

浦阳江下游江岸草本植物根系对土壤抗冲性的影响

陈浩, 余毅敏, 唐旭栋, 周之静, 赵雅青

(杭州市园林绿化股份有限公司, 杭州 310000)

摘要:采用7级目测法对浦阳江下游江岸草本植物进行了调研,筛选出了当地的优势草本,并对其根系密度、土壤抗冲性增强效应进行了分析,补充了植物根系对江岸土壤抗冲性影响的基础资料。研究发现:(1)浦阳江下游江岸的优势草本植物是狗牙根、水蓼、芦苇、芒、双穗雀稗;(2)5种草本植物根系($d \leq 1.0$ mm)在土壤表层(0—30 cm)均有较多分布,根系密度随着土层的垂直分布深度增加而减少,其规律服从指数函数关系分布;(3)5种优势草本根系均能增强浦阳江下游江岸土壤的抗冲性,增强值分别如下:芦苇 14.16,芒 12.53,狗牙根 5.39,双穗雀稗 5.01,水蓼 4.41。5种优势草本均能在浦阳江消落带植被构建中发挥土壤抗冲性增强效应,尤其是芦苇与芒的增强效应最为明显。

关键词:浦阳江; 土壤抗冲性; 根系密度; 草本植物

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0060-04

Effect of the Root Systems of Herbaceous Plants on Soil Anti-scourability in the Riparian Area of Lower Reaches of Puyang River

CHEN Hao, YU Yimin, TANG Xudong, ZHOU Zhijing, ZHAO Yaqing

(Hangzhou Landscaping Incorporated, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Puyang River is often affected by the flood disaster. However, herbaceous plants play a key role in control of soil erosion. In this paper, a field survey of species, relative coverage, abundance and relative height for herbaceous plants was carried out in the riparian area of lower reaches of Puyang River. The root densities of dominant plant species, enhancement values of anti-scourability by roots were studied. The results showed that: (1) *Cynodon dactylon*, *Polygonum hydropiper*, *Phragmites australis*, *Miscanthus sinensis* and *Paspalum paspaloides* were dominant in herbaceous plants; (2) roots with diameter less than 1 mm of 5 herbaceous plants mostly distributed in 0—30 cm soil surface layer, the root densities decreased with the increase of soil depth, and the relationship of them followed the index series relationship; (3) all the roots of 5 species had remarkable positive enhancement effects on soil anti-scourability, and the intensified value of soil anti-scourability by root system of *Phragmites australis* was 14.16, 12.53 for *Miscanthus sinensis*, 5.39 for *Cynodon dactylon*, 5.01 for *Paspalum paspaloides*, and 4.41 for *Polygonum hydropiper*. In the experiment, it is suggested that these five herbaceous plants, especially *Phragmites australis* and *Miscanthus sinensis*, could enhance the soil anti-scourability for protecting the riparian area of lower reaches of Puyang River.

Keywords: Puyang River; soil anti-scourability; root density; herbaceous plants

浦阳江是钱塘江下游的一条支流,自古以来洪涝灾害频繁,素有“浙江小黄河”之称^[1],其中湄池至三江口河段属下游河段,河道弯曲,受梅雨及钱塘江潮水顶托的双重影响,排泄不畅,洪水时常泛滥成灾^[2-3]。因此,在浦阳江下游江岸建设中水土保持成为一个重要议题。

植被构建是水土保持中最有效和最根本的方

法^[4]。植被减少表土侵蚀的早期研究主要集中于植物地上部分,包括冠层的截留和枯枝落叶层的涵水作用^[5],之后人们意识到植物通过地下根系的盘绕、固结作用,也能发挥稳定土壤结构,增强土壤抗侵蚀能力的效应^[6]。其中,土壤抗冲性是研究土壤抗侵蚀能力的一项重要内容,根系对土壤抗冲性的影响研究最早由苏联的土壤学家古萨克发起^[7],经过几十年的发

展,已经取得了可观的研究成果,但国内研究对象多以黄土高原为主^[6,8-10],河岸领域鲜有报道^[11-12]。

消落带频繁的水淹环境导致江岸植物多有草本植物构成。草本植物根系有其自身特点,其总根数的 90% 分布于 0—30 cm 的土层内,根系一般为直径小于 1 mm 的须根^[13],而已有研究表明根系中 $d \leq 1$ mm 的须根,与土壤的抗侵蚀效能密切相关,它是反映土体稳定的一个重要指标^[14]。因此,本文采用 7 级目测法对浦阳江下游江岸的优势草本进行调研,并通过 $d \leq 1$ mm 根系密度测定、土壤抗冲试验研究优势草本的固持作用,分析不同植物根系对土壤抗冲性的增强效应是否有差异,植物根系特征与土壤抗冲性是否有关,为浦阳江江岸的植物群落构建提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点和材料

根据浦阳江下游河道特性,选取了涓池、临浦、闻堰水文站附近江岸为调研样点,每个样点随机选择环境条件基本一致的 10 块标准样方,共计 30 块样方,每块样方大小均为 10 m×10 m。通过草本植物调查筛选出 5 种优势草本进行根系土壤抗冲性试验。

1.2 方法

1.2.1 优势草本筛选方法 草本植物调查采用 7 级目测法^[15-16](见表 1),该法是野外杂草群落调研的常用方法,它根据植物的相对盖度、多度和相对高度三者的综合指标确定各物种的优势度级数,再以样方单位计算该物种相应的频度和优势度值,通过物种间优势度的比较,筛选出 5 种优势草本。其中:

频度 = 某物种出现的样方数 / 调研的总样方数 × 100%

优势度 = \sum (某物种该级别出现的样方数 × 该级别代表值) / (总样方数 × 5) × 100%

1.2.2 根系密度测定方法 根系密度测定采用挖根法^[17],在 10 cm 直径的圆截面上,按照取土表面、距表面 10,20,30 cm 的深度,测出每个剖面上的根数,每一物种进行 4 个重复。数据分析和处理中,采用 SPSS13.0 统计软件,用方差分析和回归分析法处理数据。

1.2.3 土样采集方法 采用根钻(直径 10 cm,高度 15 cm),在野外钻取含有试验物种根系的表层土 15 cm 作为土样,采样前需清除植物地上部分、落叶杂物,每一物种取 4 个土样用于土壤抗冲试验,同时在各自物种采样点附近取 4 个不长植物的土样,用于对照试验。土样采集完后,需立即放入自制的 PVC 管(直径 10 cm,高度 15 cm)中,运至临安青山湖花园中心实验室进行后续试验。

表 1 7 级目测分级标准

优势度级别	相对盖度/%	多度	相对高度
5	>25	多至很多	上层
	>50	很多	中层
	>95	很多	下层
4	10~25	较多	上层
	25~50	多	中层
	50~95	很多	下层
3	5~10	较少	上层
	10~25	较多	中层
	25~50	多	下层
2	2~5	少	上层
	5~10	较少	中层
	10~25	较多	下层
1	1~2	很少	上层
	2~5	少	中层
	5~10	较少	下层
T	<1	偶见	上层
	1~2	很少	中层
	2~5	少	下层
O	<0.1	1~3 株	上层
	<1	偶见	中层
	<2	很少	下层

注:T 级赋值 0.5,O 级赋值 0.1。

1.2.4 土壤抗冲试验方法 土壤抗冲性的测试参考蒋定生等的原状土冲刷槽法^[12,18]。土样在抗冲试验前先用水浸润,方法如下:装有土样的 PVC 管一端用丝绢包扎后竖立放于水盆中,水面高度 10 cm,水从管底部自下而上浸润土样 12 h 直至达到饱和,将达到饱和的土样静置于平地上 8 h 以去除重力水,用电子天平称重后横放水槽的末端,去掉丝绢和上侧的 1/2PVC 管,进行抗冲试验。抗冲试验水槽宽 15 cm,长 200 cm,冲刷坡度为 15°,水流速度恒定为 10 L/min,冲刷时间为 5 min,5 min 内冲刷完的以具体冲刷完的时间计算。用电子天平称量抗冲后土样的重量(含饱和水),计算出冲刷走的土重(含饱和水),进而计算出抗冲系数 K (L/g),即冲掉 1 g 土样(含饱和水)所需的水量。

根系对土壤抗冲性影响的指标使用土壤抗冲性增强值,用 E 表示,计算公式为 $E = (K_t - K_0) / K_0$, K_t 为含根土样的抗冲系数, K_0 为空白对照土样的抗冲系数。

2 结果与分析

2.1 优势草本筛选

由于浦阳江下游的地理特殊性,江岸地带时常受

到水位涨落的影响,形成自然消落带,这对该地植物的耐淹性提出了考验。草本植物作为保水和土壤改良的先锋植物,具有生长快、投资小、易管理等优点;除此以外,草根本系的加筋作用对坡岸土体起到加固作用,提高了土体抗剪强度与边坡稳定性^[19-20],因此,消落带草本植物的选择对护岸的稳定意义重大。见表 2,通过实地调研发现浦阳江下游草本植物种类丰富,尤其是狗牙根 *Cynodon dactylon*、水蓼 *Polygonum hydropiper*、芦苇 *Phragmites australis*、芒 *Miscanthus sinensis*、双穗雀稗 *Paspalum paspaloides* 优势度相对较高,可知这 5 种植物在当地环境中具有较高的适应性,可用作土壤抗冲试验的对象。

表 2 浦阳江下游江岸主要草本植物的优势度与频度

草本植物种类	优势度/%	频度/%
1. 狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	10.47	46.67
2. 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	13.67	46.67
3. 小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	3.93	40.00
4. 水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	12.73	43.33
5. 牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	8.73	40.00
6. 芦苇 <i>Phragmites australis</i>	16.67	43.33
7. 碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	7.27	43.33
8. 稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	6.67	36.67
9. 水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	10.33	23.33
10. 芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	13.07	36.67
11. 空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	10.73	33.33
12. 石菖蒲 <i>Acorus tatarinowii</i>	0.80	6.67
13. 水蓼 <i>Hygrophila salicifolia</i>	9.07	26.67
14. 鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i>	1.67	13.33
15. 双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i>	13.40	53.33
16. 水苦荬 <i>Veronica undulate</i>	4.13	26.67
17. 异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	4.40	23.33
18. 丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	9.67	26.67

2.2 根系密度分析

草本植物往往没有强大的主根,无法发挥主根锚固作用,但它能利用发达的须根对土壤起到加筋作用^[19]。现有研究表明,直径 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 的根系能显著提高土壤的抗冲刷性^[21-22],因此本试验分别统计直径 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 的根系。

5 种植物直径 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 的根系密度,在 0—30 cm 土层的垂直分布均随深度增加而减少(见图 1),其中狗牙根、芦苇、双穗雀稗根系分布特征表现出相似的特点, $d\leq 1.0\text{ mm}$ 根系密度下降趋势显著。水蓼 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 根系密度在取土表面与 10 cm 深度的分布均显著高于 30 cm 深度处,取土表面与 10 cm 深度间差异显著,但 20 cm 深度与 10 cm 及 30 cm 深度间没有显著差异。芒 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 根系密度在取土表面和 10 cm 深度间没有显著差异,但取土表面与 10

cm 深度的分布均显著高于 20 cm 与 30 cm 深度处,20 cm 与 30 cm 根系密度差异显著。

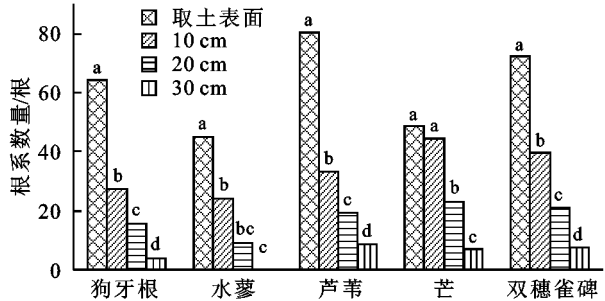


图 1 耐淹植物根系数量在土壤表层中的分布

各植物根系密度($d\leq 1.0\text{ mm}$)与土层深度间进行拟合分析,两者关系服从指数分布,相关性显著($p<0.01$,见表 3),这一规律在类似的研究中也有报道^[23-26]。通过公式,根据土层深度,可以预测 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 的植物根系在土层中分布密度,为该植物在江岸水土保持中的运用提供理论指导。

表 3 植物根系密度与土层深度的曲线回归方程

植物名称	指数方程	R^2	p
狗牙根	$y=69.713e^{-0.092x}$	0.944	<0.01
水蓼	$y=48.415e^{-0.089x}$	0.887	<0.01
芦苇	$y=76.983e^{-0.074x}$	0.956	<0.01
芒	$y=64.082e^{-0.065x}$	0.861	<0.01
双穗雀稗	$y=78.454e^{-0.074x}$	0.964	<0.01

注: y 表示根系密度, x 表示土层深度。

土壤抗冲性与 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 径级的须根密度关系最为密切,该径级根系密度大,可以改建土壤、构建良好的抗冲性构^[27]。对浦阳江下游江岸优势草本的根系密度研究结果显示,5 种植物 $d\leq 1.0\text{ mm}$ 的根系密度均随土层深度增加而减少,暗示这些植物根系对土壤抗冲性的增强效果随着土层的加深而减弱。

2.3 抗冲性分析

5 种植物对土层的抗冲性均有增强效应,但物种间增强效应不同(图 2)。芦苇、芒根系对土壤的抗冲性增强效应最强,增强值分别为 14.16,12.53,水蓼的增强效应最弱,增强值为 4.41,狗牙根、双穗雀稗增强值分别为 5.39,5.01。

土壤的抗侵蚀性包括抗冲性与抗蚀性两方面^[28],土壤抗冲性是指土壤抵抗径流对土壤机械破坏和推动下移的性能^[29],目前为止,还没有确切的衡量土壤抗冲性强弱的指标和统一的测量方法。土壤静水崩解法^[28]、索波列夫抗冲仪器法^[28,30]、原状土冲刷水槽法^[31-33]、实地放水试验法^[10]在土壤抗冲性研究中都有报道。本试验采用改进的原状土冲刷水槽法,对浦阳江下游江岸的优势草本进行试验,结果显示草本植物根系都能提高土壤的抗冲性,这一结果与先前的研究报道相一致^[6,12,34]。

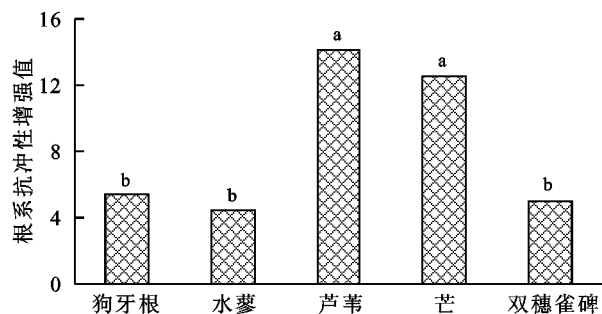


图2 耐淹植物对土壤抗冲性的增强值

植物通过根系的分布、盘绕、固结作用,提高土壤抗冲力,增强土壤渗透性并创造抗冲性土体构型,从而实现土壤抗冲性的增强。5种草本植物中,芦苇与芒的抗冲性增强值较大,芦苇属于根系发达的高大禾草,在干旱地区根系深度可达2.5 m以上,根系属于根茎型分蘖,在土壤中极易形成庞大的根系网络,将周围土壤固结在一起,形成抗冲性土体构造,从而使整体植株对于土壤抗冲性的增强效应最为明显,这一结果符合卢立霞等^[35]的发现。芒属于多年生草本,根系入土可达1 m,根状茎横走于地表下10 cm左右^[36],形成的根系—根茎立体网络结构能对土壤起到很好的固持作用。考虑到芦苇、芒的地上茎叶部分也很发达,可以有效减少雨水的直接溅蚀,其根系又具有良好固持能力,因此这两物种适合在江岸推广。狗牙根、双穗雀稗根系特征类似,因而它们对土壤抗冲性的增强值之间无显著差异,抗冲性增强值都在5左右。水蓼属于蓼科的一年生大型草本,茎易斜升,基部节上长有不定根^[37],虽然试验中水蓼的土壤抗冲性增强值不高,但在实地采样中发现水蓼近地面斜升茎干形成的不定根,明显扩大了单株植物的固土作用范围,水蓼的综合固土效应还待进一步评价。

3 结论

(1) 通过7级目测法,发现浦阳江下游江岸的优势草本植物是狗牙根、水蓼、芦苇、芒、双穗雀稗。

(2) 5种草本植物根系($d \leq 1.0$ mm)在土壤表层(0—30 cm)均有较多分布,根系密度随着土层的垂直分布深度增加而减少,其规律服从指数函数关系分布,该关系可以推测土壤抗冲性的增强效应,但在具体研究中,评价植物根系对土壤抗冲性的增强效应还应综合考虑植物根系的生物量^[12,32]、根系表面的生物学特性^[38]等因素。

(3) 采用改进的原状土冲刷水槽法进行试验,发现5种优势草本根系均能增强浦阳江下游江岸土壤的抗冲性,提高江岸的水土保持作用,尤其是芦苇与芒,具有更好的抗冲增强效应。先前研究表明直径 $d \leq 1.0$ mm的

根系能显著提高土壤的抗冲刷性^[21-22],本研究证实各植物 $d \leq 1.0$ mm根系密度与土层深度密切相关,因此在今后的工作中,可以针对土层中 $d \leq 1.0$ mm根系分布密度与土壤抗冲性的相关性进行设计研究。

参考文献:

- [1] 李玉尚. 三江闸与1537年以来萧绍平原的姜片虫病[J]. 中国农史, 2011(4): 93-106.
- [2] 丁涛, 胡国建, 尤爱菊. 钱塘江河口近年江道变化对浦阳江行洪影响研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(5): 148-153.
- [3] 胡国建, 丁涛, 尤爱菊, 等. 钱塘江洪水顶托对浦阳江洪水位的影响研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11): 11-14.
- [4] 吴钦孝, 赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 13-15.
- [5] Gyssels G, Poesen J, Liu G, et al. Effects of cereal roots on detachment rates of single- and double-drilled topsoils during concentrated flow[J]. European Journal of Soil Science, 2006, 57(3): 381-391.
- [6] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 93-96.
- [7] 查小春, 贺秀斌. 土壤物理力学性质与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 98-104.
- [8] 卢宗凡, 苏敏, 李够霞, 等. 黄土丘陵区水土保持生物和耕作措施的研究[J]. 水土保持学报, 1988, 2(1): 37-48.
- [9] 蒋定生, 黄国俊, 范兴科. 黄土高原坡耕地水土保持措施效益评价试验研究(Ⅲ), 坡耕地水土保持措施综合效益评价[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 8-13.
- [10] 周佩华, 武春龙. 黄土高原土壤抗冲性的试验研究方法探讨[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 29-34.
- [11] 张金池, 臧廷亮. 岩质海岸防护林树木根系对土壤抗冲性的强化效应[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(1): 9-12.
- [12] 徐少君, 曾波. 三峡库区5种耐水淹植物根系增强土壤抗侵蚀效能研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 13-18.
- [13] 宋云. 植物固土边坡稳定基本原理的研究以及固坡植物的选择设计[D]. 长沙: 中南林学院, 2005.
- [14] 熊燕梅, 夏汉, 平一, 等. 植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 895-904.
- [15] 强胜, 李扬汉. 安徽沿江圩丘农区夏收作物田杂草群落分布规律的研究[J]. 植物生态学报, 1990, 14(3): 212-219.
- [16] 强胜, 胡金良. 江苏省棉区棉田杂草群落发生分布规律的数量分析[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 810-816.
- [17] 杨福国, 陆国泉, 史顺海. 高寒矮嵩草草甸结构特征及其生产量[J]. 高原生物学集刊, 1985(4): 49-56.
- [18] 李强, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 153-159.
- [19] 江锋, 张俊云. 植物根系与边坡土体间的力学特性研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(1): 57-61.

(3) 基于多元数据的云南省水土保持四级区划综合了自然要素、社会经济要素、土地利用要素和水土保持要素四个方面,采用多指标、多层次进行云南省水土保持四级分区分析,并与全国水土保持三级分区(云南省部分)进行比较。该方法不仅弥补了以往水土保持区划指标单一、代表性差、主观定性强的问题,而且提高了水土保持区划分析的效率、客观性和准确性。

(4) 该方法具有很强的可操作性,但不足之处在于对多元数据的依赖性较高,数据收集难度较大,数据的准确性对结果有一定影响。

参考文献:

- [1] 夏继红,胡玲.生态河岸带功能区划的定性定量研究[J].水利学报,2007(S1):542-546.
- [2] 傅伯杰,陈利顶,刘国华.中国生态区划的目的、任务及特点[J].生态学报,1999,19(5):591-595.
- [3] Bailey R G. Ecosystem Geography: from ecoregions to sites[M]. New York: Springer, 2009.
- [4] Bailey R G. Explanatory supplement to ecoregions map of the continents [J]. Environmental Conservation, 1989,16(4):307-309.
- [5] Rowe J S, Sheard J W. Ecological land classification: A

survey approach [J]. Environmental Management, 1981,5(5):451-464.

- [6] 黄秉维.编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训[J].科学通报,1955(12):15-21.
- [7] 黄秉维.中国综合自然区划的初步草案[J].地理学报,1958(4):348-365.
- [8] 朱显谟.有关黄河中游土壤侵蚀区划问题[J].土壤通报,1958(1):1-6.
- [9] 张汉雄.模糊聚类在水土保持区划中的应用[J].中国水土保持,1990(11):52-54.
- [10] 胡志勇,严鹏,程颐农,等.用模糊—动态聚类法对青海省东部进行水土保持综合治理亚区划分[J].水土保持研究,1994,1(1):37-44.
- [11] 邓根松,危煦春.灰色系统理论在水土保持区划中的应用:邵武市水土保持区划方法初探[J].福建水土保持,1995(4):14-18.
- [12] 吴海波,赵晓慎,王治国,等.基于 Bayes 判别分析模型的水土保持区划[J].中国水土保持科学,2012,10(2):88-91.
- [13] 王新军,曹磊,吴颖超,等.基于 GIS 的江苏省水土保持区划方法[J].水土保持通报,2014,34(3):130-134.
- [14] 汪冬华.多元统计分析与 SPSS 应用[M].武汉:华东理工大学出版社,2010.

(上接第 63 页)

- [20] 宋云,言志信,段建.摩擦型根—土作用模型[J].岩土力学,2005(S2):171-174.
- [21] 张祖荣.植物根系提高土壤抗侵蚀能力的初步研究[J].渝西学院学报:自然科学版,2002,15(1):31-35.
- [22] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等.植物根系与土壤抗冲性[J].水土保持学报,1993,7(3):11-18.
- [23] 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.
- [24] 杨丽韞,李文华.长白山原始阔叶红松林细根分布及其周转的研究[J].北京林业大学学报,2005,27(2):1-5.
- [25] McClaugherty C A, Aber J D, Melillo J M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems[J]. Ecology, 1982,63(5):1481-1490.
- [26] Persson H. Root Dynamics in a Young Scots Pine Stand in Central Sweden[J]. Oikos, 1978,30(3):508-519.
- [27] 李勇,吴钦孝,朱显谟,等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [28] 朱显谟.黄土地区植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,8(2):110-121.
- [29] 朱显谟.甘肃中部土壤侵蚀调查报告[J].土壤专报,

1958,32(53):109.

- [30] 李勇,朱显谟,田积莹,等.黄土高原土壤抗冲性机理初步研究[J].科学通报,1990,35(5):390-393.
- [31] 文卓立,周飞.缙云山典型植物群落次生演替中土壤抗冲性研究[J].水土保持研究,2008,15(2):13-17.
- [32] 徐文远,王晓春,刘德海.不同植物根系对土壤抗冲性的影响[J].安徽农业科学,2011,39(4):2155-2157.
- [33] 李勇,徐晓琴,朱显谟.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制初步研究[J].中国科学 B 辑,1992(3):254-259.
- [34] 毛谿,孟广涛,周跃.植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究[J].水土保持研究,2006,13(2):241-243.
- [35] 卢立霞,曾波.三峡库区嘉陵江岸生优势须根系植物根系对土壤抗冲性的增强效应研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2006,31(3):157-161.
- [36] 赵先南,萧运峰.安徽省的芒属植物资源及其开发利用[J].武汉植物学研究,1990,8(4):374-381.
- [37] 陈芳清,李永,鄯光武,等.水蓼对水淹胁迫的耐受能力和形态学响应[J].植物科学学报,2008,26(2):142-146.
- [38] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils [J]. Soil Research, 1991,29(6):815-828.