第 49 卷第 6 期 圆园10年6 月

湖北农业科学

Hubei Agricultural Sciences

超积累植物在重金属污染土壤修复中的应用前景

刘茵员袁2

渊员.河南商丘师范学院生命科学系,河南 商丘 源苑远000曰  
2.河南省高校生物质降解与气化工程技术研究中心,河南 商丘 源苑远000冤

摘要院植物修复是目前治理重金属污染土壤最有发展前途的一种修复技术遥概述了超积累植物的特征及 其生理机制袁并介绍了利用超积累植物修复重金属污染土壤的植物修复技术及其应用前景袁为土壤重金 属污染的治理及其生态的修复提出了新途径遥

关键词院超积累植物曰重金属污染曰应用前景

中图分类号院载缘猿 文献标识码院悦 文章编号院0源猿怨原愿员员源渊20员0冤0远原员492原0猿

粤责责造蚤糟葬贼蚤燥灶 孕则燥泽责藻糟贼 燥枣 匀赠责藻则葬糟糟怎皂怎造葬贼蚤灶早 孕造葬灶贼泽 蚤灶 砸藻皂藻凿赠蚤灶早 贼澡藻  
孕燥造造怎贼藻凿 杂燥蚤造 遭赠 匀藻葬增赠 酝藻贼葬造

蕴陨哉 再蚤灶员,圆

(l-Department of Life Science, Sha灶早qiu Normal University, Sha灶早qiu 476OOO, 匀藻灶葬灶，China；2. Engineering and Technology Research  
Center of Biomass Degradation and Gas-forming,University of Henan Province, Shangqiu 476000, Henan, China)

**Abstract** 院 Phytoremediation is the most promising technology for the treatment of heavy metals contaminated soil. The char­acteristics of hyperaccumulators and their physiological mechanisms were summarized. The technology of hyperaccumulators for remedying heavy metal contaminated soil was introduced. Prospect of its application was also put forward.

**Key word**； hyperaccumulator曰 heavy metal pollution； application prospect

收稿日期院2010-01-15 基金项目院河南省科技攻关项目(072102350028)； 河南省教育厅自然科学科技攻关项目(200510483004) 作者简介院刘茵(1968-),女,河南商丘人,副教授,主要从事植物营养与逆境生理的教学与研究,(电话)13781562999

渊电子信箱)liuyin1968岳yahoo.com.cn遥

自然环境和人类活动造成的土壤质量下降是 严重的农业资源和环境问题之一遥 据估计,全球每 年释放到环境中的有毒重金属高达数百万吨,其中 砷为12.5万t,镉为3.9万t,铜为14.7万t,汞为l.2 万t,铅为34.6万t,镍为38.1万曰遥我国遭受重金 属污染的土壤面积逐年增加, 已形成十几个典型的 重金属污染区, 如株州冶炼厂尧沈阳冶炼厂尧江西大 余矿区附近等遥 有调查资料表明,中国受重金属污 染的耕地面积达200万hm2,约占全国耕地总面积 的 20豫, 导致每年有 100 万 t 粮食的重金属含量超 标,而且减产粮食100万to因而，在我国耕地资源 日益紧张的情况下, 对重金属污染土壤进行修复显 得异常迫切咱2暂遥

员 土壤重金属污染与植物修复技术

重金属是指密度大于5 g/cm3的金属元素遥在 这些金属元素之中, 一些重金属是植物生长所必需 的微量营养元素, 如锌尧铜尧钴尧镍和锰, 其他一些并 不具有已知生理功能，如镉、汞等遥另外，砷虽不是 金属, 但其在土壤中的化学行为与重金属类似, 因 而一并归入“重金属”的范畴遥

员援员 土壤中重金属污染的主要来源

土壤中的重金属有多种来源遥随着现代工业的 发展和人类自身活动的增加,大量带有重金属的工 业废水和污水被排放到水体中,燃料等燃烧后的废 渣中也含有多种有毒重金属, 除此之外, 采矿尧冶 金尧电池工业尧农药尧化肥以及城市废弃物等等,被 农业不合理利用,使土壤中积累重金属浓度超过一 定临界值,即形成污染遥土壤重金属污染具有隐蔽 性尧 潜伏性和积累性等特点, 同时它还可以通过食 物链将这种污染进行转移, 甚至对生态系统造成危 害遥因此，重金属污染土壤修复问题已成为世界性 的难题袁同时也是环境科学研究日益活跃的一个领 域咱猿暂遥

员援圆 重金属污染土壤的治理对策

目前对重金属污染土壤的治理袁以修复被污染 土壤为目的的技术体系主要有院淤农业生态工程措 施袁 即在被污染的土壤上种植不进入食物链的植 物袁或者栽植观赏苗木尧铺设草皮等曰于土壤改良措 施袁包括排土尧客土尧淋洗尧增加土壤有机物尧施加土 壤改良剂等曰盂现代物理化学方法袁如污染土壤固 化尧玻璃化尧热处理曰榆生物修复渊净化冤袁即利用特 殊植物或微生物体系清除土壤和水体中的污染物 或降低污染物的毒性袁使受到污染的环境得到恢复遥 这些治理途径都有各自的优点和不足遥 利用客 土尧淋洗等各种物理尧化学方法进行重金属污染土 壤修复耗能大袁操作费用高袁对环境存在一定的二 次污染性遥 而相应的利用生物修复技术则成本低尧 回收和处理富集重金属的植物较为容易袁且在清理 土壤重金属污染物的同时袁可清除土壤周围大气和 水体中的污染物袁有较高的环境美化价值袁有利于 生态环境改善咱源暂遥自 圆园世纪怨园年代以来袁植物修复 技术已成为环境污染治理研究领域的一个前沿课 题遥

植物修复实际上是指将某种特定的植物种植 在重金属污染的土壤上袁而该种植物对土壤中的污 染元素具有特殊的吸收富集能力袁将植物收获并进 行妥善处理渊如灰化回收冤后可将该种重金属移出 土壤袁达到污染治理与生态恢复的目的咱缘暂遥对于修复 重金属污染土壤来说袁植物修复技术主要有植物提 取尧植物的挥发和植物稳定或植物固化等袁尤其是 植物提取技术最为引人关注遥 植物提取是指利用重 金属富集能力较高的植物通过吸收和转运过程袁将 土壤中的一种或几种重金属转移并贮存在植物地 上部分袁随后收获地上部分并集中处理来减少土壤 中重金属含量咱远暂遥 这一技术通常是以超积累植物为 核心的遥

圆 重金属超积累植物

超积累植物是指那些能够超量积累重金属的 植物袁也称超累积植物或超富集植物遥 月则燥燥噪泽 等在 员怨苑苑年首次提出超积累植物的概念袁当时用以命名 茎中 晕蚤 含量渊干重冤大于 员园园园皂早辕噪早的植物遥 此后 的研究发现袁自然界中天然存在着一些能够强烈富 集重金属元素的超积累植物遥 一般认为袁悦则尧悦燥尧晕蚤尧 悦怎尧孕遭 含量在 员园园园皂早辕噪早以上的植物为超积累植 物遥 现已发现 粤泽尧悦凿尧悦燥尧悦怎尧酝灶尧晕蚤尧孕遭尧杂藻 和 在灶 等 多种元素的超积累植物遥

圆援员 超积累植物的特征

作为超积累植物需要具备以下特征咱苑暂院淤植物 体内重金属浓度超过一定临界值渊表 员冤遥 于植物吸 收的重金属大部分分布在地上部分袁即有较高的地 上部辕 根浓度比率遥 通常情况下袁根内的重金属浓度 往往比茎叶中的相应元素浓度高员园倍以上袁 但在 超积累植物中袁茎叶内重金属浓度超过了根内的元 素水平遥盂在重金属污染的土壤上这类植物能良好 地生长袁 一般不会发生毒害现象遥 如遏蓝菜属的 栽澡造葬泽责蚤 糟葬藻则怎造藻泽糟藻灶泽 自然生长的土壤全锌含量在 圆员愿耀员远远缘缘滋早辕早袁全铅在源园怨耀远园圆缘 滋早辕早袁全镉在 源耀员员愿滋早辕早袁交换性铅在缘耀猿 园园园 滋早辕早袁交换性镉在 园援源耀猿猿 滋早辕早遥 榆具有很强的抗虫尧抗病能力遥

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表 **1** 重金属在土壤和普通植物中的平均浓度 及超积累植物的临界标准（单位:滋g/gWD） | | | |
| 元素 | 土壤 | 植物 | 超积累植物临界标准 |
| Cd | 要 | 要 | 100 |
| Co | 10 | 1 | 1000 |
| Cr | 60 | 1 | 1000 |
| Cu | 20 | 10 | 1000 |
| Mn | 850 | 80 | 10 000 |
| Ni | 40 | 2 | 1000 |
| Pb | 10 | 5 | 1000 |
| Zn | 50 | 100 | 10 000 |

圆援圆 超积累植物的修复机理

随着超积累植物的大量发现袁以及对这些植物 在环境修复中作用的充分认识袁人们对其机理进行 了广泛尧深入的研究遥 主要包括超积累植物对根际 土壤中重金属的活化和超量积累植物对土壤重金 属吸收及其耐性机理两个过程遥

圆援圆援员 超积累植物的根际效应 超积累植物的根 系都很发达袁它与根际土壤环境间存在着复杂的相 互作用袁不仅可以分泌质子袁还能释放出多种分子 化合物袁如单糖尧氨基酸尧脂肪酸尧酮酸以及高分子 化合物多糖尧聚乳糖和黏液等袁这些物质能酸化土 壤环境袁从而溶解重金属进入土壤溶液袁还能把有 毒金属转变为无毒或毒性较低的形态袁减少污染物 向地下水迁移和淋溶遥 张淑香等咱愿暂研究发现作物根 系分泌的脂肪酸能在根际环境中的积累袁尤其是 在还原条件下的积累会造成局部土壤酸性环境遥 另外袁 这些物质能改变根际微环境与微生物群 落组成遥 阅藻造燥则皂藻 等咱怨暂发现 在灶 超积累植物 栽澡造葬泽责蚤援 糟葬藻则怎造藻泽糟藻灶泽 和非超积累植物 栽则蚤枣燥造蚤怎皂 责则葬贼藻灶泽藻 根 际土壤中微生物种群的数量均高于非根际土壤袁且 栽澡造葬泽责蚤援糟葬藻则怎造藻泽糟藻灶泽 根际土壤中出现高比例的重金 属忍耐型细菌遥

圆援圆援圆 超积累植物对重金属的耐性机理 超积累 植物在体内积累大量的重金属而不会产生毒害现 象袁这是因为其自身存在一定解毒机制袁即重金属 在植物体内以不具生物活性的解毒形式存在:如离 子主动运输进入液泡袁与有机酸或某些蛋白质的结 合等袁同时也可能是植物保护酶活性的机制袁即使 在高浓度重金属状况下仍能维持正常的代谢遥 大量 研究表明袁超积累植物对重金属的耐性主要是借助 液泡与重金属的多价螯合作用来实现的遥 植物螯合 物对重金属起固定作用袁以保护植物体内重金属敏 感酶的作用袁而这些敏感酶总是控制着植物螯合剂 的生物合成过程袁从而影响到植物对重金属的忍耐 性遥如欧洲南部的粤造赠泽泽葬皂属植物袁可富集占植物干 重 圆豫的 晕蚤曰宰藻糟澡曾 等发现铜能促进植物体内过氧 化氢酶和抗坏血酸酶的活性遥 过氧化氢酶和抗坏血 酸酶是植物体内能够清除过多自由基的保护酶袁从 而减轻细胞质膜的脂类过氧化而造成细胞在结构 和功能上的破坏遥

猿 超积累植物在植物修复中的应用 前景

我国目前受金属污染的农田土壤约圆园园万 澡皂圆袁每年被重金属污染的粮食多达 员园园 万 贼袁如此 大面积的污染土壤采用物理和化学方法均因经济 或技术等原因难以实施遥 利用超积累植物的超量富 集作用以去除污染土壤中超标重金属的植物修复 技术具有操作简单袁在经济和技术上能够大面积实 施袁是一种高效尧经济尧绿色的方法遥

超积累植物不仅可以用来修复重金属污染土 壤尧复垦矿山及回收化学排放物中的稀有尧稀土元 素和废矿石堆中的金属咱员园袁员员暂袁而且能保持水土尧美化 环境袁同时超积累植物能超量富集某种或某些化学 元素袁 在植物进化机制研究方面也格外引人注目遥 此外袁此类植物还可以用来寻找盲矿和考古遥 因此袁 运用超积累植物进行植物修复具有潜在的价值和 意义袁致使超积累植物的研究已触及各个层面遥

随着人们对环境的日益重视袁重金属污染土壤 的植物修复技术作为一种新兴的尧高效的生物修复 技术已被科学家与政府部门认可和选用袁并逐步走 向商业化遥 虽然目前这种植物修复技术还仍然处于 田间试验和示范阶段袁对所产生的信息也尚未进行 系统评价袁还需要不断的尧更多的田间结果来支撑 这种技术的发展遥 但无论是从投资成本还是管理等 多方面考虑袁采用超积累植物修复重金属污染土壤 都是一条非常适合我国国情的土壤治理途径遥

鉴于利用超积累植物修复重金属污染土壤技 术存在的诸多问题袁为了加快其从实验阶段走向商 业化袁发挥实际作用袁利用超积累植物进行植物修 复技术需要努力的方向:现阶段研究的关键仍然是 筛选出超积累污染物的植物袁应在自然界袁尤其是 在被污染了的矿区进行全国范围的超量积累植物 资源的调查尧收集尧筛选种质资源袁建立超量积累植 物数据库曰利用植物基因工程技术和现代分子生物 技术结合到植物修复技术中袁 加快植物修复的进 程袁培养出生长迅速尧生物量大的超积累植物曰同时 构建出抗性强尧吸收少尧产量高尧品质好的作物品 种咱员圆袁员猿暂袁 以保证日益严重的重金属污染条件下的农 业生产顺利进行袁对于保护生态环境尧治理环境污 染和生产出合格的绿色食品具有重要的意义遥 参考文献院

咱员暂 晕砸陨粤郧哉 允 韵袁孕粤悦再晕粤 允 酝援匝怎葬灶贼蚤贼葬贼蚤增藻 葬泽泽藻泽泽皂藻灶贼 燥枣 憎燥则造凿鄄 憎蚤凿藻 糟燥灶贼葬皂蚤灶葬贼蚤燥灶 燥枣 葬蚤则袁 憎葬贼藻则 葬灶凿 泽燥蚤造泽 遭赠 贼则葬糟藻 皂藻贼葬造泽咱允暂援 晕怎贼怎则藻袁 员怨愿愿袁猿猿猿（缘）:员猿源原员猿怨援

咱圆暂 黄运湘袁廖柏寒袁王志坤袁等援 超积累植物的富集特征及耐性机 理咱允暂援湖南农业大学学报（自然科学版）袁圆园园缘袁猿员（远）:远怨猿原远怨远援 咱猿暂 魏树和袁周启星袁刘睿援重金属污染土壤修复中杂草资源的利 用咱允暂援自然资源学报袁 圆园园缘袁圆园（猿）:员愿苑原员愿愿援

咱源暂 李文一袁徐卫红袁李仰锐袁等援土壤重金属污染的植物修复研究进 展咱允暂援污染防治技术袁圆园园远袁员怨（圆）:员愿原圆圆援

咱缘暂 韦朝阳袁陈同斌援重金属超积累植物及其植物修复技术的研究进 展咱允暂援生态学报袁 圆园园员袁圆员（苑）:员员怨远原员圆园猿援

咱远暂 王海慧袁郇恒福袁罗瑛袁等援 土壤重金属污染及植物修复技 术咱允暂援中国农学通报袁圆园园怨袁圆缘（员员）:圆员园原圆员源援

咱苑暂 沈振国袁刘友良援重金属超积累植物研究进展咱允暂援植物生理学通 讯袁员怨怨愿袁猿源（圆）:员猿猿原员猿怨援

咱愿暂 张淑香袁高子勤援连作障碍与根际微生态研究咱允暂援应用生态学报袁 圆园园园袁员员（员）:员缘圆原员缘远援

咱怨暂 月耘砸晕粤蕴 酝 孕袁酝悦 郧砸粤栽匀 杂 孕袁酝陨蕴蕴耘砸 粤 允袁藻贼 葬员援 悦燥皂责葬则鄄 蚤泽燥灶 燥枣 贼澡藻 糟澡藻皂蚤糟葬造 糟澡葬灶早藻泽 蚤灶 贼澡藻 则澡蚤扎燥泽责澡藻则藻 燥枣 贼澡藻 灶蚤糟噪藻造 澡赠责藻则葬糟糟怎皂怎造葬贼燥则 粤造赠泽泽怎皂 皂怎则葬造藻 憎蚤贼澡 贼澡藻 灶燥灶 原葬糟糟怎皂怎造葬贼燥则 砸葬责澡葬灶怎泽 泽葬贼蚤增怎泽咱允暂援孕造葬灶贼 and 杂燥蚤造袁员怨怨源袁员远源（苑）:圆缘员原圆缘怨援 咱员园暂 唐世荣袁宰陨蕴运耘月酝援植物修复技术与农业生物环境工程咱允暂援 农业工程学报袁员怨怨怨袁员缘（圆）:圆员原圆远援

咱员员暂 褚贵新袁 任岗援 重金属污染土壤的植物修复技术的研究进 展咱允暂援 石河子大学学报袁圆园园员袁缘（源）:猿园原猿员援

咱员圆暂 顾继光袁胡韧袁周启星袁等援土壤要要要植物系统重金属污染的 治理途径及其研究展望咱允暂援土壤通报袁圆园园缘袁猿远（员）:员圆愿原员猿猿援 咱员猿暂 陈丽莉袁俄胜哲援中国土壤重金属污染现状及生物修复技术研 究进展咱允暂援现代农业科学袁圆园园怨袁员远（猿）:员猿怨原员源园袁员源远援