

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)6 - 725 - 07

# 泥石流源区典型草本植物根系抗拉试验

陆桂红<sup>1,2</sup>, 欧国强<sup>1\*</sup>, 杨顺<sup>1,2</sup>, 王钧<sup>1,2</sup>, 宇岩<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室/中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 植被对于泥石流源区的生态修复和物源稳定具有重要意义, 其中植物根系的抗拉力学特性是影响植物护坡的主要因素之一。为了探究泥石流源区植物根系的抗拉特性, 以都江堰市锅圈岩泥石流源区为研究区, 在野外调查的基础上, 通过重要值计算确定了源区典型草本植物并进行抗拉强度试验。研究表明, 锅圈岩泥石流源区主要分布有寒芒、节节草等对恶劣环境适应性强的乡土植物, 它们的根系平均分布深度在 30 cm 以内; 根系抗拉力与根径呈幂函数正相关关系, 抗拉力随根径的增大而增大。当根径  $> 0.50$  mm 时, 抗拉强度与根径也表现出幂函数关系; 当根径  $< 0.50$  mm 时, 部分植物根系的抗拉强度值波动较大。不同植物根系的平均抗拉强度从大到小依次为铁杆蒿 (106.24 MPa)、节节草 (非节点处, 30.79 MPa)、草地早熟禾 (28.69 MPa)、小飞蓬 (20.20 MPa)、多头苦蕒 (18.77 MPa)、寒芒 (老根, 14.87 MPa)、节节草 (节点处, 12.67 MPa)、寒芒 (新根, 8.29 MPa)。泥石流源区草本植物的根系抗拉力学特性良好, 对稳固浅层土体和泥石流物源有积极作用。

**关键词:** 泥石流源区; 典型植物; 抗拉力; 抗拉强度

**中图分类号:** S157.2

**文献标志码:** A

对于泥石流源区而言, 植被恢复是防止泥石流的重要措施之一。近年来, 随着植物护坡技术的应用和生态工程的推广, 植物根系对坡体稳定性的贡献引起人们越来越多的关注, 尤其是根系的抗拉力学特性对于评估植物的固坡效应具有重要意义<sup>[1-5]</sup>。

“5·12”汶川地震和“4·20”芦山地震后, 大量的崩塌和滑坡直接为泥石流活动提供了丰富的松散固体物质, 以都江堰市深溪沟流域为例, 震后基本每年都有山洪、泥石流发生。然而, 目前关于植物根系抗拉力学特性的研究多集中于华北土石山区、黄土区、高原区等<sup>[6-9]</sup>, 对泥石流源区的典型植物调查及其根系抗拉强度的研究很非常少见, 严重制约着泥

石流源区植物根系固土力学机理的发展和植被恢复。本文以汶川地震极重灾区——都江堰市虹口锅圈岩泥石流源区为研究区, 通过野外调查采样和室内抗拉试验, 运用重要值法确定泥石流源区典型植物, 研究泥石流源区典型植物的根系特征及其抗拉力学特性, 以期为植物措施在泥石流源区生态恢复和边坡稳固等方面应用提供基础依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区典型植物的确定

四川省都江堰市锅圈岩泥石流源区位于龙门山断裂带的中南段, 是汶川地震地表灾变最严重的地

**收稿日期** (Received date): 2013 - 08 - 01; **改回日期** (Accepted): 2013 - 11 - 15。

**基金项目** (Foundation item): 水利部公益性行业科研专项 (NO. 201301058), 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室自主资助项目, 科技部国际合作项目 (批准号: 20133DFA21720)。[ Ministry of Water Resources Special Funds for Scientific Research on Public Causes (No. 201301058), Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes independent project funding, and International cooperation project of Ministry of science and technology (Grant No. 2013DFA21720). ]

**作者简介** (Biography): 陆桂红 (1988 - ), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事植物根系固土机理研究。[ Lu Guihong (1988 - ), female, born in Xingtai, Hebei Province, master, major in mechanism of soil reinforced with plant root system. ] E-mail: luguihong88@gmail.com

**\* 通信作者** (Corresponding author): 欧国强 (1958 - ), 研究员, 主要从事山地灾害基础研究。[ Ou Guoqiang (1958 - ), professor, mainly engaged in basic research of mountain hazards. ] E-mail: ougq@imde.ac.cn

区之一,崩塌、泥石流等次生地质灾害频繁发生。2013年4月,通过样方法调查泥石流源区植物种类。由于乔灌木稀少,所以调查以草本层为主。用测绳或皮尺在群落中设置若干条平行线,在线上间隔3~5 m等距设置25个1 m×1 m样方,设样方为 $i(i=1,2,\dots,25)$ ,每个样方出现的植物种为 $j(j=1,2,\dots,m)$ ,计算每个物种的重要值:

$$\text{株数}_j = \sum_{i=1}^{25} n_{ij}$$

$$\text{样方面积和} = 1 \times 25 = 25$$

$$\text{密度}_j = \text{株数}_j / \text{样方面积和} \times 10000$$

$$\text{相对密度}_j = \frac{\text{密度}_j}{\sum_{j=1}^m \text{密度}_j} \times 100$$

$$\text{盖度和}_j = \sum_{i=1}^{25} \text{盖度}_{ij} \times n_{ij}$$

$$\text{相对盖度}_j = \frac{\text{盖度和}_j}{\sum_{j=1}^m \text{盖度和}_j} \times 100$$

$$\text{频度}_j = \frac{\text{出现样方数}_j}{25} \times 100$$

$$\text{相对频度}_j = \frac{\text{频度}_j}{\sum_{j=1}^m \text{频度}_j} \times 100$$

$$\text{重要值}_j = \frac{\text{相对密度}_j + \text{相对盖度}_j + \text{相对频度}_j}{3}$$

根据物种重要值排序选取典型草本植物,运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,当天带回实验室种植在花盆中。试验时再挖掘出鲜活根系,进行抗拉力学特性试验。为了探明植物根系形态,每种典型植物在野外随机挖掘10株根系,现场测量每株根系最大埋深,最后取算术平均值作为这种植物根系的平均最大埋深。

## 1.2 根系抗拉试验

根系洗净后擦干,将每种植物的单根分别按根径大小顺序依次排列。由于植物根系的根径大小有所不同,在进行抗拉试验时,选取的试验单根数量尽量涵盖植物的根径范围,即根径范围较大时,选取较多单根(如铁杆蒿、小飞蓬);根径范围较小时,选取较少的典型单根(如节节草、草地早熟禾),取粗细均匀的根段进行抗拉试验。试验采用自制的根系抗拉试验装置(图1),包括机械装置、拉力传感器、夹持系统、数据采集等(图2)。

夹持系统将根固定后,机械装置缓慢施加拉力,直到根系断裂,拉力传感器将断裂时的拉力值传输到数据采集系统,通过与电脑连接的终端记录软件读取此时的拉力值,作为根系的极限抗拉力 $P_{\max}$ (N)。在断裂处两端,用游标卡尺测量根系的直径,取两者的平均值作为断裂处的根径 $d$ (mm)。为了



图1 植物根系抗拉试验装置

Fig. 1 Plant root tensile test device



图2 根系抗拉试验测试示意图

Fig. 2 Schematic diagram of root tensile test

消除夹持力对根系抗拉力学特性的影响,本文剔除掉在夹持系统附近断裂的根系抗拉力值。抗拉强度 $\sigma$ (MPa)由下式计算得到<sup>[10]</sup>

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{\pi d^2} = \frac{4P_{\max}}{\pi d^2}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 泥石流源区典型植物的确定

经过野外样方调查,都江堰市虹口乡锅圈岩泥石流源区有41种草本植物,23科39属。其中,菊科、蔷薇科、石竹科分别有9属、3属、3属,说明菊科、蔷薇科、石竹科的植物种类比较丰富。

重要值作为一种综合性指标,可以衡量某种植物于群落中的相对重要性<sup>[11]</sup>。按照重要值从大到小排序,锅圈岩泥石流源区前20种植物如表1所示,除了重要值较大的寒芒、节节草等少数几种植物,其他草本的重要值相差很小,说明这些植物在群落中的地位比较平等。泥石流源区内降水虽充足,但是土壤贫瘠,多为碎石土。从表1可以看出,泥石流源区基本为乡土草本植物,这些植物繁殖能力旺盛,对源区的恶劣环境适应性强,只需少量土壤即可在碎石土中扎根生存。考虑到植物的多样性和代表性,选取重要值排序前六位的植物寒芒(*Miscanthus floridulu*)、节节草(*Commelina diffusa*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、多头苦蕒(*Ixeris polyccephala*)作为

表 1 锅圈岩泥石流源区植物重要值

Table 1 Significant values of plant in triggering area of Guojuanyan debris flow gully

编号	植物名称	拉丁名	相对密度/%	相对盖度/%	相对频度/%	重要值
1	寒芒	<i>Miscanthus floridulu</i>	14.38	15.20	7.49	12.36
2	节节草	<i>Commelina diffusa</i>	13.77	12.99	5.88	10.88
3	小飞蓬	<i>Conyza canadensis</i>	9.48	6.59	8.56	8.21
4	铁杆蒿	<i>Artemisia sacrorum</i>	8.10	9.21	6.95	8.09
5	草地早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	10.03	5.99	5.88	7.30
6	多头苦蕒	<i>Ixeris polycephala</i>	2.98	5.53	6.95	5.15
7	蒲儿根	<i>Sinosenecio oldhamianus</i>	3.47	3.78	5.35	4.20
8	川滇香薷	<i>Elsholtzia Souliei</i>	4.74	3.45	3.74	3.98
9	鼬瓣花	<i>Galeopsis bifid</i>	3.91	4.10	3.74	3.92
10	碎米荠	<i>Cardamine hirsuta</i>	4.74	2.26	4.28	3.76
11	狗舌草	<i>Tephrosieris kirilowii</i>	2.26	3.36	4.28	3.30
12	鹅肠菜	<i>Malachium aquaticum</i>	2.48	2.40	2.67	2.52
13	水莎草	<i>Cyperus glomeratus</i>	1.65	3.68	0.53	1.96
14	水芹	<i>Oenanthe javanica</i>	0.72	2.53	2.67	1.97
15	龙牙草	<i>Agrimonia pilosa</i>	1.87	1.61	2.14	1.87
16	堇菜	<i>Viola verecumda</i>	2.53	1.15	1.60	1.76
17	酢浆草	<i>Oxalis corniculata</i>	2.09	0.92	2.14	1.72
18	杠柳	<i>Periploca sepium</i>	1.21	2.07	1.07	1.45
19	山苦蕒	<i>Ixeris chinensis</i>	0.94	1.15	1.60	1.23
20	石沙参	<i>Adenophora polyantha</i>	0.94	1.15	1.60	1.23

泥石流源区的典型草本植物,并挖掘其根系进行研究。

六种植物根系的形态如图 3 所示。通过测量,铁杆蒿、多头苦蕒、小飞蓬、节节草、草地早熟禾、寒芒的根系平均最大埋深分别为 16.58 cm、7.33 cm、14.00 cm、6.67 cm、20.00 cm、28.25 cm,可见泥石流源区草本植物多数在 30 cm 土深范围内发挥固土效益。其中,铁杆蒿、多头苦蕒、小飞蓬有明显的主根和侧根,根径多 < 4 mm,属于直根系;而节节草、草地早熟禾、寒芒的根系由不定根和它的分枝组成,

长短粗细和形状都很相近,属于须根系。由于寒芒由黑色的老根和浅白色的新生根系(新根)两种根系组成,所以分别进行统计分析。节节草根系在试验过程中发现根系断裂处有的位于节点,有的位于非节点,因此也将其分为节点处和非节点处两类根系分别处理。

2.2 根系抗拉力

六种植物根系的极限抗拉力与根径的关系如图 4 所示。随着根径的增加,极限抗拉力逐渐增大,植物根系极限抗拉力与根径呈正相关关系。通过回归

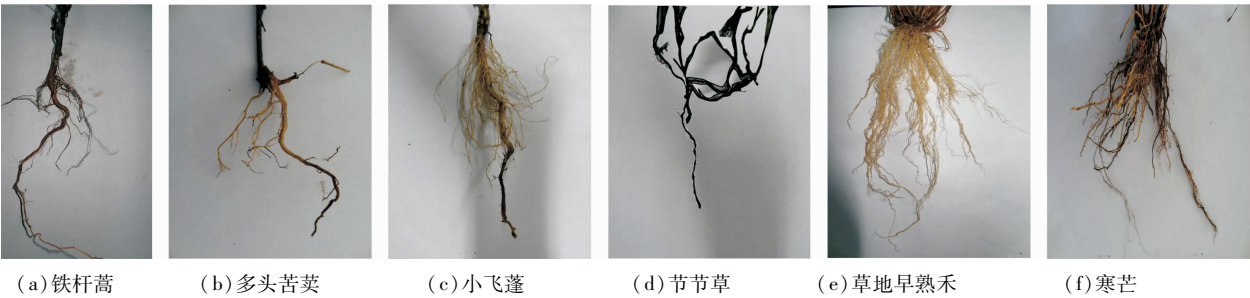


图 3 锅圈岩泥石流源区典型植物根系形态

Fig. 3 Root system morphology of typical plants in Guojuanyan debris flow triggering area

分析可知,六种植物根系的极限抗拉力  $P_{\max}$  与根径  $d$  都满足幂函数关系:  $P_{\max} = \alpha d^{\beta}$ ,  $\alpha, \beta$  为经验系数且  $\alpha, \beta > 0$ 。除节节草在节点处断裂的根系外,其他植物根系极限抗拉力与根径的相关系数都在 0.8 以上,说明幂函数可以很好地拟合二者之间关系,这与龙竹<sup>[1]</sup>、沙柳<sup>[7]</sup>、狗牙根<sup>[12]</sup>、油松等<sup>[13]</sup> 其他植物的研究结果一致。由于节节草根系的节点处本身为脆弱点所在,极限抗拉力与根径相关性不大,相关系数仅为 0.295,所以在考虑根径时,也要考虑根系结构对根系极限抗拉力的影响。

### 2.3 根系抗拉强度

由于  $\sigma = \frac{4P_{\max}}{\pi d^2} = \frac{4\alpha d^{\beta}}{\pi d^2} = \frac{4\alpha}{\pi} d^{\beta-2}$ ,  $\alpha, \beta$  为经验系数,根系的抗拉强度与根径的关系也应呈幂函数关系。从图 4 可知,经验系数  $\alpha$  为正值,因此若经验系数满足  $\beta - 2 > 0$ ,则根系抗拉强度与根径呈正相关关系;反之,若  $\beta - 2 < 0$ ,则抗拉强度与根径呈负相

关关系。六种植物根系的抗拉强度随根径的变化如图 5 所示,进行回归分析后表明:铁杆蒿、多头苦蕒、节节草的经验系数  $\beta - 2$  为负值,说明其根系抗拉强度与根径呈负相关关系,随着根径的增大而减小;草地早熟禾的  $\beta$  值为 2.599,  $\beta - 2 > 0$ ,根系抗拉强度随着根径的增大而增大,呈正相关关系。

小飞蓬的根系和寒芒老根抗拉强度与根径的关系若用幂函数进行拟合,相关系数很小。主要是由于小飞蓬、寒芒老根根径在 0.5 mm 以内的根系抗拉强度,都有一部分极高值和一部分极低值组成,这两种草本植物的根系在细小根系 ( $d < 1$  mm) 的抗拉强度并不稳定,这种两极分化现象减弱了其相关性。如果将寒芒老根  $d > 0.5$  mm 的根径与抗拉强度进行回归分析可知,也满足幂函数关系  $y = 18.40x - 1.14$  ( $R^2 = 0.824$ )。其他学者对柠条锦鸡儿<sup>[8]</sup>、落叶松、白桦等<sup>[13]</sup> 乔灌木根系抗拉强度 ( $d > 0.5$  mm) 的试验研究表明,根径与抗拉强度之间基本呈幂函

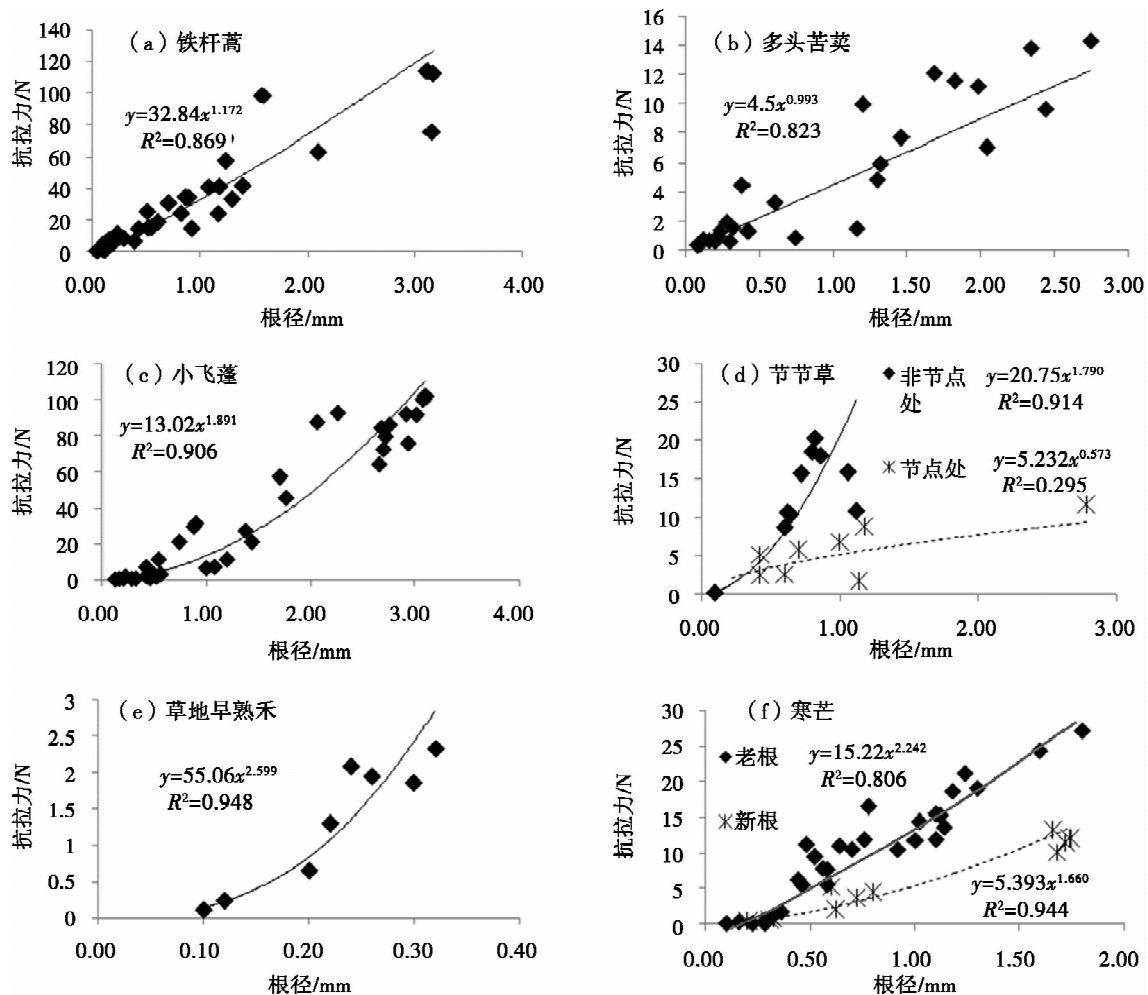


图 4 六种植物根系抗拉力与根径的关系

Fig. 4 Relationship between tensile force and diameter of six plant roots

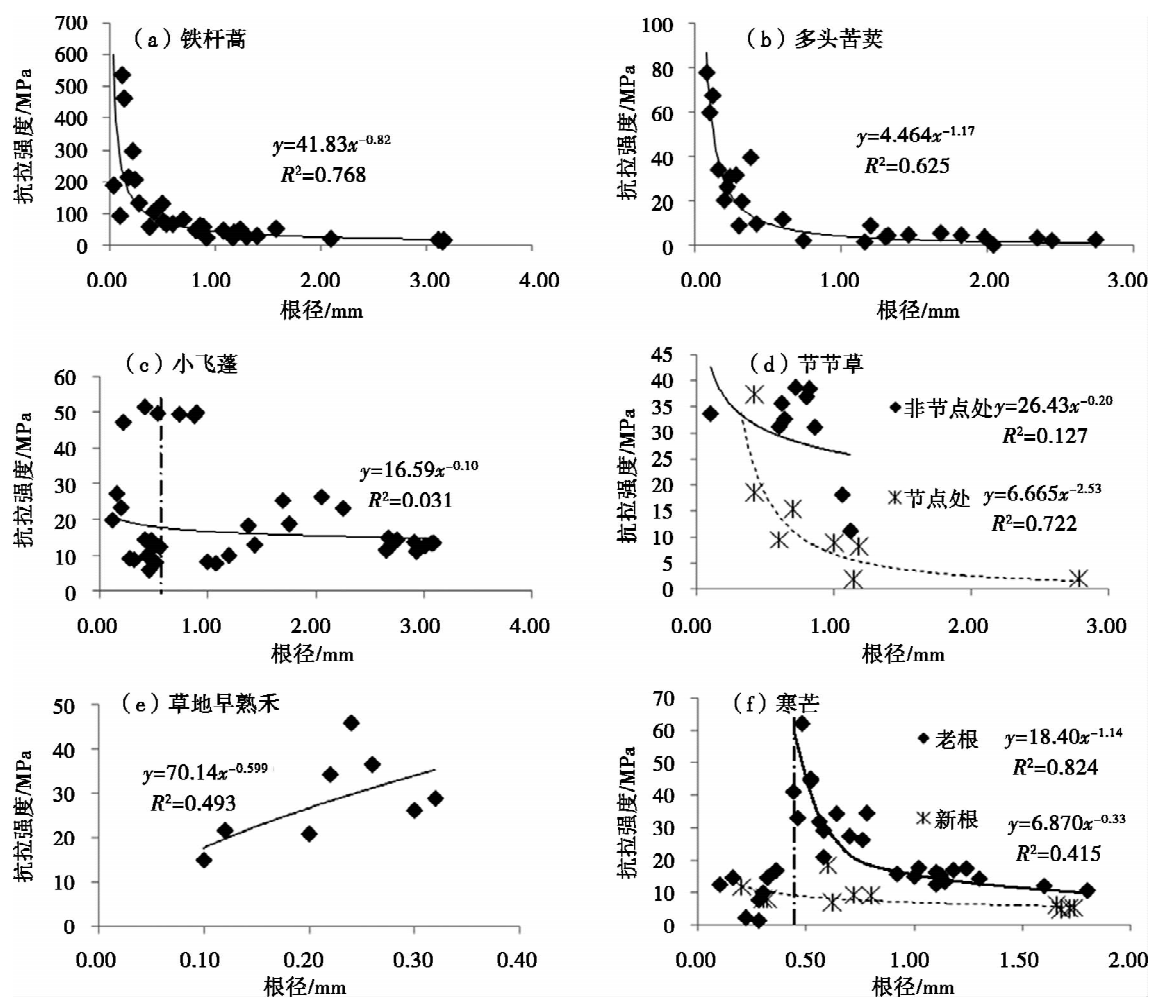


图5 六种植物根系抗拉强度与根径的关系

Fig. 5 Relationship between tensile strength and diameter of six plant roots

数或者指数函数负相关关系。由此可知,大多数情况下,草本植物根系与粗大的乔灌木根系抗拉力学特性是一致的,但在小根径范围内( $d < 0.5$  mm),由于试验条件的限制或者根系生理年龄期的影响,可能会出现抗拉强度不稳定的情况,需区别对待。

#### 2.4 不同植物根系抗拉力学特性的比较

从表2可以看出,六种植物根系根径范围为0.08~3.18 mm,每种植物的根径算术平均值都在1.5 mm以下。极限抗拉力平均值 $\bar{P}_{\max}$ 表现为:铁杆蒿(32.76 N) > 节节草(非节点处,13.00 N) > 寒芒(老根,10.03 N) > 寒芒(新根,5.81 N) > 节节草(节点处,5.71 N) > 多头苦蕒(4.98 N) > 小飞蓬(3.59 N) > 草地早熟禾(1.31 N)。而从平均抗拉强度来看,按数值大小排序为:铁杆蒿(106.24 MPa) > 节节草(非节点处,30.79 MPa) > 草地早熟禾(28.69 MPa) > 小飞蓬(20.20 MPa) > 多头苦蕒(18.77 MPa) > 寒芒(老根,14.87 MPa) > 节节草

(节点处,12.67 MPa) > 寒芒(新根,8.29 MPa)。铁杆蒿和节节草(非节点处)的抗拉力和抗拉强度都表现出较大值,其抗拉力学特性良好。寒芒的老根抗拉力和抗拉强度均大于新根,说明根系的抗拉力学特性与其根龄有密切关系。节节草在非节点处的抗拉力和抗拉强度约是节点处的2倍,说明节点处是脆弱关节,周围土体容易发生失稳现象。

植物根系的抗拉特性由多种因素决定,如植物种类、根系的显微结构、鲜活程度等。与其他学者的研究结果进行比较发现,草本植物根系平均抗拉强度与乔木、灌木根系的差距不大,有的甚至高于乔木灌木<sup>[14-16]</sup>。例如,铁杆蒿、节节草(非节点处)、草地早熟禾根系的平均抗拉强度明显高于灌木柠条锦鸡儿(26.46 MPa)、霸王(20.91 MPa)、白刺(11.52 MPa)<sup>[8]</sup>,乔木油松(14.26 MPa)、蒙古栎(20.27 MPa)、白桦(23.98 MPa)<sup>[16]</sup>,分别是油松根系的7.5倍、2.2倍、2.0倍,这与草本植物根径较小有关。

表 2 六种植物根系抗拉力学特征  
Table 2 The tensile characteristics of six plant roots

种类		根径/mm		极限抗拉力/N		抗拉强度/MPa	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
寒 芒	老根	0.10 ~ 1.80	0.74	0.09 ~ 27.14	10.03	0.40 ~ 29.83	14.87
	新根	0.20 ~ 1.74	0.94	0.37 ~ 13.28	5.81	4.54 ~ 18.38	8.29
节节草	非节点处	0.10 ~ 1.12	0.73	0.27 ~ 20.33	13.00	11.14 ~ 38.75	30.79
	节点处	0.42 ~ 2.78	1.03	1.80 ~ 11.81	5.71	37.51 ~ 18.54	12.67
小飞蓬		0.12 ~ 3.10	1.37	0.23 ~ 102.56	3.59	6.02 ~ 51.45	20.20
铁杆蒿		0.04 ~ 3.18	0.97	0.24 ~ 113.98	32.76	9.61 ~ 535.77	106.24
草地早熟禾		0.10 ~ 0.32	0.22	0.12 ~ 2.32	1.31	14.98 ~ 45.95	28.69
多头苦苣		0.08 ~ 2.74	0.99	0.39 ~ 14.33	4.98	1.45 ~ 78.03	18.77

因此,从稳定浅层土体角度来看,草本植物根系具有一定的优势。

3 结论与讨论

在对都江堰市锅圈岩泥石流源区植物种类前期调查的基础上,本文将泥石流源区的六种典型草本植物根系作为研究对象,通过抗拉试验和结果分析得出以下结论:

1. 通过野外样方调查法和重要值分析,泥石流源区的典型草本植物主要为寒芒、节节草、小飞蓬、铁杆蒿、草地早熟禾、多头苦苣等乡土植物。这些植物的根系多位于浅层土,适应性强,对源区的土体稳定、生态恢复、水土保持等具有重要作用。

2. 铁杆蒿、多头苦苣等植物的根系极限抗拉力随根径的增大而增大,抗拉力与根径呈幂函数关系: $P_{max} = \alpha d^\beta$ ,  $\alpha, \beta$  为经验系数。根系的抗拉强度与根径亦呈幂函数关系  $\sigma = \frac{4P_{max}}{\pi d^2} = \frac{4\alpha d^\beta}{\pi d^2} = \frac{4\alpha}{\pi} d^{\beta-2}$ ;铁杆蒿、多头苦苣、节节草的抗拉强度与根径呈负相关关系;草地早熟禾的根系抗拉强度与根径呈正相关关系。

3. 铁杆蒿的根系平均抗拉强度明显大于节节草、草地早熟禾、小飞蓬等其他几种草本植物,但总体来说,这六种典型草本植物根系的抗拉强度并不低于油松、白桦、柠条锦鸡儿等乔灌木。泥石流源区典型草本植物根系优良的抗拉力学特性对浅层坡体的稳定起到积极作用。

参考文献 (References)

[1] Hui Shang, Zhang Yunwei, Liu Jing, et al. Mechanical characteristics of tensile strength of sympodial bamboo roots [J]. Mountain Research,

2013, 31(1): 65-70 [惠尚, 张云伟, 刘晶, 等. 丛生竹根系抗拉力学特性[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 65-70]

[2] Tosi M. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines [J]. Geomorphology, 2007, 87(4): 268-283

[3] Luo Longzao, Li Shaocai, Sun Hailong, et al. Characteristics of tensile of root system of Broussonetia papyrifera growing on lithosol steep slopes [J]. Soil and Water Conservation in China, 2011, (4): 37-40 [罗龙皂, 李绍才, 孙海龙, 等. 石质陡边坡构树根系抗拉特性研究[J]. 中国水土保持, 2011, (4): 37-40]

[4] Watson A J, Mardern M. Live root-wood tensile strengths of some common New Zealand indigenous and plantation tree species [J]. New Zealand journal of forestry science, 2004, 34(3): 344

[5] Abe K, Iwamoto M. An evaluation of tree-root effect on slope stability by tree-root strength[J]. Journal of the Japanese Forestry Society, 1986: 68

[6] Jiang Kunyun, Chen Lihua, Gai Xiaogang, et al. Relationship between tensile properties and microstructures of three different broad-leaf tree roots in North China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(3): 115-123 [蒋坤云, 陈丽华, 盖小刚, 等. 华北护坡阔叶树种根系抗拉性能与其微观结构的关系[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 115-123]

[7] Geng Wei, Wang Linhe, Liu Jing, et al. Study on three 4-5 years shrubs root pull-resistance mechanics in Ordos Plateau [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2008, 29(3): 86-89 [耿威, 王林和, 刘静, 等. 鄂尔多斯高原 3 种 4 龄-5 龄灌木根系抗拉特性初步研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(3): 86-89]

[8] Zhu Haili, Hu Xiasong, Mao Xiaqing, et al. Study on mechanical characteristics of shrub roots for slope protection in loess area of Tibetan Plateau [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(S2): 3445-3452 [朱海丽, 胡夏嵩, 毛小青, 等. 青藏高原黄土区护坡灌木植物根系力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(S2): 3445-3452]

[9] Guo Linghui, Wang Daojie, Chen Dong, et al. Effect of Leucaena Leucocephala Fine root on soil fixation in debris flow area of Jiangjia gully [J]. Bulletin of soil and water conservation, 2011, 31(5): 85

- 89,214[郭灵辉,王道杰,陈东,等.蒋家沟泥石流区新银合欢细根固土效应[J].水土保持通报,2011,31(5):85-89,214]
- [10] Yang Yonghong, Liu Shuzhen, Wang Chenghua, et al. A study of tensile strength tests of arborous species root system in forest engineering technique of shallow landslide[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006, 11(4): 892-896
- [11] Shao Bin, Deng Kunmei. The composition and important value of plant species in subalpine spruce-fir forest on the northern slope of Changbai Mts. [J]. Journal of Natural Resources, 2000, 15(1): 66-71[邵彬,邓坤枚.长白山北坡亚高山云冷杉林的植物种类组成及重要值[J].自然资源学报,2000,15(1):66-71]
- [12] Feng Guojian, Shen Fan, Wang Shitong. Study on distribution characteristic and tensile strength of slope eco-engineering plant root [J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science, 2013, 30(2): 115-118[冯国建,沈凡,王世通.护坡植物根系分布特征及抗拉强度研究[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2013,30(2):115-118]
- [13] Chen Lihua, Ji Jinnan, Ji Xiaodong, et al. Basic mechanical properties of tree roots [M]. Beijing: Science Press, 2012: 24-25 [陈丽华,及金楠,冀晓东,等.林木根系基本力学性质[M].北京:科学出版社,2012:24-25]
- [14] Der-Guey Lin, Bor-Shun Huang, Shin-Hwei Lin. 3-D numerical investigations into the shear strength of the soil-root system of Makino bamboo and its effect on slope stability[J]. Ecological Engineering, 2010, (36): 992-1006
- [15] Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. Plant and soil, 2005, 278(1-2): 1-9
- [16] Lv Chunjuan, Chen Lihua, Zhou Shuo, et al. Root mechanical characteristics of different tree species[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(Suppl. 1): 329-335[吕春娟,陈丽华,周硕,等.不同乔木根系的抗拉力学特性[J].农业工程学报,2011,27(增1):329-335]

## Root Tensile Test of Typical Grass in Debris Flow Triggering Area

LU Guihong<sup>1,2</sup>, OU Guoqiang<sup>1</sup>, YANG Shun<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1,2</sup>, YU Yan<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences/Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Plant roots play an important role in slope vegetation and stability in debris flow triggering area. And root tensile property is one of the major factors affecting slope protection of plants. In order to explore the root tensile properties of plants in debris flow triggering area, this paper took Guojuanan debris flow triggering area in Dujian-gyan Sichuan, China for the study area. Based on field survey and significant values, the typical plants species were determined and their root tensile tests were carried out. Studies have shown that Guojuanan debris flow triggering area was mainly distributed with indigenous plants such as *Miscanthus floridulu* and *Commelina diffusa*. They are adaptable and with an average root depth of 30 cm or less. These plant roots' tensile force presented power function with root diameter and had good correlation. When the root diameter was greater than 0.50 mm, the tensile strength and root diameter could also be fitted with power function. When the root diameter was less than 0.50 mm, the tensile strength values of some plant roots fluctuated largely. And the average tensile strength in order were *Artemisia sacrorum* (106.24 MPa), *Commelina diffusa* (non-node, 30.79 MPa), *Poa pratensis* (28.69 MPa), *Conyza canadensis* (20.20 MPa), long Kumai (18.77 MPa), *Miscanthus floridulu* (old roots, 14.87 MPa), *Commelina diffusa* (node, 12.67 MPa), *Miscanthus floridulu* (new roots, 8.29 MPa). Root tensile mechanical properties of herbs performed well, indicating that they can play efficiency in shallow slope stability and reduce debris provenance.

**Key words:** debris flow triggering area; typical plants; tensile force; tensile strength