

# 梯田玉米土壤水分动态研究

赵姚阳<sup>1</sup>, 刘文兆<sup>2</sup>, 濮励杰<sup>1</sup>

(1. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 依据田间试验资料,对梯田玉米土壤水分动态特征进行了研究。并以谷子和休闲地作为对比,对不同植被覆盖条件下的梯田土壤水分差异进行了探讨。结果表明:(1) 雨季降水对玉米地土壤水分的补给起着重要的作用,其土壤贮水量动态与年内的降雨周期相吻合;(2) 不同植被覆盖条件对梯田土壤水分状况影响较大,玉米、谷子全生育期的农田蒸散量分别为 502.9 mm 和 473.9 mm,同期对照休闲地的蒸散量仅为 414.1 mm;(3) 玉米全生育期  $ET/E_0$  (农田蒸散量/同期水面蒸发量)的比值为 0.77,并且在拔节期和抽雄期都大于 1,而谷子全生育期该值为 0.69。

**关键词:** 玉米; 土壤水分; 黄土丘陵沟壑区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)06—0001—04

中图分类号: S152.7

## Soil Moisture's Dynamics in Maize Field of Terrace in Loess Plateau

ZHAO Yao-yang<sup>1</sup>, LIU Wen-zhao<sup>2</sup>, PU Li-jie<sup>1</sup>

(1. Department of Urban and Resource Science, Nanjing University, Nanjing 210093,

Jiangsu Province, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of

Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Based on the field experiments, soil moisture dynamics of a maize field was studied. Impacts of different land covers on soil moisture were conducted in comparison with soil moisture of a millet field and fallow field. The results showed that precipitation in the raining season played an important role in supplying soil water in the maize field and the soil moisture's dynamic period was coincided with the raining season; different land covers had strong effect on the soil moisture, and the evapotranspiration amounts of maize and millet plots were 502.9 mm and 473.9 mm, respectively, but the fallow land, only 414.1 mm; the  $ET/E_0$  ratio of the maize field (evapotranspiration/water surface evaporation) in the entire growing period was 0.77, however, its ratios was greater than 1.00 in the jointing stage and the following stage. The ratio for the whole growing period was 0.69 on the millet field.

**Keywords:** maize; soil moisture; the loess hilly-gully area

水分条件是黄土丘陵沟壑区农业生产<sup>[1]</sup>和生态环境建设<sup>[2]</sup>的主要限制性因素,春玉米是该区主要的粮食作物,由于降水的不足导致农田水分供需的矛盾十分突出。由于土壤水分状况与植被覆盖密切相关,一方面土壤水分状况影响到植物生长,另一方面植被覆盖也影响着土壤水分的含量及其分布,因此如何保持土壤水分在半干旱黄土丘陵区显得十分重要<sup>[3]</sup>。长期以来,人们在不同立地条件<sup>[4]</sup>、土地利用方式<sup>[5]</sup>、地形部位<sup>[6-7]</sup>对土壤水分的影响方面进行了大量研究工作。本文侧重于同一立地在不同植被覆盖条件下的土壤水分差异,就黄土丘陵区梯田玉米土壤水分动态特征、以及不同作物条件对土壤水分状

况的影响进行了探讨。以期对于该区科学合理地进行梯田土壤水分管理,有效实施“退耕还林还草”工程有所帮助。

## 1 研究区概况和试验简介

试验于 2002 年 4—10 月在中国科学院安塞水土保持综合试验站的山地梯田进行(109°19'E, 36°51'N)。试验区海拔 1 200 m,属暖温带半干旱气候,多年平均降雨量 497 mm,90%左右的降雨量集中在 4—10 月的作物生长季,年平均水面蒸发量为 1 800~2 200 mm(20 cm 口径蒸发皿)。地下水埋深较大(站内川地埋深 13 m),不参加生物循环。地貌为典

收稿日期:2005-04-20

基金项目:国家自然科学基金(90202011);中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX3-SW-421)

作者简介:赵姚阳(1977—),男(汉族),浙江上虞人,博士研究生,主要从事流域水文生态、土地资源管理与规划方面的研究。电话(025) 83202470, E-mail:yyzhao@188.com。

型的丘陵沟壑地貌,土壤类型为轻壤质黄绵土,田间持水量为 22%,萎蔫湿度为 4.5%,每 1 m 土层蓄水能力约 240 mm。

试验地 0—40 cm 土层内有机质含量为 3.12 g/

kg,全氮为 0.22 g/kg,水解氮为 24.5 mg/kg,全磷为 0.55 g/kg,速效磷为 1.92 mg/kg,全钾为 16.4 g/kg,速效钾为 38.3 mg/kg。其 0—200 cm 土层土壤的机械组成如表 1 所示。

表 1 供试土壤机械组成

深度/cm	不同粒径颗粒含量/%					
	1~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.02 mm	0.02~0.005 mm	0.005~0.001 mm	<0.001 mm
0—50	0.003	17.93	57.62	5.46	5.94	13.05
50—100	0.001	3.75	77.69	3.23	2.12	13.21
100—150	0.002	15.08	63.25	7.07	2.70	11.90
150—200	0.001	15.28	63.38	4.78	3.84	12.72

## 2 研究方法

土壤含水量采用烘干法(105℃)测定,系统测定深度为 2 m,不定期测定深度为 3 m。按 1 m 以上土层每 10 cm,1 m 以下土层每 20 cm 的间隔取土。测定时间为作物生长阶段的 4—10 月,间隔为 10~15 d。

降雨量的测定采用 20 cm 口径的雨量筒,具体的测量时间在降雨天的 8:00a. m. 和 8:00p. m.。水面蒸发量的测量采用 E-601 水面蒸发皿,测定时间为每天 8:00p. m.。

在试验区,地下水埋藏深达 13 m,补给作物利用的可能性不大,以 3 m 深度计,并可忽略深层渗漏。梯田筑土垄,小区无地表径流量发生。所以,本研究农田蒸散量的计算公式可以表示为:

$$W = P - ET \quad (1)$$

式中:  $P$ ——降雨量;  $ET$ ——农田蒸散量;  $W$ ——土壤中的蓄水变化量。

## 3 结果与分析

### 3.1 玉米地土壤水分月动态

根据实测资料,绘制出试验年份玉米生长阶段土壤湿度剖面变化进程(图 1)。图 1 中的 6 条土壤湿度曲线,代表不同月份的 6 次测定。可以看出,除 0—50 cm 深的土壤水分由于受地表干湿影响较大,变化多样,50—160 cm 土层之间的 6 条土壤含水量曲线可大致分为 3 组,4,5 月份居中,6,7 月份在右,8,9 月份在左。这表明试验年份玉米在生长初期,土壤含水量较低;但是随着雨季的来临,其土壤含水量开始上升;而在作物生长后期,由于雨水的稀少以及持续强烈的耗水作用使土壤水分含量降到年内的最低值。160 cm 以下不同时间土壤湿度线大致接近,这也表明该年度玉米地由式(1)计算  $W$  时,所取深度可小于 3 m,譬如说 2 m。

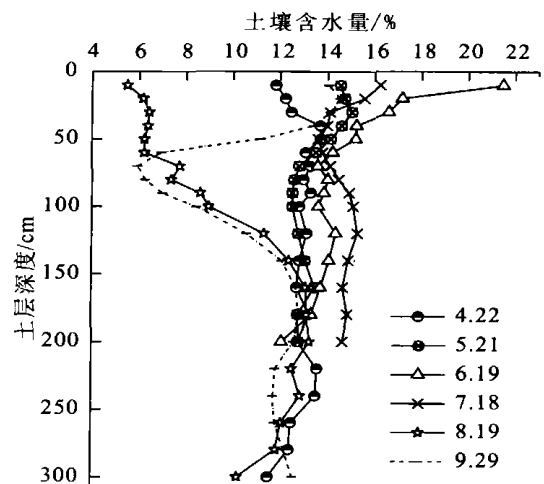


图 1 玉米地土壤水分月动态

图 2 为玉米和对照休闲地 2 m 土层贮水量的变化情况,可以看出两者的变化与旬降雨量在年内的分布相吻合,以 7 月上旬为界可以分为 2 个阶段,雨季之前土体贮水量的缓慢上升阶段,以及雨季之后贮水量的下降阶段。玉米地 2 m 土层贮水量虽在 7 月份的雨季曾一度上升到 336 mm 左右,但从全生育期情况来看,还是从 4 月中旬的 259 mm 降低到 9 月下旬的 174 mm。尽管试验年份的降水量较多,截止 9 月底降水已达 491 mm,但玉米强烈的耗水作用使土壤贮水量在玉米的整个生长阶段呈减少趋势,全生育期跌幅达 162 mm。而休闲地的土壤贮水量虽然在雨季过后有一定程度的下降,但降幅明显小于玉米地。由于 9 月份的降雨,两者土壤贮水量在 9 月份有一定回升,回升幅度也大致相近。纵观两者的动态变化,玉米地 9 月底的土壤贮水量比 4 月初降低了 36 mm,而休闲地却增加了 65 mm。

### 3.2 玉米地与谷子、休闲地土壤水分比较

土壤水库中水分的储量和剖面分布是气候、立地条件和植物根系吸水等综合作用的结果,在气候条件

和立地类型相同的情况下,植被类型对土壤水分的影响起决定作用<sup>[8]</sup>。图 3 绘出玉米地、谷子地在作物播前、收后以及对休闲地的土壤湿度剖面图,可以看出,不同的植被覆盖对梯田土壤湿度的影响十分明显。如以 3 m 土层厚度作为蒸散作用层,以水量平衡

方程(公式 1)计算玉米、谷子农田和对照休闲地在试验年份的蒸散量,结果如表 3。表 3 表明,如以 3 m 深度计,则玉米全生育期的耗水量为 502.9 mm,高于谷子的 473.9 mm 和休闲地的 414.1 mm,不同的植被覆盖条件对梯田土壤水库的影响是巨大的。

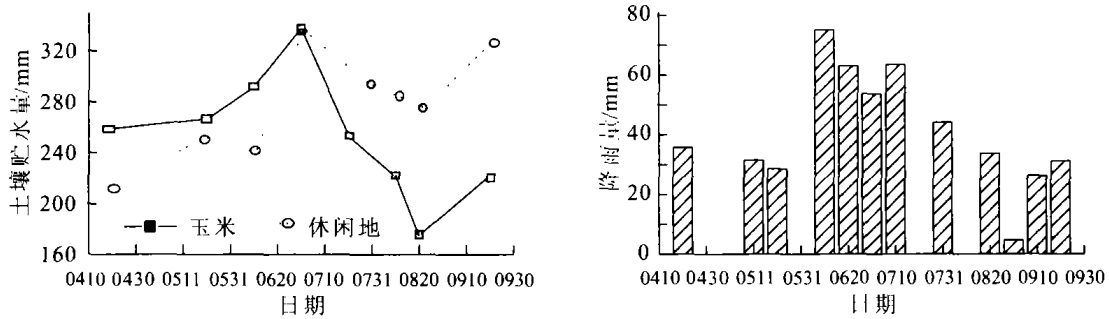


图 2 玉米地与休闲地 2 m 土层贮水量变化

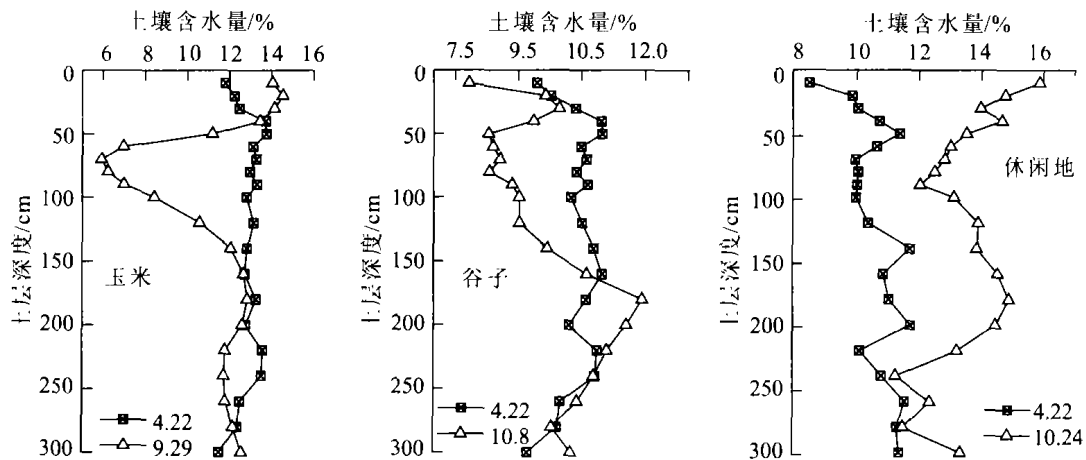


图 3 玉米、谷子和休闲地土壤水分剖面图

从图 3 来看,不同利用条件下降雨对土壤水库的补充效果明显不同,玉米地收获后的土壤水分剖面曲线,全部在播前曲线的左侧,说明试验年份降雨补充土壤水库的水分被玉米耗失殆尽;谷子地在 170—220 cm 左右的深度,有降雨入渗的迹象,这说明试验年份降雨入渗的水分到达该层土壤,并且由于谷子根系在该层耗水相对较弱,使得降雨入渗水分保留下来;至于

同时期休闲地的 2 条土壤水分曲线,10 月份的曲线完全在 4 月份曲线的右边,说明降雨对休闲地土壤水分的补给效果要显著好于玉米、谷子农田,并且从图中还可看出其入渗深度出现在 250—300 cm 深土层。结合图 3 玉米、谷子和休闲地土壤水分剖面图和表 2 来看,试验年份降雨入渗补充玉米、谷子作物农田土壤水库的作用微弱。

表 2 玉米、谷子和休闲地的农田蒸散量(以 3 m 土层计算)

地类	播前土壤 贮水量/mm	收后土壤 贮水量/mm	播前、收后 之差/mm	期间降雨 量/mm	农田蒸散 量/mm	降雨量/ 农田蒸散量
玉米	385.8	343.6 (9月)	-42.2	460.7	502.9	91.6%
谷子	311.6	298.5 (10月)	-13.1	460.7	473.9	97.2%
休闲地	322.6	402.9 (10月)	80.3	494.4	414.1	119.4%

一般认为,若在一定的时段内,系统的土壤水分收入量和支出量相当,则认为此时段土壤水分循环处于平衡状态<sup>[9]</sup>。据表 2 资料,玉米全生育期的农田蒸散量 502.9 mm,降雨满足农田蒸散量 91.6%;而降雨满足谷子全生育期农田蒸散量 97.2%。可见,虽然这 2 种作物农田全生育期土壤水分都有一定程度的亏缺,但谷子生长季土壤水分能基本保持平衡状态;玉米农田的亏缺程度则相对较重;而休闲地的土壤水分循环在该时段则是平衡有余。

### 3.3 玉米、谷子农田和休闲地各土层贮水量变化

作物对土壤水分的利用,各层次是不均衡的。由表 3 可知,玉米农田 0—300 cm 土层内的土壤水分在玉米生育期期末共减少 37.0 mm,其中以 50—100 cm 和 100—200 cm 土层中减少的水分为最多,分别占总消耗水分的 75.2% 和 24.1%。谷子农田 0—300 cm 土层在作物整个生育期内一共减少土壤水分 13.2 mm,主要以 100 cm 以上土层土壤水分为主,其累积减少水量占其农田总损失水量的 118.9%。表中 200—300 cm 土层内增加的水量占总增减水量的 -22.9%,但我们发现实际上该土层的贮水量在谷子

生育期末比期初仅仅增加了 3.0 mm。所以说这是因为谷子田在作物生育期内土壤贮水量增减的总量较小,因而显得 200—300 cm 土层内增加的 3.0 mm 水分占总增减水量的比重较大。

根据表 3,试验年份梯田玉米全生育期消耗的土壤水分主要集中在 2 m 以上土层;谷子消耗的土壤水分主要由 0—100 cm 土层土壤提供,100—200 cm 土层内消耗的土壤水分占土壤总消耗水量的比例较小,几乎不消耗 200—300 cm 土层内土壤水分;而休闲地各层次土壤贮水量均呈现不同程度的增长。

### 3.4 玉米农田蒸散量与水面蒸发量比较

特定时段的水面蒸发综合地反映了当时大气蒸发力的强度<sup>[10]</sup>,通过对玉米和谷子生育期耗水量与同期水面蒸发量之比值的比较,可以揭示出由于作物本身生长状况和耗水特性差异引起的农田蒸散量的不同。由表 4 可见,全生育期内玉米和谷子的  $ET/E_0$  分别为 0.77 和 0.69,这直观地说明玉米在整个生育期内的耗水强度要高于谷子。这也可以从图 2 所示的玉米和谷子播前、收后的土壤水分剖面图中得到充分的验证。

表 3 玉米、谷子和休闲地各土层贮水量的变化

作物种类	项目	土壤层次/cm					
		0—20	20—50	50—100	100—200	200—300	0—300
玉米	增减水量/mm	+4.6	-1.2	-27.8	-8.9	-3.6	-37.0
	所占比例/%	-12.3	3.1	75.2	24.1	9.8	100.0
谷子	增减水量/mm	-1.7	-4.7	-9.2	-0.5	+3.0	-13.2
	所占比例/%	13.3	35.6	70.0	4.0	-22.9	100.0
休闲地	增减水量/mm	12.3	10.0	12.9	32.0	13.1	80.3
	所占比例/%	15.3	12.5	16.1	39.9	16.3	100.0

表 4 玉米各生育阶段农田蒸散量与水面蒸发量的比值

项目	玉米					谷子全生育期
	播种—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟	全生育期	
农田蒸散量 $ET$	152.30	128.90	120.60	89.70	491.50	468.40
水面蒸发量 $E_0$	260.80	108.90	117.90	153.20	640.80	674.00
$ET/E_0$	0.58	1.18	1.02	0.59	0.77	0.69

从表 4 还可以看出,在玉米的幼苗期  $ET/E_0$  值较小,随着玉米的生长进程以及叶面积指数的增加, $ET/E_0$  值也不断增大。

当玉米进入拔节期和抽雄期以后,玉米的耗水强度超过同期的水面蒸发量。而且进入灌浆期—成熟期, $ET/E_0$  值又迅速从上一阶段的 1.02 下降到 0.59。玉米在整个生育期中  $ET/E_0$  值的大小依次为:拔节—抽雄期 > 抽雄—灌浆期 > 播种—拔节期 > 灌浆—成熟期。

## 4 结 论

通过对试验年份黄土丘陵沟壑区梯田玉米土壤水分动态特征与不同利用条件下的梯田土壤水分差异的研究,可得如下结论。

(1) 在雨季期间,降水对玉米地土壤水分的补给起着重要作用,其土壤贮水量动态与年内的降雨的周期相符。

(下转第 18 页)

模型的应用以及准确预报至关重要。但令人遗憾的是,涉及到的冻融条件下水分运移系数很大程度上依赖于未冻条件下土壤水分的运移系数。而且,很多模型假设冻土与未冻土具有相同的导水率。非饱和土壤在未冻条件下水分迁移系数的确定要比饱和土壤条件下的确定复杂的多,而冻结条件下水分在迁移过程中会发生水或冰的相变或二者都存在的情况,因此,如何确定冻融条件下的水盐迁移系数是目前很重要的研究课题之一。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Dianfa Zhang, Wang Shijie. Mechanism of freeze-thaw action in the process of soil salinization in northeast China [J]. *Environmental Geology*, 2001, 41(1-2): 96-100.
- [2] 徐学祖,邓友生. 冻土中水分迁移的实验研究[M]. 科学出版社,1991.
- [3] Williams P J. Moisture migration in frozen soil [M]. *Permafrost: 4th Int'l. Conf., Final Proceedings*, 1984, National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A. 64-66.
- [4] 郭占荣,荆恩春,等. 冻结期和冻融期土壤水分运移特征分析[J]. *水科学进展*, 2002, 13(3): 298-302.
- [5] Celia M A, Bouloutas E F. A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation [J]. *Water Resources*, 1990, 26(7): 1483-1496.
- [6] 张立新,徐祖,邓友生. 含氯化钠土未冻水含量与冻融过程关系的特征[J]. *冰川冻土*, 1995, 17(3): 258-262.
- [7] 樊贵盛,郑秀清,赵生义. 大田土壤冻融条件下入渗特性的试验研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(3): 31-37.
- [8] 尚松浩,雷志栋,杨诗秀,等. 冻融期地下水位变化情况下土壤水分运动的初步研究[J]. *农业工程学报*, 1999, 15(2): 64-68.
- [9] 张立新,徐学祖. 景电灌区次生盐渍化土壤冻融特征[J]. *土壤学报*, 2002, 39(4): 512-516.
- [10] 张立新,韩文玉,顾同欣. 冻融过程对景电灌区草窝滩盆地土壤水盐动态的影响[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(3): 297-302.
- [11] 李伟强,雷玉平,等. 硬壳覆盖条件下土壤冻融期水盐运动规律研究[J]. *冰川冻土*, 2001, 23(3): 251-257.
- [12] 孙向武. 冻融条件下非饱和带土壤水盐运移的试验研究[C]. 太原理工大学硕士学位论文, 2000.
- [13] 那平山,徐树林. 冻结滞水形成机制的探讨[J]. *冰川冻土*, 1996, 18(3): 273-277.
- [14] 方汝林. 土壤冻结、消融期水盐动态初步研究[J]. *土壤学报*, 1982, 19(2): 100-106.
- [15] 雷志栋,尚松浩,杨诗秀,等. 地下水浅埋条件下越冬期土壤水热迁移的数值模拟[J]. *冰川冻土*, 1998, 20(1): 51-54.
- [16] 岳汉森. 土壤在冻融过程中水-热-盐耦合运移数学模型之初探[J]. *冰川冻土*, 1994, 16(4): 308-313.
- [17] Newman G P, Wilson G W. Heat and mass transfer in unsaturated soils during soil freezing [J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1997, 34(1): 63-70.
- [18] Harlan R L. Analysis of coupled heat-fluid transport in partially frozen soil [J]. *Water Research*, 1973 (9): 1314-1323.
- [19] 胡和平,杨诗秀,雷志栋. 土壤冻结时水热迁移规律的数值模拟[J]. *水利学报*, 1992(7): 1-8.
- [20] 石春林,虞静明,金之庆. 饱和土壤冻融过程中水热迁移数值模拟[J]. *中国农业气象*, 1998, 19(4): 21-26.

(上接第 4 页)

(2) 不同利用条件对梯田土壤水分状况影响较大,玉米、谷子全生育期的农田蒸散量分别为 502.9 mm 和 473.9 mm,而同期对照休闲地的蒸散量仅为 414.1 mm。

(3) 玉米全生育期  $ET/E_0$  (农田蒸散量/同期水面蒸发量) 的比值为 0.77,并且在拔节—抽雄期和抽雄—灌浆期该值都大于 1,而谷子全生育期的  $ET/E_0$  值为 0.69。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 潘成忠,上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 5-9.
- [2] 刘文兆,胡梦璿,侯喜禄,等. 半干旱黄土丘陵区小流域横断面土壤水分生态特征[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 95-100.
- [3] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998. 42-68.
- [4] 魏宇昆,王俊峰,等. 黄土丘陵区不同立地条件沙棘水分特征与生物量研究[J]. *沙棘*, 2001, 14(4): 5-8.
- [5] 王军,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 84-91.
- [6] 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.
- [7] 刘梅,蒋定生. 不同坡面位置土壤水分差异规律分析[J]. *水土保持通报*, 1990, 10(2): 16-20.
- [8] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [9] 陈云明,侯喜禄,刘文兆. 黄土丘陵半干旱区不同类型植被水保生态效益研究[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 57-61.
- [10] 赵姚阳,刘文兆,胡梦璿. 旱作条件下川地与梯田谷子水量平衡过程的比较[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 109-112.