

# 草本植物根系网固土原理的力学试验探究

程洪<sup>1</sup>, 张新全<sup>2</sup>

(1. 南昌水利水电高等专科学校 江西 南昌 330029; 2. 四川农业大学, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 通过试验测定了生物软措施草本植物根系的 $\text{最大拉力}$ 及 $\text{最大拉力作用下根系断裂面直径}$ , 计算植物根系 $\text{最大抗拉强度}$ , 结果表明香根草根系 $\text{平均抗拉强度 } 85 \text{ mPa}$ > 假俭草  $27.3 \text{ mPa}$ > 白三叶  $24.6 \text{ mPa}$ > 莎草  $24.5 \text{ mPa}$ > 宜安草  $19.7 \text{ mPa}$ > 马尼拉草  $17.5 \text{ mPa}$ > 狗牙根  $13.4 \text{ mPa}$  土壤剪切力试验表明香根草根系+沙土处理>沙土对照, 香根草根系+黏土>黏土对照。探讨了草本植物根系网的固土性能, 提出根系 $\text{最大抗拉强度}$ 代表根系材料的 $\text{受力潜能}$ , 可作为评判根系网的固土刚性的一个有效指标, 为利用生物软措施代替或部分代替工程措施的作用, 固土护坡防止土壤侵蚀及滑坡崩岗的灾害治理提供了力学理论依据。

**关键词:** 生物软措施; 草本植物; 根系网; 抗拉强度; 土壤剪切力; 固土护坡; 生物力学

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)05-0020-04

中图分类号: S157.433

## An Experimental Study on Herb Plant Root System for Strength Principle of Soil-fixation

CHENG Hong<sup>1</sup>, ZHANG Xin-quan<sup>2</sup>

(1. Nanchang Water Conservancy and Hydropower College, Nanchang 330029, China;

2. Sichan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichan Province, China)

**Abstract** An experiment is conducted for testing the greatest strength of herb root system meanwhile measuring the diameter under the condition of the greatest tensile strength. It provides where root was tore out and the potential root tensile strength is caculated. The result was revealed that the root average tensile strength vetiver grass of  $85 \text{ mPa}$ > common cetipede grass of  $27.3 \text{ mPa}$ > white clover of  $24.6 \text{ mPa}$ > *Juncelles serotinus* of  $24.5 \text{ mPa}$ > *paspalum dilatatum* pair of  $19.7 \text{ mPa}$ > Bahio grass of  $19.2 \text{ mPa}$ > manila grass of  $17.5 \text{ mPa}$ > Bermuda grass of  $13.4 \text{ mPa}$ . The shear strength test shows that the soil plus vetiver grass root made the shear strength increased, compared to the CK in sandy or clay soil. The feature of holding up soil of herb root network is discussed and the potential capacity of holding up soil ie. the tensile strength of root network is put forward as one of the most important factor. It justifies the basic mechanics theories substituding soft bioengineering approach for the hard engineering approach in completely or partially to hold up soil and slope and resistant against soil erosion and control the landslide and mud rock flow etc.

**Keywords** soft bioengineering approach; herb root network; tensile strength; shear strength; soil fixation; bio-strength

植物学、生态学及农林栽培学及相关农艺学等以研究植物的种类、栽培特点、特性、适应性等为主, 通常对植物的地上部分生物量、收获产量研究居多, 但对相关的植物根系研究较少。随着科技进步及人类认识的提高, 对植物根系的研究愈来愈迫切和重要, 特别是生态恢复任务繁重的今天, 推广应用先进的生态恢复技术等科技手段, 往往能起到事半功倍的效果, 而这一方面依赖对生物措施的了解和应用, 另一方面

也依赖于工程措施的应用。从生态角度分析植物是保持生态因子水分的重要载体, 在水分-根系-植物-大气连续体中, 根系也起着关键作用。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>[1]</sup>, 植

收稿日期: 2002-05-10

资助项目: 江西交通厅重点科技项目(9904号)“香根草等高植物篱枝木与边坡防护”。

作者简介: 程洪(1965-), 男(汉族), 江西波阳人, 硕士, 副教授, 研究方向为农学、水土保持、生态恢复等。E-mail: chengh88@hotmail.com

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, 银槭 15~ 30 mPa, 西铁杉 27 mPa, 越桔 16 mPa, 大麦 15~ 37 mPa, 地衣仅 2~ 7 mPa, 禾草, 非禾本科草 2~ 20 mPa, 香根草 40~ 180 mPa 最高, 有些研究者研究了植被对斜坡稳定性的影响因素中包括了水文机制和力学机制。水文因素指降雨截留和蒸腾, 也由于截留和蒸腾作用使土壤的孔隙压力降低, 渗透率提高, 力学因素指植物生长增加了土壤负荷, 植物根系作用增强了土体的黏附力。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, 也应该考虑对所应用和选择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, 应用力学方法原理可以测定这一指标

## 1 试验材料与方法

### 1.1 根系材料

香根草 (*Vetiveria zizanioides*) 于 2001 年 5 月 6 日取自扬子州农场南昌水专香根草苗圃, 狗牙根 (*Cynodon dactylon*), 马尼拉草 (*Zoysia matrella merr*), 莎草 (*Juncellus serotinus*) 于 2001 年 6 月 2 日取自南昌水专校园, 假俭草 (*Eremochia ophiuroides hack*), 百喜草 (*Paspalum notatum flugge*), 白三叶 (*Trifolium repens*), 宜安草 (*Paspalum dilatatum poir*) 于 2001 年 6 月 5 日取自南昌北郊桥江西省畜牧推广站。

### 1.2 根系抗拉力试验

试验方法按 Diti 介绍的方法进行<sup>[1]</sup>, 使用刻度弹簧拉力计, 测定试样根系拉断时最大抗拉力, 用游标卡尺测定根系被拉断时的根系断裂面直径, 每试样重复 18~ 36 次。计算试样根系的抗拉强度

$$P = 4F / C^* D^* D$$

式中:  $F$ ——最大拉力,  $D$ ——拉断处根系的直径。

### 1.3 根系剪切力试验

于 2001 年 6 月 5~ 10 日在南昌水专土工试验室测定全沙, 全沙+ 香根草根系 2 根及黏土, 黏土+ 香

根草根系 2 根复合体抗剪切力大小, 试验中沙土, 黏土处理与沙土+ 根, 黏土+ 根处理水分, 质地完全一致, 本试验因为是求证土壤+ 根的抗剪力 > 土壤 (对照) 的抗剪力, 故未测定不同水分含量条件下的变化。

基本原理: 用应变控制或直剪仪测定土和加了根的土的抗剪强度指标, 根据量力环的变形值计算得到试样剪切过程直至破坏时的剪切力所产生的剪切形变, 根据手轮转数和测微表读数计算得出:

剪切力 = 量力环率定系数  $C \times$  量力环量表读数  
式中:  $C = 2.42 \text{ kPa} / 0.01 \text{ mm}$

试样在不同垂直压力 50 kg, 100 kg, 400 kg 下重复 12~ 30 次

## 2 试验结果与分析

### 2.1 香根草根系网田间调查

田间挖掘 1a 生香根草根系, 调查结果见表 1 在平均分蘖根数量中, 以 0.6~ 0.8 mm 直径根为主, 具体见表 2

表 1 1a 生香根草根系挖掘试验调查

根幅 /cm	根深度 /cm	根数量	分蘖数	平均分蘖根数
60	> 100	953	81	11.76

表 2 香根草根系直径调查

根系直径 /mm	0.6~ 0.8	0.8~ 1.0	1.0~ 1.2	1.2~ 1.4	1.4~ 1.6	1.6~ 2.2
比率 %	33.3	16.6	16.6	8.3	8.3	8.3

### 2.2 各种草类根系抗拉力、直径及抗拉强度

香根草、假俭草、狗牙根、莎草、马尼拉草、水花生、白三叶、百喜草、宜安草, 根系最大抗拉力, 及最大抗拉力作用根系断裂及抗拉强度结果见表 3~ 6

### 2.3 各种草类根系抗拉强度大小比较

表 7 表明, 根系抗张强度香根草为 85 mPa > 假俭草 27.3 mPa > 白三叶 24.6 mPa > 莎草 24.5 mPa > 百喜草 19.2 mPa > 马尼拉草 17.5 mPa > 狗牙根 13.5 mPa

### 2.4 香根草根系增加土体抗剪强度试验结果

土壤+ 香根草根系 2 根提高剪切力, 土壤+ 根与土壤无根对比, 试验结果见表 8

### 2.5 香根草根系直径与抗拉强度的关系

将根系直径与抗拉强度取对数, 设

$$X = \lg D, Y = \lg P.$$

求得回归方程

$$Y = 1.6779 - 0.9935X \text{ (其中 } R = -0.966)$$

还原成指数方程为

$$Y = 47.957X - 0.9935$$

式中:  $X$ ——根系直径;  $Y$ ——抗拉强度(图 1, 2)

表 3 香根草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa	直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa
0.20	0.60	186.69	0.63	2.73	85.6
0.35	1.20	121.90	0.62	2.80	71.4
0.38	1.50	129.20	0.65	2.73	63.3
0.40	1.33	103.40	0.65	2.70	76.7
0.40	1.50	116.70	0.66	2.74	78.2
0.45	1.38	97.10	0.62	2.53	81.9
0.48	1.75	93.50	0.67	2.68	74.3
0.55	2.23	91.70	0.62	2.63	85.2
0.57	2.62	100.3	0.65	2.56	75.4
0.60	2.61	90.20	0.60	2.15	74.3
0.63	2.66	83.40	0.70	2.95	74.9
0.62	2.63	85.10	1.30	4.90	36.1
0.61	2.30	76.90	1.50	5.10	28.2
0.62	2.48	79.00	1.70	5.30	22.9

表 4 狗芽根、马尼拉根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

狗芽根			马尼拉		
直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa	直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa
0.78	1.84	13.79	0.65	0.70	20.12
0.85	0.92	15.85	0.90	0.75	19.05
0.80	0.81	15.75	0.72	0.76	18.25
0.93	1.10	15.82	0.78	0.9	18.41
0.90	0.82	12.61	0.75	0.75	10.40
1.00	0.80	9.95	0.80	0.92	17.90
1.15	1.30	12.73	0.83	1.10	19.90
1.17	1.25	11.37	0.87	0.93	15.30
1.21	1.47	12.50	0.80	0.90	17.50

表 5 白三叶、百喜草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

白三叶			百喜草		
直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa	直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa
0.90	1.70	26.10	0.60	0.70	24.20
0.90	1.75	26.80	0.65	0.73	22.40
0.90	1.78	25.60	0.67	0.73	20.20
1.00	1.83	26.20	0.70	0.95	24.10
0.80	1.56	30.30	0.75	0.95	21.00
0.90	1.60	25.90	0.75	0.90	15.70
1.00	1.85	23.10	0.80	1.10	21.30
1.20	1.40	12.10	0.83	1.00	18.10
1.00	1.90	23.60	0.80	1.20	18.30
1.10	1.95	20.00	0.73	0.70	13.30
1.20	2.10	19.70	0.84	1.22	16.90

表 6 沙草、宜安草根系的 最大抗拉力及抗拉强度试验调查结果

沙草			宜安草		
直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa	直径 / mm	拉力 / kg	最大抗拉强度 / m Pa
0.29	0.15	29.1	0.80	1.25	24.30
0.33	0.28	31.3	0.82	1.25	23.14
0.35	0.25	25.4	0.84	1.29	22.70
0.38	0.32	27.6	0.90	1.33	20.40
0.37	0.30	27.3	0.90	1.30	19.97
0.40	0.28	21.8	0.93	1.30	19.40
0.40	0.23	19.4	0.99	1.32	18.20
0.41	0.30	22.2	0.97	1.35	17.80
0.41	0.28	20.3	1.00	1.30	16.20
0.43	0.30	20.2	1.05	1.35	15.20

表 7 各种草类根系抗拉力、根系直径及抗拉强度

种 类	平均根系直径 / mm	平均抗拉力 / N	平均抗拉强度 / m Pa
沙草	0.38±0.43	2.66±0.47	24.50±4.2
宜安草	0.92±0.28	12.98±0.35	19.74±3.00
白三叶	0.91±0.11	12.80±0.59	24.64±3.36
香根草	0.66±0.32	24.89±1.08	85.10±31.2
假俭草	0.66±0.05	9.56±1.33	27.30±1.74
百喜草	0.73±0.07	8.99±1.99	19.23±3.59
马尼拉	0.77±0.67	8.84±1.25	17.55±2.85
狗牙根	0.99±0.17	10.49±2.65	13.45±2.18

表 8 香根草根系提高土壤剪切力

处 理	压力情况	剪切力 kPa
沙土 CK; 沙土+ 根	受压 50 kg	23.77±7.8
		24.68±8.2
沙土 CK; 沙土+ 根	受压 400 kg	159.78±59.8
		168.03±65.7
黏土 CK; 黏土+ 根	受压 100 kg	19.82±5.2
		25.83±11.6

### 3 问题讨论分析及展望

#### 3.1 植物根系网的性能及力学作用

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,一定程度上形成根系网,单个植物根系的分布就是其根系网的作用范围,在由多个植物在同块土地上呈带状分布,土地上的根系系统相互交错,共同占据同块土地,形成综合的根系网。植物根系生长过程也是根系网形成过程,因此根系网的形成也是植物对环境适应的过程,环境变化会影响根系网的形成,不利植物生长环境根系的生长发育和根系网的形成。这种情况下就应改良土壤、灌水、施肥和选择适当植物种类确保根系网的形成才能发挥生物软措施保持水土的作用。

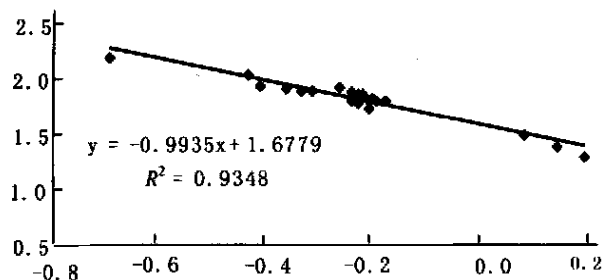


图 1 香根草根系直径与抗拉强度对数曲线关系

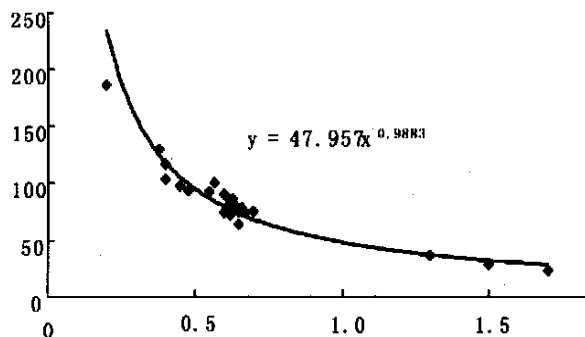


图 2 香根草根系直径与抗拉强度曲线关系

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,有关这方面的问题尚待深入研究。

另外,植物根系的结构构成及在土壤中产生刚性的功能,不同的植物种类是有所差异的,本研究中香根草根系的抗拉强度最大达到 85 mPa,其次是假俭草 27 mPa,最小是狗牙草的根系,只有 13.4 mPa。植物根系的刚性代表根系网的材料的刚性,刚性愈强说明根系网愈能抵御外来力的作用,结构愈稳定,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。本研究中香根草平均抗拉强度 85 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。

### 3.2 根系抗拉强度

根据表 3-4,图 1,香根草根系平均抗拉强度 85 mPa,变化幅度±31 mPa,与 Diti 的报道 75 mPa 有一些差异,这可能与实验使用的香根草存在取样地点、气候或测定方法的差异,但实测值仍在 40~120 mPa 的范围内,说明本研究结果是合理的,并求得香根草

根系抗拉强度与根系直径成指数关系,满足  $y = 47.957x^{-0.9348}$  关系。图 2 中香根草根系抗拉强度远高于其它草种,原因未揭明,但可能与其组成材料、构造有关系,并可解释香根草固土护坡能力强,是理想的护坡草种材料,可广泛应用于崩岗、滑坡的治理,公路、铁路、边坡的稳定及河岸护堤,尾矿拦沙坝的稳定和植被恢复等工程<sup>[2-6]</sup>。

### 3.3 根系增加土壤抗剪强度

活性根系与土壤团粒形成有机复合体,提高土壤抗剪强度。本研究只定性比较有根系土壤抗剪强度>无根系的对照土壤,见表 5。关于这个问题也涉及到土壤组成、水分等比较复杂关系,仍需进一步探讨。

### 3.4 研究展望

生物软措施是环境保护、植被生态恢复和防止水土流失、土壤侵蚀的重要手段,普遍认为水土保持措施分为生物措施和工程措施,但通过本研究结果表明生物措施中植物的根系本身有工程措施的作用,选用适当的植物种类可以代替部分工程措施,从而节省工程费用,并有利于生态环境的调节和美化,特别是我国基本建设任务繁重的今天,这方面的研究具有重大的价值和理论指导意义。本研究的抛砖引玉希望生态恢复技术理论进一步完善和充实,以满足今后国民经济建设和发展的需要。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Diti Hengchaovaich. 香根草技术在工程上的运用——稳定斜坡,减少侵蚀 [M]. 香根草研究与展望. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [2] 程洪. 香根草的技术应用 [J]. 江西科学, 1998, 16(3): 204-210.
- [3] 程洪. 香根草在我国的应用及研究综述 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 77-81.
- [4] 程洪, 等. 公路边坡防护中的香根草等高植物篱技术的应用方法 [J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 67-68.
- [5] 敖惠修. 广东公路应用香根草绿篱治理滑坡试验研究 [J]. 香根草通讯, 1997, 3(1): 2-3.
- [6] Cheng Hong. Application of Contour vetiver hedge technical to protection of highway embankment in Jiangxi province of China [C]. Proceedings Vetiver and the environment. Thailand, 2000. 473-477.