

## 산성 전해수가 보리(*Hordeum vulgare* L.) 엽록체의 발달에 미치는 영향

정 화 숙·송 승 달·노 광 수<sup>\*</sup>·송 종 석<sup>\*\*</sup>·박 강 은<sup>\*\*\*</sup>  
경북대학교 사범대학 생물교육과·<sup>\*</sup>경북대학교 자연과학대학 생물학과  
<sup>\*\*</sup>계명대학교 자연과학대학 생물학과·<sup>\*\*\*</sup>안동대학교 자연과학대학 생물학과  
<sup>\*\*\*\*</sup>진주교육대학교 과학교육과  
(1999년 1월 14일 접수)

## The Effects of Acidic Electrolytic Water on the Development of Barley Chloroplast

Hwa-Sook Chung, Seung-Dal Song<sup>\*</sup>, Kwang-Soo Roh<sup>\*\*</sup>,  
Jong-Suk Song<sup>\*\*\*</sup>, and Kang-Eun Park<sup>\*\*\*\*</sup>

*Dept. of Biology Education, Kyungpook National University, Taegu 702-701 Korea*

*<sup>\*</sup>Dept. of Biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea*

*<sup>\*\*</sup>Dept. of Biology, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea*

*<sup>\*\*\*</sup>Dept. of Biology, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

*<sup>\*\*\*\*</sup>Dept. of Science Education Chirju National University of Education, Chirju 660-756, Korea*

*(Manuscript received 14 January, 1999)*

To investigate the effects of strong acidic electrolytic water on the chloroplast, barley leaves were treated with strong acidic electrolytic water(pH 2.5). And to investigate the effects of weak acidic electrolytic water on the chloroplast development, etiolated barley leaves were treated with weak acidic electrolytic water(pH 6.5) during greening period. Chl contents, Fo, Fv, and Chl fluorescence quenching coefficient in barley leaves were measured during and after treatment of acidic electrolytic water. The following results were obtained.

Chl a, b, and carotenoid were decreased with treatment of strong acidic electrolytic water. Chl contents were significantly decreased than that of the control after 5 min. These results provide evidence that the strong acidic electrolytic water dissimilate the Chl and so that the value of Fo was slightly increased. The strong acidic electrolytic water damaged PS II because Fo was increased and Fv, Fm, and Fv/Fm ratio were decreased. qP, qNP and qE were decreased. On the other hand qI was increased than that of the control. But Chl content and Chl fluorescence patterns were a little changed as the pH increase over 4.0. Chl a, b, and carotenoid were increased with treatment of weak acidic electrolytic water during greening period. Chl contents were significantly increased than that of control after 12 hours greening. These results provide evidence that the weak acidic electrolytic water accelerated the chlorophyll synthesis. And the weak acidic electrolytic water accelerated PS II development because Fv, Fm, qP and Fv/Fm ratio were increased than that of the control.

Key words : electrolytic water, Chl, PS II, fluorescence

### 1. 서 론

물을 전기분해하여 만들어진 고농도의 전해수는 매우 뛰어난 살균소독 효과와 유기물 처리효과를 가지면서도 생체에 대한 안전성과 무공해성의 장점을 가지고 있다.<sup>1)</sup> 특히 초고농도의 이온수는 살균력이 매우 뛰어난 활성산소와 다량의 용존산소가 포함되어 있어 살균소독 효과가 탁월하다. 강산성 전해수(acidic electrolytic water)의 경우 종래의 소독제에 비해 약 20배의 살균력을 가지고 있

으며, 5초 이내에 바이러스나 미생물을 살균시키는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 강산성수의 경우 작물의 병해방지,<sup>3)</sup> 병원균에 의한 감염방지, 의료기구의 살균, 대장균의 살균 및 강한 내성을 갖는 포자의 살균 등에 적용되고 있다.<sup>4,5)</sup> 알카리수의 경우 종자발아 촉진, 작물의 생장효과<sup>6)</sup>와 음용수 등으로 매우 다양하게 이용될 수 있다. 그리고 선진 외국에서도 양·음 전해수의 병해방지, 성장촉진,<sup>7)</sup> 종자의 발아촉진, 배양수의 무공해살균 및 수경재배수<sup>8)</sup>의 무공해

적 이온 조절<sup>9)</sup> 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 전해수가 식물에 기생하는 바이러스나 기타 미생물을 살균하며<sup>10)</sup> 발아 및 성장을 촉진<sup>11)</sup>하는 유익한 면도 있지만, 강산성 및 강알카리 전해수는 식물의 생리작용을 억제할 가능성도 있다. 최근 배양액을 이용한 농작물의 재배가 널리 행하여지면서 식물이 흡수하지 못한 잔류 영양분이 토양오염을 유발한다고 알려져 있다. 그러므로 식물이 흡수하지 못한 잔류 영양분을 최소화하고 식물의 성장속도를 촉진하는 방법이 요구된다.

본 실험에서는 강산성 전해수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향을 조사하였으며 또한 약산성 전해수가 보리잎의 엽록체 발달에 미치는 영향을 엽록소 함량 변화와 엽록소 형광을 측정하여 알아보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 산성 전해수 제조

초고농도 전해수 발생은 특수 평행전극간에 이온투과 격막을 설치하고 이 전극간에 특수지류 전압을 인가하면 순수한 전기에너지에 의해 물의 전해작용이 일어나서 양극에 수소이온을 방출하여 산성수가 되며 활성산소와 다량의 용존산소가 발생된다.<sup>1)</sup> 본 실험에 사용한 산성 전해수는 Hoagland 배양액에 0.01 M NaCl이 포함된 용액을 원수로 사용하여 전기분해 한 후 양극에서 분리한 물을 산성 전해수로 하였다. 산성 전해수의 pH는 전기분해할 때 흐르는 전류의 세기를 조절하여 강산성 전해수와 약산성 전해수로 구분하여 제조하였다.

### 2.2. 실험재료

강산성 전해수가 보리의 엽록체에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 보리(*Hordeum vulgare* L.) 종자를 증류수에 세척한 후 파종하고 백색광( $700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조사하여 7일간 녹화한 후 실험재료로 사용하였다.

약산성 전해수가 엽록체 발달에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 보리 종자를 파종하여 암소에서 5일간 키운 황백화된 보리 종묘의 잎에 약산성 전기분해수를 처리하면서 백색광을 조사하여 녹화한 후 실험재료로 이용하였다. 이 때 성장실의 온도는 20°C, 상대습도는 50%로 하였다.

### 2.3. 엽록소 함량 측정

엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam<sup>12)</sup>의 방법에 따라 DMSO(dimethyl sulfoxide) 10 ml에 잎 0.1 g을 넣고 항온 수조(65°C)에 3시간 동안 두었다. 엽록소 a와 b의 함량은 Arnon<sup>13)</sup>의 방법에 따라 663 nm, 645 nm에서 흡광도를 측정하였고 carotenoid 함량은 Liaaen-Jensen과 Jensen<sup>14)</sup>의 방법에 따라 480 nm에서 흡광도를 측정하여 각 색소의 함량을 정량하였다.

### 2.4. 엽록소 a 형광 측정

엽록소 a의 형광 측정은 Walz사의 PAM으로 intact 잎을 20분간 암적응시킨 뒤 적색광( $2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조사하여  $F_0$ (광계 II의 반응중심이 모두 열려있을 때의 형광)를 구하고, 포화광( $3,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조사한 뒤

$F_m$ (광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광)를 측정해서 이것을 광계 II 활성의 지표로 이용하였다.  $F_m - F_0$ 에 의해  $F_v$ 를 구하여  $F_v/F_m$  비를 구하고 비교 분석하였다. 지속적인 활성광( $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조사하면서 포화광을 20초 간격으로 2초간 pulse 처리하여 형광 소멸요인을 분석하였다.<sup>15)</sup> 형광소멸요인으로는 고에너지에 기인한 형광소멸요인  $qE$ , quinone의 산화환원 상태를 나타낸 것으로 광계 II 반응중심의 열림 상태를 반영하는  $qP$ , 비광화학적 형광소멸인  $qNP$ <sup>16)</sup>와 광 억제제로 유발되는 형광소멸인  $qI$ <sup>17)</sup>를 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 산성 전해수가 엽록체에 미치는 영향

Fig. 1은 산성 전해수(pH 2.5)를 보리잎에 처리했을 때 처리 시간에 따라 감소한 엽록소 함량을 나타낸 것이다. 산성 전해수를 보리잎에 처리했을 때 엽록소 함량은 처리 시간이 지속됨에 따라 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 실험 데이터에는 나타나 있지 않지만 산성 전해수를 보리잎에 처리하면 시각적으로 보아 흰 반점 형태로 표백되며 처리시간이 지속됨에 따라 그 정도가 심각하게 나타났다.

Fig. 2는 보리잎을 강산성 전해수로 처리했을 때 측정된 엽록소 형광을 나타낸 것이다.  $F_0$ 는 강산성 전해수를 보리잎에 처리한 시간에 따라 미세하지만 증가하여 10분간 처리했을 때 대조구보다 약 7% 증가하였으나,  $F_v$ ,  $F_m$  그리고  $F_v/F_m$  비는 처리시간에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때  $F_v/F_m$  비는 대조구보다 약 17% 감소하였다. Fig. 1에서 강산성 전해수를 처리했을 때 엽록소 함량이 크게 감소하지 않고  $F_0$ 가 증가한 것으로 보아 광수집 색소의 파괴는 적었다는 것을 알 수 있으며,<sup>18,19)</sup> 또한  $F_v$ 와

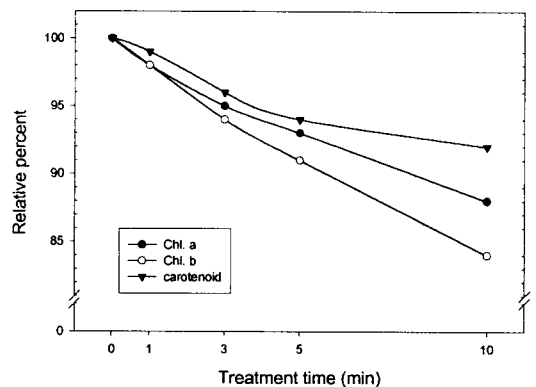


Fig. 1. Effects of strong acidic electrolytic water on chlorophyll contents of barley leaves. The value corresponding to 100% of Chl a, Chl b and carotenoid contents were 560, 160 and 150  $\mu\text{g/g}$  fr. wt., respectively. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

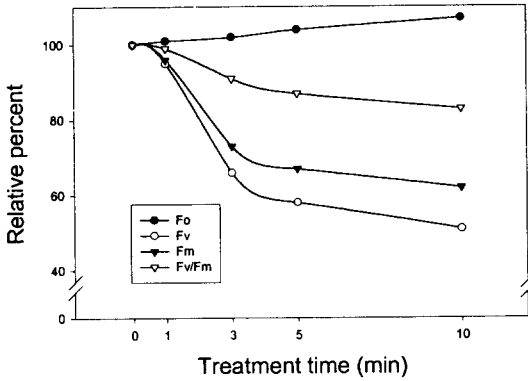


Fig. 2. The effects of acidic electrolytic water on chlorophyll a fluorescence of barley leaves. The value corresponding to 100% of Fo, Fv, Fm and Fv/Fm were 1.47, 6.13, 7.60 and 0.807 relative unit, respectively. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

Fv/Fm 비가 감소된 것도 광계 II가 억제되었다는 것<sup>17,20)</sup>을 나타낸다. 그러므로 산성 전해수 중 특히 강산성 전해수는 보리잎의 광계 II 활성을 저해하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fv/Fm 비가 약 17%나 감소하였음에도 Fo는 약 7% 밖에 증가하지 않은 것은 UV-B를 보리잎에 처리했을 때 Fv/Fm 비가 약 11% 감소했을 때 Fo는 약 16% 증가한 것<sup>21)</sup>과는 차이가 있다.

Fig. 3은 보리잎에 산성 전해수를 처리했을 때 변화된 엽록소 형광 소멸요인을 분석한 것이다. 광화학적 형광소멸인 qP는 강산성 전해수의 처리 시간이 지속됨에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는<sup>22,23)</sup>을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 처리 시간이 지남에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 대조구에 비해 14% 감소하였다. 비광화학적 형광소멸요인 중 에너지 의존적인 형광소멸인 qE도 처리 시간이 지속됨에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 90%나 감소하였다. 이와 같이 qE가 강산성 전해수에 의해 크게 감소한 것은 틸라코이드막을 경계로 한 H<sup>+</sup>의 농도차이가 감소하였다는 것을 나타내므로 광계 II의 물분해계와 plastoquinone pool의 기능이 억제되었다는 것을 나타내고 있다. qI는 처리 시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. qI는 광저해에 의해 나타나는 것이므로 강산성 전해수에 의해 광계 II가 억제되어 광저해가 유발되어 대조구에 비해 증가한 것으로 사료된다.

Table 1은 보리잎에 전해수와 이와 pH가 같은 HCl, NaOH 그리고 산성 전해수에 알칼리 전해수로 적정하여 pH 7.0으로 한 전해수와 산성 전해수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 전해수를 처리하여 엽록소 형광을 측정 한 것이다. 산성 전해수(pH 2.5)를 보리잎에 10분간 처리

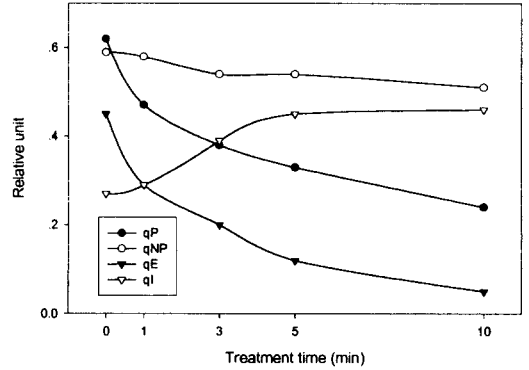


Fig. 3. Effects of acidic electrolytic water on fluorescence quenching coefficients of barley leaves. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

했을 때 Fv/Fm 비는 대조구에 비해 약 17% 감소하였으나 pH 2.5인 HCl로 10분간 처리했을 때는 Fv/Fm 비는 대조구에 비해 약 1% 감소하였다. 그리고 알칼리 전해수(pH 12.5)로 10분간 처리했을 때에 Fv/Fm 비가 대조구보다 약 3% 감소하였으며 pH 12.5인 NaOH로 10분간 처리했을 때에도 대조구에 비해 약 1% 감소하였다. 산성 전해수(pH 2.5)에 알칼리 전해수(pH 12.5)로 적정하여 pH 7.0으로 적정한 후 보리잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비가 대조구보다 약 6% 감소하였으나 강산성 전해수(pH 2.5)에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 전해수로 보리잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비는 약 3% 감소하였다. 이와 같이 HCl과 NaOH 그리고 알칼리 전해수로 처리한 보리잎의 광계 II 활성은 대조구에 비해 극미한 감소가 일어났지만 강산성 전해수를 처리한 보리잎의 광계 II 활

Table 1. Effects of electrolytic water, HCl and NaOH on the Chl fluorescence and total Chl content of barley leaves. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

Treatment	Fluorescence parameters (relative units)					Total chl μg/g. fr. wt.(%)
	pH	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm(%)	
Control	7.0	1.47	7.60	6.13	0.807(100)	670(100)
acidic electrolytic water	2.5	1.57	4.70	3.13	0.666 (83)	560 (84)
HCl	2.5	1.47	7.40	5.88	0.800 (99)	660 (99)
alkali electrolytic water	12.5	1.47	6.87	5.40	0.786 (97)	667(100)
NaOH	12.5	1.47	7.35	5.88	0.80 (99)	664 (99)
acidic electrolytic water + alkali electrolytic water	7.0	1.49	6.21	4.72	0.760 (94)	650 (97)
acidic electrolytic water + NaOH	7.0	1.48	6.79	5.32	0.782 (97)	661 (99)

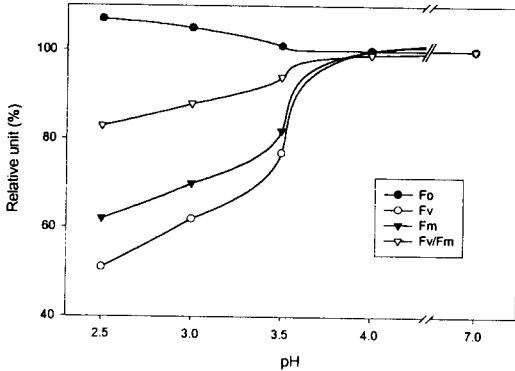


Fig. 4. The effects of acidic electrolytic water fluorescence of barley leaves. The values corresponding to 100% of  $F_o$ ,  $F_v$ ,  $F_m$  and  $F_v/F_m$  were 1.47, 6.13, 7.60 and 0.807 relative unit, respectively. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

성은 심각하게 억제되었다. 그리고 산성 전해수에 알칼리 전해수를 적정하여 pH 7.0으로 맞춘 전해수가 산성 전해수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 맞춘 전해수보다  $F_v/F_m$ 의 비가 낮게 나타난 것으로 보아 산성 전해수와 알칼리 전해수에  $H^+$ 와  $OH^-$  이온 이외에 다른 이온의 작용이 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 보리잎에 처리한 산성 전해수의 pH에 다른 엽록소 형광 변화를 나타낸 것이다. 산성 전해수의 pH가 낮아질수록  $F_o$ 는 증가하였으나  $F_v$ ,  $F_m$  및  $F_v/F_m$  비는 감소하였다. 산성 전해수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, pH 4.0 이상에서는 10분간 보리잎에 처리해도 광합성 활성에는 거의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 산성 전해수가 엽록체 발달에 미치는 영향

짧은 시간동안 보리잎에 산성 전해수를 처리했을 때 산성 전해수의 pH가 4.0 이상에서는 엽록체의 형광 p-atten에 미치는 영향이 미미하였으므로 산성 전해수가 엽록체의 발달 촉진에 미치는 영향을 알아보기 위하여 황백화된 보리잎을 약산성 전해수(pH 6.5)에 침적하여 녹화시키면서 엽록소 함량과 엽록소 형광 변화를 측정하였다.

Fig. 5는 암소에서 키운 보리 유식물을 약산성 전해수(pH 6.5)에 침적하여  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 빛으로 96시간 동안 녹화시키면서 12시간 간격으로 엽록소 함량 변화를 측정하였다. 대조구의 엽록소 a, b 및 카로티노이드 함량은 광조사 후 48시간까지 급격하게 증가하다가 72시간 이후에는 더 이상 증가하지 않았고, 엽록소 a/b 비는 24시간까지 급격히 증가한 후 거의 변화가 없었다. 약산성 전해수를 처리한 처리구의 엽록소 a, b 및 카로티노이드 함량은 녹화를 시작한 후 12시간부터 대조구에 비해 증가하였으며 녹화 후 24, 36시간에서 그 차이가 가장 크게 나타났

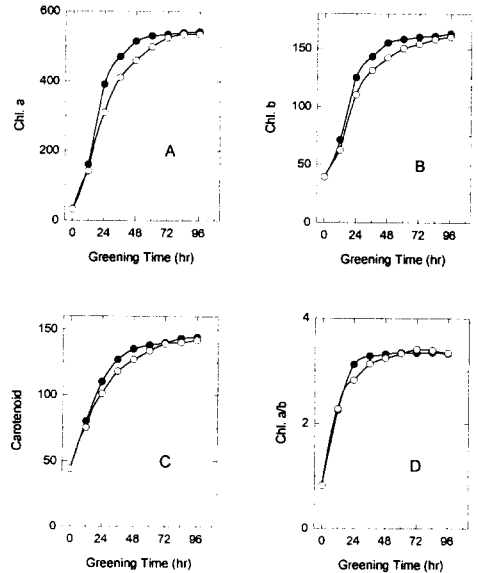


Fig. 5. Changes of the chlorophyll contents and chlorophyll a/b ratio of barley seedling treated with acidic electrolytic water(pH 6.5) during greening period. A, Chl a content ( $\mu\text{g/g}$  fr wt); B, Chl b content ( $\mu\text{g/g}$  fr wt); C, carotenoid content ( $\mu\text{g/g}$  fr wt); D, Chl a/b ratio.  $\circ$ , control;  $\bullet$ , acidic electrolytic water (pH 6.5)-treated. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

다음에는 점차 그 차이가 둔화되었다. 이것으로 보아 약산성 전해수에 침적한 황백화된 보리잎의 엽록소 합성이 대조구에 비해 신속히 일어났음을 알 수 있었다.

Fig 6은 산성 전해수가 보리 엽록체의 광계 II 기능 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 암소에서 키운 보리 유식물을 약산성 전해수(pH 6.5)에 침적하여 96시간 동안 녹화시키면서 12시간 간격으로 엽록소 형광 변화를 측정하였다.  $F_o$ 는 광조사 후 12시간에서 최대치를 나타낸 후 점차 시간이 지남에 따라 감소하였으며, 약산성 전해수 처리구에서도 대조구와 유사하게 나타났다. 약산성 전해수 처리구에서  $F_v$ 는 광조사 후 12시간부터 대조구보다 높게 나타났으며 24시간 녹화했을 때에는 대조구에 비해 약 9% 높게 나타났으나 녹화시간이 지속됨에 따라 그 차이는 점차 줄어들었다.  $F_v/F_m$  비도  $F_v$ 의 변화와 유사하게 나타났다. 이와 같이 약산성 전해수 처리구의  $F_v$ 와  $F_v/F_m$ 의 비가 대조구에 비해 녹화 초기에 비교적 높게 차이가 나타난 것은 약산성 전해수 처리로 엽록체의 광계 II 기능 발달이 촉진되었기 때문인 것으로 생각된다.

산성 전해수가 보리 엽록체의 광합성 전자전달 기능 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 암소에서 키운 보리 유식물을 약산성 전해수(pH 6.5)에 침적하여 96시간

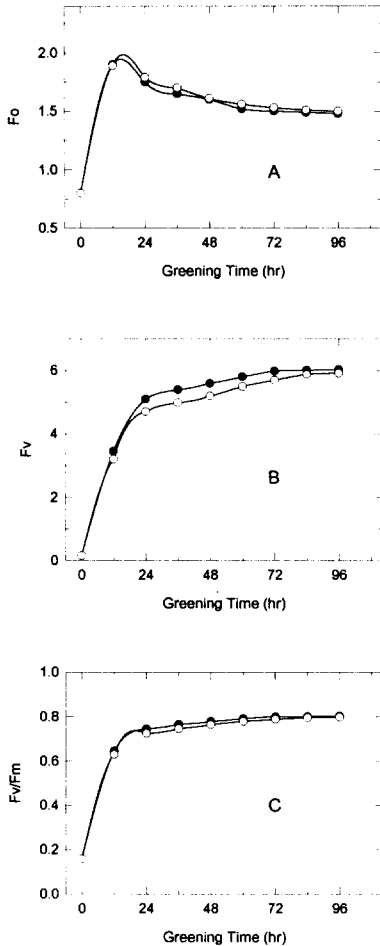


Fig. 6. Changes of the Chl fluorescence of barley seedling treated with weak acidic electrolytic water (pH 6.5) during greening period. A, Fo; B, Fv; C, Fv/Fm ratio. ○, control; ●, acidic electrolytic water (pH 6.5)-treated. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

동안 녹화시키면서 12시간 간격으로 엽록소 형광 소멸요인의 변화를 분석한 결과(Fig. 7), 대조구의 광의존적인 형광 소멸인 qP는 광조사 후 36시간까지 증가한 후 녹화시간이 지속됨에 따라 감소하였다. 약산성 전해수 처리구의 qP도 대조구와 유사한 pattern의 변화를 보였으나 대조구에 비해 높게 나타났다. qP는 QA의 산화환원을 반영하는 것이므로 약산성 전해수 처리구에서 quinone의 산화환원이 대조구에 비해 원활히 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다. 약산성 전해수 처리구의 qP는 대조구에 비해 높게 나타났으나 qE는 녹화 초기인 24, 36 시간까지는 처리구가 대조구에 비해 높았으나 그 이후 미미하지만 처리구보다 낮게 나타났다. 이와 같이 녹화초기에 qP와 qE가 각각 대조구보다 높게 나타난 것은 광계의 전자전달 활성은

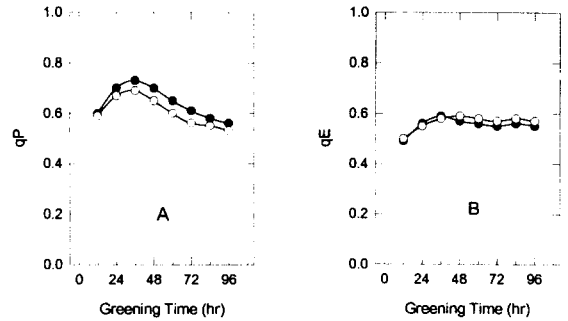


Fig. 7. Changes of the Chl fluorescence quenching coefficients of barley seedling treated with acidic electrolytic water (pH 6.5) during greening period. A, qP; B, qE. ○, control; ●, acidic electrolytic water (pH 6.5)-treated. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

촉진되었으나 ATP 합성 또는 Calvin cycle system의 발달이 상대적으로 늦게 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 qP가 대조구에 비해 높고 qE가 대조구에 비해 낮게 나타난 것은 QA의 산화환원이 원활히 일어남에도 불구하고 틸라코이드막을 경계로 ΔpH가 적다는 것이므로 광계의 전자전달이 신속히 일어났으며 ATP 합성도 원활히 일어났다고 추측할 수 있다. 그러므로 약산성 전해수에 처리하여 녹화시킴으로써 녹화초기에는 광계의 발달이 촉진되며 녹화시간이 지속됨에 따라 Calvin cycle의 활성화도 촉진된 것으로 추측된다.

이상의 실험에서 pH 2.5인 강산성 전해수는 단시간에 엽록체에 심각한 손상을 주었지만 pH 6.5인 약산성 전해수는 엽록체의 발달을 촉진시켰음을 알 수 있다. 보리 유식물이 전해수에서 흡수한 영양분의 양 분석은 앞으로 연구가 수행되어야 할 과제이지만 배양액 재배를 이용한 농업에서 약산성 전해수를 활용함으로써 식물의 광합성 기능의 발달을 촉진할 수 있으며 또한 토양오염을 상대적으로 줄일 수 있는 방안으로 사료된다.

#### 4. 결론

강산성 전해수(pH 2.5)가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향과 약산성 전해수(pH 6.5)가 엽록체 발달에 미치는 영향을 조사하기 위하여 이들 산성 전해수를 보리잎에 처리한 후 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다.

강산성 전해수를 보리잎에 처리했을 때 처리시간이 지속됨에 따라 엽록소 함량은 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 및 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 전해수를 10분간 처리한 보리잎의 Fo는 대조구보다 약 7% 증가하였으나, Fv, Fm 그리고 Fv/Fm 비는 감소하였으며 특히 Fv/Fm 비는 대조구보다 약 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 전해수는 광계 II에 심각한 손상을 준다는 것을 알 수 있다. 그리고 엽록소 형광 소멸 요인을 분

석했을 때 광화학적 형광소멸인 qP는 대조구에 비해 약 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 약 14% 감소를, 비광화학적 형광소멸 요인 중 에너지 의존적인 형광소멸인 qE도 대조구에 비해 약 90% 감소를 보여 주었다. 그리고 qI는 처리시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 약 70%나 증가하였다. HCl (pH 2.5) 용액으로 보리잎을 처리했을 때에는 엽록소 형광에 변화가 거의 없는 것으로 보아 산성 전해수에는 H<sup>+</sup> 이온 이외의 물질이 작용하는 것으로 추측된다. 산성 전해수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었으나 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리잎을 처리해도 엽록소 형광에 변화가 별로 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0 이상의 산성 전해수는 단시간 내에 식물체의 광합성 작용에 심각한 손상을 유발하지 않는다는 것을 알 수 있다.

약산성 전해수(pH 6.5)를 처리하여 녹화한 보리잎의 엽록소 a, b 및 카로티노이드 함량과 a/b 비는 녹화를 시작한 후 12시간부터 대조구에 비해 증가하였으며 녹화 후 24, 36시간에서 그 차이가 가장 크게 나타난 후 점차 그 차이가 둔화되었다. 이것으로 보아 약산성 전해수 처리구의 엽록소 합성이 대조구에 비해 신속히 일어난 것을 알 수 있다. 약산성 전해수 처리구에서는 녹화 후 12시간부터 대조구보다 높게 나타났으며 24시간 녹화했을 때에는 대조구에 비해 약 9% 높게 나타났다. 그러나 녹화시간이 지속됨에 따라 그 차이는 점차 줄어들었다. Fv/Fm 비도 Fv의 변화와 유사하게 나타났다. 이와 같이 약산성 전해수 처리구의 Fv와 Fv/Fm의 비 그리고 qP가 대조구에 비해 녹화 초기에 비교적 크게 차이가 나타난 것은 산성 전해수 처리로 엽록체의 광계 II 기능 발달이 촉진되었기 때문인 것으로 생각된다.

이와 같은 결과를 종합해 보면 pH 4.0 이하의 강산성 전해수는 단시간에 엽록체에 심각한 손상을 주지만 pH 4.0 이상의 약산성 전해수는 엽록체의 발달을 촉진시킨다는 사실을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 1997년도 교육부 기초과학육성연구비 BSRU-97-4404의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 대하여 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 김진규, 1998, 평판전극계의 수송방진과 공간전하제어에 의한 효율적인 강전해수 발생, 경북대학교 박사학위논문, 146p.
- Shimizu, 1994, Inactivation of virus by high oxidation potential water, The Medical and Test Journal, Vol. 398, 28p.
- Kisida, 1996, Functional water technology to agricultures, New Agriculture and Forest Co., 97-99pp.
- Shiba, A. and K. Shiba, 1994, Applications to dental remedy of aqua oxidation water, Medical Technology, 22, 693-694.
- Saito, 1994, Disinfection of medical tools, Journal of the Tokyo Dentist Association, 42, 25-32.
- Matsuo, M. and A. Sima, 1994a, Effects of electrolytic water on the growth of soilless culture plant: Effects of solution diluted by electrolytic water on the growth of *Komatsuna* in soilless culture, Journal of Shita, 6, 134-141.
- Matsuo, M. and A. Sima, 1994b, Effects of electrolytic water on the growth of soilless culture plant: Effects of the oxidation reduction potential of electrolytic water on the growth of *Komatsuna* in soilless culture, Journal of Shita, 6, 142-146.
- Matsuo, M. and A. Sima, 1994b, Effects of electrolytic water on the growth of soilless culture plant: Physical and chemical characteristics of electrolytic water and its progressive variance, Journal of Shita, 6, 128-133.
- Katsuhara, M., Y. Yazaki, K. Sakano, and T. Kawasaki, 1997, Intracellular pH and proton-transport in barley root cells under salt stress: in vivo <sup>31</sup>P-NMR study, Plant Cell Physiol., 38, 155-160.
- Nelson S. D. and E. R Walker, 1961, Agricultural Engineering, 688p.
- Okada, 1994, Great concerns to effects of high oxidation potential water, The Medical and Test Journal, Vol. 388, 251p.
- 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.
- Arnon, D., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol., 24, 1-15.
- Liaaen-Jensen S. and A. Jensen, 1971, Quantitative determination of carotenoids in photosynthetic tissues. In Method in Enzymology. Vol.23, Academic Press, New York, 586-602pp.
- Driesenaar, 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, Biochim. Biophys. Acta, 934, 135-143.
- Horton, P. and A. Hague, 1988, Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in isolated barley protoplasts. IV. Resolution of nonphotochemical quenching, Biochim. Biophys. Acta, 932, 107-115.
- Harris, G. C. and U. Heber, 1993, Effects of anaerobiosis on chlorophyll fluorescence yield in

- spinach(*Spinacia oleracea*) leaf discs, *Plant Physiol.*, 101, 1169-1173.
- 19) Schreiber, U. and W. Bilger, 1993, Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the past years in retrospect, *Progress in Botany*, 54, 152-173.
- 20) Weis, E. and J.A. Berry, 1987, Quantum efficiency of photosystem II in relation to 'energy'-dependent quenching of chlorophyll fluorescence, *Biochim. Biophys. Acta*, 894, 198-208.
- 21) 박강은, 정화숙, 송승달, 노광수, 송종석, 1997, UV-B가 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 광합성 전자전달에 미치는 영향, *한국환경과학회지*, 6, 369-378.
- 22) 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.
- 23) van Kooten, O. and J.F.H. Snel, 1990, The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology, *Photosynth. Res.*, 25, 147-150.