

# 长江上游几种林地表层土壤侵蚀率及与相关土壤性质关系

张保华<sup>1</sup>,何毓蓉<sup>2</sup>

(1. 聊城大学环境与规划学院,山东 聊城 252059;2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

**摘 要:**长江上游区域水土流失现象已引起广泛关注,通过土壤侵蚀的间接指标计算,表明长江上游亚高山天然林区表层土壤侵蚀率较小,丘陵区人工林区表层土壤侵蚀率较大。定量分析表明,土壤有机质含量、土壤团聚体稳定性、土壤渗透性能等因素对土壤侵蚀率影响较大,相关系数和回归分析均达到了 0.01 极显著性水平。其他因素如林地凋落物和地面植被也对土壤侵蚀产生明显影响。

**关键词:**长江上游;土壤侵蚀率;有机质含量;土壤结构性;饱和渗透速率

**中图分类号:**S157.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2006)04-0220-03

## Surface Soil Erosion Ratio and Relationship with Some Soil Characteristics Under Some Forests in Upper Reaches of the Yangtze River

ZHANG Bao-hua<sup>1</sup>, HE Yu-rong<sup>2</sup>

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China;

2. The Institute of Mountain Hazards & Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The soil and water loss in upper reaches of the Yangtze River has arisen broad attention. The authors calculated the indirect indexes of soil erosion, which showed that low soil erosion ratio under sub-alpine forests and higher erosion ratio under hilly artificial forests. The quantitative analysis showed that soil organic matter content, stability of soil aggregates, and saturated soil infiltration are main factors influencing soil erosion ratio with both correlate coefficients and regression analysis through the most significant test at level 0.01. Other factors such as wither and ground vegetation are also influential factors.

**Key words:** upper reaches of the Yangtze River; soil erosion ratio; organic matter content; soil structure; saturated infiltration

土壤侵蚀通常是指降雨径流、风力、重力等对地表土壤的破坏、搬运和沉积的自然过程,但由于人为原因导致的土壤侵蚀加剧并带来严重的环境问题,从而引起关注。对于不同空间尺度的土壤侵蚀数量的观测,目前主要采用降雨模拟、<sup>137</sup>Cs 等方法<sup>[1,2]</sup>,但这些研究以及野外估算土壤对径流侵蚀的敏感性比较费时且费用较高<sup>[3]</sup>。由于土壤侵蚀产生和发展与土壤的物理和力学特性密切相关,因此国内外不少研究者均采用土壤团聚体的有关性质作为土壤侵蚀的表征指标。已有较多研究结果表明土壤本身性质是土壤侵蚀的内因,尤其是土壤团聚体稳定性与易蚀性存在很显著的负相关性<sup>[4~7]</sup>,可用来估算通用水土流失方程中重要因子——土壤可蚀性  $K$  值。Barthes 和 Bernard 等进一步在不同空间尺度、运用不同实验方法对不同土壤类型进行实验,研究了土壤团聚体稳定性与田间实测径流侵蚀相互关系,证实团聚体稳定性可作为土壤侵蚀的表征指标及在野外的成立<sup>[3]</sup>。土壤渗透性能的好坏直接关系到地表产流量的大小,对土壤侵蚀的影响很大。许多学者把土壤渗透性作为反映土壤可蚀性特征的一个极为重要因子而加以研究,甚至直接利用土壤渗透性来表征土壤可蚀性<sup>[8,9]</sup>。国内研究也表明,土壤渗透性能越好,地表径流就会减少,土壤的流失量也会相应减少<sup>[10,11]</sup>。但目前土壤渗透性与土壤可蚀性的关系研究往往

都是定性的描述,定量分析较少<sup>[12]</sup>。

长江流域的土壤侵蚀导致的河流泥沙增多现象已十分严重,有学者甚至称之为“第二条黄河”。该区域土壤侵蚀引起了较为广泛的关注。本文通过长江上游亚高山针叶林地和丘陵区人工林地表层土壤侵蚀率这一间接指标,定量分析部分土壤性质与土壤侵蚀的关系,为该区林地土壤侵蚀防治提供基础性依据。

### 1 材料与方法

供研究的土壤剖面样品共 10 个,其中四川西部贡嘎山亚高山针叶林地 7 个,四川中部丘陵区人工林(盐亭)3 个。贡嘎山研究区地理位置界于北纬 29°20′~30°20′和东经 101°30′~102°15′之间,地貌为高山峡谷类型;气候上位于我国东部亚热带温暖湿润季风区向青藏高原东部高原温带半湿润区的过渡带,山体两侧气候差异明显;生物种类多样,植被自然垂直分带十分显著。采样点海拔高度介于 2 300~3 650 m,据海拔 3 000 m 处观测站资料,年均温 4℃;年均降水量 1 900 mm,年平均相对湿度 90%。盐亭研究区地理位置为 105°12′E~105°42′E,30°58′N~30°30′N,地形为低山-深丘,海拔 400~600 m,气候具有四川盆地亚热带湿润季风气候特征,年均温度 17.3℃,多年平均降雨量 880.7 mm,年

\* 收稿日期:2005-08-26

基金项目:中国科学院知识创新项目(KZCX2-SW-319、KZCX3-SW-330);中科院研究生科学与社会实践项目(创新研究类)资助  
作者简介:张保华(1971-),男,山东莘县人,博士,副教授,研究方向为土壤地理与生态环境,发表论文 20 余篇。

内、年际分配极不均匀。植被以森林和农作物为主。森林主要为 20 世纪 70 年代末 80 年代初栽植的人工柏木(*Cupressus funebris*)、桉木(*Alnus cremastogyne*)混交林,林下草被多为禾本科、莎草科、菊科、豆科等;农作物以玉米、小麦、水稻、油菜为主。

在选择的研究区域内,于不同森林类型下根据自然环境条件的差异选取代表性样点,布置土壤剖面,各土壤剖面所在的林地类型为峨眉冷杉(*Abies fabri*) - 杜鹃成熟林(GG01)、峨眉冷杉中龄纯林(GG02 - 1)、峨眉冷杉 - 冬瓜杨 - 花楸 - 大叶杜鹃中龄林(GG02 - 2)、采伐迹地(GG03)、苞榲柯(*Lithocarpus clestocarous*) - 剑竹阔叶林(GG04)、麦吊杉(*Picea brachytyla*) - 铁杉(*Tsuga chinensis*)过熟林(GG05)、峨眉冷杉 - 杜鹃幼龄林(GG06)、人工桉柏混交林(YT07)、人工桉木纯林(YT08、YT09)。在土壤表层 0 ~ 15 cm 用环刀取原状土测定孔隙度<sup>[13]</sup>、饱和渗透性<sup>[14]</sup>;以铝质饭盒取原状土室内风干采用干 - 湿筛法测定土壤团聚体组成<sup>[13]</sup>;另取样品风干过筛以吸管法测定颗粒组成和微团聚体、胶体含量,重铬酸钾法测定土壤有机质含量<sup>[13]</sup>。相关指标计算方法如下<sup>[15]</sup>:

分散率(DR): <0.05 mm 微团聚体/ <0.05 mm 机械组成。

>0.25 mm 水稳性团聚体数量(WSA):即湿筛分析中 >0.25 mm 的团粒结构所占的重量百分比。

团聚体平均重量直径变化(MWDC):每一粒级团聚体平均直径(mm)与其重量百分含量(%)乘积之和为团聚体平均重量直径(MWD),干、湿筛团聚体平均重量直径的差值即为团聚体平均重量直径变化(MWDC)。

结构体破坏率(SPBR)  $\frac{0.25\text{ mm (干筛 - 湿筛)}}{>0.25\text{ mm 干筛}}$ <sup>[16]</sup>。

2 结果与分析

2.1 土壤侵蚀率计算

土壤可蚀性即对侵蚀的敏感性,为土壤抗侵蚀力的倒数。在降雨等其它条件相同情况下,可蚀性强的土壤显然比可蚀性弱的易遭受侵蚀。土壤可蚀性强弱受土壤本身特性影响很大,也和利用经营方式有关。其确定方法主要有以土壤理化性质确定的间接指标和人工模拟直接测定两种。

间接指标主要通过分析土壤的硅铁铝率、颗粒组成、微团聚体、水稳性团粒结构、水分当量、土壤胶体含量等理化指标,取得确定土壤可蚀性的相对间接指标。尽管这些指标着重于不同土壤本身特性的相对比较,不能用于直接说明土壤可蚀性的侵蚀量指标,但由于数据的较易获得、有关研究表明其与直接测定结果的一致性,应用较为广泛。其中应用较多的是由 H. H. Bednnet、H. E. Middleton 提出的以几种土壤理化性质相结合计算的土壤侵蚀率<sup>[15]</sup>:

土壤侵蚀率% = 分散率% / (胶体% × 持水当量%)  
该指标中分散率是土壤分散难易程度也即土壤抗蚀性能指标;胶体、持水当量与土壤吸水性能及透水性能有一定关系,与分散率结合,可予土壤抗蚀性以正确而全面的判断<sup>[15,17]</sup>。实际计算中,土壤持水当量常以土壤田间含水量或毛管含水量表示。H. E. Middleton 提出土壤侵蚀率 > 10 % 者易蚀, < 10 % 者不易蚀<sup>[15]</sup>。研究区各土壤剖面表层侵蚀率计算结果及相关土壤性质列于表 1。

表层土壤侵蚀率计算结果表明:两研究区天然林和人工林地表层土壤侵蚀率差异较大,贡嘎山天然林区除采伐迹地和幼龄林较大外,其余在 10 % 左右,尤其是成熟林、过熟林和阔叶林低于 10 %;盐亭人工林区均大于 20 %,其中 YT07 接近 30 %。

表 1 表层土壤侵蚀率及相关土壤性质

剖面 编号	分散率 / %	胶体含量 / %	持水当量 (cm <sup>3</sup> · cm <sup>-3</sup> ) / %	表层土壤 侵蚀率/ %	有机质含量 / (g · kg <sup>-1</sup> )	>0.25 mm 水稳性 团聚体含量/ %	结构体破 坏率/ %	团聚体平均重量 直径差值/ mm	饱和渗透速率 / (mm · min <sup>-1</sup> )
GG01	22.78	6.08	44.2	8.48	122	85.15	5.62	0.833	10.7
GG02 - 1	25.66	5.89	42.2	10.32	90	69.84	15.93	0.385	5.6
GG02 - 2	28.26	5.98	43.5	10.86	56	73.70	12.64	0.435	8.9
GG03	30.14	4.80	35.8	17.54	43	58.38	18.06	0.529	8.0
GG04	24.15	6.02	43.0	9.33	61	79.38	8.89	0.991	8.9
GG05	24.82	6.47	43.9	8.74	145	84.18	11.28	0.996	11.0
GG06	26.52	5.49	39.1	12.35	57	74.34	8.71	0.270	8.7
YT07	95.88	10.10	32.5	29.21	24	34.34	60.48	6.518	0.1
YT08	92.20	13.07	33.8	20.87	26	73.43	20.53	2.264	1.0
YT09	92.09	11.64	34.2	23.13	25	61.99	31.80	3.292	1.2

2.2 土壤有机质防治土壤侵蚀的意义

一般认为,土壤有机质可以增加土壤团聚体稳定性和改善孔隙状况,对防止土壤侵蚀具有积极影响。表 1 显示贡嘎山区土壤有机质含量高,介于 43 ~ 145 g/kg,表层土壤侵蚀率低;盐亭区研究区土壤有机质含量较少,土壤侵蚀率也相应的较高。进一步考察其定量关系,土壤表层有机质含量与土壤侵蚀率相关系数为  $r = -0.775$ ,呈极显著性负相关( $n_{0.01,8} = 0.7646, n = 10$ )。图 1 显示土壤侵蚀率随土壤有机质含量增加而逐渐降低,其定量关系以  $s$  函数模拟效果最好,通过了  $F_{0.01(1, n-2)} = 11.6$   $n = 10$  检验:

$$Y = e^{(1.9013 + 32.4600/x)} \quad F = 100.36$$

式中:Y——表层土壤侵蚀率(%);X——土壤有机质含量(g/kg)。

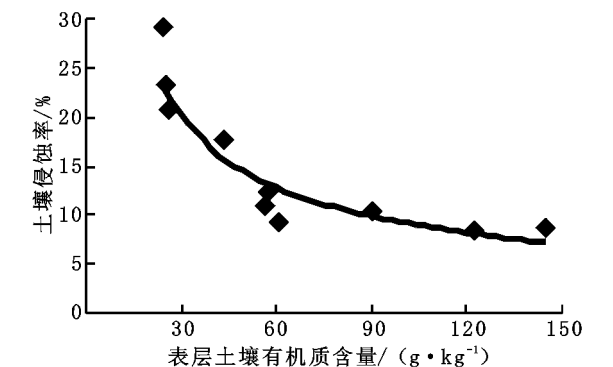


图 1 表层土壤有机质含量与侵蚀关系

### 2.3 土壤结构特性对防治土壤侵蚀意义

土壤团聚体的破坏导致土壤孔隙的坍塌、产生更细小的土壤颗粒和微团聚体,进而影响水分渗透,促进结皮形成和地表径流产生<sup>[5]</sup>,土壤结构特性尤其是土壤团聚体稳定性对土壤侵蚀防治具有重要影响。以  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量、结构体破坏率、团聚体平均重量直径差值表征土壤团聚体稳定性,它们与土壤侵蚀率的相关系数分别为:  $WSA$   $r = -0.869$ 、 $SPBR$   $r = 0.909$ 、 $MWDC$   $r = 0.873$ ,达到了极显著性水平 ( $r_{0.01,8} = 0.7646$ ,  $n = 10$ )。图2、3、4显示出它们与土壤侵蚀率呈明显的线性关系。通过  $F_{0.01(1, n-2)} = 11.6$  ( $n = 10$ ) 检验的定量关系式如下:

$$y = -0.4173 \times x_1 + 44.0769 \quad F = 24.60$$

$$y = 0.4032 \times x_2 + 7.2640 \quad F = 38.02$$

$$y = 3.2152 \times x_3 + 9.7738 \quad F = 25.56$$

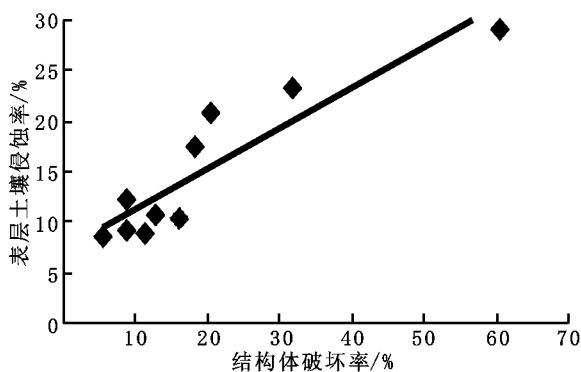


图3 表层土壤侵蚀率与结构体破坏率

### 2.4 土壤饱和和渗透速率与土壤侵蚀率

土壤渗透性能影响到地表径流的产生,进而影响土壤侵蚀。研究区土壤饱和和渗透速率与土壤侵蚀率的相关系数为  $r = -0.899$ ,达到了 0.01 极显著性水平 ( $n = 10$ ,  $r_{0.01,8} = 0.7646$ )。图5显示随土壤饱和和渗透速率的增加,表层土壤侵蚀率呈直线降低。数学模拟以直线方程最好,通过了  $F_{0.01(1, n-2)} = 11.6$  ( $n = 10$ ) 检验:

$$y = -1.5501 \times x + 25.0049 \quad R^2 = 0.808 \quad F = 33.61$$

式中:  $y$  ——土壤侵蚀率(%);  $x$  ——饱和和渗透速率( $\text{mm}/\text{min}$ )。

### 2.5 林地凋落物对防治土壤侵蚀意义

林地凋落物除影响水分性能外,对防治土壤侵蚀也具有重要意义。主要通过以下方面实现:减弱雨滴动能防止土壤团聚体因雨滴打击破坏和土壤结皮形成、减少溅蚀、抵抗地面漫流冲刷、增强渗透性能、强化土壤抗冲性、抗蚀性等<sup>[18,19]</sup>。

在贡嘎山研究区由于有厚度达 5 cm 左右的枯落物以及种类较多的地面植物,对土壤层形成了有效保护,基本不发生土壤侵蚀现象。而盐亭人工林研究区枯落物极少、地面植物稀疏,土壤侵蚀较为严重。

## 3 结论

通过土壤侵蚀的间接指标计算,表明长江上游贡嘎山亚

### 参考文献:

- [1] Xinbao Zhang, Yiyun Zhang, Anbang Wen, et al. Assessment of soil losses on cultivated land by using the  $^{137}\text{Cs}$  technique in the Upper Yangtze River Basin of China[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 69(1-2): 99-106.
- [2] Paulina Schuller, Achim Ellies, Alejandra Castillo, et al. Use of  $^{137}\text{Cs}$  to estimate tillage- and water-induced soil redistribution rates on agricultural land under different use and management in central-south Chile[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 69(1-2): 69-83.

式中:  $y$  ——土壤侵蚀率(%);  $x_1$  —— $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量( $WSA$ );  $x_2$  ——结构体破坏率;  $x_3$  ——团聚体平均重量直径差值。

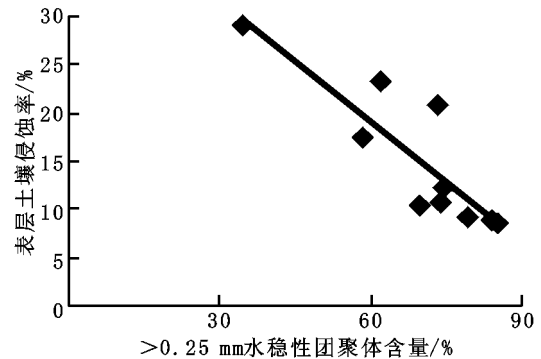


图2 表层土壤侵蚀与  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量

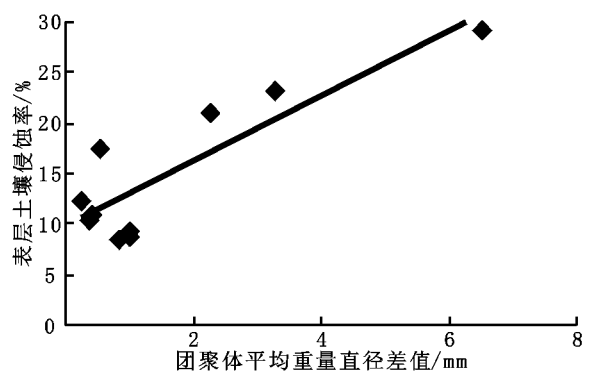


图4 表层土壤侵蚀率与团聚体平均重量直径差值  
高山天然林区表层土壤侵蚀率较小,盐亭丘陵区人工林区表层土壤侵蚀率较大,作者等进行的野外考察也证实了这种区别。如能开展土壤侵蚀量实地观测,其可信性将更高。

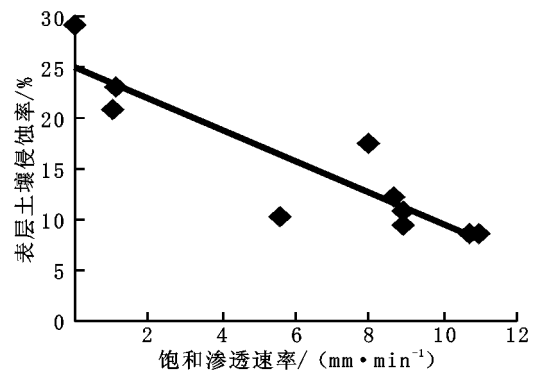


图5 表层土壤侵蚀率与土壤饱和和渗透速率

定量分析表明,土壤有机质含量、土壤团聚体稳定性、土壤渗透性能等因素对土壤侵蚀率影响较大,相关系数和回归分析均达到了 0.01 极显著性水平。其他如林地凋落物和地面植被也对土壤侵蚀产生明显影响。充分体现出保护林下枯落物、增加土壤有机物质改善土壤结构状况等均对土壤侵蚀防治具有重要作用。

表 1 不同耕作方式玉米水分利用效率比较

处理	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	播时贮水 / mm	收时贮水 / mm	生育期灌 水/ mm	总耗水量 / mm	耗水系数 / (mm·kg <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	水分利用效率 / (kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
免耕	8160	193.98	183.15	539.10	549.93	0.067	14.84
翻耕不覆膜	8815	224.12	220.91	539.10	542.31	0.062	16.25
翻耕覆膜	9839	196.20	261.32	539.10	473.98	0.048	20.76

3 结论与讨论

(1)不同耕作方式下,玉米的根系生物量、根系体积在不同生育期存在差异。所有处理的根系生物量随生育期都表现为逐渐递增。

(2)不同耕作方式间玉米根系性状存在差异,翻耕覆膜根系生长状况好于其它耕作方式。

(3)三种耕作方式中,土壤含水量的变化趋势完全一致,即都表现出低-高-低的倒"V"字型变化,这种规律性变化

与根系的生长发育特性和灌溉有关,在 0~40 cm 土层根系大量发生,因此对该层次水分吸收较多;在 60~80 cm 土层根系较少,对水分的吸收少;而在 80~100 cm 土层,由于灌溉水很难到达该层次,因此该层土壤含水量低。

(4)不同耕作方式玉米的产量、总耗水量及水分利用效率存在明显差异。翻耕覆膜耕作方式能够较充分地利用有限的灌溉水,能够增产、节水。

(5)本试验只进行了一年,对于多年免耕玉米根系及土壤水分变化的影响还有待于进一步深入研究。

参考文献：

[1] 李保国,龚元石,左强.农田土壤水的动态模型及应用[M].北京:科学出版社,2000.10-13.

[2] 王会肖,刘昌明.作物水分利用效率内涵及研究进展[J].水科学进展,2000,11(1):99-104.

[3] 杨邦杰,隋红建.土壤水热运动模型及其应用[M].北京:中国科学技术出版社,1997.

[4] 新举,张志国,赵美兰,等.免耕对土壤养分的影响[J].土壤通报,2000,31(6):267-269.

[5] 赵明轩,谭成虎,何得元.骆驼蒿根系的研究[J].草业科学,1990,7(3):55-57.

[6] 扎西.4种豆科牧草根系的观察研究[J].草业科学,1987,4(4):56-57.

[7] 李韵珠,王凤仙,黄元仿.土壤水分和养分利用效率几种定义的比较[J].土壤通报,2000,3(4):150-155.

[8] 王新元,刘孟雨,刘晓楠,等.冀中平原缺水盐渍区冬小麦耗水量与水分利用效率的试验研究[A].许越先,刘昌明,沙和伟.农业用水有效性研究[C].北京:科学出版社,1992.94-100.

(上接第 222 页)

[3] Bernard Barthes and Eric Roose, Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels [J]. Catena, 2002,47:133-149.

[4] 王礼先,张志强.森林植被变化的水文生态效应研究进展[J].世界林业研究,1998,11(6):14-23.

[5] Le Bissonnais, Y,Arrouyas. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: 2. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents [J]. Eur. J. Soil Sci.,1997,48:38-48.

[6] Wakindiki, I I C,Ben-hur,M. Soil mineralogy and texture on crust micromorphology, infiltration, and erosion [J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,2002.66:897-905.

[7] Martinez-mena M,Williams A G,et al. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment[J]. Soil & Tillage Research,1998,48(1-2):71-80.

[8] Wilco B P. Runoff and erosion in intercanopy zones of pinyon-juniper woodlands [J]. Journal of Range Management, 1994,47(4):285-295.

[9] Bruce,R R. Surface soil degradation and soil productivity restoration maintenance[J]. Journal of Soil Science Society of America,1995,59(3):654-660.

[10] 吕喜玺,史学正,于东升.用人工模拟降雨研究南方低丘土壤的渗透[J].水土保持学报,1995,9(3):1-8.

[11] 于东升,史学正.用不同人工模拟降雨方式对我国亚热带土壤可蚀性 K 值的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(4):74-79.

[12] 于东升,史学正.低丘红壤区旱地土壤渗透性与可蚀性定量关系的研究[J].土壤学报,2000,37(3):316-322.

[13] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.

[14] 张万儒,许本彤.森林土壤定位研究方法[M].北京:林业出版社,1986.

[15] 朱祖祥.中国农业百科全书-土壤卷[M].北京:农业出版社,1996.

[16] 邱仁辉,杨玉胜,俞新妥.不同栽植代数杉木林土壤结构特性研究[J].北京林业大学学报,1998,20(4):6-11.

[17] 田积莹,黄义端.子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗蚀性能指标的初步研究[J].土壤学报,1964,12(3):286-296.

[18] 陈奇伯,解明曙,张洪江.森林枯落物影响地表径流和土壤侵蚀研究动态[J].北京林业大学学报,1994,16(增):88-97.

[19] 王佑民.中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J].水土保持学报,2000,14(4):108-113.