

文章编号: 1008-2786-(2007)5-590-06

紫色土丘陵区小流域综合治理对水土保持的作用¹

刘刚才¹, 游翔², 张建辉¹, 周忠浩^{1,3}, 杜树汉^{1,3}

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都, 610041; 2 四川省水土保持局, 四川 成都, 610065;
3 中国科学院研究生院, 北京, 100039)

摘要: 小流域综合治理是各地区水土保持的基本途径之一。根据对四川紫色土丘陵区综合治理小流域(四川南部县鹤鸣观小流域)水土流失多年(1985~2001年)监测, 结果表明: 紫色土丘陵区小流域无论是以工程措施还是以生物措施为主进行综合治理, 其水土保持效果都是十分有效的, 而且是稳定的; 以工程措施为主的综合治理, 其水土保持较以生物措施为主的见效快; 这两种综合治理模式, 经过一定时期后, 其水土保持效果接近。因此, 综合治理水土流失, 应因地制宜采取治理模式。

关键词: 紫色土; 丘陵区; 综合治理; 水土保持; 输沙模数

中图分类号: S155.2⁺ S157 文献标识码: A

紫色土主要分布于长江上游, 约占长江上游幅员面积($100.5 \times 10^4 \text{ km}^2$)的18%, 集中分布在四川省和云南省境内, 这两省内的紫色土占全国总紫色土面积的75%以上^[1,2]。紫色土也是我国的一种强侵蚀性土壤, 其侵蚀程度仅次于黄土。据研究^[3], 在同一小流域, 地形地貌和降雨条件下, 红壤丘陵区的侵蚀模数是 $4\ 108.36 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 而紫色土丘陵区为 $5\ 619.89 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 较红壤高出35%以上。由于紫色土的高母质肥力特性, 紫色土丘陵区是当地国民经济的重要区域, 人口稠密, 在四川达 $500 \text{ 人}/\text{km}^2$ 以上^[4], 控制水土流失是各级党政的重要目标之一。因此, 自1970年代以来, 四川紫色土丘陵区实施了“长防”、“长治”工程, 小流域综合治理等水土保持措施。

小流域综合治理现已成为我国水土保持生态建设的一条重要技术路线, 为改善我国水土流失地区生态与环境、发展农村经济、促进经济社会可持续发展做出了显著的贡献^[5]; 被认为对四川生态环境建设、维护长江中下游安全和农业持续发展, 具有十分

重要的意义^[6]。因此, 各地区提出了因地制宜的综合治理措施。比如, 在安徽省黄山市提出了小流域综合治理要以水土资源的可持续利用和生态与环境的可持续维护为目标, 把人工治理与发挥大自然的自我生态修复能力结合起来, 实现水土保持工作在更高层次上的推进和加强^[7]。对黄土高原水土流失的防治, 探索出了农林牧相结合的综合治理的理论与技术, 提出了黄土高原综合整治的“28字方略”^[8,9]。在划分河北省太行山区小流域综合治理类型区的基础上, 依据各类型区的自然条件、社会经济情况和水土流失特点, 选择典型小流域进行分析评价, 提出了各类型区小流域综合治理体系的组成和治理模式的特色^[10]。

对小流域综合治理的水土保持效果, 也作过较多的研究。研究表明: 黄土高原沟壑区水土流失的综合治理产生了明显的生态、经济和社会效益^[11]; 利用综合治理措施进行植被恢复, 能极显著地减少严重侵蚀地的水土流失^[12]。也有学者研究了小流域综合治理前后降雨因子对产流产沙的作用特

收稿日期 (Received date): 2007-03-04; 改回日期 (Accepted): 2007-07-12.

基金项目 (Foundation item) 国家 973 项目 (编号: 2007CB407206) 和支撑计划项目 (编号: 2006BA C01A 11) 资助; 国家自然科学基金项目 (编号: 40771027, 40201029) [National 973 Project (NO. 2007CB407206) and National Key Project (NO. 2006BAC01A 11); National Natural Science Foundation (40771027; 40201029).]

作者简介 (Biography): 刘刚才 (1967-), 男, 研究员, 博士生导师。从事土壤侵蚀与水土保持等研究。E-mail: liug@imde.ac.cn [Gangcai Liu (1967-), male professor, teacher of Dr., mainly work in the fields of soil erosion and soil loss control, etc.]

征^[13]; 提出了基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究, 是目前研究小流域治理的主要方向^[14]。

在四川紫色土丘陵区, 已有学者借助于 GIS 技术对川中丘陵区小流域的综合治理提出了总体规划和措施布局^[15]; 对四川省南部县鹤鸣观小流域为研究区, 构建了适合紫色土地区小流域分布式侵蚀产沙模型。并进行了模型的检验, 模拟过程与实测结果符合较好^[16]。但是, 对该区水土保持综合治理后的水土保持效应及其水土流失变化趋势, 还未有研究报道。认识这些规律则是本文的研究目标。

1 研究对象与方法

1.1 试验点的基本情况

鹤鸣观小流域位于 105°44'E, 31°31'N, 地处四川省南部县升水乡升钟水库大坝的右侧 350 m 处, 属于西河流域中游的一条支流, 观测控制面积为 2.0 km², 由 3 条支沟(集水区)组成(图 1)。本研究所涉及到的 I、II、III 号支沟的基本特征和治理前土地利用状况分别如表 1 和 2 所示。

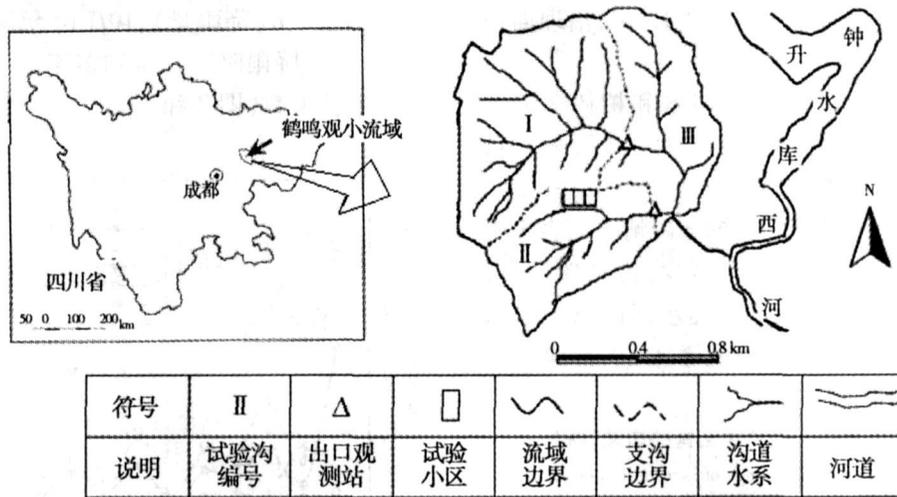


图 1 鹤鸣观小流域水系示意图

Fig 1 the schematic graph of Hengmingshan watershed

表 1 试验沟的基本特征

Table 1 The basic features of the experimental watersheds

试验沟	形状	海拔 (m)		面积 (km ²)	平均比降 (‰)		长度 (m)		河网密度 (km/km ²)	形状系数
		最高	最低		流域	干流	流域	干流		
	扇形	681	409	0.705	189.8	50.0	1.054	0.241	2.68	0.878
	羽毛形	680	394	0.340	334.7	310.0	0.889	0.350	2.06	0.503

表 2 试验沟的土地利用结构 (%)

Table 2 The component ratio of land utilization in the experimental watersheds

试验沟	耕地		林地		草地	荒地
	水田	旱地	成林	幼林		
	9.0	21.1	16.2	13.3	9.8	30.6
	9.1	14.0	14.4	11.8	8.6	42.1

试验区属于亚热带季风气候, 多年平均气温 16.4℃, 降雨量 975 mm, 5~10 月为雨季, 占年降雨量的 73.5%, 7~9 月占 58.2%。基岩为侏罗纪砂

岩和砂质粘土岩, 土壤以粘土及粘壤土为主。自然景观为深丘地貌, 农林复合生态系统。

1.2 试验点的综合治理措施

在 I 号集水区内以工程措施为主, 在 1987~1989 年间, 坡改梯 7.47 hm², 开挖截流沟、沿山沟和水平沟 8.43 km, 新建沉沙池 26 个、蓄水池 14 口, 扩建塘堰 4 座, 新增蓄水容量 5 500 m³。种植桉木 (*Alnus crumastogyne*) 8.6 万株, 柏树 (*Cypress funebris*) 5.4 万株, 地埂种桑树 (*Morus alba*) 4.87 万株, 发展家庭果园 14 户, 种植果树 0.25 万株, 荒地种植马

桑 (*Coriaria intemedialia*)、黄荆 (*Prænna fordii*) 15.87 hm^2 , 治理面积达 67.92%。

在 1991~1995 年间, 坡改梯 4.67 hm^2 , 新开挖沿山沟 24 条, 长 0.26 km, 新建塘堰 2 口, 增加蓄水容量 3 000 m^3 。种植桉木 3.5 万株, 柏树 6.0 万株, 地埂种桑树 5.0 万株, 发展家庭果园 14 户, 种植果树 0.5 万株, 荒地种植马桑、黄荆 15.33 hm^2 。

在 1 号集水区内以林草措施为主, 在 1987~1989 年间, 种植桉木 5.33 万株, 柏树 3.74 万株, 地埂种桑树 3.14 万株, 种植果树 0.08 万株, 荒地种植马桑黄荆 10.03 hm^2 。开挖沿山沟和水平沟 1.66 km, 扩建塘堰 2 座, 新增蓄水容量 800 m^3 , 治理面积达 49.2%。

在 1991~1995 年间, 种植桉木和柏树 7.1 万株, 地埂种桑树 8.5 万株, 种植薪炭林 4.1 万株。新开挖沿山沟 11 条, 长 1.7 km。

两沟治理后土地利用结构的增减情况如表 3 所示。两集水区治理后, 荒地明显减少, 达 30% 左右, 林地明显增加 20% 以上。1 号集水区内以工程措施为主, 所以, 水田有比较明显的增加。

表 3 试验沟治理后土地利用结构的增减 (%)

Table 3 The component ratio change of land utilization after implementing integrated countermeasures in the experimental watersheds

试验沟	耕地		林地		荒地
	水田	旱地	成林	幼林	
	9.3	0.5	15.2	5.9	-27.2
	1.5	-0.7	28.8	6.5	-36.7

1.3 观测指标测试方法

降雨量与次降雨平均强度: 雨量筒 (20 cm) (汛期 14 00 20 00 2 00 和 8 00 观测, 非汛期 8 00 观测) 和虹吸自记仪观测。

次降雨动能的估算: 采用如下计算公式^[17]:

$$E = 11.87 + 8.73 \text{Log}_{10} I$$

式中 E 为降雨动能 $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$; I 为次降雨平均雨强 (mm/h)。

径流水位观测: 在各支沟的出口, 分别建有梯形量水槽、巴歇尔量水堰和三角堰三种控制断面观测设施, 用自记水位计观测径流水位。各断面均设有水位标尺, 以校正自记水位计的读数。

输沙量观测: 在有洪水时, 用直口平底式采样瓶 (1 000 ml), 根据不同水位情况采取径流样品, 然后

在室内通过静置、过滤、烘干等步骤测定径流的含沙量。再根据流量过程, 求得单次洪水的输沙模数 (t/km^2)。每年的输沙模数 ($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$) 为单次洪水的输沙模数之总和。

2 结果与讨论

2.1 小流域综合治理后不同输沙模数下的变化趋势

由于年间降雨特性差异明显, 为了消除这种变异的影响, 我们用多年各单次观测的输沙模数除以降雨因子 EI (降雨动能 * 降雨强度)、 ER (降雨动能 * 降雨量)、 R (降雨量)、 $10I$ (10 倍降雨强度) 和 RT (降雨量 * 降雨时间), 得到多年平均单位降雨因子下的输沙模数 (图 2 和 3)。

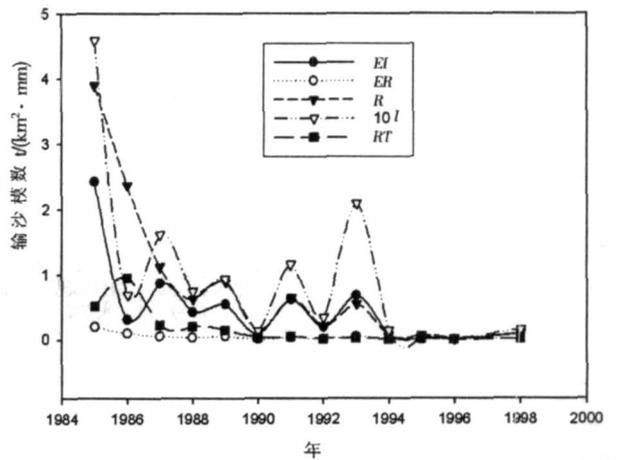


图 2 1 号试验沟不同单位降雨因子下的输沙模数

Fig 2 The sediment transport rate under per unit rainfall factor in watershed

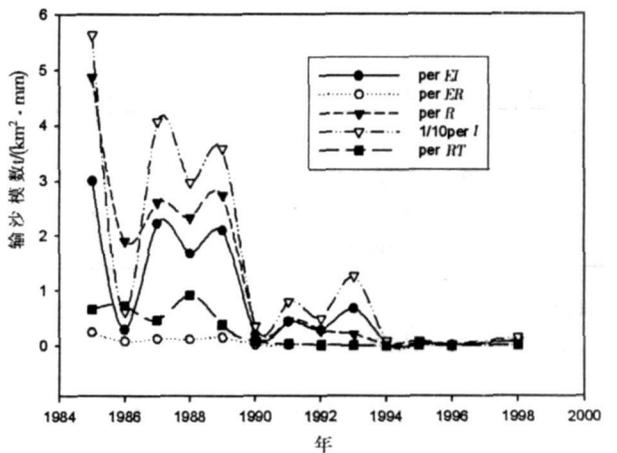


图 3 1 号试验沟不同单位降雨因子下的输沙模数

Fig 3 The sediment transport rate under per unit rainfall factor in watershed

从图中看出,输沙模数逐年平稳减少的趋势最明显的是单位 ER 下的输沙模数,其次是单位 R 下的输沙模数; 号试验沟的这种逐年减少趋势较号试验沟明显。从回归方程 ($f=y_0+a/x$) 的方差分析(表 4)来看,单位 R 下的输沙模数显著性最好 (F 值最大),其次是单位 ER 下的输沙模数,再次是单位 RT 下的输沙模数,最次的是单位 10I 和 EI 下的输沙模数。因此,用单位 R 下的输沙模数来揭示综合治理措施对水土保持的影响规律是最为明显的。下文提及的输沙模数都是单位 R 下的输沙模数。

表 4 不同输沙模数回归方程 ($f=y_0+a/x$) 的方差分析

Table 4 The variance analysis of regression equations for various sediment transport modulus

单位降雨 因子	试验沟		试验沟	
	F	P	F	P
EI	7.603 9	0.018 6	6.104 5	0.026 9
ER	14.332 7	0.003 9	15.507 0	0.001 5
R	15.780 1	0.002 2	16.735 2	0.001 1
I	6.020 1	0.032 0	6.148 4	0.026 5
RT	11.954 1	0.005 4	12.297 3	0.003 5

2.2 不同治理模式下输沙模数的年际变化特征

多年的观测结果(图 4)表明: 无论是以工程措施治理为主的,还是以生物措施治理为主的集水区,经过综合治理后,集水区的输沙模数都有逐年明显减少的趋势。说明小流域的综合治理对紫色土丘陵区的水土保持是有效的,而且,效果是逐年明显; 从输沙模数逐年减小的速度看,以工程措施治理

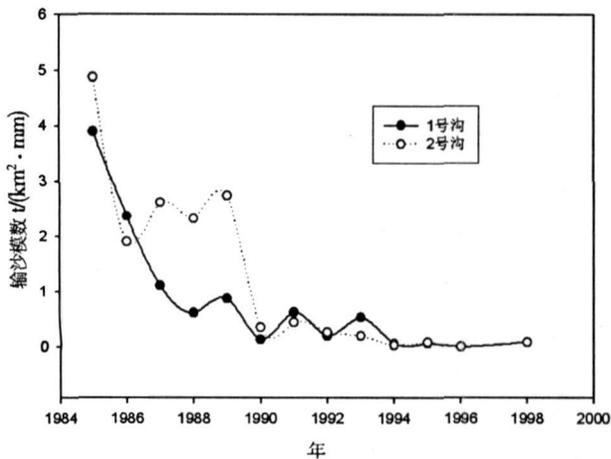


图 4 不同试验沟的年均输沙模数

Fig 4 The sediment transport rate of annual averaged under the two watersheds

为主的,其治理初期(前 3 a)减小的速度较以工程措施治理为主的明显快,从最初的 4.0 t/(km²·a·mm)左右减小到不足 1.0 t/(km²·a·mm),即减少 75%; 而以生物措施治理为主的是从 5.0 t/(km²·a·mm)左右减少到 2.5 t/(km²·a·mm)左右,即减少 50%。说明,以工程措施治理为主的综合治理,对小流域的水土保持具有立竿见影的效果; 从输沙模数的减少程度看,这两种综合治理方法,在经过 5~7 a 后,其输沙模数基本一致。表明这两种综合治理方法,对小流域的最终水土保持效果是相同的。所以,进行小流域的水土流失综合治理,应该根据不同区域的实际社会经济条件来实施。比如:经济和劳动力条件较好的地区,可以实施以工程措施治理为主的综合治理,反之,则应实施以生物措施治理为主的综合治理。 在经过综合治理 10 a 左右,集水区的输沙模数基本稳定; 而且,输沙模数极小,仅为 0.1 t/(km²·a·mm)左右,较治理初期减少 95% 以上。

2.3 不同治理模式下输沙模数的月间变化特征

多年不同月份间,单位降雨量下的输沙模数统计结果(图 5),也同样揭示出了如年际间的上述规

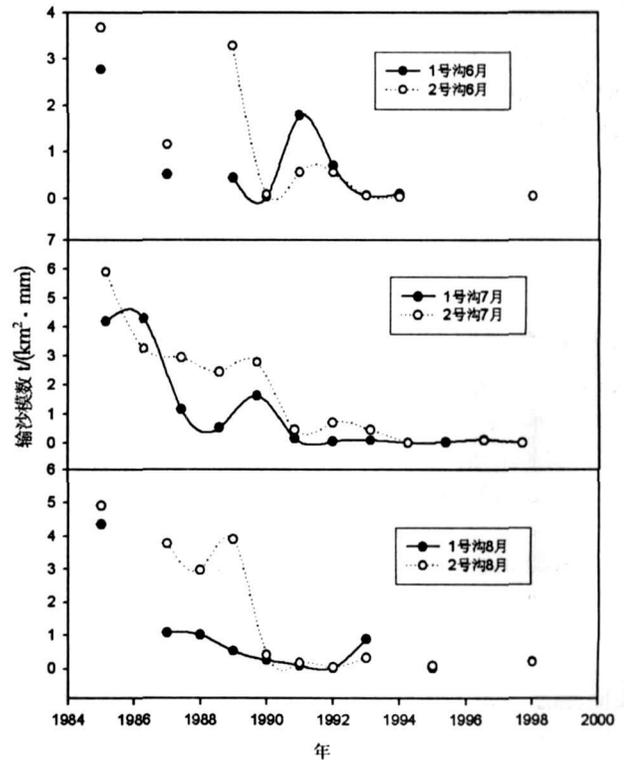


图 5 不同试验沟不同月份的输沙模数

Fig 5 The sediment transport rate of various months under the two watersheds

律。不同的是:治理初期(前5a),6月和8月,以工程措施治理为主的,输沙模数比以生物措施治理为主的减少程度,较7月份明显大。说明:以工程措施治理为主的综合治理,其初期的显著水土保持效果,在降雨较集中或降雨强度较大的7月(图6),并不是那么明显。

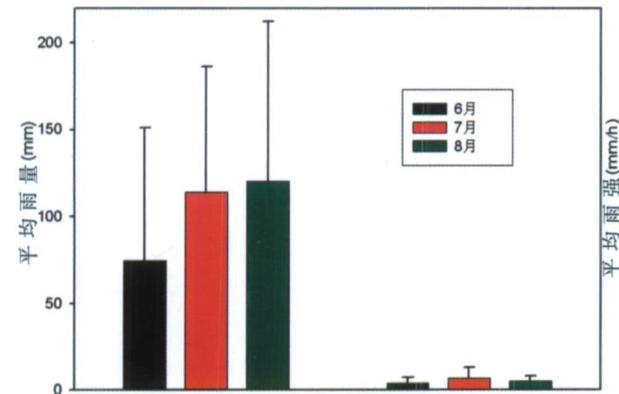


图6 小流域不同月的降雨特征

Fig. 6 The rainfall features of various months in the small basin

3 结论

以上研究结果表明:紫色土丘陵区小流域无论是以工程措施还是以生物措施为主进行综合治理,其水土保持效果都是十分有效的,而且是稳定的;以工程措施为主的综合治理,其水土保持较以生物措施为主的见效快;这两种综合治理模式,经过一定时期后,其水土保持效果接近。因此,综合治理水土流失,应因地制宜采取治理模式。

参考文献 (References)

[1] Li Zhongming *et al*. Purple soil in China (1) [M]. Beijing Science Press 1991. [李仲明主编. 中国紫色土(上篇) [M]. 北京: 科学出版社, 1991.]

[2] He Yurong *et al*. Purple Soil in China (2) [M]. Beijing Science Press 2003. [何毓蓉, 等. 中国紫色土(下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]

[3] Yuan Zhengke, Zhou Gang, Tian Dalu, *et al*. Process of loss of soil and water in red soil and purple soil areas of recovering plants [J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 25(6): 1~7 [袁正科, 周刚, 田大伦, 等. 红壤和紫色土区域植被恢复中的水土流失过程 [J]. 中南林业大学学报, 2005, 25(6): 1~7]

[4] Liu Gangcai, Zhu Ba, Dai Hualong *et al*. Study of water erosion features of purple soil under different land utilization in hilly and low mountain area of Sichuan [J]. *Journal of Soil and Water Conserva-*

tion, 2001, 15(6): 96~100 [刘刚才, 朱波, 代华龙, 等. 四川低山丘陵区紫色土不同土地利用类型的水蚀特征 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 96~100]

[5] Liu Zhen. Retrospect and prospect on integrated management of soil conservation in small river basins [J]. *China Water Resources*, 2005, 22: 17~20 [刘震. 我国水土保持小流域综合治理的回顾与展望. 中国水利, 2005, 22: 17~20]

[6] Deng Liangji, Ling Jing, Zhang Shirong *et al*. Problem of production and ecology of dry cropland and comprehensive harness of soil and water loss in Sichuan Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(2): 8~11 [邓良基, 凌静, 张世熔, 等. 四川旱耕地生产、生态问题及水土流失综合治理研究 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 8~11]

[7] Xu Jin. Effect of small watershed management on local economy and society development [J]. *Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi*, 2004, 2: 41~42 [徐进. 小流域治理对当地社会经济的影响 [J]. 山西水土保持科技, 2004, 2: 41~42]

[8] Yao Wenyi, Li Min. Review of soil erosion and comprehensive control research in loess plateau [J]. *Soil and Water Conservation of China*, 2005, 4: 15~17 [姚文艺, 李勉. 黄土高原土壤侵蚀及综合治理研究评述 [J]. 中国水土保持, 2005, 4: 15~17]

[9] Liu Guobin, Yang Qinke, Zheng Fenli. Small watershed management and Eco-rehabilitation on the loess plateau of China [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(1): 11~15 [刘国彬, 杨勤科, 郑粉莉. 黄土高原小流域治理与生态建设 [J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 11~15]

[10] Gao Jing, Cheng Jianzhuo, Gao Qing. System of comprehensive harness techniques and benefits in the major harnessed small watersheds of Taihang Mountain [J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2004, 19(2): 134~139 [高璟, 陈建卓, 高青. 河北省太行山区重点小流域综合治理技术体系与效益 [J]. 河北林果研究, 2004, 19(2): 134~139]

[11] Hao Mingde. Soil and water conservation and Eco-environment construction in loess plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(5): 79~81 [郝明德. 黄土高原沟壑区水土流失治理与生态环境建设 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 79~81]

[12] Bin Zhang, Yan sheng Yang, H. Zepf. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Pliothudult in southeastern China [J]. *Catena*, 2004, 57: 77~90

[13] Duan Qingsong, Zi Shuhui, Wu Bozhi. The Grey Correlation changes between rainfall factors and runoff and soil erosion from a watershed in the central Yunnan province after conservation implementation [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2006, 21(3): 337~341 [段青松, 字淑慧, 吴伯志. 滇中地区小流域治理前后降雨因子对产流产沙影响的灰色关联 [J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(3): 337~341]

[14] Ni Hanbin, Zhang Liping, Ni Hanhui. A research progress on the comprehensive control of soil and water loss in small watershed based on GIS [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(2): 66~69 [倪含斌, 张丽萍, 倪含辉. 基于GIS的小流域水

- 土流失综合治理研究进展 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 66 ~ 69]
- [15] Nie Ruihua, Dai Huaobang, Lei Xiaozhang *et al.* Research on comprehensive control and exploitation of small watershed in middle of Sichuan [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 103~ 108 [聂锐华, 代华龙, 雷孝章, 等. 川中小流域综合治理与开发研究 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 103~ 108]
- [16] Yuan Za ijian, Cai Q iangguo, Chu Y ingn in *et al.* A distributed model of soil erosion and sediment yield for Han ingguan watershed in the purple soil area of Sichuan [J]. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 968~ 977 [袁再健, 蔡强国, 褚英敏, 等. 四川紫色土地区鹤鸣观小流域分布式侵蚀产沙模型 [J]. 地理研究, 2006, 25(6): 968~ 977]
- [17] Xia Cen ling Study on rainfall erosivity in south of Anhui province [J]. *Journal of H eei University of Technology*, 1998, 21(6): 36~ 39 [夏岑岭. 皖南地区降雨侵蚀力研究. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 1998, 21(6): 36~ 39]

The Effects of Integrated Countermeasures on Soil and Water Conservation of the Small Watershed in Hilly Area of Sichuan Basin

LU Gangcai¹, YOU Xiang², Zhang Jianhu¹, ZHOU Zhonghao^{1, 3}, DU Shuhan^{1, 3}

(1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Water Resources Ministry, Chengdu, 610041, China;

2 Bureau of Soil and Water Conservation of Sichuan Province, Chengdu, 610065, China;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract The integrated countermeasure of small watershed is one of basic means of soil and water conservation. The results, based on the observation of soil and water loss in hilly area of Nanbu, Sichuan basin for period of 1985 - 2001, showed that the efficacy of integrated countermeasure mainly either by engineering practices or by planting alternatives is very satisfied and steady. The efficiency of integrated countermeasure mainly by engineering practices is more apparent than that of by planting alternatives at initial stage. The effectiveness of soil and water conservation for the two integrated countermeasure means is stepwise close after a certain period. Therefore, the integrated countermeasure of soil and water loss should be adjusted to local conditions.

Key words purple soil, hilly area, integrated control, soil and water conservation, sediment transport rate