

不同治理措施在红壤坡耕地的水土保持效益

李秋芳¹, 王克勤¹, 王帅兵¹, 李太兴², 李宝荣²

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省玉溪市水利局, 云南 玉溪 653100)

摘 要: 在云南省抚仙湖流域澄江尖山河小流域坡耕地建立了野外标准径流小区, 并布设了 1.2 m 宽等高反坡阶和 2.0 m 宽草带两种坡耕地水土保持措施, 观测次降雨的地表径流量和土壤流失量, 并与原状坡耕地进行对比, 分析两种措施的水土保持效益。结果表明: (1) 两种措施之间的地表径流量和土壤流失量差异性均显著。修筑等高反坡阶的地表径流深为 113.64 mm, 比原状坡耕地减少了 61.9%, 土壤流失量为 714.7 t/km², 比原状坡耕地减少了 77.4%; 布设草带的地表径流深为 82.76 mm, 比原状坡耕地减少了 72.2%, 土壤流失量为 370.1 t/km², 比原状坡耕地减少了 88.3%。(2) 两种措施之间的减流和减沙效益差异性均显著, 等高反坡阶的减流和减沙效益指数平均分别达 0.57 和 0.97, 草带的减流和减沙效益指数平均分别达 0.79 和 0.76。(3) 两种措施均大幅削减了地表径流和泥沙的氮、磷养分输出总量, 发挥了较好的保肥作用。与原状坡耕地相比, 等高反坡阶对总氮削减率为 81.9%, 对总磷削减率为 44.3%; 草带对总氮削减率为 74.7%, 对总磷削减率为 83.7%。

关键词: 土壤侵蚀; 等高反坡阶; 草带; 坡耕地; 抚仙湖

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0196-05

中图分类号: S157.1

Soil and Water Conservation Benefits of Different Measures on Red Soil Sloping Farmland

LI Qiu-fang¹, WANG Ke-qin¹, WANG Shuai-bing¹, LI Tai-xing², LI Bao-rong²

(1. Faculty of Environment Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Hydrological Bureau of Yuxi Municipality, Yuxi, Yunnan 653100, China)

Abstract: Standard runoff plots were built in Jianshan small watershed of Fuxian Lake watershed in Chengjiang County, Yunnan Province. In addition to the control, two types of soil and water conservation measures were set up on the sloping farmland, i. e., reverse-sloped terraces with 1.2 m interval and grass strips with 2.0 m interval. Surface runoff and sediment yields were monitored after each rain events to compare the water and soil conservation effects of these two measures. It was shown by the study that both surface runoff and sediment yields differed significantly between the two measures. The runoff depth for the reverse-sloped terrace was 113.64 mm during the year, which was 61.9% less than that of the control, while the observed soil loss was 714.7 t/km², approximately 77.4% less than the control. For the grass strip treatment, the runoff depth was 82.76 mm, 72.2% less than the control, whereas the soil loss was 370.1 t/km², 88.3% less than that of the control. Apparently, both measures showed significant benefits in reductions of both surface runoff and soil loss. The average index values of runoff and soil loss reduction were 0.57 and 0.97 for constructing reverse-sloped terrace, and were 0.79 and 0.76 for building grass belts, respectively. The total N and P losses in surface runoff and sediment were also reduced remarkably, by 81.9% and 44.3% for reverse-sloped terrace, and by 74.7% and 83.7% for grass belts, respectively.

Keywords: soil erosion; reverse-slope level terrace; grass verges; sloping farmland; Fuxian Lake

收稿日期: 2011-11-09

修回日期: 2012-02-25

资助项目: 国家自然科学基金项目“微区域集水系统控制云南山区农业面源污染”(30660037); 西南林业大学水土保持与荒漠化防治重点学科项目

作者简介: 李秋芳(1985—), 女(纳西族), 云南省丽江市人, 硕士研究生。主要研究方向为环境生态。E-mail: liqiufang1102@126.com。

通信作者: 王克勤(1964—), 男, (汉族), 甘肃省庄浪县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为小流域环境综合治理的理论与技术研究。E-mail: wangkeqin7389@sina.com。

水土流失是红壤坡耕地环境质量不断恶化的主要原因。据统计,云南省水土流失面积达 1.41×10^5 km²,占土地面积的 37%,年流失土壤 5.18×10^8 t,主要发生在 $>8^\circ$ 的坡地上,坡地面积占总面积的 90%以上。云南省旱坡耕地 1.98×10^6 hm²,占总耕地面积的 67.4%^[1]。农业面源污染近年来已上升为“三湖(位于云南省玉溪市 3 个高原湖泊抚仙湖、星云湖和杞麓湖)”水污染的重要因素^[2]。云南省澄江县尖山河作为抚仙湖入湖一级支流,其小流域中径流、泥沙及其 N、P 等养分的输出在抚仙湖面源污染中占有很大比重,而红壤坡耕地的水土流失是造成抚仙湖面源污染的重要原因之一,进行红壤坡耕地水土流失的综合治理对该区山地资源的可持续利用,对抚仙湖面源污染的减少都有十分重要的作用。在水土保持对策上,减缓面源污染有两个关键点:一是减少地表径流,从而减少由其带入下一循环的污染物的量;二是减少土壤养分流失,保持土壤肥力。等高反坡阶可对局部径流起到调控作用,既能蓄集一部分降雨,又能保持水土,可使地表径流得到合理调控,也能改善土壤水分和养分条件^[3-5]。赵合理等^[6]研究了黄土高原丘陵沟壑区不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响,结果表明,等高反坡阶可以缓解降水在坡面的再分配过程,连续切断坡面径流流线,抑制径流泥沙发生。草被也具有一定的水土保持效益,它主要是通过其地上和地下两部分共同实现的,地上部分主要是通过通过对降雨截留,增加径流入渗量和减少地表净雨量,以及增加地表糙率、减小径流流速和降低径流对地表的冲刷能力多方面来实现的,而地下部分的作用主要体现在根系能增强土壤的抗冲性能^[7]。王晓南^[8]等的研究表明,植被具有明显的水土保持效益,其他学者及一些国外学者^[9-11]分别研究了不同植被系统,不同利用方式,不同农作措施红壤坡地的水土流失特征和水土保持效果,以及土壤养分的流失与保持,提出了等高梯田、植物篱、农林间作,提高植被的结构层次和覆盖度,辅以必要的工程措施是红壤坡地水土保持的有效措施。本研究综合国内外近期研究结果,采用野外观测的方法,在云南省澄江县尖山河小流域布设标准径流小区,以修筑等高反坡阶和布设草带为治理措施,进行连年观测与分析,对不同措施的减流减沙效益、径流和泥沙养分的输出进行分析,以期为该红壤坡耕地水土流失治理及抚仙湖面源污染治理方案的制定提供理论支持。

1 试验区概况

尖山河小流域(地理坐标为 $102^\circ 47' 21''$ — $102^\circ 52' 02''$ E,

$24^\circ 32' 00''$ — $24^\circ 37' 38''$ N)位于珠江南北盘江上游岩溶区域的玉溪市澄江县,为抚仙湖一级支流,海拔 1 722.0~2 347.4 m,流域总面积 35.42 km²,相对高差 625.4 m。试验区多年年均降水量 1 050 mm,干湿季分明,雨季(5—10月)降水量占全年降水量的 75%,多年平均洪峰流量为 36 m³/s,暴雨基本出现在雨季,常出现单点暴雨,如遇特大暴雨时,尖山河下游常遭受洪涝灾害。年均径流深 300 mm,年均蒸发量 900 mm。

尖山河小流域土地总面积 35.42 km²,主要土地利用类型有次生林、人工林、灌草地、坡耕地和梯平地,耕地面积占流域总面积的 12%,其中坡耕地占 7%。土壤类型主要有红壤和紫色土。分布的主要乔木树种有云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*Pinus armandii*)、蓝桉(*Eucalyptus globules* Labill)等。烤烟(*Nicotiana tabacum*)是该地区的主要经济作物,试验地在实验观测年间均种植烤烟。

2 研究方法

2.1 标准径流小区布设

选取典型坡耕地,修建水平投影面积 5 m×20 m 的标准径流小区,海拔高程 1 773 m,位于坡面中下部,坡度 18.58°,坡向为北南向,2007—2010 年均种植烤烟。观测期内,每年雨季(5月)前都进行垄坡耕种 K326 品种烤烟。

2.2 水土保持措施的布设

根据以往年水文观测资料,该区内降雨量分配不均,夏季降雨集中(5—10月)易形成大雨或暴雨,导致容易产生大的地表径流并冲刷地表,造成水土的流失。2008年4月底,在坡耕地标准径流小区中部和下部分别修筑两条等高反坡阶,等高反坡阶规格为:宽 1.2 m,反坡 5°。2010年4月底,在该径流小区内将修筑等高反坡阶措施改为布设草带,即在径流小区的下部布设草带,占整个标准径流小区长度的 1/3,长约 6.67 m,草带由 5 cm 厚的天然草皮移栽而成,主要植物种为紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)。由于野外观测期间无重复试验,故以 2007 年的原状坡耕地径流小区作对照。在标准径流小区旁布设 RG2-M 型数字自记雨量计,测定次降雨的降雨量和降雨历时,并计算降雨强度。

2.3 试验观测与计算

使用 RG2-M 自记雨量计记录降雨过程,用人工雨量计观测的次降雨量进行校对。每次降雨产流后,记录集流池内水文尺水位刻度,用体积法求得径流量,充分搅匀,用 500 ml 取样瓶取 6 瓶水样,3 瓶待

测泥沙含量,3 瓶待测 N 和 P 含量,每次降雨取样后均用专用工具将径流池清理干净。

(1) 泥沙测定。用置换法测定,计算公式为:

$$M = \gamma_s (M_{os} - M_w) / (\gamma_s - \gamma_w)$$

式中: M ——泥沙质量(g); γ_s ——泥沙的比重(g/cm^3); γ_w ——水的比重(g/cm^3); M_{os} ——泥水质量(g); M_w ——清水质量(g)。

(2) 氮、磷含量测定。总氮采用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法测定,总磷采用过硫酸钾消解—钼酸铵分光光度法测定,氨氮采用纳氏试剂比色法测定。泥沙中全氮采用凯氏定氮法测定,土壤全磷采用 $\text{HClO}_4-\text{H}_2\text{SO}_4$ 法测定,水解氮采用碱解蒸馏法测定,速效磷采用盐酸—氟化铵法测定。

(3) 减流减沙效益分析。用减流减沙效益指数表达,计算公式为^[7]:

$$I_w = 1 - \frac{\overline{W_w'}}{\overline{W_w}}, \quad I_s = 1 - \frac{\overline{W_s'}}{\overline{W_s}}$$

式中: I_w, I_s ——某措施的减流和减沙效益指数; $\overline{W_w'}, \overline{W_s'}$ ——实施某措施后的产流和产沙平均值; $\overline{W_w}, \overline{W_s}$ ——无措施的产流和产沙平均值。

试验数据采用 Excel 和 SPSS 11.5 软件进行相关分析。

3 结果与分析

3.1 不同措施下降雨及其产流产沙特征

表 1 为研究区不同水土保持措施下降雨、径流和泥沙的观测结果。由表 1 可知,与试验区原状坡耕地雨季降雨量 739.8 mm 相比,修筑等高反坡阶措施下的雨季降雨量减少了 4.6%。

原状坡耕地的径流深为 298.2 mm,径流系数为 0.5,与之相比,修筑等高反坡阶措施下径流深减小了 61.9%,而布设草带措施下的径流深减幅更大,达到了 72.2%。原状坡耕地的地表径流量为 298 200 m^3/km^2 ,修筑等高反坡阶后,该值减少了 61.9%,为 113 640 m^3/km^2 ,表明修筑等高反坡阶起到了较好的减流作用;布设草带后地表径流量则更少,为 82 760 m^3/km^2 。利用 SPSS 分析可得,两种措施下地表径流量差异性显著($\text{sig}=0.023 < 0.05$),土壤流失量差异性也显著($\text{sig}=0.003 < 0.05$)。这表明两种措施对坡耕地地表径流均有不同程度的削减作用。

表 1 不同水土保持措施下降雨、径流和泥沙的观测结果

治理措施	年降雨量/mm	雨季降雨量/mm	产流降雨/mm	径流深/mm	径流系数	产流次数	泥沙含量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	地表径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	土壤流失量/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$)
原状坡耕地	887.3	739.8	595.8	298.2	0.50	35	10.6	298 200	3 157.2
等高反坡阶	923.3	731.7	458.0	113.6	0.25	17	6.3	113 640	714.7
布设草带	856.4	705.5	300.0	82.8	0.33	18	6.5	82 760	370.1
与原状坡耕地比/%	4.1	-1.1	-23.1	-61.9	-0.5	-51.4	-40.6	-61.9	-77.4
	-3.5	-4.6	-49.6	-72.2	-0.3	-48.6	-38.7	-72.2	-88.3

由于原状、修筑等高反坡阶和布设草带 3 种措施下的产流产沙量不是同一年的观测结果,本试验中,分析数据时分别建立原状、修筑等高反坡阶措施下的径流、泥沙产量与降雨(量与强度)之间的回归方程,再将布设草带措施下的相关实测值代入回归方程内,预测出原状下和修筑等高反坡阶措施下各自的产流、产沙量,并将 3 种措施下的产流产沙量进行对比分析。通过偏相关分析及逐步回归分析,得到原状坡耕地条件下的回归方程为:

$$Q = 0.232P + 0.108I_{10} + 0.397I_{30} - 3.132$$

$$(R^2 = 0.798, n = 33);$$

$$Q_s = 3.702Q^{1.301} \quad (R^2 = 0.853, n = 33)$$

修筑等高反坡阶措施下的回归方程为:

$$Q = 2.772Q_s - 0.009Q_s^2 - 1.510$$

$$(R^2 = 0.949, n = 16);$$

$$Q_s = 1.738P + 16.7W_s - 0.298I_{30} - 80.161$$

$$(R^2 = 0.822, n = 16)$$

式中: Q ——地表径流量(L/m^2); Q_s ——土壤流失量(t/km^2); W_s ——泥沙含量(kg/m^3); I_{10} ——最大 10 min 雨强(mm/h); I_{30} ——最大 30 min 雨强(mm/h); P ——降雨量(mm)。

3.2 不同措施对坡耕地减流减沙效益分析

根据原状坡耕地的观测数值跟修筑等高反坡阶的观测值建立各自的回归方程,将布设草带措施下的观测值与另外两种措施下的回归方程所得预测值进行比较,分析不同措施下的次降雨减流减沙效益。

分析结果表明,等高反坡阶措施下减流效益指数为 0.20~0.97,平均可达 0.57,布设草带的减流效益指数为 0.45~0.99,平均可达 0.79,两种措施对坡耕地地表径流的削减作用显著。

等高反坡阶措施的减沙效益指数为 0.92~0.99,平均可达 0.97,布设草带的减沙效益指数为 0.41~0.99,平均可达 0.76,两种措施对坡耕地土壤流失的削减作用也显著。

综合分析数据,经 SPSS 分析,无论是修筑等高反坡阶还是布设草带,均起到了一定的减流减沙作用,两种措施的减流效益差异性显著($\text{sig}=0.041<0.05$),减沙效益差异性也显著($\text{sig}=0.016<0.05$)。

3.3 不同措施对于坡耕地的保肥效益分析

不同水土保持措施都有各自的保肥作用,可从削减养分输出角度来进行分析。经过对不同措施地表径流和泥沙输出的养分浓度的统计分析(表 2),经地表径流输出的总氮、总磷和氨氮的浓度变化不一^[12-15],但是总体上输出量却呈减小趋势。

修筑等高反坡阶的总氮输出量减少了 36.2%,总磷输出量减少了 47.9%,氨氮输出量减少了 10.9%;布设草带措施下,总氮输出量减少了 41.9%,总磷输出量减少了 32.4%,氨氮输出量减少了 46.5%。总体上减少了随地表径流输出的氮、磷养分流失量。

表 2 不同措施下地表径流氮、磷浓度变化特征值

措施	输出浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			输出量/($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)		
	总氮	总磷	氨氮	总氮	总磷	氨氮
原状坡耕地	3.96	0.22	0.56	955.62	38.69	92.16
修筑等高反坡阶	5.84	0.21	0.88	609.61	20.17	82.08
布设草带	3.22	0.19	1.02	555.35	26.17	49.33

氮、磷养分流失量还有一部分是伴随土壤流失量输出的(表 3)。原状坡耕地总磷随泥沙的输出量最大,修筑等高反坡阶后,总磷、总氮、水解氮、速效磷输出量均减少了,削减率为 44.3%,81.9%,78.6%,61.3%。布设草带后总磷输出量最大,草带对总氮、总磷、水解氮和速效磷输出量的削减率为 83.7%,74.7%,88.0%,92.3%。

3.4 讨论

(1) 通过对原状坡耕地、等高反坡阶下的观测数

据作回归分析,所得方程表明坡耕地土壤流失量与降雨强度和降雨量极显著相关,这与王克勤^[16]、白文忠^[17]、王萍^[18]等的研究结果一致。

(2) 试验表明,在云南省红壤坡耕地修筑等高反坡阶减流减沙效益指数高,表明等高反坡阶是治理坡耕地水土流失的有效措施之一。对于坡耕地水土流失防治过程中,布设草带也可获得较佳的水保效益,其减流减沙效益指数与修筑等高反坡阶相当。但是在实际的农业生产活动中,在坡耕地中大面积布设草带直接导致耕种面积缩减,进而影响到农民的经济收入,所以大面积推广布设草带措施的方案还需进一步研究。后续研究可着重将草带配置与农业经济结合起来,考虑草带与农作物的配置比例,这样就更具实用性与推广性。

(3) 对两种不同措施的减流减沙效益进行比较,发现草带减流效益比等高反坡阶的要高,米艳华^[1]等的研究表明,坡耕地地表径流的减流效益还需要考虑草带覆盖度、草带密度等,但本试验中并未考虑草带的盖度、密度等因素,还需要作进一步研究。等高反坡阶减沙效益则远远高于草带,证明等高反坡阶确实有削减土壤流失量的功效,这与褚丽平的研究结果一致。由此可见,无论是采取修筑等高反坡阶还是布设草带措施,试验区标准径流小区的地表径流量、土壤流失量均比原状坡耕地的要小,两种措施减流效益差异性极为显著,说明这两种不同措施各有其减流减沙效益。

(4) 观测数据表明,修筑等高反坡阶和布设草带两种措施均起到了一定的保肥作用,为坡耕地上农作物的生长提供了更为充足的养分,这与邢鹏远^[19]的研究结果相似。

综上所述,在云南山区坡耕地修筑等高反坡阶,其减流减沙效益和保肥效益兼顾,操作简便,不受地形限制,具有方便、实用的优势,而布设草带措施也有其优势,布设草带所需时间较短,见效快,成本也低,故二者均适合在红壤坡耕地水土流失防治过程中实施。

表 3 不同措施下泥沙养分氮、磷输出变化特征

措施	输出浓度				输出量			
	总氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	水解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总氮/ ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	总磷/ ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	水解氮/ ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	速效磷/ ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)
原状坡耕地	0.38	0.86	51.11	24.24	827.06	2134.56	134.83	63.57
修筑等高反坡阶	0.58	0.53	37.30	23.21	460.79	387.34	28.82	24.57
布设草带	0.34	1.13	40.77	8.78	134.90	540.84	16.20	4.91

4 结 论

(1) 坡耕地地表径流量和土壤流失量与降雨量、降雨强度密切相关。地表径流量与降雨量、雨强呈线性相关,土壤流失量与地表径流量呈幂函数型显著相关。统计分析得,不同措施下坡耕地泥沙含量均减少了约 40%,地表径流量与土壤流失量均相应减少。

(2) 修筑等高反坡阶和布设草带措施下的地表径流量、土壤流失量均小于原状坡面,体现出各自良好的水土保持效益。当降雨量为 39.8 mm 时,修筑等高反坡阶措施下的地表径流量由原状下的 11 590 m³/km² 减至 7 060 m³/km²,而布设草带措施下的地表径流量则减至 1 040 m³/km²;而当降雨量为 19.4 mm 时,修筑等高反坡阶措施下的土壤流失量由原状地的 98.98 t/km² 减至 0.70 t/km²,布设草带措施下的则减为 59.77 t/km²。

(3) 不同措施在坡耕地中的减流减沙效益并不相同。修筑等高反坡阶的减沙效益较减流效益要高(减流效益指数平均为 0.57,而减沙效益指数平均为 0.97)。草带减流效益指数平均可达 0.79,减沙效益指数平均可达 0.76。

(4) 修筑等高反坡阶和布设草带对随地表径流输出和随泥沙输出的氮、磷养分均有不同程度的削减作用,两种措施均起到了保肥的作用。修筑等高反坡阶措施下,总磷、总氮、水解氮、速效磷输出量各自的削减率为 44.3%,81.9%,78.6%和 61.3%,布设草带总氮、总磷、水解氮和速效磷输出量的削减率为 83.7%,74.7%,88.0%和 92.3%。

[参 考 文 献]

- [1] 米艳华,潘艳华,沙凌杰,等. 云南红壤坡耕地的水土流失及其综合治理[J]. 水土保持学报,2006,20(2):17-21.
- [2] 柴世伟,裴晓梅,张亚雷,等. 农业面源污染及其控制技术[J]. 水土保持学报,2006,20(6):192-195.
- [3] Gupta G N. Rain-water management for tree planting in the Indian Desert[J]. Journal of Arid Environments, 1995, 31(2):219-235.
- [4] Ojasvi P R, Goyal R K, Gupta J P. The micro-catchment water harvesting technique for the plantation of jujube(*Zizyphus mauritiana*) in an agroforestry system under arid conditions[J]. Agricultural Water Management, 1999, 41(3):139-147.
- [5] Gupta G N, Limba N K, Mutha S. Growth of *Prosopis cineraria* on microcatchments in an arid region[J]. Annals of Arid Zone, 1999,38(1):37-44.
- [6] 赵合理,蒋定生,范兴科. 不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响[J]. 水土保持研究,1996,3(2):75-83.
- [7] 肖培青,姚文艺,申震洲,等. 草被减流减沙效应及其力学机制分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):15-19.
- [8] 王晓南,孟光涛,姜培曦,等. 浅谈植物措施在水土保持中的作用机理[J]. 水土保持应用技术,2008(4):25-26.
- [9] Tian Guangming, Wang Feier, Chen Yingxu. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China [J]. Pedosphere, 2003, 13(2):121-128.
- [10] Banzai K. Red soil runoff and its control in Island Basins[J]. Japanese Journal of Tropical Agriculture, 2002, 46(5): 329-337.
- [11] 杨一松,王兆骞. 南方红壤坡地不同利用模式的水土保持及生态效益研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5): 83-87.
- [12] 郭索彦. 水土保持监测理论与方法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010:221.
- [13] 陈奇伯. 花岗岩坡面降雨产流产沙相互关系的研究[J]. 水土保持科技情报,1997(4):34-36
- [14] 孟广涛,袁春明,方向京,等. 滇中高原山地 4 种人工群落径流量和土壤流失量的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(1):33-36.
- [15] 郑应茂,张兴广,赵星,等. 不同整地方法蓄水保土效益的研究[J]. 山东林业科技,2001(2):17-19.
- [16] 王克勤,宋泽芬,李太兴,等. 抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征[J]. 环境科学学报,2009, 29(6):1321-1328.
- [17] 白文忠,王克勤. 抚仙湖典型小流域烤烟坡耕地产流产沙及氮磷流失特征[J]. 中国水土保持科学,2009, 7(2):46-51.
- [18] 王萍,王克勤,李太兴,等. 反坡水平阶对坡耕地径流和泥沙的调控作用[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1-7.
- [19] 邢鹏远,王克勤,杨绍兵,等. 反坡水平阶水土保持效益观测[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):119-124.