

基于 Logistic 模型的玉米干物质积累过程对产量影响研究

乔嘉 朱金城 赵姣 郑志芳 王璞 廖树华*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 作物产量与干物质积累过程紧密相关,各种不同的栽培措施及环境条件会显著影响干物质积累过程进而影响产量。利用 2007—2009 年不同地区、年份和栽培管理措施的 5 组田间试验资料,以玉米为研究对象,分析了干物质积累过程对产量的影响,建立了郑单 958、中农大 4 号单株产量与其 Logistic 模型参数的关系模型,相关系数分别为 0.863 和 0.993,标准误差分别为 0.018 和 0.004。用独立验证试验对模型效果进行了 t 检验,郑单 958 和中农大 4 号的显著水平值分别为 0.900 和 0.379,模型模拟值与实际观测值差异均不显著, RMSE 值分别为 0.015 和 0.020。分析结果表明,玉米产量与干物质积累过程有关,不同的干物质积累过程其 Logistic 方程的参数也不同;玉米籽粒产量与 Logistic 方程参数之间存在一定的关系,不同的品种其关系模型也有所不同。

关键词 玉米; 干物质; Logistic 方程; 模型参数

中图分类号 S 512

文章编号 1007-4333(2011)05-0032-07

文献标志码 A

Study on the effect of dry matter accumulation process on maize yield based on Logistic model

QIAO Jia, ZHU Jin-cheng, ZHAO Jiao, ZHENG Zhi-fang,

WANG Pu, LIAO Shu-hua*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Crop yields are closely related to dry matter accumulation process, which can be affected by different culture measures and environment remarkably, consequently the yields. To analysis the effect of dry matter accumulation process on maize yield, field experiments with four treatments, namely, areas, years, culture measures were performed from 2007 to 2009. Regression equation between yield per plant and it's parameter for Logistic model of Zhengdan958 and Zhongnongda 4 was established. Correlation coefficient for Zhengdan958 and Zhongnongda4 were 0.863 and 0.993 respectively, and standard errors were 0.018 and 0.004 respectively. To validate the above model, t -test distinguish level of Zhengdan958 and Zhongnongda 4 from independent experiment were 0.900 and 0.379 respectively. No obvious difference was observed between model's simulated and observed values. RESM values for Zhengdan985 and Zhongnongda4 were 0.014 and 0.020 respectively. The results showed that maize yield correlated with dry matter accumulation process for certain degree; different growing process resulted in different parameter of Logistic model. Furthermore, the crop yield also correlated with parameter of Logistic model; different varieties possessed their own model. Information obtained from the current study can provide some theory basis for maize industry.

Key words maize; dry matter; Logistic function; model parameter

收稿日期: 2011-02-13

基金项目: 国家支撑计划项目(2006BAD29B04); 国家“863”计划项目(2006AA10A303-1)

第一作者: 乔嘉, 硕士研究生, E-mail: jy02383591@163.com

通讯作者: 廖树华, 副教授, 主要从事作物栽培信息化研究, E-mail: sergzl@public.bta.net.cn

农作物产量的形成, 实际上是光合产物的积累过程^[1], 作物产量的高低取决于干物质的积累及其向籽粒运转分配的比例^[2], 干物质是作物光合作用的最终产物, 与经济产量呈显著正相关^[3], 因此, 干物质积累对作物产量有着重要作用。许多学者研究了关键时期干物质积累对作物产量的影响^[4-6]。而作物产量形成是一个复杂的生理过程, 涉及到光合作用、干物质积累, 分配、器官生长发育, 有机无机元素的吸收、利用、以及转移等一系列过程, 这些过程遍及作物生长的各个阶段, 因此, 应当从整体上入手, 从作物生长的整个过程来分析产量形成过程。

Logistic 模型, 它以时间为自变量, 可描述生物群体生长过程。作物干物质积累是光合产物的积累和储存的过程, 随着时间的推移, 这一过程渐弱、趋于停止, 结束生命^[7]。

许多学者通过 Logistic 模型来研究作物的干物质积累过程^[8-10]。而干物质积累与生存环境, 营养竞争以及衰老等因素有关^[11], 不同的环境条件以及栽培措施会显著的影响干物质的积累过程进而影响产量。目前对于不同栽培措施下的干物质积累变化规律在 Logistic 模型上的表现, 以及这些表现与产量之间的关系的研究报道较少。

本研究以玉米为例, 从作物整个生育期的干物质积累过程入手, 结合干物质积累的 Logistic 积温模型来研究不同栽培措施下 Logistic 模型参数的变化规律以及这种变化与产量之间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及试验设计

试验一: 于 2007 年 6 月—2007 年 10 月在北京中国农业大学上庄试验站(北纬 39°34', 东经 116°12')进行。试验地土壤类型为粉砂质潮土, 基础养分: 有机质 28.8 mg/g, 全氮 0.97 mg/g, 有效磷 11.4 mg/kg, 速效钾 25.08 mg/kg。供试品种为郑单 958, 试验设 5 因素 5 水平, 因为采取均匀设计方法进行设计, 全试验共 25 个处理, 无重复, 每个小区面积 40 m², 氮肥的 20% 和磷钾肥作底肥在翻地时一次施入, 剩余氮肥作追肥。各处理具体栽培措施见表 1。追肥方式由追肥时期和追施比例组成, 具体实施按表 2 进行。

表 1 试验一试验设计处理组合
Table 1 Treatment arrangement of test 1

处 理	密度/ (株/hm ²)	N 肥/ (kg/hm ²)	P 肥/ (kg/hm ²)	K 肥/ (kg/hm ²)	追肥 方式
1	51 000	180	180	270	5
2	51 000	255	300	150	4
3	51 000	330	120	330	3
4	51 000	405	240	210	2
5	51 000	105	60	90	1
6	61 500	255	240	330	1
7	61 500	330	60	210	5
8	61 500	405	180	90	4
9	61 500	105	300	270	3
10	61 500	180	120	150	2
11	72 000	330	300	90	2
12	72 000	405	120	270	1
13	72 000	105	240	150	5
14	72 000	180	60	330	4
15	72 000	255	180	210	3
16	82 500	405	60	150	3
17	82 500	105	180	330	2
18	82 500	180	300	210	1
19	82 500	255	120	90	5
20	82 500	330	240	270	4
21	93 000	105	120	210	4
22	93 000	180	240	90	3
23	93 000	255	60	270	2
24	93 000	330	180	150	1
25	93 000	405	300	330	5

表 2 试验一各时期追肥比率

Table 2 Top dressing ratio in different stage of test1

水平	拔节	大口	吐丝期
1	1.0	0	0
2	0	1.0	0
3	0.7	0.3	0
4	0.3	0.7	0
5	0.4	0.3	0.3

试验二: 试验于 2008 年 6 月—2008 年 10 月在中国农业大学上庄试验站进行。基础养分: 有机质 14.27 mg/g, 全氮 1.13 mg/g, 有效磷 6.60 mg/kg, 速效钾 113.84 mg/kg。种植密度为 60 000 株/

hm²。供试品种为郑单 958。试验为单因素随机区组设计,设 6 个氮处理,每个处理重复 3 次,共 18 个小区,每个小区面积 40 m²。各处理氮肥分别作基肥和大口期追肥 2 次施用。基肥氮在翻地时一次施入,同时基施硫酸钾(以有效成分 K₂O 计)120 kg/hm²、过磷酸钙(以有效成分 P₂O₅ 计)150 kg/hm²。具体栽培措施见表 3。

表 3 试验三氮肥处理实施表

Table 3 N treatment arrangement of test 3

处理	底 N/(kg/hm ²)	追肥/(kg/hm ²)
1	0	0
2	30	45
3	60	90
4	90	135
5	120	180
6	180	270

试验三:2008 年于河北吴桥(北纬 37°18',东经 116°24')进行。土壤类型为冲积型盐化潮土,基础养分:有机质 8.25 mg/g,全氮 0.83 mg/g,有效磷 22.10 mg/kg,速效钾 79.32 mg/kg。供试品种为中农大 4 号,为密度、水、氮磷钾配比共 3 因素试验,采取正交设计,共 9 个处理,2 次重复,共 18 个小区,每个小区面积 42 m²。具体栽培措施见表 4。

表 4 试验三试验设计处理组合

Table 4 Treatment arrangement of test 3

处理	密度/ (株/hm ²)	施肥量/(kg/hm ²)			灌水/ (m ³ /hm ²)
		N	P	K	
1	48 000	100	20	40	300
2	48 000	200	100	140	600
3	48 000	300	180	240	0
4	60 000	100	20	40	600
5	60 000	200	100	140	0
6	60 000	300	180	240	300
7	72 000	100	20	40	0
8	72 000	200	100	140	300
9	72 000	300	180	240	600

试验四:2009 年于河北吴桥进行。基础养分:有机质 7.15 mg/g,全氮 0.95 mg/g,有效磷 18.85 mg/kg,速效钾 67.35 mg/kg。供试品种为中农大 4 号,密度为 4 000 株/667m²,基肥为有机肥 2 方/

667m²,二铵 10 kg/667m²,硫酸钾 15 kg/667m²,硫酸锌 2 kg/667m²,硼砂 1 kg/667m²,硫酸锰 1 kg/667m²。追肥为大口期施尿素 20 kg/667m²;吐丝后 10 d 施尿素 10 kg/667m² 和二铵 10 kg/667m²。共设 5 个播期处理,3 次重复,共 15 个小区,每个小区面积 42 m²。播种时间分别是 4 月 20 日,5 月 5 日,5 月 20 日,6 月 4 日和 6 月 18 日。

试验五:2010 年于河北吴桥进行。基础养分:有机质 11.78 mg/g,全氮 1.13 mg/g,有效磷 16.51 mg/kg,速效钾 93.62 mg/kg。供试品种为中农大 4 号,设置密度与肥料的二因素随机区组实验设计,共 9 个处理,3 次重复。共 27 个小区,每个小区面积 42 m²。具体栽培措施见表 5。

表 5 试验五试验设计处理组合

Table 5 Treatment arrangement of test 5

处理	密度/ (株/hm ²)	施肥量/(kg/hm ²)		
		N	P	K
1	48 000	60	30	40
2	48 000	120	60	80
3	48 000	180	90	120
4	60 000	60	30	40
5	60 000	120	60	80
6	60 000	180	90	120
7	72 000	60	30	40
8	72 000	120	60	80
9	72 000	180	90	120

1.2 测定项目与方法

于玉米主要生育期,在每个小区各选取代表性玉米株 3 株,根据植株器官发育情况,将样品植株分离为叶、茎和穗,在 105 °C 杀青 30 min,80 °C 烘干至恒重后称重,然后计算单位土地面积的地上部干物质重。气象资料来自试验地所在的气象站。

1.3 数据处理与分析

将不同生育时期的生长度日 G_{GDD_i} 进行归一化处理,得到相对生长度日 R_{GDD_i} ,计算方法为: $R_{GDD_i} = G_{GDD_i} / G_{GDDH}$,其中 G_{GDDH} 为收获时的累积生长度日(°C d)。 R_{GDD_i} 的取值范围均为 0~1。

1.4 建模与检验方法

试验一、三用于模型构建,试验二、四用于模型检验。利用 Curve Expert 1.38 软件对于干物质积累量(D)和相对生长度日(R_{GDD_i})之间的关系进行拟合,得到的最优化的 Logistic 方程, $y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$,

记录方程系数 a, b, c ，然后用 SPSS 17.0 软件分析这些系数与产量之间的关系。建立基于干物质积累动态模型系数的产量形成模型。模型检验采用根均方根差 S_{RMSE} 来分析模拟值与观测值间的符合度。 S_{RMSE} 值越小，表明模拟值与观测值的一致性越好，模型的模拟结果越准确、可靠。 S_{RMSE} 的计算方法如下：

$$S_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (1)$$

式(1)中, O_i 为观测值, S_i 为模拟值, n 为样本容量。

2 结果与分析

2.1 玉米干物质积累的 Logistic 模型的建立与分析

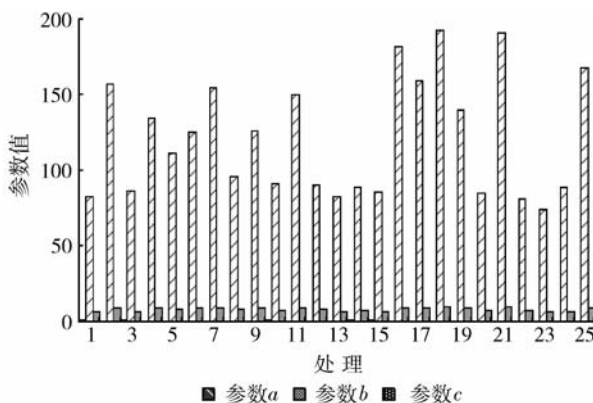
为了衡量同一品种在不同年景下的衡量标准, 对同一品种不同年景的积温进行归一处理, 用相对积温作为自变量来模拟干物质积累模型, 对试验 1 和 3 累积的 G_{GDDi} 进行归一化处理后, 利用 Curve Expert 1.38 软件对干物质积累量 (D) 和相对生长度日 (R_{GDDi}) 之间的关系进行拟合, 得到描述玉米干物质积累的 Logistic 模型其表达式为: $y =$

$$\frac{a}{1 + be^{-cx}}$$

其中 y 为 D ; x 为 R_{GDDi} ;

依照以上方法对试验一郑单 958 的各处理数据进行处理得出结果如图 1、2 所示。

依照以上方法对试验三中农大 4 号的数据进行处理得出结果如图 3、4 所示。



a, b, c 分别为 Logistic 方程的系数。下图同。

图 1 不同栽培措施下郑单 958 Logistic 模型参数

Fig. 1 Parameter of Zhengdan958's Logistic model under different cultural practices

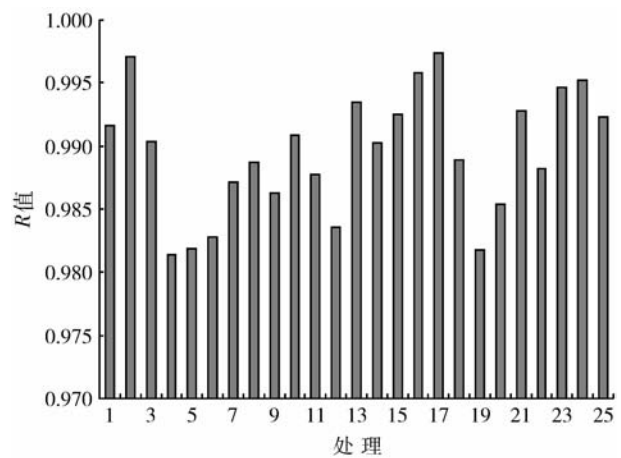


图 2 郑单 958 Logistic 模型相关性

Fig. 2 Correlation of Zhengdan958's Logistic model

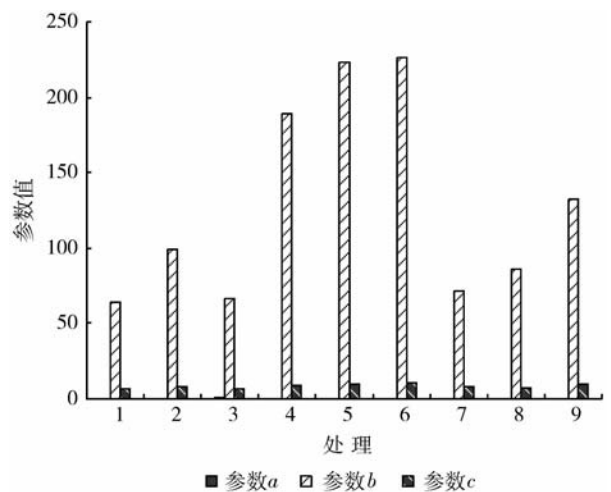


图 3 不同栽培措施下中农大 4 号 Logistic 模型参数

Fig. 3 Parameter of Zhongnongda 4's logistic model under different cultural practices

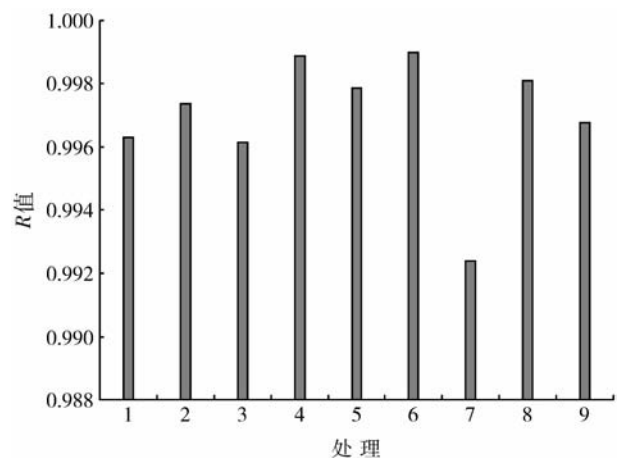


图 4 中农大 4 号的模型相关性

Fig. 4 Correlation of Zhongnongda4's Logistic model

从图1~4中可以看出, Logistic模型对玉米干物质积累有较好的模拟效果, 同时 Logistic方程中的参数 a 、 b 、 c 在不同处理之间有差异, 下面结合栽培措施对参数 a 、 b 、 c 进行分析。

表6 不同栽培措施下中农大4号的模型参数变化规律分析(试验5)

Table 6 Change regularity of Zhongnongda4's model parameters under different cultural practices (test 5)

处理	参数		
	a	b	c
1	0.307	179.030	7.639
2	0.321	178.203	7.562
3	0.382	111.178	6.392
4	0.281	203.636	7.747
5	0.288	147.075	7.324
6	0.305	116.281	6.655
7	0.239	315.380	8.843
8	0.257	202.645	8.162
9	0.254	169.712	7.901

在 Logistic 方程 $y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ 中, 当 $x \rightarrow 1$ 时, $y \rightarrow a$, a 可以用来代表作物的终极生长势。从上表可以看出, a 随着氮肥施肥量的增加而增加, 随密度的增加而减小。其他 2 个变量 b 、 c 随着氮肥施用量的增加而减小, 随密度的增加而增加。

从以上结果看出, 对于郑单 958 和中农大 4 号来说, 每个试验处理的 Logistic 模型都在 0.98 以上, 有较高的拟合度, 能够较好的反映出作物干物质积累过程。另外栽培措施的变化会对作物干物质积累过程产生一定的影响, 这反映在 Logistic 模型上就是模型参数会随着栽培措施的变化而显示出一定的规律的变化。

2.2 玉米干物质积累过程对产量形成的影响研究

植株干物质的积累是作物产量形成的基础^[12], 栽培措施以及不同的生态因子都会影响到植株干物质的积累过程^[13-14], 这种影响反映到 Logistic 积温模型上就是参数的变化, 不同的参数组合会形成不同形状的图形而不同形状的图形反映的就是不同的干物质积累过程。

Logistic 方程 $y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ 反映了生物量随积温变化而积累的过程, 对 Logistic 方程求一阶导数可得到生物量积累速率方程, 即 $y' = \frac{abce^{-cx}}{(1 + be^{-cx})^2}$ 。

生物量积累速率方程是一连续变化的单峰曲线, 曲线峰值即为干物质增长速率的最大值, 因此在其生物量积累速率方程的基础上再求导(或对 Logistic 方程求二阶导)并令其为零, 则可求出干物质增长最大速率出现时的积温为 $x = \frac{\ln b}{c}$, 此时的最大速率为 $y' = \frac{ac}{4}$ 。

对 Logistic 方程求三阶导并令其等于零, 可以得到生长曲线上的 2 个突变拐点, 2 个拐点对应的积温值分别为 $x_1 = \frac{\ln b - \ln(2 + \sqrt{3})}{c}$ 与 $x_2 = \frac{\ln b - \ln(2 - \sqrt{3})}{c}$ 。在 x_1 之前和 x_2 之后干物质积累缓慢, 在 x_1 和 x_2 之间, 干物质积累迅速, y 与 x 之间基本呈线性关系, 为群体的旺盛生长期。

在 Logistic 方程 $y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ 中, 而 b 、 c 共同决定着生物量最大积累速率出现时的积温, a 、 c 共同决定着生物量积累的最大速率, b 、 c 共同决定着生长旺盛期的出现和结束时间。

由此可见, Logistic 参数的组合不仅代表作物不同的生物量积累过程, 而且还具有不同的生物学意义, 因此要研究不同的干物质积累过程是否最终影响到作物的产量, 就要研究 Logistic 积温模型的参数变化与产量之间是否有关系。

因此对 Logistic 模型各参数与产量之间做相关分析, 结果如下(其中 Y 为单株产量, a 、 b 、 c 为 Logistic 方程 $y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ 的模型参数。)

根据试验 1, 郑单 958 的模型形式与相关性

$$Y = -0.322 - 14.727b + 0.006c^2 + 0.026ab - 0.002abc \quad (2)$$

相关系数为 $R=0.863$, 标准误差为 $sd=0.01848$ 。

根据试验 3, 中农大 4 号的模型形式与相关性

$$Y = -0.091 + 0.707a^2 - 0.0000008b^2 + 0.0009c^2 \quad (3)$$

相关系数为 $R=0.993$, 标准误差为 $sd=0.0044$ 。

从上述表达式中可以看出, 作物产量与

Logistic 模型参数组合之间存在一定的相关性,不同的干物质积累过程反映在模型参数上即是参数的变化,而干物质积累过程对产量的影响反映在数学表达式上即是不同的模型参数组合对产量的影响。而不同的品种其干物质积累过程对产量的变化又略有不同,从等式(2)与等式(3)中可以看出,郑单 958 品种的产量与参数 b 、 c^2 、 ab 、 abc 之间的关系较大,而中农大 4 号品种的产量与参数 a^2 、 b^2 、 c^2 之间的关系比较大。

由此可见,产量与 Logistic 方程参数之间存在一定的关系,不同的品种其关系也有所不同。

2.3 玉米干物质积累动态模型的检验

对于 2 个品种所建立的模型,分别用 2 个试验进行验证,其中试验 2 为栽培管理措施试验,试验 4 为播期试验。

利用试验 2 和 4 对式(2)和(3)进行 t 检验,并做出模拟值与观测值之间的 1:1 关系图。

从表 7 中可以看出,2 个模型的检验水平 α 值均大于 0.05,上述模型的拟合结果与观测值差异不显著。

表 7 郑单 958 与中农大四号单株产量及配对 t 检验

Table 7 Result of paired-samples t -test between the per plant yield of Zhengdan 958 and Zhongnongda 4 kg

郑单 958		中农大 4 号	
模拟值	观测值	模拟值	观测值
0.129	0.118	0.220	0.231
0.156	0.141	0.219	0.225
0.147	0.152	0.209	0.246
0.173	0.180	0.194	0.204
0.186	0.179	0.186	0.166
0.166	0.183		
$P=0.900$		$P=0.379$	

模型对产量预测的 RMSE 值分别是郑单 958 为 0.015,中农大 4 号为 0.02,肥料密度试验,还是播期试验,模型值与观测值之间均表现出一定的一致性与符合度。

3 讨论

同一作物的不同品种其整个生育期的生长发育

状况会有所不同。杨伟强等^[15]分析了不同花生品种的干物质动态积累状况,李艳大等^[16]分析了不同水稻品种的干物质积累动态变化,侯玉虹等^[17]分析了不同玉米品种的群体干物质积累量变化动态特征。在郑单 958 与中农大 4 号的产量形成模型比较中,可以看到,随着所选品种的不同,得到的产量形成模型的形式也有所不同。所以,对于产量形成模型来说,模型的表达反映了品种的差异。

作物生物学特性可以说是相对简洁的,而作物具体的生长发育环境条件则是复杂的。要想在这样复杂多变的环境条件下研究作物的生长发育过程,首先要对环境因素进行简化,其次要固定气象条件,比较分析气象条件对协调分析结果的影响^[18]。通过积温来进行作物生长发育进程的研究,即是先在简化条件下找出 Logistic 方程参数与产量之间的关系,从而进一步为日后复杂化环境条件下群体设计提供基础。

通常情况下,同一地区作物的生长期相对稳定,即归一化处理后的数值所代表的生育天数是固定的,因此将任意时刻的相对积温代入方程就可以求出对应的干物质函数值^[19]。为此,在作物生育期不同的情况下,对数据进行归一化处理,可以消除作物间生育天数的差异,更好的模拟干物质动态,也有利于进一步指导农业生产。

黄金龙等^[18]以小麦开花后的分析为例,建立了动态协调的逻辑分析框架,对小麦生长后期生育路线进行分析,从整体上分析产量形成过程,并协调各过程使之实现高产。作物的产量形成是作物干物质积累的一个渐进的过程,本文对玉米产量与干物质积累的关系进行研究,也是希望通过分析这种关系,设计出一条优化的生长发育路线,从而逐步实现产量目标。

本研究对玉米产量与干物质积累的 Logistic 方程参数之间关系进行了深入探讨,建立了相应的关系模型,该模型也可用于玉米生产管理决策中作物生长路线的设计,从而为玉米生产管理提供理论指导。

参 考 文 献

- [1] 邓根云,刘中丽. 玉米潜在产量与积温关系模型及其应用[J]. 气象,1992,18(8):8-12
- [2] 林瑞余,梁义元,蔡碧琼,等. 不同水稻产量形成过程的干物质

- 积累与分配特征[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 185-190
- [3] 杨惠杰, 李义珍, 杨仁崔, 等. 超高产水稻的干物质生产特性研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 265-270
- [4] 李岗, 王虎全, 谢惠民, 等. 渭北旱地小麦不同产量形态生理指标及调控技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(2): 15-19
- [5] 凌启鸿, 张洪程, 程庚令, 等. 小麦"小群体、壮个体、高积累"高产栽培途径的研究[J]. 江苏农学院学报, 1983, 4(1): 1-16
- [6] 鲁清林, 李怀德, 张礼军, 等. 冬麦北移后干物质积累状况变化[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 252-257
- [7] 王信理. 在作物干物质积累的动态模拟中如何合理利用 logistic 方程[J]. 中国农业气象, 1986(01): 14-18
- [8] 彭世彰, 李荣超, 朱成立. 节水灌溉的水稻干物质增长模型研究[J]. 水利学报, 2002, 11: 99-102
- [9] 齐维强, 张志斌, 邹志荣, 等. 基于积温的日光温室番茄生长发育规律研究[J]. 华中农业大学学报, 2004, 35: 53-57
- [10] 秦舒浩, 李玲玲. 集雨补灌春小麦花后干物质积累分配及灌浆特性[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 173-180
- [11] 于强, 付抱璞, 姚克敏. 包容生态因子的广义 logistic 模型[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 289-294
- [12] 张银锁, 宇振荣. 环境条件和栽培管理对夏玉米干物质积累、分配及转运的试验研究[J]. 作物学报, 2002, 28(1): 104-109
- [13] 张继祥, 毛志泉, 魏钦平, 等. 美国黑核桃实生苗单叶片光合作用生理生态模型的建立与验证[J]. 生物数学学报, 2004, 19(1): 113-115
- [14] 屈会娟, 李金才, 沈学善, 等. 种植密度和播期对冬小麦品种兰考矮早八干物质和氮素积累与运转的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 124-131
- [15] 杨伟强, 宋文武, 鞠倩, 等. 不同类型花生品种(系)干物质积累特性研究[J]. 山东农业科学, 2009(1): 47-49
- [16] 李艳大, 汤亮, 陈青春, 等. 水稻地上部干物质积累动态的定量模拟[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1504-1510
- [17] 侯玉虹, 陈传永, 郭志强, 等. 春玉米不同产量群体叶面积指数动态特征与生态因子资源量的分配特点[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 90-95
- [18] 黄金龙, 郑丽敏, 冯利平. 小麦开花后产量形成的动态协调的逻辑分析——兼论作物产量形成的动态协调研究[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(5): 47-52
- [19] 张宾, 赵明, 董志强, 等. 作物产量"三合结构"定量表达及高产分析[J]. 作物学报, 2007, 33(4): 612-619

(责任编辑: 袁文业)

欢迎订阅《中国农业大学学报》

《中国农业大学学报》是教育部主管、中国农业大学主办的国家级综合性农业学术期刊。本刊主要刊登生物学、作物学、植物保护、园艺学、动物科学与动物医学、食品科学与营养工程、农业资源与环境工程、农业机械工程、信息与电气工程、水利与土木工程及农业经济管理等涉农学科的学术论文、文献综述和研究快报等。热烈欢迎相关单位的广大教师、科研人员及研究生订阅。

《中国农业大学学报》为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊及中国科学引文数据库核心期刊,并被国内外多家数据库和文摘杂志收录。本刊影响因子、总被引频次等指标在全国农业科技期刊中连续多年名列前茅;在北京大学《中文核心期刊要目总览(2008年版)》的“农业综合类核心期刊”中位居第三;本刊连续3次入选教育部科技司评选的“中国高校精品科技期刊”并获2007年中国百种杰出学术期刊和2008年度中国精品科技期刊称号。

《中国农业大学学报》为双月刊(ISSN 1007-4333, CN 11-3837/S),国内外公开发行人,每期120页,定价15.00元,全年共90.00元(包含邮寄费)。

本刊目前出版周期为半年左右。热忱欢迎广大读者向本刊踊跃投稿!投稿事宜请参阅: <http://nydxxb.allmaga.net/ch/index.aspx>

地址:100193 北京海淀区圆明园西路2号 中国农业大学学报编辑部

电话:010-62732619 传真:010-6273 4886

网址:<http://xuebao.cau.edu.cn> E-mail:xuebao@cau.edu.cn