

聂文军, 谭 策, 解 琳, 等. 重金属胁迫下乙二胺二琥珀酸对植物生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(7): 260–263.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.050

重金属胁迫下乙二胺二琥珀酸对植物生长的影响

聂文军¹, 谭 策², 解 琳¹, 金一锋¹, 朱 琨¹, 齐 欣¹, 杨晓杰¹, 金忠民¹

(1. 齐齐哈尔大学, 黑龙江齐齐哈尔 161006; 2. 齐齐哈尔海关, 黑龙江齐齐哈尔 161006)

摘要: 许多研究表明, 植物联合化学修复重金属污染土壤能有效提高修复速率, 但在联合修复对植物生长的影响方面关注甚少。为探究联合修复时植物的生长情况, 以高羊茅(*Festuca aruncinacea*) 和黑麦草(*Lolium perenne*) 为材料, 分别于添加 200 mg/kg 铅、50 mg/kg 镉模拟的污染土壤中进行盆栽试验, 施加相同浓度梯度乙二胺二琥珀酸(EDDS), 测定植物幼苗株高、含水量、叶绿素含量、可溶性蛋白(SP) 含量、丙二醛(MDA) 含量、过氧化物酶(POD) 活性、超氧化物歧化酶(SOD) 活性等生理特征, 得出最佳 EDDS 施用浓度, 以改善修复过程中植物的健康状况, 进而提高植物对重金属污染土壤的修复效率。结果表明, 在单一铅、镉胁迫下, 施加 3 mmol/kg EDDS 对植物的生长影响最小, 可保证植物长期稳定的修复效果, 提高修复效率。

关键词: 乙二胺二琥珀酸(EDDS); 重金属污染; 联合修复; 生理指标; 高羊茅; 黑麦草

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0260-04

全球土壤重金属污染日趋严重, 而我国南方地区的重金属污染情况相比北方更加严重^[1-5]。其中铅、镉对人类健康的风险较为严重; 我国在解决重金属污染问题方面已经投入了大量财力、物力、人力^[6-7]。在常见的重金属污染修复方式中, 生物修复作为“绿色”手段得到广泛应用^[8-9], 部分植物因其高效的重金属富集能力而受到推广, 其中黑麦草与高羊茅因其超强的环境适应力以及高浓度重金属耐受力而倍受关注^[10-14]。

乙二胺二琥珀酸(EDDS) 是常见的生物螯合剂, 对不同重金属的去除能力不同, 对因重金属污染导致的植物生物量低、叶片黄及生斑点等问题具有缓解作用^[15-17]。适量施用外源 EDDS 不但可以节约经济成本, 还可以提高修复效率。但目前国内外对于 EDDS 和黑麦草、高羊茅在联合修复重金属污染土壤中的研究仍有不足, 且大多研究 EDDS 协助植物对重金属的富集能力, 而在植物体生长影响方面的研究较少。本研究通过盆栽试验, 在单铅

(Pb) 200 mg/kg、单镉(Cd) 50 mg/kg 胁迫下对多年生高羊茅、黑麦草施加 EDDS, 测定植物幼苗株高、含水量、叶绿素含量、可溶性蛋白(SP) 含量、丙二醛(MDA) 含量、过氧化物酶(POD) 活性、超氧化物歧化酶(SOD) 活性等生理特征, 以表征单 Pb、单 Cd 胁迫下施加外源 EDDS 对黑麦草、高羊茅的生长影响, 确定外源 EDDS 最佳施用浓度范围。

1 材料与方法

试验于 2018 年 9—12 月在齐齐哈尔大学生命科学与农林学院环境修复研究室进行。黑麦草和高羊茅种子采购于北京盛世鹏林生态科技有限公司, 盆栽试验用土购于齐齐哈尔市花卉农贸市场。设置 1 个对照组、2 个试验组, 重金属处理分别为 0、200 mg/kg Pb、50 mg/kg Cd, 土壤中添加重金属后室温下平衡 60 d。将平衡好的土壤分装到规格为 160 mm × 140 mm × 100 mm(上口径 × 高 × 下口径) 的塑料花盆中, 每盆 400 g 干土。

选取大小一致、籽粒饱满的植物种子, 用去离子水浸泡 30 min 后, 用 2% 次氯酸钠表面消毒 30 min, 然后用去离子水反复冲洗种子。将处理好的植物种子播种到上述试验土中, 14 d 后, 在植株长势正常时, 分别向各组花盆中按浓度 0、1、2、3、4、5 mmol/kg 加入 EDDS, 30 d 后, 参照《植物生理学实验指导》^[18] 测定新鲜植物幼苗的株高、含水量、叶绿素含量(分光光度计法)、SP 含量(考马斯亮蓝法)、

收稿日期: 2019-05-11

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(编号: 135309483); 齐齐哈尔市科学技术计划(编号: 2017GG1989); 齐齐哈尔大学研究生创新科研项目(编号: YJSCX2018-023X)。

作者简介: 聂文军(1991—), 男, 山西大同人, 硕士研究生, 主要从事土壤重金属污染评价与修复研究。E-mail: 909677258@qq.com。
通信作者: 金忠民, 博士, 教授, 主要从事污染生态学与植物抗逆生理学研究。E-mail: yyy6768@163.com。

MDA 含量(硫代巴比妥酸法)、POD 活性(愈创木酚法)、SOD 活性(氮蓝四唑法)等生理指标。每个处理设置 3 个重复,分别测定后取平均值。

数据使用 Excel 2016、SPSS 19.0、Origin 2017 软件进行整理分析和作图。

2 结果与分析

2.1 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗株高及含水量的影响

图 1 显示,健康土壤中,EDDS 的添加对 2 种植

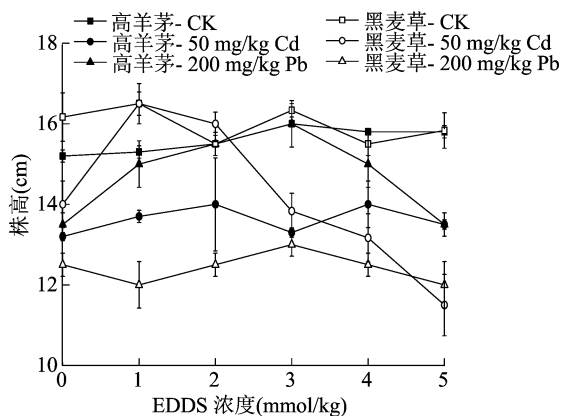
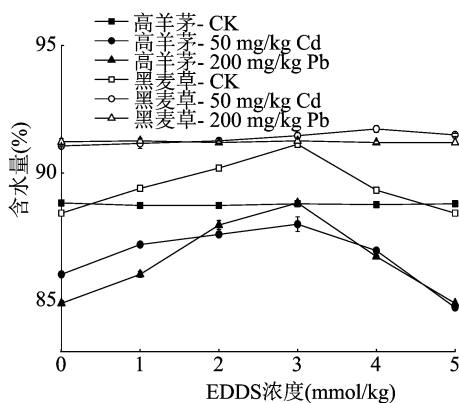


图1 EDDS 对重金属胁迫下植物株高和含水量的影响

物幼苗的株高无明显影响;Pb 胁迫下的高羊茅幼苗在施加 3 mmol/kg EDDS 时株高达到最大值;Cd 胁迫下黑麦草幼苗在施加 1 mmol/kg EDDS 时株高达到最大值。健康土壤中,施加的 EDDS 浓度达到 3 mmol/kg 时,2 种植物含水量最大。不同重金属单一胁迫下,高羊茅幼苗含水量在施加 3 mmol/kg EDDS 时达到最大值;Pb 胁迫下,EDDS 施加浓度对黑麦草幼苗含水量无明显影响;Cd 胁迫下,EDDS 施加浓度为 4 mmol/kg 时黑麦草含水量最大,且各处理组之间差异较小。



2.2 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗叶绿素含量的影响

图 2 显示,健康土壤中,2 种植物幼苗叶绿素对外源 EDDS 响应不明显;不同单一重金属胁迫下,高羊茅幼苗在 EDDS 施加浓度为 3 mmol/kg 时叶绿素含量达到最大值;Cd 胁迫下黑麦草幼苗在 4 mmol/kg EDDS 处理组中叶绿素含量达到最大值,Pb 胁迫下 3 mmol/kg EDDS 处理组中的黑麦草幼苗叶绿素含量达到最大值。

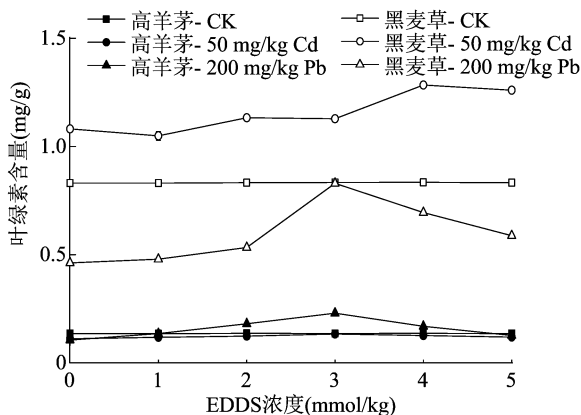


图2 EDDS 对重金属胁迫下植物叶绿素含量的影响

2.3 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗 SP、MDA 含量的影响

图 3 显示,健康土壤中,随着 EDDS 施加浓度的增加,高羊茅和黑麦草幼苗中 SP 含量变化不明显,EDDS 对其基本没有影响;不同单一重金属胁迫下,高羊茅和黑麦草幼苗中 SP 的含量均在 EDDS 施加浓度为 3 mmol/kg 时达到最大值。健康土壤中,高羊茅和黑麦草幼苗中 MDA 含量对 EDDS 浓度变化的响应不明显;Pb、Cd 单一胁迫下的高羊茅幼苗中 MDA 含量在 EDDS 施加浓度为 3 mmol/kg 时最低;Cd 胁迫下的黑麦草幼苗中 MDA 含量受 EDDS 浓度变化的影响不大,Pb 胁迫下施加 3 mmol/kg EDDS 时黑麦草幼苗中 MDA 含量最低。

2.4 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗 POD、SOD 活性的影响

图 4 显示,健康土壤中,EDDS 施加浓度对幼苗 POD、SOD 活性没有明显的影响;在单一重金属污染土壤中,Cd 胁迫下高羊茅幼苗的 POD 活性在添加 3 mmol/kg EDDS 时达到最大值,SOD 活性在添加 2 mmol/kg ESSD 时达到最大值。黑麦草幼苗 POD 活性在 Cd 胁迫下不受 EDDS 添加浓度变化影响,

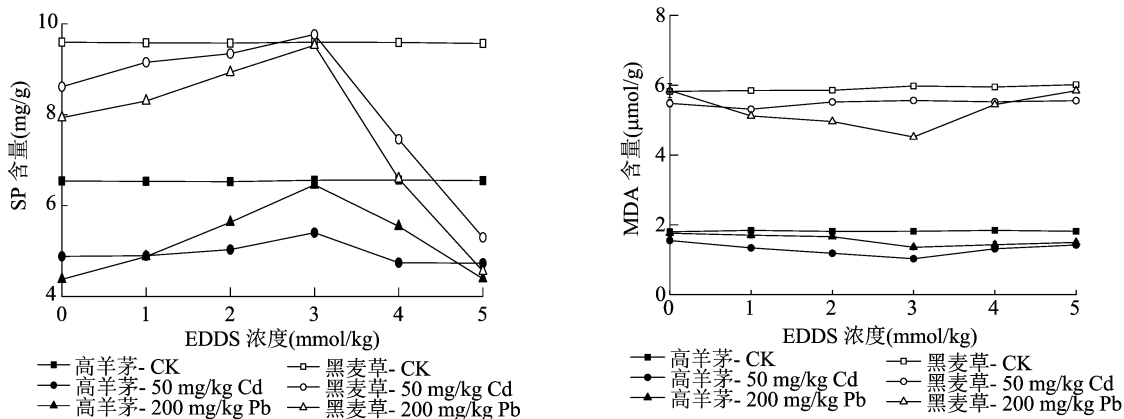


图3 EDDS对重金属胁迫下植物SP、MDA含量的影响

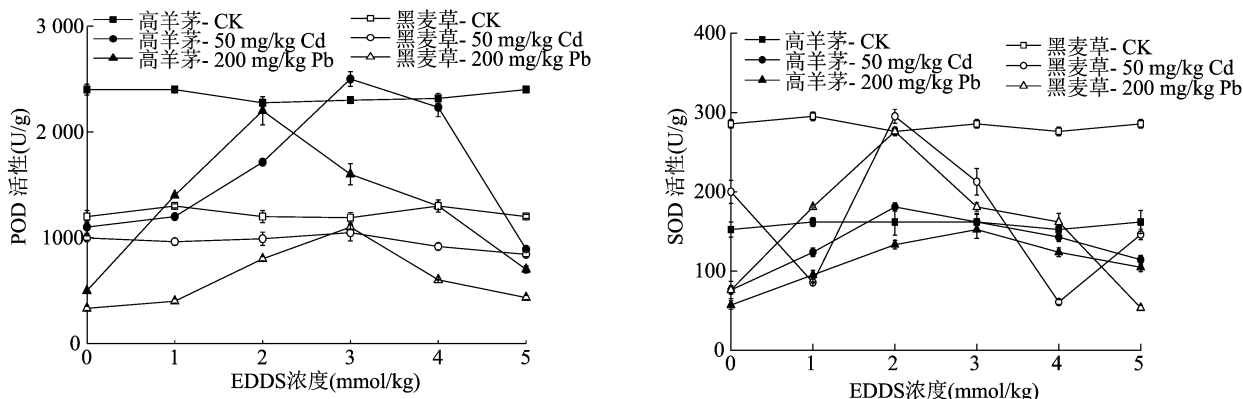


图4 EDDS对重金属胁迫下植物POD、SOD活性的影响

SOD 活性在添加 2 mmol/kg EDDS 时达到最大值; Pb 胁迫下在添加 3 mmol/kg EDDS 时黑麦草 POD 活性最大,添加 2 mmol/kg EDDS 时 SOD 活性最大。

3 讨论

不同剂量螯合剂对植物体的影响不同,低浓度会促进植物生长,高浓度则会产生毒害作用,具体表现为使植物叶片发黄、植株矮小且易萎蔫^[19]。本试验中主要的毒害特征表现为植株生长缓慢,由于暴露时间较短而未产生其他明显的响应表现。生物螯合剂 EDDS 与非生物螯合剂乙二胺四乙酸(EDTA)相比,对 Pb 的活化效果较弱,对 Cd 的活化效果较强^[20]。本试验中随着外源 EDDS 浓度的变化,单一 Pb、Cd 胁迫下植物幼苗生理特征变化有所差异。

3.1 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗株高及含水量的影响

外源 EDDS 的添加对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗的株高以及含水量虽影响较小,但在一定程度上可以促进植株的生长,表现为低浓度 EDDS 促进重金属胁迫下植物生长,高浓度 EDDS 抑制植

物生长,甚至对植物产生毒害作用。杨波等研究发现,低浓度的 EDDS 会促进三叶鬼针草幼苗的生长,高浓度 EDDS 则会显著抑制其生长^[21];但熊国焕等研究表明,随着外源 EDDS 浓度的增加,植株幼苗株高和生物量降低或无显著变化^[22-23]。产生该种差异结果可能是由试验过程中 EDDS 的施加方式、时间和不同种类植物以及试验操作手段的差异所造成。

3.2 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗叶绿素含量的影响

叶绿素是植物进行光合作用的主要物质,受到逆境胁迫时会发生明显变化。在单一 Pb、Cd 胁迫下,对高羊茅和黑麦草幼苗施加适量外源 EDDS,会缓解重金属对叶绿素结构的破坏作用,但高浓度的 EDDS 会对植株造成二次胁迫,进而影响叶绿素含量。这与刘慧芹等对其他不同植物在外源污染物胁迫下叶绿素含量变化的研究结果^[24-25]一致。

3.3 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗 SP、MDA 含量的影响

SP 可以提高植物细胞的保水能力,对植物细胞内的生命物质以及生物膜起到保护作用。高羊茅

和黑麦草幼苗受到单一 Pb、Cd 胁迫后 SP 含量降低。施加外源 EDDS 时,低浓度 EDDS 缓解了重金属对幼苗的胁迫作用,使 SP 含量升高;高浓度 EDDS 使 SP 含量降低。MDA 是植株幼苗对逆境的应激产物,其含量变化趋势与 SP 相反。这与罗艳等对其他不同植物受胁迫后 SP、MDA 含量变化情况的研究结果^[26-27]一致。

3.4 EDDS 对重金属胁迫下黑麦草、高羊茅幼苗抗氧化酶活性的影响

SOD 和 POD 为植物体内标志性抗氧化酶类,低浓度的 Pb 和 Cd 胁迫会使其活性升高,高浓度会抑制其活性。施加外源 EDDS 时,适宜浓度 EDDS 可以提高 SOD、POD 活性,当 EDDS 浓度过高时会破坏植物体内抗氧化酶系统,使植株幼苗表现出萎蔫甚至死亡的现象。这与曾超等对不同植物在外源胁迫下抗氧化酶系统变化情况的研究结果^[28-30]一致。

4 结论

试验结果表明,单一 Pb、Cd 胁迫下,施加 3 mmol/kg EDDS 可缓解植物受到重金属胁迫的毒害影响,且效果最佳;增加 EDDS 浓度,反而会减弱这种缓解作用,甚至使植物幼苗受到损伤。在实际土壤修复过程中,通过添加适量 EDDS 可以促进植物对重金属污染土壤的修复作用,而浓度过高会对修复植物产生危害,浓度过低则导致联合修复效果不明显。

参考文献:

- [1] 邹鼎雁,韩昊展. 试论中国的土壤污染现状与防控措施[J]. 南方农业,2018,12(6):148-149.
- [2] 熊严军. 我国土壤污染现状及治理措施[J]. 现代农业科技,2010(8):294-295,297.
- [3] 张冬雪,丰来,罗志威,等. 土壤重金属污染的微生物修复研究进展[J]. 江西农业学报,2017,29(8):62-67.
- [4] 王帅. 某铀矿区农田土壤重金属形态分析及其风险评价[D]. 南昌:东华理工大学,2017.
- [5] Yang Q Q, Li Z Y, Lu X N, et al. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment[J]. Science of the Total Environment, 2018, 642 (15): 690-700.
- [6] 肖承坤. 我国铅污染现状分析[J]. 环境与可持续发展, 2017 (5): 91-92.
- [7] 田华. 新型功能化固相萃取材料的制备及其对环境中痕量金属离子的富集分离应用[D]. 兰州:兰州大学,2012.
- [8] 李方方. 土壤重金属污染现状分析及防治对策[J]. 河南农业, 2017(19):29.
- [9] 陈承利,廖敏. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 广东

- 微量元素科学,2004(10):1-8.
- [10] 王丽华,唐容,刘尉. 土壤中铅污染及其植物修复技术综述[J]. 南方农业,2017,11(22):105-107,110.
- [11] 刘春英,孙学映,朱体超,等. 不同黑麦草品种生产性能比较与优势品种筛选[J]. 草业学报,2014,23(4):39-48.
- [12] 张宁宇,邵和平,郭成宝,等. 草坪型高羊茅研究进展[J]. 南京农专学报,2003(3):27-30.
- [13] Li Y, Du W W, Zhang Z, et al. Effects of complex pollution of Pb and B[a]P on the growth and physiological and biochemical Indexes of ryegrass[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2018, 101: 86-91.
- [14] 王爱云,黄姗姗,钟国锋,等. 铬胁迫对3种草本植物生长及铬积累的影响[J]. 环境科学,2012,33(6):2028-2037.
- [15] 宋静,钟继承,吴龙华,等. EDTA 与 EDDS 螯合诱导印度芥菜吸取修复重金属复合污染土壤研究[J]. 土壤,2006,38(5):619-625.
- [16] 赵娜,崔岩山,付彧,等. 乙二胺四乙酸(EDTA)和乙二胺二琥珀酸(EDDS)对污染土壤中 Cd、Pb 的浸提效果及其风险评估[J]. 环境化学,2011,30(5):958-963.
- [17] 周守标,李思亮. 重金属污染下植物生理生态反应及富集机制的研究进展[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2007,30(3):331-337.
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [19] 魏岚,陈亚华,钱猛,等. 可降解螯合剂 EDDS 诱导植物修复重金属污染土壤的潜力[J]. 南京农业大学学报,2006,29(2):33-38.
- [20] 白薇扬,高焕方,赵清华. 生物螯合剂 EDDS 与非生物螯合剂 EDTA 联合施用下植物提取土壤重金属及潜在环境风险[J]. 地球与环境,2013,41(6):631-637.
- [21] 杨波,陈银萍,柯昀琪,等. EDDS 对 Cd 胁迫下三叶鬼针草生长和抗氧化酶系统及 Cd 积累的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(5):875-882.
- [22] 熊国焕,潘义宏,何艳明,等. 螯合剂对大叶井口边草 Pb、Cd、As 吸收性影响研究[J]. 土壤,2012,44(2):282-289.
- [23] 刘金,殷宪强,孙慧敏,等. EDDS 与 EDTA 强化苧麻修复镉铅污染土壤[J]. 农业环境科学学报,2015,34(7):1293-1300.
- [24] 刘慧芹,韩巨才,刘慧平,等. 铅梯度胁迫对多年生黑麦草幼苗生理生化特性影响[J]. 草业学报,2012,21(6):57-63.
- [25] 冯鹏,孙力,申晓慧,等. 多年生黑麦草对 Pb、Cd 胁迫的响应及富集能力研究[J]. 草业学报,2016,25(1):153-162.
- [26] 罗艳. 可降解螯合剂强化籽粒苋修复镉污染土壤的影响研究[D]. 雅安:四川农业大学,2014.
- [27] 孙志超. 植物生长类物质辅助 EDDS 对苧麻体内镉和铅的积累及其耐性机制的影响[D]. 长沙:湖南大学,2015.
- [28] 曾超. 螯合诱导植物修复镉污染土壤的效应研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2015.
- [29] 廖爽. 螯合剂 EDDS 与生长调节剂对牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)富集镉的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2016.
- [30] 王红新. 螯合剂对铅锌尾矿废弃地植物富集铅锌的诱导作用[D]. 南京:南京农业大学,2011.