

滨海重盐渍荒漠化地区生态重建 生物技术模式的研究

——以天津滨海新区为例

杨永利¹, 徐 君², 富东英³, 郝晋珉¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 天津泰达生态园林发展有限公司, 天津 300457;
3. 天津农学院, 天津 300384)

摘 要: 通过对天津经济技术开发区自然地貌的分析, 根据荒漠化的新概念, 判定该区为典型的滨海重盐渍荒漠化地区, 是滨海新区的代表。依据生态重建的相关理论, 确定生态重建的技术体系, 其中以引种、筛选耐盐植物和培育转基因耐盐植物的生物技术为关键技术。依此在该区域建立了海挡护坡和高速公路的耐盐植物生态景观模式。

关键词: 滨海; 重盐渍; 荒漠化; 生态重建; 生物技术模式

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)02 – 0359 – 05

Study and Application of Biotechnology Mode of Eco – reconstruction in Coastal Heavy Salty Deserted Land——Take Tianjin Coastal Area for Example

YANG Yong-li¹, XU Jun², FU Dong-ying³, HAO Jin-min¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Tianjin TEDA Eco – Landscape Development Co. Ltd., Tianjin 300457, China; 3. Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China)

Abstract: Tianjin Economic & Techonlogy Developing Area, a typical example of Tianjin Coastal Area, is determined as a heavy salty deserted land according to the analysis on its natural physiognomy and the new concept of desertification. It is essential and important to reconstruct the ecology in this area for its special economic status. According to the related theories of eco – reconstruction, we establish the technology system of eco – reconstruction, among which biotechnology mode is an effective, directive and practical mode that adapts to our national present status and should be popularized and advocated in 21st century. The species introduction, salt – tolerant plants selection and transgenic salt – tolerant plants breeding are core biotechnologies. An ecological landscape mode of salt – tolerant plants along the expressway and bank – protecting slope should be built in the coastal area based on these technologies.

Keywords: coast; heavy salinization; desertification; eco – reconstruction; biotechnology mode

天津滨海地区主要包括天津经济技术开发区(以下简称开发区)、塘沽、汉沽、大港四个区, 本文研究的区域主要指天津经济技术开发区, 该区创建在天津塘沽盐场的晒盐池上, 又坐落在渤海湾的退海盐荒地上, 地貌植被覆盖度几乎为零, 生态环境恶劣, 为典型的滨海重盐渍荒漠化区, 是滨海新区生态条件的代表。由于该区域为国家开发区, 经济地位相当重要, 是

北方地区新的经济增长点, 要求生态环境建设与经济建设同步。因此, 研究该区域的生态重建技术及组装模式是非常重要和必要的。

在滨海地区重盐渍土荒漠地区进行生态恢复和生态重建是十分困难和艰巨的工作, 而将生态环境建设与城市景观建设结合则是一项新型的探索, 不论理论, 还是技术都有许多亟待解决的问题。

世界上许多国家都先后开展了生态重建研究工作。美国是世界上最早进行生态恢复研究与实践的国家之一^[1~4]。美国生态学会于 1992 年提出脆弱生态

收稿日期: 2003 – 12 – 11

作者简介: 杨永利(1966—), 女, 汉, 内蒙人, 高级农艺师, 博士, 主要从事盐碱地改良和绿化等方面的研究工作。

环境的可持续性管理、已受损害的生态环境的恢复重建等效应是生态学研究优先考虑的重点领域。欧洲共同体国家对大气污染(酸雨等)胁迫下的生态系统退化研究较早,并开展了大量的恢复实验研究;英国对工业革命以来留下的大面积采矿地以及欧石楠灌丛地的生态恢复研究最早。北欧国家对寒温带针叶林采伐迹地植被恢复开展了研究与试验。在澳大利亚、非洲大陆和地中海沿岸的欧洲各国,研究的重点是干旱土地退化及其人工重建。美国、德国等国学者对南美洲热带雨林、英国和日本学者对东南亚的热带雨林采伐后的生态恢复也有较好的研究。

我国也是较早开始生态重建实践和研究的国家之一^[5]。20世纪50年代,我国就开始了退化环境的长期定位观测试验和综合整治工作^[6, 7]。20世纪90年代开展沿海防护建设研究,提出了许多切实可行的生态恢复与重建的技术与模式^[8]。在实践上,已有了一些成功的小流域生态恢复案例^[9~11]。在矿区的生态恢复和重建的研究中也做了大量的研究和实践工作^[12~18]。山东省农科院国家科技攻关寿光试验区“九五”期间,研究探索了耐盐牧草植物的引进,更新盐地植被,生物改良利用土壤,先后推广应用了杂交酸模、紫花苜蓿、苇状羊茅、林生山黧豆等耐盐牧草良种,投放耐盐苗木14.3万株,在土壤含盐量0.2%~0.5%条件下建设人工草场2 667公顷。但国内外在滨海盐渍土荒漠化地区,特别是土壤含盐超过1%的重度盐土荒漠地区的生态重建的研究工作尚不多见。

1 滨海重盐渍荒漠化地区生态重建相关理论

生态重建是指根据生态学的基本原理,通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法,人为改变或切断生态系统退化的主导因子或过程,调整、配置和优化系统内部及其与外界的物质、能量和信息的流动过程和时空秩序,使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快恢复到原态。生态重建理论包括生态限制因子原理,生态系统的结构理论,生物适宜性原理,生态位原理,生物多样性原理和生物群落演绎理论。在生态重建过程中遵循可持续发展原则,改良利用原则,循环再生原则,协调共生原则,废物最小化原则。

天津滨海新区是滨海重盐渍荒漠和荒漠化的复合区域,属于生态环境脆弱带,自然因素造成原地貌为荒漠地带,由于人为的晒盐又加剧向荒漠化发展。生态重建是进行脆弱生态环境综合整治与恢复和邻近地区经济开发的前提条件。滨海重盐渍地区其生态

恢复实质为生态重建。

2 滨海重盐渍荒漠化地区生态重建生物技术模式研究及应用

滨海重盐渍地区生态重建的技术体系主要为工程技术和生物技术,从内容上分盐碱地治理技术和植被恢复重建技术。盐碱地改良技术基础是降低地下水位到1.3 m以下,通过抬高地面来实现;遵循的技术原则是调控水盐运动在允许积盐下,采取暗管排盐、风力提水排碱、生物排水的途径;主要的技术措施是灌溉洗盐。灌溉作为洗盐的必要措施,研究应用中水、利用雨水和节水灌溉提高水分利用效率。土壤改良的技术途径是采用农业中平整土地、施用化学改良剂,增施有机肥等措施。植被恢复和重建技术遵循植物演替规律、生物多样性和生态位原理,首先引进耐盐先锋草、灌木,在此基础上选择适宜的乔、灌、草植物,最终实现植被重建。总之,通过物理措施、工程措施、水利措施、农业措施、化学措施和生物措施来实现生态重建的目的。

生态重建的生物技术模式主要指不采用工程水利措施,直接引种先锋耐盐植物,建立先锋植物的群落,再逐步引进其它植物,恢复植被,形成生态景观。

植被恢复的过程是:先是被称为先锋植物的种类侵入遭到破坏的地方并定居和繁殖,先锋植物改善了被破坏地的环境,使得其他物种侵入并被部分或全部取代,进一步改善环境,更多物种侵入的结果是生态系统逐渐恢复到它原来的外貌和物种。生物群落演化有几项明显特征。①植物群落对地力的要求从低到高发生迁移变化;②土壤厚度逐步增加;③植物群落的高度从低到高变化;④从寿命短的种类向寿命长的种类发生变化;⑤先锋植物在一系列变化中起到重要作用。根据生物群落演绎理论,盐碱地的生态恢复的顺序一般应为:先锋植物(一般人工选择草类植物)→当地草种→灌木→乔木。

2.1 滨海重盐渍荒漠化地区生态重建生物技术

2.1.1 植被恢复技术

盐渍化生境中退化生态系统的恢复与重建是恢复原来的植被和其相应的结构与功能,或者将植被恢复到与原有植被具有相似的结构与功能并维持系统生产力的稳定发展^[19]。而通过用适当的方法人工干预盐生植被的演替,对生境中自然分布的种类进行人工抚育并引种驯化一部分外来植物种类,是盐渍化生境中植被恢复的主要内容。

天津滨海地区土壤瘠薄,盐滩裸地,寸草不生,没有自然植被,严重缺乏生物资源。仅在盐田之外的远离高潮线的地方偶见一些稀疏的盐生植物,如盐地碱蓬、碱蓬、中亚滨藜、白刺、二色补血草等,数量稀少,尚未形成群落,没有改良土壤的能力。至于木本植物更是寥寥无几,仅有怪柳灌木能在盐渍土中自然生长,以及在局部高台地或堤埂上偶见几种人工栽培的乔木,如白蜡、臭椿等。现有的植被显示土壤含盐量高,但并未完全失去土壤结构,植物有可能在改造后的盐渍土上栽培成活。在自然植被恢复过程中首先选育耐盐先锋植物种植,在植物对土壤的影响过程中,根据植物演替规律,再选育适合当地生长的乡土树种,直到能引进外来树种。

2. 1. 2 耐盐植物引种和筛选技术

根据盐生植被的演替规律,即可以通过人工演替方式,加速演替的进程,促使自然的次生的盐生植被向非盐生植被方向演替^[20]。1995 年在开发区的原生荒地上,没有任何工程措施的情况下,首先引进先锋植物,从异地引入了中华怪柳、新疆四种怪柳、盐地碱蓬、二色补血草、罗布麻、枸杞、地被菊、珠美海棠、草木樨、苜蓿 10 种植物。

在盐生植物演替的最初阶段也是生境条件最严酷的阶段,过高的含盐量与较低的水分利用效率限制了盐生植物的生存与扩展。在这一阶段可以通过人工措施为盐生植物的定居创造较为有利的条件。对于裸地或盐生植物发育不良的地带,可以改变地形条件(如开沟培垄)增强雨季降水的淋溶作用,使沟内形成更适宜于盐生植物生长的环境,促使盐生植物定居与生长。这种方法通常可以显著地促进演替的先锋植物——碱蓬的生长,为进一步引入其他植物创造条件。

本试验中遵照以上原则,在粗放管理下,引进的盐生和耐盐植物得以成活,这些植物对盐碱胁迫的反映和适应性表现见表 1。

根据种植前期与生长末期土壤含盐量下降变化的比率,从表 1 可判断供试植物适应本区重盐碱土能力的大小顺序为:盐地碱蓬> 新疆怪柳> 中华怪柳> 二色补血草> 罗布麻> 地被菊> 草木樨> 枸杞> 苜蓿。与裸地含盐量变化相比较表明耐盐植物的脱盐作用。许多资料报道;盐地碱蓬被种植 3 年后与未种植盐地碱蓬的土壤相比较,能降低 Na⁺含量 4.5% ~ 6.7%;怪柳能降低土壤含盐量的 40% ~ 50%等^[21]。可见,利用种植盐生植物和耐盐植物(包括耐盐乔木)植树造林,是生物措施改良盐碱地的重要方法,也是

表 1 引种的植物对土壤高盐浓度及强碱性胁迫的反应
(生长一年后)

Table 1 The responses of introduced plants to high salt concentration and sever alkaline stress of soil (after growing one year)

植物名称	测定时期	全盐含量 /%	pH 值	株高 /cm	存活率 /%
中华怪柳	播前	3.87	8.42	80	100
	后期	0.23	8.40		
新疆怪柳	播前	1.32	8.43	150	94.68
	后期	0.10	8.40		
盐地碱蓬	播前	3.06	8.06	82	100
	后期	0.19	8.39		
二色补血草	播前	2.85	8.29	80	100
	后期	0.26	8.23		
罗布麻	播前	2.80	8.02	140	100
	后期	0.26	8.29		
枸杞	播前	2.86	8.29	60	100
	后期	0.52	8.30		
地被菊	播前	1.54	8.26	40	100
	后期	0.16	8.52		
珠美海棠	播前	1.32	8.43	100	50
	后期	0.10	8.40		
草木樨	播前	1.06	8.22	30	100
	后期	0.19	8.39		
苜蓿	播前	0.37	7.94	120	100
	后期	0.21	8.20		
对照	裸地	3.87	8.17		0
	裸地	2.34	8.03		

注:以上数据均由天津泰达生态园林发展有限公司化验室提供,该室已被审核为化工部 A 级综合实验室。

滨海重盐渍荒漠化地区生态重建的主要有效生物技术模式。

2. 2 盐碱地生态重建植被恢复过程模型研究

盐碱地的生态恢复有其自身的特点,以植被盐碱地绿化技术为例,在无外界干扰(采伐,虫害等)情况下,假设气候条件相对稳定,其恢复过程一般是初期总植物生产力(植物生产力是指植物生产有机物的速率,即植物在单位时间单位面积制造有机物的速度)快速上升,随后下降,然后缓慢上升,见图 1,原因是初期由于人工配方中有施肥,植物生长迅速,随后由于人工肥料耗尽,植物生长放缓,后来随着当地植物的入侵,土壤在凋落物和生物的改良下,植物生产力缓慢提高,最后趋于稳定。

图中,T1 左边为 A 区,为人工加入的先锋植物的生产力曲线,此时植被盐渍土中的人工施肥充足,植物生长迅速,生产力迅速达到(T1,P1)点,(T1,P1)点的高低取决于植被盐渍土的土壤性质,当地气候,以及先锋植物的种类,T1 一般应控制在两年内,以便使植被盐渍土能迅速被先锋植物固定覆盖,从而很好保持水土.T1,T2 之间部分为 B 区,为先锋植物衰退,当

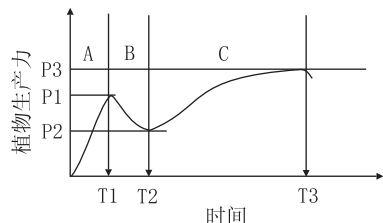


图 1 植物生产力随时间的变化曲线(成功恢复)

Figure 1 Temporal changes of plant productivity (restoring successfully)

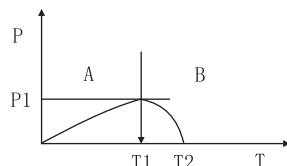


图 2 植物生产力随时间的变化曲线(恢复失败)

Figure 2 Temporal changes of vegetation productivity (restoring unsuccessfully)

地物种入侵的区间,本区由于人工施肥已经耗尽,植被养分自给能力还处于较低水平,总植物生产力呈下降趋势,一直降到 (T_2, P_2) 点,该点的高低对生态恢复的时间和影响很大,该点过低,意味着生态恢复时间很长,且只能恢复到较低的生态群落。影响该点的因素主要为植被土壤的厚度和性质。 T_2 右边部分为C区,为自然恢复区,此时植被主要为当地植物,由于凋落物的腐烂和生物对土壤的改良,植物生产力缓慢回升最终到达 (T_3, P_3) 点,并保持稳定。 T_3 即为生态恢复时间。 P_3 的大小意味着生态系统恢复程度的高低,它取决于植被盐渍土熟化厚度和当地气候。显然,这里假定稳定生态系统的特征是植物生产力恒定。运用微积分知识,对曲线进一步分析,会得到:

$$B = \int P(T) dT$$

式中, B 为系统生物总量,它是时间 T 增函数,稳定生态系统的生物总量是时间的线性函数。而对 $P(T)$ 求导: $A = dP(T)/dt$ 式中, A 为植物生产力的加速度。

由图2知,在 $T \in (0, T_1) \cup (T_2, T_3)$ 时, $A > 0$;而 $T \in (T_1, T_2)$ 时, $A < 0$;在 $T = T_1, T_2$ 以及 $T \in (T_3 + \infty)$; $A = 0$ 。即生态稳定时植物生产力的加速度为0。

(2) 如果植被基层配方不合理,先锋植物选择不当,或由于自然灾害,生态恢复可能失败,这种情况下植物生产力随时间的变化曲线如图2所示(同样假设季节气候相对稳定)。图2中,A区曲线平缓, (T_1, P_1) 点低,表示先锋植物生产缓慢,覆盖率低,且由于土壤流失,植物加速退化,最后在 T_2 时刻土壤流失殆尽,植被也不复存在。

2.3 耐盐植物在生态重建中的作用与应用

郑慧莹、李建东^[21]在“松嫩平原盐生植物与盐碱化草地的恢复”专著中介绍了松嫩平原耐盐碱植物的种类、形态和生理特性,提出了利用生物改良盐碱地的重要性和可能性,强调耐盐碱牧草在盐碱化草地治理和生态建设中的重要作用。如牛东玲等人在土壤盐分组成主要为氯化物的重度盐土上,在没有采取任何工程措施下,直接种植多年生牧草2~3年内,土壤的

脱盐率达到94.3%,含盐量由1.51%降到0.087%,恢复了植被。大量研究表明,通过增施厩肥,秸秆还田,建立淡化肥沃层,可有效的抑制盐分上移,将盐分控制至“允许积盐”及作物根系活动层以下^[22]。这条治理途径对于目前的实际情况,相对水利工程措施更为易于推广实行,且见效快。使退化生态系统物质循环和能量流动逐步走向良性循环。

耐盐植物能够改良盐渍土的功能主要表现在植物覆盖能调节小气候,减少水分蒸发,而抑制盐分上升,防止土壤返盐;同时,植物的蒸腾作用使地下水位下降,防止盐分向地表积累;植物的根、茎、叶返回土壤后又能增加有机质,改善结构,提高肥力。根系分泌的有机酸及植物残体经微生物分解产生的有机酸还能中和土壤碱性。本实验的结果充分证明作为盐碱土的先锋植物为其它一般植物的进一步引进创造良好的土壤环境。为生态重建的植被恢复提供理论依据。

2.4 转移耐盐碱基因技术在植被重建中的应用

近几年来,不少植物生理学家认为,植物体内一些小分子化合物如脯氨酸、甜菜碱、甘露醇、葡萄糖等对于植物忍受环境胁迫的能力具有十分重要的作用。应用于植物基因工程的耐盐碱基因主要有:甜菜碱脱氢酶基因(BADH)、1-磷酸甘露醇脱氢酶基因(mtlD)、磷酸山梨醇脱氢酶基因(gutD)、脯氨酸合成酶A基因(proA)、胆碱脱氢酶基因(betA)和胆碱氧化酶基因(codA)等,这些基因均已相继被成功克隆,但它们绝大多数来自草本植物和大肠杆菌等。迄今,已有烟草、小麦、豆瓣菜、水稻、草莓、玉米等数十种植物被转化并获得了不同程度的耐盐碱转基因植物。其中研究较多的是烟草。

目前树木耐盐碱基因工程研究报道较少。Kanayama等已从苹果中克隆到gutD基因,并进行烟草转化研究,获得耐盐性提高的转化植株。1996年我国已获得耐盐转基因杨树。1999年白根本利用mRNA差异显示法从胡杨中鉴定出几个耐盐基因片段,现已开始进一步筛选和转化杨树的研究。2000年刘风华等运用PCR方法成功克隆了大肠杆菌mtlD

基因,并将该基因插入植物双元载体中,筛选获得一批能在 0.6% NaCl 下生长的转基因植株。2001 年林栖凤等将海滩耐盐植物红树 DNA 经花粉管通道导入茄子,已筛选出耐盐性明显提高的转化株。北京林业大学毛白杨研究所现已开展毛白杨耐盐碱基因的转化研究。2003 年抗盐碱杨树——中天杨已问世,将应用到盐碱地改良中^[23]。

2.5 应用实例

开发区的园林绿化始建于 1986 年,十多年来,根据生态位原理、生物多样性原理和植物演替规律,成功地在盐渍土上异地迁入、引种栽培 451 种植物(含亚种、变种、变型及园艺栽培品种),分属于 98 科,261 属,其中本地区盐生植物 23 种。均能在土壤含盐量为 0.15% ~ 0.4%、pH 值 8.0 ~ 8.5 的改良盐渍土上正常生长发育。

(1) 海挡生态护坡的生态模式

天津经济技术开发区是风暴潮多发区,曾有过强潮使海潮位由 4.2 m 增至 6.14 m,超过海河防潮闸 1.14 m,瞬间海河海水倒灌其流量达 $700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 153 km 长的海堤漫水,约 1/3 的海堤被破坏,损失严重。而开发区距海边 1.5 km,常受风暴潮的威胁。现有海堤海拔高程为 5.5 m,威胁着开发区的安全,必须加高加固,消浪捉淤,抬高滩面、护堤保岸。所采用的方法首先是以海泥、碱渣组合吹填加固,使堤坝高程达 7.5 m;再采用生物提提固堤的方法,即在中潮位种植泌盐植物大米草或互花大米草,高潮坡面种植耐盐植物形成怪柳带或紫穗槐带,堤坝两侧栽培乔木林,有白蜡、刺槐、旱柳、沙枣,组成乔、灌、草混交林海防林带。不仅实现河岸带生态重建的目的,同时也防止特大风暴潮的侵袭,保护了开发区的安全。

(2) 耐盐碱植物景观生态模式

利用耐盐植物的特性,不做任何工程措施,也不换土,直接在原生荒土上栽植耐盐植物怪柳等,再配合人工修剪,完全可以形成一种自然植物景观。如开发区京津塘高速公路分车带栽植怪柳的景观和开发区第六大街道路两旁利用怪柳直接达到绿化效果。

3 讨论与展望

应用生物技术从根本上改良盐碱地,直接恢复植被的模式在天津开发区已成事实。利用生物技术重建滨海重盐渍荒漠化地区生态环境主要从两个方面着手:一方面引种和筛选耐盐碱植物;另一方面利用转基因工程技术把耐盐碱的基因转移到有利用价值、适

应性广泛的受体上,培育成优良品种。本项研究还待今后进一步研究。耐盐碱植物多是野生植物,因耐盐碱程度的差异性、分布的局限性、观赏价值的单一性和利用价值的未知性,使得广泛的应用和推广的时机未成熟,如碱蓬、怪柳等。转耐盐碱基因的植物就可人为避免以上的不足,完全按照人的意愿培育新品种。这将是人类开发利用盐碱地的新天地,也是改良盐碱地的一个新的里程碑,更是 21 世纪滨海重盐渍荒漠化地区生态重建的主要技术模式。

参考文献:

- [1] A New Assessment of the World Status of Desertification/Dregne//Desertif[J]. Contr Bull, 1991, 20: 6-8.
- [2] Глобальная геоэкологическая проблема Человеческое измер. ение/ГМашбин//Изв[J]. РАН. сер. геогр, 1992, 721(2): 23-32.
- [3] Экологический кризис в системе глобальных проблем современности/ЭБАлаев//Изв[J]. РАН. сер. геогр, 1992, (2): 15-22.
- [4] Глобальная деградация биологического разнообразия/РИЗлотин//Изв[J]. РАН. сер. геогр, 1992, 721(2): 76-88.
- [5] 章家恩,徐 琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109-113.
- [6] 董 全. 西方生态学近况[J]. 生态学报, 1996, 16(3).
- [7] 包维楷,陈庆恒,刘照光. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复与重建对策[J]. 长江流域资源与环境. 1995, 4(3).
- [8] 刘 庆,包维楷,乔永康. 岷江上游茂县半干旱河谷灌丛优势种间关系的研究[J]. 应用与环境生物学报. 1996, 2(1): 36-42.
- [9] 潘开文,刘照光,陈庆恒. 保留带与造林带的小气候和水分比较[J]. 应用与环境生物学报. 1998, 4(3): 298-304.
- [10] 刘 庆. 青藏高原东部(川西)生态脆弱带恢复与重建研究进展[J]. 资源科学, 1999, 21(5).
- [11] 张建春,彭补拙. 河岸带及其生态重建研究[J]. 地理研究, 2002, 12(3): 373-380.
- [12] 徐蒿龄. 采矿地的生态重建和恢复生态学[J]. 科技导报, 1994, (3): 49-51.
- [13] 申广荣,白中科,赵景逵,等. 采矿废弃地生态重建专家系统的研制与应用[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 86-91.
- [14] 王文英,李晋川,谢海军,等. 矿区生态恢复与重建研究[J]. 河南科学, 1999, 17(6): 87-90.
- [15] 白中科,赵景逵,朱荫渭. 试论矿区生态重建[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 35-41.
- [16] 朱利东,林 丽,付修根,等. 矿区生态重建[J]. 成都理工学院学报, 2001, 7(3): 310-315.
- [17] 白中科,赵景逵. 工矿土地复垦、生态重建与可持续发展[J]. 资源环境, 2001, 9: 49-52.
- [18] 陈志彪,涂宏章,谢跟踪. 采矿地生态重建研究实例[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 31-35.
- [19] 赵可夫. 盐生植物在改良和利用盐碱地中的应用[A]. 盐碱地造林绿化与综合开发文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [20] 赵可夫,李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [21] 郑慧莹,李建东. 松嫩平原盐生植物与盐碱化草地的恢复[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [22] 严慧峻. 洼淤盐渍土“淡化肥沃层”的培育与功能研究. 土壤学报, 1994, 29(2): 7-15.
- [23] 张一粟. 让盐碱地不再荒芜—转基因抗盐碱杨树——中天杨的问世. 绿色时报, 2003 年 12 月 12 日, 第二版.