

西宁盆地两种灌木植物原位拉拔试验及其护坡效应

李臻, 余芹芹, 杨占风, 乔娜, 李国荣, 朱海丽, 张莹, 毛小青, 胡夏嵩
(青海大学 地质工程系, 西宁 810016)

摘要:通过对种植在试验区的柠条锦鸡儿和霸王2种灌木进行生长指标统计和野外拉拔试验,评价两种灌木的护坡效应。生长指标统计结果表明,2种灌木的株高、根长、根径、侧根数均随生长期的增加而增大,且柠条锦鸡儿的根长、侧根数明显大于同生长期的霸王,而株高、根径要小于霸王;原位拉拔试验得出,2种灌木的拔出力均随株高、根长、根径、侧根数的增加而增大,且霸王的拔出力要比同生长期的柠条锦鸡儿的拔出力大。综合以上,即通过对试验区2种灌木株高、根长等生长指标以及根系拔出力等综合评价,柠条锦鸡儿护坡效应较霸王略为显著。

关键词: 西宁盆地; 灌木植物; 生长指标; 拉拔试验; 护坡力学效应

中图分类号: S157; S727.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0206-04

Research on in Situ Pull-out Tests of Two Shrubs and Its Effects on Slope Protection in Xi'ning Basin

LI Zhen, YU Qin-qin, YANG Zhan-feng, QIAO Na, LI Guo-rong,

ZHU Hai-li, ZHANG Ying, MAO Xiao-qing, HU Xia-song

(Department of Geological Engineering, Qinghai University, Xi'ning 810016, China)

Abstract: Two shrubs planted in the testing areas are studied through measurement of growth indices and pull-out test in site to evaluate the effects of two shrubs on slope protection. The statistical results of growth indices show that height, root length, root diameter and lateral root number of two shrubs increase with the proceeding of the growth period. And root length, root diameter of *Caragana korshinskii* are significantly greater than that of *Zygophyllum xanthoxylon*, while height and lateral root number are less. Field pull-out tests show that pull-out resistance of two shrubs also increase with height, root length, root diameter and lateral root number; The pull-out resistances of *Zygophyllum xanthoxylon* are larger than that of *Caragana korshinskii* with the same growth period. The mechanical effects of *Caragana korshinskii* on slope protection are better than that of *Zygophyllum xanthoxylon* according to growth indices and pull-out resistance of two shrubs in the testing areas.

Key words: Xi'ning basin; shrub; growth index; pull-out test; slope protection effect

随着我国西部大开发战略的实施,交通、水电等工程建设的增多,大量的边坡开挖造成了植被的破坏和边坡的失稳,生态环境更加恶化。如何使基础设施建设与环境保护协调发展则是一项重要的任务^[1]。西宁作为青海省会城市,近年来随城市基础设施建设的不断发展,如何科学合理地保护城市地质环境,防治滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的发生是一项重要

任务,也是实现基础工程建设与自然环境协调发展的需要。植被已广泛应用于边坡防护中,植被一方面能起到减小或阻止坡面水土流失现象^[2],另一方面能够提高坡体的抗剪强度^[3-4],从而提高边坡的稳定性。国内外学者从植物单根拉伸、剪切试验^[5-7],根-土复合体抗剪强度^[8-11],根系加强土体强度数值模拟^[12-14]等方面进行了大量的研究。

收稿日期: 2010-10-25

修回日期: 2011-03-10

资助项目: 教育部“新世纪优秀人才支持计划”资助项目(NCET-04-G983);青海大学国家大学生创新性实验项目(081074312);青海大学高层次人才科研资助项目(QD-G06-04)

作者简介: 李臻(1989-),男,青海西宁人,本科,主要从事环境地质及地质灾害等方面的研究。E-mail: qhuyqq@163.com

通信作者: 胡夏嵩(1965-),男,河南开封人,博士,教授,主要从事环境岩土工程与工程地质等方面的研究。E-mail: hxs@mail.tsinghua.edu.cn

本文通过对种植在试验区两种灌木植物地上、地下生长指标的对比以及现场原位拉拔试验研究,来评价试验区灌木根系对边坡土体稳定性的贡献。

1 试验区基本概况

西宁盆地地处青海东部湟水河流域河谷,降水量少,蒸发强烈,具有典型的高原大陆性气候^[15]。多年平均降雨量为 350 mm,蒸发量为 1 235.6 mm^[16]。试验区地质地理条件复杂,人口集中且周边居民经济活动频繁。每逢雨季暴雨季节,易诱发滑坡、崩塌、泥石流等不同规模的地质灾害,给研究区及其周边居民的生命财产安全构成了一定威胁^[8]。试验区设在西宁城北二十里铺青海大学农林科学院,种植灌木植物坡体坡度约 30°,属于人工堆积的土质边坡,坡向属半阴半阳^[15]。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料选取

根据试验区气候条件和适合当地气候条件的灌木植物分布类型,筛选出柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*) 2 种灌木作为试验供试种。这两种灌木植物具有多年生,矮丛生,抗逆性强,抗寒旱,耐盐渍,根系发达且其地下生长强度大,吸收土壤深层水分能力强等特性。

2.2 试验方法

根据该项研究需要,设有 2 个试验小区,试验种植区面积尺寸均为 1 m × 1 m。供试种于 2007 年 6 月以穴播方式种植,穴距为 5 cm,播种深度为 1~2 cm。

试验期间分别于 2008 年 6 月和 2009 年 6 月对种植在试验区的 2 种灌木株高等地上生长量进行统计,同时进行了野外现场根系拉拔试验,测定出了 2 种灌木最大抗拔力,并测量了其对应的最大根长、最大根径,统计侧根数。拉拔试验步骤如下:在试验区内选择生长正常的柠条锦鸡儿和霸王两种灌木植物,将其灌木地上部分夹持在传感器下端的夹具上,然后通过传感器对灌木施加拉力,直至整株灌木被拔出,通过传感器由试验数据采集显示仪显示得出抗拔力值。

3 结果与分析

3.1 灌木植物不同生长期生长指标对比

试验区 2 种灌木其地上、地下部分基本生长指标及其随年度间的变化情况如表 1 所示。

由表 1 可看出,生长 2 a 的柠条锦鸡儿比生长 1 a 的株高增高 6.04 cm,根长增加 3.98 cm,根径增加

0.86 mm,侧根数增加 11 个;生长 2 a 的霸王比生长 1 a 的株高增高 17.5 cm,根长增加 3.99 cm,根径增加 2.56 mm,侧根数增加 6 个。

表 1 试验区柠条锦鸡儿和霸王生长指标测量结果

植物名称	生长期/a	株高/cm	最大根长/cm	最大根径/mm	侧根数/个
柠条	1	21.67	27.48	2.98	3
锦鸡儿	2	27.71	31.46	3.84	14
霸王	1	22.08	18.63	5.48	4
	2	39.58	22.42	8.04	10

试验区其灌木可视为上置的悬臂梁,如图 1 所示。AB 等同于灌木植物的地上部分,A 以下为固定在地下的灌木植物根系部分。当灌木受到水平方向的水平风力 F_i 时,在 A 点处产生弯矩 M 。当合力 $\sum F_i$ 大于含根土体的抗剪力 F_k 时,边坡土体便会发生剪切破坏。当弯矩 M 大于土体的抗弯矩 M_k 时,灌木会发生倾覆,带动土体发生变形位移。其中,当风的强度一定时,株高 AB 越高, $\sum F_i$ 和 M 就越大,含根土体越易发生剪切破坏和倾覆,这不利于边坡的稳定。由表 1 可知,生长 1 a 的柠条锦鸡儿的平均株高与同生长期霸王的平均株高相近,生长 2 a 的柠条锦鸡儿的平均株高比霸王小 11.87 cm,存在显著的差异。因此从株高考虑,试验区柠条锦鸡儿相对于霸王其护坡作用较为显著。

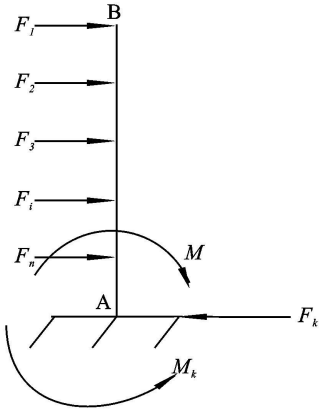


图 1 试验区灌木植物受风力作用时力学示意图

根系-土壤的相互作用,能够增加土体抗剪强度^[17-18]。试验区 2 种灌木种根长愈长,侧根数愈多,则根-土相互作用就愈显著,含根土体抗剪强度也就愈大,从而有利于边坡稳定。由表 1 可知,相同生长期的柠条锦鸡儿最大根长较霸王长约 9 cm;生长期为 1 a 的柠条锦鸡儿的侧根数与相同生长期霸王的侧根数相近,而生长期为 2 a 的柠条锦鸡儿的侧根数较霸王多 4 个,存在较显著的差异。因此从最大根长与侧根数考虑,试验区柠条锦鸡儿相对于霸王其护坡作用相对显著。

根系的抗拉强度随根径的增大而减小^[19]。根径愈小,根系抗拉强度愈大,则其固坡效果相对愈显著。由表 1 可知,相同生长期的柠条锦鸡儿最大根径较霸王小约 3~ 5 mm。因此从根径考虑,试验区柠条锦鸡儿相对于霸王其护坡作用显著。通过对试验区 2 种灌木植物生长指标等综合因素考虑,试验区柠条锦鸡儿较霸王护坡效果相对显著。

试验区 2 种灌木植物地上、地下生长指标随生长期变化关系如图 2 所示。

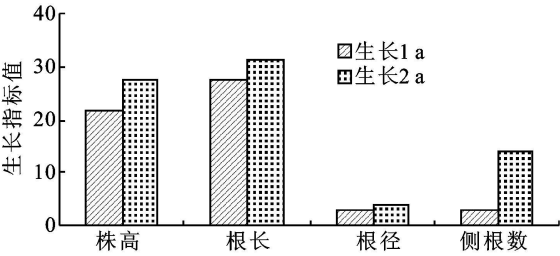


图 2 试验区柠条锦鸡儿生长指标

由图 2 可知,随着生长期的增加,柠条锦鸡儿和霸王的株高、根长、根径、侧根数都呈增加趋势,其中株高和侧根数相对增加明显,根长和根径变化不明显。

3.2 拔出力与生长期之间的关系

试验区土体的基本物理性质指标为土体平均密度为 1.65 g/cm³,土体平均孔隙度为 54.0%,土体平均含水率为 20.1%,土体类型为粉土。野外原位拉拔试验得出,试验区生长期为 1 a 的柠条锦鸡儿平均拔出力为 64.97 N,生长期为 2 a 的为 139.49 N;生长期为 1 a 的霸王平均拔出力为 94.69 N,生长期为 2 a 的为 160.11 N。试验区 2 种灌木植物拔出力与其生长时间的关系如图 3 所示。

由图 3 可知,随着生长时间的增加,霸王和柠条锦鸡儿的拔出力都呈显著增大趋势。生长期为 1 a 和 2 a 的霸王其拔出力均大于同生长期的柠条锦鸡儿的拔出力。研究表明,拔出力受根系构型、受力单

根的极限抗拉力及作用根系数量的影响^[18]。由于试验区生长期 1~ 2 a 的柠条锦鸡儿和霸王两种灌木,其根系构型分属深根主直根型和浅根主直根型,故霸王在其生长过程中较柠条锦鸡儿根系吸收坡体浅层土体水分的能力相对显著,除了形成具有较发达的主直根系外,其水平方向侧根系亦相对于柠条锦鸡儿发达。在试验区通过对上述两种灌木根系生长剖面观察,霸王的侧根和毛细根数量和发育程度等相对于柠条锦鸡儿显著。因此在试验区坡体含水量一定的条件下,试验得到的霸王根系拔出力相对柠条锦鸡儿略大。根系拔出力的大小反映了根-土相互作用的强度,因此拔出力愈大,其根系愈有利于边坡土体的稳定性,因此试验区霸王较柠条锦鸡儿其护坡作用显著。

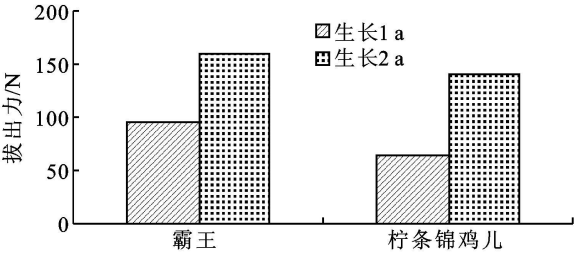


图 3 试验区 2 种灌木不同生长期拔出力试验结果

3.3 拔出力与生长指标之间的关系

试验区 2 种灌木植物拔出力与各相应生长指标之间的关系如表 2 所示。柠条锦鸡儿的拔出力与株高、根长呈指数关系而与根径、侧根数呈线性关系,霸王拔出力与根长、根径、侧根数均呈线性关系而与株高呈指数关系; 2 种灌木拔出力均与株高呈指数关系,与根径、侧根数呈线性关系,与根长呈指数或线性关系。其中生长期为 2 a 的 2 种灌木拔出力与各生长指标间的关系曲线如图 4~ 7 所示。由图可知,生长期为 2 a 的霸王、柠条锦鸡儿拔出力均随株高、根长、根径和侧根数的增加而呈增大趋势,且其拔出力与株高、根长、根径、侧根数间的关系符合线性或指数关系,相关系数达 0.81 以上。

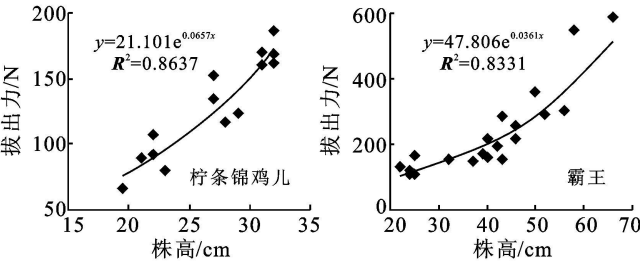


图 4 试验区两种灌木拔出力与株高关系

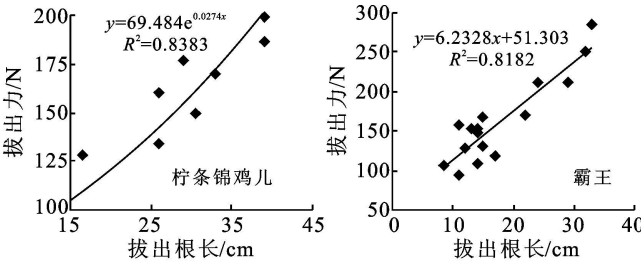


图 5 试验区两种灌木拔出力与根长关系

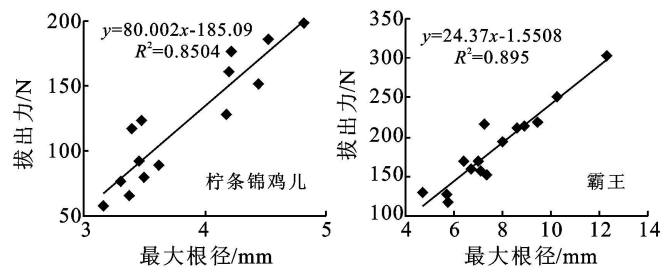


图 6 试验区两种灌木拔出力与根径关系

表 2 试验区 2 种灌木植物拔出力与
各相应生长指标之间关系

植物名称	株高	根长	根径	侧根数
柠条锦鸡儿(1 a)	指数	指数	线性	线性
柠条锦鸡儿(2 a)	指数	指数	线性	线性
霸王(1 a)	指数	线性	线性	线性
霸王(2 a)	指数	线性	线性	线性

4 结 论

(1) 随着生长期的增加, 试验区柠条锦鸡儿和霸王 2 种灌木其株高、根长、根径、侧根数均呈显著增加趋势, 其中株高和侧根数相对根长和根径增加明显。因此从株高、根长、侧根数、根径考虑, 试验区柠条锦鸡儿较霸王护坡效果相对显著。

(2) 随着生长时间的增加, 试验区霸王和柠条锦鸡儿的拔出力均显著增大, 生长期为 1 a 和 2 a 的霸王拔出力均大于相同生长期柠条锦鸡儿的拔出力, 但存在的差异不显著。故从拔出力大小考虑, 试验区霸王相对于柠条锦鸡儿其护坡力学效果相对显著。

(3) 柠条锦鸡儿的拔出力与株高、根长呈指数关系而与根径、侧根数呈线性关系, 霸王拔出力与根长、根径、侧根数均呈线性关系而与株高呈指数关系; 2 种灌木拔出力均与株高呈指数关系, 与根径、侧根数呈线性关系, 与根长呈指数或线性关系。生长期为 2 a 的霸王、柠条锦鸡儿拔出力均随株高、根长、根径和侧根数的增加而呈增大趋势, 且其拔出力与株高、根长、根径、侧根数间的关系符合线性或指数关系。

参考文献:

[1] 周德培, 张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[2] 杨永兵, 施斌, 杨卫东, 等. 边坡治理中的植物固坡法[J]. 水文地质工程地质, 2002(1): 64-67.

[3] Ekanayake J C, Philips C J. A method for stability analysis of vegetated hillslope: an energy approach[J]. Cana-

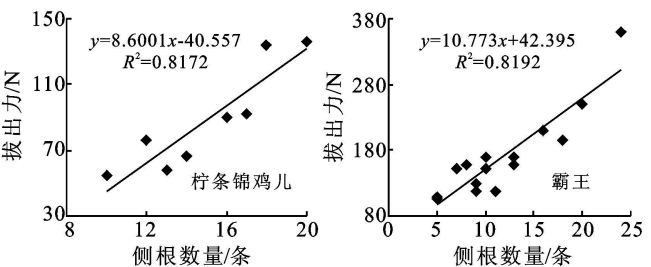


图 7 试验区两种灌木拔出力与侧根数关系

dian Geotechnical Journal, 1999, 36(6): 1172-1184.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 张兴玲, 胡夏嵩, 毛小青, 等. 植物根系固土护坡力学机理研究现状与进展[J]. 人民黄河, 2009, 31(6): 88-92.

[7] 杨维西, 赵廷宁, 李生智, 等. 人工刺槐林采伐后根系固土作用的衰退状况[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 6-10.

[8] 胡夏嵩, 李国荣, 朱海丽, 等. 寒旱环境灌木植物根-土相互作用及其护坡力学效应[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3): 613-620.

[9] Wu T H, Beal P E, Lan C. In-situ shear test of soil-root systems[J]. Geotechnical Engineering, 1988, 114(12): 1376-1394.

[10] 万士启. 含植物根土的抗剪强度[J]. 工程质量, 2009, 27(3): 76-78.

[11] 冀晓东, 陈丽华, 张超波. 林木根系对土壤的增强作用与机理分析[J]. 中国水土保持, 2009(10): 19-21.

[12] 康亚明, 杨明成, 胡艳香. 极限平衡法和有限单元混合分析土坡稳定[J]. 中国矿业, 2006, 15(3): 74-77.

[13] 徐中华, 刁逢光, 陈锦剑, 等. 活树桩固坡对边坡稳定性影响的数值分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 275-279.

[14] 姜志强, 孙树林, 程龙飞. 根系固土作用及植物护坡稳定性分析[J]. 勘察科学技术, 2005(4): 12-14.

[15] 张莹, 毛小青, 胡夏嵩, 等. 寒旱黄土区草本与灌木蒸腾排水作用研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(12): 88-92.

[16] 石维栋, 张森琦, 周金元, 等. 西宁盆地北西缘地下热水分布特征[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1134-1136.

[17] 王可钧, 李焯芬. 植物固坡的力学效应[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 687-691.

[18] 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征[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(10): 2051-2057.

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