

植物根系对河道滩坡抗冲性影响的试验

拾兵 陈 举 张芝永

(中国海洋大学工程学院 山东 青岛 266003)

摘要 :为研究植物根系对边滩坡面固土抗冲性的影响 ,选择麦冬草、芦苇和蒿草 3 种天然植物进行抗冲性物理试验 ,测量植物种植密度、根系面积比率和冲刷量。试验结果表明 ,根系发达、根系面积比率大的植物对滩坡的固土护岸作用大且范围广 ,防护效果好 ,并给出了根系纵深分布一般公式以及稳定坡面的地形函数。

关键词 :植物根系 ;根系面积比率 ;河道边滩 ;抗冲性 ;稳定坡面

中图分类号 :TV143⁺.3 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2012)02-0050-04

Experimental study of influence of plant root system on erosion resistance of flood plain of the vegetated river//SHI Bing , CHEN Ju ZHANG Zhi-yong College of Engineering , Ocean University of China , Qingdao 266003 , China)

Abstract : In order to study the influence of plant root system on erosion resistance of the slope bank , different kinds of natural plants like ophiopogon japonicus , reed and wormwood are applied in the erosion experiments . Experimental parameters of root density , root area ratio and erosion quantity were measured . The experimental results show that the more developed of root system and the larger of the maximum root area ratio (RAR) value , the more effects it will take on the bank protection and wider range . Besides , a general formula about depth distribution of the root system and function about stable slope are obtained .

Key words : plant root system ; root area ratio ; flood plain ; erosion resistance ; stable slope

河岸、湖岸、海岸等滨岸区域是发生土壤侵蚀的重点区域^[1-3]。据统计^[4],全球土壤每年被侵蚀量约为 600 亿 t,而河、湖、海等滨岸区域的土壤侵蚀量约为总量的 1/3。因此植物固岸抗侵蚀作用的研究迫在眉睫,意义重大。

国外学者于 20 世纪 90 年代率先开始对滨岸植物根系固岸能力进行系统研究和阐述^[5-11]。国内在植物根系提高土壤抗侵蚀能力的研究方面也取得了显著的成绩。李勇等^[12-15]对我国黄土高原的土壤抗冲性以及不同植物根系对提高抗冲性的影响进行了系统的研究,结果表明:小于 1 mm 的根密度及根量是植物群落改善土体结构稳定性、提高入渗强度和增强抗冲性的有效根系参数;用毛根表面积比用有效根密度或根系生物量更能揭示植物群落强化抗冲性、固结土壤的作用机制,故建议用有效根面积(10 cm × 10 cm 土体中 0.1 ~ 0.4 mm 的毛根表面积)作为根系丰富程度的指标。

评价植物根系固岸抗侵蚀作用的主要方法有:

①基于根系-土体抗剪强度的评价方法,常用指标为根-土综合体抗剪强度^[16]、土壤侵蚀度^[16]、岸滩安全系数^[6]和根系抗拉强度^[17-18]。②基于土壤团聚体稳定性的评价方法,常用指标为土壤团聚体稳定性^[19-20]。③基于根系结构参数的评价方法,常用指标为根量密度^[21]、根系面积比率^[22]、根长密度、根重密度。④多指标综合应用的评价方法,常用指标为根系-土体综合抗剪强度和根重密度组合评价指标^[18]、根系-土体综合抗剪强度和根系面积比率组合评价指标^[7]、根系-土体综合抗剪强度、土壤侵蚀度、根长密度和根系面积比率组合评价指标、岸滩安全系数和根系面积比率组合评价指标。由于基于根系结构参数的评价方法抓住了植物根系固土护岸的最本质要素,所以这种评价方法应用日益广泛。本文采用基于植物根系结构参数的根系面积比率方法来研究植物根系对河道边滩抗冲性的作用。

1 试验布置

试验的主要目的是研究不同植物根系的抗冲效

果,得到根系参数与冲刷量之间的关系。因试验主要研究对象为边坡及滩地部分,故将该含植物河道物理模型进行简化,主槽为刚性光滑面,长度为10 m,坡度为1:1000,边坡为1:1.5。入口有5 m过渡段,后接3 m尾水段,断面形状和尺度均同试验段且边滩无植物。尾部有接沙漏斗,收集侵蚀泥沙,烘干后称重。所用模型土从野外整体移植,土样中值粒径 d_{50} 为0.9 mm。从附近河滩上选取生长较密、枝叶和根系较繁茂的区域来整块切割,整块搬运,未扰动原状土体。模型放置在宽度、高度均为30 cm的水槽内,横断面布置如图1所示。试验植物有3种:麦冬草、芦苇和蒿草。固定流量冲刷至稳定后,测取接沙容器内泥沙的质量。

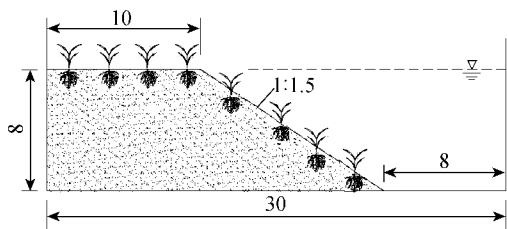


图1 物理模型横断面布置(单位:cm)

2 根系参数的测定

2.1 种植密度的测定

在试验区域或野外移植区域任意取面积约为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的土体,统计其中包含的植物株数,进而计算出植物种植密度。麦冬草、芦苇、蒿草3个试验组的植物株数分别为11、12和7,可知这3个试验组的种植密度分别为 $0.11\text{ 株}/\text{cm}^2$ 、 $0.12\text{ 株}/\text{cm}^2$ 和 $0.07\text{ 株}/\text{cm}^2$ 。

2.2 根系面积比率及其分布测定

将根系面积比率(RAR)定义为根系面积总和与根系所处土壤剖面的比值,可以通过剖面挖沟的方法获取RAR值,即在每个样本植株周围距离植株约1 m处沿下坡线和上坡线挖掘2条沟渠,深度均为根系到达的最大深度。沟渠的挖掘是为了暴露植物根系土壤的剖面。根系截面可认为是圆形的,在剖面的一定面积范围内通过测取每个深度截面的根径及对应数量得出该剖面根系RAR沿深度的分布情况。

这种方法测量的仅是单株植物的RAR,通常植物对岸坡的固土抗蚀作用还与植株的种植密度有关。因而在本试验及相关研究中,取1株生长良好、根系完整的植物,用清水把根上的泥沙冲洗干净(注意不要破坏根系),测量根系的总体自由深度,然后分几个深度范围测取范围内包含的根系直径、数目,将深度截面上的根系截面总面积与种植密度相乘,可得各深度范围内的RAR,见表1。

表1 各深度范围内的RAR

试验植物	0~4 cm	4~8 cm	8~13 cm	平均值
麦冬草	0.00877	0.00383	0.00014	0.00393
芦苇	0.00294	0.00203	0.00023	0.00162
蒿草	0.00751	0.00731	0.00321	0.00579

3 冲刷量的测定

试验流速取 0.58 m/s ,水深取 8.05 cm ,待含植物河道冲刷稳定、河道断面形态不再变化时可停止试验。将容器内存储的泥沙取出,烘干后称其质量,并根据试验段长度计算单位长度冲刷量,见表2。

表2 单位长度冲刷量

试验植物	试验段长度/cm	冲刷量/g	单位长度冲刷量/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$)
麦冬草	145	4271.0	29.46
芦苇	130	4040.5	31.08
蒿草	130	3486.7	26.82

4 结果分析

4.1 RAR与冲刷量的关系

将试验平均RAR和单位长度冲刷量试验值点绘于图2中,并用二次曲线拟合其趋势。由图2可以看出,在所研究的范围内,冲刷量随着RAR的增加而递减。这说明植物的种植,可以减少水流对岸滩边坡的冲刷破坏;若RAR太小,则可能失去维持土体结构稳定性、提高抗冲刷性能的作用,因其根系不足以实现对土体的“加筋”,维持适量的植被,可以维持河道形态稳定。若令单位长度冲刷量为 w (单位为 g/cm),则拟合后的关系可用式(1)来表达,拟合函数的残差为零,相关性系数为1。

$$w = \frac{1}{0.0318 + 359.0381r^{2.179}} \quad (1)$$

式中: r 为RAR。

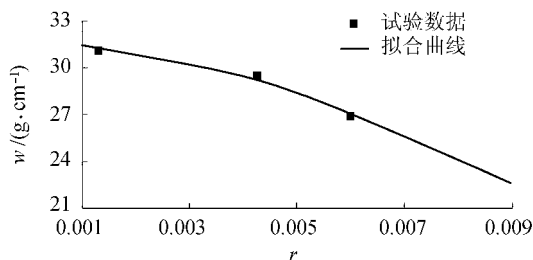


图2 植物根系面积比率与单位长度冲刷量的拟合曲线

4.2 RAR纵深分布规律

根据表1中RAR纵深分布情况,通过拟合分析,发现3种植物的RAR随深度分布情况具有相似形态,其分布函数形式为

$$r = ab^z c^z \quad (2)$$

式中： a, b, c 为待定系数； z 为深度， cm 。

表 3 给出了不同植物式 (2) 中待定系数的取值情况，各公式残差均小于 0.001 35，相关系数大于 0.834，说明采用式 (2) 是合理的。

表 3 式 (2) 中待定系数的取值

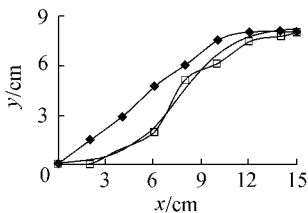
试验植物	a	b	c
麦冬草	0.000 312	0.287 078	6.007 676
芦苇	0.000 506	0.386 591	4.029 201
蒿草	0.001 129	0.614 647	2.770 690

由式 (2) 和表 3 可知：① 3 种植物的 RAR 随深度变化规律不同，其根本原因是植物种类导致根的形态和植物群落的密度不同。根的长度、根径和种植密度等因素决定了 RAR 的分布。② 一定深度以下，RAR 是逐渐增加的；到达一定深度时，RAR 达到最大值，这个深度包含的根径种类最多，数量也最多；超过这个深度，RAR 又逐渐减小。植物根系在形态上基本上都是一致的，因而决定了 RAR 纵深分布的共同点。

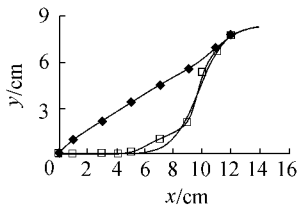
4.3 地形变化

根据所测地形资料，点绘各试验工况地形变化曲线，见图 3。图中横坐标 x 为距离初始地形坡脚的横向长度，纵坐标 y 为以坡脚所在点为高程零点的相对高程。从图 3 可以看出，地形的变化集中反映了不同植物群落固滩防冲的不同功效。

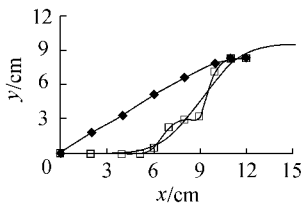
◆ 初始地形 □ 冲刷后地形 — 拟合曲线



(a) 麦冬草



(b) 芦苇



(c) 蒿草

图 3 河道边坡地形变化

图 3 通过对稳定地形的数据拟合，确定各种植物的地形拟合函数，由图 3 可以看出，拟合曲线与冲刷后地形曲线较为吻合。3 个试验的稳定地形拟合函数采用了同一种函数形式：

$$y = \frac{a_1}{1 + b_1 e^{-c_1 x}} \quad (3)$$

不同植物对应的式 (3) 系数取值情况见表 4。

表 4 式 (3) 中待定系数的取值

试验植物	a_1	b_1	c_1
麦冬草	8.306 74	101.570 79	0.604 05
芦苇	8.359 91	58 317.097 00	1.132 11
蒿草	9.539 71	1 793.104 00	0.819 88

5 结 论

a. 不同植物的根系固滩护坡的效果是不同的。植物根系越发达，根系面积比率越大，冲刷量越小，防护效果较好。

b. 根系的发达程度、根的深度不但决定了抗冲效果，也决定了冲刷后的断面形态。不同含植物河道冲刷后断面形态具有相同形式的函数变化规律。

c. 选取适宜植物类型进行固滩护坡，有助于防止河道边坡侵蚀，维持河道断面的稳定。

参考文献：

- [1] VRIELING A. Satellite remote sensing for water erosion assessment [J]. *Catena* 2006, 65(1): 2-18.
- [2] CAI Feng, SU Xian-ze, LIU Jian-hui, et al. Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention [J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(1): 415-426.
- [3] CHAIBI M, SEDRATI M. Coastal erosion induced by human activities: the case of two embayed beaches on the Moroccan coasts [J]. *Journal of Coastal Research* 2009, 56(Sup1): 1184-1188.
- [4] 南秋菊, 华珞. 国内外土壤侵蚀研究进展 [J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2003, 24(2): 86-94.
- [5] EASSON G, YARBROUGH L D. The effects of riparian vegetation on bank stability [J]. *Environmental & Engineering Geoscience* 2002, 8(4): 247-260.
- [6] ABERNETHY B, RUTHERFURD I D. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of river bank [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* 2000, 25(9): 921-937.
- [7] SIMON A, POLLEN N, LANGENDOEN E. Influence of two woody riparian species on critical conditions for stream bank stability: Upper Truckee River [J]. *Journal of the American Water Resources Association* 2006, 42(1): 99-113.
- [8] HUBBLE T. Slope stability analysis of potential bank failure as a result of toe erosion on weir-impounded lakes: an example from the Nepean River, New South Wales [J]. *Marine and Freshwater Research* 2004, 55(2): 57-65.
- [9] COBOURN J. How riparian ecosystems are protected at Lake Tahoe [J]. *Journal of the American Water Resources Association* 2006, 42(1): 35-43.
- [10] WALSH J, NITTROUER C. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of

Papu[J]. Marine Geology 2004 208(2/3/4) 225-248.

- [11] ALONGI D ,PFITZNER J ,TROTT L ,et al. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary ,China [J]. Coastal and Shelf Science 2005 63(4) 605-618.
- [12] 李勇,吴钦孝,朱显谟,等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J].水土保持学报,1990,4(1):1-6.
- [13] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等.植物根系与土壤抗冲性[J].水土保持学报,1993,7(3):11-18.
- [14] 李勇.黄土高原植物根系与土壤抗冲性[M].北京:科学出版社,1995:1-8.
- [15] 刘国彬.黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J].水土保持学报,1998,12(1) 93-96.
- [16] RUTHERFURD I. Principles for riparian lands management [M]. Canberra :Land & Water 2007.
- [17] ABERNETHY B ,RUTHERFURD I D. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement[J]. Hydrological Processes 2001 ,15(1) 63-79.
- [18] MICHELI E ,KIRCHNER J. Effects of wet meadow riparian

vegetation on stream bank erosion 2 : measurements of vegetated bank strength and consequences for failure mechanics[J]. Earth Surface Processes and Landforms ,2002 , 27(7) 687-697.

- [19] BISSONNAIS Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility I :theory and methodology[J]. European Journal of Soil Science ,1996 47(4) 425-437.
- [20] BISSONNAIS Y , ARROUAYS D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility II :application to humic loamy soils with various organic carbon contents[J]. European Journal of Soil Science ,1997 48(1) 39-48.
- [21] DUPUY L , FOURCAUD T , STOKES A. A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage[J]. Plant and Soil ,2005 ,103(2) :119-134.
- [22] SHIELDS F J ,GRAY D. Effects of woody vegetation on sandy levee integrity[J]. Journal of the American Water Resources Association ,1992 28(5) 917-931.

(收稿日期 2011-07-19 编辑 骆超)

·简讯·

《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》再次入选中文核心期刊

近日《河海大学学报(自然科学版)》编辑部和《水利水电科技进展》编辑部相继收到《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会的正式通知《河海大学学报(自然科学版)》入编《中文核心期刊要目总览(2011年版)》(即第六版)之综合性科学技术类的核心期刊《水利水电科技进展》入编《中文核心期刊要目总览(2011年版)》之水利工程类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览(2011年版)》是由中国科学院国家科学图书馆、中国社会科学院文献信息中心、中国人民大学书报资料中心、国家图书馆、北京地区十几所高校图书馆、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国农业科学院农业信息研究所、北京万方数据股份有限公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者研究完成的。这次对中文核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量等9个评价指标。选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达60余种,统计文献量达221177余万篇次(2006—2008年),涉及期刊14400余种。参加核心期刊评审的学科专家达8200多位。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出1982种核心期刊。

目前,在我国自然科学领域较有影响的核心期刊评定主要有中国科学院文献信息中心的《中国科学引文数据库》(CSCD)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国科技信息研究所的《中国科技论文统计源期刊》(中国科技核心期刊)三大体系。其中《中文核心期刊要目总览》已于1992年、1996年、2000年、2004年、2008年出版过5次。由河海大学主办的《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》能多年持续被评为“中文核心期刊”,标志着这两个期刊保持了较好的发展势头,对提升河海大学学术声誉,促进学科建设将起到有力的推动作用。

(本刊编辑部供稿)