

文章编号:0559-9350(2010)06-0739-09

基于分布式水文模拟的干旱评估预报模型研究

许继军¹ 杨大文²

(1. 长江委长江科学院,湖北 武汉 430010;2. 清华大学 水利系水沙科学国家重点实验室,北京 100084)

摘要:本文从流域水文循环角度,以长江上游为例,利用数字高程、气象水文、土壤植被和土地利用等地理信息数据,采用分布式水文模型模拟水文过程各环节,获取各项气象水文要素。继而依循 PDSI 干旱模式原理,建立了干旱评估预报模型 GBHM-PDSI。对 2006 年重庆地区严重干旱事件的模拟应用表明,该模型不仅能综合评估旱情等级,而且可以定量地描述干旱的发生、发展直至结束过程,在表现旱情的地区差异和随时间的演变过程等方面具有优势,且能够结合气象信息对旱情发展进行推演预报。

关键词:干旱评估预报模型;分布式水文模型;PDSI;长江上游;2006 年重庆旱灾

中图分类号:P333

文献标识码:A

1 研究背景

干旱缺水已经成为制约我国经济社会可持续发展的重要因素之一。我国历史上旱灾频繁,但目前出现的新趋势却更加令人忧虑,近年来全国几乎所有省份,都发生过干旱,且旱灾损失呈增加趋势。即使是南方湿润地区,局部旱灾损失甚至大于洪灾。近年干旱造成的损失严重,除与气候变化引起的局部降水偏少原因外,也与水利基础设施配套不全、农业生产技术落后、难以抵御自然灾害的现状有关。此外,干旱预报和预警的技术工作跟不上,也是一个重要的不利因素。

相对于洪涝灾害研究而言,目前我国在干旱方面的基础研究还比较薄弱,尚不能为抗旱减灾工作提供有力的科技支撑。主要有两点不足:一是对旱灾成因条件和灾变过程机制缺乏认识,没有制定针对性强、科技含量高的干旱防治规划和应急预案;二是在干旱评估模型和预报技术上还不成熟,只能依赖于气象预报,还没有建立专业的干旱预报和灾情预警体系。这两点在很大程度上导致对干旱的预防和应对能力不强,只能“被动抗旱”,而做不到“主动防旱”,这是当前迫切需要研究解决的关键问题。

已有的干旱评估方法和旱情等级指标^[1-2]只能对已发生的旱情状况进行评估,不能进行灾情预报,而且仅仅局限于气象上的降水预报。实际上旱灾形成是一个缓慢的发展过程,降水偏少是起因,但还与各地区的前期水雨情、土壤类型、作物种类、气温、季节和供水等条件密切相关。另一方面,由于现有干旱模型方法缺乏物理机制,只是依据干旱形成的某一因素(如降水距平)或旱情表现的某一特征(土壤墒情)来判断干旱严重程度,因此难以客观地反映干旱形成的复杂性和影响的广泛性,并且在体现旱情的地区差异和随时间的演变过程等方面也存在不足,更不能结合气象预报来进行干旱灾害预报和预测。考虑到干旱是水文循环过程中出现的对人类社会具有破坏性的一种水文现象^[3],因此,需要从流域/区域水文循环过程系统认识干旱的形成和发展机理。

本文结合长江流域抗旱形势的需要,从水文循环过程的角度,采用机理性的分布式水文模型来模拟

收稿日期:2009-06-22

基金项目:长江科学院中央级公益性科研院所基金项目(YWF0901/ZY01)

作者简介:许继军(1971-)男,湖北武汉人,博士,高级工程师,主要从事分布式水文模型及其在水资源评价、洪水预报、干旱评估和数字流域中的应用研究。E-mail: xujj07@163.com

流域水文过程,获悉流域内各项气象水文要素,藉此建立干旱评估预报模型,为今后构建长江流域干旱评估和预报预警系统奠定数学模型基础。

2 基于分布式水文模拟的干旱模型建立

以长江流域上游为例,采用分布式水文模型模拟流域水文过程,获取流域内径流、蒸发和土壤水等各项水文要素信息。利用这些要素信息,采用降水距平、径流距平、干湿、土壤含水率等常规指标,分别评估各类旱情的状态;同时,在水分平衡计算的基础上,构建干旱评估预报模型。本文重点讨论如何构建干旱评估预报模型。

2.1 流域水文过程的分布式模拟 利用数字地形 DEM 以及相关的地理信息数据,依据流域的地形地貌特征,构建了基于山坡水文过程的 5km 网格单元的分布式水文模型 (GBHM)。模型构建方法参见文献 [4-5]。其中数字地形来自中国测绘局 25m×25m 网格的 DEM 数据。土地利用资料来源于 USGS 的全球土地利用数据库 2.0 版,数据空间分辨率是 1km,依据长江上游的特点,将原 USGS 的 24 种土地利用类型重新归为 10 类,分别为水体、城镇、裸地、森林、灌木、农田、草地、湿地、坡地和冰川。土壤分类及其属性资料来源于中科院南京土壤研究所,空间分辨率为 2km,在研究区域共划分了 81 种土壤类型^[6]。植被变化用逐月的叶面积指数 (LAI) 来表示,该指数根据逐月的 NDVI 数据 (来源于 NOAA 遥感影像,分辨率为 0.1° 弧度) 来估算。

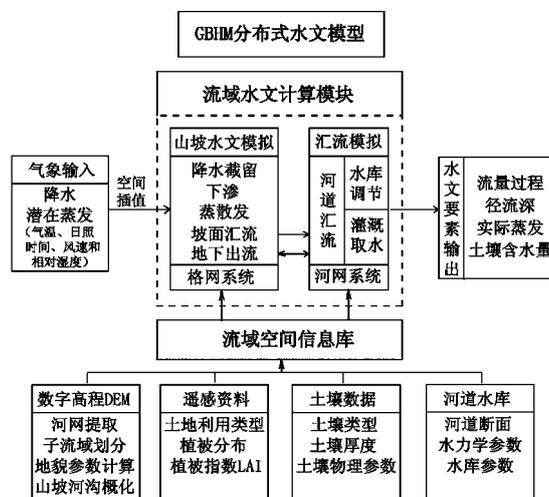


图 1 GBHM 模型框架

GBHM 模型由 4 个主要部分组成,包括流域空间信息库、流域水文计算模块、气象输入模块和水文要素输出模块 (见图 1)。由初始的流域空间信息库生成以山坡单元组成的空间格网系统和以河沟水系组成的河网系统。其中在格网系统中进行基本的山坡水文过程模拟,包括降水冠层截留、地表积雪和融雪、冠层截留蒸发、叶面蒸腾、地表蒸发、入渗和土壤水分运动、坡面汇流和潜水流等 (见图 2)。

在河网系统中采用一维运动波方程进行河道汇流计算,得到各个子流域和全流域的径流过程。模型的输入为各项气象因子,包括日的降水、气温、风速、相对湿度和日照时间,采用距离方向加权平均法将气象站点的的数据插值到流域格网系统中的每个单元上。模型计算时间步长为小时,模型输出包括:各子流域出口处的河道日径流过程线,以及各项气象和水文要素的空间分布图 (网格尺度为 5km,时间尺度为旬),

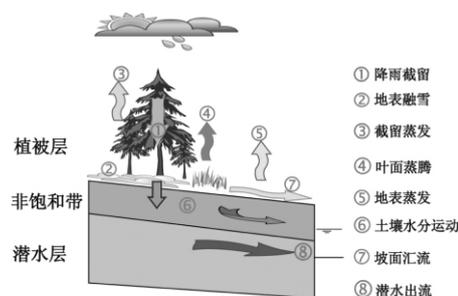


图 2 山坡单元水文过程描述

如地表径流深、实际蒸发量和表层土壤含水率等。模型经率定和验证后,完整地模拟了长江上游 1961—2000 年期间的水文过程。

2.2 干旱评估预报模型建立 美国气象学家 Palmer 先生于 1965 年提出的 PDSI (Palmer Drought Severity Index) 干旱指标^[7]能够综合反映水分亏缺量和持续时间因子对干旱程度的影响,其中的水分亏缺考虑了降水、蒸散、径流和土壤含水率,依据水量平衡方法求得,与当地多年来确定的所需降水量挂钩,并考虑前期的天气条件。该指标具有较好的时空可比性,基本上能描述干旱发生、发展直至结束的全过程变化,是定量评估旱情的较好模式^[8-9]。该模式已在国内得到了一定的应用和对比研究^[10-12]。本文按照 PDSI 思路,利用前面水文过程分布式模拟获得的气象水文要素,构建了基于 5km 网格单元、旬尺度的 GBHM-PDSI 干旱模型。

2.2.1 水量平衡各分量计算 在原 PDSI 干旱模式中,Palmer 利用气象站点的长期气象观测数据,并采用简单的水量平衡模型来计算干旱评估所需要的各项水文分量的实际值和可能值(也称为潜在值)。该模型将土壤分为上、下两层,如图 3 所示。

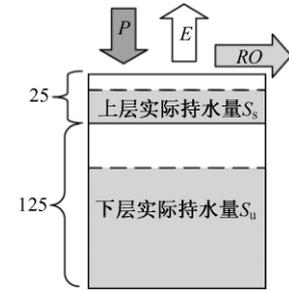


图 3 Palmer 水分平衡计算示意

从水文角度分析,Palmer 在计算上述分量所采用的水量平衡模型,实际上是一个简化的概念性水文模型。该模型只是概念性地考虑了代表点的水量收支情况,并没有考虑实际的降雨—产汇流过程。本文采用图 2 所示的基于对降雨—产汇流过程机理性模拟得到的网格单元的各项水文参量,来计算干旱评估所需要的各水文分量的实际值和可能值,以此建立干旱评估预报模型 GBHM-PDSI。

2.2.2 各旬气候水文常数计算 选择 27 个具有代表性的地点(见图 4),利用这些代表点所在的网格单元的气象水文参量(分布式水文模拟输出的),分别统计各点的长期气象水文常数,包括:(1)蒸散常数: $\alpha = \overline{ET}/\overline{PE}$,其中 \overline{ET} 、 \overline{PE} 分别为多年的旬均实际蒸发量和可能(潜在)蒸发量;(2)补水常数: $\beta = \overline{R}/\overline{PR}$,其中 \overline{R} 、 \overline{PR} 分别为多年的旬均实际补水量和可能补水量;(3)径流常数: $\gamma = \overline{RO}/\overline{PRO}$,其中 \overline{RO} 、 \overline{PRO} 分别为多年的旬均实际径流量和可能径流量;(4)失水常数: $\delta = \overline{L}/\overline{PL}$,其中 \overline{L} 、 \overline{PL} 分别为多年的旬均实际失水量和可能失水量;(5)气候特征常数: $k^* = \frac{(\overline{PE} + \overline{R})}{(\overline{P} + \overline{L})}$,其中 $\overline{PE} + \overline{R}$ 表示多年的旬均水分需求, $\overline{P} + \overline{L}$ 表示多年的旬均水分供给,这两者的比值能够反映出不同地区和不同旬的水分气候差异。

每旬的实际蒸发量 ET_i 、可能蒸发量 PE_i 和实际径流量 RO_i 是直接利用各网格单元的水文模拟结果,其它一些参量可以利用网格单元土壤含水率的模拟结果按下列公式计算:

实际补水量:

$$R_i = \max(0.0, (C_{i+1} - C_i) \times (\theta_s - \theta_r) \times S_d) \quad (1)$$

可能补水量:

$$PR_i = (1 - C_i) \times (\theta_s - \theta_r) \times S_d \quad (2)$$

可能径流量:

$$PRO_i = C_i \times (\theta_s - \theta_r) \times S_d \quad (3)$$

实际失水量:

$$L_i = \min(C_i \times (\theta_s - \theta_r) \times S_d, \max(0.0, ET_i - P)) \quad (4)$$

可能失水量:

$$PL_i = \min(C_i \times (\theta_s - \theta_r) \times S_d, \max(0.0, ET_i - P)) \quad (5)$$

式中: C_i 为某一时段土壤相对含水率(%); θ_s 为土壤饱和含水率; θ_r 为土壤残余含水量, S_d 为土壤层有效厚度,一般取 1.5~2.0m。依据分布式水文模拟结果,分别统计各参量 1961—2000 年期间多年的旬平均值,从而计算出上述气候常数 α 、 β 、 γ 、 δ 、 k^* 。

$$x_i = \sum_{t=1}^i z_t / (5.692t + 37.1) \quad (9)$$

2.2.6 干旱指数累积关系的递推公式 由于早期起始时 z 的累积值不同,对后面时段的 z 值影响较大。甚至会出现两个旬的 z 值虽相同,但一个是出现在几个较湿旬之后,另一个出现在几个较干旬之后,很明显后者的干旱指数应大于前者。因此,必须确定每个旬的 z_i 值对干旱指数 x_i 值的影响^[5]。令 $i = 1, t = 1$, 式(9)则为: $x_1 = z_1 / 42.792$ 。假设本旬是干旱起始旬,则:

$$x_1 - x_0 = \Delta x_1 = z_1 / 42.792 \quad (10)$$

如果要维持上个旬的旱情,随着时间 t 的增加,则水分距平值 z 的累积值必然增加。但 t 的增值是恒定的,即每旬增加 1。因此,维持上个旬的旱情所需要增加的 z 值取决于 x 值,故令:

$$x_i - x_{i-1} = \Delta x_i = (z_i / 42.792) + C \cdot x_{i-1} \quad (11)$$

式中, C 为常数,当 $t = 2, x_{i-1} - x_i = -1$, 利用式(9)和式(10),可计算 $C = -0.133$, 代入式(11)得:

$$x_i = 0.867x_{i-1} + z_i / 42.792 \quad (12)$$

式(12)是计算干旱指数的基本公式之一。由于该式是利用图 4 的 27 个代表点建立的,用于研究区域内的其它地点不一定适合。从实际情况和统计角度考虑,显然不同地点、不同旬的降水距平值有不同的意义。可以比较某地不同年份同一旬的序列距平,而不能比较不同旬或不同地区的距平值。由于同样的水分距平值在不同地点表示的水分短缺程度不同,所以需要式(12)中的 z 值进行正规化处理,使该式计算出的干旱指数有较好的空间可比性。即:

$$z_i = K \cdot d_i \quad (13)$$

式中: $K = 796.4K' / \sum_{i=1}^{24} (DK')$, $K' = 1.812 \ln((\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}) / ((\overline{P} + \overline{L}) \overline{D})) + 6.173$, 其中 \overline{D} (d_i 绝对值 D 的多年平均值)。

式(12)和式(13)即为 GBHM-PDSI 干旱评估方法的数学表达式。

由于该方法是基于分布式水文模型,因此一方面可以利用对过去已发生水文过程的模拟结果,来再现历史干旱事件过程;另一方面,也可以利用气象预报信息(如区域气象模型的输出结果)作为本模型的输入,来推演预报下阶段的旱情发展;还可以利用历史气象统计数据,来推测下阶段干旱发生情况。

3 模型应用实例

利用上述建立的干旱模型 GBHM-PDSI,首先完整地模拟了 1961—2000 年期间整个长江上游的干湿更替过程,确定了干旱模型中的基本参数,然后模拟了 2001—2005 年的干湿变化过程。在此基础上,将 2006 年研究区域的气象数据作为模型输入,采取推演预报的方式,模拟计算了 2006 年期间长江上游旱情发生、发展直至结束的全过程。模型输出为 PDSI 指标表示的旱情等级分布图,其空间尺度为 5km,时间尺度为旬。此外,模型还分别输出了用降水距平、干湿、地表径流距平和土壤墒情等指标表示的旱情等级分布图,以作对比。

3.1 川渝地区 2006 年干旱时空发展过程分析 2006 年初,该地区降水较常年偏少 25% 以上,局部地区达到 80% 以上,长江上游面积超过 60 万 km^2 的川渝地区旱情严重,主要体现在土壤墒情严重缺水。由于该段时间是枯水期,径流少且大部分是由地下水出流所贡献的,因此单从径流距平指标,水文干旱并不严重。到 2 月中旬,区域内降水增加,旱情有所缓解,四川盆地内的旱情轻微,川西高原及云南北部的旱情仍较严重,此状态一直持续到 3 月中下旬。4 月份,除了昆明、攀枝花和西昌一带的旱情进一步加重,长江上游其它地区的旱情逐渐解除。6 月上旬,昆明、攀枝花和西昌一带旱情解除,长江上游基本恢复正常状态。

6 月中下旬,区域内降水开始偏少,川北和重庆地区又开始出现轻微干旱,主要体现在径流的减少,川北的土壤墒情较严重,而重庆地区的土壤墒情尚正常。7 月中下旬,重庆地区降水量连续偏少 45% 以上,导致径流大幅减少,而此时又逢高温天气,蒸发能力强,土壤含水量开始逐渐减少,用 PDSI 指标表示

的重庆地区旱情开始由轻微干旱转变为中等干旱(见图6)。8月份,川渝地区降水量仍然偏少45%以上,局部地区偏少80%以上,且重庆、内江和南充一带持续高温天气。由图6可以看出8月份持续的高温无雨天气条件,直接导致地表径流大幅减少,土壤含水率也大幅降低。用PDSI指标表示的重庆、内江和南充地区的旱情开始由中等干旱发展为严重干旱。

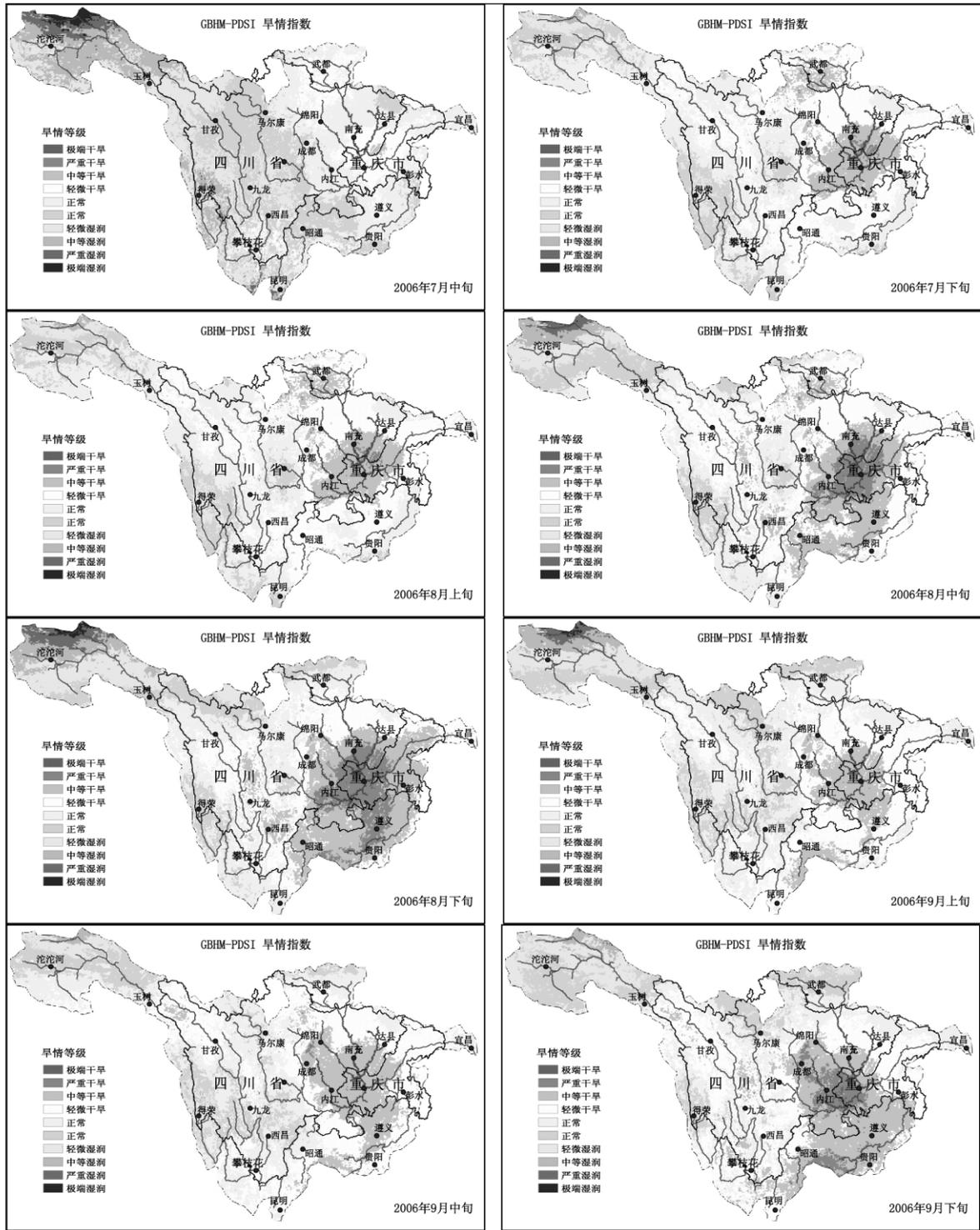


图6 用PDSI指标表示的2006年7—9月期间干旱逐月发展过程(5km网格单元)

9月上旬,川渝地区普降大雨,大部分地区的土壤墒情得到了缓解,但由于前期土壤干涸及地表缺水太严重,降雨并没有形成明显的径流,重庆及周边地区的径流仍严重偏少。用PDSI指标表示的重庆、

内江和南充地区的旱情开始由严重干旱转变为中等干旱(见图6)。9月中旬,重庆、川北、川东和乌江地区的降水量仍较常年偏少,9月下旬,重庆以北地区的降水量正常,而以南地区降水量偏少。该时期重庆地区的土壤墒情不严重,但径流量仍然偏少。用PDSI指标表示的重庆、内江、成都和南充地区的旱情仍处于中等干旱。10月份,长江上游大部分地区出现降水,重庆地区的土壤墒情已恢复正常,从径流量距平值来看,该地区径流仍较常年偏少15%以上。用PDSI指标表示的成都、内江和重庆地区的旱情仍处于中等干旱。到了11月份,重庆地区中上旬的降水量偏少,而下旬则出现明显降水,用PDSI指标表示的旱情已经由中等干旱减弱为轻微干旱。成都和绵阳地区的干旱也由严重干旱减弱为轻微干旱。

3.2 与常用旱情指标比较分析 由于旱灾形成是一个缓慢发展过程,降水偏少是起因,但还与各地区土壤类型、作物种类,以及气温、季节等条件密切相关。相对而言,基于分布式水文过程模拟而计算的PDSI指标,全面地描述了干旱形成的复杂水文循环过程,能够较好地模拟干旱的发生和发展过程,尤其是能够体现出前期的降水丰枯和土壤水分盈亏对后期旱情发展的影响。

至于降水距平、干湿、径流距平和土壤墒情等指标都只是依据某一或两个气象水文要素状态而做出的评价。例如:降水距平指标是以历史平均水平为基础确定旱涝,虽然计算简单,但难以反映水分支出和地表水分平衡状态;干湿指标虽然能反映水分收入与支出之间的关系,但不利于不同地区的干旱程度比较。径流距平指标也是以历史平均水平为基础确定旱涝。这3个指标都难以反映干旱的持续时间影响。相对而言基于分布式水文模拟获得的土壤墒情指标,能较好地反映前期土壤缺水对后期土壤墒情的影响。但这4个指标都是从某一个方面来认识干旱,不够全面。

以2006年9月上旬为例,重庆地区普降大雨,若单从降水距平指标来看,重庆地区应为中等湿润(图7(a));单从干燥度/湿润指标来看,该地区也是中等湿润(图7(b));但从径流距平指标来看,重庆地区却为严重干旱(图7(c));从土壤墒情来看,该地区为轻微干旱(图7(d))。从这4个不同的指标,得出不同的旱情状况,即从不同方面反映了旱情的外在表现。如果从降雨-产汇流的水文过程来看,出现上述指标状态差异的原因是因为在此之前的8月份重庆地区干旱严重,土壤干裂、地表洼地干涸,9月上旬虽然降水偏多,但降水后土壤墒情首先得到了缓解,然后地表洼地得到了补给,再考虑蒸发,实际上

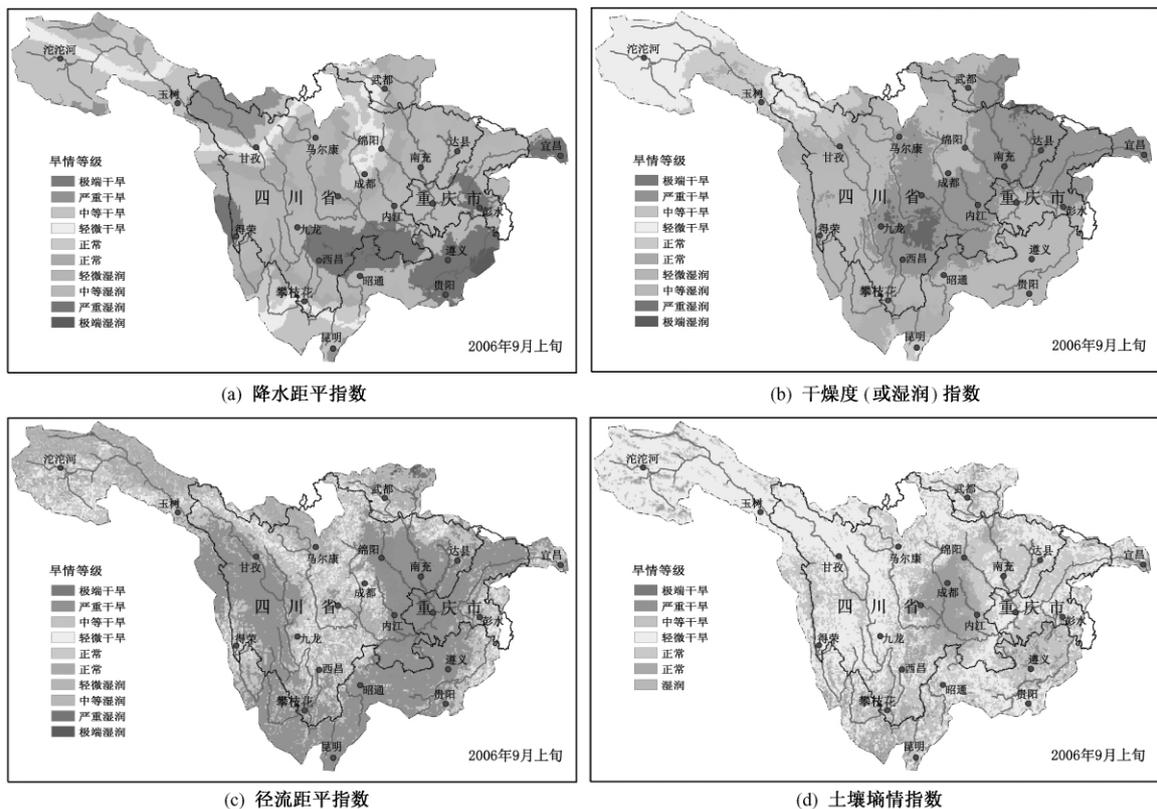


图7 常规指标表示的2006年9月上旬干旱状况(5km网格单元)

不会产生地表径流,因此9月上旬重庆地区旱情虽有所缓解,但仍持续干旱。PDSI指标较好地反映了旱情的发展变化状态。

4 结语

由于干旱成因条件复杂,其外在表现和影响也是多方面的,因此需要从多个角度系统全面地认识和评估旱情。本文提出的基于分布式水文过程模拟的干旱评估预报模型GBHM-PDSI,从降水、蒸发、径流和土壤水之间的内在变化关系出发,定量描述旱情程度以及模拟干旱发生、发展直至结束的全过程。该模型一方面继承原PDSI模式的优点,能够综合反映水分亏缺量和持续时间因子对干旱程度的影响;另一方面由于采用机理性的降雨-产汇流水文模型取代原简化的两层土壤模型来计算水量平衡,能够体现气象和下垫面条件(如降水、气温、土壤、地形、土地利用类型和植被)的时空变化对干旱程度的影响。

相对于降水距平、干湿、径流距平和土壤墒情等单一指标而言,基于分布式水文模拟得到的PDSI指标机理更加明确,在客观表现旱情的地区分布特征和随时间的演变态势等方面具有优势。该指标与常规指标配合,能够为抗旱减灾管理提供全面的旱情信息分布图。

另外,本文提出的干旱评估预报模型GBHM-PDSI,可以结合气象信息对灾情的进一步发展变化进行预报和预测,不仅为建立专业的干旱评估和预报预警系统奠定了数学模型基础,可改变在干旱灾害预报上仅依赖气象预报的局面,提高旱灾防治技术水平;而且为研究各地区干旱成因机制和灾变过程提供了模型工具,可为干旱防治规划和应急预案制定提供依据,有利于促进单一的“被动抗旱”向全面的“主动防旱”转变。

参 考 文 献:

- [1] 孙荣强. 旱情评定与灾情指标探讨[J]. 自然灾害学报, 1994, 3(3): 49-55.
- [2] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-990.
- [3] Maidment D R. 水文学手册[M]. 张建云, 李纪生, 译. 北京: 科学出版社, 2002: 44-50.
- [4] 许继军, 杨大文, 刘志雨, 雷志栋. 长江上游大尺度分布式水文模型的构建及应用[J]. 水利学报, 2007, 38(2): 182-190.
- [5] 杨大文, 李翀, 倪广恒, 等. 分布式水文模型在黄河流域的应用[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 143-154.
- [6] 史学正, 于东升, 高鹏, 等. 中国土壤信息系统(SISChina)及其应用基础研究[J]. 土壤, 2007, 39(3): 329-333.
- [7] Palmer W C. Meteorological Drought [R]. Research Paper No. 45, US Weather Bureau [NOAA Library and Information Services Division, Washington, D. C. 20852], 1965.
- [8] Alley W M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions [J]. J Climate Appl. Meteor., 1984, 23: 1100-1109.
- [9] 安顺清, 邢久星. 帕默尔旱度模式的修正[J]. 气象, 1985, 11(12): 17-19.
- [10] 卫捷, 陶诗言, 张庆云. Palmer 干旱指数在华北干旱分析中的应用[J]. 地理学报, 2003, 58: 91-99.
- [11] 刘巍巍, 安顺清, 刘庚山, 等. 帕默尔旱度模式的进一步修正[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 207-215.
- [12] 杨扬, 安顺清, 刘巍巍, 等. 帕尔默旱度指数方法在全国实时旱情监视中的应用[J]. 水科学进展, 2007, 18(1): 52-57.

New model for drought estimation and prediction based on distributed hydrological simulation

XU Ji-jun¹, YANG Da-wen²

(1. Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The occurrence and cause of drought disaster are very complicated and have comprehensive influences on nature and society. A physically-based distributed hydrological model with 5km grid cell was established to simulate the watershed hydrological processes in the upper Yangtze River by means of DEM and other geography data. Taking meteorological data as inputs, the model simulated hydrological processes during 1961 ~ 2000, including river discharges, and spatio-temporal changes of runoff, soil moisture and evapotranspiration, which provide sufficient information for estimating the shortage of water resources and draught status. Then combining with the results of distributed hydrological simulation, a new model of drought estimation and prediction, GBHM-PDSI, was proposed through referring to Palmer Drought Severity Index. The new model was applied to simulate the whole process of an severe drought event that happened in the Chongqing City in 2006. It was found that the new drought model has obvious advantages on describing the temporal change of drought severity and the spatial variation of dryness.

Key words: drought estimation and prediction model; distributed hydrological model; Palmer drought severity index; the upper Yangtze River; Chongqing City

(责任编辑:王成丽)

论文摘要编写要点

论文摘要十分重要,它是沟通读者和作者之间的桥梁。在今天信息时代,读者不可能阅读刊物的每一篇论文去查找所需的信息,只有通过摘要了解论文的主要内容,从而判断有无必要阅读全文。国内外的检索系统为了信息交流,更建立了各种二次文献数据库,帮助读者通过查找论文摘要,以便提取原文。而二次文献数据库的基础是作者的论文摘要。但许多作者却往往忽视了论文摘要的这一重要意义,没有下工夫把论文摘要写好,尤其是英文摘要。当今科技领域,英文已经成为国际交流的语言,世界各国学者想追踪了解某一学科的发展情况,多会用英文工具书、数据库进行检索。而国外的检索系统也主要通过英文摘要判断论文是否被收录进数据库。

为了帮助作者写好摘要,我编辑部在给作者的论文修改通知中都附有《摘要编写要点》,供作者参考。现再刊登于下,以便作者查阅。

1. 摘要是论文内容不加注释和评论的简短陈述,应包含正文的要点,具有独立性和自含性,让读者不阅读全文就能了解论文的基本内容,以判断有无必要阅读全文,也可供二次文摘采用。

2. 摘要应说明研究工作的目的、方法与手段、结果和结论,要尽量简短,尽可能省略课题的背景信息。

3. 摘要中的内容应在正文中出现,不能对正文进行补充和修改。

4. 摘要中不用图、表、非公用共知的符号和术语,不能引用文献;缩写名称在第一次出现时要有全称(包括中文和英文)。

5. 摘要中不要多列数据,出现的应该是最重要的、最关键数据。

6. 中文摘要一般 300 字左右,中英文摘要应基本对照,不能因为某些内容不好翻译就略去。

7. 关键词是为了文献标引工作,是从论文中选取出来用以表示全文主题内容信息的单词或术语,一般为 3~8 个词,尽量用规范词。

《水利学报》编辑部