

# 川中丘陵区人工林土壤结构性及对土壤侵蚀的影响

张保华<sup>1,2,3</sup>, 徐佩<sup>1,2</sup>, 廖朝林<sup>1,2</sup>, 何毓蓉<sup>1</sup>, 王青<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;  
3. 聊城大学 环境与规划学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:** 为分析川中丘陵区人工林下土壤侵蚀现象较为严重的原因, 在中国科学院盐亭农业生态试验站取土样分析了土壤结构性, 研究了其与表层土壤侵蚀率的关系。结果表明, 研究区人工林土壤团聚体稳定性较差、非毛管孔隙数量少; 表层土壤侵蚀率(SER)较大并与 > 0.25mm 水稳性团聚体含量(WSA)、结构体破坏率(SPBR)、团聚体平均重量直径差值(MWDC)、非毛管孔隙度具有明显的对应关系。简要分析并提出了土壤结构性差、侵蚀严重的原因及措施。

**关键词:** 川中丘陵区; 人工林; 土壤团聚体; 土壤孔隙; 土壤侵蚀率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0025-04

中图分类号: S157.1; S714.7

## Soil Structure Properties and its Effect on Soil Erosion of Artificial Forest in Purple Hilly Areas of Sichuan Province

ZHANG Bao-hua<sup>1,2,3</sup>, XU Pei<sup>1,2</sup>, LIAO Chao-lin<sup>1,2</sup>, HE Yu-rong<sup>1</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan Province, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Environment and Planning School, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong Province, China)

**Abstract:** For studying the reasons of intensive erosion of artificial forest in hilly area of Sichuan Province, the structural properties and its relationship with surface soil erosion ratio are analyzed using soil samples taken from Yanting Agro-ecosystem Station, Chinese Academy of Sciences. The results showed that soil aggregates are very unwaterstable and there are very little non-capillary pores; the waterstable aggregates larger than 0.25 mm, structure ped breaking ration, aggregates mean weight diameter change, and non-capillary pores correspond well with surface soil erosion ratios. The reasons of unstable structure and intensive soil erosion were analyzed. And the countermeas are given briefly.

**Keywords:** hilly area of Sichuan Province; artificial forest; soil aggregates; soil pores; soil erosion ratio

四川盆地由紫色砂、页、泥岩组成的丘陵区域分布面积广大, 是四川乃至长江上游最重要的农业区域。由于人—地关系矛盾突出和长期以来土地资源的不合理利用, 森林植被覆盖率下降和坡耕地的强度利用, 导致 20 世纪 60—70 年代出现严重的水土流失问题, 土壤侵蚀模数达 4000~8000 t/(km<sup>2</sup>·a), 成为长江上游重点产沙区之一。

20 世纪 70 年代末至 80 年代, 在该区域开展了大面积的植树造林和水土流失治理工作, 以木本植被为主的生态系统恢复与重建, 使川中丘陵区生态环境面貌发生了显著变化<sup>[1]</sup>, 水土流失现象得到了一定程度的治理。但由于缺乏生态学理论指导、群落结构单一, 在较为干旱的自然条件和缺乏烧柴而捡拾枯枝

落叶的人为活动下, 桉柏混交林在短短十几年的时间内逐渐演变为柏木纯林, 目前水土流失现象仍十分严重。已有学者从生态学方面对该区生态环境的改善提出了较为具体的建议<sup>[1-2]</sup>。

已有许多研究表明, 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>[3-4]</sup>, Barthes, Bernard 等进一步证实土壤侵蚀与大团聚体(> 0.2 mm)含量呈负相关, 团聚体稳定性可作为土壤侵蚀的表征指标, 同时证明该结论在野外也成立<sup>[5-6]</sup>。

为进一步明确该区域人工林土壤侵蚀较为严重的原因, 本文以位于四川紫色丘陵区的中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站人工林为研究对象, 分析土

收稿日期: 2004-07-25

资助项目: 中科院知识创新项目(KZCX3-SW-330); 中科院研究生科学与社会实践项目

作者简介: 张保华(1971—), 男(汉族), 山东聊城人, 博士, 副教授, 主要从事土壤地理与生态环境等领域研究。E-mail: zhbh710812@sohu.com.cn.

壤结构性能及对土壤侵蚀的影响,并通过试验探索土壤结构改善的有效方法,以期对该区水土流失治理有所帮助。有关本文土壤结构改善的试验另文介绍,本文仅分析土壤结构性能及对土壤侵蚀的影响。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站内。位于四川盆地中部偏北的盐亭县林山乡,地理位置  $105^{\circ}27'E$ ,  $31^{\circ}16'N$ , 海拔 400~600 m, 中深丘地貌, 中亚热带湿润季风气候, 年均气温  $17.3^{\circ}C$ , 多年平均降雨 836 mm, 但年际变化大且年内分配不均匀, 其中 6—9 月降水占全年 80% 左右。土壤类型为紫

色钙质土和水稻土; 植被以森林和农作物为主, 丘陵上部植被为 20 世纪 70 年代末 80 年代初栽植的人工林, 主要为人工柏木 (*Cupressus funebris*)、桤木 (*Alnus cremastogyne*) 混交林, 覆被率为 44.77%, 郁闭度达 0.6~0.9, 次为油桐 (*Aleurites fordii*)、桑、马桑 (*Coriaria sinica*)、黄荆 (*Vitex negundo*) 等, 林下草被多为禾本科、莎草科、菊科、豆科等; 在较缓斜坡和沟谷中, 已开垦为耕地, 农作物以玉米、小麦、水稻、油菜为主。

### 1. 研究方法

于 2003 年 5 月份在研究区内小流域和短沟湾人工林地挖取土壤剖面 4 个, 剖面环境与土壤基本性状列于表 1。

表 1 土壤剖面环境简况及表层土壤基本性状

剖面编号	环境简况	土壤性状			
		质地	容重/( $g \cdot cm^{-3}$ )	有机质/( $g \cdot kg^{-1}$ )	胶体/( $g \cdot kg^{-1}$ )
YT 06	紫色砂页岩, 丘陵中上部, 海拔 455 m, 坡度 $10^{\circ}$ , 柏木林, 林下灌木黄荆子和草本植物, 覆盖度约 0.5。	黏壤	1.46	23.58	108.70
YT 07	紫色砂岩, 中台地, 海拔 400 m, 坡度 $15^{\circ}$ , 柏木夹少量桤木, 林下草本植物为主, 灌木稀少, 覆盖度约 0.8。	重壤	1.54	26.26	101.00
YT 08	紫色砂页岩, 丘陵顶部, 海拔 445 m, 坡度 $10^{\circ}$ , 柏木林, 林下灌木黄荆子和草本植物, 覆盖度约 0.6。	黏壤	1.36	24.32	140.70
YT 09	紫色砂页岩, 丘陵中上部, 海拔 450 m, 坡度 $15^{\circ}$ , 柏木林, 林下灌木黄荆子和草本植物, 覆盖度约 0.6。	黏壤	1.39	25.41	116.40

由于土壤侵蚀一般发生在表层, 因而仅取 0—10 cm 样品。用铝盒取原状土壤样品室内风干以干—湿筛法测定土壤团聚体组成, 以环刀取样分别测定土壤容重和土壤孔隙度, 微团聚体、颗粒组成和胶体含量采用吸管法测定, 土壤有机质含量采用重铬酸钾法测定<sup>[7]</sup>。土壤团聚体指标计算方法如下:

> 0.25 mm 水稳性团聚体数量 (WSA): 即湿筛分析中 > 0.25 mm 的团粒结构所占的百分比, 一定程度上反映结构好坏, 结构好的多些, 但目前没有统一的标准含量。

团聚体平均重量直径 (MWD): 每一粒级团聚体平均直径 (mm) 与其重量百分含量 (%) 乘积之和, 是常用的土壤结构性评定指标之一, 其值愈大表示结构性愈好<sup>[8]</sup>。

团聚体平均重量直径变化 (MWDC): 指干湿筛团聚体平均重量直径的差值 (De Leenheer, 1959), 差值小的, 结构稳定性较好<sup>[8]</sup>。

分散率 ( $DR$ )  $\leq 0.05$  mm 微团聚体 / < 0.05 mm 机械组成。表示土壤分散难易指标也即土壤抗蚀性能指标<sup>[8-9]</sup>。

结构体破坏率 (SPBR)  $\geq 0.25$  mm (干筛—湿筛) / > 0.25 mm 干筛<sup>[10-11]</sup>。

## 结果与分析

### 1.1 土壤团聚体

研究区土壤剖面土壤团聚体测定结果及平均重量直径计算结果列于表 2。土壤团聚体干筛时较大粒径团聚体含量高, 较小粒径团聚体数量少, > 10, 10~5, < 0.25 mm 团聚体含量平均分别为: 18.28%, 30.30%, 5.10%; 湿筛时较大粒径团聚体数量明显减少而较小团聚体数量增加, > 10, 10~5, < 0.25 mm 团聚体含量平均分别为: 9.18%, 13.75%, 45.76%, 从中可以看出土壤团聚体具有干筛时大团聚体数量多而湿筛时小团聚体数量多, 即干时结块遇水分散的特点。

团聚体平均重量直径差值变化于 2.264~6.518 mm, 平均为 3.864 mm, 也反映出该研究区人工林下土壤团聚体的稳定性较差。同时, 由于林冠层和枯落物层对土壤免受雨滴击打的保护作用较小, 因而土壤团聚体极易破坏, 造成土壤侵蚀。

表 土壤团聚体组成

编号	粒径/mm								MWD/ mm	MWDC/ mm	SPBR
	> 10	10—5	5—3	3—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	< 0.25			
YT06	16.25	35.63	21.52	6.60	5.61	5.52	1.85	7.02	5.79	3.38	49.20
	4.76	16.36	7.65	3.43	7.62	6.12	1.25	52.81	2.41		
YT07	48.80	25.56	8.95	3.68	3.37	3.37	1.20	5.07	7.80	6.52	63.80
	5.38	4.93	2.61	2.36	3.79	11.04	4.24	65.66	1.28		
YT08	28.16	31.37	20.17	5.94	4.64	4.02	0.99	4.70	6.49	2.26	22.90
	16.17	21.28	13.39	6.02	6.21	8.60	1.75	26.57	4.23		
YT09	26.32	28.62	17.39	8.73	6.63	6.67	2.02	3.61	6.10	3.29	35.70
	10.40	12.42	10.10	4.44	5.83	13.78	5.03	38.01	2.81		
平均	18.28	30.30	17.01	6.24	5.06	4.90	1.52	5.10	6.54	3.86	42.80
	9.18	13.75	8.44	4.06	5.86	9.89	3.07	45.76	2.68		

注: 表中上行为干筛, 下行为湿筛。

### 土壤孔隙度

土壤孔隙度测定结果列于表 3。土壤非毛管孔隙由于孔径较大, 能在降雨时快速暂时贮存降水减缓地表径流, 并在雨后快速排出水分以保证土壤的通气性, 在森林水文、森林生态研究中较受重视<sup>[12-13]</sup>。尽管土壤总孔隙度并不小, 为 41.9%~44.7%, 但因能快速贮、排水而非毛管孔隙数量却非常少, 仅为 4.5%~7.9%, 以 30 cm 土层深度计算, 仅能容纳降雨 1.4~2.4 mm。团聚体易遭破坏, 非毛管孔隙数量少、降雨的分配不均匀等, 为该区较为严重的水土流失现象提供了有力证据。

表 3 土壤孔隙度测定结果

剖面编号	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度
YT06	41.9	36.6	5.3
YT07	42.0	37.5	4.5
YT08	44.7	36.8	7.9
YT09	44.4	38.2	6.2

### 3 表层土壤侵蚀率及与土壤结构关系

土壤可蚀性是土壤对侵蚀的敏感性, 为土壤对侵蚀抵抗力的倒数, 其评定可采用直接或间接方法。间接指标中以土壤侵蚀率较为常用<sup>[8-9]</sup>:

$$\text{土壤侵蚀率} (SER) \% = \frac{\text{分散率}\%}{\text{胶体}\% \times \text{持水当量}\%}$$

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有一定关系, 与分散率结合, 可给予土壤抗蚀性以正确而全面的判断<sup>[9]</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>[8]</sup>。各土壤剖面表层侵蚀率计算结果分别为 YT06 22.658, YT07 25.323, YT08 17.811, YT09 20.717, 参考该标准, 可见研究区土壤属易蚀状况。

进一步分析土壤结构特性与土壤侵蚀率的关系, 从图 1, 2 可以看出, 土壤团聚体平均重量直径差值 (MWDC)、结构体破坏率 (SPBR) 与土壤侵蚀率 (SER) 呈明显的正对应关系, > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 (WSA)、非毛管孔隙度 (Non-cap) 则与土壤侵蚀率 (SER) 呈明显的负对应关系。这在一定程度上表明该区较差的土壤结构稳定性对严重的水土流失具有重要影响。

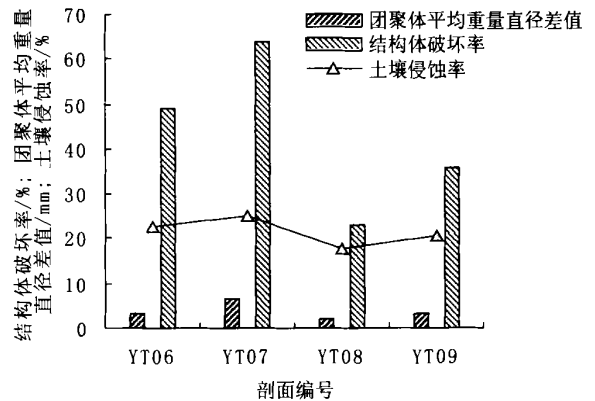


图 1 表层土壤侵蚀率与土壤结构体破坏率、团聚体平均重量直径差值关系

## 3 结论

研究区人工林土壤团聚体稳定性较差、非毛管孔隙数量少。4 个剖面的表层土壤侵蚀率 (SER) 均在 17% 以上, 表明该区土壤侵蚀现象较为严重。以 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 (WSA)、结构体破坏率 (SPBR)、团聚体平均重量直径差值 (MWDC)、非毛管孔隙度表示的土壤结构状况与表层土壤侵蚀率具有明显的对应关系, 说明土壤结构性差是土壤侵蚀的主要内在因子。

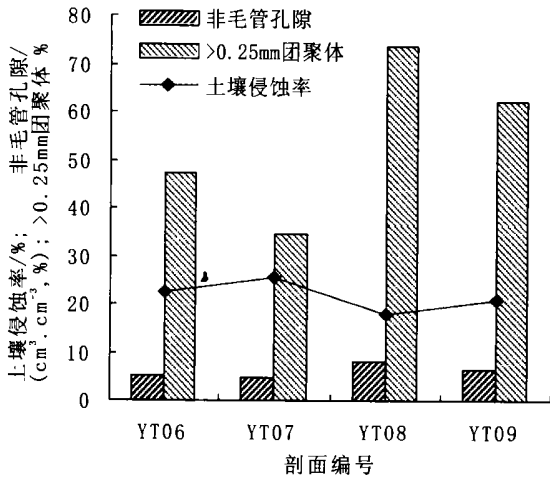


图 1 表层土壤侵蚀率与非毛管孔隙、 $> 0.5 \text{ mm}$  团聚体关系  
考虑该区桉柏混交人工林曾起到的水土流失治理效果及其它区域的类似研究成果, 研究区土壤结构性差、侵蚀严重的更深层次原因可能是该区林分种类单一、群落结构简单、林下枯落物和土壤有机质含量少, 同时, 我们在土壤微形态薄片中也观察到较多的土壤有机物质矿质化现象而非腐殖质化。参考相关文献, 建议人为增加林下地面覆盖物以提高土壤团聚体稳定性<sup>[14]</sup>、林下栽植灌木和草本植物以改造人工林群落结构减弱雨滴对土壤的击打<sup>[15]</sup>。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 钟祥浩. 盆中丘陵区生态恢复重建的生态与经济效益亟待提高[ J ]. 山地学报, 2001, 19(增): 4—8.
- [ 2 ] 钟祥浩, 刘淑珍, 范建容. 长江上游生态退化及其恢复与重建[ J ]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(2): 157—162.
- [ 3 ] Reichert J M, et al. Aggregate stability and rain-impacted sheet erosion of air-dried and rewetted clayey surface soils

under intense rain[ J ]. Soil Sci. 1994, 158: 159—169.

- [ 4 ] Le Bissonnais, Arrouays. 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.
- [ 5 ] Bernard Barthes Eric Roose. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels[ J ]. Catena. 2002, 47: 133—149.
- [ 6 ] Bernard Barthes, Eric Roose. 表层土壤团聚体稳定性对径流及土壤侵蚀的影响[ J ]. 中国水土保持, 2002( 7): 23.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 中国农业百科全书编辑委员会. 中国农业百科全书——土壤卷[ M ]. 北京: 农业出版社: 316.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 林光耀, 杨玉盛, 杨伦增, 等. 杉木林取代杂木林后土壤结构特性变化的研究[ J ]. 福建林学院学报, 1995, 15( 4): 289—292.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 尹建道, 姜志林. 日本的森林水土保持效益及防灾对策[ J ]. 南京林业大学学报, 1999, 23( 2): 63—66.
- [ 13 ] 吴长文, 王礼先. 林地土壤孔隙的贮水性能分析[ J ]. 水土保持学报, 1995, 2( 1): 76—79.
- [ 14 ] F. Caravaca, T. Hernandez, C. Garcia, et al. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and composted addition[ J ]. Geoderma. 2002, 108: 133—144.
- [ 15 ] 王礼先主编. 水土保持学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 139—141.

( 上接第 24 页 )

- [ 13 ] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征: 半变异函数[ J ]. 地理学报, 2000, 55( 4): 428—438.
- [ 14 ] 宋新山. 松嫩平原西部水土化学场的研究[ D ]. 中国科学院长春地理研究所, 2001.
- [ 15 ] Berndtsson R, Bahri A, Jinno K. Spatial dependence of

geochemical elements in a semiarid agricultural field: II. Geostatistical properties[ J ]. Soil Sci Soc Am J, 1993, 57: 1323—1329.

- [ 16 ] Mulla D J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield[ A ]. In: Robert P C, Rust R H and Larson W E, eds. Soil specific crop management[ C ]. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 1993. 15—26.