

黄土丘陵区水平梯田保水保土效益分析

霍云霏¹, 朱冰冰²

(1. 陕西学前师范学院 环境与资源管理系, 西安 710100; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

摘 要:水平梯田是防止水土流失的一种有效方式。在韭园沟流域的支沟——王茂沟流域分别选取梯田和坡耕地进行土壤采样,测定土壤含水量,结合¹³⁷Cs示踪,对比分析了梯田长期的保水保土效益。结果表明:梯田土壤水分变化分为土壤水分刷变层(0—20 cm)、土壤水分活跃层(20—30 cm)和土壤水分调节层(30 cm 以下);梯田不同深度土壤含水量均表现为内侧(第一级) > 中部 > 外侧(第五级);坡向对梯田土壤水分的影响并不是十分显著;梯田 0—20 cm 土壤蓄水量高于坡耕地 7.2%;0—40 cm 平均土壤蓄水量高出坡耕地 1.8 mm;研究流域坡耕地与梯田侵蚀程度分别属于极强度侵蚀和强度侵蚀,梯田平均水土保持效益为 53%。建议在该地区修建梯田时,提高梯田的设计标准,对梯田田面、田埂认真维护,实现梯田长期的水土保持效益。

关键词:黄土丘陵区;水平梯田;保水保土;¹³⁷Cs 示踪

中图分类号:S157.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0024-05

Analysis on the Benefits of Level Terrace on Soil and Water Conservation in Loess Hilly Areas

HUO Yun-pei¹, ZHU Bing-bing²

(1. Department of Environment & Resources Management, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710100, China; 2. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Level terrace is an effective way to prevent soil and water loss. A parcel of terrace and slope land in Wangmaogou watershed in Suide was chosen and soil samples were collected. The soil water moisture and ¹³⁷Cs contents were measured to study the benefits on soil and water conservation of level terrace. The results showed that the change of soil moisture of level terrace can be divided into 3 layers, changing drastically in 0—20 cm layer, changing actively in 20—30 cm layer and changing regulatively below 30 cm depth. The soil moisture content from each layer showed the inner which is the first ladder is a little higher than the middle, and the middle higher than the outer. The soil moisture content is slightly influenced by slope aspect. The water storage of terrace in 0—20 cm layer is 7.2% higher than slopeland and is 1.8 mm higher in 0—40 cm layer. The erosion degrees are extremely intensive erosion on slope land and intensive erosion on terrace. The average soil and water conservation benefit of terrace is 53%. The suggestions of improving the design standard of terrace and maintaining carefully for farm surface and ridge were put out to realize the long-term benefits for soil and water conservation of terrace.

Key words: loess hilly areas; level terrace; soil and water conservation; ¹³⁷Cs tracing

黄土高原地区是目前世界上土壤侵蚀最强烈、侵蚀危害最严重的地区之一^[1]。随着黄土高原水土保持生态建设工程的展开,尤其是近年来“陡坡耕地退耕还林(还草),重建秀美山川”项目的启动,以梯田、坝系建设和大规模退耕还林还草等措施为主的水土保持生态环境建设使黄土高原水土流失环境不断发

生变化。梯田是广大劳动人民在与自然的相处过程中创造出来的一种防止水土流失的有效方式,根据蓄水功能和修造方法的不同,分为水平梯田、坡式梯田、隔坡梯田和反坡梯田 4 种类型。水平梯田是黄土高原重要的基本农田之一,是黄土丘陵区保持水土、建立旱涝保收、高产稳产的主要方向^[2]。

水是制约黄土高原植被建设的关键自然因素,黄土高原土层深厚,地下水埋藏深,植物难以利用,所需水分主要来自土壤水分,土壤水分作为水量平衡和水循环与土壤资源的重要因素已经受到了广泛的关注^[3]。近年来,研究者从多个角度分析了梯田的水分状况^[4-13],定量评估了梯田的蓄水保土效应^[14-17],本文通过野外采样分析,结合¹³⁷Cs示踪方法,研究黄土高原水平梯田土壤水分的变化规律及其保水保土效益,以期对黄土丘陵区水土保持措施优化布置提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省绥德县韭园沟流域的一条支沟——王茂沟流域(东经 110°20′26″—110°22′46″,北纬 37°34′13″—37°36′03″),流域面积 5.97 km²,主沟长 3.75 km,沟道平均比降 2.7%,沟壑密度 4.3 km/km²。流域属大陆性气候,年平均气温 10.2℃,多年平均降水量 513.1 mm,年内降雨量主要集中在 7—9 月,汛期降水量占年降水量的 73.1%,且多以暴雨形式出现,造成严重的水土流失。流域从 1952 年开展水土保持工作,截至 1999 年底兴修水平梯田 112.47 hm²,造林 199.96 hm²,种草 27.25 hm²,坝地 28.13 hm²,总治理面积 367.81 hm²,治理程度为 61.61%。

1.2 研究方法

选择流域内一块水平梯田(37°34.997′N, 110°22.339′E)为研究对象,附近的一块坡耕地(37°34.444′N, 110°22.421′E)作为对比。梯田修建于 1983 年,当季主要种植作物为黄豆,田坎高 1.5 m,宽 5 m。坡耕地坡度为 10°,已连续耕作 10 a 左右,种植作物为土豆。采用 TDR(time domain reflectometry)水分测定仪分别对梯田和坡耕地不同土层厚度和梯田不同部位(内、中、外侧)进行土壤体积分水量的测量;在样地内随机采取表层土样,测定土壤的¹³⁷Cs 含量,计算梯田和坡耕地的平均土壤侵蚀模数,分析梯田的水土保持效应。

2 结果与分析

2.1 保水效果

2.1.1 不同土层深度含水量变化 在梯田内随机选取样点采取土样研究梯田不同土层深度土壤含水量变化。由图 1 可以看出,梯田土壤含水量总体上随着土层深度的增加而逐渐减小。有学者^[8]将梯田按土壤水分的变异状况分为剧变层(0—20 cm)、活跃层(20—60 cm)、次活跃层(60—100 cm)和调节层(100

cm 以下)。本研究中,可将梯田土壤水分变化分为 3 个层次:土壤水分剧变层(0—20 cm)、土壤水分活跃层(20—30 cm)和土壤水分调节层(30 cm 以下)。0—20 cm 土层土壤水分变化较为剧烈,无明显变化规律,这是由于 0—20 cm 土层主要为耕作层,此层土壤水分的变化取决于地形、降雨入渗、地面蒸发、土质、作物长势等多种因素^[18];另外,0—20 cm 为作物根系的主要分布层,土壤水分主要用于作物吸收和地面蒸发,受外界气候条件的影响较大,属于水分变化最不稳定的层次。随着土层深度的增加,20 cm 以下土层土壤含水量有一定的变化,但幅度比较小,基本集中在 18%~23%之间。这一深度的土层虽然作物根系逐渐减少,但仍然是作物与植被根系的主要分布层和吸水层,是植物生长发育旺盛的主要供水源和“水库”,易受作物根系的影响和降水补给的作用。30 cm 以下土层,土壤含水量呈现出规律变化,土壤含水量相对稳定,该层土壤水分除被各系直接吸收外主要用于调节上下层土壤的供给与储蓄,使土壤水分达到动态平衡。

对比图 2 坡耕地土壤水分垂直变化情况,发现坡耕地土壤水分随着土层深度的增加逐渐减小,但是土壤水分变化更为剧烈。经过统计计算,0—30 cm 土壤含水量与梯田相比差异不明显,分别为 20.4%和 20.9%;但是,0—20 cm 土壤含水量分别为 21.5%和 19.9%,坡耕地土壤含水量比梯田减少 1.56%,相当于每 1 hm² 土壤少蓄水 32.0 t。据绥德水保站监测资料^[19],1962 年测定 5 次平均含水量,新修水平梯田较坡地高 26.2%,已修 3 a 的水平梯田较坡地高 59.5%;1963 年 6—9 月定期测定 9 次土壤含水量,其中 8 次水平梯田土壤含水量高于坡地。说明,通过修筑水平梯田,可以起到提高土壤蓄水能力的作用。

2.1.2 不同部位含水量变化 梯田内外侧水分情况差异极大。袁建平^[20]对黄土丘陵区纸坊沟小流域土壤入渗速率的研究表明,由于梯田内外侧土壤结构存在一定差异,土壤容重小于外侧,且内侧不易遭受阳光暴晒与狂风袭击,致使内侧杂草多于外侧,从某种意义上讲提高了土壤的入渗能力,导致梯田内侧土壤稳渗率高于外侧,内侧土壤初始含水率高于外侧。根据测量结果,梯田不同深度土壤含水量均表现为内侧(第一级)>中部>外侧(第五级)(图 3)。这主要是由于梯田内侧除接收自然降水外,还可接收上一级梯田外沿的径流雨水,而梯田外侧则由于侧面蒸发,使得土壤含水量相对较小。这与蔡进军^[21]、徐英等^[5]对梯田土壤水分的研究结果是一致的。

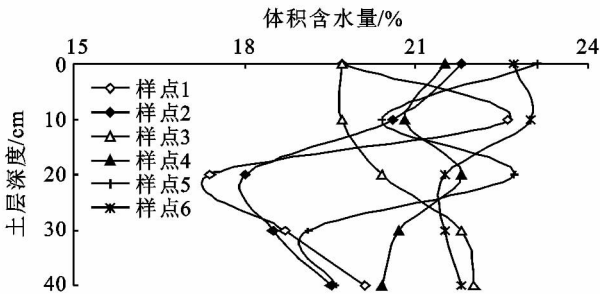


图 1 梯田土壤水分垂直变化

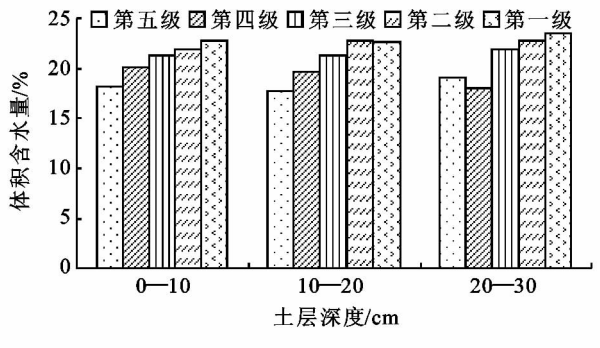


图 3 梯田不同部位土壤含水量变化

梯田出现这种内外侧土壤水分差异的主要原因在于田坎的侧向蒸发。陶士珩等^[22]与刘廷宏等^[23]通过研究发现,虽然梯田可以变“三跑田”为“三保田”,提高旱作农田的生产能力。然而在半干旱地区,特别是在黄土高原地区,绝大多数年份降水并不能满足作物的水分需求,特别是水平梯田的田坎侧向蒸发更加恶化了梯田的水分状况,其程度与坡度大小密切相关。尤其是陡坡地修梯田后,坡度越陡,梯田田面越窄,田坎越高,其侧向蒸发就越大,保墒能力也随之下降,并且作物需水量的增大会恶化梯田水分供应状况。

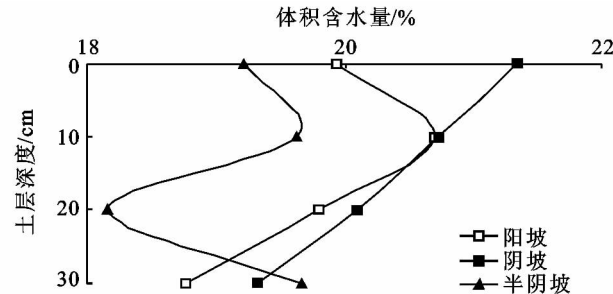


图 4 不同坡向梯田土壤水分变化

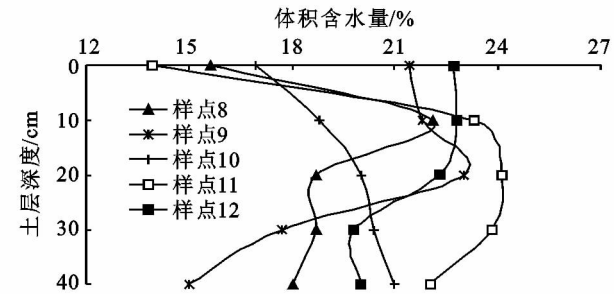


图 2 坡耕地土壤水分垂直变化

所以,应该大力发展梯田灌溉,并推广节水灌溉技术,从根本上解决作物的需水矛盾,建设旱涝保收,高产稳产的基本农田,并改善其生态系统,进而影响生态环境。

2.1.3 不同坡向含水量变化 一般而言,在黄土高原丘陵区,不同坡向的太阳辐射量、水分蒸发量和土壤特性都存在较大差异,并由此导致土壤含水量表现出较大差异。阳坡地表的倾斜,加大了太阳光线的投射角,阳坡获得的太阳辐射量通常要比平地多,致使气温高,土壤水分蒸发较快,空气对流也较阴坡强烈,水分易随空气流动而扩散。由图 4 可以看出,随着深度的增加,土壤含水量逐渐减小;半阴坡土壤水分变化较为剧烈,阳坡土壤水分由于日照等的原因先增加后减小,而阴坡土壤水分的变化较为稳定,呈现逐渐减小的态势。但三种坡向土壤水分差异并不是十分显著,说明这个区域的土壤水分受到坡位的影响较小,在更大程度上应取决于土地性质、利用类型等因素。此外,无论是阴坡还是阳坡,梯田土壤含水量均表现为内侧>中部>外侧,并且这种差异在阴坡和半阴坡表现的更为明显(图 5—6)。

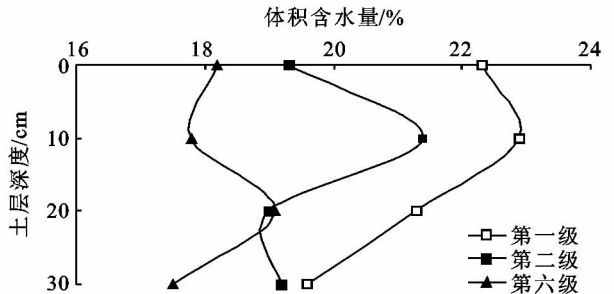


图 5 阳坡梯田土壤水分变化

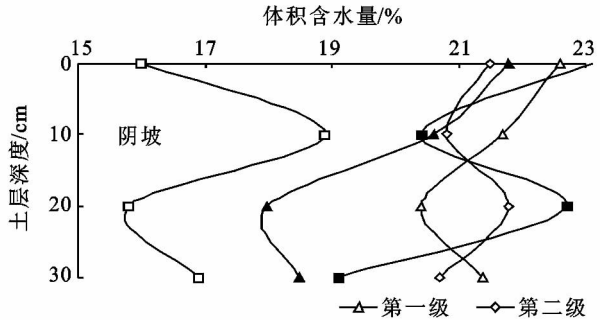


图 6 阴坡、半阴坡梯田土壤水分变化

2.1.4 梯田土壤蓄水效益分析 经过对观测数据进行整理,并按公式分别计算梯田和坡耕地 0—20 cm 和 0—40 cm 土层的平均蓄水量(表 1): $\theta=(c\times h)/10$ 式中: θ ——土壤蓄水量(mm); c ——土壤含水量(%); h ——土层深度(cm)。

表 1 表明,梯田 0—20 cm 土壤蓄水量与坡耕地差异较大,高于坡耕地 7.2%;梯田 0—40 cm 平均土壤蓄水量变异较小,为 83.4 mm,高出坡耕地 1.8 mm;说明梯田的良好蓄水效应。

表 1 梯田和坡耕地土壤蓄水特征

地类	深度/ cm	平均蓄水 量/mm	变幅/ mm	变异系数/ %
梯田	0—20	43.0	39.4~45.7	4.9
	0—40	83.4	78.4~88.7	4.6
坡地	0—20	39.9	35.7~45.5	10.6
	0—40	81.6	75.1~87.6	6.9

2.2 保土效果

2.2.1 梯田¹³⁷Cs 浓度变化特征 图 7 展示了梯田不同部位土壤¹³⁷Cs 含量特征。可以看出,梯田不同部位土壤的¹³⁷Cs 含量呈波状变化。阴坡¹³⁷Cs 含量随着坡长的增加而减小,表现为内侧(第一级)¹³⁷Cs 含量最大,而后呈波状变化,外侧(第五级)¹³⁷Cs 含量最小;阳坡¹³⁷Cs 含量随着坡长的增加逐渐增加,内侧(第一级)¹³⁷Cs 含量最小,而后中部逐渐增加,在外侧(第五级)达到最大;半阴坡¹³⁷Cs 含量在中部(第三级)最小,内侧和外侧较大。从平均值来看,阴坡梯田¹³⁷Cs 含量与半阴坡基本相同,高于阳坡。

2.2.2 梯田土壤侵蚀模数特征 图 8 为根据¹³⁷Cs 浓度计算得到的梯田平均土壤侵蚀模数^[24]。可以看出,阳坡梯田的土壤侵蚀模数最大,达到 7 840 t/(km²·a),阴坡和半阴坡土壤侵蚀模数基本相同,为 6 000 t/(km²·a)。在不同部位上,阳坡梯田土壤

侵蚀模数表现为内部>中部>外侧,这是由于外侧泥沙沉积的原因;阴坡和半阴坡表现为外侧最小,中部和内部相差不大。梯田的平均土壤侵蚀模数表现出这样的规律是因为阳坡水分较少,阴坡和半阴坡水分较为充足,植物生长较好,能够起到保护土壤的作用。

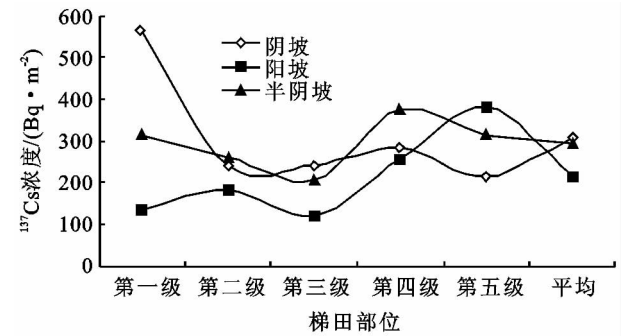


图 7 不同梯田部位土壤¹³⁷Cs 浓度

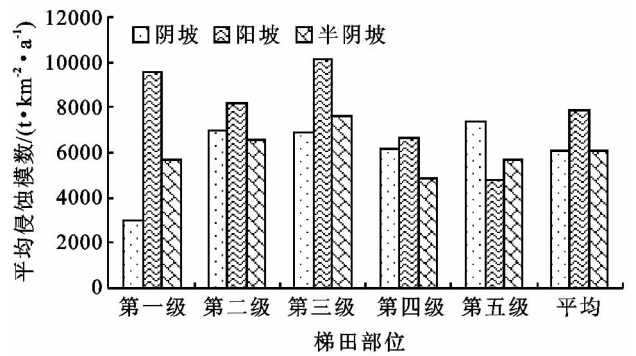


图 8 不同梯田部位土壤侵蚀模数

2.2.3 梯田与坡耕地土壤侵蚀模数对比分析 根据取样测定结果,分别计算了流域坡耕地与梯田的平均土壤侵蚀模数(表 2),坡耕地与梯田分别属于极强度侵蚀和强度侵蚀,坡耕地为梯田土壤侵蚀模数的 2 倍。据此结果,计算得到梯田平均水土保持效益为 53%。此结果说明,小流域土壤侵蚀状况较为严重,山坡地修成水平梯田后,能有效控制水土流失。

表 2 梯田与坡耕地¹³⁷Cs 流失量与侵蚀模数对比

土地利用类型	平均 ¹³⁷ Cs 含量/ (Bq·m ⁻²)	平均 ¹³⁷ Cs 流失量/ (Bq·m ⁻²)	平均 ¹³⁷ Cs 流失率 /%	平均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	侵蚀等级
坡耕地	53.45	996.55	94.91	13992	极强度侵蚀
梯田	271.10	778.90	74.18	6646	强度侵蚀

3 结论与讨论

3.1 结论

- (1) 将流域土壤水分变化分为 3 个层次:土壤水分剧变层(0—20 cm)、土壤水分活跃层(20—30 cm)和土壤水分调节层(30 cm 以下);
- (2) 梯田不同深度土壤含水量均表现为内侧(第一级)>中部>外侧(第五级)。坡向对土壤水分的影响并不是十分显著;

(3) 梯田 0—20 cm 土壤蓄水量与坡耕地差异较大,高于坡耕地 7.2%;梯田 0—40 cm 平均土壤蓄水量变异较小,为 83.4 mm,高出坡耕地 1.8 mm;

(4) 坡耕地与梯田分别属于极强度侵蚀和强度侵蚀,坡耕地为梯田土壤侵蚀模数的 2 倍。据此结果,计算得到研究梯田平均水土保持效益为 53%。

3.2 讨论

水平梯田由于消除了降水再分配发生的条件,剖面上的水分分布更为合理,使其具有了明显的蓄水、

保水作用。对于梯田土壤含水量垂直分布的层次问题,由于研究人员研究的区域、土壤性状不同,土层深度的划分也不尽相同,但表层土壤受外界因素的影响较大,土壤含水量变异较大,土层深度越大,土壤含水量变异越小,含水量趋于稳定,“土壤水库”的作用越明显。很多研究表明,水平梯田蓄水保土效益的大小,受降雨因素影响很大,暴雨和大暴雨是降低梯田蓄水保土效益的重要因素之一。在一定的降雨条件下,梯田的减流减沙效益可达100%,而梯田长期水土保持效益的维持则需要良好的质量保证^[7],本研究中梯田的保土效益仅为53%,说明在该地区修建梯田时,应提高梯田的设计标准,打破20 a一遇暴雨设计标准的框架,在生产中对梯田田面、田埂认真维护,实现“一劳永逸”。

参考文献:

- [1] 邱扬,傅伯杰,王勇. 土壤侵蚀时空变异及其与环境因子的时空关系[J]. 水土保持学报,2002,16(1):108-111.
- [2] 余峰,董立国,赵庆丰,等. 宁夏半干旱地区梯田土壤水分动态变化规律研究[J]. 水土保持研究,2007,14(1):298-300.
- [3] 赵姚阳,刘文兆,濮励杰. 梯田玉米土壤水分动态研究[J]. 水土保持通报,2005,25(6):1-4.
- [4] 马轶,张维江,朱旭东,等. 好水川流域梯田土壤含水量变化规律研究[J]. 中国水土保持,2012(5):47-48.
- [5] 徐英,王俊生,蔡守华,等. 缓坡水平梯田土壤水分空间变异性[J]. 农业工程学报,2008,24(12):16-19.
- [6] 张玉斌,曹宁,武敏,等. 黄土高原南部水平梯田的土壤水分特征分析[J]. 中国农学通报,2005,21(8):215-220.
- [7] 焦菊英,王万中. 黄土高原水平梯田质量及水土保持效果的分析[J]. 农业工程学报,1999,15(2):59-63.
- [8] 王继夏,孙虎,王祖正. 延安碾庄沟流域梯田与坝地土壤水分对比分析[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):88-93.
- [9] 王辉,杨小宝,田大作,等. 紫鹊界梯田区不同土地利用类型土壤入渗特征研究[J]. 灌溉排水学报,2012,31(5):123-126.
- [10] 张瑞,曹华,王云强,等. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤水分空间变异性及其影响因素[J]. 水土保持研究,2012,19(5):52-58.
- [11] 周萍,刘国彬,文安邦,等. 黄土丘陵区不同林龄乔灌林地土壤水分及持水性能研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):188-193.
- [12] 张超,刘国彬,薛莲,等. 黄土丘陵区坡改梯田土壤碳库组分演变特征[J]. 水土保持研究,2010,17(1):20-30.
- [13] 王辉,张钰,刘光生,等. 渭河源区1970—2006年梯田开发对水文产流的影响[J]. 水土保持研究,2009,16(2):220-226.
- [14] 李小英,段争虎. 黄土高原土壤水分与制备相互作用研究进展[J]. 土壤通报,2012,43(60):1508-1513.
- [15] 焦菊英,王万忠,李靖. 黄土丘陵区不同降雨条件下水平梯田的减水减沙效益分析[J]. 水土保持学报,1999,5(3):59-63.
- [16] 吴发启,张玉斌,王健. 黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J]. 中国水土保持科学,2004,2(1):34-37.
- [17] 康玲玲,鲍宏喆. 黄土高原不同类型区梯田蓄水拦沙指标的分析和确定[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):51-56.
- [18] 朱德兰,吴发启. 不同地形部位土壤水分的年变化分析[J]. 中国水土保持科学,2003,1(4):28-31.
- [19] 黄委会绥德水土保持科学试验站. 水土保持科研成果汇编(第五集)[C]. 黄河水土保持绥德治理监督局,2002.
- [20] 袁建平,张素丽,张春燕,等. 黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J]. 土壤学报,2001,38(4):579-583.
- [21] 蔡进军,张源润,火勇,等. 宁南山区梯田土壤水分及养分特征时空变异性研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):83-87.
- [22] 陶士珩,王立祥,胡希远. 西北黄土高原水平梯田冬小麦的水分供应状况分析[J]. 中国农业气象,1996,17(3):2-9.
- [23] 刘廷宏,杨松旺. 关于梯田储流节水灌溉的探讨[J]. 中国水土保持,1998(5):21-22.
- [24] 李勉. 小流域侵蚀与产沙关系的¹³⁷Cs、²¹⁰Pbex示踪研究[D]. 陕西杨凌:中国科学院水土保持研究所,2002.