



# 土壤质地和酸碱度对重金属吸附材料效果的影响

栗 婷,黄东亚,闫金婷,蔡 欣,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:**为研究促进新型吸附材料的应用推广,选用 30 个土壤样品,进行质地及酸碱性分析;采用壤土、砂壤土及酸性壤土、碱性壤土对比分析土壤质地、酸碱度对重金属吸附材料对镉、镍元素吸附效果的影响。结果表明:吸附材料在砂壤土中对镉、镍元素吸附效果明显高于在壤土中对镉、镍元素吸附效果;酸性壤土中吸附材料对镉、镍元素吸附效果明显高于在碱性壤土中对镉、镍元素吸附效果。

**关键词:**土壤质地;土壤酸碱度;吸附材料;吸附效果

重金属在土壤中不易随水移动,不易微生物分解,但是可以通过植物吸收、富集进入人体,对人类健康带来很大危害<sup>[1]</sup>。根据全国土壤污染状况调查,部分地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量不容乐观。重金属污染严重影响了农田生态系统的食链安全、人体健康和经济、社会的可持续发展。修复土壤重金属污染技术研究具有重要的理论意义和现实意义。

目前,我国受重金属污染的耕地面积达 2 000 多万  $\text{hm}^2$ ,每年产出重金属污染的粮食约 1 200 万 t,经济损失至少 200 亿元。国家环保部数据显示,2009 年重金属污染事件致使 4 035 人血铅超标、182 人镉超标,引发 32 起群体性事件<sup>[2-3]</sup>,基于土壤污染的严重性,土壤污染防治与修复技术研究也发展迅速。目前国内外重金属污染土壤修复技术主要分两大类:一是从原地去除类,如电镀镍修复、植物修复法、客土法等,由于有成本高、实施慢及限制因素多、容易造成二次污染等局限性,使该类修复技术的应用有限;二是原位修复类,如原位化学固定法、微生物修复等。原位修复技术由于具有成本低、易实施及修复效果好的特点被国内外广泛认可并成为主流修复方向,寻求环境友好型的高效重金属钝化(络合)剂成为近 10 年来国内外重金属钝化研究新的热点之一<sup>[4]</sup>。

本试验中的新型吸附材料具备良好的化学稳定性和机械物理性能、价格便宜且稳定、原料来源广泛、使用工序简单、应用成本低、可循环使用等特点。通过土培试验研究重金属吸附材料对不同质

地土壤土壤中重金属镉、镍离子吸附效果研究,旨在为金属吸附材料的有效应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 标准溶液 100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Cd}^{2+}$  标准储备液及 100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ni}^{2+}$  标准储备液,均为有证标准物质,由农业部环境保护科研监测所研制。

1.1.2 吸附材料 是以硅胶为无机刚性骨架键合聚合胺脂类有机物构成的一种新型有机/无机复合功能材料。

1.1.3 供试土壤 来源土壤 3 种,分别采自陕西省周知县某地,共 10 个样品,编号为 T1~T10,属于酸性壤土;采自陕西省高陵县某地,共 10 个样品,编号为 T11~T20,属于碱性壤土;采自陕西省西安市北郊渭河湿地某地,共 10 个样品,编号为 T21~T30,属于砂壤土,为了避免野外实地试验土壤的空间异质性及野外试验较多的不可控因素对试验结果的影响,本研究采用室内模拟的方法进行试验,试验所用土壤采自地表 40 cm 以下,以减少耕层土壤有机质等的影响,土样自然风干后,过 2 mm 筛备用。

1.1.4 塑料盆 规格为直径 10 cm,高 20 cm。

1.1.5 原子吸收分光光度计 美国 VARIAN 公司,型号 EL06073267;酸度计:METTLER TOLEDO 公司,型号 FE28;土壤比重计:刻度 0~60  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  1 000 mL 量筒;50 和 250 mL 烧杯;直径 6 cm,孔径 0.25 mm 洗筛;搅拌棒;玻璃棒;温度计;天平;光谱 pH 试纸等。

1.1.6 检测样品制备 采集盆中土样,风干过 200 目筛。

### 1.2 方法

1.2.1 土壤样品基本性状检测 检测样品 pH、

收稿日期:2018-03-19

基金项目:西安市科技创新支持计划资助项目[NC1504(5)]。

第一作者简介:栗婷(1982-),女,硕士,农艺师,从事农产品质量安全检测工作。E-mail:109431624@qq.com。

通讯作者:杨雍(1982-),男,学士,高级农艺师,从事农产品质量安全检测工作。E-mail:11056189@qq.com。

总镉、总镍、交换态镉、镍及土壤机械组成。总镉、总镍的检测标准分别为 GB/T17141-1997, GB/T17139-1997;交换态镉,镍以 pH 7 的 1 mol·L<sup>-1</sup> MgCl<sub>2</sub>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 pH 检测标准为 NY/T1121.3-2006;土壤机械组成的测定依据 NY/T1121.3-2006。检测中用到的仪器及计量玻璃器皿均经过计量单位计量检定,实验室用水为超纯水。

1.2.2 吸附材料对不同质地土壤中镉、镍的吸附效果 供试土样 T1~T30,加入重金属吸附材料的质量为土样质量的 0.9%。取混合均匀的供试土样 1.5 kg,加入重金属吸附材料 13.5 g,充分混匀,装到塑料盆中,加水至土表始终保持 1 cm 水层,放置 7 d。每个处理做 3 个平行。土样风干

过 200 目筛,进行交换态镉,镍的检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤样品基本理化性状检测

本试验中的 30 个土壤样品, T1 至 T20 1.00~0.05 mm 土壤颗粒占到 13%~17%, 0.05~0.01 mm 土壤颗粒占到 33%~36%, <0.01 mm土壤颗粒占到 6%~10%,用中国制土壤分类归为壤土, T21 至 T30 1.00~0.05 mm 土壤颗粒占到 36%~70%, 0.05~0.01 mm 土壤颗粒占到 10%~40%, <0.01 mm 土壤颗粒占到 7%~10%,归为砂壤土。壤土 T1 至 T10 的 pH 范围在 6.55~6.86,偏酸性;壤土 T11 至 T20 的 pH 范围在 7.65~8.13,偏碱性;砂壤土 T21 至 T30 的 pH 范围在 7.11~7.69,偏中性(表 1)。

表 1 土壤 T1~T30 的理化性质及总镉、镍浓度

Table 1 Physico-chemical properties of soil T1-T30 and the concentration of total cadmium and nickel

土壤编号 Soil No.	pH	粘粒/% Viscose			Cd 总浓度/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total concentration of Cd	Ni 总浓度/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total concentration of Ni	土壤质地 Soil texture
		1.00~0.05 mm	0.05~0.01 mm	<0.01 mm			
T1	6.64	16.32	34.01	8.97	0.1419	30.24	酸性壤土
T2	6.55	15.65	35.11	7.21	0.2621	17.11	酸性壤土
T3	6.73	14.23	34.55	8.02	0.0980	17.56	酸性壤土
T4	6.81	15.98	33.69	7.23	0.3014	19.21	酸性壤土
T5	6.79	15.99	34.89	9.25	0.1602	20.31	酸性壤土
T6	6.77	14.02	35.99	8.02	0.2198	18.96	酸性壤土
T7	6.71	16.56	33.87	7.21	0.0892	15.23	酸性壤土
T8	6.86	15.00	35.23	6.99	0.0767	19.28	酸性壤土
T9	6.73	15.87	33.78	10.26	0.1928	16.32	酸性壤土
T10	6.72	14.78	35.36	7.21	0.2239	18.65	酸性壤土
T11	7.91	15.30	35.85	9.21	0.1028	30.24	碱性壤土
T12	7.65	14.21	34.85	8.65	0.2357	21.33	碱性壤土
T13	8.00	14.56	35.62	10.23	0.2587	19.36	碱性壤土
T14	7.96	13.52	36.21	5.54	0.1458	26.35	碱性壤土
T15	8.02	13.52	34.52	9.65	0.2817	25.63	碱性壤土
T16	7.96	15.23	35.91	6.53	0.1205	17.39	碱性壤土
T17	8.05	14.23	33.21	7.89	0.2036	19.36	碱性壤土
T18	8.06	13.56	34.21	5.23	0.2098	30.20	碱性壤土
T19	8.13	14.10	34.21	6.98	0.3021	16.24	碱性壤土
T20	8.06	13.23	33.96	7.11	0.1981	20.91	碱性壤土
T21	7.55	46.21	30.20	7.23	0.3024	30.26	砂壤土
T22	7.69	38.91	37.80	8.63	0.2987	25.69	砂壤土
T23	7.12	40.32	36.21	9.23	0.2544	39.22	砂壤土
T24	7.35	54.21	22.30	8.62	0.1954	20.99	砂壤土
T25	7.11	36.23	39.20	10.21	0.2365	25.36	砂壤土
T26	7.85	38.36	37.80	7.32	0.5476	29.63	砂壤土
T27	7.22	67.21	9.67	9.63	0.5214	30.10	砂壤土
T28	7.31	70.90	11.28	7.96	0.2369	22.96	砂壤土
T29	7.79	35.87	39.21	7.01	0.1269	26.91	砂壤土
T30	7.54	39.65	38.54	8.91	0.3020	32.65	砂壤土

2.2 吸附材料对不同质地、酸碱度土壤中镉、镍的吸附效果

T1~T10 质地为壤土,pH 在 6.55~6.86,偏酸性,加入 0.9%吸附材料,对镉元素吸附率为 61.2%~69.3%,对镍元素吸附率为 61.3%~67.8%;T11~T20 质地为壤土,pH 在 7.65~8.13,偏碱性,加入 0.9%吸附材料,对镉元素吸附率为 55.2%~67.2%,对镍元素吸附率为 51.2%~60.3%;T21~T30 质地为砂壤土,pH 在 7.11~7.69,偏中性,加入 0.9%吸附材料吸附率为 66.4%~72.4%,对镍元素吸附为 68.7%~73.5%(表 2)。

表 2 土壤 T1~T30 吸附前后水溶性镉镍浓度及吸附率

Table 2 Water soluble cadmium nickel concentration and adsorption rate before and after T1-T30 adsorption

土壤编号 Soil No.	pH	Cd/Ni 吸附前浓度/ (mg•kg <sup>-1</sup> ) Pre-adsorption concentration of Cd/Ni	Cd/Ni 吸附后浓度/ (mg•kg <sup>-1</sup> ) Adsorption concentration of Cd/Ni	Cd/Ni 吸附率/% Absorption rate of Cd/Ni
T1	6.64	0.0102	0.0035	65.9
		1.9875	0.6976	64.9
T2	6.55	0.0095	0.0031	67.8
		0.8023	0.2977	62.9
T3	6.73	0.0085	0.0028	66.9
		0.7785	0.2694	65.4
T4	6.81	0.0113	0.0043	62.1
		1.0113	0.3438	66.0
T5	6.79	0.0097	0.0033	65.8
		0.5391	0.2043	62.1
T6	6.77	0.0103	0.0037	64.1
		1.2589	0.4557	63.8
T7	6.71	0.0068	0.0021	69.3
		0.5647	0.1847	67.3
T8	6.86	0.0089	0.0028	68.7
		2.0124	0.7788	61.3
T9	6.73	0.01087	0.0037	65.8
		1.2257	0.3947	67.8
T10	6.72	0.0098	0.0038	61.2
		1.7541	0.5876	66.5
T11	7.91	0.0064	0.0025	61.3
		2.0061	0.8967	55.3

续表 2

土壤编号 Soil No.	pH	Cd/Ni 吸附前浓度/ (mg•kg <sup>-1</sup> ) Pre-adsorption concentration of Cd/Ni	Cd/Ni 吸附后浓度/ (mg•kg <sup>-1</sup> ) Adsorption concentration of Cd/Ni	Cd/Ni 吸附率/% Absorption rate of Cd/Ni
T12	7.65	0.0089	0.0033	63.1
		0.9923	0.4842	51.2
T13	8.00	0.0025	0.0011	57.1
		1.1249	0.5366	52.3
T14	7.96	0.0203	0.0064	65.3
		1.4587	0.4624	60.3
T15	8.02	0.0061	0.0027	55.2
		0.9921	0.4246	57.2
T16	7.96	0.0075	0.0030	59.6
		1.0585	0.4308	59.3
T17	8.05	0.0032	0.0013	58.2
		1.5324	0.6712	56.2
T18	8.06	0.0018	0.0006	65.3
		0.8745	0.4101	53.1
T19	8.13	0.0052	0.0020	62.3
		1.5487	0.6613	57.3
T20	8.06	0.0076	0.0036	67.2
		1.6894	0.6724	60.2
T21	7.55	0.0241	0.0072	70.1
		2.9871	0.8334	72.1
T22	7.69	0.0201	0.0058	71.2
		2.4587	0.7573	69.2
T23	7.12	0.0187	0.0056	69.8
		1.9954	0.5946	70.2
T24	7.35	0.0176	0.0049	72.3
		1.7625	0.4847	72.5
T25	7.11	0.0169	0.0054	68.3
		1.8211	0.5609	69.2
T26	7.85	0.0378	0.0104	72.4
		2.5784	0.6833	73.5
T27	7.22	0.0354	0.0116	67.3
		2.1214	0.6598	68.9
T28	7.31	0.0185	0.0055	70.1
		1.7543	0.5175	70.5
T29	7.79	0.0114	0.0038	66.4
		2.0114	0.6296	68.7
T30	7.54	0.0208	0.0064	69.1
		1.8569	0.5552	70.1

由表 3 和表 4 可以看出,T1~T10、T21~

T30 和 T11~T20、T21~T30 这两组结果的 *F* 分别为 14.083 34 和 35.171 19 分别都大于其相同临界值 4.413873,同时 *P* 分别为 0.001 457 和 1.3E-05,都小于显著性水平 0.05; T1~T10、T21~T30 和这两组结果的 *F* 分别为 42.1753 和

152.0017,分别都大于其临界值 4.413 873,同时 *P* 分别为 4.16E-06 和 3.26E-10,都小于显著性水平 0.05。由此可以得出,不同土壤质地、酸碱度对重金属吸附材料对镉和镍吸附率有显著性影响。

表 3 镉吸附率差异显著性分析

Table 3 Significant difference analysis of cadmium adsorption rate							
单因素方差分析 One-way analysis of variance	差异源 Difference source	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i> crit
T1~T10、T21~T30	组间	0.007762	1	0.007762	14.08334	0.001457	4.413873
	组内	0.00992	18	0.000551			
	总计	0.017682	19				
T11~T20、T21~T30	组间	0.033949	1	0.033949	35.17119	1.3E-05	4.413873
	组内	0.017374	18	0.000965			
	总计	0.051323	19				

表 4 镍吸附率差异显著性分析

Table 4 Significant difference source analysis of nickel adsorption rate							
单因素方差分析 One-way analysis of variance	差异源 Difference source	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i> crit
T1~T10、T21~T30	组间	0.016188	1	0.016188	42.1753	4.16E-06	4.413873
	组内	0.006909	18	0.000384			
	总计	0.023097	19				
T11~T20、T21~T30	组间	0.101531	1	0.101531	152.0017	3.26E-10	4.413873
	组内	0.012023	18	0.000668			
	总计	0.113555	19				

3 结论与讨论

土壤质地是根据土壤的颗粒组成划分土壤类型。一般分为砂土、壤土和粘土。粘粒是土粒中最细的部分,具有极大的比表面积,这些重金属在土壤中主要通过沉淀溶解、氧化还原、吸附解吸、络合、胶体形成等一系列物理化学过程进行迁移转化,最终以一种或多种形态长期驻留在环境中,造成永久性的潜在危害<sup>[5-6]</sup>。质地粘重的土壤,体积细微的粘粒含量高,整个土体内土粒比表面积大、吸附能力强,包括重金属在内的物质淋溶程度低;而轻质土壤粗颗粒含量较高,孔隙比粘重土壤粗大,相同土壤结构、含水量和水势梯度条件下,其水力传导度大于粘重土壤<sup>[7-8]</sup>。所以,轻质土壤的水分入渗能力要优于粘重土壤,重金属的迁移性要好一些。在吸附材料处理时,质地是影响吸附效果的重要因素之一,质地越重吸附效果越差。

土壤酸碱度对重金属吸附材料吸附率有显著性影响。pH 是影响新型吸附材料吸附重金属离

子的主要因素,控制着重金属 的吸附-解吸、沉淀-溶解平衡等程。pH<4 不利于吸附,可能原因是颗粒表面更多吸附了 H<sup>+</sup>,占据了重金属离子的位置,表面负电荷的减少大大降低了吸附材料与 Cd 的结合力。pH>5 的弱酸性至弱碱性溶液中,吸附率变大,当 pH=6 时基本达到吸附高峰,pH 太大重金属 Cd 容易生成沉淀。新型吸附材料对 Ni 吸附在较大范围内均具有较高的吸附率,在酸性或中性条件下吸附效果更好,在碱性条件下容易生成 Ni(OH)<sub>2</sub>。吸附材料吸附效果酸性壤土大于碱性壤土。

参考文献:

[1] Wenzel W W,Unterbrunnerr R,Sommer P,et al. Chelate-assisted phytoextraction using canola(*Brassica napus* L.) in outdoors pot and lysismeter experiments[J]. Plant Soil, 2003,249(1):83-91.

[2] Wu G,Kang H B,Zhang X Y,et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils:Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 174(1-3):1-8.



# 不同追肥配比对陕西关中温室辣椒生长的影响

韩晓萍<sup>1</sup>, 胡旭莹<sup>1</sup>, 刘 凌<sup>1</sup>, 孟 延<sup>2</sup>

(1. 富平县农业技术推广中心, 陕西 富平 711700; 2. 渭南市农业科学研究所, 陕西 渭南 714000)

**摘要:**为探究富平辣椒产区适宜的水溶肥追施量,以当地农户常规用量为对照,在辣椒的生长前期、结椒期和盛椒期分别设计了氮、钾肥的减量处理。结果表明:不同阶段的减肥处理辣椒产量和采收数都高于常规追肥量。产量以辣椒生长后期减氮、减钾 30% 的处理(C<sub>3</sub>)最高,采收数以辣椒移栽至开花期减氮 30% 的处理(C<sub>2</sub>)最高;肥料农学效率以 C<sub>3</sub> 处理最高,肥料偏生产力表现为 C<sub>3</sub> 和各阶段都减肥 30% 的 C<sub>4</sub> 处理较高。结合土壤基础状况,建议在辣椒生长前期应稳施氮肥,在结椒至盛椒期应少施钾肥。

**关键词:**辣椒; 温室; 追肥; 生长

陕西是西北农业优势区,也是西北设施蔬菜面积最大的省份<sup>[1]</sup>。截止 2016 年全省设施种植总面积 20 余万 hm<sup>2</sup>,其中日光温室 4.13 万 hm<sup>2</sup>,大中拱棚 9.87 万 hm<sup>2</sup>,小拱棚 5 万 hm<sup>2</sup>,分别占比 22%、52% 及 26%,设施结构分布日趋合理。产业布局也不断优化,尤其是关中地区特色农业凸显,形成了以阎良、灞桥、长安为主的大棚西瓜

甜瓜产区,以大荔、潼关、临渭为主的日光温室蔬菜产区和以兴平、武功为主的时令水果及清水莲藕产区<sup>[2]</sup>。渭南市位于陕西关中平原东部,地处暖温带,四季分明,地势平坦,也是陕西乃至西北地区重要的瓜、果、菜产区和设施农业优势区<sup>[3]</sup>。2016 年全市瓜菜面积 11.33 万 hm<sup>2</sup>,生产效益明显,给当地农民致富、农业增收带来了显著作用<sup>[4]</sup>。

目前在渭南设施农业主产区,除部分旱塬山地水肥管理采用传统“一炮轰”之外,具有灌溉条件的地区利用沟施、微喷灌或者滴灌将水溶肥进

收稿日期:2018-03-13

第一作者简介:韩晓萍(1974-),女,农艺师,从事植物保护与技术推广。E-mail:335680625@qq.com。

- [3] Cai Q, Long M L, Zhu M, et al. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou[J]. China. Environmental Pollution, 2009, 157(11): 3078-3082.
- [4] 樊霆, 叶文玲, 陈海燕, 等. 农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(10): 1727-1736.
- [5] 解文艳, 樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004(5): 537-540.
- [6] 殷飞, 王海娟, 李燕燕, 等. 不同钝化剂对重金属复合污染土

壤的修复效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 438-448.

- [7] 葛楠楠, 石芸, 杨宪龙, 等. 黄土高原不同土壤质地农田土壤碳、氮、磷及团聚体分布特征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1626-1632.
- [8] 游松财, 邸苏闯, 袁晔. 黄土高原地区土壤田间持水量的计算[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 545-552.

## Effects of Soil Texture and Alkali Degree on Adsorption of Heavy Metals

LI Ting, HUANG Dong-ya, YAN Jin-ting, CAI Xin, YANG Yong

(Testing and Monitoring Center of Agricultural Products Quality and Security, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** In order to promote the application and promotion of new adsorbent materials, we selected 30 soil samples for texture and acid and alkaline analysis. Comparative analysis of loam, sandy loam, acidic loam and alkaline loam was used to study the influence of soil texture and pH on the adsorption effect of heavy metal to cadmium and nickel. The results showed that the adsorption effect of Cd and Ni in sandy loam was higher than that in loam. The adsorption effect of Cd and Ni on acid soil was higher than that in alkaline soil.

**Keywords:** soil texture; soil pH; adsorption material; adsorption effect