

# 超级杂交稻两优培九剑叶叶鞘叶绿体光化学活性的初步研究

郭兆武<sup>1,2</sup> 萧浪涛<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 湖南农业大学 植物激素与生长发育重点实验室, 湖南 长沙 410128; <sup>2</sup> 长沙理工大学 生物与食品工程学院, 湖南 长沙 410076)

## Preliminary Study on Photochemical Activities in Chloroplasts of Flag Leaf Sheathes for Super Hybrid Rice Liangyoupei jiu

GUO Zhao wu<sup>1,2</sup>, XIAO Lang tao<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Phytohormones, Growth and Development, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; <sup>2</sup> School of Biological & Food Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: By using a super high yielding hybrid rice combination Liangyoupei jiu, its male parent 9311, female parent Pei ai 64S and a three line hybrid rice combination Shanyou 63 as experimental materials, the techniques of an artificial reaction system for photosynthetic membrane, and <sup>32</sup>Pi isotopic labeling and so on, were used to study the photochemical activities of the flag leaf sheathes for Liangyoupei jiu. The means of PS<sub>II</sub> reducing capacity of the flag leaf sheathes and blades for Liangyoupei jiu were 6.35 and 15.31  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$  higher than those for Shanyou 63, respectively; the means of PS<sub>II</sub> oxygen release activities of flag leaf sheathes and blades for Liangyoupei jiu were 6.16 and 9.89  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$  higher than those for shanyou 63 respectively, the calcium contents in extracts, the  $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase activities on the chloroplast membranes, the cyclic photophosphorylation activities of the flag leaf sheathes and blades for Liangyoupei jiu were also higher than those for Shanyou 63; the means of noncyclic photophosphorylation activities of the flag leaf sheathes and blades for Liangyoupei jiu were 0.25 and 0.31  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$  higher than those for Shanyou 63, respectively; the photochemical activities of the flag leaf sheathes and blades for Liangyoupei jiu were significantly higher than those of its parents at most stages, showing heterosis over mid parent or heterobeltiosis. It suggested that rice flag leaf sheath had completely the same kind of the photochemical activity characters as rice flag leaf blade with quantitative differences. High photochemical activities of the flag leaf sheath for Liangyoupei jiu may be one of the important reasons that Liangyoupei jiu performed super high yielding property.

Key words: super hybrid rice; flag leaf; blade; sheath; photochemical activity

摘要: 以超级杂交稻两优培九及其父本 9311、母本培矮 64S 和三系杂交稻组合汕优 63 为研究材料, 采用光合膜人工反应体系和 <sup>32</sup>Pi 同位素标记等技术, 初步研究了超级杂交稻两优培九剑叶叶鞘的光化学活性。结果表明, 两优培九剑叶叶鞘及其叶片光系统 II 还原能力的均值分别比汕优 63 高 6.35 和 15.31  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ , 光系统 II 放氧活性的均值分别高出 6.16 和 9.89  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ , 且大多数时期达显著或极显著水平; 两优培九剑叶叶鞘及其叶片浸出液钙含量均显著或极显著高于汕优 63; 两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上  $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase 活性的均值均高于汕优 63, 大多数时期达显著或极显著水平; 两优培九剑叶叶鞘及其叶片循环光合磷酸化活性的均值也均高于汕优 63, 近一半时期达显著或极显著水平; 非循环光合磷酸化活性的均值分别比汕优 63 高 0.25 和 0.31  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ , 也近一半时期达显著或极显著水平; 两优培九剑叶叶鞘及其叶片的光化学活性大多数时期显著或极显著高于亲本, 具有平均优势或超亲优势; 与叶片相比, 剑叶叶鞘完全具有同剑叶一样的光化学活性, 两者没有质的区别; 两优培九剑叶叶鞘具有较高的光化学活性可能是它具有超高产特性的重要原因之一。

关键词: 超级杂交稻; 剑叶; 叶片; 叶鞘; 光化学活性

中图分类号: Q945.11; S311; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2007)04-0379-07

两优培九是两系高产组合, 因具有超高产潜力, 故又称超级杂交稻, 在我国南方已大面积推广, 对其高产特性的研究受到广泛的重视<sup>[1-4]</sup>。目前普遍认为两优培九具有超高产量的主要原因之一是其叶片的光合作用较强<sup>[1-4]</sup>, 对两优培九叶片光合特性的研究进展较快<sup>[1, 2, 4, 5]</sup>, 但对其叶鞘光合作用的研究较少, 特别是对其叶鞘光化学特性的研究未见报道。Wang 等<sup>[6]</sup>以小麦为材料的研究结果表明, 除叶片外, 小麦的叶鞘、穗和穗下节间等非叶光合器官均具有较强的光合能力, 对产量具有重要的贡献, 对于补偿叶片功能衰减、维持整株光合生产的作用是不容忽视的<sup>[6, 7]</sup>。因此, 两优培九叶鞘的光系统活性可能对整株光合作用具有重要影响。针对这一

情况, 笔者以超级杂交稻两优培九及其亲本、三系杂交稻高产组合汕优 63 为材料, 初步研究了两优培九剑叶叶鞘的光化学活性, 以探索超级杂交稻叶鞘的光合特性, 为水稻高产栽培和育种提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试品种(组合)为超级杂交稻两优培九(培矮

收稿日期: 2006-12-13; 修改稿收到日期: 2007-03-20。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30600049)。

第一作者简介: 郭兆武(1964-), 副教授, 博士研究生, E-mail: guozw163.com@126.com。

64S/9311),对照为其父本 9311、母本培矮 64S 和三系杂交稻汕优 63。供试品种种子均由湖南杂交水稻研究中心提供。两优培九是江苏省农业科学院和湖南杂交水稻研究中心合作选配的两系迟熟高产杂交中稻组合,是目前大面积推广的超级杂交稻。汕优 63 是多年来已大面积种植的高产三系杂交组合。

## 1.2 试验设计

试验于 2005 年在湖南农业大学水稻试验地、湖南农业大学湖南省植物激素与生长发育重点实验室和长沙理工大学生物学实验中心进行。所有参试品种(组合)作单季稻种植,随机区组设计,重复 3 次,每小区 4.4 m<sup>2</sup>,栽植规格为 20 cm × 22 cm,每小区栽植 100 穴,单本栽植。按高产栽培技术进行田间各项管理。

取样时期根据欧志英等<sup>[8]</sup>把水稻剑叶叶枕与倒 2 叶叶枕距为零的时期作为第 1 期,将抽穗盛期作为第 2 期,灌浆盛期为第 3 期,黄熟期为第 4 期,完熟期为第 5 期。随机取样,每期每个处理 9 苑。每个处理均设 3 次重复。在第 1、2 期测定 PS I 还原能力和 PS II 放氧活性;在第 3 期测定钙含量;其余试验均在第 1~5 期取样测定。

## 1.3 测定项目及方法

按照 B. B. Y. 法<sup>[9]</sup>略作改进制备具光化学活性的叶绿体:取鲜叶片或叶鞘 10 g,用剪刀剪成约 0.5 cm 长的小片段,放入瓷研钵,加入液氮研碎(因水稻叶片和叶鞘含硅量较高,故不用电动捣碎器);为提

高叶绿体的完整率,用不同浓度的 Percoll 进行离心提纯。按照 Cooms 等<sup>[10]</sup>的方法建立光合膜人工反应体系测定 PS I 还原能力和 PS II 放氧活性。按照汤章城等<sup>[11]</sup>的同位素<sup>32</sup>Pi 分子标记法测定循环与非循环光合磷酸化活性。<sup>32</sup>Pi 探测器为美国产 TRI-CARB 2100TR 液体闪烁仪。按照汤章城等<sup>[12]</sup>的方法测定叶绿体膜上 Mg<sup>2+</sup>-ATPase 活性。反应体系含 30 μg/mL 叶绿素的叶绿体,恒温 28℃,光强 450 μmol/(m<sup>2</sup> · s),隔水层照光。按照史瑞和等<sup>[13]</sup>的方法,每个样本取剑叶及其叶鞘鲜样 3 g,用美国热电公司(Thermo Electron Corporation)产电感耦合等离子体发射光谱仪(IRIS INTREPID II XSP)测定剑叶叶片及其叶鞘浸出液的钙含量,重复 3 次。

试验数据的处理采用 SAS 6.12 进行统计分析;剑叶叶鞘和剑叶间的相关分析均用原始试验数据的一一对应值。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻剑叶叶鞘及其叶片的光系统活性

通过对 4 个水稻品种(组合)剑叶叶鞘及其叶片 PS I 还原能力的 *F* 检验和多重比较发现,两优培九剑叶叶鞘 PS I 还原能力均高于汕优 63,两期的均值比汕优 63 高 6.35 μmol/(mg · h),其中第 2 期显著高于汕优 63(图 1);与其亲本相比,第 1 期高于母本,第 2 期显著高于父母本( $F = 14.20, P =$

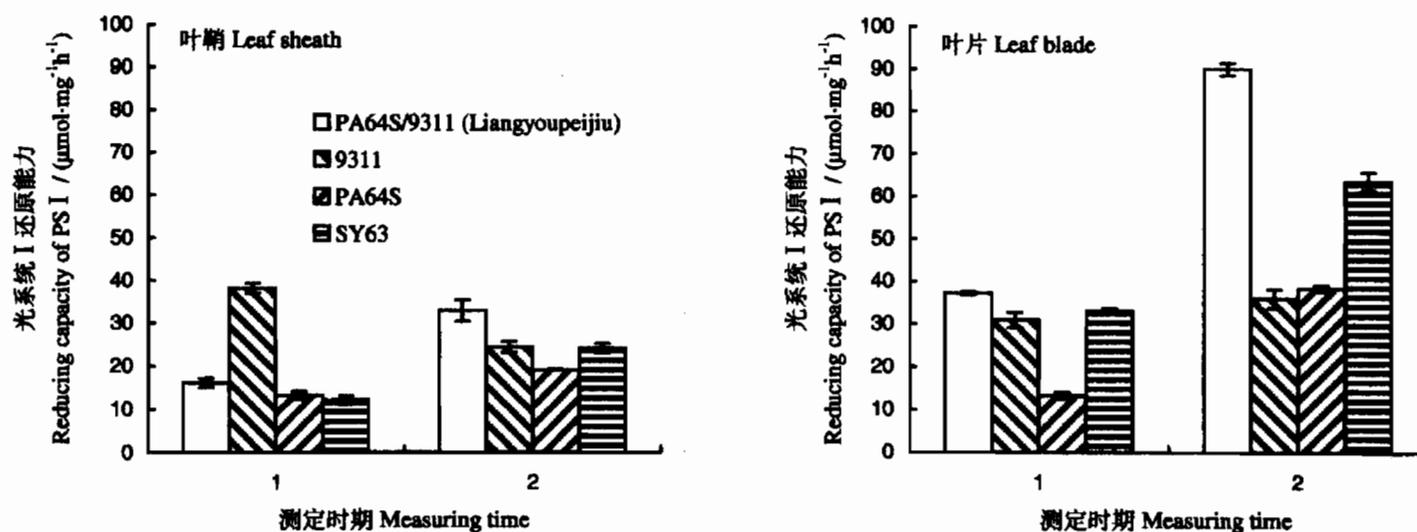


图 1 4 个水稻品种(组合)剑叶叶鞘和叶片的 PS I 还原能力

Fig. 1. PS I reducing capacities of the flag leaf sheaths and blades for the four varieties(combinations).

PA64S—培矮 64S; SY63—汕优 63。

测定时期: 1—水稻剑叶叶枕与倒 2 叶叶枕距为零; 2—抽穗盛期。图 2 同。

PA64S, Pei'ai 64S; SY63, Shanyou 63.

Measuring time: 1, The stage when the distance between flag leaf pulvinus and the second leaf pulvinus from the top is zero; 2, Peak heading stage. The same as in Fig. 2.

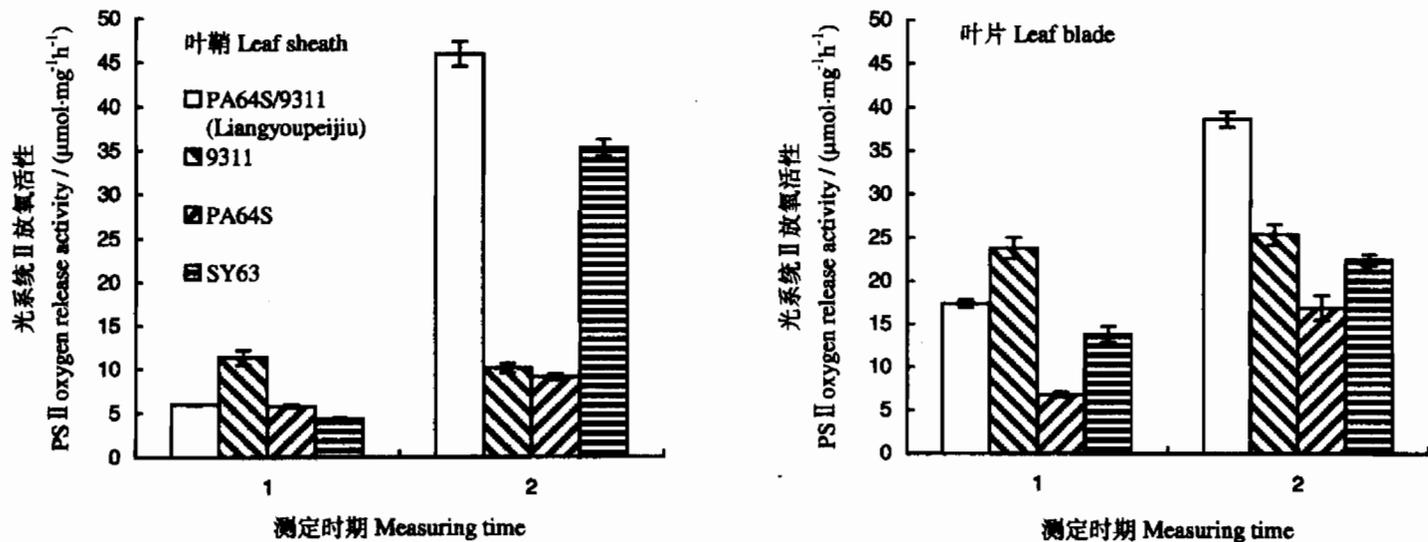


图2 4个品种(组合)剑叶叶鞘和叶片的PS II放氧活性

Fig. 2. PS II oxygen release activities of the flag leaf sheathes and blades for the four varieties (combinations).

0.0134)。两优培九剑叶PS I还原能力第1、2期分别显著、极显著高于汕优63(图1),两期的均值比汕优63高15.31  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ;与其父母本相比,第1期极显著高于父母本( $F=106.52, P=0.0003$ ),第2期也极显著高于父母本( $F=208.52, P<0.0001$ )。本试验结果表明,4个品种(组合)剑叶叶鞘像叶片一样也具有PS I还原能力。两优培九不但叶片的PS I还原能力较高,叶鞘的PS I还原能力也较高;与其父母本相比,具有超单亲或双亲优势。

对4个品种(组合)剑叶叶鞘及其叶片PS II放氧活性的F检验和多重比较表明,两优培九剑叶叶鞘PS II放氧活性第1期高于其母本及汕优63,第2期极显著高于其父母本及汕优63( $F=418.28, P<0.0001$ ),两期的均值比汕优63高6.16  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ (图2)。两优培九剑叶第1期PS II放氧活性极显著高于其母本及汕优63( $F=77.66, P=0.0005$ ),第2期也极显著高于其父母本及汕优63( $F=73.59, P<0.0006$ ),两期的均值比汕优63高9.88  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ (图2)。

PS II放氧活性的试验结果表明,4个品种(组合)剑叶叶鞘也像其叶片一样具有PS II放氧活性。两优培九不但剑叶的PS II放氧活性高,剑叶叶鞘的PS II放氧活性也高;与其父母本相比,也具有超单亲或双亲优势。

4个品种(组合)剑叶叶鞘PS I还原能力、PS II放氧活性与其叶片的PS I还原能力、PS II放氧活性均呈正相关。其中,剑叶叶鞘与其叶片的PS II放氧活性呈显著正相关( $r^2=0.6165, P=0.0210$ )。

说明剑叶叶鞘PS I还原能力、PS II放氧活性的变化规律与剑叶的基本一致。

植物体内游离钙含量影响PS II放氧活性<sup>[14-16]</sup>。对4个品种(组合)剑叶叶鞘及其叶片浸出液钙含量的F检验和多重比较(表1)表明,两优培九剑叶叶鞘及其叶片浸出液钙含量都高于汕优63,其均值分别比汕优63高10.45和6.46  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,且差异均为极显著;两优培九剑叶叶鞘浸出液钙含量的均值极显著高于9311和培矮64S;剑叶浸出液钙含量的均值与9311差异不显著,与培矮64S差异极显著。试验结果表明,4个品种(组合)剑叶叶鞘像叶片一样也具有较高的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量。两优培九不但剑叶的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量高,剑叶叶鞘的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量也高;与父母本相比,两优培九剑叶具有平均优势,剑叶叶鞘具有极显著超双亲优势。

## 2.2 剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上 $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase活性与光合磷酸化

两优培九剑叶叶鞘叶绿体膜上 $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase活性除第4期外,其余各期均高于汕优63,5期的均值比汕优63高1.99  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第1、5期极显著高于汕优63;两优培九剑叶叶绿体膜上 $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase活性均高于汕优63,其5期的均值比汕优63高0.60  $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第1、3、4、5期显著高于汕优63。与亲本相比,两优培九剑叶叶鞘具有平均优势,其中第1期具有超亲优势;剑叶具有平均优势,其中第1、4、5期具有超亲优势。每一个品种(组合)剑叶叶鞘的叶绿体膜上 $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase活性均值都高于其剑叶(图3)。其中,两优培九达显著水平( $F=5.50, P=0.0307$ )。说明水稻

表1 灌浆盛期水稻剑叶叶鞘和叶片浸出液的钙含量

Table 1. Calcium contents of extraction from sheathes and blades of rice leaf at the peak filling stage.

品种(或组合) Variety(Combination)	μg/mL	
	叶鞘 Leaf sheath	叶片 Leaf blade
两优培九 Liangyoupeiiju	27.91±0.03 aA	27.89±0.03 aA
9311	22.61±0.43 bB	28.50±0.28 aA
培矮 64S Pei'ai 64	17.46±0.54 cC	18.55±0.59 cB
汕优 63 Shanyou 63	17.46±0.58 cC	21.43±0.63 bB

同一栏中,数据后带相同大小写字母者分别表示差异未达0.01和0.05水平。

Within a column, data followed by the same uppercase and lowercase letters indicate no significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

剑叶叶鞘的叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性比剑叶的高,两优培九尤为突出。

4个品种水稻(组合)剑叶叶鞘及其叶片循环光合磷酸化活性测定结果表明(图4),两优培九剑叶叶鞘循环光合磷酸化活性均高于汕优63,其5期的均值比汕优63高  $0.37 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第2、3期分别显著、极显著高于汕优63。两优培九剑叶循环光合磷酸化活性5期的均值也比汕优63高  $0.18 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第1、4期分别极显著、显著高于汕优63。两优培九剑叶叶鞘及其叶片循环光合磷酸化活性的均值都高于其父母本的均值,具有平均优势。以上分析表明,4个水稻品种(组合)剑叶叶鞘像其叶片一样也具有循环光合磷酸化能力。两优培九不但剑叶叶片的循环光合磷酸化活性高,剑

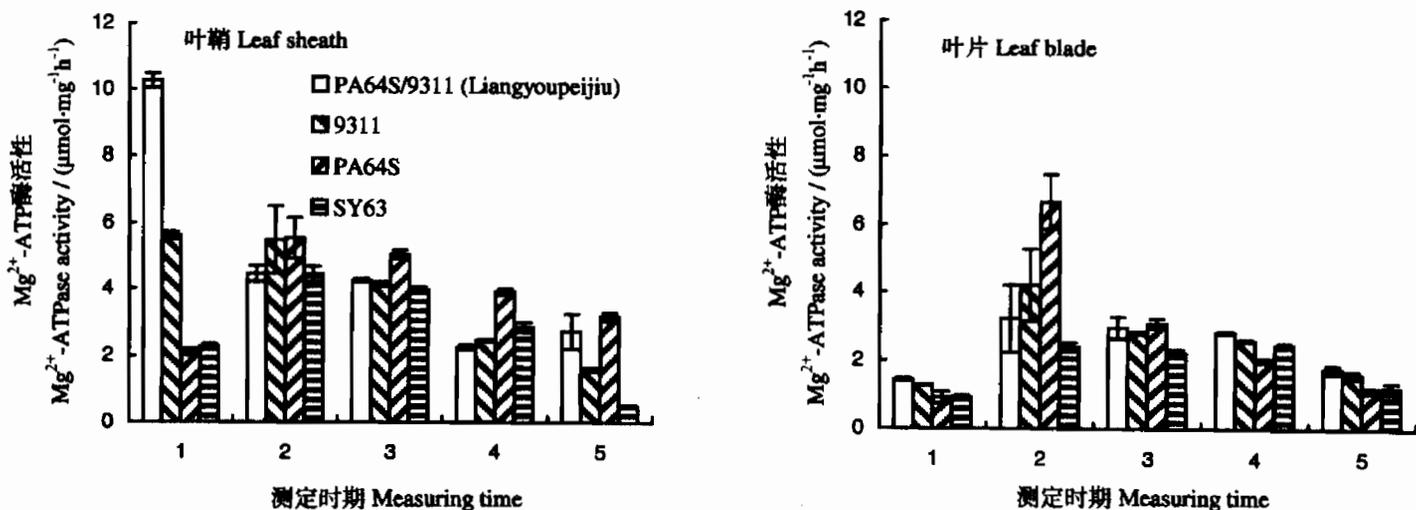
叶叶鞘的也高。

相关分析表明,4个供试品种(组合)剑叶叶鞘与其叶片的循环光合磷酸化活性呈极显著正相关( $r^2=0.6710$ ,  $P<0.0001$ ),表明剑叶叶鞘与其叶片的循环光合磷酸化的变化规律是基本一致的。

另外,从各个品种(组合)的剑叶叶片和叶鞘非循环光合磷酸化看(图5),两优培九剑叶叶鞘非循环光合磷酸化活性均高于汕优63(图5),其5期的均值比汕优63高  $0.25 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第4期显著高于汕优63;两优培九剑叶非循环光合磷酸化活性也均高于汕优63(第5期均为0例外),其5期的均值比汕优63高  $0.31 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ ,其中第1期极显著高于汕优63,第3、4期显著高于汕优63,两优培九具有竞争优势。与父母本相比,两优培九剑叶及其叶鞘的非循环光合磷酸化活性都高于其父母本的均值,具有平均或超亲优势。试验表明,剑叶叶鞘像其叶片一样也具有非循环光合磷酸化能力;两优培九不但剑叶的非循环光合磷酸化活性高,剑叶叶鞘的也高。

相关分析表明,4个品种(组合)剑叶叶鞘与其叶片的非循环光合磷酸化活性呈极显著正相关( $r^2=0.6728$ ,  $P<0.0001$ ),表明剑叶叶鞘与其叶片的非循环光合磷酸化的变化规律是基本一致的。

相关分析表明,不但4个品种(组合)PS I 还原能力、PS II 放氧活性上剑叶叶鞘与其叶片呈显著正相关( $r^2=0.2852$ ,  $P=0.0331$ ),而且4个品种(组合)剑叶叶鞘与其叶片的叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -

图3 水稻剑叶叶鞘和叶片叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -ATPase 的活性Fig. 3.  $Mg^{2+}$ -ATPase activities on chloroplast membranes of the flag leaf sheathes and blades of rice.

测定时期:1—水稻剑叶叶枕与倒2叶叶枕距为零的时期;2—抽穗盛期;3—灌浆盛期;4—黄熟期;5—完熟期。下图同。

Measuring time: 1, The stage when the distance between flag leaf pulvinus and the second leaf pulvinus from the top is zero; 2, Peak heading; 3, Peak grain filling; 4, Yellow ripening; 5, Ripening. The same as in figures below.

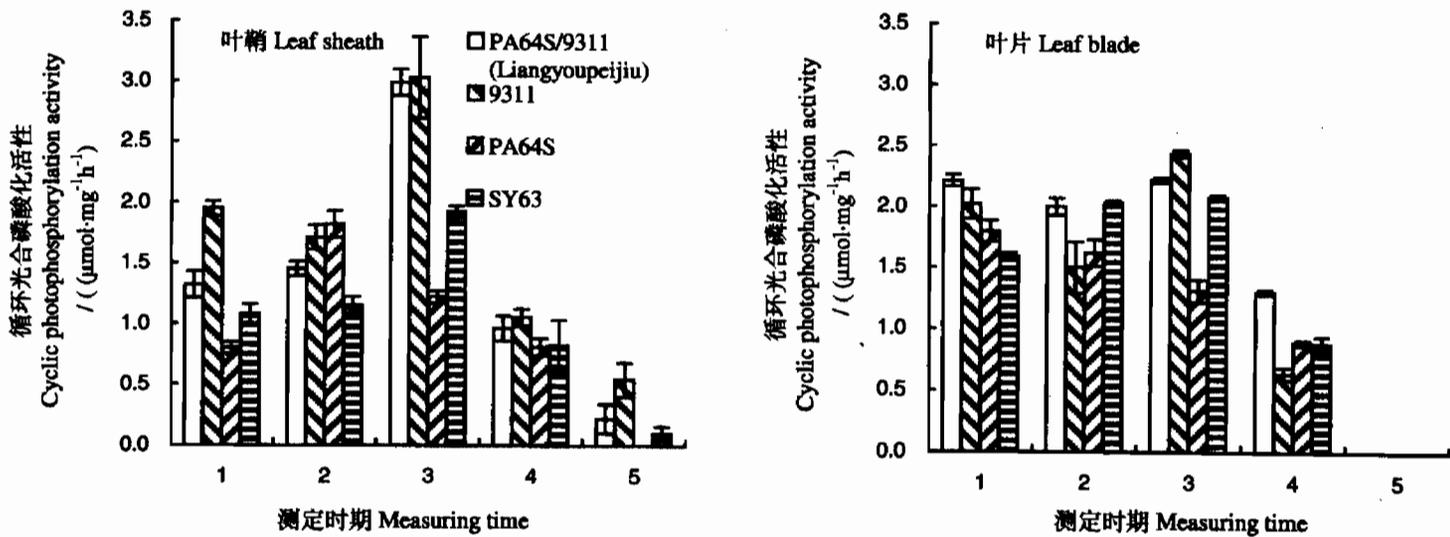


图4 水稻剑叶叶鞘和叶片的循环光合磷酸化活性

Fig. 4. Cyclic photophosphorylation activities of the flag leaf sheathes and blades of rice.

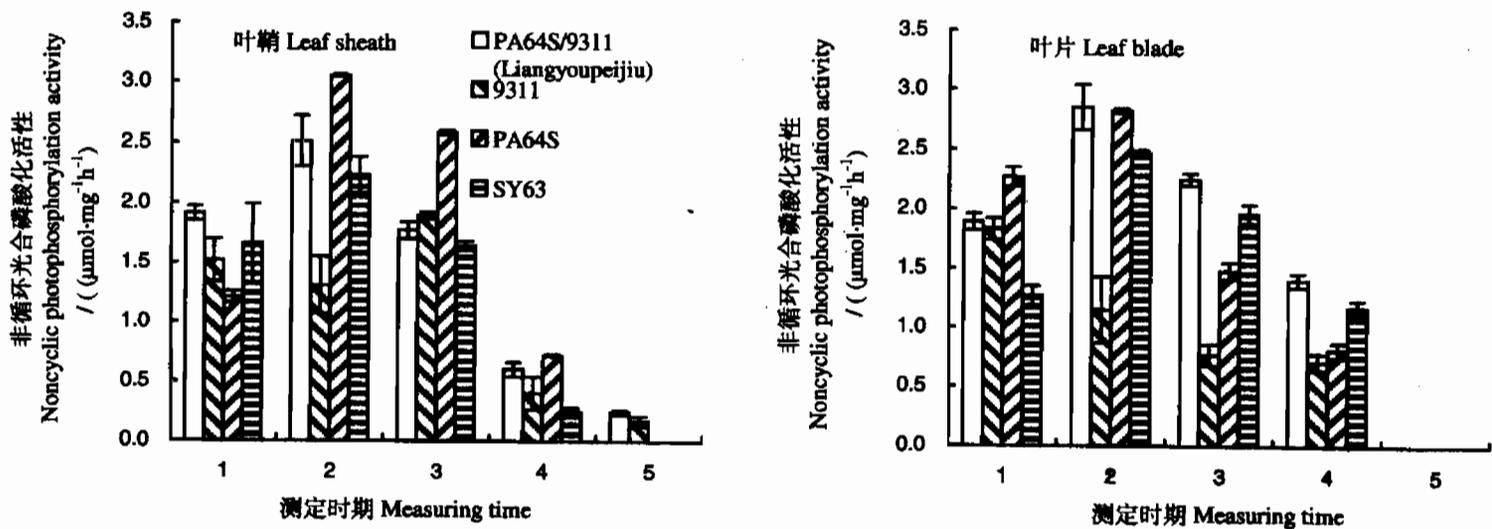


图5 水稻剑叶叶鞘和叶片非循环光合磷酸化活性

Fig. 5. Noncyclic photophosphorylation activities of the flag leaf sheathes and blades of rice.

ATPase活性、循环和非循环光合磷酸化活性也呈极显著正相关( $r^2=0.2569$ ,  $P=0.0041$ )。由此表明,水稻剑叶叶鞘的光化学活性与其剑叶的光化学活性的变化规律不但基本一致,而且两者可能关系密切,相互补充。

### 3 讨论

两优培九剑叶及其叶鞘两个光系统的光化学活性较高。光系统I属光化学反应中心,其还原能力的高低是光化学反应强弱的标志之一<sup>[17-18]</sup>;光系统II是光合作用中最重要的裂解水放氧的光合单元,驱动光合过程<sup>[19]</sup>,将光能以化学能形式储存起来,进行光化学反应<sup>[20]</sup>。叶绿体PS I还原能力与PS II放氧活性的高低表明了叶绿体光合能力的强弱<sup>[18,21-23]</sup>。两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体PS I还原能力与PS II放氧活性均高于汕优63,表明

两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体光化学活性较高。两个光系统的叶绿体光合能力也较高。因此,两优培九剑叶叶鞘及其叶片的叶绿体都具有高光合能力的光化学基础。与父母本相比,两优培九剑叶叶鞘及其叶片PS I还原能力、PS II放氧活性大多数时期具有平均优势或超亲优势,这是两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体高光化学特性的生理生化基础。

两优培九剑叶叶鞘及其叶片游离钙含量较高。Thornton等<sup>[24]</sup>认为PS II外在蛋白以最佳的方式与钙等结合,催化水裂解反应。在psbP和psbQ都失活的突变体中,在游离钙耗尽的条件下,表现出光合自养生长减少,水氧化活性也降低,而且PS II复合体的活性显著降低,钙有较为重要的辅助调节和催化功能,调节和催化水裂解反应<sup>[14-16]</sup>。两优培九剑叶叶鞘及其叶片浸出液钙含量均极显著高于汕优

63,说明两优培九剑叶叶鞘及其叶片游离钙含量高于汕优 63。因此,两优培九剑叶叶鞘及其叶片 PS 放氧活性高于汕优 63,其高含量游离钙的重要辅助调节和催化功能是不容忽视的,这进一步辅证了两优培九剑叶叶鞘及其叶片 PS 放氧活性较高的试验结果。与父母本相比,两优培九剑叶叶鞘具有极显著超双亲优势,剑叶具有平均优势。

两优培九剑叶叶鞘及其叶片循环与非循环光合磷酸化活性较高。叶绿体的光合磷酸化总是与其光合电子传递相偶联的,较高的光合磷酸化活性不仅有利于与之相偶联的光合电子传递形成更多的 ATP、NADPH,而且 ATP 和 NADPH 供应充足,可促进光合碳同化的进行,便于干物质的积累,为高产稳产奠定良好的物质基础<sup>[2,17,25]</sup>。两优培九剑叶叶鞘及其叶片非循环光合磷酸化活性大多数时期高于汕优 63,且剑叶叶鞘与叶片呈极显著正相关。较高的非循环光合磷酸化活性表明其 PS 光下跨越叶绿体中的类囊体膜所形成的质子动力势 (pmf) 和光合电子传递推动力较大,类囊体膜上  $H^+$ -ATP 合成酶催化活性较高,ATP 形成的速度较快<sup>[7,20,21,23]</sup>。因此,两优培九剑叶叶鞘及其叶片较高的非循环光合磷酸化活性表明其 PS 的光化学活性较高。两优培九剑叶叶鞘及其叶片循环光合磷酸化活性也高于汕优 63,剑叶叶鞘与其叶片也呈极显著正相关。循环光合磷酸化活性高,PS 偶联光合电子传递推动力大,ATP 形成旺盛<sup>[7,18,21,24]</sup>,因而,两优培九剑叶叶鞘及其叶片较高的循环光合磷酸化活性进一步验证了其 PS 光化学活性较高的试验结果。与父母本相比,两优培九剑叶叶鞘及其叶片循环与非循环光合磷酸化活性具有平均优势或超亲优势,这是两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体高光化学特性的另一生理生化基础。

两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性较高。叶绿体 ATP 酶活性的变化与光合磷酸化水平的变化表现出相同的趋势,ATP 酶把光合磷酸化与光合电子传递偶联在一起<sup>[7,17]</sup>。叶绿体 ATP 酶活性降低,使得 ATP 含量下降,导致 RuBP 供应减少,进而抑制光合作用;反之,促进光合作用<sup>[7,9]</sup>。两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性均高于汕优 63;其叶鞘显著高于叶片的活性 ( $F = 5.50$ ,  $P = 0.0307$ )。两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上较高  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性验证了其具有较高光合磷酸化活性的试验结果,较高光合磷酸化活性又进一

步验证了其具有较高 PS、PS 活性的试验结果。这一结果表明两优培九剑叶叶鞘及其叶片具有较高的光化学活性。与父母本相比,两优培九剑叶叶鞘及其叶片叶绿体膜上  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性也具有平均优势或超亲优势。这也与两优培九及其父母本 PS 与 PS 活性,循环与非循环光合磷酸化活性的结果相一致。

水稻剑叶叶鞘如果能进行光合作用,就会像叶片一样具有光系统活性,表现出光化学活性。通过与剑叶的比较试验,4 个水稻品种(组合)剑叶叶鞘都像其剑叶一样,具有较高的 PS 还原能力、PS 放氧活性、循环与非循环光合磷酸化活性和  $Mg^{2+}$ -ATPase 活性;剑叶叶鞘也像其叶片一样,具有较高的  $Ca^{2+}$  含量,剑叶叶鞘的这一系列光化学活性与其叶片均表现正相关,即剑叶叶鞘与其叶片的光系统活性的变化规律是一致的。这些充分表明水稻剑叶叶鞘光合作用的生理生化基础不但与剑叶完全相同,而且剑叶叶鞘还具有较高的光系统活性,它是整个水稻植株光合作用的一个重要组成部分。

本试验结果表明,水稻剑叶叶鞘完全具有像剑叶一样的光化学活性,两者只有量的差别,没有本质上的区别,剑叶叶鞘的光化学活性是两优培九光合作用的重要补充,两优培九剑叶及其叶鞘的光化学活性都较高是它能获得超高产的重要原因之一,对水稻剑叶叶鞘光化学的研究具有较为重要的意义;两优培九剑叶叶鞘较高的光化学活性具有遗传与杂交特性,在超高产杂交稻的育种中,其亲本叶鞘光化学的特性也是至关重要的,不但要株型好,剑叶叶鞘的光化学活性也要高,在超级杂交稻的高产栽培中,保持中下部通风透光,使叶鞘的光化学活性得以充分发挥,以确保叶鞘的光合作用,则易获得超高产。“理想株型”、“边际效应”和“合理密植”能提高产量也可能与叶鞘的光合作用有关,笔者尚未作进一步的试验,对此进行研究将是很有意义的。

#### 参考文献:

- [1] Yuan L P. Super hybrid rice. *Chinese Rice Res News*, 2000, 8(1): 13-14.
- [2] 王学华. 超级稻上部叶片光合能力的研究. *作物研究*, 2004 (2): 68-71.
- [3] Jiang H, Wang X H, Deng Q Y. Comparison of some photosynthetic characters between two hybrid rice combinations differing in yield potential. *Photosynthetica*, 2002, 40: 133-137.
- [4] 王荣富, 张云华, 焦德茂. 超级杂交稻两优培九及其亲本生育后期的光抑制和早衰特性. *作物学报*, 2004, 30(4): 393-397.

- [5] 曹树青, 翟虎渠, 钮中一. 不同产量潜力水稻品种的剑叶光合特性研究. 南京农业大学学报, 2000, 23(3): 1-4.
- [6] Wang Z M, Wei A L. Photosynthetic characteristics of non leaf organs of winter wheat cultivars differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. *Photosynthetica*, 2001, 39(2): 239-244.
- [7] 魏爱丽, 王志敏, 陈斌. 土壤干旱对小麦绿色器官光合电子传递和光合磷酸化活力的影响. 作物学报, 2004, 30(5): 487-490.
- [8] 欧志英, 彭长连, 阳成伟, 等. 超高产水稻剑叶的高效光合特性. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(1): 1-6.
- [9] Dunahay T G, Staehelin L A, Seibert M. Structural, biochemical and biophysical characterization of four oxygen evolving photosystem preparations from spinach. *Biochim Biophys Acta*, 1984, 764: 179-193.
- [10] Coombs J, Hall D O, Long S P. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. New York: Pergamon Press, 1985: 136-137.
- [11] 汤章城, 魏家绵, 陈因, 等. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 2004: 106-107.
- [12] 汤章城, 魏家绵, 陈因, 等. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 2004: 104.
- [13] 史瑞和, 鲍士旦, 秦怀英. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1982: 117-137.
- [14] Debus R J. The manganese and calcium ions of photosynthetic oxygen evolution. *Biochim Biophys Acta*, 1992, 1102: 269-352.
- [15] Shen J R, Satoh K, Katoh S. Calcium content of oxygen evolving photosystem preparation from higher plants: Effects of NaCl treatment. *Biochim Biophys Acta*, 1988, 933: 358-364.
- [16] Ghanntakis D P, Topper J N, Babcock G T, Yocum C F. Water soluble 17 and 23 kD polypeptides sector oxygen evolution activity by creating a high affinity binding site for  $Ca^{2+}$  on the oxidizing side of photosystem I. *FEBS Lett*, 1984, 170: 169-173.
- [17] Jordan P, Fromme P, Witt H T. Three dimensional structure of cyanobacterial photosystem I at 2.5 angstrom resolution. *Nature*, 2001, 411: 909-917.
- [18] Scheller H V, Jensen P E, Haldrup A. Role of subunits in eukaryotic photosystem I. *Biochim Biophys Acta*, 2001, 1507: 41-60.
- [19] Oxborough K. Imaging of chlorophyll a fluorescence: Theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *J Exp Bot*, 2004, 55: 1195-1205.
- [20] Alfonso M, Montoya G, Cases R, et al. Core antenna complexes, CP43 and CP47, of high plant photo system spectral properties, pigment stoichiometry, and amino acid composition. *Biochemistry*, 1994, 33: 10494-10500.
- [21] Sane P V. Characterization of chloroplast PS I and PS II separated by a non-defergerene. *Biochim Biophys Acta*, 1970, 216: 162-178.
- [22] Knoetzel J, Mant A, Haldrup A. PSE O, a new 10 kDa subunit of eukaryotic photosystem I. *FEBS Lett*, 2002, 510: 145-148.
- [23] Yakushevskaya E, Jensen P E, Keegstra W. Supermolecular organization of photosystem II and its associated light harvesting antenna in *Arabidopsis thaliana*. *Eur J Biochem*, 2001, 268(23): 6020-6028.
- [24] Thornton L E, Ohkawa H, Roose J L. Homologs of plant PsbP and PsbQ proteins are necessary for regulation of photosystem II activity in the cyanobacterium *Synechocystis* 6803. *Plant Cell*, 2004, 16(8): 2164-2175.
- [25] 许晓明, 陆巍, 张荣铄. 超高产水稻协优 9308 的高效光合功能. 南京师范大学学报, 2004, 27(1): 78-81.