

Mg²⁺ 对生长在不同光强下的小麦 叶绿体光合功能的影响

张其德

(中国科学院植物研究所, 北京)

摘要 研究表明, Mg²⁺对生长在不同光强度下的小麦叶绿体光合功能有不同影响。与生长在低光强(2×10⁸勒克斯)下的小麦叶绿体相比, Mg²⁺更加明显地降低从生长在高光强(2×10⁴勒克斯)下的小麦所分离的叶绿体的吸收光谱在红区和蓝区的吸收峰值;但它更大幅度地提高后者在低温(77K)下的PSⅡ相对荧光产量(F₆₈₇)与PSⅠ相对荧光产量(F₇₄₃)的比值, PSⅡ活性和PSⅡ原初光能转化效率。实验结果证明, 更高的光强度可能有利于叶绿体形成更多可流动的LHC-Ⅱ和LHC-Ⅰ。

关键词 吸收光谱; 荧光发射光谱; 光系统Ⅱ; 光系统Ⅰ; 激发能分配; 原初光能转化效率

光合作用是绿色植物和光合细菌所特有的生命现象,然而离开了光,植物的光合作用就无法进行。此外,植物的形态建成也受光的强烈影响,因为光不仅是植物光合作用的推动力,而且是植物形态发生的触发者和调节者^[9,20]。关于植物生长环境的光强度和光质对光合器的结构、组分和功能具有明显影响作用已有不少报道^[4,5,9,12,17,18],但是,关于研究外加因子对生长在不同光强下的植物光合作用特性的影响的报道尚不多见。因此,我们在研究生长期间光强度对小麦幼苗一些光合特性^[5]和光谱特性(另文发表)影响的基础上,进一步研究Mg²⁺对生长在不同光强度下的小麦叶绿体的吸收光谱变平效应、两个光系统之间的激发能分配、PSⅡ活性和PSⅡ原初光能转化效率的影响。

材料与方 法

按前文^[5]的方法培养小麦幼苗和制备叶绿体。用UV-190型分光光度计按Arnon^[10]的方法测定叶绿素含量。

按照我们以前的方法^[2]分别用UV-3000型分光光度计测定吸收光谱和用MPF-4型荧光分光光度计测定低温荧光发射光谱,测定吸收光谱时的Chl含量为10μg/ml,测定荧光发射光谱时,Chl含量为2.5μg/ml。用双调制动力学分光光度计测定叶绿体的荧光诱导动力学参数^[3]。

结 果 与 讨 论

一、Mg²⁺对生长在不同光强度下的小麦叶绿体吸收光谱的影响

冯丽洁同志参加部分技术工作,特此致谢。

缩写符号: Chl, 叶绿素; PSⅡ, 光系统Ⅱ; PSⅠ, 光系统Ⅰ; LHC-Ⅱ, PSⅡ的捕光色素蛋白复合物; LHC-Ⅰ, PSⅠ的捕光色素蛋白复合物; Fo, 固定荧光; Fv, 可变荧光; Fm, 最大荧光。

许多研究者^[19, 139, 159, 10]已观察到在阳离子(如 Mg^{2+} 和 K^+ 等)作用下,叶绿体吸收光谱发生变平现象,即在叶绿体吸收光谱的红区和蓝区吸收峰处的光吸收受到明显抑制。那么, Mg^{2+} 又是如何影响在不同光强度下生长的小麦叶绿体的吸收光谱呢?从图1和2可以看到, Mg^{2+} 同样能导致在高光强和低光强下生长的小麦叶绿体的吸收光谱出现变平效应,所不同的是, Mg^{2+} 更加强烈地抑制在高光强下生长的小麦叶绿体在红区和蓝区的光吸收,它使这种小麦叶绿体在红区和蓝区的吸收峰值分别下降9.6%和9.1%,而它使生长在低光强下的小麦叶绿体这两个相应吸收峰值仅分别下降4.6%和4.0%。

Mg^{2+} 对生长在不同光强度下的小麦叶绿体吸收光谱变平效应的不同影响,显然是与这两种不同来源的叶绿体的光合膜发育程度、膜结构和组分上存在差异^[6]密切相关。我们^[1]在研究阳离子对小麦的两种不同类型(发育完善和发育不完善)的叶绿体吸收光谱的影响时,曾观察到 Mg^{2+} 对它们吸收光谱的变平效应的影响有明显差异,在不同浓度的 Mg^{2+} 存在下,发育不完善叶绿体的吸收光谱在蓝区的光吸收仅受到轻微抑制,其抑制程度明显低于发育完善的叶绿体;而在红区的光吸收几乎不受影响。 Mg^{2+} 对生长在低光强下的小麦叶绿体吸收光谱的影响,恰好介于发育完善和发育不完善的叶绿体之间,这进一步证实我们如下的看法,即阳离子对叶绿体吸收光谱变平效应的不同影响,主要是由于它们的膜结构和成份上的差异^[6],导致阳离子诱导光合膜垛叠程度出现差异^[19, 7]。

二、 Mg^{2+} 对生长在不同光强下的小麦叶绿体两个光系统之间光能分配的影响

已有许多研究结果表明, Mg^{2+} 能够调节叶绿体两个光系统(PS II和PS I)之间的光能分配,在低温(77K)条件下,它提高PS II的相对荧光产量,而降低PS I的相对荧光产量^[29, 79, 8],使光能分配更有利于PS II。我们在研究 Mg^{2+} 对生长在不同光强上的小麦叶绿体低温荧光发射光谱的影响时,同样观察到 Mg^{2+} 可以提高叶绿体的PS II相对荧光产量(用 F_{687} 表示),而降低它们的PS I相对荧光产量(用 F_{742} 表示)(图3和4),结果使它们的 F_{687}/F_{742} 的比值提高。然而经10m mol/l $MgCl_2$ 预处理后, Mg^{2+} 对两种不同来源的叶绿

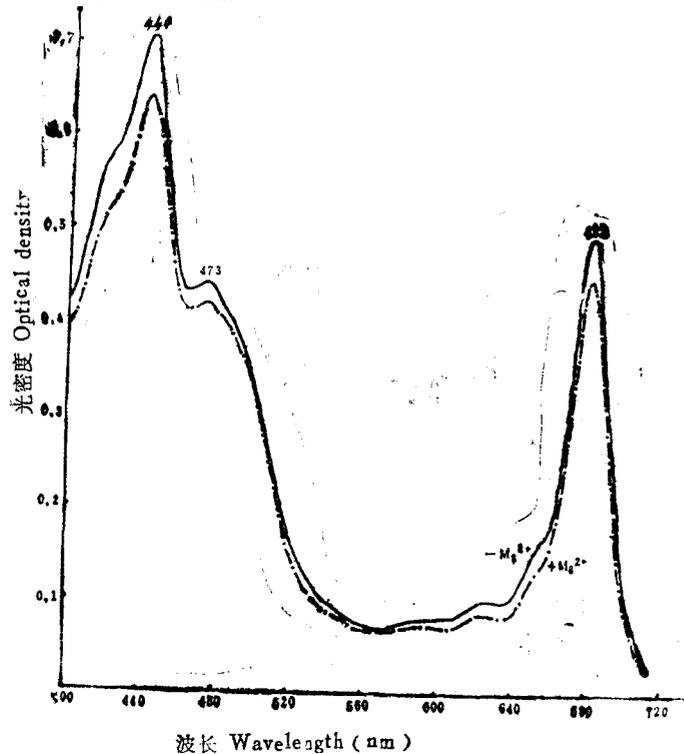


图1 Mg^{2+} 对生长在高光强下小麦叶绿体的室温吸收光谱的影响
+ Mg^{2+} 和- Mg^{2+} 分别表示叶绿体悬浮液加与不加10m mol/l $MgCl_2$

Fig. 1. Effect of Mg^{2+} on the absorption spectrum of chloroplasts of wheat grown under high light intensity at room temperature.
+ Mg^{2+} and - Mg^{2+} indicated chloroplast suspensions with or without 10m mol/l $MgCl_2$ respectively

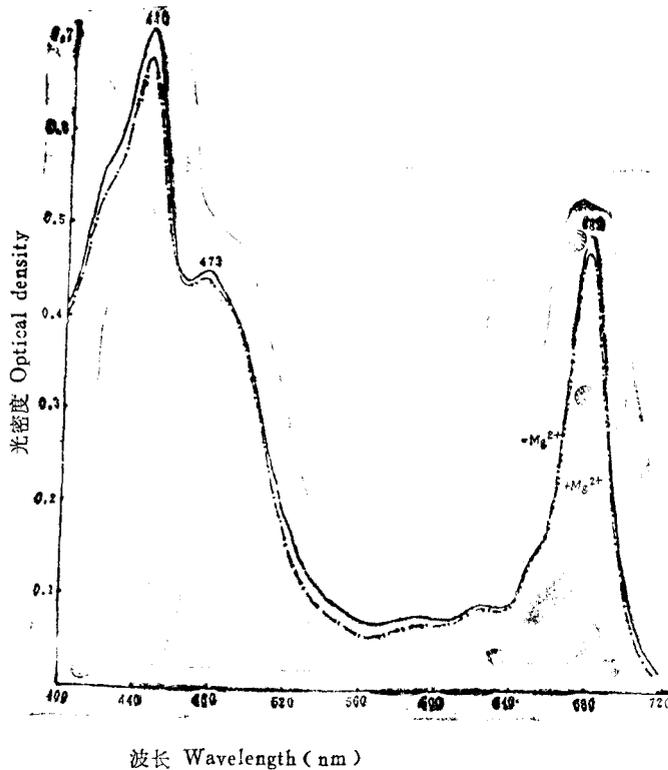


图2 Mg^{2+} 对生长在低光强下小麦叶绿体的室温吸收光谱的影响

+ Mg^{2+} 和- Mg^{2+} 分别表示叶绿体悬浮液加与不加10m mol /1 $MgCl_2$

Fig. 2. Effect of Mg^{2+} on the absorption spectrum of chloroplasts of wheat grown under low light intensity at room temperature. + Mg^{2+} and - Mg^{2+} indicated chloroplast suspensions with or without 10m mol/1 $MgCl_2$ respectively

两个光系统之间的激发能分配迅速达到平衡,而这种平衡又是植物维持高的光合效率所需要的内部状态,这与在高光强下生长的植物具有更高的光合速率^[11]的结果完全吻合。

已有的研究表明,在叶绿体中存在可流动的LHC-Ⅱ^[14]。我们^[10]也观察到 Mg^{2+} 可以促进部分的LHC-Ⅱ和LHC-Ⅰ从富含PSⅠ的基粒片层向富含PSⅡ的基粒片层移动,从而增加PSⅡ的截光面积,而叶绿体类囊体膜蛋白磷酸化则可促使部分的LHC-Ⅱ朝上述相反的方向移动,结果增加PSⅠ的截光面积,使激发能在两个光系统之间的分配发生改变。因此,根据 Mg^{2+} 和膜蛋白磷酸化对生长在高光强下的小麦叶绿体两个光系统之间激发能分配具有更大调节能力的实验结果,我们推测较高的光强度有利于叶绿体形成更多可流动的LHC-Ⅱ和LHC-Ⅰ。由于在较高光强下生长的植物,其叶绿体含有更高比例的可流动的LHC-Ⅱ和LHC-Ⅰ,因此,它们便可通过叶绿体在光下形成的ATP使膜蛋白磷酸化和叶绿体中所存在的 Mg^{2+} ,实现对两个光系统之间激发能分配的高效调节,使两个光系统之间能量分配迅速达到平衡,使植物对所处的光环境具有更大的适应能力,同时还可以解释为什么在高光强下生长的植物具有更高的光合作用速率。

体的 F_{678}/F_{742} 比值的提高幅度有着明显差别,它提高在高光强下生长的小麦叶绿体的 F_{678}/F_{742} 比值达36.1%,而生长在低光强下的小麦叶绿体的相应比值仅被提高23.9%。当激发光波长为480nm时,得到十分类似的结果。这说明不论激发光波长多少, Mg^{2+} 对生长在高光强下的小麦叶绿体的两个光系统之间的激发能分配都有更大的调节能力。

此外,我们在研究中还观察到叶绿体类囊体膜蛋白磷酸化后,均提高在不同光强度下生长的小麦叶绿体PSⅠ与PSⅡ的相对荧光产量的比值(结果另文发表),说明叶绿体类囊体膜蛋白磷酸化作用参与两个光系统之间的激发能分配,使能量分配有利于PSⅠ。所不同的是,膜蛋白磷酸化后对生长在高光强下的小麦叶绿体的上述比值的提高幅度大于生长在低光强下的小麦叶绿体,这表明膜蛋白磷酸化对生长在高光强下的小麦叶绿体的激发能分配也像 Mg^{2+} 那样具有更大的调节能力,结果在 Mg^{2+} 和膜蛋白磷酸化的参与下可使这种叶绿体两

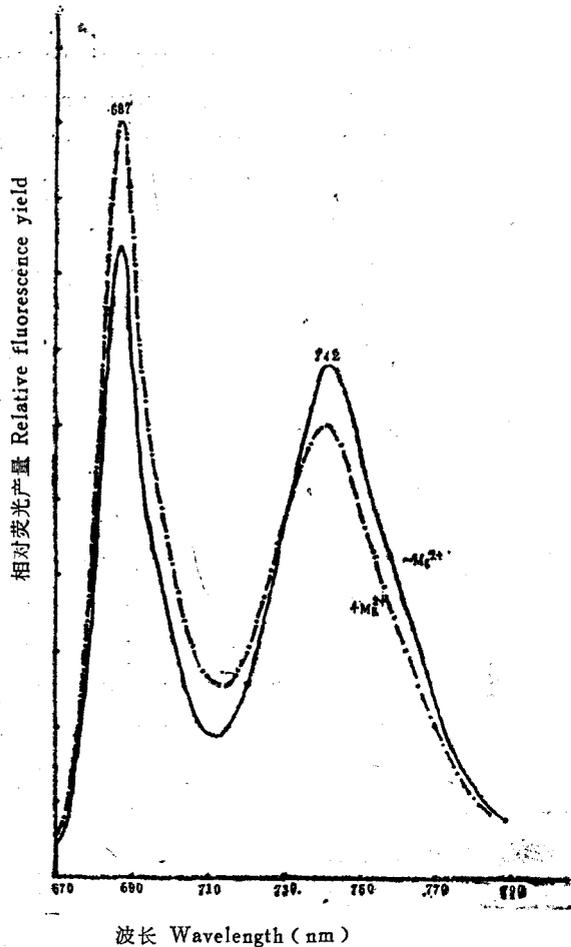


图3 Mg^{2+} 对生长在低光强下的小麦叶绿体低温荧光发射光谱的影响。
+ Mg^{2+} 和- Mg^{2+} 分别表示叶绿体悬浮液加与不加 $MgCl_2$ 。激发光波长为436nm

Fig. 3. Effect of Mg^{2+} on 77K fluorescence emission spectrum of chloroplasts of wheat grown under high light intensity.
+ Mg^{2+} and - Mg^{2+} indicated chloroplast suspensions with or without $MgCl_2$, respectively. Excitation at 436 nm

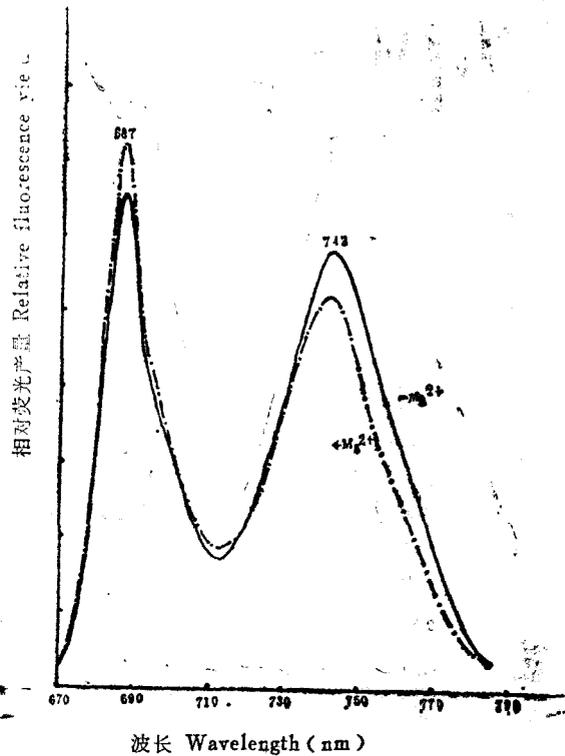


图4 Mg^{2+} 对生长在低光强下的小麦叶绿体低温荧光发射光谱的影响。
+ Mg^{2+} 和- Mg^{2+} 分别表示叶绿体悬浮液加与不加 $MgCl_2$ 。激发光波长为436nm

Fig. 4. Effect of Mg^{2+} on 77K fluorescence emission spectrum of chloroplasts of wheat grown under low light intensity.
+ Mg^{2+} and - Mg^{2+} indicated chloroplast suspensions with or without $MgCl_2$, respectively. Excitation at 436 nm

三、 Mg^{2+} 对生长在不同光强下的小麦叶绿体PS I 原初光能转化效率的影响

从表1可以看到,当激发光波长为440nm时,生长在高光强下的小麦叶绿体的 F_v/F_m 和 F_v/F_m 的比值分别为1.132和0.531,而生长在低光强下的小麦叶绿体这两个相应的比值分别为0.985和0.496,这表明在较高光强度下生长的小麦,其叶绿体比在低光强度下生长的小麦叶绿体具有更高的PS I 性和PS I 原初光能转化效率,因为在室温条件下,荧光完全来自PS I,同时 F_v 的大小及其变化过程与光合作用过程,特别是与PS I 原初电子受体Q的氧化还原电位的高低密切相关,它可作为PS I 反应中心活性大小的尺度(通常可用 F_v/F_m 。

表示), 而 F_v/F_m 的比值则可代表PS II原初光能转化效率^[3,7]。

表1. Mg^{2+} 对生长在不同光强下的小麦叶绿体 F_v/F_o 和 F_v/F_m 比值的影响*

Table 1. Effects of Mg^{2+} on F_v/F_o and F_v/F_m ratios of chloroplasts of wheat grown under different light intensities*

小麦幼苗生长期间的 Light intensity during growth of wheat seedlings		F_v/F_o		F_v/F_m	
		比值 Ratio	相对的百分数 Relative percentage	比值 Ratio	相对百分数 Relative percentage
2×10^4 lux	- Mg^{2+}	1.132	100	0.531	100
	+ Mg^{2+}	1.404	124.0	0.584	110.0
2×10^3 lux	- Mg^{2+}	0.985	100	0.496	100
	+ Mg^{2+}	1.089	110.6	0.520	104.8

* + Mg^{2+} 和- Mg^{2+} 分别表示叶绿体悬浮液加与不加10mmol/l $MgCl_2$ 。激发光波长为440nm

* + Mg^{2+} and - Mg^{2+} indicated chloroplast suspensions with or without 10m mol/l $MgCl_2$ respectively. Excitation at 440nm

从表1还可以看到,用10mmol/l $MgCl_2$ 预处理叶绿体时,生长在高光强下的小麦叶绿体的 F_v/F_o 和 F_v/F_m 的比值分别为1.404和0.584,这两个荧光诱导动力学参数分别比不加 Mg^{2+} 的样品的相应比值提高24.0%和10%;而生长在低光强下的小麦叶绿体的这两个比值分别为1.089和0.520,比不加 Mg^{2+} 的样品仅分别提高10.6%和4.8%。这说明在 Mg^{2+} 的作用下,与生长在低光强下的小麦叶绿体相比,生长在高光强下的小麦叶绿体的PS II活性和PS II原初光能转化效率,在原有较高的基础上又有更大幅度的提高,其提高幅度比前一种来源的小麦叶绿体的提高幅度高达一倍以上。我们以激发光波长为480nm进行测定时,获得十分类似的结果。

Mg^{2+} 还可以提高叶绿体的PS II和全链电子传递速率,以及活化PS II反应中心^[1,6]。此外, Mg^{2+} 在光合膜的垛叠中是必不可缺少的因素。综合本文的实验结果和我们过去的研究结果^[1,2,6,7,8,16],不难看出, Mg^{2+} 对叶绿体的光能吸收、传递和转化以及电子传递的作用是相当复杂的,它对叶绿体类囊体膜的作用可能是在分子水平上,维持捕光色素蛋白复合物、反应中心以及某些电子载体在膜上的一定构型和彼此的紧密联系,最后保证对光能的最有效吸收、传递和转化。同时也说明,植物生长环境的较高光强度更有利于 Mg^{2+} 发挥上述的各种作用。因此,在光往往成为限制因子的覆盖栽培(如温室和塑料大棚)中,为了提高作物的光合效率和产量,努力为植物创造更好的光照条件是十分必要的。

参 考 文 献

- (1) 张其德等, 1979: 叶绿体膜的结构与功能 I. 钾离子和镁离子对两种类型叶绿体膜吸收光谱及光系统 II 功能的影响. 植物学报, 31: 250—258.
- (2) 张其德等, 1982: 叶绿体膜的结构功能 II. 亚麻酸对小麦叶绿体膜结构, 吸收光谱和荧光光谱的影

- 响以及镁离子的调节作用。植物学报, 24: 326—332。
- 〔3〕张其德等, 1985: 叶绿体膜的结构与功能 X VII. 正常大麦和变种 *Chlorina f₂* 光合特性的比较研究。植物学报, 27: 46—56。
- 〔4〕张其德, 1987: 植物光合作用的光抑制。植物生理教学研究参考文集(北京植物生理学会等主编), 43—55页。
- 〔5〕张其德等, 1988: 生长期间的光强度对小麦幼苗一些光合特性的影响。植物学报, 30: 508—514。
- 〔6〕林世青等, 1980: 叶绿体膜的结构和功能 VII. Mg^{2+} 对叶绿体囊状体膜的光能转化和相对量子产量的影响。植物生理学报, 6: 353—359。
- 〔7〕林世青等, 1984: 小麦叶绿体膜的发育。光合作用研究进展(第三集), 科学出版社, 40—53页。
- 〔8〕唐崇钦等, 1983: 叶绿体膜的结构与功能 III. 发育完善和发育不完善的叶绿体膜的荧光特性比较。植物生理学报, 9: 275—282。
- 〔9〕Anderson, J. M., 1986: Photoregulation of the composition, function, and structure of thylakoid membranes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 37: 93—136.
- 〔10〕Arnon, D. I., 1949: Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1—15.
- 〔11〕Bjrkman, O., et al. 1972: Effect of light intensity during growth of *Atriplex spatula* on the capacity of photosynthetic reactions, chloroplast components and ructure. In "Carnegie Instituion Year Book 71", Stanford, California, pp. 115—135.
- 〔12〕De la Torre, W. R. et al., 1987: Adaptation of barley thylakoid membranes to changing light intensity. In "Progress in Photosynthesis Research (Biggins, J., ed.) Vol. II", Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. printed in the Netherlands, pp. 343—346.
- 〔13〕Duysens, L. N. M., 1956: The flattening of the absorption spectrum of suspensions, as compared to that of solutions. *Biochim. Biophys. Acta*, 19: 1—12.
- 〔14〕Haworth, P., et al., 1982: Chloroplast membrane protein phosphorylation. *Photochem. Photobiol.*, 36: 743—748.
- 〔15〕Henkin, B. M. et al., 1977: Magnesium ion effects on chloroplast photosystem II fluorescence and photochemistry. *Photochem. Photobiol.*, 26: 277—286.
- 〔16〕Kuang, T. Y. (匡廷云), et al., 1987: Reversal movement of sub-population of harvesting chlorophyll protein complexes LHC-II and LHC-I between grana and light stroma lamellae under different conditions. In "Progress in Photosynthesis Research (Biggins, J., ed.) Vol. II", Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. Printed in the Netherlands, pp. 729—732.
- 〔17〕Lichtenthaler, H. K., et al., 1981: Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. *Photosynth. Res.* 2: 115—141.
- 〔18〕Lichtenthaler, H. K., et al., 1983: Effect of high light and high light stress on

- composition, function and structure of the photosynthetic apparatus. In "Effects of stress on Photosynthesis" (Marcelle, R., H. Clijsters and M. van Poucke, eds.), The Hague, pp. 353—370.
- [19] Murata, N., 1971: Effects of monovalent cations on light energy distribution between two pigment systems of photosynthesis in isolated spinach chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta*, 226: 422—432.
- [20] Wild, A., et al. 1987: The effect of different growth light intensities on photosystem II components. In "Progress in Photosynthesis Research (Biggins, J., ed.) Vol. II", Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. Printed in the Netherlands, pp. 363—366.

EFFECTS OF Mg^{2+} ON PHOTOSYNTHETIC FUNCTIONS OF CHLOROPLASTS FROM WHEAT SEEDLING GROWN UNDER DIFFERENT LIGHT INTENSITIES

Zhang, Qi De

(Institute of Botany, Academia Sinica)

Abstract Effects of Mg^{2+} on photosynthetic functions of chloroplasts from wheat seedling grown under different light intensities were studied. The experimental results showed that the absorption peak values at both the red and blue regions of the absorption spectrum of chloroplasts of wheat grown under high light intensity were decreased by Mg^{2+} according to a bigger margin as compared with those of chloroplasts of wheat grown under low light intensity; nevertheless, the ratio of the relative fluorescence yield of PS II (F_{887}) to that of PSI (F_{742}), the activity and efficiency of primary conversion of light energy of PS II in high-light wheat chloroplasts were raised by Mg^{2+} according to a bigger margin. The experimental result showed that higher light intensity was probably advantageous to chloroplasts to form more movable LHC-II and LHC-I.

Key words Absorption spectrum; Fluorescence emission spectrum; Photosystem II (PS II); Photosystem I (PSI); Excitation energy distribution; Efficiency of primary conversion of light energy