

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 1 - 65 - 06

丛生竹根系抗拉力学特性

惠 尚¹ 张云伟^{2*} 刘 晶¹ 朱廷国¹

(1. 昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650504;

2. 昆明理工大学信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650504)

摘 要: 竹林是具有水土保持功能的一种重要植被, 其地下根系力学性能好坏是影响竹林固土力学作用的重要因素。为了了解丛生竹林地下根系的抗拉力学特性, 利用自制的植物根系抗拉力学特性野外便携实验系统, 对料慈竹、绿竹、龙竹、香竹 4 种丛生竹根系进行了现场拉伸实验, 测量这 4 种丛生竹不同直径根系的抗拉力、应变, 并通过计算得到抗拉强度和弹性模量。结果表明 4 种丛生竹根系最大抗拉力与根直径的关系呈幂函数正相关增长, 抗拉强度与根直径的关系呈幂函数负相关增长。根系平均抗拉力分别为料慈竹(59. 47 N)、香竹(58. 65 N)、龙竹(43. 51 N)、绿竹(40. 80 N), 平均抗拉强度依次为龙竹(30. 24 MPa)、料慈竹(23. 14 MPa)、绿竹(22. 83 MPa)、香竹(18. 14 MPa), 平均极限应变较为接近, 在 14% ~ 18% 之间, 平均弹性模量值为龙竹(169. 86 MPa)、料慈竹(166. 37 MPa)、绿竹(158. 36 MPa)、香竹(135. 56 MPa), 最高峰值达到 350 MPa。4 种丛生竹相比, 龙竹根系的综合抗拉力学性能最好, 其次是料慈竹和绿竹, 最后是香竹。与常见造林树种油松、落叶松、白桦相比, 丛生竹根系具有较好的抗拉力学性能。

关键词: 丛生竹; 抗拉力; 抗拉强度; 应变; 弹性模量

中图分类号: S157

文献标志码: A

竹林是一种特殊的森林植被, 具有生长迅速、经营简单、加工利用率高及观赏效果好等特点, 经济效益及观赏价值显著^[1]。在许多产竹地区, 竹林也是用于土壤侵蚀控制的主要植被类型之一。与普通林木相比, 竹林地下组织形态结构复杂, 根系在土壤中密集网状分布团聚土壤, 并通过竹连鞭、鞭生笋、笋长竹、竹养鞭这一盘根错节、错综复杂的连接特点连接为整体, 形成庞大的地下网络覆盖到大片竹林地下土壤^[2-3], 对于固土护坡有积极的作用。因此, 开展竹林根系固土护坡作用研究有着实际的科学意义。

然而, 国内外关于竹林根系的抗拉特性研究还非常少见^[4], 对于竹林根系力学特性认识的滞后, 制约着竹林地下根茎固土力学作用研究的深入开

展。针对这一问题, 本文选择根系较发达且分布较深的丛生竹根系为研究对象, 对在云南分布较为广泛的料慈竹(*Bambusa distegia*)、绿竹(*Dendrocalamus oldhami*)、龙竹(*Dendrocalamus giganteus*)、香竹(*Chimonocalamus dumosus*) 4 种丛生竹根系进行野外现场单根抗拉实验, 分析其抗拉力学特性, 建立抗拉力学模型, 为竹林根系固土机理研究和固土效果评价提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验地及根系材料

试验地位于云南省昆明市西南林业大学竹种园内, 102°75'E, 25°05'N, 海拔 1 910 m, 属低纬度亚热

收稿日期(Received date): 2012 - 09 - 05; 改回日期(Accepted): 2012 - 11 - 30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(编号: 31060118), 云南省应用基础研究项目(编号: 2009ZC041M), 昆明理工大学人才培养项目(编号: 2010 - 07)。[The Chinese Nature Science Foundation (Grant: 31060118), Applied Basic Research Project in Yunnan Province(Grant: 2009ZC041M), Kunming University of Science and Technology Talents Training Project(Grant: 2010 - 07).]

作者简介(Biography): 惠尚(1987 -), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事农业信息化与自动化技术研究。[Hui Shang (1987 -), male, born in Rizhao, Shandong Province, master, major in the research of agricultural information and automation technology.] E-mail: huishang121@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence): 张云伟[Zhang Yunwei], E-mail: zhangyunwei72@qq.com

带-高原山地季风气候,日照时间较长,年平均气温 15℃,年温差小,2009 年以来年平均降水量 598 mm。试验对象为竹龄 1~2 a 的料慈竹、绿竹、龙竹、香竹 4 种丛生竹根系。

试验用根系采用人工挖掘方法,逐层挖出竹根,尽量减小机械工具对竹子根系的损伤。现场收集到的 4 种丛生竹根系直径范围为 0.5~4 mm。选取其中表皮完好匀直的新鲜根系,对其抗拉力学特性参数进行现场测量。

1.2 试验装置

为了反映根系在土壤中的实际情况,防止根系失水变干,保证根系各项抗拉力学性能测量的准确性,本次试验使用自制的植物根系抗拉力学特性野外便携实验系统,对采集的根系在野外现场进行实时测量。实验系统主要由机械装置、测试系统两部分组成。如图 1 所示,机械装置部分采用模块化设计方法,结构简单,拆装、携带及使用方便。还设有专门的根系夹持机构,能够在根系夹持的过程中减少根系损伤,尽量避免根系在夹持部断裂。

测试系统包括拉力、位移传感器,信号调理装置,数据采集卡,笔记本电脑,项目组自行开发的 QTC300 数据记录软件。拉力传感器和位移测距传感器用充电电池供电,实验现场不需要额外电源。测试时,如图 2 所示,传感器和拉力传感器将植物根系

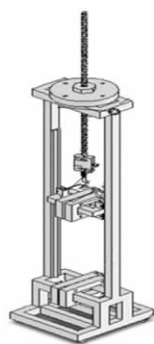


图 1 植物根系抗拉特性野外便携实验系统

Fig. 1 The portable experimental system of tensile characteristics about roots in the field

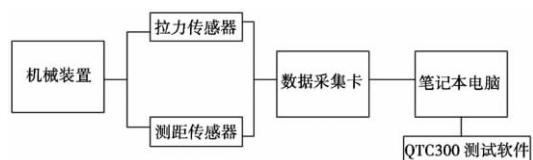


图 2 测试流程图统

Fig. 2 Flow chart of experiment

拉伸过程中位移和拉力转变为电信号,通过信号调理装置进行放大和率波处理后,经数据采集卡转换为数字信号进入笔记本电脑,QTC300 数据记录软件通过访问数据采集卡驱动程序取出检测数据,进行数字平滑滤波后自动储存为数据文件。

1.3 试验方法

在进行根系拉伸试验前,用游标卡尺测量根系的直径,每一根系直径分别选取三部分测量,最后取其平均值来确定直径大小。测试时,将根系的两端用专用夹持机构固定,标距为 60 mm。启动测试软件,设定好采样频率和工程单位,缓慢转动牵引手柄,均匀加力,直至将根系拉断。为了正确反映根系抗拉性能,排除夹持损伤导致的根系断裂,将根系在靠近两端夹具处断裂时测得的数据剔除,剩余有效样本数据 120 个。测试开始后,实验系统自动记录根系被拉伸过程中拉力及位移变化的数据,数据量的时间分辨率可由采样频率进行调整。

1.4 根系抗拉力学特性计算

根系的抗拉力学特性主要由抗拉力、抗拉强度、变形特性等方面来反映。

通过记录的实验数据,能直接得到根系断裂时的最大抗拉力及最大变形量,并可建立应力-应变本构关系曲线。由于根系直径、测量标距已知,可以计算出根系的抗拉强度、极限应变、弹性模量等参数。计算公式如下^[5]

$$\sigma_{\max} = \frac{4F_{\max}}{\pi D^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{L_{\max}}{L} \quad (2)$$

$$E = \frac{\sigma_{0.5}}{\varepsilon_{0.5}} \quad (3)$$

式中 σ_{\max} 为根系的抗拉强度 (MPa), D 为根系直径 (mm), F_{\max} 为最大抗拉力 (N), ε_{\max} 为极限应变, L_{\max} 为根系的极限最大变形量 (mm), L 为测量标距 (mm)。 E 为根系的拉伸弹性模量 (MPa) 根据应力-应变关系曲线,在抗拉强度极限 50% 以内 4 种丛生竹根系变形近似处于弹性区域,因此,弹性模量取 50% 极限应力时的抗拉割线模量, $\sigma_{0.5}$ 为 50% 极限应力 (MPa), ε_{\max} 为 σ_{\max} 对应的应变。

2 结果与分析

2.1 根系抗拉力

图 3 为 4 种丛生竹根系最大抗拉力与直径的关

系比较。实验数据显示 4 种竹根最大抗拉力与直径的关系均表现为正相关增长。对于同一种竹根,随着根径变粗,根系抗拉力快速增长,增长幅度依次为龙竹>料慈竹>绿竹>香竹。通过回归分析发现 4 种竹根二者间关系都近似满足幂函数关系,相关系数超过 0.8,分析结果如表 1。由于采集到的 4 种竹根样品直径范围不同,为了提高相互之间可比性,本研究采用直径加权平均方法,分别计算得到 4 种竹根的归一化平均最大抗拉力。结果表明,料慈竹、香竹的平均最大抗拉力略高,其数值大小依次为料慈竹(59.47 N)>香竹(58.65 N)>龙竹(43.51 N)>绿竹(40.8 N)。

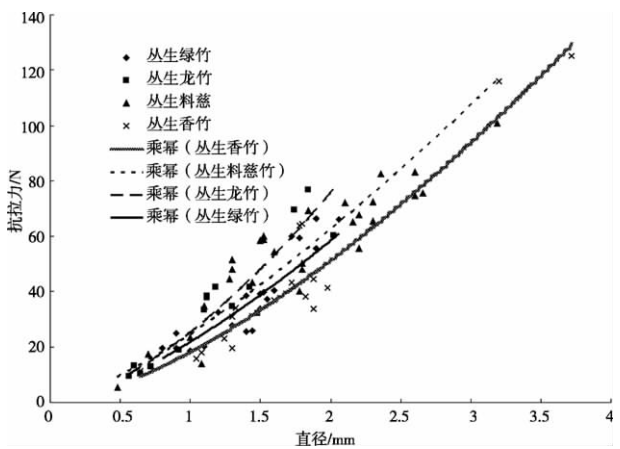


图 3 4 种竹根直径与抗拉力的关系
Fig. 3 Relationship between root tensile force and diameter for four kinds of bamboo

表 1 4 种竹根抗拉力与直径的回归方程
Table 1 Regression equation between root tensile force and diameter of fourth kinds of bamboo

种类	直径范围/mm	拟合方程	R^2	平均抗拉力/N
绿竹	0.8~2.26	$y=21.904x^{1.4168}$	0.812 9	40.8
龙竹	0.56~2.22	$y=25.304x^{1.5781}$	0.915 6	43.51
香竹	0.64~3.72	$y=18.286x^{1.4884}$	0.887 1	58.65
料慈竹	0.48~3.19	$y=24.711x^{1.3362}$	0.828 8	59.47

2.2 根系抗拉强度

植物根系由韧皮纤维、木纤维及周皮的木化程度所决定,所以其抗拉强度的决定因素很多。图 4 为 4 种丛生竹根系抗拉强度与直径的关系比较。由图 4 可见,4 种丛生竹根的抗拉强度大小与直径有关,其数值随着直径的增加而减小,相关系数不高,但拟合关系近似呈幂函数的形式,且不同竹种根系

的抗拉强度随根径增加而递减的程度不同。在归一化平均抗拉强度指标方面,龙竹最高,数值大小依次为龙竹(30.24 MPa)>料慈竹(23.14 MPa)>绿竹(22.83 MPa)>香竹(18.14 MPa),分析结果如表 2 所示。已有研究表明,油松根平均抗拉强度 16.06 MPa,落叶松根平均抗拉强度 11.72 MPa,白桦根平均抗拉强度 25.33 MPa^[6]。与这 3 种常见造林树种相比,4 种竹子的平均抗拉强度均大于油松根和落叶松根,料慈竹、绿竹根系的平均抗拉强度接近白桦根,龙竹的平均抗拉强度大于白桦根。

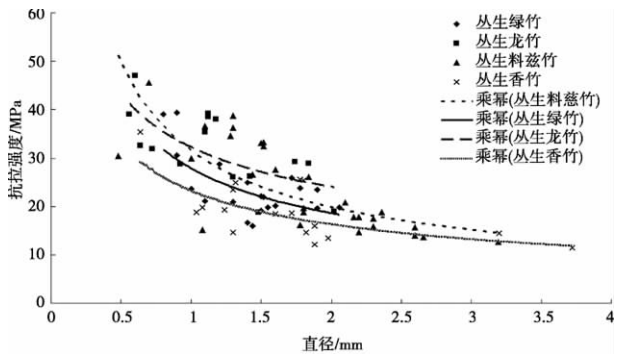


图 4 4 种竹根直径与抗拉强度的关系
Fig. 4 Relationship between root tensile strength and diameter for four kinds of Bamboo

表 2 4 种竹根系平均抗拉强度
Table 2 The average root tensile strength of fourth kinds of bamboo

种类	拟合方程	R^2	抗拉强度/MPa	
			范围	归一化均值
绿竹	$y=27.889x^{-0.5832}$	0.424 1	15.9~39.45	22.83
龙竹	$y=32.218x^{-0.4219}$	0.436 5	18.77~47.04	30.24
香竹	$y=23.282x^{-0.5116}$	0.481 5	11.51~35.43	18.14
料慈竹	$y=31.493x^{-0.6639}$	0.543 3	12.62~45.47	23.14

2.3 应力应变

植物根系的固土能力与单根的应变性能有关。单根极限应变较大,有利于将所受拉力转化为侧向摩擦阻力,减小根系内力,提高根系的固土能力。由表 3 可以看出,4 种竹根的平均极限应变基本相同,在 14%~18% 范围之内。最大极限应变在 25%~46% 之间,其中料慈竹的最大极限应变可达到 46%。而一些乔灌木根系的平均应变一般在 10%~15%,最大的极限应变大约为 30%^[7-20]。可见,丛生竹根系的变形范围要比一些乔灌木根系宽。

表 3 4 种竹根的应力应变参数

Table 3 Stress and strain parameters of four kinds of bamboo root

种类	极限应变 /%		弹性模量 /MPa	
	范围	归一化均值	范围	归一化均值
绿竹	7 ~ 27	16. 29	55. 93 ~ 346. 8	158. 36
龙竹	10. 92 ~ 31. 43	18. 6	115. 82 ~ 345. 3	169. 86
香竹	2. 49 ~ 25. 89	14. 8	56. 65 ~ 345. 92	135. 56
料慈竹	6. 41 ~ 46. 73	16. 57	40. 30 ~ 380. 59	166. 37

弹性模量表征了根系抵抗弹性变形的能力,是衡量根系抗拉力学性能的一个重要指标。从表 3 可以看出,4 种竹根的弹性模量均值大小依次为龙竹 (169.86 MPa) > 料慈竹 (166.37 MPa) > 绿竹 (158.36 MPa) > 香竹 (135.56 MPa)。标距 100 mm 油松的平均弹性模量大约在 188.47 MPa,标距 100 mm 落叶松的平均弹性模量大约在 134.29 MPa,标距 100 mm 白桦的平均弹性模量大约在 317.77

MPa^[6]。标距会对弹性模量有一定影响,标距越大其弹性模量会更大,因此,标距为 60 mm 的 4 种丛生竹根系都具有较好的弹性模量。

为了研究拉伸过程中的应力应变的特征,比较 4 种丛生竹不同直径的应力应变曲线(图 5)。该应力应变曲线是通过自制的植物根系野外便携系统针对同一竹根不同应力下记录的应变值,选取部分数据拟合而成的曲线,并且都是选取 50% 极限应力下的相对的应变值。可以看出,不同直径的 4 种丛生竹应力应变曲线为单峰曲线,表现出弹塑性材料的特性,受拉初期应力应变按比例增加,为弹性阶段。然后随着应力的增加,进入弹塑性阶段,应变变化相对较快。可以看出,丛生竹根系在经受外界的拉力时,就有一定的缓冲抗拉能力,因此在固土护坡的过程中,较大的弹性形变更有助于对土壤的下滑得到一定的缓冲。另外,从图 5 可以看出,对于同一种竹子,根径较小的其应力应变能力要比根径大的好一

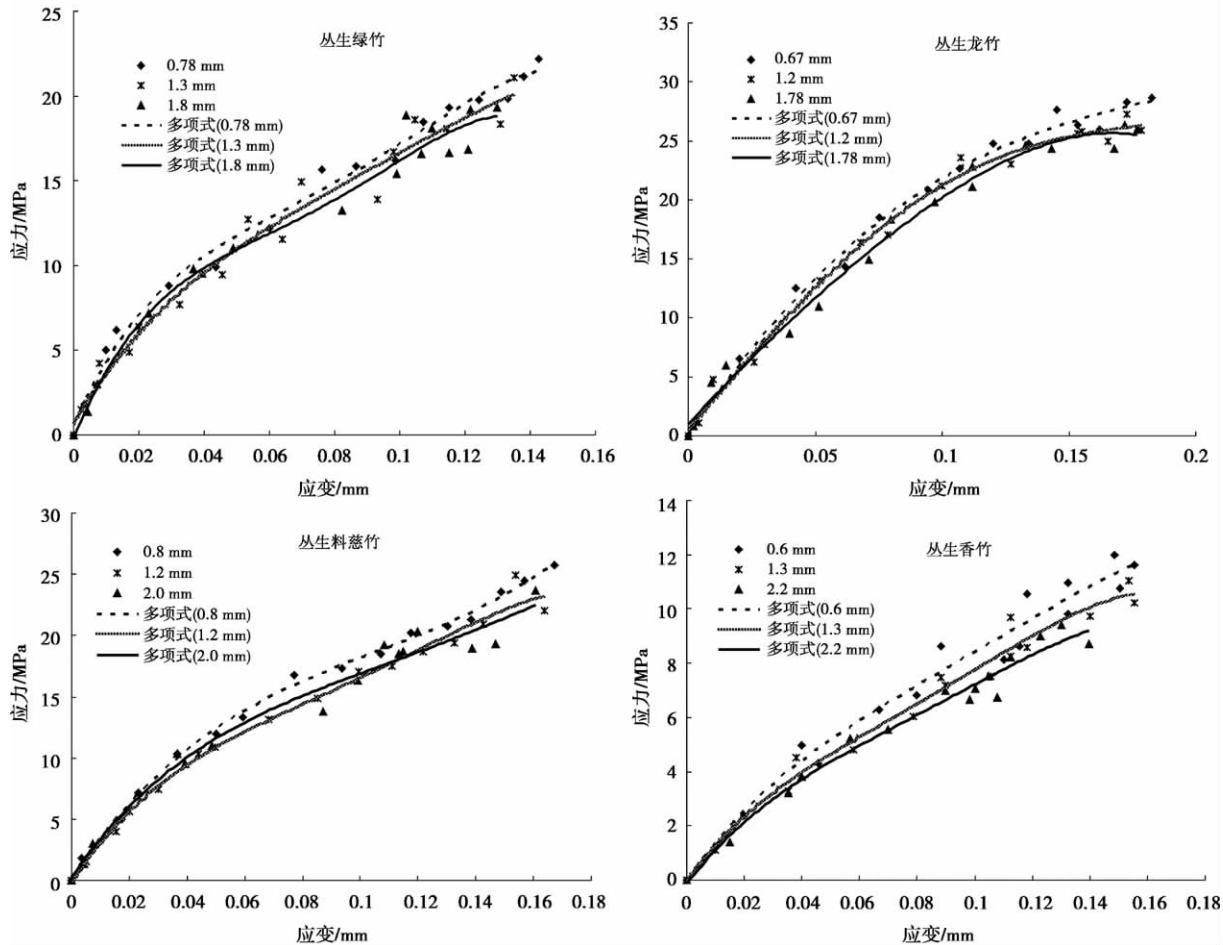


图 5 4 种竹根应力应变曲线

Fig. 5 Root stress-strain curve of four kinds of Bamboo

些,说明其抵御外界拉力的缓冲能力大一些。当应变相同时4种竹子都表现为直径较小的应力要比直径较大的大一些。同一种的弹性模量随着其根径的增大而减小。

3 结论

本文对在云南分布较为广泛的料慈竹、绿竹、龙竹、香竹4种丛生竹根系进行了野外现场单根抗拉力学特性参数测量实验。实验结果显示:

1. 4种丛生竹单根抗拉力均随着直径的增大呈幂函数形式增加,且相关系数较高。单根抗拉强度随着根径的增加而减小,并且呈近似幂函数的关系递减。

2. 对比4种不同类型的丛生竹根系抗拉力学特性,龙竹根系的抗拉强度及弹性模量最高,说明其综合抗拉抗拉力学特性优于其他3种丛生竹根系。其次是绿竹和料慈竹,最后是香竹。

3. 与其他植物相比,在抗拉强度方面,龙竹、绿竹、料慈竹的抗拉强度不低于油松、落叶松、白桦根系;在弹性模量方面,龙竹、绿竹和料慈竹根系有较好的弹性模量。同一种类竹子根径相对较小的其应力应变能力要好一些。

参考文献(References)

- [1] Chen Shuhua, Liu Quanzhang, Wang Peng. Discussion on river bank soil embankment benefit of dendrocalamopsis oldhami in Fuan city [J]. Fujian Soil and Water Conservation 2000, 12(4): 49 - 52 [陈淑华, 刘章权, 王鹏. 福安市河岸绿竹固土护岸效益的探讨 [J]. 福建水土保持 2000, 12(4): 49 - 52]
- [2] Liu Guanglu, Fan Shaohui, Su Wenhui. Research advances in the growth characteristics and management technology of sympodial bamboo forests [J]. Journal of Bamboo Research 2011, 30(3): 43 - 48 [刘广路, 范少辉, 苏文会. 丛生竹生长特性及管理技术研究进展 [J]. 竹子研究汇刊 2011, 30(3): 43 - 48]
- [3] Liang Jia, Xie Shuangxi, Zhang Wen, et al. Investigation and analysis on growth condition of seven clumping bamboo species in Chishui City [J]. Guizhou Agricultural Sciences 2010, 38(6): 171 - 176 [梁佳, 谢双喜, 张雯, 等. 赤水市7种丛生竹生长情况调查分析 [J]. 贵州农业科学 2010, 38(6): 171 - 176]
- [4] Liu Guohua, Wang Fusheng, Deng Yulong. A research on root system distribution characteristic and mechanical properties of 4 dwarf bamboos [J]. China Forestry Science and Technology 2011, 25(6): 20 - 23 [刘国华, 王福升, 丁雨龙. 4种地被竹根系分布特征及其力学性质 [J]. 林业科技开发 2011, 25(6): 20 - 23]
- [5] Chen Lihua, Yu Xinxiao, Song Weifeng, et al. Mechanics of root - Soil [M]. Beijing: Science press, 2008: 57 - 63 [陈丽华, 余新晓, 宋维峰, 等. 林木根系固土力学机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 57 - 63]
- [6] Lü Chunjuan, Chen Lihua, Zhou Shuo, et al. Root mechanical characteristics of different tree species [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Suppl. 1): 329 - 335 [吕春娟, 陈丽华, 周硕. 不同乔木根系的抗拉力学特性 [J]. 农业工程学报 2011, 27(增1): 329 - 335]
- [7] Liu Xiuping, Chen Lihua, Song Weifeng, et al. Experimental on resistance to tensile stress and complete stress - strain curves of root system of *Pinus tabulaeformis* [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(2): 66 - 70 [刘秀萍, 陈丽华, 宋维峰, 等. 油松根系抗拉应力 - 应变全曲线试验研究 [J]. 中国水土保持科学 2006, 4(2): 66 - 70]
- [8] Rnering J J, Stock J D, Schmidt K, et al. Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2003, 40: 237 - 253
- [9] Li Shaocai, Sun Hailong, Yang Zhirong, 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 [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]. 岩石力学与工程报 2006, 25(10): 2051 - 2057]
- [10] Kazutoki Abe, Robert R Ziemer. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1991, (21): 1012 - 1019
- [11] Bruce Abernethy, Ian D Rutherford. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement [J]. Hydrological Processes 2001, 15(1): 63 - 79
- [12] Zhu Qingke, Chen Lihua, Zhang Dongsheng, et al. Mechanisms of soil - reinforcement by roots in forest ecological systems in Gongga Mountain [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(4): 64 - 67 [朱清科, 陈丽华, 张东升, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究 [J]. 北京林业大学学报 2002, 24(4): 64 - 67]
- [13] Yang Yonghong, Wang Chenghua, Liu Shuzhen, et al. Research of Soil and Water Conservation [J]. 2007, 14(2): 233 - 235 [杨永红, 王成华, 刘淑珍, 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(2): 233 - 235]
- [14] Geng Wei, Wang Linhe, Liu Jing, et al. Study on three 4 - 5 years shrubs root pull - resistance mechanics in Ordos plateau [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2008, 29(3): 86 - 89 [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 2008, 29(3): 86 - 89]
- [15] Zhang Chaobo. Fundamental and mechanical study on soil reinforcement and slope protection by woody plant roots [D]. Beijing: Beijing Forestry University 2011 [张超波. 林木根系固土护坡力学基础研究 [D]. 北京: 北京林业大学 2011]
- [16] Zhu Haili, Hu Xiasong, Mao Xiaoping, et al. Study on mechanical characteristics of shrub roots for slope protection in loess area of Tibetan plateau [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engi-

- neering 2008 27(Suppl. 2) : 3445 – 3452 [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(增 2) : 3445 – 3452]
- [17] E Comino, P Marengo. Root tensile strength of three shrub species: *Rosa canina*, *Cotoneaster dammeri* and *Juniperus horizontalis*: soil reinforcement estimation by laboratory tests [J]. *Catena* 2010, (82) : 227 – 235
- [18] Matteo Tosi. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines [J]. *Geomorphology* 2007, (87) : 268 – 283
- [19] Zhu Yong. Study on root growth of the bamboo grove primary [G] // Forest Society of China. Forest society of China bamboo industry in the first academic conference proceedings 2004. [朱勇. 苦竹林根系的生长力研究初步 [G] // 中国林学会. 中国林学会首届竹业学术大会论文集 2004]
- [20] Wang Pinghua, Fang Ruoling, Chen Lihua et al. Mechanical characteristics of tensile strength for *Betula* single root [J]. *Hunan Agricultural Science* 2011, (15) : 138 – 142 [王萍花, 方若铃, 陈丽华, 等. 白桦单根的抗拉力学特性研究 [J]. 湖南农业科学, 2011, (15) : 138 – 142]

Mechanical Characteristics of Tensile Strength of Sympodial Bamboo Roots

HUI Shang¹, ZHANG Yunwei², LIU Jing¹, ZHU Tingguo¹

(1. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, China;

2. Faculty of information engineering and automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, China)

Abstract : Bamboo plays an important role as a kind of vegetation with contribution to soil and water conservation, Mechanics property of roots play a crucial role in mechanics of soil-reinforcement. In order to find the tension properties of the bamboo roots underground, the tensile experiment for the roots of four kinds of sympodial bamboo *Bambusa distegia*, *Dendrocalamopsis oldhami*, *Dendrocalamus giganteus*, and *Chimonocalamus dumosus*, was implemented in the field. The experiment employed our own portable experimental equipment for testing tensile characteristics of root. Tensile force and strain rate of roots with different diameters was tested for these four kinds of bamboo. Then, their tensile strength and elastic modulus were obtained through calculation. The experimental results show that the tensile force of sympodial bamboo root increases regularly by the power function regulars the increase of the root diameter, and the tensile strength of root reduces along with the increase of root diameter by the power function. The average anti-tension of these four bamboo roots is *Bambusa distegia*(59.47 N), *Chimonocalamus dumosus*(58.65 N), *Dendrocalamus giganteus*(43.51 N) and *Dendrocalamopsis oldhami*(40.8 N), and their average tensile strength is *Dendrocalamus giganteus*(30.24 MPa), *Bambusa distegia*(23.14 MPa), *Dendrocalamopsis oldhami*(22.83 MPa) and *Chimonocalamus dumosus*(18.14 MPa), the ultimate strain has limitation from 14% to 18%. The average elastic modulus is *Dendrocalamus giganteus*(169.86 MPa), *Bambusa distegia*(166.37 MPa), *Dendrocalamopsis oldhami*(158.36 MPa) and *Chimonocalamus dumosus*(135.56 MPa). Compared to the four kinds of bamboo, *Dendrocalamus giganteus* root has the best comprehensive tensile properties. Next are *Bambusa Distegia* root, *Dendrocalamopsis oldhami* root, and *Chimonocalamus dumosus* root respectively. Compared with the common afforestation tree *Pinus tabulaeformis*, *Betula platyphylla*, *Larix gmelinii*, clumping bamboo roots have better tensile mechanical properties.

Key words: sympodial bamboo; tensile force; tensile strength; strain; elastic modulus