

锰胁迫对小飞蓬生长与生理生化特征影响初探

张宝成^{1,2}, 刘云芳¹, 李应禄³, 陈文芳¹, 李德辉^{1,2}, 钱正敏¹

(1. 遵义师范学院生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563002; 2. 山地生态研究所, 贵州 遵义 563000; 3. 遵义市第三十三中学, 贵州 遵义 563118)

摘 要: 锰矿是遵义的重要矿产资源, 矿山开采后会对矿区产生一系列环境作用。根据生态学原理以入侵植物作为先锋植物来探索锰矿区的恢复, 探索入侵植物小飞蓬在氯化锰浓度为 0.50%、1.00%、1.50% 和 2.00% 的生理响应。结果表明: 在氯化锰浓度为 0.50%、1.00%、1.50% 和 2.00% 时, 小飞蓬叶中脯氨酸和可溶性糖含量呈现增加趋势。小飞蓬叶中可溶性糖、丙二醛和脯氨酸在浓度为 0.50% 和 1.00% 的氯化锰处理组中差异不显著, 与氯化锰浓度为 1.50% 和 2.00% 处理组的结果差异显著。氯化锰浓度与小飞蓬叶中丙二醛响应关系中, 小飞蓬叶中丙二醛变化值低。丙二醛是植物在胁迫环境中重要的指标, 以此指标评价发现小飞蓬耐受锰的能力强, 可为今后的矿区修复提供理论依据。

关键词: 氯化锰; 丙二醛; 脯氨酸; 可溶性糖

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)04-0110-03

Preliminary Study on the Effect of Manganese Stress on the Growth and Physiological and Biochemical Characteristics of *Conyza Canadensis*

ZHANG Baocheng^{1,2}, LIU Yunfang¹, LI Yinglu³, CHEN Wenfang¹, LI Dehui^{1,2}, QIAN Zhengmin¹

(1. College of Biology and Agriculture, Zunyi Normal University, Zunyi 563002; 2. Institute of Mountain Ecology, Zunyi 563000; 3. Zunyi City No. 33 Middle School, Zunyi 563118, China)

Abstract: Manganese is an important mineral resource in Zunyi. After mining, it will have a series of environmental effects on the mining area. Based on the principle of ecology, invasive plants are used as pioneer plants to explore the recovery of the mining area. The physiological response of invasive plant *Conyza canadensis* under manganese stress of 0.50%, 1.00%, 1.50% and 2.00% were studied in this paper. The results showed that the content of proline and soluble sugar in the leaves of *Conyza canadensis* showed an increasing trend at concentrations of 0.50%, 1.00%, 1.50% and 2.00%. The results of soluble sugar, malondialdehyde(MDA) and proline in the leaves of *Conyza canadensis* were not significantly different in the manganese chloride treatment group with 0.50% and 1.00%, but significantly different from those in the manganese chloride treatment group with 1.50% and 2.00%. In the relationship between the concentration of manganese chloride and the response of MDA in leaves, the change value of MDA in leaves of *Conyza canadensis* was low. MDA is an important index for plants in the stress environment, which can be used to evaluate the tolerance of *Conyza canadensis* to manganese and provide a theoretical basis for the ecological restoration of mining areas in the future.

Key words: Manganese chloride; Malondialdehyde; Proline; Soluble sugar

遵义是贵州锰矿的重要分布区域之一。锰矿开采后会形成矿渣, 在开采区通过大气降尘影响周边土壤等环境中的锰。遵义锰矿冶炼区矿区土壤、

粉尘和矿渣中锰含量分别为 674 ~ 4 667 mg/kg、100 052 ~ 100 286 mg/kg 和 7 901 ~ 8 012 mg/kg^[1]。锰元素参与植物生长, 但高浓度的锰会对植物产生毒害作用, 甚至导致植物死亡。矿区周围土壤高浓度锰使植物难以生存, 生态系统的物种逐渐减少, 从而引发一些地质灾害。裸露的锰尾矿会通过风蚀、水蚀等作用影响周边环境, 出现严重的土壤、水体污染等问题。被重金属锰污染的水和粮食会通过食物链传递到人体中诱发许多疾

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 贵州省科技厅合作项目(黔科合 LH 字[2016]7012、LH 字[2017]7063); 贵州省教育厅拔尖人才项目(黔教合 KY 字[2018]064 号)

作者简介: 张宝成(1978-), 男, 副教授, 博士, 主要从事资源生态与碳循环方面的研究。

病,危及健康。这使矿区生态修复显得尤为重要,目前的修复主要利用三种植物特性:(1)利用某些植物根系分泌的有机物把可溶态金属转化为结合态降低重金属毒性;(2)植物通过限制性减少重金属进入植物体内,从而减少重金属产生的毒害作用;(3)植物吸附大量的金属存在某些特殊的器官中^[2-3],降低环境中的金属减少其毒害性。根据植物的耐受性和金属浓度等指标探索生态修复工作量大,成本高,任务艰巨。

由于不同区域的环境差异,缺乏固定的生态恢复模式。探索新的生态恢复模式对矿区乃至重金属区具有重要意义。入侵植物可塑性强^[4],并改变土壤微生物群落结构增加土壤碳利用率^[5],入侵植物小飞蓬(*Conyza canadensis*)具有繁殖速度快和适应性强等特点^[6]。本文基于生态学演替原理和入侵植物的特性,以入侵植物小飞蓬为对象,通过植物的生理生化特点来表征其对锰的耐受特性,以期探索新的重金属矿区的修复模式,为矿区生态修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试土壤采自遵义师范学院(北纬 27.7°、东经 107.04°),把土壤混匀之后装入直径 10 cm 花钵中,筛选大小均匀一致的小飞蓬移栽到花盆中置于阳台。移栽花钵 15 d 后,将其随机分成 10 组,分别用氯化锰浓度为 0.00% (对照)、0.50%、1.00%、1.50%、2.00% 的溶液进行浇灌。

1.2 样品采集与测定

小飞蓬生长 30 d 后,测定其叶片中脯氨酸、可溶性糖、丙二醛和叶绿素的含量。将每株地上部分和根洗干净杀青后于 80 ℃ 烘箱中烘至恒重,称其质量。叶绿素测定采用丙酮法,最后用紫外分光光度计测定波长。用苯酚-浓硫酸法测定小飞蓬叶片中可溶性糖^[4]、叶绿素、脯氨酸、可溶性糖和丙二醛的含量,计算参照相关文献方法^[7]。不同锰浓度处理后植物丙二醛的响应值计算参考 Zhou 等的方法^[8-9]。

丙二醛响应值 $\ln(\text{丙二醛}) = \ln(\text{处理组}/\text{对照组})$

1.3 数据统计

数据采用 Excel 计算,用 SPSS 11.5 进行统计分析。用 Origin 10.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度氯化锰处理对小飞蓬叶绿素含量的影响

由表 1 可知,对照组小飞蓬 Chla 为 3.28 mg/g,氯化锰浓度为 0.50%、1.00%、1.50% 和 2.00% 处理组 Chla 分别为 1.94、1.31、1.37、0.77 mg/g,氯化锰处理组和对照组间差异显著($P < 0.05$)。氯化锰处理组与对照组间 Chlb 差异显著($P < 0.05$),对照组以及氯化锰浓度为 0.50%、1.00%、1.50% 和 2.00% 处理组 Chlb 含量分别为 8.32、5.03、3.73、2.85、2.10 mg/g。小飞蓬总叶绿素含量在氯化锰处理组和对照组间差异显著($P < 0.05$),叶片中总叶绿素含量依次为 11.59、6.97、5.06、4.02、2.78 mg/g。

表 1 不同浓度氯化锰处理对小飞蓬叶绿素含量的影响
mg/g

氯化锰浓度(%)	叶绿素 a (Chla)	叶绿素 b (Chlb)	总叶绿素 [Chl(a+b)]
对照(0)	3.28±0.57a	8.32±1.18a	11.59±1.75a
0.50	1.94±1.26b	5.03±3.17b	6.97±4.42b
1.00	1.31±0.76b	3.73±2.01b	5.06±2.96b
1.50	1.37±0.73b	2.85±0.38b	4.02±1.05b
2.00	0.77±0.16b	2.10±0.13b	2.78±0.22b

2.2 不同浓度氯化锰处理对小飞蓬可溶性糖、丙二醛和脯氨酸含量的影响

由表 2 可知,小飞蓬叶片可溶性糖含量在对照组及氯化锰浓度为 0.50%、1.00% 与 1.50%、2.00% 间差异显著($P < 0.05$);按照氯化锰处理浓度其可溶性糖含量依次为 1.53、1.28、1.89、3.92、3.68 mg/g。小飞蓬叶中丙二醛含量在对照和氯化锰低浓度(0.50% 和 1.00%)与高浓度(1.50% 和

表 2 不同浓度氯化锰处理对小飞蓬可溶性糖、丙二醛和脯氨酸含量的影响

氯化锰浓度(%)	可溶性糖(mg/g)	丙二醛(μmol/g)	脯氨酸(μg/g)
对照(0)	1.53±0.50a	4.45±0.16a	9.06±1.15a
0.50	1.28±1.04a	4.43±2.16a	8.72±0.54a
1.00	1.89±0.28a	6.12±0.93a	13.73±0.93a
1.50	3.92±1.32b	9.97±3.85b	19.00±3.18b
2.00	3.68±2.58b	8.16±1.01b	23.49±3.50b

2.00%)处理组间差异显著($P < 0.05$),叶片丙二醛含量依次为 4.45、4.43、6.12、9.97、8.16 μmol/g。脯氨酸含量也出现类似情况,对照、低浓度(0.50% 和 1.00%)与高浓度处理组(1.50% 和 2.00%)间差异显著($P < 0.05$),叶片中脯氨酸含量依次为 9.06、8.72、13.73、19.00、23.49 μg/g。

由图 1 可知,不同浓度氯化锰处理后,小飞蓬的

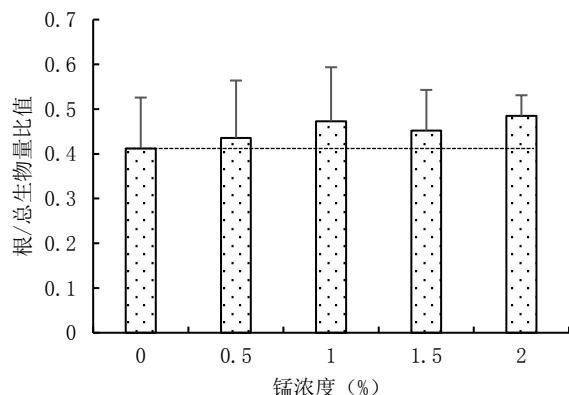
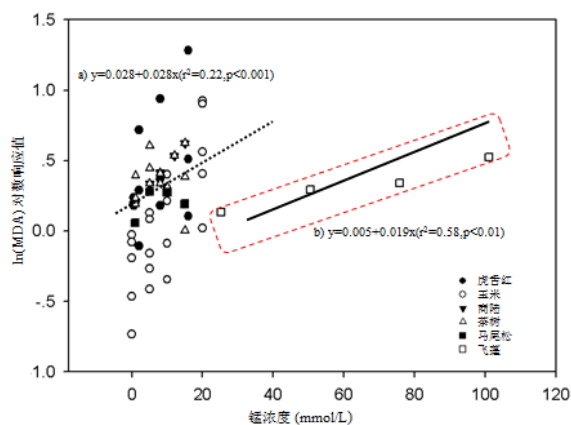


图1 不同浓度锰胁迫小飞蓬根占总生物量的比值变化关系图($P>0.05$)

根系与总生物量的比值没有显著变化($P>0.05$)。在胁迫环境中,植物营养吸收可能受到影响,通过增加吸收器官根生物量应对。图1结果表明,小飞蓬叶片通过其生理调节机制即可解决氯化锰胁迫。

丙二醛是植物受胁迫生理响应的重要指标,由图2可知,无论是其他研究还是小飞蓬研究结果都呈现线性关系($P<0.01$)。先前的研究锰浓度增加一个单位(mmol/L)丙二醛对数值增加0.028,而本研究的小飞蓬的丙二醛对数值仅增加0.019。小飞蓬的丙二醛响应值比其他研究低32.14%。



注:虚线框为所有数据平均值,方框中为本文研究数据

图2 锰胁迫对植物丙二醛含量影响

3 讨论

叶绿素是植物吸收光能进行光合作用的重要色素,叶绿素含量高低反映植物光合作用的强弱,其含量多少是评价植物衰老的重要参数^[10]。本研究表明,用0.50%、1.00%、1.50%和2.00%浓度的氯化锰处理后,小飞蓬叶绿素总体呈现降低趋势,这与先前其他研究一致^[10-11]。主要是高浓度的金属影响合成叶绿素的酶,如胆色素原脱氨酶中的巯基构型发生变化酶活性受到抑制,叶绿素合成降低^[11]。本研究

支持先前的研究,锰胁迫浓度为0.01 g/L时,叶中的叶绿素降低^[12]。锰胁迫对叶绿素合成具有重要的影响,叶绿素可作为受胁迫的指标^[13-14]。

植物叶片中的丙二醛含量是植物抵御不良环境的重要指标,其大小与植物受伤害程度有关。可能是随着锰浓度的增加,造成小飞蓬体内过氧化程度增加,导致其膜伤害。因此,丙二醛浓度随着锰浓度的增加而增加,与先前研究一致。铅胁迫黄瓜实验中,也表明丙二醛浓度随铅浓度的增加而增加^[15],铅胁迫行道树^[16]和黑麦草的研究中也呈现类似规律^[10]。

本研究的锰浓度梯度高于文献中研究的锰浓度。文献中主要研究人类活动造成锰污染对植物造成胁迫植物的响应^[17-21]。本研究考虑的是锰矿区开采后,如何寻找出植物在高浓度锰胁迫环境下仍然能生存,依此进行矿区修复,因此本实验设计的浓度较大。先前研究证实,植物通过维持较低浓度的丙二醛,增加对锰的耐受性^[22]。锰胁迫处理数据也表明,在这些植物中小飞蓬的对数值较低,说明小飞蓬对锰的耐受能力较强。可能是小飞蓬采用增加根系的策略适应锰胁迫,虽然本研究根系生物量占总生物量变化差异不显著,可能是因为研究实验时间较短。从另外角度证明通过入侵植物作为先锋植物在实验室初步结果是可行的,今后需要大量的野外实验验证。

4 结论

小飞蓬叶绿素b和总叶绿素含量随着氯化锰浓度的增加而降低;叶绿素a在氯化锰浓度1.00%和1.50%时的含量接近,其余浓度处理都呈现降低趋势。小飞蓬叶中可溶性糖、丙二醛和脯氨酸含量在0.50%和1.00%的氯化锰处理组中差异不显著,它们与1.50%和2.00%氯化锰处理组的结果差异显著。丙二醛与锰浓度对数变化曲线中,其他研究在锰浓度增加一个单位其丙二醛对数值增加0.028个单位,小飞蓬的丙二醛对数值仅增加0.019个单位。由上可知,小飞蓬的丙二醛响应值比其他研究低32.14%,说明小飞蓬对锰的耐受性强。

参考文献:

- [1] 金茜,钟永科,伍远辉. 锰矿冶炼中Fe、Mn对周边土壤的影响[J]. 遵义师范学院学报, 2006, 8(3): 49-50.
- [2] 滕彦国,倪师军,林学钰,等. 城市环境地球化学研究综述[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 64-76.
- [3] 刘敬勇. 矿区土壤重金属污染及生态修复[J]. 中国矿业, 2006, 15(12): 66-69.

(下转第127页)

- [5] 张 可,丰景春.强可处置性视角下中国农业环境效率测度及其动态演进[J].中国人口·资源与环境,2016,26(1):140-149.
- [6] Färe R, Grosskopf S, Noh D W, et al. Characteristics of a polluting technology: theory and practice[J]. Journal of Econometrics, 2005, 126: 469-492.
- [7] Coelli T, Lauwers L, Van Huylenbroeck G. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition[J]. Journal of Productivity Analysis, 2007(28): 3-12.
- [8] Kenneth L R. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition reconsidered[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(1): 342-346.
- [9] 崔 晓,张屹山.中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J].中国农村经济,2014(8):4-16.
- [10] 田 伟,杨璐嘉,姜 静.低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析—基于非期望产出的SBM模型[J].中国农村观察,2014(5):59-71,95.
- [11] 田 云,张俊飏,吴贤荣,等.碳排放约束下的中国农业生产率增长与分解研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(11):7-12.
- [12] 李谷成,陈宁陆,闵 锐.环境规制条件下中国农业全要素生产率增长与分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(11):153-160.
- [13] 潘 丹,应瑞瑶.资源环境约束下的中国农业全要素生产率增长研究[J].资源科学,2013,35(7):1329-1338.
- [14] 韩海彬,赵丽芬.环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J].中国人口·资源与环境,2013,35(3):70-76.
- [15] 叶初升,惠 利.农业生产污染对经济增长绩效的影响程度研究—基于环境全要素生产率的分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(4):116-125.
- [16] 王连芬,戴裕杰.中国各省环境效率及环境效率幻觉分析[J].中国人口·资源与环境,2017,27(2):69-74.
- [17] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率的省际差异和影响因素—基于1996~2015年31个省份的面板数据分析[J].中国农村经济,2018(1):46-62.
- [18] 李 波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86.
- [19] 刘 航,杨俊孝.基于TPB与SEM的农户耕地地力保护补贴响应机制分析—以新疆奇台县为例[J].东北农业科学,2019,44(2):81-85,96.

(责任编辑:王丝语)

(上接第112页)

- [4] 张宝成,彭 艳,藏灵飞,等.喜旱莲子草对喀斯特三种不同生境的可塑性反应[J].广西植物,2017,37(6):702-706.
- [5] 张宝成,王 平,金 星.观赏植物与生物入侵[J].北方园艺,2018(5):178-183.
- [6] 陈韶军.加拿大一枝黄花和小飞蓬入侵潜力综述[J].湖北林业科技,2014,43(1):24-28.
- [7] 武维华.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003:442-443.
- [8] Zhou L, Zhou X, Zhang B, et al. Different responses of soil respiration and its components to nitrogen addition among biomes: a meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2014, 20(7): 2332-2343.
- [9] Zhang B, Zhou L, Zhou X. A global synthesis of below-ground carbon responses to biotic disturbance: a meta-analysis[J]. Global Ecology and Biogeography, 2015, 24(2): 126-138.
- [10] 刘慧芹,沈高峰,梁宝发,等.铅胁迫对黑麦草叶绿素和可溶性糖含量的影响[J].湖北农业科学,2012,51(3):556-558.
- [11] 吴晓薇,裴红宾,张永清,等.酸模叶蓼对重金属Pb胁迫的生理响应[J].河南农业科学,2013,42(10):105-109.
- [12] 徐小颖,施国新,徐勤松,等. Mn^{2+} 对菰草活性氧代谢及其亚显微结构的影响[J].南京师范大学学报(自然科学版), 2009, 32(1): 105-109.
- [13] 杨德俊,杨卫韵,刘 鹏,等.锰对大豆若干生理特性的影响[J].亚热带植物科学,2005,34(2):8-10.
- [14] 吴旭红,张 超.甜菜幼苗抗氧化系统对锰胁迫的生物学响应[J].中国甜菜糖业,2011(3):14-19.
- [15] 孙永林.铅对黄瓜叶片丙二醛、脯氨酸和可溶性总糖含量的影响[J].长江蔬菜,2008(12):28-30.
- [16] 李 斌,李志辉,吴际友,等.铅胁迫对4种行道树种幼苗叶片丙二醛含量的影响[J].湖南林业科技,2010,37(2):8-11.
- [17] 王丹媚,杨 姣,黄华锋,等.锰胁迫对虎舌红生理化的影响[J].贵州农业科学,2018(4):7-12.
- [18] 宫杰芳,周运超,李小永,等.马尾松幼苗生理指标对高锰胁迫的响应[J].生态学杂志,2012,31(3):520-525.
- [19] 沈吉红.锰胁迫对商陆生理及结构影响的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2009.
- [20] 张宛婷.锰胁迫对不同品种玉米幼苗抗氧化系统及氮素转化的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.
- [21] 常硕其,彭克勤,张亚莲,等.加锰处理对茶树锰含量及生理变化的影响研究[J].茶叶科学,2008,28(5):331-338.
- [22] 任立民,刘 鹏,蔡妙珍,等.水蓼、小飞蓬、杠板归和美洲商陆对锰毒的生理响应[J].水土保持学报,2007,21(3):81-85.

(责任编辑:王 昱)