

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

段民孝 宋同明 范弘伟 滕文涛 连庆

(中国农业大学作物学院)

摘要 通过混合不同遗传标记花粉授粉法,探讨玉米杂交当代籽粒优势和高油玉米油分直感效应。对普通自交系与高油自交系和普通杂交种与高油杂交种 2 套材料的试验结果表明,杂交当代籽粒均存在杂种优势,杂交籽粒重增加幅度因组合而异。自交系间杂交籽粒重比母本自交粒平均增加约 10%,杂交种再杂交粒重平均增加 2.97%~4.68%,自交系和单交种的同一母本分别与普通玉米杂交和高油玉米杂交,杂交籽粒百粒重平均相差 0.5 g,杂交籽粒含油量均增加。普通玉米间杂交籽粒含油量增加有超亲现象,普通玉米做母本和高油玉米杂交,籽粒含油量增加,但无超亲现象,是高油玉米油分基因花粉直感效应所致。估计出杂交当代玉米含油量的花粉直感效应值为 0.35。

关键词 遗传标记; 混合花粉; 杂种优势; 花粉直感效应; 高油玉米

分类号 S513; Q343.31; S334.5

Utilizing Genetic Markers Mixing-Pollen to Estimate Heterosis Value and Xenia Effect Value of High Oil Corn

Duan Minxiao Song Tongming Fan Hongwei Teng Wentao Lian Qing

(College of Crop Sciences, CAU)

Abstract By mixing corn pollen, which has different kernel genetic markers, we got different genotype kernels on an ear, including self- and cross-fertilized kernels, to estimate the heterosis value of the F_1 embryo stage and xenia effect value of oil content. From a series of crosses of high and normal oil corn inbreds and single hybrids, it was found that there was heterosis of cross-fertilized kernel on the same female parent, and the increased range of cross-fertilized kernel weight varied with different crosses. For inbreds, the average F_1 kernel weights were 10% higher than that of the female selfed. The average F_1 kernel weight of single hybrid re-crossed grain were 2.97%~4.68% higher than that of the female selfed. On the same female for inbreds and hybrids, the grain weight difference of two kinds of cross-fertilized kernel, which were crossed with normal oil and high oil corn, was about 0.5 g. It is believed that the high oil corn have different genetic background compared with the normal oil corn. The oil content of some of cross-fertilized kernel between normal oil corn was higher than that of their parents. The oil content of cross-fertilized kernel between normal oil and high oil corn increased, but did not exceed their parents, which was caused by

收稿日期: 1999-11-12

国家自然科学基金资助项目 39870485

段民孝,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094



xenia effects of high oil gene. The xenia effect value of oil content was estimated to be 0.35.

Key words genetic marker; mixing pollen; heterosis; xenia effect; high oil corn

玉米是一种世界性的重要农作物,我国是第二大玉米生产国和消费国。在提高玉米产量的科技因素中,遗传改良约占 20%~40%^[1],其他技术措施如增施化肥、合理密植等都与品种有直接关系。为实现玉米的高产,不少人提出种种设想,但至今未有重大影响的理论或技术突破。随着生活水平的提高和社会的发展,品质改进成为当前玉米生产结构调整的主要内容。高油玉米是 20 世纪人工创造的新玉米类型。其特点是含油量高(美国为 7%,我国已超过 8%)、能量高,其他营养成分(蛋白质、赖氨酸、维生素 E)高于普通玉米,秸秆营养价值也较高,是集粮食、油料、饲料和经济作物等于一身的多元化作物,发展前景广阔^[2]。但由于高油玉米产量与常规玉米仍有差距,因而迅速扩大面积有一定困难。寻找新技术既提高高油玉米产量又改善普通玉米品质,从而大力发展高油玉米,是值得研究的问题。宋同明^[3]提出 3 个效应集成利用模式(three effect utilization, TEU),即:杂交优势效应、雄性不育的增产效应和花粉直感对品质的改良效应,有可能实现高产和优质的双重突破。为此,本研究目的在于通过混合授粉方式研究玉米杂交籽粒种胚期的优势,估计单交种再杂交粒重优势和油分基因的花粉直感效应值,从而为上述 3 种遗传效应的技术集成利用提供理论基础。

1 材料与方法

本试验所用籽粒色泽遗传标记材料均由本院高油玉米研究室提供。采用将母本花粉和不同父本来源花粉混合的授粉方法,在同一果穗上产生出自交籽粒和不同基因型的杂交籽粒进行比较,以排除环境因素的影响。所用的遗传标记材料分为 3 套:白籽粒材料,是普通玉米,做母本;有色籽粒(紫色糊粉层),普通或糯玉米,做父本;黄籽粒材料,高油玉米,做父本。在同一母本果穗上所结籽粒中,白粒为自交粒,有色(紫糊粉层)籽粒为和普通玉米杂交的籽粒,黄粒为和高油玉米杂交的籽粒。所用材料包括自交系和杂交种。

本试验于 1998 年春在本校昌平试验站进行,选用 7 个白粒自交系,6 个高油自交系(黄),6 个有色标记自交系,采用混合授粉的方式进行种胚期杂交优势和花粉直感效应的估计。1998 年冬在海南三亚市南滨农场进行相同试验,选用 8 个白粒自交系,5 个高油系,8 个有色标记系,12 个白粒杂交种,5 个有色标记杂交种,8 个高油杂交种。2 个试验中白粒材料做母本,将其花粉同高油和标记父本的花粉充分混合后,授予白粒材料。授粉组合随机,尽量固定授粉组合,每组授 5~8 穗。为保证花期相遇,父本分 2~3 期种植,所有父本均自交 8~10 穗。果穗收获后风干,进行百粒重和含油量分析。以杂交籽粒超过自交籽粒的百分比来比较杂交优势。油分测定用 BRUKER 公司最新的 Minispec mq20 型核磁共振仪(NMR)。

2 结果与分析

1998 年春北京试验由于材料花期不能完全相合,授粉组合不固定,收获果穗数和同一果穗上结的 3 种籽粒数量相差较大,影响试验结果精确度,本文不予分析。1998 年冬海南试验所用材料多数散粉和结实好,去除穗数和粒数过少的组合,对符合要求的果穗进行考察。

2 1 杂交当代籽粒重优势

以同一组合的不同果穗为重复, 采用 t 测验法^[4], 对不同基因型籽粒重作比较。对结果进行统计(表 1)。

表 1 杂交当代粒重优势组合统计结果

材 料	有色材料为父本					高油材料为父本				
	杂交组合数	组合类型及数目	显著组合数	杂交比自交粒	平均增加	杂交组合数	组合类型及数目	显著组合数	杂交比自交粒	平均增加
				重增加变幅	w / %				重增加变幅	w / %
自交系	49	增产组合 46 减产组合 3	40	1.74~ 36.95	11.46	59	增产组合 49 减产组合 10	36	0.18~ 36.96	8.44
杂交种	71	增产组合 63 减产组合 8	43	1.19~ 11.84	4.68	74	增产组合 65 减产组合 9	36	0.26~ 8.65	2.97

2 1 1 自交系杂交当代粒重优势 由表 1 看出, 以有色标记系为父本的 49 个杂交组合中, 有 3 个组合杂交籽粒比母本自交籽粒百粒重减少, 最多为- 4.84%, 且不显著, 杂交百粒重增加的组合占 93.9%, 达到显著占 81.6%, 最高可达 36.95%, 平均杂交籽粒百粒重比母本自交增加 11.46%。以高油系为父本的杂交 59 个组合中, 10 个组合的杂交籽粒百粒重比母本自交籽粒减少, 3 个达到显著, 最多为- 5.13%, 杂交籽粒重增加的组合占 83.1%, 达到显著的组合为 61.0%, 增加最高达到 36.96%, 平均增加 8.44%。综合起来, 杂交籽粒粒重增加组合数占总组合数的 88.0%, 达到显著的组合数占增加组合数的 80.0%, 所有组合平均杂交籽粒百粒重比自交籽粒百粒重增加 9.78%。因而可以肯定, 杂交当代籽粒在种胚期(即从授精到成熟阶段)存在优势, 这与其他研究结果是一致的^[5,6]。不同来源的花粉对于同一母本的优势表现不同, 同一父本花粉对于不同母本表现优势有差异。不同组合在种胚期的杂种优势存在明显差异。

大约 85% 的玉米油都集中在种胚, 所以高油玉米籽粒的胚所占比重比普通玉米大得多, 因而籽粒重相应低于普通玉米。将相同母本而以有色普通玉米和高油玉米为父本的不同杂交籽粒百粒重进行比较, 发现杂交当代籽粒重均存在优势, 平均籽粒百粒重差异很小(0.5 g)。以高油玉米为父本的杂交籽粒重较低, 是高油玉米粒重低的花粉直感所致。

2 1 2 杂交种再杂交当代粒重优势 本试验以单交种为材料进行了相关研究, 得到结果(表 1)。以有色杂交种为父本的 71 个组合中, 8 个组合杂交籽粒百粒重比母本自交减少, 1 个达到显著, 为- 3.37%, 其余组合均增加, 占 88.7%, 达到显著占 60.6%, 最高达 11.84%, 平均杂交粒重增加为 4.68%。以高油杂交种为父本的 74 个杂交组合中, 9 个组合杂交籽粒百粒重比母本自交降低, 2 个显著, 其余 65 个组合的杂交籽粒百粒重均增加(占 87.8%), 达到显著占 48.6%, 平均杂交粒重增加 2.97%。所有单交种再杂交的 145 个组合中, 杂交粒重比母本自交粒重超过 10% 的组合仅 4 个, 且都是有色杂交种为父本的, 超过 5% 的组合为 52 个(占总数的 35.9%), 杂交籽粒百粒重增加的组合共占 88.3%, 其中达到显著的组合为 61.7%, 平均杂交籽粒百粒重增加为 3.80%。这个数值和其他的研究是相近的^[7]。将杂交籽粒同父本比较, 有色父本标记种百粒重平均为 29.6 g, 在 71 个组合中, 15 个没超过父本(多集中在 2 个父本, 其百粒重分别为 31.7 g 和 37.8 g), 其余均重于父本, 平均为 23.3%, 高油父本杂交种百粒重平均

为 22.5 g, 74 个杂交组合百粒重均重于父本, 平均为 60.4%。将同一母本而以有色普通玉米和高油玉米为父本的不同杂交籽粒百粒重进行比较, 平均籽粒百粒重差异很小(0.5 g), 虽然达到显著水平, 对于生产是没影响的。由此可以明确, 将不同来源的单交种再杂交, 所产生的籽粒虽长在母体单交种上, 但经过杂交后也存在优势, 可以克服种植 F_1 单交种所产生的 F_2 代自交衰退。这与宋同明等^[3]的研究结果一致。

2.2 玉米油分基因花粉直感效应

前人对玉米油分的遗传已做过研究^[8-10]。本试验采用同一果穗混合授粉的方法, 比较自交和不同父本杂交籽粒的含油量的差异。对所得数据进行统计(表 2)。

表 2 杂交当代含油量组合统计结果

材 料	有色材料为父本					高油材料为父本						
	杂交组合数	超高亲组合	组合类型及数目	显著组合数	杂交籽粒含油量平均增加 _w /%	杂交组合	超高亲组合	组合类型及数目	显著组合数	杂交籽粒含油量平均增加 _w /%		
自交系	49	20	增加组合	31	21	5.08	58	0	增加组合	58	58	93.33
			降低组合	18	10				减低组合	0	0	
杂交种	80	17	增加组合	47	20	1.74	81	0	增加组合	81	78	65.19
			降低组合	33	7				减低组合	0	0	

本试验得到白自交系为母本, 有色标记系为父本的 49 个杂交组合中, 31 个组合的杂交籽粒含油量超过母本自交籽粒, 其中 20 个组合的杂交籽粒出现超高亲现象, 杂交籽粒含油量平均增加 5.08%。以高油系为父本的 58 个组合中, 杂交籽粒的含油量均增加并达到显著水平, 但均没有超过高油亲本含油量, 且父本含油量越高, 杂交籽粒含油量越高。对于同一套自交系而言, 授高油玉米花粉籽粒与授普通玉米花粉籽粒在含油量方面差异极显著, 平均相差 77.5%。以杂交种为材料进行试验, 得到以白杂交种为母本, 普通有色杂交种为父本的组合 80 个, 有 33 个杂交籽粒含油量减少, 其中达到显著占 8.8%, 最大为 -20.07%, 其余 47 个均增加, 达到显著占 42.6%, 最大为 25.15%, 其中有 17 个超亲。以高油杂交种为父本的 81 个组合中, 所有杂交籽粒含油量均比母本自交籽粒增加, 有 3 个不显著(占 3.7%), 其余 78 个达到显著水平, 但均没有出现超高亲的现象。而且和自交系一样, 同一母本授高油玉米花粉籽粒与授普通玉米花粉籽粒在含油量方面差异极显著, 平均相差 60.9%。由此可见, 普通玉米间杂交, 含油量增加因组合而异, 这与李玉玲^[11]的研究结果相同, 而用高油玉米作父本引起杂交籽粒含油量的增加, 是由于油分基因花粉直感造成的^[8]。参照丛滋金^[10]的方法, 估计高油玉米花粉油分基因的花粉直感效应值。自交系杂交: $F_1 = 0.65P_1(\text{母本}) + 0.35P_2(\text{父本})$, 其中普通玉米杂交 $F_1 = 0.58P_1(\text{母本}) + 0.42P_2(\text{父本})$, 普通和高油玉米杂交 $F_1 = 0.65P_1(\text{母本为普通玉米}) + 0.35P_2(\text{父本为高油})$ 。杂交种再杂交: $F_1 = 0.65P_1(\text{母本}) + 0.35P_2(\text{父本})$, 普通玉米杂交 $F_1 = 0.84P_1(\text{母本}) + 0.16P_2(\text{父本})$, 普通和高油再杂交 $F_1 = 0.65P_1(\text{普通}) + 0.35P_2(\text{高油})$ 。由此可以看出, 无论是自交系还是杂交种, 高油玉米花粉的油分基因存在直感效应, 且效应值相同为 0.35。

3 讨论与结论

3.1 种胚期杂种优势

玉米是最早实现杂种优势利用的作物, 当前世界利用杂种优势生产商品玉米的基本形式是种植单交种。理论上讲, 2个自交系杂交的当代籽粒已是杂交种, 因而也应有优势, 即从授粉后到籽粒成熟, 前人称做“种胚期优势”^[6]。本试验用自交系为材料, 通过对同一果穗授混合花粉的方式来比较自交和杂交籽粒, 结果为杂交当代籽粒粒重增加组合占88.0%, 这充分表明杂交籽粒在授粉后到成熟时已有优势, 与前人的结果一致^[5, 6, 10]。粒重增加幅度因材料而表现不同(8.44%~11.46%), 普通玉米为父本和高油玉米为父本的杂交籽粒百粒重平均相差0.5g。

从遗传角度看, 单交种 F_1 代植株上所结的籽粒间存在着一定的差异, 这种差异可以导致籽粒不能均衡发育, 整齐度下降, 对产量和品质有一定影响, 同时也对其抗病性和诸多经济性状有影响, 即单交种对杂种优势的利用是不充分的。依据种胚期存在杂种优势的理论, 可以推测单交种再杂交也应有优势。McCler(1892)首先报道了外来花粉对玉米籽粒当代的影响, 即杂交籽粒比自交籽粒重19.5%~31.8%^[12], 以后又有相似的报道^[13, 14]。本试验以杂交种为材料进行再杂交, 再杂交籽粒粒重增加的组合占88.3%, 其中达到显著的组合为61.7%, 杂交粒重平均增加3.80%。将同一母本不同父本杂交籽粒进行比较, 普通玉米为父本的杂交籽粒粒重比高油玉米为父本的杂交籽粒粒重平均增加0.5g。这一结果表明, 授粉当代的杂种优势是一个普遍现象, 单交种再杂交籽粒粒重变化, 与特定的组合有关。只要有针对性选择优良品种搭配组合进行间作套种, 就可以充分利用当代杂种优势, 从而有可能在不更新品种的情况下达到提高产量的目的。

3.2 高油玉米油分基因花粉直感效应

关于玉米油分的遗传研究表明, 控制玉米油分遗传的基因约55对, 以加性遗传方差为主^[15, 16]。Woodworth首先注意到油分基因对当代籽粒的影响^[8], 并且种子亲本影响大于花粉亲本^[8, 9], 另有试验表明花粉亲本对籽粒的含油量影响^[17, 18]。本试验通过混合花粉授粉方式, 以消除植株个体间的差别, 从而估计花粉直感值。自交系和杂交种表现相同的趋势, 高油玉米花粉油分基因直感效应值为0.35, 结果与其他相近^[8, 10], 母本对杂交当代的含油量影响较大。对于普通玉米杂交种而言, 不同单交种再杂交籽粒含油量虽然增加, 但母本效应更明显。可能是 F_1 代植株虽有优势, 但所结籽粒为 F_2 代, 已有分离出现衰退, 外来花粉也出现分离, 直感效应降低。不同的是, 本试验中普通玉米自交系间杂交, 籽粒含油量出现超高亲现象, 而以普通玉米为母本高油玉米为父本杂交当代籽粒含油量增加, 超过母本, 但没有出现超高亲现象, 估计与高油玉米具有不同遗传背景有关。自然界不存在高油玉米, 育种家在对普通玉米进行含油量选择的过程中, 使油分基因经过不断的交换积累, 从而使高油玉米具有和普通玉米不同的遗传背景。因而普通玉米间杂交, 籽粒含油量出现超高亲现象, 而普通玉米和高油玉米间杂交, 籽粒含油量均比母本增加, 但没有超高亲现象, 仅仅是高油父本花粉对 F_1 的影响大。

通过本试验, 可以确定:

自交系间杂交籽粒在当代存在优势, 因组合而有差异, 粒重约增加10%左右。

单交种再杂交籽粒粒重优势因组合而异, 约2.97%~4.68%。普通玉米间杂交, 粒重增

加较大,但含油量没有高油玉米为父本时增加率大。

高油玉米和普通玉米具有不同的遗传背景,含油量的遗传表现不同。普通玉米做母本高油玉米为父本时,杂交籽粒含油量增加是花粉直感效应,高油玉米油分基因直感效应值为0.35。

由于粒重随环境变化较大,因自交衰退引起产量降低的程度随单交种的不同而有很大变化。2亲本特殊配合力越高, F_1 杂交优势越大,衰退作用就越明显。单交种再杂交有增产作用,但因种种技术原因,这种增产作用并未在生产中发挥作用。本试验的结果仅为一个初步估计。只有进行多年多点多材料试验,尤其对生产上使用的主要品种进行大面积试验,为形成一种全新的高产高油玉米生产模式奠定基础,取代当前的单交种生产模式。

参 考 文 献

- 1 吴永常,马忠玉,王东阳,等 我国玉米品种改良在增产中的贡献分析 作物学报,1998,24(5):595~600
- 2 宋同明,苏胜宝,陈绍江,等 高油玉米前途光明 玉米科学,1997,5(3):73~77
- 3 宋同明,丛滋金 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 见:戴景瑞等主编 全国作物育种学术讨论会论文集 北京:中国农业科学技术出版社,1998,216~221
- 4 南京农业大学主编 田间实验和统计方法 北京:农业出版社,1987,72~77
- 5 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
- 6 李元慧,孙秀梅,邢世武,等 玉米种胚期杂种优势及其应用研究 山东农业科学,1992,(2):8~11
- 7 Seka D, Cross H Z Xenia and maternal effects on maize agronomic traits at three plant densities Crop Sci, 1995, 35: 86~90
- 8 宋同明,吴宏平,戴顺宏,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
- 9 Miller P A, Brimball B. Factors influencing the oil and protein content of corn grain Agron J, 1951, 43: 306~311
- 10 丛滋金 杂交当代玉米油分基因的遗传效应研究: [学位论文] 中国农业大学,1996
- 11 李玉玲 玉米的杂种优势 见:陈彦惠主编 玉米遗传育种学 郑州:河南科学技术出版社,1996,126~132
- 12 秦泰辰 杂种优势利用原理和方法 南京:江苏科学技术出版社,1981,2
- 13 Pinter L, Szabo J, Horompoli E Effect of metaxenia on the grain weight of the corn (*Zea mays L.*). Maydica, 1987, 32: 81~88
- 14 Kiran A K, Wicks ZW. Effect of pollen source on kernel and ear weight in maize In Agron Abstracts, A SA. Madison WI, 1990
- 15 Miller R L, Dudley J W, Alexander D E High intensity selection for percent oil in corn. Crop Sci, 1981, 21(3): 433~437
- 16 Misevic D, Maric A, Alexander D E, Dumanovic J, Ratkovic S Population cross diallel among high oil population of maize Crop Sci, 1989, 29(3): 613~617
- 17 Alexander D E, Lambert R J. Relationship of kernel oil content to yield in maize Crop Sci, 1968, 8: 272~274
- 18 Letchworth M B, Lambert R J. Pollen parent effects on oil, protein, and starch concentration in maize kernels Crop Sci, 1998, 38: 363~367