

引用格式:曹艳,程艳荣,卫怡涵,等.外源褪黑素缓解陆地棉幼苗盐碱胁迫的生理效应[J].延安大学学报(自然科学版),2026,45(1):70-75.[CAO Y,CHENG Y R,WEI Y H,et al.Physiological effects of exogenous melatonin on alleviating saline-alkali stress in upland cotton seedlings[J].Journal of Yan'an University(Natural Science Edition),2026,45(1):70-75.]DOI:10.13876/J.cnki.ydnse.250035

外源褪黑素缓解陆地棉幼苗盐碱胁迫的生理效应

曹艳[#],程艳荣[#],卫怡涵,黄焰新,闫旭宇^{*}

(延安大学 生命科学学院/陕西省黄土高原资源植物研究与利用省市共建重点实验室,陕西 延安 716000)

摘要:盐碱胁迫是影响作物生长发育的重要环境因素之一,探究外源褪黑素对不同程度盐碱胁迫下棉花幼苗的生理缓解效应。通过盆栽棉花幼苗实验法,测定了抗氧化酶活性、渗透调节物质含量及丙二醛含量等指标。结果表明,盐碱胁迫可诱导棉花幼苗抗氧化酶活性、渗透调节物质以及丙二醛含量升高,而外源褪黑素可以缓解盐碱胁迫对棉花幼苗的伤害,且缓解效果呈浓度依赖性。50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素使POD活性、可溶性糖及游离脯氨酸含量在轻度胁迫下分别下降40%、81%和65%;在中度胁迫下,150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素使POD活性、渗透调节物质及丙二醛含量分别下降46%、81%和41%;在重度胁迫下,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素使各指标均分别降低51%、41%和62%。外源褪黑素处理盐碱胁迫时棉花幼苗表现出浓度依赖性和胁迫程度特异性,为后续深入研究棉花幼苗抵抗盐碱胁迫提供理论基础。

关键词:褪黑素;陆地棉幼苗;盐碱胁迫;缓解效应

中图分类号:S562 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-602X(2026)01-0070-06

土壤盐碱化是制约全球农业可持续发展的主要环境问题之一,目前我国盐碱化呈现盐碱耕地面积不断增长、可开垦资源逐步减少等趋势^[1]。盐碱胁迫不仅对作物生长构成威胁,阻碍农业生产正常进行,还可能对生态环境造成破坏,影响生态系统整体稳定与平衡^[2]。新疆土壤盐碱化面积大、范围广泛,也是我国最大的棉花产区。棉花不仅促进农民经济收入,更为纺织业发展提供了主要原料,同时也是生活的必需品^[3]。因此,探索棉花幼苗受盐碱胁迫的抗逆调控技术,对保障棉花生产及盐碱地综合利用具有重要意义。

褪黑素(N-乙酰基-5-甲氧基色胺)作为一种广泛存在于动植物中的大分子调节物质,具有绿色无害、易被植物吸收、提高植物抗逆性等特性^[4]。褪黑

素可以诱导植物启动抗氧化系统、渗透胁迫、氧化胁迫和光合效能等防御机制,促进植物生长发育,增强其抗盐碱胁迫能力^[5-6]。另外,褪黑素可以调控大豆叶绿素代谢水平^[7],激活杨树激素信号传导途径,以及类黄酮和褪黑素生物合成途径相关基因及代谢物^[8],从而提高其耐盐碱性。

目前,关于棉花耐盐性的研究多集中于单一盐胁迫(如NaCl),而针对新疆盐碱地(以NaCl、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 等为主,pH>8.5^[9])的调控机制尚不明确。因此,本研究探讨外源褪黑素对混合盐碱胁迫下棉花幼苗生理响应的调控作用,分析其对抗氧化酶活性、渗透调节物质以及MDA含量的影响,筛选最适褪黑素浓度,为新疆盐碱地棉花栽培化学抗逆调控技术提供理论基础和技术支持。

收稿日期:2025-04-02

基金项目:国家自然科学基金项目(31960414,32260454);延安大学产学研项目(CXY202112)

作者简介:曹艳(2001—),女,硕士研究生,主要从事修复生态学研究。#共同第一作者

*通信作者 E-mail:yanxuyu2015@126.com

1 材料与方 法

1.1 实验材料

供试材料:中棉所62号(*Gossypium hirsutum* L.)。

供试土壤:营养土与蛭石的体积比为2:1。

花盆规格:15 cm×10 cm。

褪黑素($C_{12}H_{16}N_2O_2$):相对分子质量为232.28,纯度>99%。

1.2 实验设计

基于新疆盐碱地盐分特征,以中性盐(NaCl、 Na_2SO_4)和碱性盐($NaHCO_3$ 、 Na_2CO_3)按摩尔比12:9:8:1配制混合盐碱溶液,设置3个浓度的胁迫梯度(按土壤重量计算):轻度($3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、中度($5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、重度($10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。褪黑素处理浓度设为0、50、100、150、200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

采用盆栽法,每盆装土240 g,选取籽粒饱满的棉花种子,每盆中放置8颗种子,于人工气候箱28℃培养至其长出两片叶子,每盆定苗5株,置于室温培养。待幼苗长出真叶(35 d)后,按胁迫梯度进行处理:1)胁迫处理组:每个盐碱胁迫处理15盆,分别浇灌对应浓度盐碱溶液(100 mL/次,间隔5 d,共2次),三个盐碱胁迫处理共计45盆;2)对照组(CK):未经盐碱胁迫处理,3盆,浇灌等量清水。

胁迫处理5 d后,每组分别喷施不同浓度的褪黑素。连续处理2 d(21:00叶面喷施至湿润无滴落)。处理结束后3 d取样测定抗氧化酶活性、渗透调节物质及丙二醛含量。每处理设3次生物学重复。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 抗氧化酶活性

棉花幼苗叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性均用检测试剂盒(南京建成)和酶标仪测定。

1.3.2 渗透调节物质及丙二醛

可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[10],用分光光度计测定630 nm波长下的吸光值,计算可溶性糖含量;可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮G-250法^[10],用分光光度计测定595 nm波长下的吸光值,计算可溶性蛋白含量;游离脯氨酸含量测定采用茚三酮法^[10],分光光度计测定520 nm波长下的吸光值,计算游离脯氨酸含量;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法^[10],用分光光度计测定450、532和600 nm波长下的吸光值,计算MDA

含量。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel进行数据整理,使用SPSS 16.0进行单因素方差分析。不同处理间采用Duncan检验进行多重比较(显著性水平 $P<0.05$),使用Origin 2024进行绘图。数据表示为平均值±标准误差形式。

2 结果与分析

2.1 对盐碱胁迫下棉花幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

由图1可知,在仅三种盐碱胁迫下,CAT、POD、SOD活性均维持较高水平,表明盐碱胁迫可以导致抗氧化酶活性提高以应对胁迫。轻度盐碱胁迫下,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理,较仅盐碱胁迫处理(0 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素)时CAT活性显著下降了64%($P<0.05$);中度胁迫下,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理CAT活性最低,此时可能褪黑素浓度过高,导致棉花幼苗体内的CAT活性表达失调;重度胁迫下,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理较仅盐碱胁迫下CAT活性下降了48%($P<0.05$)。100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理下,中度和重度胁迫与轻度胁迫相比,CAT活性显著升高($P<0.05$);而200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理下,较轻度盐碱胁迫,中度胁迫下CAT活性显著降低($P<0.05$)。

较仅盐碱胁迫,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使POD活性在轻度胁迫下分别下降了40%和60%($P<0.05$);中度胁迫下,100~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理较仅盐碱胁迫处理下POD活性显著下降了45%、46%、56%($P<0.05$);在重度胁迫下,较仅盐碱胁迫处理,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使POD活性极显著降低了51%($P<0.01$)。不同盐碱胁迫下,分别施加相同浓度的褪黑素对POD活性均无显著差异。

在轻度胁迫下,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理较仅盐碱胁迫处理使SOD活性下降了64%($P<0.05$);中度胁迫下,SOD活性在200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时最低,较仅盐碱胁迫处理显著降低了56%($P<0.05$);在重度胁迫下,较盐碱胁迫处理,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使SOD活性极显著降低了47%($P<0.01$)。较轻度盐碱胁迫下,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使SOD活性在重度盐碱胁迫下显著升高($P<0.05$)。

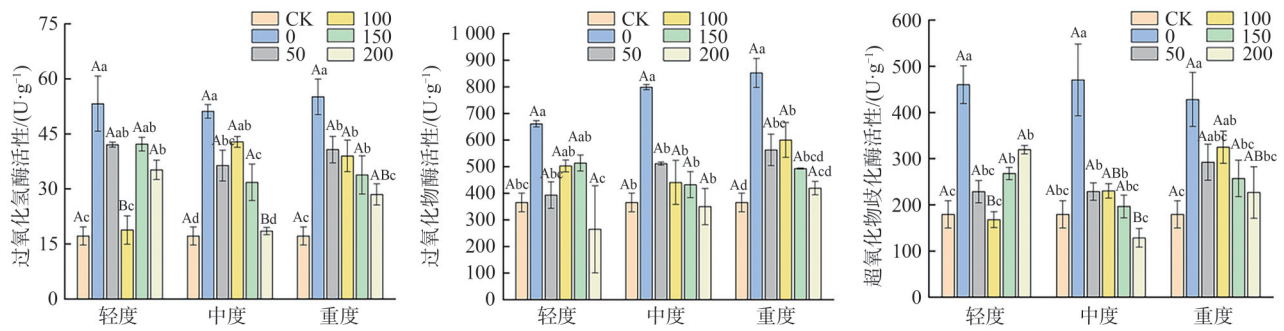


图 1 褪黑素对盐碱胁迫下棉花幼苗过氧化氢酶、超氧化物酶、酶活性的变化

注:不同大写字母表示相同浓度下不同程度盐碱胁迫对抗氧化酶活性的显著差异性,不同小写字母表示相同程度盐碱胁迫下不同浓度对抗氧化酶活性的显著差异性(Duncan多重比较, $P < 0.05$),其他图中意义相同,不再赘述。

2.2 对盐碱胁迫下棉苗叶片渗透调节物质的影响

由图2可知,在仅3种盐碱胁迫下,可溶性糖、可溶性蛋白质、游离脯氨酸含量均维持较高水平,表明棉花幼苗需要生成更多的渗透调节物质以应对盐碱胁迫造成的损伤。轻度胁迫下,50和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理,较仅盐碱胁迫下可溶性糖含量下降了81%和82%($P < 0.05$);中度胁迫下,较仅盐碱胁迫,100~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理可溶性糖含量显著降低了

80%、81%、84%($P < 0.05$);重度胁迫下,较仅盐碱胁迫,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使可溶性糖含量下降了41%($P < 0.05$)。较轻度盐碱胁迫下,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使中度和重度胁迫可溶性糖含量显著升高($P < 0.05$);而150和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理下,较轻度胁迫和重度胁迫,中度胁迫下可溶性糖含量显著降低($P < 0.05$)。

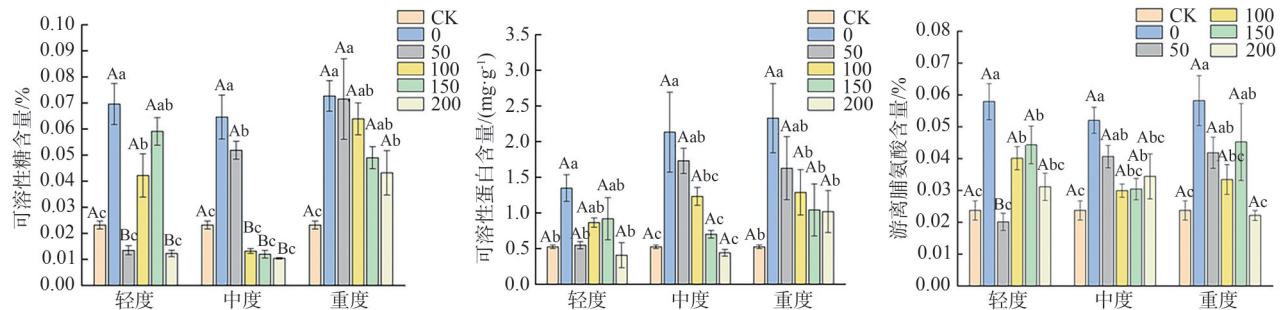


图 2 褪黑素对盐碱胁迫下棉花幼苗可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸含量的变化

较仅盐碱胁迫,50和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使可溶性蛋白含量在轻度胁迫下分别显著下降了59%和70%($P < 0.05$);中度胁迫下,较仅盐碱胁迫处理,150、200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 可溶性蛋白含量显著降低了67%、79%($P < 0.05$);重度胁迫下,150、200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理,较仅盐碱胁迫下可溶性蛋白显著下降了55%、56%($P < 0.05$)。各相同褪黑素处理浓度在不同盐碱胁迫条件下,可溶性蛋白含量均无显著差异。

轻度胁迫下,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时游离脯氨酸含量最低,较仅盐碱胁迫处理显著下降了65%($P < 0.05$);中度胁迫下,较仅盐碱胁迫处理,100和150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时游离脯氨酸含量分别显著下降了42%和41%($P < 0.05$);重度胁迫下,较仅盐碱胁迫处理,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时游离脯氨酸含量显著下降了62%($P < 0.05$)。较

轻度盐碱胁迫,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使中度和重度胁迫游离脯氨酸含量显著升高($P < 0.05$)。

2.3 对盐碱胁迫下棉苗叶片丙二醛含量的影响

如图3所示,丙二醛含量在仅三种盐碱胁迫下均维持较高水平。轻度胁迫下,在200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时丙二醛含量最低,较仅盐碱胁迫处理显著下降了75%($P < 0.05$);中度胁迫下,较仅盐碱胁迫处理,丙二醛含量在150和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时显著降低了80%和85%($P < 0.05$);重度胁迫下,200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理,丙二醛含量较仅盐碱胁迫处理显著下降了58%($P < 0.05$)。较轻度盐碱胁迫,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使重度盐碱胁迫下丙二醛含量显著升高($P < 0.05$);较中度盐碱胁迫,150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理使重度盐碱胁迫丙二醛含量显著升高($P < 0.05$)。

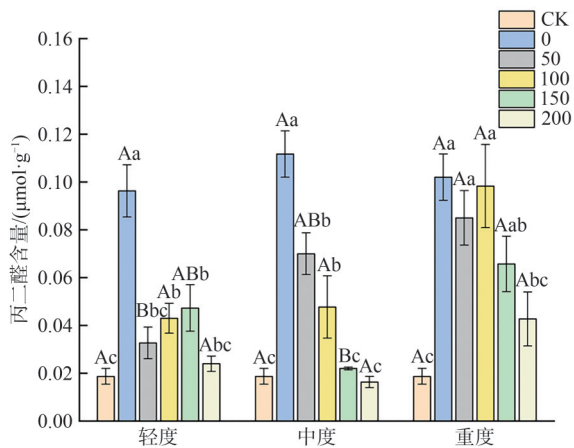


图3 褪黑素对盐碱胁迫下棉花幼苗对丙二醛含量的影响

3 讨论与结论

3.1 对棉花幼苗盐碱胁迫和氧化损伤的缓解效果

在盐碱胁迫下,植物体内会积累大量的活性氧,导致细胞膜脂质过氧化,进而破坏细胞膜的完整性,影响植物正常生理功能^[11]。活性氧的过量积累导致细胞膜结构损伤,诱导植物体内的清除体系(酶类保护体系和非酶类保护体系)将植物体内过量活性氧清除,增强植物逆境适应胁迫,保证植株正常生命活动^[12]。有研究表明,随着混合盐浓度递增,骏枣的SOD、CAT活性及可溶性糖和脯氨酸含量呈现先升高后下降的趋势^[13]。在盐碱胁迫下,罗布麻幼苗叶片和藜麦幼苗根系中SOD、POD、CAT活性随着浓度增大而提高^[14-15]。本研究结果表明:在受到混合盐碱胁迫时,棉花幼苗叶片中的CAT、SOD、POD活性均显著提高。棉花植株在遭受混合盐碱胁迫时,会激发抗氧化酶系统来清除过量的活性氧,从而使棉花叶片内SOD、POD以及CAT活性提高。

在氧化还原代谢的调控过程中,褪黑素发挥着尤为重要的抗氧化作用,通过直接或间接的方式参与代谢过程,有效减少活性氧的累积,进而实现对SOD、POD、CAT活性调控。在盐碱胁迫下,喷施外源褪黑素显著提高了SOD、CAT的活性^[16]。盐胁迫下芦苇幼苗的SOD、POD、CAT活性升高,在外源褪黑素处理之后,SOD、POD、CAT活性进一步显著升高^[17]。褪黑素可有效抑制复合盐碱胁迫对垂丝海棠的氧化胁迫,其中,以200 μmol·L⁻¹为最适的处理浓度^[18]。本实验结果表明:通过喷施外源褪黑素,显著降低了CAT、SOD、POD活性。这与前人的实验结果不一致,这可能是由于本实验在测定时,不同浓度的褪黑素处理减轻了盐碱胁迫的强度,而使得

棉花体内的过多的活性氧减少,这就导致棉花体内的抗氧化酶活性得到一定程度的降低。本实验中,在轻度混合盐碱胁迫中,CAT、POD活性测定中最有效缓解的褪黑素浓度为100 μmol·L⁻¹;SOD活性测定中最有效缓解的褪黑素浓度为50 μmol·L⁻¹。在中度混合盐碱胁迫下,CAT、POD、SOD活性测定中最有效缓解的褪黑素浓度为200 μmol·L⁻¹。在重度混合盐碱胁迫中,CAT、SOD、POD活性测定中最有效缓解的褪黑素浓度为200 μmol·L⁻¹,这与相关研究基本一致。

不同盐碱胁迫程度下,相同浓度褪黑素处理棉花幼苗对抗氧化酶活性表现出差异性。本研究表明,100 μmol·L⁻¹褪黑素处理时,中度和重度盐碱胁迫均显著诱导CAT活性升高,重度胁迫显著诱导SOD活性升高,表明褪黑素处理可能通过增强CAT活性和SOD活性以缓解盐碱胁迫造成的氧化损伤,这与褪黑素作为自由基清除剂的抗氧化特性一致^[19]。然而,200 μmol·L⁻¹褪黑素处理时中度胁迫CAT活性显著下降,而在重度胁迫下CAT活性和SOD活性上升,表明外源褪黑素调节编码抗氧化酶的基因的高表达,增强了叶片中抗氧化酶的活性,并最终及时去除过量的ROS^[20]。植物体内通过抗氧化系统来清除由胁迫而引起的活性氧自由基高表达,以防止膜损伤^[21]。因此,褪黑素对盐碱胁迫下抗氧化酶的调控具有浓度依赖性和胁迫强度特异性。CAT和POD对低浓度褪黑素响应更敏感,而SOD在高浓度褪黑素下表现出更强的抑制作用。此外,抗氧化酶活性的降低可能与褪黑素直接清除活性氧的能力有关,表明褪黑素通过多重机制缓解氧化损伤。

3.2 对棉花幼苗盐碱胁迫渗透调节物质的缓解效果

盐碱胁迫不仅导致活性氧的积累,还会破坏植物细胞的渗透平衡,进而影响细胞的正常功能。植物在遭受盐碱胁迫伤害的过程中,间接或直接受到水分胁迫,从而打破植物体内正常的活性氧平衡,进而对植物膜系统造成过氧化损伤,植物在盐碱胁迫下的主要渗透调节物质包括脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖等^[22]。随着盐浓度不断地增大和碱性盐比例的增高,盐柳1号幼苗叶片的可溶性糖、MDA、脯氨酸含量有不同程度的升高^[23]。本实验结果表明:在受到盐碱胁迫后,可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸以及丙二醛含量均显著升高。喷施外源褪黑素之后,会减少盐碱胁迫下可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸及MDA含量。这与前人研究有所

不同,原因可能是:在褪黑素诱导下,减缓植物所受到的胁迫强度,引起渗透调节物质含量的减少。此外,褪黑素还可一定程度上提高棉花幼苗的抗氧化能力,从而引起丙二醛含量的减少,这与相关研究结果一致。在本实验中,在轻度混合盐碱胁迫中,可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸及丙二醛含量测定中最有效缓解的褪黑素浓度为 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在中度混合盐碱胁迫中,游离脯氨酸含量测定中最有效缓解的褪黑素浓度为 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$;可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛含量测定中最有效缓解的褪黑素浓度为 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在重度混合盐碱胁迫中,可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸及丙二醛含量测定中最有效缓解的褪黑素浓度为 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,这与前人的研究结果一致,外源褪黑素处理能够显著提高盐胁迫下黄瓜幼苗的可溶性糖和脯氨酸含量^[24]。

在不同程度盐碱胁迫时,相同浓度褪黑素处理使棉花幼苗体内存在渗透调节物质和膜脂过氧化存在交互作用。 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理时,中度和重度胁迫下可溶性糖和游离脯氨酸含量显著升高,表明低浓度褪黑素可通过促进渗透调节物质积累,增强植株细胞渗透调节能力,缓解盐碱胁迫诱导的水分失衡^[25]。 $150 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 褪黑素处理下,重度胁迫较中度胁迫MDA含量显著升高,表明高浓度褪黑素可以在适宜的盐碱胁迫下发挥作用,可减少膜脂过氧化,保护膜完整性,减轻盐碱胁迫对植株幼苗的损伤,提高植株幼苗的耐盐碱性^[26]。

渗透调节物质的变化与抗氧化酶活性和MDA含量密切相关。可溶性糖和脯氨酸对褪黑素的响应更为敏感,可能与它们在渗透调节中的核心作用有关。此外,MDA含量的降低与抗氧化酶活性的提升呈正相关,表明褪黑素通过协同调控抗氧化系统和渗透调节系统,缓解了盐碱胁迫对细胞膜的损伤。褪黑素还可能通过调节渗透调节物质的代谢途径,如脯氨酸合成途径,进一步增强植物的抗逆性。

综上所述,外源褪黑素通过清除活性氧、激活抗氧化酶系统、调节渗透物质含量以及减少膜脂过氧化程度等多重机制,有效缓解了盐碱胁迫对棉花幼苗的损伤。这些结果为盐碱地棉花栽培中应用褪黑素提供了理论依据和技术参考。

参考文献:

[1]胡炎,杨帆,杨宁,等.盐碱地资源分析及利用研究展望[J].土壤通报,2023,54(2):489-494.
[2]许永德.北方平原地区盐碱地改良利用研究[J].水利规

划与设计,2018(5):91-92+177.

- [3]李兴.新疆棉花生产的历史、现状与前景研究[D].西安:陕西师范大学,2022.
[4]陈贤,杨勇,刘凤权.植物褪黑素的研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(24):17-24.
[5]熊海琳,田小霞,毛培春,等.外源褪黑素对盐胁迫下白三叶幼苗光合及生理特性的影响[J].草业科学,2023,3(5):120-130.
[6]DOU J H, TANG Z Q, YU J H, et al. Effects of exogenous melatonin on the growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings under saline-alkali stress [J]. Scientific Reports, 2025, 15(1):5172.
[7]马悦,丁绪,胡嘉宸,等.外源褪黑素对盐碱胁迫下大豆叶绿素代谢的影响[J].山东农业科学,2025,57(4):77-88.
[8]WANG Q, LIANG X T, XIANG D B, et al. The physiological mechanism of melatonin enhancing the tolerance of oat seedlings under saline-alkali stress [J]. Agronomy, 2023, 13(9):2343.
[9]王玉洁.调环酸钙减轻盐碱胁迫棉花幼苗生长的效果[D].武汉:华中农业大学,2023.
[10]王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2006.
[11]冯晓东,张铃露,赵琦.钙离子对茄子幼苗抗盐碱胁迫的影响[J].延安大学学报(自然科学版),2023,42(4):51-54+60.
[12]刘铎,丛日春,高卫东,等.盐碱胁迫对柳树抗氧化酶的影响[J].水土保持通报,2017,37(5):53-57.
[13]闫敏,王艳,鲍荆凯,等.混合盐碱胁迫对骏枣渗透调节物质和抗氧化酶活性的影响[J].山东农业科学,2022,54(5):37-43.
[14]申圣圣.NaCl胁迫对藜麦种子萌发和幼苗生长的影响[D].临汾:山西师范大学,2020.
[15]严媚娟,白茹,崔金霞,等.混合盐碱胁迫对罗布麻生理特性的影响[J].农业科技通讯,2021(8):153-157.
[16]何皇成,陈明媛,王腾飞,等.盐碱胁迫下棉花幼苗对外源褪黑素的生理响应[J].新疆农垦科技,2023,46(2):56-59.
[17]范海霞,郭若旭,辛国奇,等.外源褪黑素对盐胁迫下芦苇幼苗生长和生理特性的影响[J].中国农业科技导报,2019,21(11):51-58.
[18]高立杨,刘兵,张瑞,等.褪黑素对盐碱复合胁迫下垂丝海棠光合及生理特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2020,55(2):90-97.
[19]李傲宇,李瑞敏,陈翼芝,等.外源水杨酸、褪黑素对盐胁迫下大豆种子萌发和幼苗生长的影响[J].安徽农业通报,2024,30(19):31-36.
[20]XIAN X L, ZHANG Z X, WANG S C, et al. Exogenous

- melatonin strengthens saline-alkali stress tolerance in apple rootstock M9-T337 seedlings by initiating a variety of physiological and biochemical pathways[J]. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2024, 11(1):58.
- [21] 闫旭宇, 曹艳, 程艳荣, 等. 苦荞对于旱胁迫的应答及外源物质的缓减效应研究[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2023, 42(4):45-50.
- [22] FENG K H, SUN P, CHEN Y Y, et al. Endophytic bacteria promote the growth of *Suaeda glauca* in saline-alkali stress: Regulation of osmotic pressure and antioxidative defense system[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2023, 22(4):1109-1118.
- [23] 吴鹏, 吕剑, 郁继华, 等. 褪黑素对盐碱复合胁迫下黄瓜幼苗光合特性和渗透调节物质含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2022, 33(7):1901-1910.
- [24] 李子英, 丛日春, 杨庆山, 等. 盐碱胁迫对柳树幼苗生长和渗透调节物质含量的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(24):8511-8517.
- [25] CHEN L F, YU J H, LU X, et al. Iris typhifolia responses to saline-alkali stress: Germination, antioxidant activity, hormones, and photosynthetic performance[J]. *Horticulturae*, 2024, 10(6):588.
- [26] ZHANG Y, JIA L, WANG H, et al. The physiological mechanism of exogenous melatonin regulating salt tolerance in eggplant seedlings[J]. *Agronomy*, 2025, 15(2):270.
- [责任编辑 李晓霞]

Physiological effects of exogenous melatonin on alleviating saline-alkali stress in upland cotton seedlings

CAO Yan[#], CHENG Yanrong[#], WEI Yihan, HUANG Yanxin, YAN Xuyu^{*}

(Shaanxi Key Laboratory of Research and Utilization of Resource Plants on the Loess Plateau, School of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an 716000, China)

Abstract: Saline-alkali stress represents a critical environmental constraint impacting crop growth and development. In order to explore the physiological ameliorative effect of exogenous melatonin on cotton seedlings under divergent intensities of saline-alkali stress, this experiment adopted the pot experiment to determine the antioxidant enzyme activities, osmolyte concentrations and malondialdehyde content of cotton seedlings. The results showed that salt-alkali stress triggered significant upregulation of antioxidant enzyme activities, accumulation of osmotic adjustment substances, and elevation of MDA content. Exogenous melatonin demonstrated consistent alleviatory effects against saline-alkali stress in a concentration-dependent manner. Under mild stress, 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ melatonin reduced the activities of POD, soluble sugar content and free proline content by 40%, 81% and 65%, respectively. Under moderate stress, 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ melatonin reduced POD activity, osmolyte levels, and MDA content by 46%, 41% and 80%, respectively. Under severe stress, 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ melatonin reduced each index by 51%, 41% and 62%, respectively. The exogenous melatonin of cotton seedlings, under saline-alkali stress showed concentration dependence and stress degree specificity, providing a theoretical basis for further in-depth research on the resistance of cotton seedlings to saline-alkali stress.

Key words: melatonin; upland cotton seedlings; saline-alkali stress; mitigating effect