

中亚热带常绿阔叶林中主要灌木根系力学特性

李贺鹏¹, 岳春雷¹, 赵广琦^{2*}, 陈友吾¹, 江波¹, 袁位高¹

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 上海市园林科学研究所, 上海 200232)

摘要:为研究中亚热带常绿阔叶林中优势灌木植物根系的固土护坡力学机制,在浙江南部的山体滑坡、泥石流易发区内选择3种主要的灌木(榿木、鹿角杜鹃和香港黄檀)进行野外和室内力学试验。结果表明,须根相对丰富的植物能明显提高表层土壤的抗剪强度;根系抗拉力和抗剪力均与根径呈幂函数正相关关系;榿木和鹿角杜鹃根系抗拉强度与根径呈幂函数负相关关系,而香港黄檀则无明显相关性;细根比粗根更有利于土壤加固和抗剪强度的提高。

关键词:生物力学;根系;抗剪强度;抗拉强度

中图分类号:S714.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2010)05-0033-04

Mechanical Characteristics of Root Systems of Dominant Shrubs in Mid-subtropical Evergreen Broad-leaved Forest

LI He-peng¹, YUE Chun-lei¹, ZHAO Guang-qi^{2*}, CHEN You-wu¹, JIANG Bo¹, YUAN Wei-gao¹

(1. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou, Zhejiang 310023, China;
2. Shanghai Research Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China)

Abstract: The mechanical stabilization of soil slopes by means of plant roots depends largely on the strength properties of the roots and their growth pattern within the soil. In particular area, the selection of indigenous plant species on the basis of their root properties is an essential part of biotechnical slope protection. Three plant species (*Loropetalum chinense*, *Rhododendron latoucheae*, *Dalbergia millettii*) were selected to determine the effects of shrub roots on slope stabilization in the geological hazards of landslide/debris flow, the mountainous area in Qinyuan County, Southern Zhejiang Province, China, which are dominant shrubs in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest. The results showed that plant roots had positive effects on shear strength of topsoil (≤ 15 mm). There was a power positive correlation between root shear resistance, root tensile force and root diameter. The root tensile strength of *L. chinense* and *R. latoucheae* had a power positive correlation with root diameter. No correlation was found within these indices in *D. millettii*. Fine roots were better than the coarse roots in contributing to stabilize sloping terrain and increasing the value of shear strength within topsoil.

Key words: mechanical properties; root systems; root shear strength; root tensile strength

植物根系在防治表土侵蚀和浅层滑坡等不稳定边坡中发挥着关键作用^[1-3],其固土护坡的效果主要取决于根系的形态特征(如根系随土壤深度的分布特性、根系类型等)和抗拉强度^[1,4]。目前国内外在

植物根系的固土护坡机制、力学特性等方面开展大量研究,证实抗拉强度和根面积比是判断植物稳定边坡能力强弱的最重要指标,而抗拉强度大小能反映根系的固土护坡性能^[4-5]。灌木层是森林生态系

收稿日期:2010-02-03 修回日期:2010-02-26

基金项目:浙江省林业厅一般项目(07A06);上海市自然科学基金(08ZR1418100)。

作者简介:李贺鹏,男,博士,从事河流生态恢复、山地灾害研究。E-mail: hpli@yahoo. cn

* 通讯作者:赵广琦,男,博士,高级工程师,研究方向:园林生态。E-mail: guangqizhao@yahoo. com. cn

统中不可或缺的一个重要层次,目前已有灌木根系力学特性的研究报道,但是关于根系抗拉强度的测定资料仍相对较少^[2-3],特别是位于中亚热带浙江地区的常绿阔叶林,针对灌层植物根系力学特性的研究鲜见报道。因此,以浙江南部山区主要灌木为对象,研究3种植物根系固土护坡的力学特性,以期对浙江泥石流易发区的林相改造提供一定的理论依据。

1 研究区域概况

研究区域位于浙江省南部庆元县荷地镇,一样地位于塘尾村(27°34′21″N、119°17′34″E),海拔1 010 m,山体北坡;另一样地位于石木下村(27°33′56″N、119°18′52″E),海拔880 m,山体南坡。该区地处亚热带南缘,属亚热带季风气候,温暖湿润,冬暖夏凉,四季分明,年平均气温18.1℃,年平均无霜期256 d,年平均降水量1 427.0 mm。地貌以丘陵山区为主,土壤类型以红壤、黄壤为主,山体坡度约45°;地带性植被类型属中亚热带常绿阔叶林,植物资源丰富,植被郁闭度70%~90%,乔木以甜槠(*Castanopsis eyrei*)、苦槠(*C. sclerophylla*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)等壳斗科及金缕梅科的枫香(*Liquidambar formosana*)和漆树科的南酸枣(*Choerospondias axillaris*)等次生林为主,人工林以马尾松(*Pinus massoniana*)、柳杉(*Cryptomeria japonica* var. *sinensis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)优势树种为主;灌层植物主要以欆木(*Loropetalum chinense*)、鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)、毛杜鹃(*Rh. pulchrum*)、香港黄檀(*Dalbergia millettii*)为主;草本植物以青绿苔草(*Carex breviculmis*)为优势种,蕨类植物为里白(*Diplopterygium glaucum*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)为主。

2 材料与方法

2.1 试验设计

于2009年11月下旬,以林相完整、典型的植被群落作为样地,在试验样地设定30 m×30 m的样方,根据植物群落中优势植物种类确定试验树种。选取欆木、鹿角杜鹃和香港黄檀3种典型和优势灌木树种进行研究;然后原位测定不同树种根系土壤的抗剪强度;以树根基处为中心,挖掘植物根系,深度保持在50 cm以内;为了有效保持根系的水分含

量,将挖出的鲜根立即放入塑封袋内密封保存,同时作好记录和贴上标签,带回实验室放置4℃冰箱保存;最后取土壤样品1个,放置塑封袋密封保存。

2.2 测定方法

2.2.1 土壤抗剪强度 在以树根基部为中心的半径50 cm圆范围内,采用十字板剪切仪进行原位测定饱和软土的不排水抗剪强度;每个样地每种植物各选2株,而每株根部土壤抗剪强度测定2次;测量土层深度范围保持在15~20 cm。

2.2.2 根系抗拉力、抗拉强度 将带回实验室的鲜根进行单根拉伸试验,测量仪器为电子式人造板万能试验机(0~10 kN),测定时间在90 min内完成。用游标卡尺测定断裂处根系的直径。根据试验所得相关数据,计算抗拉强度。计算公式为:

$$P = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

式中: P ——根系抗拉强度(MPa)、 F ——最大抗拉力(N)、 D ——拉断处根系直径(mm)。

2.3 数据处理

所有数据均采用SPSS和EXCEL软件进行处理。用单因子方差分析(One-way ANOVA)中的最小显著性差异(LSD)对根部土壤抗剪强度数据进行差异显著性检验,为了降低误差,分析之前对数据都进行对数转换。使用ORIGIN和PHOTOSHOP软件进行绘图。

3 结果与分析

3.1 不同植物根系对土壤抗剪强度的影响

从不同树种的根部土壤十字板抗剪强度的比较看,不同树种对其根部土壤的抗剪强度有明显影响(图1)。3种灌层植物中,欆木的十字板抗剪强度最高,其次是鹿角杜鹃,但两者之间差异不显著($P>0.05$);香港黄檀的十字板的抗剪强度值最低,并且显著低于欆木和鹿角杜鹃的抗剪强度值($P<0.05$)。

3.2 不同植物根系的抗拉特性

在单根的抗拉试验过程中,3种灌木植物根系均表现出较强的抗拉能力,其中以香港黄檀抗拉力最大,其次是欆木,鹿角杜鹃最小;随着根径的增大,植物根系的抗拉力呈迅速增加的趋势(图2),说明较粗根径有较强的抗拉力,这主要是由于根截面积的迅速增加,导致根的抗拉力迅速增加。所选植物根系抗拉力与根径间存在较好的幂函数关系(表1)。

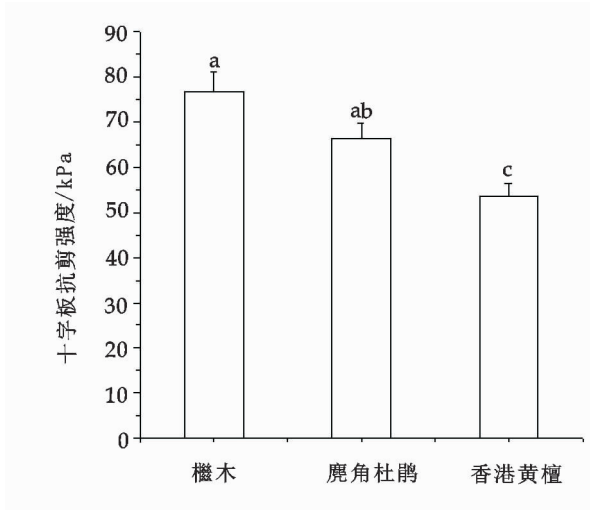


图 1 3 种灌木根系的十字板抗剪强度比较

Fig. 1 Differences between root shear resistance of three shrubs
(LSD $P<0.05$; $n=8$)
不同字母表示各处理间的差异性显著, $LSD P<0.05$; $n=8$)

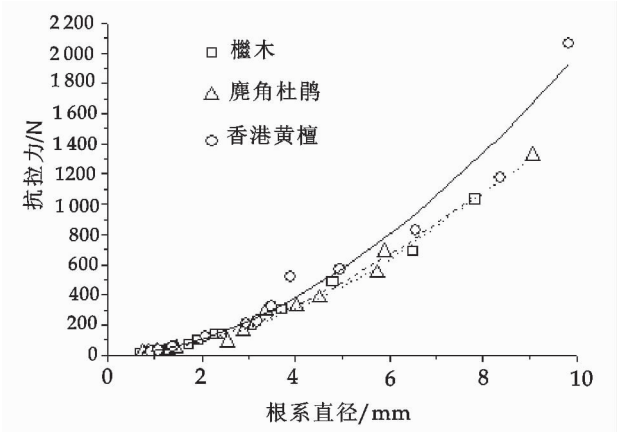


图 2 抗拉力-根茎关系曲线

Fig. 2 Relation curves between single root shear resistance and root diameter of three shrubs

表 1 3 种灌木根系抗拉力与根径回归方程

植物名称	回归方程 F	直径 D	相关系数	样本数
	/N	/mm	R^2	n
檵木	$F=28.628D^{1.7528}$	0.69~7.84	0.9945	13
鹿角杜鹃	$F=25.938D^{1.7787}$	0.74~9.06	0.9864	12
香港黄檀	$F=30.917D^{1.8095}$	0.93~9.83	0.9891	12

通过对根茎范围在 0.69~4.94 mm 的 3 种灌木植物根系拉伸试验表明: 檵木和鹿角杜鹃的根系抗拉强度与根径之间呈显著负相关关系, 其相关系数达 0.600 以上(表 2), 同时这 2 种灌木根系抗拉强度与根径幂函数关系, 即随根径增大, 抗拉强度呈下降趋势(图 3)。对于香港黄檀, 尽管其抗拉强度

随根径增加呈减小的变化趋势(图 3), 但是根系抗拉强度与根径的相关系数较低(表 2)。3 种灌木的抗拉强度值变化范围在 20~45 MPa, 其中檵木的最大为 44.2 MPa($r=0.69$ mm), 鹿角杜鹃的为 40.3 MPa($r=0.74$ mm)。

表 2 3 种灌木根系抗拉强度与根径回归方程

植物名称	回归方程 F	直径 D	相关系数	样本数
	/N	/mm	R^2	n
檵木	$P=35.919D^{-0.2027}$	0.69~4.80	0.6181	11
鹿角杜鹃	$P=33.5D^{-0.2716}$	0.74~4.51	0.7470	9
香港黄檀	$P=37.205D^{-0.0877}$	0.93~4.94	0.1392	9

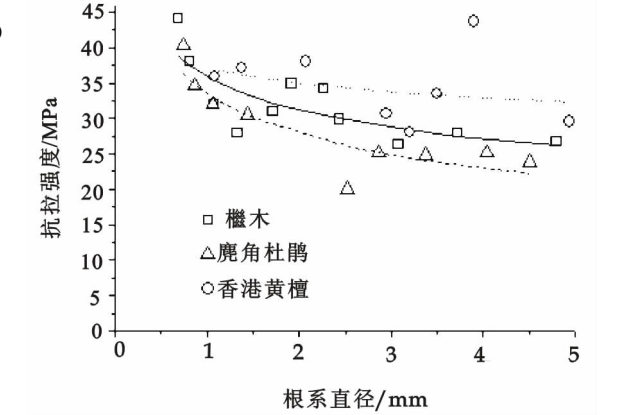


图 3 抗拉强度-根茎关系曲线

Fig. 3 Relation curves between root tensile strength and root diameter of three shrubs

4 结论与讨论

通过对灌木根系力学特征的定量研究得出与其他学者对木本植物根系研究的相似结论: 植物单根抗拉力与根径成幂函数正相关或指数函数正相关关系^[8-14], 根的抗拉力随着根径的增加而迅速增大, 不同树种根的抗拉能力有显著差异。抗拉强度是选择植物适宜加固不稳岸坡与否的一个重要指标, 根系抗拉强度大, 其稳定岸坡的性能则较高^[3,15]。檵木、鹿角杜鹃和香港黄檀作为浙江林区的主要灌层物种, 其根系力学特性差异直接关系到山地丘陵岸坡的稳定性。在土壤表层, 香港黄檀侧根粗大发达但须根较少, 而檵木和鹿角杜鹃不仅侧根细长, 且须根发达, 因为单位体积内鲜根含量的增加, 可以显著提高土体的抗剪强度^[4,7]。

檵木和鹿角杜鹃根系的抗拉强度均与直径呈显著的幂函数负相关关系, 这与其他学者对灌木植物

根的研究结论相似^[9,12-13,16],表明细根比粗根更有利于土壤加固和抗剪强度的提高;但是同属灌层的藤本植物香港黄檀的抗拉强度与根径负相关关系并不显著,这可能与根系内部结构组分(木质素、纤维素等)含量有关^[5,13],该植物是否可以作为浙江林区主要护坡植物种类,还需要从植物的根系解剖结构特征、根系构型、生物量等方面进行深入研究。

植被固土作用是一个随着植物生长周期变化而不断变化的动态过程。由于植物种类多样、根系分布随机、根强度及弹性模量多变等原因,目前对植物根系固土机理的认识还不够清楚。本试验表明,位于浙江省内中亚热带常绿阔叶林地区的 3 种主要灌木根系力学特性存在差异,植物根系明显提高表层土壤的十字板抗剪强度,其中须根所占比例较高的植物其抗剪强度也相对较高;3 种植物根系抗拉力与根径呈显著幂函数正相关关系,根的抗拉力随着根径的增加而增大,根的抗拉能力因植物而已;3 种灌层植物的抗拉强度总体变化趋势是随着根径增加而降低,其中檵木和鹿角杜鹃根系抗拉强度与根径呈显著幂函数负相关,而香港黄檀则无明显相关性。研究结果可以用来预测和评估灌木植物的固土护坡作用,对有效地进行水土保持植物的选择及优化组合,发挥生物工程措施的固土潜能具有指导意义。

参考文献:

[1] GREENWAY D R. Vegetation and Slope Stability [M]. STABILITY, ANDERSON M G, RICHARDS K S, Eds. New York: J. Wiley & Sons Ltd., 1987.

[2] MATTIA C, BISCHETTI G B, GENTILE F. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species [J]. Plant and Soil, 2005, 278: 23-32.

[3] 熊燕梅,夏汉平,李志安. 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. Effects and mechanisms of plant roots on slope reinforcement and soil erosion resistance: A research review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007,18(4):895-904. (in Chinese)

[4] STOKES A, ATGER C, BENGOUGH A G, *et al.* Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides [J]. Plant Soil, 2009, 324:1-30.

[5] GENET M, STOKES A, SALIN F, *et al.* The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots [J]. Plant and Soil, 2005, 278:1-9.

[6] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1980.

[7] 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.

LIU D H, LI Y. Mechanism of plant roots improving resistance of soil to concentrated flow erosion[J]. Journal of Soil

and Water Conservation, 2003,17(3):34-37. (in Chinese)

[8] 解明曙. 林木根系固坡土力学机制研究[J]. 水土保持学报, 1990,4(3):7-14.

XIE M S. A study on the soil mechanical role of tree roots in the stability of slopes[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1990,4(3):7-14. (in Chinese)

[9] NILAWEERA N S, NUTALAYA P. Role of tree roots in slope stabilization [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1999, 57(4): 337-342.

[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. (in Chinese)

[11] 杨永红,刘淑珍,王成华,等. 浅层滑坡生物治理中的乔木根系抗拉实验研究[J]. 水土保持研究,2007,14(1):138-140.

YANG Y H, LIU S Z, WANG C H. A study of tensile strength tests of arborous species root system in forest engineering technique of shallow landslide[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007,14(1):138-140. (in Chinese)

[12] 朱海丽,胡夏嵩,毛小青,等. 青藏高原黄土区护坡灌木植物根系力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(2):3445-3452.

ZHU H L, HU X S, MAO X Q. Study on mechanical characteristics of shrub roots for slope protection in loess area of Tibetan Plateau[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008,27(2):3445-3452. (in Chinese)

[13] 朱海丽,胡夏嵩,毛小青,等. 护坡植物根系力学特性与其解剖结构关系[J]. 农业工程学报,2009,25(5):40-46.

ZHU H L, HU X S, MAO X Q. Relationship between mechanical characteristics and anatomical structures of slope protection plant root[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(5): 40-46. (in Chinese)

[14] 耿威,王林和,刘静,等. 鄂尔多斯高原 3 种 4 龄-5 龄灌木根系抗拉特性初步研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2008,29(3):86-89.

GENG W, WANG L H, LIU J. Study on three 4-5 years shrubs root pull-resistance mechanics in Ordos Plateau[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University : natural science edition, 2008,29(3):86-89. (in Chinese)

[15] BISCHETTI G B, CHIARADIA E A, SIMONATO T, *et al.* Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy) [J]. Plant and Soil, 2005, 278:11-22.

[16] BAETS S D, POESEN J, REUBENS B, *et al.* Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength [J]. Plant Soil, 2008, 305: 207-226.