

NaCl이 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

정 화 숙·임 영 진·박 강 은*·박 신 영**
경북대학교 생물교육과, *진주교육대학교 과학교육과, **제주한라대학 임상병리과
(2004년 9월 2일 접수; 2004년 11월 12일 채택)

The Effect of NaCl on the Chl Fluorescence of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Leaves

Hwa-Sook Chung, Young-Jin Lim, Kang-Eun Park* and Shin-Young Park**

Dept. of Biological Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*Dept. of Science Education Chinju National University of Education, Jinju 660-756, Korea

**Dept. of Clinical Pathology, Jeju Halla College, Jeju 690-708, Korea

(Manuscript received 2 September, 2004; accepted 12 November, 2004)

This study was conducted to investigate the changes of chlorophyll contents and chlorophyll fluorescence in barley(*Hordeum vulgare* L.) 7 day old seedling treated with 0.2M, 0.4M, 0.6M, 0.8M, and 1.0M NaCl concentration containing Hepes buffer(pH 7.5). Barley was affected by NaCl treatment. The chlorophyll a, b and carotenoid of barley decreased with an increase in NaCl concentration. However, chlorophyll a, b and carotenoid of barley were not greatly influenced by 0.8M and 1.0M NaCl. Fv, Fv/Fm and qP were gradually decreased by higher concentration of NaCl. qP, qNP, qR and qE were gradually decreased by 6hr. During barley chloroplast was development NaCl affected chlorophyll synthesis than photosynthetic activity. Whereas barley seedling leaves were more influenced photosynthetic activity than chlorophyll contents by NaCl.

Key Words : NaCl, Barley Leaves, Chlorophyll, Chl fluorescence

1. 서 론

토양 속의 염은 식물의 성장, 단백질 합성 및 이산화탄소 동화와 같은 생화학적 반응에 영향을 미침으로써 식물의 성장을 억제한다. Greenway¹⁾는 염에 대한 식물의 성장 반응에 따라 식물을 4가지로 분류하였는데 이 중 보리는 50mM NaCl까지는 성장의 감소를 보이지 않으나 그 이상의 염 농도에서는 성장저해를 겪는 염 내성 종으로 분류하였다. 광합성은 식물의 가장 중요한 대사과정 중 하나로서 환경요인에 따라 매우 민감하게 반응한다²⁾. Mass와 Hoffman³⁾은 벼, 밀, 보리, 토마토 등의 염해는 발아기 이후에 나타난다고 하였으며, Lynch와 Laüchli⁴⁾는 보리의 경우 염의 피해가 가장 큰 시기는 유효기라고 하였다. 염에 의한 광합성 억제에 대하여 Seemann과

Critchley⁵⁾은 염에 따른 광합성 반응을 기공에 대한 반응과 이산화탄소 고정능력으로 설명하였는데, 기공반응으로는 기공 폐쇄, 공변세포 내 ABA 함량 증가, 팽압저하 등이 일어나며 이산화탄소 고정능력에 대하여 RuBP carboxylase의 농도, CO₂ 함량에 따른 RuBP 재생 능력 저하, 엽록체와 세포질의 높은 이온 함량, 효소활성 저하 등이 일어나 생장이 억제된다고 하였다. 염해를 입은 많은 식물에 있어서 생산량의 감소는 광합성 능력의 감소 때문이다.

환경스트레스에 의해서 가장 많이 손상을 입는 장소 중 하나가 광계II인 것은 초기 광계에 대한 연구에서 보고된바 있다²⁾. 그러나 광계II의 광화학 효율성에 대한 염의 영향에 관한 연구는 적으며, 논쟁 중에 있다. 일부 연구에서 고등식물에 있어 염 스트레스는 광계II 활성을 저해한다는 것을 보여 주었다⁶⁾. 반면에 염이 광계II 활성에 영향을 미치지 않거나⁷⁾, 또는 광계II의 활성을 촉진시킨다는 보고도 있다⁸⁾.

따라서 본 실험에서는 NaCl이 보리 잎의 광합성

Corresponding Author : Hwa-Sook Chung, Dept. of Biological Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
Phone : +82-53-950-5914
E-mail : chunghs@knu.ac.kr

에 미치는 영향을 알아보기 위하여 보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리하여 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

보리(*Hordeum vulgare* L.) 종자를 6시간 동안 증류수에 담가 침전시킨 뒤, perite에 과중하여 온도 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $70 \pm 5\%$ 로 하여 백색광($700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 7일간 조사한 보리 유식물을 실험재료로 이용하였다. 측정 시에는 제 1엽을 끝에서 1cm 제거하고 난 후 2cm 만큼 잘라서 사용하였다. NaCl 처리 농도는 0.2M에서 1.0M까지 0.2M 간격으로 처리하였다. NaCl의 각 농도를 50 mM Hepes buffer (pH 7.5)로 제조하여 살레에 담은 다음 보리 잎을 띄우고 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광하에서 25°C 를 유지하면서 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다.

2.2. 엽록소 함량

엽록소 추출은 Hiscox와 Israelstam⁹⁾의 방법에 따라 DMSO(dimethyl-sulfoxide) 10ml에 잎 0.1g을 넣고 항온수조(65°C)에 3시간 동안 두었다. 색소 함량 측정은 Spectrophotometer(Shimadzu)를 사용하여, 엽록소a와 b의 함량은 Arnon¹⁰⁾의 방법에 따라 663 nm, 645nm에서 측정하였고, carotenoid 함량은 Jensen과 Jensen¹¹⁾의 방법에 따라 480nm에서 측정하여 각 색소의 함량을 정량하였다.

2.3. 엽록소 형광

엽록소 형광 측정은 PAM Chlorophyll Fluorometer (PAM 101, H. Walz, Effeltrich, Germany)를 이용하였다. 약 20분간 암적응 시킨 잎 절편에 변조된 약한 측정광($0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하여 Fo(광계II의 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 Fm(QA의 환원상태에 있을 때의 형광)을 구하였으며, Fv는 Fm과 Fo의 차이로 계산하였다. 그리고 Fv/Fm는 광계II의 광화학 효율 지표로 이용하였다¹²⁾. 지속적인 활성화광($1,330 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하면서 포화광을 20초 주기로 1초간 pulse 처리하여 형광소멸요인을 분석하였다. 형광소멸요인으로는 quinone의 산화환원 상태를 나타낸 것으로 광계II 반응중심의 열림 상태를 반영하는 qP(photochemical fluorescence quenching), 비광화학적 형광소멸인 qNP(nonphotochemical fluorescence quenching), 고에너지에 기인한 형광소멸요인인 qE(energy-dependent fluorescence quenching), 그리고 비광화학적 형광소멸요인중 여기된 에너지를 열

로 방출하는 경로 qR을 구하였다¹³⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 엽록소 함량

NaCl이 보리 잎의 광합성 색소에 미치는 영향을 알아보기 위하여 보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리한 후 6시간 간격으로 엽록소a, b 및 카로티노이드 함량을 측정하고 엽록소a/b 비를 구하였다(Fig. 1). 엽록소a 함량을 보면 대조구에서는 시간이 지속됨에 따라 경미하게 감소하여 66시간에서는 처음보다 약 13% 감소하였다. NaCl 실험구에서는 처리시간이 지속됨에 따라 감소하였다. NaCl의 농도가 0.2M, 0.4M 그리고 0.6M로 증가할수록 엽록소a 함량의 감소 정도가 크게 나타났으나, 0.8M과 1.0M의 실험구에서는 감소 정도가 적었다. NaCl 처리시간이 66시간일 때 0.2M, 0.4M 및 0.6M NaCl 실험구에서는 엽록소a 함량이 대조구에 비해 각각 약 37%, 45%, 58% 감소하였으나 0.8M과 1.0M NaCl 실험구에서는 39%와 22% 정도 감소하였다. NaCl의 농도가 0.6M까지는 엽록소a의 분해가 촉진되었지만 그 이상의 농도에서는 엽록소a의 분해가 지연되었음을 알 수 있었다.

엽록소b 함량을 보면 대조구에서는 처리시간이 지속됨에 따라 경미하게 감소하여 66시간에서는 약 9% 감소하였다. NaCl 실험구에서는 시간의 경과함에 따라 감소하였으며 NaCl의 농도가 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 증가할수록 엽록소b 함량이 크게 감소하였으나 0.8M과 1.0M의 NaCl에서는 감소 정도가 적었다. 처리시간이 66시간일 때 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 NaCl 농도가 증가함에 따라 대조구에 비해 각각 18%, 21%, 27% 낮게 나타났으나 0.8M과 1.0M NaCl의 실험구는 각각 13%, 6% 만 낮게 나타났다. 그러므로 엽록소a 에서와 같이 NaCl의 농도가 0.6M까지는 엽록소b 의 분해가 촉진되었으나 그 이상의 농도에서는 지연되었음을 알 수 있었다.

엽록소a/b 비는 대조구의 경우 시간이 경과하여도 거의 변하지 않았으며 66시간에서는 약 4% 감소하였다. NaCl 실험구의 엽록소a/b 비는 처리시간이 지속됨에 따라 감소하였는데 NaCl의 농도가 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 증가할수록 감소 폭이 크게 나타났으나, 0.8M과 1.0M에서는 감소폭이 상대적으로 줄었다. NaCl 처리시간이 66시간일 때 0.2M, 0.4M 및 0.6M NaCl의 처리 농도가 증가함에 따라 엽록소a/b 비는 각각 24%, 30% 및 43%나 낮았으나 0.8M과 1.0M NaCl 실험구에서는 각각 25%, 17% 낮게 나타났다.

카로티노이드 함량을 보면 대조구에서는 처리시

NaCl이 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

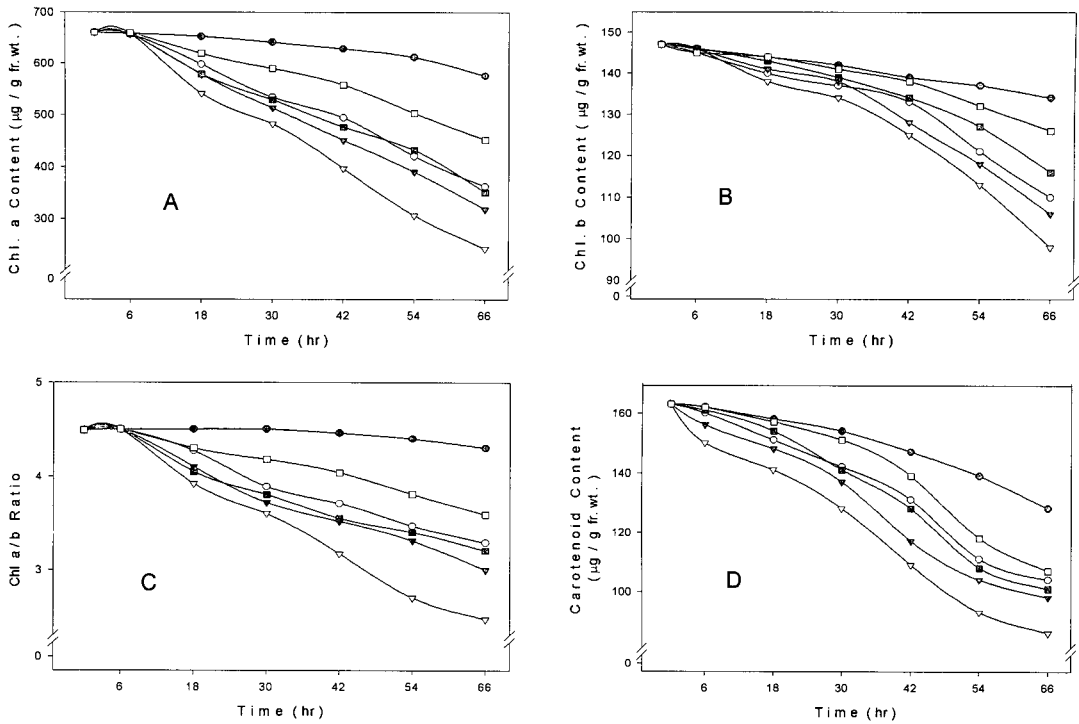


Fig. 1. Effects of the various concentrations of NaCl on the Chl a, Chl b, carotenoid contents and the Chl a/b ratio of the barley leaf fragments. The values are the means of three independent experiments with three measurements. ●, control; ○, 0.2M NaCl; ▼, 0.4M NaCl; ▽, 0.6M NaCl; ■, 0.8M NaCl; □, 1.0M NaCl. A, Chl a content; B, Chl b, content; C, carotenoid content; D, Chl a/b ratio.

간이 경과하면서 감소하여 66시간에서는 약 22% 감소하였다. NaCl 실험구에서는 처리시간이 길어짐에 따라 감소하였는데, NaCl의 농도가 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 증가할수록 감소 폭이 크게 나타났으나, 0.8M과 1.0M NaCl 실험구에서는 감소 폭이 낮았다. 처리시간이 66시간일 때 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 NaCl 농도가 증가함에 따라 각각 19%, 23%, 33%나 낮게 나타났으나 0.8M과 1.0M NaCl 실험구에서는 각각 21%, 16% 낮게 나타났다. 그러므로 엽록소a와 엽록소b 함량에서와 마찬가지로 NaCl의 농도가 0.6M까지는 카로티노이드의 분해가 촉진되었으나 그 이상의 농도에서는 카로티노이드의 분해가 지연되었음을 알 수 있었다. NaCl이 엽록소a, b 및 카로티노이드의 분해에 미친 영향은 유사하였지만 엽록소a, 카로티노이드 그리고 엽록소b 순으로 영향을 준 것을 알 수 있었다.

3.2. 엽록소 형광

보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리한 후 6시간 간격으로 엽록소 형광을 측정하여 Fo, Fv 및 Fv/Fm 비를 상대적으로 나타내었다(Fig. 2).

Fo는 들뜬 에너지가 광계 II 반응중심으로 이동

하기 전 광계 II 안테나의 들뜬 엽록소 분자들에 의해 발생하는 형광이다. QA가 완전히 산화 상태에 있을 정도의 아주 약한 적색광에 의해 나타나며 이 때 광계 II 반응중심은 모두 열려 있다¹⁴⁾. 대조구에서 Fo는 시간이 지속됨에 따라 경미하게 감소하여 66시간에서는 처음보다 약 3% 감소하였다. NaCl 실험구의 Fo는 엽록소a, b 및 카로티노이드 함량 변화와 유사한 패턴을 보였다. 즉 처리한 NaCl의 농도가 0.2M, 0.4M 및 0.6M로 증가함에 따라 Fo도 감소하였으며 66시간에서는 대조구에 비해 각각 9%, 13%, 17%로 감소 폭이 증가하였다. 그러나 0.8M과 1.0M의 NaCl 실험구에서는 Fo의 감소 정도가 둔화되어 66시간에서 각각 11%와 10% 감소되었다.

대조구에서의 Fv는 시간이 지속됨에 따라 감소하여 66시간에서는 11% 감소하였다. NaCl 실험구의 Fv는 Fo와는 달리 처리한 NaCl의 농도가 증가함에 따라 감소의 폭이 크게 증가하여 NaCl을 0.2M, 0.4M, 0.6M, 0.8M 및 1.0M에서 66시간 처리한 경우 대조구에 비해 각각 약 22%, 33%, 55%, 67% 및 73%로 현저하게 억제되었다. Fv는 QA의 환원과 재산화율의 차이에 의해 형성되는 형광¹⁴⁾이다. 그러므

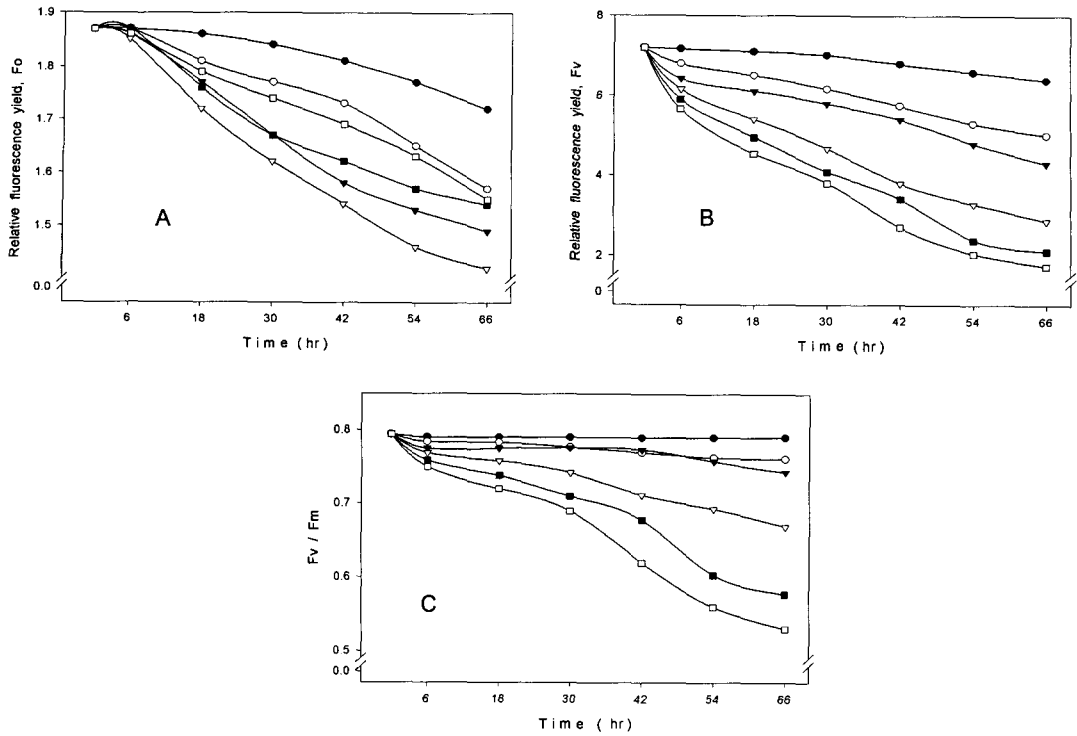


Fig. 2. Effects of NaCl on the Fo, Fv and Fv/Fm of barley seedling. The values are the means of three independent experiments with three measurements. ●, control; ○, 0.2M NaCl; ▼, 0.4M NaCl; ▽, 0.6M NaCl; ■, 0.8M NaCl; □, 1.0M NaCl. A, Fo; B, Fv; C, Fv/Fm.

로 NaCl의 농도가 높아질수록 광계 II의 전자전달이 더욱 심각하게 억제되었다는 것을 알 수 있었다¹⁵⁾.

Fv/Fm 비는 대조구의 경우 시간이 지속되어도 거의 변화가 없었다. NaCl 실험구의 Fv/Fm 비는 0.2M과 0.4M에서는 대조구보다 다소 낮았지만 대조구와 유사한 패턴을 보였다. 그러나 0.6M 이상의 NaCl 실험구에서는 처리시간이 지속될수록 감소 정도가 크게 나타났다. 즉 66시간 처리시 0.6M NaCl 실험구에서는 약 15%, 0.8M과 1.0M에서는 각각 약 27%, 33% 낮게 나타났다. 이상과 같은 결과에서 0.2M과 0.4M NaCl 실험구의 광계 II 반응 중심의 효율은 거의 억제되지 않음을 알 수 있었다. 0.6M, 0.8M 및 1.0M NaCl 실험구는 처리 30시간 이후부터 Fv/Fm 비가 현저히 낮게 나타난 것으로 보아 처리시간이 지속된 후에 광계 II의 반응중심의 효율이 억제된 것을 알 수 있었다.

보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리한 후 6시간 간격으로 측정된 엽록소 형광소멸요인을 분석하여 qP, qNP, qR 및 qE로 나타내었다(Fig. 3).

대조구의 qP는 시간이 지속될수록 점차적으로 감소하여 66시간에서는 약 31% 감소하였다. NaCl 실험구의 qP는 처리한 NaCl의 농도가 0.2M에서 1.0M

로 높아질수록 그 영향이 크게 나타나 66시간 처리시 대조구보다 각각 7%, 15%, 26%, 30%, 33% 감소하였다. 0.6M 이상의 NaCl 실험구에서는 처리시간이 18시간까지 qP가 급격히 감소한 후 이후에는 감소 폭이 둔화되었다.

대조구의 qNP는 시간이 지남에 따라 점차적으로 감소하여 66시간에서는 처음보다 약 24% 낮게 나타났다. 0.2M과 0.4M NaCl 실험구에서는 대조구와 유사한 패턴을 보였지만 NaCl 농도에 비례해서 그 값이 낮게 나타났으며, 66시간에서는 대조구보다 각각 17%, 37% 낮게 나타났다. 처리한 NaCl의 농도가 0.6M, 0.8M 그리고 1.0M로 증가하면 처리 후 6시간에서 급격히 낮아진 후 서서히 감소하여 66시간에서는 대조구에 비해 각각 약 51%, 54%, 55% 낮게 나타났다.

엽록소 형광 소멸요인중 qR은 대조구, 0.2M, 0.4M NaCl 실험구가 유사한 패턴을 보였으며, 처리시간이 지속됨에 따라 점차적으로 감소하여 66시간에서는 각각 32%, 39%, 50% 낮게 나타났다. NaCl의 농도가 0.6M, 0.8M 및 1.0M로 증가할수록 qR은 현저하게 감소하였으며 66시간에서는 각각 59%, 77%, 77% 낮게 나타났다.

NaCl이 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

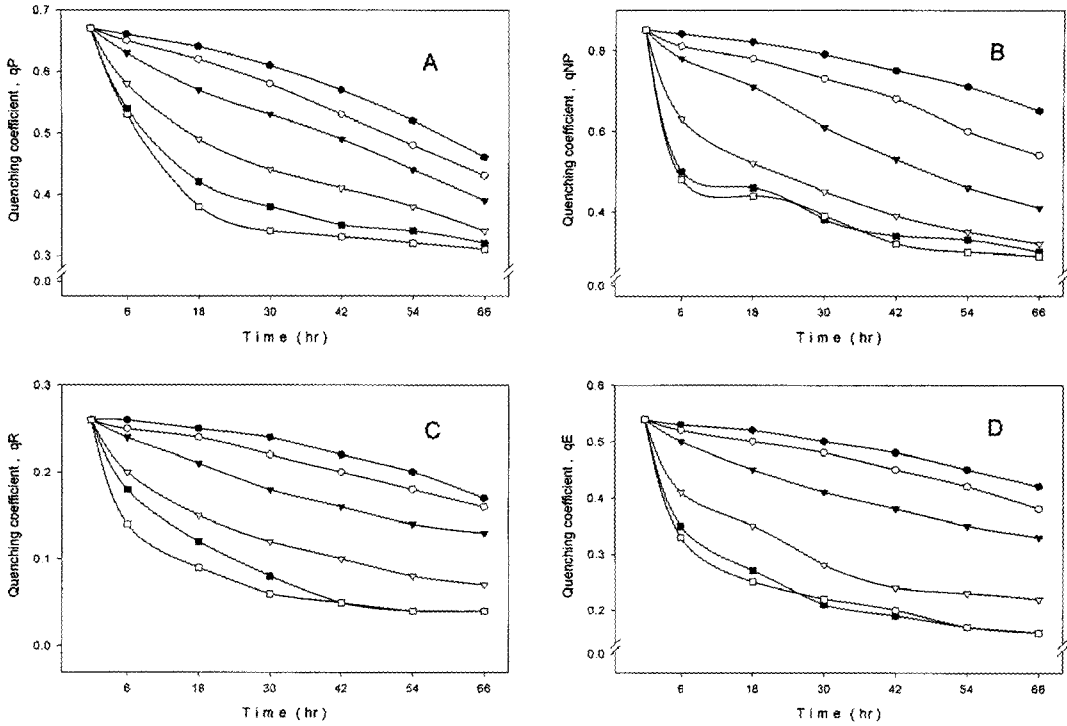


Fig. 3. Effects of NaCl on the qP, qNP, qR and qE of barley seedling. The values are the means of three independent experiments with three measurements. ●, control; ○, 0.2M NaCl; ▼, 0.4M NaCl; ▽, 0.6M NaCl; ■, 0.8M NaCl; □, 1.0M NaCl. A, qP; B, qNP; C, qR; D, qE.

엽록소 형광 소멸요인중 qE는 대조구와 0.2M 및 0.4M NaCl 실험구에서 유사한 패턴을 보였으며, 처리시간이 지속함에 따라 낮아져서 66시간에는 각각 약 22%, 30%, 39% 낮게 나타났다. 그리고 0.6M, 0.8M 그리고 1.0M로 NaCl의 농도가 증가함에 따라 6시간 처리부터 심각하게 억제되어 66시간에서는 각각 48%, 62%, 62% 낮게 나타났다.

4. 결론

NaCl이 보리 유식물 잎에 미치는 영향을 알아보기 위하여 NaCl을 0.2M에서 1.0M까지 0.2M간격으로 보리 잎에 처리하며 6시간마다 엽록소 함량과 엽록소 형광을 분석하였다.

NaCl이 엽록소 함량에 미치는 영향을 살펴보면 대조구의 엽록소와 카로티노이드 함량은 시간이 지날수록 경미하게 감소되는 것에 반하여 0.2M, 0.4M, 0.6M의 NaCl 실험구에서는 NaCl의 농도가 증가할수록 엽록소 a, b, 카로티노이드의 함량이 크게 감소하였다. 그러나 NaCl의 농도가 0.8M과 1.0M의 실험구에서는 엽록소 a, b, 카로티노이드의 함량이 대조구에 비하여 감소하지는 하지만 0.2M, 0.4M, 0.6M의 실험구에서와 같이 큰 폭으로 감소하지는 않았

다. 처리 시간이 66시간일 때 0.6M NaCl 실험구의 경우 엽록소 a의 함량이 대조구에 비하여 58% 낮게 나타났지만 1.0M의 경우 22% 감소한 것으로 나타났다. 전체적인 경향으로는 NaCl 처리에 의해 엽록소 함량이 감소한 것으로 이는 보리¹⁶⁾, 벼¹⁷⁾, 시금치¹⁸⁾ 등의 경우 NaCl의 농도가 증가할수록 엽록소 함량이 감소한다는 보고와 유사한 경향을 보였으나 이¹⁹⁾ 등의 이탈리아인 라이그라스의 유묘기에는 엽록소 함량이 NaCl의 농도가 높아질수록 증가되었다는 보고와는 일치하지 않았다. 이^{19,20)} 등은 NaCl의 농도가 증가할수록 엽록소 함량이 증가하는 이유는 NaCl 처리에 따른 엽록소의 활성이 감소하여 광합성의 산물인 건량의 생성이 저조하기 때문에 상대적으로 엽록소의 함량이 증가되는 것으로 표현하였다. 따라서 0.8M과 1.0M에서 엽록소의 함량 감소가 지연되는 것은 좀 더 검토해 볼 것으로 생각된다.

보리 잎에 NaCl을 농도별로 처리하였을 때 Fo는 엽록소의 함량 패턴이 보여준 것과 같이 0.6M NaCl 실험구에서 가장 낮게 나타나고 0.8M과 1.0M에서는 대조구에 비하여 감소하지는 하였는데 감소 폭이 0.6M보다 낮았다. Fo는 안테나 색소의 엽록소에서 발생하는 형광이므로 NaCl을 처리하였을 때 나타나

는 엽록소 함량과 유사한 패턴의 결과를 얻었다.

Fv와 Fv/Fm 비는 NaCl의 농도에 비례하여 영향을 받아 1.0M의 NaCl 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다. Fv는 Fm의 값에서 Fo의 값을 뺀 것이다. Fo의 대조구 값과 Fv의 대조구 값을 비교해 볼 때 시간이 지남으로써 Fv의 값이 더 많이 감소한 것을 볼 수 있다. NaCl을 처리한 실험구에서도 대조구와 마찬가지로 Fo의 값과 Fv 값을 비교해 보면 Fv 값이 큰 폭으로 감소한 것을 볼 수 있다. 따라서 엽록체 막에 있어서 NaCl이 영향을 미치는 부위는 안테나 색소 보다 광계 II의 반응 중심에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Fv의 값은 NaCl의 농도가 증가할수록 더욱 크게 영향을 미쳐서 66시간의 경우 대조구에 비해 1.0M의 실험구가 73% 더 저해를 받는 것으로 나타났다. 광합성 효율 지수로 사용되는 Fv/Fm은 대조구의 경우 시간이 경과되더라도 거의 변화가 일어나지 않았으며, 0.2M과 0.4M에서는 대조구보다는 크지만 거의 유사한 패턴을 보여 주었다. 그러나 NaCl의 농도가 증가할수록 Fv/Fm의 값이 감소하기 시작하여 1.0M NaCl을 66시간 처리한 실험구의 값은 대조구에 비하여 33% 낮게 나타났다. 이는 NaCl에 의해 안테나 색소에서 반응중심으로의 에너지 전달이 억제되고 광계 II의 반응 중심이 영향을 받아 광합성 효율이 감소되었음을 알 수 있다. 또한 광합성 효율이 NaCl을 처리한지 30시간 이후에 급격히 감소되었다.

형광소멸요인은 QA의 산화환원 상태를 나타내는 광화학적 형광 소멸요인 qP와 비광화학적 형광 소멸요인인 qNP로 나눌 수 있으며 비광학적 형광 소멸요인은 에너지 의존적인 형광 소멸요인 qE와 여기된 에너지가 열로 방출되는 경로인 qR로 세분화 할 수 있다. 광화학적 형광 소멸 요인인 qP는 반응 중심의 폐쇄와 비례하여 QA의 환원 값을 나타낸다. qP의 값은 대조구의 경우 처음보다 처리 시간이 지속될수록 감소하여 66시간이 경과하였을 때는 처음보다 31% 감소하였다. 또한 NaCl을 처리한 실험구에서는 처리 농도를 증가하고 처리 시간이 지속될수록 감소의 폭이 증가하여 66시간이 경과하였을 때는 대조구에 비하여 7%, 15%, 26%, 30% 그리고 1.0M의 실험구는 33% 감소한 것으로 나타났다. 즉, NaCl의 영향으로 quinone의 산화환원이 억제되며 억제정도는 NaCl의 농도에 비례하는 것으로 보인다. 이러한 결과는 NaCl이 탄소 고정 효소의 활성을 저해한다는 Seemann과 Critchley⁵⁾의 보고에서와 같이 0.6M이상의 NaCl 실험구에는 NaCl이 캘빈 회로에 관여하는 효소의 활성을 저해하여 광계 II 이후로의 전자전달을 저해함으로써 quinone의 산화

환원이 억제된 때문인 것으로 생각된다. 비광화학적 형광 소멸 요인은 NaCl의 농도가 증가할수록 감소의 폭이 커져서 0.6M의 실험구는 대조구에 비해 66시간 처리시 50% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 이는 0.6M의 NaCl에서 광화학적 형광 소멸 요인이 대조구에 비하여 26% 감소한 것에 비하면 약 2배에 달하는 것으로 NaCl이 광화학적 형광 소멸 요인보다 비광화학적 형광 소멸 요인에 미치는 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한 비광학적 형광 소멸 요인 중에서 qE에 미치는 영향보다 qR에 미치는 영향이 더 큰 것으로 보인다. 이것으로 보아 NaCl은 광계 II 반응 중심의 산화부위와 CO₂ 고정 반응을 억제시키는 것을 알 수 있었다²¹⁾.

감사의 글

이 논문은 2000년도 경북대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) Greenway, H. and R. Munns, 1980, Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 31, 149-190.
- 2) Baker, N. R., 1991, A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis, *Physiologia Plantarum*, 81, 563-570.
- 3) Mass, E. V. and G. J. Hoffman, 1977, Crop salt tolerance-current assessment, *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 103, 115-134.
- 4) Lynch, J. and A. Läuchli, 1984, Barley roots, *Planta*, 161, 295-301.
- 5) Seemann, J. R. and C. Critchley, 1985, Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species *Phaseolus vulgaris* L., *Planta*, 164, 151-162.
- 6) Bongio, G. and F. Loreto, 1989, Gas-exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves, *Plant Physiol.*, 90, 1408-1416.
- 7) Robinson, S. J., C. S. DeRoo and C. F. Yocum, 1982, Photosynthetic electron transfer in preparations of the cyanobacterium *Spirulina platensis*, *Plant Physiol.*, 70, 154-161.
- 8) Smillie, R., and R. Nott, 1982, Salt tolerance in crop monitored by chlorophyll fluorescence *in vivo*, *Plant Physiol.*, 70, 1049-1054.
- 9) Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam, 1979, A

- method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration, *Can. J. Bot.*, 57, 1332-1334.
- 10) Arnon, D., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiol.*, 24, 1-15.
 - 11) Jensen, S. L. and A. Jensen, 1971, Quantitative determination of carotenoids in photosynthetic tissues. *In*, *Method in Enzymology*, Academic Press, 23, 586-602.
 - 12) Driesehaar, 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.
 - 13) Schreiber, U., 1986, Chlorophyll fluorescence assay for ozone injury in intact plants, *Plant Physiol.*, 61, 80-84.
 - 14) Bolh ar-Nordenkamof and G.  quist, 1993, Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. *In*, *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*, (Hall, D. O., J. M. O. Scurlock, H. R. Bolh ar-Nordenkamp, R. C. Leegood and S. P. Long eds.), Clays Ltd., 194-206pp.
 - 15) Horton, P. and A. Hague, 1998, Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in isolated barley protoplasts. IV Resolution of non-photochemical quenching, *Biochim. Biophys. Acta*, 932, 107-115.
 - 16) Cho, J. W. and C. S. Kim, 1998, Effects of NaCl concentration on photosynthesis and mineral content of barley seedling culture, *Kor. J. Crop Sci.*, 43, 152-156.
 - 17) Lee, K. S., J. S. Lee and S. Y. Choi, 1992, Changes in content of chlorophyll and free proline as affects by NaCl in rice seedling, *Kor. J. Crop Sci.*, 37, 178-184.
 - 18) Robinson, S. P., W. J. Downton and J. A. Millhouse, 1983, Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplasts of salt-stressed spinach, *Plant Physiol.*, 73, 238-242.
 - 19) Lee, S. G., Y. W. Seo, J. W. Johnson and B. H. Kang, 1997, Effects of NaCl concentration on germination and seedling growth of italian ryegrass, *Kor. J. Crop Sci.*, 40, 340-350.
 - 20) Cho, J. W. and C. S. Kim, 2000, Response of growth and photosynthesis to NaCl stress in soybean seedling, 19(2), 166-170.
 - 21) Park, K. E. and H. S. Chung, 1997, Changes of chlorophyll fluorescence by the greening of etiolated barley(*Hordeum vulgare* L.) seedling, *Korean J. Bio.*, 12, 47-52.