

超甜玉米鲜穗产量和含糖量的配合力 及遗传特性分析^{*}

王晓明, 曾慕衡, 乐素菊

(仲恺农业技术学院 农业与生物学院, 广东 广州 510225)

[摘要] 以6个鲜穗产量和含糖量表现差异显著的超甜玉米自交系为研究对象, 采用 Griffing 不完全双列杂交法, 分析了其配合力和遗传特性。结果表明, T3, T9, T17 和 T24 4个亲本的鲜穗产量和含糖量表现出较高的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA), 有望组成高产和高含糖量的超甜玉米新组合; 超甜玉米鲜穗产量的狭义遗传力较低, 为17.83%, 由非等位基因互作效应引起, 且显性基因起主要作用, 控制鲜穗产量的显性基因至少有4对; 含糖量的遗传效应主要由加性效应和显性效应组成, 加性效应比显性效应更重要, 狭义遗传力为53.0%, 控制含糖量的基因至少有3对。

[关键词] 超甜玉米; 鲜穗产量; 含糖量; 配合力

[中图分类号] S513.032

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0056-05

经过育种工作者的不懈努力, 国内超甜玉米新品种选育研究在鲜穗产量和含糖量等方面取得了显著成效^[1]。据有关资料^[2]报道, 近3年来通过国家审定的超甜玉米新品种有24个, 在2003~2004年的国家超甜玉米区试中, 位列前三名的品种鲜穗产量和水溶性糖均较对照提高10.6%和9.4%以上, 但其与国外品种相比较, 还存在着含糖量较低、皮厚渣多、口感差和保甜期短等缺点, 这些缺点是困扰国内超甜玉米品质改善和商品价值提高的重要因素^[1]。究其原因, 除与国内超甜玉米选育研究起步晚、种质资源缺乏有关之外, 还与种质基础创新不够、遗传理论基础研究不深有关。

众所周知, 鲜穗产量配合力高低和遗传特性差异是选育高产高糖亲本和组配高产优质新品种的关键。目前, 国内对超甜玉米鲜穗产量、含糖量的配合力、遗传规律和特性等方面的研究报道较少^[1, 3~6]。本研究按照 Griffing 和 Hayman 的分析方法^[7], 通过测定参试材料鲜穗产量和可溶性糖含量来分析超甜玉米的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA), 探讨各亲本间的遗传特性和遗传规律, 以期为优质高产、综合性状优良的超甜玉米新品种选育提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 田间试验与方法

试验采用 Griffing 不完全双列杂交法, 于2003-03~07在仲恺农业技术学院的钟村教学农场进行。参试亲本 T1, T3, T24, T13, T17, T9 为多年选育且表现稳定的超甜玉米自交系(基因型均为 sh_2)。试验小区行长5m, 行距0.6m, 株距0.33m; 双行小区, 每行种植15株, 2次重复; 生育期间测定植株高度、穗位高度、茎粗等株型性状, 并记载出苗、抽雄、吐丝和鲜果穗成熟期; 成熟后每小区随机取15个果穗, 考察鲜穗产量, 测定可溶性糖含量等相关指标。

1.2 含糖量测定与分析方法

含糖量测定按照 GB 6194-86(水果、蔬菜可溶性糖测定)和 GB 5513-85(粮食、油料检验还原糖和非还原糖测定法)提供的方法进行; 一般配合力效应、特殊配合力及其相应效应值按照赵增煜^[8]、刘纪麟^[9]、刘来福等^[7]介绍的方法统计计算, 并按 Hayman (1954)的方法进行鲜穗产量和含糖量的遗传组分分析^[7]。

^{*} [收稿日期] 2005-02-25

[基金项目] 国家星火计划资助项目(2001EA780054); 广东省星火计划资助项目(2003C201027)

[作者简介] 王晓明(1956-), 男, 甘肃甘谷人, 副教授, 硕士, 主要从事特种玉米新品种选育及高产栽培研究。E-mail: wxm1724@sina.com; gz988@21cn.com

2 结果与分析

2 1 超甜玉米鲜穗产量和含糖量配合力分析

2 1 1 鲜穗产量 对参试组合鲜穗产量(鲜净果穗产量)进行方差分析, 结果表明各组间存在极显著差异 ($F_{(鲜穗产量)} = 104.2^{**} > F_{(0.01)} = 2.13$), 有必要

对其进一步进行配合力分析。
鲜穗产量配合力方差分析结果(表 1)表明, 各组合间 GCA 效应存在极显著差异 ($F = 141.49^{**} > F_{0.01} = 3.70$), SCA 效应也存在极显著差异 ($F = 5.835.99^{**} > F_{0.01} = 3.06$), 说明各组合间的变异既有加性基因的作用, 又有非加性基因的作用。

表 1 超甜玉米鲜穗产量和含糖量配合力方差分析

Table 1 Variable analysis of combining ability of fresh ear yield and sugar content						
因 素 Factor	变异原因 Factors of variation	平方和 SS	自由度 df	均方 M S	F 值 F value	1% 显著水平 1% probability level
鲜穗产量 Fresh ear yield	GCA	20 721.2	5	4 144.49	141.49 ^{**}	3.70
	SCA	1 538 463.4	9	170 940.38	5 835.99 ^{**}	3.06
	误差 SE	878.7	30	29.29	-	-
含糖量 Sugar content	GCA	51.100.1	5	10 220.02	7.808.1 ^{**}	4.10
	SCA	11.497.28	9	1.277.47	1.672.1	3.45
	误差 SE	15.28	20	0.764	-	-

注: 数据后标“ ** ”者表示差异极显著。下表同。
Note: Mark “ ** ” shows extreme significance of difference. Next table is same.

表 2 超甜玉米鲜穗产量和含糖量配合力效应值

Table 2 Effect estimation of combining ability of fresh ear yield and sugar content						
配合力效应值 Effect of C. A	亲本 Parents					
	T1	T3	T24	T13	T17	T9
GCA	- 56 463.0 ^{**}	- 5 263.0	37.485.0 ^{**}	8 663.0	21.263.0 ^{**}	- 5 685.0
	2 042.5 ^{**}	1 035.0 ^{**}	- 2 532.5 ^{**}	- 0 213.8	- 0 867.5 ^{**}	0 542.5 ^{**}
SCA	T1	31.460 ^{**}	- 12.490	- 19.920 ^{**}	36.180 ^{**}	- 35.220 ^{**}
		2.189	0.969	3.019	0.049	4.419 ^{**}
	T3		- 21.640 ^{**}	12.770	- 8.170	- 14.520 [*]
			1.149	0.114	1.616	2.149 ^{**}
	T24			0.170	11.680	22.280 ^{**}
				- 1.411	- 1.131	- 1.251
	T13				- 30.150 ^{**}	37.010 ^{**}
					0.576	- 0.081
	T17					- 9.550
						0.399
T9						

注: 上位值为鲜穗产量的配合力效应值; 下位值为含糖量的配合力效应值。
Note: Upper line of data are effect of C. A. to fresh ear yield and down line of data are effect of C. A. to sugar content.

GCA 是加性基因效应度量值, 是指亲本在杂交后代(F₁)中的平均表现, GCA 越大, 表明遗传育种效果越好。由表 2 可知, 在参试的 6 个亲本中, 鲜穗产量 GCA 值为 T24(37.485 0) > T17(21.263 0) > T13(8.663 0) > T3(- 5.263 0) > T9(- 5.685 0) > T1(- 56.463 0), 其中 T24, T17 和 T1 的 GCA 值达到极显著水平, 说明其均可将自身鲜穗产量遗传特性高效率地遗传给子代和 F₁ 代杂交组合。SCA 是非加性基因效应度量值, 该值的高低决定了非加性基因效应的高低, 即决定了显性和上位性基因效

应的高低。一般来说, SCA 越大, 说明该组合杂种优势越强。表 2 表明, 本试验中 T13 × T9, T1 × T3, T1 × T17 和 T24 × T9 4 个组合的鲜穗产量表现出了较高的杂种优势, 这是非加性基因效应累积的结果。
由表 3 可知, 就配合力效应方差来看, T3, T9 和 T13 的 GCA 方差较小, 说明其能够将该亲本鲜穗产量的性状较整齐地遗传给子代和 F₁ 代杂交组合, 而其他 3 个亲本 GCA 方差较大; T24 和 T3 2 个亲本的 SCA 方差较小, 能够组成强优势杂交组合,

而且鲜穗产量性状整齐一致。

表 3 超甜玉米各亲本鲜穗产量和含糖量配合力效应的方差估计结果

Table 3 Effect estimation of variance of combining ability of fresh ear yield and sugar content of parents

因素 Factor	变异原因 Factors of variation	亲本 Parents					
		T1	T3	T24	T13	T17	T9
鲜穗产量 Fresh ear yield	GCA	3 138.8	20.4	1 399.8	67.7	444.8	24.9
	SCA	1 001.0	452.7	292.3	687.7	606.1	830.2
含糖量 Sugar content	GCA	4 012.6	0 912.0	6 279.7	- 0 113.5	0 593.4	0 135.1
	SCA	8 020.8	2 765.6	1 200.6	10 883.6	3 811.0	5 896.1

2.1.2 含糖量 表 1 表明, 各组合间 GCA 效应存在极显著差异 ($F = 7.8081^{**} > F_{0.01} = 4.10$), 而 SCA 效应差异不明显, 说明各组合间的变异主要是加性基因作用的结果。

由表 2 可知, 在参试的 6 个亲本中, T1, T3 和 T9 的 GCA 较高, 其值分别是 2 042.5, 1 035.0 和 0 542.5, 且均达到正向效应的极显著水平, 而 T24 和 T17 则达到负向效应的极显著水平, 这说明前 3 个亲本所组成的杂交组合含糖量较高且遗传力也高, 而后 2 个亲本则相反。在含糖量 SCA 中, T1 × T9 和 T3 × T9 具有较高的杂种优势。由表 3 可知, T9, T17 和 T3 GCA 变量的方差效应值较小, 说明其能够将含糖量性状整齐地遗传给子代和 F₁ 代杂交组合, 而 T1 和 T24 GCA 变量的方差效应值较大, 其遗传力相对较差一些; T24, T3 和 T17 的 SCA 变量方差效应值较小, 说明由这 3 个亲本组成的杂交组合, 其含糖量性状能够得到稳定表达。

综上所述, 参试的 6 个亲本及其 15 个杂交组合

中, T3, T9, T17 和 T24 4 个亲本, 无论是鲜穗产量还是含糖量, 均表现出了较高的 GCA 和 SCA, 而且具有较高的加性基因效应和杂种优势, 可望组成高产、高含糖量的超甜玉米新品种组合。

2.2 超甜玉米鲜穗产量和含糖量遗传效应的组成与分析

2.2.1 鲜穗产量 以各参试亲本的阵列方差 (V_r) 和相应组合 F₁ 代与其亲本之间的协方差 (W_r) 为依据进行回归分析 (表 4), 得 W_r 依 V_r 变化的回归方程为: $\hat{W}_r = 0.3442V_r - 1529.72$; 将该方程回归系数 b (0.3442) 分别与 1 和 0 作 t 测验, 得 $t = 2.8752^*$ 和 $t = 1.5089$, 表明 b 与 1 之间差异显著, 而与 0 无显著差异, 说明超甜玉米鲜穗产量遗传具有多样性, 而且存在非等位基因间的互作效应, 即有上位性作用存在, 其遗传机理比较复杂。 ($W_r + V_r$) 与亲本鲜穗产量 (Y_r) 间的相关系数为 -0.8173^* , 说明参数亲本含有较多的显性基因, 其作用方向为增效, 即鲜穗产量增效效应是显性基因起主要作用。

表 4 超甜玉米鲜穗产量与含糖量的遗传方差 (V_r) 和遗传协方差 (W_r) 估算

Table 4 Estimation of genetic variance and genetic covariance of fresh ear yield and sugar content

因素 Factor	亲本 Parents	W_r	V_r	$W_r - V_r$	$W_r + V_r$	Y_r
鲜穗产量 Fresh ear yield	T1	8.60	2 673.51	- 2 664.91	2 682.11	84.8
	T3	1 010.09	4 921.97	- 3 911.88	5 932.06	56.2
	T24	- 812.09	5 259.80	- 6 071.89	4 447.71	101.8
	T13	- 892.07	4 230.57	- 5 122.64	3 338.50	108.4
	T17	447.65	5 554.55	- 5 106.90	6 002.20	72.20
	T9	1 583.64	7 937.87	- 6 354.23	9 521.51	47.30
含糖量 Sugar content	T1	8.733	3.522	5.211	12.255	27.40
	T3	10.833	11.685	- 0.852	22.518	15.90
	T24	9.197	9.140	0.057	18.337	14.74
	T13	21.677	22.528	- 0.851	44.205	12.34
	T17	3.962	4.199	- 0.237	8.161	18.48
	T9	19.847	10.877	8.960	30.734	29.12

表 5 列出了鲜穗产量基因的加性效应方差 (D)、显性效应方差 (H_1 和 H_2)、显性效应值 (H^2)、环境方差分量的期望值 (E)、平均显性度 ($(H_1/$

$D)^{1/2}$)、基因频率分布 ($H_2/4H_1$)、狭义遗传力 (h_N^2) 及控制显性基因的对数 (k) 等参数值。表 5 表明, 在决定鲜穗产量基因的 D 和 H_1, H_2 中, D 未达到显

著水平, 而 H_1 和 H_2 达到极显著水平, 且 H_1 和 H_2 的值远远大于 D , 说明鲜穗产量遗传方差中主要是显性基因起作用, 且存在超显性现象; 平均显性度 $(H_1/D)^{1/2}$ 达到 6.442; $H_2/4H_1$ 为 0.229, 小于该值最大值 0.25, 说明鲜穗产量显性位点上的基因分布不对称, 即在参试亲本中, 正负基因分布是不相同

表 5 超甜玉米鲜穗产量和含糖量的遗传参数

Table 5 Estimation of inheritance parameter of fresh ear yield and sugar content

参数 Parameter	鲜穗产量 Fresh ear yield	含糖量 Sugar content	参数 Parameter	鲜穗产量 Fresh ear yield	含糖量 Sugar content
D	475.67 ± 1.055.81	47.78* ± 3.13	$D - H_1$	-19.267.27	9.48
H_1	19.742.94* ± 2.679.98	38.30* ± 7.94	$(H_1/D)^{1/2}$	6.442	0.895
H_2	18.070.1* ± 2.394.02	24.14* ± 6.0	$H_2/4H_1$	0.229	0.158
H^2	59.949.16	71.12	h^2	17.83	0.530
E	121.83 ± 399.40	-	k	3.32	2.946

注: $D - H_1$ 表示加性和显性基因作用的相对重要性。
Note: $D - H_1$ show s important relatively rules of additive and dominant genes
2.2.2 含糖量 由表 4 估算亲本阵列方差与协方差之间的回归方程为: $W_r = 0.8285V_r - 3.8196$, 回归系数 b 与 1 和 0 之间的 t 值分别为 0.6018 和 2.907^{*}。经检验, b 与 1 之间差异不显著, 而与 0 有显著差异, 说明含糖量遗传符合“加性-显性”模型; $W_r + V_r$ 与亲本含糖量 (Y_r) 之间的相关系数是 -0.2685, 表明参试亲本含有较多的显性基因, 显性方向为增效, 即指向含糖量升高的方向。

表 5 结果表明, D 和 H_1, H_2 均达到极显著水平, 说明超甜玉米含糖量遗传方差由加性效应和显性效应共同组成; $D - H_1$ (9.48) 为正值, 也说明加性基因效应比显性基因效应更重要, 即含糖量的遗传效应主要由加性效应和显性效应组成, 其中加性效应在含糖量遗传中更为重要; $(H_1/D)^{1/2}$ 为 0.895, 且 $D > H_1$, 表明有部分显性现象存在; $H_2/4H_1$ 为 0.158, 小于最大值 0.25, 说明参试亲本显性位点上的正负效基因分布不对称; 经估算, 含糖量的狭义遗传力为 53.0%, 说明亲本的遗传能力较高, 在含糖量遗传效应中, 固定遗传的加性效应显著, 在亲本选择时, 应早代选择。如果以参试亲本中高值亲本 ($T_9 = 29.12$) 和低值亲本 ($T_{13} = 12.34$) 为依据, 按 Mather 估算, 最少基因数目 K 值为 2.946, 即至少有 3 对基因控制含糖量遗传。

3 结论与讨论

在超甜玉米新品种选育中, 如果影响经济和品质性状的指标有较高的 GCA 和 SCA, 其亲本才能在加性效应的基础上, 充分利用显性效应和上位性效应, 获得高产优质的强优势新品种。在本试验中,

的, 同时显性和隐性基因之比为 1.045, 大于 1, 说明控制亲本的显性基因频率大于隐性基因频率; 而 K 值等于 3.32, 说明控制鲜穗产量的显性基因对数至少有 4 对; 控制鲜穗产量的狭义遗传力仅为 17.83%。

T_3, T_9, T_{17} 和 T_{24} 4 个亲本的鲜穗产量和含糖量, 均表现出了较高的 GCA 和 SCA, 如果充分利用其加性效应和非加性效应的遗传特点, 就有可能组成高产高含糖量的强优势新组合。
据报道^[5], 超甜玉米鲜穗净重的遗传是显性效应占优势且表现为超显性, 狭义遗传力为 23.91%。本研究得到了类似的结果, 即鲜穗产量遗传存在非等位基因的互作效应, 说明鲜穗产量的显性效应比加性效应更重要, 而控制显性基因的对数至少有 4 对; 狭义遗传力较低, 为 17.83%, 因此在选育鲜穗产量这一性状时, 要注意不同遗传背景的亲本, 将随机性降低到最小范围。

有研究表明, 超甜玉米蔗糖性状遗传主要受加性基因和非加性基因的共同作用^[3], 也受非等位基因之间的互作^[10, 11], 糖分积累既受基因型决定, 又受环境的影响^[4], 杂交组合可溶性糖含量较双亲高或介于两亲本之间, 具有明显的正向优势效应^[12]。本研究结果表明, 超甜玉米含糖量遗传符合“加性-显性”模型, 但加性基因效应比显性效应更为重要; 根据 Mather 方法估计, 含糖量性状至少由 3 对基因控制, 狭义遗传力为 53.0%。因此, 在超甜玉米高含糖量亲本选育和新组合组配时, 应充分利用含糖量遗传力较高的优势, 在充分利用基因加性效应的基础上, 创造环境条件, 协调基因非加性效应, 从含糖量的基因型和环境型两个方面来提高超甜玉米新品种的产品品质和商品价值。

综上所述, 超甜玉米鲜穗产量和含糖量两个遗传性状的遗传特性具有一定的互补性, 即鲜穗产量表现为显性效应起主要作用且遗传力较低, 而含糖

量表现为加性效应起主要作用且遗传力较高,因此要获得高产高含糖量的强优势杂交种,不仅仅是要选用 GCA 和 SCA 较高的亲本,而且要注意亲本早

代和晚代关键性状的选育,在组配大量组合的基础上,通过测配和鉴定,才能获得综合性状优良的超甜玉米新品种。

[参考文献]

- [1] 王晓明,王子明,张 璧. 广东省超甜玉米生产及新品种选育现状分析[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2003, 16(2): 59- 64
- [2] 廖 琴,孙世贤. 中国玉米新品种动态[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005 694- 801.
- [3] 王鸿升,赵元增,李友勇,等. 超甜玉米蔗糖性状的配合力分析[J]. 河南职业技术师范学院学报, 2004, 32(3): 11- 22
- [4] 王玉兰,乔春贵,王庆钰. 甜玉米主要农艺性状的遗传参数研究[J]. 作物杂志, 1994, (1): 9- 11
- [5] 谢大森,何晓明. 超甜玉米农艺性状的遗传分析[J]. 西南农业学报, 2003, 16(2): 117- 119
- [6] 程伟东,叶成俏,覃兰秋. 不同来源超甜玉米种质自交系的配合力分析[J]. 玉米科学, 2001, (3): 3- 7.
- [7] 刘来福,毛盛贤,黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1981 142- 149
- [8] 赵增煜. 常用农业科学试验法[M]. 北京: 农业出版社, 1986 647- 653
- [9] 刘纪麟. 玉米育种学[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2002 86- 101.
- [10] Greech R G, McAra F J. Gene interaction for quantitative changes in carbohydrates in maize kernels[J]. Crop Science(U SA), 1966, 6: 193- 194
- [11] Churchill G A, Andrew R H. Effects of two maize endosperm mutants on kernel maturity carbohydrates and germination[J]. Crop Science(U SA), 1984, 24: 76- 81.
- [12] 罗高玲,吴子恺. 多隐纯合体甜玉米主要品质性状分析[J]. 种子, 2005, 24(2): 7- 12

Analysis of combining ability and inheritance trait of fresh ear yield and sugar content in super sweet corn

WANG Xiao-ming, ZENG Mu-heng, LE Su-ju

(College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China)

Abstract: Combining ability and inheritance of 6 inbred lines in super sweet corn, whose fresh ear yield and sugar content were evidently different, were studied and analysed by the incomplete diallel cross way of Griffing. The results indicated that fresh ear yield and sugar content of 4 parents had higher G. C. A. and S. C. A., which T3, T17, T19, T24 could be easily combined with the crossing combinations of higher fresh ear yield and sugar content. Heritability in a narrow sense of fresh ear yield in super sweet corn was lower (17.83%) which was caused by interaction among non-allele genes and the character was controlled by more than 4 pairs of dominant genes which made main function. Inheritance effect of sugar content was mainly controlled by "additive-dominant" rule in which additive effect outweighed dominant effect. Heritability in a narrow sense of sugar content was 53% and the sugar content was controlled by at least 3 pairs of genes.

Key words: super sweet corn; fresh ear yield; sugar content; combining ability