

## 普通玉米高油化三利用技术生产效果研究

陈绍江<sup>1</sup> 解贵方<sup>2</sup> 王俊忠<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 国家玉米改良中心,北京 100094; 2. 河南省农业技术推广总站,郑州 450002)

**摘要** 试验以不育豫玉 22 ×高油 115、不育农大 3138 ×高油 115、不育农大 108 ×高油 115 和不育豫玉 22 ×高油 202 共 4 个配套组合为材料对普通玉米高油化三利用技术的生产效果进行了研究。不育普通玉米和高油授粉者种植行比为 4:2。试验得到了以下结果:高油化不育普通玉米与同型普通玉米相比,4 个组合的穗行数均有增加,平均增加 0.34 行;千粒重、出籽率等性状则基本与普通玉米相同。4 个组合的产量表现为 3 增产 1 减产。这证实了三利用模式中,不育普通玉米高油化以后一般表现增产。另外,4 个组合的蛋白质、油分、赖氨酸含量均有增加,分别比同型普通玉米增加 4.14%、32.08%、4.59%,淀粉含量减少 1.6%。相关分析表明,高油化普通玉米性状的相关性与同型可育杂交种明显不同,个别性状如蛋白质和油分之间的相关性质也发生了改变。在同型可育杂交种上二者的相关性为极显著负相关,而在高油化的普通玉米上表现为极显著正相关。从整个三利用模式综合分析,4 个组合 3 减 1 增,但幅度很小,与同型普通玉米没有明显差异;而品质性状的单位面积产量特别是油分的产量明显增加,平均增加 41.33%。这表明普通玉米高油化三利用模式可以通过配套杂交种的选择,在不减产甚至增产的情况下明显改善普通玉米的籽粒品质,实现玉米生产的优质化。

**关键词** 高油玉米;三利用模式;生产效果;花粉直感

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2003)05-0043-06

文献标识码 A

## Practical effects by utilizing TEU model to produce high oil grain with normal hybrid

Chen Shaojiang<sup>1</sup>, Xie Guifang<sup>2</sup>, Wang Junzhong<sup>2</sup>

(1. National Maize Improvement Center of China, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Agricultural Technique Extension Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** TEU (three effects utilization) model is an important measure to produce high oil grain with normal corn hybrid by oil xenia effect. To study its effects in maize production, 4 pairs of CMS normal hybrids and high oil pollinator, namely Cms-Yuyu22 ×HO115 (1), Cms-ND3138 ×HO115 (2), Cms-ND108 ×HO115 (3) and Cms-Yuyu22 ×HO202 (4), were used with large plot in the experiment. The row ratio of CMS normal hybrids and pollinator was 4:2. Results showed that both yield and quality traits of CMS hybrids changed in some extent as compared with those of their regular corresponding one. For yield traits, ear row increased 0.34 or 2.46% in percentage, no much difference was found in the number of kernel per row, 1 000 grain weight and grain rate. Grain yield increases were found in the parent of cross 1 (2.22%), 2 (0.52%) and 4 (1.38%), and yield decreased in cross 3 (3.16%). For quality traits, the content of grain protein, oil, lysine and starch increased 4.14%, 32.08%, 4.59% and -1.6%. To count the CMS normal hybrid and pollinator together, no obvious yield difference were found in the 4 crosses, yet the yield of their quality traits especially oil yield per hectare increased 41.33% in average. The results confirmed that TEU model could be a new effective way in high oil and high quality corn production.

**Key words** high oil corn; TEU model; practical effect; xenia

普通玉米高油化三利用技术是普通玉米实现优质化的重要途径之一,该技术将杂交当代的 3 种遗

传效应即油分的花粉直感效应<sup>[1]</sup>,杂交当代籽粒的优势效应<sup>[2,3]</sup>以及不育胞质的增产效应集成并应用

收稿日期:2003-09-10

基金项目:河南省农业厅资助项目;国家自然科学基金资助项目(30170564);国家高技术研究发展计划资助项目(2001AA241055)

作者简介:陈绍江,博士,教授,主要从事玉米遗传育种研究

于优质玉米生产,在不降低产量的条件下,将普通玉米转变为高油玉米,从而实现玉米生产的优质化。所谓“三利用”技术实际上就是指这三种遗传效应的综合利用(Three Effects Utilization, TEU)。自宋同明教授提出这项技术以来<sup>[4]</sup>,我们通过一系列的遗传设计和试验在理论上证明了该技术的科学性,同时也在春播区验证了普通玉米高油化三利用技术模式的实际效果。本文将报道黄淮海播区三利用技术试验效果。

## 1 材料和方法

试验选用普通玉米杂交种农大 3138、农大 108 和豫玉 22 的胞质不育种为种子亲本,以高油杂交种农大高油 115 和农大高油 202 为高油授粉者。高油 115 和高油 202 籽粒平均含油量分别为 7.81% 和 7.95%。根据各杂交种的生育期长短,将上述不育普通杂交种和高油杂交种组成 4 个组合,即不育豫玉 22 × 高油 115(1)、不育农大 3138 × 高油 115(2)、不育农大 108 × 高油 115(3)、不育豫玉 22 × 高油 202(4)。同时设 3 个普通玉米的可育型杂交种为对照。

试验按大区种植,各组合与对照相邻种植,设计种植密度为 45 000 株·hm<sup>-2</sup>,每个组合种植面积为 0.067 hm<sup>2</sup>,试验在河南省 10 个县市按统一试验要求进行。种子亲本与高油授粉者种植比例为 4:2。为保证数据的准确性,各组合及其对照在散粉期选择 15 株人工套袋授粉,以供品质分析使用。田间管理同大田。产量测算按 5 点取样,每点连续取 10 穗用于考种。考种性状包括穗长、行粒数、穗行数、出籽率、千粒重等。各样本蛋白质、淀粉和赖氨酸测定按农业部颁布的品质分析方法进行,油分以核磁共振(NMR)方法测定。

## 2 结果分析

### 2.1 不育化普通玉米的产量性状表现

不育化普通玉米与高油玉米相间种植对其产量性状有一定影响,其中变化较明显的是千粒重,穗行数等(表 1)。与同型可育种相比,不育普通玉米的穗行数有一定增加,平均增加 0.34 行,增加幅度为 2.46%,其中,组合 3 即农大 108 × 高油 115 行数增加最明显,每穗增加 0.54 行,其他组合均在 0.2~0.3 行左右。千粒重有所降低,平均降低 6.5 g,降低幅度为 2.09%。就具体组合来看,组合 3 千粒重降低较多,达 11.72 g,组合 2 即农大 3138 × 高油 115

降低最少,为 2.09 g。出籽率有所降低,平均降低 0.34 个百分点,其中,组合 2 出籽率降低较多,为 0.5%,其余 3 个组合出籽率降低均在 0.2~0.4 个百分点。各组合在行粒数这一性状上的表现不一致,但总体上增减比例很小。组合 2、4 每行分别增加 1.3 粒和 0.35 粒,增加 3.33% 和 0.98% 而组合 1、3 每行则均减少 1.15 粒,减少 3.35% 和 3.21%。反映到产量上,4 个组合中的不育化普通玉米的增减幅度均不大,有 3 个组合的母本产量超过同型可育种,增产幅度在 0.52%~2.22%,不育农大 108 × 高油 115 减产 3.6%。这表明,普通玉米高油化三利用模式对普通玉米的产量影响不大。

### 2.2 品质性状的花粉直感效应

主要品质性状的花粉直感效应十分明显。与同型可育种相比,不育种在接受高油花粉以后,当代种子在油分、蛋白质、赖氨酸等性状上表现出正向直感效应,其中油分增加最为明显,4 组合含油量平均增加 1.33 个百分点,与对照相比,增加幅度为 32.08%。其中组合 4 的增加 1.9 个百分点,母本含油量达到 5.9%,增幅达 47.50%。蛋白质和赖氨酸含量分别增加 0.4 个百分点和 0.02 个百分点,比对照分别增加 4.14% 和 4.59%。当代种子的淀粉含量表现为较小的负花粉直感效应,淀粉含量降低 1.10 个百分点,与对照比降低幅度为 1.60%。显然,淀粉的降低是由于油分等性状增加的结果,但从增减比例来看,油分、蛋白质、赖氨酸等主要品质性状增加远远大于淀粉的减少,这表明高油授粉者的确可以明显改善籽粒品质,此与以往的许多研究结果一致(表 2)。因此,在生产上利用高油授粉者来提高普通玉米的品质是可行的。

### 2.3 性状间相关性分析

在杂交当代具有直感效应的性状主要是籽粒重量和品质性状。对这些性状的分析结果表明,普通玉米自身品质性状间与杂交当代的相关性有一定差异(表 3)。不育普通玉米在接受高油玉米花粉之后,油分、蛋白质和赖氨酸三性状与淀粉、千粒重和出籽率的相关性均为负值,如油分与淀粉、千粒重和出籽率的相关系数分别为 -0.998 9、-0.925 9 和 -0.892 2,达到极显著水平,表明品质性状的改善在一定程度上会对产量性状产生不利影响。品质性状间表现为正相关,说明油分的提高也可以相应提高蛋白质与赖氨酸的含量。产量性状千粒重与出籽率呈正相关关系。

高油化后的不育普通玉米与同型可育种相比,性状间相关性强度和性质存在明显差异。在高油化普通玉米中,品质性状间如油分与蛋白质和赖氨酸的相关性分别为 0.851 8, 0.998 9, 为极显著正相关,而在可育同型种上却表现为负相关,相关系数分别为 - 0.954 9 和 - 0.138 3。品质与产量性状间的相关性也有明显改变,油分与出籽率、蛋白质与千粒重在不育化普通玉米上的相关系数分别为 - 0.892 2 和 - 0.852 1, 均呈极显著负相关,而在可育同型种上却表现为显著正相关,相关系数分别为 0.632 3 和 0.953 7。

#### 2.4 普通玉米高油化模式产量表现

前述结果已经表明,高油玉米花粉在普通玉米上所表现的花粉直感效应是十分明显的。由于普通玉米和高油玉米采用套播,所以对普通玉米高油化模式的评价还应把高油授粉者考虑在内。本试验所采用的高油授粉者为高油单交种,因此与对照相比,籽粒产量降低幅度较小,4 组合平均比对照降低 2.49%, 但就具体组合而言,产量的增减也因组合不同而表现一定差异,组合 4(豫玉 22 × 高油 202) 增产 0.15%, 组合 1(豫玉 22 × 高油 115), 组合 3(农大 108 × 高油 115) 和(农大 3138 × 高油 115) 分别减产 2.76%、2.32% 和 5.06%(表 4)。这表明只要组合选择合适,就可以达到增产增油的目的。

表 1 不育普通玉米与可育同型种穗粒性状比较  
Table 1 Ear trait changes between normal and their CMS hybrids

性状	组合编号	不育杂交种	CK	差值	比 CK 增加/ %
行数	1	14.95	14.65	0.30	2.05
	2	14.10	13.80	0.30	2.17
	3	14.24	13.70	0.54	3.94
	4	14.70	14.46	0.24	1.66
	平均	14.49	14.15	0.34	2.46
行粒数	1	34.20	35.35	- 1.15	- 3.25
	2	40.30	39.00	1.30	3.33
	3	34.60	35.75	- 1.15	- 3.21
	4	35.85	35.50	0.35	0.98
	平均	36.24	36.40	- 0.16	0.54
千粒重/ g	1	323.29	329.44	- 6.15	- 1.87
	2	303.01	305.10	- 2.09	- 0.68
	3	281.45	293.17	- 11.72	- 3.99
	4	323.30	329.25	- 5.95	- 1.81
	平均	307.76	316.26	- 6.50	- 2.09
出籽率/ %	1	83.90	84.30	- 0.40	- 0.47
	2	85.15	85.65	- 0.50	- 0.58
	3	85.25	85.45	- 0.20	- 0.23
	4	83.50	83.75	- 0.25	- 0.30
	平均	84.45	84.78	- 0.34	- 0.39
产量/ (kg hm <sup>-2</sup> )	1	7593.45	7428.30	165.10	2.22
	2	7081.65	7045.05	36.60	0.52
	3	7120.05	7345.05	- 225.00	- 3.16
	4	7596.75	7491.75	105.00	1.38
	平均	7347.98	7327.54	20.44	0.24

表 2 不育普通玉米品质性状的花粉直感效应比较  
Table 2 Xenia effects of high oil corn pollen on quality traits

性状	组合编号	不育杂交种	CK	差值	增加/ %
蛋白质/ %	1	10.24	9.65	0.59	6.11
	2	9.91	9.61	0.30	3.29
	3	9.86	9.51	0.35	3.68
	4	10.06	9.72	0.34	3.49
	平均	10.02	9.62	0.39	4.14
油分/ %	1	5.80	4.15	1.65	39.76
	2	5.23	4.13	1.10	26.63
	3	5.15	4.50	0.65	14.44
	4	5.90	4.00	1.90	47.50
	平均	5.52	4.19	1.33	32.08
赖氨酸/ %	1	0.35	0.32	0.03	9.38
	2	0.33	0.32	0.01	3.13
	3	0.33	0.33	0.00	0.00
	4	0.36	0.34	0.02	5.88
	平均	0.34	0.33	0.02	4.59
淀粉/ %	1	69.01	71.57	- 2.56	- 3.57
	2	70.34	72.16	- 1.76	- 2.44
	3	70.56	70.98	- 0.48	- 0.68
	4	68.86	68.67	0.19	0.28
	平均	69.71	70.81	- 1.10	- 1.60

表 3 性状间相关系数  
Table 3 Coefficient of traits

材料	性状	蛋白质含量	赖氨酸含量	淀粉含量	千粒重	出籽率
不育亲本	油分	0.851 8 **	0.982 2 **	- 0.998 9 **	- 0.925 9 **	- 0.892 2 **
	蛋白		0.744 2 **	- 0.872 8 **	- 0.852 1 **	- 0.994 8 **
	赖氨酸			- 0.972 8 **	- 0.863 7 **	- 0.801 4 **
	淀粉				0.934 9 **	0.909 8 **
	千粒重					- 0.862 3 **
可育对照	油分	- 0.954 9 **	- 0.138 3	0.297 1	- 0.834 1 **	0.632 3 **
	蛋白		0.327 5	- 0.522 9	0.953 7 **	- 0.832 7 **
	赖氨酸			- 0.950 6	0.350 8	- 0.539 0 *
	淀粉				0.596 3 *	0.770 3 **
	千粒重					0.947 6 **

从包括高油授粉者在内的单位面积上主要品质性状的产量来看,蛋白质、油分和赖氨酸等性状均有增加,其中油分增加特别明显,平均比对照增加 41.33%,个别组合如豫玉 22 × 高油 202 增幅达

63.3%。蛋白质和赖氨酸产量的增加幅度较小,蛋白质产量增加幅度在 3.27% ~ 5.40% 之间,平均为 4.29%;赖氨酸产量增加幅度在 5.76% ~ 15.40% 之间,平均增加 9.82%,其中农大 108 × 高油 115 增加

最多。淀粉产量有所降低,降低幅度在 2.79% ~ 7.79% 之间,其中豫玉 22 × 高油 202 降低最少。综合来看,豫玉 22 × 高油 202 是较为理想的普通玉米高油化组合,该组合模式在大幅度提高油分、蛋白质

和赖氨酸等产量的同时,淀粉减少不多,而产量仍能与可育豫玉 22 持平。同时,如果能进一步降低授粉者比例,如高油授粉者占 20%,则此模式将会更有可能实现高产和优质的结合。

表 4 品质性状单位面积产量比较

Table 4 Yield of quality components

kg hm<sup>-2</sup>

性状	组合号	不育杂交种	高油授粉者	平均	CK	比 CK 增加 (%)		
						不育杂交种	高油授粉者	平均
蛋白质	1	685.95	622.05	664.80	630.75	8.75	-1.38	5.40
	2	616.50	613.05	615.30	595.80	3.47	2.90	3.27
	3	613.80	664.20	630.45	609.00	0.78	9.06	3.42
	4	669.00	705.15	681.00	648.00	3.24	8.82	5.10
	平均	646.31	645.08	647.89	620.88	4.06	4.85	4.29
油分	1	388.50	409.25	395.41	271.35	43.20	51.00	45.80
	2	325.35	379.05	343.05	256.05	27.10	48.00	34.00
	3	320.55	416.25	352.05	288.15	11.20	44.50	22.20
	4	392.24	499.05	427.84	266.70	47.10	87.10	63.30
	平均	356.66	425.90	379.59	270.55	32.15	57.65	41.33
赖氨酸	1	23.40	19.20	22.05	20.85	12.23	-7.90	5.76
	2	20.55	18.75	19.95	18.00	14.17	4.17	10.83
	3	25.50	21.75	24.25	21.00	21.40	3.57	15.40
	4	24.00	25.05	24.30	22.65	6.00	10.60	7.30
	平均	23.36	21.19	22.64	20.63	13.23	2.71	9.82
淀粉	1	4 623.10	3 757.75	4 337.55	4 678.50	-1.19	-19.70	-7.79
	2	5 852.70	3 969.00	4 227.15	4 473.00	-2.10	-12.27	-5.50
	3	4 392.00	3 936.15	4 242.00	4 545.00	-3.37	-13.40	-6.70
	4	4 579.50	4 186.50	4 441.50	4 578.00	-0.03	-8.55	-2.79
	平均	4 861.83	3 962.35	4 312.05	4 568.23	-1.65	-13.05	-5.69
产量	1	7 593.45	6 468.45	7 222.65	7 428.30	2.22	-12.92	-2.76
	2	7 081.65	6 475.05	6 881.40	7 045.05	0.52	-8.09	-2.32
	3	7 120.05	6 676.05	6 973.50	7 345.05	-3.16	-9.11	-5.06
	4	7 596.75	7 305.75	7 503.15	7 491.75	1.38	-2.49	0.15
	平均	7 347.98	6 731.33	7 145.17	7 327.54	0.24	-8.15	-2.49

### 3 讨论

通过生产性试验,证明利用普通玉米高油化模式来改进普通玉米的品质是可行的。从试验结果来看,只要高油授粉者与普通玉米配合适当,可以在不降低产量的条件下,实现普通玉米的品质大幅度提高。本试验的规模较大,接近生产实际情况,因

此对生产实践具有重要的指导意义。特别是通过试验,筛选出了一个较好的三利用生产组合普通玉米杂交种豫玉 22 与授粉者高油 202。该组合在 4 2 的条件下,在产量略有增加的同时,使普通玉米的油份含量提高了 47.5%,达到 5.9%,蛋白质和赖氨酸的含量也有一定提高。由于本试验三利用模式中有 1/3 的为高油玉米,其含油量较高,所以,整个模式

所产商品玉米籽粒的含油量超过 6.5%,完全达到了高油玉米要求。而且,豫玉 22 是目前生产上主推的高产杂交种并实现了不育化,可以很快的直接用于生产,具有较好的发展前途。其他组合如农大 3138 / 高油 115 的产量和含油率等也有较好表现。说明普通玉米高油化技术在夏播区也是完全可行的。需要指出,农大 108 在三利用模式中表现不甚理想,其原因可能其与高油 115 生育期配合不太好,结实受到影响,因此需要寻找适于农大 108 的高油授粉者。

为使三利用模式的效果实现最大化,在今后的授粉者筛选和普通玉米高油化生产中需要注意以下几个问题:

1) 授粉者产量 授粉者产量是制约整个模式产量的重要因素,现在国内所用高油授粉者均为单交种,产量表现较好。但有的高油玉米杂交种在夏播与春播区表现不一致,如高油 115 在辽宁、天津、贵州等地产量均与普通玉米的产量相当,在黄淮夏播区则含油量和产量均有所降低,影响了普通玉米高油化的效果;而高油 202 则夏播和春播区表现均较好。可见高油授粉者的选择十分重要,只有授粉者产量高才可能使整个模式获得最大效益。

2) 行比 不育化普通玉米与高油授粉者的行比是决定产量效益的重要因素。在一般情况下,高油授粉者的产量低于普通玉米,因此降低授粉者比例对获得高产有利。目前美国采用的行比为 9:1,国内试验的行比多在 3:1 或 4:1,本试验为 4:2,因此仍有进一步提高的空间。在不同地区,筛选适合的行比是实现三利用模式效益最大化的重要措施之一。另外,对一些普通玉米杂交种与授粉者农艺性状表现较相似的品种,也可以考虑混合播种的方法,借以减少农民在种植过程中的工序,增加可操作性。

3) 生育期 普通玉米杂交种与高油玉米授粉

者生育期接近是三利用模式大面积利用的重要条件。高油授粉者尚没有完全实现生育期的系列化,缺少早熟授粉者。需要加强对早熟授粉者的选育,使早熟玉米区的普通玉米尽早实现三利用模式的配套。为了减少授粉者散粉集中可能造成的授粉不良问题,有必要培育一些产量较高的三交或双交且花粉量大的授粉者,以延长散粉时间,保证普通玉米能够充分结实。

4) 授粉者含油量 授粉者的含油量是决定品质改良效果的重要因素。授粉者的含油量一般在 7.5%~10%之间,可以使普通玉米含油量提高 1.5%~2%,达到 6%左右。此含油量虽然已达到高油玉米的要求,但如能提高到 7%甚至以上则更好。因此需要在培育含油量更高的授粉者。就技术来讲,国内已有能力选育含油量超过 11%的超高油杂交种,以其作授粉者,可使普通玉米含油量提高 2.5 个百分点以上。相信这类授粉者的推广将可满足生产上的需要,全面推进我国玉米生产的优质化。

## 参 考 文 献

- [1] Lambert R J, Alexander D E, Han Z J. A high oil pollinator enhancement of kernel oil and effects on grain yields of maize hybrids [J]. *Agron J*, 1998, 90:212~215
- [2] Seka D, Cross H Z. Xenia and maternal effects on maize agronomic traits at three plant densities [J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 86~91
- [3] Tsai C L, Huber D M, Warren H L, et al. Effects of cross-pollination on dry matter accumulation, nutrient partitioning and grain yield of maize hybrids grown under different levels of N fertility [J]. *J Sci Food Agric*, 1991, 57:175~187
- [4] 宋同明. 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 [A]. 全国作物育种学术讨论会论文集 [C]. 北京:中国农业科学技术出版社,1998