

云南大学大学生科研创新创业训练项目

季度进展报告

项目名称	nZVI—生物炭—蚯蚓—植物联合修复铅镉复合污染土壤		
项目类别 (选留一类)	创新创业训练计划(创新训练类)项目		
项目级别 (选留一类)	校级	项目编号	202310224
项目起止时间	2023年5月至2024年6月		
报告编号	第2次季度进展报告		
项目负责人			
姓名	李安然	学院	生态与环境学院
专业	环境科学与工程	年级	2021级
指导教师			
姓名	刘嫦娥	校内单位	生态与环境学院
进展报告区间			
起始年月	2023年11月	结束年月	2024年1月
本次进展报告内容的参与者(组员)			
姓名	学院	年级	专业
韩鑫睿	生态与环境学院	2021级	环境科学与工程
李思博	生态与环境学院	2021级	环境科学与工程
张曼璐	生命科学学院	2022级	生物科学
熊宇昂	生态与环境学院	2022级	生态学菁英班

一、阶段工作内容

(请详细记录本阶段工作目的、采取的方式和技术路线、参与人员以及人员分工、工作过程)

1.本阶段工作目的

完成全部实验培养，并测定相关的数据，包括蚯蚓存活率、蚯蚓生物量，以及向日葵的生长指标、向日葵中铅镉含量，并进行计算富集系数和转移系数。

2.技术路线

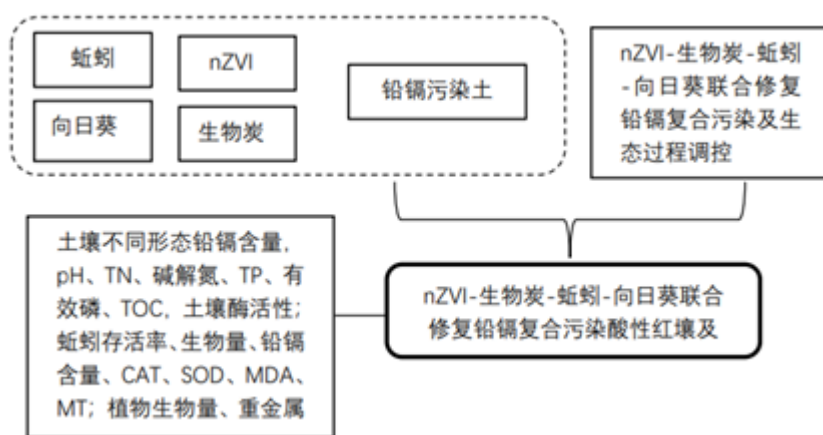


图 1 技术路线

3.参与人员及分工

项目成员	项目分工
李安然	负责策划、布置实验研究进程，检查研究工作任务的落实情况； 负责课题研究方案制定及调整，并参与研究工作
韩鑫睿	负责课堂研究过程资料收集及整理，课题研究阶段总结材料的整理，参与实验的全部工作。
李思博	承担数据记录和统计以及资料收集、保管，检查并保证实验环境的正常运行，参与实验的全部过程。
张曼璐	参与实验的全部过程，随时关注课题研究，检查实验进展
熊宇昂	负责课题前期调查、分析材料的准备以及研究过程性问题的汇总，参与实验的全部过程。

4.工作内容

将前期培养 14 天的实验数据进行分析，同时将培养 60d 后的向日葵进行收

养，测定蚯蚓的存活率、生物量、铅镉含量，土壤的理化性质、土壤微生物多样性和土壤酶活性；对于植物向日葵需要测定向日葵生物量、地上部和地下部的生物量。

5. 实验过程

称取适量试验土壤，配置 CK (Pb/Cd: 0/0)、A (Pb/Cd: 50/10)、B (Pb/Cd: 150/30) 三种铅镉浓度，稳定两周后添加 nZVI (0.25%) 和生物炭 (1%) 混合均匀，之后投加蚯蚓 (2 条/kg)，并移栽向日葵 5 株，同时设置单一的蚯蚓-向日葵植物修复 (用 1 表示)、单一的 nZVI-生物炭化学修复 (用 2 表示) 和蚯蚓-向日葵-nZVI-生物炭联合修复 (用 3 表示)，加入去离子水使土壤含水率为 45%，每组处理重复 6 个平行装置，60d 收样，测定蚯蚓的存活率、生物量、铅镉含量，以及代谢组学，土壤五种不同形态铅镉含量 (可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态以及残渣态)、理化性质、土壤微生物多样性、土壤酶活性，向日葵总生物量、地上部分和地下部分各部分生物量以及重金属铅镉含量，以及转移系数和富集系数，POD、MDA 活性。保持温度：22±3℃、相对湿度：45% 和昼夜比：12:12。

二、阶段工作结果

(请详细记录工作的结果，存在的问题，以及改进的措施)

1. 阶段性结果与分析

1.1 土壤总铅、总镉含量

如图 2 所示，无外源添加重金属处理组反应出试验土壤中本身存在的重金属含量，CK-1 总铅含量在 73.38±13.30 mg/kg 范围内，CK-2 总铅含量为 70.80±10.70 mg/kg，CK-3 总铅含量与前两者类似 70.24±3.99 mg/kg，三组之间无显著差异；由数据显示，未添加 CK 组的总镉含量组内无显著差异。低浓度添加重金属含量在 195.14~201.41 mg/kg 之间，总镉均值在 14.73~15.23 mg/kg 之间。高浓度添加组的总铅、总镉含量都表现出高水平，总铅含量的均值为 360.07~367.88 mg/kg，总镉含量的均值为 25.88~26.99 mg/kg，均没有表现出显著差异，P 值大于 0.05。值得注意的是，对比 CK 组、A 组和 B 组中总铅、镉的含量，铅的均值明显高于总镉含量，土壤中原有重金属中铅的含量更高。

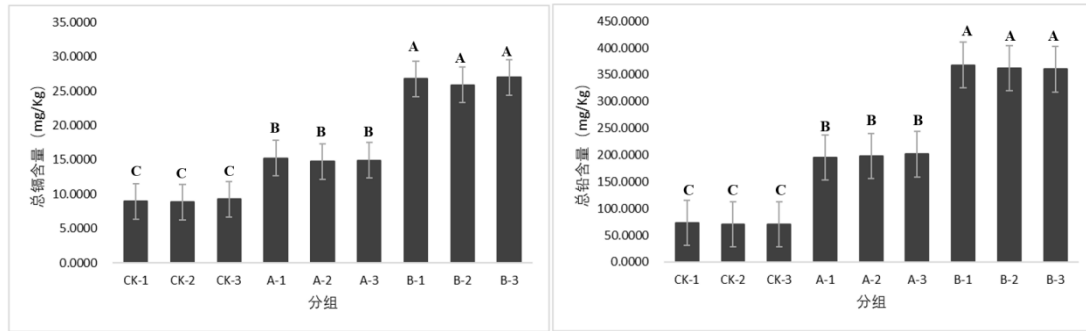


图 2 不同处理下土壤总铅、总镉含量对比

(CK-1 组为不添加铅镉重金属; A 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 50/10; B 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 150/30; 1 为生物修复、2 为化学修复、3 为联合修复)

1.2 土壤有效铅、镉含量

有效铅是指铅在环境中与土壤中的无机、有机发生吸附、络合和沉淀等作用, 形成碳酸盐、磷酸盐、有机质硫化物结合态等形式, 只有少部分以水溶态和离子交换态存在, 后者可能有效影响土壤土壤微生物的代谢活性, 此为有效铅。如图 3 所示, 数据分析显示, 无外源添加组的 CK 三个组间不存在显著差异, 平均值在 1.64~1.65 mg/kg 之间; 低浓度添加组的三个组别之间同样不存在显著差异, 三组的有效铅含量均值约为 18mg/kg; 高浓度添加组的三个组别的有效铅平均值含量约为 16.07 mg/kg。对比土壤中总铅 Pb 含量, 总铅含量高, 但两添加复合重金属的实验组有效铅 Pb 占比很少, 以 B-3 组为例, B-3 组总铅含量均值为 360.07 mg/kg, 其有效铅含量均值为 54.35 mg/kg, 占总铅含量 15%左右, 在其他条件相同的条件下, 对照组与两实验组的有效铅含量对比较为明显。

有效镉是指以离子状态吸附在带电荷的土壤胶体表面, 可被植物吸收利用的镉。如图 3 所示, 无外源添加 CK 组中 CK-1、CK-2、CK-3 有效镉含量无显著性差异, 有效镉的含量低, 平均值在 0.29~0.30 mg/kg 范围内; 低浓度添加 A 组中三个组别间表现为无显著差异, 有效镉平均值范围为 4.60~4.74 mg/kg; 高浓度添加组显示细微差异, B-1 与 B-3 之间表现出显著差异, 因前两周的前期培养条件相同, 所添加的复合重金属浓度也相同, 数据分析显示显著性 P 值为 0.028, B-1 组和 B-3 组测定所得组平均值为 16.03 mg/kg 和 16.22 mg/kg, 差距在 0.2 mg/kg 范围, 不再进行重新培养, 但后续分析会将次考虑进修复结果影响内。

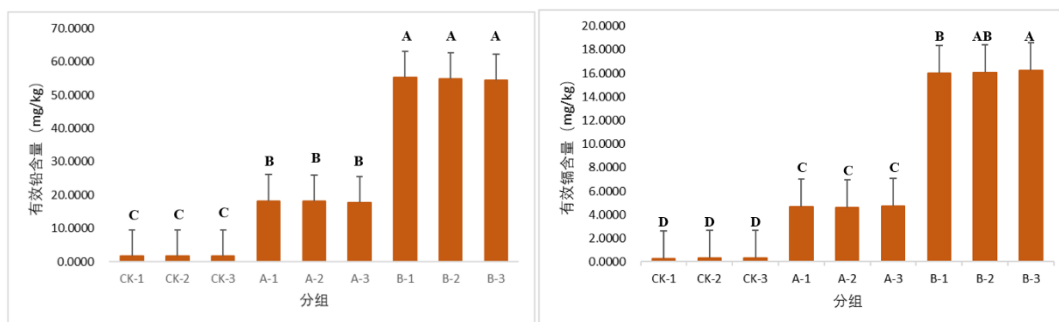


图3 不同处理下土壤有效铅、有效镉含量对比

(CK-1 组为不添加铅镉重金属; A 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 50/10; B 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 150/30; 1 为生物修复、2 为化学修复、3 为联合修复)

1.3 土壤 pH

图4反应的是在稳定14d后的土壤pH, 其中无外源添加CK组的pH在5.32~5.34的范围内; 低浓度添加A组pH保持在5.35~5.38范围内; 高浓度添加B组的pH在5.34~5.37范围内。组间和组内均无显著差异。符合本实验土壤选择的酸性红壤。

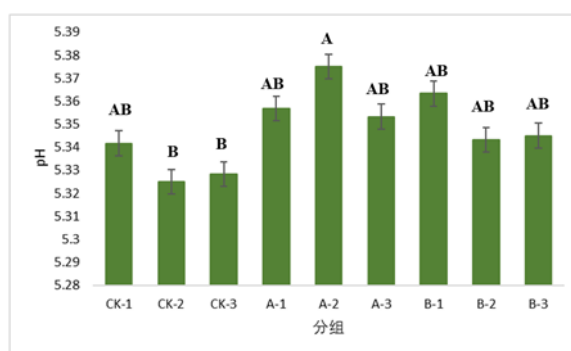


图4 不同处理下土壤 pH 含量对比

(CK-1 组为不添加铅镉重金属; A 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 50/10; B 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 150/30; 1 为生物修复、2 为化学修复、3 为联合修复)

1.4 土壤中 TN、TP、TC 含量

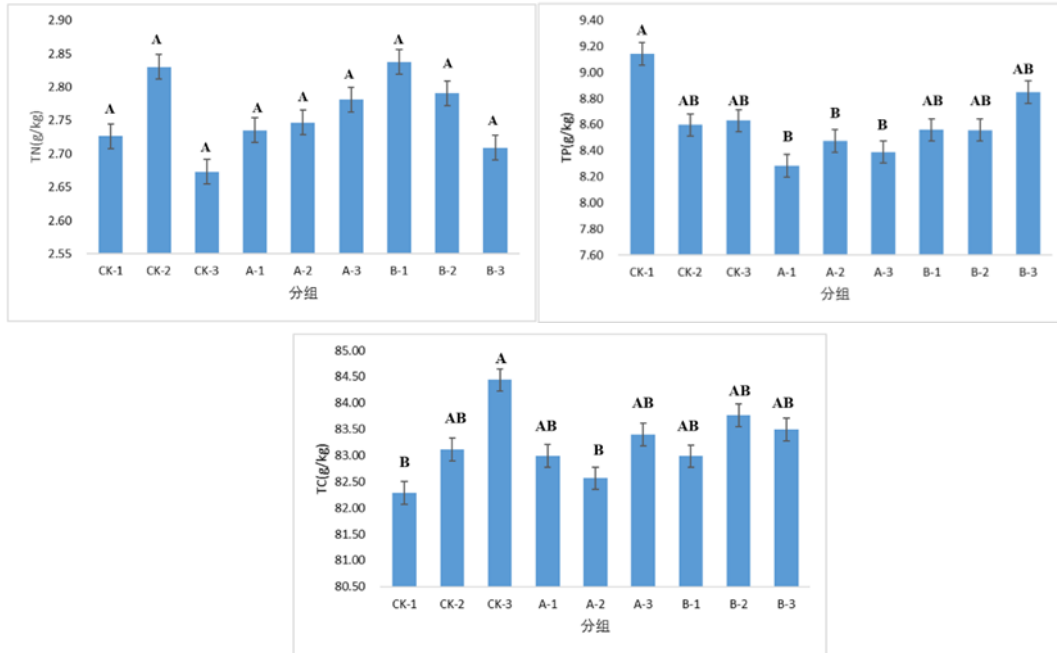


图 5 不同处理下土壤中 TN、TP、TC 含量对比

(CK-1 组为不添加铅镉重金属; A 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 50/10; B 组为添加铅镉重金属, 且比例为 Pb/Cd: 150/30; 1 为生物修复、2 为化学修复、3 为联合修复)

如图 5 所示, 土壤中 TN 处于同一水平, 无显著差异, TN 在 2.65 g/kg-2.85 g/kg 之间; 根据图中所示, 土壤中 TP 无显著差异, P 值大于 0.05; 土壤 TC 含量表现相似水平, 无显著差异。这三个数据分析所得均无显著差异, 为后期实验及数据分析提供了基础。

1.5 蚯蚓体内铅、镉含量

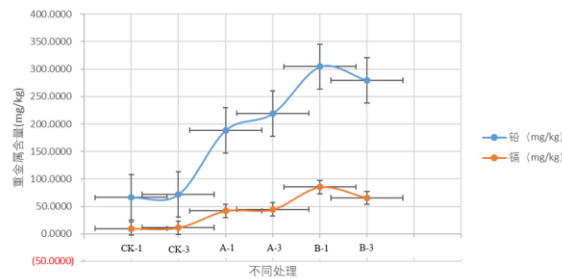


图 6 蚯蚓体内铅、镉含量对比

(CK 无铅镉重金属添加, A 铅镉比例为 Pb/Cd, B 铅镉比例为 Pb/Cd;

1 为生物修复, 3 为联合修复)

如图 6 所示, 在经过 60d 培养之后, 测定蚯蚓体内中铅镉含量, 蚯蚓体内的铅的平均含量均高于镉, 且在不同的三种处理下, 蚯蚓对重金属的吸收表现出

显著性，P 值大于 0.05。蚯蚓对于铅、镉的吸收效果均符合生物修复<化学修复<联合修复。

1.6 蚯蚓生物量及存活率

经过数据分析可知，蚯蚓的生物量变化与所处环境无明显相关性，P 值小于 0.05，不同处理对蚯蚓的生物量无明显影响。而蚯蚓的平均存活率无也不存在显著性，P 值小于 0.05。

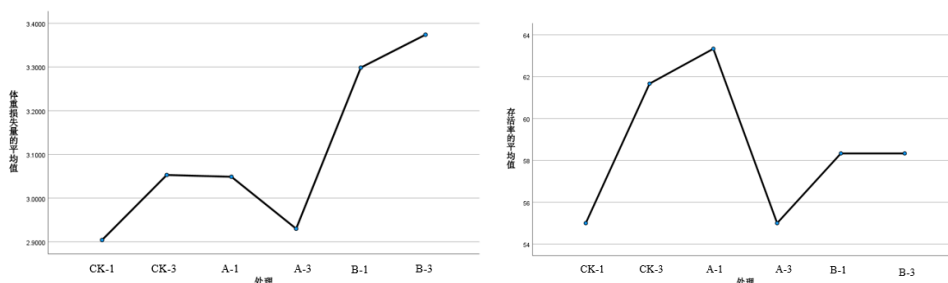


图 7 蚯蚓生物量及平均存活率

(CK 无铅镉重金属添加, A 铅镉比例为 Pb/Cd, B 铅镉比例为 Pb/Cd;
1 为生物修复, 3 为联合修复)

2. 存在的问题及改进措施

(1) 实验阶段，项目组成员对于实验流程及操作不熟悉，导致实验存在较大的误差，实验部分数据偏差较大。改进方法：查阅文献进行阅读，细化具体的实验流程，多向老师进行请教。

(2) 对于数据处理分析不够熟练，分析数据消耗时间长。改进方法：通过上网查阅等多种方式深入学习数据处理的操作。

三、材料、仪器使用、交通、住宿、经费使用情况。

(请记录本次工作中所使用到的材料、仪器设备、参考资料情况。如果涉及到外出调查、学习，请记录行程、人员、交通、住宿的情况)

(1) 材料：土壤、化学修复剂 (nZVI)、土壤动物、植物、圆柱状花盆

(2) 经费使用情况

支出项目	预算支出（元）	实际支出（元）
蚯蚓	450	500
植物	450	600
塑料盒	700	752
实验装置	800	600
指标测定耗材	1000	1200
资料复印	200	150
总计	—	3804
结余	—	2196

四、指导教师指导情况

（请记录指导教师具体的指导时间、内容及对项目后续工作意见和建议。）

教师指导时间：2023年12月1号

内容：实验进程及对数据分析的指导，以及对论文思路和框架的点拨。

对后续工作意见及建议：在完成所有数据分析之后，根据数据和相关文献的查阅，对实验结果进行检验，学习相关专业术语和文字表达。

项目负责人：李安然

记录时间：2024年1月

（注：内容填写均使用小四号仿宋体，行距 23-26 磅；图表均需编号，且有表名、图名，不跨页；注意排版美观）