

植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究

毛 蓉<sup>1</sup>, 孟广涛<sup>2</sup>, 周 跃<sup>1</sup>

( 1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 昆明 650093; 2. 云南省林业科学院, 昆明 650204)

摘 要: 介绍了近年来植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究进展。在水文效应和机械效应两个方面, 植物根系通过增强土壤的抗冲性、渗透能力、抗剪强度以及根系网的固土功能提高土壤的抗侵蚀能力。  
关键词: 植物根系; 土壤侵蚀; 土壤抗冲性; 土壤渗透能力; 土壤抗剪强度; 根系网  
中图分类号: S 157. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2006) 02-0241-03

Mechanism of Plant Roots on Soil Erosion Control

MAO Rong<sup>1</sup>, MENG Guang-tao<sup>2</sup>, ZHOU Yue<sup>1</sup>

( 1. School of Environment Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;  
2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China)

**Abstract:** The research progress of plant roots on soil erosion control in recent years is reviewed. Plant roots can improve the soil anti-erosion by strengthening the soil anti-scouribility, soil penetrability, soil anti-shear strength and soil fixation ability of root network between hydrological effect and mechanical effect.  
**Key words:** plant roots; soil erosion; soil anti-scouribility; soil penetrability; soil anti-shear strength; root network

土壤侵蚀是指由水或风所引起的土体表面物质的移动。土壤侵蚀环境是一个包含自然侵蚀环境和人为侵蚀环境的复合体。土壤抗侵蚀性划分为抗蚀性(anti-erodibility)和抗冲性能(anti-scouribility): 抗蚀性是指土壤抵抗水分分散和悬浮的能力, 主要与土壤内在物理化学性质有关; 抗冲性是指土壤抵抗径流机械破坏和推移的能力, 主要与土壤的物理性质和外在的生物因素有关。植被通过改善土壤的自然侵蚀环境提高土壤的抗侵蚀能力。在土壤侵蚀控制中, 植被起着非常重要的作用。实践表明, 植被发育良好的地区的侵蚀发生率相对较低。植物根系在土壤侵蚀控制中的作用又是无法替代的。植被, 尤其是植物根系是改善土壤侵蚀环境惟一最重要的因素。在植物根系对土壤侵蚀控制的机理中, 本文从水文效应和机械效应两个方面进行综述。

1 植物根系的水文效应

1. 1 植物根系对土壤抗冲性的强化作用

土壤抗冲性的研究由前苏联的土壤学家古萨克发起<sup>[1]</sup>。经过几十年的发展, 我国的土壤工作者对土壤抗冲性做了大量的研究。早在 60 年代, 朱显谟先生就指出<sup>[2]</sup>, 生物措施是水土保持中最有效和最根本的方法。他认为土壤抗冲性的增强, 主要取决于根系的缠绕、固结和串连土体作用, 这种作用使土体有较高的水稳结构和抗蚀强度, 从而不易被径流带走。王万忠等也指出土壤的抗冲强度取决于根系的分布、盘绕、固结作用。

近几年来, 有关植物根系与土壤抗冲性关系的讨论一直比较活跃, 并取得可喜的成就。李勇等人对黄土高原丘陵沟坡

上植物根系与土壤的抗冲性进行了系统的研究, 土壤的抗冲强度取决于根系的分布、盘绕、固结作用; 同时指出, 植物根系改善土壤的水力学效应大于改善土壤物理性质的效应。植物根系提高土壤抗冲性的机制主要是根系提高土壤抗冲力, 增进土壤渗透性及建造抗冲性土体构型的物理性质, 即根系提高土壤抗冲性的直接作用是增强土壤抗冲力, 其间接作用是强化土壤渗透力, 而根系创造抗冲性土体构型的物理性质是提高土壤抗冲性的物质基础, 并提出了有效根密度大小决定植物根系提高土壤抗冲性能的大小。在大量野外调查基础上建立的根系提高土壤抗冲机制的数学模型, 显示根系因子与土壤抗冲性有良好的相关性<sup>[3, 6]</sup>。刘国彬对黄土丘陵区退耕坡地不同恢复阶段的草地进行研究表明, 根系通过网络串连作用、根土粘结作用及根系生物化学作用三种方式缠绕、固结土壤, 强化抗冲性<sup>[7]</sup>。张金池等对江浙地区向海一面坡上林地土壤抗冲性的研究表明, 土壤的抗冲性与根量, 尤其是细根的根长、根量的关系密切, 并指出表层有根系土壤的抗冲性高于底层土壤, 各林分林木根系强化土壤抗冲性的机理在于根系通过 1 mm 庞大细根直接网络土体和间接改善土壤结构而影响土壤抗冲性的强弱。土壤抗冲性强化值与土壤中 1 mm 径级的根量间服从  $y = a + bx$  的线性回归关系<sup>[8, 9]</sup>。丁军等对南方红壤丘陵区进行研究表明, 各林区根系对土壤抗冲性的增强值随降雨强度的增大而减小, 随降雨强度的增大其增强效果越来越弱, 超过一定降雨强度阈值, 根系对土壤抗冲性无明显增强效果; 随土层深度增加根系增强土壤抗冲性越来越弱, 这与根系在土层中的分布规律相一致<sup>[10]</sup>。

1. 2 植物根系可增强土壤渗透能力

<sup>1</sup> 收稿日期: 2005-03-31  
基金项目: 国家“十五”科技攻关项目“珠江流域源头区生态恢复重建模式研究”(2000K01-04-05-02); 国家林业局“948”项目“金沙江流域退耕还林(草)工程区兼用型东非狼尾草及肯尼亚白三叶引进”(2002-07)  
作者简介: 毛 蓉(1981-), 男, 湖南省武冈人, 在读硕士研究生, 主要从事水土保持和生态恢复等方面的研究。  
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

坡面径流的产生是土壤侵蚀的前提。土壤渗透能力是制约坡面径流、土壤侵蚀的重要因子,因此研究植物根系对土壤渗透能力的影响具有重要的理论和实际意义。土壤的渗透能力主要由土壤的机械组成、土壤结构、土壤孔隙状况、土壤含水量等物理性质决定,植物根系是通过影响土壤物理性质来影响土壤的渗透性的。

Ward 和 Robinson 指出<sup>[11]</sup>,根在生长过程中将会在土壤中挤出通道,使地表径流有可能顺着根与周围土壤之间的接触面渗入土壤。当根衰老或死亡后,它们会收缩,留出一些空隙;地表径流也可通过这些空隙渗入土壤。王大力等也指出,由植物根系或地下根茎(包括活根和死根)在土壤中形成的植物根孔会形成良好的地下根孔导流系统,大量减少地表径流的产生,防止水土流失。朱显谟认为<sup>[2]</sup>,根系对土壤渗透力的作用主要是根系能将土壤单粒粘结起来,同时也能将板结密实的土体分散,并通过根系自身的腐解和转化合成腐殖质,使土壤有良好团聚结构和孔隙状况。吴彦、刘世全等通过树木的根系的研究,得出须根系( $d < 1\text{ mm}$ )与土壤渗透性的回归方程,显示了须根对土壤饱和渗透系数的影响是首要的。须根通过在土壤中的交错穿插作用和不断死亡分解所产生的有机质积累,促使土壤中大粒级水稳团粒的增加,明显地改善了土壤的渗透性能<sup>[12]</sup>。李德生也认为,植物根系是通过增加了土壤的孔隙度来增加土壤入渗率的<sup>[13]</sup>。李勇指出根系强化土壤渗透力主要取决于有效根密度及其在土体中的盘绕状况,他得出的土壤渗透力的强化值( $R_d$ )(有根系土壤的渗透性与无根系土壤的渗透性相比较而言)与有效根密度( $\Delta h$ )的关系式(油松林:  $\Delta h = -0.2287 + 0.2606R_d, r = 0.9881$ ; 沙棘林:  $\Delta h = 0.9960 + 0.0865R_d, r = 0.9893$ ; 草类:  $\Delta h = 14.5383 + 0.1698R_d, r = 0.9519$ 。)表明有效根密度是影响土壤渗透性的重要因子。同时由于植物根系的作用可相应增加土壤的孔隙度,使土壤微生物的活性增加,土壤有机质氧化分解速度加快,死亡的根系又可增加土壤中有有机质的含量,这样就可以使土壤处于良性的循环过程中,进一步有效提高土壤的渗透性<sup>[14]</sup>。

## 2 植物根系的机械效应

### 2.1 植物根系网的固土作用

植物根系在土壤中的分布具有一定的水平幅度和垂直深度,有横向生长和纵向生长。植物根系在土壤中相互交错,将土壤颗粒束缚在一起,在一定程度上形成根系网。目前国内对草本植物根系网研究得较多。植物根系在土壤中穿插,与土壤团粒、水分等形成活性有机体施于土壤的力有承载植物个体重量成为挤压土壤的挤压力,以及与土壤团粒、水分、微生物、矿质营养元素的相互吸引产生吸附力,根系愈多愈深愈长,吸附面积就愈大,吸附力愈大,固土能力愈强。周跃等采用复合材料的理论解释了植物根系固土作用的机制,指出由根系和土壤组成的特殊复合材料是又强度相对较低的土壤(即基质)及嵌合于土壤基质中的具有较高抗张强度和聚合能力的根系(即纤维)组成的。在集密的根系影响下,疏松的土壤得到加固。根面积比、根重量比与根际土层增加的抗张强度呈正比关系<sup>[15]</sup>。邹冬生等对龙须草草根生长及其固土能力的研究结果指出,1~3年生龙须草草根根数变

幅为  $485 \sim 1\,053$ (条/苑),每公顷固土量变幅为  $0.585 \sim 1.31\text{ 万 m}^3$ 。龙须草根生长量增多、根系固土量显著加大,根系数量与固土量呈极显著正相关(相关系数为  $0.998\,5$ )<sup>[16]</sup>。程洪等指出,植物根系的刚性代表根系网的材料刚性,刚性越强说明根系网越能抵御外来力的作用,结构越稳定,植物根系在土体受力变形的情况下会拉直,最终受力转为拉力,因此测定根系的抗拉力性能,抗拉强度基本上代表根系材料的受力潜能,根系的抗拉强度代表根系网的固土刚性。在其研究中香根草平均抗拉强度  $85\text{ mPa}$ ,相当于钢强度的  $1/6$ ,进一步说明植物软措施根系网的固土潜能是很大的<sup>[17]</sup>。

### 2.2 植物根系提高土壤的抗剪强度

当土体受到剪应力作用时,土体对剪应变增大所产生的阻力称为抗剪强度。剪切强度达到极限时,土体则被破坏。活性根系与土壤团粒形成有机复合体,提高土壤抗剪强度。土壤的物理性质对土壤的抗剪切强度影响很大。范兴科、蒋定生等认为,土壤的抗剪强度与土壤的颗粒组成、土壤容重、土壤含水率等因素密切相关。植物根系的存在能明显地改善土壤的物理性质,因而在一定条件下,可以把土壤抗剪强度的增加归结为植物根系存在的结果<sup>[18]</sup>。杨亚川等通过土壤—草本植被根系复合体原型结构式样的直剪实验发现,复合体抗剪强度随含根量增加而增大,抗剪强度指标  $C$  也与含根量呈正相关<sup>[19]</sup>。代全厚、张力等人通过对嫩江大堤护坡各植物地不同土层的抗剪强度测定表明,表层土的抗剪性能较好,稳定性大,不易被外营力位移破坏。土壤稳定性与植物根量关系密切,根量大,其抗剪强度就大,土体的抗剪强度与根量呈显著的正相关( $r = 0.9814$ )<sup>[20]</sup>。郝彤琦、谢小妍等人运用工程力学基本理论和土力学试验方法,剖析植物根系在增强松软饱和滩涂土壤抗剪强度中的作用机理,由花花草草根系复合体原型结构试样直剪试验得知:复合体抗剪强度  $\tau$  与法向正压力  $\sigma$  的关系符合库仑定律,且  $\tau$  随含根量  $M_r$  的增加而提高。同时提出土壤中草根的作用与钢筋混凝土结构中的钢筋类似,参照钢筋混凝土结构抗剪承载力公式,总结出复合体单位面积上的受剪承载力与含根量之间的关系公式为  $\tau = \tau_0 + 0.14M_r \times f_r$ ,公式表明根系与土壤之间的摩擦力和凝聚力会提高土壤的抗剪强度<sup>[21]</sup>。根系在土体中穿插,能明显地增大土壤的剪切强度。其中草本植物由于根密度大,须根数量多,每一单位草根密度的剪切强度增加值是树木根系的  $2 \sim 3$  倍。有根系的土壤比没有根系的土壤在达到土体破坏前,能承受较大的剪切位移<sup>[22]</sup>。

## 3 结 语

综上所述,植物根系从水文效应和机械效应两个方面,通过提高土壤的抗冲性、抗蚀性、抗剪强度和根系网的固土功能提高土壤的抗侵蚀能力。在植物根系中,直径小于  $1\text{ mm}$  的根系在土壤侵蚀控制中作用最大。从植物根系方面来研究土壤抗侵蚀能力是一个多学科交叉的新领域。通过多学科、多领域的联合研究,系统地认识植物根系对土壤侵蚀控制的机理,对于更有效地控制水土流失、保护和改善生态环境具有非常重要的意义。

[1] 查小春,贺秀斌. 土壤物理性质与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 98-104.

[2] 朱显谟. 黄土高原地区植被因素对于水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 110-120.

[3] 李勇,徐晓琴. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 11-18.

[4] 李勇. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991, (12): 935-938.

[ 5 ] 李勇,徐晓琴. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制初步研究[ J ]. 中国科学 B 辑, 1992, ( 3 ): 254- 259.

[ 6 ] 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.

[ 7 ] 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.

[ 8 ] 张金池. 苏北海堤林带树木根系固土功能研究[ J ]. 水土保持学报, 1994, 8( 2 ): 43- 55.

[ 9 ] 张金池,臧廷亮,曾锋. 岩质海岸防护林树木根系对土壤抗冲性的强化效应[ J ]. 南京林业大学学报, 2001, ( 1 ): 9- 12.

[ 10 ] 丁军,王兆骞,陈欣,等. 红壤丘陵区林地根系对土壤抗冲增强效应的研究[ J ]. 水土保持学报, 2002, 16( 4 ): 9- 12.

[ 11 ] Ward, Robinson. Principles of Hydrology[ M ]. London: McGraw - Hill Book Company( UK ) Limited, 1990. 356.

[ 12 ] 吴彦,刘世全. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[ J ]. 应用与微生物学报, 1997, 2( 3 ): 119- 124.

[ 13 ] 李德生. 石灰岩山地植被水土保持效益的研究[ J ]. 水土保持学报, 1993, 7( 2 ): 57- 62.

[ 14 ] 李勇. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[ J ]. 科学通报, 1992, ( 4 ): 366- 369.

[ 15 ] 周跃. 山地灾害与生态工程[ M ]. 昆明: 云南科技出版社, 2004.

[ 16 ] 邹冬生,余铁桥,周青,等. 龙须草蓄水保土机理及效益研究[ J ]. 农业现代化研究, 2000, ( 4 ): 210- 213.

[ 17 ] 程洪,张新全. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[ J ]. 水土保持通报, 2002, 22( 5 ): 20- 23.

[ 18 ] 范兴科,蒋定生. 黄土高原浅层原状土抗剪强度浅析[ J ]. 水土保持学报, 1997, 3( 4 ): 69- 75.

[ 19 ] 杨亚川,莫永京,王芝芳,等. 土壤- 草本植被根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度的试验研究[ J ]. 中国农业大学学报, 1996, 2( 1 ): 31- 38.

[ 20 ] 代全厚,张力,刘艳军,等. 嫩江大堤植物根系固土护堤功能研究[ J ]. 中国水土保持, 1998, ( 12 ): 36- 38.

[ 21 ] 郝彤琦,谢小妍,洪添胜. 滩涂土壤与植物根系复合体抗剪强度的试验研究[ J ]. 华南农业大学学报, 2000, ( 4 ): 78- 80.

[ 22 ] 刘定辉,李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17( 3 ): 34- 37.

( 上接第 174 页 )

能够残留在地表,因此在容易起大风的冬季和春季仍具有很好的防风阻沙效能。

( 2 ) 平均盖度为 27% 的沙蓬试验地,下垫面粗糙度为 6. 17 cm,迎风面对照点空旷沙地的下垫面粗糙度为 0. 80 cm,由于沙蓬植株的存在,使得粗糙度增加了 5. 37 cm。

( 3 ) 沙蓬试验地与迎风面空旷沙地相比,随着观测点高度的增加,其防风效能逐渐减少,观测点高度为 30 cm、50 cm 时其防风效能较好,分别为 24. 13% 和 17. 07%,观测点高度为 100 cm 时防风效能为 8. 91%,当观测点高度为 200 cm 时,其值仅为 0. 94%,已基本没有防风效能。

( 4 ) 沙蓬植株对风有降解作用,同时在植株间的空地上有小块砾石覆盖,增大了起沙风速,因此当风速达到 7. 1 m/ s 时,仍未见起沙现象。

( 5 ) 通过对输沙量的观测,在平均风速为 5. 8 m/ s 时,沙参考文献:

[ 1 ] 麻保林,漆建忠. 几种灌木固沙林的效益研究[ J ]. 水土保持通报, 1994, 14( 7 ): 22- 28.

[ 2 ] 张华,李锋瑞,张铜会,等. 春季裸露沙质农田土壤风蚀量及变异特征[ J ]. 水土保持学报, 2002, 16( 1 ): 29- 32.

[ 3 ] 董光荣,李长治,金炯,等. 关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果[ J ]. 科学通报, 1987, 32( 4 ): 297- 301.

[ 4 ] 董治宝,陈渭南,董光荣,等. 植被对风沙土风蚀作用的影响[ J ]. 环境科学学报, 1996, 16( 4 ): 442- 446.

[ 5 ] 李建树. 中国三北草木繁殖与利用[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1998. 143- 144.

[ 6 ] 张景光,周海燕,王新平,等. 沙坡头地区一年生植物的生理生态特性研究[ J ]. 中国沙漠, 2002, 22( 4 ): 350- 353.

[ 7 ] 朱朝云,丁国栋,杨明远. 风沙物理学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1991. 17- 20.

[ 8 ] 李振山,陈广庭. 粗糙度研究的现状及展望[ J ]. 中国沙漠, 1997, 17( 1 ): 99- 102.

[ 9 ] 张华,李锋瑞,张铜会,等. 科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构与变异特征[ J ]. 水土保持学报, 2002, 16( 2 ): 20- 28.

[ 10 ] 岳德鹏,刘永兵,徐伟,等. 北京市永定河沙地人工植被防风阻沙效益分析[ J ]. 北京林业大学学报, 2004, 26( 2 ): 21- 24.

[ 11 ] 黄富祥,高群. 毛乌素沙地不同防风材料降低风速效应的比较[ J ]. 水土保持学报, 2001, 15( 1 ): 27- 30.

[ 12 ] 赵景峰,李崇舜,何清,等. 塔克拉玛干沙漠腹地中一井地区起沙风分析和输沙量的估算[ J ]. 干旱区地理, 1995, 18( 3 ): 40- 47.

[ 13 ] Brooks F A. Needfor measuring horizontal gradients in determining vertical eddy transfer of heat and moisture[ J ]. J. Meteorol., 1961, 18: 589- 596.

[ 14 ] Chepil W S, Woodruff N P, Siddoway F H, et al. Vegetative and nonvegetative materials to control wind and water erosion[ J ]. Soil Sci Soc. Am. Proc., 1963, 27( 1 ): 86- 89.

[ 15 ] Siddoway F H, Chepil W S, Armbrust D V. Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control [ J ]. Trans. ASAE, 1965, 8( 3 ): 327- 331.

蓬试验地内仅 0 ~ 6 cm 高度内有少量积沙,为 0. 62 g,当高度大于 6 cm 时,积沙量都为 0。

( 6 ) 通过对选取的典型植株用图像处理软件进行处理,沙蓬试验地每株沙蓬的平均阻截沙范围为 1. 37 m<sup>2</sup>。

( 7 ) 沙蓬虽然在春冬季其枯萎的枝叶仍能在地表留存,对防风固沙起到积极的作用,是一种很好的防风固沙先锋植物,但由于其枝叶极易燃烧,因此必须加强春冬季的防火工作。

( 8 ) 沙蓬是沙漠地区防沙固沙的重要野生经济植物,但在春季沙蓬植株常有被风整株刮断的现象,因此在种植推广时,要尽量避免种在迎风坡的中上部,在沙丘坡脚、湿润的沙海子或干河床两岸较潮湿的沙地比较适宜种植。但从另一个角度来看,适量的植株被风刮断吹走也同时有利于种子的传播。