

京郊琉璃河河岸带土壤生物工程的生态效应

娄会品^{1,2},高甲荣^{2*}

(1. 河北省电力勘测设计研究院,河北 石家庄 050031;2. 北京林业大学 教育部水土保持和荒漠化防治重点实验室,北京 100083)

摘要:以北京市怀柔区琉璃河示范区为研究对象,从土壤生物工程的生物量、河岸带的生物多样性、温湿度的调节等方面研究了土壤生物工程实施2 a后对河岸带的改善作用。结果表明,土壤生物工程实施后,植物根系生长良好,改善了土壤的抗侵蚀性;增加了生物多样性;土壤生物工程各种措施对温度和温湿指数具有良好的作用。

关键词:土壤生物工程;生物多样性;温湿度

中图分类号:S714.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)01-0304-05

Ecological Effects of Soil Bioengineering in Beijing Riparian Zone of Liulihe River

LOU Hui-pin^{1,2}, GAO Jia-rong^{2*}

(1. Hebei Electric Power Design & Research Institute, Shijiazhuang, Hebei 050031, China; 2. Beijing Forestry University, Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Riparian ecological management is an important part of the governance of rivers. This paper studied the soil bioengineering two years after the implementation of the improvement of the riparian zone, mainly studied the biomass of soil bioengineering and riparian biodiversity, temperature and humidity regulation. The results showed that the implementation of soil bioengineering improved the corrosion resistance of the soil, increased biodiversity, and adjusted the role of temperature and thermo hygrometric index (THI).

Key words: soil bio-engineering; biodiversity; humidity

土壤生物工程是用活性材料如种子、植物、植物的某些部位和植物群落以及它们本身固有的繁殖能力来构建近自然治理工程措施^[1-2]。近几十年来土壤生物工程在欧美发展迅速,针对土壤生物工程做了大量的研究并日渐深入,但是在我国的发展处于起步阶段,目前土壤生物工程主要应用在河岸带的治理上。

河岸带是河溪生态系统和陆地生态系统的桥梁纽带^[3],良好的河岸带生态系统有助于提高生物多样性和河溪生态系统的生产力,进行水土污染治理,改善小气候等。传统护岸大多采用混凝土砌筑等硬化方式,阻断水流渗透、冲蚀作用^[2]的方法手段,进而起到稳定岸坡的作用,但是,传统的护岸方式破坏了生物生存的场所和迁移通道。河溪生态护岸是指能在防治河岸塌方之外,还具备适合水域土壤相互

渗透,增加河道自净能力,有一定自然景观效果的河道护坡形式^[4]。生态护岸就是重建受损的河岸带生态系统,在保障河岸稳定安全的同时,注重其生态功能。目前,我国多研究生态护岸的理论和技术,而对生态护岸治理的后期效果监测的研究较少。本研究以北京市怀柔区琉璃河示范区为研究对象,研究土壤生物工程对岸坡的生态效果的改善作用。

1 研究区和工程措施概况

1.1 研究区概况

土壤生物工程示范区位于北京市怀柔区琉璃河河段,琉璃河位于北京市怀柔区,为白河支流,属于海河流域潮白河水系,常年流水。试验河段位于琉璃河上游,施工前岸坡岩石裸露,植物生长环境恶

收稿日期:2015-03-20 修回日期:2015-05-21

作者简介:娄会品,女,硕士,工程师,研究方向:河流生态修复。E-mail:snowwhite969@163.com

*通信作者:高甲荣,男,教授,研究方向:河流生态修复。E-mail:jiaronggao@sohu.com

劣。因此,先进行整地,在岩石裸露边坡上。在裸露岩石上覆土20~30 cm,为了防止流水对土壤的冲刷,在坡脚处放置规格为80 cm×80 cm×50 cm的铅丝笼进护脚。

1.2 工程措施概况

2009年春在琉璃河右岸布设了长达100 m的

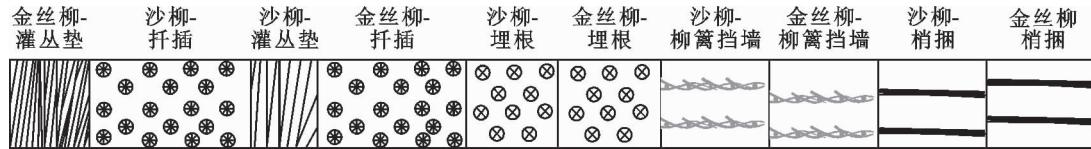


图1 工程措施布置示意图

Fig. 1 Arrangement of engineering measures

2 研究方法

2.1 生物量

对扦插、埋根、梢捆以及灌丛垫等4种措施,应用直接收获法,扦插和埋根取单个插穗新生枝条和全部萌蘖根系,梢捆和灌丛垫成丛状生长。试验中选取了长20 cm的梢捆及长30 cm,宽25 cm的灌丛垫新生枝条的地上部分(新生枝叶)、地下部分(根系),把所取样本带回实验室,在80℃下烘干至恒重,称量各种措施样本的枝、叶以及根系的质量。

2.2 植物多样性

对不同施工措施(梢捆、扦插、埋根、灌丛垫)后区域内的生物多样性进行调查,设置1 m×1 m的样方,记录植物的种类、盖度等特征数据,计算得物种丰富度指数、 α 多样性。Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数。

2.3 温湿度调节

土壤生物工程实施后,生长良好的植被环境不仅具有景观效果,还具有改善温湿度的效果。应用WSD-1温湿度感应仪定点监测。选取3个测点进行观测,每个观测点数据为3次重复数据的平均值。各观测点的布置位置相距约50 m,各个布置点在同一水平高度上;观测点1为河岸带高大乔木林下,观测点2为裸露岸坡,观测点3为土壤生物工程护坡。观测时间段为8月12日—8月18日,为期7 d,从7:00—19:00每隔1 h对观测点的空气温度和相对湿度进行监测,测定高度距地面1.5 m,各测点监测同时进行。

温湿度数据采用方差分析的方法,检验不同观测点位的显著性差异。

3 结果与分析

3.1 植物生物量

从植物材料来看,沙柳植物材料新生枝条的生

土壤生物工程措施(图1)。试验中应用了沙柳(*Salix cheilophila*)和金丝柳(*Salix alba* var. *tristis*)2种植植物材料,采用了灌丛垫、扦插、埋根、梢捆、柳篱挡墙^[1-2]等措施对河岸带进行治理。工程实施后,各种措施成活率在90%左右,植物生长状况良好。

物量较金丝垂柳大(表1),沙柳和金丝垂柳枝、叶和根系生物量差别小,这2种植植物材料生长状况都较好,对河岸带的适应性强。从措施来看,各种措施生物量由大到小表现为,灌丛垫>埋根>梢捆>扦插;扦插和埋根新生枝条和根系的生物量相比较得出,埋根的生物量较扦插大,埋根的生长状况较扦插有显著的区别;灌丛垫和梢捆相比较得出,灌丛垫生物量无论是枝、叶和根系都较大,灌丛垫的生长状况较好。可以看出,埋根和灌丛垫对河岸带具有较好的适应性。

表1 各种土壤生物工程措施植物生物量

Table 1 Plant biomass effect of different soil

		bioengineering measures				g
	树种	埋根	扦插	梢捆	灌丛垫	
沙柳	枝	207.38	57.69	136.25	289.32	
	叶	115.63	42.21	76.02	158.90	
	根系	45.24	10.78	6.47	21.59	
金丝柳	枝	146.13	81.63	97.82	278.08	
	叶	135.00	59.63	58.30	137.02	
	根系	48.56	7.94	16.85	18.63	

3.2 植物根系

对各种措施根系测定中,植物根系生长分布范围较广,以插穗为中心向外延伸约20~30 cm处都有根系分布,根系最长达1.5 m左右,可深入地下约1 m。

沙柳和金丝柳这2种植植物材料在不同措施下的3个分类的根系具有明显的差别(表2);在1~3 mm直径范围内,沙柳植物材料下,埋根措施根系生物量为11.28 g,金丝柳埋根为5.81 g,沙柳比金丝柳根系的干重多94.1%;在≤1 mm直径范围内,沙柳埋根干重为8.92 g,金丝柳为9.90 g,沙柳比金丝柳少0.08 g;在≥3 mm直径范围内,沙柳埋根干重比金丝柳少3.32 g。在不同的施工材料下,同种土壤生物工程措施具有不同的生物量,沙柳埋根措施根系生长较好,根系长达170 cm,金丝柳埋根的根

系也长达 160 cm, 各种措施的根系长势良好, 生物量较大, 具有一定的锚固和加筋作用。

表 2 土壤生物工程措施植物根系生物量

Table 2 Root biomass effect of different soil bioengineering measures

树种	根系直径/mm	埋根/g	扦插/g	梢捆/g	灌丛垫/g
沙柳	1~3	11.28	5.33	4.74	5.83
	≤1	8.92	1.96	4.10	11.66
	≥3	25.04	3.49	10.56	14.89
	总计	45.24	10.78	19.40	32.38
金丝柳	1~3	5.81	1.52	3.16	4.69
	≤1	9.90	1.27	12.76	7.30
	≥3	32.85	5.15	9.35	10.65
	总计	48.56	7.94	25.27	22.64

3.3 生物多样性

土壤生物工程措施的应用, 改善了河岸的生态环境, 形成了良好的生态环境, 也为其他生物的入侵提供了生存和繁殖的环境, 增加了生物多样性, 新增龙葵(*Solanum nigrum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、北京隐子草(*Cleistogenes hancei*)、乱子草(*Muhlenbergia hugelii*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、灰菜(*Chenopodium album*)、拉拉秧(*Gallium aparine* var. *echinospermum*)、艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、大齿山芹(*Ostericum grosseserratum*)、梅花草(*Parnassia palustris*)、日本乱子草(*Muhlenbergia japonica*)、华北剪股颖(*Agrostis clavata*)、烟管蓟(*Cirsium pendulum*)、花锚(*Halenia corniculata*)、山马兰(*Kalimeris lautureana*)、蚊子草(*Filipendula palmata*)、疗齿草(*Odontites serotina*)、薄荷(*Mentha haplocalyx*)等 22 种草本植物。

在不同的土壤生物工程措施下, 草本植物的多样性指数呈波动变化(图 2), Shannon-Weiner 多样性指数变化范围介于 0.39~2.08 之间, Pielou 均匀度指数在 0.19~0.84 范围内波动。沙柳各种土壤生物工程措施下的草本植物 Shannon-Weiner 指数较金丝垂柳下的多样性指数小(图 2), 这可能是由于沙柳的各种措施生长状况较好, 枝叶生长茂密, 导致林下草本生长状况较差; 从施工措施来看, 灌丛垫和梢捆林下草本植物 Shannon-Weiner 指数较小, 因为这 2 种措施呈灌丛状生长, 生长较密集, 导致林下草本植物多样性减少。均匀度指数 Pielou 波动范围较小, 基本处于稳定。

3.4 温湿度调节

3.4.1 温湿度变化 由试验数据可以看出(表 3),

从早 7:00—19:00, 乔木林下(观测点 1)日平均空气温度为 26.8°C, 裸露边坡(观测点 2)日平均气温为 29.0°C, 土壤生物工程护坡(观测点 3)日平均气温为 28.0°C; 方差分析表明, 乔木林下的温度和其他 2 个观测点有显著性差异($p < 0.01$), 乔木林下的温度最低; 土壤生物工程护坡处日平均气温比乔木林下高 1.2°C, 且各个时间段上均高于林下空气温度; 工程护坡处比裸露边坡处日均温低 1.0°C, 而且从 7:00—19:00 各时间段上都高于裸露边坡。土壤生物工程措施对温度的调节作用没有达到乔木林下的调节效果, 从观测数据上来看, 工程护坡处的温度明显低于裸露边坡, 但没有达到统计学上显著性差异的阶段(表 3)。

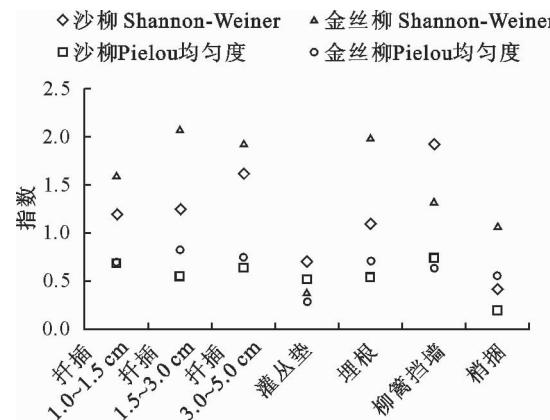


图 2 不同土壤生物工程护坡措施植物多样性指数

Fig. 2 Biodiversity index of different soil bioengineering measures

乔木林下平均空气相对湿度为 63.2%, 裸露边坡日平均空气相对湿度为 59.0%, 土壤生物工程护坡日平均空气相对湿度为 63.0%; 3 个观测点的湿度无显著性差异, 这可能由于 3 个观测点都位于河流附近, 空气湿度相对较稳定。

3.4.2 人体舒适度 以温湿指数(Thermo Hygro-metric Index, 简写为 THI)来评价人体舒适度。

$$THI = T - 0.55(1 - RH)(T - 14.5) \quad (1)$$

式中: T 为空气温度; RH 为空气相对湿度; THI 越大人体舒适度越低^[5](表 4)。

乔木林下(观测点 1)从 7:00—19:00 时间范围内温湿指数 THI 在 20.3~26.9 之间, 裸露边坡(观测点 2) THI 则在 20.6~27.9 之间, 土壤生物工程护坡处(观测点 3) THI 在 20.6~27.0 之间波动, 并且时间从 8:00—17:00 时, 土壤生物工程护坡处的 THI 值大于林下测点的温湿指数 THI , 但小于裸露边坡处的 THI 值(图 3)。土壤生物工程护坡处 THI 值在 12:00—16:00 时间段内 $THI > 26.5$, 在这个时间范围内, 人感觉到很不舒服; 裸露边坡在时间 12:00—16:00 范围内 $THI > 26.5$, 且

各个时间段 THI 都大于土壤生物工程护坡处 THI 值;林下测点处 THI 值在任意时间段内都 <26.5 , 林下具有良好的调节周围小气候的作用;从试验数据看出,土壤生物工程护坡处的 THI 值介于裸露

边坡和林下测点之间,说明护坡措施已经具有改善 THI 的作用,但是还未达到乔木林的调节效果。表明土壤生物工程护坡措施可以改善河流边坡的人体舒适度。

表 3 测点各时段平均温度和相对湿度监测结果

Table 3 Average temperature and relative humidity of different times at different measurement spots

测点	空气温度/℃			空气相对湿度/%		
	观测点 1	观测点 2	观测点 3	观测点 1	观测点 2	观测点 3
平均值±标准差	26.8±3.1a	29.0±3.8b	28.0±3.4b	63.2±14.4a	59.0±15.1a	63.0±15.5a

表 4 THI 与人体舒适度

Table 4 Relationships between the comfortable degree of human body and THI

THI	人体舒适度	评价
≥30	酷热	无降温措施难以工作
26.5~30	很热	很不舒服
20~26.5	热	不舒服
15~20	舒适	适宜环境

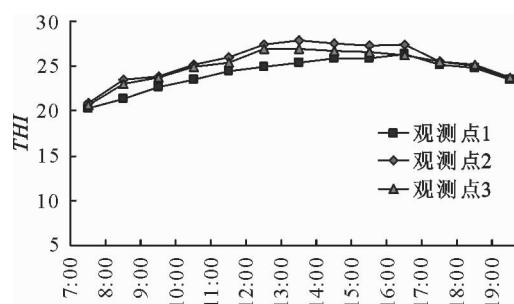


图 3 各观测点温湿指数(THI)

Fig. 3 Thermo hygrometric indices of different measurement spots

4 结论与讨论

植物生物量是生态系统的功能指标,有重要的生态学意义^[6],也是生态系统中生产力研究的重要方面^[7],评定植物生长状况的最基本指标,它可以作为植物在生态系统中的相对重要性的量度之一^[6]。生物量作为河岸带生态系统积累的有机总量,是整个河岸带生态系统运行的能量基础和营养物质来源,对河岸带生态系统的重建提供了基础。本试验以植物生物量为指标,研究了沙柳和金丝垂柳为材料的土壤生物工程措施对河岸带的适应性和对河岸带生态系统提供物质能量的能力。

植物根系具有明显的提高土壤抗侵蚀的能力。植物通过须根(<1 mm)作用可以提高土壤水稳定性团聚体数量^[8~10],增强土壤抗分散和悬浮能力,而且,须根上的根毛还可以改善土壤的理化性质^[10],根系还可以改善土壤的渗透作用来提高土体的抗侵蚀性。粗根(>2 mm)具有锚固作用,而细根(<2 mm)多发挥加筋作用^[12~14]。因此,植物根系具

有提高土壤的抗侵蚀性、抗剪切性、加筋以及锚固等作用。

沙柳和金丝柳 2 种植物材料下的各种土壤生物工程措施的枝叶以及根系干重差别小,生物量都较高,为河岸带生态系统提供了物质能量;2 种植物材料生长状况都较好,对河岸带的适应性强。

2 种植物根系在 ≤ 1 mm、 $1\sim 3$ mm、 ≥ 3 mm 等 3 个级别直径范围内生物量在不同措施之间具有明显的差别,根系总体生长良好,具有较好的加筋和锚固作用。

土壤生物工程措施的应用,改善了河岸的生态环境,为其他生物的入侵提供了生存和繁殖的环境,增加了 22 种草本植物,除灌丛垫和梢捆措施下的 Shannon-Weiner 指数较小,其余各种措施在 Shannon-Weiner 指数 1.10~1.93 之间,植物多样性良好;各种措施的均匀度指数 Pielou 具有波动较小,处于稳定状态。

土壤生物工程护坡处的空气温度、THI 值介于裸露边坡和乔木林下之间,说明护坡措施具有一定的调节作用;但空气相对湿度各个观测点之间无显著性差异,这可能是河流对附近空气湿度的影响导致的。

试验中仅采用了 2 种植物材料(沙柳和金丝柳),物种比较单一,为了增加河岸带的物种丰富度和建立稳定的生态系统的需要,对植物材料的选择还需要进一步的研究;土壤生物工程实施后,对河岸带的远期的影响作用,以及对河流的生态意义,也是今后研究的方向。

参考文献:

- [1] 李会品,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):15~183.
 - [2] 李会品,高甲荣,刘瑛,等.土壤生物工程在北京山区公路边坡防护中的应用[J].西北林学院学报,2010,25(6):64~68.
- LOU H P, GAO J R, LIU Y, et al. Application of soil bioengineering on road slope revegetation in Beijing suburb[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 25(6): 64~68. (in Chinese)

- [3] 夏继红,严忠民,蒋传丰.河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J].水科学进展,2005,16(8):345-348.
- [4] 关春曼,张桂荣,程大鹏,等.中小河流生态护岸技术发展趋势与热点问题[J].水利水运工程学报,2014(4):75-81.
- [5] 刘梅,于波.人体舒适度研究现状及其开发利用前景[J].气象科技,2002,30(2):11-14,18.
- [6] 蓝振江.九寨沟陆生植物群落的生物量和生产力研究[D].成都:四川大学,2004.
- [7] 杨同辉.浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究[D].上海:华东师范大学,2005.
- [8] 熊燕梅,夏汉平,李志安,等.植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展[J].应用生态学报,2007,18(4):895-904.
XIONG Y M, XIA H P, LI Z A, et al. Effects and mechanisms of plant roots on slope reinforcement and soil erosion resistance [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (4): 895-904. (in Chinese)
- [9] 查轩,唐克丽,张科利,等.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报,1992,6(2):52-58.
CHA X, TANG K L, ZHANG K L, et al. The impact of vegetation on soil characteristics and soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, 6 (2): 52-58. (in Chinese)
- [10] 吴彦,刘世全,付秀琴,等.植物根系提高土壤水稳定性团粒含量的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):45-49.
- [11] 刘国彬.黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):93-96.
- [12] REUBENS B, POESEN J, DANJON F, et al. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review trees structure and function[J]. Trees, 2007(21):385-402.
- [13] ZUAZO V H D, PLEGUEZUELO C R R. Soil erosion and runoff prevention by plant covers:a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28:65-86.
- [14] 杜钦,杨淑慧,任文玲,等.植物根系固岸抗蚀作用研究进展[J].生态学杂志 2010,29(5):1014-1020.
- [15] 吕晶.京郊河溪生态护岸水土保持效应及其健康评价[D].北京:北京林业大学,2009.
- [16] 刘瑛,王芳,高甲荣.晋西黄土高原虎榛子根系分布特征[J].西北林学院学报,2009,24(1):31-34.
LIU Y, WANG F, GAO J R. Root distribution chareacters of *Osryyopisidaciana* on different sites in the Loess Plateau of western Shanxi[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 24 (1): 31-34. (in Chinese)

(上接第 297 页)

- [10] NEVINS R. Effect of change in ambient temperature and level of humidity on comfort and thermal sensation[J]. Ashrae Transactions, 1975, 81(1):64-77.
- [11] 吴菲,李树华,刘娇妹.林下广场、无林广场和草坪的温、湿度及人体舒适度[J].生态学报,2007,27(7):2964-2970.
WU F, LI S H, LIU J M. The effects of greening none-greening square and lawn on temperature, humidity and human comfort[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (7): 2964-2970. (in Chinese)
- [12] 吴兑,邓雪娇.环境气象学与特种气象预报[J].气象,2000,26(8):3-5.
WU D, DENG X J. Environmental meteorology and special meteorological forecasts[J]. Meteorological Monthly, 2000, 26 (8):3-5. (in Chinese)
- [13] 周立晨,施文彧,薛文杰,等.上海园林绿地植被结构与温、湿度关系浅析[J].生态学杂志,2005,24(9):1102-1105.
ZHOU L C, SHI W Y, XUE W J, et al. Relationship between vegetation structure and the temperature and relative humidity in urban green spaces of Shanghai[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(9):1102-1105. (in Chinese)
- [14] CHANG C R, LI M H, CHANG S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei City parks[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 80:386-395.
- [15] 纪鹏,朱春阳,李树华.河流廊道绿带结构的温湿效应[J].林业科学,2012,48(3):58-65.
JI P, ZHU C Y, LI S H. Effects of the different structures of green belts on the temperature and humidity in river corridors [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(3):58-65. (in Chinese)
- [16] 吴菲,朱春阳,李树华.北京市 6 种下垫面不同季节温湿度变化特征[J].西北林学院学报,2013,28(1):207-213.
WU F, ZHU C Y, LI S H. Seasonal changes of temperature and humidity of six urban underlying surfaces in Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 207-213. (in Chinese)