屈菜幼苗叶片的叶绿素含量在盐胁迫下呈显著下降趋势,说明盐胁迫影响了叶片的光合作用,经褪黑素处理后,千屈菜叶绿素含量明显升高,说明褪黑素能抑制盐胁迫导致的叶绿素降解,增强植株的光合能力。

4 结论

NaCl胁迫使千屈菜幼苗产生过量的活性氧等有毒物质,而造成膜脂过氧化,抑制细胞内相关抗氧化酶的活性,降低光合能力,积累过量MDA,对细胞的膜系统造成破坏等,抑制幼苗正常生长。外施褪黑素处理后,千屈菜幼苗的根长、株高、鲜质量较单独NaCl胁迫均得到有效提高,促使脯氨酸、可溶性蛋白等渗透调节物质在植物细胞内大量积累,增强了千屈菜幼苗体内的渗透调节能力,提高SOD、POD、CAT等抗氧化酶活性从而提高幼苗抗氧化能力,降低MDA含量,显著减轻盐胁迫对千屈菜幼苗造成的损伤。施加 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的褪黑素对千屈菜幼苗的NaCl胁迫伤害的缓解作用最佳,该结论能为千屈菜在盐碱

地区的大规模栽培种植提供一定的参考价值。

参考文献 Reference:

- [1] 范海霞,赵 飒,李 静,等.外源褪黑素对盐胁迫下金盏菊幼苗生长、光合及生理特性的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1326-1334.
FAN H X,ZHAO S,LI J,*et al.* Effects of exogenous melatonin on the growth, photosynthesis and physiological characteristics of *Calendula officinalis* seedlings under salt stress [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(5):1326-1334.
- [2] 刘 珂,张嘉欣,杜清洁,等.外源褪黑素对盐胁迫下香椿种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国瓜菜,2020,33(5):53-58.
LIU K,ZHANG J X,DU Q J,*et al.* Effects of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth of *Toona sinensis* under salt stress [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2020, 33(5):53-58.
- [3] 向 警,黄 倩,鞠春燕,等.外源褪黑素对盐胁迫下水稻种子萌发与幼苗生长的影响[J].植物生理学报,2021,57(2):393-401.
XIANG J,HUANG Q,JU CH Y,*et al.* Effect of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth of rice under salt stress [J]. *Plant Physiology Journal*, 2021, 57(2):393-401.
- [4] 左月桃,董 玲,任晓松,等.外源褪黑素对盐碱胁迫下小黑麦种子萌发幼苗生长、抗氧化能力的影响[J].麦类作物学报,2022,42(1):90-99.
ZUO Y T,DONG L,REN X S,*et al.* Effect of exogenous melatonin on seed germination, seedling growth and antioxidant ability of triticale under saline-alkali stress [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(1):90-99.
- [5] 刘婷婷,卫旭阳,翟锡姣,等.外源褪黑素对盐渍环境下黄瓜幼苗生长的影响[J].华北农学报,2021,36(3):125-132.
LIU T T,WEI X Y,ZHAI X J,*et al.* Effect of exogenous melatonin on growth of cucumber seedlings in saline environment [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2021, 36(3):125-132.
- [6] 江 丹.盐胁迫下外源褪黑素对棉花幼苗形态结构及生理性状的调控效应[D].河北保定:河北农业大学,2021.
JIANG D. Effects of exogenous melatonin on morphological and physiological traits of cotton seedlings under salt stress [D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2021.
- [7] 邵 萍,王云龙,马赫一,等.千屈菜种子特性与萌发试验[J].北华大学学报(自然科学版),2014,15(1):109-111.
SHAO P,WANG Y L,MA H Y,*et al.* Characteristics and germination test of *Lythrum salicaria* seeds [J]. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 2014, 15(1):109-111.
- [8] 郭建良.几种新优水生花卉的特性与繁育技术[J].上海农业科技,2007(4):105-106.
GUO J L. Characteristics and breeding techniques of several new aquatic flowers [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2007(4):105-106.

- [9] 王卫斌,李鹏宇.滨海盐碱地优良地被植物千屈菜[J].北方园艺,2008(5):161-162.
WANG W B, LI P Y. An excellent ground cover plant *Lythrum salicaria* L. in coastal saline-alkali land [J]. *Northern Horticulture*, 2008(5):161-162.
- [10] 李德明,尧双.氯化钠对千屈菜生长发育的影响[J].广东农业科学,2011(2):37-40.
LI D M, YAO SH. Effect of NaCl on growth and development of *Lythrum salicaria* L. [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011(2):37-40.
- [11] 刘长武.千屈菜栽培与应用[J].特种经济动植物,2017(7):34-35.
LIU CH W. Cultivation and application of *Lythrum salicaria* L. [J]. *Special Economic Animal and Plant*, 2017(7):34-35.
- [12] 裴淑兰,王凯,雷淑慧.4种植物对水体中苯的净化效果及其抗性响应[J].生态环境学报,2018,27(3):573-580.
PEI SH L, WANG K, LEI SH H. Removal effects and responses of four ornamental plants suffered to Benzene stress in water [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 27(3):573-580.
- [13] MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59(1):652-681.
- [14] 刘璐,武志博,李晓佳,等.干旱胁迫对千屈菜种子萌发和幼苗生长的影响[J].草原与草坪,2022,42(3):139-145.
LIU L, WU ZH B, LI X J, et al. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Lythrum salicaria* [J]. *Grassland and Turf*, 2022, 42(3):139-145.
- [15] 李冬,王艳芳,王悦华,等.外源褪黑素对镉胁迫下豌豆种子萌发、幼苗抗性生理及镉含量的影响[J].核农学报,2019,33(11):2271-2279.
LI D, WANG Y F, WANG Y H, et al. Effects of exogenous melatonin on seed germination, seedling resistance physiology and Cd content of pea under cadmium stress [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(11):2271-2279.
- [16] 耿书德,吴燕,高青海.盐胁迫下外源褪黑素浸种对西瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].安徽农业科学,2022,50(2):52-55.
GENG SH D, WU Y, GAO Q H. Effects of exogenous melatonin on seed germination and physiological characteristics of watermelon seedlings under salt stress [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2022, 50(2):52-55.
- [17] 华智锐.外源甜菜碱对盐胁迫下千屈菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(9):119-126.
HUA ZH R. Effects of exogenous glycine betaine on *Lythrum salicaria* seed germination and seedling growth under salt stress [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(9):119-126.
- [18] 张志良,瞿伟菁,李小方.植物生理学实验指导[M].4版.北京:高等教育出版社,2009.
ZHANG ZH L, ZHAI W J, LI X F. Guide to the Plant-Physiology Experiment[M]. Four Edition. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- [19] 李合生.植物生理生化研究技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
LI H SH. Research Techniques of Plant Physiology and Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [20] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
GAO J F. Guide to the Plant Physiology Experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [21] 祝连彩,唐士金,周丽.考马斯亮蓝 G250 法测定蛋白质含量的教学实践及方法学探讨[J].教育教学论坛,2020(23):266-269.
ZHU L C, TANG SH J, ZHOU L. Teaching practice and methodological investigation of protein content determination using Coomassie Brilliant Blue G250 [J]. *Education and Teaching Forum*, 2020(23):266-269.
- [22] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2003:112-141.
ZOU Q. Guide to the Plant Physiology Experiment[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003:112-141.
- [23] ASISH K P, ANATH B D. Salt tolerance and salinity effects on plants; a review [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60(3):324-349.
- [24] 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.
GUO A H. Effects of exogenous melatonin on the growth of *Sonchus oleraceus* L. seedlings under salt stress [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(13):153-157.
- [25] 李中清.褪黑素对混合盐碱胁迫下梭梭幼苗生理特性的影响[J].现代园艺,2023(2):16-17,40.
LI ZH Q. Effects of melatonin on physiological characteristics of *Haloxyton ammodendron* seedlings under mixed saline-alkali stress [J]. *Xiandai Horticulture*, 2023(2):16-17,40.
- [26] 赵丽娟,麻冬梅,王文静,等.外源褪黑素对盐胁迫下紫花苜蓿幼苗抗氧化能力以及光合作用效率的影响[J].西北植物学报,2021,41(8):1355-1363.
ZHAO L J, MA D M, WANG W J, et al. Effect of exogenous melatonin on antioxidant capacity and photosynthetic efficiency of *alfalfa* seedlings under salt stress [J]. *Acta Botany Boreali-Occidentalis Sinica*, 2021, 41(8):1355-1363.
- [27] 陈莉,刘连涛,马彤彤,等.褪黑素对盐胁迫下棉花种子抗氧化酶活性及萌发的影响[J].棉花学报,2019,31(5):438-447.
CHEN L, LIU L T, MA T T, et al. Effects of melatonin on antioxidant enzyme activities and seed germination of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt-stress conditions [J]. *Cotton Science*, 2019, 31(5):438-447.
- [28] 李阳,陈静,刘绍东,等.外源褪黑素对盐胁迫下棉花幼苗生长及光合特性的影响[J].新疆农业科学,2021,58(8):1418-1426.

LI Y, CHEN J, LIU SH D, *et al.* Effects of exogenous melatonin on growth and photosynthetic characteristics of

cotton seedlings under salt stress [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021, 58(8):1418-1426.

Effect of Exogenous Melatonin on Growth and Resistance Physiology of *Lythrum salicaria* Seedlings under NaCl Stress

HUA Zhirui

(College of Biology Pharmacy and Food Engineering of Shangluo University/Qinling Plant Breeding Center of Shangluo, Shangluo Shaanxi 726000, China)

Abstract This study investigates the effects of exogenous melatonin on growth and resistance physiology of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress. *Lythrum salicaria* seedlings were used as materials, a $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl solution, which has significant effects on the growth, development, and photosynthetic pigments of seedlings, was chosen as salt stress treatment, and then *Lythrum salicaria* seedlings were sprayed with exogenous melatonin at different concentrations. An experiment was conducted to analyze the effect of exogenous melatonin on the main growth indexes and physiological indexes of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress. The results showed that NaCl stress significantly inhibited root length, plant height and fresh and dry mass of *Lythrum salicaria*. Malondialdehyde, proline and soluble protein contents of *Lythrum salicaria* seedlings were significantly higher than those in CK control group, while the activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) of *Lythrum salicaria* seedlings were significantly lower than those in CK control group. Chlorophyll content was significantly lower than that of the control when compared with NaCl stress alone (MT0). A low concentration of melatonin alleviated the damage to seedlings caused by NaCl stress to a certain extent, while high concentration of melatonin aggravated the damage. The growth of *Lythrum salicaria* seedlings treated with $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ melatonin was significantly improved. The root length, plant height, fresh mass and dry mass of seedlings increased by 25.61%, 38.15% and 53.01%, respectively, compared with MT0 treated with NaCl alone, the contents of proline and soluble protein increased by 30.55% and 35.86%, and the contents of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll increased by 34.46%, 34.16% and 34.39%, respectively. The activities of SOD, POD and CAT increased by 68.91%, 30.61% and 19.55%, respectively, and the content of malondialdehyde decreased by 30.67% compared with NaCl stress alone. Exogenous melatonin concentration can alleviate the damage caused by NaCl stress when it is lower than $150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, and aggravate the damage when it is higher than $150 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. The most suitable melatonin concentration for the growth of *Lythrum salicaria* seedlings under NaCl stress is $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Key words Melatonin; *Lythrum salicaria*; NaCl stress; Growth indexes; Physiological index

Received 2023-10-17

Returned 2023-11-30

Foundation item Key R&D Program of Science and Technology Department of Shaanxi Province (No. 2021NY-066).

About author HUA Zhirui, male, master, associate professor. Research area: landscape plant physiological ecology. E-mail: huazhirui2000@163.com

(责任编辑:潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)