

# 小流域坡耕地治理措施及生态效益研究

谌芸<sup>1,2</sup>, 何丙辉<sup>1,2</sup>, 罗雷<sup>3</sup>

(1. 西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌, 712100; 3. 中煤国际工程集团重庆设计研究院, 重庆 400016)

**摘要:** 三峡库区铁炉沟小流域的坡耕地治理采用了坡改梯、经果林、水保林等措施。为了找出生态效益最佳的措施, 在小流域内设置了 19 个简易径流小区, 以顺坡耕作(玉米)为对照, 对经果林(柑橘)、经果林(桑树)、水保林(松树)、水保林(白杨)、梯土(桃树+黑麦草)、梯土(玉米)等 6 种措施治理的坡耕地进行了对比试验。试验结果表明, 梯土(桃树+黑麦草)的生态效益最佳, 径流系数比对照措施减少了 74.45%, 产沙量比对照措施减少了 90.39%, 土壤容重最小(1.25 g/m<sup>3</sup>), 总孔隙度最大(52.01%), 最大稳渗速率达到了 5.6 mm/min, 土壤有机质、全 N、全 P、全 K 和速效 N、速效 P、速效 K 的含量均最高。此外, 调查研究也表明梯土(桃树+黑麦草)的经济效益最佳, 高达 13 950 元/hm<sup>2</sup>。所以, 梯土(桃树+黑麦草)是可以在三峡库区推广的小流域坡耕地治理措施。

**关键词:** 水土保持; 坡耕地; 治理措施; 生态效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0041-05

中图分类号: S157.2

## Control Measures and Ecological Benefits on Sloping Farmland in a Small Watershed

CHEN Yun<sup>1</sup>, HE Bing-hui<sup>1,2</sup>, LUO Lei<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, and Southwest University, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Region (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Chongqing Research & Design Institute of Sino-Coal International Engineering Group (CCCD), Chongqing 400016, China)

**Abstract:** In the management of sloping farmland in Tielugou small watershed in the Three Gorges Reservoir Region, measures such as terracing and forest were taken. In order to find out the measures with the best ecological benefits, 19 runoff plots adopting 7 kinds of measures were established in the area by taking longitudinal farming (corn) as the contrast measure. Experimental results showed that terracing (peach + perennial ryegrass) gave the best ecological benefits. Other investigations also revealed that terracing (peach + perennial ryegrass) gave the best economic benefits, about 13 950 yuan/hm<sup>2</sup>. Therefore, terracing (peach + perennial ryegrass) was completely worthy of promotion in sloping land management in the Three Gorges Reservoir Resion.

**Keywords:** soil and water conservation; sloping farmland; control measures; ecological benefits

小流域是水土流失治理的基本单元。小流域综合治理是指为了充分发挥水土等自然资源的生态效益、经济效益和社会效益, 以小流域为单元, 在全面规划的基础上, 合理安排农、林、牧等各业用地, 因地制

宜地布设综合治理措施, 治理与开发相结合, 对流域水土等自然资源进行保护、改良与合理利用<sup>[1]</sup>。在我国, 进行综合治理的小流域面积一般规定在 30 km<sup>2</sup> 以下, 最大不超过 50 km<sup>2</sup>。

收稿日期: 2009-08-29

修回日期: 2009-12-07

资助项目: 国家自然科学基金(40971166; 40671115); 重庆市自然科学基金重点项目(2007BA1015); 国家科技支撑计划重点项目(2008BAD98B01); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-270); 西南大学生态学重点学科“211 工程”建设项目

作者简介: 谌芸(1981—), 女(汉族), 四川省西昌市人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为水土保持及农业水利工程。E-mail: sy22478@126.com。

通信作者: 何丙辉(1966—), 男(汉族), 湖南省汨罗市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持、森林培育与林业生态工程。E-mail: hebinghui@swu.edu.cn。

三峡库区的小流域中,坡耕地往往占了相当大的比例,是水土流失的主要策源地,坡耕地的整治也是三峡库区小流域治理的重点。本研究主要报道了三峡库区铁炉沟小流域坡耕地不同治理措施实施后所取得的生态效益成果。

## 1 研究区概况

铁炉沟小流域面积约 35.64 km<sup>2</sup>,地处三峡库区腹地,位于重庆市丰都县三合镇,流域地貌以丘陵为主,地形起伏剧烈,坡度陡,相对高差达 200~350 m。流域土壤以侏罗系沙溪庙组砂岩、泥岩风化发育而成的中性紫色土为主,土层较薄,土壤肥力较差。

铁炉沟小流域内坡耕地水土流失类型主要有面蚀、沟蚀和以滑坡为主的重力侵蚀。目前,对其主要采取了以下 4 种治理措施<sup>[3]</sup>: (1) 推行坡改梯。将 5°~15°有水源保障的坡耕地逐步改造成水平梯田,将 15°~25°的坡耕地改造成梯土。在改造中为防止生土裸露,表土回填厚度在 0.2 m 以上。(2) 营造经果林。对于 5°~15°水土流失为轻度或中度的坡耕地,在充分考虑原有经果林的基础上,布置经果林。该流域种植的主要有柑桔、桃(水蜜桃)、葡萄、桑等。(3) 退耕还林还草。将 > 25°的陡坡耕地逐步退耕还林还草。为了保证群众在退耕中收入不减少,退耕地逐步规划为经果林。(4) 完善坡面水系。修建了蓄水拦沙工程(包括山坪塘、蓄水池和沉沙凼等)、沟渠工程<sup>[1]</sup>(包括截水沟、排洪沟和沿山沟等)及田间道路。

在实际应用中,4 种措施相互联系、相辅相成,构成了经果林〔柑橘(*Citrus reticulata* Banco)〕、经果林〔桑树(*Morus alba* L.)〕、水保林〔松树(*Pinus*)〕、水保林〔白杨(*Populus tomentosa* Carr)〕、梯土〔桃树(*Prunus persica* + 黑麦草 *Lolium perenne* L.)〕、梯土〔玉米(*Zea mays* L.)〕等治理措施。

## 2 试验方法

### 2.1 试验设计

鉴于研究区没有标准径流小区,本试验采用自设简易径流小区。简易径流小区规格为 2 m×2 m,小区周围用铁皮做挡板,铁皮插入土壤 20 cm 深,下方设置出水口,出水口连接集水池。集水池规格为 1.0 m×1.0 m×1.0 m,底部和四壁用塑料薄膜铺设。试验开始后,在集水池顶部盖上塑料薄膜,以防止降雨直接进入集水池。

### 2.2 观测方法

径流小区的土壤为砂壤土,平均土层厚度为 40

cm。本试验中仅测定了地表径流,未测定壤中流。各指标的测定方法为:(1) 径流系数和泥沙量,每次降雨后,用量筒测量集水池中的集水量(连同泥沙),待沉淀后将泥沙烘干<sup>[3]</sup>,测量泥沙量,最后计算出各径流小区的径流系数和泥沙量(g)。(2) 土壤容重和土壤含水量。采用环刀取土,室内烘干法测定<sup>[4]</sup>。(3) 土壤孔隙度,环刀浸水法测定。(4) 土壤入渗性能,双环法测定。(5) 土壤养分。雨后 1 d,对 19 个径流小区的土壤进行采样(0—20 cm)。样品风干后,研磨通过 1 mm 筛孔,并采用常规土壤农化分析方法进行测定。

### 2.3 数据处理

为方便比较各综合措施的减流减沙效益,拟将观测值转换为到同一坡度(15°),校正公式如下<sup>[5]</sup>:

$$L_i' = \frac{L_i}{S_i} \times S_{15} \quad (1)$$

$$A_i' = \frac{A_i}{S_i} \times S_{15} \quad (2)$$

式中: $L_i$ ——第  $i$  小区校正到 15° 坡度上的地表径流量(ml);  $L_i'$ ——第  $i$  小区的地表径流量(ml);  $A_i$ ——第  $i$  小区校正到 15° 坡度上的泥沙量(g);  $A_i'$ ——第  $i$  小区的泥沙量(g);  $S$ ——15° 坡度的坡度因子;  $S_i$ ——第  $i$  小区的坡度因子。

有关坡度因子的计算,查阅相关文献,缓坡上选用 McCool<sup>[6]</sup> 等研究的坡度公式(3—4);陡坡上采用刘宝元<sup>[7]</sup> 的坡度公式(5)。各小区坡度因子(表 1)。

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \theta < 5^\circ \quad (3)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \quad 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \quad (4)$$

$$S = 21.91 \sin \theta - 0.96 \quad \theta \geq 10^\circ \quad (5)$$

式中: $S$ ——坡度因子;  $\theta$ ——坡度(°)。

考虑到坡度和措施类型,流域内共设置了 19 个径流小区(表 1)。

## 3 结果与分析

铁炉沟小流域坡耕地治理的效益包括生态效益、经济效益和社会效益。其中,生态效益又主要表现为两个方面:减流减沙和土壤改良。

### 3.1 减沙减流效益分析

铁炉沟小流域雨季为 5—9 月,本次试验观测期为 2006 年 5—9 月,观测了 5 次暴雨,总降雨量为 255 mm。总共观测到 18 组数据,校正到 15° 坡度上,计算各径流小区径流系数及泥沙量(表 2)。

表 1 径流小区基本情况

小区编号	坡度/(°)	坡向	土壤	坡度因子	15°坡度因子	措施类型
1	15	阳坡	紫色土	4.71	4.71	顺坡耕作(玉米)
2	15	阳坡	紫色土	4.71	4.71	顺坡耕作(玉米)
3	18	阳坡	紫色土	5.81	4.71	顺坡耕作(玉米)
4	17	阳坡	紫色土	5.45	4.71	顺坡耕作(玉米)
5	16	阳坡	紫色土	5.08	4.71	顺坡耕作(玉米)
6	10	阳坡	紫色土	2.84	4.71	经果林(柑橘)
7	12	阳坡	紫色土	3.60	4.71	经果林(柑橘)
8	10	阳坡	紫色土	2.84	4.71	经果林(柑橘)
9	11	半阳	紫色土	3.22	4.71	经果林(桑树)
10	12	半阳	紫色土	3.60	4.71	经果林(桑树)
11	18	阴坡	紫色土	5.81	4.71	水保林(松树)
12	18	阴坡	紫色土	5.81	4.71	水保林(松树)
13	20	阴坡	紫色土	6.53	4.71	水保林(松树)
14	25	半阳	紫色土	8.30	4.71	水保林(白杨)
15	25	半阳	紫色土	8.30	4.71	水保林(白杨)
16	3	阳坡	紫色土	0.60	4.71	梯土(桃树+黑麦草)
17	3	阳坡	紫色土	0.60	4.71	梯土(桃树+黑麦草)
18	3	阳坡	紫色土	0.60	4.71	梯土(玉米)
19	2	阳坡	紫色土	0.41	4.71	梯土(玉米)

表 2 各措施下径流系数和泥沙量观测分析

措施类型	径流系数	径流系数增减/%	泥沙量/g	泥沙量增减/%	小区编号
顺坡耕作(玉米)	0.47	0	57.83	0	1, 2, 3, 4, 5
经果林(柑橘)	0.38	-19.15	47.80	-17.34	6, 7, 8
经果林(桑树)	0.35	-25.53	45.65	-21.06	9, 10
水保林(松树)	0.31	-34.04	6.10	-89.45	11, 12, 13
水保林(白杨)	0.33	-29.79	6.85	-88.15	14, 15
梯土(桃树+黑麦草)	0.12	-74.45	5.56	-90.39	16, 17
梯土(玉米)	0.26	-44.68	14.60	-74.75	18, 19

由表 2 可知: (1) 梯土(桃树+黑麦草)的减流效益最好, 其径流系数为 0.12, 比顺坡耕作(玉米)(对照措施)减少了 74.45%, 柑橘和桑树的减流效果相对较差, 比对照措施减少了 19.15% 和 25.53%; (2) 梯土(桃树+黑麦草)减沙效益最好, 比对照措施减少了 90.39% 的产沙量, 松树、白杨和梯土(玉米)的减沙效果也较好, 分别比对照措施减少了 89.45%, 88.15% 和 74.75%, 柑橘和桑树减沙效益相对较差, 比对照措施减少了 17.34% 和 21.06%。

梯土(桃树+黑麦草)的减流减沙效益最佳, 究其原因, 主要是其工程措施一方面改变了微地形, 减小了坡度, 阻缓了地表径流, 使得径流系数较小, 另一方面其中的截水沟和排水沟及时将地表径流排走, 有效防止了径流冲刷土壤。此外, 桃树和黑麦草具有固土和过滤水流泥沙的能力, 使其减流减沙效益进一步增强。柑橘和桑树的减流减沙效果相对较差, 主要是因为种

植时间短, 且农民在其间栽植瓜类作物对土壤造成了扰动。

### 3.2 土壤改良效益分析

3.2.1 土壤容重及孔隙度<sup>[8]</sup> 土壤容重及孔隙度是衡量土壤结构变化的重要指标。土壤容重下降, 总孔隙度增加, 将为土壤提供稳定持续的好气和嫌气的条件, 有利于微生物的活动和繁殖。

由表 3 可以看出: (1) 土壤容重各处理由小到大的顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) < 松树 < 白杨 < 梯土(玉米) < 桑树 < 柑橘、顺坡耕作; (2) 总孔隙度各处理由大到小的顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) > 松树 > 白杨 > 梯土(玉米) > 柑橘 > 桑树、顺坡耕作(玉米); (3) 非毛管孔隙度各处理由大到小的顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) > 松树 > 白杨 > 梯土(玉米) > 柑橘 > 桑树 > 顺坡耕作(玉米); (4) 毛管孔隙度各处理由大到小的顺序为: 松树 > 梯土(桃树+黑麦草) > 白

杨、梯土(玉米) > 柑橘、桑树 > 顺坡耕作(玉米); (5) 黑麦草 > 松树 > 白杨 > 梯土(玉米) > 柑橘 > 桑树 > 非毛管孔隙度/总孔隙度的大小顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) > 顺坡耕作(玉米)。

表 3 各措施下土壤容重及孔隙度对照

措施类型	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/总孔隙度(%)
顺坡耕作(玉米)	1.35	51.56	7.75	43.81	15.03
经果林(柑橘)	1.35	51.59	7.77	43.82	15.06
经果林(桑树)	1.33	51.56	7.76	43.82	15.05
水保林(松树)	1.29	51.98	7.94	44.04	15.27
水保林(白杨)	1.30	51.87	7.90	43.97	15.23
梯土(桃树+黑麦草)	1.25	52.01	8.00	44.01	15.38
梯土(玉米)	1.31	51.85	7.88	43.97	15.18

总的来说,梯土(桃树+黑麦草)较其它措施,显著减小了土壤容重和增加了土壤总孔隙度,即土壤结构得到明显改善。

3.2.2 土壤入渗性能<sup>[9]</sup> 土壤入渗性能是反映林地涵养水源能力的重要水文指标。上述 7 种措施下,土壤入渗性能测定的试验结果详见图 1。

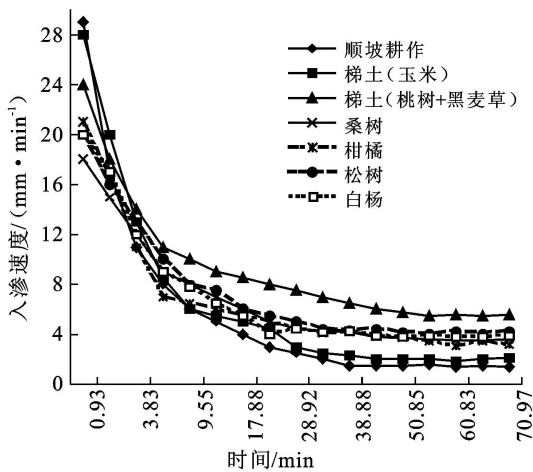


图 1 各措施下的土壤入渗速率

从图 1 可以看出:(1) 前 2 min, 顺坡耕作(玉米)和梯土(玉米)的入渗速率非常大, 分别达到 29 和 28

mm/min; (2) 顺坡耕作(玉米)和梯土(玉米)入渗速率下降很快, 并在第 40 min 左右进入稳渗阶段, 稳渗速率分别为 1.5 和 2.0 mm/min; (3) 梯土(桃树+黑麦草)、水保林(松树)、水保林(白杨)及经果林(桑树、柑橘)进入稳渗阶段相对较慢, 稳渗速率以梯土(桃树+黑麦草)最高, 达到 5.6 mm/min; 松树、白杨、桑树、柑橘次之, 分别为 4.3, 3.9, 3.5 和 3.1 mm/min。

总之,土壤入渗性能强弱为: 梯土(桃树+黑麦草) > 水保林(松树、白杨) > 经果林(柑橘、桑树) > 梯土(玉米) > 顺坡耕作(玉米)。

3.2.3 土壤养分<sup>[10]</sup> 从表 4 可以看出:(1) 有机质含量由大到小的顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) > 松树 > 白杨 > 桑树 > 顺坡耕作(玉米) > 梯土(玉米) > 柑橘; (2) 全 N、全 P、全 K 和速效 N、速效 P、速效 K 的含量, 梯土(桃树+黑麦草)都是最高, 而其它各项措施和顺坡耕作(玉米)相比并没有优势或者优势很小。故梯土(桃树+黑麦草)较其它措施, 土壤肥力最高。

其原因主要有:(1) 梯土(玉米)的耕作土可能有修建梯土时的深翻土, 其初始养分不及原耕作层;(2) 经果林(桑树、柑橘)由于种植时间较短, 株型较小, 提供给土壤的养分比较少, 故其土壤养分不及顺坡耕作(玉米)的养分状况。

表 4 各措施下土壤养分对照

措施类型	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾
顺坡耕作(玉米)	13.91	1.32	0.41	19.99	68.25	15.05	75.33
经果林(柑橘)	12.85	1.11	0.30	19.21	55.34	10.15	51.46
经果林(桑树)	14.01	0.95	0.34	19.85	45.10	8.83	64.23
水保林(松树)	24.68	2.02	0.46	21.65	75.94	19.36	89.08
水保林(白杨)	19.53	1.86	0.40	20.78	70.21	16.78	74.97
梯土(桃树+黑麦草)	34.12	2.30	0.59	26.62	76.89	32.90	156.05
梯土(玉米)	13.53	1.41	0.35	19.56	60.27	12.57	70.11

## 4 结论

(1) 梯土(桃树+黑麦草)的减流减沙效益最佳, 松树、白杨和梯土(玉米)次之, 柑橘、桑树的减流减沙

效益相对较差。

(2) 梯土(桃树+黑麦草)更有效地改善了土壤结构。土壤容重由小到大的顺序为: 梯土(桃树+黑麦草) < 松树 < 白杨 < 梯土(玉米) < 桑树 < 柑橘、顺

坡耕作(玉米);土壤总孔隙度由大到小的顺序:梯土(桃树+黑麦草)>松树>白杨>梯土(玉米)>柑橘>桑树、顺坡耕作(玉米)。

(3) 梯土(桃树+黑麦草)的稳渗速率最大,为5.6 mm/min。此外,稳渗速率由小到大的顺序:松树>白杨>桑树>柑橘>梯土(玉米)>顺坡耕作(玉米)。

(4) 梯土(桃树+黑麦草)的土壤有机质含量为34.12 g/kg,显著高于其它措施。其余措施土壤有机质含量顺序为:松树>白杨>桑树>顺坡耕作(玉米)>梯土(玉米)>柑橘。

(5) 土壤全N、全P、全K和速效N、速效P、速效K的含量,梯土(桃树+黑麦草)均是最高,而其它各项措施相差不大。

总的来说,铁炉沟小流域坡耕地治理是成功的。各项综合措施在减沙减流、土壤改良方面均达到了一定效果,产生了一定的生态效益。其中,梯土(桃树+黑麦草)的生态效益最好。此外,其它调查研究表明梯土(桃树+黑麦草)的经济效益较其他措施也是最好的,高达13 950元/hm<sup>2</sup>。所以,梯土(桃树+黑麦草)具有最佳的生态效益和经济效益,是完全值得在三峡库区推广的小流域坡耕地治理措施。

#### [ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[ J ]. 中国水土保持, 2006(2): 16-17.

- [ 2 ] 罗雷, 何丙辉, 文志勇, 等. 紫色砂泥岩严重侵蚀区小流域综合治理技术与效益评价: 以重庆市丰都县铁炉沟小流域为例[ J ]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 393-397.
- [ 3 ] Guy B T, Dickinson W T, Rudra R P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of in terrill flow [ J ]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5), 1378-1387.
- [ 4 ] 陈希哲. 土力学地基基础[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 47-49.
- [ 5 ] 符素华, 吴敬东, 段淑怀, 等. 北京密云石匣小流域水土保持措施对土壤侵蚀的影响研究[ J ]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 21-24.
- [ 6 ] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. transactions of the ASAE [ J ], 1987, 30(5): 1387-1396.
- [ 7 ] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for slopes [ J ]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6): 1835-1840.
- [ 8 ] 黄昌勇. 土壤学[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 66-69.
- [ 9 ] 吴发启, 赵西宁, 崔卫芳. 坡耕地土壤水分入渗测试方法对比研究[ J ]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 39-41.
- [ 10 ] 朱青, 王兆骞, 尹迪信. 贵州坡耕地水土保持措施效益研究[ J ]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 219-228.

(上接第40页)

只有采取一系列综合措施,才能确保道路畅通无阻,这也是水土保持和农业生产的重要发展方向。对于本研究所提出的规划设计标准是否可以更大尺度范围的推广问题,还应进行进一步的研究和实践。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 徐学选, 琚彤军, 郑世清. 黄土丘陵区植物道路的产流产沙试验研究[ J ]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 934-938.
- [ 2 ] 徐学选, 琚彤军, 郑世清, 等. 黄土丘陵区次降雨下的山坡道路侵蚀分析[ J ]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S): 574-578.
- [ 3 ] 郑世清, 高可兴. 黄土丘陵山坡生产型植物路综合防护技术体系规划设计[ J ]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 39-41.
- [ 4 ] 郑世清, 郑科. 延安黄土区植物路植物根系特征与水保功能评价研究[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 174-176.
- [ 5 ] Gratz K E. Sericea for erosion protection and beauty along highways [ J ]. Journal of Soil and Water Conser-

vation, 1966, 21(3): 92-94.

- [ 6 ] Rodgers D B. Highway erosion control [ J ]. Journal of Soil and Water Conservation, 1965, 20(3): 189-190.
- [ 7 ] Batra P C, Gill G S. Comparison of ipomoea and grass for checking erosion on road embankments [ J ]. Journal of Soil and Water Conservation, 1968, 16(3): 52-55.
- [ 8 ] 郑科, 郑世清, 杨岗民, 等. 黄土丘陵区山坡防蚀道路技术体系与指标[ J ]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3): 135-141.
- [ 9 ] 郑世清. 黄土高原沟壑区沟坡道路修筑技术与防蚀技术体系研究[ J ]. 水土保持通报, 1997, 17(7): 33-42.
- [ 10 ] 郑世清, 霍建林, 李英. 黄土高原山坡道路侵蚀与防治[ J ]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 46-48.
- [ 11 ] 郑世清, 文捷英, 阴振江. 黄土高原山坡生产型植物路防蚀机理与技术[ J ]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 95-97.
- [ 12 ] 曹世雄, 陈莉, 高旺盛. 在黄土丘陵区土质路面种草[ J ]. 生态学报, 2005, 25(7): 1754-1763.
- [ 13 ] 曹世雄, 陈莉, 高旺盛. 山区农田道路路面种草生长发育与通行能力观测[ J ]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 69-72.