

Greening 에 따른 油菜 子葉의 葉綠素-蛋白質 複合體 形成

李 鎮 範 · 洪 英 男 · 權 寧 命

(서울대학교 自然科學大學 植物學科)

Formation of Chlorophyll-Protein Complexes in Greening Rape Cotyledons

Lee, Chin Bum, Young-Nam Hong and Young Myung Kwon

(Department of Botany, Seoul National University, Seoul)

ABSTRACT

The formation of chlorophyll-protein complexes (CP-complexes) during the greening of rape cotyledons (*Brassica napus* cv. Yongdang) was investigated by the SDS-polyacrylamide gel electrophoresis. The total chlorophyll content and Chl a/b ratio were also determined. In addition, the effects of dark treatment on the CP-complex patterns during greening have been examined with respect to their photosynthetic electron transport activity. Greening has brought about the increase in total chlorophyll content and the decrease in Chl a/b ratio, but there have been no changes in Chl a/b ratio after 24 hrs of greening. The light-harvesting chlorophyll a/b-protein complex (LHCP-complex) was predominant during the initial greening period. Thereafter, the amount of chlorophyll a-protein complex (CP I-complex) was gradually increased. Twenty-four-hr dark treatment immediately after illumination for 6 hrs and 12 hrs resulted in the increase of the Chl a/b ratio and the CP I complex, otherwise the decrease of the LHCP-complex.

The LHCP/CP I ratio was gradually decreased with further greening, and appeared no change after 48 hrs illumination. The investigation of the photosynthetic electron transport activity indicated that photosystem (PS) II activity ($H_2O \rightarrow p-PD^* + FeCy^{**}$) did not change, but the activity of PS I was increased suddenly due to the dark treatment. The data suggests that the increase of CP I-complex may result in that of P-700, that is, the increase of PS I activity.

緒 論

최근 CP-complex 에 대한 많은 지식이 SDS-PAGE 를 利用해 얻어지고 있으며, chlorophyll

本研究는 1982年度 文敎部 學術研究 助成費의 支援으로 이루어진 것임.

* : p-PD; p-Phenylenediamine

** : FeCy; potassium ferricyanide

의 불과 CP-complex 形成에 관한 많은 보고가 있다(Tanaka and Tsuji, 1982; Hiller and Goodchild, 1981; Apel and Kloppstech, 1980). 특히 LHCP의 불과 Chl b 함유사이에는 상호관련이 있다고 알려져 있다(Lichtenthaler et al., 1981). 한편 cucumber 자엽을 이용한 일련의 실험에서 greening 과정에서 初期에 不安定한 chlorophyll의 存在와 seedling의 암처리로 인한 CP-complex들의 變化가 보고되었다(Tanaka and Tsuji, 1981, 1982, 1983). 또한 Argyroudi-Akoyunoglou *et al.* (1982)은 greening 초기에 암처로의 移轉에 의해 Chl b의 감소가 일어나며 이와 함께 LHCP 역시 감소됨을 보았고, 反面 chlorophyll-protein a (CPa) complex와 42K dalton polypeptide가 增加하고 새로운 PS II unit가 形成됨을 보고하였다. 그러나 나자식물은 Chl a와 b를 암처에서 合成할 수 있고, 또한 암처에서 LHCP와 CP I을 역시 形成한다(Tanaka and Tsuji, 1982). 한편 光照射량을 變化함에 따라 다양한 Chl a/b 비율을 갖는 植物組織의 CP-complex 역시 조사된 바 있다(Genge *et al.*, 1974). 以上の 보고들은 Chl b가 LHCP 형성에 필수적이고 피자식물에서는 LHCP는 Chl b 결핍 때문에 암처에서 형성될 수 없음을 나타낸다. 엽록체가 발달되는 과정에서 CP-complex 형성을 이해하기 위하여서는 greening 初期에 이와같은 不安定한 CP-complex를 관찰함이 필요하다고 하겠다. 최근 陰地植物인 인삼엽의 greening 과정에서 CP-complex의 형성변화를 보고 하였다(Park *et al.*, 1982).

本 實驗은 유채 자엽을 利用하여 greening이 일어남에 따라 變하는 CP-complex를 관찰하고 이들의 Chl 分布 및 電子傳達 活性能의 變化를 조사하는 한편 greening 과정중의 암처리로 인한 이들의 變化양상을 관찰함으로써 greening 초기의 광화학 반응계의 일부 변화 과정을 이해하려 하였고, 엽록체 발달시 불안정한 CP-complex들에 의해 發生되는 變化를 調査하였다.

材料 및 方法

材料. 農村振興廳 作物試驗場으로부터 분양받은 유채種子(*Brassica napus* cv. Yongdang)를 Hoagland 용액에서 5일간 암처리하여 기른 다음, 배양된 幼植物을 25°C에서 750 ft·c로 照射하여 greening시킨 후 實驗材料로 使用하였다. 實驗에 使用된 ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), NH₄Cl, ascorbate 등은 E. Merck社 제품이었으며, 그 外의 試藥은 Sigma社 제품을 使用하였다.

葉綠體 分離 및 CP-complex 추출. Greening이 끝난 유채 유식물의 자엽에서 Lee *et al.* (1983)의 方法에 따라 엽록체를 分離하여 光反應系 活性 測定에 使用하였다. 分離 葉綠體를 2번에 걸쳐 50 mM Tricine-KOH 완충액 (pH 7.9) 1ml로 재현탁시킨 후, 1,300 g로 10分間 원심시켜 pellet을 SDS:Chl이 10~40:1이 되게 0.0625 M Tris-HCl 완충액 (pH 6.8, 1% SDS 포함)으로 다시 현탁시켜 1,300 g에서 30分間 원심분리시켰다. 상침액(CP-complex 추출물)을 0.0625 M Tris-HCl 완충액 (pH 6.8, 10% glycerol, 5% mercaptoethanol 및 2% SDS 포함)에 적당량 희석하여 電氣泳動 試料로 使用하였다.

電氣泳動 實驗. Laemmli(1970) 方法을 變형하여 SDS-PAGE를 實施하였다. Gel의 조성은 separation gel의 경우 0.375M Tris-HCl(pH 8.8) 완충액에 10% acrylamide, acrylamide:N, N'-methylene-bis-acrylamide는 37.5:1(W/W), 0.1% SDS, 0.025% N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine(TEMED)(V/V), 0.025% ammonium persulfate가 되게 하였고, stac-

king gel의 경우 0.125-M Tris-HCl(pH 6.8) 완충액에 4% acrylamide를 사용하고 그 외는 同-하게 하였다. Gel의 길이는 separation gel을 5 cm로 하고 그위에 stacking gel을 1 cm 두께 하였으며, 전극조 완충액은 0.025 M Tris와 0.192 M glycine(pH 8.3)에 0.1% SDS를 첨가하였다. 전기영동은 stacking gel은 1 mA/tube로 separation gel은 3 mA/tube로 6°C에서 90분간 실시하였다. Gel상의 CP-complex의 겹점은 gel scanner(Gilford 250 spectrophotometer)로 675 nm에서 실시하였으며, Chl 분포를 보기 위하여 650 nm에서 역시 scanning하였다. Gel內的 각 band의 흡수 spectrum은 직접 Shimadzu UV-360 spectrophotometer로 400~700 nm까지 scanning하였다.

光化學活性測定. 分離된 葉綠體 현탁액으로 Lee *et al.* (1983)의 방법에 의하여 Clark-type electrode로 O₂ 변화량을 측정하였다.

葉綠素測定. 엽록소 수량은 Harbone (1973)법에 따라測定하였고, Chl a/b 비율이 높은 경우에는(ratio>6) Ogawa and Shibata(1965) 방법에 따라 666 nm에서 Beckman model 24 spectrophotometer로測定하였다.

結果 및 考察

Greening에 따른 Chl 함유 변화. 광백화된 유채 자엽을 光에 노출시켰을 때, chlorophyll의 함유 변화 및 그에 따르는 Chl a/b 比率를 조사하였다(Table 1). Chl a 및 b의 함량은 greening 되어감에 따라 급진적으로 증가하였으며 Chl a/b 비율은 점차적으로 감소하였다. 이는 보리 어린 잎의 greening時 일어나는 Chl 량 및 Chl a/b 비율과 유사한 양상을 보이나(Lee *et al.*, 1983), Chl a/b 비율의 경우 보리는 8시간 이후 3:1의 비율을 유지하나 유채 자엽은 거의 10여시간 지연됨을 알 수 있다. 한편 greening 시킨 후 24시간 암처리한 경우 生體量에 따른 Chl 량은 크게 줄었으며, 특히 Chl a에 비해 Chl b의 감소가 뚜렷해 Chl a/b 비율이 상대적으로 높아지는 것으로 나타났다(Table 1). 이와같은 現象은 greening

Table 1. Chlorophyll content and Chl a/b ratio before or after dark incubation of the illuminated cotyledons. Etiolated rapc seedlings were exposed to continuous light (CL). Subsequently, seedlings were incubated for 24hr in the dark(CLD). Each value represents the mean of three samples

Greening time (hr)	Total Chl(TC)	Chl a (μ g/g. fr. wt.)	Chl b (fr. wt.)	Chl a/b ratio	Chl a/TC (%)	Chl b/TC (%)
6CL	53.7	43.8	9.9	4.4	81.6	18.4
6CLD	38.2	35.3	2.9	12.1	92.4	7.6
12CL	134.2	105.8	28.4	3.7	78.8	21.2
12CLD	72.6	58.8	13.8	4.3	81.0	19.0
18CL	289.6	226.6	63.0	3.6	78.2	21.8
18CLD	146.4	117.2	29.2	4.0	80.1	19.9
24CL	512.0	382.0	129.8	2.9	74.6	25.4
24CLD	327.2	248.8	78.4	3.2	76.0	24.0
48CL	649.8	479.2	170.6	2.8	73.7	26.3
48CLD	446.4	331.4	115.0	2.9	74.3	25.7

初期(6hr~12hr)에서 현저하였으며 48時間 greening(完全히 성숙한 상태로 간주)의 경우에는 암처리에도 불구하고 Chl a와 b 相互間的의 어떠한 변화도 관찰할 수 없었다. Chl 량이

감소하는 것은 피자식물의 경우 암처에서 Chl이 합성되지 않고 상대적으로 생체의 생장에 기인할 것이며, Chl b의 급격한 감소로 인한 Chl a/b 증가의 결과는 암처에 놓았을 경우 Chl b의 파괴가 Chl a보다 신속히 일어나 Chl b 함량이 급격히 감소함을 관찰한 Argyroudi-Akoyunoglou *et al.*, (1982)의 보고와 일치하는 것으로 보인다.

CP-complex의 전기영동 pattern. Fig.1은 각 CP band들의 흡수 spectrum을 나타낸 것이다. 分離된 CP-complex의 pattern은 그 以前의 여러 보고(Anderson *et al.* 1978; Markwell *et al.*, 1978)들과 일치되며 CP I complex의 경우 676nm에서 흡수극대를 보여 photosystem I (PS I)의 reaction center complex로 알려진(Thornber, 1975) chlorophyll a-protein complex의 흡수극대와 일치한다. 또한 CP II 또는 LHCP로서 PS I과 PS II에서의 light harvesting 기능을 갖는 complex로 보고(Anderson *et al.*, 1978; Thornber, 1975)된 바 Chl b를 다량 함유하고 있으므로 band의 흡수극대는 670nm 외에 652nm에서 또 하나의 peak를 나타냈다. 이 두 peak를 가짐은 LHCP의 전형적인 모양이다(Park *et al.*, 1982; Markwell *et al.*, 1978). 전기영동의 결과 分離된 CP-complex의 양상을 675nm와 650nm에서

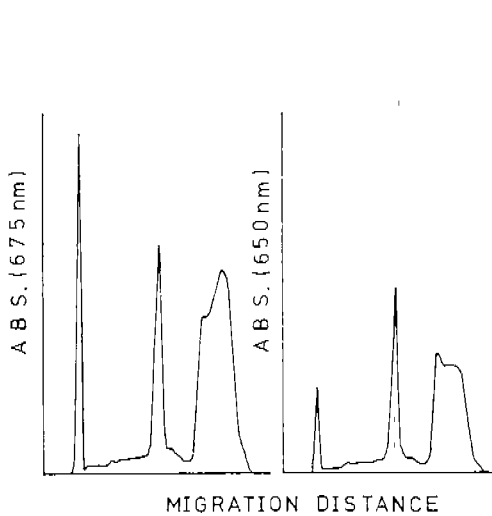


Fig. 1. Absorption spectra of CP-complexes separated by SDS-PAGE from rape cotyledon.

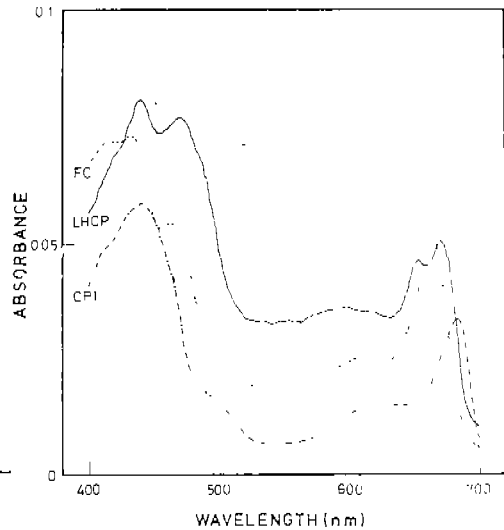


Fig. 2. Densitometer tracings of CP-complexes at 650nm and 675nm.

각각 scanning 하였다(Fig.2). 이는 각 peak에 Chl b 함량의 多少를 알아볼 수가 있으며, Chl의 分布를 조사할 수 있다. 앞서의 흡수 spectrum(Fig.1)에서와 같이 Chl b에 대한 상대적 함량이 LHCP가 CP I과 free chlorophyll(FC) band에 비해 많음을 볼 수 있다. 以前의 보고들(Anderson *et al.*, 1978; Argyroudi-Akoyunoglou and Castorinis, 1980)에 의하면 LHCP의 경우 Chl a/b가 1.0~1.5 정도로 거의 Chl a와 b가 비슷한 양을 나타냄을 보이고 CP I의 경우 거의 7.0 이상을 나타내 675nm에서 보이던 peak가 CP I이나 FC band의 경우 LHCP에 비해 뚜렷이 낮은 peak를 나타냄을 알 수 있다.

Greening 과정에 따른 pattern 變化. 유채 seedling의 greening 시간에 따른 CP-complex의 變化양상을 調査하고 아울러 각 時間別로 greening 시킨 후 24시간 암처리하여 發生되는

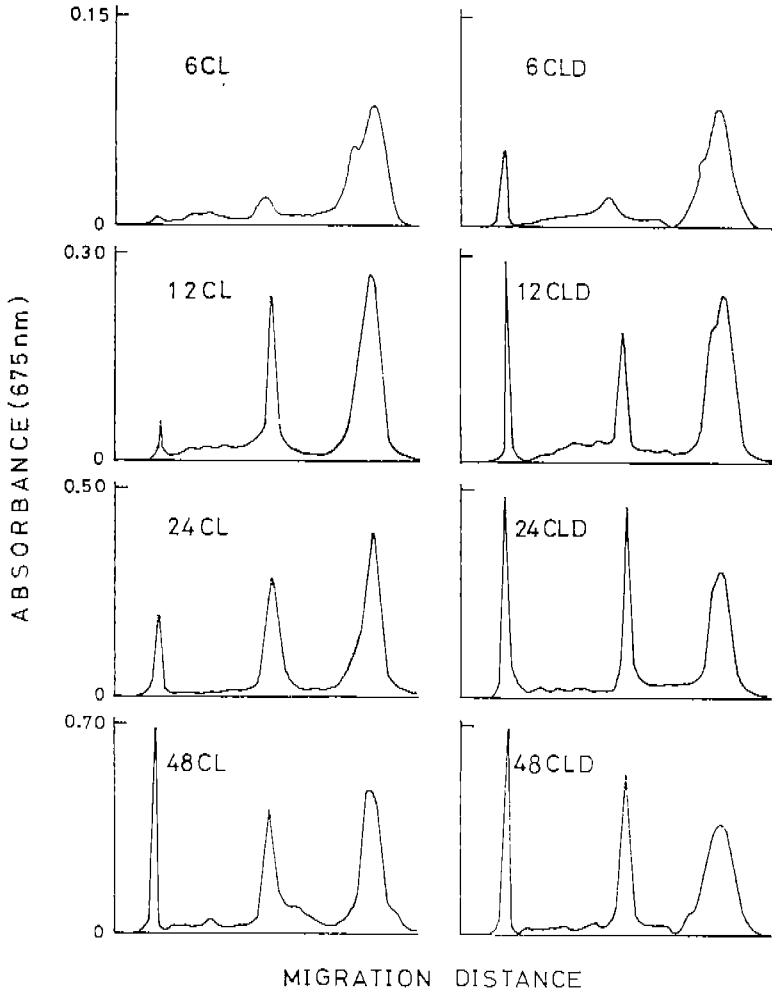


Fig. 3. Densitometer tracings (675nm) of CP-complexes isolated by SDS-PAGE. Five-day-old etiolated seedlings were illuminated for 6hr (6CL), 12hr (12CL), 24hr (24CL) or 48hr (48CL). After illumination, seedlings were placed in the dark for 24hr (6CLD, 12CLD, 24CLD or 48CLD).

변화양상을 SDS-PAGE 방법으로分離한 후, 이를 675nm에서 scanning한 결과는 Fig.3과 같다. CP I과 LHCP-complex 두 band 모두 greening 되어감에 따라 점차적으로 증가하였으며 특히 greening 초기에 main peak인 LHCP(Tanaka and Tsuji, 1983)가 greening 6시간 및 12시간에서 CP I과 비교하여볼 때 보다 높은 흡수 peak를 나타내었다. 한편 greening 단계별로 암처리한 seedling의 자엽에서 CP-complex pattern을 조사한 결과 암처리에 의한 뚜렷한 영향을 볼 수 있었다(Fig.3). *Tradescantia* 잎을 이용하여 암처리시 CP I과 CP II와

함께 Chl a와 b의 지속적인 손실이 일어나고 어린 잎의 경우에는 CP I이 암기간중 total chlorophyll에 대한 함량증가가 일어남이 보고되었다(Adamson *et al.*, 1980). 또한 오이 자엽을 암처리하였을 경우 chlorophyll의 새로운 손실은 일어나지 않고 단지 CP I의 증가가 일어남이 관찰되었다(Tanaka and Tsuji, 1983). 본 실험의 경우 유채 자엽의 greening 단계 별로 24시간 암처리한 결과 greening 초기에 특히 CP I의 증가가 일어나고 동시에 LHCP의 감소가 일어났다. 一般的으로 피자식물은 암처에서 chlorophyll을 합성하지 않는 것으로 널리 알려진 바 Fig. 3의 결과는 Tanaka and Tsuji(1983)의 결과에서 보듯이 암처에서 새로운 chlorophyll의 합성은 일어나지 않고 CP I의 chlorophyll은 다른 단백질에 결합되었던 chlorophyll로부터 전이됨을 암시하며, 또한 동시에 LHCP의 減少가 일어남으로 보아 LHCP apoprotein으로부터 떨어져나온 Chl a가 CP I apoprotein에 결합될 수 있을 것으로 사료된다. 한편 greening이 계속되어 거의 성숙한 상태에 이르면(48시간 greening) 암처리에도 거의 아무런 변화를 보이지 않았다(Fig. 3). 이러한 事實은 完全히 성숙한 상태로 엽록체가 발달되기 전에는 thylakoid membrane에서 CP-complex들의 일부가 아직 불안정한 상태로 있게되며 이때에 암조건에서는 Chl b가 파괴되고 이에 따라 Chl b가 다량 함유되어 있는 LHCP 역시 감소가 일어나나(Argyroudi-Akoyunoglou *et al.*, 1982; Tanaka and Tsuji, 1983), 일단 엽록체가 完全히 발달되어 구조와 기능상으로 安定된 상태에 이르면, 아마도 모든 chlorophyll이 안정화되어 쉽게 그들의 apoprotein으로부터 떨어지지 않을 것으로 생각되어진다. 그러나 apoprotein部位的 파괴가 선행되어 Chl b의 파괴가 수반되는 것인지 또는 色素의 分解에 이어 단백질의 분해가 일어나게 되는 것인지는 말할 수 없다. CP-complex들의 암처리로 인한 이와같은 일련의 변화는 Table 1의 Chl 함량과 比較하여 볼 때 역시 일치된 결과로 보아 타당할 것으로 여겨진다. 또한 LHCP와 grana stacking과는 밀접한 관계가 있어 LHCP가 grana lamellae를 서로 holding하는 adhesive force로서 作用할 것이라 제안되었고(Argyroudi-Akoyunoglou *et al.*, 1982), Arntzen(1978)은 grana stacking의 物理的 역할을 논함에 있어 LHCP가 stacking process에 일익을 담당할 것임을 제시한 바 있다. 그러므로 greening 초기의 이와같은 變化가 thylakoid가 아직 grana lamellae 구조를 完全히 갖추지 못해 不安정한 상태에 있음에 의해 일어나는 것으로 사료된다.

CP-complex의 Chl 分布. CP-complex들의 Chl 量에 따른 分布는 Table 2에서 보는 바와 같이 LHCP가 main band임을 보여주고 CP I complex의 Chl 量은 greening 되어감에 따라 급격히 증가함을 보여준다. 한편 암처리로 인한 CP I과 LHCP complex의 Chl 量의 변화는 greening 초기에 CP I의 급격한 增加와 LHCP의 減少 現象을 보였는데 이는 Fig. 3과 一致된 결과이다. 이를 LHCP/CP I 비율로 볼 때 greening 초기의 변화가 성숙한 상태에 비해 뚜렷한 양상을 보임을 알 수 있다. FC의 경우 CP-complex로부터 Chl이 처리되어 생긴것으로 지금까지 생각되어지고 있으며, 성숙한 thylakoid membrane에서 total Chl의 25~50% 정도 차지한다(Anderson *et al.*, 1978). 또한 모든 Chl은 CP-complex로서 存在하며 SDS 등의 detergent로서 thylakoid membrane으로부터 추출해 낼 때, free 即 detergent-complexed chlorophyll이 生成된다고 보고되었다(Markwell *et al.*, 1979). 본 실험의 경우 FC-complex의 Chl 分布가 40~70%로 높은 分布를 보임은 CP-complex가 불안정한 상태이고 상대적으로 SDS 처리량이 많은 것에 기인할 것으로 생각되어진다. 이러한 사실은

Table 2. Distribution of chlorophyll among the CP-complexes of SDS-solubilized thylakoids, obtained from etiolated rape cotyledons exposed to continuous light(CL) and then transferred to darkness(CLD)

Greening time(hr)	Distribution of chl.(%)				LHCP/CP I ratio
	CPI	LHCP	FC	LHCP+FC	
6CL	1.3	11.5	70.5	82.1	8.85
6CLD	9.8	9.8	60.8	70.6	1.00
12CL	9.4	20.5	55.5	76.0	2.18
12CLD	13.5	15.2	54.1	69.3	1.13
24CL	9.6	30.8	50.6	81.4	3.21
24CLD	14.5	26.8	49.3	76.1	1.85
48CL	16.8	24.8	43.6	68.3	1.48
48CLD	19.4	25.2	39.8	65.0	1.30

Table 2에서 보듯이 greening이 점차 진행되어감에 따라 FC-complex의 Chl 분포가 점점 줄어들어 가는 것으로 보아 greening 초기에는 CP-complex가 보다 불안정함을 뒷받침하는 결과로 사료된다.

電子傳達 活性能의 變化. 황백화된 유채 자엽의 각 greening 시기別로 PS II, PS I 및 PS II + I의 活性變化는 Table 3과 같다. Lee *et al.*, (1983)은 보리 seedling의 엽록체 발달과정중 電子傳達 活性能의 變化를 관찰한 바, greening 4시간에서 peak를 보였으며 그 이후 8시간까지 급격히 감소함을 보였고, Chl a/b 비율 역시 greening 8시간 以後 3:1의 率을 유지하였다. 本 實驗에서 유채자엽의 경우는 24시간 이후에야 Chl a/b 비율이 거의 一定하게 유지되고 (Table 1), 電子傳達能 역시 12시간 이후에야 점진적인 경향을 나타내는 것으로 보아 葉綠體 발달과정이 보리에 비해 지연되는 것으로 여겨진다. 또한 照射後 암처리기가 전자전달 활성능에 미치는 영향을 아울러 調査하였다 (Table 3). 암처리로 seedling의 이 전시 CP I-complex의 增加와 LHCP complex의 減少를 P-700/Chl 비율 및 전자전달활성능과 比較한 結果 CP I-complex의 암처리로 인한 증가와 P-700/Chl 비율의 증가 및 PS I 活性의 증가가 서로 비례함이 보고되었다 (Argyroudi-Akoyunoglou *et al.*, 1982; Tanaka and Tsuji, 1983). 本 實驗의 경우에서도 암처리로 인한 CP I-complex의 증가와 비례하여 greening 초기에 PS I 活性의 증가를 볼 수 있었다 (Table 3). 그러나 PS II 활성은 암처리에도 불구하고 아무런 反應을 하지 않았는데 이는 測定한 方法이 H₂O → p-PD+

Table 3. Electron transport activities of the isolated chloroplast of the illuminated seedlings exposed to continuous light(CL) and then transferred to darkness(CLD). The activity was measured as O₂ evolution (PS II and PS II+I) or uptake (PS I) at a light intensity of 600W/m²

Greening time(hr)	PS II			PS I			PS II+I		
	CL	CLD	increased rate(%)	CL	CLD	increased rate(%)	CL	CLD	increased rate(%)
μmole O ₂ /mg chl.hr									
6	185.6	196.4	5.8	522.2	727.5	39.3	211.6	250.0	18.1
12	111.3	111.2	—	262.5	454.9	73.3	107.1	152.2	42.1
24	111.6	102.6	—	242.2	243.6	0.6	106.3	107.5	1.1
48	119.7	112.7	—	182.4	180.8	—	119.7	116.6	—

FeCy 활성특성이므로 이에는 water splitting enzyme이 必需的 데, 이 酵素의 경우 빛에 의해 유도되고 活性化되기 때문(Inoue *et al.*, 1974)일 것으로 사료된다. 이같은 결과는 $H_2O \rightarrow DCPIP^{***}$ 로 PS II 활성을 測定한 보고(Argyroudi-Akoyunoglou *et al.*, 1982)와 一致한다. 한편 PS II + I 活性은 PS I 活性보다는 약하나 다소 증가함을 보였는데, 이는 PS I 활성의 높은 증가에 기인하지 않나 생각할 수 있겠다.

以上の 結果로 보아 유채 자엽의 greening은 보리에 비해 다소 지연되나 Chl 축적과 함께 CP-complex 들의 增加함을 알 수 있으며, 葉綠體內 전자전달능은 greening 初期(6시간)에 높은 活性을 보이고 그 以後 거의 一定한 수준을 유지함을 알 수 있다. 또한 greening 초기에는 LHCP가 main complex임을 나타내었고, 특히 암처리로 인한 LHCP-complex의 감소와 CP I-complex의 증가를 볼 수 있었다. 이는 LHCP cross-linking이 grana stacking의 유발요인이라 생각됨(Arnzen, 1978)에 따라 greening 초기에는 아직 완전히 stacking이 이루어지지 않은 thylakoid membrane에서 LHCP가 PS II unit와 느슨하게 결합됨으로서, 不安定한 상태로 있기때문에 그들의 apoprotein에 結合되어 있는 chlorophyll이 쉽게 떨어질 수 있음에 기인할 것이다.

摘 要

유채 자엽의 greening에 따른 CP-complex의 變化를 SDS-PAGE에 의해 觀察하고 Chl 含量 및 Chl a/b 비율을 함께 調査하였다. 또한 greening 중의 暗처리와 CP-complex에 미치는 영향도 아울러 조사하였으며 이들의 變化를 電子傳達能으로 測定比較하였다. Greening이 進行됨에 따라 Chl은 蓄積되었으며 Chl a/b 비율은 減少되어 24시간 以後는 일량함을 보였다. 초기의 CP-complex는 LHCP가 main complex이었으며 CP I-complex의 增加가 greening이 됨에 따라 이루어졌다. 한편 6시간 및 12시간 光照射後 즉시 24시간 暗처리로 인한 變化는 뚜렷이 나타났는데 Chl a/b 비율의 증가가 이루어졌으며 同時に CP I-complex의 급격한 증가와 LHCP-complex의 감소가 나타났다. 또한 이에 따른 LHCP/CP I 비율 역시 CPI의 增加와 LHCP의 減少로 인하여 급격히 떨어짐을 볼 수 있었다. 그러나 greening이 進行되어감에 따라 이러한 現象은 점차 감소되어 48시간 greening 때에는 거의 아무런 變化를 나타내지 않았다. 이와 並行하여 電子傳達能을 조사한 바, PS I 活性은 암처리로 인하여 급격한 증가를 나타내었고, PS II 活性($H_2O \rightarrow p-PD + FeCy$)은 變化가 없었다. 이러한 사실로 CP I-complex의 量的 增加는 P-700의 증가를 意味하며 이로인하여 PS I 活性의 增加가 나타남을 생각할 수 있다.

參 考 文 獻

- Adamson, H. Y., R. G. Hiller and M. Veski. 1980. Chloroplast development and the synthesis of chlorophyll a and b and chlorophyll protein complexes I and II in the dark in *Tradescantia albiflora* (Kunth). *Planta* 150: 269~274.
- Anderson, J. M., J. C. Waldron and S. W. Thorne. 1978. Chlorophyll-protein complexes of spinach and barley thylakoids: Spectral characterization of six complexes resolved by an improved electrophoretic procedure. *FEBS Letters* 92: 227~233.
- Apel, K. and K. Kloppstech. 1980. The effect of light on the biosynthesis of the light-harvesting chlorophyll a/b protein. *Planta* 150: 426~430.
- Argyroudi-Akoyunoglou, J. H. and A. Castorinis. 1980. Specificity of the chlorophyll-to-protein

***: DCPIP; 2,6-dichlorophenol-indophenol

- binding in the chlorophyll-protein complexes of the thylakoid. *Arch. Biochem. Biophys.* **200** : 326~335.
- Argyroudi-Akoyunoglou, J. H., A. Akoyunoglou, K. Kalosakas and G. Akoyunoglou. 1982. Reorganization of the photosystem II unit in developing thylakoids of higher plants after transfer to darkness. *Plant Physiol.* **70** : 1242~1248.
- Arntzen, C. J. 1978. Dynamic structural features of chloroplast lamellae. In Current topics in bioenergetics, D. R. Sanadi(ed.), Vol. 8. pp.111~160. Academic Press, New York.
- Genge, S., D. Pilger and R. G. Hiller. 1974. The relationship between chlorophyll b and pigment-protein complex II. *Biochim. Biophys. Acta* **347** : 22~30.
- Harbone, J. B. 1973. Phytochemical methods. pp.204~208. Chapman and Hall, London.
- Hiller, R. G. and D. J. Goodchild. 1981. Thylakoid membrane and pigment organization. In The biochemistry of plants, M. D. Hatch and N. K. Boardman(eds.), Vol. 8. pp.1~50. Academic Press, New York.
- Inoue, Y., Y. Kobayashi, E. Sakamoto and K. Shibata. 1974. Action spectrum for photoactivation of the water splitting system in plastids of intermittently illuminated wheat leaves. *Physiol. Plant.* **32** : 228~232.
- Lacmmlil, U. K. 1970. Cleavage of structural protein during the assembly of the head of bacteriophage T₄. *Nature* **227** : 680~685.
- Lee, C. B., Y. N. Hong, S.H. Lee, Y. D. Cho and Y. M. Kwon. 1983. Development of electron transport and photophosphorylation in greening barley seedlings. *Kor. Biochem. J.* **16** : 61~71.
- Lichtenthaler, H. K., G. Burkard, G. Kuhn and U. Prenzel. 1981. Light-induced accumulation and stability of chlorophylls and chlorophyll-proteins during chloroplast development in radish seedlings. *Z. Naturforsch.* **36c** : 421~430
- Markwell, J. P., S. Reinman and J. P. Thornber. 1978. Chlorophyll-protein complexes from higher plants: A procedure for improved stability and fractionation. *Arch. Biochem. Biophys.* **190** : 136~144.
- Markwell, J. P., J. P. Thornber and R. T. Boggs. 1979. Higher plant chloroplasts: Evidence that all the chlorophyll exists as chlorophyll-protein complexes. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* **76** : 1233~1235.
- Ogawa, T. and K. Shibata. 1965. A sensitive method for determining chlorophyll b in plant extracts. *Photochem. Photobiol.* **4** : 193~200.
- Park, I. H., Y. N. Hong, Y. M. Kwon, S. H. Lee and Y. D. Cho. 1982. Formation of chlorophyll-protein complexes in the etiolated Ginseng (*Panax schinseng*) leaves during greening. *Kor. Biochem. J.* **15** : 65~73.
- Tanaka, A. and H. Tsuji. 1981. Changes in chlorophyll a and b content in dark-incubated cotyledons excised from illuminated seedlings: The effect of calcium. *Plant Physiol.* **68** : 567~570.
- _____ and _____. 1982. Calcium-induced formation of chlorophyll b and light-harvesting chlorophyll a/b-protein complex in cucumber cotyledons in the dark. *Biochim. Biophys. Acta* **680** : 265~270.
- _____ and _____. 1983. Formation of chlorophyll-protein complexes in greening cucumber cotyledons in light and then in darkness. *Plant & Cell Physiol.* **24** : 101~108.
- Thornber, J.P. 1975. Chlorophyll-proteins: Light-harvesting and reaction center components of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **26** : 127~158.