

# 玉米子粒的生长发育模式与产量

李秀军

(中科院长春地理研究所)

王长宏

(辽宁省农业技术推广中心)

## 摘要

本文从玉米不同栽培密度入手,采用数学模拟和统计分析方法,对玉米子粒的生长发育进行系统的研究。结果表明:玉米子粒的生长发育既有其自身的生物学规律,又受环境条件的制约。表现在子粒数量在生长发育过程中受到一系列的削减,而且不同密度的群体削减幅度不同,最终获得的有效粒数仅为最初小花总数的50~74%;子粒重量、体积及内含物增长和累积呈线性趋势,最终累积量的三分之二以上决定于有效灌浆期与灌浆强度的相互作用,不同密度群体子粒重量、体积及内含物的增长和累积幅度与速度都明显不同。子粒产量取决于最终的子粒数量和重量( $Y = -154.1432 + 0.3962X_3 + 3.5305X_5$ ),只有挖掘子粒数量和重量潜力,才能实现高产。

子粒是玉米经济产量的最终体现。玉米子粒的生长发育规律是玉米栽培的重要理论之一。只有研究玉米子粒的数量、重量、体积及内含物的增长状况,并了解它们与环境条件的关系,才能把握其规律、运用栽培手段促进产品器官的生长,以获得较高的产量。在这方面国内<sup>[3,5,6]</sup>外<sup>[9,10]</sup>学者都曾进行过研究,但作系统的研究尚不多见。本试验是在总结前人研究的基础上,从不同栽培密度着手,力图揭示玉米子粒的生长发育规律及子粒性状与产量的关系,并建立数学模式,以期对玉米高产栽培、育种有所裨益。

## 材料和方法

试验在沈阳农业大学校内试验基地进行,供试种为单交种朝 23×5003。试验采用五种密度(1)60×53.3cm, (2)60×43.3cm, (3)60×33.3cm, (4)60×27.3cm, (5)60×24.6cm 3次重复,随机区组设计。土壤肥力中等,基肥施有机肥45 000kg/公顷,播种时施氮磷复合肥112.5kg/公顷,追肥施硫酸 450kg/公顷。

在抽穗期选择生育整齐一致的植株挂签为标志,每隔 2~4 天取样 3 穗,观测小花数、子粒数、子粒体积、子粒鲜重和干重。子粒中淀粉和可溶性糖含量用蒽酮比色法,全氮和蛋白质含量用凯式定氮法测定。成熟期每小区取10m<sup>2</sup>对子粒产量进行实测。计算采用 Logistic 方程、简单相关分析、多元回归分析。

## 结果与分析

### 一、玉米子粒的生长发育模式

#### 1. 子粒数量的变化

供试种经穗分化产生的小花数相对较稳定(详细见后面说明),一般每个玉米果穗有小花870~930个。这些小花一般可分为两部分,无效花和正常受精花。无效花多分布在果穗顶部,因发育不健全或花丝不能抽出或花丝抽出较晚而不能正常受精,约占小花总数的7~13%。正常受精花在子粒的发育过程中又分为有效粒和败育粒两部分,败育粒约占小花总数的19~37%。其中受精后8~16天内,灌浆之前停止发育的子粒称为未灌浆型败育粒,在

受精后16~36天内停止发育的子粒称为已灌浆型败育粒,详细子粒数量变化情况见图1,从

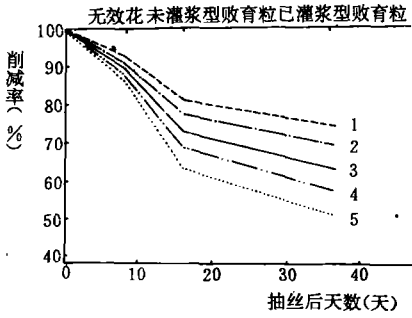


图1 玉米不同密度子粒数量在不同阶段的削减

1. 60×53.3cm    2. 60×43.3cm    3. 60×33.3cm  
4. 60×27.3cm    5. 60×24.6cm

表1 不同密度玉米花粒各因素比值及变异系数

密度 (cm)	一穗小花数	无效花数	受精花数	未灌浆型败育粒数	已灌浆型败育粒数	败育粒数	有效粒数
60×53.3	106.2	60.2	112.9	51.0	58.1	53.1	157.6
60×43.3	105.4	65.9	111.5	64.6	67.2	65.3	145.9
60×33.3	103.5	68.3	108.4	73.4	82.5	76.1	132.9
60×27.3	99.9	96.0	100.7	84.8	100.0	89.2	109.2
60×24.6	100.0*	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
C. V. (%)	2.71	22.44	5.35	23.37	16.86	25.11	17.42

注:均以60×24.6cm处理为100%

23.37%),其次为无效花数的变异系数(C. V. = 22.44%),而一穗小花数的变异系数最小(C. V. = 2.71%),说明果穗的小花数比较稳定,主要受基因型的控制,环境对其影响较小;而败育粒数、无效花数除受基因型控制外,对环境的变化也非常的敏感<sup>[3]</sup>。这是因为无效花和败育粒的发生与花粒的发育和养分供应有关,随着密度的增加,生长条件恶化,有机和无机养分供应不足,导致无效花和败育粒数的增多,因此,生产上应采用合理密植,加强水肥管理,增加有效粒数提高产量。

### 2. 子粒干重的增长

小花受精后,随着灌浆过程的不断进行,子粒干重不断增加,增长过程呈S形曲线(见图1)。子粒干重的增长可分为三个阶段:缓慢增长期、线性增长期和稳定增长期。受精后12天内子粒干重增长较慢,平均日增重1.9~2.6mg,积累量只占成熟子粒干重的9.4~9.6%,为缓慢增长期;受精后13~38天这段时间内,子粒干重增长速度很快,平均日增重6.69~8.86mg,积累量占最终子粒干重的70.4~73.4%,为线性增长期;受精后39天直至成熟,子粒干重增长又逐渐减慢至最后停止,平均日增重1.6~2.8mg,积累量占最终子粒干重的17.0~20.2%,为稳定增长期。由此看到:子粒中干物质的积累主要在线性增长期,即受精后13~38天的26天时间内,这段时间的干物质积累多达最终干物质积累量的三分之二以上,是决定子粒产量的关键期。

由图2还可看出:不同处理间子粒干重的增长趋势虽一致,但增长速度及最终干物质积累量的多少上明显不同,随着密度的增加,干重增长速度及最终干物质都有所降低。相关分析结果表明密度与百粒重(考种结果)呈极显著负相关( $r = -0.997^{**}$ )。因此合理密植是增加子粒重量(百粒重)是促高产的有效措施。

图1中可看出,不同密度的群体子粒数量在生长发育过程中受到不同程度的削减<sup>[3]</sup>,在诸削减因素中,以败育粒的削减率最大(19~37%),其次是无效花(7~13%)。而在子粒败育中又以未灌浆型败育为主,削减率为13~26%。经诸次削减使最终获得的有效粒数只有最初小花总数的50~74%。

为研究花、粒数量的变化(见表1),由表1得出:一穗小花数、受精花数、有效粒数的比值随着密度的降低而增大,无效花数和败育粒数的比值则随着密度的降低而减少,从

而由于无效花数和败育粒数比值的下降,使有效粒数提高的比值远远大于受精花数和一穗小花数提高的比值,说明子粒数量与无效花数和败育粒数具有相关性( $r: -0.654, -0.993$ )。计算各因素的变异系数发现:败育粒数的变异系数最大(C. V. = 25.11%,其中又以未灌浆型的败育粒数的变异系数为大,C. V. =

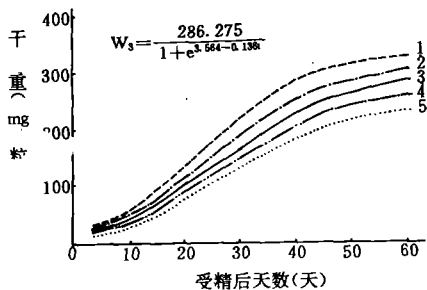


图2 不同密度玉米子粒干重增长曲线

1. 60×53.3cm 2. 60×43.3cm 3. 60×33.3cm  
4. 60×27.3cm 5. 60×24.6cm

用 Logistic 方程对子粒增长过程进行拟合,即可得到子粒干重增长方程。不同密度子粒干重增长方程如下:

$$W_1 = \frac{332.150}{1 + e^{3.547 - 0.136t}} \quad 1.60 \times 53.3\text{cm}$$

$$W_2 = \frac{318.312}{1 + e^{3.528 - 0.145t}} \quad 2.60 \times 43.3\text{cm}$$

$$W_3 = \frac{286.275}{1 + e^{3.564 - 0.136t}} \quad 3.60 \times 33.3\text{cm}$$

$$W_4 = \frac{259.209}{1 + e^{3.642 - 0.140t}} \quad 4.60 \times 27.3\text{cm}$$

$$W_5 = \frac{239.425}{1 + e^{3.602 - 0.142t}} \quad 5.60 \times 24.6\text{cm}$$

式中 W—t 时间内子粒增加的干重(mg/粒) t—增长时间(天)

### 3. 子粒体积的增长

子粒体积的增长过程也呈 S 形曲线(见图 3),遵循 Logistic 方程,不同密度玉米子粒体积增长方程:

$$V_1 = \frac{442.320}{1 + e^{1.825 - 0.094t}}; \quad V_2 = \frac{435.788}{1 + e^{1.824 - 0.091t}}; \quad V_3 = \frac{417.478}{1 + e^{1.809 - 0.089t}};$$

$$V_4 = \frac{396.837}{1 + e^{1.831 - 0.089t}}; \quad V_5 = \frac{386.377}{1 + e^{1.829 - 0.089t}};$$

式中 V—t 增长时间子粒体积(mm<sup>3</sup>/粒);t—增长时间(天)

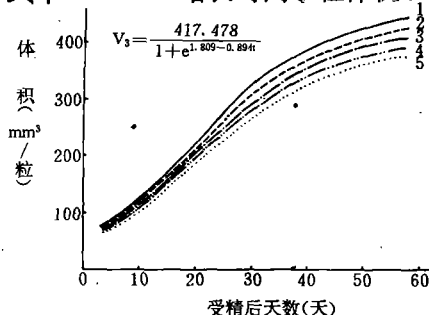


图3 不同密度玉米子粒体积增长曲线

1. 60×53.3cm 2. 60×43.3cm 3. 60×33.3cm  
4. 60×27.3cm 5. 60×24.6cm

子粒体积增长过程也分三个阶段:缓慢增长期短而不明显,只有 5 天左右时间;线性增长期从受精后第 6 天直到第 30 天,大约 25 天时间,在这段时间内子粒体积增长很快,增加量达最大体积的 79.4~79.8%;此后子粒体积增长速度逐渐减慢,至受精后 46 天黑色层出现时,子粒体积略微缩小。由此可见子粒体积增长关键是受精后一个月时间内,在这段时间内加强田间管理,促进子粒体积的增长,即可获得高产的功效。

不同密度玉米子粒体积的增长幅度及最终子粒体积的大小明显不同,随着密度的增大,子粒体积增长速度减慢,增长幅度变小,最终体积减小。

对子粒体积与子粒干重进行相关分析,发现二者呈极显著正相关(r=0.959\*\*),可见子粒体积越大,则容纳同化物越多,百粒重就越大。生产上应创造良好的子粒发育条件,尽量增大子粒体积,容纳更多的同化物而达高产。

### 4. 子粒内含物的变化

通过对子粒生长发育过程中碳氮化合物的含量测定发现:子粒中碳氮化合物的积累有着明显的规律性(见图 4、图 5)。

由图 4 得知:在子粒发育初期淀粉含量较少,而可溶性糖较高,随着子粒灌浆过程的进行,可溶性糖含量逐渐降低,淀粉含量却日益增高,且增长速度很快,到生理成熟时增长速度才减慢下来,这说明可溶性糖有一部分被用于合成了淀粉而积累在子粒中。由图 5 可知,子

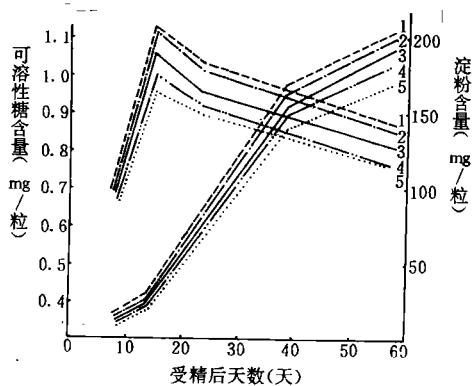


图4 不同密度玉米子粒中淀粉和可溶性糖含量的变化

1.  $60 \times 53.3\text{cm}$  2.  $60 \times 43.3\text{cm}$  3.  $60 \times 33.3\text{cm}$   
4.  $60 \times 27.3\text{cm}$  5.  $60 \times 24.6\text{cm}$

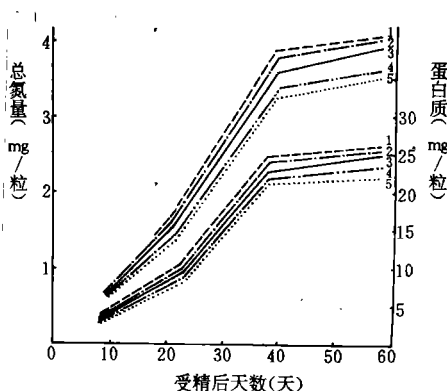


图5 不同密度玉米子粒中总氮量和蛋白质含量的变化

1.  $60 \times 53.3\text{cm}$  2.  $60 \times 43.3\text{cm}$  3.  $60 \times 33.3\text{cm}$   
4.  $60 \times 27.3\text{cm}$  5.  $60 \times 24.6\text{cm}$

粒中总氮量及蛋白质含量随着子粒的发育而不断增长,特别是在受精后14~38天的时间内增长速度很快,生理成熟期增长速度才逐渐减慢。由此可见,在子粒生长发育过程中,叶片制造的可溶性糖和根系吸收的氮素,在子粒中不断进行淀粉和蛋白质的合成代谢,尤其受精后10~40天左右的时间,是淀粉和蛋白质积累的最旺期。

由图4、图5还可获知,不同密度处理,子粒中碳氮化学物质含量明显不同,密度增大子粒中碳氮化合物的含量呈降低趋势。

淀粉和蛋白质是子粒中干物质的重要组成成分,子粒中淀粉和蛋白质的含量与子粒干重(百粒重)呈显著正相关( $r: 0.601, 0.563$ )。因此栽培上创造良好的子粒发育条件,促进子粒中淀粉和蛋白质的积累,对产量的提高和品质的改善会大有益处。

综上所述,玉米子粒在生长发育过程中既有自身的生物学规律,又有受环境条件的直接影响,表现在子粒数量、重量、体积及内含物的积累上都发生了一系列规律性的变化,有着特定的生长发育模式。因此在育种工作或生产上应选择子粒发育性状良好的优势种及创造良好的环境条件,促进子粒的生长发育,提高产量。

## 二、玉米子粒的生长发育与产量

表2列出了不同密度群体子粒生长发育性状和产量性状。可以看出:不同群体子粒产量的形成是通过群体个体数和个体生产力的形成来实现的。个体生产力即单株子粒产量,有随着群体中个体数的增加即密度加大而递减的趋势。在群体密度过小(如 $60 \times 53.3\text{cm}$ 即31 251株/公顷)或过大(如 $60 \times 24.6\text{cm}$ 即67 570.5株/公顷)时,由于前者单株子粒产量的增加不足以抵偿每公顷穗数的减少,或后者每公顷穗数的增加不能抵偿个体生产力即单株子粒产量的降低所受损失,结果群体子粒产量较低;只有在适宜的密度( $60 \times 33.3\text{cm}$ , 49 999.5株/公顷)条件下,群体与个体发育协调,公顷穗数较多,单株子粒产量较高,群体子粒产量才表现最高。

表2 不同密度条件下子粒生长发育性状及产量变化

密度 (cm)	每公顷 穗数	每穗 小花数	每穗受 精花数	受精率 (%)	每穗有 效粒数	结实率 (%)	子粒体积 (mm <sup>3</sup> /穗)	子粒干重最 大日增量 (mg/粒·日)	百粒重 (g)	单株子粒 产量(g)	子粒产量 (kg/公顷)
60×53.3	39 907.5	928.4	861.3	92.8	688.4	79.9	423.6	12.1	36.2	249.2	7203.0
60×43.3	37 809.0	921.0	850.5	92.3	657.5	75.0	414.8	12.0	34.8	221.9	7711.5
60×33.3	48 399.0	904.6	828.4	91.6	580.5	70.1	395.8	11.2	31.4	182.3	8064.0
60×27.3	56 464.5	873.5	767.7	87.9	477.0	62.1	374.8	10.3	27.5	131.2	7155.0
60×24.6	61 623.0	874.1	762.6	87.2	436.8	57.3	365.8	9.7	26.0	113.6	6729.0

为了进一步弄清子粒生长发育性状对单株子粒产量的影响,我们对子粒发育性状与单株子粒产量进行相关分析,结果表明:受精花数、结实率、有效粒数、子粒体积、子粒干重最大日增量和百粒重与单株子粒产量呈显著相关,见表3。

表3 子粒发育性状与单株子粒产量的相关系数

子粒 性状	受精 花数	结实 率	有效 粒数	子粒 体积	子粒干重 最大日增量	百粒 重
相关系数	0.969	0.993	0.997	0.874	0.869	0.993

将受精花数( $x_1$ )、结实率( $x_2$ )、有效粒数( $x_3$ )、子粒干重最大日增量( $x_4$ )、百粒重( $x_5$ )五个子粒发育性状对单株子粒产量进行逐步回归分析,得方程:

$Y = -154.1432 + 0.3962x_3 + 3.5365x_5$  有效粒数和百粒重进入方程,说明单株子粒产量取决于子粒生长发育的最终结果——有效粒数和百粒重。

综上所述,玉米子粒产量取决于有效穗数和单株子粒产量,有效穗数又取决于栽培密度的高低;单株子粒产量受有效粒数和百粒重的制约。在采用合理密植,保证足够的有效穗数的前提下,加强田间管理,创造良好的子粒生长发育条件,充分发挥个体生产潜力,促进有效粒数和百粒重的增加,提高单株子粒产量,进而提高玉米子粒产量,是高产再高产的关键。

## 小 结

玉米子粒的生长发育既有自身的生物学规律性,又有受环境条件的制约,从而呈现独特的生长发育模式。

(一)子粒数量在生长发育过程中受到一系列的淘汰,尤其是败育粒数的削减最盛,使最终获得的有效粒数仅为最初小花总数的50~74%。诸削减因素的变异系数较大,受密度的影响较大。

(二)子粒重量和体积的生长发育过程都呈S形曲线,遵循 Logistic 方程。受精后40天内即线性增长期是干重和体积增长的关键期。密度对子粒干重和体积增长过程及最终干重和体积大小都有影响。

(三)子粒内含物的代谢呈现一定的模式。受精后10~40天是代谢的旺盛期。内含物的代谢受密度的影响较大。

玉米子粒产量取决于单位面积的有效穗数和单株子粒产量,而单株子粒产量受一系列子粒生长发育性状(受精花数、结实率、有效粒数、子粒体积、子粒干重、最大日增量和百粒重)的影响,尤其是有效粒数( $r=0.997^{**}$ )和百粒重( $r=0.993^{**}$ )的影响最大,因此,在保证单位面积一定有效穗数前提下,创造良好的子粒生长发育条件,促进有效粒数和百粒重的增加,以实现高产。

## 参 考 文 献

- [1]赵可夫:《玉米生理》,山东科学技术出版社,1980。  
 [2]顾懋连、戴俊英等:《玉米》,科学出版社,1982。  
 [3]田云海等:玉米子粒发育过程及其与栽培条件的关系,《吉林农业科学》,1981,(3)。  
 [4]赵化春:玉米栽培的适宜密度问题,《吉林农业科学》,1983,(3)。  
 [5]张煜仁等:栽培条件对玉米子粒灌浆及成粒的影响,《泰安农业科技》,1982,(2)。  
 [6]张秀梅等:玉米果穗顶部子粒败育发生的时间与子粒糖含量的关系,《河南农学报》,1979,(2)。  
 [7]山东农科院作物生理研究室:玉米产量形成的生理基础,《中国农业科学》,1976,(2)。  
 [8]郑广华:《植物栽培生理》,山东科学技术出版社,1980。  
 [9]Ø. M 库别尔曼等,蔡可译:《玉米形态学》,上海科学技术出版社,1966。  
 [10]L. T 伊文思:《作物生理学》,农业出版社,1979。

## A MODEL OF THE GROWTH OF MAIZE SEED AND YIELD

Li Xiujun

Wang Changhong

(Chung Chua Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences) (Popularization Centre of Agricultural Technology, Liao Ning Pro)

## ABSTRACT

This article deals with systematic researches on the seed growth of maize grown in the various cultivating densities with the methods of mathematics simulations and statistics analysis. The results are: the growth of maize seed has its own biological laws, and it is also controlled by environmental conditions. The quantity of seeds is reduced several times in the growing process, and therefore the final quantity of effective seeds is only 50~74% of the total of the initial small flowers. The increases of seed weight and size and the accumulation of seed components tend to be a linear. Two thirds of the final accumulation depends on the effective grain-filling period. The seed yield is conditioned by final seed quantity and weight. Only improving the potential of seed quantity and weight can a high yield be achieved.

(上接第 22 页)

$F_3$ 、 $F_4$  世代间相关也达到显著水平,说明在选育优质材料时, $F_2$  代可针对系统表现选择组合,分析单株脂肪、蛋白质含量。在优质的基础上再选择单株粒重,完全粒率等产量性状进行系选是可行的。

表 3  $F_2$  与  $F_3$ 、 $F_4$  世代相关表

世 代	脂 肪		蛋 白 质		单 株 粒 重	
	品系平均	最高品系	品系平均	最高品系	品系平均	最高品系
$F_2$ 与 $F_3$	0.925**	0.863**	0.845**	0.720**	0.845**	0.619*
$F_2$ 与 $F_4$	0.985**	0.795**	0.825**	0.714**	0.691*	0.832**

n=10

## 参 考 文 献

- [1]田佩占:大豆杂交组合鉴定研究,《大豆科学》,1984,3(3),215~221。  
 [2]胡明祥:大豆脂肪的遗传改良,1988年全国大豆育种攻关会议论文。  
 [3]陈恒鹤:《中国农业科学》,1987,20(1),32~38。  
 [4]陈恒鹤等:《大豆科学》,1989,8(3),217~225。