

NaCl이 황백화된 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 녹화에 미치는 영향

정 화 숙·임 영 진^{*}·송 승 달^{*}·노 광 수^{**}·송 종 석^{***}·박 강 은^{****}
경북대학교 생물교육과·경북대학교 생물학과·^{*}계명대학교 생물과
^{**}안동대학교 생물과·^{***}진주교육대학교 과학교육과
(2002년 1월 4일 접수; 2002년 10월 8일 채택)

The Effect of NaCl on the Greening of Etiolated Leaves of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seedlings

Hwa-Sook Chung, Young-Jin Lim^{*}, Seung-Dal Song^{*}, Kwang-Soo Roh^{**},
Jong-Suk Song^{***} and Kang-Eun Park^{****}

^{*}Dept. of Biological Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

^{**}Dept. of Biology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

^{***}Dept. of Biology, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

^{****}Dept. of Biology, Andong National University, Andong 760-749, Korea

^{*****}Dept. of Science Education, Chinju National University of Education, Chinju 660-756, Korea

(Manuscript received 4 January, 2002; accepted 8 October, 2002)

The effects on photosynthesis of NaCl(0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 or 1.0 M) were examined in etiolated barley seedlings. Chlorophyll(Chl) a, Chl b and carotenoid contents, Chl a fluorescence and quenching coefficients of Chl fluorescence have been determined in the primary leaves of etiolated barley seedlings cultivated under low light($60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Chl a, b, and carotenoid contents were decreased remarkably in comparison with the control at 0.4 M NaCl. However, the value of Fo and Fv were decreased at 0.6 M NaCl and the ratio of Fv/Fm were decreased at 1.0 M NaCl. Chlorophyll synthesis was seriously inhibited from 0.4 M NaCl, and the photosynthetic electron transport system was inhibited from 0.6 M NaCl. Quantum of photosystem II reaction center was inhibited at 1.0 M NaCl.

The effects of NaCl on the Chl content were raised in a 6 hrs, but the effects of NaCl on the value of Fo, Fv and Fv/Fm were raised in 30 hrs. The value of qP was decreased in comparison with the control at all concentrations, but there was a small change in the value qE. These results provide evidence that NaCl inhibited effects of various concentration of NaCl were inhibited quinone redox, however, proton gradient between thylakoid membranes was little damaged.

Key words : salinity, salt stress, etiolated barley seedlings, chlorophyll, Chl fluorescence

1. 서 론

자연상태에서 식물은 다양한 종류의 환경 스트레

스에 노출되고 있다. 특히 토양 및 지하수내의 과도한 염은 세계 도처에서 염에 민감한 작물의 생산성을 저해하는 요인으로 작용한다¹⁾. 이러한 염류화 현상은 건조 및 반건조 지역에서 특히 많이 발생하며 지구의 온난화에 따르는 기온 상승으로 인해 그 현상이 증가하고 있다²⁾. 이러한 환경에서 생육하는 식물들은 고농도의 염에 노출되어 생장이 저해되고

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

대사과정에 중요한 변화를 초래하는 등 많은 영향을 받고 있다. 특히 식물의 광합성과 관련한 염의 영향을 살펴보면 기공이 폐쇄되고 ABA 함량이 증가하며, rubisco의 농도와 RuBP의 재생 능력이 감소하였다. 또한 엽록체와 세포질의 이온 함량이 증가하고 엽록소의 함량은 감소하였다³⁾. 염해를 입은 많은 식물에 있어서 생산량의 감소는 광합성 능력의 감소에 기인한다.

환경스트레스에 의해서 가장 많은 손상을 입는 부위 중 하나가 광계Ⅱ인 것으로 보고된 바 있다⁴⁾. 광계Ⅱ의 광화학 효율성에 대한 염의 영향에 관해서는 논쟁이 계속되고 있다. 일부 연구는 고등식물에 있어 염 스트레스는 광계Ⅱ 활성을 저해한다는 것을 보여 주었으나⁵⁾, 반면에 염이 광계Ⅱ 활성에 영향을 미치지 않거나⁶⁾ 광계Ⅱ의 활성을 높여준다고 하였다⁷⁾.

황백화된 식물은 빛에 의해 광합성 기구가 발달하여 광합성능이 급격히 증진되므로 이 때의 환경요인은 매우 중요하다. 황백화된 보리 잎에 수은, 구리 및 아연⁸⁾ 등의 중금속과 산성 전해수⁹⁾ 및 오존¹⁰⁾ 등을 처리하여 광합성 기구의 발달에 미치는 영향에 대해서는 많은 보고가 있다. 그러나 황백화된 보리 유식물을 녹화시키는 동안 NaCl이 광합성에 미치는 영향에 대한 보고는 거의 없다.

따라서 본 연구는 NaCl이 식물의 광합성 기구의 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 황백화된 보리 잎에 NaCl을 처리하여 녹화시키는 과정에서 엽록소 함량과 엽록소 형광변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

경상북도 성주군 농촌지도소에서 분양받은 보리 (*Hordeum vulgare* L. cv. Olbori) 종자를 증류수에 담가 세척한 후 perlite에 파종하여 암소(22±2°C, 상대습도 70±5%)에서 키운 황백화된 보리 유식물을 실험재료로 사용하였다. 제 일엽을 끝에서 1cm 제거하고 난 후 2cm 길이의 잎을 잘라서 측정에 이용하였다. NaCl이 엽록체 발달에 미치는 영향을 조사하기 위해서 황백화된 보리 유식물에 0.2M, 0.4M, 0.6M, 0.8M, 1.0M의 NaCl 용액을 66시간동안 처리하면서 비교적 약광(60μmol m⁻²s⁻¹)을 조사하여 녹화시켰다.

2.2. 엽록소 함량

엽록소 추출은 Hiscox와 Israelstam¹¹⁾의 방법에 따라 행하였는데, 먼저 DMSO(dimethyl-sulfoxide) 10 ml에 잎 0.1 g을 넣고 항온수조(65°C)에 3시간 동안 두었다. 색소함량 측정은 Spectrophotometer

(Shimadzu, Japan)를 사용하였고, 엽록소 a 와 b의 함량은 Arnon¹²⁾의 방법에 따라 663 nm, 645 nm에서 측정하였다. Carotenoid 함량은 Jensen과 Jensen¹³⁾의 방법에 따라 480 nm에서 측정하였다.

2.3. 엽록소 형광

엽록소 형광 측정은 PAM chlorophyll fluorometer (PAM 101, H. Walz, Effeltrich, Germany)를 이용하였다. 약 20분간 암적응시킨 잎 절편에 변조된 약한 측정광(0.1μmol m⁻²s⁻¹)을 조사하여 Fo(광계Ⅱ의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나색소로부터 방출되는 형광)를 구하고, 포화광(3000μmol m⁻²s⁻¹)을 조사하여 Fm(QA의 환원상태에 있을 때의 형광)을 구하였으며, Fv는 Fm과 Fo의 차이로 계산하였다. 그리고 Fv/Fm는 광계Ⅱ의 광화학효율 지표로 이용하였다¹⁴⁾. 지속적인 활성광(1330μmol m⁻²s⁻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 형광소멸요인 중 여기된 에너지를 열로 방출하는 경로 qR을 구하였다¹⁵⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 엽록소 함량

황백화시킨 보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리한 후 녹화를 하면서 6시간 간격으로 엽록소 a, b 및 카로티노이드 함량을 66시간까지 측정하였다(Fig. 1.) 대조구의 엽록소 a 함량 변화를 보면 30시간까지는 녹화시간이 지속됨에 따라 급격히 증가하였으며, 그 후 증가폭이 둔화되어 66시간에서는 약 576 μg/g fr. wt.로 증가하였다(Fig. 1A). NaCl 처리구에서는 처리한 NaCl의 농도가 0.2 M에서 0.4 M로 증가함에 따라 엽록소 a 함량 증가폭이 현저히 감소하여 66시간 녹화했을 때는 대조구보다 각각 37%와 70% 낮게 나타났다. 특히 0.6 M, 0.8 M 및 1.0 M의 NaCl 처리구에서는 엽록소 a 함량의 증가가 거의 없었다. 이것으로 보아 0.6 M 이상의 NaCl 처리구에서는 엽록소 a 합성이 거의 이루어지지 않았다는 것을 알 수 있었다. 저농도인 0.2 M NaCl 처리구에서 엽록소 a 함량변화는 30시간까지는 대조구와 유사하였으나 그 이후부터 대조구와 현저한 차이가 나타났으며 0.4 M NaCl 처리구에서는 6시간 이후부터 대조구와 현저한 차이를 보였다. 이것으로 보아

NaCl이 황백화된 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 녹화에 미치는 영향

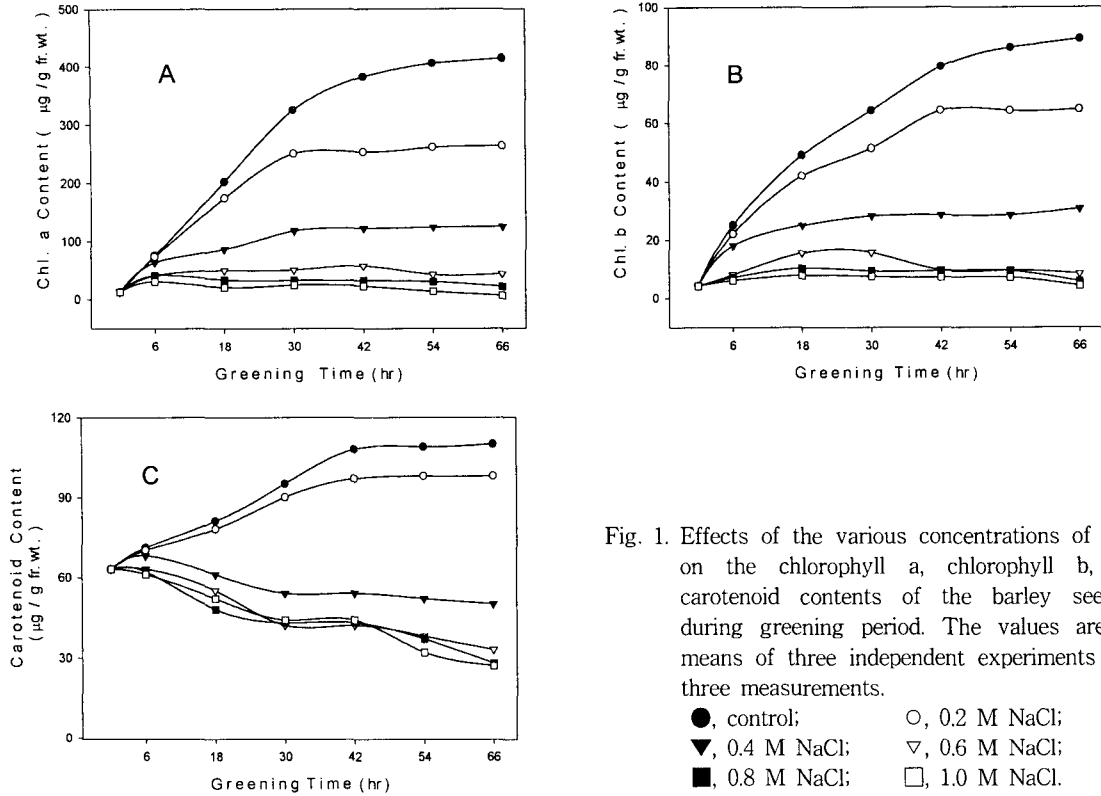


Fig. 1. Effects of the various concentrations of NaCl on the chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid contents of the barley seedling during greening period. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

●, control; ○, 0.2 M NaCl;
 ▼, 0.4 M NaCl; ▽, 0.6 M NaCl;
 ■, 0.8 M NaCl; □, 1.0 M NaCl.

0.2 M NaCl 처리구에서는 엽록소 a 합성에 대한 NaCl의 저해가 30시간 이후부터 나타났으며 0.4 M NaCl 처리구에서는 6시간에서부터 시작되었음을 알 수 있다. 그러나 이와같은 결과는 시금치에 0.2 M NaCl을 처리했을 때 엽록소 a에는 영향을 주지 않았다는 Robinson 등¹⁶⁾의 보고와 상반된다.

대조구의 엽록소 b 함량은 녹화시간이 42시간까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 완만히 증가하여 66시간에서는 약 89 µg/g fr. wt.로 나타났다 (Fig. 1B). 0.2 M NaCl를 처리한 경우에도 42시간까지는 엽록소 b의 함량이 급격히 증가하다가 이후부터 66시간까지는 거의 증가하지 않았으며 이 때의 엽록소 b의 함량은 대조구보다 27% 낮았다. 0.4 M NaCl 처리구에서는 6시간까지만 엽록소 b의 함량이 증가한 후 66시간까지는 거의 증가하지 않았으며 이 때의 엽록소 함량은 대조구보다 66% 낮게 나타났다. 그러나 0.6 M, 0.8 M 및 1.0 M의 NaCl 처리구에서 엽록소 b 함량은 엽록소 a와 마찬가지로 거의 변화가 없었다. 이와 같은 결과로 보아 엽록소 b 합성은 0.2 M NaCl 처리구에서는 42시간 이후부터 저해받기 시작하였으며, 0.4 M NaCl 처리구에서는 엽록소 a 합성에서와 같이 6시간 이후부터 저해

증상이 나타나기 시작한 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 염해로 인해 엽록소 함량이 감소한다는 Seemann과 Critchley³⁾의 보고와 일치하였다.

대조구와 0.2 M NaCl 처리구의 카로티노이드 함량 변화는 유사한 패턴으로 나타났으며 (Fig. 1C), 녹화를 시작한 후 30시간까지는 비슷한 수치를 보였다. 그러나 30시간 이후부터 녹화시간이 지속됨에 따라 0.2 M NaCl 처리구는 대조구보다 카로티노이드 함량이 점차 낮아져 66시간에서는 대조구보다 11% 낮게 나타났다. 그러나 0.4 M, 0.6 M, 0.8 M 및 1.0 M NaCl 처리구에서는 녹화 후 6시간에서만 극미한 증가를 보인 후 녹화시간이 지속됨에 따라 카로티노이드 함량은 녹화 전보다 오히려 감소하였다. 이것으로 보아 0.2 M NaCl 처리구의 경우는 카로티노이드 합성에 미치는 NaCl의 저해가 엽록소 a와 b 합성에 미치는 저해보다는 적었지만, 0.4 M 이상의 NaCl 농도에서는 엽록소 a와 b 합성에 미치는 저해보다도 더 심각하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.2. 엽록소 형광

NaCl이 보리 잎의 광합성계의 발달에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 황백화시킨 보리 유식물의

앞에 NaCl을 처리한 후 녹화를 하면서 6시간 간격으로 엽록소 형광을 측정하여 F_o , F_v 및 F_v/F_m 비를 조사하였다(Fig. 2). 대조구의 F_o 는 녹화를 시작한 후 18시간까지 급격히 증가하다가 시간이 지속됨에 따라 약간의 감소를 보였다(Fig. 1A). 0.2 M과 0.4 M NaCl 처리구의 F_o 는 30시간까지는 대조구와 유사한 양상을 보였지만 그 후 대조구에 비해 크게 감소하였으며 66시간 녹화했을 때에는 대조구보다 각각 37%와 48% 낮게 나타났다. F_o 는 여기된 에너지가 광계 II 반응중심으로 이동하기 전 광계 II 안테나의 여기된 엽록소 a에 의해 발생하는 형광으로 Q_A 가 완전히 산화상태에 있을 정도의 아주 약한 적색광에 의해 나타나며 이 때 광계 II 반응중심은 모두 열려 있다¹⁷⁾. 따라서 0.2 M과 0.4 M NaCl에 의해 광수집 색소의 발달이 지연된 것을 알 수 있었다. 0.4 M NaCl 처리구에서 엽록소 함량은 대조구보다 현저히 낮았지만 F_o 는 그 차이가 상대적으로 적은 것으로 보아 0.4 M NaCl이 엽록소 합성은 억제했지만 엽록소 분자들의 형광 발생 능력은 크게 억제하지 않은 것을 알 수 있었다(Fig. 1). 0.6 M과 0.8 M NaCl 처리구에서는 18시간까지 F_o 의 증가폭이 대조구에 비해 현저히 낮았으며 30시간 이후에는 F_o 가 거의 형성되지 않았다. 또한

1.0 M의 NaCl 처리구에서는 F_o 가 처음부터 거의 증가하지 않았는데, 이러한 현상은 0.6 M, 0.8 M 및 1.0 M의 NaCl 처리에 의해 광수집 색소의 발달이 거의 일어나지 않았음을 시사해 준다.

대조구의 F_v 는 녹화를 시작한 후 30시간까지는 급격히 증가하다가 시간이 지속됨에 따라 경미한 감소를 보였다(Fig. 2B). 0.2 M과 0.4 M NaCl 처리구의 F_v 는 30시간까지는 대조구와 유사한 양상을 보였지만 그 뒤 급격히 감소하여 대조구와 그 차이가 크게 나타나서 66시간에서는 대조구보다 각각 45%와 67% 낮게 나타났다. F_v 는 Q_A 의 환원과 재산화율의 차이에 의해 형성되는 형광이다¹⁷⁾. 황백화된 보리 유식물에 0.2 M과 0.4 M NaCl를 처리하여 녹화할 때 30시간까지는 Q_A 의 환원과 재산화가 대조구와 유사하게 나타났지만 30시간 이후부터는 광합성 전자전달계의 발달이 심각하게 억제되었다. 그러나 0.6 M 이상에서는 F_v 가 큰 영향을 받았다. 특히 1.0 M 처리구에서는 F_v 가 거의 증가하지 않았다. 이것으로 보아 0.6 M 이상의 NaCl을 처리했을 때에는 광계의 발달이 거의 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

대조구의 F_v/F_m 비는 녹화를 시작한 후 6시간까지 급격히 증가하다가 30시간까지는 완만하게 증가

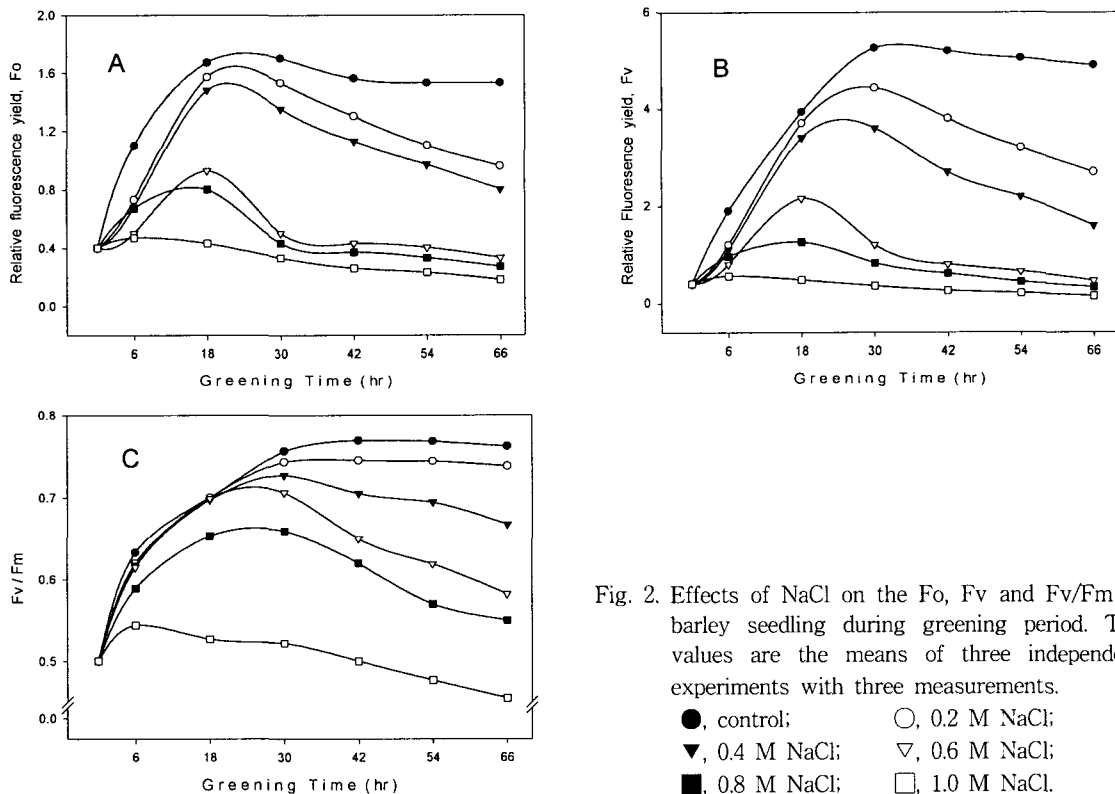


Fig. 2. Effects of NaCl on the F_o , F_v and F_v/F_m of barley seedling during greening period. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

●, control; ○, 0.2 M NaCl;
 ▼, 0.4 M NaCl; ▽, 0.6 M NaCl;
 ■, 0.8 M NaCl; □, 1.0 M NaCl.

NaCl이 황백화된 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 녹화에 미치는 영향

하였고 그 이후에는 거의 변화가 없었다(Fig. 2C). 0.2 M, 0.4 M 및 0.6 M NaCl 처리구의 Fv/Fm 비는 30시간까지는 대조구와 유사한 양상을 보였지만 그 이후부터는 처리한 NaCl의 농도에 비례하여 감소하기 시작하여 66시간에서는 대조구보다 각각 3%, 13%, 24% 낮게 나타났다. 0.8 M NaCl 처리구에서는 6시간에서부터 Fv/Fm 비가 대조구보다 낮게 나타났으며 66시간에서는 28% 낮게 나타났다. 1.0 M NaCl 처리구의 Fv/Fm 비는 6시간까지는 경미하게 증가하였으나 그후 감소하기 시작하여 66시간에서는 대조구보다 약 40% 낮게 나타났다. Fv/Fm 비는 여기된 에너지가 광계 II 안테나에 의해 수확된 후 광계 II 반응중심으로 전달되어 광화학반응에 이용되는 효율을 의미한다¹⁸⁾. 따라서 0.2 M, 0.4 M 및 0.6 M NaCl을 6시간과 18시간동안 처리한 경우 광계 II의 전자전달 효율은 대조구와 유사하게 나타났으며, 30시간에서부터는 처리한 NaCl의 농도에 비례하여 영향을 받기 시작함을 알 수 있었다. 0.8 M NaCl 처리구에서 엽록소 합량은 거의

증가하지 않았지만(Fig. 1), Fv/Fm 는 30시간까지는 대조구와 처리구가 모두 증가하다가 그 이후부터 감소하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2C). 그러나 처리구의 Fv/Fm 값이 각각의 시간대에서 대조구에 비하여 낮은 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 특히 0.8 M의 NaCl 처리구의 경우는 대조구에 비해 Fv/Fm 값이 30시간에는 13%, 66시간에는 28% 낮게 나타났다. 이는 엽록소 합성이 Fig. 1에서 살펴본 것과 같이 심각하게 억제되었지만 광화학반응에 미치는 억제에는 상대적으로 적게 나타났음을 나타내는 것으로 생각된다.

Fig. 3은 황백화시킨 보리 유식물의 잎에 NaCl을 처리한 후 녹화를 하면서 6시간 간격으로 측정된 엽록소 형광소멸요인 중 qP, qNP, qR 및 qE를 나타낸 것이다.

엽록소 형광소멸 요인 중 광화학적인 형광소멸요인인 qP¹⁹⁾는 quinone의 산화환원상태를 나타내는 것으로서 광계 II 반응중심의 열림 상태를 반영한다. 대조구의 qP는 녹화를 시작한 후 18시간까지 급격

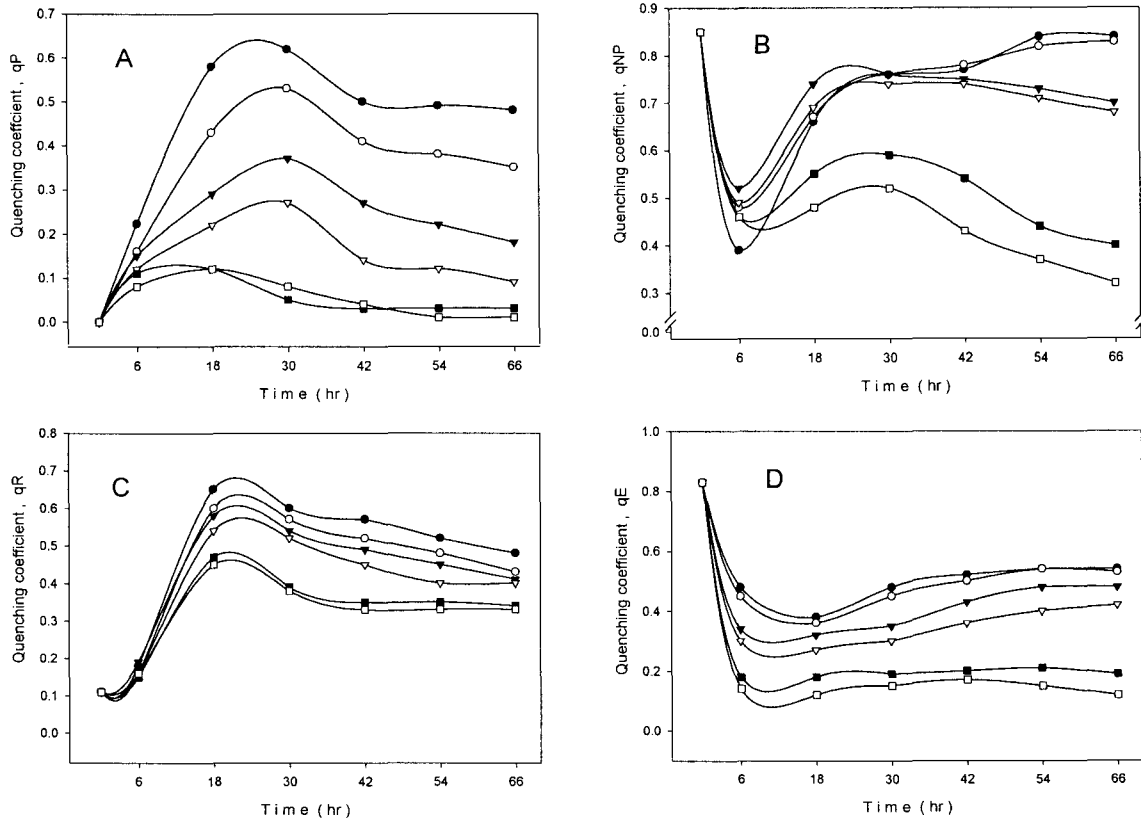


Fig. 3. Effects of NaCl on the qP, qNP, qR and qE of barley seedling during greening period. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

●, control; ○, 0.2 M NaCl; ▼, 0.4 M NaCl; ▽, 0.6 M NaCl; ■, 0.8 M NaCl; □, 1.0 M NaCl.

히 증가하여 30시간까지는 완만히 증가하였으나 42시간까지 감소하다가 그 이후에는 녹화시간이 지속되어도 거의 변화하지 않았다(Fig. 3A). 0.2 M, 0.4 M 및 0.6 M NaCl로 농도가 증가할수록 qP 값은 낮게 나타났으며, 녹화한지 66시간된 경우에는 대조구보다 각각 73%, 38%, 19% 낮게 나타났다. 특히 0.8 M과 1.0 M NaCl 처리구에서는 qP가 거의 나타나지 않았다. NaCl 처리에 의해 qP 값이 정점에 도달하는 시간이 대조구보다 늦어진 것으로 보아 NaCl이 quinone 생성 이전 뿐 아니라 quinone 생성 이후의 전자전달계 발달을 억제하여 quinone의 산화환원상태를 억제한 것으로 생각된다^{20,21}. 특히 0.4 M NaCl 처리구의 18시간 및 30시간의 qP는 대조구에 비해 아주 낮은 수치를 나타내었다. qP는 Fo, Fv, Fv/Fm와 달리 Calvin cycle의 발달과 quinone의 산화환원에 관한 것으로, qP 값이 낮다는 것은 Calvin cycle의 발달이 저해되어 quinone의 산화환원이 저해되었다는 것을 의미한다. 이것은 염에 의한 광합성 억제에 관한 연구에서 광합성이 저해되는 이유가 RuBP carboxylase의 활성이 저하되어 CO₂ 고정능력이 억제된다고 한 Seemann과 Critchley³의 보고와 유사한 경향을 나타낸다.

엽록소 형광소멸 요인 중 비광화학적인 형광소멸 요인인 qNP¹⁵는 qR과 qE로 구성된다. 대조구의 qNP는 6시간까지는 급격히 감소하였다가 이후 18시간까지 급격히 증가하였다(Fig. 3B). 0.2 M NaCl 처리구의 qNP는 대조구와 유사하였으나 0.4 M과 0.6 M NaCl 처리구의 qNP는 42시간까지는 대조구와 유사한 패턴을 보이다가 시간이 지남에 따라 감소하여 66시간에서는 대조구보다 17%와 19% 낮게 나타났다. 그리고 0.8 M과 1.0 M 처리구의 qNP는 18시간 이후부터 대조구보다 현저히 낮게 나타나서 66시간에서는 대조구보다 52%와 62% 낮게 나타났다.

이것을 다시 qR과 qE로 나누면 다음과 같다. 비광화학적 형광소멸 요인 중 여기된 에너지를 열로 방출하는 경로에 의해서 나타나는 qR¹⁷은 대조구와 NaCl 처리구에서 녹화를 시작한 후 18시간까지 급격히 증가한 뒤 시간이 지남에 따라 감소하였다(Fig.3.C). 그러나 NaCl 농도가 증가함에 따라 qR은 낮게 나타났으며, 특히 0.8 M과 1.0 M NaCl 처리 농도에서는 현저히 낮게 나타났다. qR은 엽록소에서 여기된 전자가 광계 II 반응 중심으로 이동하지 못하고 열로 방출하는 경로에 의해 형성되는 것이므로 0.8M과 1.0M의 NaCl 처리구에서는 광계 II 이전의 전자전달계의 발달도 억제되었다고 추측할 수 있다. 비광화학적 형광소멸 요인 중 에너지 의존적

인 형광 소멸 요인인 qE¹⁵는 대조구의 경우 녹화를 시작하여 18시간까지는 감소하였다가 시간이 지남에 따라 경미하게 증가하였다(Fig.3D). 0.2M, 0.4M 및 0.6M NaCl 처리구에도 대조구와 유사하게 나타났다. 처리한 NaCl의 농도가 증가할수록 qE 값은 낮아졌다. 0.8M과 1.0M NaCl 처리구에서는 녹화를 시작한 후 6시간부터 qE가 크게 감소하였다. qE는 물의 광분해와 plastoquinone(PQ) pool에 의해 형성되는 틸라코이드막 사이의 pH구배 형성에 의해 나타난다^{22,23}. 그러므로 0.2 M NaCl 처리구는 광계의 전자전달에 거의 영향을 주지 않았으며, 0.4 M 이상의 NaCl 처리구에서는 처리한 농도에 비례하여 NaCl이 전자전달을 억제하였음을 알 수 있었다. 특히 0.8 M과 1.0 M의 NaCl에서는 광합성 전자전달에 의한 pH구배가 거의 형성되지 않았음을 알 수 있었다. 0.2 M NaCl의 qE는 대조구와 유사하게 나타났지만 qP는 대조구보다 현저히 낮게 나타났는데, 이것은 저농도의 NaCl에 의해 광계 II의 전자전달효율은 억제되었지만 광계 I 활성은 오히려 촉진되었다는 Lu와 Vonshak²⁴의 보고와 유사한 결과를 보여준다.

4. 결 론

NaCl이 엽록체 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 황백화된 보리잎에 0.2M~1.0M의 NaCl을 0.2 M 간격으로 처리하여 66시간동안 녹화시키면서 6시간마다 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다. 엽록소 a, b 및 카로티노이드 함량은 0.4 M NaCl 처리구에서부터 대조구에 비해 50%이상이나 감소하였다. 그러나 엽록소 형광 중 Fo와 Fv는 0.6 M NaCl부터, Fv/Fm는 1.0 M NaCl에서 현저한 억제 현상이 나타났다. 즉 0.4 M NaCl부터는 엽록소 합성이, 0.6M부터는 광합성 전자전달계, 광계 II 반응중심의 효율은 1.0 M NaCl에서 억제되었음을 알 수 있었다. 엽록소 함량에 미친 NaCl의 영향은 녹화를 시작한 후 6시간부터 나타났지만, Fo, Fv 및 Fv/Fm 비에 있어서는 녹화 후 약 30시간 이후에 나타났다. 이것으로 보아 NaCl이 엽록소 합성을 녹화 초기부터 억제한 반면, 광계 II 전자전달계의 발달에는 녹화 후 약 30시간 이후부터 현저히 억제하였음을 알 수 있었다. 광화학적 형광소멸요인 중 qP는 0.2 M, 0.4 M 및 0.6 M NaCl에서 대조구보다 현저히 낮았으나, 비광화학적 형광소멸요인에 속하는 qE는 대조구와 큰 차이가 없었다. 이것으로 보아 0.2 M, 0.4 M 및 0.6 M NaCl 처리로 quinone의 산화환원은 심각하게 억제되었지만, 틸라코이드막을 경계로 한 pH 농도구배 형성에 미치는 영향은 상대

적으로 미약함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 교육부 기초과학육성연구비(1998-015-D00218)의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 대하여 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Cheeseman, J.M., 1988, Mechanisms of salinity tolerance in plants, *Plant Physiol.*, 87, 547-550.
- 2) Szabolcs, I., 1989, Salt-affects soil, CRC Press, Boca Raton, FL., 120-143pp.
- 3) Seemann, J.R. and C. Critchley, 1995, Effects of the salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*, 164, 151-162.
- 4) Baker, N.R., 1991, A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis, *Physiol. Plant.*, 81, 563-570.
- 5) Bong, G. F. and Loreto, 1989, Gas-exchange properties of salt-stressed olive(*Olea europea* L.) leaves, *Plant Physiol.*, 90, 1408-1416.
- 6) Robinson, S.J. and C.F., 1982, Photosynthetic electron transfer in preparations of the cyanobacterium *Spirulina platensis*, *Plant Physiol.*, 70, 154-161.
- 7) Smillie, R. and R. Nott, 1982, Salt tolerance in crop monitored by chlorophyll fluorescence in vivo, *Plant Physiol.*, 70, 1049-1054.
- 8) Chun, H.S., Y.M. Kwon, and C.B. Lee, 1993, Comparison of toxic effects of mercury, copper and zinc on photosystem II of barley chloroplasts, *Korean J. Bot.*, 36(3), 195-201.
- 9) Park, K.E. and H.S. Chung, 1997, Change of chlorophyll fluorescence by the greening of etiolated barley(*Hordeum vulgare* L.) seeding, *Korean J. Bio.*, 12(1): 47-52.
- 10) Park, K.E. and H.S. Chung, 1996, The effect of ozone on the greening of barley(*Hordeum vulgare* L.) seeding, *Korean J. Environ.* 5(4), 545-553.
- 11) 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.
- 12) Arnon, D., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiol.*, 24, 1-15.
- 13) Jensen, S.L. and A. Jensen, 1971, Quantitative determination of carotenoids in photosynthetic tissues. *In Method in Enzymology*. 23, Academic Press, New York, 586-602pp.
- 14) Drienaar, 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.
- 15) Schreiber, U., 1986, Chlorophyll fluorescence assay for ozone injury in intact plants, *Plant Physiol.*, 61, 80-84.
- 16) Robinson, S.P., W.J. Downton, and J.A. Millhouse, 1983, Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplast of salt-stressed spinach, *Plant Physiol.*, 73, 238-242.
- 17) Bolhär-Nordenkamof and G. Öquist, 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. Bolhär-Nordenkamp, R.C. Leegood and S.P. Long (eds.), Clays Ltd., London, England, 194-206.
- 18) Falk, S., J.W. Leverenz, G. Samuelsson, and G. Öquist, 1992, Changes in photosystem II fluorescence in *Chlamydomonas reinhardtii* exposed to increasing levels of irradiance in relationship to the photosynthetic response to light, *Photosynth. Res.*, 31, 31-40.
- 19) Chung, H.S., B.Y. Moon, I.K. Chung, I.H. Park and C.H. Lee, 1993, Light-dependent chilling injury on the photosynthetic activities of cucumber cotyledons, *Korean J. Bot.*, 36, 133-140.
- 20) Hipkins, M.F. and N.R. Baker, 1986, Fluorescence kinetics, *In Photosynthesis Energy Transduction; A practical Approach*, M.F. Hipkins and N.R. Baker (eds.), IRL Press, Oxford, 87-99pp.
- 21) Van Kooten, O. and J.F.H. Snel, 1990, The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology, *Photosynth. Res.*, 25, 147-150.

- 22) Oxborough, K. and P. Horton, 1989, A study of the regulation and function of energy-dependent quenching in pea chloroplasts, *Biochim. Biophys. Acta.*, 934, 135-143.
- 23) Chung, H.S., S.D. Song, K.S. Roh, J.S. Song, and K.E. Park, 1999, The effects of acidic electrolytic water on the development of barley chloroplast, *Korean J. Environ.*, 8(2), 247-253.
- 24) Lu, C. and A. Vonshak, 1999, Characterization of PS II photochemistry in salt-adapted cells of cyanobacterium *Spirulina platensis*, *New Phytol.*, 141, 231-239.