

大豆生育阶段动态模型的研究^{*}

张敬涛¹ 周丰锁¹ 褚宏艳² 王 成¹ 郑天琪¹ 窦 河³ 刘文波⁴

(1. 黑龙江省农科院合江农科所 154007; 2. 佳木斯农校; 3. 宝清原种场 4. 萝北县种子公司)

摘要 研究了不同大豆类型品种的发育与温、光等主要环境因子的数量关系,在借鉴吸收析因指数形式的小麦发育期动态模拟模型(WDSM)、“水稻钟”模型和 DSSAT3 等模型思想方法基础上,构建了大豆生育动态模拟模型(SDSM)。经验证不同类型品种平均误差在 1—3 天之内,与传统的积温法相比,其模拟精度有了较大提高。

关键词 大豆;生育阶段;动态模型

中图分类号 S565.1 文献标识码 A 文章编号 1000—9841(2002)03—0203—05

大豆各生育阶段对于决定大豆潜在产量很重要。在大豆育种、生产管理及生理生态研究中,都需要对大豆各生育阶段进行预测。在这方面,国内外学者做了不少工作^[1,2,8,9]。本文在有关发育量化研究及大豆生物学知识的基础上,通过对影响大豆各生育阶段的环境因子分析,建立了大豆生育动态模拟模型。较之以往模型,其生物学意义更加明确、模拟精度较高,该模型便于实际使用也适于计算机应用,为大豆生育进程模拟和预测提供了一个较好的方法。

1 资料来源

1.1 田间试验

试验于 1999—2000 年在佳木斯、富锦、萝北、宝清、哈尔滨、黑河及海伦等地进行。供试品种为黑河 19 号、合丰 25 号、绥农 15 号、嫩丰 14 号、黑农 39 号等。播种共分 3 个时期,早播 5 月 4 日,中播 5 月 14 日,晚播 5 月 24 日,记载各生育阶段及生长发育动态。

1.2 资料收集

搜集了不同生态区不同类型品种的各生育阶段资料,利用了各地的从播种到成熟期间的逐日平均、最高、最低气温,降雨,日照等气象资料。

2 模型的建立

2.1 大豆生育阶段的划分

将大豆整个生长发育过程划分为六个生育阶

段,即播种—出苗期,出苗—分枝期,分枝—始花期,始花—盛荚期,盛荚—初熟期,初熟—完熟期。为便于计算机识别和运算,采用生育阶段指数(Development stage index, DSI),定义为播种期 0,出苗期 1,分枝期 2,始花期 3,盛荚期 4,初熟期 5,完熟期 6。

2.2 基本模型的建立

大豆的各生育阶段的长短受品种的基因型特性和环境因素的控制。在环境因子中,主要是温度和光照二因子。大豆发育期的基本模型可表述为:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS} = f_1(D) \cdot f_2(E) = e_k \cdot (TE)^p \cdot (PE)^q \cdot$$

$$f_3(EC) \dots\dots\dots (1)$$

式中,DS—生育阶段的日数;M—生育阶段内的发育进程,完成时 M=1; dM/dt—生育阶段内的发育速度;f₁(D)—基本发育函数;f₂(E)—环境因子影响函数;k—基本发育系数,它由品种自身的遗传特性决定;TE—温度效应因子,反应温度对大豆发育的非线性影响;p—温度系数,反应品种在某一生育阶段内对温度反应的敏感性;PE—光周期效应因子;q—光周期系数,反应品种在某一生育阶段内对光周期反应的敏感性;f₃(EC)—播种深度等可控栽培措施因子的影响函数。

式(1)中的 TE 由下式确定:

$$TE = \frac{T_i - T_{bi}}{T_{oi} - T_{bi}}$$

$$\text{且设: } \begin{matrix} T_i \leq T_{bi} & TE = 0 \\ T_i \geq T_{oi} & TE = 1 \end{matrix} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)中:T_i第 i 生育阶段内的平均气温(℃),

^{*} 收稿日期:2002—01—09

致谢:该研究得到南京农业大学冯利平博士指导,谨此致谢。

作者简介:张敬涛(1964—),男,高级农艺师,主要从事作物栽培及作物模型研究。

T_{bi} 该生育阶段内大豆发育的下限温度, T_{oi} 该生育阶段内大豆发育的最适温度。

PE 则由下式确定:

$$PE = \frac{PL_{bi} - PL_i}{PL_{bi} - PL_{oi}}$$

且设: $PL_i \leq PL_{bi}$ $PE = 0$
 $PL_i \geq PL_{oi}$ $PE = 1$ (3)

式(3)中: PL_i 生育阶段内的平均光长(小时), PL_{oi} 生育阶段内的最适光长, PL_{bi} 生育阶段内的临界光长。

下面分各生育阶段具体分析影响发育的主要因子及该阶段的基本发育模型。

2.2.1 播种—出苗期

在水分满足条件下, 温度和播种深度是影响种子出苗的两个因素。播种至出苗阶段的基本模型可表述为:

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{1}{DS_1} = e^{k_1 \cdot (TE_1)^{p_1}} \cdot f(DEPT) \dots\dots (4)$$

式中, $f(DEPT)$ 为播种深度影响函数, 其它各符号含义与上述类同。 TE_1 由(2)式确定, 其中, $T_{oi} = 22^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 7^\circ\text{C}$ 。经试验 $f(DEPT)$ 由下式确定:

$$f(DEPT) = 2.5265e^{-0.2359DEPT} \quad (R = 0.9648, N = 15) \dots\dots (5)$$

2.2.2 出苗—分枝期

该阶段大豆除要求一定的温度外, 对光照反应特别敏感, 因此, 此期发育模型为: $\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS_2} = e^{k_2 \cdot (TE_2)^{p_2}} \cdot (PE_2)^{q_2} \dots\dots (6)$

式中, TE_2 和 PE_2 分别由(2)、(3)式确定, 其中, $T_{oi} = 22^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 10^\circ\text{C}$, 光长 PL 包括曙暮光在内, 黑河19号取 $PL_b = 15.9\text{h}$, $PL_o = 15.6\text{h}$, 合丰25号取 $PL_b = 15.5\text{h}$, $PL_o = 15.3\text{h}$ 。

2.2.3 分枝—始花期

该阶段大豆要求一定的温度和较适宜的光照, 因此, 其发育模型为: $\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS_3} = e^{k_3 \cdot (TE_3)^{p_3}} \cdot (PE_3)^{q_3} \dots\dots (7)$

式中, TE_3 和 PE_3 分别由(2)、(3)式确定, 其中, $T_{oi} = 23^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 17^\circ\text{C}$, 光长 PL 包括曙暮光在内, 黑河19号取 $PL_b = 16.4\text{h}$, $PL_o = 15.9\text{h}$, 合丰25号取 $PL_b = 15.8\text{h}$, $PL_o = 15.6\text{h}$ 。

2.2.4 始花—盛英期

该阶段大豆主要受温度影响较大。因此, 始花—盛英期发育模型为:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS_4} = e^{k_4 \cdot (TE_4)^{p_4}} \dots\dots (8)$$

式中, TE_4 由(2)式确定, 其中, $T_{oi} = 25^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 18^\circ\text{C}$ 。

2.2.5 盛英—初熟期

该阶段大豆主要受温度影响较大。因此, 其发育模型为:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS_5} = e^{k_5 \cdot (TE_5)^{p_5}} \dots\dots (9)$$

式中, TE_5 由(2)式确定, 其中, $T_{oi} = 23^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 14^\circ\text{C}$ 。

2.2.6 初熟—完熟期

初熟—完熟期阶段大豆主要受温度影响较大。因此, 此期发育模型为:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{DS_6} = e^{k_6 \cdot (TE_6)^{p_6}} \dots\dots (10)$$

式中, TE_6 由(2)式确定, 其中, $T_{oi} = 20^\circ\text{C}$, $T_{bi} = 9^\circ\text{C}$ 。

2.3 模拟模型

在计算机上以日为时间单元模拟大豆发育进程, 并对基本模型修整, 即对其进行积分或有限求和, 且用逐日平均气温 T_{dj} ($j = 1, 2, 3, \dots, D_1$) 代替该生育阶段内的平均气温 T_i , 用逐日光长 PL_{dj} 代替平均光长 PL_i , 即可得到大豆逐日发育的计算机模拟模型。以播种至出苗期为例, 则方程(4)可写成微分形式:

$$dM_1 = \frac{dt}{D_1} e^{k_1 \cdot (TE_1)^{p_1}} \cdot f(DEPT) \cdot dt \dots (11)$$

对式(11)积分得:

$$\int_{S_1}^{S_2} dM_1 = M_1 = \int_1^{D_1} \frac{dt}{D_1} = \sum_1^{D_1} e^{k_1 \cdot (TE_1)^{p_1}} \cdot f(DEPT) = 1 \dots\dots (12)$$

式中, S_1 和 S_2 表示该生育阶段的开始和结束, k_1 、 p_1 为模拟模型的参数。在计算机上按方程(12)进行逐日模拟, 当累加值 $M_1 = 1$ 时, 即表示该生育阶段模拟完成, 这时, 大豆将进入下一个生育阶段。对应的 D_1 值即为模拟得到的该生育阶段天数。其它阶段以此类推, 可模拟各生育阶段变化。

3 模型参数的确定及检验

3.1 模型参数的确定

利用收集和田间试验获得的数据, 将非线性模型线性化, 由最小二乘法得出不同大豆品种各生育阶段动态模型参数初始值, 并适当调试得模型参数,

表 1 大豆不同类型品种各生育阶段参数

Table 1 Development stages parameter for different varieties of soybean

品种 Varieties	生育阶段 Development stages	模型参数 Parameter of model			F 检验 F Test
		q	k	p	
合丰 25 号 Hefeng 25	(1)	− 2. 0957	− 0. 4867		12. 5099 *
	(2)	− 2. 5719	− 0. 4636	− 0. 4980	4. 8638 *
	(3)	− 3. 0296	− 0. 6079	2. 1087	5. 4442 *
	(4)	− 3. 1778	− 0. 5270		51. 8788 **
	(5)	− 3. 7400	0. 0893		32. 7341 **
	(6)	− 2. 2761	− 0. 4867		5. 0261 *
黑河 19 号 Heihe 19	(1)	− 2. 1006	− 0. 2015		56. 9720 **
	(2)	− 3. 0176	0. 0872	0. 0423	9. 8719 **
	(3)	− 2. 5800	0. 1052	− 3. 4649	11. 1479 *
	(4)	− 3. 1287	− 0. 3008		29. 5609 **
	(5)	− 3. 8050	0. 0990		77. 8500 **
	(6)	− 2. 2563	0. 5712		10. 0738 *

表 2 合丰 25 号模拟结果与实际值比较

Table 2 Comparison of simulating values to practical values of Hefeng 25

生育阶段 Development stages	第一组 The first group			第二组 The second group		
	实际值 Practical values	模拟值 Simulating values	差值 Deviation values	实际值 Practical values	模拟值 Simulating values	差值 Deviation values
播种—出苗 Sowing—Seeding	15	17	2	13	14	1
出苗—分枝 Seeding—branching	20	19	− 1	19	18	− 1
分枝—初花 Branching—First flower	15	15	0	15	15	0
初花—盛荚 First flower—Mid—pod setting	31	28	− 3	28	29	1
盛荚—初熟 Mid—pod setting—Initial ripening	44	44	0	45	43	− 2
初熟—黄熟 Initial ripening—Full ripening	12	14	2	11	13	2

注: 第一组 5 月 4 日播种, 佳木斯; 第二组 5 月 15 日播种, 富锦。

表 3 模拟结果与积温法比较

Table 3 Comparison of simulating results to accumulative temperature method

模拟方法 Simulating methods		播种—出苗 Sowing— seeding	出苗—分枝 Seeding— branching	分枝—初花 Branching— first flower	初花—盛荚 First flower mid—pod setting	盛荚—初熟 Mid—pod setting— Initial ripening	初熟—完熟 Initial ripening— Full ripening
模型模拟 Simulating of model	天数 Days	17	19	15	20	44	14
	差值 Deviation values	2	− 1	0	− 3	0	2
	积温 Accumulative temperature	294. 80	361. 10	343. 50	566. 10	960. 80	116. 20
≥ 0℃积温法 Accumulative temperature method	天数 Days	22	20	15	23	43	7
	差值 Deviation values	− 7	0	0	8	1	5
	积温 Accumulative temperature	136. 10	141. 10	193. 50	316. 10	470. 80	36. 20
≥ 10℃积温法 Accumulative temperature method	天数 Days	28	15	15	21	30	2
	差值 Deviation values	− 13	5	0	10	14	10
实际结果 Practical results		15	20	15	31	44	12

参数值见表 1。

3.2 对模型的检验

3.2.1 模型的统计检验

模型经 F 检验差异均达 5%和 1%显著水平(表 1)。利用合丰 25 号在佳木斯、富锦两地模拟,模型的模拟值与实测值误在 3 天之内,属于允许范围(表 2)。

3.2.2 SDSM 法与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温法的比较

以合丰 25 号为例,利用建模时未被应用的数据进行检验。由资料得 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温:播种—出苗期 294.80 $^{\circ}\text{C}$,出苗—分枝期 361.10 $^{\circ}\text{C}$,分枝—始花期 343.50 $^{\circ}\text{C}$,始花—盛荚期 566.10 $^{\circ}\text{C}$,盛荚—初熟期 960.80 $^{\circ}\text{C}$,初熟—黄熟期 116.20 $^{\circ}\text{C}$ 。由此指标模拟反推表明:除出苗—分枝期,分枝—始花期,盛荚—初熟期 SDSM 法与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温法较接近外,其它生育阶段 SDSM 法显著小于 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温法误差(表 3)。

3.2.3 SDSM 法与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温法比较

通过资料计算合丰 25 号各阶段有效积温为:播种—出苗期 136.10 $^{\circ}\text{C}$,出苗—分枝期 141.10 $^{\circ}\text{C}$,分枝—始花期 193.50 $^{\circ}\text{C}$,始花—盛荚期 316.10 $^{\circ}\text{C}$,盛荚—初熟期 470.80 $^{\circ}\text{C}$,初熟—黄熟期 36.20 $^{\circ}\text{C}$ 。由此反推模拟误差结果除分枝—始花期 SDSM 法与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温法较接近外,其它各阶段 SDSM 法误差均显著小于 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温法(表 3)。

4 结论

本文在借鉴析因指数形式的小麦发育期动态模型(WDSM)、“水稻钟”模型、DSSAT3 模型的思想方法的基础上,从大豆发育特性出发,构建了大豆生育阶段动态模型,模型具有较好的模拟性能,表现在:

4.1 生物学意义明确,机理性强

模型考虑大豆光周期作用,考虑了大豆发育的基点温度、发育速度与温度的非线性关系等。模型

采用析因形式,较好的处理了发育与环境变量之间的数量关系。

4.2 模拟精度较高

经验证不同类型品种平均误差在 1—3 天之内,与传统的积温法相比,其模拟精度有了较大提高。

4.3 参数估计较为容易

模型参数初值可利用大田资料通过最小二乘法求出,经适当调试可得参数终值。这种方法准确性好,减少了初值估计的盲目性和大量反复调试的麻烦。

上述模型是在无水肥胁迫情况下建立的,也未考虑气象灾害的不利影响,因而,尚需探讨肥水等因素的影响机制及其量化表达,进一步完善模型。另外模型需在全国各地检验、修正,以扩大其适用范围。

参 考 文 献

1 冯利平,高亮之,金之庆,等.小麦发育期动态模拟模型的研究[J].作物学报,1997,4(23):418—424.
2 高亮之,金之庆,黄耀,等编著.水稻栽培计算机模拟优化决策系统[M].北京:中国农业科技出版社,1992.
3 韩天富.不同生态类型大豆品种开花后光周期反映的研究[D].博士论文,东北农业大学图书馆 1994.
4 韩天富.大豆开花后阶段对开花前不同光照处理的反应[J].大豆科学,1995,14(4),283—288.
5 韩天富.大豆开花后的光周期反应[J].大豆科学,1996,15(1),69—73.
6 东北师范大学生物系主编.大豆生理[M].1981,4—15.
7 陈华,张立中,方娟,等.小麦发育动态模拟模型的初步研究[J].中国农业气象,1995,16(1),1—4.
8 Ritchie, J. T.. Wheat Phasic Development. In: John Hanks and J. T. Ritchie (Eds.), Modelling Plant and Soil System [C]. Publishers Madison, Wisconsin USA, 1991.
9 Robertson, W. G.. Development of simplified agroclimatic procedures for assessin temperature effects on crop development[R]. In: R. O. Slatyer(Ed.), Plant Response to Climatic Factors. Unesco, 1973, pp. 327—382.

STUDY ON THE SOYBEAN DEVELOPMENT SIMULATUION MODEL

Zhang Jingtao¹ Zhou Fengsuo¹ Chu Hongyan² Wang Cheng¹ Zhen Tianqi¹
Dou He³ Liu Wenbo⁴

(1. Hejiang Agri. Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jamusi 154007; 2. Agricultural College of Jamusi; 3. The Seed Farm of Baoqing; 4. The Seed Campany of Luobei County)

Abstract In this paper, the quantitative relationship between soybean development of different types of varieties and main environmental factors (temperature, photoperiod, act.) was systematically studied. The soybean

development simulation model(SDSM) was established based on the thoughts of the Wheat Development Simulation model(WDSM) expressed by a multiple form of exponential functions and the Rice Clock Model and the DSSAT3 Model. Applying the SDSM, mean error of different soybean varieties was in 1—3 days. The precision of the SDSM is higher than traditional accumulative temperature method.

Key words Soybean; Development stages; Simulation model

欢迎订阅 2003 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农科院主办的学术性期刊。国内外公开发行,季刊,16开本,每期12万字左右。国内每期订价:7.00元,全年28.00元,邮发代号:14—95。国外每期订价:10.00美元(包括邮资),全年40美元。国外总发行由中国国际图书贸易总公司,北京399信箱。国外代号:Q4162。

《大豆科学》是中国自然科学核心期刊,中国科学引文数据库来源期刊。主要刊登有关大豆遗传育种,品种资源,生理生态,耕作栽培、病、虫、杂草防治,营养施肥,生物技术及食品加工等方面的科研报告,学术论文,国内外研究进展评述,研究简报,学术活动简讯、新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,农业院校师生、国营农场、各级农业技术推广部门的技术人员和民营企业科技人员。

本刊热忱欢迎广大科研单位及有关企业在我刊刊登广告,广告经营许可证号:2301004010071。

订阅办法:全国各地邮局,如在邮局漏订,可到编辑部补订。通过邮局汇款至哈尔滨市学府路368号《大豆科学》编辑部。邮政编码:150086,联系电话:(0451)6668735。

网址: <http://ddkx.chinajournal.net.cn> E. mail: dadoukx@sina.com