

# 气候模式-农业气象模式集成系统的小麦灌溉管理新途径\*

张光智 徐祥德 毛 飞 张雪金

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

首次采用区域数值预报模式与农业气象模型结合的技术途径,构成一个气候模式-土壤水分模式-灌溉模式的系统模型。模型的数值天气预报部分采用大气过程与陆面过程耦合的区域气候模式;农业气象模型采用适用于冬小麦区的土壤水分和灌溉管理预报模型。研究表明,本模型较农业气象模型中一般用气候平均作为环境背景场的方法其预测能力有显著提高,并提供覆盖整个小麦生长期的区域土壤水分定量预报和灌溉管理服务,具有很好的使用和推广前景。

关键词:系统模型 土壤水分预报 灌溉管理服务

## 引 言

中国幅员辽阔,气候、地理条件复杂,遭受多种灾害的危害,其中干旱是主要的自然灾害之一。干旱灾害的发生具有区域性和季节性的特点,干旱主要分布在西北的黄土高原和华北平原,多发生在春、秋两季。1951~1990年间,我国平均每年发生干旱7.5次,1949年以来,全国平均每年受灾面积约为 $2.07 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,其中成灾面积 $7.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[1]</sup>。因此,减轻干旱是保持经济发展的基本国策。多年来,我国在抗旱减灾方面加强了农业抗旱基础工程。利用软管、地下管道和水泥水渠提高水的利用率;修造水平梯田、坝地、砂田,建设地下水库;营造防护林带及种草,走有机农业发展的道路;实行抗旱耕种法,调整作物布局;选用耐旱作物品种,扩大并合理运用地膜覆盖等工程。除了工程方面外,加强农业干旱的预测亦是预防干旱灾害的另一重要的手段。

本文针对干旱主要发生区华北的冬小麦产区,制作了一个气候模式-土壤水分模式-灌溉模式的系统模型。应用该模型制作冬小麦产区各个农业气象站点不同土层的土壤水分预报。同时,根据冬小麦各生长期对土壤水分的需求,给出冬小麦各发育期的作物缺水量和由此导致的减产率。从而可预先向用户提供要获得最佳作物产量而确定的灌水期和灌溉量的灌溉管理技术,提高水的利用率,合理地利用有限的水资源,减轻干旱灾害对作物的影响。使用农业气象模型作土壤水分预报和灌溉管理预报,需要作物生长期各时段的气候背景场预报。即需要提供各预报时段的风、气温、比湿、降水量、日照、水汽压、蒸发等气象要素场的预报。过去数值天气预报一般都用于日常天气预报,尚未直接用于农业

\* 本文由国家科技部农业气象灾害防御技术研究项目资助。

2000-01-21 收到,2000-05-31 收到修改稿。

气象模型预报。而农业气象模型近年来虽有大的发展,但模型中需要的气象要素预报场一般用气候平均值代替。作为一种尝试,本文把区域气候数值预报与农业气象预报结合起来,将数值模式与农业气象模型集成,用来作大范围区域性的实时的土壤水分预报和灌溉管理服务。就农作物生长期而言,需要10天、半月、1个月甚至季的预报。为获得定量的长期天气预报我们把实时气象资料输入区域气候模式作出所需预报时段的气象要素场预报,然后通过技术转化,得到各个农业气象站要素场预报值,再将这些要素场预报值输入土壤-灌溉模型进行计算,最终得到各个农业气象站点的土壤水分预报和灌溉管理预报。把大气-作物-土壤系统紧密地联系在一起,本研究实现了模式的运行和集成。作为个案,我们对1991年3月至5月冬小麦主要生长期模拟结果与实况进行了对比。目前正在进行2000年春季冬小麦返青至成熟期的实际预报。

## 1 气候模式-土壤水分模式-灌溉模式的集成

### 1.1 区域气候模式

本文采用的动力模式是1998年WMO(世界气象组织)在意大利举行的研讨会上推荐的区域气候模式。该模式是由美国国家大气研究中心(NCAR)研制的。大气运动的动力、热力学、水汽方程可写为:

$$\frac{dX}{dt} = F \quad \text{其中} \quad X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}; \quad F = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中  $X_i(t)$  为场面气压  $p^*$ 、气温  $T$ 、比湿  $q$ 、风  $u$  和  $v$  等气象要素,  $F_i(t)$  表示力项和热源热汇项,降水量  $P = f(p^*, T, q, u, v, \dots)$ 。模式中的大气模式部分包括:辐射过程,积云参数化过程,边界层过程等物理过程<sup>[2]</sup>。陆面过程部分包括:土壤、湖面、植被、雪盖、冰面等物理过程。陆面过程与大气过程在界面上进行相互耦合,使地-气系统联系更加密切<sup>[3]</sup>。模式的水平范围可以根据需要进行移动,本文计算暂用于华北冬小麦地区。因此,本文以  $115^\circ\text{E}, 31^\circ\text{N}$  为中心,水平区域为  $3000\text{ km} \times 5000\text{ km}$ ,垂直方向14层,大气顶气压为  $80\text{ hPa}$ 。模式初始场采用实时资料,即采用国家气象中心每日发布的 T106(谱模式,三角形截断,106个波)17个高度层的客观分析资料(位势高度  $H$ ,气温  $T$ ,比湿  $q$ ,风  $u, v$ ,海平面气压,地面温度)输入模式。经过模式的前处理程序转化为适用于该模式的14个高度层上实时初始场。海面温度(SST)是由模式程序模块专门处理的,即预先存有1982~1999年的月平均SST场,根据预报所在月给出相应的SST。模式网格距为  $50\text{ km}$ ,时间积分步长为  $3\text{ min}$ 。模式侧边界条件分别采用了两种作法,其一是“气候倾向”,其二是用与初始条件同步的 T106 的预报场。本文称的“气候倾向”是取侧边界值  $S_{i,j+1} = S_j + \Delta S_i$ ,这里  $S_j$  为边界上的初始值或预报值。若起步日或预报日落在前半月,则  $\Delta S_i = (\bar{S}_i - \bar{S}_{i-1})/n_{i,i-1}$ 。若起步日或预报日落在后半月,则  $\Delta S_i = (\bar{S}_{i+1} - \bar{S}_i)/n_{i+1,i}$ 。

为起步日或预报日所在月的序号,  $\bar{S}_i$  为第  $i$  月的气候平均值,  $n_{i+1,j}$  为第  $i+1$  月的前半月与第  $i$  月后半月的总天数。这两种侧边界条件的取法都同时进行了试验, 它们的优劣需要通过 2000 年的冬小麦返青期至成熟期的实际预报的效果来进行检验。

同时根据土壤水分实际预报时段的要求, 初始场的更新目前暂时 1 至 2 个月左右更新一次。因为在实际运行的几个不同初始场计算的预报例子中发现, 1 至 2 个月的降水预报与实况对比, 雨带和落区还比较接近。但区域气候模式预报的降水量往往比实际雨带的大值区偏小, 而某些区域, 例如河北西南部又比实况大, 最终多久更新一次初始场需在今后预报中探索。从试用区域气候模式一年多以来, 将预报结果与实况对比其预报能力还是相当不错的。但对难度较大的降水量的预报其能力还需在试用中不断地进行检验和评估。尽管世界数值预报模式的降水预报面临不少困难, 但把数值模式的实时预报用于农业气象模式为农业生产服务比用多年气候平均毕竟有所前进, 其不足正是今后努力的方向。

## 1.2 土壤水分模型和灌溉管理模型

利用农田水分平衡原理<sup>[4]</sup>引用 FAO(联合国粮食及农业组织)的一些结果<sup>[5]</sup>建立了我国北方地区冬小麦田土壤水分动态预报及灌溉决策模型, 本模型的特点在于: (1) 直接与区域气候模式联接, 利用区域气候模式输出的气象要素预报值, 实时地作出土壤水分预报; (2) 可逐日预报冬小麦全生育期内的土壤水分; (3) 预报天数长: 可以做季的预报, 并且具有较好的预报效果; (4) 可做土壤水分的分层预报; (5) 不仅能作单站预报还可以做大范围的区域性土壤水分预报, 提供区域土壤水分的分布预报图; (6) 给出预报时段内的灌溉日期、灌溉量、冬小麦各生育期的作物缺水度和由此引起的产量降低百分率等。

土壤水分模型和灌溉模型中的计算分 4 个部分:

### (1) 土壤水分预报

根据农田水分平衡原理建立华北地区冬小麦田土壤水分动态预报模型:

$$\frac{dW}{dt} = -E(u, v, E_a, E_d \dots) + P(p^*, T, q, u, v \dots) + I$$

$$W_{(i,j)} = W_{(i-1,j)} - E_{(i,j)} \Delta t + P_{(i,j)} \Delta t + I_{(i,j)} \Delta t \quad (2)$$

式中,  $W$  为土壤含水量 ( $\text{mm}$ ),  $E$  为日实际蒸散量 ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $P$  为日降水量 ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $I$  为日灌溉量 ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $i$  为预报时段 ( $n$  天) 中的某一天,  $j$  为土层序号,  $\Delta t$  为时间步长 (这里取  $\Delta t = 1$  天)。降水和灌溉对不同土层补水量的计算见参考文献<sup>[6]</sup>。

### (2) 可能蒸发 $E_0$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 计算采用彭曼修正式:

$$E_0 = \frac{\Delta R_n + 0.16 \phi (1 + 0.41 V) (E_a - E_d)}{\Delta + \phi} \quad (3)$$

其中,  $\Delta$  为饱和水汽压曲线的斜率 ( $\text{mm} \cdot \text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  为辐射收支 ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $\phi$  为干湿表常数 ( $\text{mm} \cdot \text{C}^{-1}$ ),  $V$  为 10 m 高度处风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $E_a$  和  $E_d$  分别为饱和水汽压 ( $\text{hPa}$ ) 和空气水汽压 ( $\text{hPa}$ )。

### (3) 实际蒸散 $E$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ )

实际蒸散量是本模型水分平衡公式中的主要支出项。计算分土壤充分供水和土壤供水不足两种情况。本模型将土壤分为 0~30 cm、0~50 cm 和 0~100 cm 3 层, 每一层作

为一个独立体,分层实际蒸散量计算公式<sup>[6]</sup>为:

$$E_{(i,j)} = E_{0(i)} K_{c(i,j)} \quad \text{当 } W_{(i,j)} \geq W_{k(i,j)} \quad (i=1, \dots, n, j=1, 2, 3) \quad (4)$$

$$E_{(i,j)} = (W_{(i-1,j)} - W_{p(i,j)}) [1 - \exp(-\frac{E_{0(i)} \times K_{c(i,j)}}{W_{k(i,j)} - W_{p(i,j)}})] \quad \text{当 } W_{(i,j)} < W_{k(i,j)} \quad (5)$$

式中,  $W$  为土壤含水量 (mm),  $W_k$  为临界土壤含水量 (mm),  $E_0$  为可能蒸发量 (mm·d<sup>-1</sup>),  $K_c$  为作物系数,  $W_p$  为凋萎含水量 (mm), 其它符号同上。作物系数的取法见参考文献<sup>[6]</sup>, 临界土壤含水量的计算方法见参考文献<sup>[5]</sup>。

#### (4) 灌溉管理预报

灌溉管理预报包括 4 个部分。

(a) 作物干旱出现日期预测: 逐日预测 1 m 深土层土壤含水量和作物临界土壤含水量, 得到预报时段内第一天出现土壤含水量小于作物临界土壤含水量的日期即为作物出现干旱的日期。

(b) 灌溉量预测: 作物干旱出现日的土壤含水量与灌溉上限之差即为作物需要的灌溉量。在实际生产中, 灌溉上限通常取相对湿度的 85% (具体计算时, 需把相对湿度换算成含水量), 有些地区取 80% 或田间持水量。

(c) 作物缺水预测:

$$D = E_{\max} - E \quad (6)$$

式中  $D$  为某一天的缺水量 (mm),  $E_{\max}$  为某一天的最大蒸散量 (mm),  $E$  为某一天的实际蒸散量 (mm)。预报时段内各发育期每一天  $D$  的累积值即为作物缺水量。

(d) 产量降低百分率: 采用 FAO 提供的产量降低百分率 ( $D_y$ ) 模型<sup>[5,7]</sup>:

$$D_y = K_y (1 - E/E_{\max}) \times 100\% \quad (7)$$

式中  $K_y$  为作物产量反应系数, 其它符号与式 (6) 相同。

### 1.3 气候模式与灌溉模型的联结

#### 1.3.1 插值加密的方法

用区域气候模式得到土壤水分模型所需气候背景场的各气象要素, 包括风的  $u$  分量, 风的  $v$  分量, 气温  $T$ , 比湿  $q$ , 降水  $P$  的预报值, 这些预报值是在区域气候模式的网格点上。而土壤水分模型的预报是针对每一个农业气象站, 即是离散点上的。因此需要把数值模式的连续网格点上的预报值变成离散点 (农业气象站点) 上的值。本文采用非线性三次线段插值<sup>[8]</sup>, 三次线段是:

$$f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (8)$$

使得每两个相邻已知端点之间被三次线段很好的连接起来, 且使斜率在端点一致, 由已知端点值定出系数  $a, b, c, d$ 。这个方法的特点是借助一维手段完成二维插值, 这正是这个方法的优点所在。插值的方法很多, 其中线性插值简单易操作, 但通常认为气象要素用非线性插值比线性插值更贴近实际。比较被人们重视的非线性插值方法有 Spline 插值法, 但此法需在端点二阶导数连续。在求二阶导数时还需求解矩阵, 且  $x, y$  方向的二维插值就更为复杂。因此本文采用非线性三次线段插值, 其编程简单只需在端点满足一阶导数连续, 在一维运算过程中完成了二维插值。在每两个端点间可插值加密出满足上式的若干个点子上的值。本文在每二个端点 (即气候模式每两个网格点) 之间等距加密成 10

个点,即插值因子取为 10。若还需要插得更密一些,以提高精度,可在程序参数中修改插值因子。

### 1.3.2 挑选农业气象站点上的气象要素预报值

依照上述插值加密方法将气候模式网格点的经度和纬度分别插值加密,同时,把气象要素预报场也进行相同插值因子下的加密。这样就把气候模式网格点的经纬度分得足够的细,而在这足够细的经纬度( $L_{om}$ ,  $L_{am}$ )网格点上有相同密度的加密了的气象要素预报值。将农气站排列成序,本文暂同步计算 31 个站,按各站序号输入相应的该农气站的经纬度( $L_{os}$ ,  $L_{as}$ )。在程序中实现每一个农气站的经纬度与插值加密了的气候模式网格点的经纬度相比较,使得距离为最小,即取

$$r = \sqrt{(L_{am} - L_{as})^2 + (L_{om} - L_{os})^2}$$

为最小,记下  $r$  为最小时加密后的气候模式的网格点坐标,取该坐标点上的气象要素预报值即是该农气站上的预报值。从实际计算来看,插值因子取 10 时,插出的农气站的经纬度与实际经纬度相比精确到了  $0.01^\circ$ 。

### 1.4 集成模型的运行流程

为了简要说明气候模式-土壤水分模型-灌溉管理系统模型运行的技术路线,图 1 给出系统模型的计算流程。

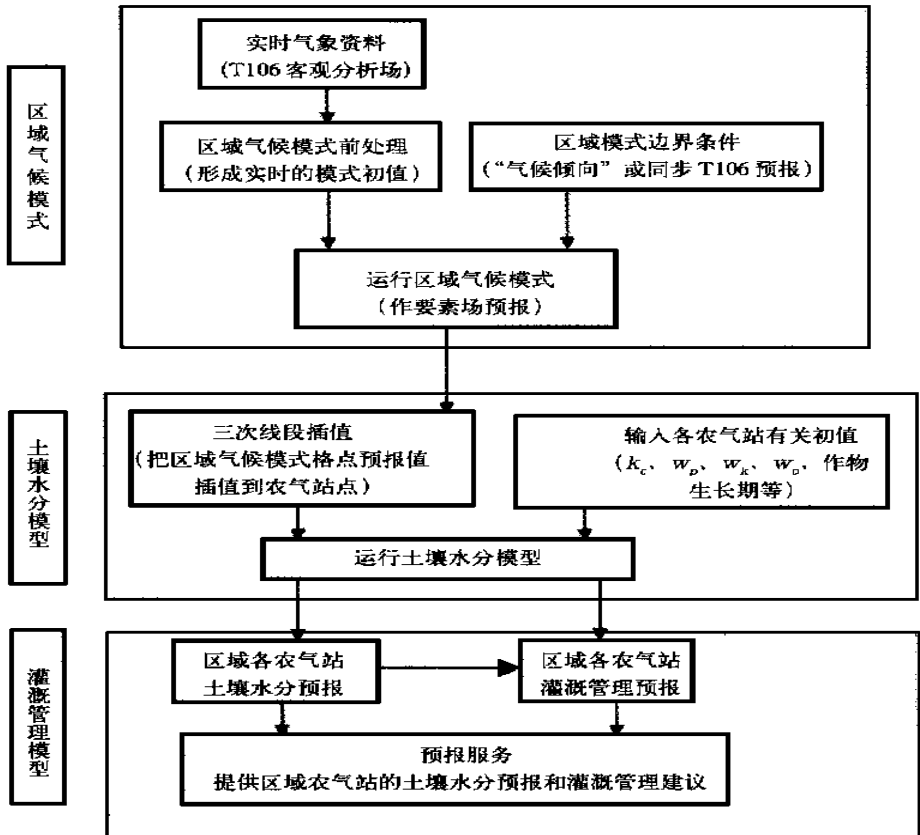


图 1 系统模型的计算流程

## 2 系统模型的应用举例

本系统在1999年试算时,计算范围主要针对华北冬小麦地区,收集了31个农气站的资料,包括京、津、河北、山西、山东、河南、安徽和江苏等地。只要收集整理了更多的农业气象站的相关资料,如作物发育期、田间持水量、凋萎湿度、土壤容重等,本系统可预报更大的区域。目前正在作2000年小麦返青后的灌溉管理试预报,站点已扩大到103个。

### 2.1 土壤水分预报

#### 2.1.1 泰安站1991年土壤含水量预报结果

图2给出了泰安1991年春季冬小麦田土壤含水量几种预测结果的比较。图中实测值取自泰安1991年固定地段土壤湿度观测值;土壤水分模型所需的气象要素都用多年平均值得到预报1;除日照时数都用区域气候模式预报值得到预报2;全部气象要素都用叠加了气候倾向后的值作为预报值得到预报3。以上3种预报都用1991年2月28日土壤湿度实测值作初始值。

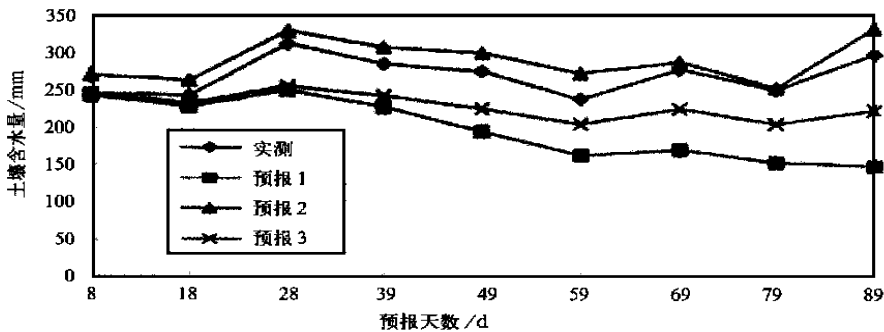


图2 泰安1991年0~1m土壤含水量预报

由图可知,3种预报方法中,用区域气候模式预报值进行预报最接近实测值,用叠加气候倾向值的预报次之,用气候多年平均值的预报最差。这说明区域气候模式应用于土壤水分模型预报土壤含水量是行之有效的。

#### 2.1.2 我国北方地区1991年土壤湿度预报结果

土壤水分模型需要土壤湿度实测值作初始场,由于受土壤湿度实测资料的限制,本次实例只收集到16个站的土壤湿度初始值。表1给出了第10天的各土层土壤湿度预报值

表1 各层土壤湿度预报值与实测值的相对误差(第10天)

土层(cm)	密云	宝坻	定县	昌黎	肥乡	深县	郑州	南阳	
0~30	34.2	0.5	17.7	9.3	7.6	14.9	5.5	11.8	
0~50	12.3	1.7	3.5	1.3	1.5	7.1	6.8	8.9	
0~100	7.1	4.7				2.1	11.5	12.3	
土层(cm)	驻马店	新乡	卢氏	黄泛区	泰安	万荣	太谷	长治	平均
0~30	15.9	10.1	22.7	5.6	14.5	4.1	4.7	4.8	11.5
0~50	12.0	10.5	27.9	3.8	10.6	2.1	5.0	10.1	7.8
0~100					5.4	4.6	4.4	12.3	7.2

与实测值的相对误差。由表可知,0~30 cm 预报相对误差最大值是密云(34.2%),最小值是宝坻(0.5%),平均为 11.5%。0~50 cm 最大值为卢氏(27.9%),最小值为昌黎(1.3%),平均为 7.8%。0~1 m 的最大值为南阳和长治(12.3%),最小值为深县(2.1%),平均为 7.2%。由此可见,随着土层的加厚,区域性的平均预报精度提高。

分析 0~1 m 土壤湿度不同预报天数的相对误差(表略)结果表明,随着预报天数的加长,各站的平均相对误差增大,第 10 天预报的平均相对误差为 8.6%,预报第 71 天的平均相对误差增大到 22.3%。通过分析发现,土壤湿度的预报精度与区域气候模式降水量的预报精度有关,尤其对中长期性的土壤湿度预报,这种关系更为明显。以本次土壤湿度预报为例,河南的降雨量预报明显偏大,因此郑州站的土壤湿度预报误差也较大。泰安站降水量预报接近实况,土壤湿度预报精度也较高,其不同预报天数的 7 次预报平均相对误差为 4.57%,最大为 8.8%,最小为 1.9%。众所周知,降水量预报,尤其是较长时效的定量预报,是一项难度较大的工作,目前各国各种降水量预报方法的预报精度都还不能达到令人满意的程度。面对这一现实,如何提高土壤湿度预报精度,开展预报服务,是今后要进一步研究和解决的问题。

图3给出了第10天预报的不同土层土壤含水量实况分布图和预报分布图。其中图

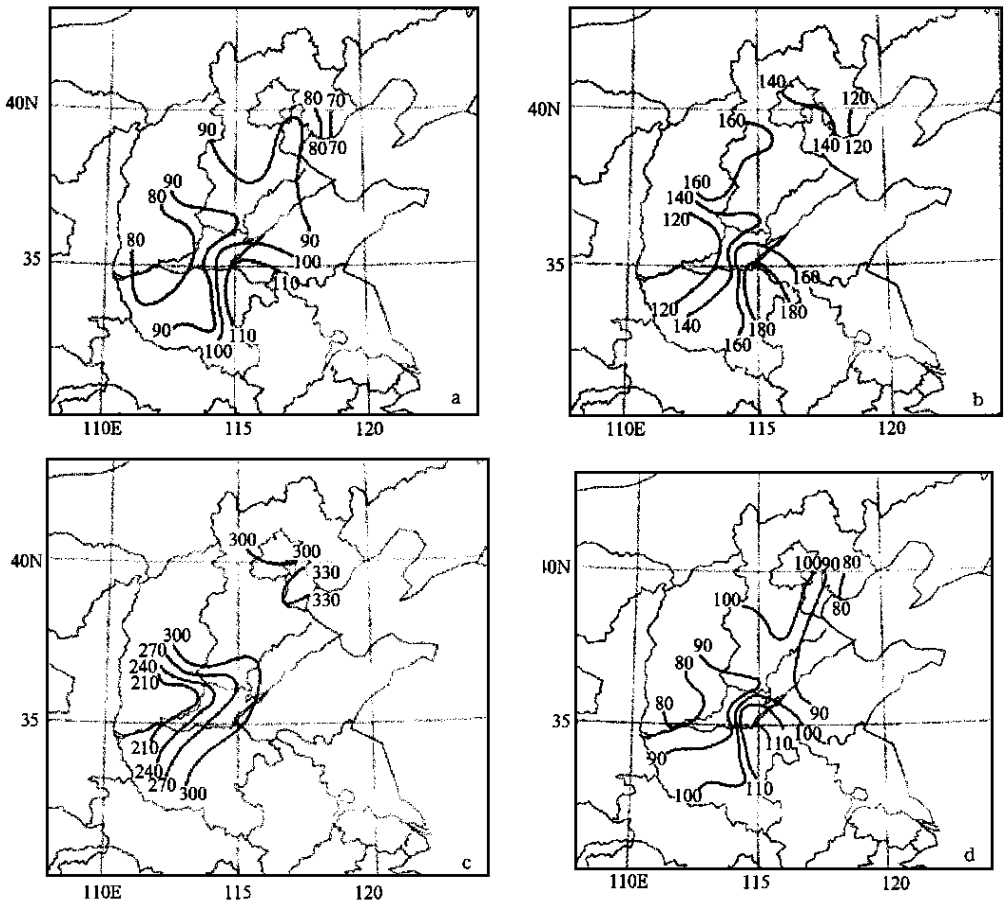
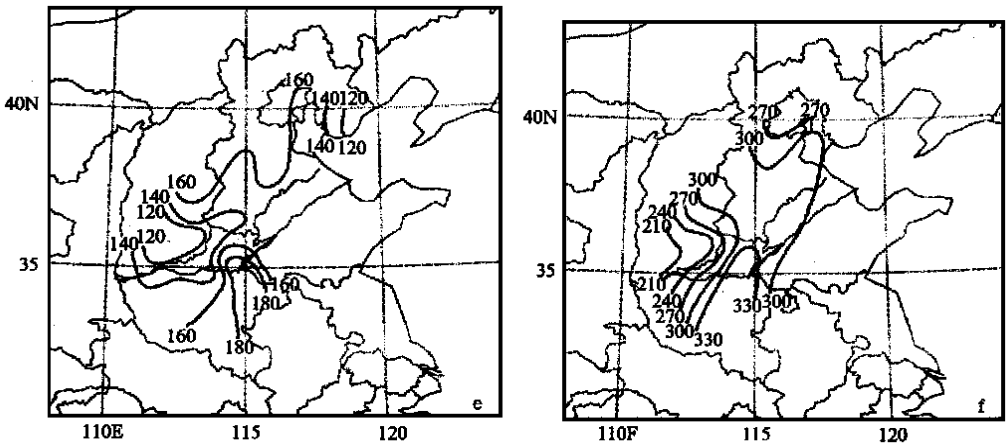


图3 土壤含水量实况和预报分布图(单位:mm)



续图 3

(a) (b)和(c)分别为 0~30、0~50 和 0~100 cm 的土壤含水量实况分布图,图(d) (e)和(f)为相应的土壤含水量预报图。由图可知,土壤含水量实况与预报的分布规律基本相同。

### 2.2 灌溉管理预报结果

本次实例给出 10 个站冬小麦不同生育期间作物缺水量和减产率一览表(表略)。在预报时段内有的站并不缺水,但实际生产中,不仅灌了水,而且灌了 2~3 次(如密云、宝坻和深县),浪费了水资源。作物出现不同程度缺水的站有泰安、万荣和长治,其中万荣和长治没有灌溉条件,产量受到影响。

上述是从作物生理需水角度分析作物的缺水和减产情况。在实际的农田水管理中,用户更关心的是作物在那一天需要灌水,要灌多少水。考虑到篇幅,我们仅以长治站为例。

图 4 是长治站 1991 年冬小麦田灌溉预报示意图。图中临界值是根据 FAO 提供的方法<sup>[5]</sup>计算得到的。当土壤含水量低于临界值时就应灌溉,否则就会导致作物干旱。由图可知,第一次应灌溉的日期是 5 月 6 日,当天的土壤含水量为 197.95 mm,如果灌溉上限为田间持水量(长治 1 m 土层的田间持水量为 346.8 mm),灌溉量应为 148.85 mm,如果取田间持水量的 80%,则应灌 79.49 mm。加入第一次灌溉量后,本系统可继续预报下一次灌溉日期和灌溉量。实际上 1991 年长治站从 5 月 6 日以后土壤含水量已低于临界值,但由于无灌溉条件,所以并未灌溉。显然小麦的生长发育会受到干旱的影响。

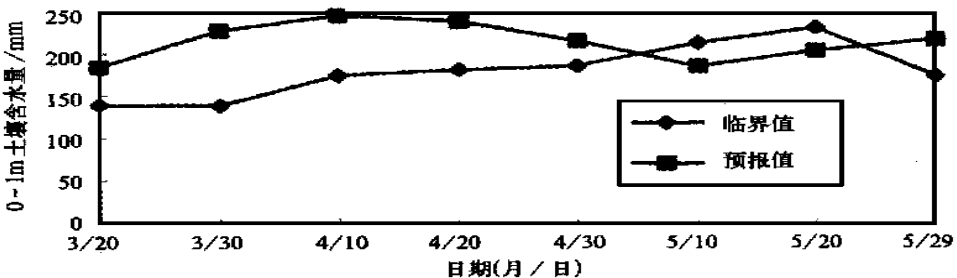


图 4 长治站 1991 年冬小麦田灌溉管理图



### 3 讨 论

将区域气候模式与土壤水分-灌溉管理模型结合是提高土壤水分和灌溉管理预报准确率的一种新的技术途径,使数值预报不仅用于日常天气预报,还直接用于农业气象模式预报,避免了过去农业气象模式常用气候平均值代替实时气象要素值用作预报的缺点。区域气候预报模式的发展,使我们有可能提前作出一个月甚至更长时间的定量的灌溉管理预报。从我们作的试验结果来看,预报尚有一定参考价值。但由于气候模式在降水预报能力方面的欠缺和土壤水分-灌溉管理模型的不尽完善,影响了最终预报的准确率。因此,归结起来,本系统在试运行的过程中需要作如下改进:

(1) 提高区域模式的降水预报能力。改进区域气候模式的物理过程;通过数值试验改善边界条件的计算和掌握适宜的初始场的更新周期。

(2) 改进土壤水分预报和灌溉管理预报模型。通过对各种参考作物蒸散量计算方法比较,选取更为合理的计算模型。

(3) 改进系统模型中的一些技术处理方法。例如将数值预报的降水预报值插值到农气站点上,与其它要素一样用文中提到的三次线段插值。同时,我们也试验了用逐步订正法来插值降水,但对降水这种分布较为复杂的量,插值需要进一步试验,以提高其合理性。

(4) 进一步进行系统模型软件的开发,提高整个系统运行操作自动化和预报结果可视化程度,方便推广应用。

### 参 考 文 献

- 1 中国减轻自然灾害委员会. 中华人民共和国减轻自然灾害报告. 1993. 9~14.
- 2 Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a second-generation regional climate model ( RegCM2 ), Part 1: boundary layer and radiation transfer processes. *Mon. Wea. Rev.*, 1993a, **121**: 2794~2813.
- 3 Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T, et al. Development of a second-generation regional climate model ( RegCM2 ), Part 2: Convection processes and assimilation of lateral boundary condition. *Mon. Wea. Rev.*, 1993b, **121**: 2814~2832.
- 4 裴步祥. 蒸发和蒸散的测定与计算. 北京: 气象出版社, 1989.
- 5 杜林博斯 J, 卡萨姆 A H, 等. 产量与水的关系. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 1979.
- 6 裴步祥, 毛飞, 吕厚荃. 我国北方春季土壤水分动态模拟预报模式的试验研究. 北京农业大学学报, 1990, **16**(增刊): 116~122.
- 7 郑剑非, 卢志光. 北京市冬小麦气候生产潜力及干旱期间最佳灌溉方案. 农业气象, 1982, **3**(4): 18~23.
- 8 徐萃薇. 计算方法引论. 北京: 高等教育出版社, 1990. 39~41.

## A NEW APPROACH OF IRRIGATION MANAGEMENT FOR WINTER WHEAT BY THE CLIMATIC-AGROMETEOROLOGICAL MODEL CONSENSUS SYSTEM

Zhang Guangzhi Xu Xiangde Mao Fei Zhang Xuejin  
(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

### Abstract

A climatic-soil moisture-irrigation system (CSMIS) model has been built firstly by using an integrated technical approach of numerical forecast model with agricultural meteorological model. For the numerical weather forecasting section, a regional climate model is adopted to couple the atmosphere processes with ground processes. A model that was applicable to soil moisture forecasting and irrigation management forecasting in winter wheat fields was adopted as the agricultural meteorological model. The CSMIS has a higher reliability than the models in which climatic average values are used as the background fields. Meanwhile it can make quantitative forecast of regional soil moisture and provide service for irrigation management for the whole growth phase of winter wheat.

**Key words:** System model Soil moisture forecast Irrigation management service