

地肤根系的力学性质及对道路侵蚀的影响

牛 皓¹ 高建恩^{1,2} 杨世伟² 王伯勤¹

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院教育部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要:基于黄土高原植物路防蚀对适宜植物的需要,对多年生草本植物地肤根系的抗剪切强度进行了测试,并在野外生长有地肤坡面的径流小区进行了冲刷试验。结果表明:相同试验条件下含有单株地肤根系的土样比不含地肤根系的土样,在 100、200、300、400 kPa 共 4 种不同垂直荷载压力下,其抗剪切强度分别提高了 9.51%、14.42%、17.03%、7.35%;坡面冲刷单宽流量为 $1.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ 且坡面地肤覆盖度为 0、20%、40%、60%、80% 时,裸坡的侵蚀量分别是地肤坡面的 2、7、12 倍及 29 倍左右,这说明地肤对于提高土壤抗侵蚀性能有显著效果,是一种适宜栽培于黄土高原道路的植被品种。

关键词:地肤; 抗剪切强度; 根密度; 侵蚀量

中图分类号: S15 **文献标识码:** A

由于黄土高原本身疏松的土壤结构类型,及人们在山坡生产型道路建设过程中,忽视道路路面、边坡开挖面、边坡松散堆积物的防治,从而在道路发挥其生产、经济效应的同时,也逐渐成为新的环境脆弱带,水土流失程度明显高于非道路地区,路面侵蚀极其严重^[1]。大量的山坡生产型道路路面土壤裸露,没采取任何生物保护措施,旱季通行时尘土飞扬,雨季泥泞且侵蚀沟纵横深切,通行能力极低,维护费用极高,不仅对周围生态环境造成危害,同时因年年维修也浪费了人力、物力、财力。因而,在黄土高原山坡生产型道路上开展植物路建设就显得尤为迫切。

1 研究根系力学性质的意义

植物路建设,路面栽种植被类型的选择是关键。经专家研究表明,植被根系的力学特性为适宜植被类型选择的首选参考指标,这主要是因为植物根系可增加土体抗剪强度,对土体有“加筋作用”。代全厚等^[2]试验表明,牛毛草地抗剪强度为 0.163 kg/cm^2 ,天然草地抗剪强度为 0.119 kg/cm^2 ,是农地的 2 倍。封金财等^[3]通过室内测定茅草根(长 4.9 cm,直径 1.75 mm)应力应变关系曲线得出,根纤维 22 根的土体是对照(无根)土体的 2 倍,根的存在大大提高了浅土层(深度不到 1 m)的稳定性。杨亚川等^[4]对直径为 0.6 mm 的节节草根系的抗剪切强度进行了试验,结果表明,节节草根抗剪强度达 22.32 MPa,为 1 级钢筋抗拉强度的 1/10,可产生显著的根系“加筋作用”。植物根系除了能提高土壤的抗冲性、抗剪性,具有加筋作用外,还具有锚固力作用。杨亚川等对节节草根土复合体的研究表明,当复合体的体积密度含水量一定且根含量增加时,根系的锚固力显著增大,而其大小在很大程度上影响土体的抗蚀性。

因而在进行黄土高原山坡生产型植物路建设适生植被类型选择时,对其根系力学特性的研究就显得尤为重要。地肤,俗称扫帚苗是一种常见的多年生草本植物,喜阳、适应性强、耐寒、耐旱、耐瘠薄、耐盐碱、抗碾压程度高、根系发达、易种易成活^[2]。生长成熟期与黄土高原雨季(6~9月)一致,恰能用于防治道路侵蚀,发挥防蚀作用。因此,本文旨在通过研究地肤根系力学性质,及在生长有地肤的野外径流小区坡面上模拟黄土高原道路径流冲刷试验,探测其用于防治道路侵蚀的可行性及意义。

2 试验材料及方法

2.1 材料

本试验所选地肤,藜科,多年生草本,高 50~100 cm。根略呈纺锤形,茎直立,圆柱状,淡绿色或带紫红色,有多数条棱,稍有短柔毛或下部几无毛,分支系数,斜上,叶为平面叶,披针形或条状披针形。长 2~5 cm,宽 3~7 mm,无毛或稍有毛,先端短渐尖,基部渐狭入短柄,通常有 3 条明显的主脉,边缘有疏生的锈色绢状缘毛,茎上部叶较小,无柄,1 脉。

2.2 方法

(1) 为研究地肤根系抗剪切强度,在植物生长苗期,于培育有地肤的坡面上取含有地肤根系土样及不含地肤根系的裸地土样,使用南京土壤仪器厂 SDJ-1 型三速电动等应变直剪仪进行快速直剪试验,两类土样各取 24 个,置于 4 种垂直荷载压力下,进行剪切试验,观测并计算各自剪切力的大小。

(2) 地肤生长成熟期始于 7 月初,与黄土高原雨季恰好相

收稿日期: 2009 - 02 - 20

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAD09B01, 2006BAD01B04); 国家自然科学基金项目 (40701092, 50809056)

作者简介: 牛 皓,男,西北农林科技大学水利与建筑工程学院,硕士研究生。

对应。因而试验从7月初起间隔4周共3次于坡面上取单株地肤样,测试单株地肤对提高土壤剪切强度的能力。将取回的鲜样截取主根部分根系2 cm,使用50分度游标卡尺测量主根直径,取均值并记录,取与原状样坡面相同土样风干,过2 mm筛,均匀配置重塑土样,平均含水率为14.66%,平均容重为1.457 g/cm³,制备含有地肤根系的环刀土样60个,24个无地肤根系土样的抗剪强度为100~400 kPa,置于4种垂直荷载条件下进行剪切试验,尽量保持每个垂直荷载系列下根系的平均直径大小相近。

(3) 等距不连续截取100 cm²坡面土壤面积,测记根密度大小。

(4) 在一坡长5 m、宽1 m的径流小区上,保持土壤容重1.40 g/cm³、含水率26% (误差2%),变换植被覆盖度大小,模拟黄土高原植物路,变换地肤根系根密度,测试地肤对道路侵蚀的影响。

3 不同根系土壤剪切强度的影响因素

3.1 根系直径

图1中4图分别表示垂直荷载为100、200、300、400 kPa条件下地肤根系直径与土样抗剪强度增强值之间的关系。从图1中可看出,随着地肤根系直径的增大,土壤抗剪强度增强值也随着增加,图(a)、(b)、(c)、(d)中土壤抗剪强度增强平均值分别为11.79、24.98、37.68、33.08 kPa,对应的试样根系直径平均值分别为2.33、2.56、2.43、2.38 mm。200 kPa垂直荷载压力下,土壤抗剪强度增强值为100 kPa时的2.08倍,300 kPa垂直荷载下土壤抗剪强度增强平均值是200 kPa时的1.51倍,而当垂直荷载增加到400 kPa时,其值是300 kPa条件下的87.8%。这表明随着试验垂直荷载的增加,根系抗剪强度增强值呈下降趋势,当垂直荷载增加到一定程度时,相比裸地抗剪强度值,它对含有地肤根系土的抗剪强度将不会有显著影响。

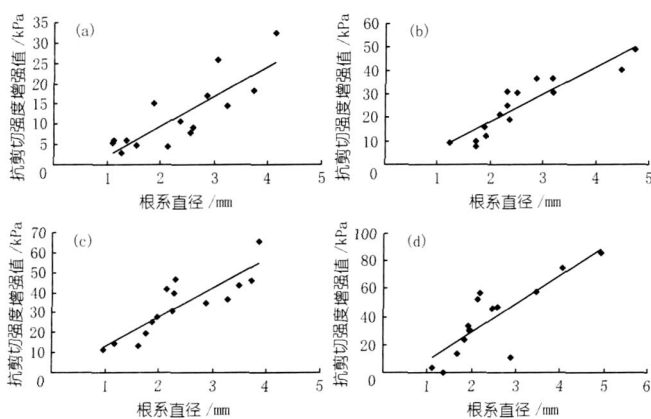


图1 根系直径与抗剪强度增强值的关系

3.2 不同时期地肤根密度

单位面积上植被根系根密度的大小也是影响土壤水土流失的一个关键因素。李勇等^[5]在宜川森林水文生态观测站对油松和沙棘林根系提高土壤的抗冲性能进行了实验和研究,发现其增强效应主要由不大于1 mm的毛根密度(或毛根量)来决定,并提出了根系提高土壤抗冲性的有效密度和有效深度的概念。有效密度指100 cm²的土壤截面上,对土壤抗冲性有明显增

强效应的不超过1 mm的根的个数,在有效根密度范围内,根系提高土壤强化值与根密度成正比。周跃等^[6,7]在分析云南松垂直根的土壤增强作用时测得有根土壤的抗剪强度为3362.06 N,无根土壤为1956.61 N,根系的存在将土体的抗剪强度提高71.83%,同时分别考虑了乔木的垂直根和侧根,指出垂直根可以把浅层根际土层锚固到深层土体上,侧根通过牵引效应增强了土体水平向抗滑力,提高了抗张强度,加固了根际土层,其作用强度与侧根的密度成正比^[8]。

表1为坡面地肤生长期不同时段单位面积根密度的大小,表中有效根密度指的是根系直径不大于1 mm的根系数。在地肤生长苗期,根系直径普遍较小,侧根几乎没有生长,因此,单位面积坡面上根系密度的多少与有效根密度数一致。但随着植物生长,根系生长出侧根及二级侧根甚至多级侧根,因此单位面积上根密度值及有效根密度值均逐渐增大。

表1 不同时期根的直径与根密度

取样时段	主根系平均直径/mm	根密度/(根·cm ⁻²)	有效根密度/(根·cm ⁻²)	取样时段	主根系平均直径/mm	根密度/(根·cm ⁻²)	有效根密度/(根·cm ⁻²)
苗期	0.61	0.143	0.143	第3次	2.41	0.596	0.485
第2次	1.46	0.407	0.332	第4次	3.66	0.756	0.621

3.3 原状及重塑样抗剪强度

原状样中,土壤含水率为9.1%,平均土壤容重1.283 g/cm³,平均根密度0.143根/cm²,在100、200、300、400 kPa垂直荷载作用下,包含地肤根系土样的抗剪强度值较裸地土样分别提高9.83%、10.19%、5.03%、17.43%。

鉴于苗期的探测性试验,在地肤生长期配置重塑土样,对含有单株地肤根系的土样做直剪试验,测试地肤根系对提高土壤抗剪强度的效力。重塑样中土壤的含水率及容重均大于原状样,主要考虑了两个因素:首先在取坡面原状土样时,由于时至盛夏,试验坡面所在地降雨较少,坡面松干土层相对较厚,土样成型不易,因而在制作重塑样时加大土壤含水率使成型相对稳定;第二,由于试验目的是要模拟黄土高原道路在种植植被后土壤的抗剪强度变化,而道路由于人畜、车辆的通行碾压,容重必然高于试验坡面小区,因而在制作重塑样时,应提高土样容重,尽量与实际道路的容重相近。

试验结果表明,在地肤生长过程中,在100、200、300、400 kPa垂直荷载压力下,含有地肤根系的重塑土样的抗剪强度分别增加9.51%、14.62%、17.03%、7.34%,其中每个垂直压力系列下对应的环刀样地肤根系平均直径分别为2.33、2.56、2.43、2.38 mm。从试验结果可以看出,随着表面垂直荷载压力的增大,土样的抗剪强度值也在逐渐增大,且呈线性相关。但由于土体的抗剪强度受其自身的含水量、容重、总孔隙度、流限、塑限、塑性指数及土体的不均匀性、不等向性和试验设备等因素的影响,不同垂直荷载条件下,地肤根系对于增强土体抗剪强度值并不规律,原状样中,400 kPa压力条件下土样抗剪强度增强值最大,重塑样中400 kPa垂直荷载压力下,含有地肤根系土样的抗剪强度增强值最小。

4 根密度、抗剪强度与侵蚀量的关系

在第4次测定地肤根系密度后,变换坡面植被覆盖度的大小,进行放水冲刷试验。测得坡面出水单宽流量为1.67 × 10⁻⁴ m³/(s·m)。

图2表示坡面侵蚀产沙量与覆盖度之间的关系。由图2可

见,在坡面冲刷单宽流量为 $1.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ 时,裸坡的侵蚀量分别是地肤覆盖度为 20%、40%、60%、80% 时的 2.4、7.1、12.1、29.3 倍,随着地肤覆盖度的增加,坡面的侵蚀量逐渐减少,两者呈负指数相关关系:

$$E = 171.51e^{-0.0418p}; R^2 = 0.9028 \quad (1)$$

式中 E 为侵蚀量, g p 为覆盖度大小, %; R 为相关度。

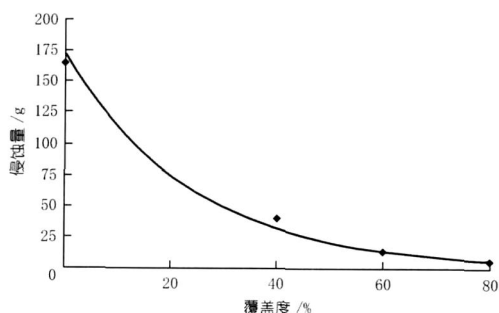


图 2 坡面覆盖度与侵蚀量关系

坡面有效根密度计算采用抽样计数的方法,以覆盖度为 20% 时,每 100 m^2 坡面有效根密度以 m 根计,40%、60%、80% 覆盖度条件下,每 100 m^2 坡面地肤有效根密度分别为 1.87、3.12 m 根及 3.96 m 根,覆盖度与有效根密度之比有一一对应关系,因而有效根密度之比与侵蚀量的关系同覆盖度与坡面侵蚀量之间的关系几乎相一致,两者亦呈现负指数相关关系。

对于根系抗剪切强度增强值与坡面侵蚀量之间关系的研究目前还比较少,据国外资料^[9]仅有少数树根力学的研究报道,如柳树根系抗剪强度增强值为 9~36 MPa,杨树 5~38 MPa,桉树 4~74 MPa,黄杉 6~19 MPa,银槭 15~30 MPa,西铁杉 27 MPa,越橘 10 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。由于树木根系研究比较困难,这方面数据不容易获得。针对本试验来讲,假设坡面不同植被覆盖度条件下坡面根系数量由小到大呈倍数增加,且坡面土壤的各个物理条件也都是理想的情况下,地肤根系抗剪切强度增强值与坡面侵蚀量之间的关系同覆盖度与侵蚀量及有

效根密度与侵蚀量之间的关系是非常相近的。

5 结论

在 4 种不同垂直荷载压力下对含有地肤根的坡面原状土样及重塑土样进行了抗剪切强度试验,并在野外生长有地肤坡面的径流小区进行了放水冲刷试验,得到以下结论:

(1) 在试验条件一致的情况下,相比不含地肤根系的裸地土样,含有地肤根系土样的抗剪切强度均有显著增长,且地肤根系的抗剪切强度随根系直径的增加而逐渐增大。

(2) 地肤有效根密度对土壤的抗剪切强度影响很大,坡面侵蚀量大小与地肤根密度及覆盖度之间均呈负指数相关关系,研究其生长及根系力学性质对促进植物路建设有重要意义。

参考文献:

- [1] 郑世清,文婕英,殷振江. 黄土高原山坡生产型植物路防蚀机理与技术. 水土保持研究, 2005, 12(5): 95 - 97.
- [2] 代全厚,张力等. 嫩江大堤植物根系固土护坡功能研究. 水土保持通报, 1998, 18(6): 8 - 11.
- [3] 封金财,王建华. 植物根系的存在对边坡稳定性的作用. 东交通大学学报, 2003, 20(5): 42 - 45.
- [4] 杨亚川,莫永京等. 土壤-草本植物根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度试验研究. 中国农业大学学报, 1996, 1(2): 31 - 38.
- [5] 李勇. 黄土高原植物根系与土壤抗冲性. 北京: 科学技术出版社, 1995.
- [6] 周跃等. 云南松幼树垂直根的土壤增强作用. 水土保持学报, 2000, 14(5): 110 - 121.
- [7] 周跃等. 乔木侧根对土体的斜向牵引效应()原理和数学模型. 山地学报, 1999, 17(1): 4 - 9.
- [8] 潘兴国等. 关于植物根系在土壤抗侵蚀和抗剪切中的作用研究进展. 贵州林业科技, 2007, 35(2): 10 - 13.
- [9] Diti Hengchaovanich. 15 years of bioengineering in the wet tropics from A (acacia auriculiformis) to V (vetiveria zizanioides). Proceedings of the First Asia Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering Erosion Control and Slope Stabilization, 1999: 54 - 63.

(编辑:朱晓红)

· 简讯 ·

长江流域湖泊的保护与管理研讨会在南昌举行

2009 年 5 月 25~27 日,由民进中央和长江委联合主办的长江流域湖泊的保护与管理研讨会在江西南昌举行。

全国人大常委会副委员长、民进中央主席严隽琪,全国政协副主席、民进中央常务副主席罗富和,全国政协原副主席、民进中央原第一副主席张怀西等国家领导人出席了开幕式。中共江西省委书记、省人大常委会主任苏荣,江西省人民政府省长吴新雄,全国人大常委、民进中央副主席朱永新,水利部副部长胡四一,水利部长江水利委员会主任蔡其华,国家林业局副局长印红,中共江西省委常委、省委秘书长赵智勇,江西省人大常委会副主任胡振鹏,江西省政协副主席、省委统战部副部长宋晨光,江西省政协副主席、民进江西省委会主委汤建人等领导也出席开幕式。在会议开幕时,严隽琪副委员长作了重要讲话,民进老领导张怀西副主席对长江的湖泊保护提出了殷切希望,江西省吴新雄省长就鄱阳湖生态经济区的事项作了详细的介绍,国家水利部、林业局的领导就长江流域湖泊的保护管理提出了很好的

指导意见,长江水利委员会蔡其华主任就生态鄱阳湖在维护健康长江中的战略地位作了主题报告。

这次研讨会成果丰硕。共有 20 多位专家在会上发言,与会代表围绕湖泊水环境保护与治理、湖泊综合管理的体制与政策、流域规划与健康湖泊、通江湖泊与江湖关系、长江中下游湿地管理与保护区建设等议题展开了深入的探讨。大家交流充分,提出了如进一步推进长江流域综合管理、继续创新管理模式;长江流域湖泊与水库水华与富营养化问题的对策;继续创新太湖水环境保护长效管理机制;鄱阳湖控湖工程需要解决法律、环境治理、生物多样性、区域与流域防洪、生态经济学等难题;发挥生态优势,大力发展生态旅游;调节鄱阳湖枯水流,维护江湖健康等等观点。一些重要的观点、看法以及建议,体现了科学发展观和人类自然和谐相处的理念,并上升到了建设生态文明的高度。

(长江)