

## 陰地植物 人蔘 (*Panax ginseng* C.A. Meyer) 의 葉色素 構成에 대한 比較研究

林 善 旭 · 李 美 京

서울대학교 농과대학 농화학과

(1986년 5월 15일 수리)

### Comparative Study on the Leaf Pigment Compositions of Korean Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) as Shade Plant

Sun-Uk Lim and Mi-Kyong Lee

Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Seoul National University  
Suwon, Korea

#### Abstract

The differences of pigment compositions in leaf chloroplast between sun and shade plant were analyzed to investigate the photo-induced destructive effects on shade species under the strong light. Ginseng was selected as a C-3 shade plant, soybean as C-3 sun species and corn as C-4 malate forming sun species. To study the effects of light, ginseng was divided into two subgroups; the 1 and 2 lines received sunlight a little more than those of 3 and 4 lines.

Total amounts of chlorophylls, carotenes and xanthophylls were not considerably different among 3 and 4-lined ginseng, soybean and corn. However, the amounts of the three components of 1 and 2-lined ginseng and the chlrophylls content in corn leaves were smaller than those of others. The molar ratio of lutein to total carotenoids was significantly high in ginseng, that of violaxanthin was considerably high in corn and that of neoxanthin the highest in 1 and 2-lined ginseng among tested samples.

Chlorophylls to carotenes ratio was 16.0 and highest in ginseng, 13.2 in soybean and 12.0 in corn.

In 1 and 2-lined ginseng, the molar ratios of lutein and carotenes were lower while those of neoxanthin and violaxanthin were higher than those of the samples of more light.

It was noticeable that an antheraxanthin-like epoxy carotenoid detected in soybean and corn leaves extracts was not observed in ginseng leaf extract.

### 緒 論

人蔘은 직사광선과 高溫에 약하며, 透光率이 5% (慣行) 내지 15% (改良)인 日覆下에서만 재배가 가능하다<sup>1)2)</sup>. 이와 같이 人蔘이 光에 약한 까닭은 여러가지가 있을 수 있으나 다른 陰地植物의 경우에 비추어 볼 때 光合成수행능력이 陽地植物들에 비해 낮고 따라서 photodynamic 작용을 받을 기회가 더 많기<sup>3)</sup> 때문일 가능성이 크다. 엽록체에서 光을 포집하여 화학에너지로 전환하는 엽록소는 항상 carotenoid들과 함께 존재하는<sup>4)</sup> 데 이 carotenoid들은 광합성 유효과장 영역을 넓히는 외에 chlorophyll 들과 같은 photosensitizer로 작용할 수 있는 물질을 가지고 있는 세포들이 산소가 있는 곳에서 可視光線에 의한 파괴작용으로부터 세포들을 보호하는 역할을 할 수 있다고 제안되었다<sup>5-8)</sup>. C<sub>4</sub> 식물인 옥수수(의 돌연변이 품종<sup>9)</sup>등에서 carotenoid 구성이 정상 품종에 비하여 크게 차이날 때 自然光下에서 치명적인 영향을 받았다는 보고들은 이를 강력히 뒷받침한다. 본 연구는 人蔘, 콩, 옥수수잎의 엽록체 색소 구성에 있어 특이한 차이가 있는가 살펴보는 목적하에 이들 세 작물에 존재하는 색소의 종류와 함량을 조사하고 잎색소 구성비를 검토하였고, 인삼은 생육기간중 受光量이 좀 더 많은 前行의 것과 적은 後行의 것을 구분하여 조사함으로써 光에 의한 색소구성 변화 가능성을 검토하였다.

### 材料 및 方法

#### 1. 試 料

人蔘(*Panax ginseng*)葉은 紫莖種 4, 5, 6年根의 녹색잎을 1, 2行과 3, 4行的 것을 구분하여 9月上旬에 채취하였고, 大豆(*Glycine man* L.)葉은 6月上旬에 파종한 것을 8月下旬에서 9月上旬에 걸쳐 3회 채취하였으며 옥수수(*Zea mays* L.)葉은 9月下旬에 pot에 파종하여 11月上旬에 3회 채취하였다. 이들은 채취한 후 바로 光을 차단하여 ice box에 담아 운반후 바로 엽록소 함량측정시료를 조제하고 나머지는 -10°C 이하로 냉동 보관하며 carotenoid 색소분석에 사용하였다.

#### 2. 試藥과 機器

Ethyl ether은 금속 sodium 또는 ferrous sul-

fate 용액으로 처리한 후 CaCl<sub>2</sub>로 건조시켜 사용하였고 나머지 시약들은 화학용 특급 또는 일급 시약을 그대로 사용하였다. TLC는 Kiesel gel 60 G, 20cm×20cm 유리판을 사용하였다. 질소는 시중에서 구입하여 정제하지 않고 사용하였고 시료의 마쇄 및 추출에는 Potter's microhomogenizer와 유발을, spectrophotometer로는 Cary 118을 사용하였다.

#### 3. 抽 出

잎은 主葉脉과 잎가장자리를 제거하고 가위로 잘게 잘라 섞은후 1g을 취하여 n-hexane/acetone (6/4) 혼합용매로 4회(10ml씩 2회, 7ml씩 2회) 추출하고 계속하여 n-hexane/acetone(4/6) 혼합용매로 2회(10ml씩) 추출하였다. 추출 혼합액에 NaCl포화 H<sub>2</sub>O를 충분한 양 가하여 흔들어 수용액층을 제거하였고, 이 수용액층을 ethyl ether로 재추출하여 앞의 hexane 층과 합하였다. 2,000 g로 15분간 원심분리한 상등액에 NaCl을 가하여 수분을 제거한 다음 N<sub>2</sub> gas로 농축, 5ml로 定容하여 TLC 전개용 시료로 사용하였다.

#### 4. 엽록소 정량

0.2g 시료에 소량의 MgCO<sub>3</sub>와 80%(v/v) acetone 10ml를 가하여 光을 차단한 상태로 냉장고(4°C)에 4일간 때때로 흔들며 방치한후 8배 희석하여 Arnon<sup>10)</sup>의 방법에 따라 정량하였다.

#### 5. Carotenoid의 분리와 정량

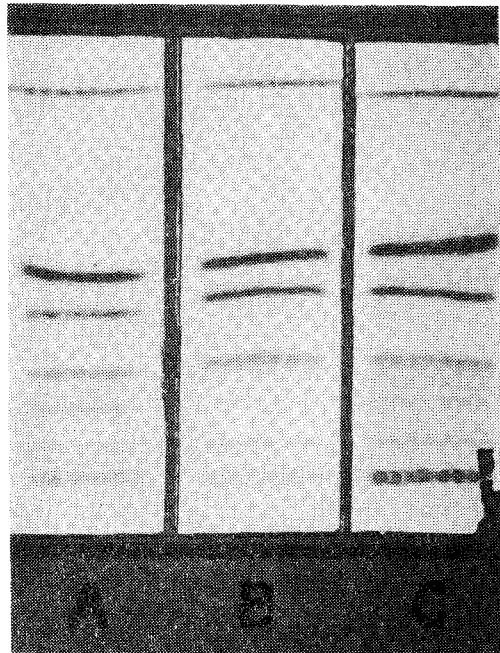
Kiesel gel 0.5mm 두께의 TLC판에 추출액 500 μl를 띠모양으로 塗布하고 광을 차단한 展開箱에 즉시 넣어 전개시켰다. 전개용매계로는 petroleum ether(b.p. 30~70°C)-ethyl ether-diethylamine (29:15:6)<sup>11)</sup>을 사용하였다. 약 15cm 전개되었을 때 꺼내어 즉시 각 carotenoid 띠를 끊어내어 용출관에 옮겨 Rf 값이 가장 큰 carotene은 n-hexane으로, 나머지 황색색소들은 ethanol로 용출시켰다<sup>12)</sup>. 필요시에는 용출된 액을 원심분리하여 gel을 제거하였다. 이 모든 과정은 어두운 장소에서, TLC판이 마르기전에 신속히 끊어모아 즉시 용출시켰고 흡광도 범위내로 희석하여, 흡수 spectra와 각 carotenoid의 최고흡수파장에서 흡광도를 측정하여 Jeffrey<sup>12)</sup>의 흡수계수로써 定量하였다.

Carotene(light petroleum)	$\epsilon$ 450nm	250.5l/g·cm
Lutein(ethanol)	$\epsilon$ 447nm	255.0l/g·cm
Violaxanthin(ethanol)	$\epsilon$ 441nm	225.0l/g·cm
Neoxanthin(ethanol)	$\epsilon$ 438nm	227.0l/g·cm

분리된 각 색소들은 Zechmeister<sup>13)</sup>의 방법으로 분배계수를 측정하였다. Epoxy test는 ethanol 용액에 진한염산을 한두방울 떨어뜨려 변색을 관찰하고 변화된 흡수 spectra를 관찰하였다<sup>14)</sup>.

結果 및 考察

인삼, 콩 및 옥수수잎의 추출물을 TLC로 분리한 결과 4종의 황색 carotenoid 색소들과 2종의 chlorophyll 색소들이 얻어졌다(Fig. 1). 콩과 옥수수잎에서는 인삼잎에서 거의 볼 수 없는 Fraction V의 황색 띠가 하나 더 관찰되었다. 각 색소띠를 용출시켜 얻은 흡수곡선은 Fig. 2와 같으며 각 색소의  $\lambda_{max}$ 는 Table 1에서 보는 바와 같다. Fraction I은 n-hexane : 95% methanol 사이에 99 : 1인 epiphase 색소로  $\beta$ -carotene이 주이고 이에  $\alpha$ -carotene이 미량 혼합되어 있는 것으로 보이며 Fraction IV는  $\lambda_{max}$ , 분배실험, epoxy test 결과 등에서 lutein으로 판명되었다<sup>12-14)</sup> 한편 Fraction V, VI과 VII은 epoxy test에서 청색을 띠어 陽性인 점과  $\lambda_{max}$  비교로 각각 antheraxanthin-like pigment, violaxanthin 및 neoxanthin으로 판명되었다. 본 실험 결과만으로는 Fraction V를 정확히 同定할 수 없었으며 시금치잎<sup>15)</sup> 콩잎<sup>16)</sup> 등에서 관찰된 antheraxanthin이나  $\lambda_{max}$ 가 비교적 가까운 lutein-5,6-monoepoxide일 것으로



Fraction	Color	Rf value
Solvent front		
I	Orange	0.96
II	Blue-green	0.65
III	Green	0.49
IV	Yellow	0.32
V	Yellow	0.24
VI	Yellow	0.19
VII	Yellow	0.08
Origin	Yellow-green	0

Fig. 1. Thin layer chromatogram of chloroplast pigments of soybean(A), ginseng(B) and corn(C). Solvent: petroleum ether(b.p. 30~70°) — ethyl ether — diethylamine(29 : 15 : 6).

Table 1. Electronic absorption maxima and some properties of pigment fractions

Fraction	Partition coef. (Hexane: 95% MtOH)	Epoxy test	Solvent	Maxima observed (nm)	Maxima (Ref. 12, 14) reported (nm)	Pigment
I	99 : 1	—	n-Hexane	450, 476	425†, 451, 482	Carotene
II	—	—	Acetone	428, 615, 665	430, 615, 663	Chlorophyll a
III	—	—	Acetone	453, 598, 646	455, 598, 645	Chlorophyll b
IV	12 : 88	—	Ethanol	422, 446, 475	420, 446, 476	Lutein
V	—	+	Ethanol	420, 444, 471.5	424, 447, 477 418, 442, 471	Antheraxanthin Lutein-5,6-epoxide
VI	—	+	Ethanol	418, 440, 470	420, 441, 471	Violaxanthin
VII	—	+	Ethanol	415, 438, 466	417, 438, 467	Neoxanthin

† : shoulder

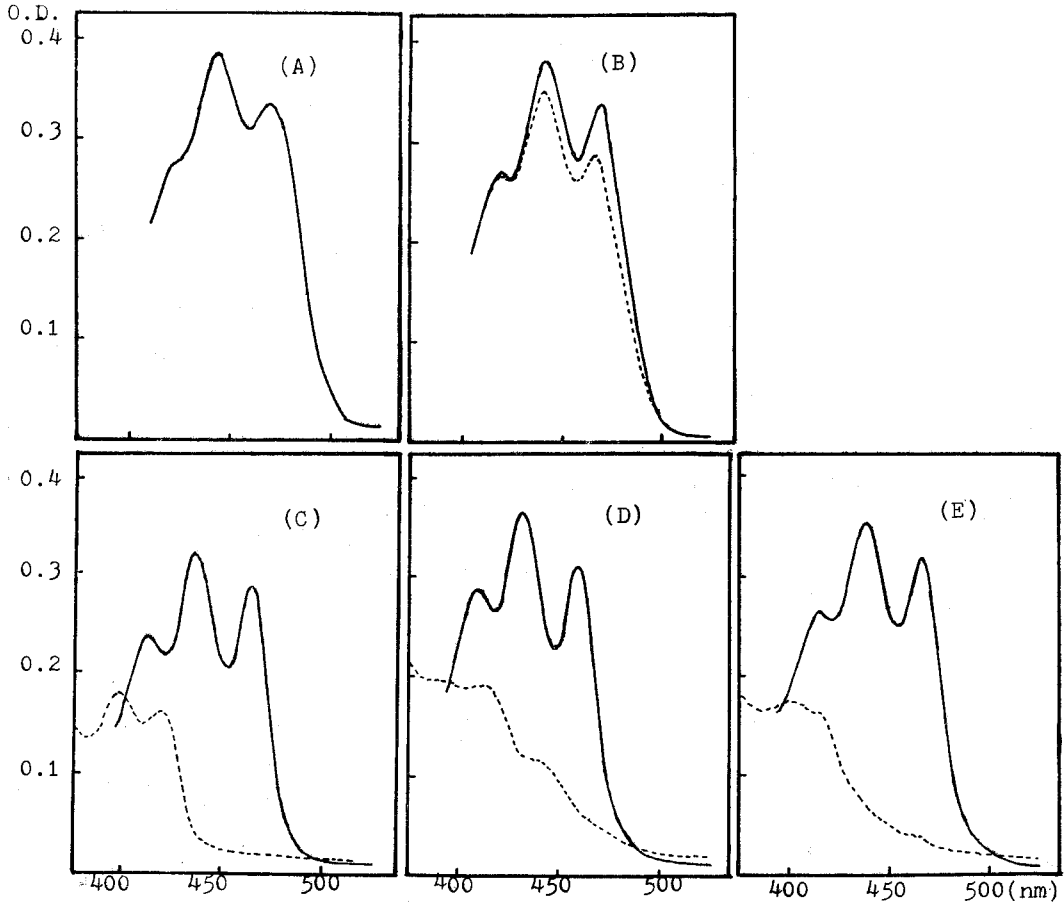


Fig. 2. Electronic absorption spectra of carotenoid pigments isolated from leaves. (A) fraction I,  $\beta$ -carotene, (B) fraction IV, lutein, (C) fraction VI, violaxanthin, (D) fraction VII, neoxanthin, (E) fraction V, antheraxanthin-like. — carotenoids in n-hexane (A) or ethanol, ..... carotenoids in ethanol added 2 drps of conc. HCl.

추측하였다. 이 Fraction은 이들 두가지 이성체의 분자량인 576과  $\lambda_{max}$ 에서 total carotenoids의 흡수계수 근사값으로 제안된<sup>17)</sup>  $\epsilon_{1\%}^{1cm}$  2,500을 이용하여 그 근사값이 정량되었다. Strain<sup>18)</sup> 등이 보고한 색소의 심각한 불안정성은 주위의 온도와 광조건에 유의하고 순수용매를 이용하며 흡착제 위에서 마르지 얇게끔 신속히 수행할 때 문제가 되지 않았으나 ethoxyquin 등의 안정제 사용도<sup>19)</sup> 고려해 볼만하다고 사료된다.

#### 엽록체 색소 구성의 작물간 비교

인삼잎에 있어서는 콩에 비하여 carotene 함량이 10~40% 적었으며, xanthophyll 함량도 2~20% 적었다(Table 2). Chlorophyll 함량은 受光

량이 비교적 많은 前行(全光량의 약 10~25%)의 것은 콩잎에 비하여 현저히 적었으며 後行(全光량의 약 5%)의 것은 콩잎과 비슷하였다. 옥수수잎은 콩과 인삼에 비해 chlorophylls 함량이 적고, carotene 함량은 콩보다는 20% 적으나 前行인삼보다는 많고 後行 인삼보다는 적었다. 그러나 xanthophylls 함량은 인삼잎보다 3~20% 많고, 콩잎보다는 약간 많았다. 옥수수잎에서 chlorophyll함량이 낮게 관찰된 점은 실험재료 재배기간이 가을이었으므로 환경 부적합으로 인한 chlorophyll 함성량이 적었기 때문이거나<sup>20)21)</sup> Anderson<sup>22)</sup>이 언급한 "chlorophyll-protein complex 형성의 제 1 단계에 있는 경우나 어떤 C-4 식물들에 있어 chlorophyll 함량이 낮으며 특히 chl. b가 더욱

**Table 2.** Contents of chlorophylls, carotenes and xanthophylls in the leaves of ginseng, soybean and corn

	Ginseng			Soybean	Corn
	line 1+2	line 3+4	Aver.		
	$\mu$ mole per g fresh weight				
Total chlorophylls	3.813	5.008	4.4105	4.974	3.5410
Carotenes	0.2264	0.3352	0.2808	0.3787	0.2967
Xanthophylls	0.6942	0.8378	0.7660	0.8598	0.8651
Total carotenoids	0.9206	1.1730	1.0468	1.2385	1.1618

**Table 3.** Compositions of carotenoids extracted from ginseng, soybean and corn leaves

	Ginseng			Soybean	Corn
	line 1+2	line 3+4	Aver.		
	% mole				
Carotenes	24.6	28.6	26.6	30.9	25.6
Lutein	45.2	50.9	48.1	38.1	34.3
Unidentified carotenoid	—	—	—	7.1	6.1
Violaxanthin	14.0	10.9	12.5	13.0	24.3
Neoxanthin	16.2	9.7	13.0	10.9	9.7

났다”는데에 해당되기 때문인 것으로 생각된다. 인삼잎들 간에는 비교적 受光量이 많은 前行의 잎에서 後行의 잎보다 chlorophyll과 carotenoid 함량이 훨씬 적었다. *Sinapis alba*의 경우 그늘에서 키운 잎의 이들의 함량이 陽地의 것에서 보다 적었고 특히 carotenoid류의 함량에 있어 그 차이가 컸다는 Grahl 등의<sup>23)</sup> 보고와는 다른 결과 이었다.

**각 carotenoid 함량 및 분포 비교**

인삼잎에서 光合成의 光反應系 I (PS I)에 주로 관여되는 carotenes의 전체 carotenoids에 대한 물비는 26.6%로 콩잎의 30.9%보다 적은 편이나 PS II의 주 carotenoid인 lutein은 48.1%로 콩잎보다 10%, 옥수수잎 보다는 14% 많음이 특징적이었다(Table 3). 한편 violaxanthin은 12.5%로 콩잎과 비슷하나 옥수수잎의 24.3%에 비해서는 현저히 적었다. Neoxanthin은 인삼잎에서 약간 많았으며 콩과 옥수수에서는 별 차이가 없었다. 그러나 콩과 옥수수에서 6~7%로 관찰된 antheraxanthin 유사물은 인삼잎에서는 거의 관찰되지 않았다. 이 결과는 Krinsky<sup>5)</sup>가 antheraxanthin

과 zeaxanthin을 光酸化로부터 세포를 보호하는 “chemical buffer”로 제안한 점을 고려할 때 주목할만한 점이라고 사료된다(Fig. 3).

인삼잎의 환경에 의한 차이를 살펴보면 後行보다 前行의 잎에서 carotene과 lutein은 각각 4%, 5.7%가 적다. 한편 epoxide인 violaxanthin 및 neoxanthin은 이와 반대로 前行잎에서 3% 내지 6.5%만큼 증가되었다. 이러한 결과는 光에 노출이 많은 前行잎에 있어서 carotene과 lutein의 감소가 violaxanthin과 neoxanthin의 증가와 관계가 있음을 시사한다고 보여진다. 이와 유사한 예로 Mousseron<sup>24)</sup> 등이 O<sub>2</sub>에 노출된 carotenoid 유사물에서 neoxanthin과 fucoxanthin의 allen성 부분과 동일한 것들을 갖는 생성물을 관찰한 바 있다. 한편 인삼잎에서도 Glover<sup>25)</sup> 등이 보여준 바와 같이 光에 의하여 생성되는  $\beta$ -carotene의 epoxides가 직접 다시 환원되지 않고 더욱 파괴되는 과정이 진행될 가능성도 크다. 이들 epoxides들의 증가는 노화과정에서 생성되는 것은 아닌 것으로 보여진다<sup>26)</sup>.

**Carotenes 함량에 대한 chlorophyll 함량**

인삼잎에서는 chlorophyll b에 대한 chlorophyll

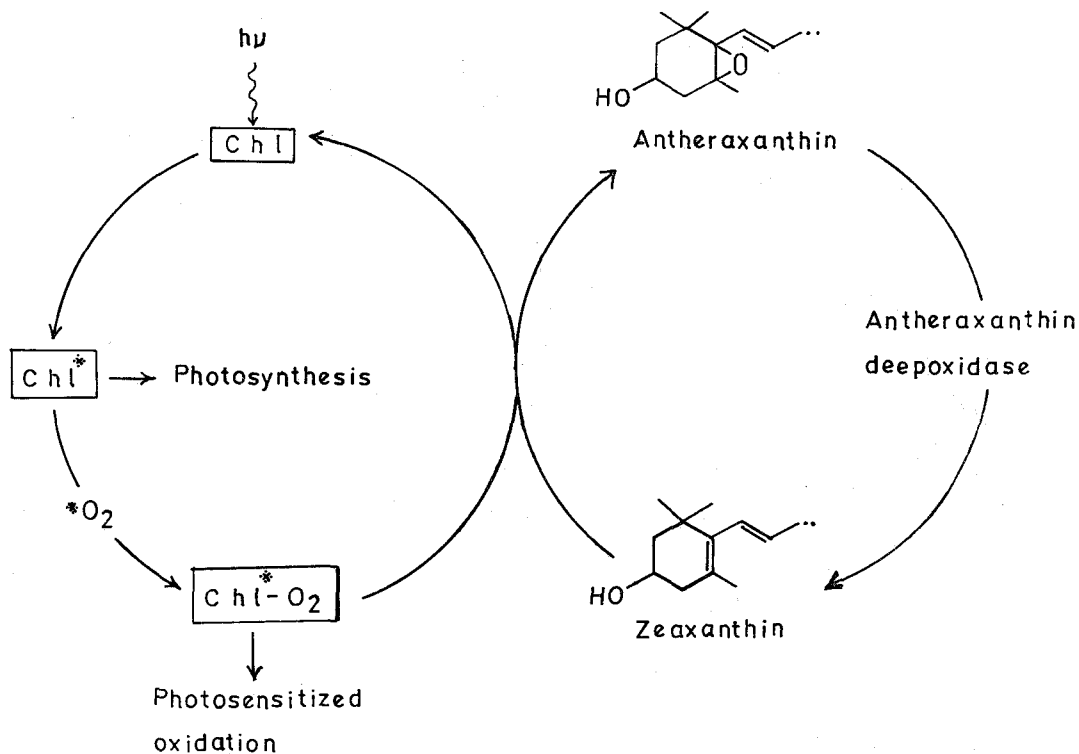


Fig. 3. The epoxide cycle and the deactivation of excited chlorophyll-O<sub>2</sub> complexes capable of giving rise to harmful photosensitized oxidations (from Krinsky, 1966).

Table 4. Molar ratios of chlorophylls, carotenes and xanthophylls in ginseng, soybean and corn leaves

	Ginseng			Soybean	Corn
	line 1+2	line 3+4	Aver.		
	molar ratios				
Chlorophylls : Carotenes	16.9 : 1	15.0 : 1	16.0 : 1	13.2 : 1	12.0 : 1
Chlorophyll a : Chlorophyll b	2.5 : 1	2.6 : 1	2.6 : 1	3.2 : 1	3.4 : 1
Chlorophylls : Carotenoids	4.1 : 1	4.3 : 1	4.2 : 1	4.0 : 1	3.0 : 1
Xanthophylls : Carotenes	3.1 : 1	2.5 : 1	2.8 : 1	2.3 : 1	3.0 : 1

a의 비가 2.6으로 콩의 3.2나 옥수수 3.4보다 낮았으며 이는 陽地일과 陰地일에서 보고된 차이와 유사하였다(Table 4). Carotenes에 대한 xanthophylls의 비율은 옥수수일에서 3.0으로 가장 컸고, 콩일에서 2.3으로 가장 낮았다. Boardman<sup>27)</sup>은 시금치에서 2.6 정도를 얻었다. Carotenoids 총량에 대한 chlorophylls 총량의 비율은 인삼과 콩에서는 비슷한 4.0 부근이었고, 옥수수일에서는 3.0으로 chlorophylls의 낮은 수준을 반영했다. 이 값은 시금치에서 보고된<sup>27)28)</sup> 4~7의 범위에

해당되기는 하나 좀 낮은 편이었다. Carotenes에 대한 chlorophylls 함량 비율은 콩일과 옥수수일에서는 12~13으로 비슷하였고, 인삼일에서는 16으로 나타나 인삼일에서 carotenes의 상대량이 적은 것을 반영하였다. 後行의 인삼일에서는 약간 낮았으나 이는 前行에서 carotenes이 더 빨리 변화됨을 알 수 있다. 이것은 chlorophylls보다 정도가 커서 Song<sup>31)</sup>등이 보여준 chlorophyll a의 파괴에 대한 β-carotene의 보호작용과 유사한 보호작용의 결과로 생각될 수 있다. Krinsky<sup>29)</sup>는

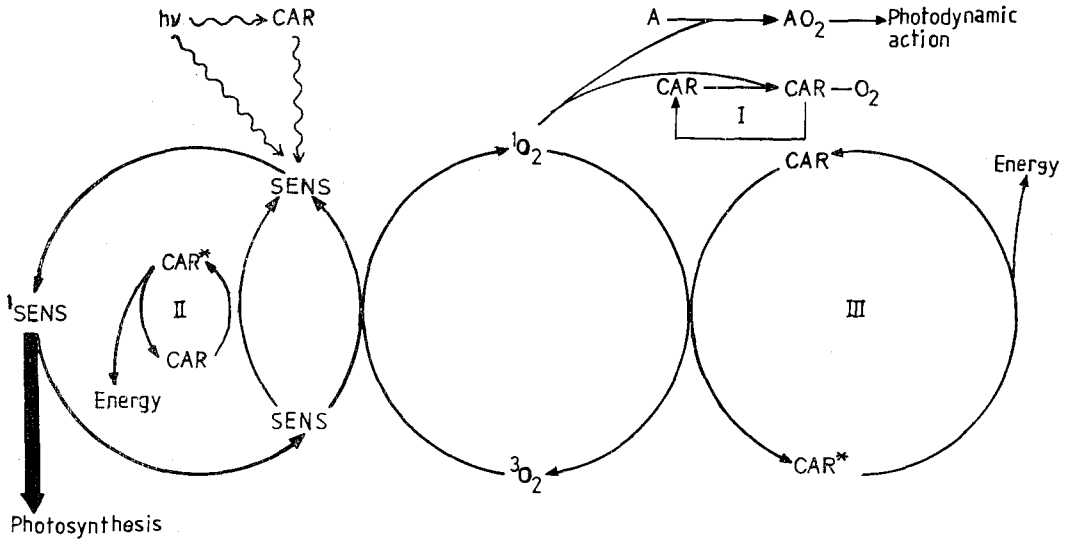


Fig. 4. The three mechanisms whereby carotenoid pigments (CAR) protect cells against photosensitized oxidation (from Krinsky<sup>72</sup>, 1971).

carotenoids가 光에 의해 생성된  $^1O_2$  (singlet excited oxygen)에 의한 "photodynamic action"으로부터 세포를 보호할 수 있는 세가지 기작의 가설을 제시한 바 (Fig. 4) 그중 제 I 기작이 진행되었을 가능성이 있다.

음지식물에 있어서는 PS II의 2次電子受容體(P), cytochrome 및 RuDP carboxylase 등의 함량수준이 낮으므로<sup>29)</sup> 광합성이 느리게 진행될 것이고 따라서 동일한 량의 光을 받을 때  $Chl^*$ ,  $^1O_2$  등이 생성될 기회가 양지식물에서 보다 많을 것으로 생각할 수 있으며 carotenoids 함량수준과 구성은 좀더 중요한 의미를 가질 것으로 기대된다. 본 실험결과는 최대 受光量이 全光量의 30% 정도인 前行 인삼잎의 carotenes 함량이 최대 受光量이 6% 정도로 기대되는 後行에서보다 적게 나타남으로써 인삼에서는 양지식물에서 볼 수 있는 光에 적응하여 carotenes 함량이 증가되는 것과 반대의 현상을 보였다. 따라서 인삼잎에서는 光 또는 光에 의한 간접효과인 高溫 등에 의해 carotenes 이 다른 식물에 비하여 더 많이 산화되거나, 다시 carotenes로 되돌아가는 효소적 과정이 덜 활발하고, 그 합성속도에 있어서도 Grumbach 등은<sup>30)</sup> 무의 幼苗에서 [3H]-mevalonate 등을 사용 양지엽록체에서 이들의 합성속도가 증가되는 것을 관찰하였으나 인삼에서는 光合成 과정내의 다른 요인들과 함께 光에 대한 적응성에 한계를 갖는 것

으로 사료된다. 그러나 본 실험결과 만으로 이와 같은 가정을 지지하기에는 문제점들이 많이 남아 있다. 인삼의 年根別 차이와 變種들 간의 차이에 대해서도 시기별로 연구되어야 할 것이며 합성속도 및 다른 광합성 구성요소들과도 관련지어 연구되어야 할 것이다.

### 要 約

陰地植物인 人蔘과 陽地植物인 大豆 및 옥수수 사이에는 葉色素의 構成에 種類와 量的比率의 差異가 있을 것으로 推定하여 이를 比較檢討한 結果를 이에 報告한다.

後行의 인삼, 콩, 옥수수간에 총엽록소, carotenes, xanthophylls 함량의 큰 차이는 나타나지 않았으며 前行의 인삼에서는 이들 모두의 함량이 낮았다. 인삼에서는 전체 carotenoids에 대한 lutein의 물비가 높았고 옥수수에서는 violaxanthin의 물비가 높았으며, 前行의 인삼에서 neoxanthin의 물비가 높았다. 콩, 옥수수에서는 antheraxanthin類로 추정되는 epoxy carotenoid가 있었으나 인삼에서는 관찰되지 않았다. Carotenes 함량에 대한 chlorophyll 함량의 비는 인삼에서 가장 높았다. 인삼에 있어서는 光을 더 받는 前行에서 lutein과 carotenes의 물비가 감소되고, neoxanthin과 violaxanthin의 물비가 증가되었다.

## 參 考 文 獻

1. 김준호 : 공주사대논문집, 1 : 164(1962).
2. 박 훈 : J. Korean Soc. Soil Sci. Fert, 12: 1(1979).
3. Koka, P. and P.S. Song: Photochem. Photobiol., 28 : 509(1978).
4. Goodwin, T.W.: "Phytochemistry," Vol. 1 (L.P. Miller ed.) Van Nostrand Rein Hold Co. New York., pp.112~142(1973).
5. Krinsky, N.I.: "Biochemistry of Chloroplasts," (T.W. Goodwin, ed) Vol. 1. Academic Press, New York, pp. 423~430(1966).
6. Krinsky, N.I.: "Photophysiology," Vol. 3. (A.C. Giese, ed.) Academic Press, New York, pp. 123~195(1968).
7. Krinsky, N.I.: "Carotenoids," (Isler, O. ed.) Birkhäuser Verlag. Basel, pp. 670~716 (1971).
8. Claes, H. and T.O.M. Nakayama: Z. Naturforsch. 146 : 746(1959).
9. Anderson, I.C. and D.S. Robertson: Plant Physiol., 35 : 531(1960).
10. Arnon, D.I.: Plant Physiol., 24 : 1(1949).
11. Roberts, J. and D.G. Whitehouse: "Practical Plant Physiology," pp. 83~86(1976).
12. Jeffrey, S.W.: Biochem. Biophys. Acta, 162 : 271(1968).
13. Petracek, F.J. and L. Zechmeister: Anal. Chem., 28 : 1484(1956).
14. Davis, B.H.: "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments," (T.W.. Goodwin, ed.) Academic Press, New York, p8489(1965).
15. Yamamoto, H.Y., J.L. Chang and M.S. Aihara: Biochim. Biophys. Acta, 141 : 342 (1967).
16. Yamamoto, H.Y. and C.O. Chichester: Biochim. Biophys. Acta, 109 : 303(1965).
17. Liaaen-Jensen, S. and A. Jensen: "Methods in Enzymology," Vol. 23 (A. San-Pietro ed.) Academic Press, New York, London pp. 582~602(1971).
18. Strain, H.H., Sherma, J. and M., Grandolfo: Anal. Chem., 39 : 926(1967).
19. Nelson, J.W. and A.L. Livingston: J. Chromatog., 28 : 465(1967).
20. Friend, D.J.C.: Plant, Physiol. 13 : 776(1960).
21. Eskins, K., Duysen, M., Dybas, L. and S. McCarthy: Plant Physiol., 77 : 29(1985).
22. Anderson, J.M.: Biochim. Biophys. Acta 416 : 191(1975).
23. Grahl, H. and A. Wild: Z. Pflanzenphysiol. Bd. 67 : 443(1972).
24. Monsseron-Canet, M., Dalle, J.P. and J.C. Mani: Photochem. Photobiol., 9 : 91(1969).
25. Glover, J. and E.R. Redfearn. Biochem., 58 : XV(1954).
26. Goodwin, T.W.: J., Biochem. 68 : 503(1958).
27. Boardman, N.K. and J.M. Anderson: Biochim. Biophys. Acta, 143 : 187(1967).
28. Trosper, T. and C.F. Allen: Plant Physiol., 51 : 584(1973).
29. Boardman, N.K.: Ann. Rev. Plant Physiol., 28 : 355(1978).
30. Grumbach, K.H. and H.K. Lichtenthaler: Photochem. Photobiol., 35 : 209(1982).