

文章编号: 1005-0906(2007)02-0102-05

华北地区不同年代玉米杂交种 农艺性状的改良进展

谢振江^{1,2,3}, 李明顺², 李新海², 张世煌²

(1. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 3. 唐山市农业科学研究院, 河北 唐山 063001)

摘要: 2005 年在北京和新疆两个生态区采用随机区组设计, 对产量、总穗数、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、倒伏率、病株率 9 个农艺性状和不同年代的改良进展进行比较。结果表明: 产量、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、倒伏率、病株率等不同年代农艺性状差异达极显著水平; 北京和新疆的产量改良进展结果相似。试验结果表明玉米杂交种的农艺性状改良发生了显著的变化, 穗粒数、千粒重、倒伏率、空秆率及病株率的改良提高了玉米产量。

关键词: 玉米杂交种; 农艺性状; 改良进展

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Improvement Advance on Agronomic Traits of Maize Hybrids from Different Eras in North China

XIE Zhen-jiang^{1,2,3}, LI Ming-shun², LI Xin-hai², ZHANG Shi-huang²

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161;

2. Institute of crop science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063001, China)

Abstract: The paper mainly focused on the improvement and law of agronomic traits of hybrids from different eras in north China. The experiments were based on random block design and arranged in Beijing and Xinjiang ecological regions in 2005, and the comparisons among different eras on traits, including yield, total ears, kernels per ear, 1 000 kernel weight, plant height, ear height, stem lodging, root lodging, disease plant rate, have been carried out. The differences among different eras on traits such as yield, total ears, kernels per ear, 1 000 kernel weight, plant height, ear height, stem lodging, root lodging, disease plant rate, have been significantly, and the improvement advances on yield in Beijing and Xinjiang were very similar. The improvement on traits like kernels per ear, 1 000 kernel weight, plant height, ear height, stem lodging, root lodging, disease plant rate has contributed greatly to the yield improvement advance.

Key words: Maize hybrids; Agronomic traits; Improvement advance

玉米是华北地区的主要作物, 提高玉米产量是玉米育种者的主要目标。因此, 对不同年代玉米杂交种农艺性状改良进展的研究对今后玉米育种目标

的确定意义重大。欧洲和南美洲国家对不同年代玉米产量的改良进展均有报道。美国和加拿大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报道研究较为详尽。加拿大的学者研究表明, 抗逆性的增加是不同年代玉米改良增益的主要原因。此外, 对总穗数、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、倒伏率和病害的研究结果表明, 株高、穗位高随着年代的增加表现为很弱的降低趋势, 但同时又说明这种趋势规律性并不明显; 单穗子粒重呈现随着年代增加的趋势, 而单株子粒数并没有增加, 增加的是千粒重; 根不倒伏株率尽管最后在 95% ~ 100% 徘徊

收稿日期: 2006-12-18

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(AMBIONETICC5247B24)

作者简介: 谢振江(1968-), 男, 辽宁昌图人, 副研究员, 博士, 从事玉米遗传育种。Tel: 131-80419067

E-mail: xiezhenjiangemai@yahoo.com.cn

张世煌为本文通讯作者。

E-mail: cshzhang2000@yahoo.com.cn

徊,呈现随着年代而增加的趋势;茎不倒折株率尽管最后在 95%~100%徘徊,也呈现随着年代而增加的趋势,整体上表现出改良提高的趋势。过去的 40 多年里,抗病育种对玉米产量的提升起到了关键的作用,然而却没有数据表明这种直接选择的成功在多大程度上影响了产量。非生物逆境的试验表明,无论是在低温高湿的生长季,还是在高温高湿的生长季,新的杂交种随着年代增加而呈现线性增加的趋势。比较而言,处在环境适宜的生长季,新的杂交种对老的杂交种均有明显的优势。没有特别明显的病虫害,试验地点平均产量越低,非生物压力就越大。国内对不同年代玉米产量等性状的研究有很多报道,但对不同年代杂交种的改良进展还是薄弱环节。为此,选用华北地区不同年代大面积推广的 25 个玉米杂交种,每 10 年为一个周期。选择总穗数、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、倒伏率、病株率 8 个对产量影响显著的农艺性状,对产量及其它不同年代的农艺性状和改良进展在北京(逆境重)和新疆(逆境轻)的两个不同生态区进行比较和评价,为今后的玉米育种目标确立提供依据。

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。70 年代品种(1970s):新单 1 号、吉单 101、群单 105、郑单 2 号和中单 2 号。80 年代品种(1980s):黄 417、丹玉 13、掖单 4 号、掖单 2 号、沈单 7 号和农大 60。90 年代品种(1990s):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 和鲁单 50。2000 年以后品种(2000s):郑单 958、沈单 16、鲁单 981 和登海 9 号。

1.2 试验设计

2005 年北京和新疆两点,试验采用随机区组试验设计,9 次重复,2 行区,密度 45 000 株/hm²,行距 60 cm,株距 37 cm,行长 4 m。调查性状包括产量、总穗数、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、倒伏率和病株率。田间调查和小区收获按玉米田间试验记载项目和标准。

1.3 分析方法

用 SAS 8.0 Version 进行方差分析、多重比较及相关分析。

2 结果与分析

2.1 联合方差分析

表 1 结果表明(试验误差为合并误差),除了总穗数、倒伏率年代间差异不显著外,产量、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、病株率年代间差异达极显著,说明品种的这些性状在年代间得到了有效改良。而且这些性状年代间的方差与年代内的方差达极显著差异、与品种×地点的均方差异达极显著,进一步说明随着年代的更迭,产量、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、茎倒率、病株率年代间差异达极显著水平。同时倒伏率、病株率等与地点的年代间互作方差与年代内的互作方差达极显著水平,年代间和年代内的方差与品种×地点的方差不显著,说明倒伏率、病株率改良方向是与具体的生态区相联系的。

表 1 4 个不同年代玉米杂交种 9 个性状的联合方差分析
Table 1 Analysis of 9 agronomic traits variance for 4 different maize hybrids

变异来源 Variation source	自由度 DF	产 量 Yield	总穗数 Total ears	穗粒数 Kernels per ear	千粒重 1 000-kernel weight	株 高 Plant height	穗位高 Ear height	茎倒率 Stem lodging	倒伏率 Root lodging	病株率 Disease rate
品种间	24	54.22**	2.52**	79 511**	30 042**	5 837**	2 448**	415.86**	407.53**	1 636**
年代间	3	298.67**	2.48	269 612**	103 261**	20 954**	4 051**	920.12**	1 414.00	4 148**
年代内	21	19.30**	2.52*	52 354**	19 582**	3 677**	2 219**	343.82**	263.75**	1 277**
品种×地点	24	7.86**	1.07	4 927*	5 241**	402*	236**	355.04**	418.14**	1 744**
年代间	3	2.61	0.96	1 557	13 219**	518	269	624.03**	1 318.70**	4 621**
年代内	21	8.61**	1.09	5 408*	4 102**	385*	231**	316.61**	289.50**	1 333**
试验误差	400	3.17	1.39	2 997	850	240	108	94.11	100.83	172

注:F_{(3,21)0.05}=3.07, F_{(3,21)0.01}=4.87; F_{(21,30)0.05}=8.66, F_{(21,30)0.01}=26.69; F_{(3,24)0.05}=3.01, F_{(3,24)0.01}=4.02; F_{(21,24)0.05}=2.03, F_{(21,24)0.01}=2.74。*,** 分别表示在 5%和 1%上的显著水平。下表同。
Notes: F_{(3,21)0.05}=3.07, F_{(3,21)0.01}=4.87; F_{(21,30)0.05}=8.66, F_{(21,30)0.01}=26.69; F_{(3,24)0.05}=3.01, F_{(3,24)0.01}=4.02; F_{(21,24)0.05}=2.03; F_{(21,24)0.01}=2.74. *and** indicate the significance at 5% and 1% level respectively. The same as the following tables.

2.2 北京生态区农艺性状和经济性状的比较

表 2 新复极差测验结果表明,在北京生态区除

了总穗数、茎倒伏率年代间差异不显著外,1970s、1980s、1990s、2000s 间的产量、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、倒伏率、病株率年代间差异都达到了极显著差异,其中产量、穗粒数、千粒重和病株率随着年代的增加而呈现显著增加的趋势,说明这些性状得到了显著的改良;株高、穗位高在 1970s 到 1990s 间随着年代的增加始终保持稳定的趋势,只有在 2000s 才显著增加,说明产量的增加并没有和株高、穗位高的增加同步;倒伏率在 1970s 和 1980s 间差

异达到了极显著的差异,1980s 到 2000s 间并没有显著的变化,说明抗倒性并没有得到真正有效的改良。表 2 的响应 b 和决定系数进一步表明,产量、穗粒数、千粒重和病株率随着年代的增加而呈现显著增加的趋势,其中产量的改良进展为每年 0.139 5 t/hm²,穗粒数的改良进展为每年 3.671 粒 / 穗,千粒重的遗传进展为每年 3.522 9 g,说明这些性状得到了显著改良。伴随着抗病性的增强和穗粒数、千粒重的增加,产量潜力得到了有效提升。

表 2 北京生态区 4 个不同年代玉米杂交种 9 个性状比较分析

Table 2 Comparison analysis on 9 traits of 4 different maize hybrids in Beijing ecological zone

年 代 Year	产 量 (t/hm ²) Yield	总穗数 (穗 /hm ²) Total ears	穗粒数(粒 / 穗) Kernels per ear	千粒重(g) 1 000-kernel weight	株高(cm) Plant height	穗位高(cm) Ear height	茎倒率(%) Stem lodging	倒伏率(%) Root lodging	病株率(%) Disease rate
2000s	9.195 Aa	46 092	635.3 Aa	378.7 Aa	307.4 Aa	135.3 Aa	1.83	0.790 Aa	5.51 Aa
1990s	7.447 Bb	45 446	605.4 Ab	327.9 Bb	284.2 Bb	123.4 Bb	0.62	3.252 Aa	22.18 Bb
1980s	6.526 Cc	43 871	603.4 Ab	306.2 Bc	279.9 Bbc	120.7 Bb	0.55	4.310 Aa	30.01 BCb
1970s	4.852 Dd	45 091	513.6 Bc	268.3 Cd	275.6 Bc	123.7 Bb	2.44	17.906 Bb	40.30 Cc
F 值	72.18	0.40	28.26	39.91	27.61	9.43	2.26	11.82	15.76
P 概率	<0.000 1	0.756 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.082 0	<0.000 1	<0.000 1
响应 b	0.139 5	0.004 6	3.671 0	3.529 0	0.997 0	0.375 0	-0.017 6	-0.524 2	-1.122 0
决定系数 R ²	0.987 2	0.401 2	0.811 4	0.977 4	0.822 6	0.556 1	0.059 8	0.771 3	0.974 4

注:小写字母 a 和大写字母 A 分别表示达 5% 和 1% 的显著水平;LSR 测验,P 表示概率值。下表同。
Note: “a” and “A” indicate the significance at 5% and 1% levels respectively; LSR tested, P shows probability. The same as the following tables.

2.3 新疆生态区农艺性状和经济性状的比较

表 3 新复极差测验结果表明,在新疆生态区除了总穗数、倒伏率年代间差异不显著外,1970s、1980s、1990s、2000s 间的产量、穗粒数、千粒重、株高、穗位高、倒伏率、病株率年代间差异都达到了极显著差异,其中产量、穗粒数、千粒重随着年代的增加而呈现显著增加的趋势,说明这些性状得到了显著改良;株高、穗位高在 1970s 到 1990s 间随着年代的增加始终保持稳定的趋势,只有在 2000s 才显著增加,说明产量的增加并没有和株高、穗位高的增加

同步;茎倒伏率 1970s 和 1980s 间差异达到了极显著的差异,1980s 到 2000s 间并没有显著地变化,说明抗倒性并没有得到显著改良。表 3 的响应 b 和决定系数进一步表明,产量、穗粒数、千粒重随着年代的增加而呈现显著增加的趋势,其中产量的改良进展为每年 0.149 8 t/hm²,穗粒数的改良进展为每年 4.283 粒 / 穗,千粒重的改良进展为每年 1.812 g,说明这些性状得到了显著改良。伴随着穗粒数、千粒重的增加,产量潜力得到了有效提升。

表 3 新疆生态区 44 个不同年代玉米杂交种 9 个性状比较分析

Table 3 Comparison analysis on 9 traits on 44 different maize hybrids in Xinjiang ecological zone

年 代 Year	产 量 (t/hm ²) Yield	总穗数 (穗 /hm ²) Total ears	穗粒数(粒 / 穗) Kernels per ear	千粒重(g) 1 000-kernel weight	株高(cm) Plant height	穗位高(cm) Ear height	茎倒率(%) Stem lodging	倒伏率(%) Root lodging	病株率(%) Disease rate
2000s	12.785 Aa	57 218	648.1 Aa	392.5 Aa	278.5 Aa	120.1 Aa	2.42 Aa	0.21	1.47 Aa
1990s	10.829 Bb	53 040	605.8 Bb	369.1 ABb	244.5 Bb	102.9 Bb	7.50 Aa	0.41	0.41 Bb
1980s	10.379 Bb	51 805	596.9 Bb	375.7 Bb	242.9 Bb	105.9 Bb	5.50 Aa	0.32	0.65 ABb
1970s	7.942 Cc	56 071	508.3 Cc	329.9 Cc	237.6 Bb	108.7 Bb	16.19 Bb	0.52	0.37 Bb
F 值	25.27	1.69	22.53	18.27	25.42	10.56	7.04	0.33	3.25
P 概率	<0.000 1	0.169 6	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.000 2	0.802 3	0.022 6
响应 b	0.149 8	0.004 7	4.283 0	1.812 0	1.243 0	0.312 0	-0.393 1	-0.008 4	0.030 6
决定系数 R ²	0.943 8	0.056 8	0.886 4	0.779 3	0.740 2	0.287 2	0.738 1	0.677 2	0.595 7

2.4 农艺性状和经济性状对产量的简单相关

表 4 结果表明,无论是北京生态区还是新疆生态区,绝大多数的性状均与产量呈中低度的显著相关,说明产量与其他农艺性状关系的复杂性,同时也说明了不同年代玉米性状改良均与产量的提高有着密切关系。就农艺性状而言,北京生态区倒伏率及病株率与产量呈显著的负相关,而新疆生态区这些性状均与产量相关不显著,说明北京生态区逆境下的品种改良、倒伏率、病株率的改良进展对产量的提高

有显著的促进作用。另外,北京生态区的千粒重和产量的相关系数显著大于新疆生态区千粒重和产量的相关系数,相应地新疆生态区的总穗数与产量的相关系数也显著大于北京生态区的总穗数与产量的相关系数,说明两种不同生态区对农艺性状的改良主攻方向不同。当然,相关系数不能准确地反映各性状间的关系,因此还要对北京和新疆的农艺性状与产量进行相关和通径分析。

表 4 9 个性状对产量性状的简单相关系数
Table 4 Simple correlation coefficients of 9 traits on yield trait

生态区	总穗数	穗粒数	千粒重	株高	穗位高	茎倒率	倒伏率	病株率
Ecological area	Total ears	Kernels per ear	1000-kernel weight	Plant height	Ear height	Stem lodging	Root lodging	Disease rate
北 京	0.34**	0.34**	0.61**	0.50**	0.35**	-0.05	-0.22**	-0.48**
新 疆	0.52**	0.41**	0.35**	0.46**	0.39**	-0.28**	-0.04	0.14

3 结论与讨论

3.1 产量和穗部性状改良进展

本研究在北京和新疆的产量改良进展不同,分别为每年 0.139 5 t/hm² 和 0.149 8 t/hm²,表明不同年代的品种改良无论是在逆境重的生态区还是在逆境轻的生态区,新的杂交种对老的杂交种都取得了积极的进展,这与国外的研究结果基本相同。本研究的产量改良进展大于国外的产量改良进展,主要是新旧杂交种与生长季的互作及生长季的不同所引起的;另外,生物逆境地区、杂交种的选择、收获技术等都有影响。此外,北京生态区各个年代的玉米杂交种总是低于各年代的新疆产量,这和刘淑云等的研究结果一致,而且在北京生态区各年代杂交种的产量达极显著差异,但在新疆 1980s 的杂交种产量和 1990s 相比无显著差异,说明非生物逆境压力对杂交种产量的影响是非常显著的。北京的试验结果表明,1980s 和 1990s 间的产量差别主要是千粒重的差异引起的,在新疆 1980s 与 1990s 间的产量、穗粒数和千粒重均没有差异。分析北京和新疆 1990s 和 2000s 间的千粒重达到极显著差异,而穗粒数只达到了显著差异,这预示千粒重的提高对年代间产量提高的重要性。

3.2 株高和穗位高

本研究表明 1970s 到 1990s 杂交种的株高、穗位高变化不显著,而年代间的产量却达到了极显著水平,表明了株高、穗位高并不和产量同步。到 2000s 株高、穗位高发生了显著变化,表现出不规律

性。笔者认为,这可能是现代杂交种的种质基础中多含有热带资源,对光周期敏感,株高和穗位偏高。国外的研究表明,株高、穗位高随着年代的增加表现为很弱的降低趋势。反映了我国即便是大面积推广的玉米杂交种也存在植株高大、穗位偏高的问题,说明我国育种的整体水平与国外仍然有较大的差距。

3.3 茎倒率和倒伏率

本研究表明 1970s 到 2000s 的茎倒率、倒伏率有逐渐减少的趋势,从这点来讲与国外的研究结果类似。但 1980s 到 2000s 间的差异不显著,原因比较复杂。笔者认为,一方面可能与抗倒基因累加不够、选育手段及实验条件仪器检测等因素有关;另一方面风雨和密度诱导根倒伏的因素水平高低将直接影响到新老杂交种的抗性差别。

参考文献:

[1] Russell W A. Evaluations for plant, ear, and grain traits of maize cultivars representing seven eras of breeding[J]. Maydica, 1985: 85- 96.

[2] Eyherabide G H, Damilano A L, Colazo J C. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina[J]. Maydica, 1994, 39: 207-211.

[3] Eyherabide 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.

[4] 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.

[5] Lvanovic M,Kojic L. Grain yield of maize hybrids in different periods of breeding[J]. Informtsionnyi Byulleten PO Kukuruze, 1990, 88: 93-101.

[6] 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.

- [7] Frei O M. Changes in yield physiology of corn as a result of breeding in northern European[J]. Maydica, 2000, 45: 173–183.
- [8] Russell W A. Comparative performance for maize hybrids representing different eras of maize breeding[A]. 29th Ann. Corn and Sorghum Res. Conf[C]. Chicago, Illinois, American Seed Trade Association, 1974.
- [9] Russell W A. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding[J]. Maydica, 1984: 375–390.
- [10] Duvick D N. Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years[J]. Maydica, 1977, XXII: 187–196.
- [11] Duvick D N. Genetic contribution to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980[A]. W. R. Fehr(ED). Genetic contribution to yield gains of five major crop plants[C]. Madison, WI, USA: CSSA Special Publication No.7. Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984.
- [12] Duvick D N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. Maize [J]. Maydica 1992, 37: 69–79.
- [13] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.)[A]. Sparks D N.(ed.) Adv. Agron.[C]. San Diego, CA. Academic Press, 2005.
- [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 Science, 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] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. Field Crops Research, 2002, 75: 161–169.
- [17] 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 Science, 1984, 24: 545–549.
- [18] Duvick D N, Smith J S C, Cooper M. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program[A]. J. Janick(ed). Plant Breeding Reviews. Long Term Selection: Crops, Animals, and Bacteria[C]. New York, John Wiley & Sons, 2004.
- [19] Crosbie T M. Changes in physiological traits associated with long-term breeding efforts to improve grain yield of maize [A]. Loden H D, D. Wilkinson(eds). Proceedings of 37th Annual Corn & Sorghum Research Conference, 5–9 Dec., [C]. Washington, DC, Chicago, IL., American Seed Trade Association, 1982.
- [20] Edmeades G O, Banziger M M, Cortes C. From stress-tolerant populations to hybrids: The role of source germplasm [A]. Edmeades G O, Banziger M, Mickelson H R, Pena-Valdivia C B (eds). Developing droughtand low N-tolerant Maize: Proceedings of a Symposium[C]. El Bat à n, Mexico: CIMMYT, 1997.
- [21] Duvick D N. What is yield[A]. Edmeades G O, Banziger M, Mickelson H R, and Pena- Valdivia C B (eds). Developing droughtand low N-olerant Maize: Proceedings of a Symposium [C]. El Bat à n, Mexico: CIMMYT, 1997.
- [22] BarkerT, Campos H, Cooper M, et al. Improving drought tolerance in maize[A]. J. Janick(eds), Plan Breed. Rev[C]. New York, John Wiley&Sons, Inc., 2005.
- [23] Duvick D N, Smith J S C, Cooper M. Changes in performance, parent-age, and genetic diversity of successful corn hybrids, from 1930 to 2000[A]. Smith C W, Betran J, Runge E(eds). Corn: Origin, History, Technology and Production[C]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [24] Dodd J. How to foresee corn disease outbreaks[A]. 55th Annual Corn & Sorghum Industry Research Conference, December 6–8, 2000[C]. Chicago, IL.: American Seed Trade Association, 2000.
- [25] Russell W A. Achievements of maize breeders in North America[A]. Baenziger P S(ed). International Crop Science I[C]. Madison, WI: Crop Science Society of America, Inc., 1993.
- [26] Rice M E. Perception and performance of Bt corn[A]. Proceedings of the 52nd Annual Corn & Sorghum Research Conference[C]. Washington, D. C.: American Seed Trade Association, 1997.
- [27] Gianessi L P, Carpenter J E. Agricultural Biotechnology[A]. Insect Control Benefits [C]. Washington, D C, National Center for Food and Agricultural Policy, 1999.
- [28] Dillehay B L, Roth G W, Calvin D D, et al. Performance of Bt corn hybrids, their near Isolines, and leading corn hybrids in Pennsylvania and Maryland[J]. Agron. J., 2004, 96: 818–824.
- [29] Russell W A. Genetic improvement of maize yields[A]. Adv. Agron.46. Academic Press, Inc[C]. 1991.
- [30] 胡昌浩,董树亭,王空军,孙庆泉. 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.
- [31] 张泽民,刘丰明,牛云生,于正坦. 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [37] 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.
- [38] 刘淑云,董树亭,胡昌浩,等. 玉米产量和品质与生态环境的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(5): 571–576.
- [39] Betran F J, Ribaut J M, Beck D, et al. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis intropical maize under stress and non-stress environments[J]. Crop Science, 2003, 43: 797–806
- [40] 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.
- [41] Duvick D N. Genetic diversity in major farm crops on the farm and in reserve[J]. Econ. Bot., 1984, 38: 161–178.

(责任编辑:张 英)