

# 桂西北喀斯特区域土壤水分动态变化研究

张继光<sup>1,2,3</sup>, 苏以荣<sup>1,2</sup>, 陈洪松<sup>1,2</sup>, 张伟<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态重点实验室, 湖南长沙 410125;

2. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 广西环江 547100; 3. 中国科学院, 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 于 2004 年 9 月至 2005 年 4 月, 对桂西北喀斯特峰丛洼地中耕地、牧草地和撂荒地 3 种利用类型的土壤水分进行定位观测, 并研究了其受典型降雨过程的影响。结果表明, 3 种土地类型表层(0—20 cm)土壤含水量最低但波动最大, 越到底层含水量增加且波动变小, 根系吸收和蒸腾耗水等因素使得牧草地表层土壤水分小于耕地。典型降雨对土壤水分的影响十分明显, 但各利用类型土壤含水量对降雨的响应时间有所不同, 耕地和牧草地表层土壤水分含量均在雨后 1 d 就显著增加, 底层在雨后 6~8 d 才达到最高; 而撂荒地雨后 3 d 的剖面(0—30 cm)土壤含水量就达到最大值。研究发现 3 种类型中牧草地表层土壤水分的时间稳定性最差。降水、土地利用(植被)和土壤质地是造成研究区土壤水分变化的主要因素。

**关键词:** 喀斯特; 峰丛洼地; 土地利用; 时间稳定性; 土壤水分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)05-0032-05

中图分类号: S152.7

## Dynamic Change of Soil Moisture in Karst Region of Northwest Guangxi Province

ZHANG Ji-guang<sup>1,2,3</sup>, SU Yi-rong<sup>1,2</sup>, CHEN Hong-song<sup>1,2</sup>, ZHANG Wei<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Subtropical Agroecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of

Sciences, Changsha, Hu'nan 410125, China; 2. Huanjiang Experimental Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Based on soil moisture data from September 2004 to April 2005, the dynamic change of soil moisture and the influence from a typical rainfall were analyzed under three types of landuse (cropland, grassland and black fallow) in the peak-cluster depression areas of karst region in Southwest Guangxi Province. Results showed that soil moisture in surface layer (0—20 cm) was the lowest, but fluctuated violently in all layers. Down to deeper layers, soil moisture increased and became steady. Surface soil moisture of grassland was lower than that of cropland for the absorption and transpiration of grass. Soil moisture was obviously influenced by typical rainfall, but the time responses for three types of landuse were different. Surface soil moisture increased obviously in cropland and grassland one day after rainfall, whereas bottom soil moisture reached the peak value 6~8 days after rainfall. Soil moisture of the 0—30 cm layer in black fallow reached the maximum 3 days after rainfall. The time stability of soil moisture in grassland was the worst. Precipitation, land use types (vegetation), and soil texture were the main factors influencing soil moisture in the area.

**Keywords:** karst; peak-cluster depression; land use; time stability; soil moisture

喀斯特地区被视为同沙漠边缘一样的脆弱生境, 其脆弱性是由特殊的地质环境和强烈的岩溶作用造成的。特别是在喀斯特峰丛洼地系统中, 由于长期强烈岩溶化作用产生了地表地下双层空间结构, 具有土层浅薄, 土壤总量少, 储水能力低以及岩石渗透性强、降水入渗系数大, 地下水位深等特征, 虽然降雨丰富

但季节分配严重不均, 导致早雨季节分明, 区域生态十分脆弱<sup>[1-2]</sup>。降水作为该地区土壤水分的最重要补给源, 对土壤含水量的高低和有效性具有重要影响, 因此土壤水分的亏缺成为决定该地区生态系统结构和功能的主要因素。特别在降雨稀少、气候干燥的季节, 植被的初级生产力和植被质量将受到严重影

收稿日期: 2007-02-27

修回日期: 2007-04-18

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX<sub>2</sub>-XB2-08-01); 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B06-02); 国家自然科学基金项目(40671104)

作者简介: 张继光(1980—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 研究生, 从事土壤环境生态和水土保持等方面研究。

E-mail: jiguang8002@163.com.

通讯作者: 苏以荣(1962—), 男(汉族), 湖北省松滋市人, 研究员, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: yrsu@isa.ac.cn.

响,此时土壤水分就成为作物生产和植被恢复的主要限制因子<sup>[3]</sup>。

土壤水分是土壤、土地利用(植被)、地形及汇水区面积等因子的函数,研究区域的不同土壤类型、土地利用及景观特点可部分解释土壤水分的空间变异特征<sup>[2]</sup>。众多学者已对不同地区土壤水分动态及其受降雨的影响进行了大量研究<sup>[4-12]</sup>。但在土层浅薄、土被不连续的喀斯特峰丛洼地,关于土壤水分的同类研究还较少<sup>[13]</sup>。本文通过研究其中不同土地利用类型土壤水分的动态变化及其受典型降雨的影响,为科学评价该地区植被的水文生态效益,最终为西部退耕还林还草工程和喀斯特退化生态系统的恢复重建提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验区位于广西壮族自治区环江毛南族自治县下南乡古周村(107°55'E,24°50'N),属于典型的喀斯特峰丛洼地,亚热带湿润性季风气候。区内最低点海拔为376 m,与最高点海拔相差440 m。土地总面积186.7 hm<sup>2</sup>,其中耕地17.4 hm<sup>2</sup>,可耕地不到1%,主要分布在洼地中,其余以山地为主,其中25°以上坡地占坡地总面积80%以上,山上植被退化严重,森林覆盖率仅有13%,而且水土流失、石漠化情况严重,属于国家移民迁出区和西部退耕还林还草区。

广西壮族自治区环江毛南族自治县年平均降雨量为1389.1 mm,降水丰富但季节分配严重不均,雨季平均开始于4月下旬,结束于8月底或9月初,常出现涝灾;9月至次年3月为旱季,时常受到干旱威胁。年平均气温为19.9℃,其中7月平均的气温为

27.9℃,1月平均气温为10.1℃,年太阳总辐射量为3344~4134 MJ/m<sup>2</sup>。该区分布的土壤主要是碳酸盐岩发育的钙质湿润淋溶土,质地黏重,阳离子交换量和盐等饱和度均较高,土体与基岩过渡清晰,土壤肥力较为贫瘠。

### 1.2 研究方法

试验地位于峰丛洼地的底部和一侧山坡上,共有3种不同土地利用类型:耕地、人工牧草地和撂荒地。前两者位于洼地中的同一地块,其中耕地连续多年主要作物为玉米套种大豆;牧草地于2001年退耕后种植多年生禾本科牧草——桂牧1号;撂荒地处于坡地上(坡度28°,坡向西偏南30°),由1996年的坡地退耕撂荒而来,植被主要是灌木草丛。3种利用类型表层土壤的基本理化性状见表1,其中洼地土壤质地为粉壤黏土,坡地为粉黏土。于2004年9月至2005年4月的每月月上旬和下旬间隔两周定点测量土壤含水量(2月份数据缺失)。耕地和牧草地测定0—80 cm土壤含水量(间隔20 cm),撂荒地由于土层较浅测定0—30 cm层的土壤含水量(间隔10 cm),每个土层重复5次,土样带回实验室后用105℃烘干法测定土壤重量含水量。土壤容重采用剖面环刀法测定,每个土层重复3次。并且在研究时段的一次典型降雨前后,加密测定各土地利用类型的土壤含水量。并按下式计算土壤储水量:

$$Q = d \cdot h \cdot c$$

式中:Q——土壤储水量(mm);d——土壤容重(g·cm<sup>-3</sup>);h——土层厚度(mm);c——壤重量含水量(%)。

试验数据的统计分析主要采用SPSS 11.5和EXCEL 2003软件完成。

表1 试验地表层土壤基本理化性状

地类	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (ug·g <sup>-1</sup> )	有效钾/ (ug·g <sup>-1</sup> )	pH	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	机械组成/%		
							0>0.05 mm	0.05~0.005 mm	<0.005 mm
耕地	26.30	1.35	6.16	31.97	7.61	1.16	25.05	42.01	32.94
牧草地	23.80	1.23	8.46	33.48	7.18	1.30	23.71	49.95	26.35
撂荒地	40.80	2.62	1.71	92.58	6.56	1.19	40.94	34.69	24.37

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水量的动态变化

图1为研究时段内的降雨量情况,3种土地类型的土壤水分动态特征如表2所示,剖面土壤水分均具有随土层加深而增大的变化趋势,但由于土壤蒸发向深层传递的滞后性和土壤自身的水分调蓄作用,不同土层内土壤水分的变化幅度明显不同。表层(0—20 cm)由于受降雨、蒸发及蒸腾的作用,3种土地类型均

表现出土壤含水量最低但波动最剧烈,深层变化则最平稳。

牧草地中,由于根系多分布于表层,蒸腾耗水和根系吸水作用使得表层水分小于耕地。但随土层加深,牧草地平均含水量却显著大于耕地,原因可能是由于牧草地翻耕较少,土壤容重大,加上牧草的深层蓄水和持水能力较强所致。值得注意的是,耕地和撂荒地各层均表现出在极干旱的取样(2004年11月7

日)中含水量最小,而牧草地在 60—80 cm 层还相对较高,底层含水量受干旱影响较小,这可能与其底部石块的影响有关。撂荒地 0—30 cm 各层土壤水分随时间变化趋势一致,这是由于其土层浅薄,易受降雨入渗和地表蒸发的影响所致。此外,从土壤含水量的变异系数来看,撂荒地表面的变异程度比耕地和牧草地要大,这同样与撂荒地土层浅薄,易受外界环境影响有关。牧草地在表面的变异程度也大于耕地,可能因为牧草的根系多分布在这一层次,牧草由于定期刈割会引起盖度变化和根系吸收改变,这可能影响到其地表微气候条件,从而导致土壤水分在这一层次变异较大。综上分析可以看出,表层土壤含水量由于易受

降水、蒸发散等气候因子以及人为活动等影响而远大于其它层次。

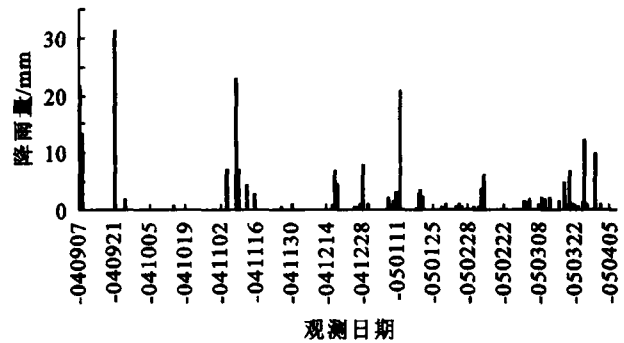


图 1 试验区研究时段内降雨量情况

表 2 不同土地利用方式下土壤含水量的统计特征

土层深度/ cm	耕地				牧草地				撂荒地 <sup>①</sup>			
	极差	均值/ %	标准差	变异系 数/%	极差	均值/ %	标准差	变异系 数/%	极差	均值/ %	标准差	变异系 数/%
0—20	9.30	22.38	3.21	14.34	11.42	21.58	3.57	16.55	14.91	19.94	5.21	26.12
20—40	6.47	24.70	1.84	7.44	7.19	25.17	2.40	9.62	13.83	20.18	4.27	21.18
40—60	5.27	26.63	1.61	6.04	4.72	27.52	1.44	5.22	12.82	20.65	3.75	18.16
60—80	5.10	27.10	1.35	4.96	6.75	29.67	1.66	5.60				

注:①表示撂荒地的测试土层深度分别是 0—10, 10—20 和 20—30 cm。

2.2 土壤储水量的动态变化

在喀斯特地区,由于土层浅薄,降雨入渗系数大,土壤储水量的变化对植被的存活和生长具有重要意义。在 3 种土地利用类型中,表层土壤储水量的大小为:牧草地>耕地>撂荒地,而且均呈现出一致的 4 峰型变化趋势(图 2),结合降雨量情况(图 1)可以看出,每一次峰值的出现都与前期的较高强度降雨相联系,4 个峰分别对应于 2004 年 9 月、11 月和 2005 年 1 月、3 月的强降雨过程。将耕地与牧草地相比较,可以看出牧草地表层保蓄水分的能力较耕地强,这可能与耕地植被盖度较小和耕翻活动强烈有关。撂荒地则由于土壤质地较轻,容重较小以及渗漏强烈等原

因,造成表层土壤储水量最小。此外,在 0—80 cm 土层范围内也表现出土壤储水量牧草地>耕地的趋势。由此可见,研究地区当月的降雨不但增加了表层储水,同时增加了整个土壤剖面的总储水量。因此,降雨和土地利用状况是喀斯特峰丛洼地土壤储水变化的重要影响因素。

综上所述,在喀斯特峰丛洼地中,洼地中应退耕还草发展养殖业,坡地上应提倡原有耕地撂荒。这不但有利于充分利用旱季降雨,抗旱保墒加速植被生态恢复,而且能有效减少水土流失和石漠化发展,对促进喀斯特地区农牧业发展和生态环境建设具有重要意义。

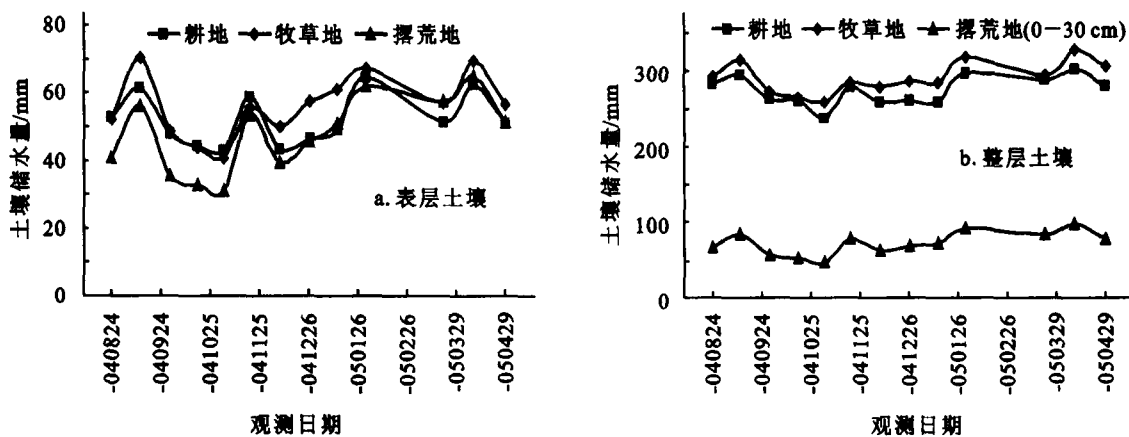


图 2 不同土地类型土壤储水量的动态

2.3 典型降雨过程对土壤水分的影响

在研究地区,典型降雨过程对土壤水分的影响极为明显。取 2004 年 11 月 9 日的一次强降雨过程(降雨量 22.8 mm)进行分析,表 3 显示了该次降雨前后各层土壤水分动态变化及对降雨的响应过程。

从表 3 中可以看出,耕地和牧草地表层土壤受降雨的影响最为强烈,其次是亚表层(20—40 cm),且随土层加深影响趋于减小,撂荒地也表现出这种趋势。土壤水分随一次强降雨的到来呈明显增高趋势,但不同土地类型各层土壤含水量对降雨的响应时间有所不同,降雨仅在很短时间内就能入渗到表层,而在向更深层次的人渗及其再分布就缓慢得多。耕地和牧草地表层土壤水分含量均在雨后 1 d 就显著增加,而在 40—60 cm 和 60—80 cm 土层深度处,降雨过后 6~8 d 土壤含水量才达到最高,而且降雨对耕地的滞后效应比牧草地明显。从撂荒地的观测结果来看,降雨之后各层土壤水分变化明显,并且在雨后 3 d 剖面

土壤含水量达到最大值,这可能与撂荒地土层较浅、渗漏较强等因素有关。苏以荣曾研究桂西北新垦蔗地土壤水分动态及受雨季典型降雨的影响,表明降雨 4 h 之后表层土壤有效水分就能达到最大,更深层次一般在雨后 4 d 达到最大值<sup>[3]</sup>。本研究与其结果有所不同,原因可能是,一方面,不同研究时段内降雨的影响不同,本研究大致对应当地旱季时期;另一方面降雨前后的观测间隔有所不同,更重要的是本研究侧重不同土地类型下的土壤水分动态,而不同土地类型(植被)本身对土壤含水量具有重要影响。有研究也表明,在相同的降水和日照条件下,影响降水入渗的主要因子是土壤孔隙和植被,而土壤孔隙又与人为耕作、土壤质地和成土母质等因素有关<sup>[7-8]</sup>。

因此,典型降雨过后,3 种土地类型的土壤水分呈现明显的时空分异特征,且对降雨的响应过程也存在一定差异。这与降水、土地利用(植被)、土壤质地等因子的影响是分不开的。

表 3 一次典型降雨对不同土地利用方式下各层土壤含水量的影响

观测日期	耕地/%				牧草地/%				撂荒地/%		
	0—20	20—40	40—60	60—80	0—20	20—40	40—60	60—80	0—10	10—20	20—30
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
-041107	18.45	21.01	23.59	24.24	15.57	21.60	25.14	29.66	13.23	12.67	13.89
-041110	24.12	21.85	24.36	25.35	20.65	21.71	26.58	29.76	24.14	21.02	19.53
-041112	24.08	22.59	24.53	25.16	21.58	23.01	25.32	27.39	25.74	23.15	21.23
-041115	28.41	25.08	24.69	25.25	22.96	23.21	25.68	28.30	25.33	21.90	19.48
-041117	27.28	24.69	24.41	25.84	21.76	22.88	27.91	30.39	23.61	22.35	21.17
-041119	25.48	24.96	24.96	25.80	24.24	23.49	25.77	26.74	22.37	23.36	21.92
-041121	25.25	25.49	25.36	26.25	21.49	23.11	27.50	29.24	22.11	22.75	21.29
-041123	23.75	25.58	25.93	26.06	21.63	24.38	28.67	29.89	20.33	21.41	19.92
-041125	22.20	23.08	25.96	26.72	22.07	25.24	26.36	27.53	20.44	21.86	21.01
-041128	21.17	23.40	24.11	24.12	20.57	23.94	25.72	26.66	19.12	19.87	20.28
-041130	20.92	23.61	24.36	27.14	20.00	23.34	27.00	28.73	18.03	19.51	21.13
-041207	18.71	24.00	25.8	26.80	19.17	23.55	27.35	29.26	14.98	18.16	20.07

2.4 不同土地利用类型土壤水分的时间稳定性

变异系数( $C_v$ )能反映随机变量的离散程度,通过计算研究时段内土壤含水量的时间变异系数,可以反映不同土地类型土壤水分相对的时间稳定性。

$$\bar{C}_v = \left\{ \sum_{i=1}^n C_{vi} \right\} / n$$

式中: $C_{vi}$ ——每次取样土壤含水量的变异系数; $n$ ——取样次数;本研究中  $n=13$ 。

我们取 3 种土地利用类型的表层 0—20 cm 土壤,计算土壤含水量在不同取样时间的变异系数(图 3),最后利用上式计算反映时间稳定性的统计值。各土地类型表层土壤含水量在研究时段内的变异系数分别为:耕地 9.36,牧草地 14.09,撂荒地 6.88。其时间变异表现为牧草地>耕地>撂荒地。由此可见,牧草地表层土壤含水量的时间稳定性比耕地差,这可能与牧草的定期刈割影响到根系吸水和蒸腾耗水等

因素有关,使得土壤水分随时间的变异程度增大,而撂荒地的时间稳定性最好。这反映出在该地区,土壤整体上对水分的蓄积及调控能力还较弱。如何充分利用旱季为数不多的降雨,成为发展当地农业生产,实施西部退耕还林还草和退化生态系统植被恢复的关键。

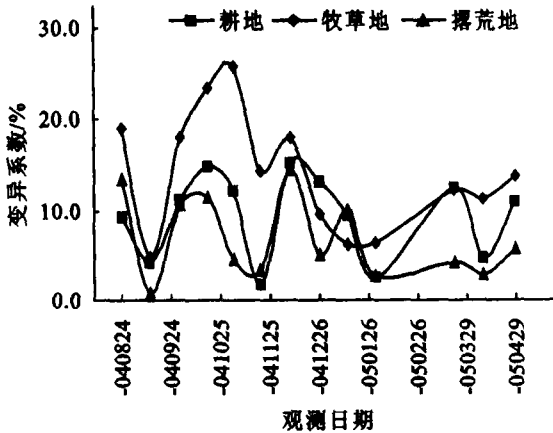


图 3 不同土地类型表层土壤含水量的变异系数动态变化

### 3 结论

本文研究了桂西北喀斯特峰丛洼地中耕地、牧草地和撂荒地土壤水分的动态变化规律及其受典型降雨的影响过程。

(1) 3 种土地类型表层(0—20 cm)土壤含水量最低但波动最大,随土层加深,土壤含水量增加且波动变小,根系吸收和蒸腾耗水等因素使得牧草地表层水分小于耕地。但由于牧草地翻耕较少,容重较大,而且牧草的蓄水能力较强,导致牧草地的土壤储水量大于耕地。

(2) 3 种土地类型土壤水分随典型降雨呈明显增高趋势,但不同利用类型下各层土壤含水量对降雨的响应时间有所不同,耕地和牧草地表层土壤水分均在雨后 1 d 就显著增加,底层在雨后 6—8 d 达到最高。而撂荒地在雨后 3 d 其剖面(0—30 cm)土壤含水量就达到最大值。

(3) 各地类表层土壤水分的变异系数显示撂荒地明显大于耕地和牧草地,其时间变异则表现为牧草地 > 耕地 > 撂荒地,说明牧草地土壤水分的时间稳定性最差,这可能与牧草的定期刈割影响根系吸水 and 蒸腾耗水等因素有关。

(4) 降雨、土地利用(植被)和土壤质地是造成喀斯特地区土壤水分变化的主要因素。了解不同类型土壤水分动态变化及其降雨响应过程,对于在洼地中实施退耕还草发展养殖业,坡地上提倡原有耕地撂荒,发展喀斯特地区农牧业生产和进行退化生态系统的植被恢复具有重要意义。

### [参 考 文 献]

- [1] 蔡运龙. 中国西南岩溶石山贫困地区的生态重建[J]. 地球科学进展, 1996, 11(6): 602—606.
- [2] 李阳兵, 王世杰, 熊康宁. 浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究[J]. 中国岩溶, 2003, 22(1): 24—27.
- [3] 苏以荣, 黄宇, 王克林, 等. 桂西北环境移民安置区新垦荒地土壤水分动态研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 49—52.
- [4] 郭志强, 何英豪, 肖庆元. 湖北红壤丘岗区旱地土壤水分性质与变化规律的研究[J]. 湖南农业科学, 1995(5): 31—33.
- [5] 李玲, 肖润林, 黄宇, 等. 桂西北新建柑橘园土壤水分变化及其水分管理[J]. 农业环境保护, 2001, 20(2): 88—90.
- [6] 崔灵周, 丁文峰, 李占斌. 紫色土丘陵区农用地土壤水分动态变化规律研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 207—209.
- [7] 郭焱, 熊泽海, 胡荣桂. 亚热带红壤丘岗区土壤水分动态的定位研究[J]. 土壤, 1996, 28(1): 42—45.
- [8] 何铁光, 石雪晖, 肖润林, 等. 桂西北喀斯特环境移民示范区果园雨季土壤水分动态[J]. 广西农业科学, 2004, 35(2): 124—127.
- [9] 宋孝玉, 康绍忠, 沈冰, 等. 黄土沟壑区不同种植条件下农田土壤水分动态规律研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 130—140.
- [10] 万素梅, 胡守林, 王龙昌, 等. 不同紫花苜蓿品种土壤水分动态变化研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 161—163.
- [11] 张国盛, 王林和, 董智, 等. 毛乌素沙地主要固沙灌(乔)木林地水分平衡研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2002, 23(3): 1—9.
- [12] 苏以荣, 黄宇, 王克林. 新垦红壤坡地土壤水分有效性研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 507—511.
- [13] 傅伟, 王克林, 陈洪松, 等. 典型峰丛洼地坡面土壤水分动态变化的时序分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 111—114.