

冷杉根系抗拔法测强曲线的建立与应用

杨锋伟<sup>1</sup>, 刘秀萍<sup>2</sup>, 陈丽华<sup>2</sup>, 宋维峰<sup>2</sup>

(1. 国家林业局科学技术司, 北京 100714;

2. 北京林业大学水土保持学院, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 采用抗拔法进行了冷杉根系抗拉强度的实验研究, 得出抗拉法可以用于对冷杉根系抗拉强度进行检测, 通过采用多种回归模型进行分析比较, 求得最佳冷杉根系侧强曲线公式, 并取得了较好的应用效果。分析了影响冷杉根系侧强曲线的因素, 其中冷杉根系的根径和根长为影响其侧强曲线的主要因素, 根系的抗拉强度的大小是根径与根长共同作用的结果。

关键词: 冷杉; 抗拔法; 回归分析; 测强曲线

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0197-03

The Construction and Application of Strength Measurement Curve of *Abies fabric* Root System with Pull-out Method

YANG Feng-wei<sup>1</sup>, LIU Xiu-ping<sup>2</sup>, CHEN Li-hua<sup>2</sup>, SONG Wei-feng<sup>2</sup>

(1. Department of Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100714;

2. College of Water and Soil Conservation, BFU, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating desertification, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A research was conducted on pull-out method for determining the strength of *Abies fabric* root system, a conclusion was reached that pull-out method might determine the strength of *Abies fabric* root system. Then, a formula for testing strength by regression analysis of several models was obtained with fairly good result. Analyzed the effect factors of *Abies fabric* root system strength, of which the root diameter and root length are the important effect factors, the interaction of root diameter and root length bring on the strength of *Abies fabric* root system.

**Key words:** *Abies fabric*; pull-out method; regression analysis; measure curve of strength

森林生态系统由于其强大的根系对土壤具固持作用, 可减缓浅层滑坡、崩塌等重力侵蚀<sup>[1-5]</sup>。在人工恢复生态的过程中, 在水土保持工作中, 特别是一些非生物措施不可的项目以及可以利用生物软措施代替或部分代替硬性的工程措施中, 根系的作用显得特别重要。目前关于根系的潜在能力、发育组成材料的性质的研究甚少, 也缺乏系统性, 据国外相关报道<sup>[6]</sup>, 植物根系抗拉强度如下: 柳树 9~36 MPa, 杨树 5~38 MPa, 桉树 4~74 MPa, 黄杉 19~61 MPa, 银桦 15~30 MPa, 西铁杉 27 MPa。植物根系类似于土壤加铆钉的作用, 但目前为止缺乏强有力数据来佐证这一点, 另外在应用生物软措施固土护坡的时候, 不仅要考虑植物对所处环境的适应性和根系深扎土壤的程度, 也应该考虑对所选择和应用的植物根系力学指标要有所了解, 才能做到科学合理, 避免盲目, 特别是用生物软措施代替部分工程措施作用的情况下, 尤其考虑植物根系固土能力, 如抗拉强度, 通常情况下植物根系的抗张或抗拉力的作用的概率比受剪切力作用的概率要大, 因为根系与土壤在共同黏附力作用下形成活性有机体, 在土壤受侵蚀条件下根系受到的剪切压力会变形拉直从而转为拉力的作用, 因此根系的抗拉强度直接代表根系抗外力的有效指标, 理论研究表明, 抗拔力与根系抗拉强度之间存在内在的、本质的联系, 相关关系十分密切。因此, 通过测定抗拔力完全可以根

据预先建立的经验关系式计算出根系的抗拉强度。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

冷杉取自长江上游贡嘎山东坡, 海螺沟亚高山暗针叶林带, 该区介于 N29°20'~30°20', E101°30'~102°5' 之间。海拔在 3 000 m 以上, 气候冷湿, 流域年平均气温 4.0℃, 1 月平均气温 -4.5℃, 7 月平均气温 12.7℃, 年降雨量 1 938 mm, 主要集中在 6~8 月, 最大日降雨量 91 mm, 年平均风速为 0.5 m/s, 低风速使得林内蒸发很少, 空气湿度多在 90% 以上, 属山地寒带气候类型。受海洋性山谷冰川和泥石流影响, 研究对象位于冰川推移形成的冰碛物母质和泥石流冲积形成的坡积物母质上发育而成的一个层次分明的垂直植被演替带中: 峨眉冷杉过熟林、以峨眉冷杉为优势树种的成熟林、以峨眉冷杉与冬瓜杨为主的中幼林、冬瓜杨杜鹃群落。林下灌木主要有杜鹃 (*Rhododendron*)、糙皮桦 (*Betula utilis*)、心叶英迷 (*Viburnum cordifolium*)、石灰花楸 (*Sorbus folgeri*) 等, 偶见有冷箭竹 (*Sinarundinaria angiana*)、宝兴荀子 (*Cotoneaster moupinensis*)、茶藨子 (*Ribes sp.*) 分布, 活地被层有山羽藓 (*Abietinella abietina*)、锦丝藓 (*Actinotrichum hookeri*) 等。

\* 收稿日期: 2006-03-21

基金项目: 国家重大基础研究“973”项目(2002CB111502); 国家自然科学基金项目(30571531)

作者简介: 杨锋伟(1969-), 男, 博士, 主要研究方向: 林业生态工程; 通讯作者: 刘秀萍。

1.2 研究方法

1.2.1 测试仪器设备

试验仪器系统包括测量精度为 0.01%、灵敏度为 0.2 UV 分度的电子测量仪(KX3900);美国产 20KNS 剪切型拉力传感器(USLOAD);以及一些自制的配套装置。

1.2.2 根系抗拉力试验

对冷杉不同根径(2~ 30 mm)、不同根长的单根进行拉拔试验,观测记录单根整个拉拔过程不同时间、不同加载应力条件单根位移及变形量、拉拔时间和拔出或拔断时的最大抗拉力。计算冷杉根系的抗拉强度:

$$P=4F/\pi\cdot D\cdot D\tag{1}$$

式中: $F$ ——根系最大拉力,单位为 N,  $D$ ——拉断处根系的直径,单位为 mm。

2 测强曲线的建立

2.1 回归模式的选择

经过对 20 组实验结果进行回归分析,采用 4 种一元函数形式的回归方程,建立长江上游贡嘎山冷杉根系抗拉力与抗拉强度之间的相关曲线即侧强曲线,相应的函数关系式为:

线形函数型:  $P=a+bF$

指数函数型:  $P=ae^{bF}$

幂函数型:  $P=aF^b$

抛物线函数型:  $P=a+bF+cF^2$

式中: $P$ ——根系的抗拉强度,单位为 MPa;  $F$ ——根系的 最大抗拉力,单位为 kN;  $a, b, c$ ——待定系数。视条件因 数不同而不同。

2.2 回归方程的建立

测试数据按上述 4 种模型进行回归分析,计算结果见表 1 和图 1。

利用相关系数  $r$  作  $\beta_1=0$  的假设检验,在假设成立的前提下,  $\beta_1=0$  即意味着  $P$  与  $F$  无关,冷杉根系的抗拉强度与抗拉力不存在相关关系。

假设  $H_0:\beta_1=0\rightarrow H_1:\beta_1\neq 0$

在  $H_0$  成立的前提下,设检验的显著水平为  $\alpha$ ,则  $r>r_\alpha(n-2)$  为  $H_0$  的拒绝域。当自由度  $n=20$ ,显著水平  $\alpha=0.05$ ,  $r_\alpha(n-2)=0.4438$ ,可以看出四种回归方程均大于最小相关系数( $r_\alpha(n-2)=0.4438$ ),说明自变量和因变量相关性较好。

表 1 测试数据回归分析结果

回归方程模型	曲线公式	相关系数 $r$
线形函数型	$P=7.2146F+4.2511$	0.9594
指数函数型	$P=4.8937e^{0.8991F}$	0.9452
幂函数型	$P=10.902F^{0.4366}$	0.9601
抛物线函数型	$P=-1.9033F^2+9.4115F+3.7274$	0.9615

2.3 回归方程效果的检验

采用强度相对标准差和强度平均相对误差进行检验,计算结果见表 2。

表 2 回归方程效果检验

回归方程模型	相对标准差/ %	平均相对误差/ %
线形函数型	21.0688	5.7918
指数函数型	22.1180	6.3769
幂函数型	20.4673	5.3254
抛物线函数型	21.1147	5.3893

从上面结果可以看出,各公式之间的精度基本相同,其中线形函数型的相关系数及相对标准误差都较好,且计算方便,故采用线形函数型作为冷杉根系侧强曲线公式,即:

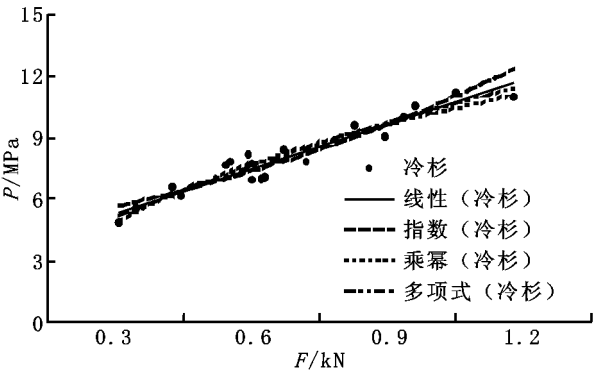


图 1 根系抗拉力与抗拉强度关系曲线

$$P=7.2146F+4.2511\tag{2}$$

冷杉根系抗拉力与抗拉强度之间的关系见图 2。

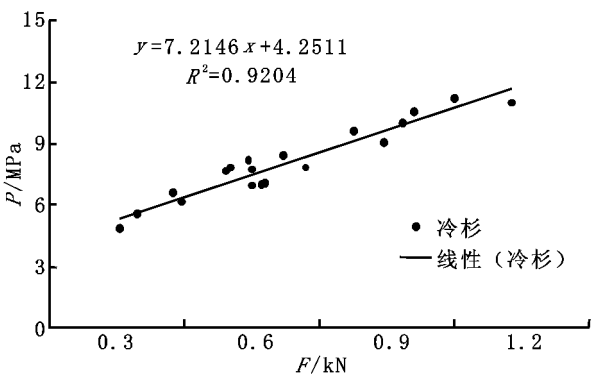


图 2 根系抗拉力与抗拉强度关系曲线

3 测强曲线的适用性

3.1 准确性

式(2)的相关系数为 0.9594,说明实测数据与经验关系式密切相关;标准差为 1.6811 MPa,表明  $P$  落在  $\bar{P}\pm 1.6811$  区间内的概率为 68.3%,落在  $\bar{P}\pm 3.3622$  区间内的概率为 95.5%,落在  $\bar{P}\pm 5.0433$  区间内的概率为 99.7%。

3.2 区域性

尽管试验中根系的选取是随机的,具有代表性,但由于各地气候和土壤条件有差异,可能导致冷杉根系的性质亦有差异。因此,实验中建立的测强曲线与经验关系式只适用于环境条件与之相同的地区。

3.3 复杂条件的影响

3.3.1 根系外在形态

根系的外观形态直接影响到根系的抗拉特性,冷杉根系由于树皮与根系结合紧密,所以在根系拉拔过程中很少会出现根系脱落现象。冷杉根系总是在根系末端最细部断裂,断裂面参差不齐,根系宏观断口与最大正应力一致属于切断破坏模型,且断裂处颈缩明显。

3.3.2 根系直径

经对根系长度为 50 cm,直径范围为 0.5~ 15 mm 的实测数据分析后发现,冷杉根系直径对抗拉力有影响,因而对抗拉强度也存在影响,冷杉根径与抗拉强度有极高的相关性和紧密的回归关系。

3.3.3 根系长度

根径相同的情况下,根长不同,根系的抗拉强度会随着变化,表现为随着根长的增加,根系的抗拉强度减小,根系拉力与根长为幂函数关系,呈现为负相关。但总趋势为较粗的根系抗拉强度较小,根系的抗拉强度随着根径的增加,衰减速度加快,原因是在根径较粗的情况下,当根系的长度增加,根系的末端拉断处根径减小的速度较快,因此根系较容易拉断。

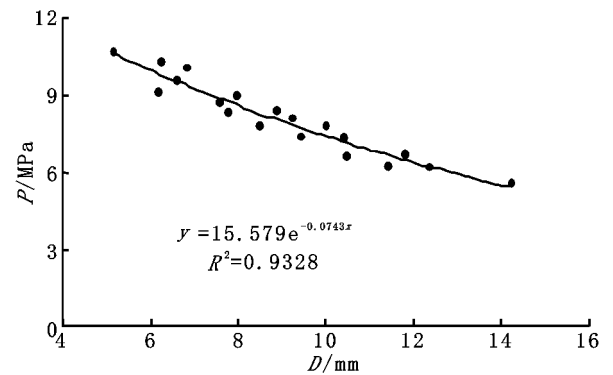


图3 冷杉根系直径与抗拉强度曲线的关系

综合以上分析,得出根系抗拉强度的大小与根径和根长都具有相关性,根系的抗拉强度的大小是根径与根长共同作用的结果。

4 应用实例

为了进一步认识抗拔法测强的准确性,客观评判式(2)的可靠性,笔者在长江上游贡嘎山东坡,海螺沟亚高山暗针叶林带随机选取3个冷杉树木,进行抗拔法测强试验。结果

参考文献:

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

[2] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.

[3] 孙立达, 孙保平, 齐实. 小流域综合治理理论与实践[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.

[4] 唐邦兴, 柳素清. 四川省阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.

[5] 唐邦兴. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[J]. 北京: 科学出版社, 1994.

[6] Diti Hengchao vaich. 香根草技术在工程上的运用——稳定斜坡、减少侵蚀[A]. 香根草研究与展望[M]. 北京: 中国农业技术出版社, 1998.

(上接第196页)

磷素的吸附性对迁移的影响小于降雨淋洗作用。

6 结 论

(1) 在中水这种微污染水灌溉条件下,对宁夏回族自治区大武口市森林公园的砂性土壤来说,污染物的迁移是伴随着水分的运动进行的,水量越大,土壤中水分湿润峰、污染物溶质峰的位置都有明显下移,且基本与水量成正比。

(2) 对砂性土壤而言,不同水量灌溉时,对土壤表层的含水量影响不大,土壤含水量保持在田间持水量左右,远远小于土壤饱和含水量,说明砂性土壤,在灌水过程中,超过田间持水量的水分将向下运动,推动湿润峰向前移动,水分垂向运动受重力影响较大,灌溉土壤渗漏损失大<sup>[8]</sup>。

(3) 试验结果表明,对于大武口市森林公园的土壤而言,中水灌溉时,NH<sub>4</sub>-N、P两种污染物主要集中在土壤表层,说明这两种污染物由于土壤对其的吸附性使污染物的分布范围较小。实验中还发现,P的分布与NH<sub>4</sub>-N的分布有明显不同,同样水量情况下,P浓度峰位置较低,这可能是由

参考文献:

[1] GB7479- 87,水质 铵的测定 纳氏试剂比色法[S].

[2] GB7852- 87,森林土壤全磷的测定[S].

[3] 胡笑涛,康绍忠,马孝义,等. 地下滴灌条件下沙质土壤入渗特性试验研究[J]. 灌溉排水学报,2004,(10): 75- 79.

[4] 曹红霞,康绍忠. 溶质施加方式对土壤溶质迁移的影响[J]. 灌溉排水学报,2003,(4): 5- 8.

[5] 王亚南,等. 含磷污水淋滤条件下土壤中磷素迁移转化模拟试验[J]. 环境科学学报,2001,21(6): 737- 741.

[6] 王福利. 降雨淋洗条件下溶质在土壤中运移的初步研究[J]. 土壤学报,1992,(4): 451- 454.

[7] Ghuman B S. Evaluation of some new tracers for soil water studies[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48: 987- 993.

[8] 黄强,李生秀,宋郁东. 咸水灌溉沙地后的水盐运移规律[J]. 土壤学报,2003,(4): 547- 553.

如表1所示。可见抗拔法测定的根系强度与文中建立的数学模型模拟值十分接近,平均相对误差只有3.47%。从而证明了抗拔法测定混凝土强度的可靠性与准确性。

表3 根系抗拉强度验证实例

测点编号	抗拉力 /kN	抗拉强度标准值/ MPa	抗拉强度模拟值/ MPa	相对误差/ %	平均相对误差/ %
1	0.35	6.54	6.78	3.67	
2	0.53	7.88	8.08	2.54	3.47
3	0.83	10.69	10.24	4.21	

5 结 论

抗拉法可以用于对冷杉根系进行检测,通过回归分析,求得最佳冷杉根系侧强曲线公式: P= 7.2146F + 4.2511。本研究得出的冷杉根系测强曲线的误差都在允许范围内,实验证明,冷杉根系的抗拉力与抗拉强度之间有很好的线性相关关系,利用抗拉力完全可以在现场直接测定根系的抗拉强度,且具有快速、经济、直观、准确的优点,确是一种现场评定根系的较好方法。文中建立的基准曲线与数学模型,相关性好,误差小,可信度高,在长江上游贡嘎山地区具有普遍性,可以推广使用。