

女儿寨湿润小流域土壤干旱指数模型分析

田育新<sup>1</sup>, 李锡泉<sup>1</sup>, 何友军<sup>2</sup>, 陶接来<sup>2</sup>, 陈业银<sup>3</sup>, 王中建<sup>3</sup>

(1. 湖南省林业科学院, 长沙 410004; 2. 湖南省林业厅, 长沙 410007; 3. 慈利县林业局, 湖南 慈利 415300)

摘 要: 从土壤水分平衡原理出发, 以降水量、温度和小流域水文因子等为基础, 建立了土壤干旱指数模型, 利用女儿寨小流域气象站的资料, 计算小流域内土壤干旱指数, 划分了干旱等级, 并分析了土壤干旱的时空分配特征。  
关键词: 土壤干旱指数; 时空分布; 女儿寨湿润小流域  
中图分类号: S152. 7 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006)04-0196-03

Analysis of Model of Soil Drought Index in Nerzhai Moist Small Area

TIAN Yuxin<sup>1</sup>, LI Xiquan<sup>1</sup>, HE Youjun<sup>2</sup>, TAO Jielai<sup>2</sup>, CHEN Yeyin<sup>3</sup>, WANG Zhongjian<sup>3</sup>  
(1. Hunan Forestry Academy, Changsha 410004, China;  
2. Forestry Department of Hunan Province, Changsha 410007, China;  
3. Forestry Bureau of Cili County, Cili 415300, China)

Abstract: Based on the principle of soil water balance, including precipitation, temperature and other observations, a model of soil drought index was built. By using the model and the observation data of Nerzhai small area weather station, the authors acquired the drought index, plotted the levels of drought and analyzed the time distribution of soil drought.  
Key words: soil drought index; time distribution; Nerzhai moist small area

土壤干旱是指由土壤水分的收与支或供与求不平衡形成的水分短缺现象, 而湿润地区的土壤干旱则主要是因为气候变化等原因形成的随机性异常土壤水分短缺现象<sup>[1]</sup>。目前, 根据不同的需要, 建立了许多不同的干旱判别模型<sup>[2~5]</sup>。由于受人力、物力等多种条件的限制, 我们不可能对小流域每种坡面类型的土壤水分状况实地测定, 因此不得不借助于小流域生态定位站的气象观测资料(如降雨、蒸发、日照等)建立数学模型进行估算。本文从土壤水分平衡原理出发, 根据女儿寨小气候定位观测站的地面气象资料, 建立了小流域土壤干旱指数模型, 并对小流域土壤干旱指数的时空分布特征进行了分析, 旨在指导女儿寨小流域农业生产和小流域科学管理服务。

1 小流域概况

女儿寨小流域位于慈利县城西北约 7 km 处, 为澧水二级小支流, 大致呈南北向, 属武陵山脉低山区, 沟口海拔 210 m, 最高峰 917.4 m, 主沟长约 1.2 km, 小流域面积 2.81 km<sup>2</sup>, 属典型亚热带湿润地区。气候特点为春季温湿多变、夏季酷热期长、秋季凉爽、冬少严寒。小流域内地形复杂, 山峦起伏, 沟壑纵横, 沟壑密度约 2.6 km/km<sup>2</sup>, 主沟纵比降约 28.4‰。

2 土壤干旱指数模型的构建

我们将每月土壤干旱指数( $I_i$ ) 定义为:  
$$I_i = (P_i - E_{pi}) / E_{pi} \tag{1}$$
式中:  $P_i$  ——每月土壤有效水量;  $E_{pi}$  ——每月土壤可能蒸发量。

2.1 土壤有效水量

小流域发生土壤干旱的状况与小流域的降雨特点及环境

条件关系很大。在自然降水中, 作为径流流失掉的部分对土壤是无效的, 只有那些被土壤生态系统利用的部分才是有效的。影响自然降水有效水资源的因素, 主要是降水方式和地形。降水过分集中和雨强过大, 都会影响自然降水的有效水资源量。单位时间的降雨强度在形成径流的过程上是一个重要的影响因子。一般来说, 湿润地区只有降水强度大于土壤的下渗速度才会产生地表径流, 即超渗产流<sup>[6]</sup>。雨强越大, 地表径流量就越大, 自然降水留存量的比例便越小, 径流损失水量的比例就越大。另外, 有效水量还与土壤透水性及地表植被等有关<sup>[7]</sup>。就女儿寨小流域来说, 其土壤水分主要来源于降水。植被的截留量因植物的种类的不同而不同, 间隙性降水植物的截留量较多, 集中性降水植物的截留量较少, 通常取日降水量< 3.0 mm 的降水为无效降水量<sup>[8]</sup>。根据农田日渗漏量的观测结果, 坡耕地植物整个生长期日渗漏量很小, 可以忽略不计<sup>[9]</sup>。因此, 以坡面为对象的降水量减少的主要途径是径流损失。因此, 每月土壤有效水量  $P_i$  应为:

$$P_i = R_i - \epsilon_i \times R_i \tag{2}$$

式中:  $R_i$  ——月降水量;  $\epsilon_i$  ——月径流系数。根据小流域生态定位站的水文监测结果,  $\epsilon_i$  取值见表 1。

表 1 小流域  $\epsilon_i$  定位监测结果

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
$\epsilon_i$	0.26	0.41	0.36	0.59	0.48	0.48	0.41	0.28	0.14	0.19	0.20	0.22

2.2 土壤可能蒸发量

土壤可能蒸发量( $E_p$ ) 是指在给定的气候条件下, 当坡面上的植物在生长发育过程中有充足的水分供应时, 土壤水分以水汽的形式失去的最大可能量。因此, 它代表一组理想

\* 收稿日期: 2005-08-04  
基金项目: 国家林业局退耕还林效益监测网络、湖南省林业厅重点项目“湖南省退耕还林效益监测”、“湖南省长防林效益监测”资助项目  
作者简介: 田育新(1968-), 男, 副研究员, 主要从事水土保持、森林生态等方面的研究, 已发表论文 20 多篇。

条件下的水汽通量。而实际土壤蒸发量是指水汽从地面和地面植物返回大气的真实速度,其大小与降水量成正比,雨量愈丰沛,实际土壤蒸发量就愈大,但它有一个上限,即为可能最大蒸发量,它是植物生长的最大需水量,也就是在一定的太阳辐射、气温和养分有效的供应状态下,植物生长达到最大限度时所需的土壤含水量。

桑斯维特(Thornthwait C W)以月平均温度为主要依据,考虑月内的可日照时数,在大量观测数据的基础上建立了计算最大土壤蒸发量( $E_{pi}$ )的经验公式,经修正后得出<sup>[9]</sup>:

$$E_{pi} = 16 \times f_i \times (10t_i/H)^a \times (S_i/360) \tag{3}$$

$$a = 0.675 \times 10^{-6} \times H^3 - 0.771 \times 10^{-2} \times H + 0.49239 \tag{4}$$

$$H = \sum_{i=1}^{12} (t_i/5)^{1.514} \tag{5}$$

式中: $f_i$ ——月参数;  $a$ ——常数;  $H$ ——年热指数;  $S_i$ ——月内可照时数;  $t_i$ ——各月平均温度。

3 小流域土壤干旱指数分析

3.1 小流域每月降水量

通过对女儿寨小流域的降水量分类统计(见表 2),从表中可以发现,小流域年内降雨分配不均,最大月降雨量出现在 7 月,降雨量达 291.50 mm,最小月降雨量出现在 12 月,降雨量仅为 53.40 mm,最大月降雨量是最小月降雨量的 5.46 倍。年内降雨集中性很大,主要集中在 4~ 10 月,其降雨量占全年降雨量的 68.5%。小流域年内降雨的分配不均和高度集中,是导致不同时间内发生干旱程度不同的主要原因。

表 2 每月降雨量统计表

月份	范围/mm	平均/mm	标准差
1 月	29.1~ 133.3	63.40	42.05
2 月	36.7~ 93.7	69.06	27.76
3 月	63.2~ 122.5	93.42	26.58
4 月	63.1~ 368.3	172.96	116.77
5 月	67.6~ 281.5	187.92	85.53
6 月	76.9~ 328.1	219.86	94.21
7 月	134.1~ 516.7	291.50	150.95
8 月	41.3~ 224.7	113.88	82.86
9 月	11.8~ 151.7	77.56	54.21
10 月	37.9~ 172.4	106.36	55.38
11 月	41.9~ 96.4	63.00	21.45
12 月	35.4~ 81.8	51.30	18.47

3.2 小流域土壤每月可能最大蒸发量

根据多年的观测资料,通过公式(3)、(4)、(5)可计算出小流域各月的土壤可能最大蒸发量(见表 3)。从表 3 中可以看出,各月的土壤最大蒸发量变化比较悬殊,最大土壤可能蒸发量出现在 7 月,可能蒸发量达 298.08 mm,最小土壤可能蒸发量出现在 12 月,可能蒸发量仅为 11.14 mm,月最大土壤可能蒸发量是最小可能蒸发量的 26.76 倍。5~ 9 月是土壤可能蒸发量的高值区,4、10 月是土壤可能蒸发量的中值区,1、2、3、11、12 月是土壤可能蒸发量的低值区。小流域年内土壤可能蒸发量的分配不均和高度集中,是导致不同时间内发生干旱的程度不同的又一主要原因。

3.3 小流域每月土壤干旱指数

通过公式(1)、(2)计算得到小流域每月的干旱指数(见图 1)。图 1 中的数值大小反映了每月小流域内土壤的干旱程度的强弱,数值越小,则土壤干旱程度越强烈,若土壤干旱指数

$\geq 0$ ,则为正常年份。3、6、7、8、9、10 月,小流域内会有干旱情况发生,尤以 6、7、8、9 月的干旱最为严重,10 月小流域内仍有中度干旱的影响。3、6、7、8、9、10 月,土壤的有效水量均小于可能最大蒸发量,从而导致计算得到的土壤干旱指数为负值,表明了小流域发生干旱的频率较大和严重程度。

表 3 土壤每月可能最大蒸发量计算成果表

月份	范围/mm	平均/mm	标准差
1 月	11.09~ 14.99	13.42	1.88
2 月	32.81~ 38.03	35.25	2.11
3 月	54.73~ 64.8	58.39	4.05
4 月	71.91~ 114.77	85.15	18.3
5 月	88.39~ 152.22	125.16	24.96
6 月	180.75~ 281.91	222.13	37.91
7 月	261.33~ 339.96	298.08	28.69
8 月	225.66~ 347.88	271.92	51.83
9 月	114.77~ 196.67	153.17	34.22
10 月	82.87~ 105.65	96.97	9.18
11 月	34.73~ 47.15	38.27	5.09
12 月	10.33~ 11.99	11.14	0.76

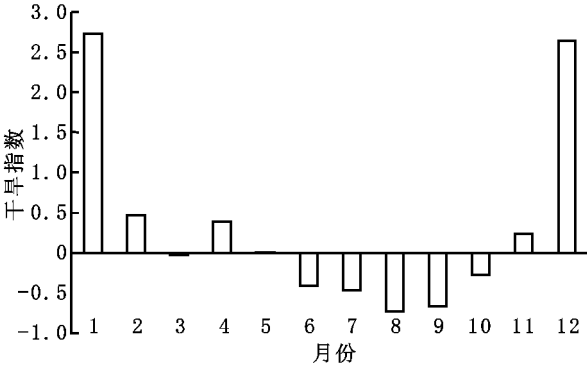


图 1 小流域土壤干旱性指数月间变化图

根据图 1 计算得到的土壤干旱指数,将小流域的土壤干旱类型等级划分为正常月份( $I_i \geq 0$ )、轻旱月份( $-0.2 \leq I_i < 0$ )、中旱月份( $-0.4 \leq I_i < -0.2$ )和重旱月份( $I_i < -0.4$ ),指标见表 4。根据表 4 干旱类型等级的划分指标,我们不难发现,女儿寨小流域是一个干旱多发且比较严重的区域。正常月份为 1、2、4、5、11、12 月,轻旱月份为 3 月,中旱月份为 10 月,重旱月份为 6、7、8、9 月。

表 4 干旱类型等级划分指标

类型	干旱指数/ $I_i$
正常月份	$I_i \geq 0$
轻旱月份	$-0.2 \leq I_i < 0$
中旱月份	$-0.4 \leq I_i < -0.2$
重旱月份	$I_i < -0.4$

根据当地多年干旱统计资料显示,女儿寨小流域 3 月干旱发生率为 15%,10 月干旱发生率为 33%,6、7、8、9 月干旱发生率为 64%~ 88%。因此,本研究结果与当地多年干旱统计资料的显示结果是相符的。

4 小流域农、林业生产活动中应注意的几个问题

根据女儿寨小流域干旱指数和干旱等级的判定结果,小流域及其周边区域在进行农、林业生产活动时应注意以下几点:

(1) 农事活动应根据每月的干旱指数合理安排播种时间。生长期以 3 月为主的农作物, 应考虑其适度的耐旱性; 生长期以 6, 7, 8, 9 月为主的农作物, 农作物要有较强的耐旱能力; 生长期以 10 月为主的农作物, 农作物要有一定的耐旱能力。否则, 干旱会影响农作物的生长发育, 并造成减产甚至绝收的现象。

(2) 小流域内造林树种的选择应以耐旱、较耐旱的树种为主; 小流域内的造林活动应主要安排在 11, 12, 1, 2 月内进行, 最佳时期应为 11, 12, 1 月, 因为这一期间土壤出现干旱的可能性比较小, 有利于提高造林的成活率。2 月为一般造林时期, 这主要是因为造林树种的成活需要一定的时间, 如果树种尚未完全成活就进入到 3 月干旱月份, 势必影响造林成活率。

(3) 4, 5 月正至“梅雨”季节, 降雨量充沛, 小流域内各种贮水的水利设施应做好蓄水抗旱的准备。

## 5 小 结

(1) 女儿寨小流域降雨和土壤可能蒸发量的高度集中性, 是导致小流域月间干旱程度不同的根本原因。

参考文献:

- [1] 刘洪斌, 王伟, 谢德体, 等. 湿润地区土壤干旱指数模型分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 149–151.
- [2] Karl T R. The sensitivity of the Palmer Drought severity index and Palmer's Z-index to their Calibration Coefficients Including potential evapotranspiration[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1986, (1): 77–86.
- [3] Dracup J A. On the Statistical Characteristics of Drought Events[J]. Water Resources Research, 1980, 16(2): 289–296.
- [4] 李韵珠. 作物和土壤旱性的温差模型[J]. 气象, 1992, 18(5): 9–15.
- [5] 卢玉帮. 土壤水分预报模型的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(1): 51–56.
- [6] 赵人俊. 流域水文模型——新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. 55–68.
- [7] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 91–140.
- [8] 施成熙. 陆地水文学[M]. 北京: 科学出版社, 1959. 231–234.
- [9] 曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. 40–45.

(上接第 195 页)

合理调整工业布局, 优化水资源配置; 严格限制引进、新上高耗水项目; 禁止高污染项目上马; 淘汰落后高耗水工艺和设备, 下决心关闭自备井, 实行统一供水。通过综合节水措施, 实现“三个转变”, 即把水作为一般性资源向战略性资源认识转变, 由粗放经营方式向集约型经营方式转变, 由依靠增量解决水资源短缺向重视节水、防污和重复利用转变<sup>[7]</sup>。

参考文献:

- [1] 宁夏回族自治区的水环境 [EB/OL]. <http://www.agriyc.gov.cn>, 2004–08–12.
- [2] 宁夏回族自治区概况 [EB/OL]. <http://www.agriyc.gov.cn>, 2004–08–12.
- [3] 宁夏回族自治区气候资源 [EB/OL]. <http://www.agriyc.gov.cn>, 2004–08–12.
- [4] 宁夏气温、降水量、日照时数和气候条件 [EB/OL]. <http://www.agriyc.gov.cn>, 2004–08–12.
- [5] 宁夏回族自治区水利简介 [EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn>, 2004–05–18.
- [6] 构建人水和谐宁夏 [EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn>, 2005–10–11.
- [7] 戈敢, 催永庆, 赵文俊, 等. 宁夏黄灌区水资源合理配置与节水体系建设研究[J]. 宁夏农林科技, 2005, (增刊): 21–37.
- [8] 张薇, 吴强力. 浅析宁夏地下水资源的合理开发与利用[J]. 水利技术监督, 2004, (5): 35–37.
- [9] 曹学明, 刘华. 宁夏地下水水质评价分析[J]. 宁夏工程技术, 2004, 3(3): 385–38.
- [10] 熊伟, 肖青. 宁夏水资源的分布与污染[J]. 西部探矿工程, 2005, (10): 232–233.
- [11] 王喜民, 步丰湖. 河套灌区骨干渠道衬砌工程的实验与探讨[J]. 中国水利, 2004, (3): 47–48.
- [12] 赵国胜, 阮锦超, 赵晓斌. 宁夏地区的渠道衬砌[J]. 宁夏工程技术, 2004, 3(2): 194–195.
- [13] 张华, 汪文浩, 张自国. 宁夏水资源开发利用与预测分析[J]. 宁夏科技, 2001, (6): 31–32.
- [14] 宁夏水文水资源勘测局, 宁夏水环境监测中心. 宁夏水资源质量评价及分析研究[R]. 1999.
- [15] 全达人. 宁夏引黄灌区的井灌特点[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2004, (1): 93–94.
- [16] 宁夏回族自治区农业建设委员会. 节水灌溉实用技术[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1997. 281.
- [17] 张蔚榛. 有关农业节水的几点认识[J]. 中国水利, 2001, (8): 39–40.

(2) 女儿寨小流域是一个干旱多发且比较严重的区域。正常月份为 1, 2, 4, 5, 11, 12 月, 轻旱月份为 3 月, 中旱月份为 10 月, 重旱月份为 6, 7, 8, 9 月。

(3) 当地多年干旱统计资料显示, 本研究通过气象基础数据库在考虑降雨、径流和土壤可能蒸发的综合作用条件下, 提出了干旱指数模型及干旱等级划分标准是比较符合实际的。

(4) 小流域内在进行农、林业生产活动时, 应以耐旱、较耐旱的植物为主, 并根据每月的干旱指数合理安排播种和栽培时间, 尽量把干旱引起的损失降低到最小程度。

## 6 讨 论

越来越多的事实证明, 干旱是我省主要自然灾害之一, 干旱的影响是极其广泛、巨大和深远的, 包括对经济、人类社会及自然环境等诸多方面的影响。为了实现及时客观地对干旱的影响进行评估, 必须以小流域为基本单元, 建立干旱监测和警报系统, 及时准确地向各级领导部门传递干旱的发生、发展、持续、缓解、结束及严重性等信息。