



黄东亚,栗婷,张水鸥,等.重金属吸附材料在大田试验中修复土壤重金属污染效果研究[J].黑龙江农业科学,2020(3):5-13.

重金属吸附材料在大田试验中修复土壤 重金属污染效果研究

黄东亚,栗婷,张水鸥,任晓姣,杨雍

(西安市农产品质量安全检验监测中心,陕西 西安 710077)

摘要:为进一步研究新型重金属吸附材料对镉、镍元素的钝化效果,在实验室土培试验及盆栽试验的基础上进行大田试验,对修复前后土壤中重金属含量、阳离子交换量、地上作物重金属含量及作物生物量进行对比分析。结果表明:试验所用的重金属吸附材料对重金属镉、镍具有非常好的吸附钝化作用。高陵示范区土壤偏碱性,经过修复的土壤水溶性镉浓度减少 35.0%~63.4%,水溶性镍浓度减少 34.8%~59.0%;修复土壤中的阳离子交换量略有增加。

关键词:吸附材料;重金属含量;阳离子交换量;吸附效果

土壤重金属污染是当前农业环境主要污染之一,主要源于污水灌溉、大气沉降、垃圾填埋等途径^[1]。土壤重金属污染指的是由于人类活动将重金属带入到土壤中,致使土壤重金属的含量明显高于背景值,并造成现存的或潜在的土壤质量退化、生态与环境恶化的现象^[2]。造成环境污染的重金属主要有 Cd、Pb、Hg、Cr、Ni、Cu 等比重大于或等于 5.0 的重金属。土壤中的重金属迁移能力差,不易被微生物降解,当土壤中的重金属浓度积累到一定程度,一方面影响土壤理化性质,降低土壤生产力,另一方面抑制植物生长,降低作物品质,一部分重金属随着植物的吸收、积累、富集而进入食物链,影响人类健康。

近几年土壤重金属污染修复技术得到长足发展,土壤重金属污染钝化技术因为成本低、操作简单、修复效果好等优点被广泛应用。本试验中新型修复材料是一种有机无机复合材料,具有良好的化学稳定性和机械物理性能。这种修复材料原料来源广泛,价格便宜且稳定。具有良好的抗辐射性能,可以循环使用,工序简单,应用成本低,吸附性能优异。考虑到地形特点、自然条件、土壤利用现状等情况,通过大田试验,对照修复前后土壤

重金属浓度变化及作物中重金属含量变化进行分析,进一步确定修复材料对重金属镉、镍的吸附效果,以期为修复材料的应用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 标准溶液 100 mg·L⁻¹ Cd²⁺ 及 100 mg·L⁻¹ Ni²⁺ 标准储备液,由农业部环境保护科研监测所研制的有证标准物质。

1.1.2 吸附材料 一种有机无机复合材料,由陕西厚亿节能环保新材料科技有限公司生产。

1.1.3 复合肥 N-P₂O₅-K₂O 配比为 20-15-10 的复合肥,有机质>45%的有机肥。

1.1.4 仪器 原子吸收分光光度计:美国 VAR-
IAN 公司,型号 EL06073267;酸度计:MET-
TLER TOLEDO 公司,型号 FE28。

1.1.5 参照标准 土壤中总镉、总镍的检测标准分别为 GB/T17141-1997, GB/T17139-1997;作物中总镉、总镍的检测标准分别为 GB/T5009.15-2014, GB/T5009.138-2017;土壤酸碱度的检测标准为 NY/T1121.3-2006;土壤中氮磷钾检测标准:NY/T1848-2010;土壤中阳离子交换量检测标准:NY/T1121.5-2006。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验时间自 2017 年 5 月至 2018 年 12 月,试验场地选择高陵区通元镇何村,位于 34°35'13"N, 109°02'11"E,海拔 414.4 m,年平均气温 13.2℃,无霜期 212 d,年均日照 2 247.3 h,年降水 540 mm 左右,是农作物生长的适宜气候。试验田为 700 m²,大小为 7 m×

收稿日期:2019-09-05

基金项目:西安市科技创新支持计划项目[NC1504(5)]。

第一作者:黄东亚(1970-),女,学士,农艺师,从事农业环境及农产品质量安全检验监测工作。E-mail: 109431624@qq.com。

通信作者:杨雍(1982-),男,学士,高级农艺师,从事农业环境及农产品质量安全检验监测工作。E-mail: 11056189@qq.com。

100 m。试验小区取试验田的中间部分,大小为1.5 m×100.0 m;左右各留长100 m、宽20 cm保护行,每个处理小区大小为45 cm×45 cm,垄高0.1 m,中间留40 cm隔离行,处理小区100个(A1~A100),空白对照区100个(CKA1~CKA100),规格同处理小区;处理小区同对照小区交叉排列。每垄按穴播种种植白菜,每穴加入修复材料量25 g(每穴按直径20 cm高10 cm圆柱形土柱计算);每667 m²施肥量为N-P₂O₅-K₂O配比为20-15-10的复合肥50 kg,有机肥50 kg,整地时施入。整平后放置7 d,同时垄间挖沟蓄水灌溉。试验区设置见图1。

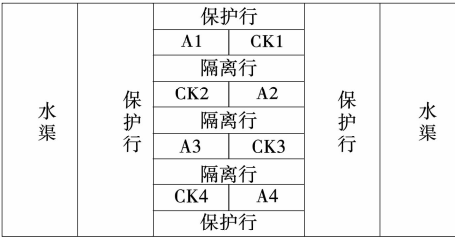


图1 试验区设置
Fig. 1 Setting of test area

1.2.2 测定项目及方法 试验区:在种植作物之前,随机选取处理小区15个,空白对照小区15个,采集0~40 cm土样,风干过200目筛。

种植作物之前,检测土壤中总镉、镍,交换态镉、镍含量,pH,阳离子交换量;地上植物收割之后,检测对应试验田区土壤中总镉、镍,交换态镉、

镍含量,pH,阳离子交换量,检测植物地上部分总镉、镍含量,统计植物地上部分生物量。生物量为每个处理小区植物生物量总和。

检测样品采样及制备:依照NY/T 395-2012《农田土壤环境质量监测技术规范》;蔬菜抽样技术规范:NY/T 2013-2011。检测标准:土壤中交换态镉、镍以pH=7的1 mol·L⁻¹MgCl₂溶液浸提,采用石墨炉原子吸收分光光度计进行定量分析;土壤中总镉、总镍的检测标准分别为GB/T 17141-1997,GB/T 17139-1997;土壤机械组成的测定依据为NY/T 1121.3-2006;土壤pH检测标准为NY/T 1121.3-2006;植物中总镉、总镍的检测标准分别为GB 5009.15-2014,GB 5009.138-2017。

1.2.3 数据分析 试验数据采用采用WPS 2016进行处理。

2 结果与分析

2.1 试验场地土壤及作物特征

西安地区土壤重金属超标主要集中在沣惠渠灌溉区,试验田确定之后,对试验田的重金属镉、镍、土壤营养状况及该区域作物的重金属镉、镍含量进行检测,对区域土壤情况进行摸底考察,在处理小区中检测数据出现异常时作为判断依据,是检测误差引起的还是试验处理的结果。

随机抽取20个试验场地土壤样品及作物样品测定试验田重金属含量、pH、阳离子交换量、速效养分含量,详见表1。

表1 试验场地土壤及作物特征
Table 1 Characteristics of soil and crop in test sites

指标 Index		最大值 Maximum	最小值 Minimum	中值 Median	平均值 Average	土壤标准限量值 Soil standard limit	超标率 Excess rate/%
土壤 Soil	镉元素含量/(mg·kg ⁻¹)	0.3214	0.0987	0.1502	0.2121	0.3	10
	镍元素含量/(mg·kg ⁻¹)	37.89	22.36	28.23	28.41	60	0
	pH	8.26	7.85	8.05	8.04	-	-
	阳离子交换量/(cmol·kg ⁻¹)	16.57	11.54	15.02	14.82	-	-
	速效氮/(mg·kg ⁻¹)	99.54	72.65	84.83	84.41	四级	-
	有效磷(P ₂ O ₅)/(mg·kg ⁻¹)	74.56	54.87	62.47	63.50	一级	-
	水溶性钾(K ₂ O)/(mg·kg ⁻¹)	241.3	175.6	196.1	201.5	一级	-
作物 Crop	镉元素含量/(mg·kg ⁻¹)	0.0245	0.0014	0.0081	0.0108	0.3	-
	镍元素含量/(mg·kg ⁻¹)	0.0789	0.0296	0.0543	0.0530	-	-

2.2 试验小区土壤及作物特征

随机抽取30个试验小区土壤样品及作物样

品测定重金属含量特征、试验田阳离子交换量、pH、氮磷钾含量特征及生物量,详见表2。

表 2 试验小区土壤特征

Table 2 Characteristics of soil and crop in experimental communities

指标 Index		最大值 Maximum	最小值 Minimum	中值 Median	平均值 Average value	土壤标准限量值 Soil standard limit	超标率 Excess rate/%
土壤 Soil	镉元素含量/(mg·kg ⁻¹)	0.2714	0.1426	0.2350	0.2377	0.3	0
	镍元素含量/(mg·kg ⁻¹)	30.21	22.34	26.45	26.26	60	0
	pH	8.06	7.84	8.00	7.97	-	-
	速效氮/(mg·kg ⁻¹)	90.12	74.61	81.41	81.45	四级	-
	有效磷(P ₂ O ₅)/(mg·kg ⁻¹)	73.24	55.61	64.41	63.51	一级	-
	水溶性钾(K ₂ O)/(mg·kg ⁻¹)	241.6	174.5	198.8	204.9	一级	-
	阳离子交换量/(cmol·kg ⁻¹)	15.63	13.26	15.02	14.97	-	-
作物 Crop	镉元素(对照)/(mg·kg ⁻¹)	0.0112	0.0039	0.0064	0.0070	0.3	-
	镍元素(对照)/(mg·kg ⁻¹)	0.0874	0.0336	0.0543	0.056	-	-
	生物量(对照)/kg	0.72	0.61	0.68	0.68	-	-
	镉元素(处理)/(mg·kg ⁻¹)	0.0026	0.0005	0.0008	0.0011	-	-
	镍元素(处理)/(mg·kg ⁻¹)	0.0025	0.0005	0.0013	0.0014	-	-
	生物量(处理)/kg	0.72	0.61	0.68	0.68	-	-

2.3 施加修复材料对土壤重金属含量的影响

分别取对照区及处理区各 15 个样品,检测种植前后土壤中重金属元素镉、镍,分析结果显示:试验前后,土壤中的重金属总镉、镍含量差异不大;对照与处理小区土壤中重金属元素镉、镍总量差异不大;修复处理小区种植前后土壤重金属元素镉、镍的交换态含量存在差异,处理小区种植后土壤中交换态镉、镍含量明显低于对照小区土壤中交换态镉、镍含量,差异大的处理小区镉浓度从

0.013 9 mg·kg⁻¹降低到 0.005 1 mg·kg⁻¹,镍浓度从 1.234 0 mg·kg⁻¹降低到 0.505 9 mg·kg⁻¹,整体上,交换态镉减少 35.0%~63.4%,交换态镍减少 34.8%~59.0%。本研究中的修复材料主要功效就是使重金属中交换态变成其他无效态金属,降低了重金属元素在土壤中迁移,容易被植物吸收利用的有效态重金属进行钝化,降低了植物对重金属的吸收富集,土壤中的重金属总量基本保持原有水平(图 2~图 9)。

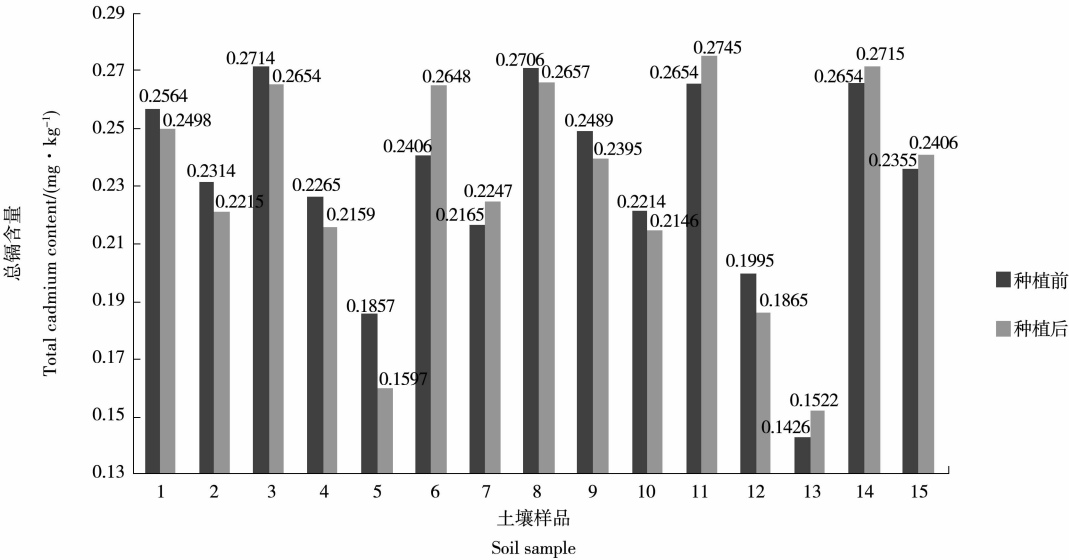


图 2 种植前后对照区土壤重金属总镉含量

Fig. 2 Total heavy metal cadmium content in soil in pre- and post-planting control areas

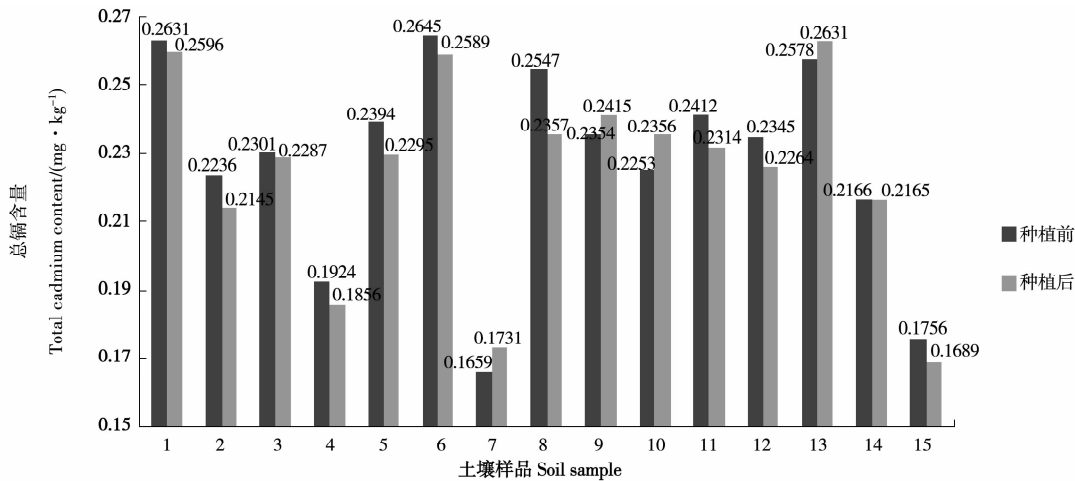


图 3 种植前后修复区土壤重金属总镉含量

Fig. 3 Total heavy metal cadmium content in soil in pre- and post-planting of restoration areas

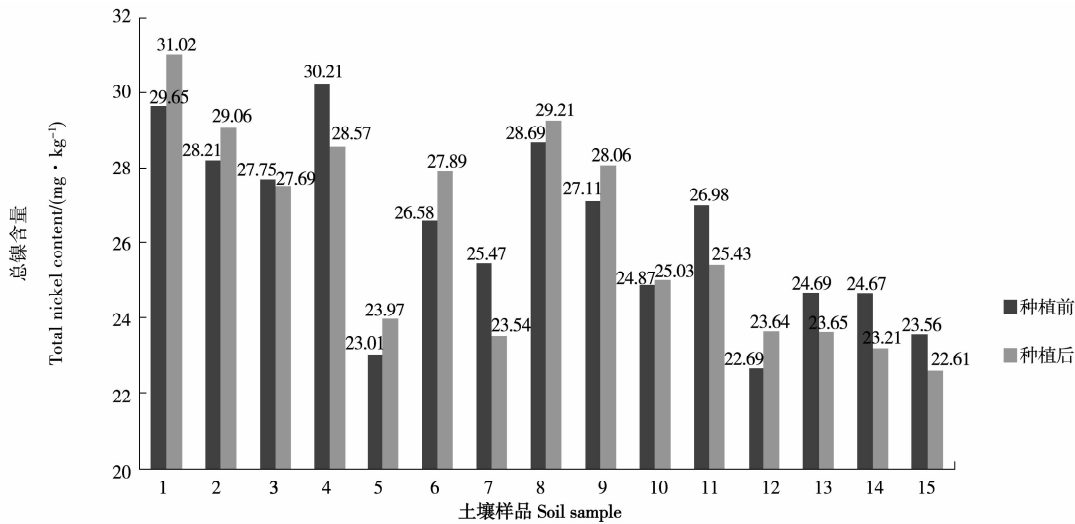


图 4 种植前后对照区土壤重金属总镍含量

Fig. 4 Total heavy metal nickel content in soil in pre- and post-planting of control areas

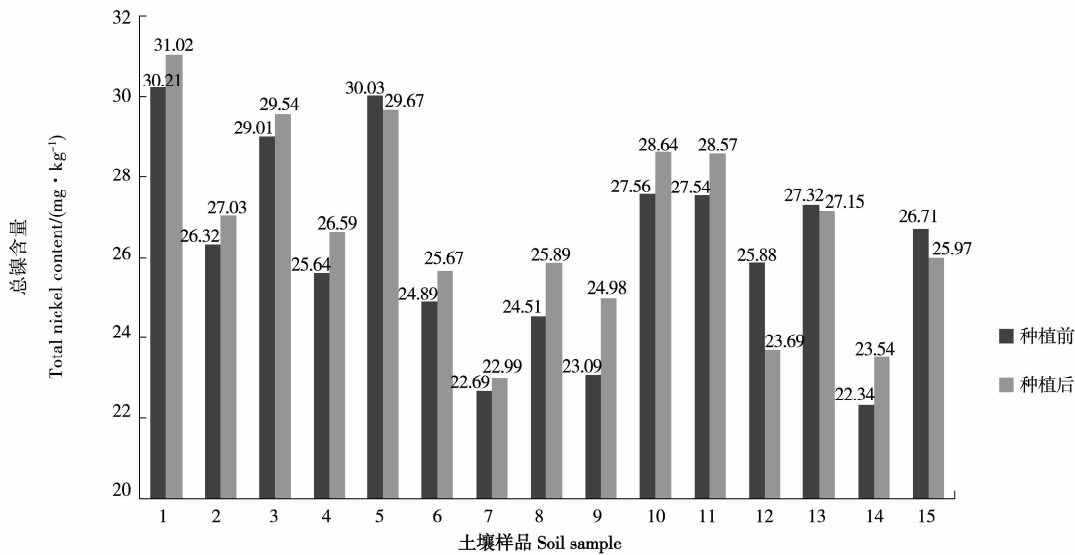


图 5 种植前后修复区土壤重金属总镍含量

Fig. 5 Total heavy metal nickel content in soil in pre- and post-planting of restoration areas

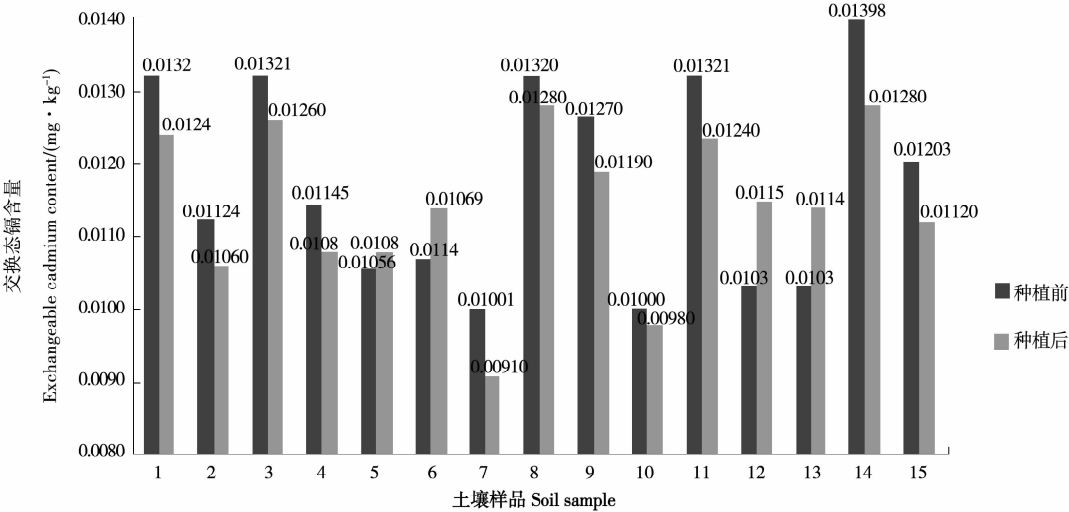


图 6 种植前后对照区土壤中的交换态镉含量
Fig. 6 Exchange cadmium content in soil in pre- and post-planting of control areas

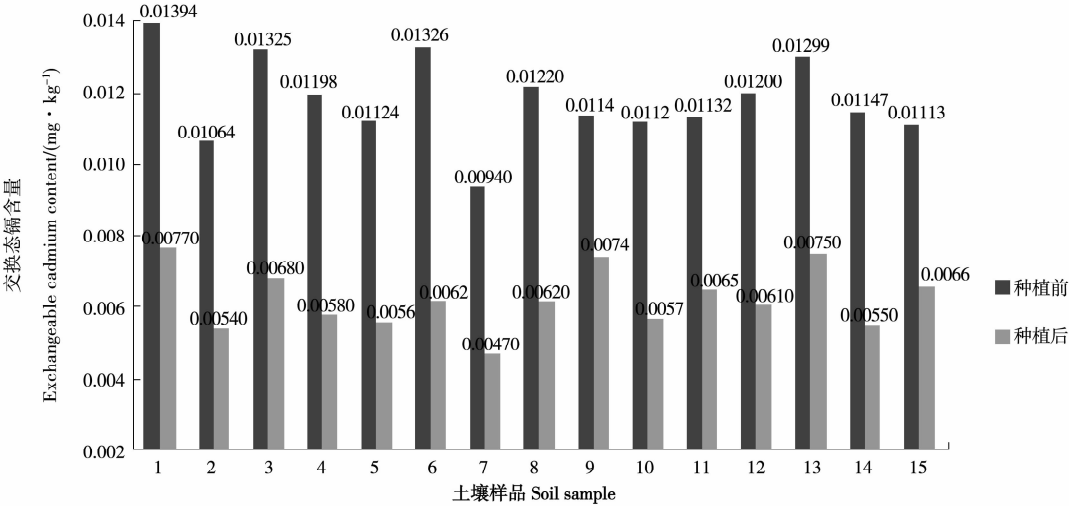


图 7 种植前后修复区土壤中的交换态镉含量
Fig. 7 Exchange cadmium content in soil in pre- and post-planting of restoration areas

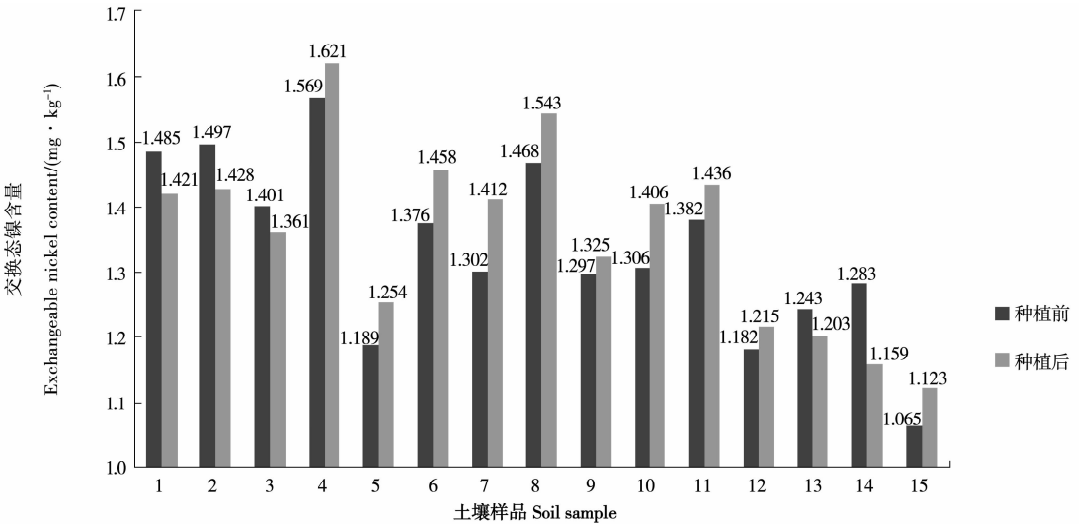


图 8 种植前后对照区土壤中的交换态镍含量
Fig. 8 Exchange nickel content in soil in pre- and post-planting of control areas

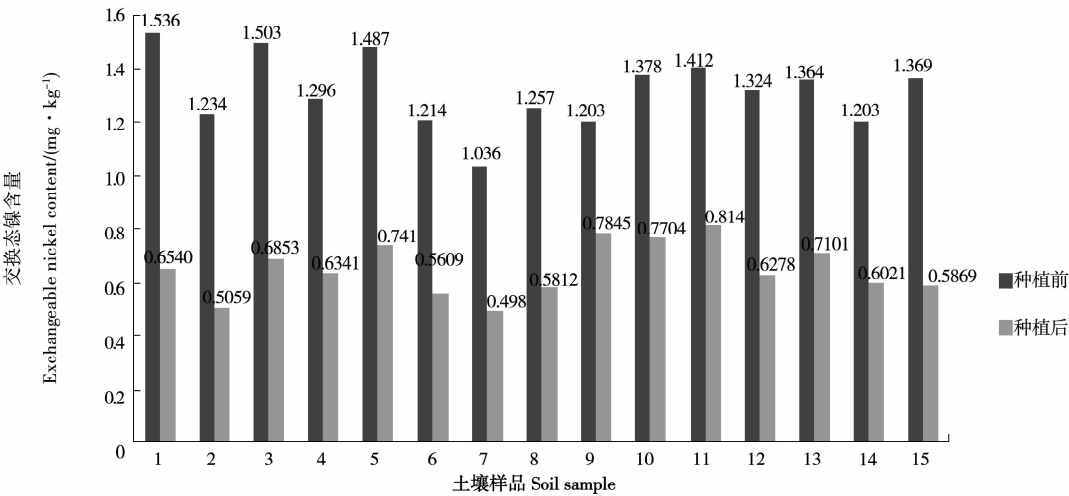


图 9 种植前后修复区土壤中的交换态镍含量

Fig. 9 Exchange nickel content in soil in pre- and post-planting repair areas

2.4 施加修复材料对植物吸收重金属的影响

对试验中 15 个对照小区与 15 个处理小区植物中重金属镉、镍元素进行分析,结果表明,植物中重金属含量多少和土壤中重金属含量关系明显;处理过的小区中植物重金属含量明显低于对照小区中植物重金属含量(图 10~图 11)。结合前期室内模拟实验和盆栽模拟试验,试验所用的重金属吸附材料对重金属镉、镍具有非常好的吸

附钝化作用。

2.5 经过修复处理的土壤中植物生长情况

对试验中 15 个对照小区与 15 个处理小区植物中重金属镉、镍元素进行分析之前,统计每个小区植物生物量,结果表明,15 个对照小区与 15 个处理小区的植物生物量差异不大,分析主要原因,是选取的试验场地土壤重金属镉、镍污染程度很小,没有危害到植物的正常生长(图 12)。

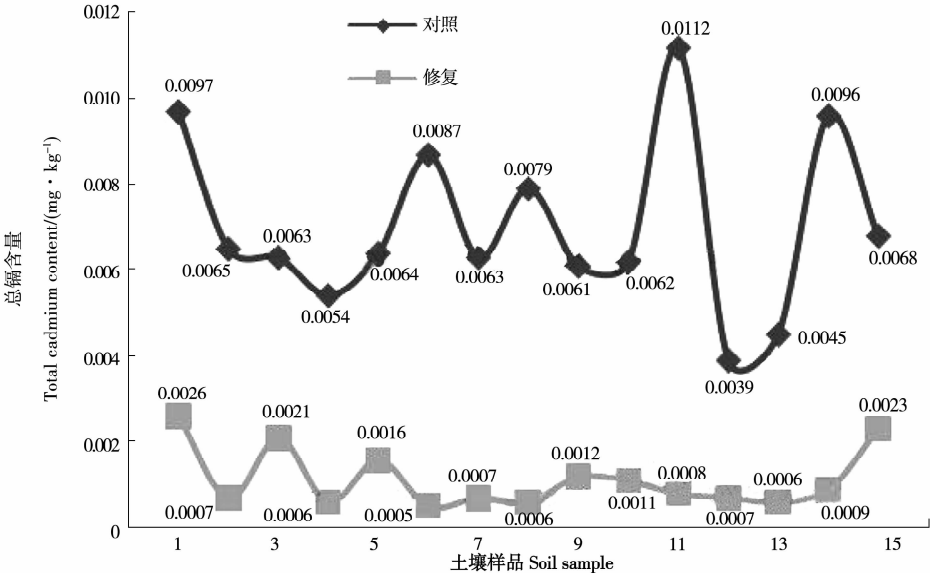


图 10 施加修复材料对植物吸收重金属镉的影响

Fig. 10 Effects of applying repair materials on the uptake of heavy metal cadmium in plants

2.6 经过修复处理的土壤中 pH 及阳离子交换量的变化

抽取 15 个对照小区及 15 个处理小区土壤样品,分析种植前后土壤 pH 及阳离子交换量,结果显示,15 个对照小区种植前后土壤 pH 及阳离子交换量差异不大;15 个处理小区土壤修复前后

pH 变化不大;15 个处理小区土壤修复前后阳离子交换量稍有上升但是幅度不大,在 0.13%~3.23%,阳离子交换量是评价土壤保水保肥能力的重要指标,修复材料在钝化重金属的同时提高了土壤中阳离子交换量(图 13~图 16)。

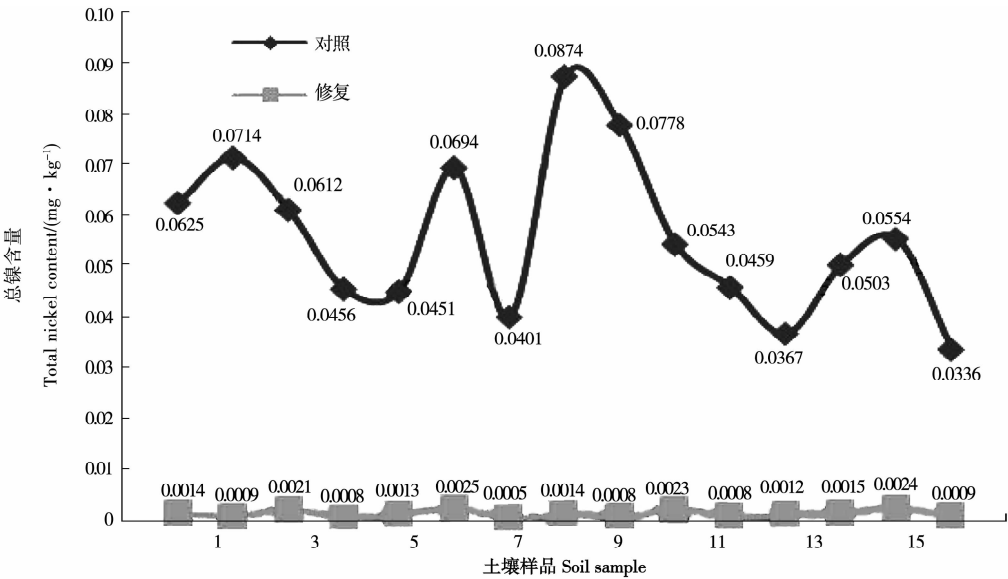


图 11 施加修复材料对植物吸收重金属镍的影响
Fig. 11 Effects of applying repair materials on the absorption of heavy metal nickel in plants

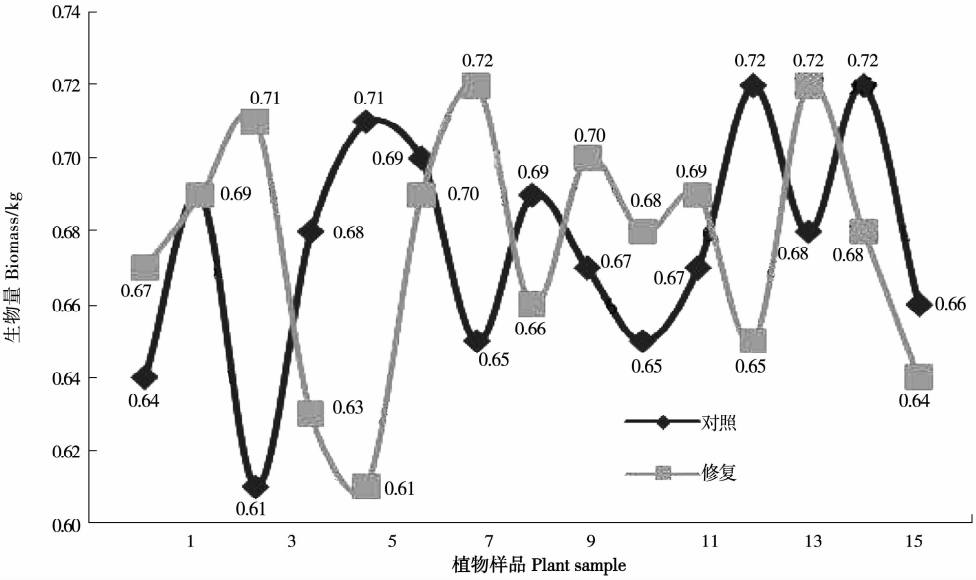


图 12 经过修复处理的土壤植株生物量情况
Fig. 12 Biomass of plant in remediation soil

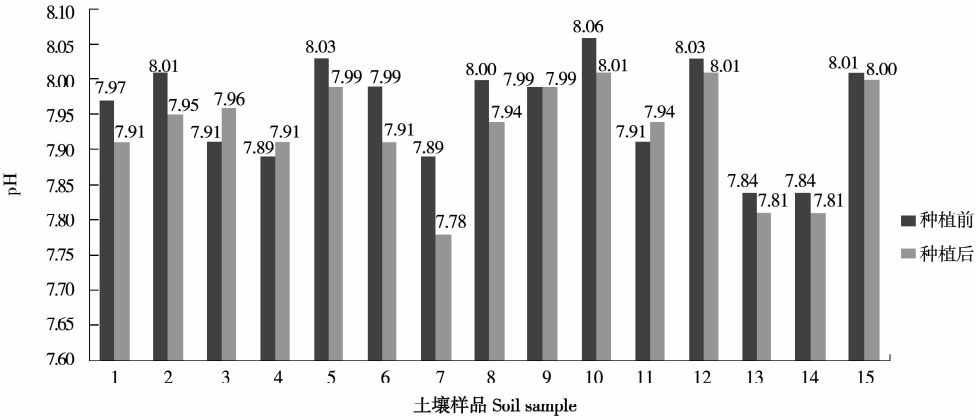


图 13 种植前后对照小区土壤 pH
Fig. 13 Soil pH before and after planting in control plot

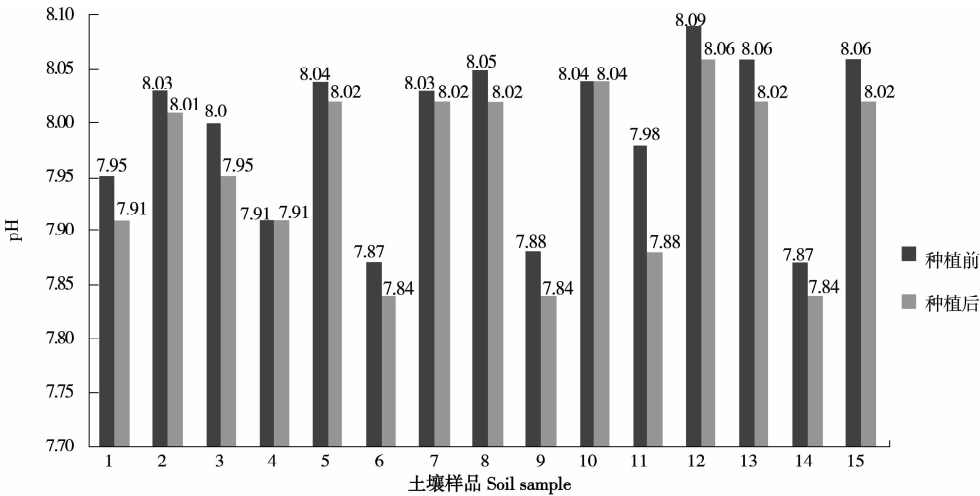


图 14 种植前后修复小区土壤 pH

Fig. 14 Soil pH before and after planting in restoration plot

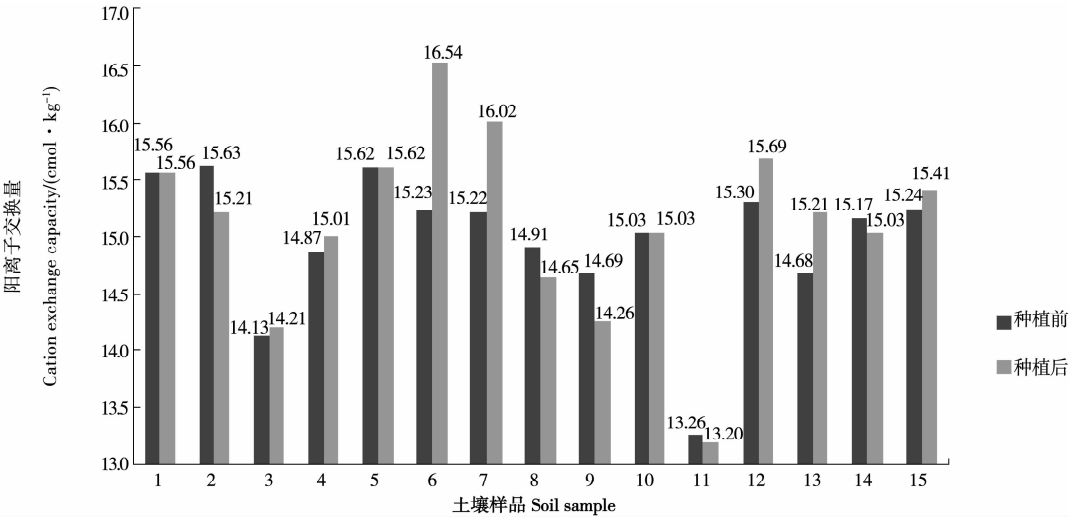


图 15 种植前后对照区土壤中的阳离子交换量

Fig. 15 Cationic exchange capacity in soil of pre- and post-planting of control areas

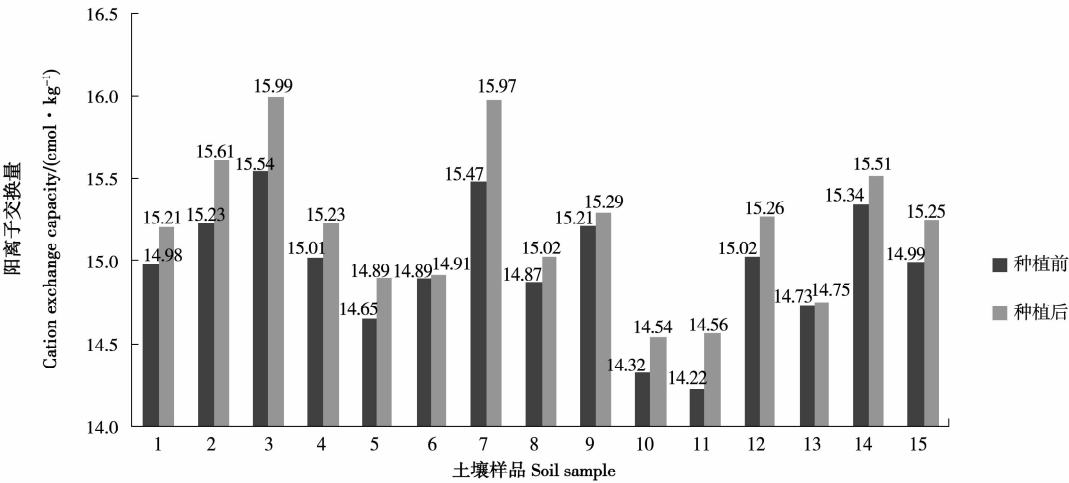


图 16 种植前后修复区土壤中的阳离子交换量

Fig. 16 Cationic exchange capacity in soil of pre- and post-planting of repair areas

3 结论

通过大田试验,进一步研究修复材料对重金属镉、镍的修复效果及对植物生长的影响,结果表明修复材料减少了土壤中交换态镉、镍含量,经过修复的土壤水溶性镉浓度减少 35.0%~63.4%,水溶性镍浓度减少 34.8%~59.0%,土壤中重金属镉、镍总量变化不大。进一步说明修复材料的主要功效就是使土壤中的重金属交换态变成其他无效态金属离子,降低了重金属元素在土壤中迁移的能力,降低了植物对重金属的吸收富集,土壤中的重金属离子形态发生变化但总量基本保持原有水平;植物中重金属含量多少和土壤中重金属含量关系明显,处理过的小区中植物重金属含量明显低于对照小区中植物重金属含量,重金属吸附材料对重金属镉、镍具有非常好的吸附钝化作用。阳离子交换量是评价土壤保水保肥能力的重要指标,土壤修复前后离子交换量稍有上升但是幅度不大,在 0.13%~3.23%。由于选取的试验场地重金属镉、镍总浓度不是很高,处理小区比对照小区的作物中重金属含量要低但作物生长情况差异不大。

参考文献:

- [1] 俄胜哲,杨思存.我国土壤重金属污染现状及生物修复技术研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(19):9104-9106.
- [2] 陈怀满,郑春荣,周东美,等.德兴铜矿尾矿库植被重建后的土壤肥力状况和重金属污染初探[J].土壤学报,2005(1):29-36.
- [3] 黄东亚,栗婷,任晓姣,等.重金属吸附材料的用量在不同质地土壤中的吸附效果[J].黑龙江农业科学,2018(8):28-31.
- [4] 庞妍.关中平原农田土壤重金属污染风险研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [5] 韩张雄.重金属形态在矿区土壤修复过程中的研究综述[C]//中国地质学会.中国地质学会 2015 学术年会论文摘要汇编(下册).中国地质学会:中国地质学会地质学报编辑部,2015.
- [6] 陈林华,倪吾钟,李雪莲,等.常用肥料重金属含量的调查分析[J].浙江理工大学学报,2009,26(2):223-227.
- [7] 张小敏,张秀英,钟太洋,等.中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J].环境科学,2014,35(2):692-703.
- [8] 刘文华,李媛媛,赵秋香,等.改性膨润土钝化修复技术重金属污染土壤技术研究与应用[M].北京:中国环境出版社,2014.
- [9] 赵亮,刘存寿.不同有机物料对土壤肥力及团聚体稳定性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(2):130-136,144.

Study on the Effects of Heavy Metal Adsorption Materials on Soil Heavy Metal Pollution Restoration in Field Tests

HUANG Dong-ya, LI Ting, ZHANG Shui-ou, REN Xiao-jiao, YANG Yong

(Xi'an Agricultural Product Quality and Safety Inspection and Monitoring Center, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to study the passivation effect of new heavy metal adsorbents on cadmium and nickel, field experiments were carried out on the basis of soil culture experiment and pot culture experiment, the contents of heavy metals in soil, cation exchange capacity, heavy metals in aboveground crops and biomass of crops before and after remediation were compared and analyzed. The results showed that the heavy metal adsorbents used in the experiment have excellent adsorption and passivation effects on cadmium and nickel. The soil in the demonstration area of Gaoling was slightly alkaline, the concentration of water-soluble cadmium was reduced by 35.0%-63.4%, the concentration of water-soluble nickel was reduced by 34.8%-59.0%, and the cation exchange capacity increased slightly.

Keywords: adsorption material; heavy metal content; cationic exchange quantity; adsorption effect