

植物修复技术及其在环境保护中的应用

龚月桦 王俊儒 高俊凤

(西北农业大学基础科学系, 陕西杨陵 $\Delta xy\tau\alpha\omega$)

摘 要 阐述了植物修复技术的含义, 即利用植物去修复和消除有机毒物 and 无机毒物引起的土壤环境污染。介绍了对有机污染物修复的方法 H ①根收获, ②叶表挥发, ③植物降解; 对无机污染物修复的方法 H ①收获生物量或将污染物进行生物挥发从而将污染物移出土体, ②将污染物转变成为无生物活性的形态。收获生物量对于回收某些贵重金属是很有价值的。基因工程技术以及农业技术的综合运用可以更好地促进植物修复的效果。

关键词 植物修复 有机污染物 无机污染物

近几十年来, 由于环境污染, 植物作为生态系统中物质生产、循环和能量流动过程的主导成分, 在清除环境的有机、无机污染方面的作用日益受到重视。植物能消耗 $\Pi\phi_y$, 也可吸收同化有害的气态工业副产物(如 $s\phi_y s\Pi_y s\Phi T$ 及多环芳烃), 从而净化空气 ^{θ_{xx}} 。另外, 植物用于污泥处理已有很久的历史。本文就“植物修复技术”及其在环境保护中的应用进行讨论。

x 植物修复技术

植物修复($\phi\theta\theta\theta\theta\theta\sigma^1\sigma\theta\zeta\theta\chi^{\theta\beta\beta}$) 技术即利用植物修复和消除由有机毒物和无机废弃物造成的土壤环境污染 ^{θ_{yx}} 。很久以来, 人们便知道植物的生活周期对其周围发生的化学的、物理的、生物的过程都会产生深远的影响。在枝条和根的生长、水和矿物质的吸收、植株的衰老及其完全腐解等过程中, 植物都能深刻地改变周围的土壤环境。运用农业技术使污染的土壤适于种植, 并改善对植物生长不利的化学和物理方面的限制条件。然后, 植物会直接或间接地吸收、分离或降解污染物。研究人员对所种植物、灌溉条件、施肥制度及耕作制度进行组合, 使这种修复效果达到最优化。通过有目的地多年种植优选的植物, 以从污染地带除去污染物, 或者改变土体中污染物

的物理和化学特性, 使之不再威胁人类健康和生存环境, 恢复和重建自然生态环境和植被景观。植物修复是一个低耗费、多收益、对人类和生物环境都有利的技术。

y 对有机污染物的修复

土体中有机污染物的运移依赖于该化合物的相对水溶性、蒸汽压、分子量、电荷等特性以及土体中其他有机物的存在状况。土壤吸收和整合有机物的能力与土壤中有机物的特性与含量、粘土矿物的类型及其含量、土壤结构和 ϕ 值以及水流溢出和流过剖面的时间等相关。即使从这些参数的粗略估计, 也能明显地看出, 利用植物来有效地消除土壤污染具有其所在区域、污染物种类和时间方面的特异性。

植物根对有机物的吸收近乎直接与有机物的相对亲脂性有关。这些化合物一旦被吸收后, 会有多种去向, 但是, 许多化合物实际上是以一种很少能被生物利用的形式被束缚在植物组织中, 普通的化学提取方法也无法提取出。在有机质很少的砂质土壤中,

* 本文承蒙薛澄泽教授审阅并提出宝贵的建议, 特此表示感谢。
收稿日期 $HxZZ\Delta-uZ-y\Delta$

利用根吸收和收获进行植物修复的计划证明是可行的。如利用胡萝卜吸收二氯二苯基—三氯乙烷,然后收获胡萝卜,晒干,完全燃烧以破坏污染物。在这个过程中,亲脂性污染物离开土壤基质进入脂含量高的胡萝卜根中^[62]。另一个运用植物从土壤中直接提取有机污染物的方法是根累积后经木质部转运,随后从叶表挥发。这两种方法明显都有不足之处。

一些有机污染物能被植物或与之有关的微生物降解甚至矿化。植物的根和茎都有相当的代谢活性,即使在植物根以外或根际,其中一些代谢酶在植物修复技术中也是很有用的^[63]。植物的这些能力会被根际活跃的微生物群落进一步提高,这些微生物群落可分布在根际、根组织、木质部液流、茎叶组织中以及叶的表面。如在根际,某些杀虫剂成分,如三氯乙烯和石油醚等已能在根际快速降解,但在土体中降解过程的整体速率和数量都相对较慢。

土壤或根际微生物在分解许多有机污染物的过程中起着主要作用。植物修复的研究原本集中在微生物方面,但最近却意外地发现有关植物有降解能力,对沉积物中酶(这些酶具有降解 α β γ 的潜力)的分离导致人们发现其来源于植物而不是细菌,这使得人们进一步利用植物根中的硝基还原酶进行含硝基的有机污染物的降解^[64],相似的研究方法发现了植物中的脱卤素酶和漆酶,它们可被用来降解含氯有机物及其它有机污染物。

2 植物对无机污染物的修复

对无机污染物的修复与那些能被矿化的有机物不同,只有两种方式可供选择 Hxp 机械地将污染物移出土体。 oyp 使污染物转变成一种无生物活性的形态。移去的方式既可以是通过去除生物量来实现,对某些无机污染物也可通过将之气化挥发来实现。例如,在美国西部某些地区人们已经建立起植被治理系统,这个系统是通过植物及植物—微生物相互作用来促进土壤中有害 $s\sigma$ 挥发^[65]。人们利用生物工程的方法将一种细菌体的汞离子还原酶转移到拟南芥菜中,最终的转株体能忍耐并挥发汞。有毒阳离子 Φv^{+} 被根吸收并被导入的汞离子还原酶还原成易挥发的 $\Phi v o \phi p$ 。然而,生物挥发作用,一般不适用于大

多数无机离子,因此只有选择除去生物量的方法作为从土体中提取大部分污染物的可行措施。

植物在其生长过程中,茎干可能需要多达 yA 种元素,但一般地讲,植物中靶污染物的水平只有 $wax-x\tau av^{1} v v \omega v$ 干重,近年一小群值得注意的植物(所谓的超级累积体 $\varphi_{3+3}\xi\pi\tau^{9+1}90\xi_{836}$)被发现,发展和培育那些在可收获器官需要高水平金属污染物的植物被认为是可能的。它们尽管不常见,但从分类学上看在植物王国里却是广泛分布的。一些超级累积体名称及其积累金属的能力列于表 x^{62} 。

表 x 已知超累积体中金属的含量 o 以干重计p		
金属离子	植物种类	可收获部分金属含量*
$\Pi\rho$	$\alpha\varphi\xi^{7+4}\chi\pi\xi\sigma^{6+90}\sigma^{2+7}\sigma^{2+7}$ o 遇兰菜属p	$xExav^{1} v / \omega v$
Π^5	$Xi^{3+1}\sigma\xi\xi^{9+4}\chi^2\xi$ o 甘薯属p	$xy\tau av^{1} v / \omega v$
Π^5	$\Phi\xi^{9+1}\xi^2\chi\xi^{786+9+1}630\sigma^{6+8}\chi$	$xv\gamma av^{1} v / \omega v$
ϕo	$\alpha u^{389+2}\rho\chi^{30}\chi^{9+1}$	$E\gamma av^{1} v / \omega v$
ϵ^2	$\epsilon\xi\pi\xi^9\rho\xi^1\chi\xi^{2+2}\sigma^{963+4}\varphi_{900}\xi$ o 澳洲坚果属p	$BrExav^{1} v / \omega v$
$\beta\chi$	$\phi^{7+3}\pi\varphi^{386}\chi\xi^9\rho^{3+9}\xi^{66}\sigma\chi$ o 九节属p	$A\Delta B av^{1} v / \omega v$ yB^{90+}^{**}
η^2	$s\sigma o\sigma^{6+8}\chi\xi^9\pi^{9+1}\chi^2\xi^{8+5}$ $\alpha u\chi\xi\sigma^{6+90}\sigma^{2+7}\pi\sigma^{2+7}$	$BrExav^{1} v / \omega v$

* 植物生长在受污染的土壤上; ** 该数据为汁液干物质中的含量,其余数据为枝条中含量。

污染物由根摄取,从根到冠的转运使组织收获更为容易,并减少了人工接触污染物的机会。收获后,对大多数金属污染物进行回收是一个实用的生物量加工步骤。方法之一是对收获的生物量通过热加工、微生物的、物理的或化学的方法减少其体积或重量。这一步骤会降低处理、加工和可能的后续填土的费用。对某些重金属(如 $\beta\chi$ η^2 和 Π^5)来说,回收是很有价值的。这还可能刺激植物修复技术的发展。

A 促进植物修复技术深入应用和发展的其它技术

运用植物修复技术,污染物必须处在植物活跃生长的根区之内。这就暗示将受到水、深度、营养、大气的、物理的和化学的因素限制。而且,地点必须足够大以使耕作技术能得以实施。它必须对人类健康

不存在显著的危险性或者不进一步危害环境。另外,它还涉及到植物生理学、土壤学、生态学、化学、遗传学、环境保护学、生物工程等多个学科知识的综合应用,才能更好促进植物修复乃至生物修复的发展和被污染环境的有效改善。

A1w 一般农业技术

采用土壤改良剂及其它农业措施有利于更好地利用植物修复环境污染。土壤改良剂可用来提高或降低植物所吸收污染物的生物有效性,还能大幅度地增加土壤耕层并有利于植物的定植和生长。如可通过降低土壤 Φ 值,添加螯合剂,施用适合的肥料,改变土壤离子的组成来增加许多金属的生物有效性,促进植物吸收。 $\Sigma Pa \Xi$ 和羟乙基乙烯二胺三乙酸这些螯合物能使其周围某些重金属离子(如 ϕo)在土壤溶液中的浓度提高 $\approx$ 个数量级,同时改变多种作物的根 ν 冠比。另外,可选用土壤改良剂来沉淀、结合或吸收污染物,以减少污染物的运移并降低其对动物、植物,甚至在哺乳动物胃肠系统中的生物有效性。

A1y 常规综合技术

发展新的修复计划一般采用与植物修复技术相结合的综合技术和传统的工程技术。比如,在 P^9_{4328} 实验室,实验研究表明:与电动力学(土壤离子在直流电下运动)相结合时,用螯合剂原位洗涤土壤,植物摄取技术会比任何一种技术单独使用更为有效。对其它综合技术,如植物—气化提取技术和植物—土地耕作等,研究者们正在积极地进行技术可行性和经济可行性的探讨。

A1x 基因工程

通过育种和基因工程改良植物性状,使之更适用于进行植物修复。比如,植物根结构的几个特性可以被改进,如根深度、(根)深入到有氧区的能力和根密度。增加植物(无论是在根组织内还是分泌到土壤中)降解酶的数量(例如,过氧化物酶、漆酶、加氧酶),由生根农杆菌引起的根增殖,从而使根密度增加,这些措施在植物修复中都是有效的。另外,可以把生长慢、低生物量的超级累积体植物育成生长快、高生物量的品种,或者把超累积金属的基因特性导入到生长快、高生物量的植物体中。

对受金属生物学影响的突变体进行遗传分析将是理解调控金属累积作用机制的一个很有希望的开端。比如,化学诱变剂产生了大量的突变体,连续的突变作用引起豌豆 $o_{17} \xi^9_{91} \tau \xi^8 \chi^9_{91} p \alpha w$ 到 αw 倍量

高的铁累积 s 。研究发现这与铁—整合的还原酶活性高有关 $^{0B\kappa}$ 。而在拟南芥菜中,连续突变过程导致其 ϵ_2 含量增加 E 倍,这也与铁螯合的还原酶活性有关 $^{0A\kappa}$,并且与 $\Pi\rho$ 、 $\Pi\beta$ 、 $\Phi\nu$ 等的结合呈高敏感性 $^{0B\kappa}$ 。

植物协助清除有机污染的一个发展方向是应用遗传工程培育植物,它们能分泌出特殊的分子,可诱导根际细菌去降解人为的毒素。在这方面,植物—真菌相互作用的研究,特别是与菌根相关的研究日趋成熟,正在应用之中。另一方面,转基因植物可导入能进行生物降解的微生物基因,这在抗除草剂的植物工程研究方面已进入实用阶段。将微生物来源的基因导入到高等植物中,其优越性在于更好地控制生物降解过程和有机体。

参 考 文 献

- x $s\chi^1_{32}\eta\varphi\sigma \partial u\Phi\lambda\sigma\tau \varrho \Xi u\lambda^1_{4368}\xi^2_{2\pi\sigma}3\tau\sigma\sigma\nu\sigma\zeta^8\chi^2_2\chi^2_{6\sigma130}\chi^2_{\nu}4303\pi\pi\eta\chi^2_{\xi031}\xi^8\chi^2_{\varphi}\rho_{63}\pi\zeta^6_{0327}\tau_{031}8\varphi\sigma\xi_{031374}\varphi\sigma\sigma u\partial\xi^8_{990}\sigma s.xZZA\Theta\Delta\nu\text{INZ}-Br$
- y $\Xi_2\rho\sigma^7_{32} a \Xi s \Upsilon_{98}\varphi\chi\tau \Sigma \Xi s \partial\xi^8_{032} O a u O\lambda^6_{\sigma1}\sigma\rho\lambda^8\chi^2_2\chi^2_{8\varphi\sigma}\varphi\chi^2_{374}\varphi\sigma\sigma u \Sigma_2\chi^6_{32} s\pi\chi a\sigma\varphi^2_{30} s.xZZ\epsilon\Theta\Delta\nu.xz\rho\text{H}\Gamma\tau w-y\Gamma\epsilon\Gamma$
- z $\Pi^6_{22}\chi^2_{\nu}\varphi\xi^1_s P u\phi^1_{11} P_1 u\phi^6_{31}\chi^2_{\sigma}\xi^8_{\rho}46374\sigma\pi^7_{37}4\varphi_{836}\sigma1\sigma\rho\lambda^8\chi^2_2 u \phi^0_{\xi^28} \phi\varphi_{\tau}\chi^6_{90} s.xZZI\Theta x\tau wH\Delta rB-\Delta rZ$
- A $s\pi\varphi^2_{336} \Psi\partial u\partial\eta\varphi\varphi \partial \Xi s \epsilon \pi \Pi^8\pi\varphi\sigma^3_2 s \Pi\sigma \xi^0_u \phi\varphi_{836}\sigma1\sigma\rho\lambda^8\chi^2_2 3\tau\pi^2_{28}\xi^1_1\chi^2_{\xi^8}\sigma\rho_{73}\chi^2_{\xi^2}\rho_{7\sigma}\rho\lambda^u_{11}\sigma_{287} u \Sigma_2\chi^6_{32} s\pi\chi a\sigma\varphi^2_{30} s.xZZB\Theta\Delta\nu.HxE-z yz$
- B $\eta\xi^3_{\sigma}\rho \Xi \epsilon s\alpha\sigma^6_{03} \vartheta ss\sigma\sigma^2_{\xi^6}1030\xi^8\chi\lambda^2_{\xi^8}\chi^2_{\xi^2}\rho_{73387}\text{H}\sigma\tau\sigma\tau\sigma^7_{37}7\varphi_{338}6\sigma130\xi^0_{\xi^2}\rho_{7907}\xi^8_{\sigma}0\sigma\sigma u\partial\phi^0_{\xi^28} \phi\varphi_{\tau}\chi^6_{90} s.xZZA\Theta\Delta\nu.HE-xA$
- $\Gamma \partial\sigma\pi\varphi \varrho \epsilon s\partial\xi^0_{\rho}\sigma a \Xi u\phi\varphi_{\tau}\chi^6_{93}\nu\chi^2_{\xi^8}\pi\varphi\zeta^6_{\xi^8}\pi\sigma^8\chi^2_{\xi^8}\tau_{37}T\sigma \xi\pi\sigma^9_{190}\xi^8\chi^2_2\chi^2_{8\sigma}“o_{6324}\sigma”198\xi^2_{28}3\tau\phi\chi^9_{91}\tau\xi^8\chi^6_{91} \partial u\pi^0_{11}\xi^0_{\omega}\sigma”\Sigma x\Delta\nu o_{61} p u\phi^0_{\xi^28} \phi\varphi_{\tau}\chi^6_{90} u xZZ\kappa\Theta\epsilon \text{I}\Delta yz-\Delta yZ$
- $\Delta P\sigma\varphi\lambda^2_{\xi}\sigma \Sigma s_{\varrho}\xi^2_{\rho}\xi^0_{\nu}\phi \Psi s \partial\xi^0_{\xi}\pi\sigma \phi \Xi\sigma \xi^0_{\nu}\kappa\pi\sigma\sigma^2_{\xi^2}\chi^2_{\nu}\xi^8_{\xi}\chi^0_{\rho}347\chi^2_{\tau36}198\xi^2_{287}\chi^2_{11}\chi^2_{\sigma}\xi^0_{2986}\chi^2_{\xi^2} u\phi^0_{\xi^28} s^3\chi^6 u xZZA\Theta\Delta\nu.B^H x-A$
- E $\epsilon_{964}\varphi_{\nu} \Xi s\alpha\xi\chi \partial u \Xi_2\sigma_{10}\sigma^8\chi^2_{\xi^8}1\sigma_7\varphi_{86}\xi^2_{27}\tau\sigma^6_{8\sigma\pi\varphi^2}\chi^2_{9\sigma}\tau_{36}1\sigma_8\xi^0_{830}\sigma^6_{\xi^2}\pi\sigma_{789}\rho\lambda^2_{\xi^7}\chi^2_{\xi^6}\xi^0_{\chi}\rho_{347}\chi^2_{\sigma\pi^383}4\chi^2_{\pi}\xi^0_{\xi^8}\chi^2_{\xi^2}\xi^2_{\rho}\pi_{347}\sigma^6_{198}\xi^2_{287} u \phi^0_{\xi^28} \phi\varphi_{\tau}\chi^6_{90} s.xZZB\Theta\Delta\nu.HZ-zE$

作者简介

龚月桦,女,y Γ 岁,西北农大基础科学系植物生理学专业在职博士生,讲师。