

# 黄土丘陵沟壑区土壤水分垂直分布研究

岳宏昌<sup>1</sup>, 王玉<sup>2</sup>, 李缠云<sup>3</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 王栓全<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 延安市宝塔区项目办,  
陕西 延安 716000; 3. 宜川县农业技术推广中心, 陕西 宜川 716200)

**摘要:**以黄土丘陵沟壑区燕沟流域为研究对象,对流域内 2006 年不同类型土壤水分垂直变化进行了分析。结果表明,在实验设计条件下,不同层次的土壤水分变幅较大,坝地、梯田和坡地各层土壤含水量变化与降雨量的季节性变化呈现出较一致的趋势,而苹果地除 0—100 cm 外,100—200 cm 随着降雨量的季节性变化出现较大波动;不同类型土地的土壤含水量变化程度不同,同一类型土地的土壤含水量变化幅度也有差异,10 cm 处土壤含水量变异系数最大,随着土层深度的增加变异系数逐渐递减。根据土壤含水量变异系数分析,将不同类型土壤含水量垂直变化划分为速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层 4 个层次;并建立了不同类型土地各层土壤含水量变异系数回归方程。

**关键词:**黄土丘陵沟壑区;土壤水分;垂直分布

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2009)01—0066—04

中图分类号: S152.7

## Vertical Distribution of Soil Moisture in the Loess Hilly and Gully Area

YUE Hong-chang<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>2</sup>, LI Chan-yun<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, WANG Shuan-quan<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. The Project Office of Baota District in Yan'an City, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

3. Center of Agritech Extensive in Yichuan County, Yichuan, Shaanxi 716200, China)

**Abstract:** The vertical variations of different types of soil moisture in Yan 'gou watershed in the hilly and gully area of the Loess Plateau are analyzed. Results show that the variation of soil moisture content in different layers is great under the condition of designed experiment. Soil moisture contents on dam, terrace, and slope are consistent with the seasonal change of rainfall. Soil moisture content of 100—200 cm layer in orchard fluctuates significantly with the seasonal change of rainfall. The variation of soil moisture content is different in extent not only under the different land types, but also under the same land type. The variation coefficient of soil moisture content is the biggest at 10 cm depth and is gradually reduced with increased soil depth. According to the analysis of the variation coefficient, the vertical distribution of soil moisture content under different land types may be divided into vertiginous layer, active layer, subactive layer, and relatively stable layer. Regression equations of the variation coefficient are also found for the soil layers of different land types.

**Keywords:** loess hilly and gully area; soil moisture content; vertical distribution

土壤水分作为植物生存的一个基本因子,在地处我国半干旱地区、水土流失严重的黄土高原地区有着极其重要的生态意义<sup>[1]</sup>。黄土高原地貌类型复杂多样,不同地形部位和不同土地类型上的土壤水分差异甚为明显<sup>[2]</sup>,而且由于受降雨、入渗、产流、蒸散、地下水等因素的影响,土壤水分经常处于动态变化过程中,各层土壤水分变化幅度有一定的差异性<sup>[3]</sup>。已有学者<sup>[4-7]</sup>对黄土丘陵沟壑区土壤水分进行了比较深入的研究,但系统地对不同类型土壤水分进行对比研究还较少<sup>[1]</sup>。为此,基于对不同类型土地土壤水分特征

的充分认识,本实验以延安市燕沟流域不同类型土壤水分为研究对象,旨在明确该区不同类型条件下土壤水分的变化特征,从而深入认识不同类型土壤剖面水分特征的差异性,更好地为综合利用土地、提高农林生产能力提供依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 样地概况

样地选在黄土高原丘陵沟壑区第 副区的延安市燕沟流域,位于延安市南 10 km 处。处于暖温带

收稿日期:2008-07-28

修回日期:2008-09-24

资助项目:国家科技支撑项目(2006BAD09B07);中国科学院西部项目(kzcx2-xb2-05);陕西省科技攻关项目(2007 K01-21)

作者简介:岳宏昌(1983—),男(汉族),河南省洛阳市人,硕士研究生,研究方向为旱地农业。E-mail:baiyun-115@163.com。

通信作者:王栓全(1953—),男(汉族),陕西省黄陵县人,教授,硕士生导师,主要从事旱地农业研究。E-mail:wangshq5310@sina.com。

半湿润气候向半干旱气候过渡带,年平均气温 9.8,多年平均降水量为 558.4 mm,其中,6—9 月份降水量占全年降水量的 70%以上,且多以暴雨形式出现,年际变化很大,年蒸发量 1 000 mm 左右<sup>[8]</sup>。

样地分别选取坝地、梯田、坡地和苹果地等 4 种不同类型的土地。坝地和梯田种植作物为玉米,坡地为退耕坡地,覆盖多种杂草,覆盖度 65%左右,苹果地无植被覆盖。

### 1.2 研究方法

1.2.1 土壤含水量 运用土钻法实行定位监测。选取 2006 年 4—10 月份进行连续定位监测。垂直剖面取土深度为 200 cm,0—100 cm 每 10 cm 取样,100—200 cm 每间隔 20 cm 取样。取样时地面无积水。所取土样湿重现场测定,盛装铝盒带回所取土样用烘箱在 105 ~ 110 °C 下烘干,称干重量,然后计算重量含水量。

1.2.2 降雨量 采用雨量筒和自记雨量计观测降雨量,其结果见表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地类型土壤水分剖面垂直动态分布规律

图 1 为不同类型土地、不同土层深度的水分动态变化。从图中可以看出,不同类型条件下不同土层的土壤水分变化幅度差异性很大。表层(0—50 cm)土壤含水量变化程度剧烈,这是因为该层受降水、风力、温度等气象因子的影响较大;而深层(100—200 cm)土壤含水量变化趋势相对平缓,是因为受外界和降水补偿等条件的影响较小。苹果地水分利用层相对较深,因此,水分消耗较大,土壤含水量低,所以,5 月份之后出

现了较深层(50—100 cm)土壤含水量低于浅层(0—50 cm)土壤含水量,8—10 月份深层土壤(100—200 cm)含水量低于较浅层(50—100 cm)土壤含水量的现象。相反,坝地、梯田和坡地的水分利用层相对浅,因而深层土壤含水量高于浅层的土壤含水量。

从变化趋势来看,坝地、梯田和坡地各层土壤含水量变化与降雨量的季节性变化呈现出较一致的趋势(表 1),均表现为 4—7 月份土层含水量呈现逐渐上升的趋势,7 月份达到最高值,7—10 月份土层含水量变化呈现逐渐递减的趋势,但坡地 10 月份出现一年中的峰值,但变化幅度不大。而苹果地除 0—100 cm 外,100—200 cm 随着季节变化出现较大波动,表现为随着季节变化土壤含水量呈现逐渐递减趋势,这可能是因为前期苹果树处于展花期,土壤水分消耗相对少,后期苹果树处于果实膨大期,土壤耗水量大,同时该时期气温高,蒸发量远大于降水量。

表 1 2006 年 4—10 月试验区降水量 mm

月 份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
降水量	11.4	56.7	53.5	132.2	70.0	80.3	3.3

### 2.2 土壤剖面水分垂直变化的变异系数及回归方程

土壤在不同深度上含水量的变化程度各不相同,从而形成了土壤水分的垂直变化,其变化主要取决于降雨和蒸散过程的相互作用,地形和土地利用方式也是重要的影响因素;其变化程度,可用变异系数来表示。变异系数越大,含水量的变化越剧烈;变异系数越小,土壤含水量越稳定。

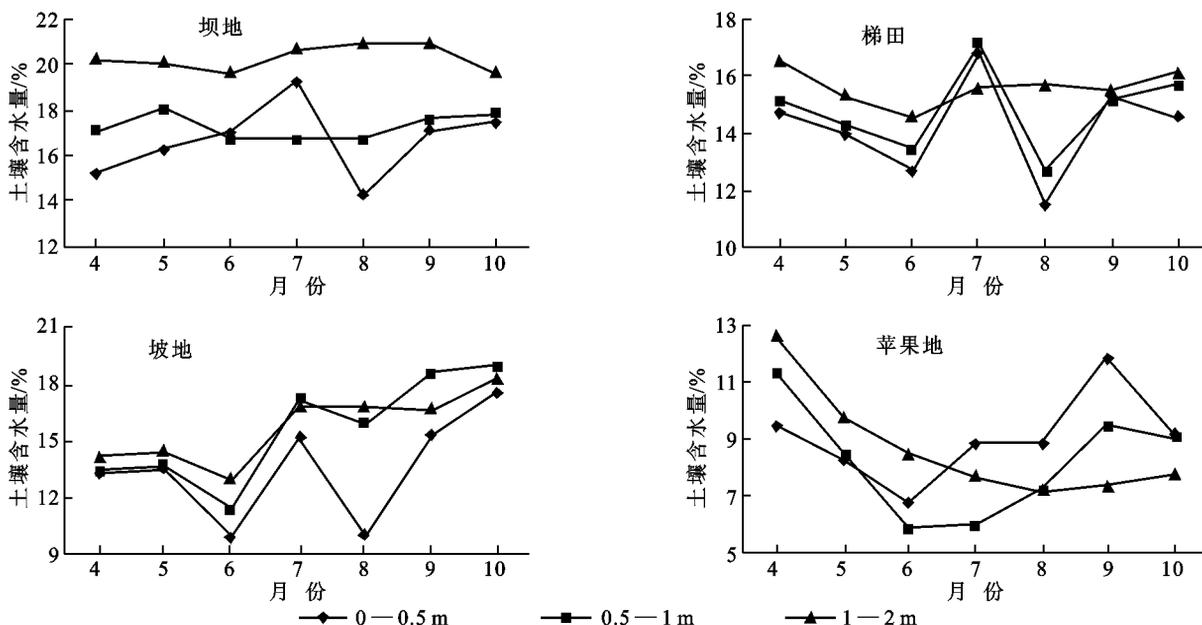


图 1 不同类型土地不同层次土壤水分动态变化

根据监测数据,计算了燕沟流域 2006 年 4—10 月不同土地类型土壤水分剖面的平均数、标准差和变异系数(表 2),从表中可以看出,不同类型土地的土壤含水量变化程度不同,同一类型土地的土壤含水量变化幅度也存在差异。

从平均值来看,坝地和梯田的土壤含水量的平均值总的变化趋势是随着土层深度的增加而逐渐增大,但梯田在 160 cm 处出现下降的趋势,在相同梯度下,

梯田的土壤含水量较坝地的土壤含水量的平均值偏低,这表明坝地储水能力大于梯田储水能力;坡地土壤含水量平均值在 0—90 cm 土层内随着土层深度增加而逐渐增加,90—160 cm 土层内出现下降趋势,之后又略上升。在相同梯度下,苹果地土壤含水量平均值较其它类型土壤含水量低,其土壤含水量在 0—90 cm 深度土壤含水量逐渐增大,之后呈“下降—上升—下降”的趋势,这表明苹果地保水和蓄水能力均较差。

表 2 不同土地类型土壤水分剖面的平均数、标准差和变异系数

土地类型		土层深度/cm							
		10	30	50	70	90	120	160	200
坝地	平均值	14.36	15.89	16.63	18.94	18.62	18.68	21.08	21.44
	标准差	4.61	2.65	2.21	1.79	1.14	0.93	0.86	0.81
	变异系数	0.243 3	0.166 5	0.154 2	0.083 6	0.053 9	0.049 8	0.046 1	0.048 5
梯田	平均值	11.78	13.87	13.84	15.25	16.05	17.56	17.53	18.46
	标准差	3.62	2.11	1.91	1.71	1.69	1.57	1.13	1.04
	变异系数	0.206 1	0.153 0	0.131 2	0.125 1	0.123 9	0.120 8	0.071 0	0.059 3
坡地	平均值	12.98	13.38	14.34	15.50	16.26	15.59	15.57	15.64
	标准差	3.59	2.56	2.42	2.41	1.50	1.37	1.25	0.74
	变异系数	0.276 5	0.191 5	0.169 4	0.155 5	0.092 5	0.087 6	0.080 2	0.047 1
苹果地	平均值	8.78	8.81	9.46	8.81	9.19	8.05	10.73	9.81
	标准差	5.61	3.17	3.15	2.37	2.07	2.04	1.66	0.98
	变异系数	0.523 1	0.345 5	0.357 3	0.250 3	0.234 5	0.208 1	0.206 5	0.111 5

从标准差来看,随着土层深度的增加,各类型土壤含水量的标准差逐渐减小,这表明土壤含水量的稳定性依次增强,因此,土壤受外界降水等因素的影响减小。在相同梯度下,苹果地的标准差较其它类型土壤含水量的标准差大,这表明苹果地土壤含水量稳定性弱,从而说明苹果地不但受季节性降水等外界因素的影响,而且还与苹果地植被根系的深浅有关。

从变异系数来看,10 cm 处土壤含水量变异系数最大,由于降雨时,雨水首先渗入该层,使土壤含水量急剧增加,雨后在地面蒸发以及重力势和基质势的作用下该层水分向深层运动,使其含水量减小,从而使土壤含水量波动较大,因而变异系数明显大于下层土壤含水量的变异系数,这表明该层受降水等外界条件的影响而变化剧烈;虽然各类型土壤水分变异系数不同,但变化规律是相似的,随着土层深度增加各类型土壤含水量的变异系数减小,这表明随着土层深度的增加,降水等外界因素对土壤含水量的补偿作用减弱。

在相同梯度下,苹果地土壤水分的变异系数均比其它类型土壤水分的变异系数大,这表明苹果地含水量不但较其它类型土壤含水量低,而且地面蒸发和植被蒸腾引起的含水量变化所涉及的深度比其它类型土地要深。

通过上述分析,可以了解土层深度与变异系数的关系为:土层越深其对应的变异系数越小,土层越浅其对应的变异系数越大,即土层深度和变异系数存在相反的变化趋势。这种现象反映出了土层深度(土壤的干湿状况)对土壤水分变异程度的影响。

但为了证实以上的分析和判断,对不同类型土地各层土壤含水量变异系数建立了多项式回归方程,并进行相关性分析, $R_{0.01} = 0.962$ ,因此,所得各方程均为  $R^2 > R_{0.01}^2$ ,故  $y$  与  $x$  的 3 次多项式的相关性极显著。从而证明了对土层深度( $x$ )与变异系数( $y$ )之间关系的判断是正确的。从图 2 见,在 10 cm 处,各地类土壤含水量的变异系数最大,坝地、梯田和坡地的土壤含水量变异系数趋势基本相同。在 10—50 cm 土层范围内,坝地、梯田的土壤含水量变化剧烈,10—70 cm 土层范围内,坡地的土壤含水量变化剧烈,而在 70—200 cm 土层范围内,坝地和梯田的土壤含水量变化趋于平缓,在 200 cm 处,坝地和梯田土壤含水量变异系数最小。苹果地土壤含水量比坝地、梯田和坡地水分的变化程度剧烈,这表明苹果地土层受气象条件的影响更显著,而在 120 cm 以下苹果地土壤含水量的变化趋于平缓。通过以上分析可以了解气象条件对不同类型各层土壤水分的影响状况。

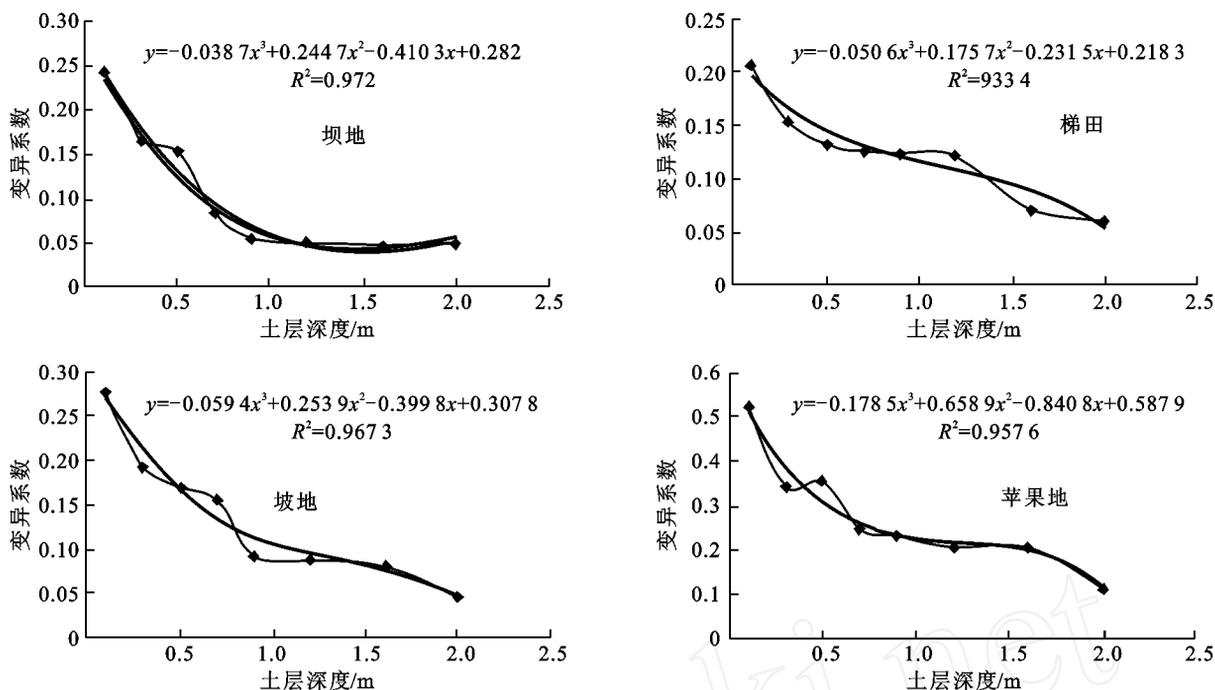


图 2 不同类型土地的土壤含水量变异系数趋势

### 2.3 不同类型土地土壤水分垂直层次划分

对于土壤水分垂直变化层次的划分,已有学者做了较系统的研究,近年来开始向量化描述方向发展。一般根据变异系数和标准差两个指标来确定剖面土壤水分垂直层次,并将剖面土壤水分垂直变化的层次划分为 4 层<sup>[9-11]</sup>:速变层( $C_v > 30\%$ ,标准差  $S > 4$ )、活跃层( $C_v = 20\% \sim 30\%$ ,标准差  $S = 3 \sim 4$ )、次活跃层( $C_v = 10\% \sim 20\%$ ,标准差  $S = 2 \sim 3$ )和相对稳定层( $C_v < 10\%$ ,标准差  $S < 2$ )。

依据上述标准,对延安燕沟流域 2006 年整个生长季(4—10 月)不同土地类型土壤剖面水分垂直变化情况进行了分层(表 3)。从分层结果可以看出,不同土地类型的土壤水分分层差异很大,坝地、梯田和坡地的土壤水分活跃层明显比苹果地浅,分别达 50, 30 和 70 cm,而 70 cm 以下均为土壤水分相对稳定层,这说明气象条件对 0—30 cm 表层土壤水分产生显著影响,而对 70 cm 以下土壤水分影响甚微(表 2)。苹果地土壤水分活跃层明显比其它类型深,并且达到 120 cm,这可能是因为该种类型土地的苹果根系比其它类型中的作物根系深,其蒸腾耗水引起根际土壤水分呈现较大波动,使得不同类型土壤水分存在分层差异性。

## 3 结论

(1) 不同类型土地条件下不同层次的土壤水分变化幅度较大。坝地、梯田和坡地各层土壤含水量变

化与降雨量的季节性变化呈现出较一致的趋势,而苹果地除 0—100 cm 外,100—200 cm 随着季节性变化出现较大波动。这表明降雨对土壤水分有补偿作用,但补偿作用较弱,苹果地的土层含水量受到了果树根系分布和降雨双重作用的影响。

表 3 不同类型土地的土壤含水量的垂直分层 cm

土地类型	土壤垂直分层			
	土壤速变层	土壤活跃层	土壤次活跃层	土壤相对稳定层
坝地	0—10	—	10—50	50—200
梯田	—	0—10	10—30	30—200
坡地	—	0—10	10—70	70—200
苹果地	0—10	10—50	50—120	120—200

(2) 通过对不同类型土层深度和土壤含水量变异系数的拟合分析表明,坝地、梯田和坡地土壤水分变化剧烈程度发生在较浅的土层,而苹果地变化剧烈程度发生在较深的土层。

(3) 根据对各类型土地土壤含水量标准差和变异系数的分析,可将各土层土壤分为速变层,活跃层,次活跃层和相对稳定层。因为受降雨入渗、再分布和土壤蒸发向深层传递的滞后性影响,各层土壤水分变化幅度存在一定的差异,浅层土壤水分变化幅度明显大于较深层,其受降雨和蒸散的影响也相应较大,而深层土壤水分变化具有相对稳定性。

(下转第 82 页)

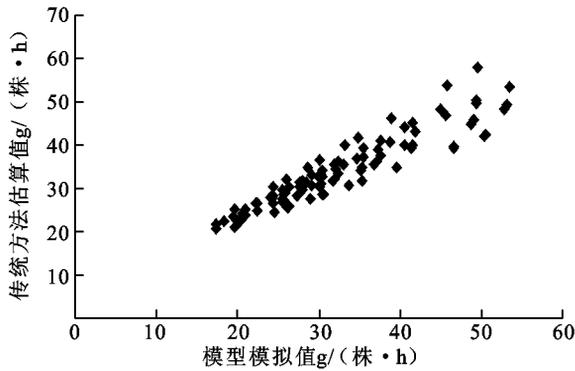


图 5 传统方法估算值与模型模拟的本氏针茅日蒸腾量对比

## 4 结论

利用太阳总辐射、叶蒸腾速率、饱和水汽压斜率、潜在蒸散常数、风速和单株叶干重建立了皇甫川流域单株本氏针茅瞬时蒸腾量  $[g/(h \cdot 株)]$  数学模型,通过对模型评价指标进行计算及分析,模型拟合度较好,可以获得满意的数值模拟结果。在此基础上,建立了单株本氏针茅的日蒸腾量  $[g/(d \cdot 株)]$  数学模型,与传统方法相比,模拟值稍偏低。由于该方法经过严格的推导,故认为传统方法估算的值有偏高的可能性。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 高清竹,杨劫,宋炳煜,等. 黄河中游砒砂岩地区长川流域生态用水分析[J]. 自然资源学报,2004,19(4):499-507.
- [2] 熊伟,王彦辉,程积民,等. 三种草本植物蒸散量的对比试验研究[J]. 水土保持学报,2003,17(1):170-172.
- [3] 胡相明,程积民,万惠娥,等. 黄土丘陵区不同立地条件下植物种群生态位研究[J]. 草业学报,2006,15(1):29-35.
- [4] 赵一之. 鄂尔多斯高原维管植物[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,2006.
- [5] 王静,程积民,万惠娥. 黄土高原本氏针茅光合特性及生产力的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):71-73.
- [6] 许红梅. 黄土高原丘陵沟壑区小流域植被净第一性生产过程模拟研究[D]. 北京:北京师范大学,2003.
- [7] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间预测的统计模型[J]. 2001,20(6):739-751.
- [8] 张文彤. SPSS 11 统计分析教程(高级篇)[D]. 北京:北京希望电子出版社,2002.
- [9] 乐通潮,张万昌. 双参数月水量平衡模型在汉江流域上游的应用[J]. 资源科学,2004,26(6):97-103.
- [10] 刘静,王连喜,马力文,等. 中国西北旱作小麦干旱灾害损失评估方法研究[J]. 中国农业科学,2004,37(2):201-207.

(上接第 69 页)

(4) 土壤垂直分层状况。不同类型土地的土壤含水量变化程度不同,同一类型土地的土壤含水量变化幅度也有差异,所以,在黄土高原沟壑区发展农业首先要考虑土壤水分的可利用情况,针对不同类型的土壤水分环境,合理种植土壤水分利用率高的作物,提高土地利用效率。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王继夏,孙虎,王祖正,等. 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.
- [2] 孙一琳,王洪英,刘秀萍,等. 黄土高原人工刺槐林土壤水分特征[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2007,24(2):123-126.
- [3] 陈洪松,邵明安,王克林,等. 黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. 应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.
- [4] 李开元. 黄土高原南部农田水分条件及其产量效应[J]. 水土保持学报,1995,15(6):6-10.
- [5] 杨文治,邵明安,彭新德,等. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学(D辑),1998,28(4):357-365.
- [6] 李德广. 旱地土壤水分的特征阶段、垂直类型与土壤水分预报[J]. 水土保持通报,1999,10(1):36-42.
- [7] 周择福. 太行山低山区不同植被条件下土壤水分动态变化规律的研究[M]. 北京:北京林业大学出版社,1994.
- [8] 张北赢,徐学选,刘江华,等. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式的土壤水分效应[J]. 水土保持通报,2005,25(6):5-9.
- [9] 穆兴民. 黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J]. 农业工程学报,2000,16(2):41-45.
- [10] 赵合理,蒋定生,范兴科. 不同水土保持措施对坡面降水再分布的影响[J]. 水土保持研究,1996,3(2):75-83.
- [11] 杨文治. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学技术出版社,1992.