

广东玉米生产气象条件的计算机模拟分析*

钟克友 梁秀兰 朱芳华

(华南农业大学农学系, 广州, 510642)

摘要 用玉米生长发育过程的计算机模拟模型 CERES - MAIZE, 模拟了广东省不同地区、不同季节玉米生长发育过程, 分析了玉米生产与气象条件的关系: 春季播种的, 产量较高, 但早春的低温阴雨天气不利苗期的生长, 易出现病虫害及湿害; 中北部地区 4~7 月播种的, 产量相对较低, 且易受热带暴风雨的危害; 8~9 月播种的, 产量最高, 可充分利用秋冬季的光热资源, 发挥品种的潜力; 最佳播期北部 7 月 15 日~8 月 15 日, 中部 7 月 20 日~8 月 20 日, 南部 8 月 10 日~9 月 10 日; 产量潜力中北部地区 6 900~7 500 kg/hm², 南部 8 250~9 000 kg/hm².

关键词 玉米; 气象条件; 计算机模型

中图分类号 S 16

随着畜牧业发展, 对玉米需求日益增加, 解决有关技术问题被列为广东省“九·五”攻关的内容之一. 玉米产量高低是由品种生物学特性、土肥条件及气象条件共同决定的. 玉米生长发育过程的计算机模型是将三者作为一个系统, 根据各生理生化过程和环境条件间的定量关系, 建立计算机模型, 模拟整个生长发育过程. 用计算机模型分析玉米生长发育与气象条件的关系可除掉其它因素如病虫、水肥、偶然性的不利天气等的影响, 更好地找出二者的关系. 发达国家从 60 年代就开始计算机模拟研究, 并取得了一系列成果, 在生产中获得了广泛的应用, 如应用于农业环境条件的分析评价, 生产潜力估算, 收获前的产量预报 (Hodes, 1987), 各种计算机模拟试验, 现代农业管理等 (曹永华, 1991; 彭宁德, 1988; 朱德锋, 1990; 顾慰连, 1991). 我国 80 年代后期才开始重视这方面的研究, 起步晚, 条件又较差, 加上模型的研究需要多学科专家合作, 需要大量的时间和财力, 因而建立的多是局部过程或经验性的模型, 地区性和时间性限制较大. 本文用的模型是在美国的 CERES - MAIZE (CERES 即 crop environment resource evaluation system, 即作物 - 环境 - 资源评价系统) 模型 (Jones, 1985) 基础上对某些细节和技术性环节进行修改而来 (模拟效果不受影响), 以适合国内情况.

1 玉米生长发育过程模拟模型原理简介

CERES - MAIZE 玉米模型是由农学、生理生态、农业气象及计算机等学科的专家共同研制而成的, 可以模拟不同品种、土壤肥力、播种密度及不同气象条件下玉米的生长发育过程, 主要分为以下几部分.

1.1 发育期的划分与模拟

发育速度由品种生理特性和环境因素 (温度和日长) 共同决定, 温度的影响用类似“积温”的指标 SUMDTT 表示, 但比积温的计算细致很多, 效果更精确. DTT 即 Daily Thermal Time (日热

1998-04-29 收稿 钟克友, 男, 33 岁, 讲师, 硕士

* 广东省科委“九五”重点资助项目 (9622033-04) 内容之一

时),每天以3h一段分为8段,分别考查每段温度对发育的有效性,经一系列处理得到DTT,DTT累积得到SUMDTT.

(1)播种—萌发,由土壤水分决定;(2)萌发—出苗,由播种深度和温度决定;(3)出苗—幼苗期结束(叶原基停止分化为标准),由温度决定;(4)幼苗期结束—开始拔节(雄穗开始分化为标准),由光照时间长短决定;(5)开始拔节—吐丝(最后一叶完全展开为标准),由温度决定;(6)吐丝—有效灌浆开始,由温度决定,这段时间光合产物的多少决定有效穗粒数的多少;(7)有效灌浆开始—结束,由温度决定,这段时间决定穗粒重,是产量形成期;(8)有效灌浆结束—生理成熟(种子背后黑层形成为标准),由温度决定.

1.2 叶面积动态模拟

叶面积动态与叶龄高度相关,同时受温度和水肥条件的影响,发育后期考虑叶片的自然死亡速率,叶龄通过发育速率模拟得到.

1.3 净光合生产率的模拟

将叶片截获的光合有效辐射按一定比例折算为净光合产物,并进行温度和水肥条件的修正.

$$NET = C \times Ft \times PAR(1 - e^{-k \times LAI}) / D.$$

式中,NET:净光合速率($g \cdot m^{-2} \cdot 株^{-1}$);C:有效辐射能折算为净光合产物的比例系数;PAR:光合有效辐射($J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$);k:群体消光系数;LAI:叶面积系数;D:播种密度($株 \cdot m^{-2}$).

Ft 是温度修正因子, $Ft = 1 - 0.0025[(0.25 T_{min} + 0.75 T_{max}) - 26]^2$, T_{min} 是日最低温度, T_{max} 是日最高温度, $0.25 T_{min} + 0.75 T_{max}$ 即白天均温,26为玉米光合的最佳温度,模型考虑了光合与温度的非线性关系.

1.4 灌浆速率的模拟

根据品种特性和形成的穗粒数及温度条件,得出最大灌浆速率(库),和当天的实际净光合率(源)相比较,如果(1)源 > 库,则实际灌浆速率 = 最大灌浆速率,多出部分暂时存入营养器官中;如果(2)源 = 库,则实际灌浆速率 = 最大灌浆速率,光合产物全部输入到籽粒中;如果(3)源 < 库,则实际灌浆速率 < 最大灌浆速率,光合产物全部输入到籽粒中,并考虑营养器官中有一定数量物质转入到籽粒中,日均温 < 16℃,则灌浆停止.

1.5 关于模型的模拟效果

CERES - MAIZE模型是经过大量试验资料验证过的,是机理性模型,不受时间和地区的限制,Hodes(1987)曾用它来预报美国玉米带的产量,顾慰连(1990)用它作为玉米高产栽培决策支持系统的重要模块,模型还被用于预测气候变化对作物的影响(曹永华,1991).实际上作者曾用北京的试验资料验证,效果良好,下面列出几组广州地区的试验资料作个简单对比(因数据不属同一年份,不便作统计分析).

表1 1993年模拟结果和田间试验资料对照¹⁾
(1988,1989两年的均值)

播种期(月-日)	全生育期天数/d		产量/($kg \cdot hm^{-2}$)	
	模拟	实测	模拟	实测
04-01	102	98	4 537.0	4 445.5
06-15	88	92	4 476.0	3 505.0
08-01	101	97	5 968.5	5 351.2
09-01	108	109	4 585.5	4 659.8

1)产量由收获密度、穗粒数和穗粒重计算得来

2 模拟结果及分析

2.1 模型主要参数及来源

气象参数:日平均温度,日最高温度,日最低温度,实际日照时数,降水量.

地理参数:地理纬度.

作物品种参数:P1—出苗到幼苗期结束的 SUMDTT,P2—拔节到吐丝的 SUMDTT,P3—吐丝到有效灌浆开始的 SUMDTT,P4—有效灌浆开始到结束的 SUMDTT,P5—有效灌浆结束到生理成熟的 SUMDTT,P—感光系数,K—群体消光系数.

气象参数抄自广州气象局,品种参数来由田间试验资料(梁秀兰,1991)计算得来.

晚播期限的确定,主要由秋冬季的降温情况决定,当温度降至 15℃ 以下,玉米停止灌浆.表 2 是不同年份温度稳定降到 15℃ 以下的日期,由表 2 可知,用 1987 年的气象资料确定的晚播期限,至少对于 80% 的年份都是安全的,而 1993 年的情况则可以代表多数年份,故用这两年的资料得出的结果有较强的代表性.

表 2 广州不同年份温度稳定降到 15℃ 以下的日期¹⁾(以 12 月 1 日为基准)

年份	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
日期	20	1	5	22	18	10	18	-2	10	5	6	27	*	14	13	11

1) 20 即 12 月 20,依此类推.-2 表示离 12 月 1 日差 2 d 即 11 月 28,* 表示 12 月以后;年份栏均为 20 世纪

2.2 结果与分析

由于资料限制,暂不考虑病虫害及台风的影响,假定水肥条件理想,播种密度 45 000 株/hm²,品种杂交种桂顶一号.品种不同,性状不同,产量不同,但各阶段与气象条件的关系基本相似,故以下的分析也适于其它的品种.中部地区以广州为代表,北部地区以韶关为代表,南部地区以阳江为代表.

(1) 中部地区.通过模拟 1988~1995 年不同时期玉米的生长发育状况,发现主要性状及产量的变化趋势基本一致,现以 1993 为代表进行分析,见表 3.

表 3 广州地区不同播期的模拟结果

1993 年							
播种期 (月-日)	吐丝期 (月-日)	成熟期 (月-日)	总天数 /d	LAI	每穗粒数 /粒	每穗粒重 /g	产量 /(kg·hm ²)
02-01	04-22	06-13	132	2.5	297.6	104.3	4 509.0
02-15	04-25	06-16	121	2.1	272.9	93.3	4 032.0
03-01	05-07	06-25	116	2.5	314.0	104.0	4 197.0
03-15	05-17	07-04	111	2.3	339.5	109.0	4 711.5
04-01	05-26	07-12	102	2.2	338.7	105.0	4 537.5
04-15	06-05	07-21	97	2.5	336.0	103.0	4 470.0
05-01	06-20	08-03	94	2.8	374.0	107.0	4 620.0
05-15	07-02	08-14	91	2.5	390.6	107.7	4 653.0
06-01	07-15	08-27	87	2.5	363.0	103.8	4 491.0
06-15	07-29	09-11	88	2.5	350.2	103.7	4 476.0
07-01	08-14	09-30	91	2.5	321.9	99.2	4 287.0
07-15	08-27	10-16	93	2.4	362.5	125.8	5 430.0
08-01	09-14	11-10	101	2.4	338.6	138.1	5 968.5
08-15	09-30	12-09	116	2.7	376.5	167.0	7 218.0
09-01	10-22	12-18	108	2.7	319.5	106.0	4 585.5

产量由有效播种密度、穗粒数和穗粒重3个因素决定,在播种密度确定的条件下,产量由后两者决定,穗粒数的多少与从吐丝到有效灌浆开始这段时间的长短及气象条件有关,穗粒重(千粒重)取决于有效灌浆时间的长短及期间的气象条件,而持续时间的长短也取决于气象条件,所以从吐丝到成熟这段时间的气象条件是决定产量的关键因素。

表3显示,不同时期播种的玉米,产量与穗粒重的波动最大,且变化趋势一致,穗粒重小,则产量低,大则产量高,穗粒数则比较稳定。生育期长,产量不一定高,如2月播种的生育期在120 d以上,但产量并不高,因前期低温延长了营养生育期,对产量的作用不大,只有灌浆期的延长才是有效的。叶面积系数LAI大,一般有利于高产,如8月中后期播种的,前期生长条件良好,叶面积大,产量也高,但如果后期条件不利产量就不高,如9月播种的,前期生长条件良好,叶面积系数大,但后期条件不利,产量并不高。

4月中旬~7月上旬播种的,产量最低,多在4 500 kg以下,主要因整个生育过程都在高温条件下进行,发育快,生育期只有90 d左右,产量形成期多在6~9月,长约40 d,比最长时少20~30 d,光照条件一般,因而穗粒重小,产量低,此外,这段时间还易受暴风暴雨的危害,直接影响产量。

2~4月上旬播种的,生育期长,产量形成期多在4~6月,时间虽较长约50 d,产量却不高,多在4 500 kg左右,主要因为这段时间光照条件比之秋季要差得多,玉米苗期的生理生态特性最忌低温阴雨,而广州地区春季多低温阴雨天,不利苗期的生长,易产生湿害病害,如2月15播种的,叶面积只有2.1,比最大的2.7明显偏小。

7月下旬~8月下旬播种的产量最高,前期生长条件在正常范围内,产量形成期在9~12月之间,温度在适当范围内略偏低(20~27℃),既不影响光合作用又可以延长灌浆时间(约50~70 d),而且光照条件良好,穗粒重显著比其它时期的大,因而产量高,如8月20播种的,产量高达7 500 kg。良好的光照条件常伴随着较小的湿度和较大的温度日较差,较小的湿度不利病虫害的发生,较大的温度日较差有利于干物质的累积,因较高的白天温度利于光合,较低的夜晚可减少呼吸消耗。

9月以后播种的,前期条件良好,叶面积大,但后期温度低,不利于正常成熟,当温度低于16℃时即停止灌浆,所以产量很快降低。

(2) 北部及南部地区。广东各地同属亚热带季风气候,主要气候特点没有很大差别,因而上面的分析基本上也适于北部和南部地区,下面仅作一横向比较分析。北部和中部产量潜力相当,变化趋势相似,4~7月播种的产量相对较低,8月播种的产量高,因都离海洋较远,气候的大陆性较强,夏季长而炎热,秋冬季光照条件良好。北部降温较早,下限播期也早,根据气候资料统计,约提早4~5 d。与中北部地区不同,南部地区的产量呈逐步上升的趋势,夏季没有一个相对低值区,这是因为南部近海洋,气候受海洋的调节作用明显,夏季不很热,秋冬季不冷,周年可种植玉米,合适的播期在8~9月,产量潜力比中北部地区高(见表4)。

表4 广东各地1987年不同播期模拟的产量(kg·hm⁻²)

播期(月-日)	北部(韶关)	中部(广州)	南部(阳江)
03-01	4 905.0	4 635.0	5 077.5
04-01	4 516.5	4 878.0	5 188.5
05-01	4 084.5	4 465.5	5 097.0
06-01	5 026.5	5 511.0	5 746.5
07-01	4 912.5	5 110.5	5 509.5
08-01	6 997.5	5 955.0	5 736.0
08-05	—	6 879.0	7 012.5
08-25	—	—	8 674.5

3 讨论与结论

春季播种的,产量较高约 4 650 ~ 5 100 kg/hm²,但早春的低温阴雨天气不利苗期的生长,易出现病虫害及湿害.中北部地区 4~7 月播种的,产量相对较低约 4 050 ~ 4 650 kg/hm²,且易受热带暴风雨的危害.8~9 月播种的,产量最高,可充分利用秋冬季的光热资源,发挥品种的潜力.最佳播期北部 7 月 15 日~8 月 15 日,中部 7 月 20 日~8 月 20 日,南部 8 月 10 日~9 月 10 日.产量潜力中北部地区 6 900 ~ 7 500 kg/hm²,南部 8 250 ~ 9 000 kg/hm².

7 500 ~ 9 000 kg/hm² 的产量与目前的实际生产水平还有相当的差距,但与我国主要玉米产区的高产记录相比,还不算高,本文的结果说明,至少从气候资源的角度考虑,玉米生产还有相当的潜力可挖.实际的玉米生产,影响因素除气象条件外,还有土壤、水肥、病虫害和田间管理等多方面因素,用计算机模拟分析则能除去其它因素的影响,更好地看出气象因素的作用.水肥条件的满足是比较容易做到的,上面的结果也可以看作是各时期目前的产量潜力.前面的分析也表明,要获得高的产量,除良好的品种和田间管理外,选择合适的生长季节也是非常重要的一个环节.

参 考 文 献

- 朱德锋.1990.国外作物生产系统计算机模拟研究进展.见:北京农业大学系统工程教研室主编.作物生产计算机调控系统研究.北京:北京农业大学出版社,140~144
- 顾慰连.1991.高产玉米生产管理决策支持系统.见:北京农业大学系统工程教研室主编.计算机农业应用专刊.北京:北京农业大学出版社,83~89
- 曹永华.1991.美国 CERES 作物模拟模型及应用.世界农业,(9):11~15
- 梁秀兰.1991.玉米的分期播种试验与玉米的产量性状研究.华南农业大学学报,12(1):55~61
- 彭宁德.1988.植物生长与作物生产模拟.北京:科学出版社,1~10
- Jones C A, Kiniry J R. 1985. CERES - MAIZE; a simulation model of maize growth and development. Texas : Texas A and M University Press, 6 ~ 82
- Hodes T D, Botner C. 1987. Using the CERES - MAIZE model to estimate production of the U. S. cornbelt. Agri and Forest Metreo, 40: 239 ~ 303

Using Simulation Model to Analyse Maize Production Meteorological Condition in Guangdong Province

Zhong Keyou Liang Xiulan Zhu Fanghua

(Dept. of Agronomy, South China Agric. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract A simulation model of maize growth and development is used to analyse the relation between maize production and meteorological condition in Guangdong Province. The low temperature and overcast weather in spring is harmful to maize juvenile, high temperature during April to July can shorten growing days and tropical hurricanes are also harmful. The most suitable sowing date in the north area is 15 July ~ 15 August, middle 20 July ~ 20 August, south 10 August ~ 10 September. The potential production for the north and middle area is 6 900 ~ 7 500 kg/hm², the south area, 8 250 ~ 9 000 kg/hm², respectively.

Key words maize; meteorological condition; computer simulation model

【责任编辑·张 砾】