狗牙根根系分布特征及其抗拉强度试验研究

魏华炜, 罗海波, 张玉环
(贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘 要: 以狗牙根为研究对象, 就狗牙根根系在土壤中的分布及其抗拉强度进行了初步研究。结果表明, 根系密度及根系重量随土层深度(0—40 cm) 的增加而减少, 其规律均服从指数函数关系分布; 根系抗拉力随直径增大而增大, 其分布规律均可用二次函数进行拟合; 根系的平均抗拉强度为 39.349 MPa, 约为Ⅰ级钢筋抗拉强度的 17%, 能产生显著的根系“加筋作用”, 抗拉强度随直径增大而减小, 其规律服从指数函数关系分布。根据狗牙根根系分布特征及抗拉强度特性, 其固土护坡作用较大。

关键词: 狗牙根; 根系; 分布特征; 抗拉强度
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2011)04-0185-05 中图分类号: S157.433, Q947.6

Root Distribution Characteristics and Tensile Strength of *Cynodon Dactylon* L.

WEI Hua-wei, LUO Hai-bo, ZHANG Yu-huan
(*College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou* 550003, *China*)

Abstract: A preliminary study on the distribution and tensile strength of roots of *Cynodon dactylon* L. in soil was conducted. The results showed that the density and the weight of root decreased with the increasing soil depth(0—40 cm), and the trend could be expressed by exponential function. The tension resistance of the root increased with the enlargement of diameter, and could be modelled by quadratic function. The average tensile strength of the root was 39.349 MPa, and was 17% of that of grade I steel, moreover, it decreased with the increase of the diameter, and submitted to the law of exponential function. Hence, *Cynodon dactylon* L. has a significant function in slop protection based on the root distribution characteristics and tensile strength features.

Keywords: ***Cynodon dactylon* L.; root system; distribution characteristics; tensile strength**

在公路修建、矿山边坡开挖中会形成大量的土石边坡, 由于工程、地质、气候等条件的影响, 可能会产生滑坡失稳现象, 因此需要对其进行防护。随着保护生态、美化环境意识的提高, 边坡防护措施从单纯的工程防护转向兼顾工程防护及环境保护要求的植物防护。植物护坡技术是指用活的植物, 单独用植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合, 以减轻坡面的不稳定性和被冲刷侵蚀[1], 是一项新兴边缘学科。目前国内外对植物护坡理论的研究, 主要集中在植物的力学效应和水文效应两方面。在力学效应方面, 国内外均有学者通过现场和室内试验, 对根系固土的力学机理进行了研究。Martin[2], Diti[3] 和程洪[4] 等认为植物根系与土形成复合体, 抗剪强度提高, 避免土体滑动破坏, 因此根系与土体结合的紧密程度和根系抗拉阻力是阻止滑坡的关键因素。在不同条件下, 植物根系抗拉性能差异很大, 程洪等[5] 已实测了几种草本植物的根系抗拉强度, 但目前这方面的研究成果仍然有限。狗牙根(*Cynodon dactylon* L.) 作为常用草本类护坡植物[1] 在湖南高速公路边坡的绿化效果和水土保持能力好[6], 能在路基坡面上较好生长, 具有很强的保土能力, 且效果稳定, 较好地起到固土护坡的防冲效果[7-8]。

本研究以狗牙根为研究对象, 通过对其根系生长状况及分布特征进行分析, 并应用工程力学基础理论, 探讨了狗牙根根系抗拉强度, 剖析狗牙根根系在固坡保土增强土体稳定性的作用机理, 为进一步研究植物根系, 提高土体抗拉强度, 减缓水土流失提供理论依据。

收稿日期: 2010-10-13 修回日期: 2010-12-07
资助项目: 贵州省自然科学基金“废弃磷矿山土地生态复垦机理及技术研究”[黔科合 J 字(2007)2152]
作者简介: 魏华炜(1985—), 男(汉族), 福建省南平市人, 硕士研究生, 主要研究方向为矿山生态修复。E-mail: whw9250@126.com。
通信作者: 罗海波(1973—), 男(汉族), 贵州省思南县人, 博士, 副教授, 从事土地规划复垦与土地生态修复相关教学科研工作。E-mail: hbluo@126.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料于 2010 年 6 月采集自栽多年生狗牙根,在根系采样过程中,选取生长正常,无病虫害的新鲜根系并尽量避免对根系的机械损伤。为了反映材料的力学特性,在测定时对净根进行清洗和抹干处理。

1.2 试验方法

1.2.1 *根系密度及分布特征测定方法* 根系密度测定:采用挖根法[9],在 100 cm^2 的样方水平面上,按照在取土表面、距地层表面 10, 20, 30, 40 cm 的深度,进行 4 次重复试验,然后测出在每个剖面上的根数。

根系分布特征测定[10]:根系分布特征用根系重量来表示。在 1 000 cm^3(10 cm × 10 cm × 10 cm)土中所含烘干根的重量的多少,即为根系重量 R_w(root weight)。取 10 cm × 10 cm × 10 cm 的试样,并用纱布包好,先用清水在容器里浸泡 12 h,待根系的土粒松散后,再用清水慢慢冲洗,使得粘附在根系的土被冲洗掉。然后将冲洗后的根系用粗试纸吸水干燥,定型。再将冲洗好的根系置于 105 ℃烘箱烘1 h,接着在65 ℃下烘至恒重,然后在1/ 1 000 g 的电子天平上称重。

1.2.2 *根系抗拉强度试验* 试验选择长约 7 cm 的根,将根侧须根剪除。两端被夹长度各 1 cm,受拉长度为 5 cm。试样采回后,轻轻冲去泥土,擦干水分,即作测定。

本研究制作采用了简易毛根拉力测定装置[11](图 1)。具体操作步聚为:根系上端用夹子固定于铁架,下端用夹子固定并连接一弹簧秤,弹簧秤下端吊一沙桶。往桶里缓慢、连续地加入细沙,直至根系被拉断。用游标卡尺测出根系拉断面的直径,每试样重复测 4 次,然后求其平均值作为计算直径。

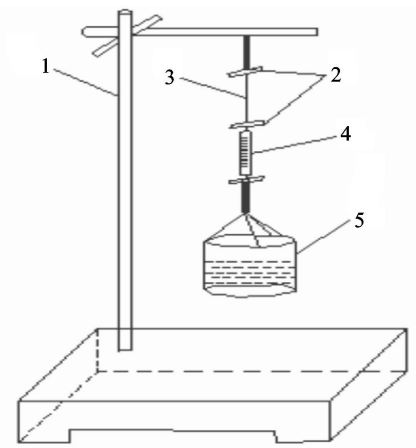


图 **1** 毛根拉力测定装置

1. 固定铁架; 2. 夹子; 3. 毛根; 4. 弹簧秤; 5. 沙桶

2 结果与分析

2.1 根系在土层中分布

2.1.1 *根系密度与土层关系* 草本植物与林木根系最大的区别一般是其没有强大的主根,通常以须根为主(d< 1.0 mm)[5],因为已有的研究表明,直径 $d \leqslant$ 1.0 mm 的根系对提高土壤抗冲刷性可起着重要作用[12],因此本试验把直径 1.0 mm 作为一个界限,对直径 $d \leqslant$1.0 mm 和 d> 1.0 mm 的根系分别统计(表 1—2)。

表 **1** 根(直径 $d \leqslant$**1.0 mm**)密度 R_d 与土层深度 Z 关系

深度 Z/cm	平均根密度	重复试验 1	重复试验 2	重复试验 3	重复试验 4
0	95	97	89	101	94
10	76	74	84	77	70
20	56	60	51	55	58
30	40	37	43	36	44
40	30	32	35	24	29

表 **2** 根直径(d> **1.0 mm**)密度 R_d 与土层深度 Z 关系

深度 Z/cm	平均根密度	重复试验 1	重复试验 2	重复试验 3	重复试验 4
0	42	44	50	35	39
10	31	38	22	29	35
20	24	20	23	30	23
30	16	24	10	13	17
40	12	8	14	10	16

由表 1—2 可以明显的看出,直径 $d \leqslant$1.0 mm 的根系密度大于 d> 1.0 mm 的根系。李勇、吴钦孝等人研究认为[13],将不同径级的根与土壤抗冲性联系起来分析发现,土壤抗冲性与 $d \leqslant$1.0 mm 径级的须根密度关系最为密切,其根径虽小,但密度甚大,对改良土壤、建造抗冲性土体构型具有粗根不可比拟的作用。由此可见,狗牙根根系的这一分布特征,对于其提高表层土壤抗冲性,保土固坡有着极其重要的意义。

狗牙根有效根密度($d \leqslant$1.0 mm)[13] 在土壤剖面中缠绕分布强化了土壤渗透性[14]。狗牙根根系在土壤中的分布具有一定的水平幅度和垂直深度,其横向生长和纵向生长在一定程度上形成根系网,单个根系的分布就是其根系网的作用范围,多个根系在同块土地上呈缠绕分布,使根系系统相互交错,并共同占据同块土地,即形成综合的根系网,进而使土体抵抗流水冲刷的能力增大。

无论是根直径 $d \leqslant$1.0mm,还是 d> 1.0 mm,根

系在 0—40 cm 土层的垂直分布均随深度增加而减少。根直径($d \leqslant 1.0$ mm)密度 R_d 与土层深度 Z 关系(表 1),对其数据进行拟合分析,根密度与土层深度关系服从指数分布,相关性显著。其函数表达式为:

$$R_d = 98.44\exp(-0.029\,5Z),\ R = 0.997\,9$$

式中: R_d ——根密度($d \leqslant 1.0$ mm,个/100 cm^2);Z——土层深度(cm);R ——相关系数。

根直径($d > 1.0$ mm)密度 R_d 与土层深度 Z 关系(表 2),对其数据进行拟合分析,根密度与土层深度关系服从指数分布,相关性显著。其函数表达式为:

$$R_d = 42.727\exp(-0.031\,7Z),\ R = 0.997\,7$$

从拟合的结果可知,对于根直径 $d \leqslant 1.0$ mm 及 $d > 1.0$ mm 的狗牙根,其根密度与土层关系为:

$$y = n\exp(mx)$$

式中: y ——狗牙根根密度; x ——土层深度; m, n——经验常数。

所拟合的函数式的相关系数 R 的值为 0.997 9 及 0.997 7,说明该回归方程本身是可靠的,这一结果符合杨丽韫等人的研究成果[15],许多温带森林中也观测到细根的垂直分布符合这一规律[16-21]。它能够反映根系密度与土层关系的实际情况,根据狗牙根直径大小及土层深度(0—40 cm),可预测其在土层的分布密度,为其在水土保持科学中的应用提供理论依据。

2.1.2　根系重量随土层的变化特征　植物的根系重量随土层深度增加而降低(表 3),土层深度从 0—10 cm,其根量降低 24.79%,在 10—20 cm 的土层,根量降低 28.23%,在 20—30 cm 土层,根量降低23.81%,而 30—40 cm 土层,根量降低 27.66%。细根在不同土层中的深度分布,主要与不同土层深度的土壤容重、水分、养分和温度有关[15]。

表 3　根量 R_w 与土层深度 Z 的关系

深度 Z/cm	平均根量/($g \cdot 1\,000^{-1} \cdot cm^{-3}$)	重复试验 1	重复试验 2	重复试验 3	重复试验 4
0	2.303	2.298	2.305	2.309	2.301
10	1.732	1.727	1.734	1.739	1.729
20	1.243	1.239	1.243	1.249	1.241
30	0.947	0.941	0.952	0.943	0.953
40	0.685	0.681	0.684	0.687	0.688

对根量 R_w 与土层深度 Z 之间的关系进行拟合分析,得出根量与土层深度关系服从指数分布,相关性显著。其函数表达式为:

$$R_w = 2.315\exp(-0.030\,3Z),\ R = 0.999\,6$$

根据拟合结果,根量与土层深度的关系可建立函数式:

$$y = n\exp(mx)$$

式中: y ——狗牙根根量; x ——土层深度; m, n——经验常数

所拟合的函数式的相关系数 R 的值为 0.999 6,该函数式揭示了狗牙根根量与土层深度的关系,根据狗牙根直径大小及土层深度(0—40 cm),可估算其根量在土层的分布情况,为其在水土保持的应用提供理论依据。

2.2　根系抗拉强度测定结果

随着狗牙根根茎的增大,其根系的最大抗拉力呈增加的趋势(表 4),说明较粗根径具有较强的抗拉力,这是由于根截面积的增加,导致根的抗拉力增加。

表 4　根系抗拉力 F 与其根的直径 D 之间的关系

根系断面直径 D/mm	测 1	0.18	0.24	0.34	0.54	0.52	0.72	0.74	0.96	1.02	1.18
	测 2	0.22	0.28	0.40	0.48	0.54	0.7	0.72	0.88	1.12	1.14
	测 3	0.24	0.32	0.34	0.52	0.48	0.74	0.88	0.84	1.10	1.08
	测 4	0.28	0.30	0.42	0.44	0.40	0.62	0.78	1.08	0.98	1.12
	平均	0.230	0.285	0.375	0.495	0.485	0.695	0.780	0.940	1.055	1.13
最大抗拉力 F/N	实测	3.32	3.97	7.11	8.78	7.59	10.13	11.22	12.67	14.78	14.76

最大抗拉力随根系断面直径增大而增加,这一力学特性与根系的解剖结构变化有关。根系在生长初期,微细纤维已排列紧密,构成纤维细胞壁的网状骨架[22-23],狗牙根根系的不断生长和木质化使木质素不断积存于微细纤维之间,以化学或物理方式使纤维之间黏结和加固,增加根系的机械强度。随着狗牙根根系直径的增大,根系中的纤维和木质素在径向和轴向都会增加,从而表现为根系抗拉力随根系直径增大而增大。

为了进一步探讨根系拉力 F 与根系 D 直径之间的关系,将数据进行拟合分析,得出根系抗拉力与根系直径之间的关系服从二次三项式分布,相关性显著,这与钟亮根[24]对紫穗槐根的研究结论是相似的。其函数表达式为:

$F = -5.978\ 3D^2 + 20.47D - 0.749\ 9$, $R = 0.988\ 7$

根据实验所得的根系直径、抗拉力数据,可计算根断的抗拉强度。

根据参考文献[25],根断时的抗拉强度 P 计算公式为:

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

计算可知(图 2),狗牙根根系抗拉强度变化范围很大(单根强度在 14.725~ 79.949 MPa),且其抗拉强度也较大(单根抗拉强度平均值为 39.349 MPa),约为Ⅰ钢筋抗拉强度的 17%,能产生显著的根系"加筋作用"。根系抗拉强度随根断面直径的增大而减小,在根径< 0.78 mm 的情况下,随着根径的增加其抗拉强度的递减幅度较大,当根径> 0.78 mm 时,随着根径的增加其抗拉强度的递减幅度较小。其细小的根不但具有较高的抗拉强度,而且由于比同样 RAR(根的面积比率)的粗根具有较大的表面积,所以和土之间的摩擦力较大,抵抗拉脱的能力强。狗牙根具有较高的抗拉强度,其对土壤抗剪切强度的提高具有较大的贡献,在固土护坡方面,可优先采用狗牙根作固土护坡植物。

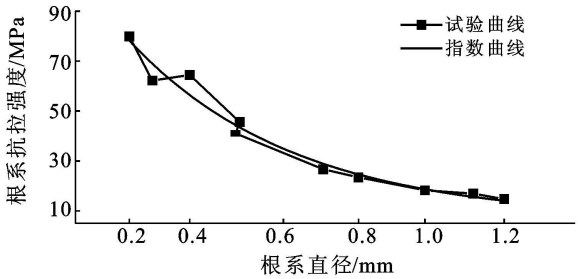


图 2 根系抗拉强度与其根的直径的关系

对于狗牙根的抗拉强度与其根系直径的关系进行拟合分析,得出根系抗拉强度与根系直径之间的关系指数分布,相关性显著,与香根草根系抗拉强度和直径关系有所差异[26],其原因可能与狗牙根组成材料、构造有关。狗牙根的抗拉强度与其根系直径的关系函数表达式为:

$$P = 112.73\exp(-1.881\ 1D),\quad R = 0.986\ 8$$

由以上两拟合方程式可以发现,狗牙根根系的抗拉力及抗拉强度与其直径的关系分别用指数函数、多项式回归分析,其相关性均很显著。对于狗牙根根系的抗拉力与直径关系,可建立以下多项式函数:

$$y = ax^2 + bx + c$$

式中:y ——狗牙根根系抗拉力;x ——狗牙根根系直径;a, b, c ——经验常数

对于狗牙根根系的抗拉强度与直径关系,可建立指数函数式:

$$y = \alpha\exp(\beta x)$$

式中:y ——狗牙根系抗拉强度;x ——狗牙根根系直径;α, β ——经验常数

3 结 论

(1) 狗牙根根系无论是直径 $d \leqslant 1.0$ mm,还是 $d > 1.0$ mm,其密度均随深度(0—40 cm)增加而急剧减少。根密度与土层深度可建立指数函数关系,根据狗牙根直径大小及土层深度,可预测其在土层的分布密度,为其在水土保持中的应用提供理论依据;根系重量与土层深度(0—40 cm)的分布规律服从指数函数关系分布。

(2) 狗牙根的平均抗拉强度为 39.349 MPa,约为Ⅰ钢筋抗拉强度的 17%,能产生显著的根系"加筋作用"。本试验定量分析了狗牙根根系抗拉力、抗拉强度与根系之间的关系。随着狗牙根根系直径的增大,最大抗拉力呈增加的趋势,可建立二次多项式函数关系;狗牙根根系抗拉强度随其直径的增大而减小,可建立指数函数关系。

(3) 由于试验条件与时间的限制,所做的仅是一些初步工作,其中指数函数式的经验常数 m, n 和 α, β 及二次三项式的经验常数 a, b, c 因和多方面因素有关,下一阶段需进一步研究。

(4) 狗牙根根系发达,具有较强的抗拉强度,是一种优良的固土护坡植物,可作为植被生态恢复和防止水土流失、土壤侵蚀的首选植物,其根系本身具有"加筋作用",可代替部分工程措施,从而节省工程费用,并有利于生态环境的调节和美化,为草本植物固土护坡提供重要依据。

[参 考 文 献]

[1] 周德培,张俊云. 植被防护工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003:76-78.

[2] Martin D. Bioengineering techniques for stream bank restoration: A review of central european practices[C]. USA: Watershed Restoration Project Report, 1995: 4-9.

[3] Diti H. A bioengineering and phytoremediation option for the new millennium[C]. Thailand: Proceed Second Intern. Vetiver Conf., 2002.

[4] Cheng H, Yang X J, Liu A P, et al. A study on the performance and mechanism of soil-reinforcement by Herb root system[C] // Proceedings of the Third International Conference on Vetiver and Exhibition Vetiver and Water. An eco-technology for water quality improvement, Guangzhou, China: Land Stabilization and Environmental Enhancement. 2003: 403-410.

[5] 程洪, 颜传盛, 李建庆, 等. 草本植物根系网的固土机制模式与力学试验研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 62-65.

[6] 陈迎辉, 罗怀斌, 朱开明, 等. 用野生狗牙根草绿化湖南高速公路石方边坡的试验研究[J]. 中南林业调查规划, 2004, 23(2): 53-57.

[7] 甘建国, 王洁, 谢锴, 等. 邵怀高速公路边坡生态恢复植物种类选择: 护坡植物层次分析法(AHP)优选试验研究[J]. 公路工程, 2007, 32(5): 77-79.

[8] 李正南, 周玉成. 公路开发建设项目路基边坡水土保持型草种引种试验及保土效果研究[J]. 湖南水利水电, 2003(3): 37-39.

[9] 杨福囤, 陆国泉, 史顺海. 高寒矮嵩草草甸结构特征及其生产量[C]// 中国科学院西北高原生物研究所. 高原生物学集刊. 西宁: 中国科学院西北高原生物研究所, 1985: 49-56.

[10] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京: 中国农业科学技术, 2007.

[11] 郝彤琦, 谢小妍, 洪添胜. 滩涂土壤与植物复合体抗剪强度的试验研究[J]. 广东农机, 2002(1): 12-14.

[12] 张祖荣. 植物根系提高土壤抗侵蚀能力的初步研究[J]. 渝西学院学报, 2002, 15(1): 31-35.

[13] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 1-5.

[14] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[15] 杨丽韫, 李文华. 长白山原始阔叶红松林细根分布及周转的研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(2): 1-5.

[16] Gale M R, Grigal D F. Vertical distribution of northern tree species in relation to successional status[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17: 829-834.

[17] Kimmins J P, Hawkes B C. Distribution and chemistry of fine roots in a white spruce subalpine fir stand in British Columbia: Implications for management [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1978, 8: 265-279.

[18] Mcclaugherty C A, Aber J D. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems [J]. Ecology, 1982, 63: 1481-1490.

[19] Perssonh. Root dynamics in a young Scots pine stand in central Sweden[J]. Oikos, 1978, 30: 508-519.

[20] Saffordl O, Bell S. Biomass of fine roots in a white spruce plantation[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1972, 2: 169-172.

[21] Vogt K A, Edmonds R L, Gerier C C. Seasonal changes in biomass and vertical distribution of mycorrhizal and fibrous-textured conifer fine roots in 23-and 180-year-old subalpine *Abies amabilis* stands[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1981, 11: 223-229.

[22] 谭玲玲, 蔡霞, 胡正海. 北柴胡根的发育解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2198-2203.

[23] 艾素云, 黄玉源, 伍映辉. 贵州苏铁根的解剖学研究[J]. 云南植物研究, 2006, 28(2): 149-156.

[24] 钟亮根. 紫穗槐在赣南红层路基边坡防护应用的试验研究[D]. 江西 南昌: 华东交通大学, 2008.

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

[26] 程洪, 张新全. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 20-23.