

# 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

赵丽兵, 张宝贵

(中国农业大学资源与环境学院土壤与植物相互作用实验室, 北京 100094)

**摘要:** 选择固土护坡植物时, 植物根的抗拉强度是一项重要的力学指标。对豆科的紫花苜蓿和禾本科的马唐根的抗拉力和纤维素含量的研究表明, 根的抗拉强度和纤维素含量均与直径呈显著的负相关关系, 根的抗拉强度与纤维素含量呈正相关关系, 表明“木本植物根的抗拉强度、直径和纤维素含量关系”的研究结论在这两种草本植物上也同样适用。对紫花苜蓿和马唐根的抗拉强度与其“木质素/纤维素”之间关系的研究表明, 两者呈负相关关系, 证实纤维素含量对于维持根抗拉强度的作用大于木质素含量。研究发现, 豆科紫花苜蓿根的应力-应变为对数函数关系, 不符合胡克定律, 马唐根的应力-应变关系的本构方程基本遵从胡克定律。直径愈小, 紫花苜蓿和马唐根的应力-应变关系对应变率敏感程度愈高, 根的极限延伸率愈大。另外, 根的抗拉力和直径测试设备的改进, 实验结果更准确可靠。这方面研究对揭示植物根系提高土壤抗冲击性和抗剪强度机理, 更好地进行水土保持植物的选择和优化组合具有重要意义。

**关键词:** 草本植物; 抗拉强度; 纤维素含量; 应力与应变关系

**中图分类号:** S157.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2007)9-0007-06

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.

Zhao Libing, Zhang Baogui. Experimental study on root bio-mechanics and relevant factors of *Medicago sativa* and *Digitaria sanguinalis* [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 7-12. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国近 20 年来, 植被被广泛应用在防治水土流失和山体滑坡的生态工程中<sup>[1-4]</sup>。植被主要通过根系提高土壤的稳定性。这主要是因为土壤抗压能力强, 抗剪强度弱, 而根的抗拉强度大, 布满根系的土壤具有类似“钢筋混凝土”的构造, 抗剪切强度极大提高<sup>[3]</sup>。根的抗拉强度作为衡量水土保持植物的一个重要指标, 众多学者对此已经做了大量详细研究<sup>[5-7]</sup>, 但主要集中于木本植物。Genet 等<sup>[8]</sup>对几种树木根的抗拉强度、直径和纤维素含量的研究表明, 抗拉强度与根的直径呈显著的负相关关系, 与根的纤维素含量呈正相关关系。植物的细胞壁由长链大分子纤维素聚合成的微纤丝构成骨架, 其内填充了木质素、半纤维素、角质、果胶质等物质, 同样形成“钢筋混凝土”结构, 故不难理解根的纤维素含量对根系抗拉强度具有重要意义。这方面的研究目前仅局限于木本植物, 在草本植物中尚无研究报道。作为固土护

坡的前期植物, 草本植物根系“加筋”能显著增强表层土壤强度和抗侵蚀能力<sup>[9,10]</sup>。本文选用草本植物紫花苜蓿和马唐根为研究材料, 对其根的抗拉强度和纤维素含量进行研究, 以验证木本植物根的抗拉强度、直径和纤维素含量的关系是否在草本植物上同样适用。鉴于“木质素/纤维素”的比值变化可能是引起根的抗拉强度变化的重要原因, “木质素/纤维素”的比值对根抗拉强度的影响是将来研究的重点<sup>[8,11]</sup>, 对紫花苜蓿和马唐根的抗拉强度与“木质素/纤维素”的比值关系进行研究。同时, 对紫花苜蓿和马唐根的弹性和塑性进行研究。这些研究将为进一步揭示植物根系提高土壤抗冲击性和抗剪强度机理, 合理选择和配置水土保持植物提供理论支持。

## 1 材料与方法

实验以紫花苜蓿和马唐两种草本植物的根为研究材料, 通过自制简易植物根系拉力测定装置和范氏洗涤纤维分析法(Van Soest)<sup>[12]</sup>, 分别对其抗拉力、弹性以及化学成分纤维素和木质素的含量进行测定, 来研究紫花苜蓿和马唐根的生物力学性能以及根的化学成分对其抗拉强度的影响。

### 1.1 根系材料

实验材料于 2006 年 7 月取自北京海淀区东北旺乡试验田。选取当地有代表性的 2 种草本植物, 其中, 豆科的紫花苜蓿 (*Medicago sativa*); 禾本科的马唐 (*Digitaria sanguinalis*)。在根系采样过程中, 选取生长

收稿日期: 2006-12-31 修订日期: 2007-06-02

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划项目(2003AA209020); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0412)资助

作者简介: 赵丽兵(1971-), 男, 山西兴县人, 博士生, 主要从事土壤生物研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100094。

Email: lbzhaosx1@yahoo.com.cn

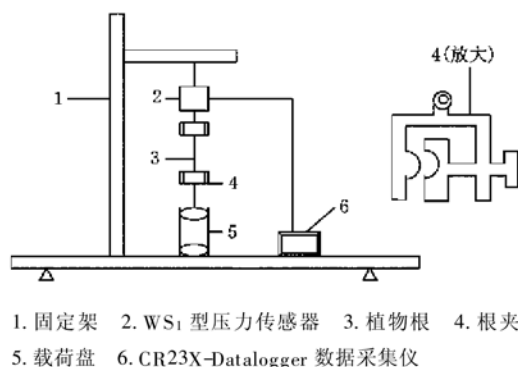
※通讯作者: 张宝贵(1965-), 河北人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤生物研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100094。

Email: zhangbg@cau.edu.cn

正常,无病虫害的新鲜根系并尽量避免对根系的机械损伤。两种草本植物的根一经取出立刻送到实验室在 4℃ 保存,以确保根新鲜,接近其在土壤中的状态,一部分根尽快进行抗拉力、弹性测定,另一部分根及抗拉力测定用的根作为测定根的纤维素和木质素含量的样本材料。

## 1.2 根的抗拉力测定

实验参照文献介绍的方法<sup>[13]</sup>自制简易植物根系拉力测定装置(图 1)。用两特制曲面根夹(曲面上粘有胶垫防止根系在夹具里脱落)夹紧测定根的两端,然后向载荷盘里逐级加载,根受力传递到根夹上方连接的 WS1 型压力传感器(航天部 701 所),由与其相连的 CR23X-Datalogger 数据采集仪自动记录根被拉断时的最大抗拉力。另外,选取测定的不同直径根样,要尽量保证其在形态上的一致性,长度要尽可能相同且远远大于其直径。随载荷增加,根断裂处不在根夹两端时,抗拉实验就算成功。



1. 固定架 2. WS1 型压力传感器 3. 植物根 4. 根夹  
5. 载荷盘 6. CR23X-Datalogger 数据采集仪

图 1 植物根系抗拉力实验装置示意图

Fig. 1 Experimental equipment for determining plant root stress

测试的每个根近似看成圆柱体,根的抗拉强度可以通过根拉断时最大抗拉力除以根的断裂面截面积得到,但由于根在拉伸过程中外层韧皮部首先断裂为鱼鳞状

或环状,很难准确测定其断裂处直径。因此用扫描仪(Agfa Snapscan 1236)以 400dpi 分辨率、灰度模式透扫根,TIF 格式保存根的图像;最后用 WinRhizo Pro 根系分析软件(加拿大 Reagent Instruments 公司),人工手动分析根的初始直径,作为根的断裂面处直径。

## 1.3 根的弹性测定

利用上述工具,对紫花苜蓿和马唐不同直径的根,用 CR23X-Datalogger 数据采集仪自动记录不同加载条件下根的抗拉力以及被拉断时的抗拉力。用游标卡尺测量不同加载条件下根的长度直至断裂,计算相对伸长量。直径的测定方法同上。

## 1.4 根的纤维素、木质素含量测定

将紫花苜蓿和马唐根洗净,扫描、测定直径,在 75℃ 下烘干至恒重,将这 2 种植物根样分别按其直径大小分袋,对紫花苜蓿根径相差在 0.5 mm 范围内归为同一直径,对马唐根径相差在 0.1 mm 范围内归为同一直径。然后粉碎根样、过 1 mm 筛,应用范氏洗涤纤维分析法(Van Soest)测定纤维素和木质素的含量。

统计分析采用 SPSS 10.0 分析软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 根的抗拉强度与直径的关系

实验共对紫花苜蓿和马唐 2 种草本植物的 500 多个根样进行了抗拉力测试,其中,测试成功的有 116 个紫花苜蓿根样、205 个马唐根样,将根的直径与抗拉强度进行曲线回归拟合,拟合结果表明幂函数关系具有较好的拟合优度,拟合方程和决定系数如图 2 所示( $P < 0.01$ ),方程的复回归系数  $R$  分别为 0.7853 和 0.7884。结果显示:随着直径的增大,抗拉强度减小。紫花苜蓿和马唐根的抗拉强度均与直径呈显著的幂函数负相关关系(图 2),这与其他学者对木本植物根的研究结论是相似的<sup>[6,8,14]</sup>。

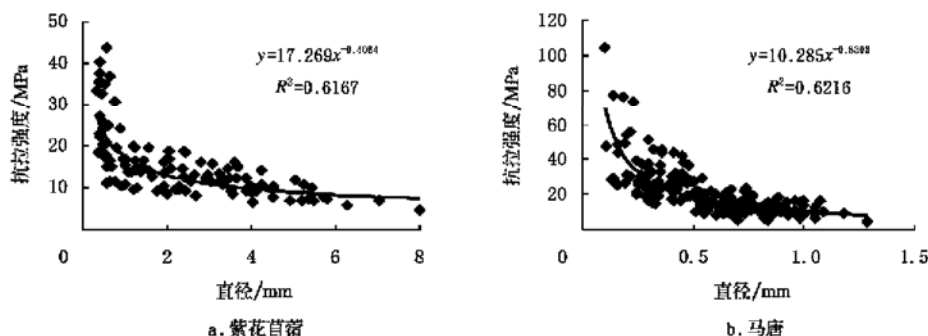


图 2 根的抗拉强度与直径的关系

Fig. 2 Relationship between root tensile strength and diameter

不同种类、不同直径的根的抗拉强度是不同的,用下述公式计算紫花苜蓿和马唐根的平均抗拉强度( $T_r$ )<sup>[15]</sup>。

$$T_r = \frac{\sum T_i n_i a_i}{\sum n_i a_i} \quad (1)$$

式中  $n_i$ ——直径为第  $i$  级的根的数量;  $a_i$ ——直径为第  $i$  级的根的平均截面面积,  $\text{mm}^2$ ;  $T_i$ ——直径为第  $i$  级的根的抗拉强度,  $\text{MPa}$ 。

计算得到: 豆科植物紫花苜蓿根的平均抗拉强度为  $10.01 \text{ MPa}$ , 禾本科植物马唐根的平均抗拉强度为  $14.60 \text{ MPa}$ , 平均约为 I 级钢筋抗拉强度的  $5\%$ 。另外, 草本植物的细根与同样 RAR( 根的面积比率) 的粗根相比具有较大的表面面积, 与土壤的摩擦力较大, 抵抗拉脱的能力较强<sup>[16]</sup>, 根系提高土壤的抗剪强度又主要是

通过根土接触面的摩擦力把土中的剪应力转换成根的拉应力来实现的<sup>[11, 16]</sup>, 草本植物根具有较高的抗拉强度对土壤抗剪强度的提高具有较大的贡献, 这为优先采用草本植物固土护坡提供了依据。

## 2.2 根的纤维素含量与直径的关系

在测试根的抗拉强度的同时, 对根的纤维素含量也进行了测试, 结果显示, 随着直径的增大, 纤维素含量减小。紫花苜蓿和马唐根的纤维素含量均与直径呈线性回归关系, 回归方程和决定系数如图 3 所示。另外, 相关分析表明二者的 Pearson 相关系数分别为  $-0.835$  和  $-0.843$ ,  $P < 0.05$ 。从描述两个变量间线性关系程度和方向的统计量 Pearson 相关系数<sup>[17]</sup>数值也可以看出, 紫花苜蓿和马唐根的纤维素含量均与直径呈线性负相关关系(图 3), 这与其他学者对本本植物根的研究结论是相似的<sup>[8]</sup>。

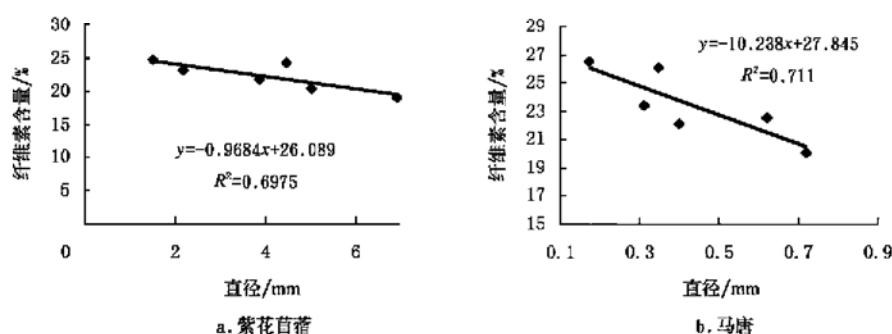


图3 根的纤维素含量与直径的关系

Fig.3 Relationship between root percentage cellulose and diameter

从图 2、图 3 可见, 细根有较强的抗拉强度和较高的纤维素含量, 根的抗拉强度和纤维素含量都与直径呈显著的负相关关系, 不同的是, 抗拉强度与直径呈幂函数负相关关系, 纤维素含量与直径呈线性负相关关系。不同的原因可能是两者随着根的直径由小到大变化时, 递减的尺度效应不同造成的。借鉴 Bazant 和 Kazemi<sup>[18]</sup>的断裂力学理论对根与直径关系的尺寸效应研究, 草本植物根的抗拉强度与直径的幂函数关系式中指数绝对值应不超过  $0.5$ , 从图 2 可看到对马唐根的研究与对本本植物根的研究<sup>[8, 19]</sup>结论是相似的, 指数绝对值几乎总是大于  $0.5$ , 说明仅用断裂力学的尺寸效应理论来解释根的抗拉强度与直径之间的幂函数关系是不够的, 指数大于理论值可能是由于直径不同根系材料差别较大造成的, 这从马唐根以及 Gent<sup>[18]</sup>的“根纤维素含量随直径增大而减少”的实验结论得到了验证。

## 2.3 根的抗拉强度与纤维素含量的关系

通过将图 3 的紫花苜蓿和马唐根的纤维素含量数据与相应直径根的抗拉强度进行回归分析, 回归方程和

决定系数如图 4 所示。另外, 相关分析表明二者的 Pearson 相关系数分别为  $0.776$  和  $0.808$ ,  $P < 0.05$ 。二者呈线性正相关关系(图 4), 这与其他学者对本本植物根的研究结论是相似的<sup>[8]</sup>。

通过以上分析, 验证了“木本植物根的抗拉强度、直径和纤维素含量的关系”在紫花苜蓿和马唐两种草本植物上同样适用, 也可以从生物机械组织成分纤维素含量角度合理地解释草本植物根的直径愈小, 抗拉强度愈大的特性。另外, 从图 2 分析得出, 豆科植物紫花苜蓿和禾本科植物马唐根的平均抗拉强度分别为  $10.01$ 、 $14.60 \text{ MPa}$ ; 分析图 3 得出, 紫花苜蓿和马唐根系的平均纤维素含量分别为  $22.22\%$ 、 $23.46\%$ ; 两种植物根的纤维素含量相差不大, 而抗拉强度差异较大, 这揭示: 植物根的抗拉强度不仅与纤维素含量有关, 还取决于根的纤维排列紧密、疏松程度以及根的其他物质组成。因此, 还需对根系进行形态解剖分析后, 来全面合理地解释不同植物或同一科属植物间根的抗拉强度的差异, 这也是下一步工作的重点。

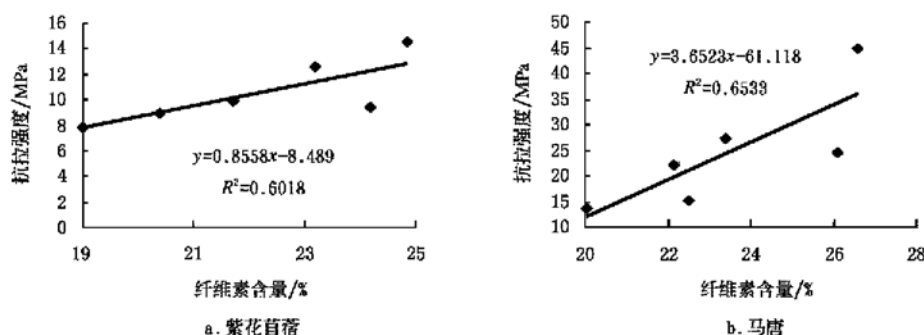


图4 根的抗拉强度与纤维素含量的关系

Fig. 4 Relationship between root tensile strength and percentage cellulose

## 2.4 根的抗拉强度与木质素/纤维素的关系

细胞壁结构类似“钢筋混凝土”，由纤维素束聚合成的微纤丝构成骨架，并加上其他的填充物质形成。这些微纤丝就是搭构植物细胞壁的“钢筋”，填充物木质素、半纤维素、角质、果胶质等就是“混凝土”。木质素作为细胞壁的重要成分之一，填充到细胞壁中，可增强其机械强度。木质素与纤维素结合紧密，“木质素/纤维素”的比值不仅是反映植物残体分解的速率指标之一，比值越高，分解速率越低<sup>[20]</sup>；而且可能是引起根的抗拉强度变化的重要原因<sup>[11]</sup>。

分别对紫花苜蓿和马唐不同直径根的木质素/纤维素的比值数据与相应直径根的抗拉强度进行回归分析，

回归方程和决定系数如图5所示。另外，相关分析表明二者的 Pearson 相关系数分别为-0.896和-0.782， $P$ 值分别为0.016, 0.066。表明根的抗拉强度与木质素/纤维素呈线性负相关关系，根的木质素/纤维素的比值越大，抗拉强度越小(图5)。结合细胞壁结构分析和“根的抗拉强度与其纤维素含量呈显著线性正相关关系”研究，根的抗拉强度与木质素/纤维素关系的结论证实，根细胞壁中纤维素含量对于维持根抗拉强度的作用大于木质素含量，其原因是纤维素为细胞壁最主要的化合物，它是由成千上万条以微纤丝为基本单位构成的网状结构，对细胞壁的机械支持特性具有重要的作用。

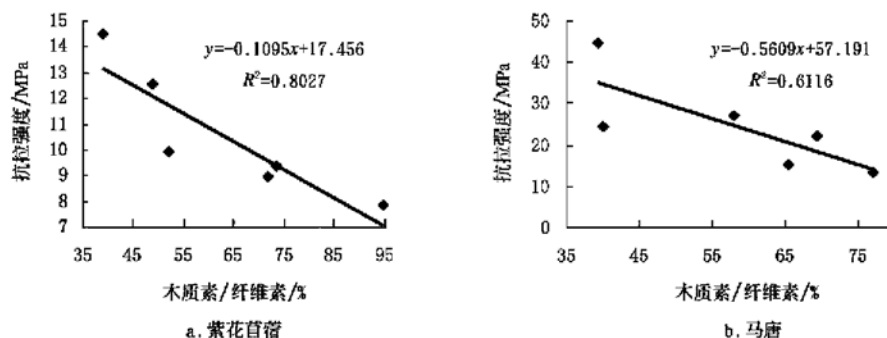


图5 根的抗拉强度与木质素/纤维素的关系

Fig. 5 Relationship between root tensile strength and lignin/cellulose

## 2.5 紫花苜蓿和马唐根的应力与应变关系

草本植物根在土壤中盘结缠绕，根的较大抗拉能力可以抵抗水流的剪切冲力，同时它具有的弹性可以减缓这种冲刷力。下面通过对紫花苜蓿和马唐根受拉过程中应力与应变特性来分析根系抗拉特性。由胡克定律知，材料在单向应力状态下，应力与应变成正比：

$$\delta = E\epsilon \quad (2)$$

式中  $\delta$ ——应力, MPa,  $\delta = F/A$ ,  $F$ —拉力, N,  $A$ —截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $\epsilon$ ——应变,  $\epsilon = \Delta L/L$ , 即延伸率;  $L$ ——根的长度, mm;  $\Delta L$ ——受拉后根长的增加值, mm;

$E$ ——弹性模量, MPa。就植物根系材料而言，由于其结构特殊性，根的截面积全部采用其初始面积<sup>[12]</sup>。

从图6紫花苜蓿和马唐单根的应力与应变曲线可以看出，植物类型不同，单根的应力与应变的关系不同，同一种植物根的应力—应变特征曲线随着根径的不同而变化。对直径分别为0.3 mm、0.5 mm的豆科紫花苜蓿根系的应力与应变关系进行回归分析，拟合方程和决定系数如图6a所示，方程的复回归系数 $R$ 分别为0.9759和0.9294。结果显示：紫花苜蓿根的应力与应变为对数函数关系，不符合胡克定律，属于弹塑性材料。另

外,对直径分别为 0.3 mm、0.43 mm 的禾本科马唐根系的应力与应变关系进行回归分析,回归方程和决定系数如图 6b 所示;进行相关分析表明二者的 Pearson 相关系数分别 0.928 和 0.963,  $P < 0.01$ 。结果显示:马唐根的应力与应变呈显著的线性正相关关系,基本遵从于胡克定律,属于弹性材料。紫花苜蓿和马唐根的应力都随应变的增加而增加。紫花苜蓿和马唐根的应力—应变特征曲线随着根的直径的大小不同而变化,当延伸率

相同时,直径越小,应力值越大,直径为 0.3 mm 的紫花苜蓿根的应力值明显大于 0.5 mm 的应力值,直径为 0.3 mm 的马唐根的应力值明显大于 0.43 mm 的应力值,这种特性同时存在于符合胡克定律的弹性材料与不符合胡克定律的弹塑性材料中,表明紫花苜蓿和马唐根符合“草本植物根的应力—应变关系对应变率敏感程度随直径增加而降低”的特点<sup>[12]</sup>。

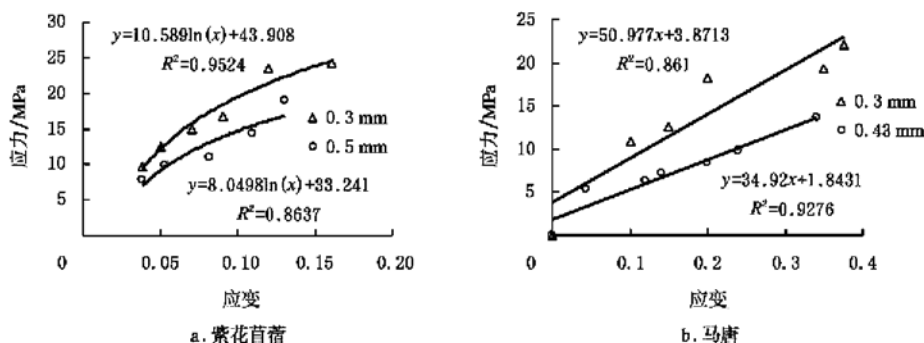


图 6 紫花苜蓿和马唐根系的应力与应变关系

Fig. 6 Stress-strain relationship of *Medicago sativa* and *Digitaria sanguinalis* roots

另外,实验结果显示:紫花苜蓿和马唐根系的极限延伸率(极限应变)随着根直径的增大而降低(图 7)。紫花苜蓿根在直径 0.1 mm 时,延伸率可高达 19.1%;马唐根在直径 0.3 mm 时,延伸率可高达 37.5%。植物根系的极限延伸率是反映根系抵抗土体滑坡的一个重要指标。因为当土体间出现滑坡裂缝时根系的极限延伸率较大时有利于把根系所受的拉力向土体深层传递,同时在根系伸长系数较大的情况下在受拉过程中根系的形变量较大有利于对土壤下滑力进行缓冲,这些都有利于提高根系固土能力。

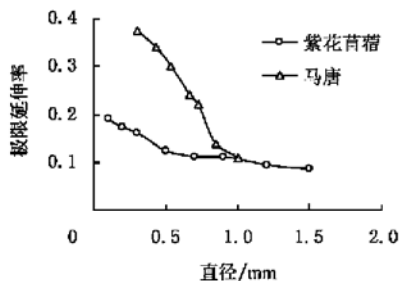


图 7 紫花苜蓿和马唐根系的极限延伸率与直径关系

Fig. 7 Relationship between critical strain and diameter of *Medicago sativa* and *Digitaria sanguinalis* roots

### 3 结论与讨论

1) 本实验对草本植物紫花苜蓿和马唐根的抗拉测试结果与其他学者对木本植物根的研究结论是相似的:

根的抗拉强度与直径之间存在幂函数负相关关系;根的纤维素含量与直径之间存在线性负相关关系;根的抗拉强度与纤维素含量之间存在线性正相关关系。根的木质素/纤维素的比值越大,抗拉强度越小,纤维素含量对于维持根抗拉强度的作用大于木质素含量。从生物机械组织成分纤维素含量角度可以合理地解释植物根的直径愈小,抗拉强度愈大的特性。

2) 紫花苜蓿和马唐根的平均抗拉强度分别为 10.01 MPa 和 14.60 MPa,平均约为 I 级钢筋抗拉强度的 5%。紫花苜蓿根的应力与应变为对数函数关系,不符合胡克定律,属于弹塑性材料;马唐根的应力与应变呈显著的线性正相关关系,基本遵从于胡克定律,属于弹性材料。直径愈小,紫花苜蓿和马唐根的应力—应变关系对应变率敏感程度愈高,根的极限延伸率愈大。

3) 紫花苜蓿和马唐根的抗拉力测试试验中首次使用 WS<sub>1</sub> 型压力传感器和 CR23X-Datalogger 数据采集仪,自动记录不同加载条件下根的抗拉力,尤其是通过扫描仪和 WinRhizo Pro 根系分析软件人工手动分析根的直径,与刘国彬<sup>[12]</sup>、程洪<sup>[21]</sup>等学者测试草本植物根的抗拉力和直径时所使用的仪器设备相比更为先进,实验结果相对准确可靠。

#### [参 考 文 献]

- [1] 陈一兵,林超文,朱钟麟,等.经济植物篱种模式及生态经济效益研究[J].水土保持学报,2002,16(2):80-83.
- [2] 朱清科,陈丽华,张东升,等.贡嘎山森林生态系统根系固

- 土力学机制研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24 (5): 64–67.
- [3] Thorne C R. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability[A]. Thornes J B. Vegetation and Erosion: Processes and Environments[C]. New York: John Wiley & Sons, 1990: 125–144.
- [4] Roering J J, Schmidt K M, Stock J D, et al. Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range[J]. Can Geotech J, 2003, 40: 237–253.
- [5] Nilaweera N S, Notalaya P. Role of tree roots in slope stabilisation[J]. Bull Eng Geol Env, 2000, 57: 337–342.
- [6] Operstein V, Frydman S. The influence of vegetation on soil strength[J]. Ground Improvement, 2000, 4(2): 81–89.
- [7] Phillips C J, Watson A J. Structural tree root research in New Zealand: A review[J]. Landcare Res Sci Ser, 1994, 7: 39–47.
- [8] Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. Plant soil, 2005, 278: 1–9.
- [9] 王文生, 杨晓华, 谢永利. 公路边坡植物的护坡机理[J]. 长安大学学报, 2005, 5(4): 26–30.
- [10] 李 勇, 朱显谟, 田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991, 36(12): 935–938.
- [11] Hathaway R L, Penny D. Root strength in some Populus and Salix clones[J]. New Zealand Journal of Botany, 1975, 13: 333–344.
- [12] Yang S. Forage Analysis and Its Quality Testing Technology[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993: 58–61.
- [13] 刘国彬, 蒋定生, 朱显谟. 黄土区草地根系生物力学特性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 21–28.
- [14] Gray D H, Sotir R D. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization[M]. New York: John Wiley and Sons, 1996: 369.
- [15] Waldron L J. The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1977, 41: 843–849.
- [16] 封金财, 王建华. 植物根的存在对边坡稳定性的作用[J]. 华东交通大学学报, 2003, 20(5): 42–45.
- [17] 三味工作室. SPSS V10.0 for Windows 实用基础教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2001.
- [18] Bazant Z P, Kazemi M T. Size effect in fracture of ceramics, its use to determine fracture energy and effective process zone length[J]. J Am Ceram Soc, 1990, 73: 1841–1853.
- [19] Bischetti G B, Chiaradia E A, Simonato T, et al. Root strength and root area of forest species in Lombardy[J]. Plant Soil, 2006, 278: 11–22.
- [20] 彭少麟, 刘 强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1534–1544.
- [21] 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.

## Experimental study on root bio-mechanics and relevant factors of *Medicago sativa* and *Digitaria sanguinalis*

Zhao Libing, Zhang Baogui<sup>\*</sup>

(Key Laboratory of Plant-Soil Interactions of Ministry of Education, College of  
Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Root tensile strength is an important factor to be considered when choosing suitable species for reinforcing soil on unstable slopes. Experiments were conducted for testing root tensile strength and measuring root cellulose content of *Medicago sativa* and *Digitaria sanguinalis*. Results indicated that in the two species, both the tensile strength and percentage of cellulose were negatively correlated with root diameter, while a positive correlation was found between percentage of cellulose and tensile strength. The conclusion confirmed that the relationship among root tensile strength, root diameter and root cellulose content found in tree root system was held also in the two species. The research demonstrated also a negative relationship between tensile strength and root lignin/cellulose ratio, and the influence of cellulose content was greater than that of lignin content on root tensile strength. There exists a logarithm relationship between stress and strain for *Medicago sativa* root, which does not follow Hooker's Law, and *Digitaria sanguinalis* root follows the Law. The experiment also testified that both the sensitiveness of stress-strain and critical strain increased with the decreasing root diameter. With improved root tensile force and diameter test apparatus, the experimental results were more reliable and accurate. The present research gained an insight into the soil reinforcement mechanism of the herb root system and the selection and of plant species for the purpose of soil and water conservation.

**Key words:** Herb; tensile strength; cellulose content; stress-strain relationship