

# 植物修复的机理及其应用中的关键问题研究

王志平<sup>1,2</sup>, 李庚飞<sup>1</sup>

(1. 陕西省多河流湿地生态环境重点实验室, 陕西 渭南 714000;

2. 东北师范大学 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林 长春 130024)

**摘要:**植物修复在环境污染治理中具有广泛的应用前景。现系统阐述了污染环境的植物修复机理, 并植物修复技术应用过程中的关键问题进行了探讨, 以期推动植物修复技术的研究与应用。

**关键词:**环境污染; 植物修复; 机理; 应用

**中图分类号:**Q 948.12<sup>+</sup>2.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)16-0133-03

当前, 环境污染问题日见突出, 严重制约了社会经济的可持续发展。以生态毒理学为基本原理的环境生物修复技术日益受到高度重视。其中, 植物修复主要是利用植物及其根际微生物去除、转化和固定土壤、底泥、地下水、地表水以及大气中的有毒化合物<sup>[1]</sup>。与其它的修复方法相比, 植物修复技术成本较低, 非常适合大范围土壤污染的治理, 如农药残留、石油污染等。近年来, 关于植物修复技术在清除放射性元素方面的研究与应用也取得了突破性进展<sup>[2]</sup>。

## 1 污染环境的植物修复机理

植物可以直接吸收、固定、分解污染物, 同时也可通过改善土壤环境而进行间接修复。许多情况下, 植物对环境的修复过程是由高等植物和微生物组成的整体来完成的, 涉及许多物理、化学和生物过程。

### 1.1 改善土壤环境, 间接影响污染修复过程

1.1.1 调节水分平衡, 防止污染物扩散 植物蒸腾和土壤蒸发之和是大气降水最重要的消耗过程。这一过程既能把水分分配和太阳能通过植物进行结合, 使土壤渗漏减少, 同时, 植物根系又能够更好的防止土壤流失, 这些作用都能有效地阻止污染物的扩散与蔓延。

1.1.2 调节 pH 值, 影响污染物溶解度 植物根系分泌的有机酸还可以调节土壤的 pH 值。不同植物的根系对土壤的 pH 值具有不同的影响, 从而影响土壤污染液中的离子溶解度和活性。因此, 土壤污染液中的离子溶解

**第一作者简介:**王志平(1978-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事环境生物学和分子生物学等研究工作。

**基金项目:**陕西省教育厅专项科研计划资助项目(11JK0627); 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室开放基金资助项目。

**收稿日期:**2012-05-21

## Effects of Different Fertilizer Treatments on Yield of Black Wax Guard

DENG Jian-ying, WAN Zheng-lin, LI Li-zhi, WU Peng, LIU Chao-an, LIANG Gui-dong, DENG Jie-ling

(Guangxi Demonstration Park for Modern Agricultural Science and Technology, Nanning, Guangxi 530007)

**Abstract:** Effects of N, P and K fertilizer on yield of black wax guard ('Guishu No. 1') with field experiment were studied with the orthogonal design. The results showed that nitrogenous fertilizer, potassium fertilizer and the interaction of nitrogenous and potassium fertilizer had a very significant effect on yield, while phosphorus fertilizer and the interaction of phosphorus and potassium fertilizer had a significant effect on yield. The following was the sequential influence factors on yield of wax guard in an order from major to minor: potassium fertilizer > nitrogenous fertilizer > the interaction of nitrogenous and potassium fertilizer > the interaction of phosphorus and potassium fertilizer > the interaction of nitrogenous and phosphorus fertilizer > phosphorus fertilizer. In this paper, the optimum factor combinations were as follows: nitrogenous fertilizer 800 kg/hm<sup>2</sup>, phosphorus fertilizer 225 kg/hm<sup>2</sup>, potassium fertilizer 750 kg/hm<sup>2</sup>, which had the maxumun production.

**Key words:** fertilizer rate; black wax guard; orthogonal design; yield

度和活性也不同,被植物或微生物降解的速度也不同。

### 1.1.3 促进微生物活动,提高微生物的污染降解能力

在植物分布范围内土壤微生物量是最大的,据估计,根际土壤(离根系的距离小于1 mm)比非根系土壤的微生物含量可多达10倍以上。根系能够分泌一些营养物质,如糖类、磷酸、蛋白质等供微生物生存,促进微生物对污染物的降解。据研究,杂交杨根系土壤具有很高含量的硝酸还原菌和芳香性碳水化合物分解菌。欧洲山杨根际中具有一种独特的2-氯-4-乙胺-6-苯丙胺,1,3,5-连氮吡啶分解细菌,它能有效的分解土壤中的这一农药残留。

### 1.2 植物固定

对于大气污染物,植物主要通过叶片的吸附作用将其固定下来。对于土壤污染物,植物则主要通过根系的吸附作用将污染物在根系周围沉淀下来。植物还可以利用其根系的作用,改变根系分布范围内土壤的微环境,促进污染物从溶解态向非溶解态转化。另外,植物根系能够使土壤本身得到稳定,从而促进污染物在根系分布范围内的固定。当污染物从土壤中清理掉不太可行时,可以选择这种处理方式,尤其是对疏水污染物和重金属元素<sup>[3]</sup>。

### 1.3 植物代谢与降解

一些污染物可以被植物吸收,进入植物体内的污染物经过一系列代谢作用后,其毒性通常会降低,但是在少数作用下,植物代谢作用也会导致污染物毒性升高。污染物在植物体内的代谢一般可分为3个阶段:第1阶段:转换反应,这通常是一个氧化还原过程,生成各种羟基团。羟基化作用通常由一些氧化酶催化,是植物脱毒的一个重要反应,污染物引入羟基后,其亲水性增加,因此在植物体内的代谢能力将进一步提高。例如,除草剂的烷基基团在植物体转化过程中经羟基化作用可以生成尿素而被植物吸收利用。第2阶段:结合反应,即第一阶段的代谢产物与植物体内的一些分子如葡萄糖苷相结合,形成内源性亲水分子。第3阶段:结合反应的产物被分隔于液泡或细胞壁中,进一步转化为细胞壁物质木质素或半纤维素,或者使其在液泡中得以区分。

### 1.4 植物积累

对于一些污染物,植物可能不具有对其进行分解代谢的酶类,但是植物可以将这些污染物积累在特定的器官,如茎、叶、果实等。积聚污染物质的植物体收割后最终也能得到有效的利用或贮存。例如,植物燃烧后重金属含量高的灰分有时可被用作矿物。

### 1.5 植物挥发

植物挥发是指植物吸收污染物质并转移到叶片和枝条中,再挥发到植物体外。这类污染物在植物体内几乎很少参与代谢,却易被运输,同时大气蒸汽压大。若

挥发物质的浓度很低,或者由于挥发物质能在光照下发生光解作用,则该技术可以应用。例如,氯苯、三氯乙烯以及另一些含氯溶剂的污染都可用这一技术处理。

## 2 植物修复技术在污染治理过程中的关键问题

植物修复技术因其可以有效地降解各种有机物质而备受关注。但是植物修复也存在一些不足。首先,植物修复的周期比较长。其次,植物对某种污染物的去除可能不彻底,因而会产生残留浓度,若残留浓度高于污染物的最大允许浓度,通常需要采取其它的辅助方法。再次,许多有机污染物,特别是持久性有机污染物在土壤中的生物降解机制尚未阐明<sup>[6]</sup>。因此,应用植物修复技术治理环境污染的过程中应重点解决以下几个关键问题。

### 2.1 阐明污染物在植物体内的代谢过程

通常情况下,污染物经过植物的代谢作用会转化为可供植物利用的成分,或者使其毒性大大降低。如进入植物体内的酚,大部分很快加入糖代谢,与糖结合成酚糖苷,失去毒性,贮于细胞内。另一部分游离酚,则会被多酚氧化酶和过氧化物酶氧化分解,变成二氧化碳,或者其它无毒化合物,解除其毒性。生产上也证实,植物吸收酚后,5~7 d即全部分解掉。

但是,一些污染物在植物体内的代谢产物可能具有更高的毒性,或者植物将其代谢后转化为二次污染物排出体外。例如,农药西维因在植物体内先经氧化生成羟基化代谢物,对哺乳动物和昆虫的毒性比西维因母体提高近10倍。这种情况下植物修复技术不能应用或者在应用中必须配套相应的辅助措施。因此,必须阐明植物对环境污染物的代谢过程,才能投入应用。

### 2.2 植物的改造与筛选

植物修复效率高是植物修复技术能否应用的关键问题,而合理的筛选与改造措施对提高修复效率非常重要。

2.2.1 污染修复植物的转基因改造 植物所具有的生物修复能力是有限的,必须大幅度提高植物对有机污染物的吸收、转化和降解水平。然而,随着转基因技术的发展和人们对植物降解有机污染物机理的深入了解,人们改造植物的能力越来越强<sup>[4]</sup>。近年来,很多研究者试图将转基因技术用于修复植物的改造,以增强其在吸收、富集、转化和降解污染物方面的能力。现已有多项研究表明,通过转基因的办法能提高植物对特定有机污染物的耐受、吸收和降解能力。例如,把人体细胞色素P450的转录基因转移到烟草中可以提高烟草对卤素有机物的氧化能力,使得被改造烟草分解三氯乙烯的速度比对照高出640倍<sup>[5]</sup>。然而,转基因植物给我们带来巨大利益,同时它也存在一些安全隐患。因此,如何发展和“创造”安全有效的用于修复污染环境的转基因植物

是植物修复技术亟待解决的问题之一。

2.2.2 污染修复植物的筛选 随着现代生物技术的发展,许多学者利用基因工程对修复植物进行改良,以提高其植物修复能力。但是,转基因植物的生态后果(如生物入侵和基因链污染等)难以预料,特别是基因链污染的后果往往在很长一段时间后才能表现出来。另外,地球上的植物资源非常丰富,众多具有污染修复潜力的植物尚未被发现。因此,应该进一步重视和加强污染修复植物的筛选,而不是过多依赖于转基因技术。

在污染修复植物的筛选中,首先要保证所选植物在生理上适应当地的污染环境,即植物对污染具有较强的耐性,在现场条件下生长旺盛,并以所期望的修复作用方式与污染物发生作用(高效的吸收、积累或降解)。其次,所选植物最好是本地种,而不引入外来种,以避免可能出现的生态后果。最后,尽量选择管理维护要求比较低,成本投入少的植物,而且所选植物最好具有一定的经济价值。

### 2.3 植物修复方案的长期全面规划

植物修复效果受多种因素的影响,因此要做好全面规划,通过多方配合来实现理想的修复效果。

首先,在大规模开展植物修复之前必须明确选择哪种植物、修复效率如何、修复周期多长、收获植物后如何处理利用等问题。这样,才能保证具体工作有计划、有条理地开展。

其次,修复效果与外界条件如水分、温度、光照、热量、根际微生物环境以及污染物的种类和浓度等因素密切相关。因此,植物修复过程中要对这些因素进行动态监测,必要时辅以农艺措施、物理化学调控、微生物调控等措施改善植物生长条件,促进植物生长发育,提高植物对污染物的修复效率。

再次,加强植物修复范围内的环境管理,例如在边界布设围栏,以防开垦、放牧等人类活动的不良干预,避免边修复边破坏现象的发生。

最后,加强环境教育,特别是对修复区周边居民开展各种形式的环境教育。通过海报、广播、讲座等形式向群众宣传环境退化的危害、开展环境修复的重要意义,提高他们的环保意识,使大家变被动为主动,积极参与到退化环境的保护与修复中。

### 3 结语

从世界范围看,植物修复技术已经越来越引起人们的重视。美国、德国、法国、丹麦、芬兰、瑞典等国家均加大了政府投入,以支持这一领域的研究,并且一些植物修复技术已成功应用于不同的环境污染治理中。近年来,由于经济发展中带来的环境问题日益严重,植物修复的应用前景将更加广泛。但是,植物修复技术也具有自身的局限性,因此,必须进一步深化机理研究,并对其应用进行全面细致的规划与管理。

#### 参考文献

- [1] 钱晓荣,董毛毛. 对二氯苯污染土壤的植物修复研究[J]. 环境污染与防治,2009,31(8):67-70.
- [2] 唐秀欢,潘孝兵. 植物修复—大面积低剂量放射性污染的新治理技术[J]. 环境污染与防治,2006,28(4):275-278.
- [3] 钟哲科,高智慧. 植物对环境的修复机理及其应用前景[J]. 世界林业研究,2001,14(3):23-28.
- [4] 胡光珍,王幼芳. 转基因植物对有机污染物的吸收、转化和降解[J]. 植物生理与分子生物学学报,2005,31(4):340-346.
- [5] Doty S L,Shang T Q,Wilson A M. Enhanced metabolism of halogenated hydrocarbons in transgenic plants containing mammalian cytochrome P450 2E1 [J]. Proceeding National Academy of USA,2000,9(7):6287-6291.
- [6] 曹雪莲,惠泉,孙立水. 转基因植物修复土壤有机污染物的研究[J]. 生物技术世界,2008,23(3):23-25.

## Mechanisms of Phytoremediation and the Key Issues in Its Application

WANG Zhi-ping<sup>1,2</sup>, LI Geng-fei<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Eco-environment of Multi-River Wetlands in Shaanxi Province, Weinan, Shaanxi 714000; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024)

**Abstract:** Phytoremediation has wide application in the restoration of polluted environment. This paper systematically introduced the mechanisms of phytoremediation, and the key issues in its application, with the objective to stimulate the research and application of this technology.

**Key words:** environmental pollution; phytoremediation; mechanism; application