

文章编号: 1005-0906(2003)04-0063-04

玉米叶龄与器官发育模拟模型

郑国清¹, 段韶芬¹, 阎书波², 吕冰清³

(1. 河南省农科院农业经济信息研究所, 河南 郑州 450002; 2. 河南省南阳市农业科学研究所, 河南 南阳 473083;

3. 河南省工业职业技术学院, 河南 南阳 473009)

摘要: 根据玉米叶龄发育与影响因子之间的关系, 建立了玉米叶龄动态模型; 根据叶龄与其它器官的同伸关系, 建立了相应的器官建成模型, 模型具有合理的数学与生物学意义。将已建立的发育模型与叶龄模型、器官建成模型进行有机组装, 实现对玉米整个发育过程的模拟。

关键词: 玉米; 叶龄; 器官; 发育; 模型

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Simulation Models of the Development of Leaf Age and Organs in Maize

ZHENG Guo-qing¹, DUAN Shao-fen¹, YAN Shu-bo², LU Bing-qing³

(1. *Institute of Agri-Economy & Agri-Information, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002;*

2. Institute of Agricultural Sciences of Nanyang City, Henan, Nanyang 473083, China;

3. Henan College of Vocational Techniques in Industry, Nanyang 473009, China)

Abstract: The Model dynamically simulating development of maize Leaf age was established based on the relations between leaf growth and environmental factors. According to the simultaneous relationship between leaf age and other organs, formation of maize organs was simulated with relevant models. These models have reasonable meanings both in biology and in mathematics. All the above models, combined with the maize development models constructed also by the authors, can be assembled organically to simulate the whole course of maize development.

Key words: Corn; Leaf age; Organ; Development; Model

叶龄动态在作物发育进程和栽培管理中具有相当重要的意义。在发现了展开叶片数与雌雄穗之间存在同伸关系后, 前者被看作是确定穗分化期的依据。在生产管理中, 常将玉米叶龄增长动态作为玉米生长、器官分化和建成的重要形态指标, 依据叶片的长势、长相采取相应的栽培措施。因此, 农业科技工作者非常重视玉米叶龄发育的动态研究, 建立玉米叶龄发育动态计算机模拟模型有着重要的理论和实践意义, 是玉米生长发育模拟研究的重要方面。

1 材料和方法

在前人工作的基础上, 选择早熟玉米品种苏玉9号和晚熟品种掖单13, 通过田间春、夏不同播期、

收稿日期: 2002-12-04

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(No.0111010600); 河南省科技攻关项目(No.0124020304, No.0224050036)

作者简介: 郑国清(1964-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事农业信息技术研究。Tel: 0371-5747698 E-mail: zgqzx@public2.zz.ha.cn。

不同密度试验和广泛搜集资料获得大量数据, 着重研究不同品种类型的玉米叶龄发育与影响因子之间的关系, 并依据叶龄与其它器官的同伸关系, 建立玉米叶龄动态模型和相应的器官建成模型。

2 叶龄模型

2.1 基本模型

玉米叶片的发育速度与温度之间的数量关系, 前人做了大量研究。Warrington & Kanemasu 用3个玉米杂交种做了更多的处理, 并用一元四次方程描述其间的关系。何维勋、曹永华根据田间试验和人工气候箱模拟试验的实测数据, 建立了温度对增叶速率影响的指数函数关系, 并用分段的指数函数定量地描述了增叶速度随叶龄不同而改变的关系。本研究综合前人的研究结果, 借鉴“水稻钟”叶龄模型, 建立玉米叶龄发育动态模型如下:

$$L = e^k \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^a \cdot N^b \quad (1)$$

且当 $T < T_b$ 时, $T = T_b$; 当 $T > T_o$ 时, $T = T_o$ 。式中 L 表示第 L 叶龄, T 为出苗至第 L 叶龄的平均温度, T_b 为叶龄发育的下限温度 (取 10°C), T_o 是叶龄发育的适宜温度 (取 31°C), N 表示出苗至第 L 叶龄的实际天数, K 、 a 和 b 为模型参数。式(1)经变换, 得:

$$N = \left[L \cdot e^{-K} \cdot \left(\frac{T_o}{T} \right)^a \right]^{\frac{1}{b}} \quad (2)$$

当 $T = T_o$ 时, 则有

$$N_o = (L \cdot e^{-K})^{\frac{1}{b}} \quad (3)$$

N_o 为在适宜温度条件下, 由出苗至第 L 叶龄所需的天数, 称为“叶龄生理日数”。

2.2 模拟模型

上述模型反映了玉米叶龄发育的生物学节律, 但尚难以模拟叶龄发育动态。为此, 将基本模型进行变换, 得到叶龄发育动态模拟模型:

$$N = N_o \cdot \left(\frac{T_o}{T} \right)^{\frac{a}{b}} \quad (4)$$

以逐日平均气温 T_i 替代式(4)中的平均气温, 得:

$$\frac{N_o}{N} = \left(\frac{T_i}{T_o} \right)^{\frac{a}{b}} \quad (5)$$

当 $T_i < T_b$ 时, $T_i = T_b$; 当 $T_i > T_o$ 时, $T_i = T_o$ 。式(5)两端的值通常小于1, 其意义是一般温度条件下, 完成 L 叶龄的实际发育天数 N 要比其“叶龄生理日数” N_o 长。

对式(5)两端逐日求和, 直到累加值等于该叶龄所要求的“叶龄生理日数” N_o 时止, 所经历的天数 M 即为完成由出苗至 L 叶龄所需要的实际天数, 亦即出苗后第 M 天的叶龄为 L 。式(6)即为用来计算玉米不同叶龄出现日的模拟模型。

$$\sum_{i=1}^M \frac{N_o}{N} = \sum_{i=1}^M \left(\frac{T_i}{T_o} \right)^{\frac{a}{b}} = N_o \quad (6)$$

2.3 叶龄模型参数确定及模型检验

叶龄发育动态模型中的参数 K 、 a 、 b 的确定分两步进行: 先对基本模型(1)两端取对数进行线性化处理, 利用多元线性回归方法确定出参数的初始值; 然后将参数初始值代入模拟模型(6), 采用“步长加速法”确定参数终值。依据南京地区常年气候条件下掖单 13 和苏玉 9 号叶龄发育动态(专家咨询), 确定模型参数, 结果如表 1 所示。以 1998 年(南京)春、夏两季的田间试验资料(注: 资料来源于作者郑国清博士学位论文), 对叶龄发育模型进行检验(表 2、表 3)。

表 1 玉米叶龄发育模型参数及统计检验

品 种	模型参数			统计检验			
	K	a	b	n	R	F	SD
掖单 13	0.137 9	0.882 0	0.747 7	20	0.995	774.4	0.3
苏玉 9 号	0.122 3	0.595 2	0.572 2	17	0.993	736.1	0.4

表 2 掖单 13 叶龄模拟值与实测值的比较

春播测定日(月·日)	实测值	模拟值	误差	夏播测定日(月·日)	实测值	模拟值	误差
4·28	1.0	0.9	0.1	6·16	1.0	1.0	0.0
5·05	4.0	4.1	-0.1	6·23	4.5	4.7	-0.2
5·12	6.0	6.0	0.0	6·30	7.0	7.3	-0.3
5·19	7.5	7.8	-0.3	7·07	10.0	10.0	0.0
5·26	9.5	9.8	-0.3	7·14	12.5	12.7	-0.2
6·02	11.5	11.8	-0.3	7·21	15.0	15.2	-0.2
6·09	13.5	13.7	-0.2	7·28	17.5	17.5	0.0
6·16	15.5	15.5	0.0	8·04	19.5	19.6	-0.1
6·23	17.5	17.5	0.0	8·07	20.0	20.6	-0.6
6·30	19.0	19.3	-0.3				
7·02	20.0	19.9	0.1				
标准差 SD	0.4			0.6			

表 3 苏玉 9 号叶龄模拟值与实测值的比较

春播测定日(月·日)	实测值	模拟值	误差	夏播测定日(月·日)	实测值	模拟值	误差
4·28	1.0	1.0	0.0	6·16	1.0	1.0	0.0
5·05	4.0	4.0	0.0	6·23	4.5	4.5	0.0
5·12	6.0	6.0	0.0	6·30	7.0	6.9	0.1
5·19	7.5	7.7	-0.2	7·07	9.0	9.1	-0.1
5·26	9.5	9.5	0.0	7·14	11.5	11.4	0.1
6·02	11.0	11.2	-0.2	7·21	13.5	13.4	0.1
6·09	13.0	12.9	0.1	7·28	15.0	15.2	-0.2
6·16	14.5	14.5	0.0	8·04	16.5	17.0	-0.5
6·23	16.0	16.1	-0.1	8·06	17.0	17.5	-0.5
6·28	17.0	17.2	-0.2				
标准差 SD	0.3			0.6			

3 玉米器官建成模型

玉米的叶龄与各器官的发育存在着明显的同伸关系。综合有关研究结果,分别建立其数学模型。

3.1 叶片与叶鞘的同伸关系

令 n 表示玉米展开叶序,则始伸叶片 N (N 为幼叶伸长度 >1 cm) 和始伸叶鞘 NS (叶鞘长度 >0.5 cm) 与 n 的对应关系为:

$$N = \begin{cases} 2n+1, & \text{当 } n=1 \sim 3 \text{ 时} \\ 2n, & \text{当 } n=4 \sim 7 \text{ 时} \\ 2n+3, & \text{当 } n=8 \sim 9 \text{ 时} \end{cases} \quad (7)$$

$$NS = \begin{cases} n+1, & \text{当 } n=1 \sim 5 \text{ 时} \\ n+3, & \text{当 } n=6 \sim 9 \text{ 时} \\ n+6, & \text{当 } n=10 \sim 14 \text{ 时} \end{cases} \quad (8)$$

3.2 出叶与根系生长的同伸关系

令 n 表示玉米可见叶叶序, N 表示节根(次生根)发生层,则二者的对应关系为:

$$N = \frac{n-1}{2}, \quad n=3,5,7,9,11 \quad (9)$$

3.3 出叶与节间伸长的同伸关系

$$\boxed{n \text{ 叶展开}} \approx \boxed{n \text{ 叶定长或趋于定长}} \\ \approx \boxed{n \text{ 叶节间开始伸长}}$$

式中 n 叶节间指 n 叶叶鞘所包的节间。根据这一关系,玉米不同类型品种的拔节叶龄期可用下式判断。

$$\begin{matrix} \text{缩茎} & \text{第1张叶} & \text{第1伸长节间} & \text{生物学拔} \\ \text{节数} & \text{+ 展开期} & \approx \text{缓慢伸长期} & \approx \text{节叶龄期} \end{matrix}$$

如掖单 13 缩茎节数为 6,其生物学拔节期为第

7 叶(6+1)展开期;苏玉 9 号缩茎节数为 5,其生物学拔节期为第 6 叶(5+1)展开期。

3.4 雄穗发育与叶龄间的对应关系

如果用 TK_i 表示雄穗发育时期的叶龄指数, n 表示总叶片数,则有:

$$TS_i = TK_i \cdot n \quad (10)$$

式中 TS_i 表示雄穗的第 i 发育时期($i=1,2,3,4,5,6$, 依此对应雄穗生长锥伸长、小穗分化、小花分化、花粉粒形成期、花粉粒成熟、抽雄穗)叶龄。

3.5 雌穗发育与叶龄间的对应关系

如果用 SK_i 表示雌穗发育时期的叶龄指数, n 表示总叶片数,则有:

$$SS_i = SK_i \cdot n \quad (11)$$

式(11)中, SS_i 表示雌穗的第 i 发育时期($i=1,2,3,4,5,6$, 依此对应雌穗生长锥伸长、小穗分化、小花分化、花丝伸长、抽丝)叶龄。

玉米品种的单株总叶片数相对稳定,一般早熟品种 14~16 片叶,中熟品种 17~19 叶,晚熟品种 20~22 叶。在利用式(10)至(11)模拟各器官发育时期时,品种总叶片数 n 为模型的一个输入值,由用户提供,也可以通过叶龄模型(1)计算吐丝期的叶龄,作为总叶片数的近似。

需要说明的是,同伸关系只有在适宜播期、肥水条件较好、个体发育健壮的情况下,才基本符合上述器官发生的理论模拟值。生产上可根据实际值与理论模拟值之差,作为诊断栽培技术好坏及个体发育壮弱的标志。表 4 给出了掖单 13 及苏玉 9 号器官建成动态模拟结果。

表 4 掖单 13 及苏玉 9 号器官建成动态模拟结果

叶龄	掖单 13				苏玉 9 号			
	节根	茎	雄穗发育	雌穗发育	节根	茎	雄穗发育	雌穗发育
3	1				1			
4								
5	2				2		生长锥伸长	
6			生长锥伸长			第 1 节	小穗分化	
7	3	第 1 节	小穗分化		3	第 2 节		
8		第 2 节				第 3 节	小花分化	生长锥伸长
9	4	第 3 节	小花分化	生长锥伸长	4	第 4 节		小穗分化
10		第 4 节				第 5 节	小花分化	
11	5	第 5 节		小穗分化	5	第 6 节	花粉粒形成	
12		第 6 节		小花分化		第 7 节		
13		第 7 节	花粉粒形成			第 8 节	花粉粒成熟	花丝伸长
14		第 8 节				第 9 节		
15		第 9 节				第 10 节		
16		第 10 节	花粉粒成熟	花丝伸长		第 11 节	抽雄穗	
17		第 11 节						吐 丝
18		第 12 节						
19		第 13 节	抽雄穗					
20				吐 丝				

4 模型的衔接和组装

4.1 生育期模型与叶龄模型的衔接

作者建立的玉米发育期模型与叶龄发育模型均基于“生理日数恒定”原理,采用了相似的数学表示形式,因此,二者可以有机的衔接起来。根据玉米发育期模拟模型可以模拟出抽雄期,进而可计算得到出苗至抽雄的间隔天数 N_1 。同样,根据叶龄发育动态模型可以得到出苗至旗叶抽出的间隔天数 N_2 。 N_1 与 N_2 虽有一定的联系,但两者在数量上绝不相等,意义也不一样。因为旗叶抽出表明叶龄发育终止,而出苗至抽雄的生育阶段尚未完结。假定玉米抽出的雄穗相当于长出 1 片“叶子”,并定义抽雄为玉米达到“全叶龄”(N),它等于玉米总叶龄(LN)加上一待定常数 m , m 表示由旗叶至抽雄的间隔天数相当于多少个叶龄,它可作为模型的一个输入值,经调试后确定取值范围(一般在 1.5 ~ 2.0),这样就可以把玉米发育期模型与叶龄发育模型衔接起来。

$$\left. \begin{aligned} LN &= N - m \\ N &= e^k \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^a \cdot N_1^b \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

式(12)中, LN 表示玉米总叶龄, N_2 表示出苗至总叶龄(LN)的间隔天数,即出苗至旗叶展开间隔天数; N 表示玉米“全叶龄”, N_1 表示出苗至全叶龄 N (抽雄)的间隔天数; T 表示出苗至抽雄生育阶段的平均温度;其余符号意义同前。

4.2 发育、叶龄及器官建成模型的组装

BEGIN.		
Input variety, site, latitude, year, sowing date, total leaf age, et al		
Read parameters of the cultivar concerned from variety parameter database files		
Open weather database files		
DVI \neq 3		
	Run MDSM	
	L \neq N	Run MOSM
Output development stage, leaf age and organs formation information		
END		

利用作者所建立的玉米发育期模拟模型(MDSM)、叶龄发育动态模拟模型(MLSM)及器官建成模型(MOSM),通过输入咨询地点的纬度、播种期及玉米生长季节的常年或当年的逐日平均温度、日照时数等温光资料,即可模拟出玉米的生育期进程、叶龄发育和器官分化、建成动态,从而为玉米生产管理提供指导意见。图 1 给出了玉米发育动态模拟的结构化流程图,图中 DVI 表示发育指数, N 、 L 分别表示玉米“全叶龄”和叶龄。

参考文献:

- [1] 山东省农业科学院. 中国玉米栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986. 1-154.
- [2] 刘百韬,等. 玉米雌穗发育与外部展开的相关性[J]. 中国农业科学,1976,(4):54-58.
- [3] 佟屏亚,等. 玉米生育和产量模型[M]. 北京:中国农业科技出版社,1997. 165-168.
- [4] 鞠章纲,等. 玉米见展叶差变化规律及其在生产中的应用[J]. 江苏农业科学,1986,(2):4-6.
- [5] Coligado M C & Brown D M. Response of corn in the pre-tassel initiation period to temperature and photoperiod[J]. Agric. Meteorol., 1975, (14): 357-367.
- [6] Tollenuar M, Daynard T B, Hunter R B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize[J]. Crop Sci., 1979, (19): 363-366.
- [7] Warrington I J & Kanemasu E T. Corn growth to temperature and photoperiod. Agron. J., 1983, 75: 749-761.
- [8] 何维勋,等. 玉米展开叶增加速率与温度和叶龄的关系[J]. 中国农业气象,1990,11(8):30-33.
- [9] 高亮之,等. 水稻栽培计算机模拟优化决策系统(RCSODS)[M]. 北京:中国农业出版社,1992.
- [10] 丁希泉,等. 农业实用回归分析[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1989. 229-290.
- [11] 林少宫,等. 多元统计分析及计算程序[M]. 武汉:华中工学院出版社,1985. 149-190.
- [12] 陆卫平. 玉米高产群体质量指标及其调控途径[D]. 南京:南京农业大学,1997. 3-54.
- [13] 黄 铨,等. 玉米穗分化时期与植株外部形态及叶龄指数相互关系的研究[J]. 山西农业科学,1981,(10):6-8.
- [14] Guoqing Zheng, Liangzhi Gao, Ximei Xue. Study on simulation Model for Maize Phenology. Proceeding of the Second Asian conference for Information Technology in Agriculture[M]. Suwon, Korea. International Technical Cooperation Center, Rural Development Administration, 2000. 257-266.

图 1 玉米发育动态模拟模型的结构化 N-S 流程