

糯玉米自交系光合特性的配合力分析

王利强, 包和平*, 王晓波
(吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118)

摘要: 为了探讨糯玉米光合性状的遗传规律, 利用 8 个糯玉米自交系 (JN2、JN4、JN7、JN8、JN10、JN12、JN14、JN15) 进行完全双列杂交, 采用 Griffing II 方法对糯玉米 3 个光合性状 (光合速率、叶面积、叶绿素含量) 进行配合力分析, 并对其遗传参数进行估算。结果表明, 光合速率受遗传因素影响较大 ($h^2_B = 89.04\%$), 以非加性效应为主 ($h^2_N = 19.44\%$); 叶绿素含量受遗传因素影响较小 ($h^2_B = 31.12\%$); 叶面积受遗传影响一般 ($h^2_B = 54.28\%$)。自交系中, JN2 和 JN7 是较好的高光效亲本。自交系正反交组合间有明显差异, 存在细胞质效应。在糯玉米高光效育种中, 光合性状应在高代进行选择。在重视亲本的一般配合力和特殊配合力的同时, 应考虑到正反交组合的利用价值。

关键词: 糯玉米; 双列杂交; 配合力; 遗传参数; 光合特性

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2011)04-0041-05

Analysis of Combining Ability of Photosynthetic Characters in Waxy Maize Inbred Lines

WANG Li-qiang, BAO He-ping*, WANG Xiao-bo
(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to study the photosynthetic characteristics and genetic regularity of photosynthetic traits, eight inbred lines of waxy maize (JN2, JN4, JN7, JN8, JN10, JN12, JN14, JN15) were used for complete diallel crossing model. Griffing II was used and combining ability lines was analyzed in three photosynthetic characters (photosynthetic rate, leaf area, chlorophyll content), and its genetic parameter were estimated. Results showed that hereditary effects were high ($h^2_B = 89.04\%$) and non-additive effect was major in photosynthetic rates ($h^2_N = 19.44\%$). The hereditary effects were lower in chlorophyll content ($h^2_B = 31.12\%$). The hereditary effects were not high in leaf area ($h^2_B = 54.28\%$). JN2 and JN7 were good parent for improving photosynthetic efficiency of F_1 generation in inbred lines. Cross was different from back cross in inbred lines. The cytoplasm gene effects existed. In high photosynthetic efficiency breeding of waxy maize, photosynthetic characters should make selection at higher generation. We should not only pay attention to GCA and SCA, but also consider the great importance of cross and back cross lines.

Key words: Waxy maize; Diallel crossing; Combining ability; Genetic parameter; Photosynthetic character

玉米是 C₄ 作物, 具有较强的光合能力, 玉米籽粒产量的形成主要来自于吐丝后光合产物的积累^[1]。改善作物的光合性能可以有效地提高作物的

产量。玉米是典型的杂种优势利用作物, 在光合速率、蒸腾速率、叶绿素荧光等方面具有较强的杂种优势^[2-3]。吴尔福^[4]通过对玉米品种资源光能利用的

收稿日期: 2010-11-30
基金项目: 吉林省教育厅科研育种专项 (2008(71) 号)
作者简介: 王利强 (1985), 男, 河南安阳人, 在读硕士研究生, 研究方向: 玉米遗传育种。E-mail: wlq851030@yahoo.cn
* 通讯作者: 包和平 (1964), 男, 吉林长春人, 教授, 主要从事作物遗传育种工作。E-mail: baohp2006@yahoo.com.cn
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究,认为不同基因型在光合速率的光反应上存在明显差别。郭小强^[5]、Heichel 等^[6] 研究认为,玉米品种间及同一品种内不同个体间存在净光合速率的差异。周艳敏等^[7]通过对玉米生育后期光合特性遗传规律的研究,认为不同光合性状的遗传规律不同。席章营等^[8]通过对玉米穗位叶的研究,认为光合速率的遗传力较低,受基因的非加性效应及环境因素的影响较大。目前有不少学者对玉米光合特性进行了研究,但大多是针对不同栽培措施方面(密度、施肥量等),虽然也有些关于光合遗传机制的研究,但不同的研究人员所采用的试验材料和方法不同,所得的结论也不尽相同,有待进一步研究。糯玉米(waxy corn)是普通玉米第 9 染色体上的基因发生隐性突变(由 *WX* 突变为 *wx*)形成的特殊玉米类型^[9]。在青食、速冻、加工罐头、饲料、淀粉加工、酿酒等方面具有重要作用^[10-12]。糯玉米具有较强的光合能力和较长的光合时间^[13],因此,对糯玉米光合特性的遗传规律进行研究具有重要意义。本试验以糯玉米为材料,对吐丝后期各光合性状(光合速率、叶面积、叶绿素含量)的配合力、遗传参数、正反交效应等进行分析,探索糯玉米光合特性遗传的规律,以期为糯玉米高光效育种提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

2009 年利用 8 个糯玉米自交系 JN2、JN4、JN7、JN8、JN10、JN12、JN14、JN15,按完全双列杂交的方法组配 56 个杂交组合。2010 年将亲本自交系和杂交组合种植于吉林农业大学试验田,随机区组设计,2 行区,行长 5 m,行距 0.66 m,株距 0.3 m,3 次重复,管理同大田。

1.2 测定项目及方法

光合速率($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$):利用美国产 LI-6400 光合测定仪进行田间活体测定。测量部位为穗位叶的中部,取其均值。测定时光强(PAR)设置为 $(1\,900 \pm 10) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,叶室温度(T)为 $(31 \pm 2)^\circ\text{C}$,大气相对湿度(RH)为 $(55 \pm 10)\%$,叶室 CO_2 含量为 $(330 \pm 20) \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。叶绿素含量(SPAD 值):利用 SPAD-502 叶绿素测定仪对叶片(棒三叶)中部进行测定。叶面积(cm^2):对叶片(棒三叶)长和宽进行测定,叶面积=叶长 \times 叶宽 $\times 0.75$ 。

1.3 统计方法

依据刘来福等^[14]的方法,利用 DPS 7.05 统计软件,按 Griffing II 固定模型进行配合力分析,并进行遗传参数估计。

2 结果与分析

2.1 不同糯玉米光合性状及其配合力方差分析

8 个糯玉米自交系及其组配的 56 个杂交组合的方差分析与配合力分析结果见表 1。结果表明,各光合性状重复间差异不显著,但不同组合间差异均达极显著水平。说明各光合性状在不同组合间存在着真实的遗传差异,可进一步对其配合力进行分析。各组合的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)差异均达极显著水平,表明各性状中基因的加性效应与非加性效应共同起作用。GCA 效应值明显高于 SCA 效应值,表明这些光合性状主要受基因的加性效应控制。选择性状时既要考虑其 GCA 效应,同时也要考虑其 SCA 效应。对反交效应的方差分析表明,各光合性状的反交效应均达极显著水平,即均存在细胞质效应,可对其反交效应进行分析。

表 1 糯玉米基因型及配合力显著性分析

变异来源	光合速率		SPAD 值		叶面积	
	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值
重复	6.88	2.68	1.40	0.11	4376.57	1.21
组合	381.15	148.43*	125.00	9.64*	41750.22	11.57**
GCA	65.24	228.67*	23.41	27.09*	24492.55	61.07**
SCA	29.32	102.76*	7.80	9.20*	3303.33	8.24
GCA/SCA		2.23		2.94		7.41
反交	49.66	174.03*	5.10	5.90*	1101.08	2.52**

注: *、** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著

2.2 糯玉米自交系 GCA 效应分析

GCA 效应是某一自交系与多个自交系杂交后遗传给子代的平均表现,由基因的加性效应控制,能够稳定遗传^[15]。将 8 个亲本自交系及其各光合性

状的 GCA 相对效应值列于表 2。由表 2 可知,同一性状不同自交系间 GCA 效应有较大差异,有些表现为正效应,有些表现为负效应。光合速率的 GCA 效应值变幅为-2.87~2.38,其中 JN2、JN7、JN12、

JN14 的为正值, 经多重比较, JN2 与 JN7、JN12 间差异达极显著水平, JN7 与 JN12 间差异达显著水平。叶绿素含量的 GCA 效应值变幅为 $-2.21 \sim 2.94$, 其中 JN7、JN8、JN10、JN12、JN15 效应为正值, JN10 与其他自交系差异均达极显著水平, JN7、JN8、JN12、JN15 间无显著差异。叶面积的 GCA 效应值变幅为 $-52.62 \sim 62.16$, 其中 JN2、JN7、JN10 效应值为正, JN2 与 JN7、JN10 之间有极显著差异, JN7 与 JN10 之间则差异不显著。进一步分析可以看出, 自交系 JN2 的光合速率和叶面积这 2 个性状 GCA 效应均表现为最大值, 虽然叶绿素含量表现出一定的负效应, 但负效应并不大, 在育种中可作为较好的亲本, 自交系 JN7 3 个光合性状均表现出正效应, 在光合速率性状中居第 3 位, 而在叶绿素含量和叶面积这 2 个性状中均居第 2 位, 具有很好的应用价值, 可作为优良的高光效亲本, 其他自交系可作为选育某些特定性状的亲本, 例如在对叶绿素含量进行选择时, 自交系 JN10 就是较好的亲本。

表 2 8 个亲本自交系 GCA 效应值及多重比较

自交系	光合速率	SPAD 值	叶面积
JN2	2.38aA	- 1.26dC	62.16aA
JN4	- 0.59dC	- 0.12cB	16.62cC
JN7	1.15bB	0.73bB	39.27bB
JN8	- 0.45dC	0.44bcB	- 27.05cC
JN10	- 2.87eD	2.94aA	30.21bB
JN12	0.73cB	0.13bcB	- 17.73cC
JN14	2.29aA	- 2.21eD	- 17.58cC
JN15	- 2.64eD	0.70bB	- 52.62dD

注: 同列小写、大写字母分别表示 0.05 和 0.01 水平差异显著

2.3 糯玉米 SCA 效应分析

SCA 效应是杂交组合与亲本表现预期结果的偏差, 由基因的非加性效应决定, 只能在亲本杂交后代中表现出来, 不能够稳定遗传^[15-16]。由表 3 可知, 不同杂交组合光合速率的 SCA 表现为: JN2×JN8、JN4×JN7、JN7×JN14、JN12×JN14 具有较高的 SCA, 其中 JN12×JN14 效应值最大; 不同杂交组合

叶绿素含量 SCA 表现为: JN2×JN8、JN4×JN12、JN8×JN14、JN10×JN15 具有较高的 SCA, 其中 JN2×JN8 效应值最大。不同杂交组合叶面积 SCA 表现为: JN2×JN8、JN2×JN14、JN4×JN12、JN7×JN14 具有较高的 SCA, JN4×JN12 的效应值最高。SCA 较高的组合表明其具有较强的杂种优势, 在育种中, 在优先选用 GCA 较高的自交系的同时, 也应对 SCA 高的组合加以利用。

2.4 不同糯玉米杂交组合反交效应分析

由表 1 可知, 各光合性状的反交效应(F 值)均达到极显著水平, 表明在光合性状遗传中有细胞质基因的作用。由表 3 可以看出, 28 个杂交组合的反交效应均有较大差异。在光合速率中, 反交效应的 SCA 效应值变异范围为 $-11.41 \sim 10.36$, JN2×JN4、JN4×JN7、JN8×JN14 具有较高正向效应值, 其中 JN8×JN14 具有正向最大值(10.36), JN2×JN7、JN2×JN12、JN12×JN15、JN8×JN15 具有较高的负向效应值, 其中 JN2×JN7 的负效应最大(-11.41); 在叶绿素含量中, 反交效应的变异范围为 $-3.56 \sim 2.99$, JN4×JN8、JN4×JN10、JN7×JN8 具有较高的正向反交效应, 其中 JN4×JN10 的正向效应值最高(2.99), JN2×JN4、JN2×JN8、JN7×JN12 具有较高的负向效应值, 其中 JN2×JN8 的负效应值最高(-3.56); 在叶面积中, 反交效应的变异范围为 $-38.44 \sim 50.13$, JN2×JN10、JN2×JN12、JN8×JN12、JN8×JN15 具有较高的正向效应值, JN2×JN10 效应值最高(50.13), JN2×JN4、JN4×JN8、JN7×JN14、JN8×JN14 具有较高的负向效应值, JN8×JN10 的负效应值最大(-38.44)。在各光合性状中, 正向效应值较大说明该性状正交组合优于其反交组合, 负向效应值较大说明其反交效应可能优于正交组合。许多组合间有较强的反交效应, 表明细胞质基因发挥的作用不容忽视, 在育种中, 对正反交组合应当合理加以利用。

表 3 28 个糯玉米组合 SCA 效应及其反交效应

组合	光合速率		SPAD 值		叶面积	
	正交	反交	正交	反交	正交	反交
JN2×JN4	- 3.79	5.25	0.96	- 2.71	27.39	- 33.32
JN2×JN7	- 1.91	- 11.41	0.09	0.45	24.01	7.96
JN2×JN8	4.72	- 2.44	3.78	- 3.56	49.78	3.60
JN2×JN10	- 1.29	- 1.96	0.92	0.19	- 67.72	50.53
JN2×JN12	- 0.13	- 7.14	- 0.90	- 1.69	- 13.68	43.59
JN2×JN14	3.04	- 3.75	- 1.52	- 0.12	45.27	- 10.27
JN2×JN15	3.17	- 5.22	- 1.33	0.14	- 10.79	- 5.77
JN4×JN7	6.05	6.59	0.21	1.17	- 54.86	- 16.47

续表 3 28 个糯玉米组合 SCA 效应及其反交效应

组合	光合速率		SPAD 值		叶面积	
	正交	反交	正交	反交	正交	反交
JN4× JN8	0.86	2.36	1.83	2.26	- 2.22	- 28.81
JN4× JN10	0.37	3.21	- 1.91	2.99	25.60	14.64
JN4× JN12	0.92	- 1.68	2.40	0.91	69.38	15.88
JN4× JN14	1.33	- 4.27	0.69	1.96	17.52	- 6.79
JN4× JN15	0.97	0.86	- 0.56	- 0.14	- 9.16	- 9.51
JN7× JN8	2.08	3.97	- 0.42	2.31	4.74	- 6.85
JN7× JN10	2.50	2.97	0.20	- 1.73	29.24	- 4.20
JN7× JN12	- 2.33	- 4.68	1.66	- 2.16	28.50	21.39
JN7× JN14	4.12	0.81	1.36	- 1.49	45.04	- 27.59
JN7× JN15	- 0.93	- 1.66	- 1.97	0.13	14.21	- 14.24
JN8× JN10	3.56	- 2.68	- 2.60	0.16	- 8.86	- 38.44
JN8× JN12	- 2.57	4.73	- 0.31	- 1.20	8.21	29.60
JN8× JN14	0.37	10.36	2.74	1.90	1.63	- 15.82
JN8× JN15	- 1.70	- 8.06	- 0.94	- 0.77	23.28	35.13
JN10× JN12	- 2.31	- 4.43	0.83	0.58	34.88	- 20.48
JN10× JN14	- 1.58	- 1.37	1.61	- 0.93	1.29	25.43
JN10× JN15	1.87	- 7.63	2.27	- 0.69	16.82	- 0.98
JN12× JN14	6.74	2.36	- 0.78	1.71	- 35.82	- 3.23
JN12× JN15	- 3.22	- 4.11	1.99	- 0.78	- 2.56	6.85
JN14× JN15	- 2.96	- 0.52	- 1.39	- 1.44	2.06	14.99

2.5 糯玉米不同性状遗传参数估算

根据配合力分析中的随机模型对各项方差项组成和遗传参数进行估算(表 4)。光合速率的广义遗传力较高(89.04%),表明光合速率主要受遗传因素控制,受环境因素影响较小;狭义遗传力较低(19.44%),在遗传因素中以非加性效应较为重要(显性、上位性等),而加性效应较低。在叶绿素含量中,广义遗传力较低(31.12%),狭义遗传力很低(10.45%),表明叶绿素含量受遗传因素影响不大;叶面积的广义遗传力一般(54.28%),狭义遗传力也不高(33.63%),表明叶面积主要受遗传因素和环境因素双重控制,遗传因素稍大,在遗传因素中,加性效应和非加性效应同时存在,加性效应较为重要。

表 4 糯玉米各光合性状方差组成及遗传参数估算			
组成成分	光合速率	SPAD 值	叶面积
加性方差	4.55	1.97	2655.02
非加性方差	16.30	3.89	1629.35
遗传方差	20.85	5.86	4284.37
环境方差	2.57	12.97	3609.42
表型方差	23.42	18.82	7893.79
$h^2_B/\%$	89.04	31.12	54.28
$h^2_N/\%$	19.44	10.45	33.63

3 结论与讨论

1) 光合速率主要受遗传因素影响,其中非加性(显性、上位性等)效应较为重要;叶绿素含量受遗传因素影响较小;叶面积受遗传和环境双重因素影

响,在遗传因素中以加性效应较为重要。在糯玉米育种中,对各光合性状(光合速率、叶绿素含量、叶面积)的选择不宜在早代进行,在高代选择能取得较好的效果。

2) 同一性状不同亲本自交系的一般配合力有很大差异,在育种中,应优先选择 GCA 效应较高的自交系(例如本试验中的自交系 JN7 和 JN2)。同时也要对 SCA 效应较高的加以重视,在糯玉米光合性状中,由于细胞质效应明显,应多尝试反交组合的应用,以利于选择优良组合,培育高光效新品种。

参考文献:

[1] Simmons S R, Jones R J. Contributions of pre silking assimilate to grain yield on maize[J]. Crop Sci, 1985, 25: 1004 1006.

[2] 李霞,丁在松,李连录,等. 玉米光合性能的杂种优势[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1049- 1054.

[3] 赵明,王美云,李少昆. 玉米杂交种与亲本主要光合性状的比较[J]. 华北农学报, 1997, 12(2): 39- 43.

[4] 吴尔福. 玉米品种资源光能利用的研究[J]. 中国农业科学, 1982, 10(5): 25- 31.

[5] 郭小强. 不同玉米自交系光合特性的研究[J]. 玉米科学, 1997, 5(3): 46- 49.

[6] Heichel G G, Musgrave R B. Varietal differences in net photosynthesis of *Zea mays* L[J]. Crop Sci, 1969, 9: 483- 486.

(下转第 48 页)

恢复期与对照差异不显著。水杨酸处理对磷酸酯酶活性的影响没有对蛋白激酶活性的影响明显,其极显著提高了照光前的磷酸酯酶活性,照光开始后的酶活性与对照差异不显著,但是恢复期显著高于对照。因此,水杨酸处理对小麦叶片类囊体蛋白磷酸化的保护作用主要是通过提高照光前的蛋白激酶活性和磷酸酯酶活性,其中,蛋白激酶活性的提高作用更明显。

参考文献:

- [1] Yalpani N, Silverman P, Wilson T M A, *et al.* Salicylic acid is a systemic signal and inducer of pathogenesis-related proteins in virus infected tobacco [J]. *Plant Cell*, 1991, 3(8): 809-818.
- [2] 吴伦忠, 韩瑞红, 莫亿伟, 等. 水杨酸提高水稻幼苗对镉胁迫的抗性[J]. *华北农学报*, 2008, 23(增刊): 135-139.
- [3] 张琳, 王甲辰, 左强, 等. 低温胁迫下喷施水杨酸对西红柿幼苗抗寒性的影响[J]. *现代农业科技*, 2010(10): 96-97.
- [4] Yan Y, Qi M, Mei C. Endogenous salicylic acid and protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic[J]. *Plant J*, 2004(6): 914-919.
- [5] 范苓, 段伟, 程杰山, 等. 水杨酸对高温胁迫下及恢复期间葡萄幼苗叶片光合机构 PS II 的影响[J]. *果树学报*, 2009, 26(5): 623-627.
- [6] 王利军, 黄卫东, 李家永. 水杨酸对葡萄幼苗叶片膜脂过氧化的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(9): 1076

1080.

- [7] Pandey D M, Yeo U D. Stress induced degradation of D1 protein and its photoprotection by DCPIP in isolated thylakoid membrane of barley leaf [J]. *Biologia Plantarum*, 2008, 52(2): 291-298.
- [8] Yasusi Yamamoto. Quality control of photosystem II [J]. *Plant Cell Physiol*, 2001, 42(2): 121-128.
- [9] 马培芳, 杨亚军, 赵会杰. 水杨酸对高温强光下小麦抗氧化及光合作用的影响[J]. *河南农业科学*, 2009(4): 26-29.
- [10] 马培芳, 李利红, 杨亚军, 等. 水杨酸对高温强光胁迫下小麦叶绿体 D1 蛋白磷酸化及光系统 II 功能的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2632-2636.
- [11] Hai Bo Zhang, Da Quan Xu. Role of light harvesting complex 2 dissociation in protecting the photosystem 2 reaction centers against photodamage in soybean leaves and thylakoids [J]. *Photosynthetica*, 2003, 41(3): 383-391.
- [12] 王宁宁, 王勇, 王淑芳, 等. 6-BA 延缓大豆叶片衰老的作用与膜蛋白磷酸化状态的关系[J]. *植物生理学报*, 1998, 24(3): 305-308.
- [13] Sakamoto H, Shibata S. Calcium dependent protein phosphorylation in morning glory hypocotyls [J]. *Photochem*, 1992, 31(7): 2252-2254.
- [14] 费美娟, 陈建省, 王晓云. 小麦叶片磷酸酯酶生化特性的研究[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(1): 110-116.
- [15] 刘映秋, 杜林方. 类囊体膜磷酸酯酶活性的测定[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(3): 239-242.

(上接第 44 页)

- [7] 周艳敏, 张春庆. 玉米生育后期光合特性的遗传分析[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 1900-1907.
- [8] 席章营, 陈彦惠, 吴建宇. 玉米穗位叶光合速率的初步研究[J]. *河南农业科学*, 1998(9): 3-5.
- [9] 韩金龙, 徐立华, 徐相波, 等. 我国糯玉米育种现状及种质创新方法探讨[J]. *农技服务*, 2009, 26(9): 5-6.
- [10] 印志同, 薛林, 陈国青, 等. 糯玉米育种概况及育种方法探讨[J]. *玉米科学*, 2006, 14(2): 33-34, 39.
- [11] 张燕, 黄连军. 浅析玉米的特性、发展前景及栽培技术[J]. *安徽农学通报*, 2003, 9(6): 49-50.
- [12] 杨跃华, 刘俊峰, 孔亮亮, 等. 从糯玉米育种目标探讨

糯玉米自交系选育[J]. *玉米科学*, 2007, 15(S1): 140-141, 145.

- [13] 左振朋, 孙庆泉, 董鲁浩, 等. 爆、甜、糯玉米生育后期叶片光合特性的比较[J]. *作物学报*, 2009, 35(10): 1930-1935.
- [14] 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 110-249.
- [15] 张林, 王振华, 金益, 等. 玉米收获期含水量的配合力分析[J]. *西南农业学报*, 2008, 18(5): 534-537.
- [16] 王玉兰, 王庆钰, 禹航, 等. 甜玉米主要数量性状配合力研究[J]. *玉米科学*, 1995, 3(1): 18-21.