韓雜草誌 17(3) : 314~324 Kor. J. Weed Sci. 17(3) : 314~324(1997)

실새삼의 광합성색소 생합성특성에 관한 연구

김진석 · 곽현희 · 김병철 · 조광연*

Study on the Biosynthetic Characteristics of Photosynthetic Pigments in Dodder(*Cuscuta australis* R. Br.) Plant

Kim, J.S., H.H. Kwak, B.C. Kim and K.Y. Cho*

ABSTRACT

This study was conducted to investigate whether 1) photosynthetic pigments(chlorophylls and carotenoids) are formed in dodder plant(*Cuscuta australis*), 2) there are any characteristics in the pigment biosynthesis, compared to that of other normal plants, and 3) dodder responds to some herbicides having target site on chloroplast.

1. Chlorophyll content of dodder tendrill grown under a natural daylight was 9 times and 50 times lower than that of field bindweed stem and leaf, respectively.
2. The photosynthetic pigment contents varied in different tissues, being higher in a apical region than in a lower region of seedling or tendrill. Chlorophyll wasn't almost observed below the 4th internode from the upper.
3. Pigment contents were greatly dependent on light intensity so that there were 4 to 6 times difference among light conditions. When the shoot containning low pigment contents under natural light, was incubated in growth chamber with various light intensities, the pigment contents were increased by 3 times of initial contents at about 97 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR. While the change in pigment contents was not observed at above 450 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR
4. Exogenous supply of 5mM 5-aminolevulinic acid increased protochlorophyllide by 7 times and 1.4 times in the etiolated shoot from field bindweed rhizome and in dodder stem, respectively, showing that dodder relatively has a low response to 5-aminolevulinic acid.
5. Pigment loss was observed in the treatment of paraquat, norflurazon, oxyfluorfen and diuron, and protoporphyrin IX was accumulated by oxyfluorfen as in normal plants

Based on above results, several chracteristics of pigment biosynthesis in dodder seem to be summerized as follows. Photosynthetic pigment biosynthesis in *Cuscuta australis* runs even in low level. The pigment contents is differentially distributed in different regions and their contents seem significantly to be controlled by light intensities. Especially, chloroplast rapidly tends to degenerate

* 한국화학연구소 Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O.Box 107, Yusong, Taejon 305-600, Korea
〈1997. 8. 21 접수〉

with the development of tissue. Some herbicides having target site on chloroplast induce damage to dodder stem but are unlikely to control it well in field, except paraquat, due to low chloroplast activity and parasitic mode of nutrition.

Key words : *Cuscuta australis,* Dodder, Chlorophyll, Carotenoids, Pigment biosynthesis, Light intensity

서 언

새삼류(*Cuscuta* spp.)는 메꽃과(Convolvulaceae)에 속하는 기생성 고등식물로서 잎이 퇴화되어 있다[8,22]. 발아후 종자내의 영양분으로 약 2-3주까지는 생존할 수 있으나 그 후로는 자체 능력으로 생명을 유지할 수가 없기 때문에 주로 콩과식물을 비롯한 광엽식물과 일부 화본과식물의 잎과 줄기에 흡기를 부착하여 기주식물 체내의 유기영양분, 수분, 무기영양분 등을 흡수하여 생존한다[8,22,24]. 세계적으로 볼 때 새삼류는 대략 121종으로 보고되고 있으며 초본식물만을 기주식물로 하는 것, 목본식물까지도 기생하는 것 등 다양하다[22]. 우리나라의 경우는 세 가지 종이 소개되어 있으며[15] 이중 실새삼은 남부지방의 야외지에 많이 분포하고 있다. 현재까지 실새삼에 대한 우리나라의 연구는 흡기발생[16], 뿌리퇴화[3], 번식[15] 등에 국한되어 왔으나 최근에 그 발생정도가 높아져 문제가 되고 있기 때문에 생리적 특성의 파악은 물론 방제에 대한 보다 광범위한 연구가 필요하다.

새삼류 중에는 광합성이 전혀 불가능하다고 알려진 종이 있는 반면 *Cuscuta reflexa*와 같은 종은 어느 정도 광합성을 할 수 있으며[19] Rubisco 효소활성이 있어[18] 광조건하에서 약간의 CO_2를 고정하는 것으로 알려져 있다[6,18]. 광합성을 한다는 것은 엽록체가 생성되며 광합성색소 생합성과정 자체가 존재함을 의미할 것이다. 그러나 지금까지 연구내용중에는 광합성색소의 존재와 종류만 보고되었을 뿐이며[6,9,18,19] 생합성과정 자체의 특성에 대한 연구 사례가 없었다.

따라서 본 연구에서는 실새삼이 생육하는 동안 실제 광합성색소 생합성과정이 타 식물과 비교하여 어떠한 특성을 가지고 작동되고 있는지를 알아보고, 광합성색소 대사과정에 작용점을 가지는 제초제들에 대한 반응성 여부와 이들 제초제가 실새삼 방제에 효과적으로 이용될 수 있겠는지를 검토하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

도꼬마리를 대형폿트에 파종하여 본엽이 출현할 무렵 실새삼 종자를 줄기근처에 파종한 후 약 3-4주 키운 다음, 기주식물에 완전히 부착한 개체로부터 자라나온 줄기선단 부위(권지를 포함한 10-15cm)를 실험재료로 사용하였다. 필요한 경우는 야외에서 줄기선단 부위를 채취하기도 하였다. 비교식물로서는 온실에서 자라고 있는 메꽃의 근경, 줄기, 잎 등을 이용하였다.

2. 실새삼 부위별 광합성색소함량

종자로부터 출현된 유묘의 경우는 발아후 7-8cm 정도 신장된 것을 선단으로부터 2cm씩 잘라 색소함량을 조사하였고, 기생하고 있는 실새삼 생육지의 경우는 신장지(extension stem : 주로 뻗어나가는 역할을 하며 권지보다는 굵고 마디길이가 짧은 편임), 권지(twining stem : 줄기마디에서 분지되어 나와 기주식물을 감는 역할을 하는 줄기로서 초기엔 신장지 보다 길고 가늘게 자람), 선단 15cm 아래의 절간으로 나누어 각각 엽록소와 카로티노이드 함량을 조사 비교하였다.

3. 광도별 광합성색소함량 변화

야외의 자연광 조건(약 1,700 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR)에서 자라고 있는 실새삼의 줄기선단 부위를 취하여 직경 15cm의 Petri-dish에 치상한 후 여러 광도로 조절된 30℃의 생육실에 24시간 두어 색소함량을 조사하였다. 한편 자연광하에서 자라고 있는 실새삼을 저광도하에 두었을 때 줄기의 부위별로 어떠한 색소함량변화가 있는지를 알기 위해서는 채취한 재료를 86 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR 광도와 30℃ 온도조건을 가진 생육실에 24시간 둔 다음 색소함량을 조사하였다.

4. 5-aminolevulinic acid (ALA)와 oxyfluorfen의 처리에 의한 엽록소 생합성과정의 반응

외부적으로 ALA를 공급하였을 때 암조건에서의 protochlorophyllide와 protochlorophyll의 혼합물 [Pchl(ide)] 함량의 증가와 명조건에서의 엽록소 증가가 확인되는지를 실새삼 줄기와 메꽃 신초를 가지고 조사 비교하여 보았다. 즉 직경 15cm의 Petri-dish에 여러 농도의 ALA 용액을 분주한 후 엽록소함량이 낮은 실새삼 줄기선단부위 10-15cm 또는 메꽃 근경을 암조건에 일주일 두어 출현한 녹화되지 않은 신초를 절단하여 치상하였다. 이를 30℃의 암조건에 24시간 둔 후 Pchl(ide)함량의 증가여부를 조사하였다. 외부적으로 ALA를 공급하였을 때 엽록소가 증가되는지를 알아보기 위해서는 위와 같이 처리된 실새삼 재료를 암조건에서 14시간 둔 다음 명조건(5.7 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR)에 옮겨 10시간 동안 배양한 후 엽록소함량을 조사하였다. 한편 protoporphyrin IX (Proto IX)의 축적여부를 알기 위해서는 100 μM oxyfluorfen 용액에 위와 같은 방법으로 재료를 치상한 후 30℃의 암조건에 14시간 둔 다음, 91 μE $m^{-2}s^{-1}$ PAR의 광도에 1일 동안 둔 후 Proto IX의 함량을 조사하였다.

5. 제초제에 대한 반응

실새삼 자체가 paraquat, norflurazon, oxyfluorfen, diuron 등에 반응을 보이는지를 확인하기 위하여 위와 같은 방법으로 제초제 용액위에 실새삼 줄기선단을 치상한 후 30℃의 암조건에 17시간 둔 다음, 91 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR의 광도로 조절된 30℃의 생육실에 oxyfluorfen과 paraquat를 처리한 경우는 1일, norflurazon과 diuron을 처리한 경우는 2일 동안 둔 후 색소함량의 변화를 조사하였다.

6. 광합성색소함량 측정

엽록소와 카로티노이드는 methanol로 색소를 추출한 다음 Lichtenthaler방법으로 정량하였으며[17], Pchl(ide)는 DMF로 색소를 추출한 다음 Moran방법으로[20], Proto IX 함량은 fluorescence spectrophotometer를 이용하여 정량하였다[13].

결 과

1. 광합성 색소함량의 변화

우리나라에서 식생하고 있는 실새삼에는 광합성색소가 있는지, 있다면 어느 정도인지를 조사해 보기 위하여 실새삼과 동일한 과에 속하는 메꽃식물을 선정하여 비교하여 보았다. 자연광 조건에서 자라는 메꽃 잎의 엽록소와 카로티노이드 함량은 생체중 1g당 각각 3,299 μg, 497 μg이었으며, 줄기의 엽록소와 카로티노이드 함량은 각각 656 μg, 50 μg으로서 잎과 줄기의 카로티노이드에 대한 엽록소 함량 비율이 각각 6.6, 13이었다. 그런데 실새삼의 경우 엽록소 함량은 메꽃 잎에 비해 50배 낮았고, 메꽃 줄기에 비해서는 9배 정도 낮았으며 카로티노이드 함량에 있어서는 잎에 비해 4-5배 정도 낮았고 줄기에 비해서는 오히려 2배 정도 높은 경향이었다. 그리하여 카로티노이드에 대한 엽록소 함량의 비율이 강광조건에서는 0.67이었다. 한편 약광조건에서 자라는 실새삼은 강광조건에서 자라는 실새삼에 비해 카로티노이드 함량에서는 큰 차이가 없었으나 엽록소 함량은 2-3배 정도 많아 카로티노이드에 대한 엽록소 함량의 비율이 1.4정도로 약간 상승하였으나 비기생성 식물인 메꽃에 비해서는 매우 낮은 경향이었다(Table 1). 이로 보아 실

Table 1. Comparison of chlorophyll and carotenoid contents between field bindweed and dodder tendril.

Species	Light condition	Chlorophyll(A)	Carotenoids(B)	A/B
		μg/g freshy weight		
Field bindweed				
leaf	sunlight[1)]	3299.6 ± 54.5	497.4 ± 7.9	6.63
stem	sunlight	656.1 ± 25.9	50.6 ± 2.1	13.0
Dodder	sunlight	70.8 ± 5.3	105.3 ± 8.9	0.67
	shade[2)]	174.1 ± 5.4	123.3 ± 2.7	1.41

[1)] about 1,680 μ Em^{-2}s^{-1} PAR, [2)] about 168 μ Em^{-2}s^{-1} PAR

새삼은 어떤 원인인지는 모르나 정상식물에 비해 매우 낮은 엽록소 함량을 가지고 있었고, 상대적으로 카로티노이드에 대한 엽록소 함량의 비율이 낮은 특성을 보였다.

한편 광합성색소 함량이 조직부위별로 어느 정도 차이를 보이는지를 비교하여 보았다. 종자로부터 발아된 실새삼 유묘의 경우 발아후 7-8cm 정도 신장된 것을 선단으로부터 2cm씩 잘라 색소함량을 조사하였을 때 선단부위가 색소함량이 가장 높았고 아래로 내려갈수록 낮아지는 경향이었다(Fig. 1). 생육지의 경우는 신장지(extension stem)에서 색소함량이 가장 높았고, 권지(twining stem), 선단 15cm 아래의 절간 순으로 엽록소와 카로티노이드 함량이 낮아 조직부위별로 현저한 차이가 있었으며(Table 2), 본 표에서는 나타나 있지 않지만 네째마디 이하의 절간은 거의 엽록소가 없었다. 따라서

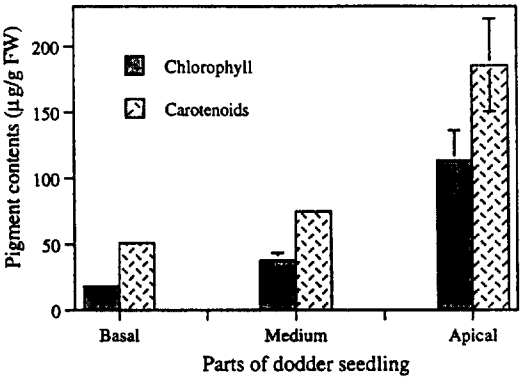

Fig. 1. Chlorophyll and carotenoid contents in different parts of dodder seedling. Dodder seedling was cutted into below 4cm(basal), 2 to 4cm(medium) and 2cm from the top(apical) and then piments contents were determined.

발육초기 상태의 조직에서는 색소함량이 높다가 생육이 진전됨에 따라 점점 그 함량이 낮아지는 특징을 가지고 있었다.

이들 조직에 광합성색소가 계속적으로 생합성되는지를 간접적으로 알아보고자 강광조건에서 자란 줄기를 약광조건에 옮겨 1일 동안 둔 후 색소함량을 조사해 보았다. 그 결과 카로티노이드에서는 거의 차이가 없었으나 엽록소의 경우는 초기보다 신장지에서는 약 1.8배(48 μg), 권지는 약 2.5배(42 μg), 절간은 1.6배(8 μg) 정도 증가되었다(Table 2). 이는 엽록소가 계속적으로 생합성됨을 의미하며 약광에서는 엽록소 소실이 상대적으로 적음을 보여준다. 이를 더욱 확인하기 위하여 초기의 엽록소와 카로티노이드 함량이 생체중 1g당 각각 22.8, 50.9 μg인 조직을 가지고 여러 광도별로 1일 동안 둔 다음 색소함량 변화량을 조사하였다. 97 μE m^{-2}s^{-1}PAR 정도의 광도까지는 색소함량이 점점 증가하다가 그 이후의 강광은 점차로 낮아지며, 450 μE m^{-2}s^{-1}PAR의 광도에서는 낮은 수준만 증가되었다(Table 3). 이는 실새삼의 광합성색소 함량이 주변환경 특히 광도에 따라 상당한 차이가 생길 수 있음을 보여준다. 실새삼의 식생지를 살펴볼 때 양지에서 자라고 있는 생육지는 녹색의 기미가 거의 없이 진한황색을 띠지만 그늘 또는 초관하에 자라고 있는 생육지는 연한 녹색을 가지고 있는 것도 이러한 이유때문인 것 같다. 본 실험의 경우에서도 생육장소가 다른 여러 곳으로부터 취한 생육지의 색소함량을 조사해 본 결과 생체중 1g당 엽록소 함량이 대략 20 μg에서 170 μg까지, 카로티노이드 함량은 40 μg에서 120

Table 2. Change of chlorophyll and carotenoid contents related with illumination in different parts of dodder tendril.

Parts of tendril[1]	Illumination[2] at 30℃ for 24hr	Chlorophyll(A)	Carotenoids(B)	A/B
		μg/g freshy weight		
Extension stem	Before	64.9 ± 3.5	68.3 ± 4.5	0.95
	After	116.4 ± 3.2	68.5 ± 2.9	1.70
Twining stem	Before	28.3 ± 2.0	43.2 ± 5.4	0.66
	After	70.7 ± 4.4	41.8 ± 1.0	1.70
Internode	Before	14.0 ± 1.3	20.5 ± 0.7	0.68
	After	22.3 ± 0.7	20.5 ± 1.9	1.09

[1] Extension stem and internode represent about 5cm of apical region without twining stem and 3rd internode from the top of tendril, respectively.

[2] Different parts of dodder tendril grown under natural light (about 1,700 μE $m^{-2}s^{-1}$ PAR) were exicised and illuminated in growth chamber (30℃, 86 μE $m^{-2}s^{-1}$ PAR) for 24hr. Pigments were determined just before and after incubation as described in materials and methods.

Table 3. Change of chlorophyll and carotenoid contents of dodder tendril in association with light intensity.

Illumination[1] (μE m-2s-1 PAR)	Chlorophyll(A)	Carotenoids(B)	A/B
	μg/g fresh weight		
Before illuminiation	22.8 ± 2.8	50.9 ± 4.9	0.45
After illumination			
5.7	66.0 ± 7.5	47.9 ± 3.5	1.38
22.8	72.9 ± 5.1	53.3 ± 4.3	1.37
96.9	74.3 ± 2.4	51.3 ± 2.3	1.45
228.0	64.0 ± 9.2	54.4 ± 6.0	1.18
456.0	37.5 ± 2.2	55.4 ± 1.2	0.68

[1] Dodder tendril grown under natural light were exicised and incubated at various light intensities of 30℃ for 24hr.

μg 범위까지의 변화폭을 보여 많게는 6배 정도까지의 차이를 가지고 있었다.

2. Oxyfluorfen과 ALA처리에 의한 엽록소 생합성과정의 반응

전식물체(whole plant)에 oxyfluorfen을 처리하면 Proto IX이 축적되는 것으로 알려져 있는데[11] 실새삼의 경우도 초기의 생합성과정에 이상이 없다면 Proto IX이 축적될 것이다. 이를 확인해 본 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 100 μM oxyfluorfen 처리에서 생체중 1g당 3.9 μg이 축적되었다.

ALA는 엽록소생합성과정의 전구물질이며[5] 외부적으로 공급할 때 생합성 정도를 증폭시키기 때문에 많은 연구자들이 이를 가지고 생합

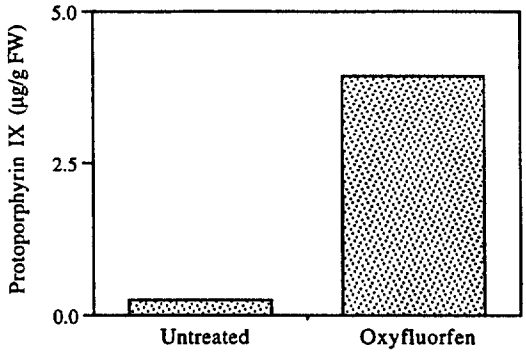

Fig. 2. Effect of oxyfluorfen on the accumulation of protoporphyrin IX in dodder tendril. Excised tendrils were placed on the 100 μM oxyfluorfen solution and incubated in the dark at 30℃ for 14 hr followed by for one day at 91 μE $sec^{-2}m^{-1}$PAR before protoporphyrin IX determination.

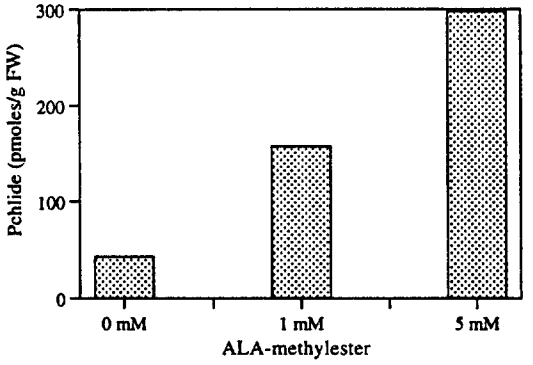

Fig. 3. Effect of ALA-methylester on the accumulation of Pchlide in the etiolated field bindweed shoot under the dark condition. The shoots were placed on the ALA-methylester solution and incubated in the dark at 30℃ for 24hr.

성과정의 성질을 파악하는데 이용하여 왔다. 실새삼의 경우도 엽록소생합성의 기본적인 잠재능력이 있다면 ALA를 암조건에서 공급할 때 일반식물에서처럼 Pchl(ide)의 축적이 일어날 것이다. 만일 중간과정의 이상이 있거나 어떤 다른 생합성경로를 가지고 있다면 이러한 현상은 관찰되지 않을 것이다. 먼저 메꽃 신초를 가지고 조사해 본 결과 1mM ALA처리의 경우 약 3배, 5mM처리시 거의 7-8배 축적되었다(Fig. 3). 그러나 실새삼의 경우는 ATP를 공급한 상태에서도 1mM의 경우 약 40%, 5mM의 경우 74% 정도만 증가되었다(Table 4). 한편 ALA를 공급한 후 암조건에서 Pchlide를 축적시킨 다음 광을 조사하면 축적된 Pchlide가 일부는 광에 의해 신속히 소실되기도 하지만 일부는 엽록소로 전환된다. 이를 확인해 보고자 조사해 본 결과 Table 5에서와 같이 무처리에 비하여 미미한 엽록소 증가경향만 보였다. 이상의 결과들로 볼 때 상대적으로 실새삼은 ALA에 대해 둔감한 반응을 가지는 경향이었다.

3. 제초제에 대한 반응

작용점이 알려진 기존제초제를 이용하여 해당 대사과정의 활성유무를 조사하였다. Paraquat, norflurazon, oxyfluorfen, diuron 등의 제초제는 각각 광합성계 II[2], 카로티노이드 생합성 과정상의 phytoene desaturase[1], 엽록소생합성과정상의 protoporphyrinogen oxidase[23], 광합성계 II의 D1 단백질을 작용점[4]으로 하고 있다. 만일 실새삼에 색소대사과정 또는 전자전달계 과정이 작동된다면 이들을 처리할 경우 결국 엽록소 감소가 나타날 것이기 때문에 이를 확인해 보고자 시험한 결과 모든 처리에서 색소소실이 관찰되었다(Fig. 4). Oxyfluorfen 처리에서는 엽

Table 4. Effect of ALA or ALA-methylester (ALA-me) on the Pchl(ide) accumulation in dodder tendril under the dark condition

Sources of tendrill	Treatments[1)]	Pchl(ide) (ng/0.1g fresh weight)
Grown in greenhouse	Control	520.6 ± 46.2
	ALA 1.0mM	569.3 ± 120.9
	ALA 1.0mM + ATP 1.0mM	722.2 ± 90.8
Grown in outdoor	Control	211.0 ± 3.0
	ALA-me 5.0mM	294.6 ± 15.0
	ALA-me 5.0mM + ATP 1.0mM	367.1 ± 30.5

[1)] The excised tendrils were placed on ALA solutions and incubated in the dark 30℃ for 24hr.

Table 5. Effect of ALA on the accumulation of chlorophyll in dodder tendril under the light condition.

Treatments[1)]	Chlorophyll(A)	Carotenoids(B)	A/B
	μg/g fresh weight		
Control	85.6 ± 5.7	62.5 ± 4.7	1.34
ALA 1.0mM	90.8 ± 4.8	62.9 ± 1.5	1.44
ALA 1.0mM + ATP 1.0mM	95.1 ± 3.4	60.8 ± 2.8	1.56

[1)] Incubated in the dark for 14hr followed by in the light intensity of 5.7 μE $m^{-2}s^{-1}$ PAR at 30℃ for 10hr.

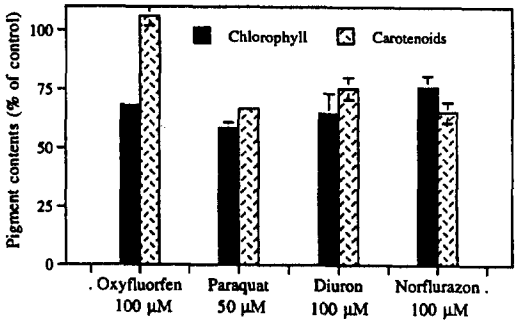

Fig. 4. Effect of herbicides on the chlorophyll and carotenoid biosynthesis in dodder tendril. Bars represent standard deviation of 3 replicates. The tendrils were incubated in herbicide solutions under the dark at 30℃ for 17hr. Then, they were further incubated in the growth chamber(14hr photoperiod, 80 μ $Em^{-2}s^{-1}$PAR, 30℃) for one day at paraquat and oxyfluorfen treatment, but for two day at diuron and norflurazon treatment.

록소함량만 약 35% 감소되는 특징을 보였고, norflurazon 처리에서는 엽록소와 카로티노이드의 감소정도가 각각 25%, 36%로서 엽록소보다는 카로티노이드의 감소 정도가 높은 경향을 보였다. 그 외에 paraquat처리에서는 40-50%, diuron처리에서는 30% 내외의 색소감소경향을 보였다.

고 찰

기생식물중에는 겨우살이와 같이 기주식물로부터 수분, 무기염류 등만 취하되 자체적으로 광합성을 할 수 있는 것이 있는 반면 자체적으로 양분을 생산할 수 없어 기주식물에 전적으로 의존하는 것들도 있다. 그러나 대부분은 미약하나마 자체적으로 소량의 양분을 생산할 수 있는 시스템 즉 엽록체를 보유하고 있는 것으로 알려지고 있다[22]. 본 연구결과에서 보는 바와 같이 실새삼의 경우도 광합성색소가 존재하고 있었으며 그 생합성 특징을 보면 다음과 같았다.

첫째, 실새삼의 경우는 조직부위에 따라 엽록소함량의 현저한 차이가 있었다. 즉 종자유묘의 경우 선단부위가 가장 높았고, 생육지의 경우는 신장지 선단과 권지에서 높은 경향이었다. 엽록소함량이 높았던 부위는 생장됨에 따라 엽록소함량이 현저히 낮아지며 결국 오래된 조직에서는 엽록소가 거의 존재하지 않았다. 강광하에서 엽록소함량이 낮았던 줄기선단을 약광조건으로 옮기면 그 함량이 증가되는 것과는 달리, 오래된 조직에서는 약광에 옮겨도 엽록소 증가경향이 없었던 것으로 보아 엽록체가 어떤 원인에 의해 완전 퇴화되는 것 같다.

실새삼에 엽록체가 존재하는 이유는 무엇이며 실질적으로 실새삼의 생존 및 번식에 어떠한 역할을 하는지에 대해서는 정확히 알려진 바 없다. 그러나 보고에 의하면 종에 따라서는 이산화탄소의 고정이 일어나며[19] 광합성산물인 당도 형성되는 것으로 보아[6,18] 권지가 기주식물을 감아 영양분을 흡수할 때까지의 최소한의 생존을 위해서나 생육기간동안의 보조적인 영양급원으로서 역할을 하는 것으로 추측된다. 어린 조직에서 엽록소함량이 더 높고(Fig. 1, Table 2) 낮은 광도에서 엽록소함량이 높아지며(Table 1, Table 2) 개화기간에 엽록소함량이 증가되는 것도[9] 이러한 측면에서 해석할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 광합성색소의 소실로 백화가 된 개체를 기주식물에 감염시켰을 때 흡기발생은 정상적으로 이루어지나 최종적으로 생장을 하는 것이 약 30% 정도였던 결과는(미발표) 이를 입증해 준다고 생각된다. 그러나 이외의 기능 즉 기주식물로의 부착을 위한 광수용체의 생산도 배제할 수 없다. Orr 등(1996)에 의하면[21] 새삼은 근적외광의 감지를 통해서 주변식물을 인지한다고 하며 광인지작용에 관여하는 파이토크롬은 초기단계 생합성시 엽록소와 동일한 경로를 통해서 만들어지기 때문이다[25].

둘째, 광도에 따라 엽록소함량의 현저한 차이가 나타난다. 즉 강광에서는 광산화(photooxidation)에 의해 엽록소분자가 소실되며, 약광하에서는 광합성의 정상적인 유지 즉 많은 광분자를 수집하기 위해 엽록소 함량을 증가시켜 적응하는 일반식물에서와 같은 생리현상을 가지는 것으로 간주된다. 그러나 다른 점은 광산

화가 일어나기 시작하는 광도의 수준이 일반 식물보다 실새삼에서 높은 경향이었으며 광도에 따른 엽록소함량의 변화폭이 6배 정도까지 큰 특징을 보였다. 오이 또는 보리의 황화된 자엽 또는 엽신에 있어서 엽록소 광산화는 각각 57, 11.4 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR에서 일어나는 경향이었지만[14] 실새삼의 경우는 97 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR 이상에서 일어나는 경향이었다. 아마 이는 상대적으로 항산화물질중의 하나인 카로티노이드 함량의 비율이 일반식물에 비해 높기 때문일지 모른다. 그러나 상대적으로 높은 광도에서 광산화가 일어나는데도 불구하고 광도에 따라 엽록소함량의 차이가 크게 나타나는 이유는 무엇일까? 광도에 의해 엽록소 생합성 과정이 보다 적극적으로 조절되는 어떤 기구가 존재할지도 모른다.

셋째, 실새삼의 색소생합성과정은 정상적으로 작동되지만 낮은 수준을 유지하였는데 이는 색소생합성과정의 특정부위가 결손되었다기보다는 생합성 능력이 전반적으로 낮기 때문인 것 같다. 새삼류는 광합성을 전혀 못한다고 알려진 종이 있는 반면 어느 정도 광합성이 가능한 종이 있는 것으로 보고되고 있다[19]. 실새삼도 후자에 속하는 종으로서 줄기선단의 엽록소 함량이 메꽃 줄기에 비하여 7배, 잎에 비하여는 50배(약 2%) 낮은 경향이었다. 이는 *Cuscuta reflexa*의 엽록소 함량이 *Ipomoea purpurea*의 2.5% 정도였다는 보고[18]와 비슷한 경향이다.

강광조건에서 자란 줄기선단을 약광조건에 옮겼을 때 오히려 엽록소 함량이 증가되었던 것은 엽록소가 광조건에서 정상적으로 생합성되고 있음을 의미한다. 왜냐하면 약광조건에서만 생합성과정이 활성화되는 기작을 가질 가능성은 희박하기 때문이다. 이러한 사실은 ALA의 외부공급에 의해 Pchl(ide)가 암조건에서 증가되었으며, oxyfluorfen 처리에 의해서 엽록소 감소와 더불어 protoporphyrin IX이 축적되었다는 점으로 보아도 추정될 수 있었다. 한편 광합성전자전달계도 비록 수준은 낮으나 정상적으로 작동되는 것 같았다. 왜냐하면 광합성계 I에서 전자를 탈취하여 라디칼화되고[2] 이로 인해 엽록체 및 세포파괴를 일으키는 paraquat와 광합성전자전달을 차단함으로서 광합성은 물론 엽록체과산화를 유기시키는 diuron의 처리[4]에 의해서 모두 엽록소함량이 감소되는 반응을 보였기 때문이다.

한편 5mM의 ALA를 공급했을 때 암조건에서 메꽃 근경으로부터 나온 신초는 Pchlide의 현저한 증가가 관찰되나 실새삼의 경우 40%의 증가만 보였으며 광조건하에서도 ALA공급 후 저광도(5.7 μE $m^{-2}s^{-1}$PAR)에 두었을 때 무처리에 비하여 미미한 엽록소 증가경향만 나타났다. 이와같이 고농도의 기질을 공급하였는데도 엽록소생합성의 뚜렷한 증가가 없었던 것은 자체적으로 생합성능력이 낮기 때문일 것으로 판단된다. 오이의 경우 0.1mM ALA를 공급하면 암조건에서 Pchlide의 축적은 물론 Mg-protoporphyrin IX도 축적되는 경향이나[10] 실새삼의 경우는 이들 물질의 축적이 관찰되지 않았던 것은(데이타 미제시) 생합성 전체의 능력이 전반적으로 낮다는 것을 시사해 준다.

그런데 Fig. 4에서와 같이 실새삼은 엽록체에 작용점을 가지는 제초제들에 대하여 뚜렷한 반응을 보이고 있는데 그렇다면 과연 엽록체가 실새삼 방제에 효과적인 작용점이 될 수 있을 것인가? 실새삼의 광합성색소 생합성 특성과 제초제의 제초기작을 고려하여 판단해 볼 때 이들 화합물이 선택성을 가지면서 탁월한 제초효과를 보여주지는 못할 것으로 추정된다. 그 이유로서 첫째, 본 실험의 결과에서처럼 광합성색소의 함량이 주변의 환경과 조직부위 및 조직의 연령에 따라 상당히 변하기 때문이다. 예를들어 고광도 조건에서는 엽록소 함량이 낮은데 이 때는 광합성전자전달계의 활성화 정도가 낮게 되어 광합성저해제의 효과가 낮게 발현될 가능성이 높다. 엽록소생합성 저해제의 경우도 생합성과정 자체가 낮게 진행되고 있기 때문에 저농도까지 반응이 나타날지 모르나 활성산소발생량이 조직전체를 죽일 정도까지 높지는 않을 것이다. 이와같은 현상은 카로티노이드 생합성저해제에서도 마

찬가지일 것으로 보인다. 둘째, 기주식물에 감염된 실새삼의 경우는 영양분을 기주식물로부터 공급받아 생장하고 있으며 상대적으로 엽록체의 기능이 활발하지 못하기 때문에 이 부위가 공격을 받을지라도 피해가 낮을 것이다. 예를들면 카로티노이드 생합성저해제는 정상식물의 경우 조직의 백화를 유기시켜 세포의 과산화는 물론 양분의 고갈을 통해서 제초효과를 나타내는데 기주식물에 감염된 실새삼의 경우는 외부로부터 양분을 공급받고 있기 때문에 양분고갈이라는 요인을 어느 정도는 배제할 수 있을 것이다. 그러나 자신이 라디칼화되는 paraquat같은 제초제는 위의 조건들에 크게 영향받지는 않을 것으로 생각되며 실제적으로 paraquat의 경우에는 작물이 재배되기 전에 살포하여 제초효과를 얻었다는 보고가 있다[22]. 지금까지 경엽처리에서 화학적 방제에 동원되는 화합물로서는 비선택성제초제로서는 diquat, paraquat, glyposate 등이 사용되며, 선택성제초제로서는 콩밭에 imazaquin, 사탕무우(sugar-beet)에 maleic hydrazide, 알팔파에 glyposate, DCPA, H 26905 등이 보고[7,8,22,26]되고 있는 것으로 보아도 이를 대변한다고 생각된다.

적 요

우리나라에서 자생하고 있는 실새삼에는 광합성색소 생합성과정이 존재하는지, 있다면 다른 식물에 비하여 어떠한 특징을 가지고 있는지를 알아보고 광합성색소 대사과정에 작용점을 가지는 제초제에 대하여 반응을 나타내는지를 확인하고자 실험하였다.

1. 야외의 자연광 조건에서 자라고 있는 실새삼 생육지의 엽록소함량은 메꽃 줄기와 비교하여 볼 때 9배가 낮았고, 메꽃 잎과 비교하여 볼 때는 약 50배 낮은 경향이었다.
2. 종자로부터 발아된 실새삼 유묘의 경우 선단부위가 색소함량이 가장 높았다. 생육지의 경우는 신장지(extension stem)에서 색소함량이 가장 높았고, 권지(twining stem), 선단 15cm 아래의 절간 순으로 엽록소와 카로티노이드 함량이 낮은 경향이었다. 그리고 생장이 계속됨에 따라 오래된 줄기에서의 엽록체 퇴화가 신속하게 일어나는 경향이었다.
3. 생육지의 색소함량은 광도에 따라 생체중 1g당 엽록소 함량이 20-170 μg까지, 카로티노이드 함량은 40-120 μg 범위까지 변하는 경향이었다. 자연일장조건에서 채취하여 낮은 색소함량을 가진 줄기를 여러 광도에 24시간 둘 경우 91 $\mu Em^{-2}s^{-1}$PAR 내외의 광도까지는 초기색소함량의 3배까지 증가되었고, 광도가 456 $\mu Em^{-2}s^{-1}$PAR 이상에서는 엽록소 함량의 변화가 거의 없었다.
4. 5mM의 ALA를 외부에서 공급할 경우 메꽃의 근경으로부터 나온 신초에서는 Pchlide가 7배 이상 증가되었으나 실새삼 생육지 선단에서는 40% 정도만 증가되었다. 한편 ALA를 공급한 후 저광도에 둘 경우 미미한 엽록소 증가경향만 보여 상대적으로 실새삼은 ALA에 대해 매우 둔감한 특징을 보였다.
5. Paraquat, norflurazon, oxyfluorfen, diuron 등의 제초제를 처리할 경우 모든 처리에서 색소소실이 관찰되었다. 아울러 oxyfluorfen을 처리하면 일반식물에서와 같이 protoporphyrin IX의 축적도 일어났다.

이상의 결과로 볼 때 실새삼은 낮은 수준이지만 엽록소 및 카로티노이드 생합성과정이 정상적으로 작동되나 조직부위별로 그 수준이 다르고 주변환경의 영향 특히 광도에 따라 크게 조절되고 성장함에 따라 하부조직에서의 엽록체 퇴화가 빠른 특징을 보였다. 색소대사과정에 작용점을 가지는 제초제들에 대하여 제초반응은 나타내지만 낮은 수준의 광합성색소 생합성 능력과 기주식물로부터의 영양분 탈취라는 특성을 고려하여 볼 때 탁월한 제초효과를 보여주지는 못할 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

1. Axelsson L., C. Dahlin and H. Ryberg. 1982. The function of carotenoids during chloroplast

development. V. Correlation between carotenoid content, ultrastructure and chlorophyll *b* to chlorophyll *a* ratio. Physiol. Plant 55 : 111-116.

2. Babbs C.F., J.A. Pham and R.C. Coolbaugh. 1989. Lethal hydroxyl radical production in paraquat-treated plants. Plant Physiol. 90 : 1267-1270.
3. 방대원. 1991. 실새삼 (*Cuscuta australis* R. Brown)의 뿌리 퇴화에 관한 전자현미경적 연구. 성균관대학교 석사학위논문.
4. Barry P., A.J. Young and G. Britton. 1990. Photodestruction of pigments in higher plants by herbicide action. I. The effect of DCMU (diuron) on isolated chloroplasts. J. Exp. Bot. 41 : 123-129
5. Beale S.I. 1978. 5-aminolevulinic acid in plants. Its biosynthesis, regulation and role in plastid development. Annu. Rev. Plant Physiol. 29 : 95-120.
6. Ciferri O. and G. Poma. 1963. Fixation of carbon dioxide by *Cuscuta epithymum*. Life Sciences 3 : 158-162.
7. Dawson J.H. and A.R. Saghir. 1983. Herbicides applied to dodder (*Cuscuta* spp.) after attachment to alfalfa (*Medicago sativa*). Weed Sci. 31 : 465-471.
8. Dawson J.H., L.J. Musselman, P. Wolsinkel, and I. Dorr. 1994. Biology and control of *Cuscuta*. Rev. Weed Sci. 6 : 265-317.
9. Dinelli G., A. Bonetti and E. Tibiletti. 1993. Photosynthetic and accessory pigments in *Cuscuta campestris* Yuncker and some host species. Weed Research 33 : 253-260.
10. Duke S.O., M.V. Duke and H.J. Lee. 1993. HPLC and in vivo spectrophotometric detection of porphyrins in plant tissues treated with porphyrinogenic herbicides. Z. Naturforsch 48c : 317-325.
11. Haworth P. and F.D. Hess. 1988. The generation of singlet oxygen ($^1O_2$) by the nitrodiphenyl ether herbicide oxyfluorfen is independent of photosynthesis. Plant Physiol. 86 : 672-676.
12. Hiyama T., A. Ohinata and S. Kobayashi. 1993. Paraquat (methyl viologen) : Its interference with primary photochemical reactions. Z. Naturforsch. 48c : 374-378.
13. Hwang K.J., H.J. Kim, J.S. Kim and J.H. Lee. 1996. Substituent effect on the inhibition of chlorophyll formation by N-phenyl oxadiazolidinedione derivatives in cucumber and speculation on the herbicidal action. Journal of Photoscience. 3(3) : 137-140.
14. 김진석 · 김태준 · 홍경식 · 황인택 · 조광연. 1990. 식물색소 관여형 화합물의 생물검정법으로서 Greening Assay. 한잡초지 10(3) : 214-220.
15. 이용모. 1982. 실새삼 (*Cuscuta sojagena* Makino)의 생태적 습성과 조직배양에 관한 연구. 원광대학교 박사학위논문.
16. 이규배. 1986. 실새삼 (*Cuscuta australis* R. Brown)의 흡기발생에 관한 연구. 성균관대학교 박사학위논문.
17. Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids : pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymol. 148 : 350-382.
18. Machado M.A. and K. Zetsche. 1990. A structural, functional and molecular analysis of plastids of the holoparasites *Cuscuta reflexa* and *Cuscuta europaea*. Planta 181 : 91-96.
19. MacLeod D.G. 1961. Photosynthesis in *Cuscuta*. Experientia 17 : 542-543.
20. Moran R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethyl formamide. Plant Physiol. 69 : 1376-1381.
21. Orr G.L., M.A. Haidar and D.A. Orr. 1996. Smallseed dodder (*Cuscuta planiflora*) phototropism toward far-red when in white light. Weed Sci. 44 : 233-240.

22. Parker C. and C.R. Riches. 1993. Parasitic Weeds of the World : Biology and Control. pp. 183-221. CAB International, UK.
23. Scalla R., and M. Matringe. 1994. Inhibitors of protoporphyrinogen oxidase as herbicides : Diphenyl ethers and related photobleaching molecules. Rev. Weed Sci. 6 : 103-132.
24. Stewart G.R. and M.C. Press. 1990. The physiology and biochemistry of parasitic angiosperms. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 41 : 127-151.
25. Terry, M.J., J.A. Wahleithner and J.C. Lagarias. 1993. Perspectives in biochemistry and biophysics. Biosynthesis of the plant photoreceptor phytochrome. Archives of Biochemistry and Biophysics. 306(1) : 1-15.
26. Zhigian L. 1994. Mechanism of action of glyphosate on dodder control. Acta Phytophylacica Sinica. 21(4) : 369-372.