

# 中国土壤重金属污染修复技术的专利文献计量分析

吴耀楣

广东省科技图书馆, 广东 广州 510070

**摘要:** 综述了国内外主要土壤修复技术, 进行了技术经济比较分析。利用国家知识产权局专利检索系统, 采用主题词检索, 从重金属污染物种类、技术类型两个方面分析了中国土壤重金属污染修复技术的专利申请与授权状态。结果表明: 土壤重金属污染修复技术以植物修复与微生物技术为主, 其次为固定修复技术; 土壤镉、铅、铜、砷的修复技术专利申请量明显高于其余重金属的; 农田土壤重金属污染修复技术专利申请量明显高于场地重金属修复技术的; 农田土壤重金属污染修复除降低土壤中重金属含量外, 还可以从植物营养调控与土壤调理剂的角度降低农产品中重金属含量。最后, 进行了土壤污染修复产业政策分析。

**关键词:** 专利文献分析; 土壤; 重金属; 修复; 产业政策

**中图分类号:** X53

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2013) 05-0901-04

**引用格式:** 吴耀楣. 中国土壤重金属污染修复技术的专利文献计量分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 901-904.

WU Yaomei. Patent bibliometric analysis on the remediation techniques of soil heavy metal pollution [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 901-904.

多年以来人类共同的梦想: 蓝天、碧水、净土、洁食。近 20 年来, 中国高度重视水体与大气环境整治, 实施了一系列“蓝天碧水工程”, 水处理与大气治理行业发展态势良好, 但“净土工程”受重视程度明显不够, 土壤污染日趋严重<sup>[1]</sup>, 特别是重工业密集区、石油开采区、农药化肥播撒区等都是高危土壤污染区<sup>[2]</sup>。土壤环境事关农产品质量和人体健康, 事关经济社会发展和国家生态安全, 是重大的民生问题和战略问题。因此, 防治和修复土壤污染一直是国内外的焦点研究课题。中国的土壤修复技术起步较晚, 在“十五”期间才得到重视, 列入了高技术研究规划发展计划<sup>[3]</sup>, 其研究水平和应用经验都与美、英、德、荷等发达国家存在相当大的差距<sup>[1]</sup>, 土壤修复产业发展明显滞后。

据不完全统计, 全国受污染耕地约  $12 \times 10^6$   $\text{hm}^2$  (占 1/10 以上), 全国每年因重金属污染的粮食达  $12 \times 10^6$  t, 直接经济损失超过 200 亿元<sup>[5]</sup>。土壤污染引发的农产品质量安全和群体性事件逐年增多, 成为影响群众身体健康和社会稳定的重要因素<sup>[6]</sup>。土壤污染状况调查显示, 广东省典型区域土壤污染超标率接近 39.8%<sup>[7]</sup>, 主要特征污染物为镉、铜、汞和铅等。珠江三角洲地区、矿山周围、搬迁企业污染场地和城市周边土壤重金属污染严重, 呈现污染面广、污染因子多、污染风险高等特征<sup>[8]</sup>; 土壤污染已经影响到广东省农产品

安全, 农产品中超标的重金属元素主要为铅、镉和汞, 近 30% 的蔬菜和水果重金属含量超过农产品质量限值<sup>[9]</sup>。

## 1 国内外土壤重金属污染修复技术

近几年来, 无论在中国还是在世界范围内, 如何控制和减轻重金属对环境的污染和危害已成为一个日益突出的问题<sup>[10]</sup>。由于重金属不能被微生物降解和在土壤中的难移动性, 使治理污染土壤变得十分困难<sup>[11]</sup>。特别对大面积污染土壤如矿区土壤、大型冶炼工厂周边地区土壤和核事故发生地土壤等的治理, 迄今仍未找到理想的方法<sup>[12]</sup>。依赖自然净化过程十分漫长, 一般需要成千上万年的时间。传统的方法包括客土法、淋溶法和固化法, 这些方法不仅成本昂贵, 需要特殊的仪器和经过培训的专业人员, 还不能从根本上解决问题<sup>[13-14]</sup>。随着人们对环境保护的日益重视, 一些科学家开始探索在不破坏土壤生态环境的情况下来治理重金属污染土壤的新途径<sup>[15]</sup>。

土壤重金属污染修复技术主要包括物理修复、化学修复与生物修复。其主要技术优势与缺点分析见表 1。

## 2 中国土壤重金属污染修复发明专利技术分析

利用国家知识产权局专利检索系统(<http://www.sipo.gov.cn/zljs/>), 采用主题词检索, 从重金属污染物种类、技术类型两个方面分析, 中国土壤重金属

表 1 重金属污染修复技术的技术经济分析

Table 1 Technical and economic analysis of remediation techniques of heavy metal pollution

	修复方法	修复类型	优点	缺点	费用
物理修复	客土法	异位修复	能有效的将污染土壤从生态系统中去除,从而降低其环境风险	工程量高、费用高、适宜于小面积、重污染土壤;会产生二次污染	较高
	电动修复 <sup>[16-17]</sup>	原位修复	处理成本较低,修复效率高、后处理方便	需要电力输送方便,修复效率受土壤性质影响大,只适用于沙质土壤	较低
	玻璃化 <sup>[18]</sup>	异位修复	修复效率高,可与水泥、砖等建材生产相结合	成本高、对土壤性质破坏严重	高
化学修复	固定 <sup>[19]</sup>	原位修复	处理费用低,简单易行	一旦土壤理化性质发生改变,重金属有再度溶出的风险	低
	淋洗 <sup>[20-21]</sup>	原位修复	适用于轻质土壤,对重金属中度污染土壤修复效率高	容易产生地下水污染,环境风险大	较高
生物修复	植物修复 <sup>[22-25]</sup>	原位	费用低、是一种廉价、环保的修复方法	修复效率一般较低,需要时限较长	低
	微生物修复 <sup>[26-29]</sup>	原位/异位	通过微生物代谢作用固定或转移重金属,处理成本较低	微生物对生长环境要求严格	低

表 2 土壤重金属污染修复中国发明专利申请量检索分析(件)

Table 2 Retrieval and analysis of the application number of China invention patent on soil heavy metal pollution remediation

重金属	申请量	植物修复	微生物修复	化学淋洗	电动修复	固定修复
镉	126	61	11	5	0	8
砷	31	14	5	2	0	7
汞	13	5	1	1	1	1
铅	63	16	2	3	0	12
铬	32	3	4	0	2	6
铜	55	12	9	2	1	6
锌	33	4	2	3	0	7
镍	4	1	0	0	0	3

污染修复技术的专利申请与授权状态。按照重金属污染物检索结果见表 2。

土壤镉质量分数往往低于  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 采用植物修复手段容易达到修复要求。土壤镉污染修复发明专利 126 件, 其中植物修复技术 61 件, 主要修复植物为东南景天、龙葵、菊科、十字花科、茄科、小白酒草、蒲公英、全叶马兰、狼把草、蚕豆等。

土壤砷污染修复发明专利 31 件, 植物修复 14 件, 固定修复技术 7 件, 修复植物主要为蜈蚣草与三叶鬼针草; 微生物修复与植物修复组合, 可提高植物修复的效率; 固定修复技术主要采用矿物、零价铁、功能真菌促进砷氧化, 降低其移动性。

土壤铅污染修复发明专利 63 件, 植物修复 16 件, 固定修复技术 12 件, 修复植物主要涉及水麻柳、酸模叶蓼、锦葵、巨桉; 固定修复技术主要采用矿物、零价铁等材料形成结构态, 降低其移动性。

土壤铬污染修复发明专利 32 件, 主要技术思路为采用还原法将六价铬还原为三价铬, 降低其毒性, 然后进行采用固定技术降低其移动性。

土壤铜污染修复发明专利 55 件, 其中植物修复 12 件, 微生物修复 9 件, 固定修复 6 件, 修复植物主要涉及海州香薷、鸢尾属植物、蒲儿根、酸

模叶蓼、巨桉等; 微生物修复与植物修复组合, 可提高植物修复的效率。

土壤汞污染修复发明专利仅 13 件, 镍污染修复发明专利仅 4 件。

总体来讲, 中国土壤重金属污染修复发明专利授权比例较高, 例如镉砷铅污染控制与修复技术方面的中国发明专利授权比例约 40%, 其中植物修复技术发明专利授权比例接近 50%, 而化学固定与钝化技术发明专利授权比例低于 30%。

针对农田土壤重金属污染修复的技术思路主要包括降低土壤中重金属的含量、降低农产品中重金属的含量两个方面。采用叶面重金属阻隔剂能够抑制农作物吸收重金属<sup>[30-31]</sup>, 这方面的专利很少, 只有 4 项专利授权。采用土壤调理剂降低重金属的移动性也可以降低农产品中重金属含量, 类似于固定修复技术。

场地重金属污染修复发明专利仅有 13 件, 主要包括重金属热固化技术、植物修复技术、微生物-化学联合技术等。

### 3 土壤污染修复产业政策分析

随着场地调查和风险评估工作的推进, 社会各界对土壤修复产业的重视程度逐渐增加, 政府、科

研机构、企业和社会资本对土壤修复产业的投入加大。

国家发展改革委于2011年3月发布的《全国“十二五”规划纲要》和2012年7月20日正式发布的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中都明确了节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等七大领域的重点发展方向,并将节能环保列为七大战略新兴产业之首。土壤修复首次在国家战略级规划中“正名”,并将作为环保产业重点独立分支发展。

在2011年2月《重金属污染综合防治“十二五”规划》成为第一个被国务院正式批复的“十二五”国家规划,《规划》要求,到2015年,重点区域铅、汞、铬、镉和类金属砷等重金属污染物的排放,比2007年削减15%。这一规划的出台显示了党中央、国务院对重金属污染防治的高度重视。《土壤污染防治法》即将出台,《污染场地土壤修复技术导则》等系列法规相继出台,标志土壤修复产业发展与生态安全已提至国家战略高度。

2012年11月31日,温家宝总理主持召开国务院常务会议,研究部署土壤环境保护和综合治理工作。会议提出,要将保护土壤环境、防治土壤污染、保障农产品质量安全、建设良好人居环境作为当前和今后一个时期的主要目标,实施“土壤环境保护工程”,加快形成国家土壤环境保护体系。2013年1月23日,国务院办公厅印发了《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》,指出土壤污染治理与修复是今后土壤环境保护和综合治理的重点任务之一。

各级地方政府也高度重视土壤污染防治工作。例如广东省颁布了《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》,要求采取严格有力措施,有效控制并加强治理重金属等对土壤的污染,改善耕地质量,确保农业生产安全等。《广东省重金属污染综合防治规划》已经颁布实施,规划中明确提出开展全省受污染的基本农田土壤治理修复技术研究。

综上所述,“十二五”期间无论是中央还是地方都将十分重视土壤污染修复,必然会加大土壤污染整治力度,土壤污染修复产业将在“十二五”期间迎来机遇。

## 参考文献:

- [1] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势[J]. 化学进展, 2009, 21(2/3): 558-565.
- [2] 金一凡, 周连杰, 杰克, 等. 污染土壤修复技术的探讨[J]. 环境科技, 2012, 25(5): 68-72.
- [3] 骆永明. 中国主要土壤环境问题及对策[M]. 南京: 河海大学出版社, 2008: 26-29.
- [4] 傅泽强, 蔡运龙, 杨友孝, 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相

- 关分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 313-319.
- [5] 张平, 林素荣. 可持续发展道路是中国农业发展的唯一选择[J]. 四川师范学院学报, 1998, 1: 73-76.
- [6] 熊严军. 中国土壤污染现状及治理措施[J]. 资源与环境科学, 2010, 8: 294-297.
- [7] 杨国义, 张天彬, 万洪富, 等. 广东省典型区域农业土壤中重金属污染空间差异及原因分析[J]. 土壤, 2007, 1: 387-392.
- [8] 谢小玲, 李海锋, 李雪莹, 等. 广东珠江三角洲重金属污染状况与控制策略[J]. 农业科学, 2012: 47-48.
- [9] 陈俊坚, 张会化, 刘鉴明, 等. 广东省区域地质背景下土壤表层重金属元素空间分布特征及其影响因子分析[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 646-651.
- [10] 骆永明, 滕应, 过园. 土壤修复——新兴的土壤科学分支学科[J]. 土壤, 2005, 37(3): 230-235.
- [11] MULLIGAN C N, YONG R N, GIBBS B F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation [J]. Engineering Geology, 2001, 60(1/4): 193-207.
- [12] 李广云, 曹永富, 赵书民, 等. 土壤重金属危害及修复措施[J]. 山东林业科技, 2011, 6: 96-101.
- [13] 王松良, 郑金贵. 土壤重金属污染的植物修复与金属超富集植物及其遗传工程研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 191-194.
- [14] 周启星. 污染土壤修复基准与标准进展及中国农业环保问题[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 1-8.
- [15] 杨勇, 柯艳明, 栾景丽, 等. 国际污染场地土壤修复技术综合分析[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(10): 92-98.
- [16] 张兴, 朱琨, 李丽. 污染土壤电动修复技术研究进展及其前景[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(2): 64-68.
- [17] 王慧, 马建伟, 范向宇, 等. 重金属污染土壤的电动原位修复技术研究[J]. 生态环境学报, 2007, 16(1): 223-227.
- [18] 蓝俊康. 污染物的玻璃化技术处理的应用和研究现状[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(6): 479.
- [19] 张长波, 罗启仕, 付融冰, 等. 污染土壤的固化/稳定化处理技术研究进展[J]. 土壤, 2009, 41(1): 8-15.
- [20] 何岱, 周婷, 袁世斌, 等. 污染土壤淋洗修复技术研究进展[J]. 四川环境, 2010, 29(5): 103-108.
- [21] 黄细花, 卫泽斌, 郭晓方, 等. 套种和化学淋洗联合技术修复重金属污染土壤[J]. 环境科学与管理, 2010, 31(12): 3067-3075.
- [22] 邓文婧, 郑海龙, 陈新康. 基因工程改良植物对重金属污染土壤的修复[J]. 生态环境学报, 2004, 13(3): 403-405.
- [23] 周启星, 宋玉芳. 植物修复的技术内涵及展望[J]. 安全与环境学报, 2001, 1(3): 48-53.
- [24] 安钢, 孙波, 张晗, 等. 修复植物生物解吸脱除重金属实验研究[J]. 生态环境学报, 2002, 21(7): 1345-1350.
- [25] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属污染植物修复技术的研究与应用现状[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 833-839.
- [26] 白淑兰, 房耀维, 赵春杰. 菌根技术在重金属污染修复中的研究与展望[J]. 生态环境学报, 2004, 13(1): 92-94.
- [27] 林云琴, 周少奇. 城市污泥好氧堆肥过程中重金属形态转化[J]. 生态环境学报, 2008, 17(1): 940-943.
- [29] 杨国栋. 污染土壤微生物修复技术主要研究内容和方法[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 286-288.
- [29] 王新, 周启星. 重金属与土壤微生物的相互作用及污染土壤修复[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(11): 1-5.
- [30] 李芳柏, 刘新铭, 刘传平, 等. 一种抑制水稻吸收重金属的稀土硅溶胶: 中国, ZL200610036994.8 [P]. 2006-08-09.
- [31] 刘传平, 李晴, 李芳柏, 等. 一种用于降低蔬菜重金属和硝酸盐含量的复合叶面肥及其制备方法: 中国, 201010156359.X[P]. 2010-09-15.

## Patent bibliometric analysis on the remediation techniques of soil heavy metal pollution

WU Yaomei

The Science and Technology Library of Guangdong, Guangzhou 510070, China

**Abstracts:** The major soil remediation techniques at home and abroad were reviewed. The technical and economic comparison analysis was performed. Using the patent search system of State Intellectual Property Office and applying keywords search, the patent application and license status of soil heavy metal pollution remediation techniques were analyzed from the categories of heavy metal pollutants and technical types. Results show that soil heavy metal pollution remediation focus on phytoremediation and microbial techniques, followed by fixed restoration techniques. The number of patent application of the remediation techniques of Cd, Pb, Cu, As is significantly more than other heavy metals. The number of patent application in agricultural soil is dramatically higher than that in the venues. Heavy metal pollution in agricultural soil could be remedied by reducing the content of soil heavy metals. Further, the content of heavy metals in agricultural products can be decreased by plant nutrition regulation and soil conditioning agents. Last but not least, the industrial policy on soil remediation was analyzed.

**Key words:** patent literature; soils; heavy metals; soil remediation; industrial policy