

文章编号: 1005-0906(2007)04-0100-05

密度压力下玉米杂交种农艺性状 与产量相关性研究

谢振江^{1,2}, 李明顺², 李新海², 张世煌²

(1.唐山市农业科学研究院, 河北 唐山 063001; 2.中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 对近 40 年 25 个玉米杂交种的农艺性状与产量关系进行了研究。采用逐步回归、通径分析和偏向关等方法分析了不同密度下其农艺性状与产量的关系。结果表明: 各个密度下的农艺性状对产量的影响不同。在低密度下, 千粒重 > 病株率 > 行粒数 > 穗行数 > 穗位高 > 空秆率; 在中密度下, 千粒重 > 株高 > 行粒数 > 空秆率 > 倒伏率 > 穗行数 > 出籽率; 在高密度下, 千粒重 > 空秆率 > 穗位高 > 行粒数 > 倒伏率 > 穗行数 > 出籽率。在华北地区玉米杂交种选育中, 主攻方向是选育千粒重高、耐密、抗倒伏的品种。在保持株高、穗位高、生育期等性状在现有水平的基础上, 应重点强调在高密度压力下对倒伏株率和空秆率的选择, 优先考虑千粒重的增加, 其次是行粒数的增加。

关键词: 玉米; 杂交种; 产量; 农艺性状

中图分类号: S513

文献标识码: A

Study on Relativity Between Yields and Agronomic Traits of Major Maize Hybrids Under Different Density

XIE Zhen-jiang^{1,2}, LI Ming-shun², LI Xin-hai², ZHANG Shi-huang²

(1. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063001;

2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The analysis, which was based on the split-spot experimental design with varieties as main plot as well as density as sub-plot, and focused on both direct and indirect effects of agronomic traits upon yield, was conducted in Beijing ecological region in 2005. The results showed that the contribution to yield for different traits had become quite different in order, and consequently the breeding goal for modern maize hybrids in north China was to breed excellent hybrids which should process many merits including high resistance to lodging, tolerance to high density planting. The conclusion was that while plant height, ear height and maturity duration were maintained at the nowadays level, more emphasis should be laid upon selection for lodging rate and no ear plant rate primarily under the high density stress. In addition, the increase for 1 000 kernel weight should be under the breeding goal for yield improvement firstly, and then the increase for rows per ear.

Key words: Maize; Hybrid; Yield; Agronomic trait

产量是受多基因控制的数量性状。从国家和各

省区域试验的品种来看, 育种家越来越重视品种试验的密度。因此, 探明各个密度下华北地区玉米杂交种各农艺性状与产量的关系, 给今后的玉米杂交种育种目标提供选择的理论依据。

国外对不同年代的品种按照历史顺序进行分析报道较多。美国和加拿大学者对其玉米带曾经大面积种植的不同年代玉米杂交种的改良进展研究较为详尽, 发现玉米产量的提高与品种的抗逆性有关, 例如耐密性、抗倒性、耐低温、耐杂草、抗各种生物逆境等。我国有的学者提出以历史顺序对我国的杂交种

收稿日期: 2006-11-13

基金项目: 农业部“948”项目(2003-Q03), 亚洲玉米生物技术协作网基金(AMBIONET ICC5247B24)

作者简介: 谢振江(1968-), 男, 辽宁昌图人, 副研究员, 博士, 从事玉米育种目标和杂种优势研究。

E-mail: xiezhenjiangemai@sina.com

张世煌为本文通讯作者。cszhang2000@yahoo.com.cn

注: 感谢北京农学院金文林教授的指导。

进行研究。就穗部性状来讲,单穗子粒的重量呈现随着年代增加的趋势,而单株子粒数并没有增加,因此千粒重是增加单株产量的主要目标现代杂交种的秃尖度在低密度条件下呈现减少的趋势,也就是耐密性增强是现代杂交种的特征。国外的试验表明,根不倒伏株率仍然呈现随着年代增加的趋势,也就是与产量的增加高度正相关;同时,茎不倒折株率仍然呈现随着年代增加的趋势,也与产量的增加高度正相关。国内对不同年代玉米产量等性状的研究报道不多。胡昌浩、张泽民、董树亭、周玉芝、柳家友等分别对我国及山东、河北、河南省不同年代的玉米品种产量及相关生理性状进行了初步分析,认为杂交种耐密植、抗倒伏能力增强是产量增长的主要原因。但国内对杂交种的研究侧重于生理变化,对不同密度下 40 年来玉米杂交种的农艺性状与产量的关系尚未见报道。本研究通过增设密度来研究近 40 年来大面积利用的 25 个杂交种,并运用逐步回归、通径分析和偏相关分析对杂交种的主要性状进行分析,以明确高产杂交种的产量与其它农艺性状间的关系以及主要农艺性状对产量影响大小,为杂交种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 70 年代以来各个时期大面积推广的玉米单交种:新单 1 号、吉单 101、群单 105、郑单 2 号、中单 2 号、黄 417、丹玉 13、掖单 4 号、掖单 2 号、沈单 7 号、农大 60、本玉 9 号、吉单 180、掖单 13、四单 19、豫单 18、吉单 159、掖单 19、农大 3138、农大 108、鲁单 50、郑单 958、沈单 16、鲁单 981、登海 9 号。

1.2 试验设计

2005 年在北京顺义山西屯玉种业公司试验地种植。试验设计采用 2 因素裂区试验设计。杂交种试验,密度为主区,3 个处理,分别为 30 000、45 000、60 000 株/hm²;杂交种为副区,25 个品种。3 次重复。每小区 2 行,行距为 60 cm,株距分别为 55.6、37.0 和 27.8 cm,行长为 4 m。田间调查和小区收获按玉米田间试验记载项目和标准,调查性状包括千粒重、穗行数、行粒数、出籽率、株高、穗位高、生育期、叶向值、茎倒率、倒伏率、病株率、空秆率、单株产量。

1.3 分析方法

多元相关、通径分析和偏相关分析采用 DPS 软件分析^[40]。

2 结果与分析

2.1 影响单株子粒产量的主要农艺性状

2.1.1 低密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的相关分析

以低密度下的农艺性状指标千粒重(X_1)、穗行数(X_2)、行粒数(X_3)、出籽率(X_4)、株高(X_5)、穗位高(X_6)、生育期(X_7)、叶向值(X_8)、茎倒率(X_9)、倒伏率(X_{10})、病株率(X_{11})、空秆率(X_{12})为自变量,产量(Y)为因变量,经多元逐步回归分析,除去对单株产量无显著影响的性状,7 个性状指标与单株产量存在极显著的回归模型,其关系式为:

$$Y = -710.070 4 + 0.467 5X_1 + 8.436 1X_2 + 4.740 1X_3 + 3.980 9X_4 + 0.778 2X_6 - 0.271 8X_{11} - 1.083 5X_{12}$$

($F=34.198 9^{**}$, $R=0.883 9$)方程达极显著水平,对农艺性状和单株产量进行通径分析。

表 1 低密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的通径分析

Table 1 The path analysis of agronomic traits and per plant yield under low density

性状 Trait	直接作用 Direct reaction	间接作用 Indirect reaction						
		→ X_1	→ X_2	→ X_3	→ X_4	→ X_6	→ X_{11}	→ X_{12}
千粒重 X_1	0.506 25		0.054 20	0.012 70	-0.030 66	0.001 34	0.080 33	0.008 00
穗行数 X_2	0.252 49	0.108 67		0.022 58	-0.055 90	0.004 23	0.041 09	0.010 79
行粒数 X_3	0.361 68	0.017 78	0.015 76		0.011 82	0.022 27	0.008 84	0.002 73
出籽率 X_4	0.219 69	-0.070 64	-0.064 25	0.019 45		-0.033 69	-0.006 65	0.012 27
穗位高 X_6	0.240 27	0.002 83	0.004 45	0.033 52	-0.030 80		0.006 45	0.016 59
病株率 X_{11}	-0.142 27	-0.285 86	-0.072 93	-0.022 46	0.010 27	-0.010 90		0.012 39
空秆率 X_{12}	-0.192 34	-0.021 06	-0.014 16	-0.005 14	-0.014 01	-0.020 72	0.009 17	

通过农艺性状与单株产量的通径分析(表 1)看出,千粒重对单株产量的直接作用最大,为 0.506 25,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小。

其次,行粒数对单株产量的直接作用为 0.361 68,通过千粒重对单株产量的间接作用较大,为 0.108 67。穗行数、出籽率、穗位高对单株产量的直接作用比较

接近,而且其直接作用远远大于通过其他农艺性状对单株产量的间接作用。病株率和空秆率对单株产量的直接作用均为负值,即-0.142 27和-0.192 34,病株率通过千粒重对产量的间接负作用也为负值,为-0.285 86,且作用大于其直接作用;空秆率对单株产量的作用主要来自于自身,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小,且为负值。通过正负抵消后千粒重对单株产量的影响最大,为0.632 16;其次为病株率,为-0.511 76;行粒数为0.440 88。说明低密度下的单株产量首先要提高千粒重,同时提高抗病性来降低病株率对千粒重的间接作用以及对单株产量的直接作用来实现,并尽可能提高行粒数。

2.1.2 中密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的相关分析

中密度下的农艺性状指标经多元逐步回归分析,除去对单株产量无显著影响的性状后,7个性状指标与单株产量存在极显著的回归模型,其关系式为:

$$Y = -667.926 5 + 0.427 3X_1 + 4.648 0X_2 + 3.111 8X_3 + 3.921 8X_4 + 0.576 2X_5 - 0.375 6X_{10} - 2.095 0X_{12}$$

($F=63.912 3^{**}$, $R=0.932 6$) 方程达极显著水平,

表2 中密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的通径分析

Table 2 The path analysis of agronomic traits and per plant yield under medium density

性状 Trait	直接作用 Direct reaction	间接作用 Indirect reaction						
		$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_{10}$	$\rightarrow X_{12}$
千粒重 X_1	0.556 03		-0.009 09	0.061 22	0.013 68	0.082 16	0.030 54	0.015 26
穗行数 X_2	0.146 82	-0.034 42		-0.001 56	-0.070 64	0.077 50	0.005 69	0.010 10
行粒数 X_3	0.254 80	0.133 59	-0.000 90		0.017 78	0.057 58	0.000 83	0.058 15
出籽率 X_4	0.190 02	0.040 04	-0.054 58	0.023 85		-0.075 01	0.005 82	-0.003 09
株高 X_5	0.244 54	0.186 81	0.046 53	0.059 99	-0.058 29		0.001 54	0.053 70
倒伏率 X_{10}	-0.111 07	-0.152 88	-0.007 53	-0.001 90	-0.009 96	-0.003 39		0.007 44
空秆率 X_{12}	-0.278 98	-0.030 41	-0.005 31	-0.053 11	0.002 11	-0.047 07	0.002 96	

2.1.3 高密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的相关分析

高密度下的农艺性状指标经多元逐步回归分析,除去对单株产量无显著影响的性状,7个性状指标与单株产量存在极显著的回归模型,其关系式为:

$$Y = -265.816 2 + 0.412 2X_1 + 4.611 6X_2 + 2.194 5X_3 + 0.705 0X_4 + 0.509 0X_6 - 0.114 7X_{10} - 1.454 8X_{12}$$

($F=48.558 04^{**}$, $R=0.913 97$) 方程达极显著水平,对农艺性状和单株产量进行通径分析。

农艺性状与单株产量的通径分析发现(表3),千粒重对单株产量的直接作用最大,为0.584 27,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小。其次,

对农艺性状和单株产量进行通径分析。

通过农艺性状与单株产量的通径分析发现(表2),千粒重对单株产量的直接作用最大,为0.556 03,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小。其次,行粒数和株高对单株产量的直接作用为0.254 8和0.2445 4,通过千粒重对单株产量的间接作用较大,分别为0.133 59和0.186 81。穗行数、出籽率对单株产量的直接作用比较接近,而且其直接作用远远大于通过其他农艺性状对单株产量的间接作用。但空秆率和倒伏率对单株产量的直接作用均为负值,即-0.278 98和-0.111 07。其中空秆率对单株产量的作用主要来自于自身,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小,且为负值。倒伏率通过千粒重对产量的间接作用也为负值,为-0.152 88,且作用稍大于其直接作用。通过正负抵消后千粒重对单株产量的影响最大,为0.749 8;其次为株高和行粒数,分别为0.534 82和0.521 83;空秆率和倒伏率,分别为-0.409 81和-0.279 29。说明中密度下的单株产量提高首先要提高千粒重,同时尽可能提高行粒数和适当提高株高;其次降低空秆率和倒伏株率,提高耐密性和增强抗倒性来实现。

行粒数和穗位高对单株产量的直接作用为0.234 52和0.185 86,二者通过空秆率对单株产量的间接作用较大,分别为0.126 13和0.179 43。穗行数、出籽率对单株产量的直接作用比较接近。但空秆率和倒伏率对单株产量的直接作用均为负值,即-0.354 92和-0.068 26。其中空秆率对单株产量的作用主要来自于自身,通过其他农艺性状对单株产量的间接作用都较小,且为负值。倒伏率通过千粒重对产量的间接负作用也为负值,为-0.110 1,且作用大于其直接作用。通过正负抵消后千粒重对单株产量的影响最大,为0.671 34;其次为空秆率和穗位高,分别为-0.530 38和0.518 3;行粒数和倒伏率为0.417 1和-0.268 38。

说明高密度下的单株产量提高首先要提高千粒重, 其次,降低倒伏株率、增强抗倒性和适当提高行粒数。同时降低空秆率和适当提高穗位, 提高耐密性;其

表 3 高密度下各主要农艺性状和单株子粒产量的通径分析

Table 3 The path analysis of agronomic traits and per plant yield under high density

性状 Trait	直接作用 Direct reaction	间接作用 Indirect reaction						
		→ X_1	→ X_2	→ X_3	→ X_4	→ X_6	→ X_{10}	→ X_{12}
千粒重 X_1	0.584 27		0.011 75	0.004 51	0.015 38	0.031 66	0.012 86	0.010 91
穗行数 X_2	0.162 78	0.042 17		-0.022 97	-0.005 13	-0.013 30	0.003 29	-0.002 15
行粒数 X_3	0.234 52	0.011 24	-0.015 94		-0.011 18	0.063 95	0.008 38	0.126 13
出籽率 X_4	0.143 85	0.062 46	-0.005 80	-0.018 22		-0.020 55	0.008 92	-0.062 39
穗位高 X_6	0.185 86	0.099 53	-0.011 65	0.080 69	-0.015 91		0.000 35	0.179 43
倒伏率 X_{10}	-0.068 26	-0.110 10	-0.007 86	-0.028 78	-0.018 79	-0.000 96		-0.033 63
空秆率 X_{12}	-0.354 92	-0.017 97	0.000 99	-0.083 34	0.025 29	-0.093 96	-0.006 47	

2.2 主要农艺性状对单株子粒产量的偏相关分析

上述性状与单株产量的偏相关系数进行显著性测验。从表 4 可以看出,在 3 种密度压力下,杂交种的农艺性状与单株产量的偏相关系数均达到了极显著的水平($P<0.01$),进一步说明在各个密度下的上述农艺性状是决定单株产量的关键性状。千粒重对单株产量的偏相关系数在 3 种密度条件下均为最高,分别为 0.660、0.799、0.809,且随着密度的增加而提高;行粒数对产量的偏相关系数随着密度的增加而

降低,在 3 种密度下的偏相关系数分别为 0.608、0.549、0.4279。说明在密度压力下与行粒数相比,千粒重对单株产量影响越来越大;倒伏率对单株产量的偏相关系数绝对值随着密度的增加而提高,在 3 种密度下的偏相关系数分别为 0、-0.281、-0.359;空秆率对产量的偏相关系数绝对值随着密度的增加而增加,在 3 种密度下的偏相关系数分别为-0.374、-0.598、-0.586,说明在密度压力下,增强抗倒伏能力和提高耐密性越来越重要。

表 4 农艺性状对单株子粒产量的偏相关系数

Table 4 The partial correlation analysis of agronomic traits with yield of per plant

低密度 Low density			中密度 Medium density			高密度 High density		
偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t value	显著水平 Significant level	偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t value	显著水平 Significant level	偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t value	显著水平 Significant level
$r(y, X_1)=0.660$	7.192	0.000	$r(y, X_1)=0.799$	10.891	0.000	$r(y, X_1)=0.809$	11.256	0.000
$r(y, X_2)=0.445$	4.062	0.000	$r(y, X_2)=0.340$	2.960	0.004	$r(y, X_2)=0.368$	3.241	0.002
$r(y, X_3)=0.608$	6.263	0.000	$r(y, X_3)=0.549$	5.381	0.000	$r(y, X_3)=0.463$	4.279	0.000
$r(y, X_4)=0.404$	3.613	0.001	$r(y, X_4)=0.423$	3.822	0.000	$r(y, X_4)=0.324$	2.806	0.007
$r(y, X_6)=0.449$	4.110	0.000	$r(y, X_6)=0.485$	4.539	0.000	$r(y, X_6)=0.353$	3.086	0.003
$r(y, X_{10})=-0.235$	1.979	0.050	$r(y, X_{10})=-0.281$	2.393	0.019	$r(y, X_{10})=-0.359$	2.320	0.012
$r(y, X_{12})=-0.374$	3.301	0.002	$r(y, X_{12})=-0.598$	6.108	0.000	$r(y, X_{12})=-0.586$	5.918	0.000

3 讨论

3.1 育种目标

本研究结果认为,华北地区在制定玉米高产育种目标时,在保持株高、穗位高、生育期等性状在现有水平的基础上,应重点强调在密度压力下选择抗倒伏能力和耐密性好的杂交种,优先考虑千粒重的增加,其次才是行粒数的增加。史新海等人的研

究结果认为,大密度、增加粒数和提高千粒重是玉米杂交种产量提高的主要原因。胡昌浩等人的研究结果认为,穗粒数增加从而导致的单位面积粒数的增加是当代玉米品种高产的主要原因,对产量的直接贡献率大,其次是千粒重和穗数。柳家友等人的研究结果认为,在一定密度下,行粒数和千粒重的增加对提高玉米产量至关重要,在制定玉米高产育种目标时,首先应考虑行粒数与千粒重的增加。本研究在前

人的基础上进一步明确高密度条件下华北地区杂交种的育种目标应该优先考虑千粒重。同时也表明,在密度下千粒重增加对产量贡献最大,而穗粒数贡献在减少。这与国外的试验结果稍有不同。

3.2 抗倒性和耐密性

随着密度增加,空秆率和倒伏率对产量影响越来越大,说明抗倒性和耐密性对依靠高密度群体获得高产的现代杂交种越来越重要,这一点与国内外学者的观点基本一致。本研究对耐密性用空秆率指标,而国外用秃尖度。用空秆率指标更合理。就结论来讲,本研究用逐步回归分析法对中国华北近40年杂交种研究结果与国外的结果一致。

参考文献:

- [1] 马育华. 植物育种的数量遗传学基础[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1980.
- [2] 孙世贤. 2004、2003年国家玉米品种区域年会纪要[J]. 种子科技,2004(3):151-152.
- [3] Eyhérbide G H, Damilano A L, Colazo J C. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina[J]. MAYDICA, 1994, 39: 207-211.
- [4] Eyhérbide G H, Damilano A L. Comparison of genetic gain for grain yield of maize between the 1980s and 1990s in Argentina[J]. MAYDICA, 2001, 46: 277-281.
- [5] Cunha Fernandes J S, Franzone J F. Thirty years of genetic progress in maize(*Zea mays* L.) in a tropical environment[J]. MAYDICA, 1997, 42: 21-27.
- [6] Lvanovic M, Kojic L. Grain yield of maize hybrids in different periods of breeding[J]. Informtsionnyi Byulleten PO Kukuruze,1990, 88: 93-101.
- [7] Derieux M, Darrigrand M, Gallais A, et al. Estimation du progrès génétique réalisé chez le maïs grain en France entre 1950 et 1985[J]. Agronomie, 1987, 7: 1-11.
- [8] Frei O M. Changes in yield physiology of corn as a result of breeding in northern European[J]. Maydica, 2000, 45: 173-183.
- [9] Russell W A. Evaluations for plant, ear, and grain traits of maize cultivars representing seven eras of breeding[J]. MAYDICA, 1985, 31: 85-96.
- [10] Russell W A. Comparative performance for maize hybrids representing different eras of maize breeding[C]. 1974: 81-101. In: 29th Ann. Corn and Sorghum Res. Conf. Vol. 29. American Seed Trade Association, Chicago, Illinois.
- [11] Russell W A. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding[J]. Maydica, 1984, 30: 375-390.
- [12] Duvick D N. Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years[J]. Maydica, 1977, 23: 187-196.
- [13] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.)[C]. 2005: 83-145. In: D.N. Sparks, (ed.) Adv.Agron., Vol.86. Academic Press, San Diego, CA.
- [14] Castleberry R M, Crum C W, Krull C F. Genetic yield improvement of U.S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments [J]. Crop Sci.,1984,24,33-36.
- [15] Carlone M R, Russell W A. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding [J]. Crop Science,1987, 27: 5-7.
- [16] Meghji M R,Dudley J W, Lambert R J, et al.Inbreeding depression, inbred and hybrid grain yields, and other traits of maize genotypes representing three eras[J]. Crop Sci., 1984, 24, 545-549.
- [17] Russell W A. 1991. Genetic improvement of maize yields[C]. 245-298. Adv. Agron. 46.Academic Press, Inc.
- [18] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential,yield stability and stress tolerance in maize[J]. Field Crops Research, 2002, 75: 161-169.
- [19] Carena M J, Cross H Z. Plant density and maize germplasm improvement in the northern corn belt[J]. MAYDICA, 2003, 48: 105-111.
- [20] Duvick D N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. Maize [J]. Maydica,1992, 37: 69-79.
- [21] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.)[C]2005: 83-145.In:D.N. Sparks, (ed.) Adv.Agron.,Vol. 86.Academic Press,San Diego,CA.
- [22] Tollenaar M, Wu J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance [J]. Crop Sci., 1999, 39: 1597-1604.
- [23] 张世煌,孙世贤. 从品种试验看玉米育种面临的技术问题[J]. 作物杂志,2006(2):10-12.
- [24] 胡昌浩,董树亭,王空军,等. 我国不同年代玉米品种生育特性演进规律研究 I .产量性状的演进[J]. 玉米科学,1998,6(2):44-48.
- [25] 张泽民,刘丰明,牛云生,等. 不同年代玉米杂交种干物质积累与分配规律的研究[J]. 河南农业大学学报,1997,31(2):118-122.
- [26] 史新海,李可敬,孙为森,等. 山东省不同年代玉米杂交种主要农艺性状演变规律的研究[J]. 玉米科学,2000,8(2):33-35.
- [27] 周玉芝,段会军,姬惜珠,等. 河北省夏播玉米品种主要农艺性状演变规律的研究[J]. 河北农业大学学报,2005,28(2):1-4.
- [28] 柳家友,柏志安,吴伟华. 玉米杂交种主要穗部性状之演变及对育种目标的影响[J]. 玉米科学,2004,12(专刊):3-4.
- [29] 全国农业技术推广服务中心. 全国农作物审定品种名录[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005.
- [30] 莫惠栋. 农业试验统计(第二版)[M]. 上海:上海科技出版社,1984:246-580.
- [31] 郭庆法,王庆成,汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2004:284-300.
- [32] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学技术出版社,2002:304-311.

(责任编辑:朱玉芹)