

北方夏玉米农田土壤水分预测模型的研究

毛 飞^{1,2},任三学²,孙 涵³,郭安红⁴,刘庚山²

(1 中国气象局 兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020;2 中国气象科学研究院,北京 100081;

3 国家卫星气象中心遥感应用试验基地,广西 南宁 530022;4 国家气象中心,北京 100081)

[摘 要] 【目的】检验和比较 4 个夏玉米农田土壤水分预测模型的预测精度。【方法】根据农田土壤水分平衡原理,建立北方夏玉米农田土壤水分预测模型,其中潜在蒸散量子模型分别用国内彭曼修正式(简称国内法)和 FAO Penman-Monteith(简称 FAO 法)方法,作物发育期子模型分别用多年平均发育期法和积温法。用 2002 年 6~9 月中国气象局农业气象试验基地的 21 个不同水分处理小区的夏玉米全生育期观测资料(包括土壤湿度、作物发育期、气象和灌溉等资料),对模型进行检验和比较。【结果】在土壤湿度中等和较低的情况下,土壤水分预测模型中潜在蒸散量子模型采用国内法对不同预测时效下夏玉米农田土壤水分的平均预测精度高于 FAO 法,而在土壤湿度较高的情况下则反之;国内法和 FAO 法在不同预测初始日期下,对所有试验小区土壤水分的平均预测精度均随着预报时效的增加而降低。土壤水分预测模型中,作物发育期子模型采用积温法或多年平均发育期法均可对北方地区夏玉米农田土壤水分进行预测,两者对 0~100 cm 土层土壤水分预报的最大绝对差值小于 5 mm。【结论】土壤水分预测模型中潜在蒸散量子模型采用国内法对夏玉米农田土壤水分的预测精度高于 FAO 法;土壤水分预测模型中作物发育期子模型采用多年平均发育期法和积温法对夏玉米农田土壤水分的预测精度基本相同。利用该模型还可对北方夏玉米农田进行灌溉预报和排渍预报。

[关键词] 夏玉米;土壤水分;预测模型

[中图分类号] S152.7

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)08-0145-09

Study on soil moisture prediction models of summer maize field in northern China

MAO Fei^{1,2}, REN San-xue², SUN Han³, GUO An-hong⁴, LIU Geng-shan²

(1 Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 3 Remote Sensing

Application and Experiment Station, National Satellite Meteorological Center,

Nanning, Guangxi 530022, China; 4 National Meteorological Centre, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】The simulation accuracy of four soil moisture prediction models of summer maize field was tested and compared. 【Method】Based on soil water balance principle of field, four soil moisture prediction models of summer maize in north china were developed. The FAO Penman-Monteith (‘FAO Model’ for short) and Chinese Penman equations (‘Chinese Model’ for short) were adopted in reference evapotranspiration sub-models. The crop sub-models at development period were established using multi-year mean growth period method and accumulated temperature method. Using examination data of summer maize during whole growth phase in 21 test plots of different soil moistures at Agrometeorological Experimental Base China Meteorological Administration from June to September in 2002 (including soil moisture

* [收稿日期] 2008-11-17

[基金项目] 中国气象局兰州干旱气象研究所基金项目(IAM200501)

[作者简介] 毛 飞(1958—),女,浙江宁波人,副研究员,博士,主要从事应用气象研究。E-mail:maofei77@cma.gov.cn

[通信作者] 孙 涵(1955—),男,江苏东台人,研究员,主要从事应用气象研究。E-mail:sun_han@163.com

data, crop development period data, meteorology data and so on), the four models were tested and compared. **【Result】** In the test plots of low or middle soil moisture, the average prediction accuracy of soil moisture of summer maize field in different maximum prediction time adopting ‘Chinese Model’ for reference evapotranspiration sub-models in soil moisture prediction models was higher than that adopting ‘FAO Model’. It was inverse in the test plots of higher soil moisture. For ‘Chinese Model’ and ‘FAO Model’, average prediction accuracy of all test plots based on different prediction beginning days reduced with the increase of maximum prediction time. The soil moisture of summer maize field in north of china can be predicted by adopting the multi-year mean growth period method and the accumulated temperature method for crop development period sub-models in soil moisture prediction models. The maximal absolute difference of prediction values of soil moisture in soil layer from 0 to 100 cm for the two equations was less than 5 mm. **【Conclusion】** The simulation accuracy for soil moisture of summer maize field with ‘Chinese Model’ was higher than that with ‘FAO Model’. The simulation accuracy for soil moisture of summer maize field adopting the multi-year mean growth period method for crop development period sub-models in soil moisture prediction models was almost the same with adopting the accumulated temperature method. The irrigation prediction and drainage prediction for summer maize field in north of China also were made using the soil moisture prediction models.

Key words: summer maize; soil moisture; prediction model

我国北方夏玉米主要分布在山东、河南、河北、山西的南部,陕西中部和江苏、安徽的北部。夏玉米全生育期总需水量约 375~450 mm^[1]。由于这些地区降水的年际和年内变率大,干旱和涝渍是影响夏玉米生长发育、稳产高产的主要因素^[2-4]。尤其是近年来,在全球气候变化背景下,极端降水事件增多、增强,旱涝灾害发生频率增加^[5],给农业生产和社会经济造成严重损失,各级政府和农户迫切需要及时、准确的农田土壤水分预测信息。因此,建立北方夏玉米土壤水分预测模型,对国家、地方和农户进行科学的农田用水管理,以及农业的旱涝保收具有重要意义。

国外在 20 世纪 60 年代就开展了基于环境因子与土壤水分相互关系和统计方法的土壤水分动态预测模型的研究与应用,并取得了很多研究成果,比较成熟的方法有荷兰的 SWATRE 数值模型、英国的 MORECS 系统、加拿大的水分平衡方法以及印度的土壤水分亏缺指数模型等。自 20 世纪 80 年代,尤其是 90 年代以来,国内学者在土壤水分运动及其预报方法的研究和应用方面开展了大量工作^[6-7]。目前,比较常用的土壤水分预报方法主要有经验性模型^[8]、统计模型^[9]、随机性模型^[10]、土壤水分平衡模型^[11]和机理性模型^[12]。其中经验性模型和统计模型比较简单,便于应用,但模型中的参数随着建模样本所包括的时间和空间范围的变化而不同,模型的应用具有一定的时空局限性;机理性模型具有一定

的通用性,但模型比较复杂,参数较多,且不易用常规的测量方法得到,推广应用受到限制;土壤水分平衡模型概念明确,经适当简化后具有较强的通用性和应用性,是目前应用较多的方法。

在土壤水分平衡模型中,作物实际蒸散量是主要的土壤水分支出项,但不易测量,而采用潜在蒸散量对其进行估算是目前国内外常用的方法。潜在蒸散量的计算方法很多,其中 1998 年联合国粮食及农业组织(简称 FAO)推荐的 FAO Penman-Monteith 公式^[13],及我国学者根据我国气候、地理等实际情况建立的国内彭曼修正式^[14],是物理意义明确、可用常规气象观测资料计算的最理想的方法中的两种。有关上述方法在我国的适用性以及不同方法的比较已有相关论文发表^[15],但这些研究仅限于各种计算方法之间的比较,没有在实际农田生态条件下对不同计算方法的适用性进行检验和比较。

用潜在蒸散量估算作物实际蒸散量,需要作物发育期资料。前人在玉米发育期模型方面已做了许多研究工作^[16-17],其中积温法和多年平均发育期法是模拟玉米发育进程常用的方法,前者生物学意义明确,通用性较强^[18],但不利于实际推广应用;后者通用性较弱,但有利于实际推广应用。

因此,本研究通过田间试验设计不同土壤水分等级,利用试验资料建立北方夏玉米农田土壤水分预测模型,在模型中分别引入计算潜在蒸散量的 FAO Penman-Monteith 方法和国内彭曼修正式,以

及模拟发育期的积温法和多年平均发育期法,通过与实测值比较,检验 2 种潜在蒸散量计算方法和 2 种发育期模型在夏玉米实际农田生态条件下的适用性,以期为建立模拟精度高、有利于实际推广应用的北方夏玉米农田土壤水分预测模型提供依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验地概况与试验方法

试验于 2002 年 6~9 月在中国气象局农业气象试验基地进行。试验基地位于河北省保定地区,地理坐标 39°08'N,115°40'E,海拔 15.2 m。土壤质地为壤土,0~100 cm 土壤平均田间持水量、容重和凋

萎湿度分别为 23.4%(占干土的质量分数)、1.2 g/cm³和 7.7%(占干土的质量分数)。

试验共设 21 个小区,每个小区的面积为 2 m×4 m,四周有水泥墙,深度 3 m,可有效防止试验小区内土壤水分与周围土壤的水平交换。试验区安装了可移动式、四周通风的遮雨棚,下雨时移到试验小区上方,既防止雨水进入,又保证试验小区的自然通风;不下雨时移开遮雨棚,让作物完全处在自然条件下。通过灌溉不同的量和次数,对 21 个试验小区进行不同土壤水分等级控制(表 1),其他管理措施相同。

表 1 各夏玉米种植试验小区灌溉量

Table 1 Irrigation volume in experimental plots of summer maize											mm
试验小区编号 Experiment plot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
灌溉量 Irrigation	229	199	219	94	88	38	25	30	63	75	63
试验小区编号 Experiment plot	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
灌溉量 Irrigation	150	156	131	98	98	25	13	56	63	75	

供试玉米品种均为陕单 902,播种日期都在 06-15。作物发育期按全国气象部门执行的《农业气象观测规范》观测,气象要素在气候观测场观测,观测场离试验小区约 20 m。0~30 cm 土层的土壤湿度用土钻法测定,30 cm 以下土层用中子仪测定。

1.2 夏玉米农田土壤水分预测模型

夏玉米农田土壤水分预测模型由区域气候模式、土壤水平平衡子模型、潜在蒸散量子模型、实际蒸散量子模型、作物发育期子模型、径流和渗漏子模型以及灌溉和排渍决策子模型组成。本文用实测气象资料代替区域气候模式预测值。

1.2.1 土壤水分平衡子模型 根据水分平衡原理建立我国北方夏玉米农田 0~100 cm 土层土壤水分平衡模型:

$$\frac{dW}{dt} = -E_t + P - P_c + I - Dr, \tag{1}$$
$$W_{(i)} = W_{(i-1)} + (P_{(i)} + I_{(i)} - E_{t(i)} - P_{c(i)} - Dr_{(i)})\Delta t. \tag{2}$$

式中:W 为 0~100 cm 土层土壤含水量(mm),E_t 为日实际蒸散量(mm),P 为日降水量(mm),P_c 为作物截流量(mm),I 为日灌溉量(mm),Dr 为日径流或渗漏量(mm),i 为预报时段中的某一天,Δt 为时间步长(Δt=1 d)。

1.2.2 潜在蒸散量子模型 潜在蒸散量(ET₀)的计算采用国内彭曼修正式^[14]和 FAO Penman-Monteith 公式^[13]。

(1)国内彭曼修正式(简称国内法):

$$ET_0 = \frac{\Delta R_n + 0.16\gamma(1 + 0.41V)(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma} \tag{3}$$

式中:ET₀ 为潜在蒸散量(mm/d),Δ 为饱和水汽压曲线斜率(mm/℃),R_n 为地表净辐射(mm/d),γ 为干湿表常数(mm/℃),V 为 10 m 高度处风速(m/s),e_s 和 e_a 分别为饱和水汽压(hPa)和实际水汽压(hPa)。

(2)FAO Penman-Monteith 公式(简称 FAO 法):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \tag{4}$$

式中:ET₀ 意义和单位同上;R_n、e_s、e_a、Δ 和 γ 意义同上,单位分别为 MJ/(m²·d)、kPa、kPa、kPa/℃ 和 kPa/℃;G 为土壤热通量(MJ/(m²·d));T 为 2 m 高度处平均气温(℃);U₂ 为 2 m 高度处风速(m/s)。

1.2.3 实际蒸散量子模型 计算分土壤充分供水(公式 5)和土壤供水不足(公式 6)2 种情况:

$$E_{t(i)} = K_{c(i)} \times ET_{0(i)}, \quad W_{(i)} \geq W_{k(i)}. \tag{5}$$

$$E_{t(i)} = (W_{(i)} - W_{p(i)}) \left(1 - e^{-\frac{K_{c(i)} \times ET_{0(i)}}{W_{k(i)} - W_{p(i)}}}\right), \quad W_{(i)} < W_{k(i)}. \tag{6}$$

式中:E_{t(i)} 为实际蒸散量(mm/d),W_k 为临界土壤湿度(mm)^[19],K_c 为作物系数^[19],W_p 为凋萎湿度(mm),其他符号意义同上。

1.2.4 作物发育期子模型 采用积温法和多年平均发育期法确定当前日夏玉米所处发育期。

(1)积温法。把夏玉米全生育期分为播种、三叶、抽雄、乳熟和成熟 5 个发育期,共 4 个发育阶段。利用河北省 3 个气象站 1992~2005 年夏玉米发育期和历史气象资料进行统计分析,得到上述 4 个发育阶段的大于 0℃的平均积温分别为 264,1 151,694 和 354℃。全发育期大于 0℃的平均积温为 2 463℃。从播种到三叶、抽雄、乳熟和成熟的累计积温分别为 264,1 415,2 109 和 2 463℃,其与全生育期大于 0℃积温的比值分别为 0.107,0.576,0.857和 1.0。假定夏玉米发育进程只与温度有关,可用下列公式对其进行模拟:

$$D_{ev}=\frac{\sum T}{T_{sum}}。(7)$$

式中: D_{ev} 为夏玉米发育进程, $\sum T$ 为播种至当前日大于 0℃的积温, T_{sum} 为夏玉米全生育期大于 0℃的积温,本文取 $T_{sum}=2\ 463\ (^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$,当 D_{ev} 达到 0.107时,夏玉米进入三叶期;达到 0.576 时,进入抽雄期;达到 0.857 时,进入乳熟期;达到 1.0 时,进入收获期。

(2)多年平均发育期法。利用当地多年夏玉米发育期资料,计算出播种、三叶、抽雄、乳熟和成熟等发育期的多年平均出现日期。

1.2.5 径流和渗漏子模型 本次试验地点位于华北平原,地势平坦,地下水位较低。本文的研究对象为 0~100 cm 农田土层。根据这些特点,建立夏玉米径流和渗漏模式如下:

$$D_{r(i)}=P_{(i)}+I_{(i)}-(W_c-W_{(i-1)})。 (8)$$

式中: D_r 为日径流或渗漏量(mm), P 为日降水量(mm), I 为日灌溉量(mm), W_c 为 0~100 cm 土层田间持水量(mm), W 为 0~100 cm 土层土壤含水量(mm), i 为预报时段中的某一天。

1.2.6 灌溉和排渍决策子模型 (1)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 1 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。(2)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。本文取田间持水量的 90%为灌溉上限。(3)排水日期预测。逐日预测 1 m 深土层土壤含水量,当预报时段内第 1 天出现土壤含水量大于田间持水量时,应考虑排水,该天即为排水日期。

1.3 夏玉米农田土壤水分预测模型精度的分析与比较

利用 2002 年 6~9 月中国气象局农业气象试验

基地 21 个不同水分处理试验小区的夏玉米全生育期试验资料,包括土壤湿度、作物发育期、气象(逐日最高气温、最低气温、平均气温、空气湿度、风速、日照)和灌溉等资料,对分别采用不同潜在蒸散量子模型和作物发育期子模型的夏玉米农田土壤水分预测模型进行模拟预测,分析和比较模型的精度。

2 结果与分析

2.1 不同潜在蒸散量计算子模型对单个夏玉米种植小区土壤水分预报结果的分析与比较

在夏玉米农田土壤水分预测模型中,分别引入计算潜在蒸散量采用的国内法和 FAO 法子模型,其他子模型都相同,其中作物发育期子模型均采用多年平均发育期法。在 21 个水分处理小区中,选 2 号、15 号和 6 号小区分别代表土壤湿度高、中、低 3 种水分处理,图 1 的预测时段为夏玉米的三叶期(06-27)至成熟期(09-18),预报初始日期为 06-27,最大预报时效 83 d。在预测时段内,模型的 0~100 cm 农田土壤水分模拟预测值是逐日的,而土壤水分实测值分别在 07-08、07-18、07-28、08-08、08-18、08-28、09-08 和 09-18 测定。根据这 8 d 的预测值和实测值得到图 1,这 8 d 的预测时效分别为 11,21,31,42,52,62,73 和 83 d。

由图 1 可知,在不同水分条件下,国内法的预测值均高于 FAO 法;采用国内法和 FAO 法对 8 个不同预测时效土壤水分进行预测的平均相对误差,2 号小区分别为 13.8%和 7.5%,15 号小区为 7.8%和 21.7%,6 号小区为 23.0%和 31.2%。由此可见,在土壤湿度较高的情况下,FAO 法的平均预报精度高于国内法,而在土壤湿度中等和较低的情况下则反之。

2.2 不同潜在蒸散量计算子模型对多个夏玉米种植小区土壤水分预报结果的分析与比较

同 2.1 处理,只改变潜在蒸散量子模型,其他子模型都相同,其中发育期模型均采用多年平均发育期法。当预报初始日期为 07-08、预报时效为 31 d 时,同时用 21 个试验小区 0~100 cm 土壤水分实测值来检验模型的预报精度(图 2)。由图 2 可知,21 个试验小区采用国内法潜在蒸散模型的预测值均高于 FAO 法。与实测值相比,21 个不同水分处理小区中,只有 1、2、3 和 13 号小区的 FAO 法预测值大于实测值,其余 17 个小区均小于实测值;而采用国内法时,1、2、3、4、10、13、14、16 和 19 等 9 个小区的预测值高于实测值,其余 12 个小区则低于实测值。

FAO 法对 21 个小区土壤水分预测的平均相对误差为 16.7%,国内法为 9.8%。

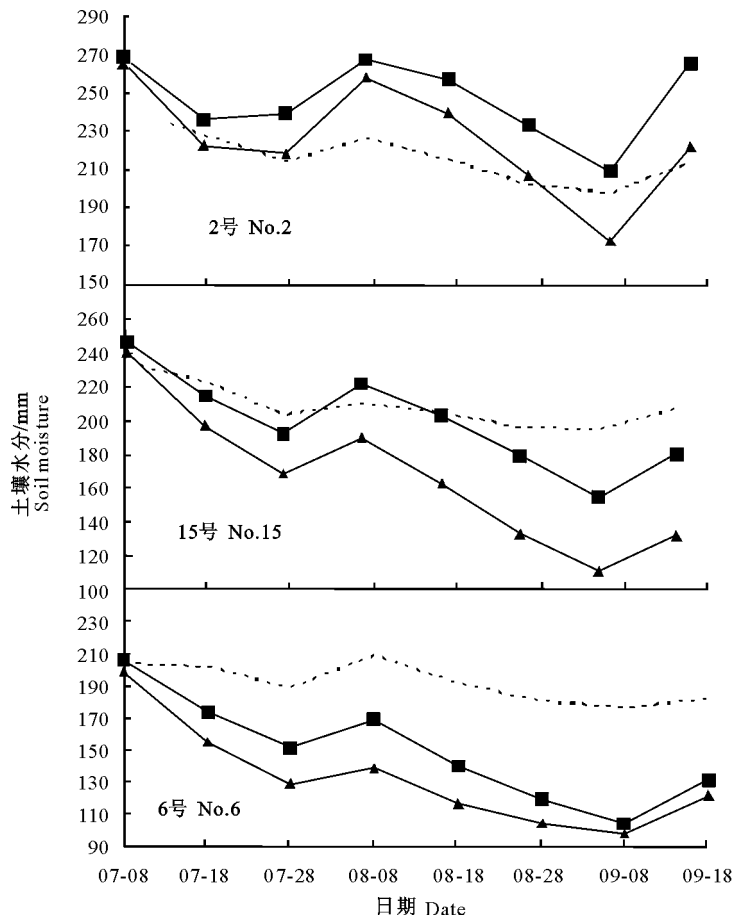


图 1 国内法和 FAO 法对单个夏玉米种植小区 0~100 cm 土层土壤水分的预报结果比较
....., 观测值;—■—, 预测值(国内法);—▲—, 预测值(FAO 法)

Fig. 1 Comparison of 0—100 cm soil moisture prediction results in single plot grown summer maize using Chinese Model and FAO Model

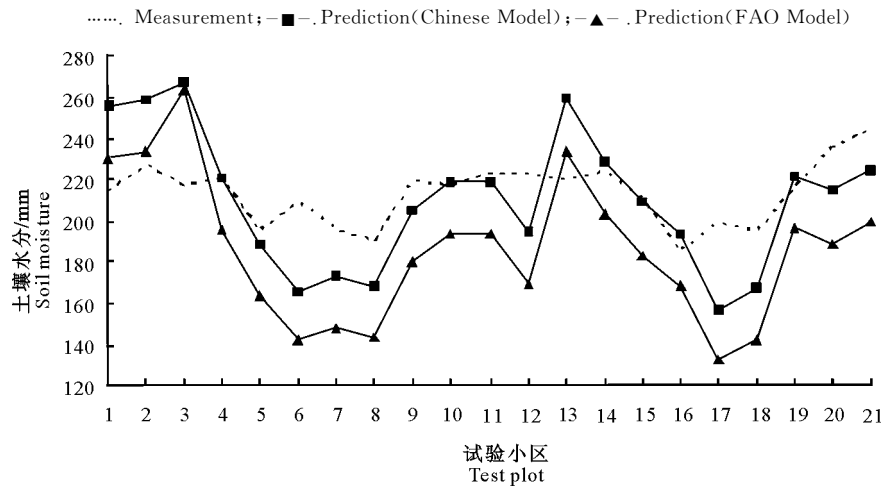


图 2 国内法和 FAO 法对 21 个夏玉米种植小区 0~100 cm 土层土壤水分的预报结果比较
....., 观测值;—■—, 预测值(国内法);—▲—, 预测值(FAO 法)

Fig. 2 Comparison of 0—100 cm soil moisture prediction results in 21 plots grown summer maize using Chinese Model and FAO Model

....., Measurement;—■—, Prediction(Chinese Model);—▲—, Prediction(FAO Model)

表 2 为不同预报初始日期和不同预报时效下, 21 个试验小区平均 0~100 cm 土壤水分的预报误差分析。由表 2 可知, 预报时效约 10 d 时, 国内法对 6 次不同预报初始日期下 21 个试验小区土壤水分的平均预测相对误差均小于 10%, 平均为 6.5%, FAO 法平均为 8.9%; 预报时效约 20 d 时, 国内法对 6 次不同预报初始日期下 21 个试验小区土壤水

分的平均预测相对误差为 11.9%, FAO 法为 16.6%; 预报时效为 31 d 时, 国内法对 6 次不同预报初始日期下 21 个试验小区土壤水分的平均预测相对误差为 12.4%, FAO 法为 20.2%; 说明随着预报时效的增加, 2 种方法的预报精度都降低; 不同预报时效下国内法的平均预报精度均高于 FAO 法。

表 2 不同预报初始日期和不同预报时效下 21 个夏玉米种植小区平均 0~100 cm 土壤水分预报误差分析
Table 2 Error analysis of average soil moisture prediction in 0—100 cm soil layer of 21 plots grown summer maize for different staring dates and different prediction periods

初始日期 Staring date	预报时效/d Prediction period	国内法	Chinese model	FAO 法	FAO model
		相对误差/% Relative error	绝对误差/mm Absolute error	相对误差/% Relative error	绝对误差/mm Absolute error
06-27	11	4.20	10.05	5.73	13.49
07-08	10	9.36	20.46	14.25	31.22
07-18	10	4.62	9.83	6.51	13.60
07-28	11	8.63	18.59	6.57	14.03
08-08	10	4.88	9.75	7.69	15.28
08-18	11	7.54	14.59	12.53	24.25
平均 Average		6.5	13.9	8.9	18.6
06-27	21	9.58	20.80	15.40	33.41
07-08	20	12.74	25.97	20.22	40.94
07-18	21	9.35	20.03	8.24	17.53
07-28	21	9.59	19.50	8.09	16.15
08-08	20	11.57	22.08	19.96	38.36
08-18	21	18.54	35.13	27.70	52.56
平均 Average		11.9	23.9	16.6	33.2
06-27	31	13.99	28.41	22.32	44.90
07-08	31	9.79	20.76	16.68	35.19
07-18	31	9.89	20.04	12.59	25.42
07-28	31	8.72	16.64	14.86	28.19
08-08	31	22.22	41.86	33.02	62.52
08-18	31	9.84	19.06	21.46	42.17
平均 Average		12.4	24.5	20.2	39.7

2.3 不同发育期子模型对单个夏玉米种植小区土壤水分预报结果的分析与比较

在夏玉米农田土壤水分预测模型中, 发育期模型分别采用多年平均发育期法和积温法, 其他子模型都相同, 其中潜在蒸散量的计算采用国内法。以 1 和 15 号小区为例, 比较不同发育期模型对夏玉米种植小区 0~100 cm 土层逐日土壤水分预报精度的影响, 结果见图 3。

图 3 预报初始日期为 06-27, 预报时效 83 d(从夏玉米三叶期至成熟期)。由图 3 可知, 积温法与平均发育期法对夏玉米土壤水分的预报结果非常接近, 最大绝对差值 1 号小区为 3.1 mm, 15 号小区为 4.9 mm。图 3 仅给出这 2 个小区在计算潜在蒸散量时采用国内法的例子, 采用 FAO 法及对其他试验小区也具有类似的预测结果。可见, 在北方夏玉米农田土壤水分预测模型中, 发育期子模型采用积

温法或平均发育期法对土壤水分的模拟精度相当。

2.4 土壤水分预测模型对夏玉米农田的灌溉预报

选择土壤湿度较低的 6 号小区为代表进行夏玉米农田灌溉预报。图 4 中 0~100 cm 土层逐日土壤水分预报值用夏玉米农田土壤水分预测模型计算得到, 其中作物发育期子模型采用多年平均发育期法, 潜在蒸散量子模型采用国内法, 预报初始日期为 06-27, 最大预报时效 83 d。以 0~100 cm 土层的土壤相对湿度(55%, 154 mm)为灌溉线, 即作物临界土壤含水量。

由图 4 可知, 预报时段内第 1 次出现土壤含水量小于作物临界土壤含水量的日期为 07-27, 当天的土壤含水量为 152.8 mm, 因此, 07-27 为预报灌溉日; 预报时段内第 2 次出现土壤含水量小于作物临界土壤含水量的日期为 08-14, 当天的土壤含水量为 152.6 mm。08-14 以后至收获, 土壤含水量均低于

作物临界土壤含水量,如果不进行灌溉,夏玉米生长发育会受到干旱的影响。

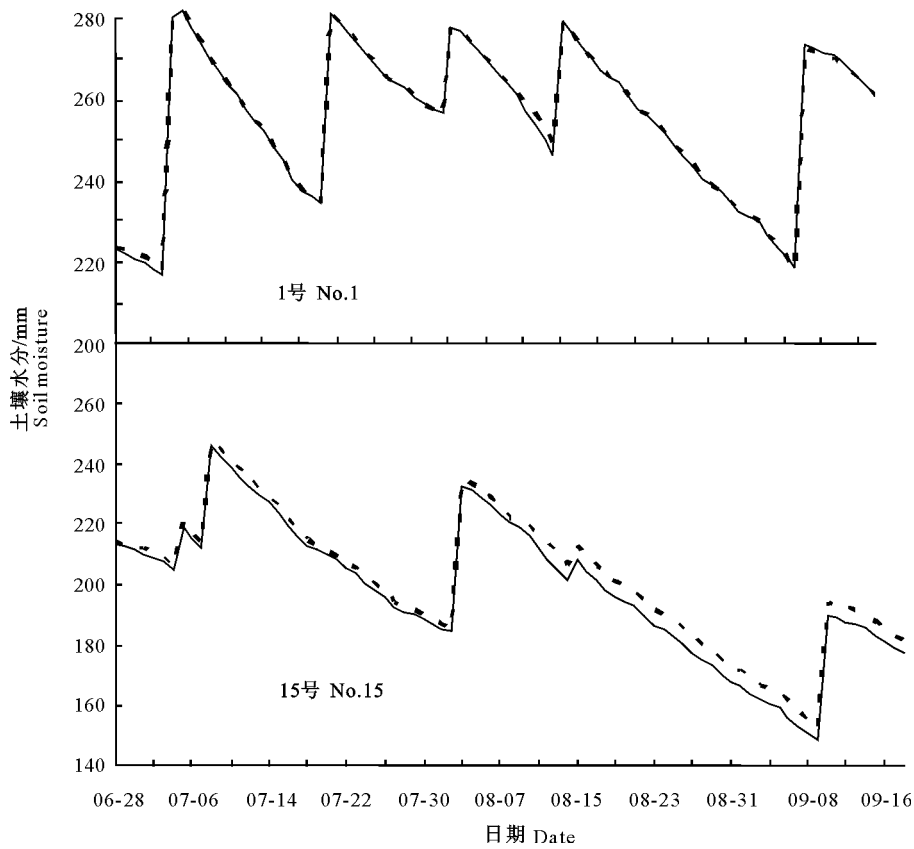


图 3 积温法与平均发育期法对单个夏玉米种植小区 0~100 cm 土层土壤水分预报结果的比较
....., 平均发育期法;—, 积温法

Fig. 3 Comparison of 0—100 cm soil moisture prediction results in single plot grown summer maize using accumulated temperature method and mean growth period method
....., Mean growth period method;—, Accumulated temperature method

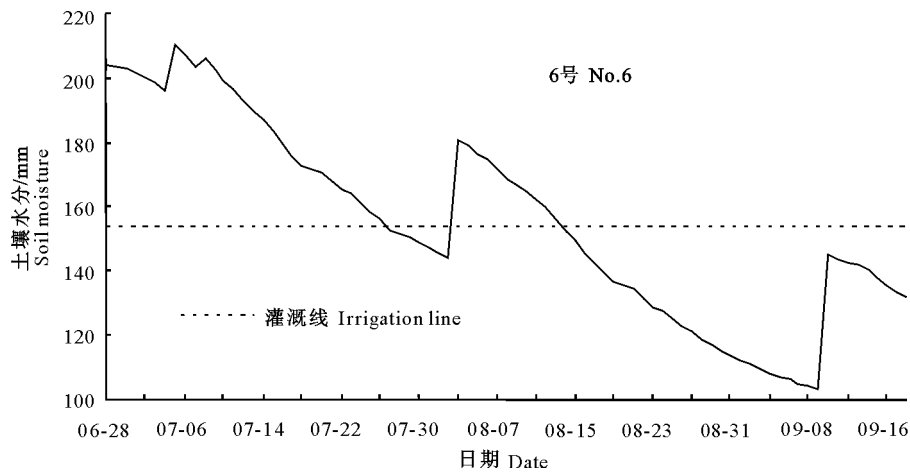


图 4 采用土壤水分预测模型预测 0~100 cm 土层夏玉米农田土壤水分后的灌溉预报
Fig. 4 Irrigation prediction after 0—100 cm soil moisture prediction in the plots grown summer maize using the soil moisture prediction model

2.5 土壤水分预测模型对夏玉米农田的排渍预报
选择土壤湿度较高的 1 号小区为代表进行夏玉

米农田排渍预报。图 5 中 0~100 cm 土层逐日土壤水分预报值的计算同 2.4 中, 预报初始日期为 06-

27,最大预报时效 83 d。以 0~100 cm 土层的田间持水量(281 mm)为排渍线。由图 5 可知,预报时段内 0~100 cm 土层土壤含水量最大值出现在 07-05,

为 279.7 mm,没有出现土壤含水量高于 281 mm 的日期,因此,不需要排渍。给出排渍预报例子的目的在于表明模型具有该项功能。

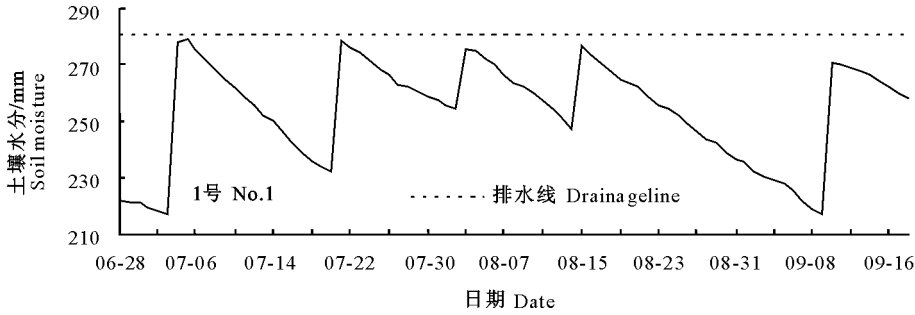


图 5 采用土壤水分预测模型预测 0~100 cm 土层夏玉米农田土壤水分后的排渍预报
Fig. 5 Drainage prediction after 0—100 cm soil moisture prediction in the plots grown summer maize using the soil moisture prediction model

3 结论与讨论

在土壤湿度中等和较低情况下,水分预测模型中,潜在蒸散量子模型采用国内法对不同预测时效下夏玉米农田土壤水分的平均预测精度高于 FAO 法,而在土壤湿度较高的情况下则反之。其原因可能有两方面:一是国内法与 FAO 法的预测值存在前者高于后者的系统偏差,因此,当两者都大于实测值时,前者的精度低于后者,而当两者都小于实测值时则反之。二是在土壤湿度较高的试验小区,灌溉次数多,灌溉量较大,部分水分沿着小区四周水泥壁下渗到 1 m 以下土层,因此出现 2 种预测值均高于实测值的情况;在无灌溉或灌溉量较小时,2 种方法的预测值多数低于实测值,可能是潜在蒸散量计算值偏大的缘故。这有待于进一步试验研究。

水分预测模型中潜在蒸散量子模型采用国内法和 FAO 法在不同预测初始日期下,对所有试验小区土壤水分的平均预测精度随着预测时效的增加而降低。国内法的平均预测精度高于 FAO 法。

水分预测模型中作物发育期子模型采用积温法或平均发育期法,均可较好地预测北方地区夏玉米农田的土壤水分,两者对 0~100 cm 土层土壤水分预测的最大绝对差值小于 5 mm。

上述结论是根据 2002 年 6~9 月中国气象局农业气象试验基地 21 个不同水分处理小区的夏玉米全生育期试验资料分析得出的,在不同年份以及我国北方夏玉米种植区内是否都有同样的结论,有待于更多的研究来验证。

在分别用计算潜在蒸散量的国内彭曼修正式和

FAO Penman-Monteith 方法计算北方夏玉米田间实际蒸散量时,作物系数采用同一套 FAO 提供的值^[19]。如果有实际蒸散量的实测资料,可先用公式(5)分别确定上述 2 种潜在蒸散量计算方法的北方夏玉米作物系数,再比较二者的土壤水分预测精度,这样更合理些,这方面也有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 王树安. 作物栽培学各论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 132, 168.
Wang S A. Crop plant and cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 132, 168. (in Chinese)
- [2] 韩希英, 宋凤斌. 干旱胁迫对玉米根系生长及根际养分的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 170-172.
Han X Y, Song F B. Effect of drought stress on root growth and rhizosphere nutrients of maize [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(3): 170-172. (in Chinese)
- [3] 任三学, 赵花荣, 霍治国, 等. 有限供水对夏玉米根系生长及底墒利用影响的研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 161-165.
Ren S X, Zhao H R, Huo Z G, et al. Study on effect limited water supply on growth of roots and soil moisture use of summer corn [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 161-165. (in Chinese)
- [4] 陈杰, 杨京平. 玉米渍水模拟模型研究及验证 [J]. 作物学报, 2003, 29(3): 436-440.
Chen J, Yang J P. Simulation model of corn restricted by waterlogging and its verification [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(3): 436-440. (in Chinese)
- [5] 钱维宏, 符娇兰, 张玮玮, 等. 近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 673-684.
Qian W H, Fu J L, Zhang W W, et al. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years [J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(7): 673-684. (in Chinese)

- [6] 贾宏伟,康绍忠,张富仓.土壤水力学特征参数空间变异的研究方法评述[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(4):97-102.
Jia H W,Kang S Z,Zhang F C. A review of study methods on spatial variability of soil hydraulic properties [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition,2004,32(4):97-102. (in Chinese)
- [7] 邵晓梅,严昌荣,徐振剑.土壤水分监测与模拟研究进展[J].地理科学进展,2004,23(3):58-66.
Shao X M,Yan C R,Xu Z J. Progress in monitoring and simulation of soil moisture [J]. Progress in Geography, 2004, 23 (3):58-66. (in Chinese)
- [8] 尚松浩,雷志栋,杨诗秀.冬小麦田间墒情预报的经验模型[J].农业工程学报,2000,16(5):31-33.
Shang S H,Lei Z D,Yang S X. Empirical model for soil moisture forecast in winter wheat field [J]. Transaction of the CSAE,2000,16(5):31-33. (in Chinese)
- [9] 毛 飞,霍治国,李世奎,等.中国北方冬小麦播种期底墒干旱模型[J].自然灾害学报,2003,12(2):85-91.
Mao F,Huo Z G,Li S K,et al. A drought model of soil moisture in seedtime of winter wheat in north of China [J]. Journal of Natural Disasters,2003,12(2):85-91. (in Chinese)
- [10] 罗长寿,魏朝富,李瑞雪.时序模型在四川盆地土壤水分动态预报中的应用[J].西南农业大学学报,2002,24(5):464-466.
Luo C S,Wei C F,Li R X. Application of a time series model in prediction the dynamics of soil water content in Sichuan Basin [J]. Journal of Southwest Agricultural University,2002, 24(5):464-466. (in Chinese)
- [11] 张光智,徐祥德,毛 飞,等.气候模式—农业气象模式集成系统的小麦灌溉管理新途径[J].应用气象学报,2001,12(3):307-316.
Zhang G Z,Xu X D,Mao F,et al. A new approach of irrigation management for winter wheat by the climatic-agrometeorological model consensus system [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology,2001,12(3):307-316. (in Chinese)
- [12] 康绍忠,张富仓,梁银丽.玉米生长条件下农田土壤水分动态预报方法的研究[J].生态学报,1997,17(3):245-251.
Kang S Z,Zhang F C,Liang Y L. Research on the forecast method of soil water dynamic process in corn land [J]. Acta Ecologica Sinica,1997,17(3):245-251. (in Chinese)
- [13] Allen R G,Pereira L S,Raes D,et al. Crop evapotranspiration [M]. Rome:FAO Irrigation and drainage,paper no. 56,1998.
- [14] 裴步祥.蒸发和蒸散的测定与研究[M].北京:气象出版社,1989:82-98.
Pei B X. Mensuration and study of evaporation and evapotranspiration [M]. Beijing: Meteorology Press,1989:82-98. (in Chinese)
- [15] 刘晓英,李玉中,王庆锁.几种基于温度的参考作物蒸散量计算方法的评价[J].农业工程学报,2006,22(6):12-18.
Liu X Y,Li Y Z,Wang Q S. Evaluation on several temprature-based methods for estimating reference crop evapotranspiration [J]. Transaction of the CSAE,2006,22(6):12-18. (in Chinese)
- [16] 郑国清,高亮之.玉米发育期动态模拟模型[J].江苏农业学报,2000,16(1):15-21.
Zheng G Q,Gao L Z. Simulation model of maize phenology [J]. Jiangsu Journal of Agriculture Science,2000,16(1):15-21. (in Chinese)
- [17] 郑国清,张瑞玲,高亮之.我国玉米计算机模拟模型研究进展[J].玉米科学,2003,11(2):66-70.
Zheng G Q,Zhang R L,Gao L Z. Progress and perspective in maize growth simulation model in China [J]. Journal of Maize Sciences,2003,11(2):66-70. (in Chinese)
- [18] 张银锁,宇振荣,Driessen P M.夏玉米植株及叶片生长发育热量需求的试验与模拟研究[J].应用生态学报,2001,12(4):561-565.
Zhang Y S,Yu Z R,Driessen P M. Growing degree-days requirements for plant and leaf development of summer maize-an experimental and simulation study [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2001,12(4):561-565. (in Chinese)
- [19] 杜林博斯 J,卡萨姆 A H.产量与水的关系[M].罗马:粮农组织灌溉及排水丛书 33,1979:22,30-38.
Doorenbos J,Kassam A H. Yield response to water [M]. Rome:FAO Irrigation and drainage,paper no. 33,1979:22,30-38. (in Chinese)