

两系粳型杂交水稻齐穗后光合作用和衰老特性的研究

李奕松¹ 黄丕生¹ 黄仲青² 丁艳锋¹

(¹ 南京农业大学 农业部作物生长调控重点实验室, 江苏 南京 210095; ² 安徽农业大学 农学系, 安徽 合肥 230036)

Characteristics of Photosynthesis and Senescence after Heading Stage in Two-Line Indica Hybrid Rice

LI Yi-song¹, HUANG Pi-sheng¹, HUANG Zhong-qing², DING Yan-feng¹

(¹ Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ² Department of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: A comparative study on the photosynthesis and senescence in two-line and three-line hybrid rice indicated that leaf senescence was associated with the decrease in superoxide dismutase activity and chlorophyll, soluble protein content, and the marked increase in malondialdehyde content. Significant differences were observed within the same kind of hybrid rice but not between the two kinds of hybrids, so did for the canopy photosynthetic rate of these hybrids. After heading stage, the canopy photosynthetic rate correlated positively with the dry matter production during ripening stage.

Key words: hybrid rice; leaf; photosynthetic rate; superoxide dismutase; malondialdehyde

摘 要: 对粳型两系与三系杂交水稻群体光合作用和衰老特性进行了比较, 研究结果表明齐穗后剑叶叶绿素和可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶活性、群体光合速率、脂质过氧化产物丙二醛含量、群体干物质生产量在组合间差异达极显著水平, 两系和三系中各有指标值高低的组合; 群体光合作用和衰老特性的差别主要在组合间, 而不在两系和三系两种类型之间, 两系杂交稻未有明显的优势。粳型两系杂交水稻的配组中应选配齐穗后叶片衰老慢、群体光合速率高的组合, 提高抽穗至成熟期的物质生产量。

关键词: 杂交稻; 叶片; 光合速率; 超氧化物歧化酶; 丙二醛

中图分类号: Q945.1; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2002)02-0141-05

水稻新品种(组合)产量潜力与其抽穗至成熟期光合生产力的提高密切相关^[1,2]。水稻群体生育后期的光合速率的高低及叶片功能衰减快慢对其干物质生产量的多少至关重要。关于群体光合速率的测定方法及其与环境因子(光、温、CO₂)的关系已有报道^[3], 与单叶光合作用密切相关的叶绿素含量、超氧化物歧化酶、光合酶体系等生理指标也有不少研究^[4~7]; 而两系杂交水稻生育后期的群体光合速率与叶片衰老生理生化方面的研究还少见报道。本试验以群体光合速率、叶绿素和丙二醛含量、剑叶的超氧化物歧化酶活性等为指标对粳型两系杂交中稻齐穗后叶片的光合、衰老特性进行研究, 探讨两系杂交水稻在一些生理生化特性上与三系杂交水稻的异同, 为两系杂交水稻的育种、栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试组合

粳型两系杂交稻: X07S/紫恢 100、3418S/山青 11、3418S/青珍 8 号。粳型三系杂交稻: 汕优 63、Ⅱ优 681、Ⅱ优 501。

1.2 试验方法

采用旱育秧, 于 1998 年 5 月 5 日播种, 播种量 50 g/m², 于 32 d 秧龄(叶龄为 6.1~6.3)时选取单株带 2 个分蘖的秧苗, 单本栽, 行株距 25.0 cm×13.3 cm, 小区面积 7.5 m², 随机排列, 3 次重复。大田基施菜籽饼(N 素含量 5.5%)1500 kg/hm², 尿素 472.8 kg/hm², 基面肥与穗肥比例为 7:3; 基施过磷酸钙(含 14% P₂O₅)964.3 kg/hm² 和 氯化钾(含 40% K₂O)337.5 kg/hm²。

1.3 群体光合速率测定

按董树亭的方法^[3]予以改进, 用 GXH-305A 型红外线 CO₂ 分析仪对田间封闭群体直接测定。同化箱长宽均为 0.6 m, 高为 1.5 m, 箱内在冠层高度 90~100 cm 处对角线安装 2 只 14 W 轴流风机以搅匀同化箱内的空气。群体光合速率以单位土地面积上植株所吸收的 CO₂ 计, 单位为 g/(m²·h)。

收稿日期: 2001-05-28; 修改稿收到日期: 2001-07-29。
基金项目: 安徽省“九五”攻关项目。
第一作者简介: 李奕松(1962—), 男, 博士, 副教授。

1.4 生理生化测定

按照 Giannopolitis 的方法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性^[8],按硫代巴比妥酸(TBA)法^[9]测定丙二醛(MDA)含量,考马斯亮蓝法测可溶性蛋白质含量^[9]。

1.5 叶绿素含量的测定

用日本产 SPAD-502 型叶绿素仪测定活体叶片的叶绿素含量,用 SPAD 值表示。田间植株顶部上 3 片叶的 SPAD 为每小区对角线定株 30 片叶,上中下部 90 个数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 叶片叶绿素含量

以齐穗后 7、14、21、28 d 测定叶片的 SPAD 与齐穗期叶片 SPAD 的比值(%)作为叶绿素含量下降的动态指标。从图 1 可以看出,各组合剑叶叶绿素含量相对百分率在齐穗后 7 d 略有增加,两系杂交水稻组合平均为 105.35%,三系杂交组合平均为 107.72%;到齐穗后 21 d,剑叶叶绿素的含量相对百分率在各组合间差异增大,达 1%显著水平,3418S/山青 11 与汕优 63 达到齐穗期的 90%,X07S/紫恢 100 与 II 优 681 仅在 70%左右,而经 *t* 测验,两系与三系组合均值间差异不显著。齐穗后 28 d,剑叶叶绿素含量的相对百分率在各组合间差异更明显,3418S/山青 11 与汕优 63 组合为 80%以上,X07S/紫恢 100 与 II 优 681 为 48%~42%,组合间差异达极显著水平,同样经 *t* 测验两系与三系杂交组合均值间差异不显著。倒 2、倒 3 叶叶绿素的变化趋势与

剑叶基本一致(图 1)。上述结果表明齐穗后叶绿素含量的下降速率,两系和三系杂交组合均有下降慢和下降快的组合,但两系杂交组合中未有叶绿素含量的下降速率低于三系代表组合汕优 63 的。

2.2 剑叶中超氧化物歧化酶活性

在酶促活性氧清除系统中,超氧化物歧化酶(SOD)等酶类活性的高低在一定程度上反映了作物衰老的快慢^[7,10,11]。从图 2 可以看出,超氧化物歧化酶(SOD)活性在齐穗后 7 d 出现高峰,两系组合剑叶 SOD 活性在齐穗后 7 d 的平均值(鲜样)比三系组合的平均值高 5.08%。以后随着生育进程的推移各组合的 SOD 值均逐渐下降,组合间差异达极显著水平,其中两系组合 X07S/紫恢 100 和三系组合 II 优 681 剑叶后期 SOD 活性下降的速度比其他组合快,经 *t* 测验表明两系与三系杂交组合各时段的均值间差异均未达显著水平。两系和三系杂交组合中各有剑叶 SOD 活性下降速度不同的组合。

2.3 剑叶中丙二醛含量

脂质过氧化产物丙二醛(MDA)含量是反映脂质过氧化程度的重要指标。MDA 使多种酶和膜系统遭受严重损伤,其含量的大幅度升高标志着植株快速转向衰老。从图 2 可看出,伴随叶片的衰老,MDA 含量逐渐增加。两系与三系杂交组合剑叶中 MDA 的平均含量在齐穗后 14 d 内无明显差异,齐穗后 21 d、28 d 的 MDA 平均含量是两系比三系杂交组合分别高 3.07%和 7.07%,但未达显著水平;组合间差异达极显著水平,X07S/紫恢 100 和 II 优 681 的 MDA 含量明显高于其他组合。

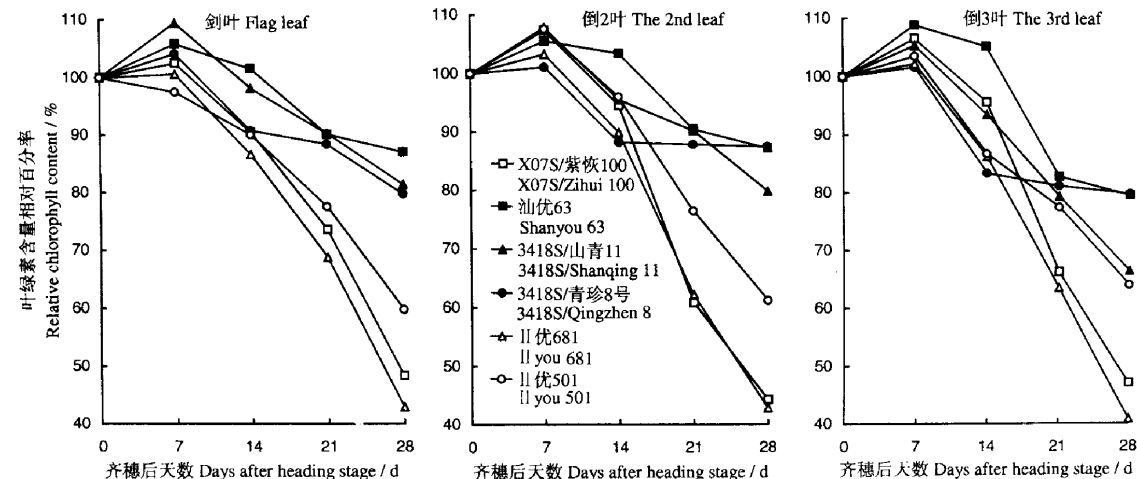


图 1 6 个杂交组合上 3 叶叶绿素含量的变化

Fig. 1. Changes of chlorophyll content in the top three leaves of six hybrid rice combinations.

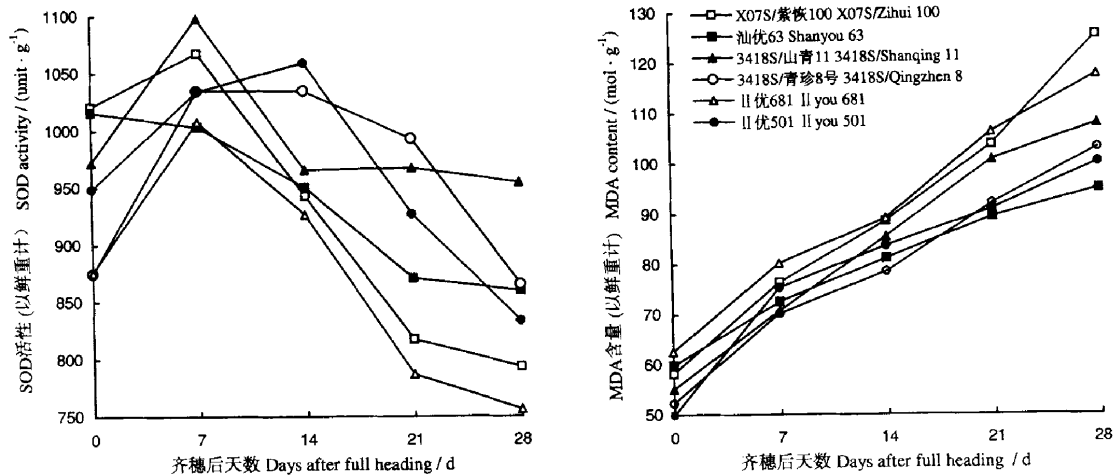


图 2 6 个杂交组合剑叶超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量的变化
Fig. 2. Changes of superoxide dismutase(SOD) activity and malondialdehyde (MDA) content in the flag leaves of six hybrid rice combinations.

2.4 剑叶中可溶性蛋白质含量

如叶绿素分解一样,可溶性蛋白质水解也是衡量叶片衰老特性的重要生理指标之一。表 1 说明各组合剑叶可溶性蛋白质含量的变化与其叶绿素含量、SOD 的变化特性是一致的。齐穗后 14 d 以内,可溶性蛋白质的含量处于缓降期。两系组合齐穗后 21 d、28 d 剑叶的可溶性蛋白质含量的均值与三系组

合的均值经 *t* 测验差异不显著。X07S/紫恢 100 和 Ⅱ 优 681 剑叶的可溶性蛋白质含量在齐穗 21 d 之后下降迅速,导致剑叶中可溶性蛋白质含量在组合间的差异加剧,差异达极显著水平。
上述测定结果表明,齐穗后水稻叶片生理生化特性发生明显的变化,剑叶的叶绿素和可溶性蛋白质含量、SOD 活性随叶片的衰老而下降,MDA 含量

表 1 叶片鲜样中可溶性蛋白质含量

| Table 1. Change of soluble protein content in flag leaves of six hybrid rice combinations. mg/g | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| 齐穗后天数 Days after heading/d | 两系杂交稻 Two-line hybrid rice | | | 三系杂交稻 Three-line hybrid rice | | |
| | X07S/紫恢 100 | 3418S/山青 11 | 3418S/青珍 8 号 | 汕优 63 | Ⅱ 优 681 | Ⅱ 优 501 |
| | X07S/Zihui 100 | 3418S/Shanqing 11 | 3418S/Qingzhen 8 | Shanyou 63 | Ⅱ you 681 | Ⅱ you 501 |
| 0 | 45.83 | 40.70 | 43.55 | 42.32 | 41.30 | 42.61 |
| 7 | 40.10 | 38.80 | 39.70 | 39.00 | 37.50 | 39.80 |
| 14 | 38.90 | 38.00 | 37.80 | 38.70 | 34.50 | 37.70 |
| 21 | 28.40 cCD | 33.30 bAB | 36.60 aA | 36.40 aA | 25.50 dD | 31.30 bBC |
| 28 | 20.80 dBC | 31.50 bA | 36.50 aA | 33.70 abA | 17.30 dC | 24.20 cB |

注:数据后带有不同小写字母和大写字母分别表示同一行在 0.05 和 0.01 水平下差异显著,具有相同字母的差异不显著。
Note: Means in a row followed by the same small letters and capital letters are not significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 2 齐穗后群体干物质生产量及产量

| Table 2. Dry matter accumulation after heading stage and grain yield. kg/hm² | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| 项目 Item | 两系杂交稻 Two-line hybrid rice | | | 三系杂交稻 Three-line hybrid rice | | |
| | X07S/紫恢 100 | 3418S/山青 11 | 3418S/青珍 8 号 | 汕优 63 | Ⅱ 优 681 | Ⅱ 优 501 |
| | X07S/Zihui 100 | 3418S/Shanqing 11 | 3418S/Qingzhen 8 | Shanyou 63 | Ⅱ you 681 | Ⅱ you 501 |
| 干物质产量 Dry matter production | 5253.90 C | 6747.75 A | 5455.05 C | 6681.45 A | 4568.25 D | 5784.15 B |
| 产量 Yield | 8549.25 B | 9201.60 A | 8367.75 B | 9384.00 A | 7044.30 C | 8231.40 B |

注:数据后带有不同大写字母表示同一行在 0.01 水平下差异显著,具有相同字母的差异不显著。
Note: Means in a row followed by the same capital letters are not significant at 0.01 level.

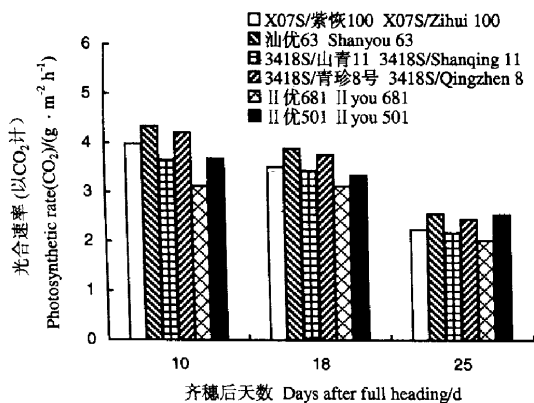


图 3 6 个杂交组合群体光合速率的变化

Fig. 3. Changes of canopy photosynthetic rate of six hybrid rice combinations.

上升。其差别主要在不同组合间,而不在两系与三系组合之间,两系和三系组合中各有叶绿素和可溶性蛋白质含量、SOD 活性下降较慢和 MDA 含量上升较慢的组合,如两系组合的 3418S/山青 11 及三系组合汕优 63;也同样存在上述指标下降快的组合,如两系组合的 X07S/紫恢 100 和三系组合的 Ⅱ 优 681。

2.5 群体光合速率

齐穗后分 3 次测定群体光合速率(以单位土地面积上植株吸收的 CO₂ 计),结果表明(图 3):(1)齐穗后 10 d 两系杂交组合的平均群体光合速率比三系杂交组合高 8.72%,未达显著水平。组合间差异达极显著水平,两系组合 3418S/山青 11 与三系组合汕优 63 的群体光合速率此期较高,分别为 4.34、4.21 g/(m²·h)。(2)齐穗后 18 d,除 Ⅱ 优 681 外,各组合的群体光合速率均有下降。(3)齐穗后 25 d 各组合的群体光合速率迅速下降,两系组合的群体光合速率平均值比对照低 0.85%,两系与三系组合均值的 *t* 测验不显著。各组合间的差异达 1%显著水平,其中两系组合 3418S/山青 11 和三系组合汕优 63、Ⅱ 优 501 具有较高值,分别为 2.55、2.45、2.54 g/(m²·h)。

2.6 群体干物质生产量及产量

齐穗后群体的干物质生产量在供试组合间差异较大,达极显著水平(表 2),两系组合 3418S/山青 11 及三系组合汕优 63 的干物质生产量显著高于其他组合;两系杂交稻齐穗后干物质生产量的均值为 5818.95 kg/hm²,仅比三系杂交稻均值增加 2.48%,经 *t* 测验差异不显著,说明籼型两系杂交稻

齐穗后干物质生产量相对于三系杂交稻无明显优势。各杂交组合的产量结果分析表明,组合间的差异极显著,同样是两系组合 3418S/山青 11 及三系组合汕优 63 的产量显著高于其他组合;两系杂交稻产量的均值与三系杂交稻的差异不显著。齐穗后 10、18、25 d 的群体光合速率与齐穗后干物质生产量呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.8542*、0.8894**、0.7654*；齐穗后干物质生产量与产量呈极显著正相关($r=0.9191^{**}$)。表明提高水稻群体光合速率是增加干物质生产量的基础,而产量的高低最终取决于抽穗至成熟期的干物质生产量^[1],因此,在选配两系杂交组合时应注重其齐穗后要有较高的群体光合速率。

3 讨论

研究结果表明,各杂交组合叶片的叶绿素和可溶性蛋白质含量、SOD 活性、群体光合速率随稻株衰老而下降,MDA 含量上升。这些指标值在两系和三系杂交水稻中各有高低,两系组合未有明显的优势。研究结果显示,无论是两系还是三系杂交稻齐穗后稻株维持较高的叶绿素和可溶性蛋白质含量、SOD 活性、群体光合速率,有助于增加齐穗后的干物质生产量、提高产量。要推动籼型两系法杂交稻的发展,应使其生育后期在生理生化特性、干物质生产量及产量上有较大优势。因此,两系杂交水稻的配组中除选择有形态优势的亲本外,更要注意选择具生理生化优势的亲本;选配齐穗后叶片衰老慢、群体光合速率高的组合,提高抽穗至成熟期的物质生产量,如 3418S/山青 11;两系品种间杂交组合由于核不育系不受恢保关系的制约,恢复谱广,配组较自由,选配到优良组合的几率比三系法要高^[12],这在育种方面为选配具有上述优势特点的两系品种间杂交组合提供了广阔前景。在栽培措施上可针对不同组合的源库特点进行调控,尤其是具有库容优势的两系组合,要增强其生育后期的叶片生理生化活性,延长功能期,促进同化物质的积累和籽粒充实;已有研究表明始穗期施用穗肥能明显提高叶片光合功能、延缓叶片衰老^[13],合理的施肥量及配比、水分调控和外界调节物质的使用为改善两系杂交稻的群体光合和叶片生理生化功能提供技术保障,此方面将随着两系杂交稻的推广应用而得到深入研究。

参考文献:

al. Investigation on the population quality of high yield and its optimizing control programme in rice. *Acta Agric Sin* (中国农业科学), 1993, 26(6): 1—11. (in Chinese with English abstract)

2 Jiang P Y(蒋彭炎), Hong X F(洪晓富), Feng L D(冯来定), *et al.* Relation between percentage of ear-bearing of colony in the middle phase and photosynthesis efficiency in the late in rice. *Acta Agric Sin* (中国农业科学), 1994, 27(6): 8—14. (in Chinese with English abstract)

3 Dong S T(董树亭). Research and measurement method of crop population photosynthesis under field condition. *Gengzuo Yu Zaipei* (耕作与栽培), 1988, (3): 62—64. (in Chinese)

4 Dhindsa R S, Matowe W. Leaf senescence and lipid oxidation. *Plant Physiol*, 1982, 56: 451—457.

5 Fridovich I. The biology of oxygen radical. *Science*, 1975, 201: 875—880.

6 Wada Y, Wada G. Varietal difference in leaf senescence during ripening period of advanced indica rice. *Japan J Crop Sci*, 1991, 60(4): 529—536.

7 Lu D Z(陆定志), Pan Y C(潘裕才), Ma Y F(马跃芳). *et al.* Physiological and biochemical studies on leaf senescence at heading and grain formation stage in hybrid rice. *Acta Agric Sin* (中国农业科学), 1988, 21(3): 21—26. (in Chinese with English abstract)

8 Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plant. *Plant Physiol*, 1977, 59: 309—314.

9 Zhang X Z(张宪政). Methodology of Crop Physiology(作物生理研究法). Beijing: Agricultural Press(农业出版社), 1992. (in Chinese)

10 Lin Z F(林植芳), Li S S(李双顺), Lin G Z(林桂珠), *et al.* Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1984, 26(6): 605—615. (in Chinese with English abstract)

11 Zeng F H(曾富华), Luo Z M(罗泽民). The effects of gibberellic acid (GA₃) on the factors scavenging active oxygens in the flag leaves of hybrid rice during the later growth stages. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1994, 20(3): 247—351. (in Chinese with English abstract)

12 Yuan L P(袁隆平). Progress of two-line system hybrid rice breeding. *Acta Agric Sin* (中国农业科学), 1990, 23(3): 1—6. (in Chinese with English abstract)

13 Pan X H(潘晓华), Wang Y R(王永锐). The increasing roles of nitrogen and potassium top-dressed at initial heading stage on the leaf photosynthetic function in two-line hybrid rice. *Acta Agric Univ Jiangxi* (江西农业大学学报), 1997, 19(3): 1—5. (in Chinese with English abstract)