

超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用

李东旭,文雅

(山西大学环境与资源学院,山西太原,030006)

摘要:重金属污染土壤植物修复技术是目前世界范围内研究的热点之一,超积累植物能超量吸收和积累土壤中的重金属元素,其体内重金属含量是一般植物的100倍以上,超积累植物修复是植物修复技术的关键。介绍了超积累植物的概念、特征、物种资源和开发现状,探讨了该技术的应用前景。

关键词:土壤修复;超积累植物;重金属污染

中图分类号:X53 **文献标识码:**A

在大力倡导绿色经济和可持续发展的今天,对由于企业废物排放而造成的土壤重金属污染的修复显得尤为重要和突出。植物修复技术较物理、化学和微生物修复技术而言具有突出的优点,主要是:植物修复价格便宜,可作为物理化学修复系统的替代方法;植物修复是原位修复技术,对环境扰动小;对植物集中处理能减少二次污染,可采取植物冶炼技术回收金属尤其是贵金属;植物修复不会破坏景观生态,反而能起到绿化和美化环

境的作用。其缺点主要有:植物修复技术会受植物种类限制,一种植物一般只对一到两种重金属元素有修复效果,并且受土壤基本性质的影响较大,对自然条件和人工条件有一定的要求;修复过程较物理化学修复技术周期长;对于植物萃取技术,污染物必须是植物可利用的形态,并且处于根系区域才能被吸收;用于修复的植物器官往往会通过腐烂、落叶等途径使重金属元素返回土壤。

杨秀丹、刘振兴认为我国政府门户网站存在的问题有以下几方面:第一,我国政府门户网站在信息内容上分类逻辑不科学,往往是按照门户设计者的个人经验来分类,信息针对性不明确、信息标志不规范、信息导航不成熟,这些均不便于用户查到想要的信息;第二,政府门户网站在在线服务方面服务内容不全面、服务集成度也不高,在线服务职能得不到充分发挥;第三,政府门户网站建设不规范,缺乏统一规划,比如信息的组织分类标准、网站栏目设计标准等。

郑伦卫认为我国政府门户网站存在的问题有以下几方面:第一,政府网站信息陈旧,企业和个人无法全面了解行业状况和市场信息,索然无味的信息发挥不了电子政务高效快捷的优势;第二,数据“孤岛”现象普遍存在,数据没有进入市场流动,无法发挥增值作用;第三,信息公开度不够;第四,政府网站存在安全隐患。

李傲霜、倪丽娟则认为我国政府门户网站存在的问题有:政府网站信息不系统、不全面,没有形成科学的信息体系;政府网站个性化服务不够,用户的参与性和互动性不足。

3.4 我国政府网站建设的对策

杨秀丹、刘振兴针对我国政府网站建设中信息分类导航、服务内容、集成度等方面不足提出的对策是:第一,融入新的学科——知识管理,把政府网站建设看做是统一有序的知识结构,门户设计者和相关部门人员进行交流,形成合理的逻辑和分类体系,进而完善网站建设;第二,准确把握用户需求,对多个职能

部门业务流程重组,提供一致、快捷、高效的服务系统;第三,加强网站标准化建设和法律法规建设,保证政府门户网站建设的顺利进行。

郑伦卫针对我国政府网站建设中存在的问题提出的对策是:加强政府领导,统筹规划,协调发展;加快法制建设,保证政府信息化建设健康有序发展;避免条块分割,开展“一站式”服务,提高工作效率。

李傲霜、倪丽娟针对我国政府网站建设中存在的问题,提出建立优质服务的开放型政府信息服务平台对策,即整合信息资源,保证信息充足、有效;增设公民参政、议政平台,建立个性化空间和网上社区,便于官民互动;增加反馈机制,检验信息传递效果,实现公民的参与权和监督权。

综上所述,政府信息资源是国家信息资源的重要组成部分。在我国政府信息资源建设过程中,以政府信息公开为前提,以信息技术为手段,以电子政务为平台,借鉴发达国家经验,结合本国实际,加快我国政府信息资源建设,实现社会信息化的跨越式发展。

参考文献

- [1] 商晓帆.从政府信息公开的角度看政府信息资源建设[J].图书馆学研究,2006(11):61-62.
- [2] 刘焕成.我国政府信息公开制度研究[J].图书情报知识,2004(2):2-6.
- [3] 蔡儒妍,储节旺.国外政府信息资源建设研究及启示[J].农业图书情报学刊,2009(1):41-43.

(下转第228页)

植物吸收是一种集永久性和广域性于一体的植物修复途径。植物吸收是利用一些积累或超积累植物对重金属大量吸收并将其积累在地上部分,通过收获地上部分即可减少其在土壤中的含量,而超积累植物是这一技术的关键。本文将从超积累植物的特征、目前的物种资源、开发现状以及应用前景的展望等几个方面进行论述。

1 超积累植物的概念和特征

超积累植物(Hyperaccumulator)是指那些能够超量积累重金属并将其运移到地上部的植物,也可称为超累积植物或超富集植物。Brooks等在1977年首先提出“hyperaccumulator”这一概念,后来也有人用“accumulator”“metalaccumulating plant”。一般认为超积累植物地上部分或叶片内某种重金属质量分数(干重)超过该重金属在一般植物体内的100倍,即Cr、Co、Ni、Cu、Pb的质量分数应在1000 mg/kg以上,Mn、Zn质量分数应在10000 mg/kg以上。随着研究的不断深入,对超积累植物的概念也在不断完善,目前判断超积累植物的标准主要有以下3项:一是植物的地上部分对重金属的富集量要达到一定临界值的标准,一般是正常植物体内重金属量的100倍左右,并且对于不同的重金属元素富集的临界值也不同。二是植物的运转系数(TF)和富集系数(BCF)都大于1。TF=植物地上部重金属的质量分数/根部重金属的质量分数,BCF=地上部植物中重金属元素的质量分数/土壤中重金属元素的质量分数。三是能够旺盛地在污染场地生长,植物生物量较大,并且能够完成生长周期。重金属在土壤和植物中的平均值以及超积累植物的临界标准见表1。

表1 重金属在土壤和植物中的平均值以及超积累植物的临界标准 (mg/kg)

重金属种类	土壤中平均质量分数	植物中平均质量分数	矿区植物中质量分数	超积累植物临界标准
Cd		0.1	1	100
Cr	60			1 000
Cu	20	10	20	1 000
Zn	50	100	100	10 000
Mn	850	80	1 000	10 000
Ni	40	2	20	1 000
Pb	10	5	5	1 000
Se		0.1	1	1 000

2 超积累植物的物种资源

迄今为止,国内外共发现超积累植物约700余种,广泛分布在约50个科。其中以镍的超积累植物最多,达329种;铜的超积累植物有37种、钴有30种、锌有21种、硒有20种、铅有17种、锰有13种、砷有5种,其他超积累植物种类较少。有的超积累植物对多种重金属都有超积累能力,比如在铜和钴的超积累植物中,有12种是对铜和钴都有超积累能力的,但到目前为止还没有发现任何一种超积累植物具有广泛的重金属超积累特性。中国在超积累植物方面起步较晚,但仍有一些研究成果,日前所发

现的主要超积累植物见表2。

表2 我国发现的主要重金属超积累植物

元素种类	元素质量分数/(mg/kg)	典型超积累植物及物种名
Cd	>100	天蓝遏蓝菜(Thlaspi caerulescens)、东南景天(Sedum alfredii Hance)、芥菜型油菜(Brassica juncea)、宝山堇菜(Viola baoshanensis)、龙葵(Solanum nigrum L.)等
Co	>1 000	Haumaniastrum robertii 等
Cu	>1000	高山甘薯(Ipomoea alpina)、金鱼藻(Ceratophyllum demersum L.)、海州香薷(E. sp. lendens)和紫花香薷(E. argyi)、鸭跖草(Commelina communis)等
Mn	>10 000	粗脉叶澳洲坚果(Macadamianeurophylla)、商陆(Phytolacca acinosa Roxb.)等
Ni	>1 000	九节木属(Psychotriadoouarel)等
Pb	>1 000	圆叶遏蓝菜(Thlaspi rotundifolium)、苧麻(Boehmeria nivea(L.)Gaud.)、东南景天(Sedum alfredii Hance)、蜈蚣草(Pteris vittata L.)、鬼针草(Bidens bipinnata)、木贼(Equisetum hiemale L.)和香附子(Txus rotundus L.)等
Zn	>10 000	天蓝遏蓝菜(Thlaspi caerulescens)、东南景天(Sedum alfredii Hance)、木贼(Equisetum hiemale L.)和香附子(Txus rotundus L.)、东方香蒲(Typha orientalis L.)、春季)、长柔毛委陵菜(Potentilla griffithii Hook. f. var. velutina. Card.)、水蜈蚣(Kyllinga brevifolia Roth.)等
Cr	>1 000	李氏禾(Leersia hexandra Swartz)等
As	>1 000	大叶井口边草(Pteris cretica L.)等
Al	>1 000	茶树(Camellia sinensis L.)、多花野牡丹(Melastoma affine L.)等
轻稀土元素	>1 000	天然蕨类铁芒苣(Dicrop teris dichitoma)、柔毛山核桃(Carya tomentosa)、山核桃(Carya cathayensis)、乌毛蕨(Blechnum orientale)等

由于我国重金属超积累植物的研究开展得比较晚,所以相较于国际上较丰富的超积累植物种类资源,我国的超积累植物相对较为稀少。寻找新的超积累植物也是当前的重要任务之一,虽然这项任务并不简单,但只要通过科学方法对植物的进化规律和分布规律进行分析还是能够发现新的超积累植物的。超积累植物也是通过进化和变异而产生的,由于植物长期生长在含有非正常金属含量的土壤中,经过长时间的演变,植物对土壤中含有的重金属毒性表现出越来越强的耐受性,并将重金属积累在植物中,就变成了超积累植物。超积累植物一般多是对某一种或几种重金属元素具有超积累作用,并且生长在含有这种或者几种重金属元素的矿山区域特定环境中,在这种区域中生长的某些植物可能就是重金属超积累植物。

3 超积累植物的研究现状

从Minguzzi等1948年在意大利南部Tuscany地区的富镍蛇纹石风化土壤中发现庭芥属的植物A. bertolontii的干叶组织中镍的质量分数达到1%后,各国科学家陆续发现了很多金属超积累植物。据统计,目前已发现的重金属超积累植物就达700多种,有些超积累植物就能同时吸收、积累两种或几种重金属元素。日

前对超积累植物的开发除了通过野外寻找外,不少研究者逐渐将研究方向转至通过遗传工程和基因工程开发新的超积累植物这一研究领域。比如将超积累植物与生物量高的亲缘植物通过杂交的方法,筛选出能吸收、转移和耐受重金属的作物和草类。

目前,我国已经开展了利用耐重金属植物对矿山尾矿进行植物修复的研究,对超富集植物的应用和污染场地的植物修复研究也在逐步展开和系统进行中。

山西省作为国家的能源重化工基地,也受到重金属污染的危害,主要是汞、铅、镉、砷和六价铬离子污染。超积累植物的分布有很强的地域性,目前为止主要的超积累植物多发现于欧洲,在中国发现的30多种也多分布于南方,在北方比较少。另外,大多超积累植物均属于草本植物,地面生物量较小,在很大程度上限制了对重金属的吸收能力和效果。

针对山西省重金属污染的特点,以及山西省土壤和气候特征,挑选了几种较适宜在山西生长并且对山西主要重金属污染物有修复作用的超积累植物(见表3)。

表3 山西省重金属超积累植物

重金属种类	超积累植物
Hg	加拿大杨
Cd	龙葵、蜀葵、向日葵
Pb	紫花苜蓿
As	蜈蚣草

加拿大杨(*Populus Canadensis* Moench),是一种喜光、耐寒,对水涝、盐碱和贫瘠土地均有一定耐性,也能适应暖热气候的植物。有研究表明,加拿大白杨对重金属汞有很强的富集作用,叶片中汞的质量分数可达231 mg/kg。可以考虑将这种植物种于道路的两旁,以治理汞污染。

龙葵(*Solanum nigrum* Linn.)属于草本植物,一般株高为30 cm~100 cm。其对土壤条件要求不严,但以肥沃且排水良好的砂质土壤为最佳。龙葵是一种常见的农田杂草,具有抗逆境能力强、生长迅速、繁殖能力强的优点。研究表明龙葵的地上部分镉富集系数大于1,转移系数也大于1,具备了超积累植物的主要特征。若对龙葵的特点加以利用可以弥补目前修复植物生长周期长且生物量小等问题。可以将龙葵在山西省重金属污染的场地进行推广,主要进行荒地和田间重金属污染的修复。

蜀葵(*Alcea rosea*)是一种耐寒、喜阳、忌涝、耐盐碱性强的植物,即使在含盐0.6%的土壤中仍然能正常生长,并且在华北地区该植物可以安全地露地越冬。研究表明,蜀葵的地上部和根部对镉的积累量分别可以达到573.79 mg/kg和1448.76 mg/kg,而且还能随着镉处理浓度的不断加大而增大积累量。

山西常见的镉超积累植物还有向日葵。向日葵(*Helianthus annuus*)是一种人们较早认识的镉富集植物,向日葵种植一个月后,植株内镉的平均质量分数大约能达到50 mg/kg。通过研究向日葵的地上部与根部镉含量之比小于1,并未达到超积累植物的标准,但鉴于其生物量较大,可以考虑投入实际应用,在山西推广。

紫花苜蓿是一种原产于伊朗的多年生草本植物,可以作为牧草,在我国也已经有2000多年的栽培历史,是一种分布于世界各地的牧草种类。有研究表明,紫花苜蓿对铜有很强的积累作用,地上部分与地下部分的富集系数大于1,也达到了超积累植物的标准。由于其生长迅速、适应性强、生物量大等特点,很适合作为山西省的重金属修复植物。

蜈蚣草是一种原产于热带和亚热带地区的多年生草本植物,在我国主要分布于南部省份,由于蜈蚣草畏寒、怕烈日,所以比较适宜生长在隐蔽湿润且富含腐殖质、排水良好的土壤环境中。研究表明,蜈蚣草对砷有很强的富集作用,在砷的质量分数为9 mg/kg的正常土壤中蜈蚣草的地下部和地上部生物富集系数分别为71和80。蜈蚣草羽片中的砷含量还会随着种植时间的增加而不断增长。虽然蜈蚣草主要生长于南方,但在山西的一些地区阴凉湿润环境下也可以生长。

虽然利用超积累植物修复重金属污染土壤的技术优点很明显,但就目前的研究进度和技术水平在利用这一技术上仍有不足。首先,超积累植物是一种在不良生长条件胁迫下诱导产生的,由于受不良环境、营养物质和生长因素的影响而生长缓慢,一般的超积累植物多数为草本,在十几厘米到几十厘米之间,生物量较低,修复效果有限。其次,超积累植物是在自然环境中发现的,有很强的区域性和地域性,有的物种对环境的要求很高,其特定的生长环境决定其使用的局限性。最后,超积累植物一般只能对一种或两种重金属元素有富集作用,但目前受重金属污染的土壤中一般都是含有多种元素,所以超积累植物对受重金属元素复合污染的情况修复能力有限。

4 超积累植物的应用前景

在我国,目前受到重金属污染的农田土壤大约有200万 hm^2 ,每年被重金属污染的粮食多达100万t,超积累植物对清除土壤中重金属元素有十分重要的价值和巨大的潜力。超积累植物不仅能用来修复重金属污染的土壤、复垦矿山以及回收化学排放物中的稀有、稀土元素和废矿石堆中的金属,而且超积累植物多数生命力顽强,适合做水土保持和美化环境之用。但针对超积累植物目前还有诸多限制因素,有部分学者提出了一些思路,例如加紧寻找和开发超积累植物,加强对超积累植物的基因研究,努力将其与一些高产的植物进行基因杂交,从而使其适应不同的生长环境并达到较高的土壤重金属污染去除率。

1983年Chaney提出植物冶金,指的是在低品位矿和尾矿上种植超积累植物,利用它们对重金属的超量吸收和富集行为将土壤中的重金属转移到植物地上部,最后将其收获并通过焚烧制成具有商业价值的生物矿石。在最新的一些研究理论中也提到,可以利用超积累植物提取土壤或是环境中的一些贵金属元素从而达到再利用,或是利用这类植物的特性来寻找矿物资源和进行考古,由此可以看出对超积累植物的应用研究已经涉及多个层面和不同的领域。

5 结论

超积累植物修复重金属污染土壤是一项全新而且具有巨大潜力的修复技术,超积累植物的发现和仍在不断进行中,虽然很多的研究目前仍处于实验室和田间的研究试验阶段,并且超积累植物的实际应用中还有许多问题,仍需不断研究和完善,但超积累植物的巨大应用潜力是毋庸置疑的。

(1)超积累植物虽然已经发现 700 多种,但多数是生长于欧洲,即使在我国也多分布于南方。由于有些超积累植物对生长环境要求较严格,所以在使用超积累植物时要针对不同地形和环境做适当的选择。

(2)由于超积累植物一般只能对一种或两种重金属元素有富集作用,所以对多种重金属元素复合污染土壤的修复能力有限。有专家提出利用基因技术,将超积累植物与高生物量的植物杂交,通过这一手段促使超积累植物变异并达到高生物量,从而提高修复效率。

(3)超积累植物除了修复重金属污染土壤外,还可以用于保持水土、美化环境。同时超积累植物也可用来探明矿藏或是利用其富集作用发展植物冶金技术,利用这一技术可以提炼土壤中的贵金属,实现资源的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈怀满.环境土壤学[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 殷捷,周竹渝.超积累植物的研究进展[J].重庆环境科学,2003,25(11):150-152.
- [3] Books R R, Lee J, Reeves R D, et al. Detection of nickel ferrous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants [J]. *Geochem Explor*, 1977(7):49-57.
- [4] 唐世荣.超积累植物[J].农业环境与发展,1996,13(3):14-18.
- [5] Baker A J M, Brooks R R, Pease A J, et al. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa within the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) from Zaire [J]. *Plant and Soil*, 1983 (73):377-385.
- [6] Reeves R D. Metal-accumulating plants. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment* (eds. Raskin I. and Ensley B. D.) [M]. [s.l.]: John Wiley & Sons, 2000:193-229.
- [7] Kham A G, Knek C, Chaudhry T M, et al. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation [J]. *Chemosphere*, 2000, 41(1-2):197-207.
- [8] 唐世荣.植物修复技术与农业生物环境工程[J].农业工程学报,1999,15(2):21-26.
- [9] 刘益贵,彭克俭,沈振国.湖南湘西 Pb 锌矿区植物对重金属的积累[J].生态环境,2008,17(3):1042-1048.
- [10] 魏树和,周启星,王新.18种杂草对重金属的超积累特性研究[J].应用基础与工程科学学报,2003,11(2):152-159.
- [11] 唐世荣, Wiekf B M. 植物修复技术与农业生物环境工程[J].农业工程学报,1999,15(2):21-26.
- [12] 褚贵新,袁任岗.重金属污染土壤的植物修复技术的研究进展[J].石河子大学学报,2001,5(4):30-31.
- [13] Anderson C W N, Brooks R R, Chiarucci A, et al. Phytomining for nickel, thallium and gold [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999(2):67.
- [14] 朱文字,侯明明.超积累植物的资源化利用[J].环保科技,2009,15(2):44-48.
- [15] 樊有赋,华晔,詹寿发,等.超积累植物与重金属污染的植物修复技术[J].河北农业科学,2007,11(5):73-75.
- [16] 戴文娇,刘晓海,曾向东,等.超积累植物在植物冶金中的研究进展[J].环境科学导刊,2008,27(2):12-14.
- [17] 蒋彬.超积累植物在治理土壤重金属污染中的应用[J].昭通师范高等专科学校学报,2002,24(5):32-34.
- [18] 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.
- [19] 张若晨,赵华民.山西省重金属污染与超积累植物修复[J].科技情报开发与经济,2009,19(28):144-146.
- [20] 王鸣刚,任小换,刘晓风.植物修复重金属污染土壤的机理及其应用前景[J].甘肃农业大学学报,2007,42(5):108-113.
- [21] 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.
- [22] 罗青龙,任珺,陶玲,等.重金属超积累植物的研究进展[J].能源与环境,2008(6):17-18.
- [23] 陈一萍.重金属超积累植物的研究进展[J].环境科学与管理,2008,33(3):20-24.
- [24] 庞玉建,宗浩.重金属超积累植物的研究进展[J].四川环境,2008,27(2):79-84.
- [25] 王科,李红.重金属超积累植物浅谈[J].萍乡高等专科学校学报,2008,25(3):88-91.
- [26] 吴志强,顾尚义,李海英,等.重金属污染土壤的植物修复及超积累植物的研究进展[J].环境科学与管理,2007,32(3):67-71.
- [27] 邢前国,潘伟斌,张太平.重金属污染土壤的植物修复技术[J].生态科学,2003,22(3):275-279.

(责任编辑:邱娅男)

第一作者简介:李东旭,男,1985年8月生,现为山西大学环境与资源学院环境工程专业2008级在读硕士研究生,山西省太原市坞城路92号,030006.

整体网研究综述

马振萍^{1,2}

(1.中央财经大学继续教育学院,北京,100081;2.中央财经大学信息学院,北京,100081)

摘要:整体网研究是适应社会发展的需要产生的,具有重要意义。介绍了整体网的分类、规模、构成、密度及结构等,对整体网结构的属性变量、网络变量、关系变量等进行了探讨,指出了整体网研究的优缺点和意义。

关键词:整体网研究;整体网结构;整体网密度

中图分类号:C91-03

文献标识码:A

1 整体网的分类

个体网关注“自我”,整体网关注的是整体网络的结构,二者之间还存在一种中间网络,可界定为局域网。如果把这些网络结合在一起,并且根据不同的标准,那么“关系网络”可以分为多种类型(见图1)。

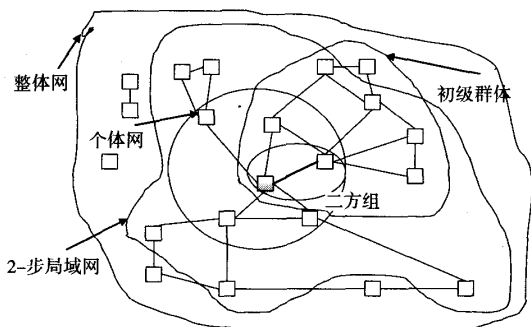


图1 社会网络的多种类型

在图1中,“二方组”的含义是指由两个行动者构成的小群体;“初级群体”是围绕着一个人的某些关系网络成员构成的;

“2-步局域网”是由到核心点的距离不超过2的点构成的网络。该概念的含义比较宽泛,它可以包含全体到达核心点的距离为2的点,也可以包含部分与核心点之间距离为2的点。3-步局域网或n-步局域网的含义依此类推。

上述网络是根据“网络规模”来划分的。如果根据社会网络中的“行动者”类别进行分类,整体网也有很多类型。例如,如果行动者是个人,对应的整体网就相当于很多“个人”之间的“人际关系网”;如果行动者是组织或者法人行动者,对应的整体网就是“组织关系网”;如果行动者是城市、村落、国家等,对应的整体网就是“城市网”“村落网”和“国际关系网”等。正是在此意义上,我们说整体网有多种类型,比如“城市网”“村落网”和“国际关系网”等。

2 整体网络的构成和规模

2.1 整体网的构成

在整体网中,也要研究网络成员的构成,研究方法类似于对个体网络构成的研究。例如,我们可以分析在整体网络中的每个行动者的个体网络成员由哪些行动者构成,研究方法完全类似于个体网络成员构成的研究。

2.2 整体网的规模

Discussion on the Application of Hyperaccumulators in the Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil

LI Dong-xu, WEN Ya

ABSTRACT: The phytoremediation technology for heavy metal contaminated soil is one of the research hotspots in the world at present. The hyperaccumulator can absorb and accumulate excessively the heavy metals in the soil. The content of heavy metals in their bodies is more than 100 times of that in the bodies of common plants. Therefore, the hyperaccumulation is the key of phytoremediation. This paper introduces the concepts, features, species resources and current developments of hyperaccumulators, and probes into the application prospects of the technology.

KEY WORDS: soil remediation; hyperaccumulator; heavy metal pollution

超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用

作者: [李东旭](#), [文雅](#), [LI Dong-xu](#), [WEN Ya](#)
作者单位: [山西大学环境与资源学院, 山西太原, 030006](#)
刊名: [科技情报开发与经济](#)
英文刊名: [SCI-TECH INFORMATION DEVELOPMENT & ECONOMY](#)
年, 卷(期): 2011, 21(1)
被引用次数: 3次

参考文献(27条)

1. 陈怀满 [环境土壤学](#) 2003
2. 殷捷;周竹渝 [超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[重庆环境科学](#) 2003(11)
3. Books R R;Lee J;Reeves R D [Detection of nickeli ferrous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants](#) 1977(07)
4. 唐世荣 [超积累植物](#) 1996(03)
5. Baker A J M;Brooks R R;Pease A J [Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa within the genus Silene L. \(Caryophyllaceae\)from Zaire](#)[外文期刊] 1983(73)
6. Reeves R D [Metal-accumulating plants](#) 2000
7. Kham A G;Knek C;Chaudhry T M [Role of plants,mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation](#)[外文期刊] 2000(1-2)
8. 唐世荣 [植物修复技术与农业生物环境工程](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 1999(02)
9. 刘益贵;彭克俭;沈振国 [湖南湘西Pb锌矿区植物对重金属的积累](#)[期刊论文]-[生态环境](#) 2008(03)
10. 魏树和;周肩星;王新 [18种杂草对重金属的超积累特性研究](#)[期刊论文]-[应用基础与工程科学学报](#) 2003(02)
11. 唐世荣;Wiekf B M [植物修复技术与农业生物环境工程](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 1999(02)
12. 褚贵新;袁任岗 [重金属污染土壤的植物修复技术的研究进展](#)[期刊论文]-[石河子大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(04)
13. Anderson C W N;B rooks R R;Chiarucci A [Phytom in ing for nickel, thallium and gold](#) 1999(02)
14. 朱文字;侯明明 [超积累植物的资源化利用](#)[期刊论文]-[环保科技](#) 2009(02)
15. 樊有赋;华晔;詹寿发 [超积累植物与重金属污染的植物修复技术](#)[期刊论文]-[河北农业科学](#) 2007(05)
16. 戴文娇;刘晓海;曾向东 [超积累植物在植物冶金中的研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学导刊](#) 2008(02)
17. 蒋彬 [超积累植物在治理土壤重金属污染中的应用](#)[期刊论文]-[昭通师范高等专科学校学报](#) 2002(05)
18. 刘茵 [超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用前景](#)[期刊论文]-[湖北农业科学](#) 2010(06)
19. 张若晨;赵华民 [山西省重金属污染与超积累植物修复](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#) 2009(28)
20. 王鸣刚;任小换;刘晓风 [植物修复重金属污染土壤的机理及其应用前景](#)[期刊论文]-[甘肃农业大学学报](#) 2007(05)
21. 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](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2001(07)
22. 罗青龙;任珺;陶玲 [重金属超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[能源与环境](#) 2008(06)
23. 陈一萍 [重金属超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学与管理](#) 2008(03)
24. 庞玉建;宗浩 [重金属超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[四川环境](#) 2008(02)
25. 王科;李红 [重金属超积累植物浅谈](#)[期刊论文]-[萍乡高等专科学校学报](#) 2008(03)
26. 吴志强;顾尚义;李海英 [重金属污染土壤的植物修复及超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学与管理](#) 2007(03)

27. [邢前国;潘伟斌;张太平](#) [重金属污染土壤的植物修复技术](#)[期刊论文]-[生态科学](#) 2003(03)

本文读者也读过(8条)

1. [王新明](#) [放射性核污染的危害及预防措施](#)[期刊论文]-[中国乡村医药](#)2011, 18(6)
2. [蒙冬柳. 宋波](#) [沸石在重金属污染土壤修复中的应用进展](#)[期刊论文]-[吉林农业C版](#)2011(3)
3. [张玉. 韦鹏. 张晟南. 杨军锋](#) [地下水水环境污染特征及其生物修复技术](#)[期刊论文]-[国土资源](#)2008(z1)
4. [吴志强. 顾尚义. 李海英. 王春梅. Wu Zhiqiang. Gu Shangyi. Li Haiying. Wang Chunmei](#) [重金属污染土壤的植物修复及超积累植物的研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学与管理](#)2007, 32(3)
5. [边疆. 孙忠良](#) [浅析我国土壤污染现状及治理措施](#)[期刊论文]-[东京文学](#)2011(8)
6. [王红新. WANG Hong-xin](#) [超积累植物在治理重金属污染土壤中的研究进展](#)[期刊论文]-[资源开发与市场](#) 2010, 26(11)
7. [吉卫星](#) [重金属污染土壤的植物修复](#)[期刊论文]-[商品与质量·理论研究](#)2011(1)
8. [王学礼. 马祥庆. WANG Xue-li. MA Xiang-qing](#) [重金属污染植物修复技术的研究进展](#)[期刊论文]-[亚热带农业研究](#) 2008, 4(1)

引证文献(5条)

1. [程峰. 王星华. 莫时雄. 宁春旭](#) [金属矿山污染土壤的重金属迁移特性研究](#)[期刊论文]-[有色金属\(矿山部分\)](#) 2012(3)
2. [刘畅. 罗旭彪. 邓芳](#) [湖南岳阳桃林铅锌矿周边土壤复合重金属污染及优势植株对铅锌铜超累积性能研究](#)[期刊论文]-[南昌航空大学学报\(自然科学版\)](#) 2013(1)
3. [付川. 余顺慧. 黄怡民. 邓洪平](#) [紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2014(5)
4. [刘健晖. 苏琳. 唐娟. 彭赞平](#) [落花生对中铜与锰的富集能力研究](#)[期刊论文]-[农业灾害研究](#) 2013(8)
5. [付川. 余顺慧. 黄怡民. 邓洪平](#) [紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2014(5)

引用本文格式: [李东旭. 文雅. LI Dong-xu. WEN Ya](#) [超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#) 2011(1)