

# 植物混凝土格栅技术在北京地区生态护坡中的应用

钱斌天, 高甲荣, 王越, 顾岚, 王颖, 郭维

(北京林业大学 水土保持和荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 植物混凝土格栅技术是一种新型的生态护坡技术。选择北京地区延庆县水土保持科技示范园内一处陡峭裸露边坡为研究对象, 研究了植物混凝土格栅技术在北京地区的适用性以及边坡生态修复中的作用。针对该段坡面存在的溅蚀、面蚀以及沟蚀等土壤侵蚀现象, 采用植物扦插与混凝土格栅相结合的方法对裸露边坡进行近自然修复。分别对施工后 3 个月、15 个月和 47 个月时旱柳的成活率、覆盖度以及 47 个月后旱柳的生长状况、土壤养分和生物多样性进行了调查监测。结果表明, 利用该技术使旱柳的生长情况达到了较高的水平。47 个月后旱柳的平均基径和平均株高分别为 2.02 cm 和 317.2 cm, 而且边坡植被迅速恢复, 生物多样性明显增加, 土壤性质有所改良。

**关键词:** 土壤生物工程; 生态修复; 植物混凝土格栅; 旱柳

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)03-0123-05

中图分类号: S714.7, X171.4

## Application of Plant—Concrete Grillage Technology to Ecological Slope Protection in Beijing City

QIAN Bin-tian, GAO Jia-rong, WANG Yue, GU Lan, WANG Ying, GUO Wei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Plant—concrete grillage slope protection is a new technology for ecological slope protection. By taking a steep and bare slope located in Soil and Water Conservation Science and Technology Demonstration Park in Yanqing County of Beijing City as a research object, the applicability of the technology in Beijing City and its effects in ecological restoration on slope were studied. Because of the existence of splash erosion, surface erosion, gully erosion and other types of soil erosion, the method combining plant cuttings and concrete grillage was used to restore bare slope near-naturally. After 3, 15 and 47 months of construction, survival rate and coverage degree of *Salix metsudana* were investigated and monitored, including the growth conditions, soil nutrients and biological diversity of 47-month-old *Salix metsudana*. It can be concluded that the growth of *Salix metsudana* using this technology has reached a higher level. The average branch diameter of 47-month-old *Salix metsudana* was 2.02 cm and the average stem height, 317.2 cm. Meanwhile, vegetation on slope recovered rapidly, biological diversity increased obviously, and soil properties were improved somewhat.

**Keywords:** soil bioengineering; ecological restoration; plant—concrete grillage; *Salix metsudana*

近年来, 由于各国经济的高速发展, 各种环境问题层出不穷, 当面对各种复杂的修复环境和高昂的治理费用时, 各种省工、省时又省钱的生态护坡技术越来越受到各国的青睐。目前, 风靡欧美各国的一种生态修复技术是土壤生物工程, 这种技术是采用存活植物及其它辅助材料来构筑各类边坡(山地斜坡、江河湖库堤岸和海岸坡岸等)结构, 实现稳定边坡, 减少水土流失和改善栖息地生境等<sup>[1-2]</sup>。虽然, 近 30 a 来欧

美国家这项工程技术的发展有了很大的进步, 但其在我国却还处于探索阶段<sup>[3-5]</sup>。因此, 新型生态护坡技术的实验研究对我国今后在这方面的发展具有极其重要的意义。

2006 年, 国内学者李小平等<sup>[6]</sup>对上海市浦东新区机场已实施的约 4 km 河道的土壤生物工程坡岸示范工程进行了调查研究, 论述了土壤生物工程在我国的发展潜力。高甲荣等<sup>[7-10]</sup>在北京地区对该项措施

收稿日期: 2011-09-21

修回日期: 2011-12-28

资助项目: 国际科技合作项目“土壤生物工程在北京市怀柔区河道生态治理中的应用”(2009DFA32490)

作者简介: 钱斌天(1986—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: qianbintian@163.com。

通信作者: 高甲荣(1963—), 男(汉族), 陕西省韩城市人, 教授, 主要研究方向为水土保持。E-mail: jiaronggao@sohu.com。

的植物材料选择,适宜应用的范围以及实施效果做了大量的研究,探讨了该技术在北京地区推广的必要性和可行性。本文对植物混凝土格栅技术实施以来旱柳的成活率、覆盖度、生长情况、土壤养分及生物多样性进行了调查与分析,以期进一步完善植物混凝土格栅技术的施工和后期管理方法,为其在北京地区生态护坡中的推广应用提供一定的理论技术指导依据。

## 1 实验原理

植物混凝土格栅技术是以土壤生物工程原理为指导,以混凝土格栅理论为基础研发出来的新型护坡技术。土壤生物工程原理是指选取处于休眠期的植物枝条,将其植于不稳定的侵蚀边坡之上。当割条生根成长时,就会在地表产生浓密的植被,保护边坡,避免侵蚀,与此同时植物的地下部分也产生了大量根系,这样就加强了该项工程措施的固土护坡效果<sup>[11]</sup>。混凝土格栅理论主要是利用混凝土来浇筑格栅,制造出具有强度大,耐久性好,易养护的混凝土格栅。实际上就是将工程、生物和生态结合在一起,构造出一种有生命的工程结构,以此达到控制土壤侵蚀,稳定边坡以及美化环境的目的。

根据本实验的布置需要,在施工过程中主要采用了土壤生物工程中的扦插措施。扦插主要是利用可以生根的活枝单体,直接扦插或按压进入坡岸土壤,活枝生根以后与岸坡土壤颗粒相互作用,同时还可以吸收一部分多余的水分。该措施主要的特点是施工方便,工作量小且成本低廉,同时还可以与其他措施联合使用<sup>[12]</sup>。具体设计效果见图 1。

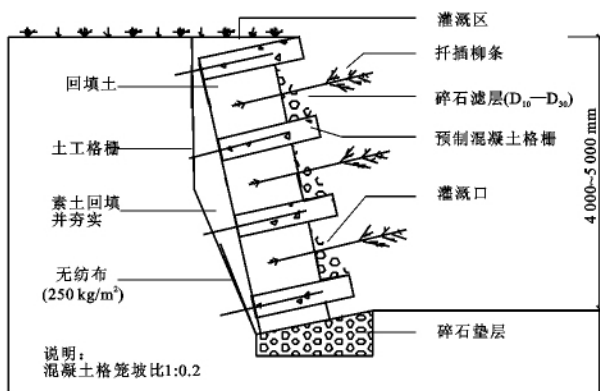


图 1 植物混凝土格栅技术示意图

## 2 实验材料及方法

### 2.1 研究区概况

北京市延庆县水土保持科技示范园位于北京市延庆县大榆树镇上辛庄村,属永定河水系中官厅水库

上游一级支流妫水河流域。示范园以玉皇山向南延伸的分水岭分界,南北长约 1.72 km,东西宽约 1.56 km,面积为 158.54 hm<sup>2</sup>。园区总体东高西低,地形起伏较大,沟壑纵横,沟壑密度达 2.05 km/km<sup>2</sup>。示范区所在流域的年平均气温为 8.5℃,无霜期在 150~160 d 左右。降雨是引起该区水土流失的主要因素,全流域多年平均降雨量为 474.51 mm,降雨量在年际分布上极为不均,最大及最小降雨量相差很大。该区域面积不大,相对高程范围为 527.9~722.8 m,地形复杂,但土壤分布有其一定的规律<sup>[13]</sup>。示范园具有黄土区和土石山区两种地貌类型特点,因干旱缺水,区域内植被稀疏,其土层深厚,冲沟发育,切割破碎,水土流失严重。本研究中的陡坡为黄土坡体,坡度 80°,坡向西偏南 25°,长度 25 m,护坡总面积 150 m<sup>2</sup>,坡面原有植被主要有早熟禾 (*Poa annua* L.)、赖草 (*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.)、狗尾草 (*Setaria viridis* (L.) Beauv) 和茵陈蒿 (*Artemisa capillaries*) 4 种。

### 2.2 施工方法

#### 2.2.1 施工材料的选择

(1) 工程材料的选择。工程材料前期需要准备的主要有混凝土构件、土工格栅、土工布和碎石。

① 混凝土构件。混凝土构件要根据所防护的坡面特点进行制作,制作前应该注意根据构件尺寸和部位,合理选择水泥、砂、石等原材料的品种、标号和用量,避免因品质差异导致工程质量差异和颜色变化。其次,混凝土搅拌过程中要注意控制好搅拌时间,以免出现搅拌不均的现象。最后,混凝土构件浇筑过程中应确保模板要有足够的强度和刚度,能够承受混凝土产生的侧向压力和各种施工荷载而不变形。这样制作出来的混凝土构件成品就会减少麻面、蜂窝、露筋和跑模等缺陷的发生。

② 土工格栅。格栅是用聚丙烯、聚氯乙烯等高分子聚合物经热塑或模压而成的二维网格状或具有一定高度的三维立体网格屏栅,当作为土木工程使用时称为土工格栅。选择使用土工格栅的主要目的是为了增强填充土与混凝土框架的结合强度。根据需要,本研究选用了由高密度聚乙烯制作而成的塑料土工格栅,强度为 40 RE。

③ 土工布。又称土工织物,它是由合成纤维通过针刺或编织而成的透水性土工合成材料,分为有纺土工布和无纺土工布。本研究根据需要选择使用了具有过滤、排水、隔离、加筋、防护以及封闭作用的无纺土工布。

④ 碎石。碎石主要选择两种规格,一种是混凝

土中使用的,粒径大概为5~25 mm,另一种则是碎石滤层中使用的,粒径大概为2~5 cm。碎石滤层的作用主要是为了防止植物扦插初期雨水对各层填充土的冲淘。

(2) 植物材料的选择。土壤生物工程所选用的植物材料要求其能在短期内迅速生根并能大量繁殖,在河道边坡治理中还要求其能有良好的耐水性能<sup>[14]</sup>。国内学者在北京地区的植物材料筛选中得出了金丝柳(*Salix alba* var. *tristis*)、旱柳(*Salix met-sudana*)、加拿大杨(*Populus canadensis* Moench)以及紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)等多种植物适用于土壤生物工程。

在本研究中,由于研究区冬季寒冷,土壤贫瘠,干旱少雨且最大最小降雨量相差很大,所以经过多种植物对比发现,旱柳具有喜光,耐寒性强,喜水湿,亦耐干旱,且对土壤要求不高,生长快,萌发力强,根系发达,扦插极易成活等优点。此外旱柳树形优美,分布广泛,扦插枝条容易获得,故本研究选取旱柳作为扦插用的植物材料。根据施工需求,选取的插条基径为2~5 cm,长度为150 cm。扦插时,插条与水平面成15°角斜插入土壤120 cm左右,枝条间距为50 cm,需要注意的是插条出土的一端必须剪切整齐,不能出现劈裂,否则会增大蒸发量,降低成活率。

### 2.2.2 施工过程

(1) 提前预制混凝土构件。本研究中,根据坡体的具体情况,固脚用的混凝土构件长145 cm,宽25 cm,厚10 cm。上下两层混凝土格栅之间的两端各纵向安装1个混凝土格栅,以此来支撑整个结构,并保持稳定性。具体混凝土格栅设计及上下层的构件安装效果见图2。

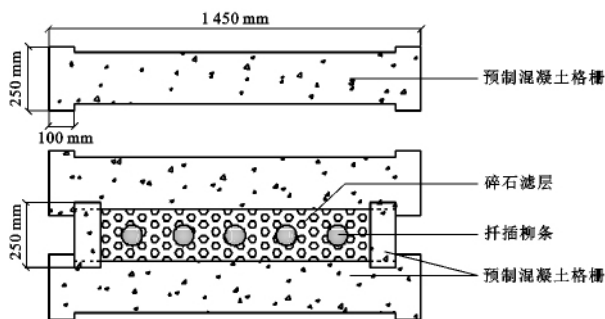


图2 混凝土格栅上下层构件安装效果图

(2) 陡坡处理。将不平整的坡面整体沿坡向开挖30 cm,平整好坡面后,将多余的挖方堆在附近留作回填土用。

(3) 夯实基础。在坡脚处向下开挖约宽100 cm,深50 cm的基槽,夯实后填充碎石做铺垫层。

(4) 施工。基础处理完成后,具体的施工工序见图3。

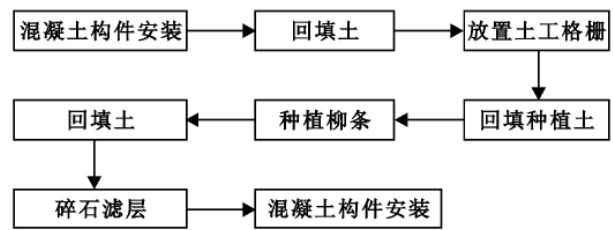


图3 植物混凝土格栅技术施工工序图

施工采用土工格栅,增强填充土与混凝土框架结合强度。土工格栅放置时,受力方向指向坡外。每一层柳条栽植后在根部适当浇水;对于截干的柳条顶端以油漆封口,减少水分蒸发。

### 2.2.3 后期养护管理

(1) 浇水。施工完成后1个月内,对柳条插穗下部补充水分,以保证生根成活。之后3个月内适当浇水以保证植物枝条、根系的迅速生长。在第2 a里,如遇到极其干旱时期,应适当浇水(浇水量视干旱程度而定),避免幼苗大量死亡。

(2) 补苗。第2 a的4月初,根据柳条成活情况进行补苗作业。补苗后,管护措施如同第1 a,要定期浇水,以确保后补枝条的成活。

2.2.4 实验监测与调查 本研究采取随机取样和现场测量的方法,对延庆县水土保持科技示范园内经过植物混凝土格栅技术修复后的岸坡上旱柳的生长特性进行了一系列的观测。分别在2007年10月、2008年10月和2011年6月,即完工后3个月、15个月和47个月对旱柳的成活率和覆盖度做了调查。其中2011年6月的调查中还对旱柳的生长情况包括新生枝条的基径和株高、土壤养分以及周边环境和生物的多样性做了调查。通过调查总结了该措施的生态防护效果、适用范围以及存在的一些问题,并对存在的问题提出了一些可行的建议与意见。

## 3 结果与分析

### 3.1 植物生长状况

植物生长的好坏以及对环境的适应性是检验植物混凝土格栅技术成功与否的重要条件。观测表明,完工3个月后旱柳的成活率为80%,覆盖度为35%。由于部分死亡,在第2 a的4月份进行了人工补植,距最初完工15个月后,再次观测得出旱柳的成活率达到了90%,覆盖度也达到了85%。在2011年6月份的调查中发现,此时旱柳的存活率仅为35%,覆盖度为50%(表1)。

表 1 施工完成后不同时间植物混凝土格栅护坡技术下旱柳的成活率及覆盖度

| 完成时间/<br>月 | 成活率/<br>% | 覆盖度/<br>% | 观测株数/<br>株 |
|------------|-----------|-----------|------------|
| 3          | 80        | 35        | 300        |
| 15         | 90        | 85        | 300        |
| 47         | 35        | 50        | 300        |

综合各方面的因素分析,出现此种现象的原因如下:(1) 该技术施工完成 2 a 后开始实行减少人为干预、植被自然恢复的管理措施,目的是检验旱柳对该环境的适应性,以及该技术对周边环境的影响。在开始放任管理的第 1 a(即 2009 年)该地区普遍干旱,据统计,截止 8 月底累计降水量为 326 mm,比 2008 年同期的 438 mm 减少 112 mm,比多年平均同期的 418 mm 减少了 92 mm,而这段时间又停止了人工浇水,这就导致建群初期占主导地位的旱柳大部分死亡。(2) 扦插枝条的土层太薄。在设计初期,混凝土格栅需要回填种植土,由于相邻格栅之间间距太小,二者之间所能存放的种植土也就越少。当植被长到一定阶段,根系就会向下生长直至触及混凝土格栅,此时格栅就会影响根系继续向下生长,由此会导致部分扦插柳条的死亡。(3) 水分分布不均。由于降水不多,使得下渗深度不够,位于混凝土格栅中部的植株就不能很好地吸收水分,由此导致了格栅中部的植株大部分死亡。基于上述原因,该技术今后在用于干旱地区边坡修复时需要投入一定的人工管理,干旱时期要适时适量浇水;而当用于河岸边坡固定时,由于水分比较充足,可适当减少人为管理,这样才能保证插条的成活成长,才能发挥其最大的生态效益。

在该技术措施完工 47 个月后,笔者还调查研究了旱柳的生长状况。观察发现,经过 47 个月的生长,扦插旱柳新生枝条的最大基径为 3.38 cm,最小基径为 1.14 cm,平均基径为 2.02 cm;新生枝条的最大株高为 420.6 cm,最小株高为 241.2 cm,平均株高为

317.2 cm(表 2)。通过对旱柳扦插直径,47 个月后新生枝条的基径和株高三者的数据分析发现,在一定范围内扦插直径越大,将来新生枝条的基径也会越大,且株高也越高。由于本研究所采用的扦插直径大致分布在 1.5 cm 到 5 cm 之间,所以由此可得知在此分布范围内扦插直径越大,将来新生枝条的基径也就越大,相应的植株的株高就越高。

表 2 植物混凝土格栅护坡技术下旱柳的生长情况 cm

| 类型   | 均值     | 最大值    | 最小值    |
|------|--------|--------|--------|
| 扦插直径 | 3.05   | 4.27   | 1.83   |
| 基径   | 2.02   | 3.38   | 1.14   |
| 株高   | 317.20 | 420.60 | 241.20 |

注:观测株数为 50 株。

通过对旱柳的生长状况分析表明,在今后植物混凝土格栅护坡措施的施工中要选取的扦插枝条直径尽量在 1.5 cm 到 5 cm 之间,而且如果条件允许的话在此区间内枝条直径越大越好。此外,旱柳在北方地区有一定水分的情况下,能够在短时间内迅速生长达到一定的景观效果,所以是北京地区生态护坡的一种优良材料。

### 3.2 对土壤的改良作用

土壤有机质是土壤中来源于动植物体的所有有机物质,其含量的多少是土壤肥力高低的重要指标<sup>[15]</sup>。在本措施完工 47 个月后,取旱柳根部附近的土壤以及周边裸地的土样各 100 g 进行理化性质分析,具体分析结果见表 3。由表 3 可以看出,完工 47 个月以后,旱柳根部附近土壤与原始边坡土样相比,有机质含量增加了 4.32 g/kg,速效磷和速效钾分别增加了 4.27 mg/kg 和 12.14 mg/kg,同时 pH 值下降了 0.25;与周边裸露边坡土样相比,有机质含量提高 3.43 g/kg,速效磷和速效钾分别提高 3.21 mg/kg 和 8.81 mg/kg,同时 pH 值低 0.16,说明植物混凝土格栅护坡措施能够有效改良土壤,通过一定时间的修复,能使得原来贫瘠的土壤得到一定的改良。

表 3 施工完成 47 个月后植物混凝土格栅护坡技术下土壤化学性质的变化状况

| 土样位置      | 有机质/(g · kg <sup>-1</sup> ) | 全氮/(g · kg <sup>-1</sup> ) | 速效磷/(mg · kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾/(mg · kg <sup>-1</sup> ) | pH 值 |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| 原始边坡      | 16.84                       | 0.21                       | 15.27                        | 60.24                        | 8.51 |
| 施工后裸露边坡   | 17.73                       | 0.21                       | 16.33                        | 63.57                        | 8.42 |
| 施工后旱柳根部附近 | 21.16                       | 0.22                       | 19.54                        | 72.38                        | 8.26 |

### 3.3 对周边环境的改善作用

3.3.1 生物多样性的增加 生物多样性的变化是衡量植物混凝土格栅技术修复边坡效果好坏的重要指标。自该措施完工 47 个月以来,周边植物的种类有

了明显的增加。施工初期,周围只有早熟禾、赖草、狗尾草和茵陈蒿 4 种植物,现在周边植物有早熟禾、赖草、蒲公英(*Taraxacum*)、紫花地丁(*Viola philippica* Car)、黄花蒿(*Artemisa annua* L.)、茵陈蒿、青蒿

(*Artemisa apiacea*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz)、田旋花(*Convolvulus arvensis* L.)、狗尾草等,达到18种之多,而且这些植物的总覆盖度也达到了95%以上。通过现场挖根测定,完工47个月后单株旱柳的根系生物量比完工1a后平均增长了63%,单位面积50cm深土壤中根系生物量较完工1a后增长了72%,大大增强了岸坡抗侵蚀的能力。不仅如此,这些植物的生长还为一些小型的昆虫和爬行动物提供了一个良好的栖息环境。

3.3.2 美化周边环境的效果 自该技术实施以来,周边的环境发生了明显的变化。随着旱柳的不断生长,周边的生态系统也开始逐渐完善。形成了上层乔木,中层小灌木,下层草本的立体结构。整个坡面植被高低错落有致,带给人一种绿意盎然,充满生机的感觉,创造了极佳的美学效果。除此之外,通过对该措施周边环境的温度和湿度监测发现,由于植物的蒸腾作用带走了大量热量,使得周边环境温度低于外景平均温度2.8℃,湿度高于外界平均湿度12%。旱柳和周边的伴生植被还能在一定程度上净化空气,吸附尘埃和消除噪音等<sup>[16]</sup>。总之,通过植物措施可以改善边坡小气候,营造一个干净、清爽且富有生机的坡面环境。

## 4 结论

通过对延庆县水土保持科技示范园内一处陡峭裸露边坡进行植物混凝土格栅技术近自然修复,得出如下几条结论。

(1) 在施工完成后的前2a里,旱柳能达到90%的存活率和85%的覆盖度,对岸坡起到了一定的防护作用,并且形成了较好的景观效果。因此,旱柳是一种适合于北京地区生态护坡的优良植物材料。

(2) 旱柳枝条的扦插直径在2~5cm内,扦插直径越大,将来新生枝条的基径也越大,并且相应枝条的株高也越高。因此,今后在选取扦插枝条直径时,尽量选取在2cm到5cm之间。而且如果条件允许的话,在此区间内,扦插直径越大越好。

(3) 植物混凝土格栅技术在实施47个月后,能够明显改良土壤,增加物种多样性,稳定边坡和美化环境。此技术适用于河道护岸,水库塌岸治理等坡比介于1:0.5~1:0.2的高陡土质边坡,是一种在北京地区值得推广的生态护坡技术。

在本研究的后期监测管护过程中发现,水分是影

响该技术的一个主要因素。当该技术应用于河道护岸时,由于河道边水分充足,该技术能很好地发挥应有的生态效益,但是当应用于干旱地区的边坡治理时,就需要投入一定的人力来进行后期管护,尤其是定期浇水,否则效果不佳。今后,护坡技术与灌溉技术相互结合使用是生态护坡技术需要研究的一个方向,对于生态护坡的发展具有十分重要的意义。

### [参 考 文 献]

- [1] Kohnke Robert E, Boller Anna K, 吴永麟. 河岸土壤生物工程[J]. 水土保持科技情报, 1993(2): 52-59.
- [2] 卢海筠. 浅论土壤生物工程——边坡生态修复的新技术[J]. 安徽建筑, 2007(3): 142-143.
- [3] 高甲荣, 刘瑛, Rauch Hanspeter. 土壤生物工程在北京河流生态恢复中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 152-157.
- [4] 张文虎, 魏束强. 生态护坡的发展及其应用要点[J]. 河北农业科学, 2009, 13(6): 76-78.
- [5] 钱晓红, 关云鹏, 吴玲杰. 现代生态护坡技术的应用研究[J]. 内蒙古水利, 2009(1): 48-50.
- [6] 李小平, 张利权. 土壤生物工程在河道坡岸生态修复中应用与效果[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1705-1710.
- [7] 刘瑛, 高甲荣, 张金瑞, 等. 扦插—抛石联合技术的构建与应用[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(4): 47-50.
- [8] 高甲荣, 吕晶, 李晓宏, 等. 土壤生物工程在沿河公路护坡中的初期水土保持效应[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 69-72.
- [9] 姜会品, 高甲荣, 刘瑛, 等. 土壤生物工程在北京山区公路绿化中的应用[J]. 中国水土保持, 2010(3): 15-18.
- [10] 王颖, 高甲荣, 姜会品, 等. 土壤生物工程在北京市琉璃河生态恢复中的应用[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 108-111.
- [11] 张政, 付融冰. 河道坡岸生态修复的土壤生物工程应用[J]. 湖泊科学, 2007, 19(5): 558-565.
- [12] 陈小华, 李小平. 河道生态护坡关键技术及其生态功能[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1168-1176.
- [13] 乔彦芬, 姜德文, 田玉柱. 综合型水土保持科技示范园的规划设计: 以北京市延庆县水土保持科技示范园为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 85-88.
- [14] 许晓东. 边坡治理中植物护坡的选择与验收指标[J]. 人民珠江, 2004(4): 46-47.
- [15] 张宇博, 杨海军, 王德利, 等. 受损河岸生态修复工程的土壤生物学评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1374-1380.
- [16] 段舜山, 彭少麟, 张社尧. 绿地植物的环境功能与作用[J]. 生态科学, 1999, 18(2): 81-83.