

不同日龄玉米花丝授粉对产量相关性状的影响

王良发¹, 张金奎¹, 张守林¹, 任丽伟², 徐国举¹,
李凤章¹, 卢瑞乾¹, 李长建¹

(1. 鹤壁市农业科学院, 河南 鹤壁 458030; 2. 鹤壁气象局, 河南 鹤壁 458030)

摘要: 以浚单29、浚单3136和浚单509为试材, 通过对不同日龄花丝人工授粉, 收获后统计3个玉米品种的穗长、穗粗、秃尖长、百粒重、穗粒数和穗粒重。结果表明, 随着授粉花丝日龄的增大, 穗粗和百粒重呈下降趋势; 穗长先增加后水平波动, 最后快速下降; 秃尖长在第1天授粉处理最长, 第4天授粉处理降低到最低; 穗粒数和穗粒重变化相似, 先上升, 第4天授粉处理达到峰值后缓慢下降, 第10天以后授粉处理下降较快。对各性状的相关系数分析后发现, 穗粒数与穗粒重相关性最大。以自然授粉为参照, 3个玉米品种在吐丝后的第4天授粉处理花丝活力最高, 吐丝后第6天左右授粉处理花丝活力仍与对照相当。花丝日龄影响穗行数, 授粉花丝日龄越小穗行数越多。

关键词: 玉米; 花丝活性; 人工授粉; 百粒重; 穗粒数; 穗粒重

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effect of Different Age Filaments on Yield Related Traits of Maize

WANG Liang-fa¹, ZHANG Jin-kui¹, ZHANG Shou-lin¹, REN Li-wei², XU Guo-ju¹,

LI Feng-zhang¹, LU Rui-qian¹, LI Chang-jian¹

(1. Hebi Academy of Agricultural Sciences, Hebi 458030;

2. Hebi Meteorological Service, Hebi 458030, China)

Abstract: Taking Xundan 29, Xundan 3136 and Xundan 509 as the materials, hand pollinating the silks of different days, the ear length, ear diameter, barren tip, 100-grain weight, spike grain number and spike grain weight after harvest were took statistics. The result showed that, with the increasing of the silk age, the ear diameter and 100 grain weight showed a downward trend; the ear length increased at first, then fluctuated horizontally, and declined rapidly at last; the barren tip of the group which was pollinated at the first day after silking was the longest, while the barren tip of the group which was pollinated at the fourth day after silking was the shortest; spike grain number and spike grain weight showed an upward trend at first, peaked at the fourth day, then declined slowly, and decline became the fast after the tenth day. The correlation coefficient analysis among all the traits showed that the spike grain number had a maximal relationship with the spike grain weight. As the conclusion of this study, the silks were most active at the fourth day after silking, the silk activity still kept similar to the comparison of natural pollination at the sixth day; the number of rows per ear was affected by the age of the silks, the earlier the silks were pollinated, the more the number of rows per ear was.

Key words: Maize; Silk vigor; Artificial pollination; 100-grain weight; Spike grain number; Spike grain weight

收稿日期: 2016-08-08

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项—黄淮海“永优”(浚单)玉米系列品种气候适应性关键技术研究(GYHY201406026)、耐密宜机收玉米种质资源创新与新品种选育(152102110012)

作者简介: 王良发(1982-), 男, 助理研究员, 主要从事玉米育种研究。E-mail: wlf_25@163.com

张守林为本文通讯作者。

E-mail: zhangshoulin2008@163.com

玉米花丝具有活性的时间长短是影响玉米产量的一个重要因素。花丝生活力时间越长, 雌穗各部位授粉发育的成子粒几率就越大, 空秕和秃尖长就减少^[1]。即使花粉量充足, 也有可能因花丝活力低下无法完成授粉。赵久然等指出, 对玉米群体产量的影响因素依次为单位面积穗数>穗粒数>粒重, 在适宜密度下, 穗粒数比千粒重更能影响产量^[2]。有研究表明, 穗粒数与抽出花丝数呈极显著正相关^[3]。Lee-MyoungHoon 报道, 花丝活力与穗行数、行粒数正相

关,花丝抽出后2~4 d受精穗粒数最高,8 d后受精穗粒数明显下降^[4]。

花丝生长对环境条件十分敏感,高温、干旱和光照不足均能引起花丝生长缓慢或停止生长。目前,全球平均气温呈上升趋势,极端性气候如夏季高温等也在许多区域频繁出现^[5],2013年和2016年黄淮海地区夏季高温使部分玉米品种在部分区域出现不结实或花粒现象。Lobell等认为,若全球气温上升2℃,玉米产量将下降10%^[6]。浚单系列品种在黄淮海地区推广面积很大,了解其在当前气候下的花丝活性对实际生产意义重大。本研究以浚单29、浚单3136和浚单509为试验材料,通过套袋隔离、逐日人工授粉,收获统计玉米产量相关性状,明确3个玉米品种的花丝活性时间,便于判断最佳授粉时间段,服务于生产实践。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验玉米品种为浚单29、浚单3136和浚单509。试验在河南省鹤壁市农业科学院试验园区进行。种植密度为60 000株/hm²,行长15 m,6行区,6月7日播种1期,6月14日播种2期(采集第2期花粉对1期播种玉米进行授粉),做好田间管理。8月5~8日集中大量上袋,浚单509在7日进行吐丝植株挂牌标记,浚单29在8日进行吐丝植株挂牌标记,浚单3136在9日进行吐丝挂牌标记,各品种标足60株备用。

8月8日为浚单509吐丝后第1天,开始人工授粉;8月9、10日分别为浚单29、浚单3136吐丝后的第1天。每天上午10:30开始,每个玉米品种每天授粉3株,授粉时保证花粉足量,授粉后标记日期,连续授粉15 d,后期授粉采用2期播种植株的花粉,以保证花粉质量。

1.2 测定项目与方法

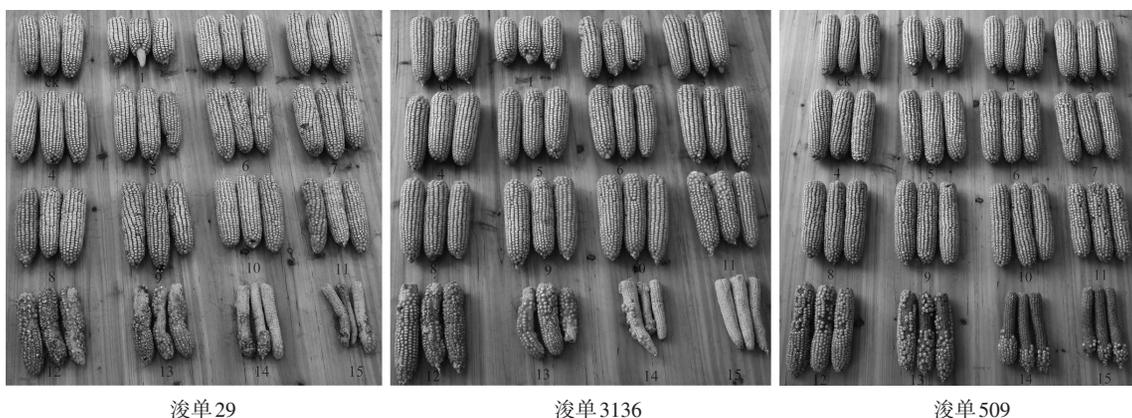
10月8日进行收获,每个品种共48个果穗,其中,包含45个人工授粉果穗和3个自然授粉对照。果穗晾晒2 d后测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、穗粒重以及含水量等相关指标。百粒重的计算是按折合为14%的水分重量,即晾晒后测定的重量 $\times(100-晾晒后的水分)/(100-14)$ 。

1.3 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2003整理数据并作图,DPS 7.05进行数据统计分析。

2 结果与分析

图1表明,由于在吐丝第14、15天时授粉所得子粒太少,浚单3136在第15天授粉所得子粒数为0,采用谷物水分测定仪测定含水率时无法测定,不能计算其标准百粒重和穗粒重,在百粒重和穗粒重作图中只采用前13 d的数据,在对穗粗、秃尖长作图时也只采用前13 d的数据。不同日龄玉米花丝对产量相关性状的影响见图2。



注:CK为对照;1~15分别为吐丝后第1~15天授粉所得样穗。

Note: CK as control check, 1-15 means the sample ear from the first to the fifteenth days pollination maize.

图1 浚单29、浚单3136和浚单509不同日龄花丝授粉果穗图

Fig.1 The ear map from different days of silks pollination of Xundan29, Xundan3136 and Xundan509

2.1 不同日龄花丝授粉果穗穗长比较

由图2可知,以自然授粉果穗为参照,吐丝1 d后授粉,浚单29、浚单3136和浚单509的穗长均显著低于对照;吐丝后2~3 d授粉,果穗穗长均处于增

长阶段;吐丝后第4天以后授粉穗长开始水平波动,这种波动一直维持到吐丝后第10天左右授粉,然后开始下降。3个玉米品种间比较,浚单509穗长最长,其次为浚单3136,浚单29最短。

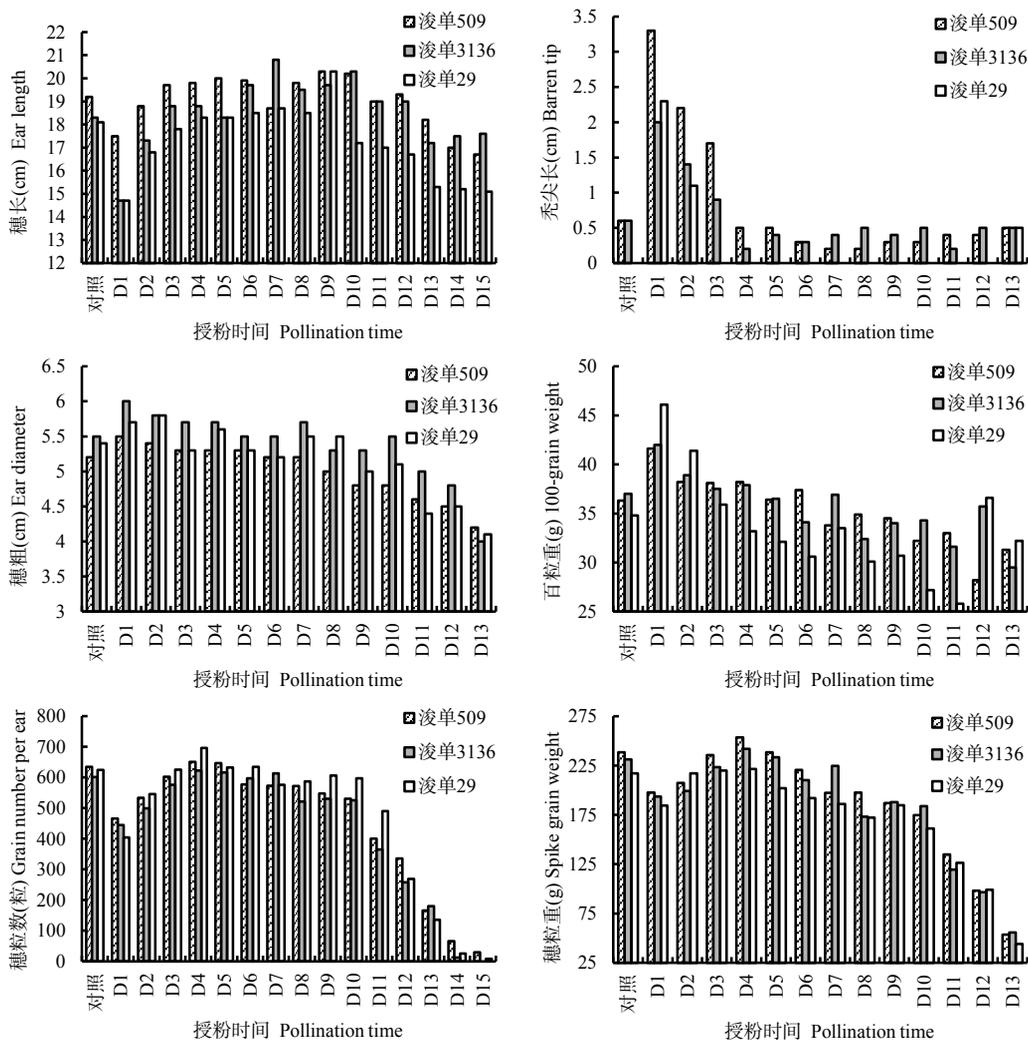


图2 不同处理下玉米穗长、秃尖长、穗粗、百粒重、穗粒数以及穗粒重的变化

Fig.2 The changes of ear length, barren tip, ear diameter, 100-grain weight, grain number per ear and spike grain weight of maize under different treatments

2.2 不同日龄花丝授粉果穗秃尖长比较

在自然授粉条件下,浚单系列玉米秃尖长很小,浚单29基本没有秃尖。吐丝后1 d授粉,3个玉米品种的秃尖长均显著高于对照和其他处理;吐丝后第2~3天授粉,秃尖长开始明显下降;吐丝后第4天以后授粉,秃尖长度趋于稳定。

在吐丝后第3天授粉,浚单29顶部花丝就已经全部伸出苞叶。浚单3136和浚单509吐丝后第4天授粉及以后各处理的秃尖长均比对照稍短,原因是人工授粉花粉充足,顶部花丝均能获得比自然授粉更好的授粉机会。

2.3 不同日龄花丝授粉果穗穗粗比较

随着授粉花丝日龄增大,穗粗呈缓慢下降趋势。吐丝后1~2 d授粉,果穗最粗,均高于对照;吐丝后第3~7天授粉,与对照差异不大;吐丝后第7天以后授粉处理组均小于对照。穗粗与穗行数相关,

吐丝后1~2 d授粉所得果穗行数为18行居多;吐丝后第3~7天授粉处理主要为16行;吐丝后第8~10天授粉处理开始出现14行;吐丝后第11天以后授粉14行或乱行居多。

2.4 不同日龄花丝授粉果穗百粒重比较

吐丝后第1天授粉百粒重最高,以后逐渐下降。浚单29吐丝后第1~2天授粉处理百粒重显著高于对照;吐丝后第3天授粉与对照差异不大;吐丝后第4天及以后授粉处理均显著低于对照。浚单509吐丝后第1~4天授粉处理显著高于对照;吐丝后第5~6天授粉与对照差异不大。浚单3136吐丝后第1~2天授粉显著高于对照;吐丝后第3~5天授粉与对照差异不大。

百粒重呈下降趋势,与子粒数及灌浆时间有关。前期子粒数少,并且灌浆时间长,百粒重大;中期灌浆时间比前期短,百粒重下降;后期子粒数少,

性状变为不规则,百粒重开始出现波动。

2.5 不同日龄花丝授粉果穗穗粒数比较

3个玉米品种穗粒数的变化比较相似,从吐丝后第1天授粉处理开始上升,在吐丝后第4天授粉达到峰值,以后缓慢下降,从吐丝后第10天以后授粉迅速下降。和对照相比,浚单3136、浚单29在吐丝后第4天授粉所得样品穗粒数均显著高于对照。

以自然授粉为参照,3个玉米品种在吐丝后第4天花丝活力最高。浚单29在吐丝后第6天、浚单509在吐丝后第5天、浚单3136在吐丝后第7天花丝活力仍与对照相当,之后各品种花丝活力缓慢降低,

从吐丝后第11天开始,花丝活力迅速降低,到吐丝后第15天时浚单3136活性全无。

2.6 不同日龄花丝授粉果穗穗粒重比较

3个玉米品种穗粒重先呈上升趋势,吐丝后第4天授粉到达最大值,以后开始缓慢下降,吐丝后第10天以后授粉穗粒重迅速下降。浚单29在吐丝后第3~4天授粉穗粒重高于对照,吐丝后第2天授粉处理与对照相近;浚单3136在吐丝后第4~5天授粉穗粒重高于对照;浚单509在吐丝后第4天授粉高于对照且差异显著。

2.7 穗粒重与其他性状相关系数分析

表1 穗粒重和其他性状特征的相关系数

Table 1 The correlation coefficient between spike grain weight and other traits

品种 Variety	相关关系 Correlation	穗长 Ear length	秃尖长 Barren tip	穗粗 Ear diameter	百粒重 100-grain weight	穗粒数 Spike grain number
浚单29	复相关	0.494 5	0.018 9	0.887 8**	0.252 0	0.978 8**
	偏相关	-0.111 0	-0.213 5	-0.350 3	0.956 7**	0.885 0**
浚单3136	复相关	0.151 1	0.084 7	0.885 4**	0.641 3*	0.992 4**
	偏相关	-0.683 9	-0.068 0	-0.638 7	0.949 7**	0.970 8**
浚单509	复相关	0.379 1	0.181 7	0.899 3**	0.755 0**	0.904 6**
	偏相关	0.055 1	-0.159 8	0.209 2	0.824 0**	0.967 7**

注:相关系数临界值, $\alpha=0.05$ 时, $r=0.532 4$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.661 4$ 。

Note: Critical value of correlation coefficient, $\alpha=0.05$, $r=0.532 4$; $\alpha=0.01$, $r=0.661 4$.

由表1可知,对3个玉米品种而言,无论是复相关还是偏相关,穗粒重与穗粒数和穗粗都为正相关,特别是穗粒数,均为极显著相关,说明花丝活力显著影响穗粒重。多个因素共同作用于穗粒重时,浚单29、浚单3136和浚单509的穗粒数对穗粒重影响最大。在其他变量都保持一定时,单独就各因子与穗粒重的偏相关系数来看,浚单29体现为百粒重影响最大,浚单3136和浚单509均为穗粒数相关性最高。

3 结论与讨论

单位面积穗数和穗粒重是玉米产量构成主要决定因素,穗粒重主要受穗粒数影响^[7]。近年来,随着耐密品种的推广,使得玉米产量得以大幅度提高,但任何一个品种都会有一个密度极限,超过这个极限值,密度的增加补偿不了穗粒数减少所带来的总体产量的下降^[8]。因此,在保证种植密度的基础上,稳定和增加穗粒数是现代玉米高产栽培的关键。

本研究对不同日龄花丝人工授粉后的穗长、穗粗、秃尖长、百粒重、穗粒数、穗粒重进行统计分析,影响穗粒重的主要因子为穗粒数,在保证花粉充足前提下,穗粒数的多少主要受花丝活力影响。从本

研究数据可知,浚单29、浚单3136和浚单509均在吐丝后第4天授粉效果最好,其穗粒数和穗粒重均高于对照。吐丝后的第4天授粉,秃尖长也降到最低水平,说明顶部花丝也完全伸出苞叶,在多个性状因素共同作用下,此时人工授粉产量高于自然授粉。有研究发现,自然授粉条件下,夏玉米中、下部与顶部子粒在发育早期即表现出明显的差异,顶部子粒的鲜重、体积、干物质积累、灌浆速率均明显低于中、下部子粒^[9]。顶部子粒早期子房发育本就落后于中、下部,加上受粉受精的不同步,使得顶部子粒易表现为败育。人工同步授粉可在一定程度上削弱中、下部子粒的库位优势,增强顶部子粒对同化产物的竞争力,促进顶部子粒发育,减少败育^[10]。

从复相关系数分析可知,穗长和穗粗与穗粒重也是正相关。在本研究中,果穗穗长随不同日龄花丝授粉后呈先上升、然后水平波动、最后下降。Pan等^[11]对玉米穗轴和雌穗小花分子表达差异研究发现,吐丝后穗轴和小花分别有1 314、550个基因表达上调,穗轴表达上调的基因主要涉及C/N运输和代谢,小花上调的主要涉及激素信号分子基因。当低氮胁迫时,穗轴基因表达变化大于小花,低氮带来一

系列影响,包括C/N运输和代谢以及激素信号传递。玉米穗长与营养物质供给可能密切相关,当花粉落在柱头上萌发时,花丝及子房的激素信号发生变化,诱发穗轴细胞上相关营养运输蛋白基因表达,以便子粒灌浆,养分在沿穗轴运输过程中也帮助穗轴伸长。在吐丝后的前4 d,花丝先吐出苞叶的是下部和中部,顶部花丝最晚吐出,授粉时间越靠前,顶部未能完成受精的花丝就越多,在生长过程中向顶部运输的营养物质就越少,穗轴越短。在第10天以后,随着花丝活力迅速下降,完成受精的小花数量也快速下降,底部发育的子粒数量减少,需求营养下降,横向运输的有机物减少,使得参与穗轴伸长的细胞获得有机物减少,分裂生长减慢,穗轴伸长变慢,授粉花丝日龄越长,穗轴越短。

本研究还发现,浚单29和浚单509在吐丝后第1~2天授粉,所得样穗穗行数有18、16两类;浚单3136在吐丝后第1~5天授粉,所得样穗穗行数有18、16两类;浚单29在吐丝后第3~8天、浚单509吐丝后在第3~6天、浚单3136在吐丝后第6~8天授粉,样穗均为16行;其他时期授粉3个玉米品种样穗会出现14行或乱行。部分学者认为,小穗原基数与环境无关,主要受基因型控制。Allison等^[12]认为,小花原基数在品种间存在差异,但同一品种在不同条件下的差异极小。Wilson等^[13]研究也证实,小穗小花数的稳定性,其数量为品种特性,不受环境条件改变影响,而穗粒数与栽培环境关系密切。唐祁林等^[14]研究发现, F_1 代小花数受亲代基因型控制。但也有报道认为,穗原基是由不定分生组织形成的,在小穗小花分化期给予充足的养分、水分和温度条件,可以分化出更多的小穗和小花^[15,16]。Jacobs等^[17]报道,小穗行数、行小穗数在氮缺乏、脱叶剂处理条件下显著下降,从而引发子粒产量的下降。

结合本研究及大田生产实践,浚单3136与浚单509的穗行数有差异,表明基因型对穗行数有决定作用。从3个玉米品种不同处理后穗行数变化可知,环境条件也能明显的影响穗行数。在生产实践中,观察到浚单3136穗行数有18行和16行,主要以16行为主;浚单29和浚单509也是以16行为主,部分果穗为14行。一般认为,在果穗的顶部出现退化花和未受精花是影响有效花数目最直接的因素,对穗行数数目变化及分子机理的研究鲜有报道。

参考文献:

- [1] 徐美玲. 温度对玉米花丝生活力的影响[J]. 浙江农业科学, 2002(3): 120-122.
Xu M L. Effect of temperature on silk vigor of maize[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2002(3): 120-122. (in Chinese)
- [2] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 等. 玉米不同品种基因型穗粒数及其构成因素相关分析的研究[J]. 北京农业科学, 1997, 15(6): 1-2.
Zhao J R, Guo J L, Guo Q, et al. Correlational analysis in kernel number and its components for different maize varieties and genes [J]. Beijing Agricultural Sciences, 1997, 15(6): 1-2. (in Chinese)
- [3] 王忠孝, 高学曾, 许金芳, 等. 关于玉米子粒败育的研究[J]. 中国农业科学, 1986, 19(6): 36-40.
Wang Z X, Gao X Z, Xu J F, et al. A study on the grain abortion of maize (*Zea Mays* L.) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1986, 19(6): 36-40. (in Chinese)
- [4] Lee-MyoungHoon. Effects of delayed pollination on kernel development in corn [J]. Korean Journal of Crop Science, 1998, 43: 15-18.
- [5] Kim S H, Gitz D C, Sicher R C, et al. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂ [J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(3): 224-236.
- [6] Lobell D B, Burke M B. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(11): 1443-1452.
- [7] Hall, Lemcoff, N Trapani. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants [J]. Maydica, 1971, 26(1): 19-38.
- [8] 申丽霞. 碳氮代谢对夏玉米穗粒数形成的影响机理[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2005.
- [9] 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 rifling in summer maize with different crop density [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(3): 314-319. (in Chinese)
- [10] 张风路, 王志敏, 赵明, 等. 玉米子粒败育过程的早期特征及物质动态 [J]. 玉米科学, 1999, 7(1): 59-61.
Zhang F L, Wang Z M, Zhao M, et al. Developing characteristic and changes in material of maize kernel abortion [J]. Journal of Maize Sciences, 1999, 7(1): 59-61. (in Chinese)
- [11] Pan X Y, Hasan M M, Li Y Q, et al. Asymmetric transcriptomic signatures between the cob and florets in the maize ear under optimal- and low-nitrogen conditions at silking [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(20): 315-318.
- [12] Allison J C S, Wilson J H, Williams J H. Effect of partial defoliation during the vegetative phase on subsequent growth and grain yield of maize [J]. Annals of Applied Biology, 1975, 81(3): 367-375.
- [13] Wilson J H, 等. 植物密度对果穗分化和生长的影响. 玉米生理译文集 [C]. 上海: 上海科学出版社, 1982.
- [14] 唐祈林, 荣廷昭, 黄玉碧. 玉米秃尖的研究 I. 玉米雌穗小花数目遗传特性 [J]. 四川农业大学学报, 1999, 17(1): 34-38.
Tang Q L, Rong T Z, Huang Y B. The study of barren ear tip in maize I. Inheritance of the flower number per ear [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1999, 17(1): 34-38. (in Chinese)
- [15] 赵克夫. 玉米生理 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1982.
- [16] Bonnett O T. Ear and tassel development in maize [J]. Annals of the Missouri Botanical Garden, 1948, 35: 269-287.
- [17] 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(3): 281-298.

(责任编辑:高阳)