

玉米籽粒灌浆与积温关系的非线性动态模型^①

张录达^②

蒋钟怀

(基础科学技术学院)

(植物科学技术学院)

摘要 分别用线性与非线性模型建立了描述1989和1990年8至10月份内不同时段积温变化规律的动态模型。在此基础上研究了玉米籽粒灌浆过程的Logistic模型及玉米籽粒灌浆与积温的非线性相关关系,并提出了在研究谷类作物籽粒灌浆与环境因子相关模型时可普遍使用的非线性模型方法。验证结果表明,此方法提高了数据拟合的精度。

关键词 玉米; 积温; 非线性模型

中图分类号 S11; O241.2

Study on the Nonlinear Model on the Relationship Between the Corn Grain Filling and the Cumulated Temperature

Zhang Luda

Jiang Zhonghuai

(College of Basic Science and Technology)

(College of Plant Science and Technology)

Abstract In this paper, the change patterns of cumulated temperature between Aug. to Oct. in 1989 and 1990 were established at different time intervals by linear models and nonlinear models, respectively. The Logistic equation model which describes the corn grain filling course was studied according to the cumulated temperature model, and another nonlinear relationship model between accumulated temperature and corn grain filling course were also studied. The result from this study showed that the nonlinear models could be widely used in the simulation of the grain filling course in cereal crop plants.

Key words corn; cumulated temperature; nonlinear model

作物经济产量的形成是籽粒灌浆期间同化产物在籽粒中的积累过程,它既遵循自身的生物学规律,又受外界环境条件如:气温、光照、水分和营养条件等因素的影响。因此,研究作物籽粒灌浆规律随气象条件变化的关系,无论在理论上还是在实际中都具有重要意义。王书裕^[1]研究了水稻灌浆与气温的关系,并分别得到了灌浆与气温、灌浆速度与气温的数学模型。何维勋^[2]为了根据积温条件确定主栽品种,研究了玉米良种正常成熟的作物产量与全生育期所需积温的关系。刘振英等^[3]研究了气象条件对小麦籽粒灌浆的影响,确定了平均温度与灌浆速度的关系,并为合理实施栽培措施,提高粒重,实现小麦高产、稳产提供了理论依

收稿日期: 1996-07-02

①自然科学基金项目 39670446

②张录达,北京海淀区圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

据。刘瑞文^[4]研究了小麦叶温对籽粒灌浆的影响,为进一步深入研究作物灌浆与环境因素作用机制提出了科学依据。林文雄^[5]建立三次多项式回归模型模拟了一定条件下杂交水稻籽粒灌浆进程,分析了气温对杂交水稻不同时期籽粒灌浆速度的影响。高金成等^[6]研究了小麦生殖生长阶段综合温度指标,确定了温度与小麦粒花期的相关模型。蒋钟怀^[7]研究了夏玉米中、晚熟品种籽粒灌浆与温度、光照和籽粒含水率的关系。

综观谷物生长过程中籽粒形成灌浆与环境因子关系的研究结果,还没有提出共同的模型方法。笔者以研究玉米灌浆与积温的关系为例,给出一种在研究谷类作物灌浆与环境因子关系时可采用的普遍使用的模型研究方法。

1 模型研究的原理

作物群体干物质相对增长率是干物质质量 m 本身的函数,即

$$\frac{1}{m} \frac{dm}{dt} = f(m)$$

当 $f(m) = b - rm$ 时,则

$$\frac{dm}{dt} = b \frac{m}{k} (k - m) \quad (1)$$

这就是著名的 Verhulst-Pearl 阻尼方程。解式(1)得:

$$m = \frac{k}{1 + e^{(a-bt)}} \quad (2)$$

在一定的环境下,作物生物产量由自身生长规律所决定,而干物质积累量随时间 t 的变化按式(2)的 Logistic 曲线变化;但客观实际中每一个环境因子不总是确定的,而且变化也不是简单的、与时间无关的随机变化。在一定时期内随着时间的变化,环境因素又有其自生的变化规律。比如气象因子—温度的变化,虽然每天温度在随机变化,但在某一谷类作物籽粒灌浆一段时间内,还有其自身的变化规律。在研究作物生长过程中物质积累随气温变化时,普遍以积温作为衡量热量变化的指标。如果温度只是在一个确定范围内简单随机变化,忽略其自身随时间的变化规律,则积温随时间的变化是一个简单的直线关系

$$\theta = p + qt \quad (3)$$

其中 θ 为积温。此时

$$t = c + d\theta \quad (4)$$

将式(4)代入(2),整理得

$$m = \frac{k}{1 + Ae^{(-B\theta)}} \quad (5)$$

由式(5)可建立灌浆与积温的非线性回归模型^[7]。

但是,在客观实际中积温与时间的关系并非如式(3)所示的简单关系,而作为一种非线性相关关系。为了更好的模拟灌浆与积温的关系,我们考虑如下的模型方法。

设积温 θ 与时间的相关模型为

$$\theta = \theta(t) \quad (6)$$

实际中,在作物的一段籽粒灌浆时间内,式(6)必为一单调增函数,因此有反函数

$$t = t(\theta) \quad (7)$$

将式(7)代入(2)得

$$m = \frac{k}{1 + e^{[a - b t(\theta)]}} \quad (8)$$

式(8)可以完全描述作物籽粒灌浆与积温的变化过程。一旦确定了灌浆随积温 θ 的变化规律(式 8),即可确定灌浆随积温的变化速度等。

2 玉米灌浆不同非线性模型模拟结果的比较

根据实际数据拟合模型(8),首先应该确定函数关系 $t(\theta)$,即应确定式(6)中的函数表达式 $\theta = \theta(t)$ 。在气象预报中确定式(6)还是一个待进一步研究的课题,事实上对不同作物、不同的籽粒灌浆期,没有共同的模型。我们以玉米实际灌浆时段内的积温数据拟合确定了式(6)的数学表达式。由 8 至 10 月份积温数据,通过对不同模型拟合结果的比较,确定 8 至 10 月份积温随时间变化的模型为

表 1 玉米灌浆时段内积温曲线的回归结果

品种名	播种日期	灌浆时段	观测次数	模型(3)		模型(9)	
				相关指数	残差平方和	相关指数	残差平方和
掖单 4 号	1989-06-18	08-20~10-10	11	0.993 468	8 071.114 566	0.997 521	3 062.394 471
	06-28	08-27~10-21	12	0.989 242	13 124.921 332	0.999 562	534.125 232
	07-08	09-03~10-23	10	0.991 573	5 568.863 104	0.999 688	206.115 546
农大 60	06-18	08-24~10-16	12	0.986 423	17 382.046 749	0.998 380	2 074.415 203
	06-28	08-31~10-24	11	0.981 168	20 520.472 320	0.992 705	7 949.098 383
	07-08	09-08~10-28	11	0.992 278	5 700.163 401	0.999 573	315.269 763
掖单 6 号	06-18	08-23~10-16	12	0.986 149	17 887.064 351	0.998 211	2 310.095 898
	06-28	08-31~10-24	11	0.995 125	5 015.619 252	0.997 024	3 062.016 331
	07-08	09-11~10-26	10	0.993 868	3 311.040 843	0.999 672	177.236 730
鲁玉 5 号	1990-06-18	08-14~09-20	9	0.990 307	7 437.956 909	0.996 143	2 959.561 213
	06-28	08-20~10-04	10	0.996 196	3 741.769 724	0.999 752	244.307 928
	07-08	08-30~10-17	10	0.998 328	1 414.987 480	0.999 631	312.225 223
	06-18	08-15~09-28	11	0.982 533	21 187.928 732	0.995 052	6 002.127 960
掖单 4 号	06-28	08-21~10-11	10	0.993 496	7 240.253 434	0.999 410	656.461 646
	07-08	08-31~10-17	10	0.998 147	1 516.601 986	0.999 769	189.062 384
农大 60	06-28	08-18~10-06	11	0.993 843	8 546.736 857	0.999 569	597.907 470
	06-28	08-25~10-17	12	0.990 827	12 708.519 195	0.998 673	1 838.922 071
	07-08	09-05~10-25	10	0.999 055	748.538 297	0.999 212	624.102 706

说明:每隔 5 d 进行一次玉米灌浆观测。

$$\theta = \frac{t}{r + st} \quad (9)$$

求其反函数 $t=t(\theta)$, 并代入式(8), 整理得灌浆千粒重与积温的模型为

$$m = \frac{k}{1 + Ae^{[1/(B+C\theta)]}} \quad (10)$$

为了比较用模型(5)及模型(10)对实际数据的拟合结果, 先用积温数据拟合积温直线式(3)和积温曲线式(9)。对于不同玉米品种, 同品种不同种植时间各自灌浆时间段内的拟合结果列于表1。可以看出在8至10月份之间, 任一时段内的积温变化用模型(9)比用模型(3)有更好的拟合效果。

为了验证玉米灌浆千粒重累积动态模型用模型(10)比用模型(5)有更好的拟合效果, 用不同玉米品种及同种玉米不同播种时间各自灌浆时段内灌浆千粒重与积温相关变化的数据分别拟合建立了模型(5)与模型(10), 结果列于表2。可以看出, 无论是相同品种不同种植时间的玉米品种, 还是不同品种不同种植时间的玉米品种, 其灌浆千粒重随积温变化的动态模型中, 18个模型除鲁玉5号玉米的3号模型(播种日期为1990-07-08)之外, 其他17个模型都以选择模型(10)比模型(5)有更大的相关指数, 即有更好的拟合效果。

表2 玉米灌浆千粒重与积温变化的回归结果

品种名	播种日期	灌浆时段	观测次数	模型(5)		模型(10)	
				相关指数	残差平方和	相关指数	残差平方和
掖单4号	1989-06-18	08-20~10-10	11	0.992 487	1 228.413 164	0.998 029	322.263 687
	06-28	08-27~10-21	12	0.994 331	903.661 137	0.997 334	425.045 791
	07-08	09-03~10-23	10	0.992 833	597.086 962	0.997 680	193.285 100
农大60	06-18	08-24~10-16	12	0.978 168	2 921.748 438	0.981 015	2 540.773 472
	06-28	08-31~10-24	11	0.994 421	666.202 221	0.997 687	276.258 585
	07-08	09-08~10-28	11	0.997 790	146.329 858	0.998 788	80.257 998
掖单6号	06-18	08-23~10-16	12	0.992 932	852.894 264	0.993 487	785.895 556
	06-28	08-31~10-24	11	0.995 324	373.712 833	0.998 670	106.310 312
	07-08	09-11~10-26	10	0.999 004	36.545 249	0.999 135	31.747 901
鲁玉5号	06-18	08-14~09-20	9	0.994 892	493.946 618	0.997 339	257.351 231
	1990-06-28	08-20~10-04	10	0.997 543	256.233 010	0.999 236	79.629 197
	07-08	08-30~10-17	10	0.997 433	207.709 135	0.996 575	277.176 297
掖单4号	06-18	08-15~09-28	11	0.992 212	1 094.424 611	0.997 149	400.676 635
	06-28	08-21~10-11	10	0.994 067	650.328 123	0.999 008	108.791 542
	07-08	08-31~10-17	10	0.995 563	427.737 117	0.999 193	77.813 667
农大60	06-18	08-18~10-06	11	0.995 306	596.855 437	0.996 204	482.759 179
	06-28	08-25~10-17	12	0.997 697	308.014 641	0.999 038	128.645 075
	07-08	09-05~10-25	10	0.994 085	536.359 390	0.994 327	514.413 019

3 结论

通过对两类模型拟合结果的比较,实际验证了选择模型(10)比模型(5)有好的拟合结果。因此,将非线性模型研究方法用于研究玉米灌浆千粒重随积温变化的动态模型之中,提高了模拟的精度。本文的模型研究方法也适用于研究水稻、小麦等谷类作物籽粒灌浆期间籽粒增重随温度、光照等环境因素变化的动态模型。只要在谷类作物各自籽粒灌浆时段选择合适的环境因子变化模型,将它们用于研究各种谷类作物籽粒灌浆与环境因子的相关模型亦能得到较好的拟合结果。

本文承蒙裴鑫德教授、郁明谏研究员、张宏铭教授审阅,谨致谢忱!

参 考 文 献

- 1 王书裕. 水稻灌浆与气温. 农业气象, 1980, (1): 19~25
- 2 何维勋. 根据积温条件确定主栽品种. 农业气象, 1980, (3): 28~33
- 3 刘振英, 林玉福, 王寿元. 气象条件对小麦籽粒灌浆影响的研究. 农业气象, 1985, 6(3): 1~5
- 4 刘瑞文, 董振国. 小麦叶温对籽粒灌浆的影响. 中国农业气象, 1992, 13(3): 1~5
- 5 林文雄, 吴志强, 梁义元. 气候条件对杂交水稻籽粒灌浆的影响. 中国农业气象, 1992, 13(2): 4~8
- 6 高金成, 张发寿, 卢小扣等. 小麦生殖生长阶段综合温度指标研究. 中国农业气象, 1993, 14(5): 6~9
- 7 蒋钟怀, 鲁来青, 苏盛宝. 夏玉米中晚品种籽粒灌浆与温度、光照和籽粒含水率关系的研究. 见: 王树安主编. 吨粮田技术. 北京: 农业出版社, 1991, 100~114