

银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较

贺立红^{1,2}, 贺立静³, 梁红¹

(1 仲恺农业技术学院 生命科学学院, 广东 广州 510225; 2 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642;
3 暨南大学 水生生物研究中心, 广东 广州 510632)

摘要:利用叶绿素荧光技术测定了银杏不同品种叶绿素荧光参数. 结果表明:泰兴一号的 PS II 最大光化学效率 (F_v/F_{max})、PS II 电子传递量子效率 (Φ_{PSII})、表观光合电子传递速率 (ETR) 及光化学猝灭系数 (q_p) 均高于顺德清晖园银杏, 而非光化学猝灭系数 (q_n) 较低. 可见, 泰兴一号生长较快, 具有潜在高生物产量的生理生化基础. 不同品种银杏光响应曲线、ETR 对光强度响应的初始斜率以及光合色素的含量进一步证实了以上论点.

关键词:银杏; 叶绿素; 叶绿素荧光参数

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)04-0043-04

Comparisons of the Chlorophyll Fluorescence Parameters in Different *Ginkgo biloba* Varieties

HE Li-hong^{1,2}, HE Li-jing³, LIANG Hong¹

(1 College of Life Science, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou 510225, China;
2 College of Horticulture, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;
3 Research Center of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Chlorophyll fluorescence parameters of leaves in different ginkgo cultivars were studied using the chlorophyll fluorescence measuring technique. The results showed that the maximal photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_{max}), quantum yield of photosystem II electron transport (Φ_{PSII}), apparent photosynthetic electron transport rate (ETR) and the photochemical quenching coefficient (q_p) of Taixing No. 1 were higher than Shunde-Qinghuiyuan ginkgo while the non-photochemical quenching coefficient (q_n) of Taixing No. 1 was lower. The above-mentioned results demonstrated that Taixing No. 1 could quickly grow and had potential physiological and biochemical foundations to obtain high biomass. The issue was confirmed by light response curves, initial slopes from response of ETR to light intensities and photosynthetic pigment contents in different ginkgo cultivar leaves.

Key words: *Ginkgo biloba*; chlorophyll; chlorophyll fluorescence parameters

银杏 *Ginkgo biloba* 原产于中国, 现为单科、单属、单种的孑遗植物. 银杏起源于距今 3 亿多年前的古生代石炭纪, 被称为植物活化石. 银杏叶黄酮可以治疗心脑血管、动脉粥样硬化等疾病, 银杏叶提取物还是解决人体器官移植中产生拮抗作用的有效药

物. 银杏种子(白果)胚隐没, 脂肪和淀粉含量高, 无苦味, 甘香可口, 具有较强的市场竞争力^[1-3]. 中国是银杏的故乡, 广东省北部处于银杏栽培的南缘, 是广东省最主要的银杏产区, 每年均有大量结果. 银杏既是落叶果树, 也是经济林木. 由于广东省夏季炎热

收稿日期: 2005-10-31

作者简介: 贺立红(1970—), 女, 讲师, 华南农业大学在职博士研究生; 通讯作者: 梁红(1958—), 男, 博士, 教授, E-mail: lhofice@yahoo.com.cn

基金项目: 广东省“十五科技百项重大课题”(99B05903X); 仲恺农业技术学院科研基金(G3051314); 泽泉科技公司(上海)光合作用研究项目资助

高温、高光强,光合器官吸收了超过光合作用所能利用的光能而容易发生光抑制,所以本试验采用叶绿素荧光技术探测银杏品种间光合能力的差异,并通过分析叶绿素荧光参数,为银杏的高光效良种筛选、优质栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

引种自江苏泰兴市的泰兴一号,山东郯城的大龙眼,浙江长兴的小梅核,广东顺德市的顺德清晖园银杏,均于2001年春嫁接于广东省仲恺农业技术学院银杏圃内。试验于2005年8月7日进行,在生长健壮的植株主枝上取叶片进行离体测定,重复3次。并于2005年10月7日中午进行活体重重复试验,同时按文献[4]方法测定光合色素的含量。

用 Maxi-Imaging-PAM(WALZ,德国)测量银杏成熟功能叶叶片叶绿素荧光参数。测定前,叶片于暗中适应15 min,先照射测量光(小于 $0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)测初始荧光 F_0 ,再照射饱和脉冲($2800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)测最大荧光 F_{max} 。打开持续5 min的光化光($110 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)诱导荧光动力学,并每隔20 s打开饱和脉冲测量光适应下的最大荧光(F'_{max})。充分暗适应的PS II最大光化学效率或原

初光能转化效率(F_v/F_{max})、光化学猝灭系数(q_p)、非光化学猝灭系数(q_N)、PS II电子传递量子效率(Φ_{PSII})、表观光合电子传递速率(ETR)由仪器自动给出。

根据 White 和 Critchley^[5]的方法,分别利用21、56、110、186、281、336、396、461、531、611、701、801和926 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光化光照射10 s,并测量ETR,然后绘制ETR对光强的响应曲线——快速光曲线。所有指标测定均重复6次,结果取平均值 \pm 标准误差。

2 结果与分析

2.1 不同品种银杏叶绿素荧光参数的差异

F_v/F_{max} 指PS II最大光化学效率(PS II原初光能转化效率),它的变化代表PS II光化学效率的变化, F_v/F_{max} 降低常用来判断植物是否受到了光抑制^[6]。比值越低证明其发生光抑制的程度越高。2005年8月7日测定结果显示,在供试品种中, F_v/F_{max} 的大小顺序为:泰兴一号、小梅核、大龙眼、顺德清晖园银杏。泰兴一号、小梅核的叶片 F_v/F_{max} 最高(0.84),顺德清晖园银杏的值最低(0.79),表明泰兴一号、小梅核具有较高的光能利用率(表1)。

表1 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较

Tab.1 Comparisons of chlorophyll fluorescence parameters in different ginkgo cultivars

品种 cultivar	2005-08-07				
	非光化学猝灭系数 non-photochemical quenching coefficient(q_N)	光化学猝灭系数 photochemical quenching coefficient(q_P)	PS II 最大光化学效率 maximal photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_{max})	PSII电子传递量子效率 quantum yield of photosystem II electron transport (Φ_{PSII})	表观光合电子传递速率 apparent photosynthetic electron transport rate(ETR)/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
泰兴一号 Taixing No. 1	0.47 \pm 0.02	0.77 \pm 0.01	0.84 \pm 0.00	0.59 \pm 0.01	27.32 \pm 0.43
大龙眼 Dalongyan	0.67 \pm 0.03	0.83 \pm 0.02	0.80 \pm 0.00	0.52 \pm 0.02	24.45 \pm 1.00
小梅核 Xiaomeihe	0.60 \pm 0.04	0.72 \pm 0.04	0.84 \pm 0.01	0.52 \pm 0.03	24.05 \pm 1.54
顺德清晖园银杏 Shunde-Qinghuiyuan ginkgo	0.67 \pm 0.02	0.73 \pm 0.02	0.79 \pm 0.01	0.46 \pm 0.01	21.32 \pm 0.54
品种 cultivar	2005-10-07				
	非光化学猝灭系数 non-photochemical quenching coefficient(q_N)	光化学猝灭系数 photochemical quenching coefficient (q_P)	PS II 最大光化学效率 maximal photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_{max})	PS II 电子传递量子效率 quantum yield of photosystem II electron transport (Φ_{PSII})	表观光合电子传递速率 apparent photosynthetic electron transport rate(ETR)/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
泰兴一号 Taixing No. 1	0.40 \pm 0.01	0.79 \pm 0.05	0.78 \pm 0.03	0.54 \pm 0.06	246.77 \pm 11.18
大龙眼 Dalongyan	0.68 \pm 0.03	0.86 \pm 0.09	0.71 \pm 0.02	0.46 \pm 0.06	240.65 \pm 31.59
小梅核 Xiaomeihe	0.63 \pm 0.05	0.68 \pm 0.04	0.77 \pm 0.01	0.48 \pm 0.09	213.61 \pm 5.98
顺德清晖园银杏 Shunde-Qinghuiyuan ginkgo	0.63 \pm 0.07	0.77 \pm 0.07	0.76 \pm 0.01	0.45 \pm 0.05	213.13 \pm 44.20

q_p 指光化学猝灭系数,即由光合作用引起的荧光猝灭,反映了光活性的高低.要保持高的光化学猝灭就要使 PS II 反应中心处于“开放”状态,所以光化学猝灭又在一定程度上反映了 PS II 反应中心的开放程度. q_p 愈大,PS II 的电子传递活性愈大^[7].

q_N 指非光化学猝灭系数,反映了植物耗散过剩光能为热的能力,热耗散可以防御光抑制的破坏,对光合机构起自我保护作用^[8].

由表 1 中 8 月 7 日的测定结果可以看出,在测定的银杏 4 个品种中 q_N 的大小顺序为:顺德清晖园银杏、大龙眼、小梅核、泰兴一号.表明顺德清晖园银杏、大龙眼叶片 PS II 天线色素吸收的光能以热的形式耗散掉的部分较多,对自身光合机构的保护作用较强.大龙眼、泰兴一号的 q_p 较大,表明大龙眼、泰兴一号的 PS II 电子传递活性较高.

Φ_{PSII} 反映 PS II 反应中心部分关闭情况下的实际 PS II 光能捕获的效率,是 PS II 实际光化学效率^[9],它的大小也可以反映 PS II 反应中心的开放程度.ETR 是反映实际光强条件下的表观电子传递效率.由表 1 可知, Φ_{PSII} 和 ETR 的大小顺序为:泰兴一号、大龙眼、小梅核、顺德清晖园银杏.较高的 Φ_{PSII} 和 ETR,有利于提高光能转化效率,为暗反应中的光合碳同化积累更多所需的能量,以促进碳同化的运转和有机物的积累.以上结果表明泰兴一号具有较高的 PS II 转能效率,而顺德清晖园银杏具有较低的 PS II 转能效率.

2005 年 10 月 7 日中午进行重复试验,结果与上述结果相似(表 1).

2.2 不同品种银杏光响应曲线的比较

入射到叶片的光能仅有 84% 被吸收,而这些吸收的光能又仅有 50% 分配到 PS II.如果光未过量,ETR 和光合有效辐射(PAR)呈线性关系.当光过量时, Φ_{PSII} 下降,同时测得的 ETR 和入射的 PAR 不再呈线性关系,要低于按线性关系估计的值.最后 ETR 达到饱和,这代表了光合电子传递的能力.这种能力依赖于生理状况和环境因素.由图 1 可知,在同样生存环境条件下,泰兴一号、大龙眼、小梅核、顺德清晖园银杏的光合电子传递能力不同.在同等光强条件下,泰兴一号的电子传递能力最强,顺德清晖园银杏的光合电子传递能力最差.ETR 与植物净光合速率呈显著相关,光合速率和 ETR 的动态变化一致,所以此结果也表明,原产江苏的银杏(泰兴一号)在广州的光合能力较强,而广东省顺德市的顺德清晖园银

杏光合能力较差.

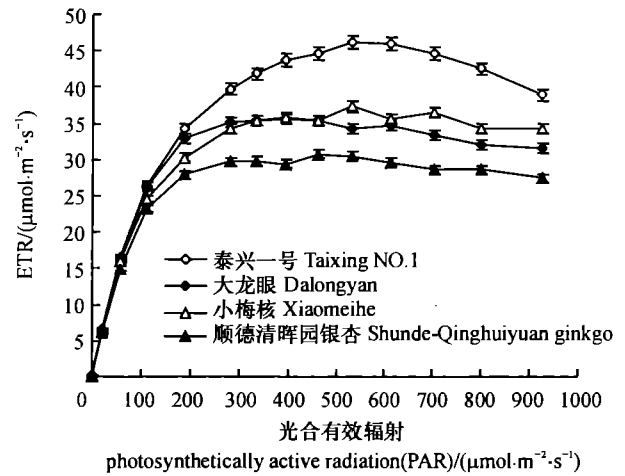


图 1 银杏不同品种表观光合电子传递速率(ETR)对光响应曲线的比较

Fig. 1 Comparisons of response curves of apparent photosynthetic electron transport rate (ETR) to light intensities in leaves of different ginkgo cultivars

2.3 不同品种银杏 ETR 变化初始斜率的比较

ETR 变化的初始斜率可以用来表示光化学反应的启动速率.由图 1 及表 2 可以看出,泰兴一号光化学反应的启动最快,大龙眼、小梅核次之,而顺德清晖园银杏最慢.当光化学反应启动后,泰兴一号的 ETR 较高,大龙眼、小梅核次之,之后为顺德清晖园银杏.说明泰兴一号的光化学反应启动后对光能的利用率高,大龙眼、小梅核次之,顺德清晖园银杏的光化学反应启动后对光能的利用率低.

表 2 银杏不同品种 ETR 变化的初始斜率

Tab. 2 Initial slopes of response of ETR to light intensities in different cultivars of ginkgo

品种 cultivar	初始斜率 initial slope
泰兴一号 Taixing No. 1	0.241 4 ± 0.006 7
大龙眼 Dalongyan	0.239 4 ± 0.017 6
小梅核 Xiaomeihe	0.224 8 ± 0.012 3
顺德清晖园银杏 Shunde-Qinghuiyuan ginkgo	0.212 1 ± 0.012 4

2.4 不同品种银杏光合色素含量的比较

取不同品种银杏叶片,测定并计算叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量,结果表明:泰兴一号的总叶绿素含量最高,为 1.473 5 mg · g⁻¹,顺德清晖园银杏的总叶绿素含量最低,为 1.101 9 mg · g⁻¹.大龙眼、小梅核居中.类胡萝卜素含量也有类似结果(表 3).

表3 银杏不同品种光合色素含量比较

Tab.3 Comparison of photosynthetic pigment content in different ginkgo cultivars $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

品种 cultivars	w (叶绿素 a chlorophyll a)	w (叶绿素 b chlorophyll b)	w [叶绿素(a+b) chlorophyll(a+b)]	w (类胡萝卜素 carotenoid)
泰兴一号 Taixing No. 1	1.033 8 ± 0.058 9	0.439 7 ± 0.028 1	1.473 5 ± 0.053 0	0.441 3 ± 0.049 6
大龙眼 Dalongyan	0.950 4 ± 0.069 7	0.420 5 ± 0.018 9	1.370 9 ± 0.056 9	0.423 7 ± 0.033 6
小梅核 Xiaomeihe	0.988 2 ± 0.068 5	0.412 7 ± 0.032 8	1.400 9 ± 0.093 6	0.389 5 ± 0.023 5
顺德清晖园银杏 Shunde-Qinghuiyuan ginkgo	0.770 8 ± 0.062 9	0.331 1 ± 0.059 6	1.101 9 ± 0.122 5	0.347 2 ± 0.066 0

3 讨论

泰兴一号原产于江苏,江苏位于我国大陆东部沿海中心,东经 $116^{\circ}18' \sim 121^{\circ}57'$,北纬 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}20'$. 江苏属亚热带和暖温带地区,气候温和,雨量适中,具有四季分明的特征,全省年平均气温为 $13 \sim 16^{\circ}\text{C}$,年均降雨量为 $724 \sim 1\,210\text{ mm}$,年均日照为 $2\,000 \sim 2\,600\text{ h}$. 银杏喜光,喜温暖湿润气候,因此江苏成为银杏的主产区. 试验发现泰兴一号的 PS II 最大光化学效率(F_v/F_{\max})、PS II 电子传递量子效率(Φ_{PSII})、表观光合电子传递速率(ETR)、光化学猝灭系数(q_p)以及叶绿素和类胡萝卜素的含量均高于顺德清晖园银杏,而非光化学猝灭系数(q_N)较低,表明泰兴一号的叶绿体色素分子具有较高的 PS II 活性(光能转化效率、电子传递速率),可以形成较多的活跃的化学能(ATP 和 NADPH),为光合碳同化提供充分的能量和还原能力,从而在夏季炎热高温的生长环境下表现出良好的光合生理性能. 在通常情况下,光合能力与光合生产力(或光合产量)呈正相关,所以从光合生理角度来看,泰兴一号生长较快,具有潜在高产的生理生化基础. 由于泰兴一号有较好的生物学特性和生态学适应性,因此在广州仍能保持较高的光合能力.

研究发现顺德清晖园银杏的种子小,作为种用银杏开发的意义不大,但该银杏树落叶迟,又能在低纬度地区开花结实,可以作为观赏植物资源^[2]. 由于其光合效率在广州明显低于其他 3 个银杏品种,在广州是否具备适合生长的条件有待进一步探讨.

不同品种银杏光响应曲线、ETR 变化初始斜率以及叶绿素和类胡萝卜素的含量进一步证实了以上论点.

参考文献:

- [1] 梁红,冯颖竹,王英强,等. 广东白果物候特征与品种特性的观察[J]. 中国生态农业学报,2001,9(1):98-100.
- [2] 梁红,冯颖竹,王英强,等. 广东银杏资源调查初报[J]. 农业与技术,2002,22(6):75-79.
- [3] 梁红,冯颖竹,王英强,等. 广东省顺德古银杏的初步研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(1):127-129.
- [4] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:72-75.
- [5] WHITE A J, CRITCHLEY C. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus[J]. Photosynth Res, 1999, 59: 63-72.
- [6] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349.
- [7] 王可玢,许春辉,赵福洪,等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 生物物理学报, 1997,13(2):273-278.
- [8] 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.
- [9] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 990: 87-92.

【责任编辑 李晓卉】