

# CERES 玉米模拟模式评价及其应用

刘海波

袁 靖 运尔英

(黑龙江省气象科学研究所 150030)

(黑龙江省气候中心)

**摘 要** 引用美国作物—环境—资源系统 (CERES) 玉米模式, 通过田间试验及计算机模拟, 设置了 CERES—玉米模式在黑龙江省应用的有关参数, 并用于动态模拟黑龙江省玉米生长、发育及产量预测等, 为发展玉米生产提供科学依据。

**关键词** 玉米 模拟 评价

## 1 前 言

随着计算机在农业生产领域中的广泛应用, 利用计算机研究作物生长模拟取得了长足进展, 近年来已成为农业气象模拟研究中最富活力、进展最快、又最具应用前景的一个研究领域。这方面美国已相继研制了 CERES (Crop Environment Resour Synthesis) 小麦、玉米、水稻、大豆、棉花、高粱等作物的模拟模型, 并投入业务使用。这些模式从作物生长的基本过程开始, 考虑了作物的品种特性、生长发育过程、气候因素的变化、土壤特征、耕作制度、灌溉和施肥状况等, 把作物生长与产量形成和环境条件融入一个完整的系统。我国也相继开展了这方面的研究, 并取得一些成果<sup>(1)、(2)</sup>。

## 2 模式介绍

CERES—玉米模式是美国农业部、农业研究署 (USDA—ARS) 于 1986 年研制的, 是目前世界上具有代表性的作物模式之一。该模式是一个面向用户、用于生产实际的逐日模拟玉米生长、发育及产量形成的动态模拟模式。

为了准确地模拟玉米的生长发育和产量形成, 该模式考虑了: 物候发育, 特别是受基因和天气影响的发育阶段; 叶、茎、根的生长; 生物量的积累与分配; 土壤水分平衡和作物的水分利用。CERES—玉米模式主要包括输入文件、运算程序和输出文件三部分。输入文件包括参数输入文件和逐日气象资料

输入文件。

参数输入文件要求输入玉米品种资料、土壤资料、气象资料。品种资料包括: 品种基因参数, 播种期, 播种密度, 出苗至三叶大于 8℃ 的积温, 光周期灵敏系数, 吐丝至生理成熟期间大于 8℃ 积温, 最多玉米粒数, 玉米最大生长速率。土壤资料包括: 土壤反射率, 第一阶段土壤蒸发上限, 土壤水分传导系数, 径流曲线号码, 按土壤自然结构分层的各层土壤厚度, 各层土壤凋萎湿度, 各层土壤田间持水量, 各层土壤饱和持水量, 各层土壤初始含水量。气象资料包括: 逐日总太阳辐射, 逐日最高气温, 逐日最低气温, 逐日降水。

运算程序用于资料的统计计算, 逐日模拟玉米的生长、发育和干物质累积等, 并生成输出文件。输出文件存放模拟结果, 如发育期、产量等。该模式可分为玉米生育期模型和产量形成模型两部分。

### 2.1 玉米发育进程控制

CERES 将玉米全部生育期分为播种—发芽、发芽—出苗、出苗—幼龄末期、雄穗分化—吐丝、吐丝—生理成熟 5 个阶段, 各发育阶段的进程由相应的温度指标和水分指标控制。

播种—发芽阶段。种子发芽的满足条件是播种层土壤水分含量大于凋萎湿度, 即  $SWSD \geq 0.02$ 。

$$SWSD = [SW(L_0) - LL(L_0)] \times 0.65 + [SW(L_0 + 1) - LL(L_0 + 1)] \times 0.35 \quad (1)$$

式中  $SW(L_0)$  为播层土壤湿度,  $LL(L_0)$  为

黑龙江气象 1997 年 第 1 期

收稿日期: 1995\_12\_04

• 22 •

播层凋萎湿度,  $SW (L_o+1)$  为播层下层土湿,  $LL (L_o+1)$  为播层下层凋萎湿度。

发芽一出苗阶段。当  $\geq 8^\circ\text{C}$  的积温  $> P_\phi$  时出苗。 $P_\phi = 15 + 6 \times SDEPTH$  (播种深度)。

出苗一幼龄末期阶段。当积温  $\geq P_1$  时达幼龄末期。 $P_1$  为出苗至幼龄末期所需积温。

雄穗分化一叶片生长终日及吐丝阶段。当积温  $\geq P_3$  时, 该阶段结束。 $P_3$  为雄穗分化至吐丝所需积温。

吐丝一生理成熟期。当积温  $\geq P_5$  时, 作物成熟, 当连续两天的最高气温低于  $6^\circ\text{C}$  时, 作物即停止生长。 $P_5$  为吐丝至生理成熟所需积温。

## 2.2 干物质累积模型及干物质在植株各部分的分配

光合有效辐射的叶片截留量遵循 Beer 定律, 衰减系数为 0.65。在非胁迫情况下, 每兆焦的光合有效辐射截留量生产 5.0 克干物质。潜在干物质产量  $PCARB = 5.0 \times PAR / PLANTS (1 - e^{-0.65 \times LAI})$ 。其中  $PAR$  为光合有效辐射 ( $\text{MJ} \cdot \text{M}^2$ );  $PLANTS$  为植株密度 ( $\text{株} \cdot \text{M}^2$ );  $LAI$  为叶面积指数。

某日实际干物质产量  $CARBO = PCARB \times AMINI(PRFT, SWDF1)$ ,  $AMINI$  是取最小值的函数,  $PRFT$  是温度胁迫指数。

$$PRFT = 1 - 0.0025 \times ((0.25 \times TEMPMN + 0.75 \times TEMPMX - 26)^2) \quad (2)$$

其中  $TEMPMN$  为最低气温,  $TEMPMX$  为最高气温,  $SWDF1$  是水分胁迫系数, 表达式为  $SWDF1 = TRWV / EP$  ( $TRWV$  为根部可能吸收水分日总量,  $EP$  为实际蒸腾量)。

昼间籽粒增重总量

$$GROGRN = RGFILL \times GPP \cdot G_3 \times 0.001 \times (0.45 + 0.55 \times SWDF1) \quad (3)$$

式中  $GPP$  为每株籽粒数,  $G_3$  为籽粒的最大日灌浆速率 ( $\text{mg}/\text{粒}$ ),  $SWDF1$  为干旱胁迫

指数。 $RGFILL$  为籽粒相对灌浆速度, 按每日 8 次的时间步长求和

$$RGFILL = \sum_{i=1}^8 [1.0 - 0.0025 \times TTMP_i - 26]^2] / 8 \quad (4)$$

式中  $TTMP_i$  为利用内插法得到的 3 小时平均温度。

$CARBO$  在籽粒、茎、叶和根中的分配。首先计算根、茎、叶的生长与重量, 若干物质日增长量不转给籽粒时, 只在茎和根中平均分配。

$GROSTM$  (茎生长速率)  $= CARBO - GROGRN$

$STMWT$  (茎杆重量)  $= \sum GROSTM \times 0.5$

$GRORT$  (根生长速率)  $= GROSTM \times 0.5$

若  $CARBO < GROGRN$ , 则干物质全部转给籽粒。

## 3 CERES—玉米模拟模式应用效果评价

为验证 CERES—玉米模式在黑龙江省的可行性, 于 1990 年在哈尔滨农业气象试验站进行了分期播种试验, 用 CERES—玉米模式模拟实际观测的玉米物候期及产量, 以检验模式的可行性。

### 3.1 试验材料及方案

试验地距黑龙江省气象台观测站大约 50m, 试验地为黑土, 反照率  $SALB = 0.13$ , 土壤第一阶段蒸发上限  $U = 10\text{mm}$ , 土壤水分传导率  $SCON = 0.6$ , 径流曲线号码  $CN2 = 84$ 。模式所需自播种至成熟期的逐日气象资料 (太阳总辐射、最高气温、最低气温及降水量) 由黑龙江省气象台观测站提供, 土壤水文特性资料由哈尔滨农业气象试验站提供。

试验共分 4 期, 5 月 4 日至 19 日, 每隔 4 日安排 1 期。面积为  $3.5\text{m} \times 6\text{m}$ , 行距为  $0.7\text{m}$ , 播种深度为  $4.0\text{cm}$ , 密度为  $4.10\text{株}/\text{m}^2$ 。玉米品种为四单 8。土壤含水量通过土钻取土烘干称重法测得。测土深度为  $1\text{m}$ , 分为 9 层, 最后一层为  $20\text{cm}$ , 其余各层为  $10\text{cm}$ 。播种日土壤水

分资料由5月8日至18日土壤水分代替, 5月4日及5月14日均测至50cm。

试验观测项目包括50%出苗日期、75%吐丝日期、成熟日期、最大叶面积指数、灌浆速率、每穗粒数和最终产量。灌浆速率的测定是在吐丝后8月10日、8月17日、8月20日、8月25日, 分别在每期相同的两穗中部, 取30粒烘干后求其平均数得到, 其结果为10.977mg/粒·日; 每穗粒数是在收获后测得, 平均为800粒/穗。

### 3.2 CERES—玉米模式参数设置

#### 3.2.1 土壤参数设置

土壤表面反射率: 黑龙江省耕地有机质含量为2%~5%, 反射率为0.13。土壤第一阶段蒸发上限: 壤土为8~11mm, 这里取9mm。土壤水分传导系数: 壤土排水速率适中, 该值为0.6。径流曲线号码: 该号码表征地面的径流能力。耕地较平坦, 径流量适中, 曲线号码为84; 耕地坡度在5~10时, 曲线号码取83; 耕地坡度大于10度, 曲线号码取91。

土壤调湿湿度、田间持水量、饱和持水量、初始含水量等参数, 各地数值差异较大, 这里使用各地气象站实测值。

#### 3.2.2 作物参数设置

模式需要输入的作物参数有:  $P_1$ 为出苗至幼龄末期所需积温,  $P_2$ 为光周期灵敏度,  $P_3$ 为吐丝至成熟所需积温,  $G_2$ 为每株潜在玉米粒数,  $G_3$ 为最适宜条件下灌浆速率(mg/粒·日)。

上述参数的确定是通过大量上机试验观测完成的。首先根据纬度和已知玉米品种的参数, 确定一组初始值, 然后在计算机上模拟运算, 根据输出的物候期结果, 调整参数, 直至与该地试验观测结果相吻合为止。这是一个反复试验的过程, 试验的资料长度最好为3~4年, 过长或过短都将增大参数的不确定性。

CERES 需要输入的作物品种特性参数确定如下:

苗期 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ 积温=250.0 $^{\circ}\text{C}$ , 光周期系数=0.30, 吐丝至生理成熟期 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ 积温=550.0 $^{\circ}\text{C}$ , 最多玉米粒数=800粒, 灌浆速率=9.50mg/粒·日。

### 3.3 模式验证分析

#### 3.3.1 试验结果和模拟效果对比分析

田间试验观测的玉米物候发育期和产量列表1; 模式模拟的玉米物候发育期及产量列表2; 模式模拟结果与分期试验观测结果对比列表3。

表1 试验观测的玉米发育期和产量 (kg/ha)

播种日期	5月4日	5月9日	5月14日	5月19日
出苗日期	15/5	21/5	25/5	30/5
吐丝日期	21/7	23/7	25/7	29/7
成熟日期	12/9	14/9	15/9	16/9
最大叶面积指数	2.60	2.50	2.88	2.58
产量	6905	7738	7143	7500

表2 模拟的玉米发育期和产量 (kg/ha)

播种日期	5月4日	5月9日	5月14日	5月19日
出苗日期	12/5	18/5	23/5	29/5
吐丝日期	21/7	27/7	30/7	2/8
成熟日期	5/9	14/9	15/9	16/9
最大叶面积指数	2.60	2.50	2.88	2.58
产量	6905	7738	7143	7500

表3 物候发育期及产量模拟偏差 (天)

播种日期	5月4日	5月9日	5月14日	5月19日	平均标准差
出苗日期	-3	-3	-3	-1	2.5
吐丝日期	0	5	4	4	3.3
成熟日期	-6	-5	-4	5	5.0
产量偏差	-85	-220	-34	38	94.3
产量相对误差 (%)	-1.2	-2.8	0.5	0.5	1.3

表1中第三期试验测定的产量比邻近播期的产量低, 可能是由于7月25~28日的温度较低(日平均温度为17.4 $^{\circ}\text{C}$ 、17.2 $^{\circ}\text{C}$ 、17.2 $^{\circ}\text{C}$ ), 正值吐丝末期, 受到一定影响。表2中, 第三期模式模拟产量也同时反映出这一现象, 说明该模拟模式对低温反映比较敏感。

从表3中看到, 出苗预报普遍偏早1~2天, 而吐丝预报又偏晚0~5天, 成熟期预报除最后一期偏晚5天外, 均偏早4~6天。模式模拟玉米物候发育期最大误差为6天, 最小误差为0天。玉米产量模拟的最大偏差为

220kg/ha, 最小偏差 34kg/ha, 平均偏差 94.3kg/ha; 相对误差在 3% 以内, 产量模拟较准确。

### 3.3.2 模式验证分析

根据哈尔滨农业气象试验站 1990 年 4 个分期播种的田间试验资料的初步验证, CERES—玉米模式对玉米出苗期的模拟与实际平均相差 2.5 天, 吐丝日期平均相差 3.3 天, 成熟期平均相差 5.0 天, 其产量的平均相对误差 1.3%, 模拟结果较好。CERES—玉米模拟模式较好地模拟和再现了玉米生育进程和可能形成的产量。该模拟模式可应用于黑龙江省玉米生产实践及进一步开发研究, 从而为农业生产提供科学依据。

## 4 玉米模拟模式 (CERES) 的应用

CERES 经过与田间试验实测资料对照验证并确定出适合的参数后, 可以用于黑龙江省玉米生产管理决策服务, 进行玉米生产气候资源评价, 多年风险分析以及物候期、产量预报预测等。

CERES 可以用于计算模拟某地的玉米光、温生产潜力及光、温、水生产潜力, 以评价该地温度及降水对玉米种植的影响程度, 为充分利用资源、合理规划和部署玉米生产提供决策依据。模式还可以用于研究气候条件变化对玉米生长、发育及产量的影响, 为制定引种、育种战略决策提供服务, 该作用在气候变暖广泛影响农业生产的今天显得尤为突出。该模式还为人们提供了在计算机上进行数值试验的手段, 利用其可以完成假想条件下的模拟试验, 以研究气象条件的变化对玉米生产的影响。模式还可用于玉米物候期、产量的预测, 物理、生物学意义明确, 误差小, 可信度高。利用该模式进行玉米生产管理决策分析及风险分析, 既可为人们提供十分详细可靠的信息, 又能节省人力、物力、财力。该模式具有广泛的应用性, 为确定合理种植计划以及调整生产结构, 为采取有效的农业技术措施提供科学依据。

## 参考文献

1. 王恩利, 韩湘玲. 农业气候资源信息系统. 中国农业气象, No. 4, 1993.
2. 葛忠良. 计算机在农业领域的应用. 今日科技, 1992 (12).
3. Ritchie J T, et al. IBISNAT and the CERES rice model. Weatger and rice. I.RRI, 1987.
4. 王馥棠. 作物生长模拟研究进展浅析. 南京气象学院学报, 增刊, 1994.
5. 程延年. 国内作物气象研究现状和发展趋势. 农牧情报研究, 1992 (1).
6. 王馥棠主编. 我国粮食产量预测预报研究. 气象出版社, 1989.
7. 中国气象学会农业气象学委员会. 我国农业气象学的进展. 南京气象学院学报, 增刊, 1994.

(上接第 21 页)

## 4 气候影响评价

总体看来, 全省污染气象条件的特点是:

①年平均风速大, 即使在山区, 平均风速也在 2.0 ~ 3.0m/s 之间。平原地区在 4.0m/s 左右。

②风速廓线指数大, 在山区更为显著, 适于高架污染源的排放。

③各季主导风向明显, 频率分布稳定, 平原地区风向日变化极少。

④冬季只有 12 月和 1、2 月逆温厚, 强度大且持续时间长, 初冬、冬末已大幅度减弱。

⑤大气稳定度中性 D 类的数量最多, 但由于相当数量是大风 D 类, 有利于污染物的输送、扩散。

由于工业污染源对环境的影响是长期的, 故应注意以下几点:

①山区 (包括城市) 静风频率多且小风频率也多, 厂址选择既要考虑风向年变化, 又要考虑其日变化。

②在山区复杂地形条件下, 只有通过现场观测与附近气象台 (站) 资料进行对比分析、订正, 才能作为评价区的污染气象分析依据。

③同一时期, 山区的逆温强度、频次、时间都超过了平原地区。