

## In-situ measurement of the fixing capability of soil by Faber bristlegrass roots

|               |   |
|---------------|---|
| Item Type     | Journal article   |
| Authors       | Mao, Yan-ting;Zheng, Yi;Li, Yongmei;Fullen, Michael A.;Booth, Colin A.            |
| Citation      | Chinese Journal of Soil Science 40(3): 580-584.                                   |
| Journal       | Chinese Journal of Soil Science   |
| Download date | 2026-04-14 00:13:36   |
| Link to Item  | <a href="http://hdl.handle.net/2436/115497">http://hdl.handle.net/2436/115497</a> |

# 狗尾草根系固土拉力的原位测定

毛妍婷<sup>1</sup>, 郑毅<sup>1\*</sup>, 李永梅<sup>1</sup>, M A Fullen<sup>2</sup>, C A Booth<sup>2</sup>

(1. 云南农业大学 资源与环境学院植物营养 昆明 650201; 2. 伍尔沃汉普敦大学 应用科学学院, 英国 伍尔沃汉普敦)

**摘要:** 本文应用锚杆拉力计和自行设计的剪切箱对狗尾草根系的固土能力在深度为 10cm 和 20cm 进行了原位测定, 结果表明: 在 10cm 深度, 当施加的载荷增大到 4.9KN 时, 狗尾草样方位移为 53.3mm, 而裸地样方承受的最大载荷为 4.4KN, 在此载荷下位移达到了 55.0mm。在 20cm 深度, 当施加的载荷增大到 5.3KN 时, 狗尾草样方位移为 53.7mm, 而裸地样方承受的最大载荷为 4.0KN。该测定方法可以在水土保持上作为评价不同作物(植物)固土能力的有效手段。

**关键词:** 根系; 固土能力; 原位测定

中国分类号: 文献标识码: 文章编号:

自 20 世纪 50 年代, 我国由于人口增加所带来的滥砍滥伐、过度垦殖等人为活动导致了水土流失、生态环境恶化, 以及近年来大江大河的洪灾频发。以“种草种树、退耕还林”为主要内容的生态环境建设工程, 其目的就是为了有效遏止生态环境的进一步恶化, 实现人与自然的和谐共处。在水土保持研究方面, 对植物根系固土机理和土体稳定性的研究也越来越受到国内外一些学者重视<sup>[1]</sup>。

许多学者<sup>[2]</sup>认为植物固土—生物软措施在不同程度上可替代工程措施与之互补, 不仅在于生物软措施的经济意义而且在生态环境保护方面也具有重要应用价值和意义。郭维俊等<sup>[1]</sup>从根系的力学特性, 固土机理等方面概括了植物根系力学涉及的主要内容和现状, 阐述了“土壤—根系”复合体稳定土体与抗侵蚀机理研究取得的主要成果。认为在根系固土抗侵蚀研究方面, 应加强对林草植被, 农作物根系抗侵蚀能力及有效性的研究。通过多学科, 多领域联合攻关, 深入系统的研究植物根系稳定土壤结构的基本原理。

\*植物固土是植株地上部分与地下部分

的共同作用。地上部主要靠拦截雨滴来减少径流, 效果取决于冠层的高度, 连续性, 植株密度和冠层密度<sup>[3]</sup>。在植物生长早期地上部数量较少且柔弱, 植物根系在增强土壤凝聚力, 增加土壤入渗能力, 减少侵蚀率的作用是十分关键的<sup>[4]</sup>。地下部分—根系固土包括两方面, 一是根系本身固土力学能力, 二是根系与土壤形成复合有机整体方面的性质。程洪等在刘国彬根系固土力学机制的理论模式基础上又做了一定的补充, 认为植物根系网力学机制模式分为 4 个层次(1: 根系材料力学; 2: 根系网络串联作用; 3: 根系—土壤有机复合体; 4: 根系—土壤生物化学作用), 并通过对选取的草本植物根系进行了固土力学测试, 为运用生物软措施代替或部分代替某些工程措施寻找力学理论依据<sup>[2]</sup>。

本研究试图从探讨植物根系固土力学机制方面入手, 应用锚杆拉力计和自行设计改进的剪切箱, 原位测定不同深度狗尾草根系固土力学性能差异, 以期在较大范围内, 将这种方法作为评价水土保持研究中农作物和草本植物根系固土能力的一个有效的参考手段。

收稿日期: 2007-12-11

基金项目: 欧盟 BORASSUS 项目  
(INCO-CT-2005-510745)

作者简介: 毛妍婷(1982—), 女, 云南昆明人, 在读研究生, 主要从事水土保持研究。  
E-mail: maomaokm@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 郑毅(1964—), 教授, 博士生导师  
E-mail: zj212350@yahoo.com.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 锚杆拉力计和剪切箱

锚杆拉力计型号为：ML-20；产地：浙江土工仪器制造有限公司；可产生额定拉力 20T。剪切箱：采用厚度为 1cm 的钢板制作，规格为（0.3m × 0.3m × 0.1m；0.3m × 0.3m × 0.2m）。用于选定土墩样方的固定，以便测

定在设定负荷下土墩样方的位移。剪切箱的设计应充分考虑农作物和草本植物的根系生长状况，使测定结果能真实反映根系对土壤的固定能力。

在锚杆拉力计上安装千分表，用于观测样方土墩的位移。精度为 1 $\mu$ m，量程为 1mm，超出量程用米尺测量。



图 1.剪切箱（左）和锚杆拉力计（右）

Fig1.Shear boxes (left) and anchor-shank tensiometer (right.)

### 1.2 原位土壤根系水平抗拉研究方法

通过 F-S 曲线<sup>[5]</sup>来表示原位土壤根系水平抗拉过程。F-S 曲线代表的是各样方的载荷(F)与位移(S)之间的关系，通过该曲线可以充分反映样方中根系本身抗拉特性与土壤力学特性的相互作用。完整的 F-S 曲线反映了以下三个阶段<sup>[6-13]</sup> 1：土墩的线性变形阶段（弹性形变阶段）；2：塑性变形阶段（剪切阶段）；3：蠕变阶段及完全破坏阶段。

### 1.3 供试作物及田间管理

供试作物：狗尾草，拉丁名 *Setaria viridis* (L.) Beauv.，禾本科一年生草本植物，须根系发达，入土较深，根颈较宽，分蘖多。

种植方式和测定：5月中旬播种，种植密度：15 gm<sup>-2</sup>；种植方式：狗尾草单一种植，施

肥情况：尿素：22.5 gm<sup>-2</sup>、普钙：40 gm<sup>-2</sup>，种植一个月后追肥：尿素：22.5 gm<sup>-2</sup>、普钙：40 gm<sup>-2</sup>，测定时期：结实期（狗尾草+土壤样方，裸土样方）。

### 1.4 土壤基本理化性质测定

试验地点土壤为轻红黏土，粘粒 < 0.01mm 为 62.47%，粘粒 1~0.01mm 为 37.53%。位于昆明云南农业大学试验农场，土壤基本化学性质，按实验室常规方法<sup>[14]</sup>：pH 为 6.5，有机质 14.01gkg<sup>-1</sup>，全氮为 1.11 gkg<sup>-1</sup>，碱解氮 60.59mgkg<sup>-1</sup>，速效磷 1.68 mgkg<sup>-1</sup>，速效钾 101.98 mgkg<sup>-1</sup>。

### 1.5 土壤水分含量测定

测定时期各处理样方要避免土壤水分含量<sup>[14]</sup>差距很大的情况，数据分析用 SPSS 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同深度狗尾草样方生物量

采用全挖法挖出剪切箱内的所有根系，冲洗

晾干后称鲜重。置入烘箱内在 65~70℃烘至恒重，记录干重<sup>[15]</sup>，结果如表 1 所示。

表 1. 不同深度狗尾草样方的生物量(g/0.09m<sup>2</sup>)

Tab1. The biomass of different depth sample soil squares with Bristlegrass

| 深度<br>Depth<br>(cm) | 地下生物量<br>Weight of roots |                  | 地上生物量<br>Weight of shoots |                  |
|---------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                     | 鲜重<br>Fresh Weight       | 干重<br>Dry Weight | 鲜重<br>Fresh Weight        | 干重<br>Dry Weight |
|                     | 10                       | 87.51            | 12.17                     | 558.33           |
| 20                  | 82.72                    | 12.06            | 800.00                    | 157.41           |

## 2. 2 不同深度，不同处理样方的土壤水分含量

两个处理不同层次土壤水分含量列于表 2

表 2. 不同深度样方土壤水分含量 (%)

Tab2. The soil moisture content of different depth sample soil squares

| 深度<br>Depth<br>(cm) | 狗尾草样方<br>Soil squares with Bristlegrass | 裸地样方<br>Bare soil squares |
|---------------------|---|---------------------------|
| 10                  | 34.72% ± 0.02a                          | 34.27% ± 0.01a            |
| 20                  | 34.91% ± 0.01a                          | 33.25% ± 0.01a            |

注：平均值后不同字母表示在 P<0.05 水平内差异显著，n=12

Notes: Different letters indicate significant difference at 5% level, n=12.

## 2. 3 不同深度，不同处理样方的根系 F-S 曲线分析

### 2. 3. 1 10cm 不同处理样方的 F-S 曲线分析

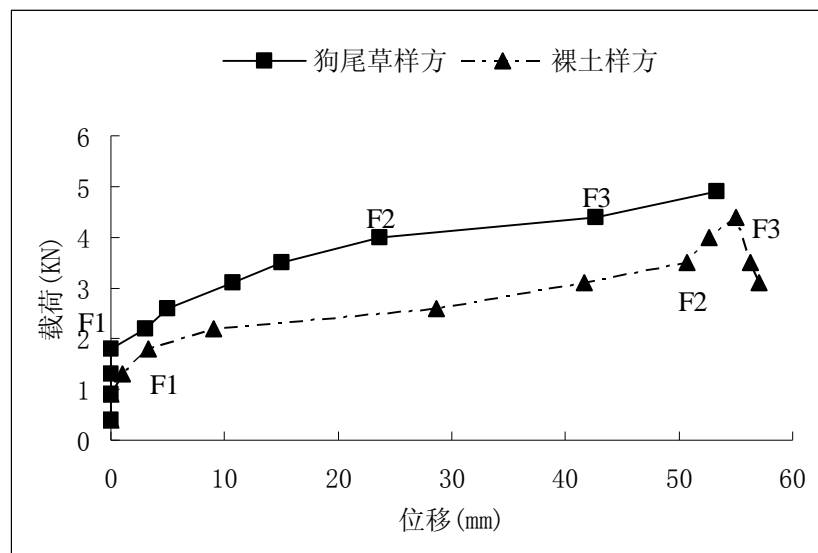


图 2. 10cm 不同处理样方载荷与位移的关系

Fig2. Load (KN) and displacement (mm) of 10cm different sample soil squares

### (1) 10cm 狗尾草样方

其根系 F-S 曲线如图 2 所示,当载荷为 1.8KN 时是 F-S 曲线的第一个拐点 F1,也就是比例极限点,在此点范围内对土墩施加的载荷较小,载荷与土墩产生的位移几乎为零。公式表达为: $S=0$ ,式中:S—位移(mm)。

在此之前样方中的根系与土壤之间发生的是弹性形变,载荷较小,此阶段只要消除拉力,土墩就能回到原来初始位置,土墩中的根系就能恢复原来在土壤中的状态。此时土墩发生的位移(S)是由根系弹性形变量与土壤弹性形变量共同作用的结果,此时所对应的位移为 0mm。

当载荷继续增加到大于 F1 以后,我们能够看到土墩的位移增大较快,此时载荷与位移表现为幂函数关系,公式表达为:

$$F=1.6722S^{0.2661}, \text{式中: } F\text{—载荷 (KN), } S\text{—位移 (mm)}。$$

当载荷增加到 4.0KN 时,土墩的位移为 23.7mm,此点是屈服拉力点 F2,是根系与土壤的相互作用由弹性形变为主进入以塑性形变为主的临界点。也就是说在此点以前,根系与土壤的相互作用处于弹性形变阶段。

当载荷增加到 4.4KN 时,土墩的位移为 42.7cm,此点是抗拉极限点 F3,在此点根系和土壤都处于塑性形变状态,施加给土墩的载荷稍有增加根系就会产生较大的位移,此点为根系水平抵抗滑坡的极限点。公式表达为:

$$F=0.0469S+2.4。$$

### (2) 10cm 裸地样方

其 F-S 曲线如图 2 所示,当载荷为 0.9KN 时是 F-S 曲线的第一个拐点 F1,也就是比例极限点,在此点范围内对土墩施加的载荷较小,载荷与土墩产生的位移几乎为零。公式表达为: $S=0$ ,式中:S—位移(mm)。

在此之前样方中的土壤之间发生的是弹性形变,载荷较小,此阶段只要消除拉力,土墩就能回到原来初始位置,此时土墩发生的位移(S)是由土壤之间弹性形变共同作用的结果,此时所对应的位移为 0mm。

当载荷继续增加到大于 F1 以后,我们能够看到土墩的位移增大较快,此时载荷与位移表现为幂函数关系,公式表达为:

$$F=1.3167S^{0.2309}, \text{式中: } F\text{—载荷 (KN), } S\text{—位移 (mm)}。$$

当载荷增加到 3.5KN 时,土墩的位移为 50.7mm,此点是屈服拉力点 F2,是土壤的相互作用由弹性形变为主进入以塑性形变为主的临界点。也就是说在此点以前,土壤的相互作用处于弹性形变阶段。

当载荷增加到 4.4KN 时,土墩的位移为 55.0mm,此点是抗拉极限点 F3,在此点土壤处于塑性形变状态,此点后载荷不再上升而是出现下降趋势,此点为土壤水平抵抗滑坡的极限点。公式表达为:

$$F= - 0.6536S+40.339。$$

## 2. 3. 2 20cm 不同处理样方的 F—S 曲线分析

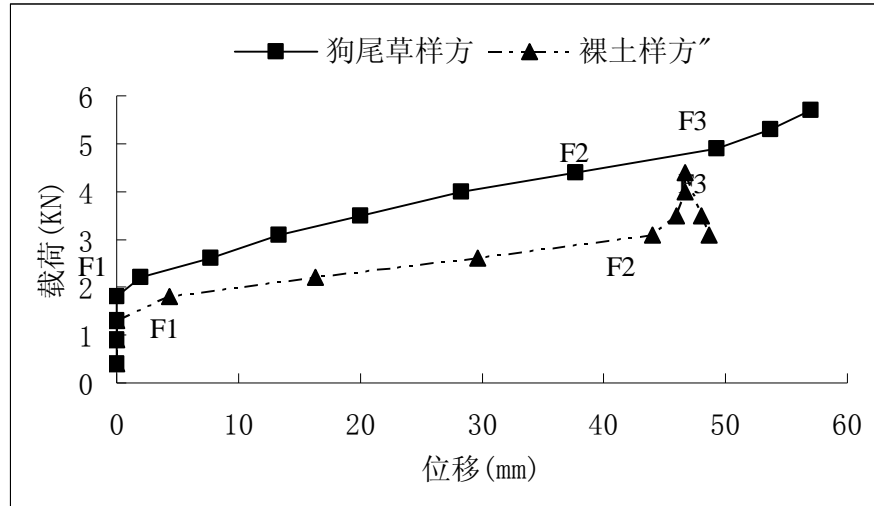


图3. 20cm 不同处理样方载荷与位移的关系

Figure3. Load (KN) and displacement (mm) of 20cm different sample soil squares

(1) 20cm 狗尾草样方

其根系 F-S 曲线如图 3 所示,当载荷为 1.8KN 时是 F-S 曲线的第一个拐点 F1,也就是比例极限点,在此点范围内对土墩施加的载荷较小,载荷与土墩产生的位移几乎为零。公式表达为:  $S=0$ , 式中: S—位移(mm)。

在此之前样方中的根系与土壤之间发生的是弹性形变,载荷较小,此阶段只要消除拉力,土墩就能回到原来初始位置,土墩中的根系就能恢复原来在土壤中的状态。此时土墩发生的位移(S)是由根系弹性形变量与土壤弹性形变量共同作用的结果,此时所对应的位移为 0mm。

当载荷继续增加到大于 F1 以后,我们能够看到土墩的位移增大较快,此时载荷与位移表现为线性关系,公式表达为:

$$F=0.057S+2.2387, \text{式中: } F\text{—载荷 (KN), } S\text{—位移 (mm)}。$$

当载荷增加到 4.4KN 时,土墩的位移为 37.7mm,此点是屈服拉力点 F2,是根系与土壤的相互作用由弹性形变为主进入以塑性形变为主的临界点。也就是说在此点以前,根系与土壤的相互作用处于弹性形变阶段。

当载荷增加到 4.9KN 时,土墩的位移为 49.3mm,此点是抗拉极限点 F3,在此点根系和土壤都处于塑性形变状态,施加给土墩的载荷稍有增加根系就会产生较大的位移,

此点为根系水平抵抗滑坡的极限点。公式表达为:

$$F=9.5833S+2.5417。$$

(2) 20cm 裸地样方

其 F-S 曲线如图 3 所示,当载荷为 1.3KN 时是 F-S 曲线的第一个拐点 F1,也就是比例极限点,在此点范围内对土墩施加的载荷较小,载荷与土墩产生的位移几乎为零。公式表达为:  $S=0$ , 式中: S—位移(mm)。

在此之前样方中的土壤之间发生的是弹性形变,载荷较小,此阶段只要消除拉力,土墩就能回到原来初始位置,此时土墩发生的位移(S)是由土壤之间弹性形变共同作用的结果,此时所对应的位移为 0mm。

当载荷继续增加到大于 F1 以后,我们能够看到土墩的位移增大较快,此时载荷与位移表现为线性关系,公式表达为:

$$F=0.0325S+1.6584。$$

当载荷增加到 3.1KN 时,土墩的位移为 44.0mm,此点是屈服拉力点 F2,是土壤的相互作用由弹性形变为主进入以塑性形变为主的临界点。也就是说在此点以前,土壤的相互作用处于弹性形变阶段。

当载荷增加到 4.0KN 时,土墩的位移为 46.7mm,此点是抗拉极限点 F3,在此点土壤处于塑性形变状态,此点后载荷不再上升而是出现下降趋势,此点为土壤水平抵抗滑

坡的极限点。公式表达为:

$$F = -0.6536S + 34.893。$$

## 2. 4 有根样方与无根样方的载荷与位移关系

由图 2, 图 3 可看出实验中无根样方与有根样方土墩的载荷变化情况大体相似, 无根样方土墩因水土流失没有表层土, 土壤比较板结, 使该样方一开始要较大载荷才能发生较小位移。有根样方的土墩位移随载荷增大而增大, 并且压力表在一定范围内波动上

升, 但在剪破后压力表读数并未迅速降低, 有时还有一定的回升。是因为根没被完全拉断, 在短时间内仍有抵抗力。而无根的裸地位移先随载荷增大而增大, 增到一定程度后土墩被剪破, 压力表读数不再上升而是降低。这是无根与有根样方最明显的区别。

## 3 讨论和结论

(1) 周跃<sup>[16]</sup>使用剪切箱直接对土壤进行采样, 并结合解明曙<sup>[17]</sup>原位水平挤出剪切法的优点, 用植株作为支持点, 对整体浅层水平根系的斜向牵引效果进行了研究。其实验设备的优点是测出了剪切箱的平均位移, 但不能直接读出拉力值, 并且不能对抗拉过程进行分析。

(2) 本研究借鉴了万利, 王震洪对生态修复中不同植被(草本, 灌木, 乔木群落)的原位土壤根系水平抗拉实验方法<sup>[18]</sup>, 并进行了改进。用改进的方法测定了不同深度狗尾草及裸地固土的作用。此法可定量获取土壤根系水平抗拉过程中载荷与位移的关系, 绘出 F—S 曲线。测定的土层水平和垂直范围可依据实验要求进行具体设定, 仪器携带方便, 可拆卸, 拉力机可控制剪切速度, 读数方便, 成本低廉, 简单易行。

(3) 剪切箱尺寸是影响原位测定结果的一个重要因素。由于不同作物根系在土壤中水平方向和垂直方向上的范围是不同的, 所以剪切箱尺寸不合适其测定的结果就没有

代表性。本实验剪切箱规格分别为:(0.3m×0.3m×0.1m; 0.3m×0.3m×0.2m)。通过实验可看出狗尾草样方和裸土样方差异是很明显的。对于其它作物和土壤类型来说都还有待研究。

(4) 假设本实验的红土样方位移阈值 $\geq 40\text{mm}$ , 在 10cm, 20cm 深度时, 裸土样方需要的载荷均为 3.1KN, 而狗尾草样方分别为 4.4 KN, 4.9 KN。10cm, 20cm 的 F—S 曲线表明: 狗尾草样方承受载荷的能力没有迅速下降还有上升的趋势, 而裸土样方承受载荷的能力明显下降, 在载荷为 4.4 KN 时陡然下降。

(5) 作物根系对土壤侵蚀和滑坡具有很好的抵抗作用。本实验中在相同载荷下, 裸土样方较狗尾草样方位移增加。该测定方法可以在水土保持上作为评价不同作物(植物)固土能力的有效手段。

## 参考文献:

[1] 郭维俊, 黄高宝, 王芬娥等. 植物根系若干力学问题研究 [J]. 中国农机化, 2006, (2): 84-88.

[2] 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.

[3] MORGAN R.P.C. Soil Erosion and Conservation, 3<sup>rd</sup> edition [M]. UK: Blackwell

Science Ltd, Oxford, UK, 2005.

[4] GYSSELS G and POESEN J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates [J]. Earth Surface Processes and Landforms 2003, 28: 371-384.

[5] 中国机械工业教育协会组编. 土力学及地基基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001, 5, 47-49.

- [6]R.M.JONES.复合材料力学[M].上海:上海科学技术出版社,1981.
- [7]张淳源.粘弹性断裂力学[M].武汉:华中理工大学出版社,1994.
- [8]唐雪松,蒋持平,郑键龙.弹性损伤材料的应力-应变关系与损伤演化方程[J].长沙交通学院学报,1999,15(4):8-14.
- [9]CAUVIN A, TESTA RB. Elastoplastic material with isotropic damage[J].Int Solids Struc,1999,36:727-746.
- [10]FUNG YC. Foundations of Solid Mechanics [M].New Jersey: Englewood Cliffs Prentice-Hall,Inc,1965.
- [11]LEE IW Y.A review of vegetative slope stabilization[J].Hong Kong Inst. of Engineer,1985,13(7):9-12.
- [12]YU S R. Fuzzy analysis of the mechanical properties of material[J]. Gansu University of Technology ,1999,25(2):113-115.
- [13]龚晓南,叶黔元,徐日庆.工程材料本构方程[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [14]鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15]黄瑞冬.植物根系研究方法的发展[J].沈阳农业大学学报,1991,22(2):164—168.
- [16]周跃.云南松林侵蚀控制潜能[M].云南:云南科技出版社,1999.
- [17]解明曙.黄土地区土壤根系固土力学机理研究[D].北京:北京林业大学博士论文,1987.
- [18]万利,王震洪,田昆.新平县生态修复区不同植被的固土力学机理研究[D].云南:西南林学院硕士论文,2006.

## **In-Situ Measurement of Fixing Capability of Soil By Faber**

### **Bristlegrass Roots**

MAO Yan-Ting<sup>1</sup>, ZHENG Yi<sup>1</sup>, LI Yongmei<sup>1</sup>, M A Fullen<sup>2</sup>, C A Booth<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment , Yunnan Agricultural University, Kunming 650201;  
2. School of Applied Sciences, University of Wolverhampton, Wulfruna street Wolverhampton, West Midlands WV1 1SB, United Kingdom)

**Abstract:** In this experiment , applying the anchor-shank tensiometer and Shearing box designed by oneself had been carried on In-situ measurement to test the fixing capability of soil of the root system of bristlegrass in the depth of 10cm and 20cm .The results show:In 10cm depth, when increasing 4.9KN in load exerted, the displacement of the Faber bristlegrass sampled soil square is 53.3mm, whereas biggest loads of sampled soil square bears 4.4KN and the displacement reached 55.0mm under this load. In 20cm depth, when increasing 5.3KN in load exerted, the displacement of Faber bristlegrass sampled soil square is 53.7mm ,however biggest loads of sampled soil square bears 4.0KN.The In-situ measurement would appraise different crops (plants) fixing capability of soil in water and soil conservation as an effective means.

**Key words:** Bristlegrass roots; Fixing capability of soil ; In-situ measurement