

자계가 보리(*Hordem vulgare* L.)유식물의 엽록체 발달에 미치는 영향

정화숙, 박강은¹, 임영진*

경북대학교 생물교육과, ¹진주교육대학교 과학교육과

1. 서론

지구는 큰 자석^{1,2)}이며 지상구름과 지면간에는 전계가 작용하기 때문에 지구상의 생물은 이 자계와 전계 속에서 생존해 왔다.³⁾ 최근 외부전계와 자계가 생물체내 세포 중의 이온과 유극성 물질을 활성화시키고 있다고 밝혀졌다.^{1,7,11)}

동물 실험에 의하면 아직은 전자파가 인체에 미치는 영향을 정확하게 밝혀 지지는 않았지만 허용 기준치 이상의 전자파에 장기간 노출될 경우 두통, 피로, 기억력 감퇴, 정서 불안정, 불임 등의 장애가 나타나는 것으로 보고 된 바 있다. 그러나 식물체에 미치는 전자장의 효과에 대한 연구는 오래 전부터 수행되어 왔으며 비교적 좋은 경과를 얻은 바 있다.^{1,4)} 전자계 처리를 함으로써 종자의 발아율을 향상시키며 농작물의 질병에 대한 저항력이 향상된 다는 것이다. 이는 식물 성장환경의 최적화는 물론 식물체내 세포의 활성화를 위해 외부 전자계의 도입이 필요하다는 것을 보여 준다.

따라서 본 실험에서는 자계 유도장치에 일정한 전류를 주기적으로 흘려 자계를 형성하고 이 자계 속에 황백화된 보리를 넣어 녹화시킴으로써 식물체 내 엽록체 형성에 자계가 미치는 영향을 알아보려고 한다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 식물 재료

보리(*Hordeum vulgare* L. cv.Olbory) 종자를 증류수에 세척한 후 1시간 이상 담가 두었다가 vermiculite에 파종하여 온도가 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대 습도 $70\pm 5\%$ 인 암소에서 5일간 키운 다음 실험 재료로 이용하였다.

2.2 자계 처리

녹화 할 때 자계처리가 미치는 영향을 조사하기 위해서 황백화된 유식물을 자계 장치(0, 1, 10, 50 Gauss)에 넣고 녹화시키면서 12시간마다 잎을 채취하

여 끝 부분 1cm를 제거하고 난 후 길이 1.5cm의 잎 절편으로 잘라서 형광을 측정하였다.

2.3 색소 함량 측정

자게 처리한 0.1 g의 잎절편을 DMSO (dimethyl sulfoxide) 10 ml가 들어 있는 시험관에 넣고 65°C의 항온 수조에 3시간 동안 두어 엽록소를 추출한 후⁽¹²⁾, Spectrophotometer (Shimadzu)를 사용하여 흡광도를 측정하였다. 엽록소 a와 b의 함량은 Arnon⁽¹³⁾의 방법에 따라 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하고 카로티노이드 함량은 Liaaen-Jensen과 Jensen⁽¹⁴⁾의 방법에 따라 480 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

2.4 엽록소 형광 측정

엽록소 형광 측정은 Chlorophyll Fluorometer (PAM, Walz Co)를 이용하였다. 15분간 암적응 시킨 잎절편에 변조된 약한 측정광($0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하여 F_0 (광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)를 구하고, 포화광($3,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하여 F_m (Q_A 가 환원 상태에 있을 때의 형광)을 구하였으며 F_v 는 F_m 과 F_0 의 차이로 계산하였다. 그리고 F_v/F_m 비를 광계 II의 광화학적 효율의 지표로 이용하였다⁽¹⁵⁾. 지속적인 활성화광($1,330 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하면서 포화광을 20초 주기로 1초간 pulse 처리하여 형광 소멸 요인을 분석하였다. 형광 소멸계수는 Oxborough와 Horton(1988)의 방법⁽¹⁶⁾에 따라 계산하였는데 qE 는 비광화학적 형광 소멸의 주요 요인으로 틸라코이드막의 에너지화에 의한 qNP 를 구하였다. qNP 는 qE (에너지-의존적 소멸)와 qR (나머지 소멸)로 나눌 수 있으며, qE 는 비광화학적 형광 소멸의 주요 요인으로 틸라코이드막의 에너지화에 의한 소멸이고 qR 은 그 외의 다른 경로를 통한 소멸이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 색소 함량

황백화된 보리 유식물에 자계를 처리하면서 녹화시켜 변화된 색소 함량을 조사하였다. 1, 10, 50 Gauss의 자계를 처리한 것이 12시간에서는 대조구보다 엽록소 a 함량이 높게 나타났으나, 그 이후부터는 대조구에 비해 낮게 나타났다. 이것으로 보아 자계 처리가 엽록소 a의 초기 합성은 촉진하였지만 시간이 지남에 따라 억제함을 알 수 있다. 엽록소 b의 함량은 엽록소a 함량 변화와는 달리 자계 처리구에서 대조구보다 높게 나타났다. 10 Gauss의 자계 처리구에서는 대조구의 엽록소 b 함량 증가 양상과 유사하였지만 높게 나타났고, 50 Gauss의 자계 처리구에서는 24시간 녹화했을 때 대조구보다 가장 큰 폭의 증가를 나타낸 후 시간이 지남에 따라 그 폭이 작아 졌다. 이것으로 보아 24시간 정도의 단시간에서는 50 Gauss의 비교적 세기가 높은 자계를 처리하므로 엽록소 b 합성을 촉진 하지만 그 이상의 시간 동안 지속적으로 처리할 때에는 1 Gauss의 약한 자계 처리가 더욱 효과적임을 알 수 있다. 대조구의 carotenoid 함량은 녹화시간이 36시간까지 지속적으로 증가하였지만 그 이후부터는 완만히 증가하였다. 1, 10, 50 Gauss의 자계를 처리했을 때에는 carotenoid 함량은 대조구에 비해 처음부터 낮게 나타났으며 자계의 세기와도 무관하게 나타났다. 이것으로 보아 자계를 처리하므로 carotenoid 함량은 대조구에 비해 낮게 나타났으며 이것은 엽록소 b의 함량이 자계를 처리하므로 높게 나타난 것을 설명해준다.

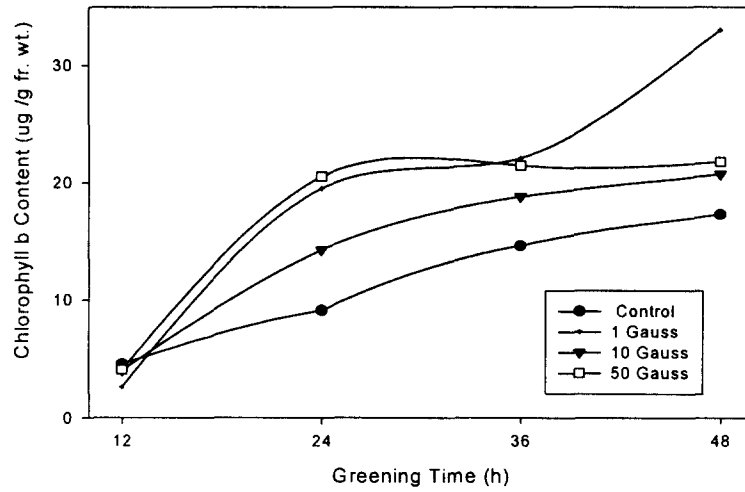
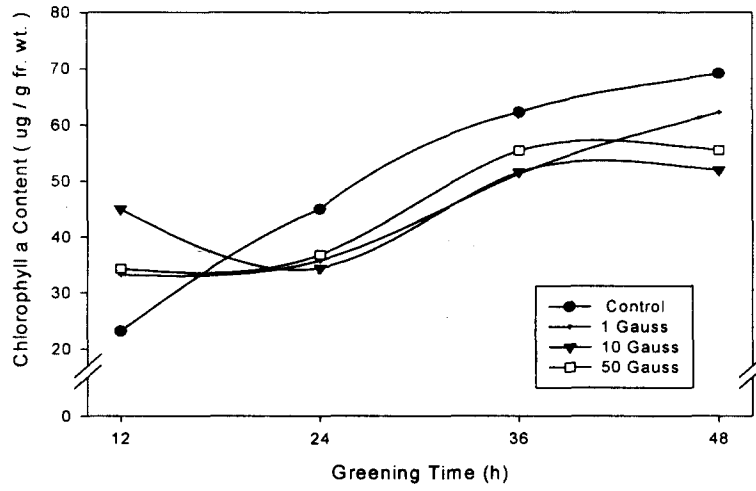


Fig.1 continued

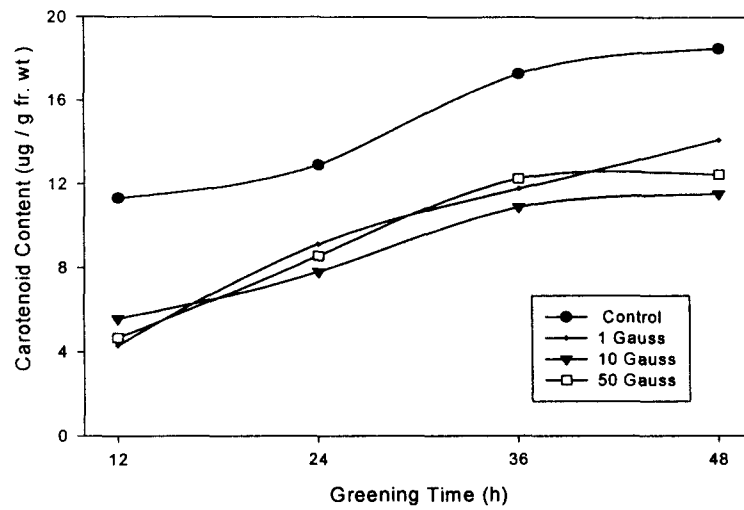


Fig.1 The effects of various Gauss of magnetic field on the chlorophyll and carotenoids content of barley.

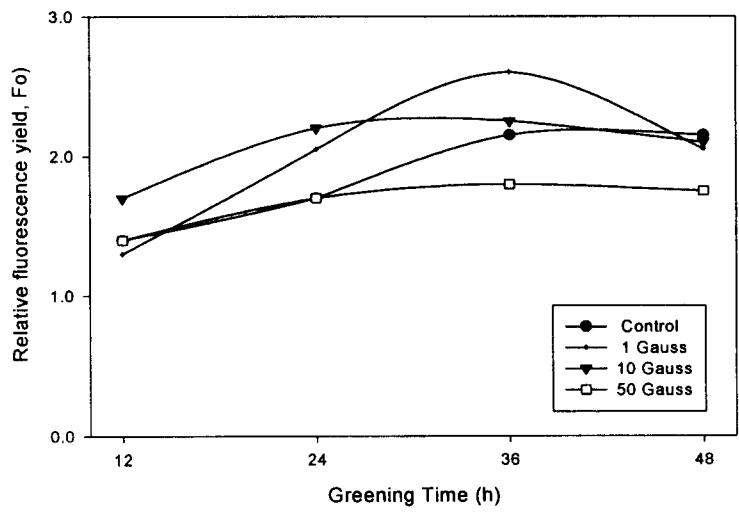
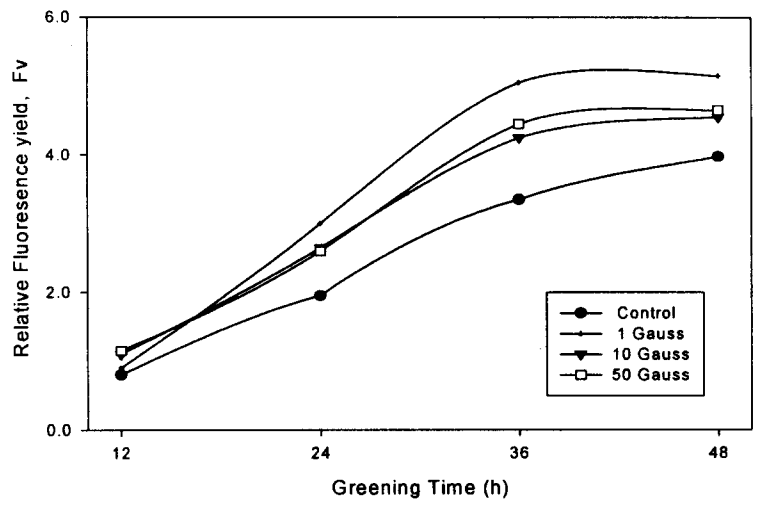
3.2 엽록소 형광

황백화된 보리 유식물의 잎에 자계를 처리하면서 녹화시켜 F_0 , F_v , F_v/F_m 의 변화를 측정하였다. 엽록소 형광 중 F_0 는 들뜬 에너지가 광계II의 반응 중심으로 이동하기 전 광계 II의 안테나의 들뜬 엽록소 a 분자들이 발광하는 형광이다. 녹화 한지 24시간까지는 대조구에 비해 1 Gauss와 10 Gauss가 높게 나타났으며 1 Gauss는 36시간 때 급격히 증가하다가 감소하였다. 이것으로 볼 때 50, 10, 1 Gauss 그리고 대조구의 순으로 엽록소 a가 먼저 발달하는 것을 알 수 있다. 엽록소 형광 중 F_v 는 광계II의 전자 수용체의 환원과 재 산화율의 차이에 의해 형성되는 형광으로 녹화시간이 지속됨에 따라 증가하였으며 자계를 처리한 것은 대조구에 비해 모두 높게 나타났다. 엽록소 형광 중 F_v/F_m 비는 광계 II 반응 중심의 광화학적 효율의 지표로 사용되며 P_{680} 에서 Q_A 까지의 전자 전달을 나타낸다. F_v/F_m 비는 녹화시간이 지속됨에 따라 증가하였으며 자계를 처리한 것은 대조구에 비해 모두 높게 나타났다. F_v 와는 달리 50 Gauss의 자계를 처리한 것이 가장 높게 나타났으며 처리 시간이 12, 24, 36, 48 시간 지속됨에 따라 대조구에 비해 각각 약 27.7, 13.7, 17.9, 11.8 % 높게 나타났다. 이것으로 보아 50 Gauss의 자계를 처리하여 녹화한 보리 잎의 광계 II 반응 중심의 효율이 대조구에 비해 녹화를 시작한 후 12시간부터 거의 일정한 증가폭을 유지하였다. 그러나 1 Gauss와 10 Gauss에서는 녹화 시작 후 12시간에서는 대조구와의 차이가 작았으나 녹화시간이 지속됨에 따라 증가하는 양상을 나타내었다.

Fig.3은 황백화된 보리 유식물의 잎에 자계를 처리하면서 녹화시켜 측정된 엽록소 형광 소멸 요인을 분석한 것이다. 총 엽록소 형광 소멸 요인은 대조구의 경우 녹화시간이 지남에 따라 24시간까지 급속히 증가한 후 완만히 증가하였으며 자계를 처리했을 때 12시간에서 대조구보다 높았으며 특히 50 Gauss의 자계를 처리했을 때 가장 높게 나타났다. 이것으로 보아 녹화 초기의 짧은 시간에서는 자계의 세기가 높을수록 형광소멸에 관여하는 엽록체의 구조가 발달하는 것을 알 수 있다. 엽록소 형광의 소멸 요인 중 광화학적 형광소멸요인(qP)은 quinone의 산화환원을 나타내는 지표로 사용된다. 녹화시간이 지속됨에 따라 qP는 증가하여 대조구의 경우 12시간 녹화했을 때 약 0.33이었으나 48시간 녹화했을 때는 0.68로 증가하였다. 이것은 황백화된 보리 잎을 녹화하므로 광계 II가 발달하여 전자전달이 원활히 이루어지므로 quinone의 산화환원이 잘 된다는 것을 나타낸다. 자계 처리하면서 녹화한 경우 대체로 대조구보다 qP가 증가하였으며 50 Gauss의 자계를 처리했을 때에는 12시간 녹화했을 때 대조구보다 64.2% 증가하였으나 녹화시간이 지속됨에 따라 그 증가폭은 둔화되었다. 그러나 10 Gauss의 자계를 처리한 경우에는 녹화시간에 비례하여 증가하였으며 12, 24시간 녹화했을 때에는 대조구와 유사하였으나 48시간 녹화했을 때에는 대조구에 비해 약 7.3 %나 증가하였다. 이것으로 보아 녹화시간이 비교적 짧은 12시간에서는 50 Gauss에서 광계의 발달이 상대적으로 촉진되었지만 녹화시간이 지속된 48시간에서는 10 Gauss의 자계 처리 한 것에서 광계의 전자전달 능력이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 엽록소 형광 소멸 요인 중 단백질 인산화에 의해 나타나는 형광 소멸인 qT는 대조구와 1 Gauss의 자계를 처리한 경우 녹화시간이 지속됨에 따라 특히 24시간부터 급격히 증가한 후 36시간부터는 비교적 완만히 증가하였다. 이것으로 보아 엽록체 발달 초기에 광계의 발달이 Calvin cycle 보다 먼저 일어나서 전자전달은 왕성히 일어나는 데 비해 Calvin cycle이 일어나지 못하므로 단백질의 인산화가 일어난 것으로 생각된다. 50 Gauss와 10 Gauss의 자계를 처리한 것에서는 녹화시간이 지속됨에 따라 qT가 지속적으로 증가하였으나 비교적 완만히 증가하였다. 이것으로 보아 50 Gauss와 10 Gauss의 자계를 처리한 경우 상대적으로 광계의 구성 요소보다 Calvin cycle에 관여하는 구성 요소들의 발달을 더욱 촉진시킨 것으로 사료된다. 비광화학적 형광 소멸 요인 중 DCMU에 의해 회복되지 않는 형광인 qR은 대조구에서는 녹화시간이 36시간까지 급격히 증가한 후 감소하였으나 자계 처리구에서는 처리한 자계의 세기가 약한 1 Gauss에서는 대조구와 녹화 초기인 12시간에서는 대조구보다 높게 나타났으나 그 이후부터는 대조구와 유사하였으며 세기가 높은 10 Gauss와 50 Gauss에서는 녹화초기인 12시간에 상대적으로 높게 나타난 후 시간이 지남에 따라 완만한 상승을 나타내었다. 이것으로 보아 비광화학적 형광 소멸 요인 중 여기된 에너지를 열로 방출하는 경로의 발달은 자계를 처리하므로 녹화초기에 신속히 발달하며 그 이후에는 오히려 대조구보다 낮게 나타남을

알 수 있다.

에너지 의존적 형광 소멸 요인(qE)은 12시간 자계 처리구에서는 모두다 대조구 보다 높게 나타났으며 24시간에서는 대조구와 유사하게 나타났지만 36시간에서는 대조구보다 높게 나타났으며 특히 50 Gauss가 가장 높게 나타났으나 48시간에서는 대조구보다 오히려 감소하였다.



Fi

Fig.2 continued

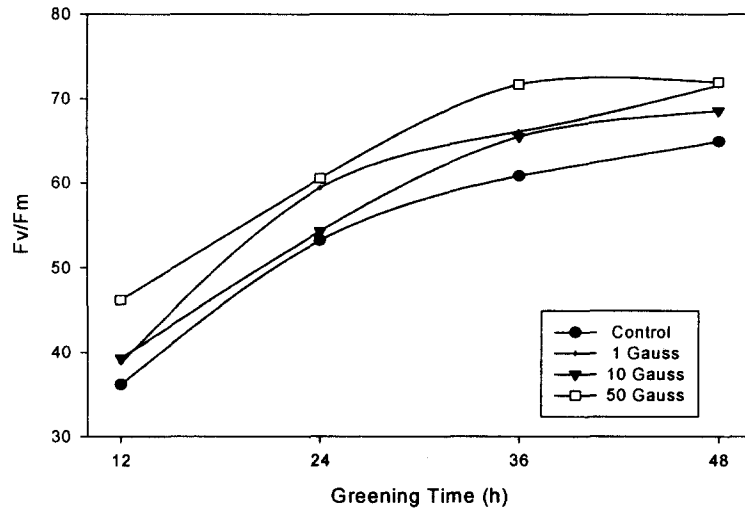


Fig.2 The effects of various Gauss of magnetic field on the chlorophyll fluorescence yield

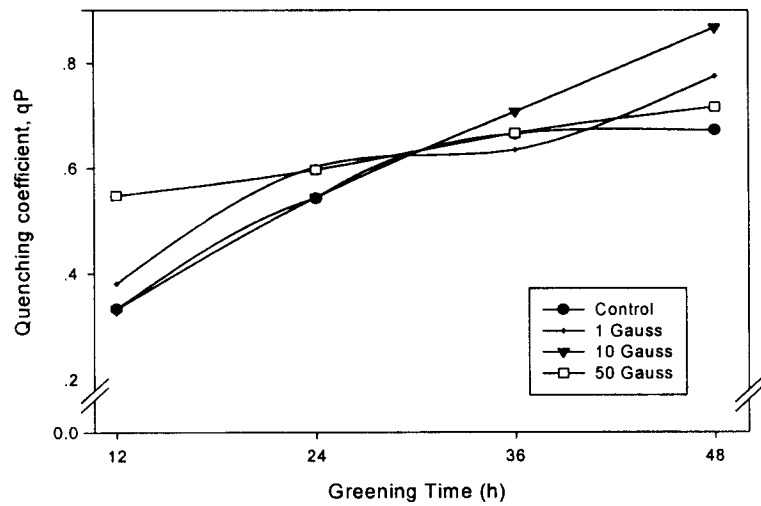
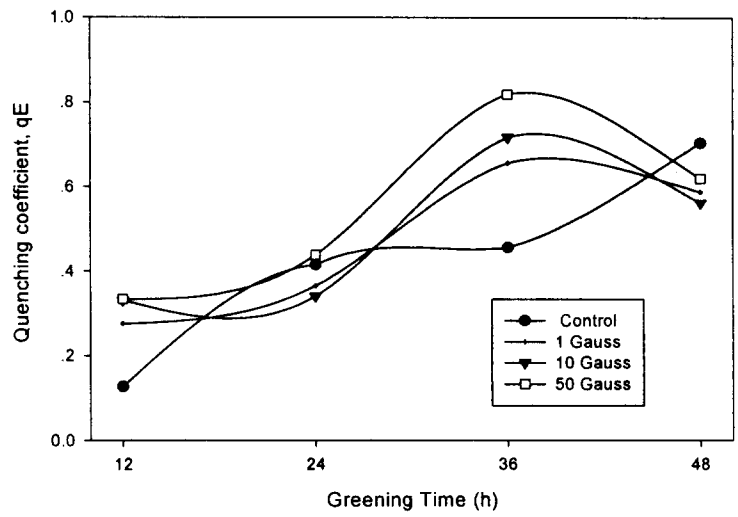


Fig.3 continued

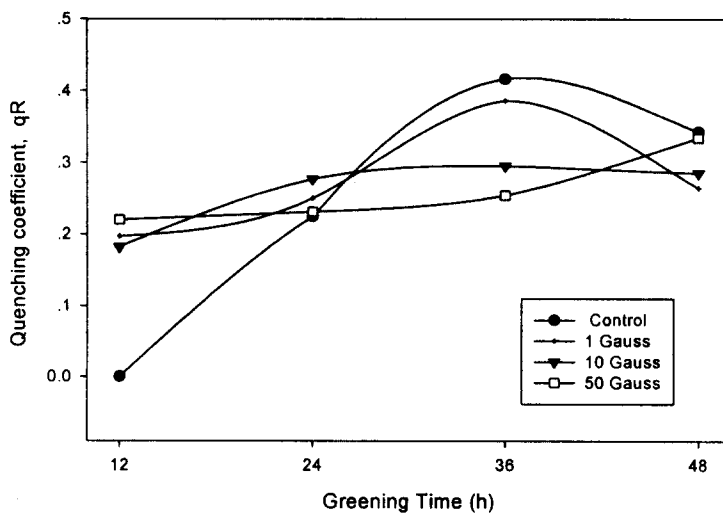
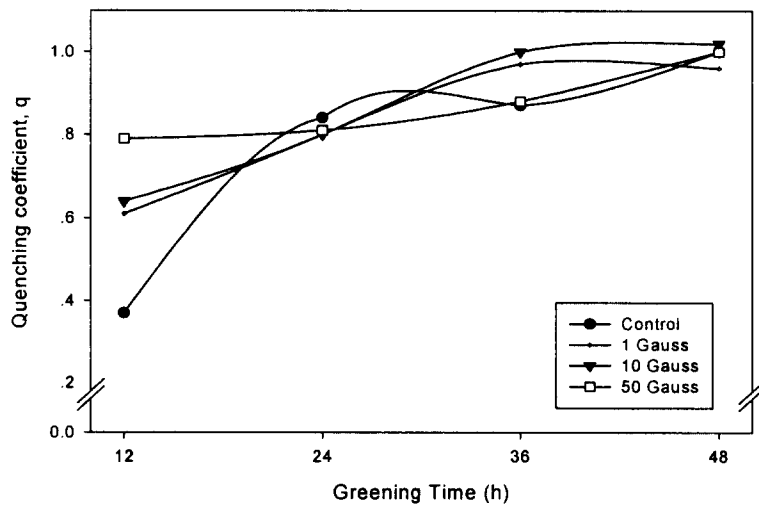


Fig.3 The effects of various Gauss of magnetic field on the chlorophyll quenching characteristics

4. 요약

자계가 보리 잎의 엽록체 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 황백화된 보리 유식물에 자계를 처리하여 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다.

황백화된 보리 유식물에 자계를 처리하면서 녹화시켰을 때 엽록소 a 함량과 carotenoid 함량은 자계 처리구에서 대조구에 비해 감소하였으나 엽록소 b 함량은 자계 처리구에서 대조구에 비해 큰 폭의 증가를 나타내었으며 특히 24시간 녹화 시 50 Gauss의 자계 처리 시 높게 나타났다. 엽록소와 광계 II 반응 중심 이전의 발달에는 1 Gauss의 자계처리가 가장 효과적이었다. 녹화 초기의 짧은 시간에서는 자계의 세기가 높을수록 형광소멸에 관여하는 엽록체의 구조가 발달하였다. 그리고 녹화시간이 비교적 짧은 12시간에서는 50 Gauss에서 광계의 발달이 상대적으로 촉진되지만 녹화시간이 지속된 48시간에서는 10 Gauss의 자계 처리 한 것에서 광계의 전자전달 능력이 크게 증가하였으며 50 Gauss와 10 Gauss의 자계를 처리한 경우 상대적으로 광계의 구성 요소보다 Calvin cycle에 관여하는 구성 요소들의 발달을 더욱 촉진시킨 것으로 사료된다.

참고문헌

- Y. Wamashita, 1987, Creation of seed, Japan industry news paper
H. Maeda, 1993, Do the living things feel the Magnetics, Koudansha Ltd.Co.
U. Oomori, 1993, Bioelectromagnetics and its application, 340-346
H. Takahashi, 1986, Electricity and life institute publication center
Abbe Bertholon, 1985, Uber Elektrizitat in Berzihung 1992. auf diepflanze, Leipzig
S.O. Nelson and E.R Walker, 1961, Agricultural engineering, 42, 688
J.S. Townsend, 1912, The diffusion and mobility of ions in magnetic field, Proc. Royal Society, A&B, 571-577
Murr L.E., 1965, Plant growth response in electrostatic field, vol.207, 1177-1178
Johnson C.C. and A.W. Guy, 1972, Nonionzing electrostatic wave effects in Biological Materials and system, Proc, IEEE., vol. 60, 692-718

Sidaway G.H. and G. F. Asprey, 1966, Influence of electrostatic fields on seeds germination, nature, vol.211, 303

Wheaton, F.W., W.G. Lovely and C.W. Bockhop, 1971, Effects of static and 60hz electric fields on germination rate of corn & soybeans, Trans ASEA, K., vol.14, 39-342.

Hiscox J.D. and G.F. Israelstam, 1972, A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue maceration, Can. J. Bot., 57, 1332-1334

Arnon, D., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol., 24, 1-15.

Jensen S. L. and A. Jensen, 1971, Quantitative determination of carotenoids in photosynthetic tissues, In, Method in Enzymology, Vol 23, 586-602

Driesnaar, A.R.J., U. Schreiber and S. Malkin., 1994, The use of photothermal radiometry in assessing leaf photosynthesis II. Correlation

of energy storage to photosystem II fluorescence parameters.,
Photosynth. Res., 40, 45-54

Oxborough, K. and P. Horton, 1988, A study of the regulation and

function of energy-dependent quenching in pea chloroplasts,
Biochimica

et Biophysica Acta, 934, 135-143