

甜玉米籽粒含糖量性状的研究*

单明珠, 周余庆, 李发民, 刘萌娟

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 研究了6个新选甜玉米自交系及其15个F₁组合在授粉后不同时间籽粒含糖量的遗传及变异规律。结果表明,授粉后不同时间籽粒含糖量有极显著差异,以授粉后20 d籽粒含糖量较高;要获得含糖量较高的甜玉米组合,需要选择双亲含糖量均表现优良的亲本材料进行组配,亲子遗传在不同组合中表现出明显差异。含糖量主要受加性基因效应的作用,非加性基因的作用相对很小,其遗传符合加性-显性模型。控制含糖量遗传的增效基因因为隐性基因。

[关键词] 甜玉米;籽粒含糖量;加性基因效应;增效基因

[中图分类号] S513.032

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)06-0111-04

近年来,随着人们生活水平的不断提高,人们的饮食结构也发生了很大变化,即由温饱型转变为营养型,由细粮为主的单一型转变为粗粮搭配、杂粮兼食的多元型。甜玉米以其鲜、嫩、脆、香的特点作为蔬菜受到人们的青睐。世界上种植和食用甜玉米已有100多年的历史^[1]。美国是世界上最大的甜玉米生产和消费国,于1924年选育出第一个甜玉米杂交种^[1]。近20年来,我国甜玉米育种和生产有了一定的发展,目前甜玉米的消费水平较高,市场前景十分广阔^[1-2],但由于甜玉米品种资源匮乏和研究工作相对滞后,生产上的甜玉米品种普遍存在品质问题^[3]。糖分含量是甜玉米重要的品质性状,其存在于3N的胚乳中,第n代植株上产生的种子已是第n+1世代,在遗传上至少与14个胚乳突变基因有关^[1],且受环境影响较大^[4-5]。因此,糖分含量的遗传研究比较困难,国内现有的甜玉米研究主要涉及储藏、加工和营养成分变化等^[1,3],有关遗传、育种的研究报道很少。本研究对6个新选甜玉米自交系及其15个F₁组合在授粉后不同时间籽粒含糖量的遗传与变异规律进行了探讨,以为甜玉米育种和生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 田间试验设计

选用6个新选甜玉米自交系P₁, P₂, P₃, P₄, P₅,

P₆,于2002年种植于西北农林科技大学农科院试验地,随机区组设计,重复3次,2行区,行长4m,种植密度6万株/hm²。采用Griffing完全双列杂交方法(II)配制15个F₁正交组合C₁₂, C₁₃, C₁₄, C₁₅, C₁₆, C₂₃, C₂₄, C₂₅, C₂₆, C₃₄, C₃₅, C₃₆, C₄₅, C₄₆和C₅₆,选株套袋授粉,挂牌标明授粉时间,分别于授粉后15,20和25 d测定杂交当代和亲本籽粒含糖量。3次测定取同一果穗籽粒,每次重复测定5株,整个生育期浇水3次,5叶期防虫1次,其他管理措施同大田。

1.2 籽粒含糖量测定

采用WYT-4型手持糖量计测定,结果以5株籽粒的平均含糖量表示。

1.3 数理统计方法

1.3.1 含糖量差异显著性分析 组合含糖量与其双亲平均含糖量的差异采用参数假设检验(t值)法^[6];授粉后不同时间和基因型含糖量的差异分别采用随机区组试验方差分析法。授粉后不同时间籽粒含糖量为试验重复的平均测定结果,组合及亲本籽粒含糖量为授粉后不同时间测定结果的平均值。

1.3.2 配合力及遗传参数分析 采用Griffing完全双列杂交模型(II)对随机区组资料进行分析。

1.3.3 遗传模型及基因作用方向分析 根据莫惠栋^[7-8]的胚乳性状双列模型分析法,若系列协方差 $W r_{(i)}$ 和系列方差 $V r_{(i)}$ 具有线性回归关系,即回归分析接受 $H_0: \beta = 1$,则基因作用方式符合加性-显性

* [收稿日期] 2005-08-19

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(99SM16);西北农林科技大学植物遗传育种专项(05yz011)

[作者简介] 单明珠(1958-),女,陕西户县人,副研究员,主要从事玉米育种研究。

模型。在符合加性-显性模型时, $W_{r(i)}$ 和 $V_{r(i)}$ 的值随第 i 亲本所携带的显性等位基因的增多而减小或隐性等位基因的增多而增大, 即在涉及一个性状的所有位点上, 显性等位基因最多的亲本具有最小的 $W_{r(i)}$ 和 $V_{r(i)}$, 隐性等位基因最多的亲本具有最大的 $W_{r(i)}$ 和 $V_{r(i)}$ 。因此, 由第 i 亲本的 $W_{r(i)} + V_{r(i)}$ 与亲本平均数 P_i 的相关系数可以推断显、隐性等位基因的作用方向: 显著正相关表示隐性基因为增效, 显著负相关表示显性基因为增效, 无显著相关则表示双向显性, 即不同位点可有不同的显性方向。

2 结果与分析

2.1 授粉后不同时间籽粒含糖量的变异和遗传

2.1.1 籽粒含糖量的变异 由表 1 可见, 授粉后不

同时间, 亲本 P_4 及其组合籽粒含糖量均较低, 尤其在授粉后 25 d 时 P_4 和 C_{15} , C_{45} , C_{46} 籽粒含糖量更低, 这属于正常遗传差异。另外, P_4 及其组合在乳熟期口感发粘, 后期籽粒灌浆速度较快。表 1 资料的方差分析结果表明, 授粉后不同时间籽粒含糖量有明显差异, 授粉后 20 d 籽粒平均含糖量较高, 差异极显著 ($P < 0.01$), 25 d 次之, 15 d 最小, 其中授粉后 20 和 25 d 籽粒含糖量无显著差异 ($P > 0.05$), 说明授粉 20 d 以后籽粒糖分的积累趋于稳定, 光合产物开始逐渐转化为淀粉。

2.1.2 亲本与组合的差异 由表 2 可以看出, 授粉后不同时间各组合籽粒含糖量平均值低于其亲本, 标准差高于其亲本(除授粉后 25 d), 变异系数高于亲本。

表 1 授粉后不同时间甜玉米籽粒含糖量的测定结果

Table 1 Sugar contents of sweet corn kernels in different days of pollination

亲本/组合 Inbred line/cross	授粉后时间/d Pollination days			平均 Mean
	15	20	25	
P ₁	21.0	32.0	33.0	28.7
P ₂	14.5	25.0	26.0	21.8
P ₃	16.5	28.0	32.0	25.5
P ₄	15.0	20.0	8.0	14.3
P ₅	15.0	22.0	21.0	19.3
P ₆	20.5	21.0	29.0	23.5
C ₁₂	17.5(17.8)	25.0(28.5)	28.0(29.5)	23.5(25.3)
C ₁₃	19.0(18.8)	33.0(30.0)	32.0(32.5)	28.0(27.1)
C ₁₄	19.0(18.8)	33.0(30.0)	32.0(32.5)	28.0(27.1)
C ₁₅	11.0(18.0)	19.0(26.0)	7.0(20.5)	12.3(21.5)
C ₁₆	20.0(18.0)	28.0(27.0)	31.0(27.0)	26.3(24.0)
C ₂₃	15.0(20.8)	20.0(26.5)	20.0(31.0)	18.3(26.1)
C ₂₄	15.0(15.5)	22.0(26.5)	26.0(29.0)	21.0(23.7)
C ₂₅	13.0(14.8)	10.0(22.5)	16.0(17.0)	13.0(18.1)
C ₂₆	15.5(14.8)	25.0(23.5)	32.0(23.5)	24.2(20.6)
C ₃₄	16.0(15.8)	14.0(24.0)	13.0(20.0)	14.3(19.9)
C ₃₅	18.0(15.8)	28.0(25.0)	25.0(26.5)	23.7(22.4)
C ₃₆	20.0(18.5)	30.0(24.5)	30.0(30.5)	26.7(24.5)
C ₄₅	15.0(15.0)	22.0(21.0)	9.0(14.5)	15.3(16.8)
C ₄₆	11.0(17.8)	16.0(20.5)	9.0(18.5)	12.0(18.9)
C ₅₆	21.0(17.8)	26.0(21.5)	26.5(25.0)	24.5(21.4)
平均值 Mean	16.5	23.4	22.8	
相关系数 r	0.222 8	0.455 1	0.784 6**	0.683 1
差异显著性(t 值)	0.865 < $t_{0.05}$, $f = 23$	1.017 < $t_{0.05}$, $f = 19$	1.027 < $t_{0.05}$, $f = 26$	

注: C_{12} 表示组合 $P_1 \times P_2$, C_{13} 表示组合 $P_1 \times P_3$, ..., 其余依次类推; 括号中为双亲平均值, 相关系数为组合平均值与其双亲平均值的相关性。

Note: C_{12} indicated the cross $P_1 \times P_2$; C_{13} was the cross $P_1 \times P_3$, ...,; rest was the same Numerals in brackets was averages of both parents;

Correlation coefficients indicated that the average of cross was correlative to the average of the both parents

2.1.3 亲子相关分析 相关分析表明, 授粉后不同时间组合的籽粒含糖量与双亲籽粒平均含糖量的相关性不同, 以授粉后 25 d 的相关系数最大, 达极显著水平 ($P < 0.01$); 授粉后 15, 20 d 相关不明显(表 1)。参数假设检验表明(t 值^[6]见表 1), 授粉后 15,

20, 25 d 组合的籽粒含糖量与双亲籽粒平均含糖量差异均不显著。因此, 要获得含糖量较高的甜玉米杂交组合, 必须选择含糖量较高的亲本材料, 其中以授粉后 25 d 的测定结果选择亲本更为理想。籽粒含糖量的亲子遗传在不同组合表现出差异, 除主要表现

中间遗传外, 超高亲、倾高亲、倾低亲、低于低亲的遗传现象普遍存在。授粉后 20 d 超高亲和低于低亲的组合均较多, 授粉后 25 d 近中亲组合和倾低亲组合

较多, 授粉后 15 d 近中亲组合和低于低亲组合较多。参试亲本中, 亲本 3 和 5 出现在超高亲组合中, 而亲本 4 较多地出现在低于低亲组合中。

表 2 甜玉米亲本和组合籽粒含糖量的变异分析

Table 2 Variation of sugar content of parents and their crosses

亲本(组合) Parent	授粉后时间/d Pollination days	均值 Average	标准差 S	变异系数/% CV
亲本 n= 6 Parent	15	17. 1	2 923	17. 1
	20	24. 7	4 633	18. 8
	25	24. 8	9. 325	37. 6
组合 n= 15 Cross	15	16. 3	3. 126	19. 2
	20	22. 9	6. 273	27. 4
	25	22. 0	8. 969	40. 8

2.2 配合力和遗传参数分析

采用 Griffing 完全双列杂交模型(II)进行甜玉米籽粒含糖量配合力和遗传参数分析, 结果见表 3。表 3 结果表明, 参试亲本的一般配合力差异达极显著水平($P < 0.01$), 而特殊配合力差异达显著水平($P < 0.05$), 一般配合力方差远远大于特殊配合力方差; 基因型平均值的方差成分(遗传方差)中, 76.77% 是由一般配合力(加性方差)引起的, 而 23.23% 是由特殊配合力(非加性方差)引起的, 即籽

粒含糖量主要受加性基因效应决定, 而非加性基因的作用很小。因此, 在选配组合时重视亲本一般配合力会取得较好的改良效果, 同时还要注意选择双亲含糖量均表现优良的亲本进行组配, 以发挥基因的加性效应。广义遗传力(h_B^2)和狭义遗传力(h_N^2)均较低, 说明籽粒含糖量除受遗传因素控制外, 在一定程度上亦受环境影响, 这与赵仁贵等^[4]采用世代均值分析的结果基本一致。

表 3 甜玉米籽粒含糖量及其配合力方差分析与遗传参数估计

Table 3 Genetic parameters and variance analysis of grain sugar contents and its combination ability

变异来源 Variance source	DF	SS	MS	F 值 F value	EMS EMS(model)	方差成分 Variance component
基因型 Genotype	20	1 762.58	88.13	5.14**		
误差(环境) Error	40	685.18	17.13			
一般配合力 GCA	5	421.81	$Mg = 84.36$	14.77**	$\hat{\delta}_e^2 + \hat{\delta}_s^2 + (n+2)\hat{\delta}_g^2$	$\hat{\delta}_g^2 = (Mg - Ms)/8 = 9.14$
特殊配合力 SCA	15	168.56	$Ms = 11.24$	1.97*	$\hat{\delta}_e^2 + \hat{\delta}_s^2$	$\hat{\delta}_s^2 = Ms - Me = 5.53$
误差(平均数) Error	40	228.39	$Me = 5.71$		$\hat{\delta}_e^2$	
加性方差 Additive variance $\hat{\delta}_A^2 = 2\hat{\delta}_g^2 = 18.28$,		非加性方差 Non-additive variance $\hat{\delta}_D^2 = \hat{\delta}_s^2 = 5.53$,				
遗传方差 Genetic variance $\hat{\delta}_G^2 = \hat{\delta}_A^2 + \hat{\delta}_D^2 = 23.81$,		环境方差 Environment variance $\hat{\delta}_E^2 = 17.13$,				
表型方差 Phenotype variance $\hat{\delta}_P^2 = \hat{\delta}_G^2 + \hat{\delta}_E^2 = 40.94$;		狭义遗传力 Narrow heritability $h_N^2 = \hat{\delta}_A^2/\hat{\delta}_P^2 = 44.65\%$;				
广义遗传力 Broad heritability $h_B^2 = \hat{\delta}_G^2/\hat{\delta}_P^2 = 58.16\%$,						

2.3 遗传模型及基因作用方向

根据双列杂交试验籽粒含糖量资料计算亲本系列方差 $V_{r(i)}$ 和系列协方差 $W_{r(i)}$, 并进行 $W_{r(i)}$ 与

$V_{r(i)}$ 回归分析以及 $W_{r(i)} + V_{r(i)}$ 与 P_i 的相关分析^[7-8], 结果见表 4。

表 4 甜玉米亲本系列方差、协方差及回归与相关系数

Table 4 The variance and concerted variance of parent series

亲本 Parent	系列方差 $V_{r(i)}$ Variance	系列协方差 $W_{r(i)}$ Covariance	$W_{r(i)} + V_{r(i)}$	亲本平均数 P_i Parent series
P ₁	41.015 0	24.437 0	65.452 0	22.850 0
P ₂	17.262 7	14.570 7	31.833 4	21.133 3
P ₃	24.976 0	22.616 0	47.592 0	23.200 0
P ₄	1.690 7	3.689 3	- 2.006 7	13.533 3
P ₅	16.873 7	19.342 3	36.216 0	22.216 7
P ₆	28.737 7	12.915 7	41.653 4	21.383 3
回归与相关系数 Regression and correlation coefficient	回归系数 Regression coefficient $b = 0.624 5$ $H_0: \beta = 1 \quad t = 1.669 < t_{0.05} = 2.776$		相关系数 Correlation coefficient $R[W_{r(i)} + V_{r(i)}, P_i] = 0.910 5^*$	
	$H_0: \beta = 0 \quad t = 2.778^* > t_{0.05} = 2.776$			

由表4可知,籽粒含糖量的回归检验接受 $H_0: \beta = 1; W r_{(i)} + V r_{(i)}$ 与亲本平均数 P_i 呈显著正相关,即含糖量遗传符合加性-显性模型,控制籽粒含糖量遗传的增效基因为隐性基因。这种隐性基因在6个供试亲本中,以亲本3最多,其次为亲本1,5,6和2,亲本4最少(显性基因最多)。说明有亲本3参加的杂交组合,其后代可能较易分离出籽粒含糖量高的组合类型,亲本4则较难。

3 讨论

甜玉米授粉后不同时间籽粒含糖量有明显差异,且籽粒含糖量与品种类型、生育期、生长期气候特点,特别是采收期光照、气温等因素有关^[1]。本研究结果表明, F_1 组合授粉后 15~20 d 籽粒含糖量有显著差异,授粉后 20 d 籽粒含糖量较高,因此,这一

时期籽粒含糖量可作为甜玉米育种的选择指标。而有关甜玉米生产中所收获的 F_2 籽粒含糖量与采收期的关系还有待于进一步研究。

甜玉米籽粒含糖量性状亲子遗传具有多样性特点。亲子之间除主要表现中间遗传外,超高亲、倾高亲、倾低亲、低于低亲的遗传现象普遍存在,这在一定程度上有利于亲本的选择。在育种实践中,可以选择籽粒含糖量超高亲组合的亲本;相反,淘汰籽粒含糖量低于低亲组合的亲本。

籽粒含糖量遗传主要受加性基因效应作用。选配组合时既要注意亲本的一般配合力,还要考虑双亲籽粒含糖量都要高,以发挥基因的加性效应。同时,含糖量在一定程度上受环境的影响,这又给选择带来一定困难。

[参考文献]

- [1] 石德权,郭庆发,温义昌,等. 鲜食玉米研究进展[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2001: 23-30, 21-38, 151-156, 158-168, 181-186, 202-206
- [2] 樊龙江,颜启传,藏荣春,等. 甜玉米种子活力低下原因及提高其田间出苗率研究[J]. 作物学报, 1998, 24(1): 103-109.
- [3] 乐素菊,刘厚诚,张壁,等. 超甜玉米籽粒乳熟期碳水化合物变化及食用品质[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 24(2): 9-11.
- [4] 赵仁贵,牟旗,张健,等. 加强型甜玉米含糖量性状的遗传研究[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(4): 32-35
- [5] 彭忠华,王国祥. 甜玉米主要数量性状配合力及性状间的相关分析[J]. 贵州农业科学, 2002, 30(4): 6-9
- [6] 袁志发,周静琴. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 43-55, 89-102
- [7] 莫惠栋. 胚乳性状的双列模型及分析[J]. 江苏农学院学报, 1988, 9(3): 1-10
- [8] 莫惠栋. 双列资料的遗传模型及分析[J]. 江苏农学院学报, 1987, 8(1): 59-64

Study on sugar contents of the sweet corn grains

SHAN Ming-zhu, ZHUO Yu-qing, LI Fa-min, LIU Meng-juan

(The College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The variation and genetic law of the sugar contents of 6 inbred lines and their 15 F_1 were studied with diallel cross data. The results indicated that there was evident difference among the sugar contents of kernels in different pollinated times. The sugar contents of kernels pollinated around 20 days was the highest in the kernels pollinated in 15-25 days. Both two parents had high sugar contents for producing their crosses with more sugar contents. There was evident genetic difference from parents to their next generation among different crosses. The sugar contents were mainly under control by the additive gene effect. Its genetic accorded with additive-dominant model. The effect increasing genes of the sugar contents were recessive.

Key words: sweet corn; sugar content; additive gene effective; effect increasing gene