

重金属污染土壤的花卉植物修复研究进展

关梦茜, 董 然

(吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春 130118)

摘 要:植物修复是一项很有潜力、正在发展的清除环境污染的绿色技术,采用不同花卉植物对重金属污染土壤进行富集修复,与其它植物相比,既能有效降低土壤重金属污染,又可美化环境。该文在综述我国土壤重金属污染现状、植物修复技术概念及类型的基础上,详细论述了花卉植物修复重金属污染的土壤研究进展情况及局限性,并对花卉植物修复的发展趋势进行了分析。

关键词:土壤污染;重金属;花卉植物修复;超富集植物

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0187-04

1 我国土壤重金属污染现状

人类长期的农业活动、工业建设和城市发展等过程持续不断地向土壤排放各种污染物质,严重制约着经济社会和生态文明的可持续发展,威胁人类的健康和生存^[1]。防治土壤污染,保护现有的土壤资源,已成为全球性的问题。含重金属的污染物通过各种途径进入土壤而造成严重污染,其主要途径是工业废渣、废气中重金属的扩散、沉降、累积,含重金属的废水灌溉农田,以及含重金属农药和磷肥的大量施用等^[2]。而土壤重金属不能被土壤微生物分解,极易积累,最终通过生物富集途径直接危害人类的健康。

土壤重金属污染物主要是铅、镉、铬、汞、铜、锌、钴、锡以及类金属砷等。据不完全统计,我国受镉、砷、铅等重金属污染的耕地面积近 $2.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$,约占总耕地面积的 1/5;其中工业“三废”污染耕地占 $1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$,污水灌溉的农田面积占 $3.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[3]。杨元根等^[4]研究证明,重金属 Pb 进入土壤环境可对土壤生物(动物和微生物)和植物群落的结构、功能以及多样性施加强烈作用,进而影响生态系统功能与稳定性。重金属对土壤的污染虽日益严重,但由于土壤重金属污染的特异性及地域的复杂性,对土壤污染的治理不仅见效慢、费用高,而且还受到多种因素的制约^[5]。

2 土壤重金属污染的花卉植物修复

世界上大多数国家都面临严重的土壤重金属污染问题。目前,对重金属污染土壤的修复主要有 2 种途

径,1 种是改变重金属在土壤里的存在状态,使其钝化固定,降低其活性和迁移性,脱离食物链,减小其毒性;第 2 种是利用特殊植物吸收土壤中的重金属,将重金属从土壤中移除,然后将该植物除去^[6-7]。

目前植物修复技术是发展最快,且经济、高效的治理技术,也是当前国内外研究的热点。因此,研发有效的植物修复法,清除土壤中的过量重金属已迫在眉睫。与非观赏性植物相比,用花卉植物进行土壤重金属污染的环境修复,不仅能降低环境土壤中重金属的含量,同时还可以达到美化环境的目的。

2.1 植物修复技术概况

植物修复(Phytoremediation)是利用自然生长的植物或者遗传工程培育的植物提取、吸收、分解、转化或固定土壤、沉积物、污泥、地表与地下水中有毒有害污染物的总称^[8]。广义的植物修复技术包括利用植物修复重金属污染土壤、利用植物净化水体与空气、利用植物清除放射性核素和利用植物及其根际微生物共存体系来净化环境中有机污染物等^[9]。植物修复技术现作为一种友好型的修复技术,已被国内外认可并广泛应用。植物修复技术具有成本低、不破坏土壤结构^[10]、植物取材方便、改造环境的同时对环境无二次污染等诸多优点,因此植物修复技术已成为治理环境污染方面重要的研发对象。目前,利用经济植物(如能源植物或纤维类植物)和观赏植物对重金属污染场地进行的植物修复技术,被认为在达到污染修复的同时,实现了生态、环境和经济效益的统一^[11]。

2.2 植物修复类型

植物修复主要是通过绿色植物来转移、容纳或转化污染物使其对环境无害。对于重金属污染土壤、水体等的植物修复技术,主要包括植物提取(Phytoextraction)、植物挥发(Phytovolatilization)、植物降解(Phytodegradation)、植物钝化(Phytostabilization)4 种类型^[8]。由此看

第一作者简介:关梦茜(1990-),女,硕士研究生,研究方向为园林植物资源与种质创新。E-mail:guanmengmeng1990@163.com.

责任作者:董然(1966-),女,博士,教授,现主要从事长白山野生植物的引种驯化等科研工作。E-mail:Dongr999@163.com.

基金项目:吉林省科学技术厅科研资助项目(20100259)。

收稿日期:2013-05-14

来,植物修复是一种很有潜力、正在发展的清除环境污染的绿色技术。植物提取:应用植物根系吸收1种或多种重金属污染物质,将其转移贮藏到植物地上部分(茎、叶),植物衰亡后收割地上部分另作处理^[12]。植物挥发:利用植物来促进重金属物质转变为可挥发的形态,并将其挥发出土壤和植物表面^[13]。植物降解:可用于石油化工污染、炸药废物、燃料泄漏、氯代溶剂、填埋淋溶液和农药等有机污染物的治理,可促进生物降解。植物钝化:利用植物吸收、沉淀来固定土壤中大量有毒重金属,降低重金属的活动性和生物有效性。

2.3 花卉植物修复的核心——富集花卉植物

重金属积累能力是筛选超富集花卉植物的一个重要指标。目前已发现400多种花卉植物能超量富集土壤中Pb、Cd、Co、Cu、Cr、Mn、Ni和Zn等重金属,超量富集植物中最高重金属含量(干物质量)分别为Pb 820 mg/g、Cd 180 mg/g、Co 1 020 mg/g、Cu 240 mg/g、Cr 1 350 mg/g、Mn 5 180 mg/g、Ni 4 750 mg/g和Zn 3 960 mg/g^[14]。张海燕等^[15]研究表明花卉植物对重金属有一定能力的积累、转移作用;侯静等^[16]通过与其它试验花卉比较,证明牵牛植株根、茎和叶对 Hg^{2+} 的累积量最高,由此可知,牵牛对汞具有较强的富集能力。鉴于牵牛对重金属 Hg^{2+} 有较强的耐受性和富集能力,具有生长迅速、适应性强、美化环境等诸多优势,可以将其作为城市土壤污染的植物修复资源,大面积推广应用。

马利民等^[17]研究发现植物对重金属的富集能力主要与植物种类有关,筛选出的8种植物中菊花对重金属铅的富集能力最强,且根部对重金属铅的富集能力大于茎和叶。白向玉等^[18]采用徐州4种本土花卉植物研究其对徐州姚庄污水处理厂剩余污泥中重金属的修复效果,从4种花卉植物对重金属的耐性、积累特征和积累总量来看,吊兰的富集效果优于其它3种花卉植物。与非观赏性植物相比,利用花卉植物进行Pb污染环境的植物修复,不仅降低环境中Pb的含量,同时还可以达到美化环境的目的^[19]。李翠兰等^[20]研究发现,紫茉莉、紫花玉簪和鸭跖草不仅对Pb胁迫具有较强的耐性,而且具有较高的Pb富集和转移能力,考虑到紫花玉簪还具有较大的生物量,因此可作为修复Pb污染水体和土壤的首选花卉植物。植物体内某物质含量大于生长基质含量时就可确定植物对该物质有富集能力^[21]。

当土壤镉含量为0~120 mg/kg,海芋、肾蕨、蜈蚣菊3种观赏植物根的富集系数都大于1,说明这3种观赏植物的根系对镉有富集能力^[22]。周霞等^[23]在中山市某小区内取8种花卉即鸭脚木、亮叶忍冬、小叶黄杨、金叶假连翘、金光变叶木、细叶鸡爪槭、胡椒木、金边琴叶槭,发现其对重金属的积累能力大小依次为 $Cr>Zn>Cu>Cd>Pb$,转移能力大小依次为 $Zn>Cd>Cu>Cr>Pb$ 。当茎(叶)转移系数(IF) >1 时,该花卉植物具有修复重

金属污染土壤的能力^[24]。魏朝丹等^[25]研究发现,在低浓度铅胁迫下,观赏植物白雪姬的根部能累积大量铅,随着铅浓度增长,根部的铅向地上部迁移,其地上部的铅累积量可随着铅浓度升高而持续增长。

2.4 花卉植物修复土壤重金属污染研究进展

近年来,对环境扰动少、修复成本低并且能大面积推广应用的植物修复技术应运而生,为治理重金属土壤污染提供了新的途径^[26],以观赏性植物作为土壤重金属污染的植物修复研究,近些年在国内已见报道^[20]。国内外在Pb、Cd、Zn等土壤重金属污染修复中也得到了成功应用^[27-28]。原海燕等^[29]通过4种鸢尾属植物马蔺、黄菖蒲、溪荪、花菖蒲对Pb、Zn、Cu、Cd的积累能力和土壤修复效率差异比较发现,马蔺对Pb、Cd吸收能力最强,黄菖蒲对Zn的吸收能力最强,花菖蒲对Cu的吸收能力最强,受铅矿污染的土壤种植鸢尾属植物马蔺、黄菖蒲、溪荪、花菖蒲后,土壤中Pb、Zn、Cu、Cd质量分数有所降低。

花卉作为植物中的一类,在修复土壤重金属污染方面具有一定的优势^[30]。花卉资源丰富、观赏性强,不进入食物链,潜力巨大,从花卉中筛选修复植物是非常可行的。刘家女等^[31]研究发现在Cd-Pb复合污染条件下蜀葵在高浓度重金属Cd污染下才受影响,而金盏菊受复合污染毒害较严重,凤仙花的根部出现发黑现象。杨小琴等^[32]研究凤仙花根部发现,低浓度铅胁迫处理下其主根长度增加不明显,但须根数量增多;高浓度铅胁迫处理下其根数量减少,生长细弱,生物量下降,说明高浓度铅对凤仙花的生长发育产生严重伤害。根系耐性指数能够反映植物对重金属的耐性^[33]。谈成林等^[34]研究发现万寿菊随淤泥在铜尾矿基质中比例的增加,根系主根逐渐增长,根体积与地下部分生物量逐渐增加;吴桐等^[35]研究了19种花卉在铅胁迫下耐性,尽管供试花卉植物在试验的铅含量(0~700 mg/kg)范围内均能正常生长,随铅含量的增加其地上部干重均有所降低,这些花卉植物在铅胁迫下都具有较强耐性,但生长受到了一定程度的抑制作用。

3 植物修复的局限性和发展趋势

3.1 植物修复的局限性

土壤重金属污染花卉植物修复技术的研究和应用虽有一定的发展,但仍处于试验开发阶段,还有一些理论和技术问题需要解决突破。同时,重金属污染土壤的面积不断扩大,而相应的植物修复技术的发展远远不能与日益加剧的土壤污染相平衡。在实际应用中,植物修复仍然具有一定的局限性:一是植物修复具有专一性,只能针对特定的重金属进行修复,不能作用于土壤污染的所有重金属;二是植物吸收重金属有限,一旦吸收较高含量重金属,在体内积累过多影响植物生长,会出现重金属中毒症状;三是植物生长缓慢,周期长,需要人为进行养护,修复缓慢,不利于机械化作业;四是植物修复

后的后期处置难以解决,必须在植物落叶前收割并处理植物器官,避免二次污染。

3.2 发展趋势

在我国,虽然花卉业起步较晚,但发展迅速,在新的历史时期已呈现出旺盛的发展势头。植物修复技术是生物治污工程中一个非常独特的治理技术,与物理、化学和微生物的处理技术相比,具有独特的优点。采用开花期收获超积累植物的复种方式,可以使植物对 Cd 的提取率提高 1.43~1.75 倍^[36]。如果能从物种繁多的花卉资源中筛选出对污染土壤修复有重要意义和作用的超积累花卉植物,则将为植物修复开辟一条新的途径^[19]。

当前,土壤重金属污染的植物修复技术已得到了国内外的认可,平时看似极其普通的植物竟然可以生长在重金属污染的土地上,且扮演着超级清道夫的角色,让人们充分体会到了当环境逆境来临时,唯有透过生物多样性的维护,才能确保生物生生不息及地球的永续发展。但是,由于花卉植物修复技术的制约因素较多,还需要从理论和技术问题上进一步展开大量研究工作,使该项技术得以推广和应用。

参考文献

- [1] 孙铁珩,周启星,李培军,等. 污染生态学[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 陈承利,廖敏. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 广东微量元素科学,2004,11(10):1-8.
- [3] 顾继光,周启星,王新. 土壤重金属污染的治理途径及其研究进展[J]. 应用基础与工程科学学报,2003,11(2):143-151.
- [4] 杨元根,Paterson E, Campbell C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应[J]. 环境科学,2001,22(3):44-48.
- [5] 佟洪金,涂仕华,赵秀兰. 土壤重金属污染的治理措施[J]. 西南农业学报,2003(21):33-37.
- [6] 夏星辉,陈静生. 土壤重金属污染治理方法研究进展[J]. 环境科学,1997,18(3):72-76.
- [7] 夏立江,华路,李向东. 重金属污染生物修复机制及研究进展[J]. 核农学报,1998,12(1):59-64.
- [8] 闫晓明,何金柱,苗青松. 污染土壤植物修复技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):131-133.
- [9] 唐世荣. 污染环境植物修复的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2006:19.
- [10] Frekman D W. Bacterivorous nematodes and organicmatter decomposition[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1998(24):195-217.
- [11] 余海波,周守标,宋静,等. 铜尾矿库能源植物稳定化修复过程中定居植物多样性研究[J]. 中国农学通报,2010,26(18):341-346.
- [12] 客绍英. 植物修复金属污染土壤的行为及应用前景[J]. 生物学教学,2001,26(4):2-3.
- [13] 武正华. 土壤重金属污染植物修复研究进展[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2002,15(2):53-57.
- [14] 沈振国,刘友良. 超量积累重金属植物研究进展[J]. 植物生理学通讯,1998,34(2):133-139.
- [15] 张海燕,刘阳,李娟,等. 重金属污染土壤修复技术综述[J]. 四川环境,2010,29(6):139-141.
- [16] 侯静,姜华,关晓欢,等. 汞抗性花卉的筛选与牵牛对汞胁迫的响应[J]. 大连交通大学学报,2012,33(1):83-88,93.
- [17] 马利民,陈玲,马娜,等. 几种花卉植物对污泥中铅的富集特征[J]. 生态学杂志,2005,24(6):644-647.
- [18] 白向玉,刘汉湖,韩宝平,等. 花卉植物修复剩余污泥中重金属的实验研究[J]. 环境科学与技术,2010,33(10):39-44.
- [19] 刘家女,周启星,孙挺,等. 花卉植物应用于污染土壤修复可行性研究[J]. 应用生态学报,2007,18(7):1617-1623.
- [20] 李翠兰,邵泽强,王玉军,等. 几种花卉植物对铅富集特征的研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4):127-134.
- [21] 韩露,张小平,刘必融,等. 香根草对土壤中几种重金属离子富集能力的比较研究[J]. 生物学杂志,2005,22(5):20-23.
- [22] 蔡晓东,林光荣,许文宝,等. 三种观赏植物对土壤中镉的富集特征研究[J]. 亚热带植物科学,2011,40(2):4-6.
- [23] 周霞,林庆昶,李拥军,等. 花卉植物对重金属污染土壤修复能力的研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(14):8133-8135.
- [24] 刘茵. 超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用前景[J]. 湖北农业科学,2010,49(6):1492-1494.
- [25] 魏朝丹,周兰英,李端平. 利用观赏植物白雪姬修复铅污染的潜力研究[J]. 环境科学学报,2011,31(10):2290-2297.
- [26] 韦朝阳,陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报,2001,21(7):1196-1203.
- [27] Brown S L, Chaney R L, Angle J S, et al. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator thlaspi caerulescens and metal tolerant silene vulgaris grown on sludge-amended soils[J]. Environmental Science and Technology, 1995,29(6):1581-1585.
- [28] Salt D E, Blaylock M, Kumar P, et al. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants[J]. Biotechnology, 1995,13(5):468-474.
- [29] 原海燕,黄苏珍,郭智. 4 种鸢尾属植物对铅锌矿区土壤中重金属的富集特征和修复潜力[J]. 生态环境学报,2010,19(8):1918-1922.
- [30] 李秀娟,仇硕,赵健,等. 4 种园林植物对土壤重金属 Mn 的吸收及修复研究[J]. 广西农业科学,2010,41(9):951-954.
- [31] 刘家女,周启星,孙挺. Cd-Pb 复合污染条件下 3 种花卉植物的生长反应及超积累特性研究[J]. 环境科学学报,2006,26(12):2039-2044.
- [32] 杨小琴,赵运林,孙玉珍. 凤仙花生物量及抗氧化酶系统对重金属铅胁迫的生理响应[J]. 安徽农业科学,2008,36(9):3526-3528.
- [33] Monni S, Uhlig C, Hansen E, et al. Ecophysiological responses of Empetrum nigrum to heavy metal pollution[J]. Environmental Pollution, 2001,112:121-129.
- [34] 谈成林,张凤美,王友保,等. 铜尾矿对万寿菊根系生长的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(7):73-77.
- [35] 吴桐,李翠兰,邵泽强,等. 几种花卉植物对土壤中铅富集特征的研究[J]. 吉林农业大学学报,2012,34(3):305-310,315.
- [36] 魏树和,周启星. 重金属污染土壤植物修复基本原理及强化措施探讨[J]. 生态学杂志,2004,23(1):65-72.

Research Progress on the Flowers Remediation in Heavy Metal Pollution Soil

GUAN Meng-xi, DONG Ran

(College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

引进及开发台湾水果良种的研究进展

徐传保, 戴庆敏

(丽水学院 生态学院, 浙江 丽水 323000)

摘 要:台湾水果具有果实大、品质优、果型奇特、产量高等特点, 十分受大陆消费者的欢迎。现对引进、开发的台湾水果在多酚氧化物特性、营养成分分析、果实采摘及贮藏保鲜技术、苗木无性繁殖技术、病虫害防控技术、果树抗寒性、品系评价与鉴定、品种遗传多样性、引种适应性等良种研究进展等方面进行了综述, 以期引进优质台湾水果提供参考。

关键词:台湾; 水果良种; 引种开发; 进展

中图分类号:S 66 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0190-05

台湾位于我国东南部, 面积 3.6 万 km², 岛内多山, 海拔 100 m 下的平原仅占总面积的 29%。台湾北部为亚热带气候, 南部属热带气候。独特的山地立体气候既适宜热带水果生长, 也适合亚热带、温带水果生长。优越的气候条件促使台湾水果业发展迅猛, 1945~1995 年间水果种植面积增加 9.53 倍, 产值增加 2 134.71 倍, 产值已占种植业总产值的 32%。台湾非常重视良种引进、选育和推广, 50 a 来开展了多次有计划良种引进工作, 仅 20 世纪 60~80 年代就进行了 3 次大规模世界性引种, 共引入水果 167 种 676 个品种。引种人员的足迹遍及世界各地, 台湾果树种类从 1945 年的 35 个科 97 个种增加到 1990 年的 55 个科 245 个种, 台湾成为亚热带水果良种的汇集地。台湾栽培果树几乎全由岛外引入, 但很少把引进品种直接用于生产, 而是在广泛收集品种资源的基础上, 以市场为导向进行改良, 推出更适宜种植、品质更佳、产量更高、竞争力更强的品种。台湾水果种类繁多, 市场繁荣, 周年都有多种新鲜水果上市^[1-2]。

台湾水果具有果实大、品质优、果型奇特、产量高等特点, 十分受大陆消费者欢迎。为了满足市场需求, 自 20 世纪 90 年代起福建、海南、广东等南方各省掀起一股

引种栽培台湾果树的热潮, 近年来随着设施栽培的兴起, 辽宁、北京等北方地区也加大了引种台湾水果良种的研究工作。

1 多酚氧化物特性研究

多酚氧化物(PPO)是由核基因编码的铜金属酶, 在其催化作用下可促进果实褐变。褐变不仅影响外观、降低营养价值, 而且是果实腐坏的标志。近年来人们日益重视 PPO 在果品加工中的影响, 李粉玲等^[3]采用分光光度法对台湾青枣 PPO 的催化特性、最适波长、最适反应时间、最适 pH 值等进行了研究, 同时研究了抗坏血酸等 3 种添加剂对其活性的影响, 结果表明, PPO 催化氧化产物的最适波长为 420 nm, 最佳反应时间 20 min, 最适反应温度 30℃, 最适 pH 为 6.8。30℃前活性很低, 低温贮藏仍是较理想的贮藏方式。在 70~90℃高温条件下 PPO 有较明显的钝化现象。该酶于 90℃水浴处理 5 min 基本失活。因此, 利用瞬间高温灭酶是抑制褐变的有效措施。单一抑制剂对 PPO 促褐抑制效果顺序为: L-半胱氨酸>抗坏血酸>柠檬酸。

2 营养成分分析

为了更好地开发利用水果资源, 徐小艳等^[5]对台湾青枣的常规营养成分、矿物质元素等进行了分析。结果表明, 青枣中粗蛋白含量为 2.63%, 粗脂肪含量为 1.25%, 粗纤维含量为 1.08%, 可溶性固形物含量为 12%~14%。枣泥中含有的 15 种氨基酸, 其中

第一作者简介:徐传保(1981-), 男, 山东济南人, 硕士, 实验师, 现主要从事园艺植物种质资源的收集与开发应用等研究工作。

基金项目:丽水学院校级重点科研资助项目(kz2011105)。

收稿日期:2013-05-16

Abstract: Plant remediation is a kind of developing green pollution cleanup technology with great potential. Compared with other plants, the remediation of different flowers and plants to heavy metal could reduce soil heavy metal pollution status and beautify the environment. On the basis of a review of soil heavy metal pollution status and the concept and type of plant remediation technology, the progress and limitations of soil heavy metal pollution in the plant remediation were discussed in detail, and the development trend was analyzed.

Key words: soil pollution; heavy metal; flowers remediation; hyper accumulators