

光系统 II Chl 分子能量传递超快光谱动力学*

王水才¹ 贺俊芳^{1,2} 蔡霞^{1,2} 任兆玉^{1,2} 侯洵¹ 李良璧³ 匡廷云³

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

(2 西北大学, 西安 710069)

(3 中国科学院植物研究所光合作用研究中心, 北京 100093)

摘 要 利用 ICCD 飞秒扫描成像和飞秒时间分辨光谱装置实验研究了高等植物捕光天线 LHC II 三聚体和 PS II 颗粒复合物的超快光谱动力学, 经过吸收光谱和发射光谱分析, 确定在 LHC II 三聚体中至少存在 7 种 Chl 分子光谱特性, 分别是 Chlb^{658.7/653.656}、Chla^{665.2/662.0}、Chla/^{671.1/670.671}、Chla^{677.1/675.0}、Chla^{682.9/680.681}、Chla^{689.1/685.0} 和 Chla^{695.6/695.0}。采用光强 10^{13} 光子/cm²/脉冲激励浓度为 30 μg/mL 的捕光天线 LHC II 三聚体, 在 650 nm 到 705 nm 谱段逐点探测分析处理, 产生了 2 组短寿命组分 210 fs、520 fs 和 5.2 ps、36.7 ps 及 2 个长寿命组分 1.8 ns、2 ns。最快的 3 个寿命 210 fs、520 fs 和 5.2 ps 反映了三聚体 Chlb 分子向 Chla 分子的激发能传递过程; 寿命 36.7 ps 反映了 Chla 分子向相邻单体 Chla 分子的激发能传递过程; 最长的 2 个寿命 1.8 ns 和 2 ns 是在三聚体中 Chla 分子通过中间体 Chla 分子辐射荧光, 分别跃迁回基态的过程。获得的 6 个寿命组分有把激发能传递时间与 Chla/b 分子发射光谱相结合的特点。经拟合处理解析 PS II 颗粒复合物光谱, 得到 3 个组分谱, 其峰值分别为 686.8 nm、692.2 nm 和 694.9 nm, 与 LHC II 比较分析, 说明天然构型的 PS II 有很强吸收光能和有效传递光能的本领。

关键词 光系统 II; 叶绿素分子; 能量传递; 超快光谱动力学

0 引言

光系统 II (PS II) 颗粒复合物包含捕光天线 LHC II 和核心天线 CP43、CP47 及反应中心 D1-D2-Cytb₅₅₉ 复合物, 在高等植物光合作用中, 捕光天线 LHC II 中的聚光色素分子高效吸收太阳能, 通过辅助外周天线 CP29、CP26 和 CP24 把光能传递给核心天线 CP43 和 CP47, 然后再由 CP43 和 CP47 分别把激发能传递到反应中心 D1-D2-Cytb₅₅₉, 进行稳定的光化学反应。从 PS II 颗粒复合物中提纯出 LHC II 后, 剩余的为 PS II 核心复合物。

Trinkunas 等人¹ 对于高等植物的捕光复合物 II (LHC II) 三聚体吸收光谱分析, 在大约 635 nm ~ 700 nm 光谱范围有 12 条叶绿素吸收谱带。在捕光天线 LHC II 中, 叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和 β 胡萝卜素 (β-Car) 分子天然排列非常紧密, 这些色素从接收光能到形成激发态仅需 1 fs 多时间, 根本来不及发射荧光和无辐射跃迁。分子吸收谱多, 表明 LHC II 能在宽频谱范围吸收光能, 加之天线色素分子之间排列紧密, 一般分子间距小于临界距离 7 nm, 光量子在这些分子之间主要以 Forster 共振传能机制进行激发能传

递, 有高效吸能和有效传能的特点。普遍认为 β-Car 吸收光能传递给 Chla 的效率高达 90%, Chlb 吸收的光能传递给 Chla 的效率接近 100%, 激发能传递到反应中心, 几乎以 100% 的量子效率转化成为光化学反应的电能。我们曾经利用四能级理论研究了 LHC II 中光合色素分子之间激发能传递规律², 短波长的色素分子先接收太阳能, 然后传递给波长较长的色素分子, 最后由更长波长的色素分子把能量传递给 PS II 核心天线。色素分子之间能量传递的主要方式是在能级相邻分子之间进行, 能级非相邻色素分子之间的能量传递过程也存在, 但是在总能量中所占比例很小。由菠菜提纯的捕光复合物 II 含有主外周天线 LHC II_b, 辅助天线复合物 LHC II_a (CP29)、LHC II_c (CP26) 和 LHC II_a (CP24)。LHC II_b 包含了光系统 II 中大约 50% 的叶绿素分子, 以三聚体形式存在。CP29、CP26 和 CP24 以单体形式存在, 它们分别包含了大约 5% 的 PS II 色素分子。近年来研究绿色植物的 LHC II 超快光谱及能量传递特性趋向于采用很低强度光源³, 以便得到比较接近实际情况的结果, 直接观测 LHC II 的超快能量传递

* 国家重点基础研究发展规划 (G1998010100) 资助项目

收稿日期: 2001-07-09

过程¹ 研究方法是值得采用的手段。本文报道最新的捕光天线 LHC II 三聚体吸能、传能到反应中心的超快动力学光谱和激发能传递过程相结合的实验结果。

1 捕光复合物 LHC II 的光谱结构

高等植物高效吸收光能完全是由 LHC II 实现的,因此,我们主要分析 LHC II 的光谱结构和吸能、传能动力学。捕光天线复合物 LHC II 是一种超分子体系,每个单体中包含由 Lhcb1、Lhcb2、Lhcb3 编码的三个多肽 LHC II_{a1} (28kDa)、LHC II_{a2} (27kDa) 和 LHC II_{a3} (25kDa) 组成,其单体含有 3 个跨膜 α 螺旋,其中两个由带电氨基酸相互结合,维持 Chla 和 Chlb 分子之间紧密结合。还有 12 个叶绿素分子,由 7 个 Chla 和 5 个 Chlb 以及两个 β -Car 和 2 个叶黄素分子排成两层组成。分子是一个多核的量子力学体系,有它自身的特征能级结构,分子内部的运动有价电子的运动,分子内原子在平衡位置处的振动和分子绕其重心的转动,因此分子有价电子能级、振动能级、转动能级。分子的结构与核的几何构形有关,激发态的构形不同于基态,超分子体系有非常复杂的激发态能级,分子的电子能级是比较好分的,分子的振动能级填充在电子能级的间隔中,分子的转动能级象带状地填充在振动能级之间。光合作用光谱大约在 380nm~780nm 范围之内,相当于分子中原子外层的电子跃迁,电子跃迁产生波长大约几个 nm 的间隔,振动能级间隔大约零点几个 nm,振动能级间隔含有很多条转动能级谱线。一般光合作用吸收、发射谱峰值应该有振动能级间隔的精度,超精细结构谱应该有转动能级间隔的精度。能量较低的外层价电子跃迁通常产生可见光范围的分子吸收光谱,LHC II 色素分子在可见光区有强的宽电子吸收带,通常利用吸收光谱和发射光谱研究生物物质的结构及其功能,像利用吸收光谱来推断生物光吸收基因,结合基团的化学反应等现象来研究生物功能。采用偏振光激励生物样品也是获得生物物质结构和功能信息的有力工具,光的偏振方向和跃迁偶极矩方向之间夹角达到 90 时,分子中所含发射荧光发色团取向使跃迁偶极矩方向平行于光的偏振方向,最可能而且大限度地吸收偏振激发光,由于布朗运动对于分子发射偏振光有消偏作用,就可以获得带有发射光谱分子大小与不对称性的信息。采用发射各向异性 D 随着时间指数衰减 $D(t) = D_0 e^{-3t/\tau}$ 的规律,测得分子弛豫时间 τ 已经成为探测分子结构变化的常用工具。所以常用高时间分辨和空间分辨光谱仪研究 LHC II 吸收、发射光谱是非常有意义的。由于超分子体系分子谱带互相重叠非常严重,荧光动力学光谱峰值很不突出,很难确认,目前分子轨道理论可以定量计算较复杂的分子光谱和激发态能级结构。LHC II_a 含有三个多肽,其单体含有三个跨膜 α 螺旋,每 3~6 个氨基酸残基形成一个螺旋圈,螺距大约 0.54nm,侧链 R 基团位于螺旋外侧,氢键方向与螺旋轴基本平行,因为螺

旋中的肽键全部形成氢键,所以结构稳定。LHC II 吸收和传递光能时,尽管样品在高于 273K,有自由运动的分子迹象,分子间互相的作用力产生微小变化,但仍能够维持超分子体系特定的空间结构。从光谱的超精细结构来看,不能维持不变。LHC II 结构还受到外界条件温度、浓度、激励光强度等因素影响,在承担绿色植物高效收集光能角色时,集光色素分子只能吸收电子能级及伴随有振动和转动跃迁能级之和的量子化能量为 $h\nu = E_2 - E_1/C = \Delta E_{\text{电}}/c + \Delta E_{\text{振}}/c + \Delta E_{\text{转}}/c$ 的光子,形成非常密集的吸收带和吸收峰。所以 LHC II 吸收谱带和发射光谱带集中在 630nm~700nm 之间。

2 材料和方法

2.1 材料

采用中国科学院植物研究所光合作用研究中心提纯的捕光复合物 LHC II 和 PS II 颗粒复合物样品,实验时,样品浓度为 30~100 $\mu\text{g/mL}$,提纯方法参照 Satoh 和 Nanba (1987 年) 的方法。样品通常保存在液氮中,样品盒采用 3 π 荧光收集装置,能够有效地收集 3 π 立体角内发射的荧光。

2.2 荧光动力学实验

采用 ICCDps、fs 扫描成像光谱仪⁵ 和飞秒时间分辨泵浦探测光谱仪⁶ 进行光谱实时测量激发能传递光谱动力学研究,光源采用 Tsunami 钛宝石飞秒激光器,输出 100fs 宽光脉冲,调谐在 720nm~850nm,倍频输出 360nm~425nm,基波功率约为 300mW。另外还采用氩激光器 514nm 光锁模,得到 100ps 宽约 500mW 的光脉冲。采用信息处理 Boxcar 系统收集 RC31034A 光电倍增管输出的信号,进行处理,单色仪是 SPEX270M,用于光谱成像扫描。通常样品激励后,有两道探测系统,一路用于光谱成像扫描,另外一路用于单光子计数测量。在进行 LHC II 激发能传递光谱测量时,其浓度 30 $\mu\text{g/mL}$,处于 273K。采用功率 2mW~3mW 的波长 400nm~425nm 偏振光激励,另外还采用氩离子激光器锁模产生 100ps 宽的 514nm 波长的激励光。利用 ICCD 皮秒扫描成像光谱仪获得的 LHC II 荧光发射积分谱见图 1;采用飞秒时间分辨率泵浦探测光谱仪,

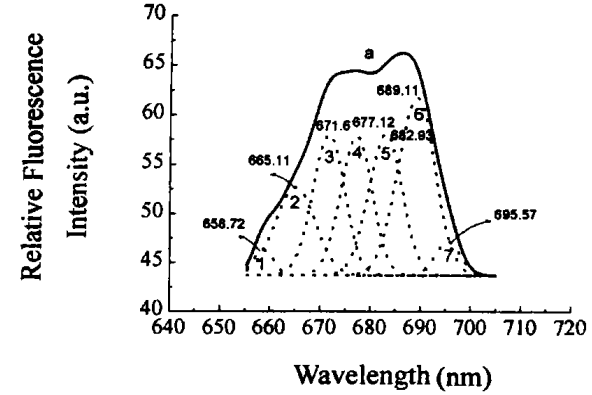


图 1 LHC II 荧光光谱 a 为积分光谱,1-7 为组分谱
Fig.1 The fluorescence spectrum of LHC II

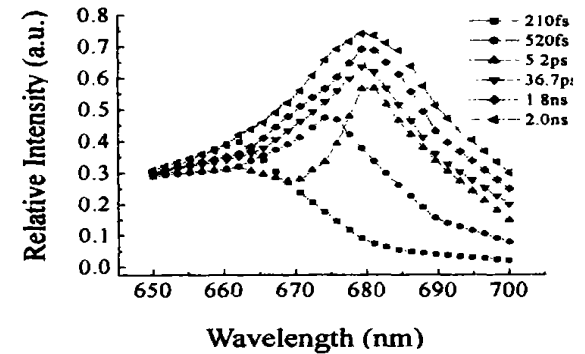


图2 LHC II 激发能传递荧光光谱动力学
Fig. 2 The fluorescence spectra dynamics of excitation energy transfer in LHC II

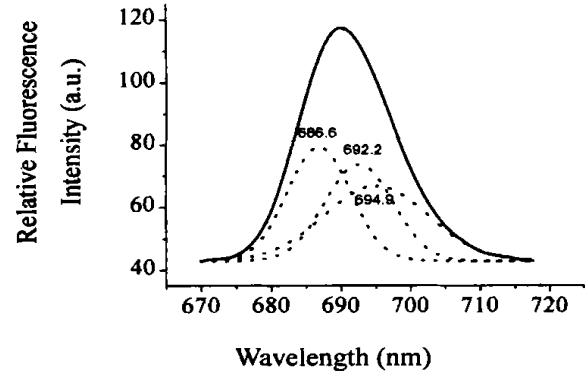


图3 PS II 颗粒复合物荧光积分光谱和组分光谱
Fig. 3 The fluorescence integral spectrum and component spectra of PS II particle complex

在 650nm~705nm 范围内逐点探测 LHC II 激发能传递荧光光谱特性,并进行荧光衰减数据处理,见图 2;PS II 颗粒复合物的荧光发射光谱见图 3。

3 PS 中 Chl 分子有效吸能、传能超快光谱动力学

高等植物光合作用 PS II 有效吸能全靠捕光复合体 LHC II 来实现,从图 1 的 LHC II 荧光光谱和解析出的组分光谱看到,实时测量得到的积分光谱在 650nm~705nm 范围,中心波长在 680nm,在 670nm 和 687nm 附近有两个不太尖锐的峰值。在该积分光谱的范围内,解析出 7 个高斯光谱组分,它们的参量见表 1。由于荧光光谱和吸收光谱有镜像对称性,Chla、Chlb 和 β -Car 色素分子都承担吸收光能的任务,在测得 650nm~705nm 范围的光谱段内,经过吸收光谱和发射光谱

表 1 LHC II 7 个组分光谱参量				
序号	峰值波长 (nm)	组分谱 FWHM (nm)	光谱强度	谱面积 积分
1	658.72	3.9660	2.6038	12.943
2	665.21	7.9064	8.9788	88.972
3	671.60	6.3022	14.385	113.62
4	677.12	6.2610	14.222	111.60
5	682.93	6.7047	14.433	121.28
6	689.11	7.4493	18.129	169.26
7	695.57	4.9986	3.4604	21.679

谱分析,Chl 分子出现 7 种光谱特征,它们是 $\text{Chlb}_{653/656}^{658.7}$ 、 $\text{Chla}_{662.0}^{665.2}$ 、 $\text{Chla/b}_{670/671}^{671.1}$ 、 $\text{Chla}_{675.0}^{677.1}$ 、 $\text{Chla}_{680/681}^{682.9}$ 、 $\text{Chla}_{685.0}^{689.1}$ 和 $\text{Chla}_{695.0}^{695.6}$ 。(Chla_a, a 代表吸收峰, e 代表发射峰)。当我们采用 400nm~425nm 波长、 10^{13} 光子 cm^2 /脉冲光强,100fs 持续期的光脉冲激励浓度为 30 $\mu\text{g/mL}$ 的 LHC II 三聚体样品时,在 560nm~740nm 之间进行逐点探测飞秒激光诱导出的荧光光谱和荧光衰减曲线,并且结合组分光谱强度拟合出组分寿命。从图 2 看到,逐点探测拟合处理产生的 2 组超快寿命组分为:210fs、520fs 和 5.2ps、36.7ps,以及 2 组长寿命组分为 1.8ns、2.0ns,这 6 个寿命组分反映了捕光天线 LHC II 三聚体中叶绿素分子的激发能传递过程。寿命 210fs 反映了 LHC II 三聚体中 $\text{Chlb}_{653/656}^{658.7}$ 分子向 $\text{Chla}_{662.0}^{665.2}$ 分子间能量传递过程;寿命 520fs 反映了相邻 $\text{Chlb}_{653/656}^{658.7}$ 分子向 $\text{Chla}_{675.0}^{677.1}$ 分子间能量传递过程;寿命 5.2ps 反映了 $\text{Chlb}_{653/656}^{658.7}$ 分子中间体 Chla 分子将能量传递到 $\text{Chla}_{680/681}^{682.9}$ 分子的过程;寿命 36.7ps 反映了 $\text{Chla}_{675.0}^{677.1}$ 分子吸收光能之后,由于偶极子间相互作用产生光谱红移,随后将能量传递到 $\text{Chla}_{680/681}^{682.9}$ 分子的过程;长寿命 1.8ns 反映了 LHC II 中无能量捕获中心,由 $\text{Chla}_{675.0}^{677.1}$ 分子通过中间体 Chla 分子把能量传递到 $\text{Chla}_{685.0}^{689.1}$ 分子,最后辐射荧光跃迁回基态的过程;寿命 2.0ns 反映了 $\text{Chla}_{680/681}^{682.9}$ 分子间在辐射能量波长变换中,由于 Chla 分子间相互作用,产生光谱红移,将能量传递到 $\text{Chla}_{695.0}^{695.6}$ 分子,最后通过辐射更长波长的荧光返回到基态的过程。看到只有单独的 LHC II 复合物天线,接收光能的吸收谱线和发射谱线多了,由于没有光捕获中心,消耗能量返回基态。

我们得到的三聚态 LHC II 能量传递组分寿命与 Holzwarth 测定分析提出的 Cha/b 传能过程基本一致⁷,差异是不同测试条件引起的,本结果有把激发能传递时间与 Cha/b 分子荧光光谱结构相互结合的特点。图 3 的 PS II 颗粒复合物积分光谱是利用 ICCD 飞秒扫描成像光谱仪实时测量得到的,其组分光谱是高斯解析谱。捕光天线 LHC II 复合物在 650nm~705nm 光谱范围内有 7 个光谱组分,由于天线色素分子吸收光能过程就是其激发过程,激发光谱的形状和吸收光谱的形状极为相似,通常吸收光谱有偶极子作用不同的红移会出现,那么就有 7 条吸收谱和 7 条红移发射光谱峰值,这样 LHC II 三聚体在 650nm~705nm 谱段,有极强的吸收太阳光能的能力,在实验中 PS II 颗粒复合物在 650nm 到 705nm 谱段,有 3 条发射光谱,能最大限度地吸收光能,而在 640nm~675nm 谱段,没有出现发射荧光峰,说明在这个谱段,捕光天线色素分子能够以最高的效率传递光能,仅有微弱的荧光辐射损耗。PS II 颗粒复合物 3 条发射光谱峰值为 686.6nm、692.2nm、694.9nm,这 3 条发射带正好对应 LHC II 三聚体的 682.9nm、689.1nm、695.6nm 三个发射

谱·由于 LHC II 本身没有能量捕获中心,Chl 分子基态和激发态都有振动能级,激发态的电子比相邻分子有较大的振动能级,在光能传递中付出部分能量,分别产生 Stokes 位移,最后以更高强度的荧光发射损失能量 PS II 颗粒复合物,有天然捕光天线 LHC II 和能量捕获中心,即反应中心,有 P680 最有效地能量捕获中心,看到在 680nm 附近,荧光损失很小,大于 680nm 的光谱范围,荧光损失很大·所以有 P680 能量捕获中心,加之在光照 400nm 到波长转换到 P680 附近时,经过有极强的吸收光能本领的 Chlb⁶⁵⁰和 Chla⁶⁷⁰两种叶绿素分子,每个 LHC II 三聚体最少有 12 条吸收光谱通道,从阳光中摄取能量,通过集光色素分子天然紧密空间结构,汇聚光能并且传递到反应中心,激发少数叶绿素分子,激发电子的光能就是由这些叶绿素分子流入 P680·我们已经报道²PS II 核心复合物有 4 种寿命组分,分别为 3.5ps、12ps、25ps 和 160ps·对核心天线 CP43 和 CP47 激发能传递动力学研究,得到长寿命 3.54ns 和 3.22ns 的能量传递组分⁸,说明只要有能量捕获中心的 PS II 复合物很难得到长寿命组分,仅有 PS II 颗粒复合物的 LHC II 天线接收到光能后,在约 200ps 之内就将激发能传递到反应中心进行稳定的光化学反应 Trinkunas 等人研究分析 LHC II 三聚体在 640nm~700nm 谱带有 12 条 Chl 分子吸收谱,我们测得 LHC II 三聚体在 650nm~705nm 谱带有 7 条 Chl 分子荧光发射谱,这就足够表明捕光天线有极强的吸收光能的本领·从图 2 和图 3 中的 PS II 颗粒复合物荧光发射谱看到,只要 PS II 有完整的天然构型,在 680nm 以前的光谱段,荧光辐射损耗极小,说明捕光天线高效吸收光能之后,能以极高的转换效率把能量在几十 ps 之内传递到核心天线,然后核心天线经过大约 100 多 ps 之后,分别把光能传递到反应中心²,这说明在 PS II 中激发能传递速度是非常快的·β-Car 分子向 Chla 分子传能效率高达 90%,Chlb 分子向 Chla 分子传能效率接近⁹100%,激发能传递到反应中心,几乎以 100% 的量子效率转化成为光化学反应的内能·这些数据都充分说明 PS II 的捕光天线 LHC II 天然结构有很强的吸收太阳能的本领,并且能以高效而迅速地将激发能传递到光合作用反应中心·

4 结果与讨论

通过对捕光天线 LHC II 和 PS II 颗粒复合物荧光光谱、激发能传递动力学探测,对于 LHC II 积分光谱解析得出 7 条高斯组分谱,并且与吸收谱和荧光发射谱比较,在 650nm~705nm 光谱段得到 LHC II 三聚体出现 Chlb^{658.7/656}、Chla^{665.2/662.0}、Chla^{671.1/670.671}、Chla^{677.1/675.0}、Chla^{682.9/681}、Chla^{689.1/685.0} 和 Chla^{695.6/695.0} 等 7 种光谱特性·通过逐点探测荧光衰减谱,结合组分光谱进行数据处理,得到在 LHC II 三聚体中激发能传递的 6 个寿命组分,其中有 2

组最快寿命组分 210fs、520fs 和 5.2ps、36.7ps,两个长寿命组分为 1.8ns 和 2.0ns·三个最快的寿命组分 210fs、520fs 和 5.2ps 反映了捕光天线色素 Chlb 分子接收到的光能通过不同状态的 Chla 分子分别传递到 Chla⁶⁶²、Chla⁶⁷⁵、Chla⁶⁸⁰ 的超快过程;寿命 36.7ps 反映了 Chla⁶⁷⁵ 分子吸收光能之后,由于偶极子的相互作用产生光谱红移,随后将能量传递到 Chla⁶⁸⁰ 分子的过程;长寿命 1.8ns 和 2.0ns 反映了 Chla 分子接收到光能,通过相邻的单体 Chla 分子依次进行波长变换,最后辐射荧光跃迁回到基态的能量传递过程·我们在 LHC II 三聚体中得到了从 650nm~705nm 范围内 7 条荧光发射谱和光能从 LHC II 到达反应中心传递时间约为 200ps 的尺度,因此看出光系统 II 天然结构有极强的吸收光能的本领和超快传递激发能的速度,光能传递到反应中心几乎有 100% 的量子效率转化成稳定的进行光化学反应的电场 Connelly 等人采用光强 $(1.6\sim9)\times10^{12}$ 光子/cm²/脉冲,在 650nm 波长激励下,进行飞秒分辨瞬态吸收测量 LHC II 三聚体光能传递时间,在 645nm 到 690nm 之间得到短寿命组分 175fs、625fs 和 5ps,长寿命组分≥790ps、3.6ns·从实验得知,荧光寿命在很大程度上依赖于激发光强度、样品浓度和实验温度 LHC II 的组分吸收谱和荧光发射谱重叠相当严重,而且吸收谱和发射谱数量相当多,从 440nm~700nm 谱带吸收峰远远多于 12 条,我们仅仅报道了自己在 650nm~705nm 谱段的实验和分析结果·对比图 1 和图 3 的发射组分光谱,仅有单独的捕光天线 LHC II 复合物实验和分析,得到 7 条荧光发射谱,另外一个实验和分析是仅有单独的 PS II 颗粒复合物实验和分析,得到 3 条荧光发射谱·在 650nm~715nm 谱段范围内所有 10 条组分光谱峰值波长偏差在±0.3nm 之内,所以实验给出的高斯解析谱精度是很高的,即理论与实际符合得很好·只有 LHC II 天然构型,吸收、发射谱有 7 条之多,说明捕光天线有极强的收集光能力;只有 PS II 颗粒天然构型,仅仅得到 3 条荧光发射谱,而且谱带分布在 675nm~710nm 范围内,说明有完整的 PS II 天然构型,不仅有极强的吸收光能的能力,还有高效的传递激发能的能力,在光能传递到达光化学活性叶绿素 P680 之前,辐射荧光损耗是极其微弱的·可以理论计算出集光色素分子吸收蓝光、红光,将能量传递到达光合作用反应中心 P680 的光能传递效率最佳值好于 82%,计算所采用的损耗能量包括波长变换无辐射损耗、荧光、磷光等机制引起的总损耗²,计算认可了 PS II 有理想的天然构型,有利于最有效的能量传递核几何构型、自旋位形、分子空间取向等·太阳发射的有利于高等植物光合作用的谱段在 380nm 到 760nm 范围,而集光色素分子叶绿素 a、叶绿素 b、β胡萝卜素的最大吸收谱正好在 400nm~680nm 处,自然界的这种安排保持了地球上万物生长、生命繁衍·

参考文献

1 Trinkunas G, Connelly J P, Müller M G, et al. Model for the excitation dynamics in the light-harvesting complex II from high plants. *J Phys Chem (B)*, 1997, 101(37) : 7313~7320

2 王水才, 贺俊芳, 张舒等. PS II 高效传能超快微观机理研究. *光子学报*, 2000, 30(1) : 120~133

3 Connelly J P, Müller M G, Huckle M, et al. Ultrafast spectroscopy of trimeric light-harvesting complex II from high plants. *Phys J Chem (B)*, 1997, 101(10) : 1902~1909

4 Du Mei, Xie Xiaoliang, Mets L, et al. Direct observation of ultrafast energy-transfer processes in light-harvesting complex II. *J Phys Chem*, 1994, 98(17) : 4736~4741

5 张舒, 贺俊芳, 贺锋涛等. 光系统 II 荧光特性快速扫描成像光谱技术研究. *光子学报*, 2001, 30(1) : 6~10

6 贺俊芳, 王水才, 杨鸿儒. 飞秒差异吸收微弱信号测量技术. *光子学报*, 1999, 28(10) : 888~891

7 Holzwarth A R. In mathis P (ed), *Photosynthesis: From light to Biosphere*. Kluwer Aead Pub Dordrecht, 1995, 1(1) : 35~40

8 贺俊芳, 王水才, 张舒等. 内周天线 CP43、CP47 中 β -Car 到 Chl a 分子间的能量传递. *光子学报*, 2001, 30(4) : 385~390

9 Horton P, Ruban A V, Walters R G. Regulation of light-harvesting in green plants. *Annu Rev Plat Physiol Plant Biol*, 1996, 47(2) : 644~684

ULTRAFAST SPECTRAL DYNAMICS OF CHLOROPHYLL MOLECULE ENERGY TRANSFER IN PHOTOSYSTEM II

Wang Shuicai¹, He Junfang^{1,2}, Cai Xia^{1,2}, Ren Zhaoyu^{1,2}, Li Liangbi³, Kuang Tingyun³
¹ State key Laboratory of Transient Optics and Technology Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 80, Xi'an, China 710068
² Northwest University, Xi'an, China 710069
³ Photosynthesis Research Center, Institute of Botany, Chinese Academy of sciences, Beijing, China 100093
Received date: 2001-07-09

Abstract Ultrafast spectral dynamics in the light-harvesting complex II and photosystem II particle complex have been studied using ICCD femtosecond image scanning set and femtosecond time resolved spectrometer, ⁷ spectral components of chlorophyll a/b molecule have been obtained from the trimeric light-harvesting complex II, they were Chlb^{658.7/656.6}, Chla^{665.2/662.0}, Chla/b^{671.1/670.671}, Chla^{677.1/675.0}, Chla^{682.9/680.681}, Chla^{689.1/685.0}和 Chla^{695.6/695.0} (Chla_a, a is the absorption spectrum peak, e is the emission spectrum peak). Exciting in the trimeric light-harvesting complex at 440nm with intensity of 10¹³ photos/cm²/pulse, fluorescence kinetics from 605nm to 705nm, yield 4 ultrafast component lifetimes of 210fs and 520fs, 5.2ps and 36.7ps, and 2 long component lifetimes of 1.8ns and 2ns. The three fastest lifetimes of 210fs, 520fs and 5.2ps directly reflect from trimeric Chlb to Chla energy transfer processes. The lifetime 36.7ps shows the energy transfer time from Chla to nearby monomer Chla. The longest 2 lifetimes reflect the energy transfer processes of Chla molecules from excited state to ground state through middle Chla molecules in the trimeric.

Keywords Photosystem II; Chlorophyll molecule; Energy transfer; Ultrafast spectral dynamics

Wang Shuicai was graduated from University of Science and Technology of China in 1963. His research interests are the fields of life optics and ultrafast processes of interaction between femtosecond laser and organism molecules.

