

鄢圣敏,胡运高,杨国涛,等. 杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素荧光特性研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):49-51.

# 杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素荧光特性研究

鄢圣敏,胡运高,杨国涛,张玲,范存留,易军

(西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621010)

**摘要:**以杂交水稻组合为试材,研究杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素含量及叶绿素荧光参数的变化规律。结果表明,不同品种剑叶衰老过程中叶绿素含量、PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、PS II 潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )、PS II 实际光化学量子产量( $Yield$ )、PS II 表观光合电子传递速率(ETR)等值存在明显差异,这些值的变化大致呈单峰曲线。相关性分析结果表明, $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $Yield$ 、ETR 与叶绿素含量呈显著或极显著正相关;冈优 725 的  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $Yield$ 、ETR 值高于 B6 优 4761 和 B2 优 768,说明冈优 725 在剑叶衰老过程中能保持较好的光合生理功能。

**关键词:**杂交水稻;剑叶衰老;叶绿素荧光;叶绿素含量

**中图分类号:** S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0049-03

水稻是我国重要的粮食作物,水稻开花后剑叶的光合作用为籽粒积累了大量糖类<sup>[1]</sup>。与其他叶片相比,剑叶不仅分化最晚,而且受光优越,功能期较长<sup>[2]</sup>。开花后,水稻进入灌浆期的同时也进入了衰老阶段。水稻叶片衰老是一个高度有序的生理生化代谢过程<sup>[3]</sup>,这一过程被认为是器官发育所经历的最后时期<sup>[4]</sup>,生物学意义重大。在生产实际中,水稻叶片的早衰造成后期叶片光合作用不足,使干物质的积累受到限制,引起灌浆不充实,导致结实率偏低<sup>[5]</sup>,影响最终的产量,一些有潜力的品种(组合)由于后期早衰严重,影响了推广应用。

叶绿素荧光参数与一些“表现性”气体交换指标相比,更能反映出植物“内在性”的特点<sup>[6]</sup>。植物叶绿素荧光分析技术在研究植物叶片的光合特性中得到应用,且多侧重于环境胁迫对植物叶片叶绿素荧光参数影响的研究。本研究采用 Dual-PAM-100 型便携式调制荧光仪,对四川省绵阳地区 3 个杂交水稻品种剑叶衰老过程中叶绿素荧光参数变化及其物质基础——叶绿素含量变化规律进行研究,为进一步研究水稻衰老机理积累资料,也为水稻的培育和栽培工作提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料及处理

试验于 2012 年在西南科技大学农园试验基地进行。试验田前作空闲,土质沙壤,肥力中上。供试杂交水稻品种:冈优 725、B6 优 4761、B2 优 768,均由西南科技大学水稻研究所提供。试验采用随机区组设计,小区行长 10 m,5 行/区,3 次重复。试验材料于 4 月 3 日播种,5 月 8 日移栽,在剑叶全展

开始(8 月 1 日),每小区选取有代表性的植株 5 株,于上午 10:00 在田间采回新鲜的叶片置于冰盒中带回实验室测定各项数据,每隔 6 d 取 1 次样,直至水稻剑叶枯死为止(9 月 12 日)。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶绿素含量的测定 取新鲜叶片,用 95% 乙醇作浸提液提取色素,用 7200 型分光光度计分别测定 665、649、470 nm 处吸光度,用 Arnon 法修正公式计算叶绿素 a 含量(mg/g)和叶绿素 b 含量(mg/g)<sup>[7]</sup>。

1.2.2 叶绿素荧光参数测定 利用德国 Walz 公司调制荧光仪 Dual-PAM-100 在室温下测定叶绿素荧光诱导动力学曲线和快速光响应曲线。叶片暗适应 20 min 后,先照射 12  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  测量光测定初始荧光  $F_o$ ,饱和脉冲 10 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  持续时间 600 ms 诱导  $F_m$ ,光化光强度为 168  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。每个测定设置 3 个重复。叶绿素荧光参数的计算参考唐运来的计算方法<sup>[8]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2003、SPSS 17.0 进行数据整理及分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素含量的变化

叶片生育后期叶绿素含量的高低是反映叶片光合性能和衰老程度的重要标志<sup>[8]</sup>。从图 1 可以看出,3 个品种叶绿素含量变化呈现出单峰曲线,峰值均出现在剑叶全展后 6 d,分别为 3.46、2.97、3.00 mg/g,叶绿素含量由高到低排序为冈优 725 > B2 优 768 > B6 优 4761;剑叶全展后 6 d,3 个品种剑叶叶绿素含量均开始降低,冈优 725 叶绿素含量下降幅度较大,B2 优 768 和 B6 优 4761 叶绿素含量在下降过程中出现一个短暂稳定的时期;剑叶全展后 42 d,3 个品种叶绿素含量均降至最低值。3 个品种剑叶全展前期(0~12 d)叶绿素含量较高,表明植株能捕获更多的光能,为其光合作用的进行奠定了基础,这一时期冈优 725 叶绿素含量显著高于另外 2 个品种。

### 2.2 杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素荧光参数的变化

2.2.1 剑叶衰老过程中初始荧光( $F_o$ )、PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )的变化  $F_o$ 是光系统

收稿日期:2013-06-17

基金项目:国家科技支撑计划(编号:12zgc007);四川省科技项目(编号:12zs2107)。

作者简介:鄢圣敏(1989—),男,湖北天门人,硕士,主要从事稻米品质育种。E-mail:yan\_shengmin@126.com。

通信作者:胡运高,研究员,硕士生导师,主要从事水稻遗传育种工作。E-mail:swust.rii@163.com。

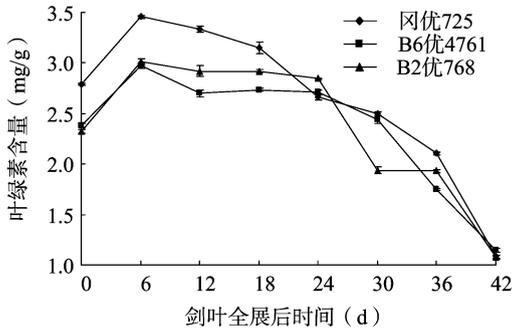
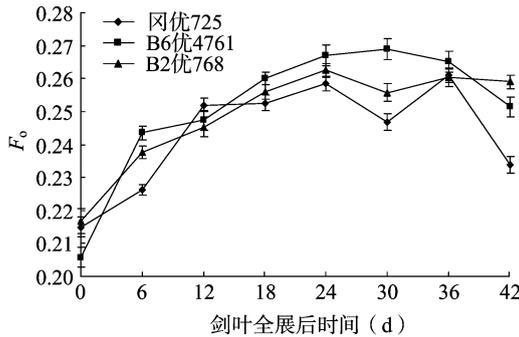
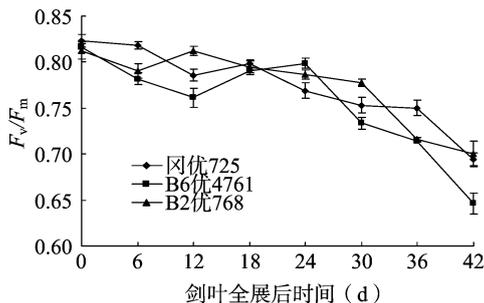
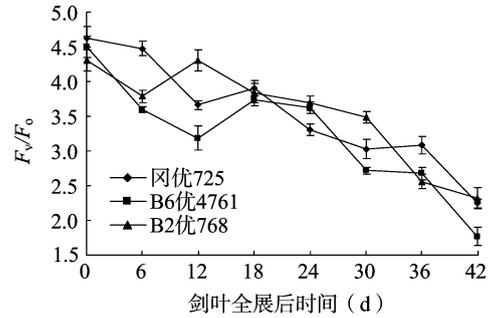


图1 3个水稻品种剑叶衰老过程中叶绿素含量变化趋势

II (PS II) 反应中心处于完全开放时的最低荧光产量<sup>[9]</sup>, 与叶绿素的含量有关。由图 2 可以看出, 3 个水稻品种剑叶全展后  $F_0$  呈不断上升的趋势, 反映出水稻剑叶衰老过程中 PS II 反应中心不断失活, 相比图 1 而言,  $F_0$  的上升掩盖了叶片中叶绿素含量的下降; 剑叶衰老过程中, 冈优 725 叶片  $F_0$  值明显低于其他 2 个品种, 说明其 PS II 反应中心损伤程度相对较低于 B6 优 4761 和 B2 优 768。

图2 3个水稻品种剑叶衰老过程中 $F_0$ 变化趋势

可变荧光与最大荧光的比值  $F_v/F_m$  反映了 PS II 的最大光能转化效率,  $F_v/F_m$  越高证明植物受到光抑制的程度越低; 在正常光照条件下,  $F_v/F_m$  一般稳定在 0.83 左右<sup>[10]</sup>。由图 3 可知, 在剑叶全展后 24 d 之内, 3 个品种的  $F_v/F_m$  值呈现出波动下降的趋势, 但均高于 0.75, 显示出这段时期 3 个水稻品种 PS II 系统光能转换效率处于正常水平; 剑叶全展后 18 d 内, 冈优 725  $F_v/F_m$  维持着较高的水平; 剑叶全展 24 d 以后, B6 优 4761 和 B2 优 768 的  $F_v/F_m$  值迅速下降至最低点, 而冈优 725 的  $F_v/F_m$  值下降较为缓慢, 说明冈优 725 的能量转换机构损伤较为缓慢。  $F_v/F_0$  可代表 PS II 潜在活性, 与有活性的 PS II 反应中心数量成正比<sup>[11]</sup>。由图 3、图 4 可知,  $F_v/F_0$  值与  $F_v/F_m$  值的变化具有一致性。

图3 3个水稻品种剑叶全展后叶片 $F_v/F_m$ 变化趋势图4 3个水稻品种剑叶全展后叶片 $F_v/F_0$ 变化趋势

2.2.2 剑叶衰老过程中 PS II 实际光化学量子产量 (Yield) 和表观光合电子传递速率 (ETR) 的变化 实际光化学量子产量 (Yield) 反映 PS II 反应中心的开放程度, 常用来表示植物光合作用电子传递的量子产额, 可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标<sup>[12]</sup>。由图 5 可知, 冈优 725 和 B6 优 4761 的 Yield 值经历了“升—降—升—降”的过程, 在剑叶全展后 6 d 和 18 d 达到峰值, B2 优 768 的 Yield 值则只经历了“升—降”的过程, 在 18 d 达到峰值; 剑叶全展后 18 d 以后, 各品种的 Yield 值迅速降至最低值; 在剑叶全展后 24 d 内, 冈优 725 的 Yield 平均值显著高于其他 2 个品种, 表明冈优 725 在剑叶衰老过程中还能维持较高的光能转化效率, 有利于促进碳同化的高效转运。

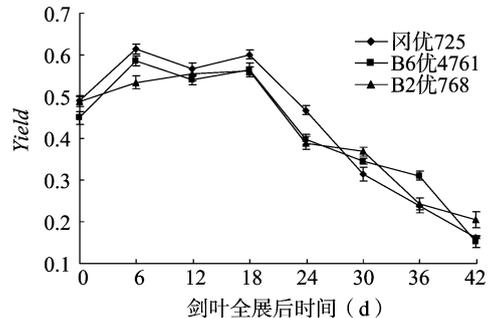


图5 3个水稻品种剑叶全展后叶片Yield变化趋势

ETR 值的大小反映 PS II 实际表观电子传递速率的高低。从图 6 可知, 各品种水稻的 ETR 值在剑叶全展后有一个明显的上升, 均在剑叶全展后 6 d 达到最大值, 冈优 725、B6 优 4761、B2 优 768 分别为 72.02、64.25、51.58, 然后呈现出一个随叶片衰老加剧 ETR 值逐渐下降的状况。剑叶全展后 18 d 内, 冈优 725 的 ETR 值显著高于其他 2 个品种; 18 d 后, 各品种 ETR 值逐渐下降, 无显著差异。这说明在衰老前期冈优 725 剑叶 ETR 值高, 反映光合作用所需的高能电子经过电子传递链高效地进行着传递, 促进光化学反应的快速进行。

2.3 杂交水稻剑叶衰老过程中叶绿素含量变化与叶绿素荧光参数变化的相关性分析

伴随水稻叶片的衰老, 叶绿素含量呈短暂上升后持续下降的趋势, 引起叶绿素各荧光参数也发生明显变化, 分别对冈优 725、B6 优 4761、B2 优 768 3 个水稻品种剑叶衰老过程中叶绿素含量变化和各荧光参数变化作相关性分析, 由表 1 可见, 试验水稻品种剑叶衰老过程中叶绿素含量变化与荧光参数  $F_v/F_0$ 、 $F_v/F_m$ 、Yield 和 ETR 的变化呈显著或极显著正相关

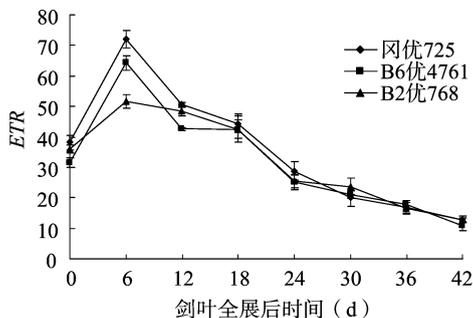


图6 3个水稻品种剑叶全展后叶片ETR变化趋势

表1 3个水稻品种剑叶衰老过程中叶绿素含量变化与荧光参数变化的相关性

品种(组合)	与叶绿素含量的相关系数				
	$F_o$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	Yield	ETR
冈优 725	-0.260	0.824 *	0.894 **	0.942 **	0.859 **
B6 优 4761	-0.630	0.741 *	0.859 **	0.909 **	0.794 *
B2 优 768	-0.248	0.749 *	0.816 *	0.871 **	0.844 **

注：“\*”“\*\*”分别表示显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )相关。

关系,与 $F_o$ 的变化呈负相关关系。结合图1至图6的结果可知,水稻叶片衰老过程中,叶绿素荧光参数的变化早于或同步于叶绿素含量的变化。

### 3 小结与讨论

叶绿素是植物光合作用的基础,叶绿素含量的变化对植物光合作用有重要的影响,其含量的下降,会影响总叶绿素的荧光水平<sup>[13]</sup>;而叶绿素荧光参数与光合作用中的各种反应密切相关,包含许多光合作用信息,它们的变化可反映出逆境对光合作用某些过程的影响。通过对不同水稻品种剑叶衰老过程中叶片叶绿素荧光动力学参数进行研究,揭示了水稻自然衰老过程叶片的“内在”变化,研究结果表明,不同水稻品种叶绿素含量及叶绿素荧光参数存在明显差异,与在萝卜、竹、绿豆、小麦上的研究结论<sup>[14-17]</sup>相一致,表明水稻剑叶的光合特性确实受到遗传基因的影响。

参试杂交稻品种冈优 725、B6 优 4761、B2 优 768 的 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、Yield 和 ETR 在剑叶衰老过程中呈逐渐减小的趋势,只在剑叶全展的前期和中期有小范围的波动,不同品种之间这些指标的差异较为明显。相关性分析结果表明,除 $F_o$ 外,叶绿素荧光参数变化与叶绿素含量变化均达到了显著或极显著正相关,说明水稻叶绿素荧光光能活性的高低可能与叶绿素含量密切相关。

在荧光参数中, $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、Yield 和 ETR 值被公认为是叶片光合效率的重要依据<sup>[18]</sup>。3个供试品种中,冈优 725 的 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、Yield 和 ETR 值相对最高,维持的时间也相对较长,表明冈优 725 在剑叶衰老过程中叶片能保持较好的光合性能;B2 优 768 和 B6 优 4761 随着叶片的衰老,光合能力丧失较快。前人研究结果表明,ETR 值越高,形成的活跃化学能就越多,可以为暗反应的光合碳同化积累更多所需的能量<sup>[19-20]</sup>。在剑叶衰老的前半程,冈优 725 的 ETR 饱和点(ETR 值为 72.03)始终显著高于其他 2 个品种,光化学反应

启动最快,显示出了其良好的光合生理性能及耐光抑制能力。

郭连旺等研究表明, $F_o$  与叶绿素浓度有关,叶绿素含量下降, $F_o$  降低,PS II 反应中心失活或损伤,又使 $F_o$  升高, $F_o$  变化的方向取决于主要作用的因素<sup>[21]</sup>。本试验参试的水稻品种,剑叶衰老过程中 $F_o$  与叶绿素含量变化呈负相关,且相关系数不大,这可能与光合作用中光能吸收的复杂性有很大的关系,尚待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 王贵民,陈国祥,张美萍,等. 高产杂交水稻剑叶全展后主要光合生理特征的研究[J]. 核农学报,2008,22(5):697-700.
- [2] 凌英华,杨正林,钟秉强,等. 水稻功能叶性状的遗传分析[J]. 中国水稻科学,2008,22(1):45-50.
- [3] 李瑞,周玮,陆巍. 低叶绿素b水稻叶片自然衰老过程中光合作用与叶绿素荧光参数的变化[J]. 南京农业大学学报,2009,32(2):10-14.
- [4] 王玉莲,杜震宇,童淑媛. 玉米叶片自然衰老过程中光合特性变化的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2010,22(2):12-14,19.
- [5] 曾富华,罗泽民. 赤霉素对杂交水稻生育后期剑叶中活性氧清除剂的影响[J]. 作物学报,1994,20(3):347-351.
- [6] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [7] 李得孝,侯万伟,员海燕. 玉米叶片叶绿素快速浸提方法研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(11):65-67.
- [8] 唐运来. 高温和衰老对光合膜结构与功能影响的研究[D]. 北京:中国科学院植物研究所,2004:1-153.
- [9] 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米叶片衰老代谢和籽粒产量的影响[J]. 西北植物学报,2005,25(1):155-160.
- [10] 何炎红,郭连生,田有亮. 7种针阔叶树种不同光照强度下叶绿素荧光猝灭特征[J]. 林业科学,2006,42(2):27-31.
- [11] 杜亮亮,金爱武,胡元斌,等. 5种箬竹属竹种叶绿素荧光特性的比较[J]. 世界竹藤通讯,2009,7(2):17-21.
- [12] 林晗,陈辉,吴承祯,等. 千年桐种源间叶绿素荧光特性的比较[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2012,41(1):34-39.
- [13] DeEll J R, van Kooten O, Prange R K, et al. Application of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology[J]. Hortic Rev, 1999, 23:69-107.
- [14] 王玲平,毛伟海,胡天华,等. 萝卜叶片衰老过程中光合性能变化研究[J]. 华北农学报,2007,22(增刊):36-39.
- [15] 郑蓉,黄耀华,连巧霞,等. 刚竹属13个竹种叶绿素荧光特性比较[J]. 江西农业大学学报,2008,30(2):263-267.
- [16] 高小丽,高金锋,冯伯利,等. 不同绿豆品种生育后期叶片衰老的研究[J]. 西北植物学报,2007,27(5):947-953.
- [17] 梁赟. 持绿型小麦开花后旗叶的生化、光合及叶绿素荧光特性的研究[D]. 雅安:四川农业大学,2009:28-33.
- [18] 时燕,黄耀华,郭小勤,等. 4个紫竹栽培类型叶绿素荧光特性的比较[J]. 江西农业大学学报,2009,31(3):397-401.
- [19] 贺立红,贺立静,梁红. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较[J]. 华南农业大学学报,2006,27(4):43-46.
- [20] 任士福,史宝胜,王志彦,等. 果用型银杏品种叶绿素荧光特性的研究[J]. 河北农业大学学报,2002,25(2):38-41.
- [21] 郭连旺,沈允钢. 高等植物光合机构避免强光破坏的保护机制[J]. 植物生理学通讯,1996,32(1):1-8.