

护坡植物根系分布特征及抗拉强度研究*

冯国建, 沈凡, 王世通

(昆明学院 城乡建设与工程管理学院, 昆明 650412)

摘要: 为研究植物根系固土护坡的力学机理, 以芦竹(*Arundo donax*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)和早熟禾(*Poa annua*)为研究对象, 对它们的根系分布特征及抗拉特性进行研究。结果表明, 在根系分布特征方面, 随着土层深度的增加, 3种植物的根系数量逐渐减小, 并且大部分集中在土层的上表面。数据拟合表明, 采用幂函数模型能较好反映根系的空间分布; 在根系抗拉特性方面, 3种植物根系均表现出一定的抗拉能力, 根系抗拉力与根径呈幂函数正相关关系, 随根径增大而增大; 3种植物按根系抗拉力由大到小依次排列为: 芦竹、狗牙根、早熟禾; 根系抗拉强度与根径呈幂函数负相关关系, 随根径增大而减小。

关键词: 分布特征; 抗拉特性; 芦竹; 狗牙根; 早熟禾; 幂函数

中图分类号: Q944.54; Q947.6; S157.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2013)02-0115-04

在工程建设开挖形成的边坡中, 如何满足工程建设需要, 又能兼顾环境保护, 达到恢复被破坏的植被, 减少水土流失的效果, 是岩土科技工作者所关心的热点问题^[1-4]。随着人们环保意识的增强, 对护坡理论研究的不断推广以及应用, 植被在防治土壤侵蚀、稳固坡体等方面的作用已被广泛认可。

植被对边坡固持力的大小主要取决于根系的分布特征、根径、根抗拉力大小等。国内外学者先后对植被根系分布以及单根抗拉特性进行研究。为确定根系对土体的力学机制, Matte^[5]研究了意大利亚平宁山脉上犬蔷薇(*Rosa canina*)、旋覆花柳(*Inula viscosa*)、鹰爪豆(*Spartium junceum*)的根系抗拉强度, 研究结果表明抗拉力与根系直径之间存在二阶多项式函数关系, 抗拉强度与根系之间存在幂函数关系。Osman^[6]研究了抗剪强度与含水量之间的关系, 指出两者之间呈负相关关系, 即含水量越多, 植物根系的抗剪强度越低。Marie等人^[7]确定了在土层的不同深度处的根系密度和抗拉强度, 并对边坡的稳定性进行了模拟, 通过模拟指出当植物生长在边坡底部时, 边坡的稳定系数会有所增加。刘秀萍^[8]通过分层挖掘法对20龄刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)根系密度的空间分布进行了研究, 发现刺槐和油松根系重量、长度和体积密度的垂直分布趋势基本相同, 随土层深度增加而降低; 0~60 cm土层的根长和根重密度占总根量密度的70%以上。赵丽兵^[9]对山西省河曲县砖窑沟流域内4

种有代表性的草本植物草木樨(*Melilotus suaveolens*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、糜子(*Panicum miliaceum*)和冰草(*Agropyron cristatum*)进行野外剪切测试, 测试结果表明在0~20 cm土层4种草本植物根系均可显著增加土壤抗剪切强度; 其中紫花苜蓿根系对土壤抗剪切强度的增强作用最大, 它的增大土壤抗剪切强度值为15.33 kPa。上述研究有助于认识根的分布特征以及强度特征, 可以更好地为植被护坡提供理论支持。云南省是中国水土流失灾害严重的省份之一, 但同时也拥有丰富的植物资源。因此, 本研究选取当地常见的护坡植物狗牙根(*Cynodon dactylon*)、芦竹(*Arundo donax*)以及早熟禾(*Poa annua*)进行根系分布规律以及抗拉强度研究, 不仅可为植物根系固土护坡的力学机理研究提供新的参考资料, 也可为当地水土流失治理工作提供相关理论依据。

1 材料与方法

3种研究材料于2010年10月取自昆明学院校园内的边坡上, 研究地点年平均气温15℃左右, 年平均降雨量1 000 mm。研究材料所处边坡坡面以红粘土为主, 边坡坡度为50°~55°, 植被盖度70%, 主要为灌草群落, 水文地质条件简单, 主要靠大气降水及地表径流补给。

1.1 取样方法

在校园内的边坡上选取灌草茂密的草皮, 去掉土层上面的茎叶, 采用铁铲挖掘的方法挖取大块带根土

* 收稿日期 2012-07-12 网络出版时间 2013-03-16 13:37

资助项目: 云南省教育厅科学研究一般项目(No. 2011Y233)

作者简介: 冯国建, 男, 讲师, 博士, 研究方向为环境岩土, E-mail: fengguojian2000@163.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130316.1337.201302.115_025.html

块若干,带到实验室去除土块,进行根系分布和抗拉强度试验。

1.2 根系分布

将现场挖掘出的植物根系带回实验室进行根系分布研究,用直尺测量根系的长度,并数出一定长度范围内的根数。

1.3 根系抗拉强度

将带回实验室的新鲜植物根系进行单根拉伸试验,测定根系被拉断时的最大拉力,采用的试验仪器为万能试验机(WDW3100型,济南科盛试验设备有限公司)。根据拉力试验规程,试验选取的根系长度为5~10倍根系直径,根系被拉断时,用游标卡尺测定断裂处根系的直径,并记录拉断时的拉力,则根系的抗拉强度可用下式进行计算

$$P = 4F / (\pi D^2)$$

式中 P 为植物根系抗拉强度(单位:MPa); F 为最大抗拉力(单位:N); D 为拉断处的根系直径(单位:mm)。

2 结果与分析

2.1 根系分布特征

在现场挖取生长状况良好的植株带回试验室进行试验研究,为保证试验结果的准确性,每种植物进行5组平行试验,然后取平均值。3种植物根系的统计结果见表1。

表1 不同植物根的深度与根的数量关系表

植物名称	根深/cm	根数量/根	植物名称	根深/cm	根数量/根
芦竹	0~2	50	狗牙根	14~16	5
	2~4	48		16~18	5
	4~6	40		18~20	4
	6~8	25		20~22	4
	8~10	20		22~24	4
	10~12	9		24~26	2
	12~14	7		26~28	1
	14~16	5			
狗牙根	0~2	20	早熟禾	0~1	11
	2~4	18		1~2	10
	4~6	17		2~3	7
	6~8	15		3~4	5
	8~10	10		4~5	5
	10~12	7		5~6	3
	12~14	6		6~7	2

将表1中的芦竹的数据汇于图2中,并对根的数量

量与根的深度进行数据回归,可知二者呈幂函数关系,具体关系表达式为 $R_w = 96.06H^{-0.72}$, $R^2 = 0.87$ 。式中 R_w 为根的数量, H 为土层深度。将拟合数据同样汇于图1中。通过表1和图1可知,随着土壤深度的增加,芦竹的根系数量逐渐减小。并且植物根系大部分分布在0~10cm深度的土壤内。

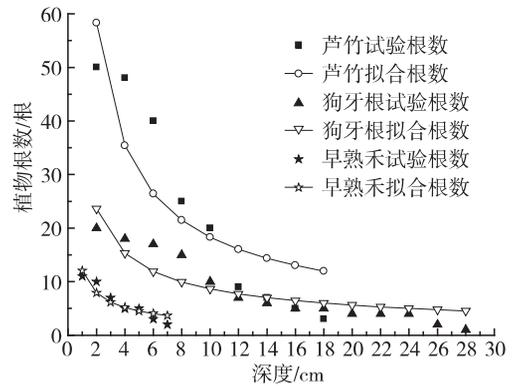


图1 植物根系数量与根深度关系曲线

同理,可绘制植物狗牙根和早熟禾的根的数量与根的深度关系曲线(图1)。由图1同样可以看出,两种植物的根的数量也是随着深度的增加逐渐减小。两种植物的根的数量和根的深度关系式可分别表示为: 1)狗牙根: $R_w = 36.35H^{-0.62}$, $R^2 = 0.89$ 2)早熟禾: $R_w = 12.06H^{-0.61}$, $R^2 = 0.92$ 。

通过分析图1可得知植物根的数量随深度的增加具有如下特点:随着深度的增加,植物根的数量逐渐减小,并且植物根系大部分集中在土层的上表面。如对于芦竹,总根数的90%集中分布在0~10cm的土层内,10~16cm土层内的根数约占总根数的10%,16cm以下土层内的根数仅占总根数的1.5%左右。

2.2 抗拉强度

植物根系通过与所接触的土体介质相互作用来发挥自身抗拉强度,从而达到加固土体的效果。植物根系的抗拉强度是其中最重要的力学指标。无论是现场试验还是室内试验,根系的抗拉强度试验都比较容易操作,许多学者都进行了抗拉强度试验,但是由于研究目的和涉及领域的不同,这些试验中所采用的样本亦即根系种类是不同的,受植物种类、生长环境、季节、根径以及生长方位的影响,根系的抗拉强度值范围变动较大。

选取不同直径的芦竹根系进行抗拉试验,根据根系被拉断时的拉力值,可计算得到根系的抗拉强度。在试验过程中,植物根系有的会在万能试验机的夹具端部被夹断,在试验过程中没有统计这种情况下的拉力值,只统计植物根系在中间断裂的情况。芦竹根系直径为0.22mm时,拉力-位移曲线如图2所示,根据曲线上拉力最大值就能获得根系断裂时的拉力值。同样方法可获得其余直径下的拉力值,芦竹根系的抗拉试验结果见表2。

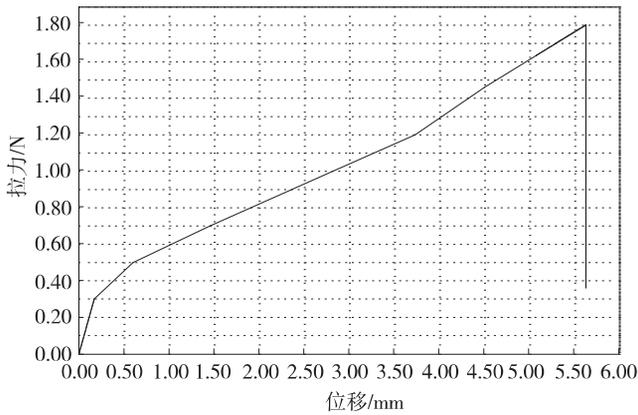


图 2 芦竹根系直径为 0.22 mm 时的拉力-位移关系曲线

表 2 植物芦竹根系抗拉试验结果

直径/mm	拉力/N	抗拉强度/MPa
0.22	1.81	47.59
0.32	3.45	42.92
0.48	7.50	41.47
0.52	7.50	35.33
0.54	5.54	24.21
0.60	11.67	41.30
0.70	11.30	29.38

将表 2 中数据汇于图 3 中,并对根系的抗拉力和抗拉强度进行数据回归,回归曲线同样汇于图 3 中,具体的回归方程见表 3。由图 3 可知,随着根系直径的增大,芦竹根系的抗拉力逐渐增大,而根系的抗拉强度则逐渐减小。

对于植物狗牙根和早熟禾,根系直径和抗拉力、抗拉强度关系曲线见图 4 和图 5。由图 3 ~ 图 5 可知,在单根的抗拉试验过程中,3 种植物根系均表现出一定的抗拉能力,其中以芦竹抗拉力最大,狗牙根居中,早熟禾最小。通过试验结果还可知,植物根系的抗拉力与根系直径呈幂函数正相关关系,即随着根径的增大,植物根系的抗拉力呈迅速增加的趋势,这表明较粗根径有较强的抗拉力。这与李绍才^[10]等人的研究结论是一致的。

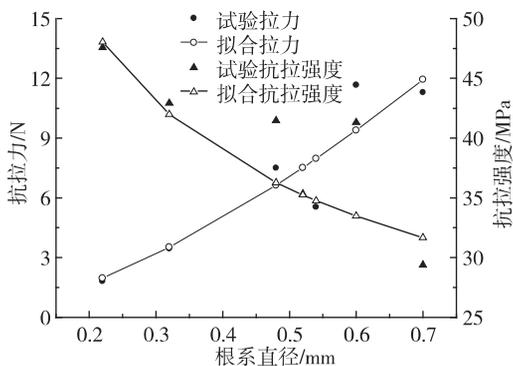


图 3 芦竹根系直径与抗拉力、抗拉强度关系曲线

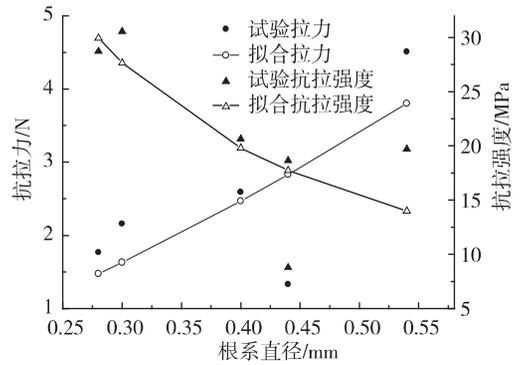


图 4 狗牙根根系直径与抗拉力、抗拉强度关系曲线

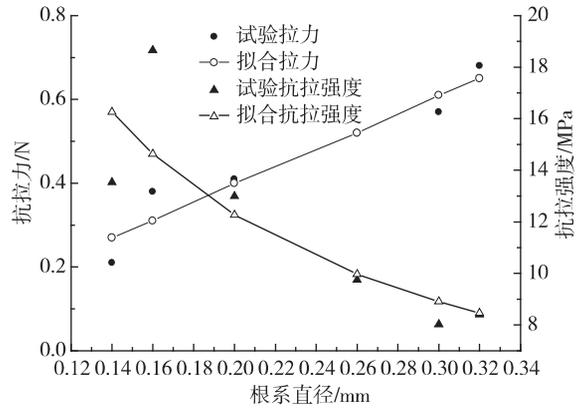


图 5 早熟禾根系直径与抗拉力、抗拉强度关系曲线

表 3 3 种植物根系拉力、抗拉强度与根直径回归方程

植物名称	根系直径 D/mm	回归方程			
		抗拉力 F/N	R ²	抗拉强度 P/MPa	R ²
芦竹	0.22 ~ 0.70	$F = 20.83D^{1.56}$	0.92	$P = 27.85D^{-0.36}$	0.70
狗牙根	0.28 ~ 0.54	$F = 9.23D^{1.44}$	0.71	$P = 6.84D^{-1.16}$	0.77
早熟禾	0.14 ~ 0.32	$F = 2.15D^{1.05}$	0.96	$P = 3.44D^{-0.79}$	0.83

对于植物根系的抗拉强度,该值与根系直径呈幂函数负相关关系,即随着根系直径的增大,根系的抗拉强度逐渐减小。探究其中原因,则是由于细根系的比表面积较大,因此与土壤的接触范围更广,通过摩擦传递的抗拉强度更充分。

通过植物根系的抗拉实验,可得到植物单根的抗拉力、抗拉强度和根直径的关系为

$$T_r = aD^b$$

其中 T_r 为植物根系的抗拉力或抗拉强度; D 为植物根系的直径。 a 和 b 为经验系数,对于不同的植物,其值是不同的。对于根系的抗拉力 T_r 与 D 正相关,即 $a > 0, b > 0$ 。对于根系的抗拉强度 T_r 与 D 负相关,即 $a > 0, b < 0$ 。

3 结论

本研究对芦竹、狗牙根和早熟禾这 3 种植物的根系进行了分布形态和抗拉强度的试验研究,通过研究,得到如下结论:

1)根据土壤深度以及植物根系数目进行根系形态研究,研究表明植物根系的数量随着土壤深度的增加而逐渐减小,二者呈幂函数关系;

2)对不同植物种类和根系直径进行抗拉强度试验的结果表明,随着植物根系直径的增大,根系的抗拉力逐渐增大,而其抗拉强度则逐渐减小;抗拉力、抗拉强度与根系直径分别呈幂函数正相关以及幂函数负相关关系。

参考文献:

- [1] 阴可,杨秀丽,王伯成,等. 植被护坡及其在重庆地区的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005(4): 103-108.
Yin K, Yang X L, Wang B C, et al. Principles of slope vegetation and application in Chongqing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005(4): 103-108.
- [2] 柳春红,王海洋. 边坡绿化及重庆地区常用的边坡绿化植物 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 32(5): 46-49.
Liu C H, Wang H Y. The side-slope revegetation and plants for side-slope revegetation commonly used in Chongqing [J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2007, 32(5): 46-49.
- [3] 王云,江玉林,崔鹏,等. 安楚高速公路禄丰段边坡生态防护技术 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 139-141.
Wang Y, Jiang Y L, Cui P, et al. Bioengineering technique for slope protection of Anning-Chuxiong expressway in Yunnan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(1): 139-141.
- [4] 叶彩娟. 青藏铁路安多车站生态边坡防护技术的应用 [J]. 路基工程, 2009(4): 1183-1184.
Ye C J. The application of Bioengineering technique for slope

- protection of Anduo railway station on the Qinghai-Tibet railway [J]. Subgrade Engineering, 2009(4): 1183-1184.
- [5] Maceo T. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy) [J]. Geomorphology, 2007, 84(4): 1268-1283.
- [6] Osman N, Barakbah S S. Parameters to predict slope stability-soil water and root profiles [J]. Ecological Engineering, 2006, 28(1): 90-95.
- [7] Marie G, Alexia S, Thierry F, et al. The influence of plant diversity on slope stability in a moist evergreen deciduous forest [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(3): 265-275.
- [8] 刘秀萍,陈丽华,陈吉虎. 刺槐和油松根系密度分布特征研究 [J]. 干旱区研究, 2007, 24(5): 647-651.
Liu X P, Chen L H, Chen J H. Study on the distribution of root density of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. [J]. Arid Zone Research, 2007, 24(5): 647-651.
- [9] 赵丽兵,张宝贵,苏志珠. 草本植物根系增强土壤抗剪切强度的量化研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 718-722.
Zhao L B, Zhang B G, Su Z Z. Quantitative analysis of soil anti-shearing strength enhancement by the root systems of herb plants [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 718-722.
- [10] 李绍才,孙海龙,杨志荣,等. 护坡植物根系与岩体相互作用的力学特性 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(10): 2051-2057.
Li S C, Sun H L, Yang Z R, et al. Mechanical characteristics of interaction between root system of plants and rock for rock slope protection [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(10): 2051-2057.

Study on Distribution Characteristic and Tensile Strength of Slope Eco-Engineering Plant Root

FENG Guo-jian, SHEN Fan, WANG Shi-tong

(Department of Urban and Rural Construction and Engineering management, Kunming University, Kunming 650412, China)

Abstract: In order to study the mechanism of plant root, taking *Cynodon dactylon*, *Arundo donax* and *Poa annua* as the research projects, to study the distribution characteristic and tensile strength, the results show that with the increase of the soil depth, the amount of these 3 kinds of plant roots are gradually reducing, and the most roots on top of the soil. Through the fitting, the power function model can better reflect the roots spatial distribution. On the roots tensile properties, 3 kinds of plant roots showed the tensile capacity, the roots tensile force show positive power function correlated relation with the roots diameter, 3 kinds of roots tensile force ordinal for *Arundo donax* > *Cynodon dactylon* > *Poa annua*. The tensile strength show negative power function relation with the root diameter, with the roots diameters enlarge, the tensile strength is gradually reducing.

Key words: distribution characteristic; tensile strength; arundodonax; cynodon dactylon; bluegrass; power function

(责任编辑 方兴)