

研究简报

## 褐藻裙带菜光系统 I 的能量传递特性

李爱芬<sup>1</sup> 段舜山<sup>1</sup> 陈 敏<sup>2</sup> 宫宝安<sup>2</sup> 周百成<sup>3</sup>

(1. 暨南大学水生生物研究中心, 广州 510632; 2. 烟台大学生物化学系, 烟台 264005; 3. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

### THE CHARACTERISTICS OF ENERGY TRANSFER IN PS I FROM BROWN ALGAE *UNDARIA PINNATIFIDA*

LI Ai-Fen<sup>1</sup>, DUAN Shun-Shan<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>2</sup>, GONG Bao-An<sup>2</sup> and ZHOU Bai-Cheng<sup>3</sup>

(1. Research Center of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632; 2. Department of Biochemistry, Yantai University, Yantai 264005; 3. Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Science, Qingdao 266071)

关键词: 褐藻; 光系统 I (PSI); 色素-蛋白复合物; 能量传递

**Key words:** Brown algae; Photosystem I; Pigment-protein complex; Energy transfer

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2003)02-0214-03

高等植物的 PSI 复合物在 77K 条件下有 730nm 长波发射峰, 这个荧光峰是 PSI 的重要表征。近 20 年来, 在褐藻 PSI 复合物荧光发射光谱的研究报道中, 都没有观察到 730nm 的荧光峰。最近, 测定了 8 种褐藻叶状体和 4 种褐藻完整叶绿体的 77K 荧光发射光谱, 结果证实褐藻叶状体和叶绿体的荧光发射光谱中都没有 730nm 发射峰<sup>[1]</sup>。采用癸基-N-甲基葡萄糖胺(DMG)增溶 3 种褐藻的类囊体膜, 经聚丙烯酰胺凝胶电泳分离 PSI 复合物, 结果它们的 77K 荧光发射光谱完全相同, 有两个分别位于 680nm 和 715nm 的荧光峰<sup>[2]</sup>。作为对比材料菠菜的 PSI 复合物的 77K 荧光发射光谱同以往报道的高等植物结果完全一致, 730nm 发射主峰十分明显<sup>[3]</sup>。说明褐藻 PSI 复合物确实没有作为高等植物 PSI 表征的 730nm 荧光峰。根据前人的研究结果, 褐藻 PSI 复合物的这种荧光特异性可能具有普遍性。表明其 PSI 复合物在结构组成和能量传递等方面与高等植物不同。

#### 1 材料与方法

**1.1 材料** 裙带菜(*Undaria pinnatifida*) 采自烟台金沟寨低潮带石沼。

**1.2 叶绿体和类囊体膜的提取分离** 按文献[4]的方法进行, 分离介质为 pH8.0 的 50mmol/L 的 Tris 硼酸溶液, 类囊体

膜悬浮液为 50mmol/L 的 Tricine 溶液(pH8.0)。

**1.3 PSI 复合物的分离和荧光发射光谱的测定** 按李爱芬<sup>[5]</sup>的方法进行。

#### 2 结果

##### 2.1 褐藻 PSI 复合物的组成

裙带菜类囊体膜用 2% 的 DMG(DMG/Chl=20:1)增溶 1h, 经 12000r/min 离心 15min, 悬浮液经 PAGE 分离到 2 条 PSI 复合物, 其中第一条为分子量较大的 CPI<sub>a</sub>, 第二条为 CPI。将分离得到的 PSI 复合物用蛋白处理液室温下处理 30min, 采用 Laemmli 的方法分析多肽组成, 结果表明 CPI<sub>a</sub> 和 CPI 都含有表观分子量为 66KD 的多肽, 其中分子量较大的 CH<sub>a</sub> 还含有属于 PSI 捕光色素-蛋白复合物组分的 20KD 多肽。该结果与前文<sup>[4]</sup>报道一致。

##### 2.2 DMG 浓度对褐藻 F715 发射的影响

采用不同浓度的 DMG 增溶裙带菜类囊体膜, 使 DMG/Chl 为 10:1, 15:1, 20:1 和 30:1, 在 4℃条件下增溶 1h, 电泳后测定 PSI 复合物的低温荧光发射光谱, 如图 1 所示。在低浓度条件下, 如 DMG/Chl 为 10:1 时, CPI<sub>a</sub> 没有明显的 F715 发射峰, CPI 的 F715 发射峰也很低。随着 DMG 浓度的提高, CPI<sub>a</sub> 和 CPI 的 F715 发射峰明显升高。同时 CPI<sub>a</sub> 和 CPI

收稿日期: 2001-06-20; 修订日期: 2002-09-12

基金项目: 山东省教育委员会基金项目(Y99D2)资助

作者简介: 李爱芬(1963—), 女, 山东昌邑市人; 博士; 暨南大学水生生物研究中心副教授, 主要从事藻类光合作用与生物技术研究。中国科学院植物研究所光合作用研究中心张群、冯丽洁同志协助光谱测定, 特此致谢

的电泳迁移变大。说明当 PSI 复合物中 20KD 的捕光组分脱落, 分子量变小时, F715 增强, 荧光发射峰升高。

2.3 增溶时间对褐藻 F715 发射的影响

采用一定浓度 DMG, 使 DMG:Chl 为 15:1, 在 4℃ 条件下增溶裙带菜类囊体膜, 增溶时间分别为 10min、30min、1h、10h。电泳后测得 PSI 复合物的低温荧光发射光谱如图 2。从图 2

看出, 裙带菜 PSI 复合物的 F715 发射与 DMG 的增溶时间有关。例如, 增溶时间为 10min 时, CPI a 的 F715 发射峰不明显, CPI 的 F715 发射峰也较低。随着 DMG 增溶时间的延长, 裙带菜 PSI 复合物 F715 发射峰明显升高。增溶时间超过 1h 以上, F715 峰高不再升高。还从实验中观察到, 随增溶时间的延长, CPI a 和 CPI 的电泳迁移率增大, 说明复合物

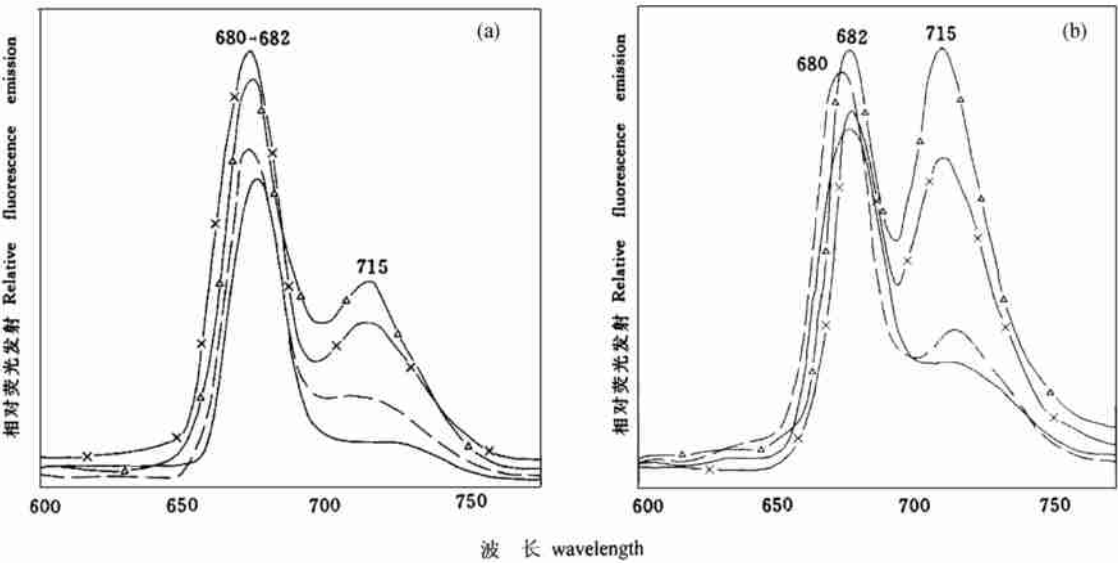


图 1 DMG 与 Chl 浓度比对裙带菜 CPI a(a) 和 CPI (b) 荧光发射光谱的影响(激发波长为 436nm)  
Fig.1 Effect of the ratio between DMG and chlorophyll concentrations on fluorescence spectra of CPI a(a) and CPI (b) from *Undaria pinnatifida* (The wavelength of excitation light was 436nm)  
——10:1; - - -15:1; -x-x-20:1; -△-△-30:1

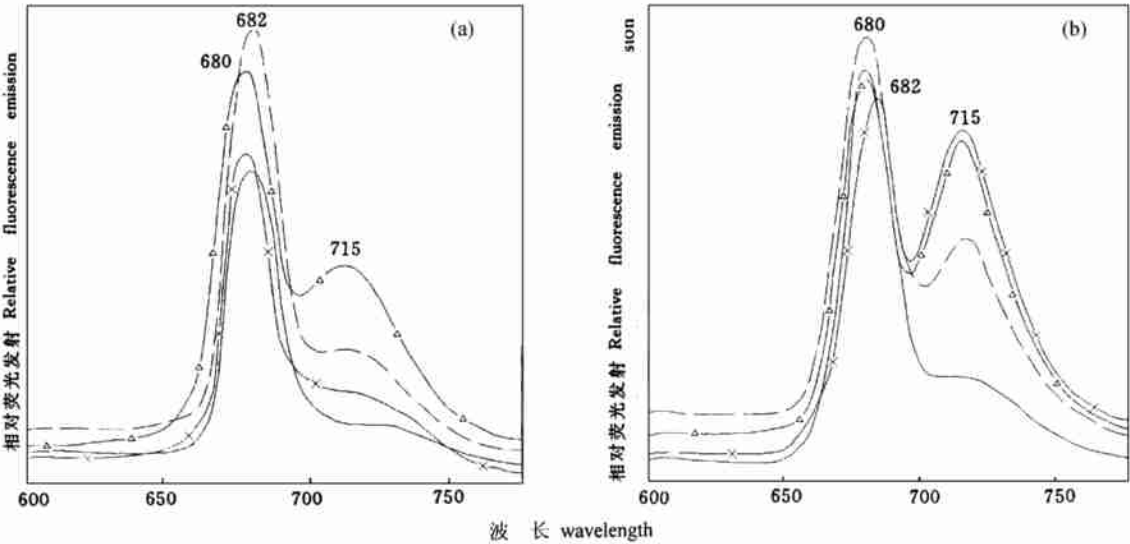


图 2 DMG 增溶时间对裙带菜 CPI a(a) 和 CPI (b) 荧光发射光谱的影响(激发波长为 436nm)  
Fig.2 Effect of DMG solubilizing time on fluorescence spectra of CPI a(a) and CPI (b) from *Undaria pinnatifida* (The wavelength of excitation light was 436nm)  
——10min; -x-x-30min; - - -1h; -△-△-10h

分子量变小时, F715 峰升高, 增溶时间超过 1h, 复合物迁移率和 F715 峰高度基本保持不变。

3 讨论

在裙带菜等 3 种褐藻的 PSI 复合物中, 分子量较小的 CPI 组分 F715 峰明显比 CPI a 高<sup>[2]</sup>。裙带菜 CPI a 和 CPI 的多肽组成分析结果表明: F715 发射峰较低的 CPI a 组分, 除了含有 66KD 多肽外, 还含有 20KD 多肽。后者与高等植物的 LHCI 相对应。而 F715 发射峰较高的 CPI 组分, 只含有 66KD 的多肽, 没有 20KD 的多肽组分。因此, 可以初步推断裙带菜 PSI 复合物的 F715 发射峰是来自其核心复合物, 而不是 PSI 复合物中的 20KD 多肽。另一方面, 根据上述 DMG 浓度和增溶时间对 F715 影响的观察, 尽管 PSI 复合物上的 20KD 多肽与 F715 发射无关, 但它与 F715 的荧光强度有关, 当这一 LHCI 组分脱落时, PSI 核心复合物的 F715 荧光才充分显现出来。

高等植物的 PSI 复合物是由 CCI 和 LHCI 组成, CCI 的低温荧光发射峰位于 720—725nm<sup>[6]</sup>, LHCI 组分中 LHCI a 的荧光发射峰位于 680—690nm, LHCI b 位于 730nm。Bassi 等根据有关的研究结果, 于 1990 年提出了高等植物 PSI 复合物的能量传递模式。他们认为在高等植物 PSI 复合物中, 能量传递顺序为 LHCI a 接受 LHCII 吸收的光能, 传递给 LHCI b, 由 LHCI b 将能量传递给 CCI。通过裙带菜 PSI 复合物的低温荧光发射光谱分析结果, 即褐藻 CPI 和 CPI a 的 77K 荧光的 715nm 峰和 680nm 峰的相对高度关系逆转和去污剂增溶动力学分析, 认为 715nm 荧光发射峰来源于核心复合物, 而随着 CPI a 中捕光色素蛋白复合物和 20KD 多肽的减少, 680nm 荧光发射峰降低, 推论 680nm 荧光发射峰来源于 PSI 的捕光色素蛋白复合物组分。与高等植物 PSI 复合物的低温荧光发射相比, 作者认为裙带菜等褐藻缺少 730nm 荧光发射峰的主要原因, 是褐藻 PSI 复合物中缺少高等植物发射 730nm 荧光的 21KD 多肽, 即 LHCI b。由此提出褐藻 PSI 复合物的结构和能量传递模型(图 3)。但至今还没有分离到褐藻的 LHCI, 直接进行光谱测定的多肽组成分析, 因此, 这种 680nm 荧光峰同 20KD 多肽的直接关系还有待进一步证实。

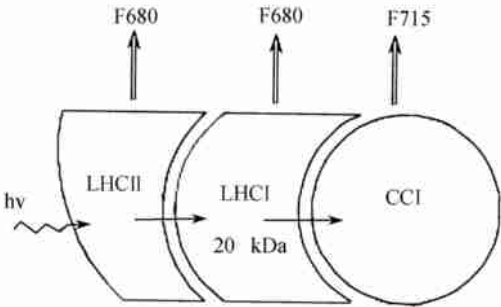


图 3 褐藻 PSI 的光能吸收、传递和荧光发射模式图  
Fig. 3 Model of energy absorption, transfer and fluorescence emission for brown algae

参考文献:

[ 1 ] LI A-F(李爱芬), CHEN M(陈敏), ZHOU B-C(周百成). Studies on characterization of fluorescence emission spectra of brown algae at 77 K[ J ]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1999, **16**(3): 274—279

[ 2 ] LI A-F(李爱芬), CHEN M(陈敏), ZHOU B-C(周百成). Separation and characteristics of pigment protein complexes from three brown algae[ J ]. *Marine Sciences* (海洋科学), 2000, **24**(2): 47—50

[ 3 ] LI A-F(李爱芬), CHEN M(陈敏), ZHOU B-C(周百成). Comparative research on pigment protein complexes of *Undaria pinnatifida* and spinach [ J ]. *Plant Physiology Communications* (植物生理通讯), 2000, **36**(5): 404—408

[ 4 ] LI A-F(李爱芬), CHEN M(陈敏), ZHOU B-C(周百成). Separation and terminology of pigment protein complexes from the brown alga *Undaria pinnatifida* (Harv.) [ J ]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2000, **42**(2): 153—157

[ 5 ] LI A-F(李爱芬), CHEN M(陈敏), ZHOU B-C(周百成). Effect of detergents on the electrophoretic separation and the properties of pigment protein complexes from a brown alga *Undaria pinnatifida* [ J ]. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2001, **32**(4): 394—401

[ 6 ] Bassi R, Rigoni F, Giacometti G M. Chlorophyll binding proteins with antenna function in higher plants and green algae. *Photochem Photobiol* [ J ], 1990, **52**: 1187—1206