

玉米雄性不育单交种再杂交当代杂种优势效应研究

季良越¹, 胡彦民¹, 李永亮², 黄素香², 季洪强¹

(¹河南农业大学农学院, 郑州 450002; ²河南省焦作市科委, 焦作 454002)

摘要: 对 5 个 ES 胞质雄性不育杂交种与 4 个高油杂交种、5 个普通杂交种再杂交籽粒的含油量、产量、千粒重和籽粒体积研究表明: (1) 不育杂交种 × 高油杂交种, 当代籽粒含油量比母本平均提高 1.6%, 高油和低油杂交种的油分基因花粉直感效应值均为 0.30; (2) 不育杂交种比同型可育杂交种的产量和千粒重平均提高 10.1% 和 5.8%, 表现出显著的细胞质效应; (3) 不育杂交种 × 高油杂交种的产量与母本持平, 千粒重下降 7.3%; 与父本相比, 产量、千粒重和籽粒体积均有较大优势; (4) 不育杂交种 × 高油杂交种的籽粒灌浆速度、灌浆持续天数和 IAA 含量均表现为偏向母本的中亲优势, 这可能是单交种再杂交籽粒含油量、产量、千粒重和籽粒体积表现为中亲优势的部分原因。

关键词: 胞质雄性不育; 再杂交; 高油玉米; 花粉直感; 杂种优势

Study on Heterosis Effect of Re-crossed on Male-sterile Single-hybrids of Corn

Ji Liang-yue¹, HU Yan-min¹, LI Yong-liang², HUANG Su-xiang², Ji Hong-qiang¹

(¹ College of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

² Science Committee of Jiaozuo, Henan Province, Jiaozuo 454002)

Abstract: Re-crossing was conducted between five Es cytoplasm male-sterile hybrids and four high-oil hybrids, five normal hybrids. The oil content, yield, 1000-kernel weight and kernel size were estimated. Results were as follows: (1) The average kernel oil content in male-sterile hybrid × high-oil hybrid was 1.6% higher than that of female parent. The xenia effect value of oil genes was 0.30. (2) The yield and 1000-kernel weight of male-sterile hybrids were 10.1% and 5.8% higher than that of corresponding fertile hybrids respectively, showing significant cytoplasmic effect. (3) The yield in male-sterile hybrid × high-oil hybrid was similar to that of the female parent, but its 1000-kernel weight was 7.3% lower than that of female parent. Comparing with high-oil male parent, grain yield, 1000-kernel weight and kernel size in male-sterile hybrid × high-oil hybrid were higher. (4) Seed-filling rate, the days of seed-filling and IAA content in male-sterile hybrid × high-oil hybrid showed average heterosis tending female parent, and this was perhaps one of the reasons resulting in the average heterosis tending female parent for kernel oil content, yield, 1000-kernel weight and kernel size.

Key words: Cytoplasmic male-sterile; Re-cross; High-oil hybrid; Xenia; Heterosis

高油玉米含油量高, 并富含蛋白质、赖氨酸和类胡萝卜素, 具有较高的营养价值, 但高油玉米因产量低于普通玉米, 推广受到制约。宋同明^[1] 1998 年提出将高油玉米与胞质雄性不育低油玉米相间种植的高产、高油玉米生产模式, 该模式能集成利用油分基

因的花粉直感效应, 雄花不育胞质效应和再杂交优势效应, 为发展高油玉米指出了方向。

Leng^[2]、Curtis^[3]均注意到玉米油分基因存在一种类似质量性状的花粉直感现象。宋同明等^[1, 4, 5]根据高油与低油自交系、高油与低油杂交种的正反

收稿日期: 2001-08-21

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(964012500)

作者简介: 季良越(1943-), 女, 上海人, 教授, 主要从事玉米遗传育种研究。Tel: 0371-3924983; E-mail: lyji2000@263.net

交试验,估算油分基因的花粉直感效应值为 0.35。陈伟程^[6]、沈菊英^[7]、刘宗华^[8]均报道胞质不育杂交种比同型可育杂交种增产,增产幅度因不同品种而异,胡彦民^[9]报道 ES 不育胞质杂交种与同型可育杂交种产量无显著差异。种植玉米单交种利用了 F₁ 代植株的杂种优势,却未能克服大面积种植同一单交种因近亲交配(相当于自交)引起的 F₂ 代种胚发育的衰退作用。Kannenber^[10]等(1972)用籽粒体积相似的杂交种作研究,杂交当代粒重没有优势,Pinter(1987)^[11]用籽粒体积差异显著的杂交种作研究,杂交当代粒重有优势,尤其是小粒(♀)×大粒(♂)的杂交类型当代粒重有较大增加。赵文耀(1981)^[12]、史振声(1987)^[13]、周正卿(1988)^[14]均观察到单交种杂交粒比自交粒粒重增加,Hoekstra(1985)^[15]和史振声(1989)^[16]报道单交种混种能增产。Lanbert(1998)^[17]报道高油杂交种作父本再杂交能提高籽粒产量和含油量。宋同明(1998)^[1]和段孝民(2000)^[5]报道普通杂交种和高油杂交种正反交,当代粒重均增加。上述 3 种效应的分别研究为高产、高油玉米生产模式提供了依据。本试验通过胞质不育杂交种与高油、低油杂交种再杂交对当代子粒含油量、产量、千粒重和籽粒体积的影响,同时研究 3 种效应,并探索再杂交优势的生理机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

5 个母本杂交种为郑单 14、烟单 14、农大 60、豫玉 22 和 5K,均为生产上大面积应用的杂交种,各有正常胞质可育型和 ES 胞质不育型两种。父本杂交种有高油 115(GY115)、高油 2021(GY2012)、高油 1298(GY1298)、高油 1223(GY1223)和上述 5 个普通低油杂交种。高油杂交种由中国农业大学提供。

1.2 试验方法

试验于 1999 年在郑州沟造乡农科所进行,采用裂区设计,上述 5 个母本杂交种为主区,上述 9 个高油和低油父本杂交种为副区,双行区,3 次重复。每次重复每个母本种植 18 行不育型杂交种,分别与 9 个父本杂交,另有 2 行同型可育杂交种自交作对比。小区行长 4m,行距 66.7cm,株距 26.7cm,面积 5.34m²。

各小区吐丝前套袋,人工重复授粉 3 次,收获后测定全籽粒含油量、产量、千粒重和籽粒体积。含油量用核磁共振仪 minispicPC20 测定,籽粒体积用排水法测定。

另设试验测定籽粒灌浆速度和吲哚乙酸(IAA)含量,4 个处理为可育豫玉 22 自交,ES 胞质不育豫玉 22×可育豫玉 22(以下简称不育豫玉 22 自交),ES 不育豫玉 22×GY115 和高油 115 自交。完全随机区组设计,3 次重复,单行区。每个小区随机确定 10 个穗,授粉后第 4 天开始取样,5d 取样 1 次,直至灌浆结束。每次取穗中部 20 粒,取样后封好苞叶。每个材料 3 次重复共取 600 粒,其中 300 粒烘干,测定干重,用于分析灌浆速度,另 300 粒用作 IAA 测定。IAA 含量采用间接酶联免疫法(ELISA)测定^[18]。

2 结果与分析

2.1 方差分析

方差分析结果(资料略)表明,所测性状母本间均达到极显著差异水平,父本间产量达显著差异水平,含油量、千粒重和籽粒体积均达到极显著差异水平。含油量、千粒重的母本×父本互作达极显著差异水平,籽粒体积差异显著,产量的母本×父本互作差异不显著,宜作进一步分析。

2.2 杂交种再杂交的籽粒含油量

5 个 ES 胞质不育杂交种与高油、低油杂交种再杂交,当代籽粒含油量列于表 1。母本间比较,郑单 14 最高,平均为 4.92%,豫玉 22 和烟单 14 次之,再其次为 5K,农大 60 作母本含油量最低,它们之间达极显著差异水平,这与 5 个母本本身含油量高低是一致的。父本间比较,4 个高油杂交种作父本杂交当代含油量极显著高于 5 个低油父本杂交。4 个高油父本比较,GY1298、GY115 和 GY2012 作父本杂交,含油量极显著高于 GY1223,这与 4 个高油杂交种本身籽粒含油量高低也是一致的。以不育杂交种授以同型可育杂交种花粉(以下简称不育杂交种自交)的平均含油量为对照,GY115 和 GY1298 作父本含油量提高 1.73%,GY2012 作父本提高 1.67%,GY1223 作父本提高 1.25%。5 个低油父本间比较,郑单 14 作父本含油量显著或极显著高于其它父本杂交。

含油量高的搭配组合有郑单 14×GY115、郑单 14×GY1298、郑单 14×GY2012 和豫玉 22×GY1298,而农大 60 作母本的组合含油量最低。

上述结果表明,不育杂交种与高油父本再杂交,籽粒含油量表现为偏向母本的中亲优势。用最小二乘法估算出再杂交籽粒含油量与两个亲本杂交种的关系为:不育杂交种×高油杂交种的含油量 =

$0.70P_1 + 0.30P_2$, 不育杂交种 × 普通杂交种的含油量 $= 0.69P_1 + 0.31P_2$, 即不论父本为高油还是低油杂交

种, 父本油分基因的花粉直感效应值均为 0.30 左右。

表 1 杂交种再杂交籽粒含油量(%)¹⁾

Table 1 Kernel oil content of re-crossed hybrid

♀	♂									
	GY 2012	GY 115	GY 1298	GY 1223	郑单 14 ZDI 4	烟单 14 YDI 4	豫玉 22 YY22	5K	农大 60 ND60	平均 Average
郑单 14 Zhengdan 14	5.95	6.38	6.20	5.45	4.24	4.24	3.90	3.93	4.01	4.92
烟单 14 Yangdan 14	5.33	5.82	5.28	5.05	4.26	3.81	4.03	3.77	3.53	4.51
豫玉 22 Yuyu 22	5.49	5.20	5.90	5.12	4.21	4.00	3.86	3.92	3.91	4.60
5K	5.52	5.50	5.60	4.78	3.66	3.47	3.50	3.65	3.33	4.32
农大 60 Nongda 60	4.62	4.57	4.23	4.37	3.48	3.22	3.06	2.90	3.01	3.71
平均 Average	5.38	5.44	5.44	4.96	3.97	3.75	3.67	3.63	3.55	
与不育母本自交之差	1.67	1.73	1.73	1.25						

Deviation from selfed female parent

¹⁾ 父本间最小差异显著标准 $LSD_{0.05} = 0.215, LSD_{0.01} = 0.285$; 母本间最小差异显著标准 $LSD_{0.05} = 0.166, LSD_{0.01} = 0.242$

Least significant difference among male parents $LSD_{0.05} = 0.215, LSD_{0.01} = 0.285$; Least significant difference among female parents $LSD_{0.05} = 0.166, LSD_{0.01} = 0.242$

2.3 杂交种再杂交的细胞质效应和杂种优势效应
将 5 个不育杂交种和同型可育杂交种自交, 不育杂交种作母本与 4 个高油、4 个低油杂交种再杂

交当代的平均含油量、产量、千粒重和籽粒体积列于表 2, 据表 2 数据进行两个配对小样本平均数差异显著性测验, 结果列于表 3。

表 2 杂交种自交和再杂交的籽粒含油量、产量、千粒重和籽粒体积

Table 2 The oil content, grain yield, 1000-kernel weight and kernel size of selfed and re-crossed hybrids

母本 Female parent	小区产量 Yield per plot (kg/5.34m ²)					千粒重 1000-kernel weight (g)				
	不育 CMS	可育 N	不育 × 高油 CMS × GY	不育 × 普通 CMS × LY	高油 GY	不育 CMS	可育 N	不育 × 高油 CMS × GY	不育 × 普通 CMS × LY	高油 GY
	郑单 14 Zhengdan 14	4.95	4.49	5.18	5.18		385.3	342.7	372.3	384.4
烟单 14 Yangdan 14	5.17	4.61	4.57	4.76		336.0	315.3	329.3	361.9	
农大 60 Nongda 60	5.34	4.69	5.14	5.25		355.7	388.7	304.9	361.0	
豫玉 22 Yuyu 22	5.98	5.53	6.1	6.25		406.3	388.7	364.8	396.4	
5K	5.89	5.52	5.74	5.95		392.3	387.3	367.5	389.7	
平均 Average	5.47	4.97	5.35	5.48	4.80	375.1	354.5	347.8	378.7	323.25

母本 Female parent	籽粒体积 Kernel size (ml/200 kernel)					含油量 Oil content (%)				
	不育 CMS	可育 N	不育 × 高油 CMS × GY	不育 × 普通 CMS × LY	高油 GY	不育 CMS	可育 N	不育 × 高油 CMS × GY	不育 × 普通 CMS × LY	高油 GY
	郑单 14 Zhengdan 14	88.3	77.3	84.9	86.7		4.24	4.50	6.00	4.02
烟单 14 Yangdan 14	73.0	70.3	73.2	78.7		3.80	3.65	5.36	3.9	
农大 60 Nongda 60	79.7	77.0	68.8	81.8		3.01	2.95	4.45	3.17	
豫玉 22 Yuyu 22	91.0	85.7	83.3	88.4		3.86	3.86	5.43	4.01	
5K	81.3	83.0	78.3	82.4		3.65	3.42	5.35	3.49	
平均 Average	82.7	78.7	77.7	83.6	71.5	3.71	3.68	5.32	3.72	8.44

2.3.1 细胞质效应 表 2、表 3 数据表明, ES 胞质不育杂交种和同型可育杂交种相比, 产量达极显著差异, 千粒重达显著差异水平, 含油量和籽粒体积差异不显著, 但 t 均为正值。两者的穗长, 行粒数, 穗

粗、穗行数差异也不显著(资料略)。ES 胞质不育杂交种比同型可育杂交种的产量和千粒重分别提高 10.06% 和 5.8%, 表现出明显的细胞质效应。

2.3.2 杂种优势效应 不育杂交种 × 低油杂交种

与不育母本自交相比,4个性状差异均不显著,没有表现明显的杂种优势。不育杂交种×高油杂交种与不育母本自交相比,含油量差异极显著,t值为28.25,千粒重差异显著,t为负值,产量和籽粒体积差异不显著,表明不育杂交种×高油杂交种产量与不育母本自交持平,含油量是母本的143.4%(籽粒含油量提高1.61%),千粒重降低7.3%。不育杂交种×高油与可育母本相比较,不仅含油量提高极显著,小区产量t值为2.92,也达到了显著差异水平,比可育母本提高7.6%。不育杂交种×高油与高油父本相比,产量、千粒重和籽粒体积具明显的优势

(表2)

上述结果说明不育杂交种授以高油杂交种花粉,既利用了细胞质效应提高产量和千粒重,又利用了油分基因的花粉直感效应提高含油量。高油杂交种作父本再杂交与低油杂交种作父本再杂交相比,含油量差异极显著,t值为11.85,产量、千粒重和籽粒体积差异显著,且t均为负值,显然,高油杂交种作父本比低油杂交种作父本再杂交的产量、千粒重和籽粒体积均低,这与高油杂交种本身的产量、千粒重和籽粒体积较低有关。

表3 平均数差异显著性检验结果

Table 3 The test results of significance for mean difference

效应 Effect	t 值 t value			
	含油量 Oil content	小区产量 Yield per plot	千粒重 1000-kernel weight	籽粒体积 Kernel size
不育杂交种 - 同型可育杂交种 CMS - corresponding N hybrid	1.1	10.1 ^{**}	3.37 [*]	1.92
不育杂交种×高油 - 不育母本 CMS×GY - CMS female parent	28.25 ^{**}	-0.83	-3.28 [*]	-2.57
不育杂交种×低油 - 不育母本 CMS×LY - CMS female parent	0.123	0.28	-0.59	0.61
不育杂交种×高油 - 不育杂交种×低油 CMS×GY - CMS×LY	11.85 ^{**}	-3.49 [*]	-4.23 [*]	-3.13 [*]
不育杂交种×高油 - 可育母本 CMS×GY - N female parent	20.5 ^{**}	2.92 [*]	-0.55	-0.36
不育杂交种×低油 - 可育母本 CMS×LY - N female parent	0.30	4.86 ^{**}	2.74	2.67

$t_{0.05} = 2.78$ $t_{0.01} = 4.60$

2.4 灌浆速度

4个处理籽粒发育各个时期的干重列于表4,对表中数据拟合成Logistic生长曲线得图。从中可以看出,授粉后4~19d,不育豫玉22×GY115干重最高,但处理间差别不大;授粉后19~29d,干重积累大小依次为:不育豫玉22自交,可育豫玉22自交>不育豫玉22×GY115>GY115自交;授粉后29~

49d,干重积累大小依次为:不育豫玉22自交>不育豫玉22×GY115>可育豫玉22自交>GY115自交。至籽粒黑层形成为止,不育豫玉22自交的灌浆期为50d,可育豫玉22自交48d,不育豫玉22×GY115 48d,GY115自交43d。由此可见,不育豫玉22×GY115杂交当代的灌浆速度及灌浆时间均表现出中亲优势,更偏向于母本不育豫玉22自交。

表4 籽粒发育不同时期的干重

Table 4 Dry weight in various seedfilling stages(g)

处理 Treatment	授粉后天数 Days after pollination(d)							
	4	9	14	19	24	29	39	49
不育豫玉22×GY115 CMS Yuyu22×GY115	0.55	1.12	3.03	8.49	13.66	23.10	31.70	33.01
不育豫玉22自交 CMS Yuyu22	0.59	1.26	3.08	7.95	14.09	23.33	32.10	34.20
可育豫玉22自交 N Yuyu22	0.61	1.38	3.06	8.33	15.40	23.84	31.30	33.05
GY115自交 GY115	0.29	1.06	3.21	7.97	16.01	20.90	25.50	28.30

2.5 籽粒 IAA 含量

IAA 含量测定结果列表于 5, 4 个处理 IAA 含量在籽粒形成前期均呈上升趋势, 灌浆 20d 以后都逐渐减少。比较 4 个处理, 籽粒形成的各个时期不育豫玉 22 自交的 IAA 含量最高, GY115 自交的 IAA 含量最低。不育豫玉 22 自交比可育豫玉 22 自交籽粒中 IAA 积累较多可能是细胞质优势的原因之一。不育豫玉 22 × GY115 当代籽粒 IAA 含量具有偏向母本的中亲优势, 与灌浆速度、灌浆时期的趋势相同。

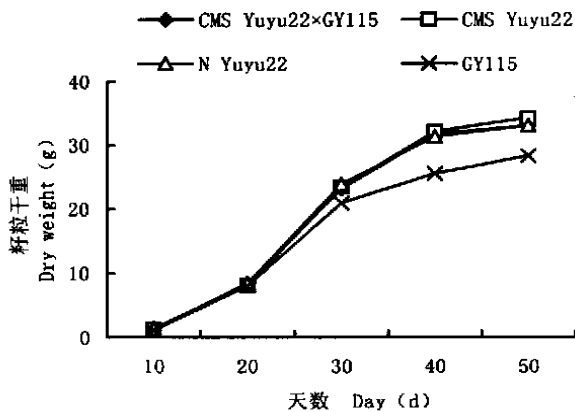


图 灌浆的 Logistic 曲线

Fig. Logistic curves of seed filling

3 讨论

3.1 本试验对杂交种再杂交当代效应分析得出如

表 5 籽粒发育各个时期的 IAA 含量

Table 5 IAA content in various seed filling stages (ng/gFW)

处理 Treatment	授粉后天数 Days after pollination (d)				
	9	14	19	24	39
不育豫玉 22 × GY115 CMS Yuyu22 × GY115	532	669	713	511	217
可育豫玉 22 自交 N Yuyu22	523	665	701	506	220
不育豫玉 22 自交 CMS Yuyu22	563	705	731	518	254
GY115 自交 GY115	441	580	609	378	203

3.3 高油杂交种单一种植因产量低于普通杂交种, 较难在生产上推广, 本试验再次证明不育杂交种与高油杂交种相间种植是一种高产、高油的生产模式。这一生产模式不仅能显著提高商品玉米含油量, 而且产量比单一种植高油杂交种提高约 11.5%, 比单一种植普通可育杂交种提高 7.6%。而且, 这一种植方式在生产上是可行的, 参考制种田亲本的种植方式, 普通不育杂交种与高油杂交种以 4◇1 行比相间种植, 收获的商品玉米 4/5 是普通杂交种与高油

下结果:(1) 胞质雄性不育杂交种节省了花粉发育所消耗的能量, 籽粒中 IAA 含量较高, 有利于养分向籽粒运输, 导致产量和千粒重比同型可育杂交种分别提高 10.1% 和 5.8%, 表现明显的细胞质效应。(2) 4 个高油品种作父本杂交, 当代含油量平均比不育母本自交提高 1.61%, 高油性状的花粉直感效应值为 0.30, 低于宋同明^[1]报道的 0.35。(3) 不育杂交种与高油父本再杂交产量与不育母本自交持平, 但千粒重降低。(4) 灌浆速度、灌浆持续时间和籽粒发育过程中 IAA 含量, 不育母本均为最高, 高油父本最低, 不育杂交种 × 高油表现为偏向母本的中亲优势, 这一现象部分解释了不育胞质杂交种产量高于可育杂交种以及不育杂交种 × 高油的产量, 千粒重、籽粒体积和含油量表现为中亲优势的原因。

3.2 本试验胞质不育杂交种 × 高油杂交种比不育母本自交千粒重下降; 不育杂交种 × 高油和不育杂交种 × 低油, 当代产量均和不育母本自交相似, 没有明显优势, 这一结果与宋同明^[1]、段孝民^[5]的报道不同。本试验中不育杂交种自交是指不育杂交种授以同型可育杂交种花粉, 因细胞质差异表现出一定的优势, 因此不育杂交种本身产量和千粒重较高, 掩盖了再杂交的优势。若以可育杂交种作对照, 不育杂交种 × 高油和不育杂交种 × 低油的产量都比母本可育杂交种高, 分别达显著和极显著差异水平(表 3)。

杂交种杂交得到的, 1/5 是高油玉米。按照普通不育杂交种与高油杂交种再杂交, 含油量比同型可育杂交种提高 1.64%, 产量比同型可育杂交种提高 7.6%, 高油杂交种比普通杂交种减产 3.4%、含油量提高 4.76% 的本试验结果, 以及母本与父本行比 4◇1、产量 7500kg/ha 计算, 这一种植方式比传统种植方式每公顷可增收玉米 405kg、玉米油 165kg。

3.4 本试验从 20 个不育杂交种 × 高油组合中筛选出豫玉 22 × GY1298、豫玉 22 × GY2012、郑单 14 ×

GY115 和郑单 14×GY1298 高产高油搭配组合,它们油分含量高,产量和千粒重也较高,亲本杂交种的生育期相当,在生产上可以应用。进一步需作大面积生产试验,使这一生产模式发挥更大效益。

致谢:本试验籽粒含油量测定得到中国农业大学宋同明、陈绍江的帮助,在此一并致谢。

References:

- [1] Song T M, et al. Utilizing cytoplasmic male sterility, single hybrid re-cross heterosis and xenia effects to produce high yield and high oil commercial corn. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1998: 216 - 221. (in Chinese)
宋同明,等. 雄花不育, 单交种再杂交, 花粉直感与高产、优质高油玉米生产. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 216 - 221.
- [2] Leng E R, et al. Direct effect of pollen parent on protein content of the corn kernel. Cereal Chem. 1951, 28: 479 - 482.
- [3] Curtis J J, et al. Effect of pollen parent on oil content of the corn kernel. Agron. 1956, 48: 551 - 555.
- [4] Song T M, et al. The genetic effect of oil genes to kernel crossed reciprocally between high and low oil corn. Journal of Beijing Agricultural University, 1991, 17(1): 15 - 22. (in Chinese)
宋同明,等. 玉米含油量基因对高油与低油玉米互交当代籽粒的遗传效应. 北京农业大学学报, 1991, 17(1): 15 - 22.
- [5] Duan M X, et al. Utilizing genetic markers mixing pollen to estimate heterosis value and xenia effect value of high oil corn. Journal of china Agricultural University, 2000, 5(3): 45 - 50. (in Chinese)
段明孝,等. 用遗传标记混合花粉估计玉米杂交当代优势和油分花粉直感效应. 中国农业大学学报, 2000, 5(3): 45 - 50.
- [6] Chen W C, et al. Some genetic aspects of the C-type cytoplasmic male-sterility in maize and its use in breeding. Acta Agronomica Sinica, 1979, 5(4): 21 - 28. (in Chinese)
陈伟程,等. 玉米 C 型胞质雄花不育的遗传及其在生产中的利用. 作物学报, 1979, 5(4): 21 - 28.
- [7] Seng J Y, et al. Study on breeding and utilizing of male-sterile corn. Acta Agronomica Sinica, 1990, 16(2): 168 - 175. (in Chinese)
沈菊英,等. 玉米雄性不育的转育及应用研究. 作物学报, 1990, 16(2): 168 - 175.
- [8] Liu Z H, et al. Study on yield and cytoplasmic effect of male-sterile corn hybrids. Journal of Henan Agricultural University, 1997, 1(31): 1 - 5. (in Chinese)
刘宗华,等. 玉米不育胞质杂交种产量及其胞质效应的研究. 河南农业大学学报, 1997, 1(31): 1 - 5.
- [9] Hu Y M, et al. The feasibility of utilizing Es-type male-sterile cytoplasm in corn improduction. Journal of Henan Agricultural University, 1999, 1(33): 1 - 3. (in Chinese)
胡彦民,等. 玉米 ES 型雄性不育胞质在生产上应用的可行性研究. 河南农业大学学报, 1999, 1(33): 1 - 3.
- [10] Kannenberg L W. Yielding ability and competitive influence in hybrid mixture of maize. Crop Sci. 1972, 12: 274 - 277.
- [11] Pinter L. Effect of mataxenia on the grain weight of the corn (*Zea mays* L.). Maydica, 1987, XXXII: 81 - 88.
- [12] Zhao W Y. Study on heterosis from fertilization to kernel mature in corn. Liaoning Agricultural Science, 1981, 6: 48 - 51. (in Chinese)
赵文耀. 关于玉米从受精到籽粒成熟有无杂种优势的探讨. 辽宁农业科学, 1981, 6: 48 - 51.
- [13] Shi Z S. Heterosis of 100-kernel weight and kernel size is popularity in mixplanting various corn hybrids. Liaoning Agricultural Science, 1987, (4): 31 - 32. (in Chinese)
史振声. 百粒重、体积优势在不同类型杂交种中有普遍性. 辽宁农业科学, 1987, (4): 31 - 32.
- [14] Zhou Z Q. Increase corn single - hybrid yield utilizing heterosis from fertilization to kernel mature. Journal of Hebei Agricultural Teacher Training, 1988, 2(3): 6 - 11. (in Chinese)
周正卿. 利用玉米从受精至籽粒成熟阶段杂种优势, 增加单交产量潜力. 河北农师学报, 1988, 2(3): 6 - 11.
- [15] Hoekstra G J, et al. Grain yield comparison of pure stands and equal proportion mixtures for seven hybrids of maize. Can. J. Plant Sci. 1985, 65: 471 - 479.
- [16] Shi Z S. Yield and main characters comparison between mix-planting multi-hybrids and single planting. Seed, 1989, 39(1): 35 - 38. (in Chinese)
史振声. 多个玉米单交种等量混播与单种的产量比较和主要性状分析. 种子, 1989, 39(1): 35 - 38.
- [17] Lanbert R J, et al. A high oil pollination enhancement of kernel oil and effects on grain yields of maize hybrids. Agro. J. 1998, 90: 211 - 215.
- [18] He Z P. Text-manual of Chemical Manipulatcon in Crops. Beijing: Peking Agricultural University Press, 1995. (in Chinese)
何钟佩主编. 农作物化学控制实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1995.