

杂交稻汕优 63 剑叶光合特性的研究

王仁雷 华春

(淮阴师范学院生物系 淮安 223001)

[摘要] 对杂交稻汕优 63 剑叶一生光合特性的研究表明:RuBPCase 活性及叶肉导度(G_m)与净光合速率显著相关,它们的下降速度明显快于净光合速率及气孔导度(G_s)、碳酸酐酶(CA)活性、PS II 原初光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭(q_P)、全链电子传递速率(ETR)等光合参数的衰退速率。RuBPCase 活性及叶肉导度(G_m)的下降可能是叶片衰老过程中光合速率下降的主要限制性因素。

[关键词] 杂交水稻 净光合速率 叶绿素荧光 RuBPCase

[中图分类号] S511.01; [文献标识码] A; [文章编号] 1001-4616(2001)04-0111-05

作物的干物质生产直接来源于光合作用,光合速率作为衡量叶片光合功能的一个重要生理指标,长期以来一直受到人们的高度重视。近年来对水稻不同生育期及叶片发育过程中光合速率差异的研究表明,水稻品种间光合速率的差异显著,籼稻的光合速率较粳稻高^[1~3]。齐藤认为光合速率是水稻高产品种高产的直接原因,通过改善光合速率来提高水稻的产量是可能的^[4]。水稻剑叶一生光合速率的高低,对水稻产量起着关键性的作用,因此研究水稻剑叶一生中光合功能的变化具有重要的意义。

汕优 63 是目前我国推广面积最大的杂交稻,其适应性广,产量达 $8.3 \sim 9.0 \text{ t/hm}^2$,其产量水平基本上能够代表我国目前水稻的单产水平。我们曾报道汕优 63 生育过程中 RuBP 羧化酶及有关光合酶活性与叶绿体的变化^[5,6],但对其剑叶一生中的光合特性尚待系统研究。本文试图通过剑叶发育和衰老过程中各种光合参数的变化,对汕优 63 叶片光合功能衰退的机理作一些探讨。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为杂交稻汕优 63。种子露白后播于石英砂中,一叶一心期用春日津营养液培养,三叶一心期移植。盆栽土培,每盆盛有机质丰富的水稻土 15 kg,以复合肥 2 g 为基肥。每盆种植 3 穴,每穴 2 苗,采用常规水肥管理。选取生长势相近的植株,用不同叶龄的剑叶,测定各项指标。

1.2 方法

1.2.1 净光合速率的测定

采用北京农业大学 BAU 便携式光合作用红外分析仪,光子密度在 $1000 \mu\text{mol E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右, CO_2 浓度为 $330 \sim 350 \mu\text{L/L}$,测定温度为 $30 \sim 35^\circ\text{C}$ 。

收稿日期 2001-05-15

基金项目 江苏省教育厅自然科学基金项目(98KJB180004)

作者简介 王仁雷,1963—,博士研究生,淮阴师范学院生物系副教授,主要从事植物生理生化的教学与研究。

万方数据

1.2.2 气孔导度(G_s)、叶肉导度(G_m)及胞间 CO_2 浓度(C_i)的测定

气孔导度由 Li-1600 恒态气孔仪测定的气孔阻力求倒数得出。

叶肉导度由下列公式求出：

(1) 叶肉阻力 = (环境 CO_2 浓度 - CO_2 补偿点) / 净光合速率 - 1 / 气孔导度

(2) 叶肉导度 = 1 / 叶肉阻力

胞间 CO_2 浓度(C_i) = 环境 CO_2 浓度 - 净光合速率 $\times 2.24$ / 气孔导度

1.2.3 叶绿素荧光参数的测定

按 Lu 和 Zhang (1998) 的方法^[7]，用便携式叶绿素荧光计 PAM-2000 (Walz, 德国) 进行测定，用数据处理软件 DA-2000 (Heinz, Walz) 记录处理叶绿素荧光参数。

1.2.4 叶绿素含量的测定

按 Arnon (1949) 的方法^[8]。

1.2.5 碳酸酐酶(CA)活性的测定

按郭敏亮 (1992) 的方法^[9]。

1.2.6 RuBPCase 活性的测定

按 Perchorowicz 等 (1982) 的方法^[10]。

1.2.7 全链电子传递活性的测定

按张其德等 (1988) 的方法^[11]。

2 结果

2.1 杂交稻汕优 63 剑叶一生中光合速率的变化

图 1 示杂交稻汕优 63 不同叶龄的剑叶净光合速率的变化。在叶片全展后 7 d 左右，叶片的净光合速率达到一生的最大值，其后随叶龄的增加，净光合速率逐渐下降。从叶片全展后的 21 d 开始，光合速率下降较快。当叶片展开 35 d 时，其光合速率只有全展时的 46.1%。至叶片全展后的 42 d，其净光合速率值只有 $5.4 \mu\text{mol } CO_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

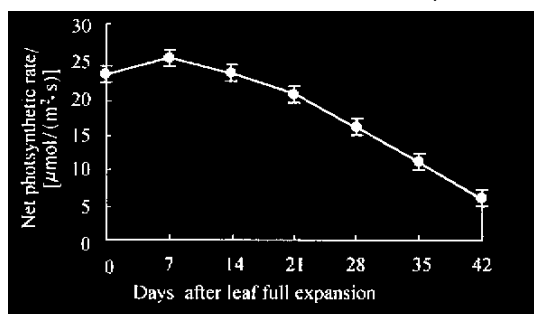


图 1 汕优 63 剑叶一生中净光合速率的变化

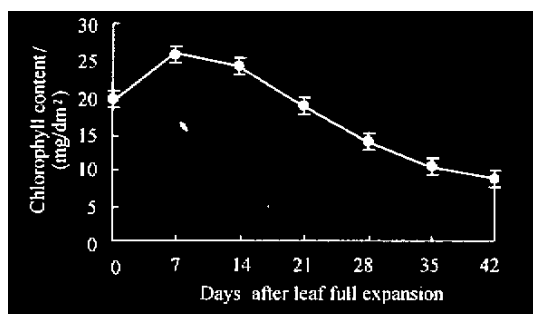


图 2 汕优 63 剑叶一生中叶绿素含量的变化

2.2 杂交稻汕优 63 剑叶一生中叶绿素含量及荧光参数的变化

图 2 表明，汕优 63 在叶片全展至全展后 7 d 左右，叶片的叶绿素含量迅速上升，达到一生中的最大值，此后进入缓降阶段，叶片展开 14 ~ 35 d 内，叶绿素含量下降较快，至 35 d 后，又趋下降缓慢。

图 3 示汕优 63 剑叶一生中叶绿素荧光参数的变化，剑叶从全展到全展后 7 d 左右，PS II 原

初光化学效率(F_v/F_m)和PS II 光化学猝灭(q_P)都上升到最大值。7 d后两者都开始下降,但下降幅度较小。至42 d叶龄时与全展时相比, F_v/F_m 和 q_P 只分别下降了8.4%和5.6%。

叶片发育初期,非光化学猝灭(q_N)下降,全展后7 d左右达到最小值,此时叶片的光合功能最强盛,吸收的光能主要用于光化学反应。此后随剑叶叶龄的增加, q_N 逐渐上升。 q_N 与热耗散密切相关,因此在叶片的生育后期,具有较强的热耗散能力,有助于减轻光抑制的伤害。

2.3 杂交稻汕优63剑叶一生中全链电子传递活性的变化

图4表明,在叶片全展后7 d左右,全链电子传递速率(ETR)达到最大值。此后随叶龄的增加,全链电子传递活性缓慢下降,至叶片展开42 d时,其活性还有全展时的71.9%。

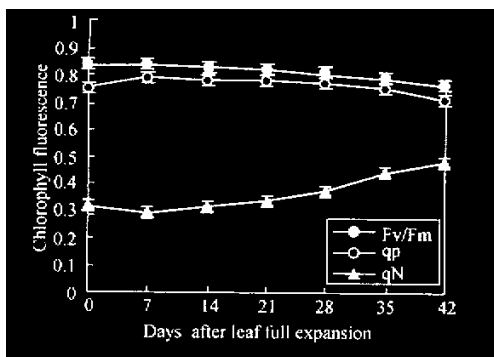


图3 汕优63剑叶一生中叶绿素荧光参数的变化

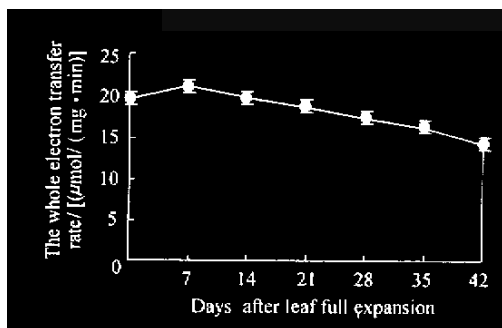


图4 汕优63剑叶一生中全链电子传递活性的变化

2.4 杂交稻汕优63剑叶一生中 CO_2 传导的变化

图5示汕优63剑叶一生中气孔导度的变化,至叶片展开7 d左右气孔导度达到最大值,为 $2.08 \text{ cm}^2/\text{s}$,此后,气孔导度随着叶片的衰老而迅速下降,到叶片全展35 d时,气孔导度的值为全展时的52%。

图6示汕优63剑叶一生中叶肉导度的变化,叶肉导度在全展后一周达到最大值,随后快速下降。在叶片全展的7~28 d内,其下降幅度比同期的气孔导度下降的大,至叶片全展后35 d,汕优63的叶肉导度降至全展时的37.7%。

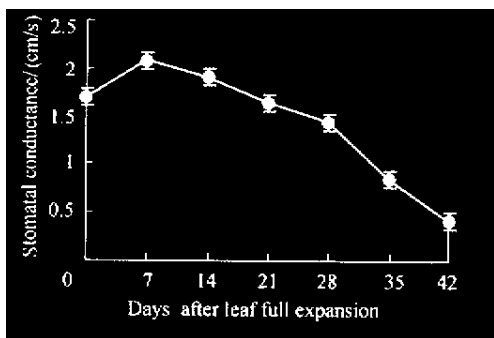


图5 汕优63剑叶一生中气孔导度的变化

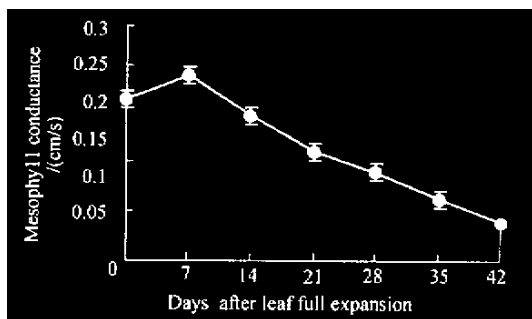


图6 汕优63剑叶一生中叶肉导度的变化

胞间 CO_2 浓度(C_i)是反映叶片 CO_2 传导与同化状况的综合指标之一。图7显示,叶片全展7 d内, C_i 逐渐降低。从叶片全展后14 d至28 d左右, C_i 逐渐上升,然后开始缓慢下降。叶片全展后42 d的 C_i 值与全展时几乎相等。

碳酸酐酶催化 CO_2 与 HCO_3^- 的相互转化,实现无机碳的多次跨膜运输,最终以 CO_2 的形式到达羧化位点,为 Rubisco 提供羧化底物.图 8 表明,碳酸酐酶的活性在叶片全展后 1 周左右达到最大值,随后逐渐下降.叶片展开 14~28 d,CA 活性缓慢下降,至 28 d 后,迅速下降.CA 的变化趋势与气孔导度的变化相似.

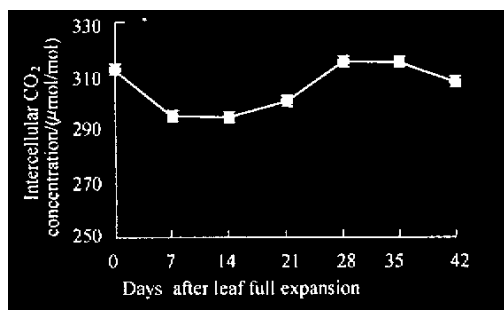


图 7 汕优 63 剑叶一生中 C_i 的变化

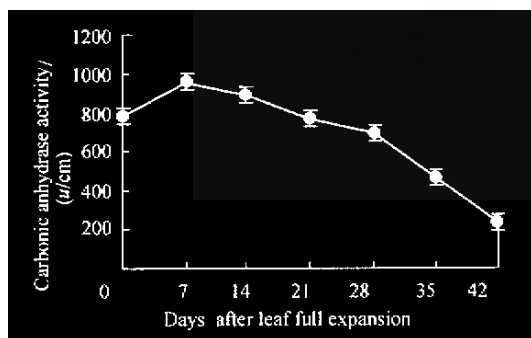


图 8 汕优 63 剑叶一生中 CA 活性的变化

2.5 杂交稻汕优 63 剑叶一生中 RuBPCase 活性的变化

图 9 表明,汕优 63 剑叶 RuBPCase 初始活性的最大值在全展后 7 d 出现,为 $33.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,叶片全展后 35 d 时,其活性为叶片全展时的 23.1%.比较图 8 和图 9,CA 活性较 RuBPCase 活性下降相对缓慢,在一定程度上,弥补了由于羧化酶活性下降而导致的整个光合作用系统中的羧化限制,对光合作用起调节作用.

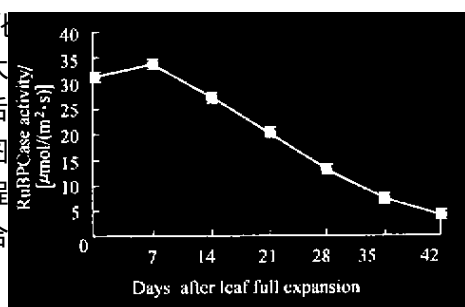


图 9 汕优 63 剑叶一生中 RuBPCase 活性的变化

3 讨论

杂交稻汕优 63 剑叶一生中,光合速率等光合参数始终处于一种动态变化过程之中.叶片从全展时到全展后 1 周左右光合速率、Chl、Gs、Gm、CA、RuBPCase、ETR、Fv/Fm、qP 均达到最大值,此后随着叶龄的增长,这些参数均逐渐下降,但下降的幅度不同,直至叶片衰老后期光合功能完全丧失,这与方志伟等(1987)^[12]和王仁雷等(1996)^[5]的结果相似.净光合速率与 RuBPCase 的活性和 Gm 存在显著相关,相关系数分别为 0.964 和 0.967.但在剑叶全展 14~28 d 期间, C_i 逐渐上升,可能是在这一期间 Gm 和 RuBPCase 活性迅速下降(图 6 和图 9),而气孔导度下降相对比较缓慢(图 5)到达叶肉细胞表面的 CO_2 不能被及时运输和固定,导致 C_i 上升,这时,非气孔限制是光合速率下降的主要原因,这与 Makino(1984)^[13]的结果一致.

在杂交稻汕优 63 剑叶展开的 7~14 d 内,Chl、Fv/Fm、qP、ETR 均维持在较高水平上,此期与 CO_2 供应及同化密切相关的 Gs、Gm、RuBPCase 活性也维持在较高水平,下降趋势平缓,叶片中的光系统通过光合电子传递链生成光合还原物质 NADPH 及 ATP 供应叶绿体的碳、氮同化,以及 Mehler 反应,能量的供求关系处于相对匹配的动态平衡之中,因而叶片的光合速率维持在较高水平.但在剑叶展开 14~35 d 间,Gm 和 RuBPCase 活性的下降速率明显快于 Chl、Fv/Fm、qP、ETR 的下降速率,从而打破能量的供需平衡,使光合碳循环消耗的 ATP 和 NADPH 减少,叶绿体中电子受体 ADP^+ 和 NADP^+ 匮乏,光系统将多余的能量传递给 O_2 形成一系列活性氧,而另一方面,随着叶片的衰老,活性氧清除系统的活性迅速降低,这样就导致体内活性氧的积累

和迅速上升,对叶片的光合机构造成多方位、多层次的伤害,从而导致光合机构的破坏,叶片光合功能迅速丧失^[14].因此,Gm和RuBPCase活性的下降可能是叶片衰老过程中光合速率下降的主要限制性因素.

[参考文献]

- [1] 曹树青,翟虎渠,张红生,等.不同类型水稻品种叶源量及有关生理指标的研究[J].中国水稻科学,1999,13(2):92—95.
- [2] 陈温福,徐正进,张步龙.水稻超高产育种生理基础[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1995.106—156.
- [3] 王永锐.杂交稻光合强度及¹⁴C的分配与穗粒性状的关系[J].中山大学学报(自然科学版),1987,11:33—39.
- [4] 齐藤邦行,下田博之,石原邦.水稻多收性品种的干物生产特性的解析[J].日本作物学会纪事,1992,61(1):62—73.
- [5] 王仁雷,魏锦城.杂交稻及其三系生育过程中RuBP羧化酶及有关光合酶的变化[J].作物学报,1996,22(1):6—12.
- [6] 华春,王仁雷,魏锦成.杂交稻及其三系叶片衰老过程中叶绿体的变化[J].南京师大学报(自然科学版),1998,21(1):71—76.
- [7] Lu C M, Zhang J H. Thermostability of photosystem II is creased in salt-stressed sorghum[J]. Aust J Plant Physiol, 1998, 25: 317—324.
- [8] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in Beta Vulgaris[J]. Plant Physiol, 1949, 24: 1—5.
- [9] 郭敏亮,高煜珠.碳酸酐酶对CO₂液相扩散的影响及其与C₃植物光合作用的关系[J].植物生理学通讯,1992,28(3):223—225.
- [10] Perchorowicz J J, Raynes D A, Jensen R G. Measurement and preservation of the in vivo activation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase in leaf extracts[J]. Plant Physiol, 1982, 69: 1165—1168.
- [11] 张其德,唐崇钦.光强度对小麦幼苗光合特性的影响[J].植物学报,1988,30(5):508—514.
- [12] 方志伟,张荣铨,朱培仁.水稻叶片叶绿素含量的变化与光合作用的关系[J].南京农业大学学报,1987,4:17—22.
- [13] Makino A, Mae T, Ohiro K. Changes in photosynthetic capacity in rice leaves from emergence through senescence: Analysis from vibulose-1,5-bisphosphate carboxylase and leaf conductance[J]. Plant Cell Physiol, 1984, 25: 511—512.
- [14] 魏道智,戴新宾,许晓明,等.植物叶片衰老机理的几种假说[J].广西植物,1998,18:89—96.

Study on Photosynthetic Characteristics of Hybrid Rice Shanyou63

Wang Renlei, Hua Chun

(Department of Biology, Huaiyin Teachers College, Jiangsu, Huaiian 223001, PRC)

Abstract Photosynthetic characteristics of hybrid rice Shanyou63 were investigated. The results revealed that activity of RuBPCase and mesophyll conductance(Gm) were remarkably related to net photosynthetic rate, and their declination rate were remarkably faster than that of some other photosynthetic parameters which were net photosynthetic rate, stomatal conductance(Gs), activity of carbonic anhydrase(CA), photochemical efficiency of PS II(Fv/Fm), photochemical quenching(qP), the whole electron transfer rate(ETR) etc. Therefore, the declination of Gm and activity of RuBPCase might be main reason that caused net photosynthetic rate to descend during the aging course of flag leaves.

Key words hybrid rice; net photosynthetic rate; chlorophyll fluorescence; RuBPCase

[责任编辑:孙德泉]