

城市河道岸坡近自然治理技术及其生态效应评价

孟凡超, 王玉杰, 赵占军, 赵洋毅, 雷声坤

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

摘 要: 根据国内外先进的河道护岸技术, 并结合重庆市桃花溪的立地条件在该河道岸坡开展示范区, 以河岸生物多样性和岸坡稳定性为目的的河道护岸技术研究。在示范区各观测带采用了抛石结合植物扦插、自然原型护岸、土工织物扁袋结合扦插、天然材料织物垫 4 类护坡技术, 并植入土壤生物工程的理念, 对 4 种模式下的岸坡进行连续两年的生态监测, 研究护坡工程的水土保持功能。经过整治, 岸坡的植物种类明显增加, 生物多样性更加丰富, 植物群落由单一结构向复杂结构转变, 坡面的抗剪强度也大幅提高, 岸坡稳定性增强。

关键词: 生态护坡技术; 生长特性; 生物多样性; 抗剪强度

中图分类号: Q 142. 3; X171. 4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010) 06-0228-05

The Eco-functions of Near-natural Control Measurements of Urban Riverbank

MENG Fan-chao, WANG Yu-jie, ZHAO Zhan-jun, ZHAO Yang-yi, LEI Sheng-kun

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Lab. Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the advanced ecological protection technique both at home and abroad, and combined with the site conditions of Taohua river in Chongqing city all demonstration plots were developed, and the research about ecological slope protection techniques for biodiversity and stability of riverbank were carried out. This study investigated the application of four ecological slope protection techniques combined with soil bioengineering including riprap integrating with plant cutting, crude revetment, geotextile flat bag (geotextile flat bag can select and use sacking), natural materials fabric pad in all observed terrain of demonstration plot. In order to study soil and water conservation benefit of the slope protection project, the four ecological slope protection techniques were conducted for continuous ecological monitoring during two years. After regulation, plant species and biodiversity increased obviously, and the structure of phytocenosis varies from simplicity to complexity. The stability of eco-riverbanks is being enhanced due to increasing the shear strength of riverbank.

Key words: ecological slope protection technique; growth characteristic; biodiversity; shear strength

Nilsson 定义河岸带为高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带^[1]。河岸带作为滨水区域中植物适宜生长的地区, 为动物提供了栖息场所, 也是陆生和水生动植物活动迁移的廊道, 在生态系统中占据了非常重要的地位。因其特殊的生境条件, 在涵养水源、蓄洪防旱、维持生物多样性和生态平衡等方面均有十分重要的作用, 是河流天然的保护屏障, 是健康河流生态系统的重要组成部分和评价标志^[2-3]。因此, 河道生态护坡基于维持河岸带

的生态功能, 显得尤为必要。近年来, 随着我国城市化进程的快速推进, 河道治理片面考虑河岸的实用耐久性, 多采用混凝土式护岸, 忽略河岸带植物群落的生态功能, 导致其生态作用越来越小, 最终结果是河流的自净能力丧失, 加剧了河流水质的污染^[4]。即使应用生态措施治理河岸时, 其护坡技术不够成熟, 结构单一, 缺乏对照, 没有足够的说服力。本文将采用几种不同的治理模式对相邻河岸进行整治, 并通过对治理后岸坡的水土保持效应研究, 探讨其生态功能,

收稿日期: 2010-07-05

资助项目: 国家林业局“948”城市河流生态系统的森林生物工程修复技术项目(2007-4-14)

作者简介: 孟凡超(1985-), 男, 硕士生, 主要从事山地灾害防治工程研究。E-mail: mengfanch7@163.com

通信作者: 王玉杰(1960-), 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀、林业生态工程研究。E-mail: wyujie@bjfu.edu.cn

丰富河流护岸设计内容, 为该地区相似岸坡的治理提供参考。

1 研究区概况

研究区位于重庆市长寿区桃花溪, 位于重庆东部, 地处 $106^{\circ}49' - 107^{\circ}27' E$, $29^{\circ}43' - 30^{\circ}12' N$ 间, 属中亚热带湿润气候区, 四季分明、气候温和、冬暖春早、热量丰富、降水充沛, 常年平均气温 $17.7^{\circ}C$, 最高年 $20.4^{\circ}C$, 最低年 $16.7^{\circ}C$, 常年平均降水量 $1\ 165.2\ mm$ 。辖区南北长 $56.5\ km$, 东西距 $57.5\ km$, 总面积 $1\ 423.62\ km^2$ 。属重庆市三峡库区生态经济区 29 个区县之一, 处三峡库区生态经济区和都市发达经济圈结合部。

长寿境内河流众多, 水资源较为丰富, 工农业生产比较发达, 素有“化工城”之称。桃花溪全长 $15.79\ km$, 流域内 7 条支河, 9 个汇水面, 流域面积 $31.12\ km^2$ 。多年平均降水量为 $1\ 155.8\ mm$, 主要污染来自垃圾、污水排放和化工污染。

示范区域位于桃花溪左岸一级阶地平台上, 在长久的桃花溪洪水的不断冲刷下, 河漫滩已变成弧形, 按照库区最高蓄水位 $175\ m$ 考虑, 将直接受桃花溪水冲刷。所以有必要对该区域进行总体规划设计。

2 护坡技术设计与水土保持效应评价方法

2.1 生态护坡模式的关键技术及其设置

在充分消化吸收国内外先进的河流生态系统修复技术的基础上, 提出了以下 4 个模式的河流治理措施, 并在重庆市长寿区桃花溪陆续展开试验、示范。

2.1.1 样地设置 示范区的样地设置采用固定样带法, 将 $40\ m$ 长、 $10\ m$ 宽的示范区分为近水区(在河流水位变化区以内的河岸区域)和远水区(河流水位变化区以外的河岸区域)两个不同的区域进行构建。近水区采用抛石结合植物扦插的方式铺设, 远水区则设置了 1-4 号观测带(观测带面积 $10\ m \times 5\ m$), 顺着河水流势的方向依次展开乔灌木混交自然原型护岸、乔木混交自然原型护岸、土工织物扁袋结合扦插护岸、天然材料织物垫平铺护岸, 并在 2 号、3 号观测带内附以活枝扦插、4 号观测带种植灌木等土壤生物工程, 利用存活植物来构筑河岸边坡结构, 实现稳定边坡, 减少水土流失、改善栖息地生境的目的^[5]。在样地设置时, 每列观测带的坡顶、坡腰及近水区分别设置固定样地, 对各样地的乔木、灌木和草本种类进行全部调查, 其中草本样方 $1\ m \times 1\ m$ 。在河道对岸的边坡上选取了相同大小的严重退化土质河岸作为对

照, 可以更好地评估这几种生态护岸模式的水土保持效应。

2.1.2 生态护坡技术的选取

(1) 抛石结合植物扦插。利用抛石结合植物扦插修复河流生态系统是一种传统的治河理念, 它是在抛石施工的基础上, 截取植物的枝条随即扦插入抛石空隙之中的一种土壤生物工程方法^[6]。抛石结合植物扦插既可以固定岸坡, 减小局部岸坡的水流流速, 减轻消除水流的冲蚀作用, 保护河岸土体地域冲刷侵蚀, 又可以达到改善河岸栖息地的目的。

在近水区常水位 $10\ cm$ 以上的部位种植耐水湿的红叶李与木芙蓉扦插枝条, 易成活。在抛石结构底部铺设碎石, 向上逐级增加粒径, 以达到促淤效果, 并在块石间隙填实土壤, 保证土体厚度至少达到块石平均厚度的一半, 可避免掏空现象^[7], 利用扦插枝条的根系代替传统护岸中无纺布过滤垫层, 为植物的生长创造良好的环境, 达到护岸强度、安全性、耐久性与生物性、亲水性、景观性的完美结合。

(2) 自然原型护岸。自然原型护岸是指单纯种植植物保护河岸、利用植物的根、茎、叶来固堤, 以保持自然河岸特性的护岸方法, 此类生态护坡设计, 多采用乔灌木混交模式, 能有效促进植被复层结构的形成, 有利于充分利用空间和营养, 增加河岸的生物多样性。在远水区的 1 号样地内, 参照自然河岸植物群落, 从坡顶到坡底依次采用垂柳与鸢尾等观赏植物混交、毛竹与黄花槐的乔灌木混交、各种耐湿性强的灌木植物相结合的优化配置模式进行固坡护岸, 形成多层次生态护坡, 稳定土体结构, 截留降水, 减少风力对土壤表面的侵蚀, 提供并改善多种生境, 有助于水陆过渡带的生态功能和生物多样性的恢复。此护岸类型主要应用于流速较缓、坡度较陡的河岸^[8]。

(3) 土工织物扁袋(天然材料可选择麻袋布)结合扦插。土工织物扁袋结合扦插护坡是把天然材料或合成材料织物在坡面展平后填土, 然后把土工织物向坡内反卷, 包裹填土, 并在呈阶梯状排列的织物扁袋之间扦插活枝条的土壤生物工程措施。这项技术综合了土工织物扁袋护坡和植物护坡的优点, 起到了复合护坡的作用。麻袋布具有降解效果, 可起到反滤作用, 在岸坡表面覆盖麻布袋并按一定的组合与间距扦插植物, 达到根系加筋、茎叶防冲蚀的目的, 增加土体的抗剪强度, 减小孔隙水压力和土体自重, 大幅度提高岸坡的稳定性和抗冲刷能力。在 3 号样地内, 织物袋内填充黑麦草种、碎石、腐殖土等材料, 并选择红叶李、木芙蓉等易成活的乡土枝条扦插。

(4) 天然材料织物垫(黄麻麻袋布)护坡。天然材

料织物垫指用可降解的椰壳纤维、黄麻、木棉、芦苇和稻草等天然纤维制成的织物,可结合植被一起应用于河道岸坡防护。这类防护结构下层为混有草种的腐殖土,上层织物垫可用固土与景观效果均较好的灌木黄花槐固定,并在表土层撒播种子。

由于织物由天然纤维织成,织物腐烂较快,可促进腐殖质的形成,增加土壤肥力。结合灌草,可有效增加土壤的抗蚀抗冲能力,成为国际上普遍使用的河岸护坡技术。

2.2 生态护坡水土保持效应评价

长寿区桃花溪河道生态护岸工程完成后,对各模式下的岸坡进行持续的生态监测,以比较各治理模式的优劣,综合评估河岸的结构稳定性与生态稳定性。

2.2.1 监测内容与方法 桃花溪护岸工程在 2008 年 7 月完工,对治理的河岸坡面进行连续 2 年的监测,并保持每年平均 1~3 次的调查速率。为了保证观测条件的一致性,每次调查均在连续的晴天之后。

(1) 护岸植物的生长特性及生物量的调查。示范区内,采用每木检尺法对各样地坡顶、坡腰以及近水区植被的种类、高度、胸径、覆盖度等指标进行实地测量,分析河岸植被的群落结构及其生物多样性,并调查地上枝条的生长高度、盖度及其枝叶的生物量,同时记录地下部分的根系长度和生物量,分析河岸植被的生长特性。

(2) 土壤抗剪强度、含水率及其坚实度。每个样地内,现场使用硬度计测定土壤硬度,并分别在坡顶和坡腰处按 S 形布点法各选取 5 个重复点,将深度为 15 cm 的浅层土带回实验室,使用烘箱法测定土壤含水率,TSZ30-2.0 型台式三轴仪测定土壤的抗剪强度,综合分析河岸土体的稳定性。

库伦抗剪强度公式 $\tau = c + \sigma_g \varphi$ 表明,土的抗剪强度由两部分构成,即粘聚强度 c 和摩擦强度 $\sigma_g \varphi$ ^[9],其大小与作用在剪切面上的法向应力成正比,所以在三轴试验中根据线性关系确定参数 c, φ 值即可。根据自然条件下不同植被、不同层次的最大垂直压强为 11 kPa ($\rho_{\max} = 1.95 \text{ g/cm}^3, h_{\max} = 0.55 \text{ m}, g = 10 \text{ m/s}^2$),考虑到植被等因素影响,把作用于土体的最大垂直压强定为 50 kPa,得出在此垂直压力下不同抗剪强度指标的大小。

(3) 数据分析。选择 Gleason 物种丰富度指数 (D) 反映植物群落的物种多样性。

$$D = S / \ln A$$

式中: S ——生态系统中的物种数; A ——单位面积。

利用 SPSS 16.0 对各护坡类型浅层土的抗剪强度进行单向方差分析,抗剪强度与土壤含水率及土壤

硬度的线性回归分析。

2.2.2 结果与分析

(1) 植物生长变化及其群落变化特征。在护岸工程完成 6 个月对各样地植物生长状况进行初步调查,其中自然原型护岸的草本植物生长状况最为良好。作为工程后期引进的两种优势种,黑麦草以每月 4~5 cm 的速率生长,平均高度增长到 29 cm,地上部分干重为 134 g/m^2 ,根重 155 g/m^2 ,而鸢尾的高度则达到了 43 cm,每株鸢尾的平均叶片干重为 5.12 g,根系干重为 1.78 g。密集的草本盖度有效地控制了表面土层的土壤侵蚀,有助于植物更好的发挥其水温效应与机械效应。

在自然原型护岸中,除了通过植物种的侵入作用重新恢复草本植物外,乔木层的构建也日臻完善。在工程完成后的两年时间里,毛竹和垂柳的生长状况均十分良好,其树高、胸径及其覆盖度均有明显增加,见表 1,植被对实验区的生境状况适应良好,结合发达的草本带及灌木层,构建起多层次的空间群落结构。

土壤生物工程结合不同的护坡技术对河岸进行治理修复已经越来越被广泛应用,其护坡效果也十分明显。在春季,选择直径分别为 0.6~1.0 cm、0.8~1.2 cm 的紅葉李和木芙蓉光鲜枝条扦插在浅层土壤中,并对 2008 年 8 月至 2009 年 1 月的生长情况进行监测,如表 2,不同类型护坡技术的扦插枝条生长情况有明显差异,其中土工织物扁袋结合扦插护岸效果最为明显,扦插枝条生长速度每月可达到 4~8 cm,成活率达到 39%,而近水区抛石处的枝条生长速率则最为滞缓,平均每月仅增长 3~5 cm,成活率也大为下降,仅为 31%,其主要原因是块石间的孔隙和土壤孔隙较小,植物根系缺乏生长空间。而土工扁袋护岸成阶梯状,坡面径流大为减少,土壤中的有机质及其无机盐分流失较少,相比坡度较大的自然原型护岸更有利于植物生长。到 2010 年 4 月,草本植物密集的自然原型护岸与天然材料织物垫结合灌草护岸的植被覆盖度均超过了 90%,而土工材料织物扁袋结合扦插和抛石处的扦插枝条覆盖度也均超过了 60%,生物量明显增加,水土保持效益明显。

(2) 植物群落生物多样性变化。原有的河岸裸地侵蚀严重,大多是以狗尾草为主的稀疏草本植物,覆盖率极低,部分岸坡甚至遭到人为干扰,表层土壤被破坏,地表裸露,在雨季多处河段产生滑坡现象。经过河道护岸技术的引进与治理,河岸的生物多样性得到明显改善。在 2010 年 4 月的调查中发现,经过两年的河岸修复,各样地的物种丰富度均有较大的提

升, 引进的外来植物生长良好, 成为当地的优势种。其中, 自然原型护岸的植被恢复最为明显, 物种数由治理前的 3 种增加到 16 种, 物种丰富度为稀疏裸地的 5~6 倍, 形成了以毛竹、垂柳为主的乔木, 以黄花槐、红叶李、木芙蓉为主的灌木, 以黑麦草为主的草本

共同构建的河岸坡地生物群落。
在近水区, 抛石结合植物扦插护岸类型相较于自然原型护岸结构单一, 且植物生长较为缓慢, 这主要是由于抛石区处于水陆生态系统过渡带, 受边缘效应影响比较大。

表 1 自然原型护岸乔木层植被动态变化

时间	毛竹			垂柳		
	树高/ m	胸径/ cm	覆盖度/ %	树高/ m	胸径/ cm	覆盖度/ %
2008-10	5.1	4.6	5.1	3.9	6.2	12.2
2009-07	5.9	5.1	8.7	4.3	6.8	16.7
2010-05	7.2	5.7	16.8	4.8	7.5	26.9

表 2 扦插枝条生物量变化统计

测定指标	土工织物扁袋护岸		近水区抛石处		自然原型护岸	
	红叶李	木芙蓉	红叶李	木芙蓉	红叶李	木芙蓉
原枝高度/ cm	12	12	12	12	12	12
成活枝条密度/(株·m ⁻²)	11	6	4	2	18	18
新枝高度/ cm	44	36	40	31	41	33
新生侧枝长度/ cm	34	15	27	12	29	12
单株枝条枝叶干重/g	28.8	31.2	23.9	27.1	25.2	26.3
单株枝条根部干重/g	4.8	5.2	4.2	4.6	4.4	4.7
枝条总生物量/(kg·m ⁻²)	0.37	0.22	0.11	0.06	0.53	0.56

表 3 2010 年 4 月各护岸类型植物群落物种类型统计

护坡类型	抛石处	自然原型护岸	土工织物扁袋护岸	天然材料织物垫护岸	稀疏裸地
优势种	黑麦草、狗尾草、红叶李	毛竹、垂柳、黄花槐、红叶李、木芙蓉、黑麦草、鸢尾	红叶李、黑麦草	黑麦草、黄花槐、红叶李、鸢尾	狗尾草
物种数	11	16	7	8	3
物种丰富度指数 D	2.81	4.09	1.79	2.05	0.77

表 4 浅层土壤抗剪强度

时间	岸坡部位	裸地			灌草+ 织物垫			扦插+ 织物垫			自然原型护岸		
		c	φ	τ _f	c	φ	τ _f	c	φ	τ _f	c	φ	τ _f
2008-10	坡顶	40.5	13.9	52.9	30.3	13.3	42.1	44.3	13.5	56.3	-	-	-
	坡腰	29.2	12.8	40.6	24.9	12.0	35.6	34.3	13.1	46.0	-	-	-
2009-07	坡顶	31.7	14.1	44.3	60.3	15.1	73.8	46.7	14.8	59.9	51.4	18.2	67.9
	坡腰	29.3	11.7	39.7	58.4	14.2	71.1	40.3	15.1	53.8	65.3	17.8	81.4
2010-05	坡顶	34.3	14.3	47.1	65.6	15.7	79.7	53.5	17.8	69.6	72.3	18.5	89.1
	坡腰	22.7	13.5	34.7	68.4	12.3	79.3	56.3	14.7	69.4	84.7	20.6	103.5

注: τ_f 值是在 50 kPa 压强下的值。

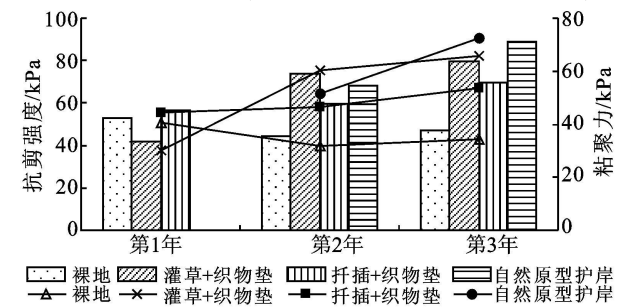
图 1、图 2 所示, 随着年限的增加, 内摩擦角的变化幅度比较小, 粘结力与抗剪强度的变化趋势则基本一致。在护岸工程完成后的初期, 由于灌草地的浅层土被轻微扰动, 其抗剪强度明显低于对岸的裸露岸坡, 而其抗剪强度在修复后的 1 年内变化幅度最大, 其后增长速度变缓, 这说明灌草地的根系生长速度较快, 且根系较细, 短期内的固土抗蚀效果比较明显^[10-11], 2 年后坡腰处灌草地的抗剪强度增幅速度达到了 223%。

将不同护坡模式的抗剪强度进行方差分析, 结果

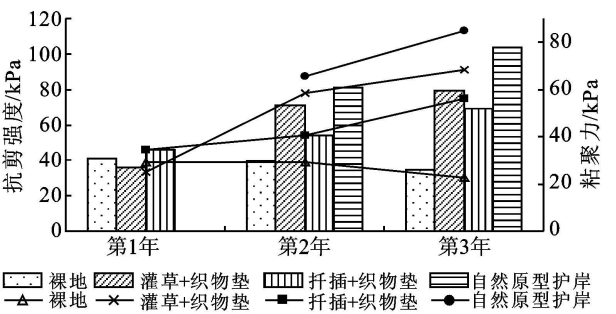
显示各护坡类型土壤的抗剪强度呈显著性差异($P=0.001<0.05$)。其中自然原型护岸、天然材料织物垫结合灌草措施与裸地的抗剪强度变化差异均较为显著($P<0.05$), 尤其是坡腰处的自然原型护岸, 达到裸地的 2~3 倍。这说明随着自然原型护岸植被的生长, 乔灌草植被的高密度根系, 尤其是须根的穿插和缠结作用, 促进了土粒的团聚, 从而增强了土壤抗分散、悬浮的能力, 极大地提升了土壤的抗剪强度^[12]。

土壤硬度是土壤物理性状的一个综合指标, 是土壤颗粒度、结构、孔隙度、有机质含量、土壤水分含量和

团粒结构的综合体现。研究表明:土壤硬度与土壤的透水性、抗蚀性、抗冲性有密切关系,它是影响坡面稳定的重要因素之一^[13]。在样地内,2010 年 5 月测定各类护坡土壤的含水率及其土壤硬度,见表 5,并对其进行典型回归分析,结果显示,抗剪强度与土壤含水率呈显著性负相关($R^2=0.603, P=0.023<0.05$),与土壤硬度呈显著性正相关($R^2=0.518, P=0.044<0.05$)。



柱状图表示抗剪强度,折线图表示粘聚力
图 1 坡顶土壤抗剪强度水平变化



柱状图表示抗剪强度,折线图表示粘聚力
图 2 坡腰土壤抗剪强度水平变化

当土壤含水率增大时,由于土颗粒周围的水膜厚度增大,水膜对土颗粒的粘结力减小,土颗粒之间的相互移动较为容易,摩擦力降低。此外,水分对胶结物质会产生一种楔入作用,从而导致土颗粒之间更易于滑动^[14]。但是在各护岸类型中,由于植物根系的活动,导致浅层土壤的土质疏松,相比对岸裸地的土壤硬度并未有太大的增加。

表 5 第 3 年浅层土含水量/土壤硬度

岸坡部位	裸地		灌草+ 织物垫		扦插+ 织物垫		自然原型护岸	
	含水量/	土壤硬度/	含水量/	土壤硬度/	含水量/	土壤硬度/	含水量/	土壤硬度/
	%	($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	%	($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	%	($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	%	($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)
坡顶	27.5	10.7	24.1	9.8	24.2	10.0	25.4	13.9
坡腰	29.4	8.9	27.3	10.6	23.1	8.7	21.3	19.5

3 结论与讨论

植被措施是生态护坡最原始、长期效果最明显的护岸方法。在自然原型护岸岸坡上,黑麦草生长良好,郁闭度高,使表层土壤质地得到明显改善,防护效果良好;毛竹、垂柳、黄花槐等乔灌木种适应能力极强,成活率极高,生长趋势良好,植物的水文机械效应十分显著。相比之下,土壤生物工程结合各护坡技术在河岸上的应用也取得了良好的效果,扦插枝条通过工程后期的精心养护成活率较高:土工织物扁袋(37%)>自然原型护岸(31%)>近水区抛石处(28%),既节约了成本,又取得了优良的防护效果。经过综合整治,实验区植被覆盖率较原有的稀疏裸地有了及其显著提高:自然原型护岸(94%)>天然织物垫结合灌草护岸(91%)>土工织物扁袋结合扦插护岸(68%)>近水区抛石结合植物扦插护岸(60%),水土保持效益十分明显。

实验区的植物种类在护坡工程完成后的数年内逐年增加,引进的外来植物种成为各样地主要的优势种,尤其是在自然原型护岸,物种丰富度为裸地的 5~6 倍,形成了多层次的乔灌草空间植被群落体系,生物多样性与生态稳定性均明显增加;而土工织物结合扦插护岸物种丰富度则相对较小,景观效果不

明显。
各护坡类型对浅层土壤的抗剪强度差异性较为显著。其中,灌草地的抗剪强度在护坡完成后的 1 年内增加幅度最大,这是由于灌草植物的极细根(尤其是直径小于 1 mm)对土壤的抗冲抗侵蚀作用十分明显,这与王库^[10]、陈世银^[11]等学者的研究结果一致;在各护坡技术中,自然原型护岸的护坡作用最强,抗剪强度可达到治理前的 2~3 倍;而土工织物扁袋结合扦插护坡由于扦插植物生长相对缓慢,所以护坡前期的抗剪效果并不十分理想。此外,土壤抗剪强度与表征土壤物理性状的土壤硬度及土壤含水率有显著性相关关系。经数理统计分析,抗剪强度与土壤硬度呈显著性正相关,与土壤含水率呈显著性负相关。

各河岸护坡模式在短期内均取得了较好的效果,生态护岸作为一个自我修复、自我完善的生态系统,示范区的物种种类会逐渐趋于稳定,引进的外来植物与野生植物随着对当地环境的适应,对土壤的机械效应与水文效应会更加明显。除了生态系统的自我调节外,如何人为地对群落结构进行配置、如何协调水陆生态系统的生物多样性与生态稳定性、如何评价各护坡模式的生态价值与景观价值仍待进一步研究。

(下转第 236 页)

为: 麦秆> 油菜秆> 过磷酸钙> 石灰> 兔粪; 对土壤铬有效态含量降低效果顺序为: 石灰> 麦秆> 油菜秆> 过磷酸钙> 兔粪。这与改良剂的理化性质、组成成份密切相关。5 种改良剂均明显提高了土壤碱解氮和速效磷的含量, 其中麦秆、油菜秆和兔粪对土壤碱解氮提高幅度优于石灰和过磷酸钙。而过磷酸钙处理和石灰处理降低了土壤速效钾含量, 麦秆处理、油菜秆处理和兔粪处理提高了土壤速效钾含量。这表明, 与对锌、铬有效性的降低作用不同, 5 种改良剂对土壤养分(氮、磷、钾)有效性的影响并不是单纯的提高或降低, 而是针对不同养分元素的作用不同, 这就可能直接影响到水田作物根系及植株能否平衡吸收和利用各种养分元素, 进而影响产量。

参考文献:

- [1] 陈义群, 董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1282-1289.
- [2] 陈同斌. 重金属对土壤的污染[J]. 金属世界, 1999(3): 10-11.
- [3] 高永恒, 孙吉雄, 王有国, 等. 土壤改良剂对草坪床土理化性质的影响[J]. 草原与草坪, 2004(2): 34-36.
- [4] 张黎明, 邓万刚. 土壤改良剂的研究与应用现状[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(2): 32-34.
- [5] 许晓平, 汪有科, 冯浩, 等. 土壤改良剂改土培肥增产效应研究综述[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 331-334.
- [6] 崔德杰, 张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 432-437.
- [7] 胡克伟, 关连珠. 改良剂原位修复重金属污染土壤研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2007, 21(4): 443-446.
- [8] Gworek B. Use of synthetic zeolites of 3A and 5A type

for lead immobilization in anthropogenic soils[J]. Polish Journal of Soil Science, 1992, 25(1): 35-39.

- [9] Gworek B. Lead inactivation in soils by zeolites[J]. Plant and Soil, 1992, 143(1): 71-74.
- [10] Garcia-Sanchez A, Alastuey A, Uerol X. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils[J]. The Science of the Total Environment, 1999, 24(2): 179-188.
- [11] 胡钟胜, 章钢娅, 王广志, 等. 改良剂对烟草吸收土壤中镉铅影响的研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 233-239.
- [12] 邢世和, 熊德中, 周碧青, 等. 不同土壤改良剂对土壤生化性质与烤烟产量的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 72-75.
- [13] Rogoz A. The content and uptake of some micronutrient and heavy metals in sunflowers and maize depending on the dose of lime[J]. Zeszyty Problemowe Nauk Rolniczych, 1996, 434(1): 213-218.
- [14] 丁凌云, 蓝崇钰. 不同改良剂对重金属污染农田水稻产量和重金属吸收的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1204-1208.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 陈英旭, 朱祖祥, 何增耀. 土壤中铬的有效性与污染生态效应[J]. 生态学报, 1995, 15(1): 55-57.
- [17] 王凯荣, 张玉烛, 胡荣桂. 不同土壤改良剂对降低重金属污染土壤上水稻糙米铅镉含量的作用[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 476-481.
- [18] 孙健, 铁柏清, 周浩, 等. 不同改良剂对铅锌尾矿污染土壤中灯心草生长及重金属积累特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 637-643.
- [19] 邹晓霞, 陕红, 陈磊, 等. 秸秆和猪粪施用对樱桃萝卜的效果比较及对土壤性状的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(5): 165-172.

(上接第 232 页)

参考文献:

- [1] Nilsson C, Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. Bioscience, 2000, 50(9): 783-793.
- [2] Bruggeman A S, Mostaghimi S, Holtzman G I, et al. Monitoring pesticide and nitrate in Virginia's groundwater-A pilot study[J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 1995, 38(3): 797-807.
- [3] Franklin J F. Scientific basis for new perspectives in forests and streams[M]// Naiman R J. Watershed Management, Balancing Sustainability and Environmental Change. New York: Springer-Verlag, 1992.
- [4] 吕斌, 刘丽君. 长春市伊通河生态型护岸的应用分析[J]. 吉林水利, 2009, 3(3): 39-40.
- [5] 李小平, 张利权. 土壤生物工程在河道坡岸生物修复中应用与效果[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1705-1710.
- [6] 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(8): 47-50.

- [7] Fischenich J C. Effects of riprap on riverine and riparian ecosystems[R]. Washington D C: Army Engineer Research and Development Center, 2003.
- [8] 侯俊. 生态型河道构建原理及应用技术研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [9] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992: 178-180.
- [10] 王库. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 250-252.
- [11] 陈士银, 黄月琼, 吴雪彪. 湿地松林根系对土壤抗侵蚀能力影响的研究[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(5): 468-471.
- [12] 张祖荣. 植物根系提高土壤抗侵蚀能力的初步研究[J]. 渝西学院学报: 自然科学版, 2002, 15(1): 34-35.
- [13] 杨喜田, 董惠英, 黄玉荣. 黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 77-81.
- [14] 陈红星, 李法虎. 土壤含水率与土壤碱度对土壤抗剪强度的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 21-25.