

施氮对不同种植密度玉米产量和子粒灌浆特性的影响

曹玉军, 窦金刚, 高玉山, 魏雯雯, 吕艳杰,
姚凡云, 刘慧涛, 王永军

(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/玉米国家工程实验室, 长春 130033)

摘要: 以玉米品种先玉 335 为供试材料, 在大田条件下设 2 个氮肥水平、5 个种植密度, 探讨施氮量与密度互作对玉米子粒灌浆特性影响, 通过 Logistic 方程拟合子粒灌浆过程, 解析灌浆特征参数与粒重的关系。在玉米子粒灌浆过程中, 氮肥主要调控灌浆前期的灌浆速率来影响子粒建成, 最终使百粒重增加; 密度则调控快增期、缓增期持续天数来影响子粒重。要提高玉米产量, 关键在于提高子粒灌浆速率和有效灌浆时间, 尤其是延长快增期和缓增期持续时间以及提高渐增期平均灌浆速率。在生产中, 首先要合理密植, 构建适宜的群体, 延长子粒灌浆持续时间; 此外, 通过增加开花后的氮肥供应来提高子粒灌浆前期的平均灌浆速率。

关键词: 玉米; 氮肥; 密度; 产量; 灌浆特性

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effect of Nitrogen Application on Yield and Grain Filling Characteristics under Different Densities of Maize

CAO Yu-jun, DOU Jin-gang, GAO Yu-shan, WEI Wen-wen, LÜ Yan-jie,

YAO Fan-yun, LIU Hui-tao, WANG Yong-jun

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences /
State Engineering Laboratory of Maize, Changchun 130033, China)

Abstract: Used Xianyu335 as the material, a field experiment was conducted at two N levels and five planting densities to discuss the effect of nitrogen application and density on grain filling of maize. The grain-filling processes and the relationship between a series of secondary parameters and grain weight were analyzed by Logistic model. The results showed that the role of nitrogen fertilizer on grain filling process was mainly affected the grain filling rate at the early stage of filling and eventually increased the grain weight; the role of density was mainly affected grain-filling duration of middle stage and late stage. The key to increase the grain yield was improving the grain filling rate and prolonging the active grain-filling period, especially prolonged the grain-filling duration of middle stage and late stage and improved the mean grain-filling rate of early stage. In practice, planting at rational density and building appropriate groups, prolonging grain filling duration could improve grain yield of maize. Furthermore, by increasing the nitrogen supply to improve mean grain-filling rate of early stage after flowering was also very important.

Key words: Maize; Nitrogen; Density; Yield; Grain-filling characteristic

收稿日期: 2015-05-20

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD07B02)、吉林省科技发展计划(20150519010JH, LFGC14217)、国家现代农业产业技术体系(CARS02-17)

作者简介: 曹玉军(1983-), 男, 辽宁大连人, 助理研究员, 博士, 主要从事玉米生理生态研究。

王永军和刘慧涛为本文通讯作者。

E-mail: yjwang2004@126.com

玉米产量是由单位面积穗数、穗粒数和粒重共同决定的, 粒重是最后形成的产量构成因素, 是植株个体发育、栽培技术、环境条件及生产目标的最终体现。如果粒重降低, 产量就无法得到其他因素的补偿, 因此粒重就成为影响产量的主要因素^[1]。在适宜的条件下, 粒重受遗传因素影响较大, 在产量构成因素中是相对稳定的一个因子^[2]。生产实践和科学研究表明, 同一品种玉米在不同地区、不同年际、不

同栽培条件下粒重仍然有很大波动^[3,4],特别是在高产条件下,粒重在很大程度上制约着产量的进一步提高^[5]。粒重取决于灌浆持续期和灌浆速率,而灌浆是玉米子粒形成的关键过程,也是最终决定产量的重要时期^[6]。灌浆期和灌浆高峰期的长短、灌浆强度的高低决定了玉米子粒干物质积累的多少^[7]。研究子粒灌浆特性既有助于加深对粒重形成过程的认知,也有助于针对灌浆关键过程采取有效调控措施,进而提高玉米的产量^[8,9]。

前人对不同品种、播期、种植密度、种植方式、水分胁迫、施肥量、施肥模式、植物生长调节剂等因素对玉米子粒灌浆特性的研究已有较多报道^[10~15],在不同施氮量与密度互作方面对玉米子粒灌浆特性影响的研究则鲜见报道。因此,本研究通过 Logistic 方程拟合子粒灌浆过程,分析一系列次级灌浆参数与粒重的关系,探讨施氮处理对不同密度下玉米子粒灌浆特性的影响,以采取有效的调控措施提高玉米粒重,从而实现玉米的高产稳产。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2012年5~10月在乾安县赞字乡父字村吉林省农业科学院实验基地(N: 45°01', E: 124°02')进行,半干旱生态类型区,中温带大陆性季风气候,光热资源充足,平均无霜期146 d,年平均日照时数为2 867 h,年均气温5.6℃,活动积温2 885℃·d,年平均降水量400 mm左右。

2012年日照时数为2 585 h,活动积温2 787℃·d;全年降水量为586 mm,生育期降水量为473 mm;全年平均气温为5.1℃,生育期平均温度为20.26℃。土壤类型为苏打盐碱土,0~20 cm土层含有机质1.66%,速效氮75.5 mg/kg,速效磷14.7 mg/kg,速效钾76 mg/kg,pH值8.13。

1.2 试验设计

试验设计采用二因素裂区设计,小区采取大垄双行覆膜种植,宽行90 cm,窄行40 cm,行长6 m,4行区。主区为氮肥处理,设 N_0 (生育期不施氮肥)和 N_{300} (施纯氮300 kg/hm²)2个处理;副区为5个种植密度处理,设 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 和 D_5 (分别为30 000、45 000、60 000、75 000和90 000株/hm²),重复3次。供试材料为当地主栽玉米品种先玉335。2012年5月13日播种,10月2日收获。氮肥分基肥、拔节肥2次施入,比例为1:1。磷肥(P_2O_5)与钾肥(K_2O)各小区分别施150 kg/hm²,作底肥一次施入,其他管理同一般高产田。

1.3 测定项目与方法

玉米粒重的获取:玉米吐丝前在每小区选择生长整齐一致的植株(30株)挂牌,记录吐丝日期。自吐丝后15 d开始,每10 d取样1次,直至吐丝后60 d(成熟期)。每小区取样3穗,用小刀和镊子取果穗中下部子粒100粒,75℃烘至恒重后称重。

产量及产量构成因素:在玉米子粒成熟期,选取每个小区中间两行进行人工收获,统计有效穗数,用均值法选取10穗,自然风干后进行室内考种,考察穗粒重、穗粒数、百粒重及含水量,最终产量按子粒含水量为14%进行折算。

子粒灌浆特性的分析方法:子粒灌浆进程采用 Logistic 曲线模拟,并计算相应灌浆特征参数,对子粒灌浆进行分析。曲线方程为 $W=A/(1+Be^{-Ct})$ 中, t 为开花后天数(开花日计 $t=0$), W 为花后百粒重, A 为理论最大百粒重, B 、 C 为性状参数,由方程一阶导数和二阶导数推导出一系列灌浆参数。

灌浆高峰开始日期 $t_1=[\ln B-1.317]/C$,对应此时粒重为 $W_1=A/(1+Be^{-Ct_1})$

灌浆高峰结束日期 $t_2=[\ln B+1.317]/C$,对应此时粒重为 $W_2=A/(1+Be^{-Ct_2})$

花后粒重 W 达99%时(A)为有效灌浆期, $t_{99}=(\ln B+4.595\ 12)/C$,对应此时粒重为 W_{99} 。

灌浆渐增期持续时间 $T_1=t_1-0$,灌浆渐增期粒重增量 $w_1=W_1-0$,灌浆渐增期平均灌浆速率 $v_1=w_1/T_1$;灌浆快增期持续时间 $T_2=t_2-t_1$,灌浆快增期粒重增量 $w_2=W_2-W_1$,灌浆快增期平均灌浆速率 $v_2=w_2/T_2$;灌浆缓增期持续时间 $T_3=t_3-t_2$,灌浆缓增期粒重增量 $w_3=W_{99}-W_2$,灌浆缓增期平均灌浆速率 $v_3=w_3/T_3$ 。灌浆速率最大时间 $T_{\max}=\ln B/C$,灌浆速率最大时生长量 $W_{\max}=A/2$,最大灌浆速率 $G_{\max}=(CW_{\max})(1-W_{\max}/A)$,积累起始势 $R_0=C$,灌浆活跃期(大约完成总积累量的90%) $P=6/C$,平均灌浆速率 $v_{\text{mean}}=W_{99}/t_{99}$ 。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理与作图,采用 CurveExpert 1.3 软件进行玉米灌浆速率拟合,采用 DPS(V12.01)进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥和密度下玉米产量及产量构成因素

由表1可知,在两种氮肥条件下,穗粒数、百粒重均随着密度增加而减小,且施氮处理均高于不施氮处理。在不施氮时,高密度(75 000、90 000株/hm²)下穗粒数迅速减少,显著低于其他处理;空秆率随着密度增加而提高,当密度达60 000株/hm²以上时,不

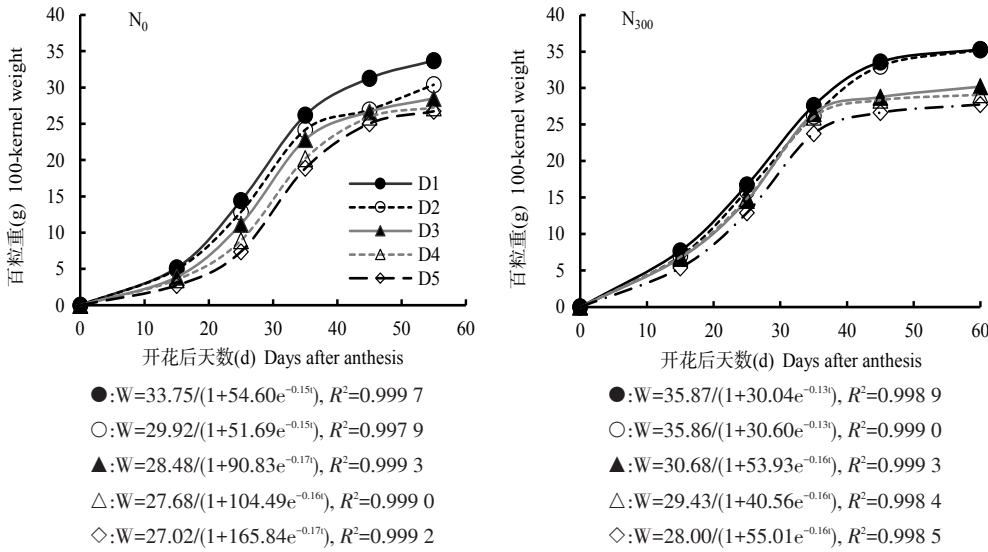


图1 不同处理下百粒重变化动态

Fig.1 The changes of 100-kernel weight during grain filling of maize under different treatments

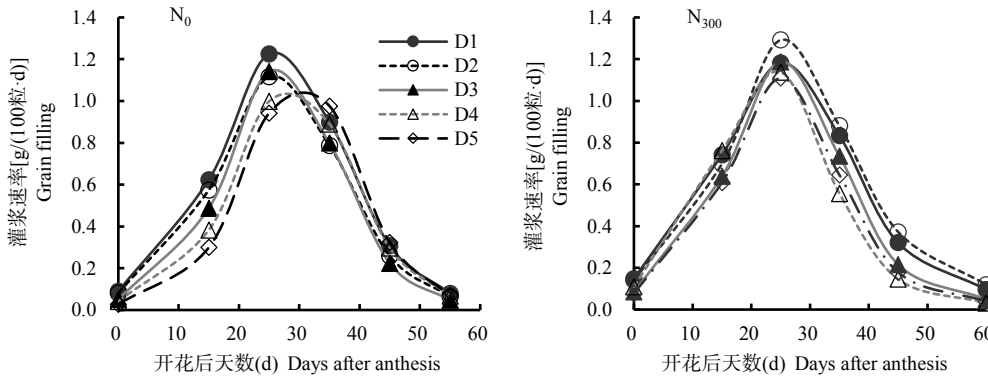


图2 不同处理下玉米灌浆速率的变化

Fig.2 The changes of kernel filling rate of maize under different treatments

表3 不同供氮与密度条件下玉米的子粒灌浆特征参数

Table 3 Effect of nitrogen application on grain filling parameters characteristics of maize under different densities

施氮处理	密度(株/hm ²)	方程参数			灌浆速率最大	最大灌浆速率	灌浆速率最大时	积累起始势	灌浆活跃期
N treatment	Density	Equation parameter			时时间(d)	[g/(d·百粒)]	生长量(g/百粒)	R ₀	(d)
		A	B	C	T _{max}	G _{max}	W _{max}		P
N ₀	30 000	33.74	54.60	0.15	26.49	1.26	16.87	0.15	40.32
	45 000	29.92	51.69	0.15	26.88	1.11	14.96	0.15	40.28
	60 000	28.48	90.83	0.17	27.12	1.18	14.27	0.17	36.21
	75 000	27.68	104.49	0.16	29.05	1.11	13.84	0.16	37.50
	90 000	27.02	165.84	0.17	30.26	1.14	13.51	0.17	35.53
N ₃₀₀	30 000	35.87	30.04	0.13	25.76	1.18	17.93	0.13	45.42
	45 000	35.86	30.60	0.13	26.81	1.14	17.93	0.13	47.01
	60 000	30.68	53.93	0.15	25.70	1.19	15.34	0.15	38.67
	75 000	29.43	40.56	0.16	23.53	1.16	14.71	0.16	38.13
	90 000	28.00	55.01	0.16	25.28	1.11	14.00	0.16	37.85

2.5 不同处理下玉米子粒阶段灌浆特征

依据 Logistic 曲线方程进一步计算出不同处理

子粒灌浆特征的次级参数,将灌浆过程分为渐增期、快增期和缓增期。由表 4 可以看出,不施氮情况下

施氮条件下空秆率要明显高于施氮处理。氮肥、密度因素方差分析表明(表2),氮肥、密度和氮肥×密度间的差异均达极显著水平,且氮肥对产量的效应大于密度对产量的效应。从低密度到高密度,施氮处

理产量与不施氮相比分别提高7.12%、22.85%、26.57%、52.32%和58.91%,表明氮肥在高密度种植条件下的调控作用更有效。

表1 不同氮肥条件下不同密度玉米的产量及产量构成因素

Table 1 Effect of nitrogen application on yield and yield components of maize under different densities

施氮处理 N treatment	种植密度 (株/hm ²) Planting density	穗粒数(粒) Grain number per ear	百粒重 (g) 100-grain weight	空秆率(%) Percentage of barren stalk	产 量 (kg/hm ²) Yield
N ₀	30 000	733.5 a	33.70 a	0.00	6 768.28 b
	45 000	630.4 b	30.38 b	0.00	8 236.48 a
	60 000	604.0 b	28.49 c	8.00	8 073.08 a
	75 000	481.8 c	27.23 cd	12.00	8 645.58 a
	90 000	446.6 c	26.72 d	13 .00	8 632.45 a
N ₃₀₀	30 000	735.0 a	35.30 a	0.00	7 250.38 c
	45 000	685.4 ab	35.23 a	0.00	10 118.72 b
	60 000	657.0 bc	30.20 b	2 .00	10 217.91b
	75 000	629.2 c	29.09 bc	4 .00	13 168.60 a
	90 000	617.8 c	27.75 c	5 .00	13 717.99 a

表2 密度和氮肥对产量的方差分析

Table 2 The analysis of variance of densities and nitrogen base on the production

效 应 Effect	自由度 DF	平方和 Sum sq	均 方 Mean sq	F值 F-value	P
氮 肥	1	39 861 987	39 861 987	144.67	2.86e-07**
密 度	4	44 871 439	11 217 860	40.71	3.70e-06**
氮肥×密度	4	14 833 939	3 708 435	13.46	0.000 492**
残 差	10	2 755 320	275 532		

2.2 不同处理下百粒重变化和子粒灌浆过程

从图1可看出,不同处理下玉米群体子粒灌浆过程均表现为“慢-快-慢”的增长方式,符合典型的“S”形曲线变化。以开花后的天数(t)为自变量,粒重(W)为因变量,运用logistic方程对子粒灌浆过程进行模拟,可以看出,不同处理玉米子粒灌浆方程拟合的决定系数在0.997 9~0.999 7之间,说明logistic方程较好拟合不同处理下的子粒灌浆进程。

2.3 不同处理下玉米灌浆速率变化

由图2可知,不同处理玉米子粒灌浆速率均呈单峰曲线变化,子粒灌浆速率达到最大值的时间基本一致,均为灌浆中期(吐丝后25~35 d)。在吐丝后25 d内,不施氮处理的灌浆速率低于施氮处理,且随着密度的增加灌浆速率呈逐渐降低的趋势;吐丝25 d后,各处理间灌浆速率差异不明显。不施氮条件下,30 000株/hm²的灌浆速率最大,为1.22 g/(d·百粒);

N₃₀₀条件下,45 000株/hm²的灌浆速率最大,达1.29 g/(d·百粒)。

2.4 不同处理下玉米子粒灌浆特征的参数分析

由表3可见,在不施氮的情况下,密度为30 000株/hm²的灌浆活跃期最长,密度为90 000株/hm²的灌浆活跃期最短;在N₃₀₀处理下,密度为45 000株/hm²的灌浆活跃期最长,不同氮肥处理均为90 000株/hm²密度下灌浆持续期最短,而且施氮处理下各密度的灌浆持续期均明显高于不施氮处理。达到最大灌浆速率的时间为施氮处理明显快于不施氮处理,在N₀处理下,随着密度的增加达最大灌浆速率的时间逐渐延长,在N₃₀₀处理下,达最大灌浆速率的时间表现为密度75 000株/hm²<90 000株/hm²<60 000株/hm²<30 000株/hm²<45 000株/hm²处理。最大灌浆速率时的生长量均表现为随着密度的增加而减小,且施氮处理的各密度均高于不施氮处理。

各密度处理渐增期持续时间均高于施氮处理,但快增期和缓增期持续时间均低于施氮处理;渐增期平均灌浆速率施氮处理均高于不施氮处理,且随着密度增加渐增期的平均灌浆速率有降低的趋势,而快增期和缓增期的平均灌浆速率不同处理间差异不明显;粒重的增加量表现为快增期>渐增期>缓增期,不同阶段的粒重增加量均为施氮处理大于不施氮处理,且随着密度的增加增量逐渐减小。

表 4 不同供氮与密度条件下玉米的子粒阶段灌浆特征
Table 4 Effect of nitrogen application on parameters characteristics of grain filling stage of maize under different densities

施氮处理 N treatment	密 度 (株/hm ²) Density	灌浆渐增 期持续时 间(d) T ₁	渐增期平 均灌浆 速率 [g/(d·百粒)] V ₁	渐增期粒 重增量 (g/百粒) w ₁	灌浆快增 期持续 时间(d) T ₂	快增期平 均灌浆 速率 [g/(d·百粒)] V ₂	快增期粒 重增量 (g/百粒) w ₂	灌浆缓增 期持续 时间(d) T ₃	缓增期平 均灌浆 速率 [g/(d·百粒)] V ₃	缓增期粒 重增量 (g/百粒) w ₃	平均灌浆 速率 [g/(d·百粒)] V _{mean}
N ₀	30 000	18.03	0.40	7.13	17.70	1.10	19.48	22.03	0.31	6.79	0.58
	45 000	17.65	0.36	6.32	17.69	0.98	17.27	19.78	0.29	6.02	0.52
	60 000	19.26	0.31	6.02	15.90	1.03	16.44	19.78	0.27	5.73	0.51
	75 000	20.82	0.28	5.85	16.46	0.97	15.98	20.49	0.27	5.57	0.47
	90 000	22.47	0.25	5.71	15.60	1.00	15.60	19.41	0.28	5.44	0.46
N ₃₀₀	30 000	15.79	0.48	7.58	19.94	1.04	20.71	24.81	0.29	7.22	0.57
	45 000	16.49	0.46	7.58	20.64	1.00	20.71	25.69	0.28	7.22	0.55
	60 000	17.21	0.38	6.48	16.98	1.00	17.71	21.13	0.29	6.18	0.55
	75 000	15.16	0.41	6.22	16.74	1.02	16.99	20.83	0.28	5.93	0.55
	90 000	16.97	0.35	5.92	16.62	0.97	16.17	20.69	0.27	5.64	0.51

3 结论与讨论

玉米生产是一个种群过程^[16],而非个体表现,合理的密植和施肥可以促进吐丝后期干物质向子粒分配和积累,改善玉米群体灌浆过程,进而影响玉米产量^[17]。本研究结果表明,不同处理间玉米产量差异显著,产量构成因素中的空秆率、穗粒数和百粒重等在不同处理间均存在明显差异。空秆率表现为随着密度的增加而升高,施氮处理低于不施氮处理;相同密度下施氮处理的产量、穗粒数、百粒重均高于不施氮处理,且随着密度的增加其穗粒数和百粒重逐渐降低。总体上,施氮与低密度处理对粒重的增加有利。产量是由穗数、穗粒数与粒重因素共同作用形成的,低密度水平不能使产量因素的乘积最大化,增加产量最直接有效的途径是增加种植密度,但密度增加必然会引起群体条件的改变,使穗粒数、粒重下降^[18,19]。因此,在优化群体结构的基础上,提高个体生产能力,使二者之间相互协调,是产量进一步提高的保证。

前人关于氮肥对玉米子粒灌浆过程的研究表明,施氮提高了玉米子粒的灌浆活跃时间、最大灌浆速率、灌浆速率最大时的生长量等,有利于产量的形成^[20]。关于密度对子粒灌浆过程的影响存在不同观点,刘霞研究认为,种植密度主要影响玉米的灌浆持

续期,尤其是缓增期的持续时间,进而影响粒重^[21]。陈晨等研究表明,粒重主要取决于灌浆速率,而不是灌浆持续期和各个灌浆阶段时间的长短^[22]。本研究结果表明,玉米子粒达到最大灌浆速率的时间(T_{max})和灌浆活跃期(P)在不同氮肥和不同密度处理间存在差异,P表现为施氮>不施氮,低密度>高密度;达最大灌浆速率时的时间(T_{max})在不同处理间的表现则与灌浆活跃期相反,说明施氮处理提高了子粒的灌浆速率和延长了子粒灌浆活跃期,使粒重增加。随着种植密度的增加,子粒灌浆速率下降,灌浆持续期缩短,粒重下降,与前人的研究结果一致。进一步对不同处理间玉米子粒灌浆特征参数的比较发现,施氮处理只是提高了渐增期的平均灌浆速率,快增期和缓增期子粒灌浆速率施氮处理并没有优势。此外,施氮处理的灌浆持续期与不施氮相比也没有明显差异,而是随着密度的增加灌浆持续期有下降的趋势。

氮肥在玉米子粒灌浆过程中的作用主要是通过灌浆前期的灌浆速率来影响子粒建成,最终使百粒重量增加;密度则通过快增期、缓增期持续天数来影响子粒质量,即随着密度的增加,快增期、缓增期持续天数逐渐减少,致使百粒重降低。因此,要提高玉米产量,关键在于提高子粒灌浆速率和有效灌浆时间,尤其是延长快增期和缓增期持续时间和提高渐

增期平均灌浆速率。在生产中,首先要合理密植,构建适宜的群体,改善植株的光合生理特性,延长子粒灌浆持续时间;在此基础上,通过增加开花后的肥水供应,特别是氮肥的及时补充来提高子粒灌浆前期的平均灌浆速率,增加粒重,进而提高玉米的产量。

参考文献:

- [1] 崔俊明,王海龙. 玉米子粒发育的生理特性研究[J]. 河南农业大学学报, 1995, 29(2): 116-120.
Cui J M, Wang H L. The research of physiological characteristics of seed growth of maize[J]. Journal of Henan Agriculture University, 1995, 29 (2): 116-120. (in Chinese)
- [2] 魏亚萍,王 璞,陈才良. 关于玉米粒重的研究[J]. 植物学通报, 2004, 21(1): 37-43.
Wei Y P, Wang P, Chen C L. Studies on the grain weight in maize [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(1): 37-43. (in Chinese)
- [3] 李绍长,白 萍,吕 新,等. 不同生态区及播期对玉米子粒灌浆的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 775-778.
Li S C, Bai P, Lü X, et al. Ecological and sowing date effects on maize grain filling[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5): 775-778. (in Chinese)
- [4] 曹彩云,李科江,崔彦宏,等. 长期定位施肥对夏玉米子粒灌浆影响的模拟研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 48-53.
Cao C Y, Li K J, Cui Y H, et al. Modeling the effect of long-term fertilization on grain filling of summer maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(1): 48-53. (in Chinese)
- [5] 陈鹏飞,陶洪斌,王存凯,等. 吉林省东部地区种植密度对玉米物质积累和灌浆特性的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(增刊): 125-130.
Chen P F, Tao H B, Wang C K, et al. Effects of plant density on dry matter accumulation and grain filling in east Jilin province[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, 28(S): 125-130. (in Chinese)
- [6] 张海燕,董树亨,高荣歧,等. 不同类型玉米子粒灌浆特性分析[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 67-70.
Zhang H Y, Dong S T, Gao R Q, et al. Analysis on kernel filling characteristics for different maize type[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 67-70. (in Chinese)
- [7] 马 冲,邹仁峰,苏 波,等. 不同熟期玉米子粒灌浆特性的研究[J]. 作物研究, 2000(4): 17-19.
Ma C, Zou R F, Su B, et al. Studies on grain filling characteristics of hybrid corn with different growth durations[J]. Crop Research, 2000 (4): 17-19. (in Chinese)
- [8] Rajcan I, Tollenaar M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling [J]. Field Crops Research, 1999, 60(2): 245-253.
- [9] Ponelait C G, Egli D B. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype[J]. Crop Science, 1979, 19(3): 365-388.
- [10] 刘 明,齐 华,张卫建. 深松与施氮方式对春玉米子粒灌浆及产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 2013 21(3): 115-119, 130.
Liu M, Q H, Zhang W J, et al. Effects of deep loosening and nitrogen application methods on grain filling, yield and quality of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 115-119, 130. (in Chinese)
- [11] 张 倩,宋希云,姜 雯. 种植方式和密度对夏玉米子粒灌浆特征的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(3): 91-97.
Zhang Q, Song X Y, Jiang W. Effect of different planting patterns and densities on kernel filling characteristics of summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(3): 91-97. (in Chinese)
- [12] 王云奇,陶洪斌,王 璞,等. 施氮模式对夏玉米产量和子粒灌浆的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1594-1598.
Wang Y Q, Tao H B, Wang P, et al. Effect of nitrogen application patterns on yield and grain-filling of summer maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(12): 1594-1598. (in Chinese)
- [13] 任佰朝,张吉旺,李 霞,等. 淹水胁迫对夏玉米子粒灌浆特性和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4435-4445.
Ren B Z, Zhang J W, Li X, et al. Effect of waterlogging on grain filling and quality of summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(21): 4435-4445. (in Chinese)
- [14] 卫晓轶,魏 锋,洪德峰,等. 不同耕作方式对夏玉米灌浆及产量性状的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(8), 21-23.
Wei X Y, Wei F, Hong D F, et al. Effect of tillage system on grain filling and yield trait of summer maize[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2013, 42(8): 21-23. (in Chinese)
- [15] 徐田军,董志强,高 姣,等. 聚糖素水剂对不同积温带玉米叶片衰老和子粒灌浆速率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(9): 1698-1709.
Xu T J, Dong Z Q, G J, et al. Effect of PASP-KT-NAA on leaf senescence and grain filling rate during the grain-filling period in different temperature zones[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(9): 1698-1709. (in Chinese)
- [16] 赵松岭,李凤民,张大勇,等. 作物生产是一个种群过程[J]. 生态学报, 1997, 17(1): 100-104.
Zhao S L, Li F M, Zhang D Y, et al. Crop production is a population process[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(1): 100-104. (in Chinese)
- [17] 薛吉全,张仁和,马国胜,等. 种植密度、氮肥和水分胁迫对玉米产量形成的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(6): 1022-1029.
Xue J Q, Zhang R H, Ma G S, et al. Effects of plant density, nitrogen application, and water stress on yield formation of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(6): 1022-1029. (in Chinese)
- [18] 申丽霞,王 璞,张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 314-319.
Shen L X, Wang P, Zhang R B. Effect of nitrogen supply on yield and grain filling in summer maize with different crop densities[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 314-319. (in Chinese)
- [19] Jacobs B C, Pearson C J. Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears[J]. Field Crops Research, 1991, 27: 281-298.
- [20] 路海东,薛吉全,马国胜. 低氮胁迫对不同基因型夏玉米源库性状和灌浆特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1277-1282.

(下转第 148 页)

- Li S K. Characteristics and enlightenment of corn production technologies in the U.S.[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 1–5. (in Chinese)
- [30] 张树权, 张世煌, 陈新平, 等. 美国玉米科研生产实践对黑龙江玉米发展的启示[J]. 黑龙江农业科学, 2012(2): 131–134.
- Zhang S Q, Zhang S H, Chen X P, et al. Enlightenment of the scientific research and production practice of maize in America to Heilongjiang maize development[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2012(2): 131–134. (in Chinese)
- [31] 赵久然, 王荣焕. 美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 156–159, 163.
- Zhao J R, Wang R H. Factors promoting the steady increase of American maize production and their enlightenments for China[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(5): 156–159, 163. (in Chinese)
- (责任编辑: 高 阳)

(上接第 141 页)

- Lu H D, Xue J Q, Ma G S. Effects of low nitrogen stress on source-sink characters and grain-filling traits of different genotypes summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(5): 1277–1282. (in Chinese)
- [21] 刘 霞, 李宗新, 王庆成, 等. 种植密度对不同粒型玉米品种子粒灌浆进程产量及品质的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(6): 75–78.
- Liu X, Li Z X, Wang Q C, et al. Effect of planting density on filling process, yield and quality of different maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(6): 75–78. (in Chinese)
- [22] 陈 晨, 董树亭, 刘 鹏, 等. 种植密度对玉米自交系产量和灌浆特性的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 107–111.
- Chen C, Dong S T, Liu P, et al. Effect of planting density on grain filling characteristics of different maize inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(6): 107–111. (in Chinese)
- (责任编辑: 姜媛媛)