

李家凤,汤开磊,刘思雨,等. 外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(8):114-121.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.08.015

外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响

李家凤,汤开磊,刘思雨,邬德馨,蒋文素,欧阳文静,刘飞虎,杜光辉,杨 阳
(云南大学农学院,云南昆明 650500)

摘要:以工业大麻品种巴马火麻和云麻 7 号为试验材料,采用沙培法种植,设置正常生长(CK)、盐胁迫(200 mmol/L NaCl)和盐胁迫+喷施脱落酸(200 mmol/L NaCl+250 mg/L ABA)3 种处理,通过形态生长和生理生化指标的分析,揭示外源脱落酸处理对盐胁迫下工业大麻苗期生长和生理的影响。研究表明,与对照相比,盐胁迫下巴马火麻和云麻 7 号的株高分别降低了 39.51%、44.62%,茎粗分别降低了 21.37%、41.96%,而总生物量分别降低了 83.87%、69.42%;与盐胁迫相比,脱落酸处理后巴马火麻和云麻 7 号的株高分别增加了 22.95%、37.95%,茎粗分别增加了 10.41%、37.75%,总生物量也分别增加了 78.99%、59.52%。与盐胁迫相比,喷施外源脱落酸后 2 个大麻品种的 SPAD 值均有一定程度的增加,而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性,可溶性糖和可溶性蛋白含量也相应提高,丙二醛含量下降,以上生理指标的变化进而导致工业大麻株高、茎粗和生物量的增加。综上所述,盐胁迫下喷施外源脱落酸能增强大麻植株的生理活性,能在一定程度上消减盐胁迫对大麻生长和生理上带来的损伤。

关键词:工业大麻;盐胁迫;脱落酸;生理;生长

中图分类号:S563.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)08-0114-08

大麻(*Cannabis sativa* L.)为大麻科(Cannabaceae)大麻属(*Cannabis*)一年生草本植物,工业大麻是指其四氢大麻酚(THC)含量低于 0.3%、不具备制毒

价值的大麻品种类型,其生物活性成分(主要是大麻素)、纤维和麻籽被广泛应用于医疗保健、纺织、造纸、建筑和功能食品等领域^[1]。盐胁迫是植物最常见的非生物胁迫之一,不仅抑制植物的生长发育,还降低植物生产能力^[2-3]。据联合国粮食及农业组织报道,世界上有超过 9.5 亿 hm² 的土地受到盐胁迫的影响,且由于农田用水管理不当,导致土壤的次生盐渍化面积不断扩大^[4]。大多数植物对土壤盐胁迫敏感,盐胁迫会导致植物内部发生离子胁迫、渗透胁迫以及氧化胁迫,致使植物代谢受阻,细胞内离子失衡,光合色素合成及蛋白质含量、抗

收稿日期:2024-03-29

基金项目:云南省教育厅科学研究基金(编号:2023J0005);云南省科技计划(编号:202401AT070484);国家麻类产业技术体系建设专项(编号:CARS-16-E15)。

作者简介:李家凤(2000—),女,云南临沧人,硕士研究生,主要从事工业大麻抗逆生理研究。E-mail:ljf6694@163.com。

通信作者:杜光辉,博士,讲师,主要从事工业大麻高产栽培研究, E-mail:dgh2012@ynu.edu.cn;杨 阳,博士,实验师,主要从事工业大麻栽培生理研究, E-mail:yjy@ynu.edu.cn。

[24] Weeks W W. Chemistry of tobacco constituents influencing flavor and aroma[J]. Recent Advance of Tobacco Science,1985,11(2):175-200.

[25] 耿宗泽,李东亮,戴 亚,等. 基于化学成分指标的烤烟产区广义灰色关联分析[J]. 中国烟草学报,2010,16(3):12-16.

[26] 陈江华,刘建利,龙怀玉. 中国烟叶矿质营养及主要化学成分含量特征研究[J]. 中国烟草学报,2004,10(5):20-27.

[27] 曹建敏,刘帅帅,邱 军,等. 烤烟重要致香物质与评吸质量的相关性研究[J]. 中国烟草科学,2012,33(6):75-79.

[28] 史宏志,刘国顺,杨惠娟,等. 烟草香味学[M]. 北京:中国农业出版社,2011:3-4.

[29] 陈小龙,段卫东,张 展,等. 移栽期对冬季烤烟上部烟叶致香成分和质量评价的影响[J]. 中国农学通报,2021,37(22):28-34.

[30] 曹亚男,曹建敏,林润英,等. 中烟 207 及其亲本 0953 高香气性状的物质基础研究[J]. 中国烟草科学,2023,44(4):71-78.

[31] 胡皓月,许自成,苏永士,等. 影响烟草新植二烯含量因素的研究进展[J]. 江西农业学报,2010,22(1):17-20.

[32] 李佳颖,马君红,李志鹏,等. 烤烟茄酮含量与化学成分和感官质量的关系[J]. 河南农业科学,2016,45(12):34-39.

[33] 蒋举兴,孔维松,吴 俊,等. 香精中巨豆三烯酮 E/Z 异构体的相对量比和在 4 种常用气相色谱柱上的出峰顺序[J]. 云南大学学报(自然科学版),2018,40(5):984-994.

[34] 徐秀娟,茅中一,杨春强,等. 基于烟草水提物的 Maillard 反应产物影响因素[J]. 烟草科技,2022,55(3):39-49.

[35] 朱咸鑫. 不同香型产区烟叶常规化学成分和致香物质差异[D]. 长沙:湖南农业大学,2017:33-35.

氧化酶活性等受到影响^[5]。

近年来,提高植物对盐碱地的适应性已经受到广泛关注,在众多植物耐盐性技术中,施加外源物质是缓解盐胁迫最简便可行的措施之一。目前,人们发现很多外源物质处理能够提高作物的耐盐性,如包颖等发现盐胁迫下外施茉莉酸甲酯(MeJA)可以增加月季品种月月粉根中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性,增加脯氨酸(Pro)含量,降低丙二醛(MDA)含量,从而降低盐胁迫对月季带来的不利影响^[6]。李红杰研究发现,外源褪黑素和硅可以显著提高盐胁迫下芹菜幼苗的抗氧化酶活性和叶片净光合速率^[7]。程琨等研究指出,在 NaCl 胁迫条件下,外施肌醇可以清除超氧阴离子($O_2^- \cdot$)和 H_2O_2 ,有效缓解小麦体内细胞膜的损伤^[8]。而 Fiallos 发现,在盐胁迫条件下,喷施脱落酸(abscisic acid, ABA)的黄麻幼苗性状表现更好,株高、存活率等性状显著改善^[9]。ABA 作为一种公认的植物激素,不仅能够调控植物的生长发育,也在植物应对各种胁迫,尤其是非生物胁迫的响应中起着至关重要的作用^[10-13]。同时,ABA 是一种重要的信号分子,可通过调控植物抗逆相关基因的表达,增加渗透调节物质的含量,缓解高浓度胁迫引起的渗透压、离子等逆境,维持细胞膜结构稳定,提高酶活性,最终达到缓解盐胁迫的目的^[14]。然而,有关外源 ABA 处理对工业大麻耐盐性的影响研究目前还未见报道。本研究以盐胁迫下的工业大麻品种巴马火麻和云麻 7 号为材料,探讨喷施 ABA 对大麻植株生长和生理特性的影响,为工业大麻的耐盐性栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试工业大麻品种为巴马火麻和云麻 7 号,由云南省农业科学院经济作物研究所提供。栽培盆为口径 23 cm、高 18 cm 的圆形塑料花盆,基质为石英砂(粒径 1.0~2.0 mm)。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2023 年在云南大学农学院试验温室中进行,每盆装 5 kg 清水洗净的石英砂,每盆播种 15 粒饱满均匀的种子,播种前种子用 0.1% $KMnO_4$ 溶液消毒 5 min,再用去离子水反复冲洗干净,自然回干后播种于塑料盆中。播种后蒸馏水浇灌至第 1 对真叶完全展开,后每隔 3 d 添加 300 mL

1/2 浓度的霍格兰营养液(硝酸钙 945 mg/L、硝酸钾 607 mg/L、磷酸铵 115 mg/L),待幼苗长至第 3 对真叶时进行间苗,每盆定植 7 株长势均匀的幼苗。

在工业大麻处于 4 对真叶期时,将所有材料分成 3 组,其中一组为正常生长(CK),另一组为盐胁迫,最后一组为盐胁迫+喷施 ABA 处理,其中,盐胁迫处理是在营养液中添加 200 mmol/L NaCl^[15-16]。ABA 喷施在盐处理 7 d 进行,浓度为 250 mg/L(根据前期试验确定),每隔 3 d 喷施 1 次,共处理 3 次(即盐处理 7、10、13 d)。每天 18:00—18:30 进行 ABA 喷施,喷施的方式为叶面喷施(叶片正反面),喷施量以叶面湿透无滴水为标准,而正常生长和盐胁迫则喷施蒸馏水作为对照。每个处理 3 次重复。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标测定 最后一次 ABA 处理后的 1、3、5 d,每个处理随机选 5 株,测量株高(地上部分的长度)和茎粗(植株基部茎直径)。同时,最后一次 ABA 处理后的 5 d,取大麻植株洗净晾干,分为地上部和根部,于 105 ℃下杀青 30 min,75 ℃烘干,称重,记录地上部干重和根干重,计算总生物量(根干重+地上部干重)和根冠比(根干重/地上部干重)。

1.3.2 生理指标测定 最后一次 ABA 处理后的 1、3、5 d 分别选大麻的第 1 对展开叶,用 TYS-ASPAD 速测仪(浙江托普仪器有限公司)测定叶片的 SPAD 值。SPAD 值测定完成后,取此叶片测定以下生理指标:过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性,丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量。具体测定方法如下:愈创木酚法测定 POD 活性,氮蓝四唑(NBT)法测定 SOD 活性,硫代巴比妥酸显色法测定丙二醛含量,电导仪测定相对电导率,考马斯亮蓝显色法测定可溶性蛋白含量,蒽酮比色法测定可溶性糖含量。以上指标的测定参考蔡庆生的植物生理学实验方法^[17]进行,每个处理重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件处理试验数据,利用 SPSS 20.0 进行数据的方差分析,显著性水平设为 $\alpha=0.05$,运用新复极差比较法进行平均值的多重比较,采用 GraphPad Prism 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻形态生长的影响

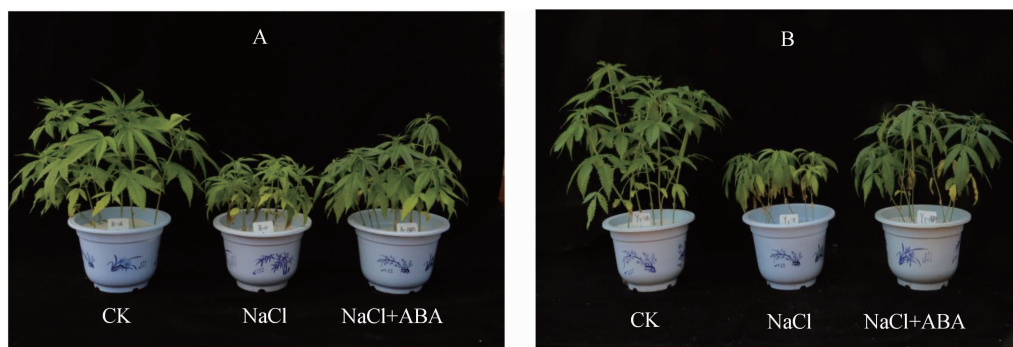
2.1.1 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻长势的影响

由图 1 可知,盐胁迫使得大麻幼苗株高明显降低,叶

色失绿黄化,新叶抽出困难,同时植株出现萎蔫,部分老叶的叶尖和叶缘焦枯,并且伴随着部分老叶从叶柄处脱落,同时茎的横向生长受抑制。盐胁迫下喷施 ABA,大麻叶片失绿黄化程度降低,有新叶抽出,叶片舒展,能在一定程度上消减盐胁迫对大麻生长上带来的损伤。

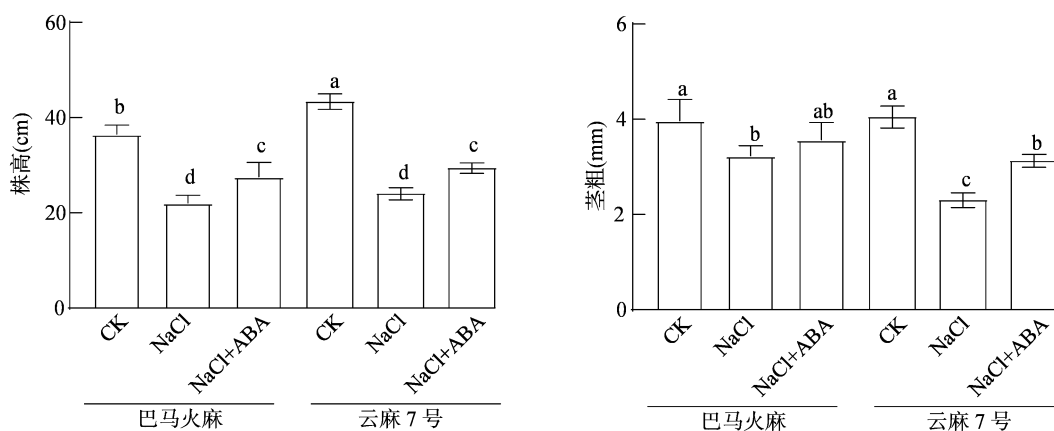
2.1.2 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻株高和茎粗的影响 由图 2 可知,盐胁迫对云麻 7 号和巴马火麻株高的影响显著 ($P < 0.05$)。与对照相比,盐胁迫

下巴马火麻的株高降低了 39.51%,云麻 7 号降低了 44.62%。喷施 ABA 对盐胁迫下大麻生长有一定的缓解作用,与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,巴马火麻的株高增加了 22.95%,云麻 7 号增加了 37.93%。茎粗的结果与株高相似,与对照相比,盐胁迫下巴马火麻茎粗降低了 21.37%,云麻 7 号降低了 41.96%。与盐胁迫相比,喷施外源 ABA 巴马火麻的茎粗增加了 10.41%,云麻 7 号增加了 35.75%。



A—巴马火麻; B—云麻 7 号; CK—正常生长; NaCl—盐胁迫; NaCl+ABA—盐胁迫+喷施 ABA; 下图同

图1 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻的长势



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

图2 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻的株高和茎粗

2.1.3 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻生物量和根冠比的影响 由图 3 可知,盐胁迫对 2 个工业大麻品种的总生物量存在显著影响 ($P < 0.05$),而盐胁迫下喷施 ABA 能显著提高大麻的总生物量。与对照相比,盐胁迫下巴马火麻的总生物量降低了 83.87%,云麻 7 号的降低了 69.42%。与盐胁迫相比,喷施外源 ABA 巴马火麻的总生物量增加了 78.99%,云麻 7 号的增加了 59.52%;总体而言,巴马火麻的总生物量高于云麻 7 号。盐胁迫以及 ABA 处理对大麻根冠比的影响差异不显著,但盐胁迫

迫下喷施 ABA 能提高 2 个大麻品种的根冠比。与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,巴马火麻的根冠比增加了 5.73%,而云麻 7 号的根冠比增加了 0.67%。

2.2 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻生理生化的影响

2.2.1 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻 SPAD 值的影响 由图 4 可知,与对照相比,盐胁迫下 3 个取样时间的大麻 SPAD 值均显著低于对照 ($P < 0.05$),随着取样时间的延长巴马火麻的 SPAD 值分别降低了 27.86%、32.01% 和 28.83%,云麻 7 号的分别降低了 21.46%、26.43% 和 40.31%。喷施 ABA 能够提

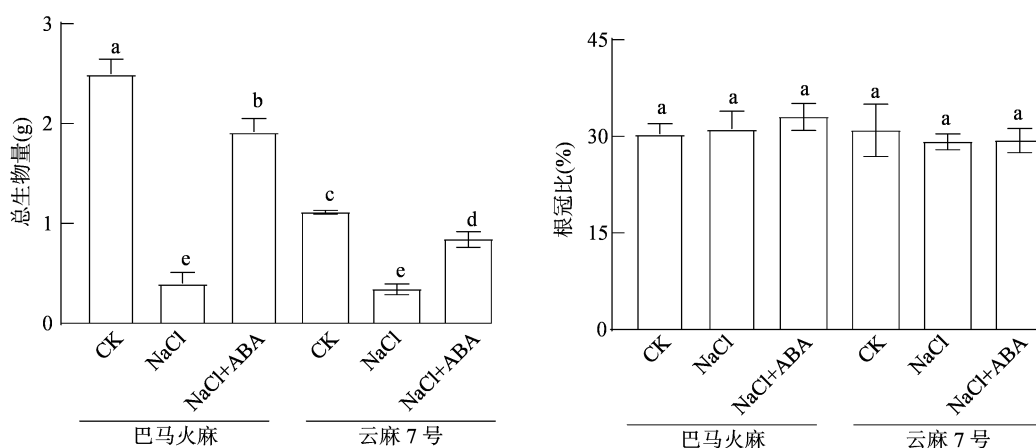


图3 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻的生物量和根冠比

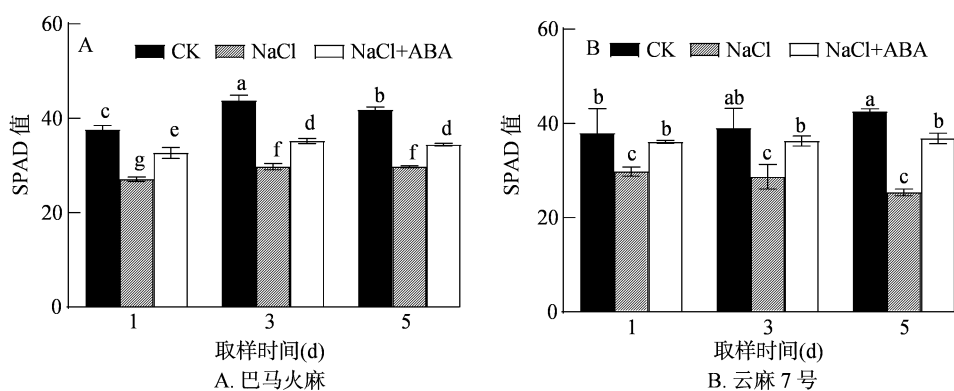


图4 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻叶片的 SPAD 值

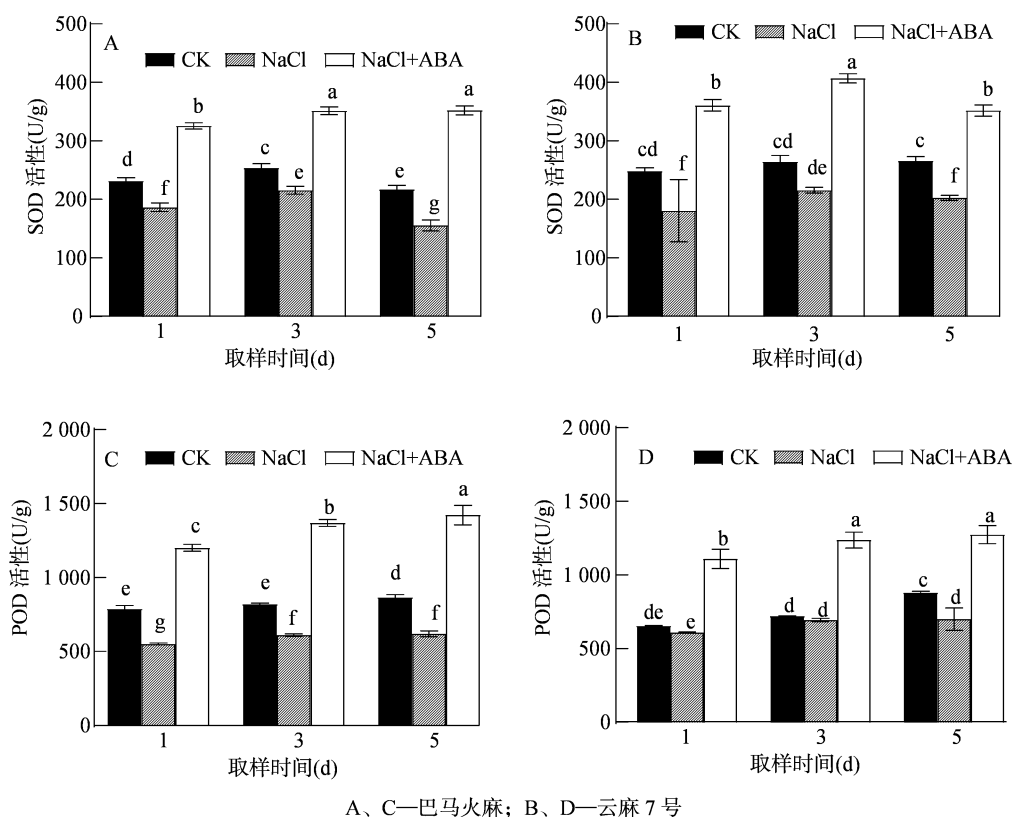
高盐胁迫下大麻的 SPAD 值,与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,取样 1、3、5 d 巴马火麻的总 SPAD 值分别增加了 16.96%、18.39% 和 15.82%,云麻 7 号分别增加了 21.16%、26.40% 和 45.07%。2 个品种的 SPAD 值变化总体上较为一致。

2.2.2 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片抗氧化酶活性的影响 由图 5 可知,盐胁迫对巴马火麻和云麻 7 号 SOD、POD 活性的影响显著($P < 0.05$)。与对照相比,随着取样时间的延长,盐胁迫下巴马火麻的 SOD 活性降幅分别为 19.46%、14.96% 和 28.28%,云麻 7 号的降幅分别为 27.12%、18.46% 和 23.73%。与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,随着取样时间的延长,巴马火麻的 SOD 活性增幅分别为 74.50%、63.12% 和 126.54%,云麻 7 号的增幅分别为 99.58%、88.61% 和 73.66%。POD 活性结果与 SOD 活性类似,与对照相比,随着取样时间的延长,盐胁迫下巴马火麻的 POD 活性分别降低了 29.99%、25.47% 和 28.47%,云麻 7 号分别降低了 6.91%、3.72% 和 20.45%。与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,巴马火麻的 POD 活性分别增加了

117.95%、124.22% 和 129.66%,云麻 7 号的 POD 活性分别增加了 82.00%、78.26% 和 82.07%。巴马火麻和云麻 7 号叶片的 SOD、POD 活性随着取样时间的延长总体呈先上升后下降的趋势。

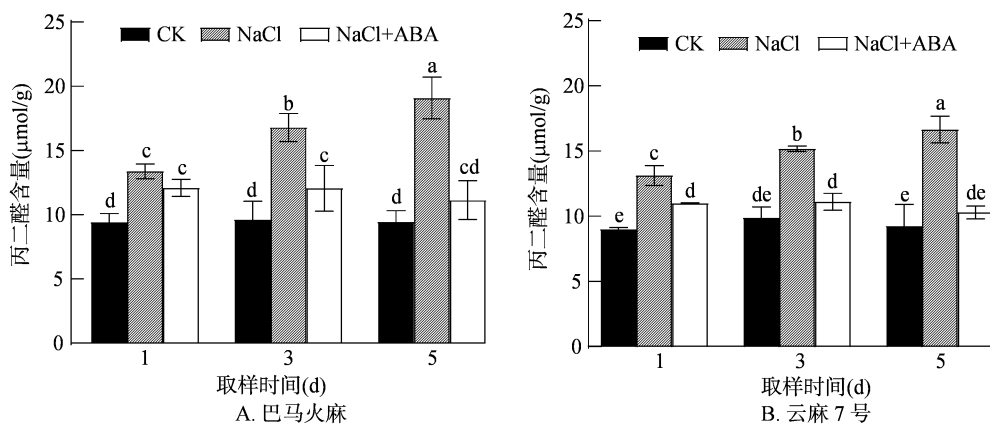
2.2.3 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片细胞膜透性的影响 由图 6 可知,与对照相比,随着取样时间的延长,盐胁迫下大麻叶片的 MDA 含量呈上升趋势,巴马火麻的 MDA 含量分别增加了 42.09%、74.18% 和 102.14%,云麻 7 号的 MDA 含量分别增加了 45.53%、53.47% 和 79.72%。2 个品种均是在取样的 5 d 时,MDA 含量达到最高,巴马火麻的 MDA 含量为 $19.10 \mu\text{mol/g}$,而云麻 7 号的为 $16.65 \mu\text{mol/g}$ 。与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,巴马火麻的 MDA 含量分别降低了 9.67%、28.13% 和 41.66%,云麻 7 号的分别降低了 16.25%、26.76% 和 38.16%。

2.2.4 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片渗透调节物质的影响 由图 7 可知,与对照相比,盐胁迫下巴马火麻的可溶性糖含量在 1 d 和 3 d 分别增加 17.68%、27.93%,而 5 d 时降低了 14.06%,可溶性



A、C—巴马火麻；B、D—云麻 7 号

图5 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻叶片抗氧化酶活性



A. 巴马火麻 B. 云麻 7 号

图6 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻叶片的细胞膜透性

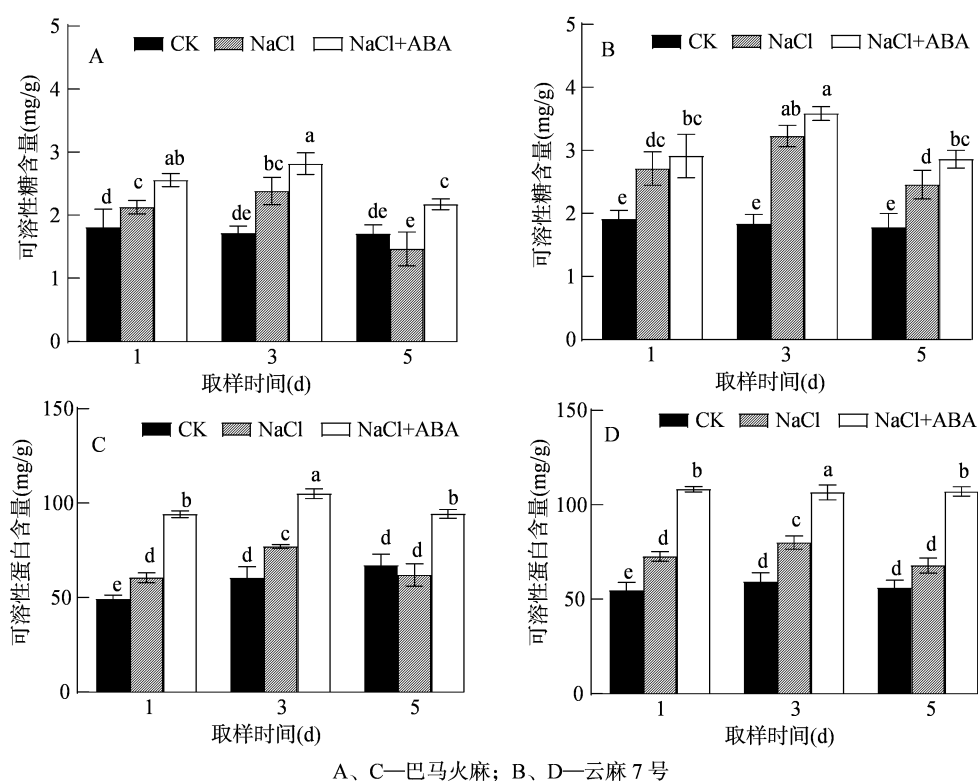
蛋白含量在 1 d 和 3 d 分别增加 22.73%、27.39%，5 d 时降低了 7.62%；盐胁迫下云麻 7 号的可溶性糖含量随取样时间 1、3、5 d 分别增加 41.81%、75.86%、38.20%，可溶性蛋白含量增加了 32.65%、34.69%、20.88%；与盐胁迫相比，喷施 ABA 后巴马火麻的可溶性糖含量随取样时间的延长分别增加了 20.19%、18.15%、48.18%，可溶性蛋白含量增加 48.95%、33.14%、57.66%；而云麻 7 号的可溶性糖含量随取样时间的延长分别增加了 7.37%、11.04%、16.37%，可溶性蛋白含量增加了

55.64%、41.55%、52.10%；2 个大麻品种的可溶性糖和可溶性蛋白含量总体呈先上升后下降的趋势，整个过程中云麻 7 号叶片的渗透调节物质含量略高于巴马火麻。

3 讨论

3.1 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻形态生长的影响

当受到盐胁迫时，植物对养分和水分的吸收、积累、分配等均会受到影响，从而导致植株生长受到抑制。周睿等对 NaCl 胁迫下的青花菜幼苗生长



A、C—巴马火麻；B、D—云麻 7 号
图7 盐胁迫以及 ABA 处理下大麻叶片渗透调节物质的含量

的研究表明,NaCl 胁迫处理下 12 d,青花菜幼苗的株高与对照相比降低了 34%,茎粗降低了 18%^[18]。在本研究中,与对照相比,盐胁迫下巴马火麻的株高降低了 39.51%,茎粗降低了 21.37%,生物量降低了 83.87%,而云麻 7 号分别降低了 44.62%、41.96% 和 69.42%。李振华等的研究表明,在 100 mmol/L NaCl 胁迫下喷施 ABA 能使高羊茅的株高增加,其中 50 μ mol/L ABA 处理效果更好^[19],这与张浩等对玉米幼苗的研究结果^[20]相似。本研究中,喷施 ABA 对于盐胁迫下工业大麻有一定的缓解作用,与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,巴马火麻的株高增加了 22.95%,茎粗增加了 10.41%,生物量增加了 78.99%,而云麻 7 号分别增加了 37.93%、35.75% 和 59.52%。同时,在本研究中,根冠比也有所增加,表明盐胁迫下喷施 ABA 不仅能促进大麻地上部分的生长发育,也可促进其根系的生长。弋良朋等在盐渍化土壤中的研究表明,当植物遭受盐胁迫时,根系是最先感知并做出响应的器官^[21],这在番茄和玉米中也得到了类似的结论,ABA 在渗透调节下可抑制乙烯的合成,更利于根系的延伸^[22-23]。本研究表明,盐胁迫影响大麻植株的正常生长发育,喷施 ABA 后大麻的株高、茎粗和总生物量均有不同程度的增加,尤其是 2 个大麻品种的生

物量增加程度达到显著水平,说明喷施外源 ABA 可以缓解盐胁迫引起大麻植株生长受限的问题。

3.2 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻 SPAD 值的影响

光合作用是植物进行物质循环和能量流动的基础,SPAD 值作为光合作用的重要指标,能在一定程度上反映光合作用的强度。已有研究表明,盐胁迫可导致植物叶绿体结构受损,SPAD 值降低,光合能力降低^[24]。孙文君等发现,在盐胁迫下,棉花幼苗的净光合效率降低,从而引起光合速率降低、气孔闭合,植株的生长受阻^[25]。本研究中,与对照相比,盐胁迫下 2 个大麻品种 SPAD 值均有不同程度的降低。这是因为盐胁迫下植物体内的叶绿素分解酶的活性被激发,从而使得叶绿素降解,SPAD 值降低,植物光合能力下降。毛桂莲等研究发现喷施外源 ABA 能提高盐胁迫下枸杞叶片的 SPAD 值^[26]。本研究发现,盐胁迫下喷施 ABA 后大麻叶片 SPAD 值始终高于盐胁迫下的 SPAD 值,这也与王旭明等对水稻的研究结果^[27]相似。

3.3 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片抗氧化酶活性的影响

盐胁迫下,大麻体内的活性氧自由基含量增加,导致其动态平衡被打破,造成大麻膜脂过氧化伤害,为维持大麻的正常活性氧水平,非酶系统和

抗氧化酶系统共同消除体内多余的自由基。本研究发现,与对照相比,随着取样时间的延长,巴马火麻的 SOD 活性分别降低了 19.46%、14.96% 和 28.28%,POD 活性分别降低了 29.99%、25.47% 和 28.47%,而云麻 7 号的 SOD 活性分别降低了 27.12%、18.46% 和 23.73%,POD 活性分别降低了 6.91%、3.72% 和 20.45%。这与刘旭等对盐胁迫下茄子幼苗的研究类似,和对照相比,在盐胁迫处理下 SOD、POD 活性较对照均有所降低^[28]。盐胁迫下喷施 ABA 能显著提升大麻 SOD、POD 活性,李小玲等研究发现,通过喷施外源 ABA 能够有效地提高商洛黄芩幼苗的 CAT 和 POD 活性,从而增强商洛黄芩对盐胁迫的抗性^[29]。在本研究中,与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,随着时间的延长,巴马火麻的 SOD 活性分别增加了 74.50%、63.12% 和 126.54%,POD 活性分别增加了 117.95%、124.22% 和 129.66%;而云麻 7 号的 POD 活性分别增加了 82.00%、78.26% 和 82.07%,SOD 活性分别增加了 99.58%、88.61% 和 73.66%。SOD 和 POD 活性均随着时间的延长,整体呈先上升后下降的趋势,在第 2 次取样时达到最高,说明外源 ABA 能有效提高盐胁迫下苗期大麻的抗氧化酶活性。

3.4 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片细胞膜透性的影响

MDA 作为膜脂过氧化物指标,反映了细胞膜的受损程度^[30]。本研究中,随着取样时间的延长,盐胁迫下巴马火麻的 MDA 含量分别增加了 42.09%、74.18% 和 102.14%,云麻 7 号的分别增加了 45.53%、53.47% 和 79.72%。这与屈施旭等对盐胁迫下火麻的研究^[31]相似。盐胁迫下喷施外源 ABA 能够一定程度降低盐胁迫对植株叶片细胞膜透性的影响,从而减少盐胁迫对植株造成的损伤。肖强等的研究表明,对盐胁迫下甘薯幼苗喷施 ABA 能够显著降低叶片的膜脂过氧化程度,从而减轻盐害^[32]。本研究中,与盐胁迫相比,喷施 ABA 后,随着取样时间的延长,巴马火麻的 MDA 含量分别降低了 9.67%、28.13% 和 41.66%,云麻 7 号的分别降低了 16.25%、26.76% 和 38.16%,从而降低盐胁迫对大麻苗期的损伤,这与刘旭等对茄子幼苗的研究类似,认为外源 ABA 可促进盐胁迫处理下茄子幼苗的渗透调节物质的积累,进而改变茄子幼苗体内的代谢,维持细胞膜完整性,从而缓解盐胁迫对茄子幼苗生长的不利影响^[28]。

3.5 盐胁迫以及 ABA 处理对大麻叶片渗透调节物质的影响

渗透调节物质可溶性糖和可溶性蛋白在植物对盐胁迫适应过程中起到关键作用,这些物质存在于细胞质中,在渗透调节过程中维持细胞的膨胀性,增强吸水能力^[33]。本研究中,与对照相比,盐胁迫下大麻叶片的渗透调节物质含量高于对照,说明盐胁迫可促进大麻渗透调节物质可溶性糖和可溶性蛋白大量积累。与盐胁迫相比,盐胁迫下喷施 ABA 大麻叶片的渗透调节物质含量高于盐胁迫,进而说明喷施 ABA 后,渗透调节物质进一步得到积累。随着时间的延长,渗透调节物质的含量总体呈先上升后下降趋势,其原因可能是盐胁迫刚开始时大麻渗透调节物质合成受阻,因此渗透调节物质含量较少,但随着时间的延长,渗透调节物质被诱导合成,从而使得渗透调节物质含量有所增加,但随着时间的增加,胁迫加重,不仅合成受阻,且渗透调节物质被加速水解。这与张钰等在盐胁迫下对楸树喷施 ABA 的研究结果^[34]类似。

4 结论

盐胁迫下大麻受到一定程度损伤,生长受到制约。盐胁迫下喷施 ABA 可以提高大麻叶片的光合色素含量、抗氧化酶活性、渗透调节物质含量,降低细胞膜受损程度,从而增强大麻对盐胁迫的抗性,其生物量、株高和茎粗也明显得到提高。由此说明,苗期大麻盐胁迫下喷施 ABA 能在一定程度上消减盐胁迫对大麻生长和生理上带来的损伤。以上研究结果可为喷施植物激素类物质提高工业大麻耐盐性提供依据。

参考文献:

- [1] 刘飞虎,杨明. 工业大麻的基础与应用[M]. 北京:科学出版社,2015:5-10.
- [2] Yang Y Q, Guo Y. Unraveling salt stress signaling in plants[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2018, 60(9): 796-804.
- [3] Xu Z, Zhou J, Ren T, et al. Salt stress decreases seedling growth and development but increases quercetin and kaempferol content in *Apocynum venetum*[J]. Plant Biology, 2020, 22(5): 813-821.
- [4] Munns R, Gilliam M. Salinity tolerance of crops - what is the cost?[J]. New Phytologist, 2015, 208(3): 668-673.
- [5] Grotenhermen F, Müller-Vahl K. Medicinal uses of marijuana and Cannabinoids[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2017, 35(5/6): 378-405.
- [6] 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.
- [7] 李红杰. 外源褪黑素和硅对盐胁迫下芹菜幼苗生长及生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(1): 96–102.
- [8] 程琨, 王磊, 杨森, 等. 肌醇对小麦萌发期耐盐性的调节作用及生理机制分析[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(3): 331–336.
- [9] Fiallos S M. 黄麻 AREB/ABF 基因家族的鉴定及其在外源 ABA 作用下盐和干旱胁迫中的表达[D]. 福州: 福建农林大学, 2022: 25–31.
- [10] Cutler A J. Formation and breakdown of ABA[J]. Trends in Plant Science, 2000, 4(12): 472–478.
- [11] Hubbard K E, Nishimura N, Hitomi K, et al. Early abscisic acid signal transduction mechanisms: newly discovered components and newly emerging questions[J]. Genes & Development, 2010, 24(16): 1695–1708.
- [12] Ranalli P, Venturi G. Hemp as a raw material for industrial applications[J]. Euphytica, 2004, 140(1–2): 1–6.
- [13] Wasilewska A, Vlad F, Sirichandra C, et al. An update on abscisic acid signaling in plants and more[J]. Molecular Plant, 2008, 1(2): 198–217.
- [14] Zhu Y C, Wang Q Y, Gao Z W, et al. Analysis of phytohormone signal transduction in *Sophora alopecuroides* under salt stress[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(14): 7313.
- [15] 胡华冉. 盐碱胁迫对大麻种子萌芽和生长的影响[D]. 昆明: 云南大学, 2015: 23–28.
- [16] 龙瑜菡. 大麻品种对中性盐和碱性盐胁迫的耐受性差异研究[D]. 昆明: 云南大学, 2017: 34–36.
- [17] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013: 134–137.
- [18] 周睿, 颜建明, 张婧, 等. NaCl 胁迫对青花菜幼苗生长生理特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 22(12): 1–17.
- [19] 李振华, 刘容, 张馨馨, 等. 外源脱落酸增强高羊茅耐盐性的作用[J]. 北方园艺, 2022(7): 66–75.
- [20] 张浩, 吴子龙, 付伟, 等. 外源脱落酸对 NaCl 盐胁迫下玉米幼苗生长、气孔特征及光合性能的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7): 2005–2015.
- [21] 弋良朋, 王祖伟. 盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1195–1202.
- [22] Spollen W G, LeNoble M E, Samuels T D, et al. Absciscic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production[J]. Plant Physiology, 2000, 122(3): 967–976.
- [23] Sharp R E, Lenoble M E, Else M A, et al. Endogenous ABA maintains shoot growth in tomato independently of effects on plant water balance; evidence for an interaction with ethylene[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(350): 1575–1584.
- [24] Santos C V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 103(1): 93–99.
- [25] 孙文君, 江晓慧, 付媛媛, 等. 盐分胁迫对棉花幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(7): 23–28.
- [26] 毛桂莲, 梁文裕, 王盛, 等. 碱性盐胁迫对宁夏枸杞生长、结构及光合参数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(4): 236–242.
- [27] 王旭明, 赵夏夏, 周鸿凯, 等. NaCl 胁迫对不同耐盐性水稻某些生理特性和光合特性的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(5): 882–890.
- [28] 刘旭, 林碧英, 李彩霞, 等. 外源脱落酸对盐胁迫下茄子幼苗生理特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(2): 231–236.
- [29] 李小玲, 华智锐. 外源脱落酸对盐胁迫下商洛黄芩生理特性的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(7): 36–39.
- [30] 余忆, 汪伟, 万何平, 等. 盐胁迫下氮素对生菜形态建成及生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(17): 165–170.
- [31] 屈施旭, 所怡祯, 苑海鹏, 等. 盐胁迫对大麻生理特性及次生代谢产物的影响[J]. 北方园艺, 2023(19): 106–113.
- [32] 肖强, 王刚, 衣艳君, 等. 外源脱落酸增强甘薯幼苗耐盐性的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 201–208.
- [33] 于捷, 艾楷棋, 何雅倩, 等. 红光与远红光比值对盐胁迫下番茄幼苗抗氧化能力的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(8): 1487–1497.
- [34] 张钰, 陈慧, 王改萍. 外源 ABA 对楸树幼苗 NaCl 胁迫的缓解效应及其生长生理响应特征[J]. 西北植物学报, 2023, 43(6): 996–1005.