

基于叶绿素荧光参数的籼型杂交稻杂种优势分析

刘红梅¹, 周新跃², 李先喆¹, 陈杰¹, 王伟峰¹, 刘建丰^{1*}, 徐庆国¹

湖南农业大学¹农学院, ²图书馆, 长沙410128

摘要: 以籼型杂交稻6个不育系和5个恢复系按不完全双列杂交交配设计的30个杂交稻组合及其亲本品种/系为材料, 对其剑叶的叶绿素荧光参数进行了测定和分析。结果表明: (1) 杂交稻亲本和组合间的叶绿素荧光参数均存在极显著的差异, 其中, NPQ 和 Φ_{NPQ} 的变异系数为最大; F_v/F_m 的变异系数为最小。(2) 不同杂交稻组合 Φ_{NPQ} 、 NPQ 和 q_L 的平均值和变异系数均大于其亲本的平均值和变异系数, 表明杂交稻组合光能利用率的杂种优势极其明显, 这将有利于高光能利用率杂交稻组合的配组。(3) 杂交稻的 F_m 、 F_v/F_m 、 Φ_{NPQ} 、 NPQ 和 q_L 具有中亲优势; 其 Φ_{NO} 具有负向超亲优势; 其 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 、 NPQ 和 q_L 具有正向竞争优势。(4) 杂交稻组合的 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 和 NPQ 与其母本值呈显著或极显著水平的正相关关系; 杂交稻组合的 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 与其中亲值呈显著或极显著水平的正相关关系。

关键词: 杂交稻; 亲本; 叶绿素荧光; 杂种优势

Heterosis Analysis of Chlorophyll Fluorescence Parameters in *indica* Hybrid Rice

LIU Hong-Mei¹, ZHOU Xin-Yue², LI Xian-Zhe¹, CHEN Jie¹, WANG Wei-Feng¹, LIU Jian-Feng^{1*}, XU Qing-Guo¹

¹College of Agronomy, ²Library, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: To evaluate the heterosis of chlorophyll fluorescence of flag leaves, 30 different hybrid rice combinations from incomplete diallel crosses (between six sterile lines and five restorer lines of *indica* hybrid rice cultivars) were tested. The result showed, (1) There were significant differences ($P < 0.01$) for the fluorescence parameters among the hybrid rice combinations and among the parents, NPQ and Φ_{NPQ} had the biggest coefficient of variation but F_v/F_m had the smallest coefficient of variation. (2) The coefficients of variation and average of Φ_{NPQ} , NPQ and q_L of hybrid rice combinations were bigger than that of the parents. It indicated that it is conducive to breed high light utilization efficiency of hybrid rice combinations for the extensive differences of light utilization efficiency in hybrid rice. (3) Mid-parent heterosis were found in F_m , F_v/F_m , Φ_{NPQ} , NPQ and q_L and below low-parent heterosis was found in Φ_{NO} and positive competitive advantages were found in Φ_{PSII} , Φ_{NPQ} , NPQ and q_L . (4) Φ_{PSII} , Φ_{NPQ} and NPQ of hybrid rice combinations were positively correlated with that parameters of female parent ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), Φ_{PSII} and Φ_{NPQ} had positive correlation with that parameters of mid-parents ($P < 0.05$ or $P < 0.01$).

Key words: hybrid rice; parents; chlorophyll fluorescence; heterosis

光合作用是水稻产量和品质形成的源泉及基础(Wang等1999)。水稻叶片吸收的光能, 一部分经光化学电子传递转换为化学能, 另一部分剩余的光能以热和荧光的形式耗散掉。因此, 叶绿素荧光参数能反应植物光合作用光能利用率的高低(张守仁1999)。

叶绿素荧光动力学参数能反应叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散和分配等特征指标(Li等2002)。郭培国和李明启(1996)研究了2个杂交稻组合及其亲本的叶绿素荧光诱导动力学参数, 认为其参数中的 F_v/F_m 和 F_v/F_0 具有杂

种优势。王荣富等(2003)认为, 杂交稻组合两优培九的光系统II的光合活性和最大光能利用效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(q_p)和非光化学淬灭系数(q_n)等叶绿素荧光参数均优于双亲的, 且其光系统II的光能利用率稳定, 对光能的吸收利用能力较强。Huang等(2002)认为, 粳稻和具有粳型组分的亚种间杂交稻的PSII最大光化学潜能 F_v/F_m 、光系

收稿 2014-02-20 修定 2014-05-12

资助 湖南农业大学作物学开放基金项目(ZWKF201310)和国家“863”计划项目(2010AA101304)。

* 通讯作者(E-mail: 09011021@163.com; Tel: 0731-84618052)。

统II的实际光能利用效率(Φ_{PSII})和光化学淬灭系数(q_p)下降较少, 兼顾考虑杂种优势利用和抗早衰因素, 杂交稻高产育种宜在不育系中引入粳型成分。以往关于叶绿素荧光参数的研究(丁在松等2011; 龙继锐等2011; 管铭等2012; Shrestha等2012)偏重于作物逆境生理条件的光合能力及叶绿素荧光参数的变化研究。关于杂交稻农艺性状的配合力和遗传力(陈小龙等2013)及杂交稻品质性状的杂种优势和配合力(刘红梅等2013)等均有报道, 而对杂交稻组合的叶绿素荧光参数的杂种优势研究鲜见报道。

叶绿素荧光参数为深入研究杂交稻光合作用及光能转化效率等提供了新的方法。因此, 研究杂交稻叶绿素荧光参数的杂种优势表现, 为今后指导更好地利用杂交稻杂种优势及高光效杂交稻组合的选配均具有重要的意义。为此, 本研究选用粳型三系杂交稻6个不育系和5个恢复系按不完全双列杂交设计配制的30个杂交稻组合及其亲本品种/系为材料, 测定了它们始穗后7 d剑叶的叶绿素荧光参数: F_m 、 F_o 、 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 、 Φ_{NO} 、 NPQ 、 q_L , 分析了杂交稻叶绿素荧光参数的杂种优势, 旨在了解杂交稻功能叶片叶绿素荧光诱导动力学参数的遗传特性, 试图为杂交稻优质高产育种和高光效生理育种提供理论参考。

材料与方法

1 供试材料及田间试验设计

选用了粳型三系杂交稻6个不育系(深95A、389A、中3A、T98A、五丰A和炳1A)和5个恢复系(R031、湘恢059、湘农恢076、优恢036和R342), 按不完全双列杂交设计配制的30个杂交稻组合, 以杂交稻组合天优华占(天丰A×华占)为对照。将上述杂交稻组合及其亲本品种/系和对照杂交稻组合, 于2012年5月28日在湖南农业大学教学科研试验基地播种, 6月20日移栽, 其中三系杂交稻不育系亲本品种/系以其同型保持系品种/系代替种植。田间试验采用随机区组排列, 每小区种植50蔸, 单本种植, 小区间不留走道, 株行距16.7 cm×20.0 cm, 3次重复。试验田肥力中等偏上, 地力均匀, 整个水稻生育期管理同一般大田。

2 测定项目及方法

测定项目: F_m (最大荧光); F_o (最小荧光); F_v/F_m

(PSII最大光化学效率); Φ_{PSII} (PSII实际光能利用率); Φ_{NPQ} (调节性能量耗散的量子产量); Φ_{NO} (非调节性能量耗散的量子产量); NPQ (非光化学淬灭); q_L (光化学淬灭)。

测定方法: 用Imaging-PAM叶绿素荧光成像系统(德国walz, 蓝光版), 测定供试材料始穗后7 d剑叶的各叶绿素荧光参数。于早上7:00~8:00, 选有代表性的稻株, 暗适应30 min后, 用双层黑色塑料袋子套住仪器探头及样品, 调用叶绿素荧光慢速动力学曲线程序测定剑叶中部的各叶绿素荧光参数, 每小区3次重复。开启检测光(光强 $0.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)得到叶绿素荧光参数初始荧光(F_o), 再由饱和脉冲光(光强 $6000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光照时间0.8 s)测得最大荧光(F_m)。根据 F_o 和 F_m 计算 $F_v/F_m=(F_m-F_o)/F_m$ (Genty等1989; Maxwell和Johnson 2000); 根据 F_o 、 F_m 和光化光(光强 $133 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)植物稳态下的 F 、 F_o' 和 F_m' (分别表示光下实时荧光、光下最小荧光和光下最大荧光)计算以下荧光参数: $\Phi_{\text{PSII}}=(F_m'-F)/F_m'$ (Genty等1989; Maxwell和Johnson 2000); $\Phi_{\text{NPQ}}=1-\Phi_{\text{PSII}}-1/[NPQ+1+q_L(F_m/F_o-1)]$ (Kramer等2004); $\Phi_{\text{NO}}=1/[NPQ+1+q_L(F_m/F_o-1)]$ (Kramer等2004); $NPQ=(F_m-F_m')/F_m'$ (Hendrickson等2004; Klughammer和Schreiber 2008); $q_L=(F_m'-F)/(F_m'-F_o')\times F_o'/F$ (Kramer等2004)。

3 数据统计分析方法

用Excel 2003进行原始数据整理及杂种优势分析、SPSS 10.0进行方差分析及相关分析, 具体参照莫惠栋(1992)所介绍的方法进行。各杂交稻组合各叶绿素荧光参数的杂种优势按下列公式计算: 中亲优势(%)=(F_1 -MP)/MP×100; 超亲优势(%)=(F_1 -HP)/HP×100; 负向超亲优势(%)=(F_1 -LP)/LP×100; 竞争优势(%)=(F_1 -CK)/CK×100。其中, MP为中亲值; HP为高值亲本值; LP为低值亲本值; CK为对照(天优华占)杂交稻组合值。

实验结果

1 杂交稻亲本叶绿素荧光参数的差异

从表1可以看出, 供试11个不同杂交稻亲本的8个叶绿素荧光参数均存在极显著水平的品种/系间差异(F 值)。其中, NPQ 的变异系数最大, 为23.394%; Φ_{NPQ} 次之, 为20.668%; F_v/F_m 的变异系数最小, 仅为2.605%。

表1 杂交稻亲本叶绿素荧光参数的差异

Table 1 Difference of chlorophyll fluorescence parameters in hybrid rice parents

	亲本	F_m	F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}	NPQ	q_L
母本	深95A	0.4858	0.1204	0.7521	0.532	0.105	0.363	0.073	0.482
	389A	0.3939	0.1132	0.7125	0.522	0.139	0.340	0.102	0.620
	中3A	0.4105	0.1163	0.7168	0.559	0.095	0.347	0.069	0.637
	T98A	0.3322	0.1008	0.6964	0.453	0.175	0.373	0.117	0.530
	五丰A	0.4459	0.1123	0.7484	0.559	0.102	0.338	0.076	0.556
	炳1A	0.4451	0.1168	0.7372	0.566	0.113	0.321	0.088	0.629
父本	R031	0.4436	0.1220	0.7249	0.538	0.170	0.292	0.145	0.700
	湘恢059	0.4152	0.1064	0.7438	0.531	0.131	0.338	0.097	0.542
	湘农恢076	0.4871	0.1246	0.7439	0.508	0.145	0.346	0.105	0.506
	优恢036	0.4600	0.1178	0.7439	0.537	0.134	0.329	0.101	0.563
	R342	0.4258	0.1031	0.7579	0.519	0.160	0.321	0.125	0.516
平均数		0.431	0.114	0.734	0.529	0.133	0.337	0.100	0.571
标准差		0.044	0.008	0.019	0.031	0.028	0.022	0.023	0.067
变幅极差		0.155	0.024	0.061	0.114	0.080	0.081	0.077	0.218
变异系数(%)		10.213	6.800	2.605	5.908	20.668	6.469	23.394	11.723
亲本间差异(F 值)		10.958**	5.450**	47.761**	16.850**	12.544**	13.392**	10.726**	44.637**

*和**分别表示在0.05和0.01水平上的差异显著性。 F_m : 最大荧光; F_o : 最小荧光; F_v/F_m : 潜在光能利用率; Φ_{PSII} : 实际光能利用率; Φ_{NPQ} : 调节性能量耗散的量子产量; Φ_{NO} : 非调节性能量耗散的量子产量; NPQ : 非光化学淬灭; q_L : 光化学淬灭。表2~4同此表。

2 杂交稻组合叶绿素荧光参数的差异

表2列出了供试30个杂交稻组合叶绿素荧光参数的平均值及其变异值, 从表2得知, 不同杂交稻组合的叶绿素荧光参数均存在极显著水平的组合间差异(F 值)。其中, 变异系数最大的是 NPQ 值, 为28.836%; 而变异系数最小的是 F_v/F_m , 为2.702%。

比较表1和表2可知, 杂交稻组合的 F_m 、 F_v/F_m 、 Φ_{NPQ} 、 NPQ 、 q_L 叶绿素荧光参数平均值大于其亲本的平均值; 除 F_o 和 Φ_{PSII} 外, 杂交稻组合的其他叶绿素荧光参数的变幅极差均大于其亲本的变幅极差; 除 F_m 、 F_o 和 Φ_{PSII} 外, 杂交稻组合的其他叶绿素荧光参数的变异系数均大于其亲本的变异系数。由此可看出, 杂交稻组合的 Φ_{NPQ} 、 Φ_{NO} 、 NPQ 和 q_L 等叶绿素荧光参数存在明显的杂种优势。并且, 除 F_m 、 F_o 和 F_v/F_m 外, 杂交稻组合的其他叶绿素荧光参数的组合间差异(F 值)均分别大于其亲本间差异(F 值)。说明杂交稻组合的大多数叶绿素荧光参数均具有较大的杂种优势差异, 有利于选配高光能吸收、转化和利用的高光效杂交稻组合。

3 杂交稻叶绿素荧光参数的杂种优势分析

如表3所示, 除 F_o 、 Φ_{PSII} 和 Φ_{NO} 外, 30个杂交稻组合的其他叶绿素荧光参数的中亲优势正向组合数均达一半以上。其中, Φ_{NPQ} 和 NPQ 超亲优势杂交

稻组合数较多, 分别为17个和25个, 其超亲优势率分别为4.605%和10.947%, 变幅分别为-28.967%~71.864%和-43.351%~123.253%, F_o 、 Φ_{PSII} 和 Φ_{NO} 出现了不同数量(10~16个)的低于低值亲本的杂交稻组合。

此外, F_m 、 F_v/F_m 、 q_L 等具有的中亲优势率分别为0.422%、0.409%和4.388%, 变幅分别为-18.763%~24.862%、-8.145%~5.551%和-30.423%~45.085%; Φ_{NO} 则具有负向平均超亲优势; Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 、 NPQ 和 q_L 的竞争优势率正向组合数分别达20个以上。

4 杂交稻组合与亲本荧光特性的相关系数

由表4可知, 杂交稻组合的 Φ_{PSII} 和 Φ_{NPQ} 等叶绿素荧光参数与其母本值成极显著水平的正相关; 与其中亲值的正相关也分别达到极显著和显著水平。杂交稻组合的 NPQ 与其母本值的相关达显著水平; 而杂交稻组合的各叶绿素荧光参数与其父本值的相关均未达显著水平。

讨 论

叶绿素荧光参数的 Φ_{PSII} 可反映植物光系统II的实际量子产量, 其大小反映了植物叶片的实际光能利用效率; 光化学淬灭 q_L 是由光合作用引起的

表2 杂交稻组合叶绿素荧光参数的差异

Table 2 Difference of chlorophyll fluorescence parameters in hybrid rice combinations

组合	F_m	F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}	NPQ	q_L
深95A×R031	0.4477	0.1185	0.7352	0.527	0.151	0.322	0.117	0.591
389A×R031	0.4366	0.1209	0.7231	0.513	0.184	0.303	0.152	0.649
中3A×R031	0.3828	0.1018	0.7341	0.524	0.144	0.332	0.109	0.572
T98A×R031	0.4356	0.1196	0.7254	0.506	0.180	0.314	0.143	0.610
五丰A×R031	0.3956	0.1119	0.7171	0.520	0.143	0.337	0.107	0.609
炳1A×R031	0.3721	0.1028	0.7239	0.519	0.161	0.320	0.127	0.619
深95A×湘恢059	0.4575	0.1126	0.7539	0.526	0.157	0.317	0.124	0.542
389A×湘恢059	0.4181	0.1108	0.7349	0.512	0.224	0.264	0.212	0.700
中3A×湘恢059	0.4190	0.1067	0.7452	0.533	0.166	0.301	0.139	0.606
T98A×湘恢059	0.4047	0.1170	0.7109	0.487	0.213	0.300	0.178	0.661
五丰A×湘恢059	0.4126	0.1054	0.7449	0.539	0.127	0.334	0.094	0.553
炳1A×湘恢059	0.4469	0.1124	0.7485	0.515	0.225	0.259	0.217	0.668
深95A×湘农恢076	0.4152	0.1059	0.7455	0.529	0.130	0.341	0.096	0.531
389A×湘农恢076	0.4828	0.1187	0.7543	0.507	0.147	0.346	0.106	0.587
中3A×湘农恢076	0.4332	0.1167	0.7305	0.528	0.151	0.322	0.118	0.606
T98A×湘农恢076	0.4600	0.1173	0.7450	0.479	0.171	0.350	0.122	0.470
五丰A×湘农恢076	0.4663	0.1113	0.7614	0.538	0.184	0.279	0.165	0.605
炳1A×湘农恢076	0.3927	0.1031	0.7374	0.547	0.145	0.309	0.118	0.631
深95A×优恢036	0.5321	0.1245	0.7661	0.566	0.099	0.334	0.074	0.676
389A×优恢036	0.4810	0.1121	0.7670	0.529	0.117	0.354	0.083	0.453
中3A×优恢036	0.4179	0.1183	0.7169	0.517	0.162	0.321	0.125	0.637
T98A×优恢036	0.4945	0.1186	0.7601	0.506	0.210	0.284	0.185	0.665
五丰A×优恢036	0.4531	0.1099	0.7574	0.555	0.119	0.327	0.090	0.544
炳1A×优恢036	0.4361	0.1194	0.7262	0.521	0.141	0.338	0.105	0.581
深95A×R342	0.4609	0.1093	0.7630	0.547	0.143	0.310	0.115	0.549
389A×R342	0.4774	0.1163	0.7563	0.521	0.169	0.310	0.138	0.542
中3A×R342	0.4016	0.1150	0.7136	0.476	0.167	0.357	0.118	0.535
T98A×R342	0.3688	0.1106	0.7004	0.468	0.202	0.330	0.153	0.607
五丰A×R342	0.3541	0.1091	0.6918	0.557	0.124	0.319	0.097	0.777
炳1A×R342	0.4369	0.1097	0.7490	0.482	0.114	0.404	0.071	0.398
平均数	0.433	0.113	0.738	0.520	0.159	0.321	0.127	0.592
标准差	0.040	0.006	0.020	0.024	0.033	0.029	0.036	0.076
变幅极差	0.178	0.023	0.075	0.098	0.127	0.145	0.146	0.379
变异系数(%)	9.316	5.220	2.702	4.651	20.807	8.981	28.836	12.824
组合间差异(F)	18.034**	3.624**	31.563**	28.490**	21.611**	36.357**	25.258**	88.222**

荧光淬灭,能反映植物光合作用活性的高低;非光化学淬灭 NPQ 是植物耗散过剩光能为热的能力,反映植物的光保护能力,其中 Φ_{NPQ} 反映PSII调节性能量耗散的量子产量,是光保护的重要指标。若 Φ_{NPQ} 较高,一方面表明植物接受的光强过剩,另一方面则说明植物仍可以通过调节(如将过剩光能耗散为热)来保护自身。 Φ_{NO} 是PSII非调节性能量耗散的量子产量,可表明光化学能量转换和保护性的调节机制(如热耗散)不足以将植物吸收的光能完全消耗掉。也就是说,入射光强超过了植物能

接受的程度。这时,植物可能已经受到损伤,或者(尽管还未受到损伤)继续照光的话,植物将要受到损伤; Φ_{NO} 是光损伤的重要指标。

杂交稻产量形成的95%来自光合作用,水稻叶片对光能的吸收、转化和利用率及光合效率的高低对水稻产量起决定性的作用。因此,光合作用是杂交水稻产量形成的物质基础。大部分研究者认为作物光合速率与产量呈正相关关系(邹学校等2009)。作物杂种优势的形成取决于父母本间的遗传差异(Hochholdinger和Hoeckera 2007),而环境

表3 杂交稻叶绿素荧光参数的杂种优势表现

Table 3 Performance of heterosis for chlorophyll fluorescence parameters in hybrid rice

性状	超亲优势			中亲优势			负向超亲优势			竞争优势		
	正向 组合/个	平均值/%	变幅/%	正向 组合/个	平均值/%	变幅/%	负向 组合/个	平均值/%	变幅/%	正向 组合/个	平均值/%	变幅/%
F_m	7	-5.035	-20.594~12.117	16	0.422	-18.763~24.862	9	7.116	-16.845~48.882	2	-11.224	-27.424~9.067
F_o	7	-4.611	-17.277~9.997	14	-0.813	-14.605~12.934	10	3.443	-12.468~18.645	2	-6.408	-15.589~3.234
F_v/F_m	13	-1.098	-8.716~3.114	18	0.409	-8.145~5.551	5	1.989	-7.568~9.145	9	-1.985	-8.117~1.876
Φ_{PSII}	2	-4.710	-14.986~5.505	10	-1.709	-11.625~6.032	13	1.610	-8.207~11.782	23	2.512	-7.669~11.700
Φ_{NPQ}	17	4.605	-28.967~71.864	26	18.454	-17.341~84.952	2	38.262	-12.697~100.197	28	39.593	-13.268~97.854
Φ_{NO}	4	-7.752	-23.838~25.995	8	-4.249	-22.034~26.039	16	-0.262	-21.816~26.082	0	-20.580	-35.852~0.000
NPQ	25	10.947	-43.351~123.253	26	26.189	-33.368~134.396	2	49.406	-19.114~146.709	29	78.237	0.000~205.008
q_L	11	-1.818	-36.688~39.920	18	4.388	-30.423~45.085	6	11.837	-22.782~50.646	20	4.885	-29.465~37.608

表4 杂交稻组合的叶绿素荧光参数与亲本值的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between hybrid rice combinations and their parents in chlorophyll fluorescence parameters

项目	F_m	F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}	NPQ	q_L
杂交稻组合与母本值	0.058	-0.233	0.232	0.511**	0.536**	-0.052	0.437*	-0.025
杂交稻组合与父本值	0.286	0.142	0.090	0.121	-0.092	-0.117	-0.146	0.149
杂交稻组合与中亲值	0.184	-0.021	0.247	0.524**	0.427*	-0.121	0.194	0.099

因子等其他因素可能也起很重要的作用(Stupar和Springer 2006)。本研究结果表明, 杂交稻组合的各叶绿素荧光参数具有明显的超亲优势、中亲优势和负向超亲优势等多种形式的杂种优势表现。因此, 杂交稻各叶绿素荧光参数的杂种优势指标可作为今后杂交稻高光效育种的重要参考依据。本研究结果也表明, 杂交稻组合及其亲本的各叶绿素荧光参数均存在极显著水平的组合或品种/系间差异, 因此, 有利于今后充分利用杂交稻亲本品种/系光合特性的广泛遗传变异配组, 有可能选配出高光效杂交稻新组合, 从而提高杂交稻新组合的产量及其品质。本研究结果还表明, 杂交稻组合的 F_v/F_m 、 Φ_{NPQ} 和 q_L 等叶绿素荧光参数的杂种 F_1 的中亲优势值表现为正值; 40%的供试杂交稻组合的实际光能利用率 Φ_{PSII} 的杂种 F_1 表现出超亲优势或中亲优势。因此, 可较容易利用杂交稻叶绿素荧光参数的杂种优势这些表现特点, 通过杂交稻亲本品种/系的合理配组, 完全有可能选配出优良的高光能利用率杂交稻新组合。

本研究供试杂交稻组合中, 杂交稻组合深95A×优恢036和五丰A×R342的实际光能利用率 Φ_{PSII} 最高(表2), 但其超亲优势分别为5.52%

和-1.20%, 两者的超亲优势差别较大; 而杂交稻组合T98A×R342和中3A×R342的实际光能利用率 Φ_{PSII} 最低, 其超亲优势分别为-9.69%和-16.08%, 两者的超亲优势也差别较大。并且, 杂交稻母本不育系(中3A)和父本恢复系(R342)均有较高的实际光能利用率 Φ_{PSII} , 但其双亲配组的杂交稻组合(中3A×R342)的实际光能利用率 Φ_{PSII} 却具有较低的杂种优势; 而杂交稻母本不育系(T98A)和父本恢复系(湘农恢076)的实际光能利用率 Φ_{PSII} 均较低, 但其双亲配组的杂交稻组合(T98A×湘农恢076)的 Φ_{PSII} 的杂种优势却不是最低的。说明杂交稻高光能利用率组合的选配不仅与其母本不育系和父本恢复系的 Φ_{PSII} 表现相关, 同时也与其所配杂交稻组合的杂种优势的发挥程度相关。本研究结果还表明, 杂交稻组合的T98A×湘农恢076与其母本值呈极显著水平的正相关, 表明杂交稻组合实际光能利用率 Φ_{PSII} 和可调节性的能量耗散 Φ_{NPQ} 主要受其母本不育系的影响, 因此, 选择具有 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 优良特性的母本不育系是选配具有 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 优良特性的杂交稻组合的关键。这与张其德等(1998)研究认为杂交稻组合的光合性能的杂种优势取决于父母本的光合能力, 具有优良光合功能的杂交稻不

育系对于选配高光效杂交稻组合非常重要的结果相一致。同时, 本研究结果也表明, 杂交稻组合的 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 与其中亲值呈显著或极显著水平的正相关关系, 表明杂交稻组合的 Φ_{PSII} 和 Φ_{NPQ} 与其中亲值的关系也密切, 因此, 高光效杂交稻组合选配中, 注重杂交稻父本品种/系的选择也不可忽视。总之, 高光效利用率杂交稻组合的选配, 优良不育系的选择是其首要条件, 同时也需要兼顾考虑优良父本恢复系的选择及杂交稻组合光合特性杂种优势的发挥程度。

参考文献

- 陈小龙, 邓启云, 吴丹, 刘英, 吴俊, 庄文, 李诚, 李莺歌(2013). 两系超级杂交稻主要农艺性状的配合力遗传分析. 湖南农业大学学报(自然科学版), 39 (4): 331~337
- 丁在松, 王春艳, 关东明, 赵凤梧, 赵明(2011). 早稻×稗草杂交后代YF2-1光合作用气体交换、叶绿素荧光和抗氧化酶系统对渗透胁迫的响应. 作物学报, 37 (5): 876~881
- 管铭, 郭水良, 裴立, 沈国辉, 陆保理(2012). 基于光合和叶绿素荧光参数评判两个假稻种群对草甘膦的敏感性. 上海师范大学学报(自然科学版), 41 (2): 171~178
- 郭培国, 李明启(1996). 杂交水稻及其亲本光合特性的研究I. 功能叶片叶绿素含量、叶绿素-蛋白复合物及诱导荧光动力学. 热带亚热带植物学报, 4 (4): 60~65
- 刘红梅, 刘建丰, 邱颖波, 范峰峰, 徐庆国(2013). 籼型杂交稻淀粉RVA谱特征值的杂种优势分析. 植物遗传资源学报, 14 (3): 434~439
- 龙继锐, 马国辉, 万宜珍, 宋春芳, 孙健(2011). 施氮量对超级杂交中稻生育后期剑叶叶绿素荧光特性的影响. 中国水稻科学, 25 (5): 501~507
- 莫惠栋(1992). 农业试验统计(第2版). 上海: 上海科学技术出版社
- 王荣富, 黄正来, 王建华, 张云华(2003). 两系杂交稻两优培九苗期若干光合特性初探. 安徽农业大学学报, 30 (2): 113~116
- 张其德, 卢从明, 张世平, 张启峰(1998). 几组有优和无优杂交组合中杂交稻及其亲本光合功能的比较. 植物学通报, 15 (1): 50~55
- 张守仁(1999). 叶绿素荧光诱导动力学参数的意义及讨论. 植物学通报, 16 (4): 444~448
- 邹学校, 马艳青, 张竹青, 陈文超, 戴雄泽, 李雪峰, 曹小兵(2009). 辣椒净光合速率杂种优势与农艺性状的相关分析. 中国农学通报, 25 (7): 188~192
- Genty B, Briantais JM, Baker NR (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochim Biophys Acta, 990 (1): 87~92
- Hendrickson L, Furbank RT, Chow WS (2004). A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. Photosynth Res, 82 (1): 73~81
- Hochholdinger F, Hocecker N (2007). Towards the molecular basis of heterosis. Trends Plant Sci, 12 (9): 427~432
- Huang XQ, Jiao DM, Li X (2002). Characteristics of chlorophyll fluorescence and membrane-lipid peroxidation of various high-yield rices under photooxidation conditions. Acta Bot Sin, 44 (3): 279~286
- Klughhammer C, Schreiber U (2008). Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. PAM Appl Notes, 1: 27~35
- Kramer DM, Johnson G, Kiirats O, Edwards GE (2004). New fluorescence parameters for the determination of Q_A redox state and excitation energy fluxes. Photosynth Res, 79 (2): 209~218
- Li X, Jiao MD, Liu LY, Huang QX (2002). Chlorophyll fluorescence and membrane lipid peroxidation in the flag leaves of different high yield rice variety at late stage of development under natural condition. Acta Bot Sin, 44 (4): 413~421
- Maxwell K, Johnson GN (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. J Exp Bot, 51 (345): 659~668
- Shrestha S, Brueck H, Asch F (2012). Chlorophyll index, photochemical reflectance index and chlorophyll fluorescence measurements of rice leaves supplied with different N levels. J Photochem Photobiol B Biol, 113: 7~13
- Stupar RM, Springer NM (2006). *Cis*-transcriptional variation in maize inbred lines B73 and Mo17 leads to additive expression patterns in the F_1 hybrid. Genetics, 173 (4): 2199~2210
- Wang GL, Kang MS, Moreno O (1999). Genetic analyses of grain-filling rate duration in maize. Field Crops Res, 61 (3): 211~222