

文章编号: 1001-3776 (2015) 03-0031-05

## 钱塘江源头地区主要植被类型土壤抗蚀性研究

田刚<sup>1</sup>, 张晓勉<sup>2\*</sup>, 张金池<sup>3</sup>, 高智慧<sup>4</sup>, 岳春雷<sup>2</sup>, 李奕剑<sup>1</sup>, 李钢<sup>1</sup>

(1. 浙江广川工程咨询有限公司, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023;  
3. 南京林业大学, 江苏 南京 210037; 3. 浙江省林业技术推广总站, 浙江 杭州 310020)

**摘要:** 对钱塘江源头地区 8 种不同植被类型不同土层深度土壤抗蚀性、土壤理化性质和土壤根系特性进行了测定。经主成分分析, 从 8 个用于表征土壤抗蚀性的指标中, 筛选出反映研究区土壤抗蚀性的 3 个最佳指标为: 水稳性指数、>0.25 mm 水稳性团粒、>0.5 mm 水稳性团粒; 对植物根系特性与土壤抗蚀性的关系进行了研究, ≤1 mm 细根能有效提高土壤抗蚀性, 在表征根系的参数中, 根体积和根表面积能更好反映根系提高土壤抗蚀性能的效应。

**关键词:** 土壤抗蚀性; 土壤理化性质; 根系特性; 主要植被类型; 钱塘江源头地区

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

## Soil Anti-erodibility under Different Vegetation Types in Kaihua

TIAN Gang<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-Mian<sup>2\*</sup>, ZHANG Jin-Chi<sup>3</sup>, GAO Zhi-Hui<sup>4</sup>, YUE Chun-Lei<sup>2</sup>, LI Yi-Jian<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Guangchuan Engineering Consulting Co., Ltd, Hangzhou 310020, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China; 3. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 4. Zhejiang Forestry Extension Station, Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** Determinations were made on soil anti-erodibility, physiochemical properties and root system characters at different soil layers under 8 vegetation types in Kaihua county, the source of Qiantang river, Zhejiang province. Principal component analysis on the determination data showed that 3 best indicators (water stable index, >0.25mm water stable aggregates, >0.5mm water stable aggregates) were selected from total eight anti-erodibility indexes. The experiment showed that fine roots less than 1mm in diameter could effectively improve soil anti-erodibility. Among the parameters of root system, root volume and root surface area could better indicate anti-erodibility of root system.

**Key words:** soil anti-erodibility; soil physical and chemical property; root characteristics; vegetation types; source of Qiantang River

土壤抗蚀性 (Soil anti-erodibility) 是指土壤对侵蚀营力分散和搬运作用的抵抗能力, 即土壤对侵蚀的易损性或敏感性的倒数。它是控制土壤承受降雨和径流分离及输移等过程的综合效应<sup>[1]</sup>。研究表明, 土壤抗蚀能力成为认识降雨侵蚀过程机制的一个重要环节, 同时它还是建立各种土壤流失方程和坡面侵蚀模型必不可少的重要参数<sup>[2]</sup>。目前, 对土壤抗蚀性的研究主要集中在抗蚀性评价指标以及与土壤理化性质和植物根系之间的关系这三个方面, 且主要以土壤抗蚀指数等参数表征其大小<sup>[3-5]</sup>。其中植物根系与土壤抗蚀性有重要影响, 有研究表明植物根系与土壤抗蚀性呈较强的相关关系<sup>[6]</sup>, 植被的生长对土壤抗蚀性具有较大的增强效应, 徐文远等指出 ≤1mm 根系对土壤抗蚀性的提高起主导作用<sup>[7-10]</sup>。

钱塘江是浙江境内第一大河, 横贯西东流域, 面积占全省八大水系的 47.8%, 径流量占全省八大水系的 50.4%<sup>[11]</sup>。加强钱塘江流域特别是源头地区植被恢复和水土保持工作, 对于浙江省乃至整个长三角地区的环境保

收稿日期: 2015-02-01; 修回日期: 2015-04-12

基金项目: 浙江省水利河口研究院院长基金资金项目“钱塘江流域降雨侵蚀力模型研究”(水保 A10003)

作者简介: 田刚 (1982-), 男, 山东莱芜人, 工程师, 从事水土保持规划设计工作; \*通讯作者。

护和生态安全都具有重要意义。本研究通过对钱塘江源头地区主要植被类型土壤抗蚀性、土壤理化性质、植物根系特性等的研究, 以为钱塘江流域水土保持和生态保护提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于钱塘江源头的开化县, 118° 23' E, 29° 07' N, 属亚热带季风性气候, 年平均气温 16.3℃, 年平均降水量 1 762.1 mm, 森林覆盖率 79.2%<sup>[7]</sup>。全县土壤分为 5 个土类、9 个亚类、21 个土属、45 个土种。低山丘陵以红壤土为主, 谷地平畈多水稻土。土层厚度薄至中, 质地轻壤至重壤, pH 值平均 7.5。

## 2 材料与方方法

### 2.1 样地设置

在研究区内选取马尾松林、针阔混交林(马尾松、木荷、香樟混交)、毛竹林、麻栎林、杉木林、灌木林, 以及当地分布比较广的茶园、农田 8 种植被类型为研究对象。选择能够反映区内林分基本特征, 具有代表性的地段, 尽量选择坡向一致, 坡度、坡位大致相似的地段设置样地, 每个类型各设 3 个样地。各样地基本情况见表 1。

表 1 样地情况  
Table 1 Sample plots

林分类型	毛竹林	马尾松林	麻栎林	灌木林	针阔混交林	杉木林	农田	茶园
起源	人工林	人工林	天然林	天然林	天然林	人工林	-	-
林龄/年	4	6	13	6	20	8	15	12
密度/株·hm <sup>-2</sup>	2 676	2 653	953	5 797	1 050	2 432	-	16 667
平均胸径/cm	8.9	9.6	24.6	3.5	13.2	10.6	-	-
平均树高/m	8.4	7.5	15.3	1.2	10.3	12.6	-	-
郁闭度/盖度	0.6	0.8	0.75	1.0	0.5	0.01	1	0.5
坡度/°	29	31	16	39	26	35	-	18
坡位	中下	中下	中下	中	中上	下	-	中
坡向	SE	SE	N	E	SE	W	-	NE

### 2.2 样品采集及实验方法

在各植被类型样地内选择典型地段(离道路、桥梁、林缘较远, 人为干扰较少的地方), 设置 20 m × 20 m 的标准样地进行调查。在每一种植被类型的典型地段挖取土壤剖面 2 个, 分别在 0~10 cm、>10~20 cm、>20~30 cm、>30~40 cm 土层取样。

土壤抗蚀性测定采用静水崩解法<sup>[12]</sup>。从各土层风干土样中选取直径 0.5~0.7 cm 土粒 50 颗, 均匀放在孔径 5 mm 金属网上, 然后置静水中, 以 1 min 为间隔, 记录分散的土粒数, 持续 10 min, 最后计算土壤的水稳性指数。

细根调查采用土柱法, 根系带回室内浸泡清洗后风干, 用 WinRHIZO 根系分析系统测定各径级细根根长、根表面积、根体积, 再将风干根系置于烘箱 6 h (90℃) 烘干后称量, 并计算各径级根质量(各径级根体积/根样总体积与根样总质量之积)。

土壤容重采用环刀法测定<sup>[13]</sup>。颗粒分析采用甲种比重计法<sup>[13]</sup>。有机质测定采用重铬酸钾—硫酸氧化法<sup>[14]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 不同植被类型土壤水稳性指数分布规律

由于影响土壤抗蚀性的因素比较多而且比较复杂, 目前对土壤抗蚀性的一些认识还局限于表象, 其作用机理还远未研究清楚, 关于土壤抗蚀性的评价也尚未找到普遍适用的指标<sup>[15]</sup>。有大量学者对土壤抗蚀性进行了广泛研究<sup>[4,6-10]</sup>, 其中张金池、胡海波等<sup>[16]</sup>通过测定土壤水稳性指数, 对苏北淤泥质海岸防护林土壤抗蚀性进行了研究, 取得了较为满意的效果。

本研究选取 8 种不同植被类型 0~10 cm、>10~20 cm、>20~30 cm、>30~40 cm 土层水稳性指数进行研究

结果见图 1。

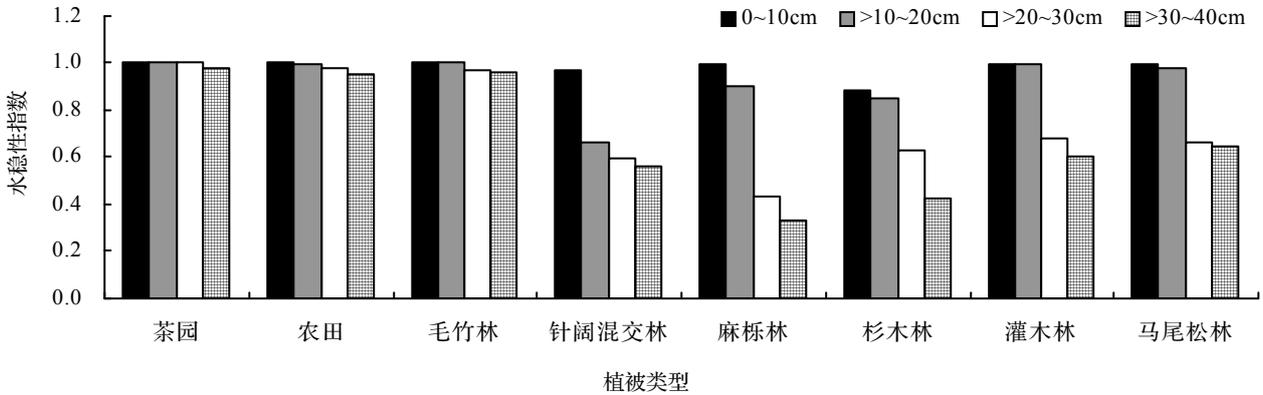


图 1 不同植被类型土壤水稳性指数分布

Figure 1 Distribution of water soluble index of soil under different vegetation types

由图 1 可以看出: 各植被类型土壤水稳性指数随着土层的增加逐渐减小, 0~10 cm 水稳性指数最大, 各植被类型平均值为 0.979; >30~40 cm 水稳性指数最小, 平均值为 0.680。特别是针阔混交林、麻栎林、杉木林、灌木林和马尾松林这 5 种类型减小趋势更明显, 0~10cm 土层水稳性指数比>30~40 cm 土层平均减小了 47%; 而茶园、农田、毛竹林减小幅度较小, 平均减小了 3.7%。综合各土层情况进行分析, 可以看出在 8 种植被类型中, 茶园、农田和毛竹林水稳性指数最高, 4 个土层平均值分别为 0.994、0.981、0.983, 马尾松林、灌木林居中分别为 0.818、0.819, 针阔混交林、杉木林、麻栎林较低, 分别为 0.696、0.694 和 0.664, 。

茶园、农田、毛竹林这 3 个类型主要为人工经营, 土层较厚, 土壤肥沃, 因施肥、抚育等措施, 土壤 N、P、K 以及有机质含量丰富, 有机胶体含量高, 40 cm 以上土层土壤理化性质接近, 而且都比较好, 所以水稳性指数在 8 种类型中最高, 且各土层变化不大。毛竹林根系发达, 竹鞭竹根交错纵横, 分布面积广, 固持网络土壤能力强, 而且根表面分泌有机胶结物质, 使土壤团聚度增高, 毛竹林这种特殊的根系特性, 对土壤结构及理化性质产生了不同影响, 提高了土壤的抗侵蚀能力。针阔混交林、麻栎林、杉木林、灌木林和马尾松林这 5 种类型基本为山林地, 立地条件差, 土壤石粒含量高, 土壤贫瘠, 土层很薄, 一般只有 20 cm 左右, 表层以下往往夹杂大量的石粒, 有机质含量缺乏, 特别是针阔混交林、杉木林、麻栎林甚至有些土层还保留有成土母质的特性, 算不上成熟土, 因此土壤抗侵蚀能力较弱, 而且土层越深, 土壤结构性质越差, 土壤抗侵蚀能力越弱。

### 3.2 土壤理化性质对土壤抗蚀性的影响

衡量土壤抗蚀性的指标很多, 归纳起来主要有 4 大类, 即土壤的化学性质、土壤颗粒成分、水稳性团聚体的含量、土壤分散性和持水特性等<sup>[17]</sup>。本研究选取水稳性指数 ( $X_1$ )、土壤粉粒含量 ( $X_2$ )、粘粒含量 ( $X_3$ )、>0.25 mm 水稳性团粒 ( $X_4$ )、>0.5 mm 水稳性团粒 ( $X_5$ )、结构性指数 ( $X_6$ )、土壤容重 ( $X_7$ )、有机质 ( $X_8$ ) 8 个指标对土壤抗蚀性的影响因素进行分析。由于上述指标较多且有重复, 因此进行主成分分析, 对指标进行分类筛选。

由表 2 可以看出前 3 主成分累计贡献率为 94.99%, 已包含大部分信息。从表 3 可以看出, 这些指标可以分为 3 类。第一特征向量  $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  得分较高, 可以认为是反映土壤水稳特征的因子; 第二特征向量  $X_6$ 、 $X_7$  得分较高, 可以看做是反映土壤结构的因子; 第三特征向量  $X_2$  得分较高, 可以看做土壤粉粒特

表 2 主成分贡献率

Table 2 Contribution rate of principle components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.371 80	0.546 475	0.546 48
2	2.230 84	0.278 855	0.825 33
3	0.996 54	0.124 568	0.949 90
4	0.321 95	0.040 244	0.990 14
5	0.050 39	0.006 299	0.996 44
6	0.025 61	0.003 202	0.999 64
7	0.002 87	0.000 358	1
8	0	0	1

表 3 各主成分特征向量

Table 3 Characteristic vector of each principle component

变量	第一特征值	第二特征值	第三特征值
$X_1$	0.466 1	0.015 1	0.150 9
$X_2$	-0.107 0	-0.294 5	0.863 7
$X_3$	0.350 4	-0.424 7	0.095 3
$X_4$	0.464 0	-0.069 7	-0.039 8
$X_5$	0.468 3	-0.024 6	0.072 5
$X_6$	-0.141 4	0.537 2	0.455 9
$X_7$	0.186 2	0.589 5	0.040 2
$X_8$	-0.398 6	-0.301 8	-0.076 4

性的因子。通过对 3 个特征向量的分析, 可得到研究区反映土壤抗蚀性的 3 个最佳指标为:  $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 。

### 3.3 植物根系对土壤抗蚀性的影响

研究表明, 植物根系对土壤抗蚀性有重要影响<sup>[18]</sup>。为了深入研究钱塘江源头地区植物根系与土壤抗蚀性的关系, 选择 $\leq 1$  mm 细根长 ( $A_1$ )、 $\leq 1$  mm 细根表面积 ( $A_2$ )、 $\leq 1$  mm 细根体积 ( $A_3$ )、 $\leq 1$  mm 细根量 ( $A_4$ ) 与表征土壤抗蚀性的主要指标水稳性指数 ( $B_1$ )、 $> 0.25$  mm 水稳性团粒 ( $B_2$ )、 $> 0.5$  mm 水稳性团粒 ( $B_3$ ) 进行相关性分析, 结果见表 4。

由表 4 可以看出, 植物 $\leq 1$  mm 根系特性与 3 个抗蚀性指标相关性显著, 其中  $A_3$  和  $A_2$  与  $B_1$ 、 $B_2$  相关性达到极显著水平。说明 $\leq 1$  mm 细根特别是根体积和根表面积, 能更好的反映植物根系对土壤抗蚀性的影响。植物根系在土壤中生长、穿插, 死亡、腐烂, 与周围

土壤不断相互作用, 特别是死亡细根的分解产物, 以及活细根周围所产生的糖类、有机酸等根系分泌物, 是土粒之间团聚体的胶结物质, 极大地促进了土壤团聚体的形成, 增加了土壤有机质, 大大提高了土壤的抗蚀性能。而根体积和根表面积集中体现了根系与土壤系统作用面积的大小, 在一定程度上反映了细根生物量的多少及作用<sup>[19-21]</sup>。

表 4 根系特性与抗蚀性指标相关系数  
Table 4 Correlation coefficient of root system properties and anti-erodibility index

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$B_1$	0.752*	0.834**	0.802**	0.778*
$B_2$	0.750*	0.756*	0.813**	0.817**
$B_3$	0.736*	0.809**	0.754*	0.731*

## 3 结论

(1) 各植被类型土壤水稳性指数随着土层的增加逐渐减小,  $0 \sim 10$  cm 水稳性指数最大,  $> 30 \sim 40$  cm 水稳性指数最小。综合各土层情况可以看出, 在 8 种植被类型中, 茶园、农田和毛竹林水稳性指数最高。

(2) 采用主成分分析, 将 8 个指标对土壤抗蚀性的影响进行分类评价, 筛选出反映研究区土壤抗蚀性的 3 个最佳指标为: 水稳性指数、 $> 0.25$  mm 水稳性团粒、 $> 0.5$  mm 水稳性团粒, 3 个指标主成分累计贡献率为 94.99%, 能较好反映当地主要植被类型土壤的抗蚀性。

(3) 通过相关分析研究植物根系特性与土壤抗蚀性的关系, 可以看出 $\leq 1$  mm 根系特性与 3 个抗蚀性指标相关性显著, 其中根体积和根表面积与水稳性指数、 $> 0.25$  mm 水稳性团粒相关性达到极显著水平, 能更好的反映植物根系对土壤抗蚀性的影响。

(4) 土壤水土流失是一系列因素造成的综合效应。本研究采用静水崩解法对土壤水稳性指数与土壤理化性质及植物根系的关系等方面进行了初步研究, 为了对钱塘江源头地区土壤水土流失机理及影响因素进行深入综合研究, 将在以后的研究中引入其他水土保持指标和更多土壤理化性质指标进行深入分析。

### 参考文献:

- [1] Chen Jingjing, He Binghui, Wang Xiaoyan, *et al.* The effects of Herba Andrographitis hedgerows on soil erodibility and fractal features on sloping cropland in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2013, 20 (1): 7 063 – 7 070.
- [2] 刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [3] Wang B, Zheng F L, Römken M J M, *et al.* Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences[J]. *Geomorphology*, 2013 (187): 1 – 10.
- [4] 吕春娟, 白中科, 陈卫国, 等. 黄土区大型排土场植被根系的抗蚀抗冲性研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20 (2): 35 – 38.
- [5] 谌芸, 祝亚军, 何丙辉, 等. 三峡库区狗牙根根系固坡抗蚀效应研究[J]. *水土保持学报*, 2010, 24 (6): 42 – 45.
- [6] Tian Guangming, Wang Fei'er, Chen Yingxu, *et al.* Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China[J]. *Pedosphere*, 2003, 13 (2): 121 – 128.
- [7] 徐文远, 刘玉花, 王晓春, 等. G111 公路讷嫩段 9 种护坡灌木根系增强土壤抗蚀性比较[J]. *水土保持学报*, 2011, 25 (2): 72 – 77.
- [8] 王俭成, 杨建英, 史常青, 等. 北川地区典型林分土壤抗蚀性分析[J]. *水土保持学报*, 2013, 27 (1): 72 – 75.
- [9] 吕文星, 张洪江, 程金花, 等. 三峡库区植物篱对土壤理化性质及抗蚀性的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25 (4): 69 – 73.
- [10] 郑子成, 张锡洲, 李廷轩, 等. 玉米生长期土壤抗蚀性特征及其影响因素分析[J]. *工程农业学报*, 2014, 20 (4): 101 – 108.

- [11] 吴长贤. 钱塘江源头地区森林生态保护的对策建议[J]. 华东森林经理, 2000 (14): 54-56.
- [12] 水利电力部农林水利水土保持司. 水土保持试验规范[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [13] 宋阳, 刘连友, 严平, 等. 土壤可蚀性研究述评[J]. 干旱区地理, 2006, 29 (1): 124-131.
- [14] 谢春燕, 陈晓燕, 何炳辉, 等. 土壤可蚀性在 WEPP 模型中的应用[J]. 水土保持科技情报, 2003 (4): 6-8.
- [15] 袁建平. 纸坊沟流域土壤入渗速率随空间和治理度之变异规律[J]. 水土保持学报, 2000, 14 (4): 121-122.
- [16] 胡海波, 张金池. 平原粉沙淤泥质海岸防护林土壤渗透特性的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15 (1): 606-609.
- [17] 吴淑芳, 刘建凯. 土高原沙棘林抗蚀性能研究综述[J]. 国际沙棘研究与开发, 2005, 3 (2): 43-47.
- [18] 王云琦, 王玉杰, 张洪江, 等. 重庆缙云山不同土地利用类型土壤结构对土壤抗剪性能的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22 (3): 40-45.
- [19] 张晓勉, 高智慧, 高洪娣, 等. 基岩质海岸防护林主要林分类型土壤抗冲性研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32 (5): 1-4.
- [20] 应松康, 张晓勉, 高智慧, 等. 沿海基岩质海岸防护林主要林分类型土壤渗透特性研究[J]. 浙江林业科技, 2010, 30 (4): 10-14.
- [21] 陈三雄, 谢莉, 张金池, 等. 浙江安吉主要植被类型土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14 (4): 349-351.