

# 永定河生态护岸模式的适宜性观测研究

梁淑娟<sup>1</sup>, 樊华<sup>2</sup>, 王利军<sup>2</sup>, 杨建英<sup>1</sup>, 高甲荣<sup>1</sup>, 冯明明<sup>1</sup>

(1. 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市水利规划设计院, 北京 100048)

**摘要:**生态护岸是河道治理的新方法、新趋势,已成为城市河流修复的关键环节。为解决北京市段永定河生态系统退化的问题,以“莲石湖—门城湖”河段护岸和上辛庄生态护坡为示范,采取数据定量和调查定性的分析方法,研究了永定河不同河段适宜应用的生态护岸模式。结果表明:(1)生态护坡与生态护岸的关联度主要是河岸坡的坡度特点、防护设施和抗土壤侵蚀度。生长迅速、成活率高、绿期长的乡土树种和多年生草本植物最适合护岸;(2)生态护岸指标有河流弯曲度、河岸高程、河岸坡度、抗水流冲刷度、岸坡抗土壤侵蚀度等,护岸模式要兼顾河流的防洪、生态、景观、亲水功能;(3)工程+植物复合护岸比单纯的工程或植物护岸效果好。8种互补的护岸和6种护坡模式适宜推广,H8松木桩拦挡扦插柳复合护岸和K4土工格栅+客土种植灌草护坡的最好,适合优先推广。该结果为永定河不同河段的岸坡治理提供参考价值,为永定河绿色生态廊道的建设提供理论依据。

**关键词:**永定河;上辛庄;生态护坡;生态护岸

中图分类号:TV861

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0153-06

## Observational Study on the Suitability of the Ecological Riverbank Mode for Yongding River

LIANG Shu-juan<sup>1</sup>, FAN Hua<sup>2</sup>, WANG Li-jun<sup>2</sup>, YANG Jian-ying<sup>1</sup>, GAO Jia-rong<sup>1</sup>, FENG Ming-ming<sup>1</sup>

(1. Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Institute of Water, Beijing 100048, China)

**Abstract:** The ecological riverbank regarded as the key link for urban river restoration has become the new method and trend for river regulation. Aiming at resolving the ecological deterioration of Yongding River in Beijing, this paper took the bank revetment which was built from Lianshi Lake to Mencheng Lake and ecological slope protection of Shangxin Zhuang Village as an example, the suitable application ecological revetment models for different kinds of area along the Yongding River was studied by using the analytical method of quantitative data and descriptive analysis. The results showed that: (1) main slope characteristics, protective measures and resistance to soil erodibility were the correlation degree between ecological slope protection and ecological revetment. The long-green period native tree species and perennial herb with the character as rapid growth and high survival rate were the best suitable for revetment; (2) the ecological revetment index included river bending, riparian elevation, riparian slope, resistance to flow erosion and soil erodibility etc., and revetment models should give consideration to river's flood, ecology, landscape and hydrophilic function; (3) the composite revetment combining engineering and plant was better than pure engineering or plant revetment. The eight kinds of complementary revetment and six kinds of slope protection were suitable for generalization, the composite revetment of H8 pine pile and cutting willow and the slope protection of K4 geotechnical grille and foreign soil planting shrub-grass have perfect protective performance, which were suitable for priority popularity. The results of this research will provide references for the management of different kinds of area along Yongding River and theoretical basis for greenway establishment of Yongding River.

**Key words:** Yongding River; Shangxin Zhuang Village; ecological slope protection; ecological revetment

收稿日期:2012-02-24

修回日期:2012-05-09

资助项目:永定河生态构建与修复关键技术研究及示范项目(D090409004009003)

作者简介:梁淑娟(1985—),女,陕西延安人,硕士研究生,研究方向:水土保持。E-mail:liangshujuan0727@126.com

通信作者:杨建英(1965—),女,河北人,博士,副教授,主要从事水土保持、工程绿化、生态环境建设等研究。E-mail:jyyang@bjfu.edu.cn

目前河流的治理关注生态性和景观性,河流生态保护已经成为当前的环境问题<sup>[1]</sup>。北京市从 2002 年开始实施生态治河工程,修复河流是生态治河的核心内容。永定河是海河水系最大的一条河流,是首都重要的防洪安全屏障、供水水源河道和水源保护区,近年来河流干涸断流、生态系统退化严重,实现河流“自然景观、城市景观和田园景观”河道建设至关重要。生态护岸利用植物或者植物与土木工程相结合,对河道坡面进行防护、促进河流生态修复<sup>[2]</sup>,重视河道生态、安全、亲水、景观效果建设,是河道治理的新方法、新趋势,其应用已经成为一种需求被提上日程<sup>[3]</sup>。国内外对于生态护岸的研究集中在生态护岸的机理、新型材料开发、护岸技术研发和技术应用方面<sup>[4]</sup>,主要是根据护岸的结构材料、护岸措施类型和护岸部位划分护岸形式,常用的护岸技术包括自然型护岸、土壤生物工程护岸、三维植被网护岸、植物护坡技术等。目前研究欠缺的是:根据河流岸坡的特点评价生态护岸效果,研究护岸模式的适宜性以及将示范区的生态护坡模式推广到护岸。本文在定量分析上辛庄 9 种护坡措施的土壤抗侵蚀效果,调查永定河“莲石湖—门城湖”示范段的河岸特点,定性分析 11 种生态护岸技术的防护效果和配置特点的基础上,提出永定河不同河段适宜的生态护岸模式和适宜推广到护岸的护坡措施。其研究结果可为北京市永定河绿色生态走

廊建设规划提供理论依据,为我国防洪河流生态护岸技术的推广应用提供参考价值。

1 研究方法

1.1 研究区特点

永定河全长 747 km,流域总面积 4.7 万 km<sup>2</sup>,是全国四大重点防洪江河之一,其中北京段长 170 km,流经门头沟、石景山、丰台、大兴和房山五个区,地理区位见图 1。北京市永定河“莲石湖—门城湖”示范段布设了 11 种生态护岸技术,形成了溪流—湖泊—湿地连通的河流生态系统。其河岸设计特点为:河岸高程为 80~100 m,流速为 1~3 m/s,门城湖(三家店—麻峪河段)河道长 5.24 km,平均宽 294 m,总面积 172 hm<sup>2</sup>,水面面积 67 hm<sup>2</sup>。莲石湖(石景山—京原桥)河道长 5.8 km,平均宽 376 m,总面积 226 hm<sup>2</sup>,水面面积 105 hm<sup>2</sup>。

北京市延庆县上辛庄生态示范区以“径流小区布设不同生态护坡措施”展示了开发建设项目护坡工程的案例和研发的新型生态护坡技术。根据布设的护坡类型和水土流失监测的需要,设计了 36 个径流小区,分 4 组不同的规格,选取北京市滑雪道、湿地、河岸护坡措施的示范小区 K1—K9,其基本特征为:土质边坡,坡向向北,面积 5 m×11.18 m,坡比 1:2 (26.5°),具体情况详见表 1。

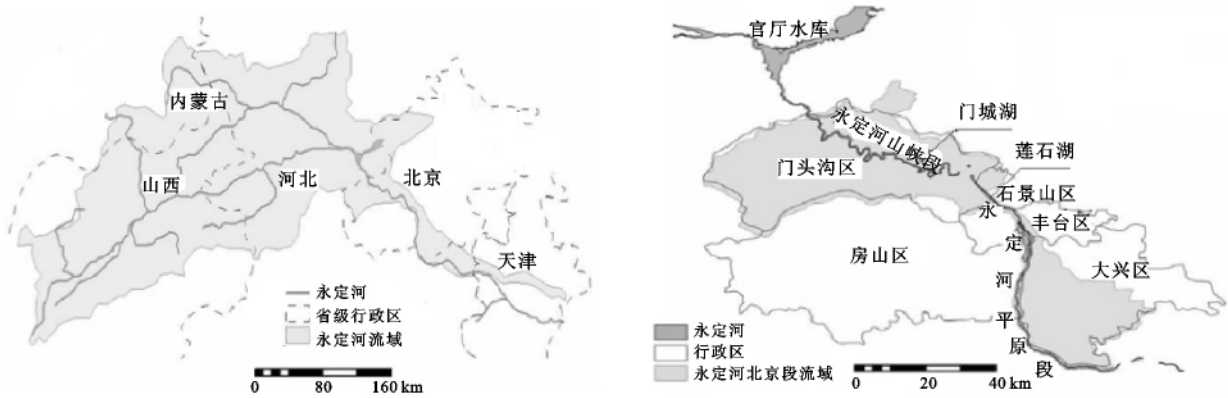


图 1 永定河及其流域(北京段)与护岸示范段位置

表 1 K1—K9 号径流小区的设计情况

小区号	护坡类型	工程措施	植物措施	代表工程
K1	植草护坡+水平截流沟	截水沟	高羊茅	南山滑雪道道面防护
K2	植草护坡+Y 字形截流沟	截水沟	结缕草	军都山滑雪道道面防护
K3	生态植被毯护坡	生态植被毯	高羊茅、山桃、山杏、丝兰、木槿、迎春	凉水河人民渠段护坡
K4	土工格栅+客土护坡	土工格栅	早熟禾、紫穗槐	清河护坡
K5	椰纤植生毯+客土护坡	椰纤植生袋	高羊茅、结缕草、二月兰	清河护坡
K6	六棱花饰砖护坡	六棱砖	无芒雀麦、紫花苜蓿	凉水河护坡
K7	等高绿篱埂护坡	码石、排水管	荆条、野酸枣、侧柏	黑土洼湿地
K8	空白裸露对照小区	空白裸露	无	无
K9	空白自然对照小区	空白自然	无	无

1.2 研究方法

在 2008—2010 年 33 场出流场降雨条件下,对上辛庄 K1—K9 号径流小区进行植被调查和径流量、泥沙量的采样测定。植被覆盖度采取等距不连续采样,计算出现植被的样数和总植被样数,求比值得出。小区泥沙量和径流量是对 K1—K9 小区分别采集 2 个水样(容积 750 ml),测出桶内泥水总量,采取水样含沙量过滤干法测定含沙量,求出平均含沙量进而计算得出。

2011 年 11 月进行了永定河“莲石湖—门城湖”不同河段护岸措施防护效果的现场勘察。按照从左岸到右岸,下游到上游的路线调查,结合永定河设计资料,得出 11 种护岸技术配置的河段河流弯曲度、水面朝向、岸坡倾斜度、岸坡抗侵蚀程度、抗水流冲刷度和防护现状等指标。

2 结果与分析

2.1 生态护坡效果及适宜性分析

2.1.1 植被覆盖度对护坡效果的影响 生态护坡也称植物固坡或坡面生态工程,可理解为在坡面上种植

植物,达到稳定坡面和防止侵蚀的效果<sup>[5]</sup>,可见生态护岸是一种特殊的生态护坡。植被具有截留雨量、削减雨滴侵蚀能量和抑制地表径流等水文功能<sup>[6]</sup>。植物根系的“加筋”作用可以稳定土壤结构、提高土壤抗冲性、防止土壤侵蚀,茎叶具有截留降雨、削弱减蚀、抑制径流的作用。上辛庄示范基地天然分布的植物种类主要有荆条、铁杆蒿、黄花蒿、米蒿、沙棘、灰菜等,植被调查结果见表 2。

3 a 内各个小区出现了较明显的植被演替变化,较多的外来种和杂草入侵,与原始植物种形成种间竞争关系。K4 号小区沙打旺代替原始播种的早熟禾和紫穗槐,成为优势种长势很好。K8 号和 K9 号为相邻的对照小区,未播种,出现了相同的入侵种,区别是 K8 号在 2010 年遭破坏,成为裸地,K9 号铁杆蒿为优势种(表 2)。植被群落特征是描述群落结构和功能复杂性的度量指标,植物种类和数量直接关系植被覆盖度、生物多样性和群落结构特征<sup>[7]</sup>。植被长势良好的小区,对应的植被覆盖度较大,植被稀疏、长势不均、出现裸露的小区植被覆盖度较小。

表 2 2008—2010 年径流小区植被调查情况表

小区	植被覆盖度/%			植被长势状况		
	2008 年	2009 年	2010 年	2008 年	2009 年	2010 年
K1	68.83	58.14	29.62	长势较好	生长不均匀,有杂草	生长不均匀,有杂草
K2	38.00	36.00	27.38	上部长势不好	杂草较多,上疏下密	抱茎苦苣菜、早熟禾占优势
K3	54.08	52.86	28.46	右上角稀疏	有裸露,杂草	有裸露,杂草
K4	85.33	76.00	61.92	长势良好	沙打旺优势种长势好	沙打旺优势种长势好
K5	40.67	27.29	26.54	出现植被退化	草种退化,出现裸露	草种退化,出现裸露
K6	43.25	35.57	26.92	长势良好,均匀	长势不均,出现杂草	长势不均,出现杂草
K7	14.08	23.43	18.46	黄土裸露,早熟禾入侵	草灌生长不理想	原始种沙棘、柠条消失
K8	3.33	0.14	0.42	灰绿藜入侵优势种	狗尾草、铁杆蒿优势	被人为毁坏,成为裸地
K9	27.25	37.57	25.38	灰绿藜入侵优势种	狗尾草、铁杆蒿优势	铁杆蒿优势种

随着小区护坡年限的增加,平均植被覆盖度大致呈现逐渐降低的趋势,K7 和 K9 号小区在 2009 年的平均植被覆盖度达到最大。分析其原因为:接近原始设计的护坡年限,植物生长稳定均匀,长势好;2009—2010 年植被演替变化明显,优势种退化,植被长势不均匀,甚至出现裸露。相比 2009 年,K7 号小区草灌植物种类最多,K9 号自然恢复程度最好,植被覆盖度较大。3 a 内,平均植被覆盖度较大的小区是 K4,K1,K3;相比较小的小区是 K8,K7,K9。究其原因,K7 等高绿篱埂护坡植物是生长较慢的沙棘和荆条小灌木,绿化后长时间无法形成地表覆盖;K8 和 K9 号未采取植物措施,自然恢复,且 K8 小区被人为破坏。说明 K1 植草护坡+水平截流沟,K3 生态植被毯护坡和 K4 土工格栅+客土护坡植物成活率高、长势

好,截水沟、土工格栅可以存储坡面降水,利于植物生长;植被毯护坡植物的适应性相对较差,植物覆盖度低。

2.1.2 产流产沙量与护坡效果 根据径流量和泥沙量测定结果,以 8 号裸露小区为对照,分别计算出其余 8 个小区的截留率和减沙率,显示不同护坡措施的保土和保水性能<sup>[8]</sup>。用水减沙比表示坡面采取调控措施后,减流量与减沙量之间的比值,反映出不同处理的坡面,减少的径流流量与减少的泥沙量比值大小及调控能力<sup>[9]</sup>。K1—K9 号小区产流产沙量相关指标值见表 3。

立地条件相同的同一规格不同处理的小区,植被截留降水性能和土壤抗冲刷效果差异都很大,体现在不同群落植被和不同防护工艺方面。截留率比较:

K4>K9>K1>K6>K3>K2>K7>K5; 减沙率比较: K4>K6>K1>K2>K3>K5>K9>K7, 用水减沙比比较: K4>K9>K1>K5>K6>K3>K2>K7。可见: K4 小区的保土和保水性能最好, 径流携沙性能最差, 蓄水拦沙效果最好; K1 和 K2 小区都布设截流沟和单一植物种, 但截留率相差较大; K5 和 K7 号小区抗土壤冲刷和截留降雨效果相对最差, 截留率最小值分别为 28.06%, 54.92%, 但 K5 小区用水减沙比达 9.59 m<sup>3</sup>/t; K9 号自然恢复小区的植被有灰绿藜、铁杆蒿和狗尾草, 植被截留降雨作用明显, 抗土壤冲

刷效果差。其原因是: K4 灌草植物群落比 K1, K2 单一草本群落和 K9 自然恢复植被的土壤抗冲刷效果好; K1 水平截流沟比 K2“Y”型截流沟拦截降水和保土的效果都好; K5 椰纤植生袋护坡和 K7 码石护坡的原始种退化, 植被适应性差, 出现裸露, 说明植物长势不好, 演替退化的边坡, 加速了径流的携沙能力, 土壤冲刷量和径流量很大, 植物根系对土壤抗冲性有显著作用<sup>[9]</sup>。K9 自然恢复的植被拦截径流, 防止土壤冲刷效果较好, 但无工程措施固土能力差, 土壤抗冲效果不好。

表 3 K1—K9 号径流小区产流产沙量相关指标值

指标	区号								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
总泥沙量/kg	3.411	3.557	3.820	2.062	4.018	3.264	5.743	467.67	4.211
总径流量/m <sup>3</sup>	2.081	2.705	2.159	1.835	2.096	2.100	2.948	6.540	1.979
减沙率/%	99.27	99.24	99.18	99.56	99.14	99.30	98.77	0.00	99.10
截留率/%	68.17	58.64	66.99	71.94	28.06	67.88	54.92	0.00	69.74
用水减沙比/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	9.60	8.26	9.44	10.10	9.59	9.56	7.77	—	9.84

备注: 截留率=1-(处理径流量/对照径流量); 减沙率=1-(处理冲刷量/对照冲刷量); 用水减沙比=(处理径流量-对照径流量)/(处理冲刷量-对照冲刷量)

2.1.3 适宜推广的护岸模式 生态护坡应是“既满足河道体系的防护标准, 又有利于河道系统恢复生态平衡”的系统工程<sup>[10]</sup>。草本植物对岸坡的保护效果受岸坡的高度和水位的影响。植被、块石堆砌等自然原型护岸多用于河岸缓坡型; 木桩、石材等工程措施多用于较陡的岸坡或冲刷较严重的地段<sup>[11]</sup>。根据上辛庄示范区 9 种不同护坡小区的植被生长状况、植被覆盖度和降雨条件下保土保水性能的分析结果, 结合河岸的特点, 将护坡推广到较陡(约 26.5°)的河岸防护存在的问题和建议模式包括:

(1) K3, K4, K5 和 K6 代表护岸工程, K5 椰纤植生毯+客土护坡, 土壤抗冲刷和截留降水效果很差, 不适合推广; K3 生态植被毯护坡减沙率 99.18%, 截留率 66.99%, 因为植被毯内植物的成活率低、适应性差, 采用抗逆性好、繁殖性强的乡土植物种子可推广到岸坡较低, 流速较小的河岸; K6 六棱花饰砖护坡保水性能差, 工程防护抗冲刷性能好, 选取浅根系、耐旱、繁殖性强的植物可推广到流速较大、岸坡较高, 河流顺直的河岸。土工格栅固土种植基护坡, 草皮生根后草土格栅形成一体, 可增加岸坡的稳定性。K4 土工格栅+客土护坡保土保水性能最好, 植被生长良好, 是优先的推广模式, 适合亲水平台附近、迎水面、流速较大的岸坡。

(2) K1 和 K2 代表滑雪道道面防护工程, 保土保水性能相对都好, K1 高羊茅+水平截流沟的抗土壤冲

刷和截留降水效果比 K2 结缕草+Y 型截留沟好, K2 结缕草长势不好, 植被覆盖度相对较低。K1 更适合推广到河流弯曲的凹面、流速较小、坡岸较低的岸坡。

(3) K7 湿地, K8 裸露, K9 自然恢复小区: K7 等高绿篱埂护坡植被长势不好, 保土保水性能差, 不适合推广。K8 裸露小区遭到人为破坏, 导致产流产沙量很大, 造成严重的土壤侵蚀, 需要人工维护。K9 自然恢复小区植被恢复程度较好, 减沙效果好, 可适用于河岸边坡较宽, 施工复杂的地段, 人工播撒草籽, 使其自然恢复。

## 2.2 生态护岸效果及适宜性分析

2.2.1 生态护岸效果及配置分析 永定河护岸措施结构的稳定性、护岸植物的景观适宜性、护岸平台的亲水性都关乎河流的生态健康安全性, 为永定河“河溪—湖泊—湿地”护岸适宜性模式的推广提供重要的依据。河道断面形态、河流弯曲形态、河岸的坡度和高度等与河流流速相关<sup>[12]</sup>。河流的弯曲程度、河床的复杂形态、高程起落变化、河面的迎或背水面特点、河流的流速大小、河岸岸坡的倾角高程、坡岸带周边水土保持措施或设施的布设等, 都会对护岸模式的配置产生重要的影响, 直接关系河岸的防洪和生态功能。所以护岸模式的配置需要综合考虑河岸设计的特点、河流的生态环境、护岸的适生植物、河岸的亲水空间等。永定河 11 种生态护岸技术在不同河段的配置特点见表 4。

表 4 永定河 11 种护岸技术的配置特点

标号	措施名称	河流弯曲度	迎、背、顺水面	流速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	岸坡坡度 ( $15^\circ \sim 45^\circ$ )	岸坡土壤抗 侵蚀度	抗水流 冲刷度	现状	适合 应用度
H1	SG 生态砖和扦插柳枝复合护岸	自然弯曲	迎水面	2~2.5	较陡岸坡	较好,细沟少	很好,无冲刷	柳枝长势不好,无亲水空间	较适合推广
H2	块石扦插柳枝护岸	近自然	顺水面	2~2.5	缓坡型	很好,无沟蚀	较差,严重冲刷	柳枝长势茂盛,近自然化	较适合推广
H3	卵石扦插柳枝复合护岸	弯曲凹面	背水面	1.5~2	较陡岸坡	一般,细沟多	很差,卵石被冲走	柳枝稀疏,河岸轻度坍塌	不适合推广
H4	山石护岸	弯曲凸面	迎水面	2.5~3	较陡岸坡	一般,细沟多	很好,无冲刷	亲水性好,不被芦苇阻隔	很适合推广
H5	块石护岸	弯曲凹面	背水面	1.5~2	缓坡型	较好,细沟少	一般,有轻微冲刷	近自然,亲水性好,水生环境好	较适合推广
H6	SG 生态砖护岸	弯曲凸面	迎水面	2.5~3	陡峭型	较差,有冲沟	不怕冲刷,无坍塌	河岸稳定,亲水性好,水生环境差	适合推广
H7	扦插柳枝护岸	河流顺直	顺水面	1~1.5	较陡岸坡	一般,细沟多	较好,轻微冲刷	长势茂盛,动植物生存环境好,景观效果好	适合推广
H8	松木桩、扦插柳复合护岸	弯曲凸面	迎水面	1.5~2	较缓型	很好,无细沟	很好,无冲刷	柳枝茂盛,岸坡无坍塌,提供憩息美观环境	适合推广
H9	生态袋、仿木桩护岸	弯曲多样化	迎水面	2~2.5	较陡岸坡	一般,细沟多	很好,无冲刷	无坍塌,亲水性和美感差,近自然	适合推广
H10	卵石护岸	弯曲凹面	迎水面	1~1.5	缓坡型	较好,细沟少	较差,易被冲走	近岸保留较好,无坍塌,景观效果差	较适合推广
H11	铅丝石笼和生态袋复合护岸	弯曲多样化	迎水面	2.5~3	较陡岸坡	较好,细沟少	很好,无冲刷	石笼和植被袋无破坏,岸坡很稳定	很适合推广

生态护岸模式的适宜性需要按照河岸的特点和护岸的功能综合考虑(表 4)。根据 2011 年 11 月调查现状,结合护岸技术的配置特点,综合评价防护效果的优缺点、防护措施的适用性和适生的植物种,总结如下:

(1) H1, H2 和 H3 工程措施与扦插柳复合护岸比较:SG 生态砖护岸无坍塌,但亲水性差;没有块石扦插的柳枝长势好,但块石适合缓坡型河岸;卵石具备天然性、生态性和景观性的特点,但易被冲刷使岸坡坍塌,适合于流速较小、河流弯曲的凹面。

(2) H4, H5, H6, H7, H10 单一措施护岸比较:山石亲水性好,栽植水生芦苇不受阻隔,适合生物的憩息,但无植物净水的效果,适合流速大,河流形态复杂的河段;块石与水生鸢尾配置,稳定不易被冲刷,景观性和生态性较好,但不适合较陡流速大的岸坡;生态砖亲水性好,保护岸坡长期稳定不坍塌,但景观单一,不适合水生生物的生存;柳枝长势茂盛,根系固持岸坡,适合水生植物生长,但河岸边坡土壤抗冲刷性能差;卵石护岸景观性好,减弱水流对岸边的冲刷,保护近岸的亲水平台。

(3) H8, H9 和 H11 工程、植物复合护岸比较:松木桩扦插柳枝近自然护岸,顺河流弯曲布设,景观性、生态性和稳定性效果好,适宜湖水较深,水流较大,人类难以亲近的地段,防止人为破坏;生态袋和仿木桩防止河岸坡面的土壤侵蚀,保护岸坡的稳定,但生态效果和抗水流冲刷效果不好,适合亲水平台水流较小的岸坡;铅丝石笼和生态袋稳固岸坡,土壤抗侵蚀和水流冲刷效果很好,防护年限很长,但生态袋内未采用活种子,景观生态效果差,适合流速较大、岸坡较陡的地段。

(4) 永定河适生的植物种类:柳枝、结缕草生长良好,水土保持效果明显,可以有效控制河岸土壤侵蚀,

适于湖边、河岸种植。鸢尾对  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_3\text{—N}$  和  $\text{COD}$  整体去除效果很好,千屈菜和荇菜吸收有害物质、净化水体,景观效果好,适合浅水洼地<sup>[13]</sup>。紫穗槐,豆科落叶灌木,具有根瘤菌,能改良土壤;耐阴、耐旱、耐水湿,适于河岸。狗尾草适应性强,在河岸边大量种植,可以增加绿化面积以及美化环境,净化水质。浮萍,多年生细小草本,漂浮水面,水面覆盖度较大,美化环境效果较好。

2.2.2 适宜推广的生态护岸模式 生态护岸是集防洪、生态、景观、自净功能于一体的恢复后的自然河岸或具有自然河岸可渗透性的人工护岸<sup>[14]</sup>。根据永定河 11 种护岸措施在河岸的配置特点和防护效果的对比,发现单纯植物护岸、工程护岸、植物工程复合护岸模式存在问题是:(1) 单纯的植物护岸防止河岸坍塌效果较差,适合于缓坡性的河岸,为了增加景观异质性和生物多样性,可配置适宜的水生植物。(2) 工程护岸,可以提供良好的亲水平台,稳固河岸抗水流冲刷,但生态景观效果差,适合于岸坡较陡,河流曲直变化明显的河段。(3) 工程、植物复合护岸,兼顾良好的景观效果和防护效果,需要合理配置,关注河流的亲水功能,注重护岸措施的维护,适合于复杂变化的河岸坡度和河流形态等。可以考虑工程护岸和工程、植物复合护岸间隔布设的形式,最大化的满足河流的亲水、景观、防护效果。

生物技术与工程技术复合的护岸保证岸坡的安全稳定,提供了生物的栖居空间,景观层次性好<sup>[15]</sup>。不同的河段特点适宜于不同的生态护岸模式,基于此,针对 11 种护岸技术配置存在的问题,建议采用以下 8 种互补的护岸模式:(1) SG 生态砖和扦插柳枝复合护岸与 SG 生态砖护岸隔段布设,提供亲水平台,适宜于坡度陡、高程大、流速大的岸坡;(2) 山石与块石扦插柳枝隔段布设,美化景观效果,适宜于陡缓复杂、

流速较大的岸坡;(3)卵石扦插柳枝和鱼巢砖隔断布设,增加生物的多样性,适宜于河流弯曲复杂、坡度较缓的岸坡;(4)栽植芦苇、鸢尾水生植物与山石或块石复合护岸,增加生态景观效果,适宜于坡度陡缓复杂、自然弯曲河流;(5)扦插柳枝与水生植物混合配置模式,利用植被长势特点,增加人类亲水性,适宜于坡度较缓,水流流速较小的岸坡;(6)松木桩拦挡扦插柳复合护岸,生态、景观、抗冲刷效果好,适宜于河流弯曲多样化,水位很深、流速较小的岸坡;(7)卵石和水生植物复合护岸,增加生态景观和植物多样性,适宜于河流弯曲的凹面、流速较小、坡度较缓的岸坡;(8)活种子植被袋和仿木桩或铅丝石笼复合护岸,采用成活率高的活种子,增加景观美,适宜于流速大、河流弯曲变化复杂、坡度较陡、河岸高度较大的岸坡。

### 3 结论

本文基于国内外对生态护岸防护效果研究的欠缺性,以供水和防洪河道——永定河示范段的生态护岸为研究对象,采用数据定量和调查定性分析相结合的方法,首次提出永定河不同河段特点的适宜的生态护岸模式和适宜推广到河岸的生态护坡模式,为永定河河岸的治理提供重要的参考价值。

(1) 接近原始设计的护坡年限,植被演替变化不明显,植被覆盖度随着护坡年限的增加而降低。生态护坡抗土壤侵蚀效果类比河岸坡的抗土壤冲刷度,坡度  $26.5^{\circ}$  的径流小区可类比河岸的较陡边坡,植被配置都可选取生长迅速、成活率高、绿期长的乡土树种和多年生草本植物。

(2) 根据河流弯曲度、河岸高程、河岸坡度、抗水流冲刷度、岸坡抗土壤侵蚀度等影响防护效果的指标,结合生态护岸的景观、防洪、生态、亲水功能,综合分析表明 8 种互补的生态护岸模式和 6 种植被生长良好、保土保水性能好的护坡措施适宜推广到相应不同特点的河岸。

(3) 工程、植物复合护岸(块石扦插柳枝护岸)效果最好,弥补了单纯植物护岸(扦插柳枝护岸)的防护效果和工程护岸(生态砖护岸)的景观效果,适宜的护

岸模式兼顾河岸特点和生态功能,需要合理搭配。H8 松木桩拦挡扦插柳复合护岸近自然、景观、生态、稳定性好,K4 土工格栅+客土种植灌草护坡,工程和植物复合保土保水性能最好,最适合推广。

参考文献:

- [1] Chang C, Lin F, Liang T, et al. Vegetation landscape, ecological characteristics and soil fixation for riverbank in Taiwan, China[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2007, 12(4): 677-699.
- [2] 茹克亚·吐尔逊. 河道生态护岸技术[J]. 现代农业科技, 2010(8): 316-317.
- [3] 唐国滔, 姚焕玫, 胡湛波. 生态护岸技术的研究及其发展趋势[J]. 水产科技情报, 2010(4): 198-202.
- [4] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2010.
- [5] 芦建国, 于冬梅. 高速公路边坡生态防护研究综述[J]. 中外公路, 2008, 5(28): 29-32.
- [6] 卓慕宁, 李定强, 郑煜基. 高速公路生态护坡技术的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 164-167.
- [7] 王鹏, 张建军. 晋西黄土区封禁流域植被群落组成及物种多样性变化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 242-28.
- [8] 邓辅唐, 吕小玲, 喻正富, 等. 高速公路边坡植物群落的水土保持效应[J]. 中国水土保持, 2007(5): 43-45.
- [9] 吴淑芳, 吴普特, 宋维秀, 等. 坡面调控措施下的水沙输出过程及减流减沙效应研究[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 870-875.
- [10] 徐海波, 宗瑞英. 谈城市河道生态护坡技术[J]. 工程建设与设计, 2005(1): 57-60.
- [11] 李力, 宁军, 张浩. 城市生态河道建设方法探究[J]. 南阳师范学院学报, 2010(9): 72-74.
- [12] 李山, 唐数红, 郭平. 新疆洪水、河道特征及整治措施研究[C]// 学术年会论文集. 北京: 中国水利学会, 2003: 377-381.
- [13] 王金丽, 颜秀勤, 宁冰, 等. 浮岛植物净化水质效果研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 14-18.
- [14] 唐国滔, 姚焕玫, 胡湛波. 生态护岸技术的研究及其发展趋势[J]. 水产科技情报, 2010, 37(4): 198-201.
- [15] 王芳, 高甲荣. 密云水库集水区河岸生物工程措施初探[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 238-243.