

玉米优良杂交种豫玉 22 产量性状的遗传分析

汤 华¹ 黄益勤¹ 严建兵¹ 刘宗华² 汤继华² 郑用琰¹ 李建生^{3,*}

(¹华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室,湖北武汉 430070;²河南农业大学农学院,河南郑州 450002;³中国农业大学国家玉米改良中心,北京 100094)

摘 要 以玉米优良杂交种豫玉 22 的 F₃ 家系为材料,通过一年两点的田间试验,研究其产量性状的遗传特征,以期为提高玉米产量杂种优势的利用水平提供有益信息。结果表明,在 8 个穗部产量性状中,广义遗传力较高的为行数、穗长、出籽率、穗粗;在 F₁ 代和 F₂ 家系中,杂种优势强的性状是穗粒重、行粒数、穗长,较弱的是出籽率和百粒重;杂种优势与遗传力相关不显著,但与性状的变异系数相关显著。穗粗、行粒数、百粒重、出籽率、穗长与单株产量高度相关。其中行数、行粒数、百粒重 3 个产量构成因子彼此高度负相关,穗长与穗粗高度负相关。主成分分析表明,影响单株产量的依次是行粒数、穗粗、行数、穗长、百粒重 5 个因子。对豫玉 22 而言,每行粒数和穗粗的增加是获得高产的关键。

关键词 玉米;产量性状;遗传分析

中图分类号: S513

Genetic Analysis of Yield Traits with Elite Maize Hybrid—Yuyu 22

TANG Hua¹, HUANG Yi-Qin¹, YAN Jian-Bing¹, LIU Zong-Hua², TANG Ji-Hua², ZHENG Yong-Lian¹, LI Jian-Sheng^{3,*}

(¹National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei; ²Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan; ³National Maize Improvement Center of China, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract In order to analysis genetic characteristics of yield, a population with 266 F₃ families from an elite hybrid, Yuyu 22, was constructed and a two-location field experiment was conducted in 2001. The results showed that among eight yield traits, row number, ear length, rate of kernel production and ear diameter had higher H^2 . Kernel weight per ear, kernels per row, ear length performed significant heterosis in F₁ generation, but the heterosis of rate of kernel production and weight of 100-kernel were very weak in F₂ 3 families. Their heterosis was not significantly correlated with their heredity, but significantly correlated with CV. Single-plant yield was significantly correlated with ear diameter, kernels per row, weight of 100-kernel, rate of kernel production and ear length. As three yield components, row numbers, kernels per row and weight of 100-kernel were significantly and negatively correlated with each other. There also was a significantly negative correlation between ear length and ear diameter. Principle component analysis indicated that ear traits influencing single-plant yield orderly were kernels per row, ear diameter, row number, ear length and weight of 100 kernel. A key factor to obtain high yield for Yuyu 22 was the increase of kernels per row and ear diameter.

Key words Maize (*Zea mays* L.); Yield trait; Genetic analysis

在玉米的育种目标之中,高产处于核心地位,而在高产育种过程中,除了对玉米株型性状的选择外,对玉米果穗性状的选择也至关重要,它直接影响玉米高产的潜力^[1,2]。了解玉米穗部性状与单株产量之间的相互关系,以及玉米穗部性状之间的相互关系,对于玉米育种工作具有重要的意义。

品种的更新换代是我国玉米产量不断提高的重

要因素之一,我国玉米生产先后进行了 5 次大面积的品种更新,“九五”期间,我国已成功完成一次玉米品种的大面积更新,以农大 108、豫玉 22、农大 3138、鲁单 50 等为代表的第 5 代玉米新品种,已经取代了以掖单 13、沈单 7 号等为代表的第 4 代玉米杂交种^[3,4],第 5 代玉米杂交种在产量和品质上都明显优于第 4 代玉米杂交种。本研究的目的旨在以全国

基金项目:国家重大基础研究项目(2001CB108801)和国家自然科学基金项目(39893350)。

作者简介:汤华(1974-),男,湖北恩施人,华中农业大学博士研究生,研究方向为植物遗传育种。*通讯作者:李建生。E-mail: lijs@163bj.com Tel: 010-62892422

Received(收稿日期):2003-05-09,Accepted(接受日期):2003-11-03.

推广面积位居前列的优良玉米杂交种豫玉 22 为代表,通过其 F_2_3 家系的田间试验,剖析我国第 5 代玉米杂交种产量性状的遗传特点,分析玉米穗部各性状之间的相关关系,为玉米高产育种提供参考。

1 材料与方法

利用玉米杂交种豫玉 22(综 3 × 87-1) F_1 和 F_2 自交,得到 266 个 F_2_3 家系,作为本试验的材料。由于 F_2 自交种子有限,采用温室育苗,三叶期后移栽的方法,于 2001 年分别在华中农业大学试验场和襄樊正大农业开发公司试验场进行 F_2_3 家系群体的田间试验。试验采用完全随机区组设计,设 3 次重复;同时设 P_1 、 P_2 和 F_1 为对照。小区为单行区,行长 5 m,行距 0.70 m,株距 0.25 m,每行 20 株;采用常规大田管理。按小区从第 3 株开始收获 10 个正常果穗,全部统一编号,晒干。对 8 个与产量相关的果穗性状进行了室内考种。它们是单穗粒重(Kernel Weight per Ear, KWE)、穗长(Ear Length, EL)、穗粗(Ear

Diameter, ED)、行数(Row Number, RN)、行粒数(Kernels per Row, KR)、百粒重(Weight of 100-Kernel, WK)、秃尖长(Bare Tip Length, BTL)、出籽率(Rate of Kernel Production, RKP)。参照余家林和郭平仲的模型^[5,6]进行统计运算。采用 Microsoft Excel 2000 和 SAS 8.1 统计软件进行全部数据的处理和分析。

2 结果与分析

2.1 产量性状的表现

对 F_2_3 家系检验结果表明,在武汉、襄樊两点,所有 8 个性状的表型值均符合正态分布,并达到极显著水平,说明这 8 个果穗性状均为数量性状。表 1 田间试验的结果表明, P_1 果穗较长,行粒数较多,出籽率较高; P_2 果穗较粗,行数较多,百粒重较高;两亲本表现出很强的性状优劣互补。 F_2_3 家系的平均表现高于双亲,但远远低于 F_1 代。另外,总体而言,8 个性状在襄樊点的表现优于武汉点。

表 1 产量性状的田间表现

Table 1 Field performance of eight yield traits

地点 Location	世代 Generation	穗粒重 KWE (g)	穗长 EL (cm)	穗粗 ED (cm)	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK (g)	秃尖长 BTL (cm)	出籽率 RKP (%)
武汉 Wuhan	P_1	37.31	11.84	3.40	12.89	20.15	18.61	0.75	79.90
	P_2	41.39	10.39	4.23	13.48	13.88	26.82	1.67	62.86
	F_1	179.05	18.82	4.97	15.93	38.42	29.29	1.40	82.64
	F_{2_3}	74.92	13.54	4.23	14.68	24.14	24.62	1.06	76.21
襄樊 Xiangfan	P_1	70.53	14.15	3.98	13.07	21.73	29.73	1.08	82.35
	P_2	80.13	12.17	4.75	14.06	17.16	38.71	1.02	73.48
	F_1	222.16	20.00	5.34	16.47	35.17	39.82	1.44	81.46
	F_{2_3}	109.72	15.18	4.61	14.72	25.72	33.50	0.92	78.50

2.2 产量性状的遗传力分析

结果表明,行数、穗长、出籽率的广义遗传力在武汉、襄樊两点均最高,其次为穗粗、穗粒重、行数,而百粒重、秃尖长的广义遗传力在武汉、襄樊两点均

最低(表 2)。两点试验的遗传力比较发现,穗粒重在两点间差别最大,为 10.68%,其他性状均在 5% 左右,说明豫玉 22 的产量性状的广义遗传力在两种不同环境条件下的表现趋势大体一致。

表 2 产量性状的遗传力分析

Table 2 Heritability analysis of eight yield traits

	穗粒重 KWE	穗长 EL	穗粗 ED	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK	秃尖长 BTL	出籽率 RKP
广义遗传力 H^2_G	50.12	66.67	57.60	70.36	52.21	40.94	37.70	65.51
	60.80	65.21	64.22	66.78	48.64	43.66	34.21	69.02

注:上行为武汉点的结果,下行为襄樊点的结果。

Notes: The first line is the results at Wuhan location, the second line is the results at Xiangfan location.

2.3 产量性状的杂种优势分析

分析两个试验点的结果发现,8 个果穗性状中,秃尖长的变异系数均最高,其次分别为穗粒重、行粒数、穗长、行数和百粒重。对 F_1 代及 F_2_3 家系的 8 个

性状的杂种优势分析表明(表 2), F_1 代的超亲优势和中亲优势都显著高于 F_2_3 家系, F_{2_3} 家系表现出十分明显的自交衰退现象。 F_1 代中亲优势强的性状依次为穗粒重、行粒数、穗长、穗粗,超亲优势强的性

状依次为穗粒重、行粒数、穗长、行数、穗粗,而出籽率和百粒重的中亲优势和超亲优势则都相对较低。 F_{2-3} 家系的中亲优势最强的性状依次是穗粒重、行粒数、穗长、行数、穗粗;超亲优势最强的依次为穗粒

重、行粒数、穗长、行数;穗粗则不表现出超亲优势,而出籽率和百粒重的中亲优势很微弱,且不表现出超亲优势。

表3 两点试验的产量性状杂种优势及变异系数分析

Table 3 Analysis of heterosis and CV in two-location test

地点 Location		穗粒重 KWE	穗长 HL	穗粗 ED	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK	秃尖长 BTL	出籽率 RKP
武汉 Wuhan	F_1 中亲优势	355.02	69.32	30.28	20.82	125.80	28.95	15.70	15.77
	F_1 超亲优势	332.59	58.95	17.49	18.18	90.67	9.21	0.00	3.43
	F_{2-3} 家系中亲优势	90.39	21.82	10.88	11.34	41.87	8.39	-12.40	6.77
	F_{2-3} 家系超亲优势	81.01	14.36	0.00	8.90	19.80	0.00	0.00	0.00
	F_{2-3} 家系变异系数	17.82	9.73	5.49	8.88	12.02	10.38	41.80	4.76
襄樊 Xiangfan	F_1 中亲优势	194.92	51.98	22.34	21.42	80.87	16.36	37.14	4.55
	F_1 超亲优势	177.25	41.34	12.42	17.14	61.85	2.87	33.33	-1.08
	F_{2-3} 家系中亲优势	45.65	15.35	5.61	8.51	32.27	-2.10	-12.38	0.75
	F_{2-3} 家系超亲优势	36.93	7.28	0.00	4.69	18.36	0.00	0.00	0.00
	F_{2-3} 家系变异系数	14.41	7.95	5.11	8.76	10.28	7.16	44.46	4.79

2.4 相关分析

为了判断某一性状与多个性状间的相互关系,对8个果穗性状在武汉、襄樊两点试验的结果,进行了简单相关和偏相关分析。前者表明(表4),玉米单株的穗粒重与其他7个果穗性状的相关程度,在武汉点依次为行粒数>穗粗>穗长>出籽率>百粒重>行数>秃尖长;在襄樊点依次为行粒数>穗

粗>出籽率>行数>穗长>秃尖长>百粒重。比较发现,在武汉、襄樊两点间,穗粒重与行粒数、穗粗、秃尖长、出籽率的相关程度十分相近,与行粒数、穗粗的相关系数均最高,与秃尖长均为相同程度的负相关;而与穗长、行数、百粒重的相关则表现出一定的差异。

表4 产量性状的简单相关分析

Table 4 Pearson correlation of eight yield traits

	穗长 HL	穗粗 ED	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK	秃尖长 BTL	出籽率 RKP
穗粒重	0.5640*	0.5691*	0.2733*	0.6884*	0.3653*	-0.2344*	0.4690*
KWE	0.3878*	0.5562*	0.4009*	0.6134*	0.1353	-0.2448*	0.4722*
穗长		-0.0504	-0.1005	0.7546*	0.0876	0.2155*	0.1216
HL		-0.2030*	-0.1405	0.6391*	0.0445	0.2036*	-0.0185
穗粗			0.5766*	0.0217	0.3023*	-0.1482	-0.0005
ED			0.6452*	-0.0506	0.1743*	-0.0700	-0.0271
行数				-0.0693	-0.2437*	-0.1438	-0.0249
RN				-0.0589	-0.2254*	-0.0621	0.0771
行粒数					-0.0750	-0.1028	0.4486*
KR					-0.2008*	-0.2202*	0.4136*
百粒重						-0.0605	0.0445
WK						0.0784	-0.0966
秃尖长							-0.3603*
BTL							-0.5321*

注: *代表0.01水平的差异显著性。上行为武汉点的结果,下行为襄樊点的结果。

Notes: * Significant at $P = 0.01$ level. The first line is the results at Wuhan location, the second line is the results at Xiangfan location.

偏相关分析表明(表5),在武汉和襄樊两点,穗长与穗粗呈极显著负相关,说明它们是一对相互制约的性状。穗长与行粒数、穗长与秃尖长在两试验点均为极显著正相关,说明果穗越长,行粒数就越多,同时秃尖长也会相对增长。穗粗与行数在武汉、襄樊两点均呈相近的极显著正相关;穗粗与百粒重相关不显著。行数与行粒数、行数与百粒重、行粒数

与百粒重在武汉、襄樊两点均呈极显著负相关,说明行数、行粒数、百粒重3个单株产量构成因子之间是相互制约的。出籽率与穗长、出籽率与穗粗,在武汉、襄樊两点呈极显著负相关。由简单相关和偏相关分析的结果可知,与豫玉22的单株产量最密切相关的是穗粗、行粒数、百粒重、出籽率、穗长5个性状,说明豫玉22属大穗大粒型品种。

表 5 产量性状的偏相关分析
Table 5 Pearson partial correlation of eight yield traits

	穗长 HL	穗粗 ED	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK	秃尖长 BTL	出籽率 RKP
穗粒重	0.3624 *	0.6163 *	0.3992 *	0.5924 *	0.6072 *	- 0.1721 *	0.4968 *
KWE	0.4277 *	0.6676 *	0.2202 *	0.4584 *	0.3279 *	- 0.0217	0.5706 *
穗长		- 0.4538 *	0.0893	0.4182 *	0.1023	0.4348 *	- 0.4415 *
HL		- 0.5345 *	0.1279	0.4293 *	0.1820 *	0.2808 *	- 0.4712 *
穗粗			0.2817 *	- 0.1387	0.0178	0.1753 *	- 0.4354 *
ED			0.3930 *	- 0.0643	0.1493	0.0077	- 0.5431 *
行数				- 0.4779 *	- 0.6803 *	- 0.1059	- 0.0954
RN				- 0.3736 *	- 0.5498 *	0.0083	0.0721
行粒数					- 0.6566 *	- 0.1471	0.0567
KR					- 0.5148 *	- 0.1868 *	0.0761
百粒重						- 0.0628	- 0.1452
WK						- 0.0293	- 0.0305
秃尖长							- 0.0628
BTL							- 0.2882 *

注: *代表 0.01 水平的差异显著性。上行为武汉点的结果,下行为襄樊点的结果。

Note: * Significant at $P = 0.01$ level. The first line is the results of Wuhan location, the second line is the results of Xiangfan location.

2.5 产量性状的主成分分析

豫玉 22 作为单秆大穗型杂交种,其穗产量构成因子可剖分为行数、行粒数和百粒重,但穗粒重的最终表现实际上是所有 7 个密切关联的穗部性状之间共同作用的结果。因此,将穗粒重作为依变量 y ,将穗长、穗粗、行数、行粒数、百粒重、秃尖长、出籽率依次作为自变量 $x_1 \sim x_7$,对 $x_1 \sim x_7$ 进行主成分分析,结果列于表 6。由表 6 可知:在武汉、襄樊两点,对主成分 贡献最大的均为行粒数,可称之为行粒数因子;穗粗和行数分别在武汉和襄樊对主成分 的贡献最大,分别称之为穗粗因子和行数因子;对主成

分 贡献最大的在武汉点为秃尖长,襄樊点为穗长,分别称之为秃尖长因子和穗长因子;百粒重在两点都对主成分 的贡献最大,可称之为百粒重因子。单株产量的 3 个构成因子中,行粒数的贡献率最高,其次为行数和百粒重。由这些分析结果可以看出,对单株产量影响最大的主要果穗性状依次是行粒数、穗粗、行数、穗长、秃尖长、百粒重。秃尖长由于变异系数高,遗传力低,所以在不同环境间的表现不稳定,但有时对单株产量表现有很大的负面影响,其表现水平与栽培条件、气候因素有密切关系。

表 6 产量性状的主成分分析
Table 6 Principle component analysis of seven yield traits

地点 Location	主成分 Principle components	穗长 HL	穗粗 ED	行数 RN	行粒数 KR	百粒重 WK	秃尖长 BTL	出籽率 RKP	方差贡献率 Proportion	累积贡献率 Cumulative
武汉 Wuhan	第一主成分 Prin	0.587	- 0.107	- 0.187	0.662	0.041	- 0.049	0.407	0.281	0.281
	第二主成分 Prin	- 0.077	0.618	0.559	0.115	0.110	- 0.444	0.279	0.242	0.522
	第三主成分 Prin	0.419	0.359	0.340	0.116	- 0.003	0.587	- 0.471	0.179	0.701
	第四主成分 Prin	0.046	0.243	- 0.369	- 0.127	0.885	0.020	- 0.052	0.171	0.872
襄樊 Xiangfan	第一主成分 Prin	0.444	- 0.305	- 0.218	0.618	- 0.18	- 0.265	0.422	0.277	0.277
	第二主成分 Prin	- 0.271	0.474	0.537	0.093	- 0.177	- 0.456	0.407	0.259	0.537
	第三主成分 Prin	0.540	0.407	0.421	0.327	- 0.020	0.430	- 0.272	0.185	0.722
	第四主成分 Prin	0.132	0.295	- 0.180	0.065	0.896	- 0.176	0.158	0.152	0.873

3 讨论

3.1 豫玉 22 产量性状的基本特点

本研究对豫玉 22 的 8 个果穗性状的分析表明,行粒数、穗粗、穗长、出籽率 4 个性状与单株产量密切相关;广义遗传力较高的依次是行数、穗长、出籽率、穗粗 4 个性状,这是豫玉 22 产量性状的基本特点。对优良自交系 Mb17、自 330、丹 340 等组配的第 3 代、第 4 代玉米杂交种产量性状的分析表明^[6,7],在穗部性状与单株产量的相关程度上,最高的多为穗长,其次为穗粗和百粒重,而在本研究中,与单株

产量的相关性最高为行粒数,其次为穗粗、穗长、出籽率,说明第 5 代高产玉米杂交种的代表——豫玉 22 的产量性状具备了一些新的特点,行粒数和穗粗对单株产量的贡献增大,穗长的影响依然很大,但略有下降。

豫玉 22 的穗粒重与穗粗、行粒数、百粒重、出籽率、穗长均紧密相关,但武汉、襄樊两点的结果存在一定的差异。这种差异可能是基因型与环境互作的结果,武汉和襄樊两个试验点的自然气候条件的不同是产生这种差异的直接原因。豫玉 22 是由河南农业大学选育的,在河南及其周边自然气候相似的

地区生长适宜。襄樊的自然气候条件与郑州十分相近,而武汉则与郑州差别较大,因此,在襄樊点的表现优于武汉点,其间的差异是符合豫玉 22 的品种适应性特点的^[8,9]。同时也充分说明,产量作为一种复杂的数量性状,其田间表现受环境因素的影响很大。

3.2 杂种优势与性状选择

本研究结果表明, F_1 代的超亲优势和中亲优势都显著高于 F_2 家系, F_2 家系表现出十分明显的自交衰退现象。在杂种优势表现方面,除秃尖长外,其他性状的中亲优势与变异系数间存在密切的相关性,可以推论,如果性状的变异系数高,就有可能产生较强的杂种优势。相同性状的杂种优势表现在武汉、襄樊两点间存在一定程度的差异,特别是穗粒重,说明性状的杂种优势表现既由基因型控制,也受到环境互作效应影响。一般而言,性状的广义遗传力越高,越利于性状的早代选择,但本研究发现(结果未列出),性状的杂种优势强弱与性状的广义遗传力高低没有显著的相关性。要利用好玉米的杂种优势,对遗传力高的性状进行早代选择和对遗传力低的性状进行晚代选择都要重视,不可偏废。

本研究还发现,出籽率、行数、百粒重 3 个性状的广义遗传力较高,且与玉米的单株产量高度相关,但在 F_1 代和 F_2 家系中的杂种优势却很低。亲本的特点直接决定了杂交种的表现,因此,在组配玉米杂交种时,应该对亲本在这些性状上的优劣加以重视,使其不成为杂种优势潜力的限制因子。在玉米育种过程中,加强对这些性状在自交系选育早代的选择是十分有效和有意义的,这些性状应该成为自交系早代选择的重要指标。自交系选育的策略应该在首先稳定出籽率、行数、百粒重的基础上,再加强对穗粗、穗长、行粒数的选择。

3.3 高产育种的策略

本研究再次验证,行数、行粒数、百粒重两两之间均呈极显著负相关,说明单株产量的构成因子之间是相互制约的。在玉米高产育种过程中,应该协调好三者之间的关系,以获得最大联合效应。穗长和穗粗二者也是一对相互制约的性状,要组配出高产玉米杂交种,处理好穗长与穗粗间的矛盾,也是重要环节之一。豫玉 22 的两个亲本间在穗部性状上表现出很强的性状的优劣互补,使杂交种充分集中了双亲的优点,很好地协调了性状间的矛盾关系,是该品种选育成功的重要原因。

玉米的群体产量由穗数、穗粒数和百粒重 3 个因子构成,提高玉米的群体产量可以通过提高这 3

个构成因子的水平得以实现,因此,依据对这 3 个因子进行选择强度,就产生了不同的育种策略。第 4 代玉米杂交种的代表“掖单 13”是紧凑型玉米杂交种,从 1995 - 1999 年连续 5 年全国推广面积积第 1 位,其突出的特点是耐密植,在穗粒数和百粒重达到一定程度的前提下,通过大幅提高单位面积穗数实现高产。豫玉 22 和农大 108、农大 3138 一样,作为第 5 代杂交种的代表,都属于单秆大穗型品种,它们的优势都集中反映在穗部性状上^[8,9]。根据 1994 - 1998 年期间的区域试验结果,豫玉 22 比掖单 13 平均增产 8.2% ~ 17.5%,表现出很强的优势;比较两个品种的特点发现^[8,9],豫玉 22 在穗长、穗粗、行数和百粒重 4 个性状上优于掖单 13,另一方面,掖单 13 的株高、穗位高都低于豫玉 22,在耐密性和抗倒性方面优于豫玉 22。众所周知,掖单系列杂交种主要通过玉米株型的改良,选择紧凑株型,提高品种的耐密性,达到高产的目的。现在,以农大 108 和豫玉 22 为代表的第 5 代玉米杂交种,注重在适当密植的前提下,加强对穗部性状的选择,追求大穗大粒,实现高产。这种大穗型育种策略,随着第 5 代玉米杂交种的全面推广,必将对今后的玉米高产育种产生重要影响。

References

- [1] Liu J-L (刘纪麟). Maize Breeding (2nd edition) [玉米育种学 (第 2 版)]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002. 141 - 195 (in Chinese)
- [2] Duvick D N, Cassmain K G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the Northern-central United States. *Crop Sci*, 1999, **39**: 1 622 - 1 630
- [3] Dai J-R (戴景瑞). Reviews and prospects of maize genetics and breeding in China. Prospects of Maize Genetics and Breeding for 21st Century (21 世纪玉米遗传育种展望). Beijing: China Agricultural Sci-tech Press, 2002. 1 - 7 (in Chinese)
- [4] Sun S-X (孙世贤). Maize hybrids have been updated during the ninth five-year plan. *Seed Science* (种子科技), 2000, **18** (6): 338 - 340 (in Chinese)
- [5] Yu J-L (余家林). Multiple Statistics in Agricultural Test (农业多元试验统计). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. 57 - 67 (in Chinese)
- [6] Guo P-Z (郭平仲). Quantitative Genetics Analysis (数量遗传分析). Beijing: Capital Normal University Press, 1993. 138 - 147 (in Chinese)
- [7] Tie S-G (铁双贵), Zheng YL (郑用琏), Liu D-L (刘丁良), Xu S-Z (徐尚忠), Li J-S (李建生), Liu J-L (刘纪麟). Research on combining ability effect and genetic potential of maize synthesized population. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2000, **26** (1): 28 - 34
- [8] Li X-H (李新海), Xu S-Z (徐尚忠), Li J-S (李建生), Liu J-L (刘纪麟). Heterosis among CIMMYT populations and Chinese key inbred lines in maize. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, **27** (5): 575 - 581
- [9] Liu Z-H (刘宗华), Chen W-C (陈伟程), Tang J-H (汤继华), Hu Y-M (胡彦民), Ji H-Q (季洪强), Huang X-L (黄西林), Ji L-Y (季良越), Luo F-H (罗福和). Hybrid Yuyu 22 and its utilization in large areas. *Journal of Maize Science* (玉米科学), 2002, **10** (2): 64 - 68