

磺化石墨烯对土壤中镉的异位淋脱修复效果^①

甘信宏^{1,2}, 滕 应^{1,2*}, 任文杰¹, 杨 敏^{1,3}, 骆永明^{1,2}

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 南京信息工程大学环境科学系, 南京 210044)

摘 要: 土壤异位淋洗技术具有修复速度快、效果好、适用范围广等优势, 在欧美等国家已形成较为完善的法律体系与方法体系。本研究针对 Cd 污染土壤, 以磺化石墨烯(SGO)作为一种淋洗剂, 探讨磺化石墨烯在不同淋脱条件下对 Cd 污染土壤的异位修复效果。结果表明: 磺化石墨烯对土壤中 Cd 的最优淋脱参数为洗脱浓度为 4 000 mg/L, 液土比为 10 : 1, 连续淋洗 4 次, 其土壤中 Cd 的去除率可达 50%。同时还发现磺化石墨烯对不同类型土壤中 Cd 的洗脱效率存在明显差异, 即与土壤黏粒含量、铁铝及其游离态含量、Cd 有效态含量等因素有关。与常见洗脱剂(如 FeCl₃、CaCl₂)相比, 在相同条件下磺化石墨烯洗脱 1 次后, 土壤中 Cd 的去除率达 24.7%, 明显高于 FeCl₃(17.9%)($P < 0.05$)和 CaCl₂(9.1%)($P < 0.01$)。可见, 磺化石墨烯对 Cd 污染土壤具有更好的洗脱修复效果。

关键词: 磺化石墨烯; 镉; 土壤淋洗; 洗脱参数

中图分类号: X53 文献标识码: A

我国土壤重金属污染特别是 Cd 污染十分突出^[1-2]。因其易受人类活动的影响, 致使在土壤中累积^[4]且对生物与人体健康具有显著的毒副作用^[5], 而成为土壤重金属污染中最受关注的元素之一^[6]。如何有效治理和修复 Cd 污染土壤成为当前我国亟需解决的重要环保科技问题^[7]。在污染土壤修复技术中, 土壤淋洗技术具有效果好、周期短等特点^[7-8], 该技术已应用于实际治理工程中^[7-9], 尤其是对场地土壤重金属污染^[10]。化学淋洗修复则是利用化学试剂的解吸和溶解作用把重金属从土壤固相转移到液相中, 将重金属从土壤中置换出来^[11-12]。而此技术运用的关键往往是针对特定污染场地土壤, 筛选出环境友好的特殊表面淋洗剂, 以及运用相关物理强化增效手段, 达到对污染物的高效去除^[13-14]。

石墨烯(graphene)是当前研究最热的碳纳米材料^[15], 由于其具有高的比表面积(约 2 630 m²/g)^[16]、优异的导热性能(3 000 W/(m·K))^[17]、优良的导电率^[18]和易改性的表面化学等特性^[19], 在能源、材料、环保等领域具有广阔的应用前景。在环境修复方面, Zeng 等^[20]发现在 30 min 内, 采用 Fe₃O₄ 与氧化石墨烯的复合材料能有效去除水中痕量的 PCB-28; Pavagadhi 等^[21]

采用氧化石墨烯吸附能够快速有效地去除水中的微藻素-LR 和微藻素-RR, 去除效果明显高于市售活性炭。而对石墨烯进行磺化处理^[22], 可以提高其分散性, 并保留其原有性质, 使之更有利于在水溶液或有机溶液体系中表现出优良的物理化学性质。Yi 和 Chen^[23]发现在水环境中磺化石墨烯(SGO)对一些重金属阳离子和 PAHs 等有机物有强烈的吸附作用, 能够快速去除水中污染物。然而, 关于 SGO 对于污染土壤的修复等相关的研究尚未见报道。因此, 研究 SGO 对污染土壤中重金属 Cd 的洗脱效果, 对研发污染场地土壤修复药剂和技术以及石墨烯材料应用研究领域的拓展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤分别为浙江富阳稻田表层土、贵州万山矿区表层土和湖南石门农田表层土, 风干后备用。供试土壤类型、基本理化性质及 Cd 含量见表 1。

1.2 仪器与试剂

试剂包括: 硝酸(优级纯)、盐酸(优级纯)、硝酸(分析纯), 购自南京化学试剂有限公司; 无水氯化钙(分

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA06A204, 2007AA061001)和中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-EW-ZY-005)资助。

* 通讯作者(yteng@issas.ac.cn)

作者简介: 甘信宏(1988—), 男, 山东枣庄人, 博士研究生, 主要从事土壤污染与修复研究。E-mail: ganxinhong12@mails.ucas.ac.cn

表 1 供试土壤类型以及基本理化性质
Table 1 Soil types and soil physicochemical properties

采样地点	土壤系统分类 ^[24]	土壤基本理化性质 ^[25]						
		Cd (mg/kg)	pH	CEC (cmol/kg)	有机碳 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	碱解氮 (mg/kg)
浙江富阳	普通筒育水耕人为土	17.22 ± 0.31	7.74	18.9	28.4	8.5	108.0	36.8
湖南石门	黏化湿润富铁土	0.47 ± 0.06	5.2	9.0	24.8	17.5	96.7	117.9
贵州万山	富铝常湿富铁土	1.42 ± 0.22	6.9	16.7	32.1	20.7	190.0	137.6

析纯), 购自国药集团化学试剂有限公司; 六水三氯化铁(分析纯), 购自天津科密欧化学试剂有限公司; 土壤成分分析标准物质 GBW07429(GSS-15), 购自地球物理地球化学勘查研究所。

仪器包括: 高压罐(附带聚四氟乙烯坩埚)^[26]、50 ml 容量瓶、15 ml 塑料离心管、原子吸收分光光度计 [Varian SpectrAA220FS (火焰)、220Z (石墨炉)]、低速离心机(SC-3610, 安徽 USTC Zonkia 科技仪器有限公司)、超声波清洗器(KQ-600VDB, 昆山市超声仪器有限公司)、冷冻干燥机 FreeZone 2.5 Liter Freeze Dry Systems (Labconco Corp. USA)、超纯水仪 (Mili-Q Academic, 美国 MILIPORE 公司)。

1.3 试验设计

1) 选取 0、250、500、1 000、2 000、4 000、8 000 mg/L 等不同浓度的 SGO 在相同处理下以 150 r/min 速度振荡淋洗 Cd 污染土壤(采自浙江富阳)24 h(液土比为 10:1), 绘制淋洗 Cd 去除率与淋洗剂浓度曲线, 确定最佳 SGO 淋洗浓度。

再用上述最佳淋洗浓度的 SGO 淋洗液 25、50、100 ml 分别洗脱 5 g Cd 污染土壤(采自浙江富阳)(参照李世业和成杰民^[27]的研究, 选定液土比分别为 5:1、10:1、20:1), 测定其 Cd 的去除率, 确定最佳液土比。

2) 根据设计(1)的试验结果, 选取最佳浓度和液土比对 Cd 污染土壤(采自浙江富阳)分别进行 1、2、3、4 次淋洗, 测定淋洗 Cd 的效果, 得出最佳洗脱次数。

3) 在设计(1)的最佳淋洗浓度与液土比下, SGO 对 Cd 污染土壤(采自浙江富阳)淋洗 1 次后的 Cd 去除率同目前常见的淋洗剂 FeCl₃、CaCl₂ 淋洗效果的比较。

4) 在设计(1)的最佳淋洗浓度与液土比下, 实验拟用 SGO 淋洗剂分别对浙江富阳稻田土、贵州万山矿山土、湖南石门农田土淋洗 1 次, 研究不同土壤对 SGO 洗脱 Cd 污染土壤的影响, 以及相关的影响因素。

1.4 淋洗方法

称取 5 g 供试土壤于 100 ml 玻璃离心管中, 按一定的液固比加入适量的淋洗液, 拧紧管塞超声(超声频率 80 kHz, 功率 600 W)淋洗 30 min 后, 置于振荡

机(150 r/min)上振荡淋洗 24 h。振荡完毕后经离心机(离心力 716 ×g)离心 5 min 后弃去上清液, 冷冻干燥后待测定。

1.5 土壤中 Cd 的测定

称取 0.2 g 土壤样品于聚四氟乙烯坩埚中, 添加 HCl-HNO₃(5 ml:5 ml), 置于高压罐中固定^[28], 先冷消化 30 min 后, 于 105 °C 烘箱中消解 6 h, 然后于电热板上赶酸至约 1 ml, 定容至 13 ml, 经 0.45 μm 滤膜后上机测定。

1.6 数据整理与分析

利用 Excel 2010 与 SPSS 19.0 进行数据整理与统计, 采用 Sigmaplot 12.0 对数据进行作图分析。

2 结果与讨论

2.1 不同浓度 SGO 对污染土壤中 Cd 去除率的影响

不同浓度 SGO 对供试浙江富阳污染土壤中 Cd 的去除率如图 1 所示。由图 1 可以看出, SGO 浓度低于 4 000 mg/L 时, 随 SGO 浓度的增加, 土壤中 Cd 的去除率明显增加。SGO 浓度小于 500 mg/L 时的去除率的增加率不及浓度 1 000 ~ 2 000 mg/L 时, 即 SGO 低浓度时去除率增速较慢。当 SGO 淋洗液浓度为 8 000 mg/L 时, 土壤中 Cd 的去除率可达 24.8%, 而与其浓度 4 000 mg/L 相比, 无明显差异($P>0.05$)。故当 SGO 淋洗液浓度达到 4 000 mg/L 时, 再增加淋

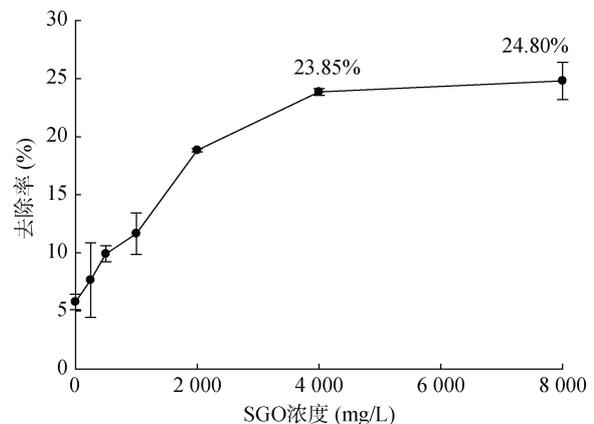


图 1 不同浓度 SGO 条件下污染土壤中 Cd 的去除率
Fig. 1 Removal rates of Cd in contaminated soils under different concentrations of SGO

洗剂的浓度^[29],去除率也不会明显增加。由此确立 4 000 mg/L 为最佳的淋洗浓度。

2.2 不同液土比对污染土壤中 Cd 去除率的影响

液土比是污染土壤洗脱修复的关键参数之一,其关系到淋洗所需处理时间和处理成本以及产生的废水量^[30]。在同等淋洗剂浓度下,低的液土比可以减少对土壤理化性质的影响^[31]。如图 2 所示,在液土比为 10:1、20:1 条件下对 Cd 污染土壤洗脱 1 次,土壤中 Cd 的去除率分别达 24.7%、26.8%,二者去除率远高于 5:1 时的去除率($P<0.01$)。因此,在液土比为 20:1 时的去除效果最好,淋洗液越多,对于同等质量的土壤淋洗效果越好。但是,考虑到淋洗剂的成本同时保证足够的淋洗效果,选液土比 10:1 为最佳淋洗参数。

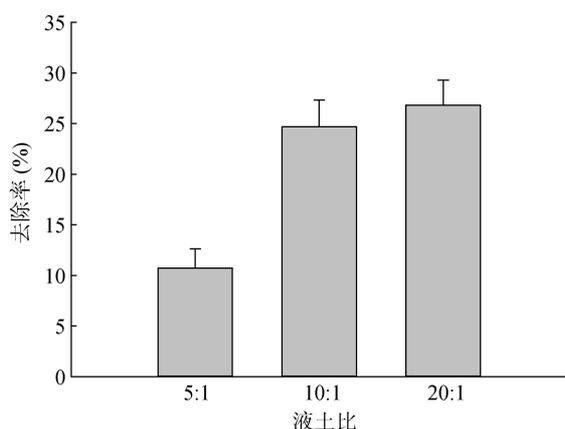


图 2 不同液土比条件下污染土壤中 Cd 的去除率

Fig. 2 Removal rates of Cd in contaminated soils under different ratios of liquid-soil

2.3 不同淋洗次数对污染土壤中 Cd 去除率的影响

选取最优淋洗参数(淋洗剂浓度 4 000 mg/L, 液土比为 10:1)对 Cd 污染土壤进行不同次数的连续淋洗。从图 3 可以看出,随着淋洗次数的增加,土壤中 Cd 的去除率逐渐增加。这是由于随着淋洗次数的增加,土壤中的常量元素也随着减少,与 Cd 的竞争减少;土壤中 Cd 吸附结合平衡被打破,更多的 Cd 解吸出来随淋洗液被淋洗出去;淋洗次数增加,土壤微空隙中的 Cd 等机制共同作用的结果^[32-34]。但每次增加的速率越来越小,淋洗 4、5 次后土壤中 Cd 的去除率分别达 49.76%、52.37%,二者差异并不明显($P>0.05$)。这是由于土壤中 Cd 存在于土壤中的状态不同,一些残渣态或者有机结合态难于被淋洗液洗脱,洗脱的难度逐渐增大^[35],继续增加洗脱的次数,Cd 去除率缓慢增加,甚至不再增加^[36]。

2.4 不同淋洗剂对污染土壤中 Cd 去除率的比较

如图 4 所示 相同淋洗条件下(淋洗剂浓度 4 000 mg/L,

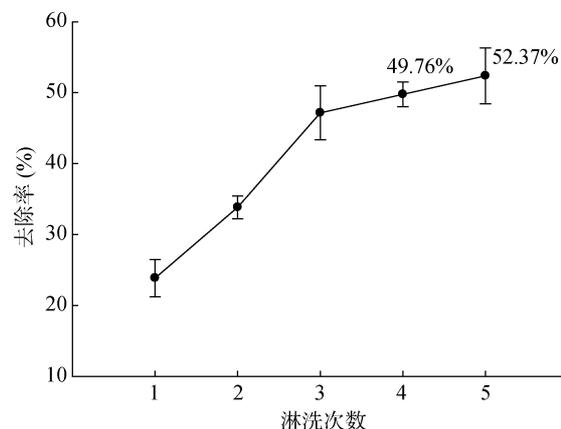


图 3 不同淋洗次数条件下污染土壤中 Cd 的去除率

Fig. 3 Removal rates of Cd in contaminated soils under different elution times

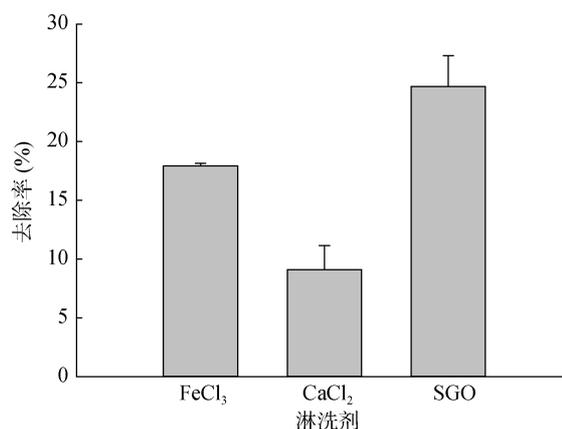


图 4 不同淋洗剂对污染土壤中 Cd 去除率的比较

Fig. 4 Removal rates of Cd in contaminated soils under different eluents

液土比 10:1),不同淋洗剂如 FeCl₃、CaCl₂ 与 SGO 对污染土壤中 Cd 淋洗修复效率存在较大差异,洗脱 1 次后土壤中 Cd 的去除率分别为 17.9%、9.1% 和 24.7%。FeCl₃ 对于土壤 Cd 去除率要高于 CaCl₂,这和陈春乐等^[37]研究结论一致。SGO 对于土壤 Cd 的去除率高于 FeCl₃($P<0.05$),明显高于 CaCl₂($P<0.01$)。这可能是因为 SGO 巨大的比表面积为 Cd 提供更多有效的络合位点,进而能够使土壤中更多的 Cd 被洗脱下来。由此相较于常见的淋洗剂,SGO 对污染土壤中 Cd 的洗脱去除率更高,对 Cd 污染土壤具有更好的淋洗修复效果。

2.5 SGO 对不同土壤中 Cd 去除率的比较

如图 5 所示,SGO 对 3 种供试土壤洗脱 1 次后土壤中 Cd 的去除率分别为 14.49%、24.57%、24.69%,采自贵州万山的土壤 Cd 的去除率最低,采自湖南石门与浙江富阳的土壤 Cd 的去除率差异不大($P>0.05$)。这可能是由于贵州万山土壤为富铝常湿富铁土,其 CEC、游离的 Fe₂O₃ 与 Al₂O₃ 含量较高,会竞争 SGO

对 Cd 的吸附位点^[38-39]；土壤质地黏重，土壤中 Cd 的有效态占比较少，SGO 对于土壤中 Cd 洗脱较为困难^[40]。而湖南石门土壤为黏化湿润富铁土，其发生层次分异明显，表层黏粒含量不大，富铝化程度与 pH 较低，Cd 的有效态较高，其 Cd 的去除率较高。而浙江富阳土壤为简育水耕人为土，CEC、黏粒度与游离铁较低，因而其 Cd 去除率较高。可见，SGO 对土壤 Cd 的去除率与不同类型土壤的质地、CEC、铁铝含量等因素有一定的关系。

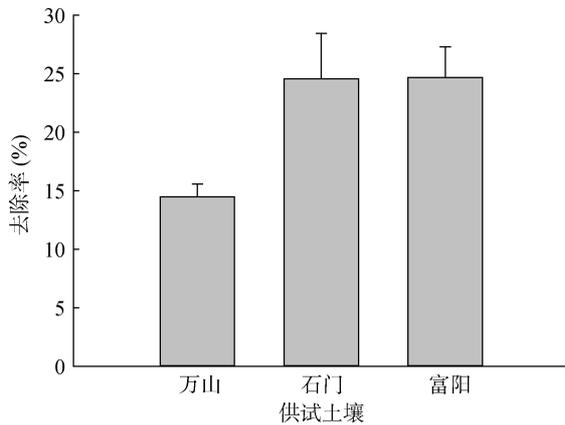


图 5 SGO 对不同土壤中 Cd 去除率的比较

Fig. 5 Removal rates of Cd by SGO in different soil samples

综上，可以推测 SGO 主要是通过以下两方面作用对土壤中 Cd 进行洗脱：在本研究中，当供试 SGO 溶于水中浓度在 800 mg/L 时，测得 SGO 溶液的 pH 为 3.5 左右，再增加 SGO 的浓度，pH 不再降低。这是由于 SGO 表面的磷酸基上的羟基能够电离出 H^+ 进入溶液，进而使溶液显酸性。因此 SGO 能够对 Cd 污染土壤进行酸淋洗^[41]。电离后的磷酸基能够与 Cd^{2+} 进行络合反应，将 Cd^{2+} 稳定在 SGO 上。SGO 拥有巨大的比表面积，为 Cd^{2+} 提供了更多的络合位，从而加大了对土壤中 Cd^{2+} 的作用，将 Cd 从土壤中洗脱出来^[23]。

3 结论

1) 在本研究体系中，4 000 mg/L 为 SGO 最佳淋洗浓度，且 10 : 1 为最优淋洗液土比，随着淋洗次数的增加，去除率变化逐渐减小，连续淋洗 4 次后 Cd 的去除率达到了 50% 以上。

2) 对于 Cd 污染土壤，SGO 的洗脱去除率明显高于常见的淋洗剂($FeCl_3$ 、 $CaCl_2$)，SGO 对于 Cd 污染土壤具有更好的洗脱效果，且其 Cd 去除率与土壤类型有关。

参考文献：

[1] 邓超冰, 李丽和, 王双飞, 等. 典型铅锌矿区水田土壤

重金属污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2297-2301

- [2] 文晓慧, 陈基宁, 蔡昆争. Cd 和 Zn 复合污染对水稻幼苗的毒害作用[C]//第六届中国植物逆境生理学与分子生物学学术研讨会论文摘要汇编. 广东深圳: 中国植物生理学会, 2010
- [3] 董騷睿, 胡文友, 黄标, 等. 南京沿江典型蔬菜生产系统土壤重金属异常的源解析[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1251-1261
- [4] 黄银华, 李铖, 李芳柏, 等. 广州市农业表层土壤镉和铅多尺度空间结构[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1144-1150
- [5] 余春瑰, 张世熔, 姚苹, 等. 四种生物质材料水浸提液淋洗镉污染土壤及其废水处理研究[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1132-1138
- [6] 周云龙, 王艳, 郑床木. 从农产品质量安全看土壤学研究亟待加强的领域[J]. 世界农业, 2008, 355(11): 14-17
- [7] Elgh-Dalgren K, Arwidsson Z, Camdzija A, et al. Laboratory and pilot scale soil washing of PAH and arsenic from a wood preservation site: Changes in concentration and toxicity. *Journal of Hazardous Materials*[J]. 2009, 172(2): 1033-1040
- [8] Rivero-Huguet M, Marshall WD. Scaling up a treatment to simultaneously remove persistent organic pollutants and heavy metals from contaminated soils[J]. *Chemosphere*, 2011, 83(5): 668-673
- [9] Moutsatsou A, Gregou M, Matsas D, et al. Washing as a remediation technology applicable in soils heavily polluted by mining-metallurgical activities[J]. *Chemosphere*, 2006, 63(10): 1632-1640
- [10] Peters RW. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1999, 66(1/2): 151-210
- [11] Griffiths RA. Soil-washing technology and practice[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1995, 40(2): 175-189
- [12] Mercier G, Duchesne J, Blackburn D. Removal of metals from contaminated soils by mineral processing techniques followed by chemical leaching[J]. *Water Air & Soil Pollution*, 2002, 135(1): 105-130
- [13] Ahn C K, Kim YM, Woo SH, et al. Soil washing using various nonionic surfactants and their recovery by selective adsorption with activated carbon[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 154(1/2/3): 153-160
- [14] Wu G, Li X, Coulon F, et al. Recycling of solvent used in a solvent extraction of petroleum hydrocarbons contaminated soil[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 186(1): 533-539
- [15] 任文杰, 滕应. 石墨烯的环境行为及其对环境中污染物迁移归趋的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2723-2732
- [16] Huang Z, Lee HK. Materials-based approaches to minimizing solvent usage in analytical sample preparation[J]. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, 2012, 39(10): 228-244

- [17] Tabani H, Fakhari A R, Shahsavani A, et al. Combination of graphene oxide-based solid phase extraction and electro membrane extraction for the preconcentration of chlorophenoxy acid herbicides in environmental samples[J]. *Journal of Chromatography A*, 2013, 1300(14): 227–235
- [18] Wu J, Chen L, Mao P, et al. Determination of chloramphenicol in aquatic products by graphene-based SPE coupled with HPLC-MS/MS[J]. *Journal of Separation Science*, 2012, 35(24): 3586–3592
- [19] Yang N, Jin Z, Dan W, et al. Two-dimensional graphene bridges enhanced photoinduced charge transport in dye-sensitized solar cells[J]. *Acs Nano*, 2010, 4(2): 887–894
- [20] Zeng S, Gan N, Weideman-Mera R, et al. Enrichment of polychlorinated biphenyl 28 from aqueous solutions using Fe₃O₄ grafted graphene oxide[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2013, 218(3): 108–115
- [21] Pavagadhi S, Tang A L, et al. Removal of microcystin-LR and microcystin-RR by graphene oxide: adsorption and kinetic experiments [J]. *Water Research*, 2013, 47(13): 4621–4629
- [22] Si Y, Samulski ET. Synthesis of water soluble graphene[J]. *Nano Letters*, 2008, 8(6): 1682
- [23] Yi S, Chen B. Sulfonated graphene nanosheets as a superb adsorbent for various environmental pollutants in water[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49(12): 7364–7372
- [24] 龚子同. 中国土壤系统分类[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [25] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [26] 杨冰凡. 白银市城郊重污染农田土壤的化学淋洗修复研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013
- [27] 李世业, 成杰民. 化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究[J]. *土壤学报*, 2015, 52(4): 869–878
- [28] 刘玲, 吴龙华, 李娜, 等. 种植密度对镉锌污染土壤伴矿景天植物修复效率的影响[J]. *环境科学*, 2009, 30(11): 3422–3426
- [29] 董汉英, 仇荣亮, 赵芝灏, 等. 工业废弃地多金属污染土壤组合淋洗修复技术研究[J]. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1126–1133
- [30] 杨冰凡, 胡鹏杰, 李柱, 等. 重金属高污染农田土壤 EDTA 淋洗条件初探[J]. *土壤*, 2013, 45(5): 928–932
- [31] Kedziorek MAM, Dupuy A, Bourg ACM, et al. Leaching of Cd and Pb from a polluted soil during the percolation of EDTA: Laboratory column experiments modeled with a non-equilibrium solubilization step[J]. *Environmental Science & Technology*, 1998, 32(11): 1609–1614
- [32] Polettini A, Pomi R, Rolle E. The effect of operating variables on chelant-assisted remediation of contaminated dredged sediment[J]. *Chemosphere*, 2007, 66(5): 866–877
- [33] Strawn DG, Sparks DL. Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb(II) sorption and desorption in soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(1): 144–156
- [34] Sun B, Zhao F J, Lombi E, et al. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 113(2): 111–120
- [35] 赵达. 磺化硫杂杯芳烃对重金属污染土壤的淋洗修复研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011
- [36] 甘文君, 何跃, 张孝飞, 等. 电镀厂污染土壤重金属形态及淋洗去除效果[J]. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(1): 82–87
- [37] 陈春乐, 王果, 王珺玮. 3 种中性盐与 HCl 复合淋洗剂对 Cd 污染土壤淋洗效果研究[J]. *安全与环境学报*, 2014(5): 205–210
- [38] Finžgar N, Leštan D. Multi-step leaching of Pb and Zn contaminated soils with edta[J]. *Chemosphere*, 2007, 66(5): 824–832
- [39] Palma LD, Ferrantelli P. Copper leaching from a sandy soil: Mechanism and parameters affecting EDTA extraction[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, 122(s1/2): 85–90
- [40] 章明奎, 王美青. 杭州市城市土壤重金属的潜在可淋洗性研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(6): 915–920
- [41] 韩彦山, 卢新卫, 武星. 无机酸对金尾矿中多种重金属的去除效果研究[J]. *山东农业科学*, 2015(10): 54–59

Ex-situ Washing Remediation on Soil Cadmium by Sulfonated Grapheme

GAN Xinhong^{1,2}, TENG Ying^{1,2*}, REN Wenjie¹, YANG Min^{1,3}, LUO Yongming^{1,2}

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Department of Environmental Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Ex-situ soil washing technology takes the advantage with remediation speed, efficiency, application range etc., and then it has formed relatively perfect legal and method system in the United States and some countries of Europe. Using sulfonatedgraphene as the eluent, the different eluting parameters were evaluated for the ectopic leaching remediation effect of Cd contaminated soil. It was found that the optimum eluent parameters were 4000 mg/L of eluent concentration, 10 : 1 of liquid-soil ratio, four times for continuous washing, respectively, under which the removal rate of Cd could reach up to 50%. With the elution of different contaminated soils, it showed that the removal rate of Cd was related to the proportion of soil clay, Fe or Al and the contents of their free state, the availability of Cd, etc. With 24.7% of Cd removal rate for washing once, sulfonatedgraphene was better than those of current common eluents (FeCl₃ and CaCl₂) under the same conditions. Therefore, sulfonatedgraphene plays a certain role on the washing remediation of Cd contaminated soil.

Key words: Sulfonated grapheme; Cadmium; Soil washing; Elution parameters