



黄东亚,刘君,任晓姣,等. 重金属吸附材料修复重金属污染土壤盆栽模拟试验[J]. 黑龙江农业科学,2020(2):38-45.

重金属吸附材料修复重金属污染土壤盆栽模拟试验

黄东亚,刘 君,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:为确定重金属吸附材料在盆栽试验中的吸附效果,通过对比分析,探讨了在不施肥及施肥条件下不同镉、镍污染土壤加入同量修复材料后对土壤和作物中镉、镍含量变化及作物生物量的影响。结果表明:吸附材料对土壤中的重金属镉、镍具有很好的吸附效果,施肥条件下吸附材料效果更好;加入同量吸附材料,土壤重金属镉、镍浓度相当时,碱性砂壤土高于碱性壤土的吸附率,酸性壤土高于碱性壤土中的吸附率;植株中重金属含量高低与土壤中重金属含量呈正相关;在低浓度镉、镍重金属含量的土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的生物量差别不大;在高浓度镉、镍重金属含量的土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的生物量存在差异。

关键词:施肥;土壤重金属浓度;吸附效果

土壤是农业环境的重要组成部分,它不仅为植物和各种土壤微生物提供营养物质,还容纳了来自环境大约 90% 的污染物^[1],其中重金属污染是土壤污染的重要污染。土壤重金属污染的外部来源主要有^[2]污水灌溉、污泥利用、大气沉降、肥料及农药的施用、矿产资源的无序开采等,这些污染总的来说是工业污染,这些点源污染随着水、大气的扩散转化成线源和面源污染。受重金属污染的土壤理化性质及生物特性都会发生变异,植物及土壤生物的生长受到影响,一部分重金属会通过植物的积累进入食物链最终危害到人类的身体健康。随着土壤重金属污染问题受到广泛关注,重金属污染土壤修复技术也取得了很大进步,概括为两大类:一类是改变重金属在土壤中的存在形态^[3],降低其在土壤中的迁移能力,从而降低植物中重金属的富集程度。主要是利用不同材料进行钝化修复,这一类方法操作简单,工程量小,周期短,适合大面积土壤修复;另一类是减少土壤中重金属污染物的总浓度^[3],主要方法有物理工程措施、电位修复法、化学淋洗修复、生物修复法,这几类方法受土壤类型、重金属种类及污染土壤地理因素影响,不适合大面积土壤修复,并且修复周期长,操作难度大。

本试验中的重金属吸附材料是一种有机/无机复合材料,它是以硅胶为无机刚性骨架,经过活化、改性处理,接枝聚胺脂类有机物,得到聚胺脂/硅胶复合吸附材料,对重金属镉、镍具有良好的吸附效果。本文于 2017 年 4 月至 2018 年 5 月通过土壤盆栽试验比较在不施肥及施肥情况下不同镉、镍污染土壤加入不同量吸附材料后土壤及作物镉镍含量及生鲜量,以期重金属污染土壤的修复提供试验基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试作物为菠菜,种子购自西安稞青农产品专业合作社。

供试新型修复材料为陕西厚亿节能环保新材料科技有限公司生产。

供试肥料是 $N-P_2O_5-K_2O$ 配比为 20-15-10 的复合肥,有机质 $>45\%$ 的有机肥。

1.2 方法

1.2.1 土壤处理 供试土壤主要以 T1(酸性壤土)、T14(碱性壤土)、T27(碱性砂壤土)^[4]为来源添加重金属(氯化镉及硝酸镍),去除土壤背景值使土壤全镉、镍含量分别达到 $0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ / $5.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ / $50.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ / $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,依次编号为 TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TP9。土壤加入重金属后,平衡 28 d,期间每周加水充分混匀。

1.2.2 施肥及不施肥条件下加入相同量吸附材料对土壤中镉、镍的影响 不施肥时:在 T1、T14、T27、TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TP9 中加入吸附材料,加入重金属吸附材料的质量为土样质量的 1.2%。

收稿日期:2019-06-02

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。

施肥时:在 T1、T14、T27、TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TP9 中加入吸附材料,加入重金属吸附材料的质量为土样质量的 1.2%,同时按质量比的 0.03% 分别加入复合肥及有机肥。

1.2.3 修复材料对不同质地土壤及植物中重金属镉、镍的影响 在施肥及不施肥条件下,加入 1.2% 吸附材料对 3 种土壤包括碱性砂壤土、碱性壤土、酸性壤土中重金属镉、镍的吸附效果。

上述两种试验设计具体操作:取混合均匀的供试土样 7.5 kg,重金属吸附材料按上述规定加入,混合均匀装入盆中,从底盘浇水至盆表面土壤刚好湿润,平衡 3~4 d 后移栽植物,移栽植物为 3~4 个叶的菠菜苗 5 颗。待植株生长正常之后,留 3 颗生长良好大小均匀的植株。生长期每天从托盘底部补充适量水分,栽种 28 d 后采收,统计植株鲜生物量,同时做空白对照。

1.2.4 测定项目及方法 采集整株植物,清理掉根部土壤,称量鲜样重;取适量鲜样(大约 100 g)用超纯水冲洗植物叶面及根部,捣碎、装袋、编号、冷藏,留待检测^[5-8]。

在已经收获的盆中从上到下均匀取适量(大约 100 g)土样,自然风干,研磨、过筛、装袋、编号,留待检测。

吸附量计算公式:吸附量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = $V(C_0 - C)/M$ 。式中, V 为重金属溶液的体积,单位为 mL; C_0 为重金属溶液起始浓度,单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; C 为吸附后重金属溶液浓度,单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; M 为吸附材料用量,单位为 g。吸附率(%) = $100 \times (C_0 - C)/C_0$ 。

1.2.5 数据分析 试验数据采用 WPS2016 版进行处理。

2 结果与分析

2.1 修复材料对土壤重金属镉、镍的影响

2.1.1 施肥与不施肥条件下修复材料对土壤重金属镉、镍的影响 3 种土壤加入 1.2% 的修复材料,在不施肥条件下,修复材料对镉元素吸附率在 54.1%~67.0%,分别比不添加修复材料的对照增加 45.5~64.1 百分点(图 1);修复材料对镍元素吸附率在 60.2%~71.8%,分别比对照增加 40.9~70.1 百分点(图 2)。在施肥条件下,修复材料对镉元素吸附率在 49.3%~73.4%,分别比对照增加 42.3~70.7 百分点(图 3);对镍元素吸附率 62.2%~77.4%,分别比对照增加 56.4~70.0 百分点(图 4)。本试验中的重金属吸附材料对土壤中的重金属镉、镍具有明显的吸附效果,施肥条件下吸附材料的吸附效果更好。

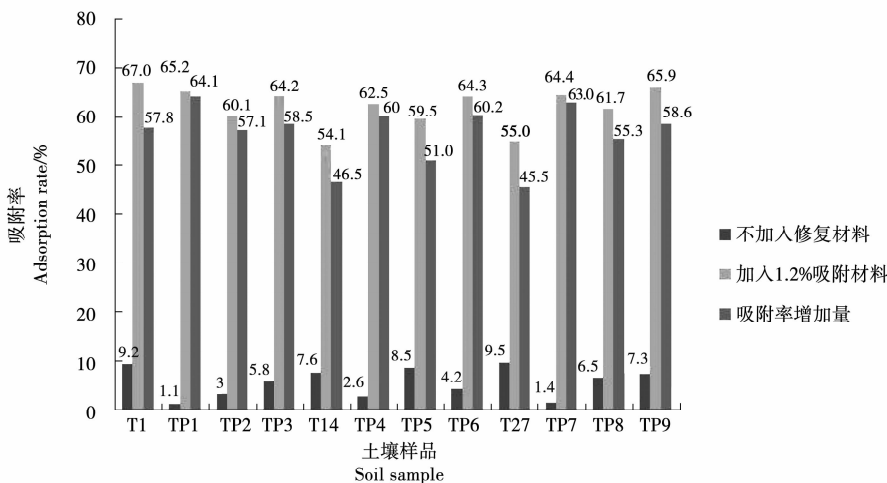


图 1 不施肥条件下加入 1.2% 修复材料对土壤重金属镉的影响

Fig. 1 Effects of 1.2% remediation material on heavy metal cadmium in soil without fertilization

2.1.2 修复材料对不同质地土壤重金属镉、镍的影响 加入 1.2% 吸附材料,土壤重金属镉、镍浓度相当时,在碱性砂壤土(T27、TP7、TP8、TP9)中吸附材料对镉、镍元素吸附率高于在碱性壤土(T14、TP4、TP5、TP6)的吸附率。在不施肥条件下,对镉元素吸附率分别增加 0.9、1.9、2.2、1.6 百分点(图 5);对镍元素吸附率分别增加 4.8、

2.6、7.8、2.9 百分点(图 6)。在施肥条件下,对镉元素吸附率分别增加 7.0、0.9、1.5、1.6 百分点(图 7);对镍元素吸附率分别增加 5.7、4.2、15.2、8.5 百分点(图 8)。本试验中吸附材料的吸附效果受土壤质地的影响,碱性砂壤土中的吸附效果高于碱性壤土中的吸附效果,施肥条件下吸附材料的吸附效果好于不施肥条件下的吸附效果。

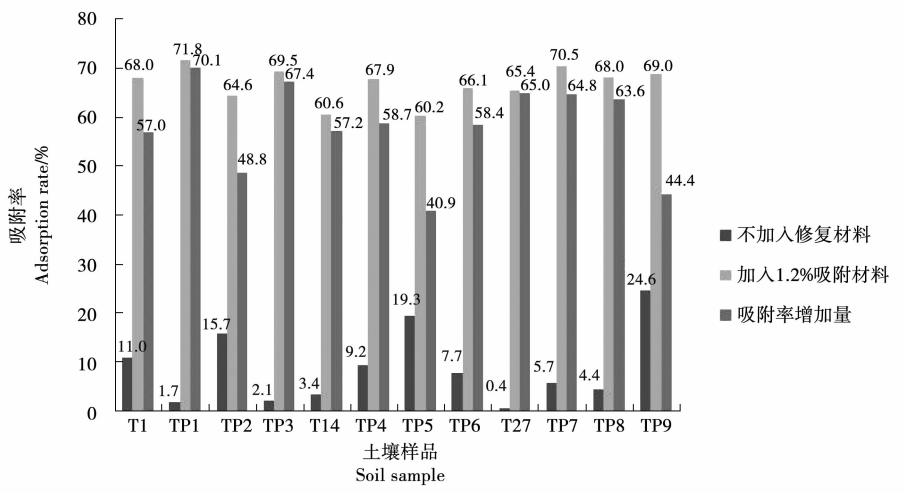


图 2 不施肥条件下加入 1.2%修复材料对土壤重金属镍的影响

Fig. 2 Effects of 1.2% remediation material on heavy metal nickel in soil without fertilization

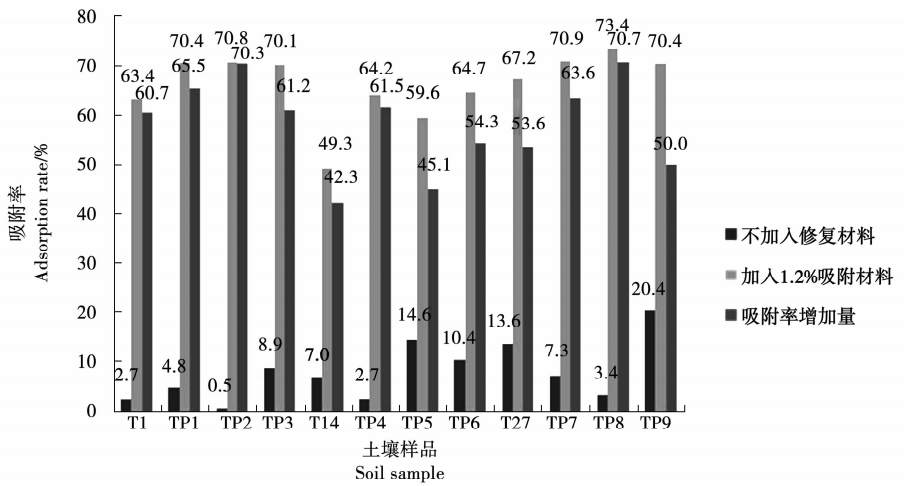


图 3 施肥条件下加入 1.2%修复材料对土壤重金属镉的影响

Fig. 3 Effect of 1.2% remediation material on heavy metal cadmium in soil under fertilization conditions

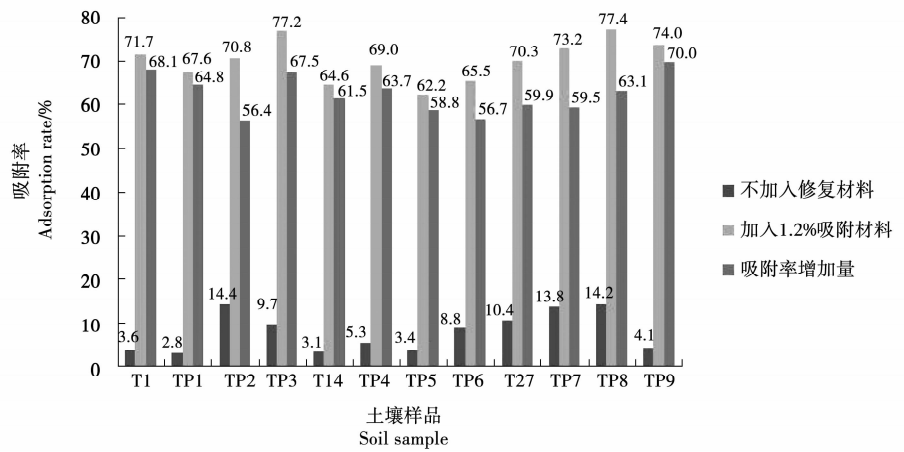


图 4 施肥条件下加入 1.2%修复材料对土壤重金属镍的影响

Fig. 4 Effects of 1.2 % repair material on heavy metal nickel in soil under fertilization conditions

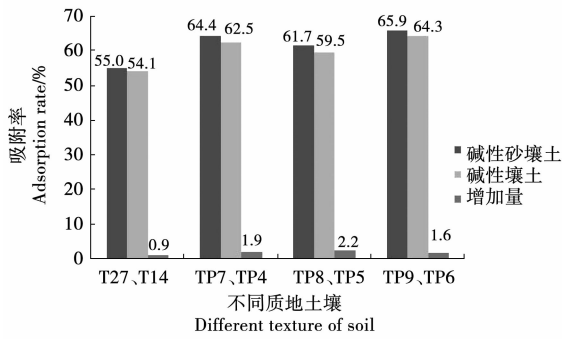


图 5 不施肥条件下不同质地土壤中镉的吸附率比较

Fig. 5 Comparison of adsorption rate of cadmium in different texture soil without fertilization

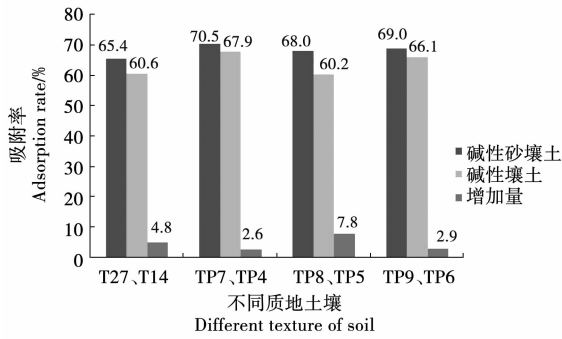


图 6 不施肥条件下不同质地土壤中镍的吸附率比较

Fig. 6 Comparison of adsorption rates of nickel in different texture soils without fertilization

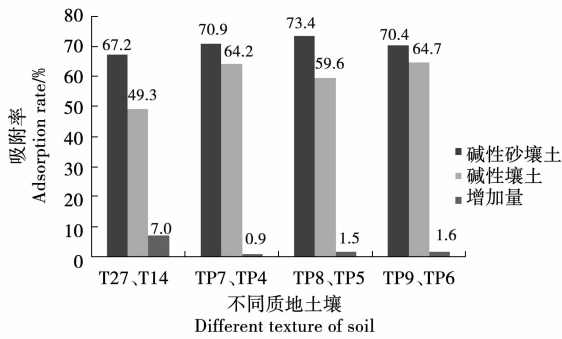


图 7 施肥条件下不同质地土壤中镉的吸附率比较

Fig. 7 Comparison of adsorption rates of cadmium in different texture soils under fertilization conditions

2.1.3 修复材料对不同酸碱性土壤重金属镉、镍的影响 加入 1.2% 吸附材料,土壤重金属镉、镍浓度相当时,在酸性壤土(T1、TP1、TP2、TP3)中吸附材料对镉、镍元素吸附率高于在碱性壤土(T14、TP4、TP5、TP6)中的吸附率。在不施肥条件下,对镉元素吸附率分别增加 12.9、2.7、0.6、0.1 百分点(图 9);对镍元素吸附率分别增加

7.4、3.9、4.4、3.4 百分点(图 10)。在施肥条件下,对镉元素吸附率分别增加 14.1、6.2、8.2、0.2 百分点(图 11);对镍元素吸附率分别增加 7.1、1.4、8.6、11.7 百分点(图 12)。本试验中土壤酸碱性对吸附材料的吸附效果有一定影响,在酸性土壤中的吸附效果好于在碱性土壤中的吸附效果。

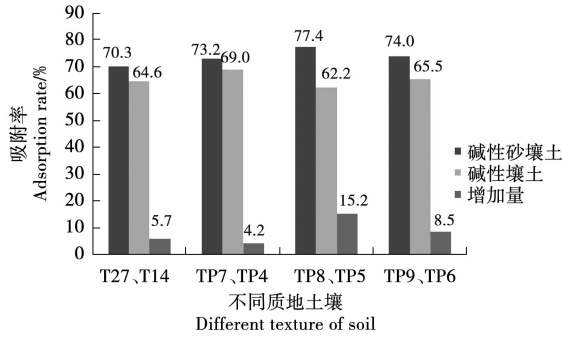


图 8 施肥条件下不同质地土壤中镍的吸附率比较

Fig. 8 Comparison of adsorption rates of nickel in different texture soils under fertilization conditions

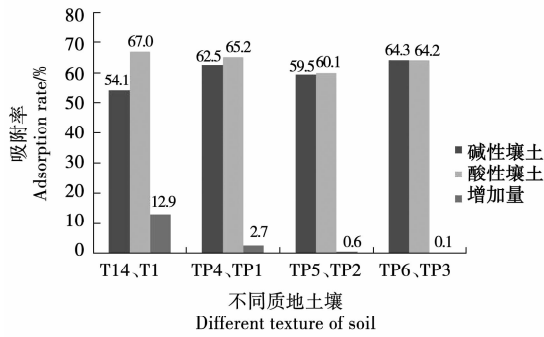


图 9 不施肥条件下不同酸碱性土壤中镉的吸附率比较

Fig. 9 Comparison of adsorption rates of cadmium in different acid and alkali soils without fertilization

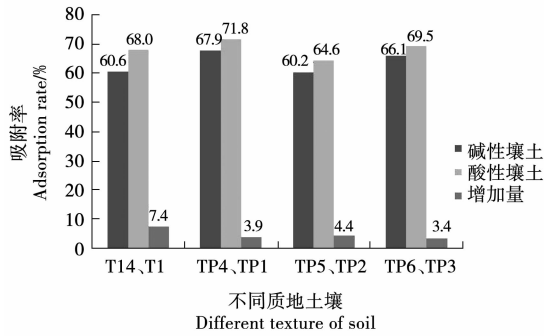


图 10 不施肥条件下不同酸碱性土壤中镍的吸附率比较

Fig. 10 Comparison of adsorption rates of nickel in different acid and alkali soils without fertilization

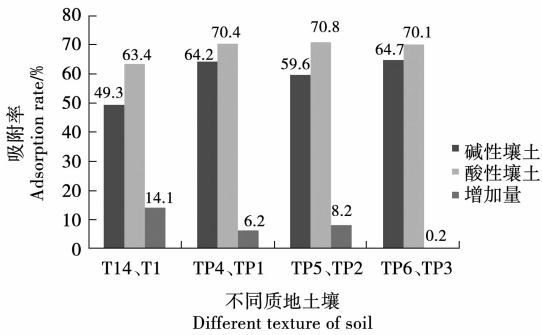


图 11 施肥条件下不同酸碱性土壤中镉的吸附率比较
Fig. 11 Comparison of adsorption rates of cadmium in different acid and alkali soils under fertilization conditions

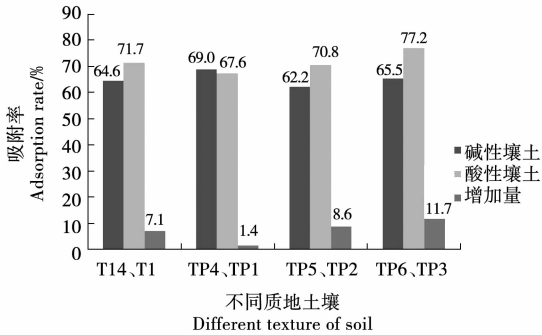


图 12 施肥条件下不同酸碱性土壤中镍的吸附率比较
Fig. 12 Comparison of adsorption rates of nickel in different acid and alkali soils under fertilization conditions

表 1 施肥和不施肥条件下修复材料对菠菜吸收积累重金属镉、镍的影响

Table 1 Effects of phytoremediation materials on cadmium and nickel accumulation in spinach under fertilization and non-fertilization conditions (μg·kg ⁻¹)								
土壤编号 Soil number	不施肥 No fertilizer				施肥 Fertilizer			
	镉 Cadmium		镍 Nickel		镉 Cadmium		镍 Nickel	
	对照 Control	修复 Repair	对照 Control	修复 Repair	对照 Control	修复 Repair	对照 Control	修复 Repair
T1	0.0041	0.0021	0.0017	0.0015	0.0062	0.0021	0.0054	0.0008
TP1	0.3251	0.0112	1.0320	0.0013	0.4125	0.0007	0.0970	0.0032
TP2	0.6987	0.0078	3.2540	0.0105	0.7215	0.0011	4.0590	0.0008
TP3	2.4150	0.0102	7.6590	0.0987	2.8790	0.0145	6.5890	0.0580
T14	0.0056	0.0078	0.0513	0.0062	0.0007	0.0099	0.0697	0.0088
TP4	0.5214	0.0085	2.3580	0.1567	0.7489	0.0022	1.8740	0.0089
TP5	1.0325	0.0085	1.6350	0.1863	0.9560	0.0085	1.5870	0.0047
TP6	1.3260	0.0906	5.0260	0.1121	1.0070	0.0958	5.1290	0.0550
T27	0.0054	0.0087	0.0005	0.0239	0.0005	0.0005	0.0045	0.0088
TP7	0.1325	0.0021	2.5410	0.0036	0.1102	0.0169	2.4150	0.0021
TP8	0.9658	0.0045	4.0030	0.0654	0.6541	0.0548	3.0140	0.0365
TP9	1.3650	0.0098	9.3350	0.0162	1.9870	0.0025	10.020	0.0085

2.2 修复材料对菠菜吸收积累重金属镉、镍的影响

由表 1 可知,检测结果表明不施肥情况下在酸性壤土(T1、TP1、TP2、TP3)中,原土中植株重金属镉含量在 0.004 1~2.415 0 μg·kg⁻¹,镍含量 0.001 7~7.659 0 μg·kg⁻¹,相对应的修复土壤中植株镉含量在 0.002 1~0.010 2 μg·kg⁻¹,镍含量在 0.001 5~0.098 7 μg·kg⁻¹;在碱性壤土(T14、TP4、TP5、TP6)中,原土中植株重金属镉含在 0.005 6~1.326 0 μg·kg⁻¹,镍含量在 0.051 3~5.026 0 μg·kg⁻¹,相对应的修复土壤中植株镉含量在 0.007 8~0.090 6 μg·kg⁻¹,镍含量在 0.006 2~0.112 1 μg·kg⁻¹;在碱性砂壤土(T27、TP7、TP8、TP9)中,原土中植株重金属镉含量在 0.005 4~1.365 0 μg·kg⁻¹,镍含量在 0.000 5~9.335 0 μg·kg⁻¹,相对应的修复土壤中植株镉含量在 0.008 7~0.009 8 μg·kg⁻¹,镍含量在 0.023 9~0.016 2 μg·kg⁻¹。植株中重金属含量高低与土壤中重金属含量呈正相关;修复土壤中植物重金属含量相对低于对照土壤中重金属含量;修复材料抑制了植株对重金属元素镉、镍的吸收与积累。

施肥条件下,原土中植株中重金属元素镉、镍含量也与土壤重金属含量高低呈正相关,修复土

壤的植株中重金属镉、镍检出量极低,分析原因,一是土壤中加入有机肥改善了土壤中物理化学性状,提高了吸附材料的吸附效果,二是施肥条件下植株生长情况良好,生物量增加,因为检测样是鲜样,降低了单位质量植株中的重金属含量(表 1)。

2.3 修复材料对菠菜生长情况的影响

在不施肥条件下,在低浓度镉、镍重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的鲜量差别不大(表 2);在高浓度镉、镍重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的鲜量存在差异,修复土壤(镉污染)中植株鲜量比对照土壤

中植株的鲜量增加 1.72%~33.30%,修复土壤(镍污染)中植株鲜量比对照土壤中植株的生物量增加 15.80%~48.90%(表 3)。

在施肥条件下,在低浓度重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的鲜量差别不大(表 2);在高浓度重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的鲜量存在差异,修复土壤(镉污染)中植株鲜量比对照土壤中植株的鲜量增加 3.03%~36.50%,修复土壤(镍污染)中植株鲜量比对照土壤中植株的鲜量增加 2.99%~38.20%(表 3)。

表 2 低浓度修复土壤中植株与对照土壤中植株的鲜量的增加比率

Table 2 The ratio of increasing fresh weight of plants in low concentration remediation soil and control soil

土壤 Soil	T1	TP1	T14	TP4	T27	TP7
不施肥条件修复镉	10.60	6.56	15.80	3.17	6.67	5.77
不施肥条件修复镍	8.20	9.23	32.70	1.82	6.52	3.92
施肥条件修复镉	5.13	12.20	2.82	4.41	14.80	1.41
施肥条件修复镍	5.33	1.45	1.39	4.41	3.85	8.70

表 3 高浓度修复土壤中植株与对照土壤中植株的鲜量的增加比率

Table 3 The increasing ratio of fresh weight of plants in high concentration remediation soil and control soil

土壤 Soil	TP2	TP3	TP5	TP6	TP8	TP9
不施肥条件修复镉	20.00	31.30	33.30	1.72	10.80	17.10
不施肥条件修复镍	15.80	21.20	48.90	24.40	21.40	15.90
施肥条件修复镉	9.23	16.20	9.23	3.03	9.23	36.50
施肥条件修复镍	7.81	2.99	11.30	17.20	17.70	38.20

不施肥条件下,修复土壤中的植物鲜量略高于对照土壤中的植物鲜量(图 13、图 14);施

肥条件下,修复土壤中的植物鲜量 and 对照土壤中的植物鲜量差异不大(图 15、图 16)。

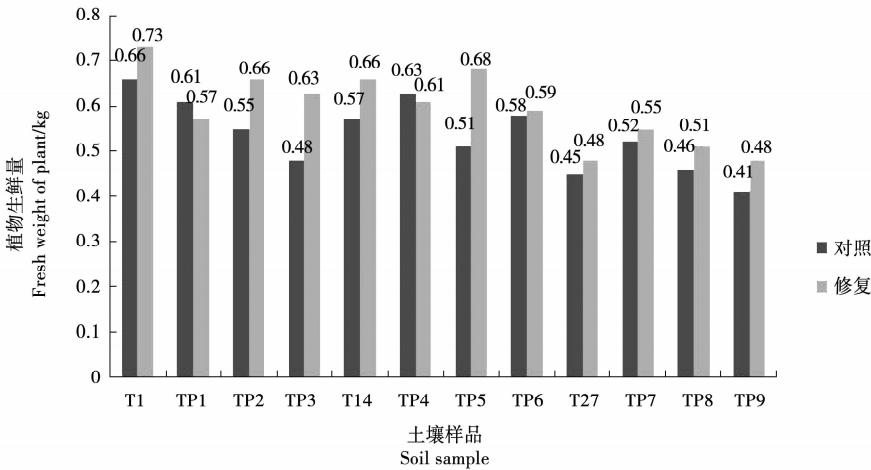


图 13 不施肥条件下重金属镉对植物鲜量的影响

Fig. 13 Effects of heavy metal cadmium on fresh biomass of plants without fertilization

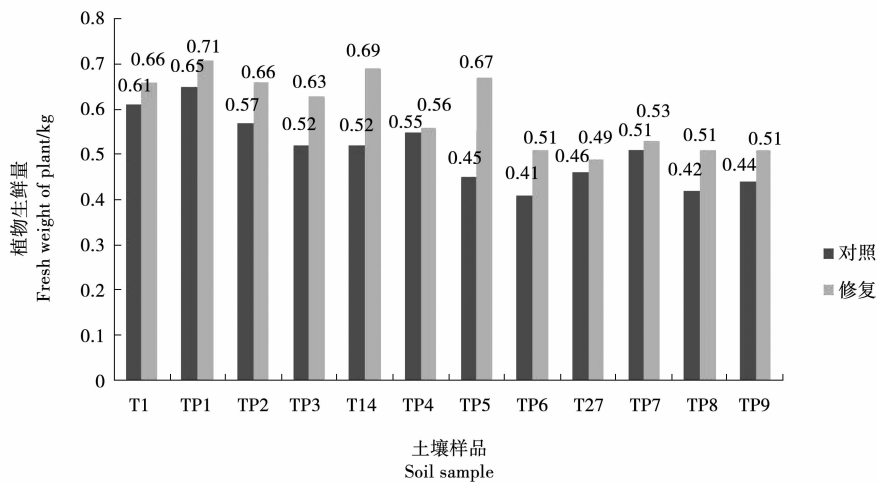


图 14 不施肥条件下重金属镍对植物鲜量的影响

Fig. 14 Effects of heavy metal nickel on fresh biomass of plants without fertilization

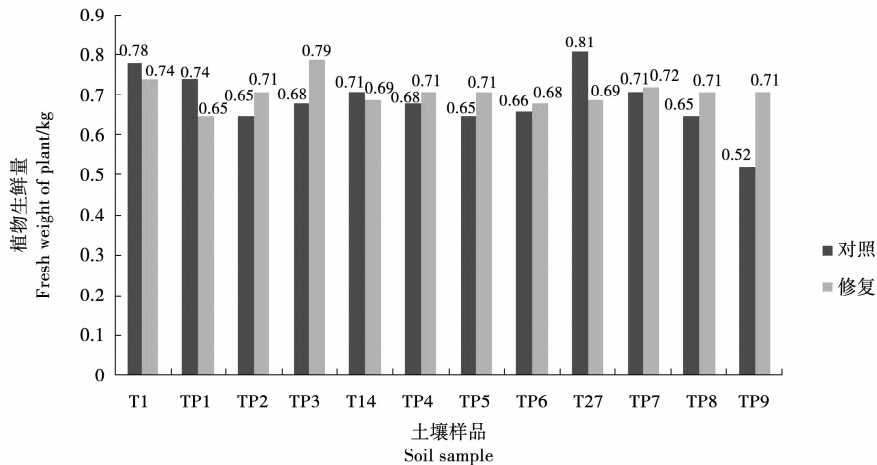


图 15 施肥条件下重金属镉对植物鲜量的影响

Fig. 15 Effects of heavy metal cadmium on fresh biomass of plants under fertilization conditions

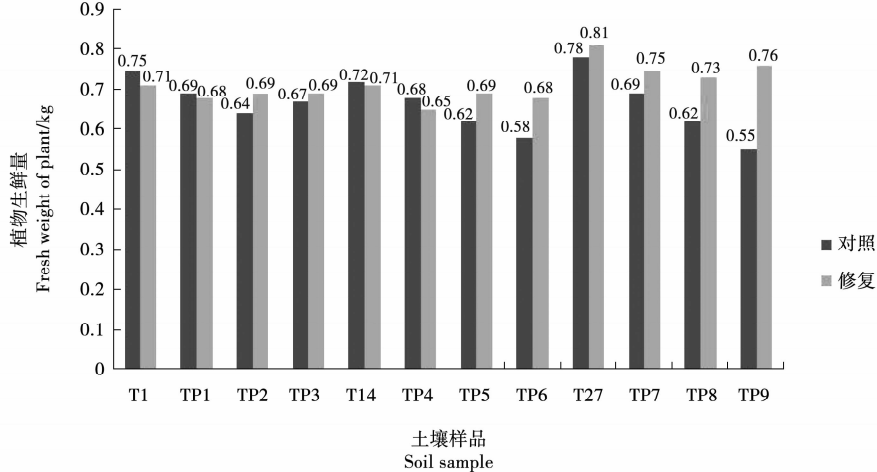


图 16 施肥条件下重金属镍对植物鲜量的影响

Fig. 16 Effects of heavy metal nickel on fresh biomass of plants under fertilization conditions

3 结论

盆栽试验结果表明:在施肥条件下吸附材料的吸附效果高于不施肥条件下;加入 1.2% 吸附材料,土壤重金属镉、镍浓度相当时,在碱性砂壤土中吸附材料对镉、镍元素吸附率高于在碱性壤土的吸附率;加入 1.2% 吸附材料,土壤重金属镉、镍浓度相当时,在酸性壤土中吸附材料对镉、镍元素吸附率高于在碱性壤土中的吸附率;植株中重金属含量高低与土壤中重金属含量呈正相关;修复土壤中植物重金属含量相对低于对照土壤中重金属含量,修复材料抑制了植株对重金属元素镉、镍的吸收与积累;在低浓度镉、镍重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的生物量差别不大;在高浓度镉、镍重金属含量土壤中,修复土壤与对照土壤中植株的生物量存在差异。

参考文献:

[1] 李婧,周艳文,陈森,等.我国土壤镉污染现状、危害及其治理方法综述[J].安徽农学通报,2015,21(24):104-107.

[2] 聂静茹,马友华,徐露露,等.我国《土壤环境质量标准》中重金属污染相关问题探讨[J].农业资源与环境学报,2013,30(6):44-49.

[3] 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.

[4] 栗婷,黄东亚,闫金婷,等.土壤质地、酸碱度对重金属吸附材料效果的影响[J].黑龙江农业科学,2018(7):43-46.

[5] 赵保卫,王海峰,徐瑾,等.不同淋洗剂对镍污染砂土的柱淋洗研究[J].环境科学与管理,2010,35(6):91-94.

[6] 钟良考.农产品产地土壤重金属污染形势及检测技术浅析[J].南方农业,2017,11(13):62-64.

[7] 庞荣丽,王瑞萍,谢汉忠,等.农业土壤中镉污染现状及污染途径分析[J].天津农业科学,2016,22(12):87-91.

[8] 王姣.陕西潼关重金属污染土壤的修复及应用潜力研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.

Experiment on Pot Plant of Heavy Metal Adsorption
Material Repairing Heavy Metal Contaminated Soil

HUANG Dong-ya,LIU Jun,REN Xiao-jiao,YANG Yong

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

Abstract: In order to determine the adsorption effect of heavy metal adsorbents in pot experiment,through comparative analysis,the changes of Cd and Ni contents in soil,crops and their effects on crop biomass were studied under the condition of fertilization and no fertilization. The results showed that the adsorption materials had a good adsorption effect on Cd and Ni in soil,and the effect was better under the condition of fertilization. When the same amount of adsorption material was added, the concentration of Cd and Ni in soil was equal, the adsorption rate of alkaline sandy loam soil was higher than that of alkaline loam soil, and that of acid loam soil was higher than that of alkaline loam soil. The content of heavy metals in the plant was positively correlated with the content of heavy metals in the soil; in the soil with low concentration of cadmium and nickel, there was no significant difference in the biomass of the plants between the restored soil and the control soil; in the soil with high concentration of cadmium and nickel, there was a significant difference in the biomass of the plants between the restored soil and the control soil.

Keywords: fertilization; soil heavy metal concentrations; adsorption effect

欢 迎 投 稿