

区域土壤墒情模型研究

蒋洪庚, 夏自强, 陈海芳

(淮海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 运用平原水文模型, 参考不同作物不同生长期蒸散发特点及土层结构和土层蓄水量与土壤墒情之间的关系, 构建区域土壤墒情模型, 并利用山西省洪洞县实测土壤墒情资料对该模型进行了检验. 检验结果表明, 模型物理概念明确, 可连续模拟或预报区域土壤墒情, 且预报精度高.

关键词 土壤墒情; 水文模型; 墒情预报; 腾发量

中图分类号 S152 文献标识码 A 文章编号 1000-1980(2000)05-0021-04

区域土壤墒情是农业水文诸多因素中的一个重要因素, 墒情预报是农田用水管理和区域水资源管理的一项基础工作, 对于农田灌溉排水的合理实施、农作物的增产与节约用水、四水转化关系的分析和提高水资源的利用率等均有重要作用. 鉴于此, 近年来土壤墒情研究成了国内外农业水利的一个热点, 并提出了许多墒情预报的方法. 常见的预报方法有经验公式法、土层水量平衡法、土壤水动力学法、消退系数法^[1]及随机方法^[2]等. 由于土壤水增加和消退的影响因素很多, 土层水量变化复杂, 这些常见方法, 有些虽理论较为成熟, 但实际很难应用, 如土壤水动力学方法和土层水量平衡法, 前者由于实际土壤构成复杂而难以应用, 后者由于所需观测项目较多而难以应用; 有些(如经验公式法)虽观测项目不多, 但不易推广应用, 且要建立经验公式, 观测的系列就不能太短. 目前尚未出现一个被广泛采用而精度又能满足要求的区域墒情预报方法.

本文利用概念性水文模型在流域蓄水(主要为土壤水)的补给、消耗及流域产流模拟和预报方面已取得的成果, 依据农作物实际需水的情况对原概念性流域水文模型中区域蒸发和流域蓄水算法进行修改, 建立了区域土壤墒情模型.

1 区域土壤墒情模型的构建

1.1 平原水文模型简介

本文采用的概念性水文模型原型是平原水文模型^[3]. 其模型结构如图 1 所示, 它表达了以垂向水分运行为主的单元模块上的水文过程. 在垂向上, 土柱分为非饱和的土壤层和饱和的地下水层, 非饱和土壤层又分为疏松的上层和密实的下层, 土壤中的水分可分为张力水和自由水.

降雨(P)首先补充上层土壤水($W_{s上}$). 当上层土壤水达到其持水能力($W_{m上}$)时, 超过的部分就成为上层自由水(R_j), 暂蓄于上层土壤中. 上层自由水其中一部分通过土壤龟裂缝、根洞、虫穴等大孔隙直接渗漏至地下饱和水带(f_m), 另一部分通过土壤毛细孔隙下渗进入下层土壤(f). 在下层土壤达到持水能力的地方, 将有水分渗透至地下饱和带(f_c). 上层自由水超过大孔隙渗漏和毛细孔隙下渗渗漏的部分, 将形成侧向的表层径流(R_s). 若自由水量很多以致溢出地表, 则侧向径流中还包括部分地表径流. 表层和地表径流进入河网, 形成河道水流中快速反应的直接径流部分(Q_s).

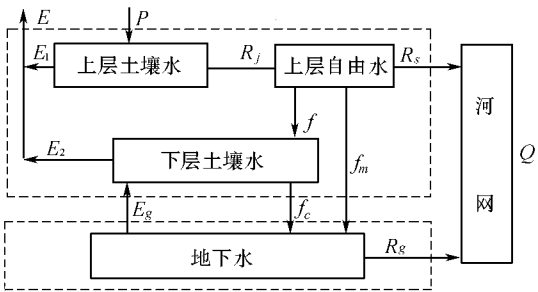


图 1 平原水文模型单元模块结构

Fig.1 Structure of plain hydrologic model

地下水一面接受大孔隙渗漏和毛管孔隙的补给($f_g = f_c + f_m$),一面向沟道河网侧向排泄(R_g),形成河道水流中慢速反应的地下径流部分(Q_g).在无雨期,地下水入渗补给终止后,受外界蒸发影响,通过毛管上升作用,向其上的土壤层输送水分,形成潜水蒸发(E_g).

上层土壤水由降水补给,被蒸发所消耗;下层土壤水($W_{s下}$)由自上而下的毛管水下渗和自下而上的潜水蒸发补给,由蒸发消耗.上下土层蒸发(E)包括植物散发和裸土蒸发.

整个系统输入为降水量 P 输出为径流量 $R (= R_s + R_g)$ 和实际蒸散发 E ,系统内的蓄量包括上层土壤蓄水量、下层土壤蓄水量和地下蓄水量 W_g ,系统水量平衡方程为

$$P = R + E + \Delta W_s + \Delta W_g$$

式中 $\Delta W_s = (\Delta W_{s上} + \Delta W_{s下})$ 和 ΔW_g 分别为时段始末土壤水和地下水增量.因上层自由水消退很快,一般在土层中停滞不到 1d,无需考虑其蓄变量.

上述系统又分为土壤水子系统和地下水子系统两个子系统,如图 1 中虚线所示.土壤水子系统的水量平衡方程为

$$P + E_g = R_s + E + f_g + \Delta W_s$$

地下水子系统的水量平衡方程为

$$f_g = E_g + R_g + \Delta W_g$$

以上是单元体模块的结构,流域可以有若干单元体组成.单元体的划分原则上决定于下垫面条件,实用上常决定于雨量站分布,即一个雨量站控制的范围作为一个单元体.每个单元体的产流,通过河网子系统汇集到流域出口断面,形成流域的出流过程(Q).

2.2 土壤、作物实际腾发量计算模型

2.2.1 原平原水文模型中实际腾发量的计算模型

实际腾发量是指在田间栽培条件下实际发生的蒸发蒸腾量,原型平原水文模型中实际腾发量的计算,其表土层内的水分的蒸发按陆面蒸发能力 E_m 蒸发,

$$E_m = K_1 \times K_2 \times E$$

下层土壤水分,由于表土层的阻隔,蒸发量按下式计算:

$$E_{m下} = E_k \times E_m$$

式中: E ——蒸发皿观测的水面蒸发量; K_1 ——蒸发皿折算系数; K_2 ——水陆面蒸发折算系数; E_k ——蒸发衰减系数.

2.2.2 作物实际腾发量计算模型

本文改进后的模型,作物实际腾发量(ET)与参考作物潜在腾发量(ET_0)之间存在着一定的关系,因而逐日作物实际腾发量可以采用如下公式计算:

$$ET_i = K_{ci} \times K_{si} \times ET_{0i}$$

式中: K_{ci} ——第 i 日作物系数; K_{si} ——第 i 日土壤水应力订正系数,又称土壤供水系数; ET_0 ——参考作物潜在腾发量.

土壤水应力订正系数 K_{si} 反映了土壤水分不足对蒸发蒸腾量的影响,主要取决于土壤水分状况,采用下式计算:

$$K_{si} = \begin{cases} 1 & \theta_i \geq 100 \\ \ln(1 + \theta_i) / \ln 101 & 100 > \theta_i \geq \theta_c \\ \epsilon \cdot e^{\frac{\theta_i - \theta_c}{\theta_c}} & \theta_c > \theta_i \end{cases}$$

式中: θ_i ——土壤平均相对有效含水率; θ_c ——蒸发蒸腾开始受土壤含水率影响的临界含水率,其相对值约为 50; ϵ ——由实测资料分析确定的经验系数,它随作物生育阶段和土壤条件而变化,但接近于 1,为了计算方便,把 ϵ 近似取为 1.0.

作物系数 K_{ci} 反映了作物品种、生长阶段、干物质的形成与积累对蒸发蒸腾的影响,主要取决于作物类别及覆盖度,本文 K_{ci} 是根据山西省洪洞县霍泉试验站实测灌溉制度成果分析得到的.

采用联合国粮农组织(FAO)1991 年专家咨询会推荐的改进 Penman 法对山西省洪洞县气象站观测的

1982~1996 共 15 年逐日气象资料进行了分析,得到霍泉灌区 ET_0 的逐日变化规律,据此提出 ET_0 逐日预报模型

$$ET_{0i} = \Psi_i \cdot \overline{ET_{0max}} \cdot e^{-\left(\frac{I_m-i}{A_0}\right)^2}$$

式中: Ψ_i ——第 i 日天气类型修正系数,根据气象部门提供的晴、多云、阴及雨天预报结果查灌区天气类型修正系数表而定; $\overline{ET_{0max}}$ ——多年平均最大日参考作物腾发量,分析得 5.412 mm/d; I_m ——对应于 $\overline{ET_{0max}}$ 的日序数,此处为 186; A_0 ——随日序数变化的参数^[4].

2.3 土层张力水与土层含水率(土壤墒情)的换算关系

2.3.1 土层张力水的运动规律

 原平原水文模型中,流域蒸发是以两层蒸发模型来模拟的,蒸发的水分首先来自上层,当上层含水量减为零后再蒸发下层.这种计算方法符合流域蒸发数值变化规律,但不符合实际土壤中水分的消退规律.实际土壤中水分的消退,几乎不会发生表层土壤中水分消退到零而下层土壤中的水分还未出现消退的情况.原因很简单,土壤中的上层和下层是连通的,由于土壤中水势的作用,土壤中的水分随土壤上层和下层水势的变化而随时都在变动.一般情况是,当上层土壤水分消退到一定程度时,下层土壤水分将跟着一起消退.

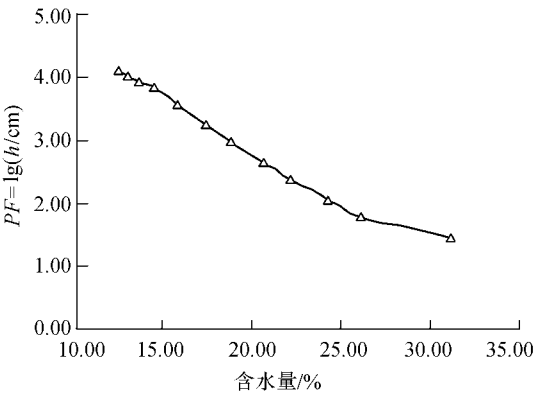


图 2 霍泉灌区土壤水分特征曲线

2.3.2 土层含水率计算

 本文根据离心机所做实验得出的山西省洪洞县霍泉灌区土壤水分特征曲线(综合图 2),并考虑农作物实际生长情况(特别是灌溉制度),确定土壤水分消退的下限值 $\theta_{限}$.在霍泉灌区,选择 $\theta_{限} = 13\%$,则上、下层土壤含水率的计算公式为

$$\theta_{上} = \frac{WU}{WUM}(\theta_{田} - \theta_{上限}) + \theta_{上限} \qquad \theta_{下} = \frac{WL}{WLM}(\theta_{田} - \theta_{下限}) + \theta_{下限}$$

3 模型验证与结果分析

 本文使用山西省洪洞县霍泉灌区 1975~1985 年资料对模型进行了率定,并选取 1994 年的实测土壤含水量与模型计算值进行了比较,比较结果如表 1 所示.

表 1 1994 年土壤含水量实测值与计算值的比较

Table 1 Comparison between observed value and calculated value of soil moisture content for 1994									
日期	实测值/%	不考虑灌水				考虑灌水			
		计算值/%	计算误差/%	允许误差/%	合格否	计算值/%	计算误差/%	允许误差/%	合格否
2 月 19 日	17.2	17.5	-0.3	3.4	✓	17.5	-0.3	3.4	✓
3 月 1 日	17.4	17.3	0.1	3.5	✓	17.3	0.1	3.5	✓
3 月 9 日	18.4	17.0	1.4	3.7	✓	17.0	1.4	3.7	✓
3 月 19 日	26.1	16.8	9.3	5.2	×	23.5	2.6	5.2	✓
3 月 29 日	21.5	16.3	5.2	4.3	×	22.2	-0.7	4.3	✓
4 月 9 日	25.9	17.5	8.4	5.2	×	24.2	1.7	5.2	✓
4 月 19 日	23.9	19.4	4.5	4.8	✓	24.8	-0.9	4.8	✓
4 月 29 日	17.8	17.6	0.2	3.6	✓	23.5	-5.7	3.6	×
5 月 9 日	20.0	15.4	4.6	4.0	×	20.8	-0.8	4.0	✓
5 月 19 日	17.0	14.9	2.1	3.4	✓	18.7	-1.7	3.4	✓
5 月 29 日	18.4	14.4	4.0	3.7	×	17.9	0.5	3.7	✓
6 月 9 日	18.3	15.5	2.8	3.7	✓	19.0	-0.7	3.7	✓
6 月 19 日	16.1	15.9	0.2	3.2	✓	19.3	-3.2	3.2	✓

注:×——不合格,✓——合格.

从表1可以看出,3月19日在无降雨的情况下,实测土壤含水量骤然升高,出现违反常规的现象.这是由于当时正处于冬小麦返青—拔节时期,而山西省洪洞县霍泉灌区在此期间都要对小麦进行一次春灌所造成的.考虑这一年3月19日灌区实际灌水量60mm和4月9日实际灌水量20mm后,计算结果和实测结果如表1和图3所示.

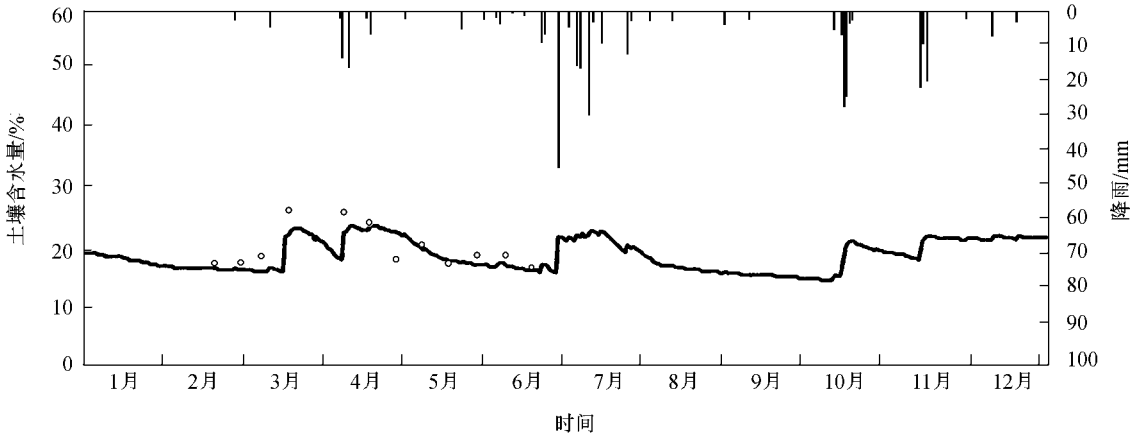


图3 考虑灌水情况下实测土壤含水量与预报值的模拟

Fig.3 Simulation of observed value and calculated value of soil moisture content under irrigation

从表1和图3可以看出,除4月29日外,其余计算误差均满足精度要求.在无降雨的情况下,依据土壤水消退规律,4月29日土壤含水量值应在4月19日至5月9日之间,现其实测值明显偏小,可能是观测造成的误差.总的来说,模型的计算结果与实测值较为吻合.

4 结 语

- a. 本文运用改进的概念性水文模型进行区域土壤墒情预报,取得了较为理想的结果.
- b. 本文的区域土壤墒情模型是在平原水文模型的基础上略作修改提出的,模型的率定仅需一般概念性水文模型所需的常规水文观测的降水量、径流量、蒸发量,加上灌溉量和本区域的土壤水分特性曲线即可.
- c. 区域土壤墒情模型继承了许多平原水文模型的优点,除可预报土壤墒情外,还可预报河川径流量、地下水位涨落变化.
- d. 区域土壤墒情模型刚刚提出而且仅用洪洞县霍泉灌区资料进行了检验,今后在实践中还需扩大检验,完善模型理论,使其成为较为实用的土壤墒情模型.

参考文献:

[1] 张胜平,杨罗.山东省墒情规律分析及实用墒情预报方案编制的探讨[J].水文,1996(3):24~30.
[2] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994.209~213.
[3] 刘新仁,王玉太,朱国仁.淮北平原汾河流域水文模型[J].水文,1989(1):12~18.
[4] 顾世祥.灌溉配水系统实时调度研究[D][学位论文].武汉:武汉水利电力大学,1997.

Study on Regional Soil Moisture Content Model

JIANG Hong-geng, XIA Zi-qiang, CHEN Hai-fang

(College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: The hydrologic model is used to build a model for simulating and forecasting soil moisture content on the basis of the characteristics of evapotranspiration of different crops during different growth periods and the relationship between soil layer structure, soil water storage and soil moisture content. The result of simulation shows satisfactory agreement with the observed soil moisture content data in Hongdong county, Shanxi province.

Key words: soil moisture content; hydrologic model; soil moisture forecast; evapotranspiration