

\*\*\*\*\*  
试验研究  
\*\*\*\*\*

# 不同水土保持耕作措施对径流泥沙与土壤碳库的影响

郑海金<sup>1,2</sup>, 杨洁<sup>2</sup>, 汤崇军<sup>2</sup>, 喻荣岗<sup>2</sup>, 汪邦稳<sup>2</sup>, 宋月君<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 江西省水土保持科学研究所, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 为了研究南方红壤坡地不同水土保持耕作措施的蓄水保土和固碳减排效应, 通过江西省水土保持生态科技园 5 a 的定位观测资料, 对 3 种耕作措施(横坡间作, 纵坡间作和果园清耕)条件下坡面产流产沙及土壤碳库的变化进行了分析。结果表明: (1) 与裸露对照相比, 3 种耕作措施均具有一定的蓄水减流和保土减沙效应, 其减流率在 21.16%~75.32%, 减沙率在 38.08%~80.57%, 红壤坡地不同耕作措施的蓄水保土效应从优至劣排序为: 横坡间作>纵坡间作>果园清耕; (2) 与裸露对照相比, 3 种耕作措施均具有提高土壤有机碳质量分数和增加土壤碳库的作用, 其表层土壤总有机碳质量分数增加幅度为 37.24%~66.34%, 土壤碳储量增加幅度为 35.23%~55.34%, 红壤坡地各项耕作措施实施 5 a 后的表层土壤碳库指数和土壤碳储量大小排序均为: 纵坡间作>横坡间作>果园清耕; (3) 间作措施的蓄水保土和固碳减排效益优于清耕措施, 适宜在红壤坡地推广。

**关键词:** 水土保持; 耕作; 径流; 泥沙; 土壤碳库

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0001-04

中图分类号: S157.1

## Impacts of Different Soil and Water Conservation Tillage Measures on Runoff, Sediment and Soil Carbon Stock

ZHENG Hai-jin<sup>1,2</sup>, YANG Jie<sup>2</sup>, TANG Chong-jun<sup>2</sup>, YU Rong-gang<sup>2</sup>, WANG Bang-wen<sup>2</sup>, SONG Yue-jun<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forest University, Beijing 100083, China;

2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang, Jiangxi 330029, China)

**Abstract:** In order to study effects of different tillage methods on soil and water conservation(SWC) and soil carbon stock in red-soil slope land in Southern China, field experiments were carried out in the representative area named Jiangxi Eco-science Park of SWC to investigate the surface runoff, sediment, total organic carbon (TOC) and carbon pool index(CPI) of soils in contour strip intercropping, downslope strip intercropping and clean tillage in orchards with the data of five-year agriculture measurement. The results indicated as follows: (1) Compared with the control(CK), runoff reduction rates of the three measures varied between 21.16% and 75.32%, and sediment reduction rates of them varied between 38.08% and 80.57%. It showed that these agricultural measures have great effects on reduction of runoff and sediment with a descendant order of contour strip intercropping, downslope strip intercropping and clean tillage. (2) Compared with CK, soil TOCs and CPIs of contour strip intercropping, downslope strip intercropping and clean tillage increased by 37.24% to 66.34% and 35.23% to 55.34%, respectively. The results also showed that these agriculture tillage measures have increased soil C and followed a descendant order of downslope strip intercropping, contour strip intercropping and clean tillage. (3) These results indicated that strip intercropping has better benefits than clean tillage and can be applied widely in red-soil hilly region.

**Keywords:** soil and water conservation; cultivation; runoff; sediments; soil carbon stock

土壤侵蚀是当今世界最严重的生态环境问题之一, 不仅制约着农业生产, 而且威胁着人类赖以生存的环境<sup>[1-2]</sup>。土壤侵蚀作为一个重要的生物学过程, 可引起陆地碳的迁移, 对土壤碳素平衡和陆地碳素循

收稿日期: 2011-02-16

修回日期: 2011-03-26

资助项目: 水利公益性行业科研专项经费项目“红壤侵蚀区坡面水土综合整治技术集成与示范”(200901049), “水蚀地区坡面水土流失阻控技术研究”(200901047), “水土流失面源污染对鄱阳湖水质影响研究”(201001055); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金课题(10501-271)

作者简介: 郑海金(1978—), 女(汉族), 江西省临川县人, 博士, 工程师, 研究方向为水土保持和环境修复。E-mail: haijinzheng@163.com。

通信作者: 杨洁(1958—), 女(汉族), 福建省漳浦县人, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为水土保持和森林培育。E-mail: zlyj@126.com。

环产生很大的影响。研究表明<sup>[3]</sup>,土壤有机碳的损失与土壤侵蚀之间存在密切的关系。在水土流失区开展水土保持生态建设,不仅会改善生态环境,也势必培育土壤,影响陆地系统乃至全球碳循环<sup>[4]</sup>。但是,目前国内在进行水土保持效益评价时,大多考虑蓄水保土的效应,很少考虑碳素吸收的贡献。

耕作措施是水土保持三大措施之一。国内外对不同耕作措施的水土保持效应已做了大量的研究<sup>[5-14]</sup>,但就土壤碳库,尤其是对南方红壤区土壤碳库影响的研究还不多见。因此,本研究试图以典型的南方红壤坡地为研究对象,在江西省水土保持生态科技园进行长期定位试验,旨在对不同耕作措施下的产流产沙和土壤碳库进行探讨,以期为南方红壤区推行蓄水保土和固碳减排的水土保持耕作技术提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验布设在江西省德安县境内的江西水土保持生态科技园。该科技园处于中国南方红壤的中心分布区域,具有典型代表意义。园区地处鄱阳湖水系博阳河西岸,位于东经 115°42′38″—115°43′06″,北纬 29°16′37″—29°17′40″之间,属亚热带季风气候,多年平均降雨量 1 350.9 mm,多年平均气温 16.7℃,年日照时数 1 650~2 100 h,多年平均无霜期为 249 d;地貌为浅丘岗地,海拔在 30~100 m 之间,坡度多在 5°~25°之间;地带性植被为亚热带常绿阔叶林;土壤类型为第四纪红色黏土发育的红壤。试验小区选择在山坡的中下部,坡面土层厚度约在 0.5~1.5 m,土壤 pH 值为 5.0,土壤有机质含量为 1.55 g/kg,全氮

含量为 0.08 g/kg,全磷含量为 0.07 g/kg,碳、氮质量之比为 7.5,各项速效养分含量低,土壤具有酸、黏、板、瘦等不良特性<sup>[11]</sup>。

### 1.2 试验设计

试验小区是 5 m×20 m 的标准径流试验小区,其水平投影面积约为 100 m<sup>2</sup>,坡度均为 12°,为阻止地表径流进出小区,小区四周均设有围埂,围埂高出地表 30 cm,埋深 45 cm,用混凝土砖块砌成。小区下方设有矩形集水槽及径流池,以承接小区径流泥沙。根据研究区可能发生的最大暴雨的径流量设计为 A、B、C 这 3 个径流池,每个池均按 1.0 m×1.0 m×1.2 m(长×宽×深)方柱形修筑。A 和 B 二池在墙壁两侧装有五分法 60°的三角形分流堰,其中 A 池 4 份排出,内侧 1 份流入 B 池。B 池与 A 池一样,其中 1 份进入 C 池。径流池经过了率定,池壁安装水尺观测水位。

试验共设 4 种处理小区,分别是横坡间作、顺坡间作、果园清耕和裸露对照小区,其中前 3 种小区在 2000 年春均种植 2 年生柑橘 12 株。横坡间作和顺坡间作小区按当地生产习惯,每年套种两季作物,即黄豆和萝卜;果园清耕区与其他小区不同的是及时清除地面杂草。小区管理方法均按《水土保持试验规范(SD239—1987)》部颁标准进行。试验处理与设计详见表 1。

径流泥沙观测时间为 2001 年 1 月至 2005 年 12 年,对次降雨下的各小区径流量及侵蚀泥沙量进行统计。土壤取样时间为 2006 年 3 月 17 日,各小区按 S 型取 5 个点,每个点取表层(0—20 cm)土壤 300 g,用四分法取混合样,用保鲜袋装样,供分析测试用。

表 1 试验处理与设计

小区编号	耕作措施	小区条件
1	横坡间作	常年有柑橘,种植行、列间距为 2.5 m×3.0 m;间种黄豆和萝卜,种植 6 横条,每年夏季(4 月 16 日至 7 月 30 日)种黄豆,种植密度为每 1 067 株/hm <sup>2</sup> ,冬季(8 月 21 日至 4 月 6 日)种萝卜,种植密度为每 533 株/hm <sup>2</sup> ;植被结构为果树—作物。
2	纵坡间作	常年有柑橘,种植行、列间距为 2.5 m×3.0 m;间种黄豆和萝卜,种植 3 竖条,每年夏季(4 月 16 日至 7 月 30 日)种黄豆,种植密度为每 1 067 株/hm <sup>2</sup> ,冬季(8 月 21 日至 4 月 6 日)种萝卜,种植密度为每 533 株/hm <sup>2</sup> ;植被结构为果树—作物。
3	果园清耕	常年有柑橘,种植行、列间距为 2.5 m×3.0 m,及时清除地面杂草;植被结构为果树。
4	裸露对照	全园裸露,以供对照。

### 1.3 测定项目与方法

(1) 径流量及侵蚀泥沙量。径流量可据径流池中水尺的读数由试验站预先率定的公式计算;侵蚀泥沙量通过采用烘干法测定含沙水样计算;径流系数根据小区径流量与降雨量的比值计算。

(2) 土壤理化性质。主要测定土壤体积质量和有机质,其中土壤体积质量采用环刀法,有机质采用重铬酸钾法。

(3) 土壤碳库指标计算。总有机碳质量分数(TOC)由有机质质量分数乘以 Bemmelen 换算系数,

即 0.58;碳库指数(CPI)为有耕作措施小区土壤有机质质量分数与裸露对照小区土壤有机质质量分数的比值;土壤有机碳储量( $m_{CT}$ )计算公式<sup>[15]</sup>为:

$$m_{CT} = A \cdot \cos\alpha \cdot T \cdot \theta \cdot c / 10$$

式中: $m_{CT}$ ——土壤有机碳储量(kg); $A$ ——小区实际面积( $m^2$ ); $\alpha$ ——小区坡度,弧度制; $T$ ——土层厚度(cm); $\theta$ ——土壤体积质量( $g/cm^3$ ); $c$ ——土层有机碳质量分数(%)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作措施对径流泥沙的影响

2.1.1 不同耕作措施对径流损失的影响 由表 2 可以看出,实施了耕作措施小区的产流量均低于对照小区,年均径流量介于 12.81~40.92  $m^3$  之间,减流率在 21.16%~75.32%;年均径流系数也较对照小区低,介于 9.31%~29.74%之间,为对照小区的 24.68%~78.84%,说明各项耕作措施均具有一定的蓄水减流效应。分析其原因,由于耕作措施增加了坡面糙度,能减小坡面水流流速,降低坡面水流的冲刷力<sup>[16]</sup>,因而其蓄水减流效应增强。不同水土保持耕作措施之间的蓄水减流效应又有所不同。第 1 小区平均

径流量为 12.81  $m^3$ ,比 CK 处理小区(裸地)减少了 39.10  $m^3$ ,径流减少幅度最大,同时其径流系数最低,仅为 CK 处理小区的 24.68%;第 2 小区平均径流量为 20.99  $m^3$ ,比 CK 处理小区减少 30.92  $m^3$ ,径流减少幅度次于第 1 小区,同时其径流系数也次之,为 CK 处理小区的 40.43%;第 3 小区年均径流量为 40.92  $m^3$ ,比 CK 处理小区减少 10.99  $m^3$ ,径流减少幅度最小,同时其径流系数最大,为 CK 处理小区的 78.84%。耕作措施小区年均径流量和径流系数大小排序为:第 3 小区>第 2 小区>第 1 小区。方差分析结果表明,第 1 小区与第 3 小区的径流量存在显著差异性( $p < 0.05$ ),说明横坡间作蓄水减流效应明显优于果园清耕。第 1 小区的年均径流量比第 2 小区小,年均减少径流量 38.97%;其径流系数也比较小,为第 2 小区的 61.03%,这在一定程度上说明横坡间作比纵坡间作的减流效果好。这主要是由于横坡间作的微地形改变了径流方向,由沿坡面向下的流动改为沿坡地横向流动,汇流方式也随之变化,减小了水流流速,增加了土壤入渗<sup>[16]</sup>,所以其产流量要小。因此,红壤坡地不同耕作措施蓄水减流效应从优至劣排序为:横坡间作>纵坡间作>果园清耕。

表 2 不同耕作措施下坡面产流产沙情况

小区编号	措施类型	径流量				泥沙量				
		年均径流量/ $m^3$	标准误	置信水平	占对照比例/%	年均径流系数/%	年均侵蚀模数/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	标准误	置信水平	占对照比例/%
1	横坡间作	12.81 <sup>c</sup>	16.53	0.002	24.68	9.31	1 289 <sup>b</sup>	211.68	0.002	19.43
2	纵坡间作	20.99 <sup>bc</sup>	8.07	0.024	40.43	15.25	2 314 <sup>b</sup>	2.04	0.076	34.89
3	果园清耕	40.92 <sup>ab</sup>	16.44	0.046	78.84	29.74	4 107 <sup>ab</sup>	184.38	0.048	61.92
4	裸露对照	51.91 <sup>a</sup>	17.18	0.006	100.00	37.72	6 633 <sup>a</sup>	315.39	0.044	100.00

注:同列不同字母表示处理之间差异显著,具有相同字母的处理之间差异不显著( $p < 0.05$ ,LSD 检验)。

2.1.2 不同耕作措施对泥沙流失的影响 根据表 2 可以看出,耕作措施小区(第 1—3 小区)产沙量均低于裸露小区(第 4 小区),年均侵蚀模数为 1 289~4 107  $t/(km^2 \cdot a)$ ,减沙率为 38.08%~80.57%,说明各项耕作措施均具有明显的保土减沙效应。分析其原因,由于耕作措施降低了径流量和水流流速,从而减小了水流对土体的分散作用和水流夹沙能力<sup>[16]</sup>,因而坡面产沙量明显降低。不同水土保持耕作措施之间的保土减沙效应又有所不同。第 1 小区年均侵蚀模数为 1 289  $t/(km^2 \cdot a)$ ,属于轻度侵蚀,比 CK 处理小区减少 5 344  $t/(km^2 \cdot a)$ ,泥沙减少幅度最大;第 2 小区年均侵蚀模数为 2 314  $t/(km^2 \cdot a)$ ,属于轻度侵蚀,比 CK 处理小区减少了 4 319  $t/(km^2 \cdot a)$ ,泥沙减少幅度次于第 1 小区;第 3 小区年均侵蚀模数为 4 107  $t/(km^2 \cdot a)$ ,属中度侵蚀,比 CK 处理小区减少 2 526  $t/(km^2 \cdot a)$ ,泥沙

减少幅度最小。耕作措施小区年均泥沙量大小排序为:第 3 小区>第 2 小区>第 1 小区。第 1 小区与第 3 小区的产沙量有显著差异性( $p < 0.05$ ),说明横坡间作减沙效应明显优于果园清耕。横坡间作小区比纵坡间作小区泥沙量小,年均减少泥沙量 44.31%,说明总体上横坡间作比纵坡间作的减沙效果好。这主要是由于横坡间作减小了坡面径流量,降低了坡面水流的挟沙力<sup>[16]</sup>,所以其产沙量要小。因此,红壤坡地不同耕作措施保土减沙效应从优至劣排序为:横坡间作>纵坡间作>果园清耕。

### 2.2 不同耕作措施对土壤碳库的影响

2.2.1 对土壤总有机碳的影响 根据表 3 可知,耕作措施小区(第 1,2,3 小区)土壤总有机碳质量分数均大于裸露小区(第 4 小区),增加幅度在 37.24%~66.34%,说明各项耕作措施均具有提高土壤有机碳

含量的作用。这主要是由于耕作措施增加了植被覆盖,从而改良了土壤,促进了土壤有机质含量的提高。

从表 3 中可以看出,不同耕作措施对土壤总有机碳质量分数的影响不同。第 1 小区土壤总有机碳质量分数为 9.44 g/kg,比 CK 处理小区增加 57.86%;第 2 小区土壤总有机碳质量分数为 9.95 g/kg,比 CK 处理小区增加了 66.39%,碳的增幅最大;第 3 小区土

壤总有机碳质量分数为 8.21 g/kg,比 CK 处理小区增加了 37.29%,碳的增幅最小。各项耕作措施实施 5 a 后表层土壤的总有机碳质量分数大小为:纵坡间作(第 2 小区)>横坡间作(第 1 小区)>果园清耕(第 3 小区)。可见,总体上果园间种经济作物有利于提高土壤总有机碳质量分数,横坡间作和纵坡间作分别较果园清耕提高了 14.98%和 21.19%。

表 3 不同耕作措施下坡面表层土壤有机碳和碳库指数

小区编号	土壤体积质量/ (g·cm <sup>-3</sup> )	土层深度/ cm	总有机质质量分数/ (g·kg <sup>-1</sup> )	总有机碳质量分数/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碳库指数	土壤碳储量/ kg
1	1.25	20	16.28	9.44	1.58	236.59
2	1.27	20	17.15	9.95	1.66	253.22
3	1.34	20	14.15	8.21	1.37	220.44
4	1.36	20	10.31	5.98	1.00	163.01

2.2.2 对土壤碳储量的影响 由表 3 可以看出,耕作措施小区(第 1,2,3 小区)土壤碳库指数均大于对照小区(第 4 小区),变化范围为 1.37~1.66;而土壤碳储量也均高于对照小区,增加幅度为 35.23%~55.34%,说明各项耕作措施均具有明显的碳汇效应。这与耕作措施增加坡面植被覆盖度,促进土壤改良有关。

从表 3 中还可以看出,不同耕作措施对土壤碳库指数和碳储量的影响不同。第 1 小区土壤碳储量为 236.59 kg,比 CK 处理小区增加 73.58 kg,同时其碳库指数为 CK 处理小区的 1.58 倍;第 2 小区土壤碳储量为 253.22 kg,比 CK 处理小区增加了 90.21 kg,固碳幅度最大,同时其碳库指数最大,为 CK 处理小区的 1.66 倍;第 3 小区的土壤碳储量为 220.44 kg,比 CK 处理小区增加了 57.43 kg,固碳幅度最小,同时碳库指数最小,仅为 CK 处理小区的 1.37 倍。各项耕作措施实施 5 a 后表层土壤碳库指数和碳储量大小均为:纵坡间作(第 2 小区)>横坡间作(第 1 小区)>果园清耕(第 3 小区)。可见,总体上果园间作经济作物有利于提高表层土壤碳库,纵坡间作和横坡间作的碳库指数分别较果园清耕提高了 21.27%和 15.33%,碳储量分别提高了 14.87%和 7.33%。

### 3 结论

(1) 与裸露对照相比,不同耕作措施均具有一定的蓄水保土效益,其减流率为 21.16%~75.32%,减沙率为 38.08%~80.57%;同时,3 种耕作措施均具有提高土壤有机碳含量和增加土壤碳库的作用,其表层土壤总有机碳质量分数增加幅度为 37.24%~66.34%,土壤碳储量增加幅度为 35.23%~55.34%。可见,在红壤坡地上采取一定的耕作措施可

以起到良好的保持水土和吸收碳素的作用。

(2) 红壤坡地不同耕作措施的蓄水保土效益从优至劣排序为:横坡间作>纵坡间作>果园清耕,而其表层土壤碳库指数和碳储量大小表现为:纵坡间作>横坡间作>果园清耕。可见,间作措施的蓄水保土和固碳减排效益优于清耕措施,适宜在红壤坡地推广。

(3) 横坡间作比纵坡间作的水土保持效果更好。但纵坡间作小区的土壤碳库指数较横坡间作小区大,这可能与小区间作的经济作物条带长度、作物覆盖度等有关,具体原因还有待今后深入探究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 甘枝茂. 关于侵蚀环境研究中的几个问题[M]//中国科学院水土保持研究所. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展. 西安:陕西人民出版社,1995:8-11.
- [2] Miller W P. Particle size of interrill-eroded sediments from hilly weathered soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1987,51:1610-1615.
- [3] 方华军,杨学明,张晓平,等. 土壤侵蚀对农田中土壤有机质的影响[J]. 地理科学进展,2004,23(2):77-86.
- [4] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential[J]. Global Change Biology, 2000,6: 317-327.
- [5] 左长清,马良. 红壤坡地果园不同耕作措施的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3):12-15.
- [6] 武艺,杨洁,汪邦稳,等. 红壤坡地水土保持措施减流减沙效果研究[J]. 中国水土保持,2008(10): 37-40.
- [7] 谢颂华,曾建玲,杨洁. 南方红壤坡地不同水土保持措施消流减蚀效果研究[J]. 江西农业大学学报:自然科学版,2004,26(4): 624-628.

(下转第 10 页)

### 3 结论

(1) 在相同的土地利用方式下,由于试验地点的不同,NP(农坡地)土壤容水量相差近 1 倍,差异较大;HT(旱梯田)容水量相差可达 35.23%,差异明显;HP(荒坡地)相差最大仅为 5.84%,差异较小;GT(沟台地)在 366 min 的入渗试验时间里,高低相差仅为 0.17%,差异不明显。

(2) 荒坡经过隔坡水平台整地封闭保护自然恢复植被 1 a 后,土壤容水量高于多数乔、灌木林地。所以,对于荒坡面积较大,水土流失严重而又暂不能实现快速全面治理的半干旱黄土丘陵沟壑区,这种方法不失为一种经济有效的水土保持措施。

(3) 人工植被改善土壤入渗性能的作用明显,人工沙棘林、人工柠条林等灌木林地的土壤容水量大于乔木林地。因此,在半干旱黄土丘陵沟壑区水土保持治理中应该更加重视发展灌木林。

(4) 人行道土壤容水量和渗水率较之荒坡小很多,而黄土公路土壤容水量和渗水率最小。所以道路占地一方面要防止降雨径流的冲刷,另一方面也可用作径流利用的基地。

(5) 土壤含水率在 9.60%~19.02% 的范围内时对土壤容水量的影响不明显。土壤容重越大,土壤容水量越小,故土壤容重是影响土壤容水量的主要土壤物理特性指标。

(6) 影响土壤渗水的因素众多而复杂,受人为因素和自然因素的共同作用。用单环土柱法试验土壤容水量和渗水率,一是暂未考虑雨滴对地面的击溅作用。二是试验操作难免对地表有松动性扰动,而对地表不同程度的松动性扰动又往往较平常更有利于水

分渗入土壤而会使所测取土壤容水量和渗水率相对于在自然降水条件下所产生的数据偏大。环刀与土壤的接触面对水体下渗有无影响或者有多大影响也是需要考虑的因素。三是对同一种土地利用方式下引起土壤容水量和渗水率的差异(如不同植物盖度、坡向)尚需进一步试验研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soils[J], Agricultural Water Management, 1993, 24(8): 39-47.
- [2] Egle J D, Moore I D. Effect of rainfall energy on infiltration into a bare soil[J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(6): 189-199.
- [3] Bodman G B, Colman E A. Moisture and energy condition during down and entry of water into soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1944, 8(2): 166-182.
- [4] 贾志军,王富,甄宝艳,等. 坝上地区沙棘林土壤水文效应研究[J]. 河北林业科技, 2009, 2(1): 1-2.
- [5] 刘贤赵,康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [6] 于志民,余新晓. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 45-55.
- [7] 王应期,费喜亮. 孙家岔水土流失特征与水土保持措施减流减沙效益分析[C]// 黄河中游水土保持小流域综合治理试验示范点孙家岔流域鉴定验收会议资料汇编, 1990: 104-128.
- [8] 金正明,张建. 甘肃中部干旱、半干旱区灌木资源调查及主要水保灌木研究[R]. 河南 郑州: 黄河水利委员会, 1992.
- [9] 费喜亮,金正明. 水土流失与水土保持防护体系建设[J]. 人民黄河, 1990(3): 59-62.
- [10] 牟信刚,陈为峰,史衍玺,等. 不同措施在防治山地果园水土流失及面源污染中的应用研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(12): 916-919, 924.
- [11] 水建国,柳俊,廖根清,等. 不同自然植被管理措施对红壤丘陵果园水土流失的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 42-46.
- [12] 王晓龙,李辉信,胡峰,等. 红壤小流域不同土地利用方式下土壤 N, P 流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 31-34.
- [13] 张展羽,左长清,刘玉含,等. 水土保持综合措施对红壤坡地养分流失作用过程研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 41-45.
- [14] 张国华,张展羽,王倪进,等. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(5): 19-22.
- [15] 郑子成,吴发启,何淑勤. 耕作措施对产流作用的研究[J]. 土壤, 2004, 36(3): 327-330.
- [16] 王健,吴发启,孟秦倩. 农业耕作措施蓄水保土效益试验研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 39-41.
- [17] 徐香兰,张科利,徐宪立,等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 13-15.
- [18] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 471-489.

(上接第 4 页)