

狗牙根根系抗拉性能试验

冯国建, 朱维伟, 杜俊, 邱志刚

(昆明学院 城乡建设与工程管理学院, 云南 昆明 650214)

摘要:以云南省典型护坡植物狗牙根为研究对象,使用万能试验机对其进行单根拉伸,研究了根系直径、最大抗拉力、最大抗拉强度相关关系。结果表明:狗牙根根系的拉力-位移曲线表现为直线型、上凸型、持续波动型等类型;狗牙根根系抗拉力、抗拉强度与根系直径的关系可分别应用幂函数、二次多项式及 Logistic 模型进行拟合,相关系数均高于 0.9 和 0.7;狗牙根根系的抗拉力与抗拉强度随根系直径增加分别有增大和减小的趋势,意味着根系的抗拉力、抗拉强度与根系直径分别呈正相关以及负相关关系。

关键词:狗牙根;拉伸;拟合;幂函数

中图分类号:S 543⁺.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)05-0080-03

对工程边坡的治理,一般采用传统的浆砌石挡墙、锚杆或喷浆固坡等土工措施。但随着人们环保意识的增强,采取土工措施与植物相结合的方法,使边坡既能满足工程防护要求,又能达到美化环境、减少水土流失的效果。因此,采用植被护坡逐渐成为边坡防护的一种新趋势。

植物根系对土壤抗冲性和抗蚀性有显著的增强效应^[1],能提高边坡表层土体整体稳定性,增加边坡安全稳定系数^[2-3]。在建立边坡稳定模型时,抗拉强度是最常使用的植物根系特征之一^[4]。国内外学者针对不同地区、不同植物,采取不同手段对植物根系的抗拉力和抗拉强度进行了相关研究。MAEEO^[5]对意大利 Apennines 山脉上的蔷薇(*Rosa multiflora*)、鹰爪豆(*Spartium junceum*)等植物根系进行抗拉试验研究,指出抗拉力、抗拉强度与根系直径之间分别为二阶多项式函数关系和幂函数关系。魏华炜等^[6]对狗牙根根系进行抗拉试验研究,指出根系抗拉力与根系直径可用二次函数进行拟合。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。根系的平均抗拉强度为 39.349 MPa,约为 I 级钢筋抗拉强度的 17%,说明植物根系具有较强的抗拉能力^[6-8]。陆桂红等^[9]对都江堰市锅圈岩泥石流源区

典型草本植物进行抗拉强度试验,得到结论为根系抗拉力与根径呈幂函数正相关关系,当根径大于 0.5 mm 时,抗拉强度与根径表现出幂函数关系。

狗牙根(*Cynodon dactylon*)是多年生草本植物,生长速度快,分蘖能力强,茎节遇土易生根,根系比较发达,生命力也比较顽强。狗牙根耐践踏、抵抗恶劣环境能力极强、耐粗放管理,常应用于水库水土保持、边坡的固土护坡绿化工程,是极好的水土保持及固土护坡植物品种。

云南地理条件复杂,气候多样,植物种类丰富,具有“植物王国”的美称,并且云南是我国最早应用高速公路坡面植被恢复技术的省份^[10],但针对该区域的植物根系抗拉试验研究并不全面,相关机理研究也不够成熟,制约着植物根系固土力学机理和植被护坡技术的发展。现采用万能试验机对昆明地区常见护坡植物狗牙根的根系进行室内拉伸试验,研究了抗拉力、抗拉强度与根系直径之间的关系,以期对植被护坡提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 2015 年 2 月采自昆明学院校园栽种的多年生狗牙根。

1.2 试验方法

试验地点水文地质条件简单,土质以红粘土为主。在根系采样过程中,选取生长正常的狗牙根,采用整株挖掘的方法采集植物,在挖掘过程中尽量减少对根系的机械损伤,然后带到试验室去除土块进行根系抗拉强度试验。试验过程中用万能试验机(WDW3100 型,济南科盛试验设备有限公司)对根系进行拉伸,用游标卡尺量

第一作者简介:冯国建(1979-),男,天津人,博士,副教授,现主要从事环境岩土等研究工作。E-mail:fengguojian2000@163.com.

基金项目:云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设资助项目;云南省教育厅科学研究一般资助项目(2014Y385);昆明学院校级一般资助项目(XJL14012)。

收稿日期:2015-09-28

测根系拉断处的直径。

1.3 项目测定

将处理好的新鲜狗牙根根系进行单根拉伸试验,用万能试验机(图1)测定根系被拉断时的最大拉力。根据拉力试验规程,试验选取的根系长度为5~10倍根系直径,记录根系被拉断时的最大拉力,并用游标卡尺测定拉断处根系直径,则根系的抗拉强度可用下式进行计算:

$$P = 4F/\pi D^2 \quad (1),$$

式(1)中, P :植物根系抗拉强度(MPa); F :最大抗拉力(N); D :拉断处的根系直径(mm)。

在试验过程中,有的狗牙根根系会在万能试验机的夹具端部被夹断,在试验过程中没有统计这种情况下的拉力值,只统计植物根系在中间断裂的情况。

1.4 数据分析

对于根系直径与抗拉力、抗拉强度之间的关系,可应用 Curve Expert 1.4 软件进行数据拟合,得到拟合方程及相关系数,根系直径与抗拉力、抗拉强度之间的关系曲线,可采用 Origin Lab 软件绘制。

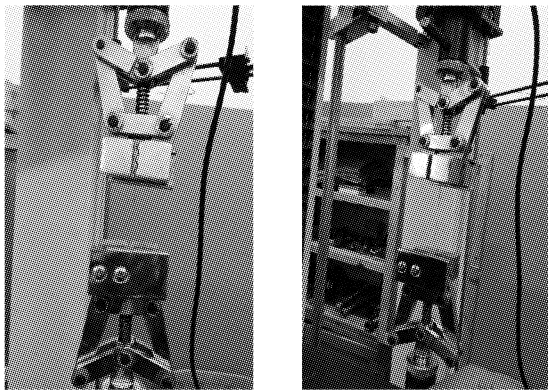


图1 根系抗拉强度试验仪器

Fig.1 The test instrument of the root tensile strength

2 结果与分析

2.1 狗牙根根系拉伸破坏曲线类型

在狗牙根根系轴向拉伸过程中,万能试验机会绘制根系的拉力-位移曲线。通过分析该曲线形状,可知狗牙根的拉力-位移曲线表现为直线型、上凸型、持续波动型等类型(图2)。根据拉力-位移曲线上拉力最大值就能获得根系被拉断时的拉力值。

图2为3种典型的狗牙根拉伸过程中的拉力-位移曲线。对于直线型曲线,可知在轴向拉伸过程中,当拉力由初始拉力到根系断裂时的最大拉力过程中,拉力与位移呈现近似直线的关系。当拉力达到最大值时,根系被拉断,随后拉力值迅速降低。对于上凸型曲线,可将该曲线分为3部分,在曲线的第1部分,拉力与位移关系为非线性关系,曲线的第2部分,拉力与位移为线性关系,

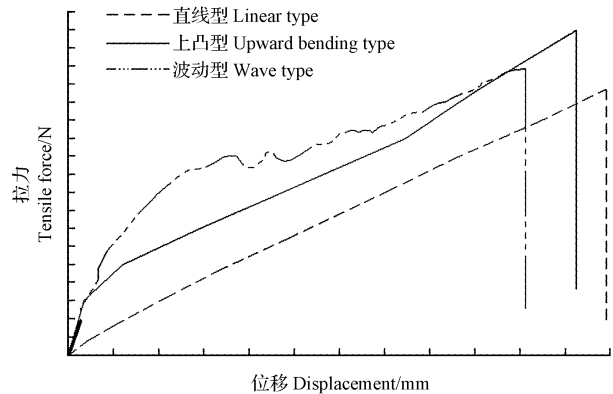


图2 狗牙根的拉力-位移曲线类型

Fig.2 The tensile force-displacement curve type of

Cynodon dactylon roots

且第1部分的曲线斜率要大于第2部分的曲线斜率。当曲线第2部分的拉力达到最大值以后,即为曲线的第3部分,此部分拉力值迅速降低。对于波动型曲线,拉力与位移关系曲线不光滑,在拉伸过程中,拉力值持续波动。出现多种拉力-位移曲线类型,估计与试验的根系直径大小、根系的内部结构有关,有待进一步进行相关研究。

从拉力-位移曲线获得根系拉断时的最大拉力,然后用游标卡尺量测根系断裂处的直径,根据式(1)计算抗拉强度。将每根根系的数据记录以后,将相关数据采用 Origin Lab 软件汇于图3中,并对根系的抗拉力和抗拉强度应用 Curve Expert1.4 软件进行数据回归,回归曲线同样汇于图3中。

- 幂拟合抗拉强度 Power fitting tensile strength
- △ 二次多项式拟合抗拉强度 Quadratic polynomial fitting tensile strength
- ★ Logistic模型拟合抗拉强度 Logistic model fitting tensile strength
- 试验拉力 Test tensile force
- 幂拟合拉力 Power fitting tensile force
- ▲ 二次多项式拟合拉力 Quadratic polynomial fitting tensile force
- ★ Logistic模型拟合拉力 Logistic model fitting tensile force

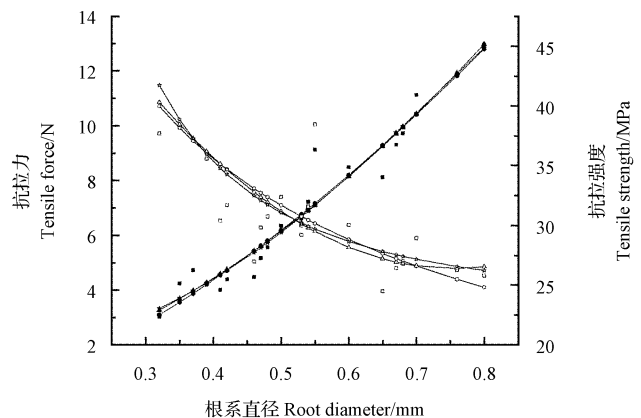


图3 狗牙根根系直径与抗拉力、抗拉强度关系曲线

Fig.3 The relationship curve of diameter,tensile force and tensile strength of *Cynodon dactylon* roots

应用 Curve Expert1.4 软件进行数据拟合后,得到的根系直径与抗拉力、抗拉强度之间的回归方程及相关系数见表 1。

由图 3 可知,狗牙根根系表现出一定的抗拉能力,抗拉力、抗拉强度与根系直径之间的关系表现为:随着狗牙根根系直径的增大,根系的抗拉力逐渐增大,说明抗拉力与根系直径呈正相关关系,这表明较粗根根有较

强的抗拉力。对于狗牙根根系的抗拉强度,其值与根系直径呈负相关关系,即根系直径越小,根系的表面积越大,与土壤的接触范围更广,通过摩擦传递的抗拉强度更充分,即根系抗拉强度越大。

根系抗拉力与根系直径之间的关系可用幂函数、二次多项式以及 Logistic 模型进行拟合,抗拉力、抗拉强度与根系直径之间拟合方程的相关系数分别高于 0.9 和 0.7,可分别视为高度相关和中度相关。

表 1 狗牙根根系抗拉力、抗拉强度与根系直径回归方程

Table 1 The regression equation of diameter, tensile force and tensile strength of *Cynodon dactylon* roots

回归方程 Regression equation	抗拉力 Tensile force	相关系数 Correlation coefficient	抗拉强度 Tensile strength	相关系数 Correlation coefficient
幂函数模型 Power function model	$F = 18.13D^{1.55}$	0.97	$P = 22.13D^{-0.52}$	0.76
二次多项式模型 Quadratic polynomial model	$F = 0.43 + 4.34D + 14.18D^2$	0.97	$P = 68.29 - 110.72D + 73.4$	0.76
Logistic 模型 Logistic model	$F = \frac{22.61}{1 + 22.36e^{-4.23D}}$	0.97	$P = \frac{24.29}{1 - 1.33e^{-3.62D}}$	0.77

3 结论

该研究应用万能试验机对狗牙根根系进行拉伸试验,结果表明,由于狗牙根根系直径存在差异,根系的拉力-位移曲线表现为直线型、上凸型、持续波动型等类型。狗牙根根系具有一定的抗拉能力,随着根系直径的增大,根系的抗拉力逐渐增大,说明抗拉力与根系直径呈正相关关系。但抗拉强度随根系直径增加而减小,说明抗拉强度与根系直径呈负相关关系。狗牙根根系抗拉力与根系直径之间的关系除用常见的幂函数进行拟合外,还可采用二次多项式以及 Logistic 模型进行拟合,拟合度较高。

参考文献

- [1] 张迪,戴方喜.狗牙根群落土壤-根系系统的结构及其抗冲刷与抗侵蚀性能的空间变化[J].水土保持通报,2015,35(1):34-36.
- [2] 嵇晓雷,杨平.狗牙根根系形态对边坡稳定性的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2013,42(5):531-535.

- [3] MARIE G, ALEXIA S, THIERRY F, et al. The influence of plant diversity on slope stability in a moist evergreen deciduous forest[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(3): 265-275.
- [4] 王萍花,陈丽华,冀晓东,等.华北地区 4 种常见乔木根系抗拉强度的力学综合模型[J].北京林业大学学报,2012,34(1):39-45.
- [5] MAEEO T. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines[J]. Geomorphology, 2007, 84(4): 1268-283.
- [6] 魏华伟,罗海波,张玉环.狗牙根根系分布特征及其抗拉强度试验研究[J].水土保持通报,2011,31(4):185-189.
- [7] 赵丽兵,张宝贵.紫花苜蓿和马唐根的生物力学性能及相关因素的试验研究[J].农业工程学报,2007,23(9):7-12.
- [8] 宋维峰,陈丽华,刘秀萍.林木根系固土的理论基础[J].水土保持通报,2008,28(6):180-186.
- [9] 陆桂红,欧国强,杨顺,等.泥石流源区典型草本植物根系抗拉试验[J].山地学报,2014,32(6):725-731.
- [10] 杨汉忠,刘春霞.云南省高速公路边坡植被恢复技术与展望[J].福建林业科技,2008,35(4):254-260.

Study on the Tensile Performance of *Cynodon dactylon* Roots

FENG Guojian, ZHU Weiwei, DU Jun, QIU Zhigang

(Department of Urban and Rural Construction and Engineering Management, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214)

Abstract: Taking *Cynodon dactylon* roots as the research objects, using a universal testing machine for single stretch to study the diameter relationship with the maximum tensile force and the maximum tensile strength. The results showed that the tensile force-displacement of *Cynodon dactylon* roots showed the type of linear, convex and continuous wave. The tensile force and the tensile strength relationship with the diameter could be fitting used by power function, quadratic polynomial and logistic model respectively, the correlation coefficient were higher than 0.9 and 0.7. The root of tensile force and the tensile strength increased and decreased respectively with the root diameter enlarging, through the fitting, the roots tensile force showed positive function correlated relation with the root diameter, the tensile strength showed negative function relation with the root diameter.

Keywords: *Cynodon dactylon* roots; tensile; fitting; power function