

黄化玉米幼苗类囊体膜稳态荧光光谱分析*

姬茜茹¹, 刘晓¹, 贺俊芳², 岳明¹

(1 西北大学 西部资源生物与现代生物技术省部共建教育部重点实验室, 西安 710069)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

摘要:为了阐明黄化植物光合作用的能量传递过程,对提取的黄化玉米幼苗类囊体膜运用稳态荧光光谱技术进行研究.用高斯解析对黑暗处理的黄化组(T)和对照组(CK)在 436nm、473nm 和 507nm 激发下的发射光谱进行分析.结果显示,黄化玉米幼苗类囊体膜中的光合能量传递路径发生了改变,进入 PS II 和 PS I 的能量进行了重新分配,同时荧光强度明显降低.

关键词:光生物学;黄化幼苗;类囊体膜;稳态荧光光谱

中图分类号:Q631

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2008)12-2486-7

0 引言

黄化现象在植物中广泛存在,多数植物在黑暗中生长时呈现黄色和其他变态特征的现象,并且叶片的光合作用及叶绿素蛋白复合体荧光特性产生变化^[1-2].黄化突变体由于突变基因直接或间接影响叶绿素的合成和降解,其体内叶绿素含量普遍表现下降,导致黄化突变体光合作用不能正常进行^[3-4].与野生大麦相比,黄化大麦类囊体膜色素蛋白复合物组分发生了变化,天线组分叶绿素 a/b 蛋白复合物(LHC II)减少,尤其是光系统 II(PS II)的主要捕光叶绿素 a/b 蛋白复合物减少^[5].色素含量的缺乏将降低叶片捕获光能的能力.捕光机构的成分和组织的变化也会引起光合作用效率的改变.油菜黄化突变体类囊体膜的 Chl a 和 Chl b 含量均减少,天线系统相对较小,捕光效率较低^[6].对黄化油菜突变体子叶类囊体膜光谱性质研究发现,光合色素叶绿素 a(Chl a)和叶绿素 b(Chl b)含量均减少,其叶绿素捕光能力和受激发能力均下降,且较依赖于 Chl a 捕光并将光能激发传递给 PS II 反应中心^[7].

原初反应是光合作用的起点^[8],光合作用包括原初反应中光子、激子、电子、离子与光合膜之间的相互作用,以及光能的吸收、传递和电荷分离等基本过程.在光合作用中,光能的吸收、传递和转化过程是在类囊体膜上进行的,而荧光辐射是光合系统所吸收能量的耗损方式之一,该过程与热损耗以及用于光合作用的能量之间相互竞争.本研究利用黄化玉米幼苗的类囊体膜进行稳态荧光光谱分析,对黄

化植物光合作用原初反应的第一步-光能的吸收与传递具体过程进行探讨,以期进一步阐明黄化植物光合作用机制及其光能传递途径.

1 材料和方法

1.1 材料培养

选择玉米单 26 号(*Zea mays* L.)作为研究材料.种子用 75%酒精消毒后,室温 20℃预萌发 24 h.将萌发一致的种子摆放在 15cm 直径的培养皿中,每盆定苗 15 株.分为黄化处理组(T)和对照组(CK)两个处理.黄化处理组在(25±1)℃暗室中培养,对照组在(25±1)℃的温室中培养,规律浇水.幼苗长出第 3 叶时,进行类囊体膜的制备,制备依据 ALFONSO 等^[9](1994)的方法略加改进.

1.2 吸收光谱

由 Lambda35 紫外-可见分光光度计(PerkinElmer, USA)在室温、避光情况下测量.样品浓度为 20 μg/mL.

1.3 稳态荧光发射和激发光谱

稳态荧光激发、发射光谱由飞秒分辨/FLS920 全能型激光瞬态/稳态荧光光谱仪获得.连续光源由 Xe 900(Edinburgh Instrument Ltd)提供.样品浓度为 20 μg/mL.测定方法依据刘晓等^[10](2004)的方法.采用高斯解析对发射光谱进行分析.

2 结果与分析

2.1 吸收光谱

室温吸收光谱显示,玉米叶类囊体膜具有 680 nm 红光区最大吸收峰和 436 nm 蓝光区最大吸收峰,它们来源于核心天线中吸收长波的 Chl a 分子,分别为 Chl a 的 Q_x 和 Q_y 区的吸收峰^[11];同时在蓝区有 469 nm 和 473 nm 肩峰,红区有 625 nm

*国家自然科学基金(30670366)和西北大学研究生创新基金(07YJC14)资助

Tel: 029-88306205 Email: jixiaonana@sohu.com

收稿日期: 2008-09-26

和 650 nm 两小峰, 其中 625 nm 为 Chl *a* 分子在 Soret 区及 Q 带的特征吸收^[12], 469 nm 为 β 胡萝卜素(β -car)分子的特征吸收峰, 584 nm 为核心天线中在 Chl *a* 分子 Q_x 吸收带由 0-0 跃迁引起的吸收峰^[10](图 1(a)). 425 nm 左右的肩峰是脱镁叶绿素(Pheo)或细胞色素 Cyt**b**559 的吸收峰. 477nm 附近的肩峰和 653 nm 处的小峰则为 Chl *b* 的吸收峰, 507 nm 来自于 β -car 分子^[9](图 1(b)).

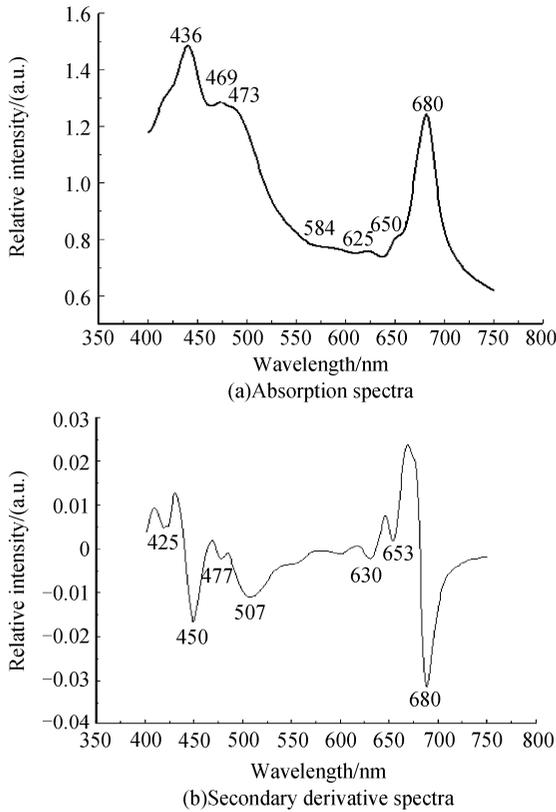


图 1 室温下玉米幼苗类囊体膜的吸收曲线
Fig. 1 Absorption spectra of maize thylakoid membranes at room temperature

2.2 激发光谱

由于能量激发捕获的动力学依赖于激发波长, 所以激发波长不同, 捕获能量的途径也就不同. 分别在 680 nm 和 730 nm 的发射波长下测得的荧光激

发谱(图 2)显示, 在相同的激发波长下, 680 nm 处荧光发射的强度大于 730 nm 处. 436 nm 峰来自 Chl *a* 的激发, 473 nm 峰是 Chl *b* 的激发, 它们可分别反映 Chl *a* 和 Chl *b* 受激发的能力. 在 680 nm 和 730 nm 的发射波长下, 黄化苗的激发峰强度都要比对照苗的弱.

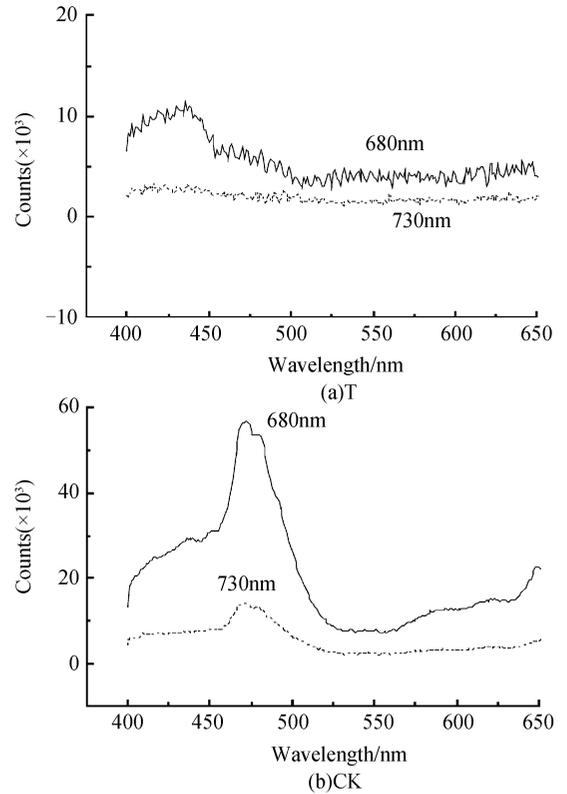


图 2 室温下黄化苗与对照苗类囊体膜的激发光谱
Fig. 2 Excitation spectra of T and CK at different emission wavelengths at room temperature

2.3 发射光谱

结合类囊体膜的吸收和激发光谱, 分别选择 436、473 和 507 nm 作为激发波长, 测定其荧光发射谱(图 3). 在 3 种不同波长的激发下, 对照组的最大荧光发射峰都在 682 nm 处, 并且在远红区约 730 nm 处有一峰. 在对照组中, 682 nm 荧光发射来源于反应中心中的 Chl *a* 和一个 Pheo, 以及原初电

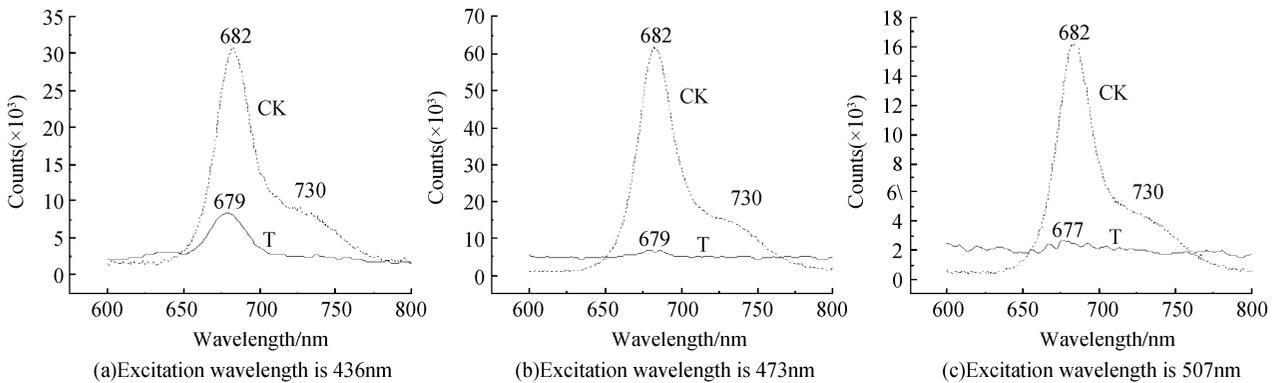


图 3 室温下黄化苗(T)与对照苗(CK)在不同激发波长下的发射光谱
Fig. 3 Fluorescence emission spectra of T and CK excited with different wavelengths at room temperature

子供体 P680 中的 Chl *a* 分子^[13]. 730 nm 的发射峰为叶绿素分子从较低激发态的最低振动支能级变为基态的第一激发振动支能级时所发射的荧光, 也系光系统 I (PS I) 的成分^[14]. 而处理组的最大荧光发射峰在 677 及 679 nm 左右, 荧光发射峰的位置发生了蓝移.

在 436 nm 激发波长下(图 3(a)), 对照组和黄花组分别有 682nm 和 679nm 最大荧光发射峰. 对照组的荧光强度大于黄花组, 在最高峰处, 相对于黄花组来说, 对照组的相对荧光产量增加了 62.5%. 在 473 nm 激发波长下(图 3(b)), 其荧光发射谱类似于图 3. A. 在小于 650 nm 和大于 760 nm 的波长范围内, 黄花组的发射强度要略高于对照组. 当 PS II 受到类胡萝卜素(Car)分子的吸收波长的激发后, 同 436 nm, 473 nm 激发的图谱相同, 对照组在 682 nm 处有荧光发射峰. 黄花组在 677 nm 处有一不太明显的荧光发射峰, 并且在 760 nm 处有一荧光发射峰. 相对于图 3(a)和图 3(b), 黄花组整体的荧光强度明显降低(图 3(c)).

2.4 高斯解析

为了更好地阐明黄花苗的荧光光谱与对照苗的异同, 分别对其稳态荧光光谱进行高斯解析, 结果如图 4~图 6 和表 1. 表 1 中 CK436, $R=0.99838$; T436, $R=0.99763$; CK473, $R=0.99933$; T473, $R=0.96976$; CK507, $R=0.99867$; T507, $R=0.99233$.

在 436 nm 激发下, 黄花苗类囊体膜中由 Chl *a* 分子传递的能量途径发生了变化. 黄花苗中, 在小于 600 nm 范围内发生了红移, 发射峰由 598 nm 取代了 587 nm. 吸收短波的色素蛋白复合体参与能量吸收, 在反应中心 Chl 1 的发射峰由 678 nm 取代了 682 nm. PS I 中的色素蛋白也受到了影响, 发射峰由 719 nm 取代了 711 nm(图 4(a)). 黄花苗各组分所释放的能量明显降低, 在 680 nm 左右, 仅为对照苗的 30%.

由 Chl *b* 传递的能量路径也发生了改变(图 5). 相对于对照组来说, 传递到达 PS I 的能量减少. 在小于 700 nm 的范围内, 荧光发射峰发生蓝移. 同样, 黄花苗中各个组分所释放的能量都远低于对照苗.

如果由 Car 首先传递能量, 通过对发射光谱进行高斯解析, 发现在其中有 6 种色素蛋白. 在 PS I 中, 能量传递路径有明显的改变, 荧光发射峰发生了红移, 由 722 nm 取代了 710 nm. 然而, 在 PS II 反应中心 Chl *a* 中, 荧光发射峰由 683 nm 转移到 676 nm, 发生了明显的蓝移. 同时, 在黄花苗中, 有

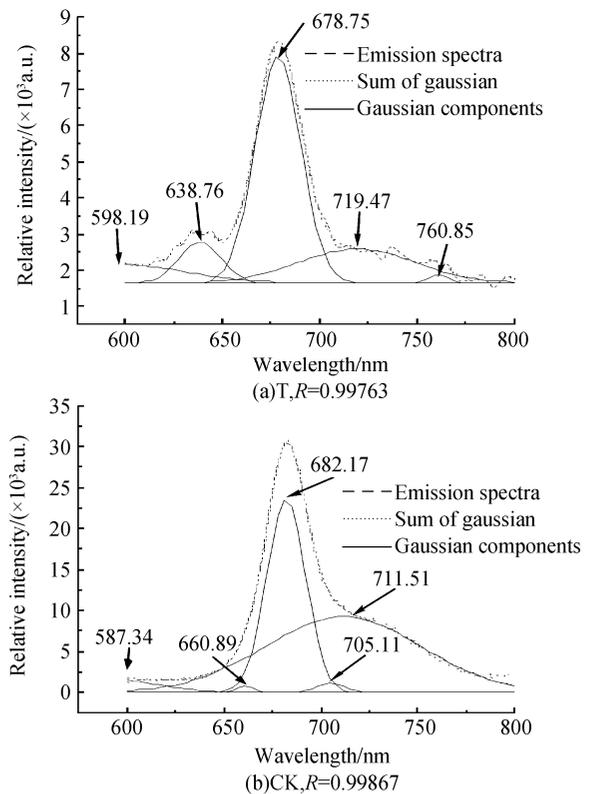


图 4 室温下 436nm 激发波长下黄花苗与对照苗类囊体膜发射光谱的高斯拟合

Fig. 4 Fluorescence emission spectra and results of Gaussian fitness of T and CK thylakoid membranes excited with wavelength of 436nm at room temperature

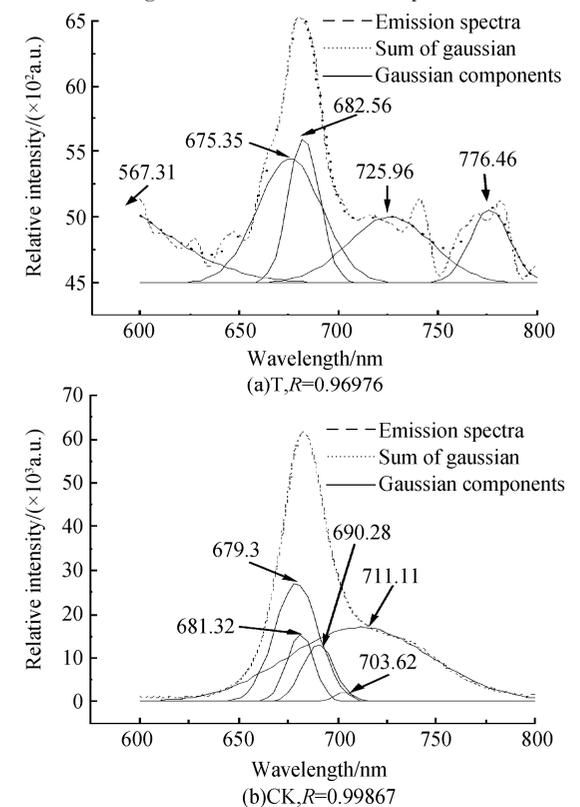


图 5 室温下 473nm 激发波长下黄花苗(A)与对照苗(B)类囊体膜发射光谱的高斯拟合

Fig. 5 Fluorescence emission spectra and results of Gaussian fitness of T and CK thylakoid membranes excited with wavelength of 473nm at room temperature

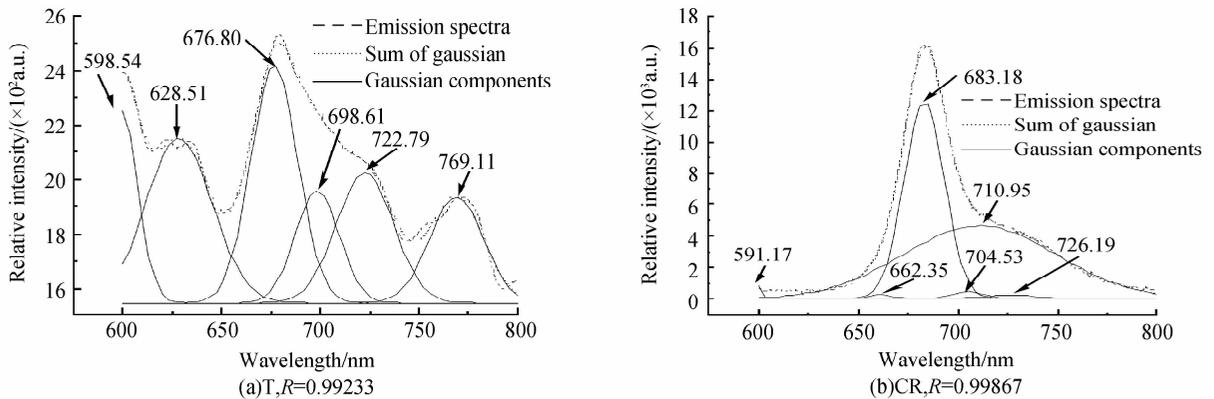


图6 室温下507nm激发波长下黄化苗(A)与对照苗(B)类囊体膜发射光谱的高斯拟合

Fig. 6 Fluorescence emission spectra and results of Gaussian fitness of T and CK thylakoid membranes excited with wavelength of 507nm at room temperature

表1 在室温下,473nm和507nm激发下黄化苗(T)与对照苗(CK)类囊体膜发射光谱的高斯解析结果

Peak	CK436	T436	CK473	T473	CK507	T507	
Center	1	587.34	598.19	679.3	567.31	591.17	598.54
	2	682.17	638.76	681.32	675.35	662.35	628.51
	3	711.51	678.75	690.28	682.56	683.18	676.80
	4	705.11	719.47	703.62	725.96	704.53	722.79
	5	660.89	760.85	711.11	776.46	726.19	769.11
	6					710.95	698.61
Area	1	1.1050E5	43372	7.4878E5	72930	51743	15794
	2	5.9154E5	31176	2.6597E5	39003	3373.8	25406
	3	9.2814E5	1.8379E5	2.6074E5	22112	3.1679E5	26116
	4	20564	71496	26144	26964	9053.9	17453
	5	7913.7	2823.2	1.5337E6	14239	6856.5	13321
	6					4.4895E5	11438
Width	1	51.255	67.124	21.967	80.757	9.3894	17.563
	2	20.07	21.773	13.789	32.544	9.9201	33.640
	3	80.36	23.447	15.911	15.913	20.086	23.875
	4	15.082	59.893	10.421	42.309	15.674	29.230
	5	9.3296	8.5825	71.967	20.151	27.439	27.403
	6					76.876	22.268
Height	1	1720.2	515.55	27197	720.55	4397	717.52
	2	23517	1142.5	15390	956.25	271.36	602.59
	3	9215.4	6254.3	13075	1108.7	12584	872.80
	4	1087.9	952.46	2001.7	508.49	460.89	476.42
	5	676.8	262.47	17004	563.82	199.38	387.85
	6					4659.6	409.82

些组分的荧光光谱宽度和高度都明显减小,例如,598 nm和676 nm.

3 讨论

在高等植物、藻类和光合细菌中,光合作用所吸收的能量主要以三种途径耗散:光合作用、热耗散和荧光发射,且伴随激发能传递就有荧光发射^[8].所耗散的荧光只是所吸收光能的0.3~3%^[15].植物的原初光化学反应由位于类囊体膜上的各功能蛋白协同作用下完成的.很多研究显示在逆境下植物类囊体膜产生了变化.譬如,在低温强光下水稻类囊体膜脂不饱和和脂肪酸含量降低、饱和脂肪酸含量增加,因而

膜脂不饱和指数(IUFA)下降^[16],盐胁迫导致大麦叶片类囊体膜上两种形态多胺含量下降和膜蛋白合成受到抑制^[17].光是植物光合作用的基本能源,光不足无疑会限制光合作用的速度^[18].

本研究中,对黑暗条件下生长的黄化玉米幼苗的类囊体膜进行稳态荧光光谱测定.激发光谱的结果表明,在黑暗中生长的黄化玉米幼苗,在相同的发射波长下,黄化苗激发峰的强度都要比对照苗的弱(图2),这说明黄化苗叶绿素捕获的光能不能被有效激发并传递给PS II反应中心^[7].相对于473 nm处的激发峰,黄化苗中436 nm处的激发峰较强,这说明黄化苗类囊体膜上光能的传递更多依靠于Chl

α 受激发并将光能传递给 PS II 反应中心.

叶绿素荧光光谱特性可反映周围环境影响下类囊体膜的能量转化状态. 对玉米黄化幼苗类囊体膜进行发射光谱的研究. 相同波长光激发检测到的发射谱中, 黄化苗类囊体膜在 680nm 附近最大荧光发射峰强度都要比对照苗的弱, 这说明黄化苗类囊体膜 PS II 天线系统中的叶绿素捕光效率下降, 使得光能不能被有效传递给 PS II 反应中心, 因此反应中心的荧光发射强度相对较低. 有研究表明, 在黄化油菜子叶类囊体膜中含有较少的蛋白组分^[7]. D1/D2 蛋白是构成 PS II 反应中心的核心, 因此这两种蛋白稳态水平的下降, 将可能影响到 PS II 反应中心的功能^[19], 引起 PS II 反应中心的光化学功能减弱.

此外, 本研究发现, 受到不同波长的光激发, 光系统对所吸收能量的分配也发生了改变. 特别是受到 Chl *b* 分子特征波长激发后, 传递到 PS I 的能量减少(图 3). 有研究表明, 黄化突变大麦的 PS II 电子传递活性和全链电子传递活性高, 而 PS I 电子传递活性较低, 且 PS II 的光化学活性较 PS I 高, 这可能是由于 PS II 向 PS I 传递的激发能较少, PS II 光化学效率较高可能是对叶绿素缺乏的一种补偿机制^[18].

本研究发现, 黄化玉米幼苗的传能路径发生了改变. 在 436 nm 激发下, 黄化苗中, 在小于 600 nm 范围内发生了红移, 而且能量由吸收短波的色素蛋白复合体吸收, 例如, Chl 的发射峰由 679 nm 取代了 682 nm. 由 Chl *b* 传递的能量路径也发生了改变, 荧光发射峰发生红移, 由 682 nm 取代了 679 nm. 这可能是由于在黑暗条件下, 色素蛋白键减弱导致了蛋白的降解, 不仅改变了由 Chl *a* 和 Chl *b* 参与的传能过程, 还减少了进入 PS I 的能量. 在由 Car 传递能量的过程中, 发现 PS I 传能途径有明显改变, 在传能过程中色素蛋白变为吸收短波长的光. 而在 PS II 中, 在传能过程中色素蛋白变为吸收较长波长的光, 来减少对光系统的损害.

4 结论

很多研究的结果显示, 在黑暗或弱光下, 植物叶片发生黄化现象. 近年来, 黄化植物的利用价值越来越受到关注, 现已成为研究植物光合作用机制、叶绿素生物合成途径、叶绿体的发育和遗传控制机理, 以及分析鉴定基因功能, 了解基因间互作的特殊材料. 叶绿素缺乏的植物为研究决定叶片光合作用的各种因素提供了潜在的有用系统. 在小麦^[3]和水稻^[20]的黄化突变体中, 其光合色素的含量均显著下降, 发生光抑制, 光化学效率显著降低, 导致黄化突变体光合

作用不能正常进行. 本研究结果表明, 在黑暗条件下生长的玉米黄化苗类囊体膜的光能吸收能力和荧光发射强度减弱, 同时, 黄化苗类囊体膜的光能传递途径以及进入 PS I 和 PS II 的能量也发生了改变. 导致这些现象的原因主要是色素蛋白复合体的含量和结构发生了变化.

参考文献

- [1] CAO Li, WANG Hui, SUN Dao-jie, *et al.* Chloroplast ultra-structure of a xantha wheat mutant [J]. *Acta Bot Boreal*, , 2006, **26**(11):2227-2230.
曹莉, 王辉, 孙道杰, 等. 小麦黄化突变体叶绿体超微结构研究 [J]. 西北植物学报, 2006, **26**(11):2227-2230.
- [2] SUN Lei, ZHANG Chen-jun, CHEN Guo-xiang, *et al.* Changes of thylakoid membrane characters in wheat flag leaf under light stress [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2006, **45**(4): 420-423.
孙磊, 张成军, 陈国祥, 等. 光逆境下小麦旗叶类囊体膜特性的变化 [J]. 湖北农业科学, 2006, **45**(4): 420-423.
- [3] CAO Li, WANG Hui, SUN Dao-jie, *et al.* Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characters of xantha wheat mutants [J]. *Acta Bot Boreal*, 2006, **26**(10):2083-2087.
曹莉, 王辉, 孙道杰, 等. 小麦黄化突变体光合作用及叶绿素荧光特性研究 [J]. 西北植物学报, 2006, **26**(10):2083-2087.
- [4] WANG Cong-tian, WANG Guo-huai, QING Xian-guo, *et al.* Photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of xantha type rice mutant [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2007, **19**(9):10-13.
王聪田, 王国槐, 青先国, 等. 一个新的水稻黄化突变体的光合作用及叶绿素荧光特性研究 [J]. 江西农业学报, 2007, **19**(9): 10-13.
- [5] LIN Hong-Hui, DU Lin-Fang, JIA Yong-Jiong, *et al.* Isolation and comparison of thylakoid membranes pigment-proteins from wild type and mutant Barly [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, , 1997, **17**(1):34-38.
林宏辉, 杜林方, 贾永炯, 等. 野生和黄化大麦类囊体膜色素蛋白的分离和比较 [J]. 西北植物学报, 1997, **17**(1):34-38.
- [6] YANG Sheng-hong, DU Lin-fang, ZHAO Yun, *et al.* Study on the thylakoid membranes from a chlorophyll-deficient oilseed rape mutant at the bolting stage [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2001, **23**(1):97-104.
杨胜宏, 杜林方, 赵云, 等. 抽薹期叶绿素缺乏油菜突变体类囊体膜的研究 [J]. 云南植物研究, 2001, **23**(1):97-104.
- [7] WEI Hui-min, CHEN Yun-wei, ZHANG Nian-hui, *et al.* Study on the spectra properties of cotyledon thylakoid membranes in chlorophyll-reduced rapeseed mutant Cr3529 and its wild type [J]. *Acta Bot. Boreal*, , 2005, **25**(2):250-255.
魏慧敏, 陈云伟, 张年辉, 等. 黄化油菜突变体 Cr3529 子叶类囊体膜光谱性质研究 [J]. 西北植物学报, 2005, **25**(2):250-255.
- [8] LIU Xiao, HE Jun-fang, PENG Ju-fang, *et al.* Analysis of energy transfer among chlorophylls in LHC II trimmer by transient difference absorption spectroscopy [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12):2177-2181.
刘晓, 贺俊芳, 彭菊芳, 等. LHC II 三聚体中叶绿素分子间能量

- 传递的瞬态差异吸收光谱分析[J]. 光子学报, 2007, **36**(12): 2177-2181.
- [9] ALFONSO M, MONTOYA G, GASES R, *et al.* Core antenna complexes, CP43 and CP47, of high plant photosystem II spectral properties, pigment stoichiometry, and amino acid composition [J]. *Biochemistry*, 1994, **33**(34): 10494-10500.
- [10] LIU Xiao, WANG Shui-cai, HE Jun-fang, *et al.* Study on energy transfer in core complex of PSII by femtosecond fluorescence spectra technique [J]. *Acta Biophysica Sinica*, 2004, **20**(4): 290-296.
刘晓, 王水才, 贺俊芳, 等. PSII 核心复合物能量传递的飞秒时间分辨荧光光谱学研究[J]. 生物物理学报, 2004, **20**(4): 290-296.
- [11] CAI Xia, HE Jun-fang, WANG Shui-cai, *et al.* Fluorescence dynamics on thermal stability of inner antenna CP47 in PS II [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(3): 257-260.
蔡霞, 贺俊芳, 王水才, 等. 光系统 II 核心天线 CP47 热稳定性的荧光动力学[J]. 光子学报, 2003, **32**(3): 257-260.
- [12] ZHANG Su-juan, WANG Shui-cai, HE Jun-fang, *et al.* Study on energy transfer in LHC II of bryopsis corticulans by femtosecond spectra [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2): 166-170.
张苏娟, 王水才, 贺俊芳, 等. 假根羽藻外周天线内能量传递的飞秒光谱研究[J]. 光子学报, 2006, **35**(2): 166-170.
- [13] HOU J M, DOMINIQUE D, SHAN J X, *et al.* Orientation of pigments in the isolated photosystem II sub-core reaction CP47/D1/D2/Cytb559 complexes: a linear dichroism study [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **42**(12): 1211-1214.
- [14] WANG Mei, ZHONG Ze-Pu, WANG Ke-Bin, *et al.* Isolation of chlorophyll protein complexes from the thylakoid membrane in nostoc flagelliforme and their spectroscopic characterization [J]. *Bulletin of Botany*, 2000, **42**(7): 684-688.
王梅, 钟泽璞, 王可玢, 等. 发菜类囊体膜色素蛋白复合物分离及其光谱性质的研究[J]. 植物学报, 2000, **42**(7): 684-688.
- [15] BISSATI K E, DELPHIN E, MURATA N, *et al.* Photosystem II fluorescence quenching in the cyanobacterium *synechocystis* PCC 6803: Involvement of two different mechanisms [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, **1457**(3): 229-242.
- [16] JI Ben-hua, ZHU Su-qin, XIE Huan-song, *et al.* Changes in unsaturation of thylakoid membrane lipids and xanthophyll cycle components in rice (*Oryza sativa*) under chilling and strong light [J]. *Chinese J Rice Sci*, 2004, **18**(2): 140-146.
季本华, 朱素琴, 谢焕松, 等. 低温强光下水稻类囊体膜脂不饱和度和叶黄素循环组分的变化[J]. 中国水稻科学, 2004, **18**(2): 140-146.
- [17] ZHAO Fu-Geng, SUN Cheng, ZHANG Wen-Hua, *et al.* Effects of salt stress on the levels of covalently and noncovalently conjugated polyamines in leaf thylakoid membrane isolated from barley seedlings [J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, **27**(1): 137-140.
赵福庚, 孙诚, 章文华, 等. 盐胁迫对大麦叶片类囊体膜上两种形态多胺含量和膜蛋白合成的影响[J]. 植物生态学报, 2003, **27**(1): 137-140.
- [18] TAN Xin-Xing, XU Da-Quan, TANG Ze-Sheng. Leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence in a chlorophyll-deficient mutant of barley [J]. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1996, **22**(1): 51-57.
谭新星, 许大全, 汤泽生. 叶绿素缺乏的大麦突变体的光合作用和叶绿素荧光[J]. 植物生理学报, 1996, **22**(1): 51-57.
- [19] HE Jun-xian, ZENG Yan, YI Jing, *et al.* Effects of low temperature on photochemical function and levels of thylakoid proteins of chloroplasts in rice seedlings [J]. *Chinese J Rice Sci*, 1999, **13**(2): 99-103.
何军贤, 曾燕, 易静, 等. 低温对水稻幼苗叶绿体光化学功能及类囊体膜蛋白水平的影响[J]. 中国水稻科学, 1999, **13**(2): 99-103.
- [20] FENG Han-Qing, MA Jun, LI Hong-Yu, *et al.* Expression and function of AOX1 gene family during the greening of etiolated rice seedlings [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2006, **32**(3): 300-306.
冯汉青, 马军, 李红玉, 等. 黄化水稻幼苗转绿 AOX1 基因家族的表达与功能分析[J]. 植物生理与分子生物学, 2006, **32**(3): 300-306.

Steady-state Fluorescence Spectrum Analysis of Thylakoid Membranes of Etiolated Maize Seedlings

JI Qian-ru¹, LIU Xiao¹, HE Jun-fang², YUE Ming¹

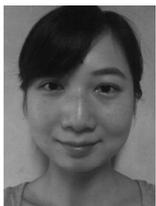
(1 *Key Laboratory of Resource Biology and Biotechnology in Western China, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069, China*)

(2 *State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

Received date: 2008-09-26

Abstract: To clarify the energy transformation of photosynthesis in etiolated plants, thylakoid membranes from maize was studied at room temperature using steady-state fluorescence spectrum. Deconvolution analysis was employed to investigate the fluorescence emission spectra of T which under dark condition and CK which excited by 436nm, 473nm and 507nm. Results show that energy transfer pathways in thylakoid membranes of etiolated corn seedlings were altered, the energy assignment between PSII and PSI were changed, and intensity of fluorescence was also decreased.

Key words: Light biology; Etiolated seedlings; Thylakoid membranes; Steady-state fluorescence spectrum



JI Qian-ru was born in 1984. She graduated from Biology Department of Northwest University in 2006. At present, she is a graduate student majoring in plant ecology at School of Life Science, Northwest University. Her research interests focus on ultrafast photobiological research.