

不同坡度下反坡水平阶的蓄水减沙效益

李苗苗¹, 王克勤¹, 陈志中², 康 龙²

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 昆明 650224; 2. 昆明市水利局, 昆明 650224)

摘 要:在昆明松华坝迳者小流域,在自然降雨条件下定点观测不同坡度下径流和泥沙的流失特征,研究反坡水平阶对不同坡度下坡耕地的蓄水减沙效益。结果表明:反坡水平阶总体上对坡耕地为 5°和 15°的减水效益分别达到 75.98%和 74.55%,减沙效益总体上分别达到了 85.91%和 80.52%;坡耕地为 25°的减水效益总体上达到了 43.48%,减沙效益总体上达到了 69.15%。不同坡度下反坡水平阶坡面对照自然坡面得出的用水减沙比表现为坡度越小用水减沙比越大,坡度越大用水减沙比越小。说明坡度越小,反坡水平阶对径流和泥沙的拦截效果越明显,反坡水平阶有直接蓄水减沙的水土保持功效。

关键词:蓄水减沙;反坡水平阶;坡耕地

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0100-05

Storage of Water and Sediment Reduction Benefits of Reverse-slope Terrace under the Different Slopes

LI Miao-miao¹, WANG Ke-qin¹, CHEN Zhi-zhong², KANG Long²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Water Conservancy Bureau of Kunming City, Kunming 650224, China)

Abstract: The runoff and sediment characteristics were observed and storage of water and sediment reduction benefits were studied on reverse-slope terrace on the different slopes under the natural rainfall conditions in Yizhe Watershed of Songhuaba reservoir in Kunming. The result shows that the rates of runoff reduction have reached to 75.98% and 74.55% on slope land of 5° and 15° in all, the rates of sediment reduction have reached to 85.91% and 80.52% on the reverse-slope terrace, runoff and sediment reduction have reached to 40.48% and 69.15% on the farmland of 25°. In comparison with the water use and sediment reduction under natural slope, it shows that the smaller the degree of slopes, the greater the ratio of the water use to sediment reduction under different slopes of reverse-slope terrace; otherwise, the greater the degree of slopes, the smaller the ratio of the water use to sediment reduction. It shows that reverse-slope terrace has evident effect on runoff and sediment interception when slope is smaller, and that the reverse-slope terrace has a direct effect on soil and water conservation.

Key words: water and sediment reduction; reverse-slope terrace; slope land

早在 19 世纪晚期就开展了土壤侵蚀研究,坡耕地是产生水土流失的主要来源。由于坡耕地水土流失严重,使我国山区丘陵土层变薄,养分流失严重,保水保肥能力下降,使大多数坡耕地生产力下降,严重阻碍山地丘陵区农业的可持续发展,坡地侵蚀可造成土地可持续生产力的严重损失和破坏。坡耕地泥沙流失也是大量江河流域泥沙的主要来源。迳者小流域位于昆明市北郊的松华坝水库水源区内,属滇池流

域的盘龙江上游,是我国第一个被列入的城市饮用水源保护区,占昆明市供水总量的 40% 以上。根据昆明市水利局的调查显示,松华坝水库水质下降趋势日益严重,自 2002 年以来,松华坝水库水质总体为Ⅲ类水质,特别是 2004 年的 10—12 月连续 3 个月均为Ⅳ类水标准,水体富营养化现象亟待解决,坡耕地水土流失是造成水质下降的主要原因^[1-2]。松华坝水源区内山区半山区面积占总面积的 95% 以上,耕地面积

收稿日期:2011-06-19

修回日期:2011-07-18

资助项目:国家自然科学基金项目(30660037);西南林业大学水土保持与荒漠化防治重点学科资助

作者简介:李苗苗(1987—),女,山西省长治县人,硕士研究生,主要从事恢复生态学与土壤侵蚀研究。E-mail:lm999@126.com

通信作者:王克勤(1964—),男,甘肃省庄浪县人,博士,教授,主要从事小流域环境综合治理研究。E-mail:wangkeqin7389@sina.com

近 6 500 hm²,一半以上为坡地。控制坡耕地水土流失对松华坝水质的稳定及改善有重要意义。

坡度是影响土壤侵蚀的重要因子之一,其对土壤侵蚀的影响主要是体现在雨滴溅蚀和坡面地表径流侵蚀。雨滴溅蚀使土壤结构遭到破坏、土粒分散、破坏和迁移,为土壤冲刷创造了有利条件^[3]。大量研究表明,随着坡度的增加,降雨入渗减少,径流量增加^[4]。坡度与坡面径流量呈正相关关系,坡度是通过影响径流量来影响其携带的养分流失量^[5]。景可^[6]等研究表明土壤侵蚀量与坡度呈指数函数关系。通过研究紫色土坡耕地上进行的横坡垄作,观测不同坡度坡耕地的水土流失及作物产量状况,得出随着坡度增大,径流量和泥沙量均增大的研究结果^[7]。可见,坡度的增大增加了水土流失的产生。研究不同坡度坡面上实施水土保持措施,对减缓径流和泥沙量的响应势在必行。反坡水平阶是调节坡面径流的重要措施之一,可以对产生的径流得到调控作用,同时阻止泥沙的产生,本文主要研究不同坡度下反坡水平阶对坡面的调控作用,定量分析反坡水平阶的减流减沙效益,为该区域坡度比较大的坡面和控制面源污染提供科学的依据,对保护松华坝水质和防止富营养化具有一定的现实意义。

1 研究区概况

迤者小流域位于昆明市嵩明县滇源镇西端的迤者村委会境内,地处东经 102°45′35″—102°50′05″,北纬 25°13′20″—25°17′00″,距滇源镇政府所在地约 14 km,距昆明市嵩明县县城约 24 km,距昆明市市区约 40 km;东邻金钟,南邻盘龙区,西邻盘龙区,北邻阿子营。地势总体西北高东南低,最高海拔 2 445.2 m,位于流域西部土灰塘包,最低海拔 2 003.8 m,位于流域河流出口处,相对高差 441.4 m,平均海拔 2 200 m。气候特点夏秋温热,冬春干凉。属北亚热带和暖温带混合型气候,多年平均气温 13.8℃。最热月在 7 月,极端最高气温 34℃,最冷月在 1 月,极端最低气温为 -14.9℃。多年平均≥10℃活动积温 4 091℃,年日照时数为 1 800 h,无霜期 234 d。流域内多年平均降雨量 925.6 mm。流域内植被以亚热带针叶林为主,森林覆盖率为 31.6%,林草覆盖率为 66.8%。

2 研究方法

2.1 径流小区布设

对 5°、15°和 25°的坡耕地进行反坡水平阶处理,并与坡耕地进行对照,对处理和对照分别布设投影面

积为 5 m×20 m 的标准径流场,坡度为 25°的径流小区(1#和 2#)为荒地,植物覆盖度仅为 15%左右,其中 1#布设有反坡水平阶;坡度为 15°的径流小区(3#、4#和 5#)和坡度为 5°的径流小区(6#、7#和 8#)分别种植农作物,覆盖度都在 90%左右,其中 4#和 7#布设反坡水平阶。

反坡水平阶是沿等高线自上而下里切外垫,修成一台面,台面外高里低,宽 1.2 m,反坡 5°,以尽量蓄水,减少流失,常在山石多、坡度大的坡面上采用。在径流小区附近安装 RG2—M 自记雨量计,对试验区降雨量进行测定。

2.2 观测方法

(1)地表径流量。每场典型降雨后立即量出标准径流场内的泥水总量,推算地表径流量。

(2)泥沙含量。搅匀水池内的泥沙,用 500 ml 取样瓶取 3 瓶水样,用比重法测定泥沙含量,推算泥沙量。

2.3 相关指数计算

(1)在不同坡度,布设有反坡水平阶坡面与自然坡面的产流产沙进行对照分析,得出不同坡度下减流减沙效益的大小。

$$C_w = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\% \\ C_s = (S_1 - S_2) / S_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_w 、 C_s ——减流减沙效益(%); W_1 ——自然坡面产流量(m³/km²); W_2 ——调控坡面的产流量(m³/km²); S_1 ——自然坡面产沙量(kg/km²); S_2 ——调控坡面的产沙量(kg/km²)。

(2)为了描述不同坡度下对照坡面与调控坡面径流量与产沙量的调控效果及其关系,引用吴淑芳等提出的用水减沙比概念^[8-10]。用水减沙比指在一定调控措施坡面或研究区域,用于减少单位泥沙所需要减少坡面或研究区域的地表径流量,即采用调控措施后,减流量与减沙量之间的比值。用水减沙比值越大,说明采用调控措施之后保证单位侵蚀泥沙不被冲刷所保存于土壤的径流量越大。

$$E_R = (\Delta P'_2 - \Delta P'_1) / (S'_2 - S'_1) \quad (2)$$

式中: E_R ——用水减沙比率(m³/t); S'_1 ——进行调控后研究区域侵蚀产沙量(t/hm²); S'_2 ——对照状况即未实施调控前研究区域侵蚀产沙量(t/hm²); $\Delta P'_1$ ——调控坡面调控后研究区域内产流量(m³/hm²); $\Delta P'_2$ ——对照状况即未实施调控前研究区域内产流量(m³/hm²)。

2.4 分析方法

本研究采用 SPSS 11.5 实用统计软件和 Excel 2003 数据处理系统进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 降雨分布特征

根据试验地的自记雨量计观测,2009 年总降水量为 689.6 mm,从图 1 降雨量的趋势可以看出,1—5 月降雨量为 99.6 mm,占全年降雨量的 14.44%,7 月降雨量最大,降雨量为 179.4 mm,占全年降雨量的 26.02%,6—8 月是试验地全年降雨最集中的时段,约占全年降雨量的 70.81%。是全年典型降雨最集中的时段。6—8 月期间共有 6 场典型降雨,在这 6 场降雨中,6 月 22 日、6 月 30 日、7 月 25 日和 8 月 4 日为大雨,降雨量分别为 86,99.2,45.6,78.8 mm,7 月 25 日和 8 月 14 日为中雨,降雨量分别为 45.6 mm 和 32.4 mm。

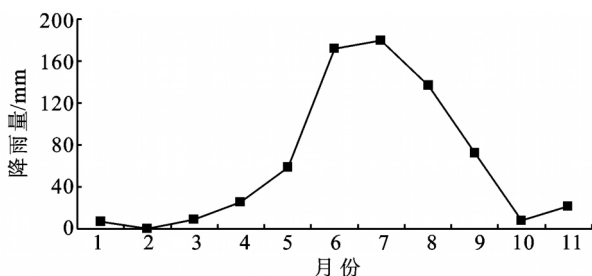


图 1 2009 年年降雨分布

3.2 不同坡度下产流产沙特征

根据 2009 年降雨情况,选取 6—8 月期间 6 场典型降雨作为本文的分析数据,期间不同坡度下坡面径流量和产沙量过程如图 2、图 3 所示。

从图 2 中可以得出,不同坡度下坡面的径流量存在明显的差异,在相同降雨条件下,同一坡度的坡面径流量各不相同,2[#] 径流量最大,是 1[#] 径流量的 1.77 倍,3[#] 径流量是 4[#] 径流量的 3.96 倍,5[#] 径流量是 4[#] 径流量的 3.90 倍,6[#] 径流量是 7[#] 径流量的 4.25 倍,8[#] 径流量是 7[#] 径流量的 4.08 倍。从图 2 趋势来看,坡度为 25°无反坡水平阶的坡耕地产流量远远大于其他坡度的坡耕地,坡度为 5°设有反坡水平阶的坡耕地产流量最小,得出坡度越大产流量越大。坡度为 5°的 8[#] 坡耕地比坡度为 25°的 1[#] 坡耕地产流量大,这是由于即便 1[#] 坡面无覆盖物,但其布设有水平阶减少了地表径流的产生,比有覆盖物无反坡水平阶的效果要好,说明反坡水平阶对坡度比较大的坡面具有明显的减流作用。

从图 3 中可以得出,相同降雨条件下,同一坡度下坡面的产沙量各不相同,2[#] 产沙量最大,2[#] 产沙量是 1[#] 产沙量的 3.25 倍,3[#] 产沙量是 4[#] 产沙量的 4.99 倍,5[#] 产沙量是 4[#] 产沙量的 5.27 倍,6[#] 产沙量

是 7[#] 产沙量的 7.25 倍,8[#] 产沙量是 7[#] 产沙量的 6.78 倍。从图 3 的趋势来看,坡度为 25°无反坡水平阶的坡耕地产沙量最大,坡度为 5°有反坡水平阶的坡耕地产沙量最小。这与径流量结果相一致,表明反坡水平阶同样具有明显的减沙作用。

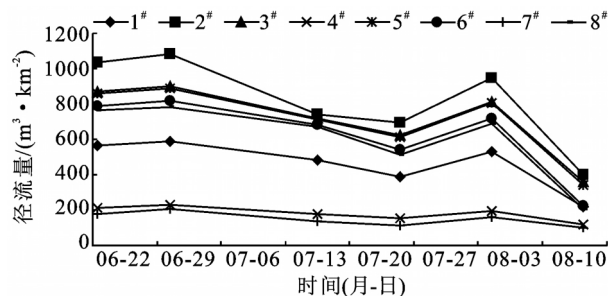


图 2 不同坡度下坡面产流量分布

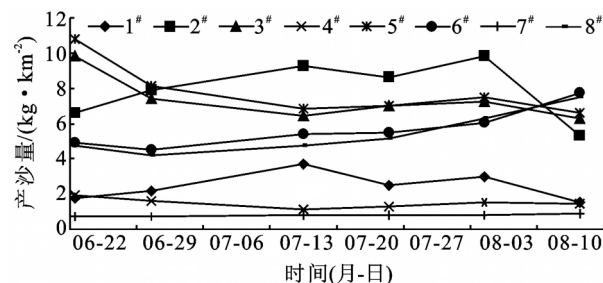


图 3 不同坡度下坡面产沙量分布

3.3 不同坡度下反坡水平阶对坡面径流量和产沙量的调控

3.3.1 不同坡度下反坡水平阶的减水效益 对不同坡度下设有反坡水平阶坡面与自然坡面的径流量进行对照分析,得出反坡水平阶对不同坡度的减水效益。从表 1 可知,从总体趋势来看有反坡水平阶的坡面对降雨具有一定的截留作用,增加土壤入渗,减缓了地表径流产生,而自然坡面缺乏截留措施,除一部分降水被土壤吸收外大部分均以地表径流的形式流失。①在同一坡度条件下,反坡水平阶的坡面比自然坡面具有良好的蓄水作用;在不同坡度条件下,反坡水平阶对坡面的减水效益均不相同。不同坡度下反坡水平阶的减水效益从大到小为:5°>15°>25°,坡耕地坡度为 5°时减水效益最大,减水效益总体上达到了 75.98%;坡耕地坡度为 15°时次之,减水效益总体上达到了 74.55%;当坡度为 25°时,反坡水平阶对其减水效益总体上达到了 43.48%。②坡度为 15°和 5°的坡耕地的减水效益均达到了 70% 以上,这说明反坡水平阶对坡耕地坡度比较小的拦沙蓄水有很大的调节作用。反坡水平阶对 25°坡耕地的减水效益不足 60%,这说明当坡耕地坡度比较大时,表面直接受雨滴的打击形成分散的土壤颗粒,影响土壤入渗,加快地表径流的产生。

表 1 不同坡度下反坡水平阶的减水效益

时间 (月-日)	降雨量/ mm	25°径流量/(m ³ ·km ⁻²)		减水 效益/%	15°径流量/(m ³ ·km ⁻²)			减水 效益/%	5°径流量/(m ³ ·km ⁻²)			减水 效益/%
		1 [#]	2 [#]		3 [#]	4 [#]	5 [#]		6 [#]	7 [#]	8 [#]	
06-22	43.00	562.38	1036.69	45.75	869.24	209.97	858.54	75.69	788.92	179.07	764.07	76.94
06-30	49.60	590.16	1084.05	45.56	899.24	227.32	885.64	74.53	816.11	208.39	781.13	73.91
07-16	38.80	485.25	739.18	34.35	716.24	177.43	709.49	75.11	680.34	132.75	668.83	80.32
07-25	22.80	385.53	695.27	44.55	620.72	151.93	610.66	75.32	543.07	109.98	514.41	79.20
08-04	39.40	529.54	948.48	44.17	813.73	197.05	804.33	75.64	717.86	159.5	685.50	77.23
08-14	16.20	217.37	397.36	45.30	361.30	116.88	342.15	66.77	223.38	97.83	206.50	54.48
合计	209.80	2770.23	4901.03	43.48	4280.47	1080.58	4210.81	74.55	3769.68	887.52	3620.44	75.98

3.3.2 不同坡度下反坡水平阶的减沙效益 进行对不同坡度下设有反坡水平阶坡面与自然坡面的产沙量进行对照分析,得出反坡水平阶对不同坡度的减沙效益。从表 2 可知,不同坡度下反坡水平阶对坡面的减沙效益与减水效益是一致的,反坡水平阶同样对坡面产沙具有一定的拦蓄作用。①在同一坡度下,反坡水平阶坡面与自然坡面对照,均有良好的减沙效益;不同坡度下的减沙效益各不相同,从大到小为 5°

>15°>25°,坡度为 5°的坡耕地减沙效益最大,减沙效益总体上达到了 85.91%,坡度为 15°的坡耕地次之,减沙效益总体上达到了 80.52%,反坡水平阶对坡度为 25°的减沙效益总体上达到了 69.15%。②坡耕地为 5°、15°、25°的减沙效益均达到了 69%以上,这说明反坡水平阶对这 3 种坡度的坡耕地的产沙量都具有很好的拦截作用,对拦沙蓄水有很大的调节效果。

表 2 不同坡度下反坡水平阶的减沙效益

时间 (月-日)	降雨量/ mm	25°产沙量/(kg·km ⁻²)		减沙 效益/%	15°产沙量/(kg·km ⁻²)			减沙 效益/%	5°产沙量/(kg·km ⁻²)			减沙 效益/%
		1 [#]	2 [#]		3 [#]	4 [#]	5 [#]		6 [#]	7 [#]	8 [#]	
06-22	43.00	1.76	6.62	73.41	9.86	1.93	10.79	81.31	4.90	0.74	4.77	84.69
06-30	49.60	2.21	7.91	72.06	7.44	1.58	8.10	79.67	4.50	0.73	4.22	83.26
07-16	38.80	3.67	9.23	60.24	6.48	1.13	6.84	83.03	5.37	0.77	4.75	84.78
07-25	22.80	2.46	8.60	71.40	6.99	1.25	7.00	82.13	5.45	0.78	5.14	85.27
08-04	39.40	2.99	9.79	69.46	7.26	1.56	7.46	78.80	6.01	0.80	6.31	87.01
08-14	16.20	1.53	5.31	71.19	6.27	1.42	6.58	77.90	7.72	0.86	7.46	88.67
总计	209.80	14.64	47.46	69.15	44.32	8.87	46.76	80.52	33.94	4.69	32.64	85.91

3.4 不同坡度下的用水减沙比

由于侵蚀产沙的过程比较复杂,影响因素比较多,侵蚀过程中土壤可蚀性的变化、径流沿程含沙量变化、土壤临界抗剪强度、被分散土壤的临界起动力、降雨与径流分离能力、径流携沙能力等都影响和制约着侵蚀产沙及其变化^[11],因此,产沙变化过程与产流变化过程的响应关系在总体上呈正相关。

研究不同坡度下坡面调控措施对产流产沙调控效果,可以用用水减沙比进行表示,用公式(2)得出用水减沙比如表 3 所示。从表 3 中可以得出,不同坡度下反坡水平阶坡面对照自然坡面得出的用水减沙比从大到小为 5°>15°>25°,这与反坡水平阶减水减沙效益一致。反坡水平阶对坡度为 5°坡面的用水减沙比最大,其实施的反坡水平阶对径流拦截和保存效果最明显,进而减少坡面径流对侵蚀产沙的携沙能力。坡度为 25°的坡面的用水减沙比最小,因为其坡度大且表面无覆盖,降雨对其表层土壤冲刷力比较大,加快了地表径流量的产生,加速了径流携沙。反坡水平阶有直接蓄水拦沙的水土保持功效。

表 3 不同坡度下反坡水平阶的用水减沙比

坡度/(°)	时间(月-日)	用水减沙比/(m ³ ·t ⁻¹)
25	06-22	0.10
	06-30	0.09
	07-16	0.05*
	07-25	0.05*
	08-04	0.06
	08-14	0.05*
15	06-22	0.08
	06-30	0.11
	07-16	0.10
	07-25	0.08
	08-04	0.11
	08-14	0.05*
5	06-22	0.15
	06-30	0.16
	07-16	0.13
	07-25	0.09
	08-04	0.10
	08-14	0.02*

注:sig.≤0.05 为显著性相关。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 在 $5^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡度范围内, 自然坡面的产流量和产沙量均大于处理坡面, 坡度为 5° 反坡水平阶的坡耕地产流量和产沙量最小, 得出坡度越大产流量和产沙量越大。坡度为 5° 的 8# 坡耕地比坡度为 25° 的 1# 坡耕地产流量和产沙量大, 这是由于即便 1# 坡面无覆盖物, 但其布设有水平阶减少了地表径流的产生比有覆盖物无反坡水平阶的效果要好, 这说明反坡水平阶对坡度比较大的坡面具有明显的蓄水减沙作用。

(2) 坡度为 15° 和 5° 的坡耕地的减水效益均达到了 70% 以上, 这说明反坡水平阶对坡耕地坡度比较小的拦沙蓄水有很大的调节作用。反坡水平阶对 25° 坡耕地的减水效益不足 60%, 这说明当坡耕地坡度比较大时, 表面直接受雨滴的打击形成分散的土壤颗粒, 影响土壤入渗, 加快了地表径流的产生。坡耕地为 5° 、 15° 、 25° 的减沙效益均达到了 69% 以上, 这说明反坡水平阶对这 3 种坡度的坡耕地的产沙都具有很好的拦截作用, 对拦沙蓄水有很大的调节效果。

(3) 反坡水平阶对坡度为 5° 坡面的用水减沙比最大, 其实施的反坡水平阶对径流拦截和保存效果最明显, 进而减少坡面径流对侵蚀产沙的携沙能力。坡度为 25° 的坡面的用水减沙比最小, 因为其坡度大且表面无覆盖, 降雨对其表层土壤冲刷力比较大, 加快了地表径流量的产生, 加速了径流携沙, 反坡水平阶有直接蓄水拦沙的水土保持功效。

4.2 讨论

当坡面的坡度比较大时, 坡面径流调控是治理水土流失的关键。李勉^[12]、郑明国^[13]等研究得出坡面水土流失治理中生物措施是治本措施, 但还会受到某种因素的限制, 应与工程措施相结合。许炯心^[14]研究得出在林木生长较差、水土流失严重的陡坡地, 林木生长成活率低对坡面水土流失治理会受到影响, 采用聚流坑、水平阶等工程措施整地效果会比较好。反坡水平阶是高效、低成本坡面调控措施, 应用反坡水平阶调控措施改变了下垫面状况, 对坡面径流和泥沙进行了再分配。在泥沙输移过程中起到了很好的拦截作用。反坡水平阶对坡面径流和泥沙量有很好的调控作用, 值得在水土流失治理中推广运行。

本文研究不同坡度下反坡水平阶的蓄水减沙效益, 得出反坡水平阶对坡度为 5° 的坡面影响效果最大, 25° 坡面的效果最差, 这与李秋艳等^[4]研究结果一致, 得出坡度较缓 ($<5^{\circ}$) 的坡耕地水土流失量与坡度

较大的坡耕地相比是非常小的, 60% 以上的土壤流失量来自于陡坡耕地, 其中中等强度以上水土流失面积主要分布在 25° 以上的陡地。何绍兰等^[15]研究也得出当坡度在 $0 \sim 5^{\circ}$ 之间时, 地表径流量差异不大; 坡度超过 5° 以后地表径流量会大幅度增加, 而且径流中的泥沙含量也呈随坡度增加而增加。

陡坡坡地采用反坡水平阶具有减流减沙的作用, 这与吴淑芳^[10]研究结果一致。说明坡度越陡土壤流失越大, 在没有缓坡耕种的条件可考虑在其坡面布设截留措施, 可以减少土壤侵蚀。

参考文献:

- [1] 何苗. 松华坝水库水体营养状况评价与污染控制[J]. 云南环境科学, 2006, 25(增刊 1): 85-89.
- [2] 刘楚文. 松华坝水库水源区面源污染的防治[J]. 水利规划与设计, 2006(6): 12-14.
- [3] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡地农林复合系统土壤养分过程研究进展[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 82-87.
- [4] 李秋艳, 蔡强国, 方海燕, 等. 长江上游紫色土地区不同坡度坡耕地水土保持措施的适宜性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2157-2162.
- [5] 王百群, 刘国彬. 黄土丘陵区地形对坡地土壤养分流失的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 18-22.
- [6] 景可, 王万忠, 郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [7] 林立金, 朱雪梅, 邵继荣, 等. 紫色土坡耕地横坡垄作的水土流失特征及作物产量效应[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 254-255.
- [8] 许炯心, 孙季. 无定河水水土保持措施减沙效益的临界现象及其意义[J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 611-620.
- [9] 贺莉, 王光谦, 李铁键. 流域泥沙过程模拟中的河道输沙计算[J]. 应用基础与工程科学学报, 2007, 15(1): 1-8.
- [10] 吴淑芳, 吴普特, 宋维秀, 等. 坡面调控措施下的水沙输出过程及减流减沙效应研究[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 870-875.
- [11] 王占礼, 靳雪艳, 马春艳, 等. 黄土坡面降雨产流产沙过程及其响应关系研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 24-28.
- [12] 李勉, 姚文艺, 李占斌. 黄土高原草本植被水土保持作用研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 74-80.
- [13] 郑明国, 蔡强国, 王彩峰, 等. 黄土丘陵沟壑区坡面水土保持措施及植被对流域尺度水沙关系的影响[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 21-25.
- [14] 许炯心. 黄土高原水土保持有效性研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 105-111.
- [15] 何绍兰, 邓烈, 雷霆, 等. 不同坡度及牧草种植对紫色土幼龄柑桔园水土流失的影响[J]. 中国南方果树, 2004, 33(6): 1-4.