

# 산성 전해수가 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

정화숙, 박강은\*, 임영진\*

경북대학교 생물교육과, \*진주교육대학교 과학교육과

## 1. 서 론

식물 뿌리의 양분과 수분 흡수에 있어서 식물의 주위환경의 pH는 많은 영향을 준다. 대도시의 오염물질에 의해 오염이 되어 내리는 산성비가 문제되는 이유 중 오존이나 SO<sub>2</sub> 등의 산성물질에 의하여 토양이 산성화됨으로써 식물의 수분 흡수 및 양분 흡수를 저해한다<sup>(1)</sup>. 그러나 물을 전기분해 하여 만들어진 고농도의 전해수 중 강산성수의 경우 작물의 병해방지, 병원균에 의한 감염방지, 의료기구의 살균, 대장균의 살균 및 강한 내성을 갖는 포자의 살균 등에 적용되고 있다.<sup>2-3)</sup> 알칼리수의 경우 종자 발아 촉진, 작물의 생장효과와 음용수 등으로 매우 다양하게 이용될 수 있다. 그리고 선진 외국에서도 양, 음 전해수의 병해방지, 생장촉진, 종자의 발아촉진, 배양수의 무공해살균 및 수경재배수의 무공해적 이온 밸런스 조절 등에 대한 관심이 고조되고 있다.<sup>4-9)</sup>

본 실험에서는 전해수가 식물에 기생하는 바이러스나 기타 미생물을 살균하며, 발아 및 생장을 촉진하는 유익한 면도 있지만, 강산성 및 강알칼리 전해수는 식물의 생리작용을 억제할 가능성도 있으므로 본 실험에서는 강산성 전해수가 보리 잎의 광합성 활성에 미치는 영향을 엽록소 형광을 측정하여 알아보려고 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 산성 전해수 제조

초고농도 전해수 발생은 특수 평행전극간에 이온 투과 격막을 설치하고, 이 전극간에 특수직류 전압을 인가하면 순수한 전기에너지만에 의해 물의 전해작용이 일어나서, 양극에 수소이온을 방출하여 산성수가 되고 이것은 살균력이 매우 뛰어난 활성산소와 다량의 용존 산소가 발생되게 된다.

### 2.2 실험재료

보리(*Hordeum vulgare* L.) 종자를 증류수에 세척한 후 과중하여 암소에서 5일간 키운 황백화된 보리 유식물에 산성 전기 분해수를 처리하고 백색광( $700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )을 조사하여 greening 한 후 실험재료로 이용했다. 이 때 성장실의 온도는  $20^{\circ}\text{C}$ , 상대습도는 50%로 했다.

### 2.3 엽록소 a 형광 측정

엽록소 a의 형광 측정은 Walz 사의 PAM 101, 102, 103으로 intact 잎을 20분간 암적응 시킨 뒤 적색광( $2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )을 조사하여 Fo(광계 II의 반응 중심이 모두 열려있을 때의 형광)를 구하고, 포화광( $3,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )을 조사한 뒤 Fm(광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광)을 측정했다. Fm-Fo에 의해 Fv를 구하여 Fv/Fm 비를 구하여 광계II 활성의 지표로 이용했다. 지속적인 actinic light  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 를 조사하면서 포화광을 20초 간격으로 2초간 pulse 처리하여 형광 소멸요인을 분석했다.<sup>(10)</sup> 형광소멸요인으로 고에너지에 기인한 형광소멸인 qE (energy-dependent fluorescence quenching), quinone의 산화환원 상태를 나타낸 것으로 광계 II 반응중심의 열림 상태를 반영하는 qP (photochemical quenching), 비광화학적 형광 소멸인 qNP(nonphotochemical quenching)를 구했다.<sup>(11)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 산성 전해수가 엽록소 함량에 미치는 영향.

Fig. 1은 보리 잎에 산성 전해수를 처리했을 때 처리 시간에 따른 엽록소 함량 변화를 나타낸 것이다. 산성 전해수를 보리 잎에 처리했을 때 엽록소 함량

은 처리시간이 지속됨에 따라 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 및 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 및 8% 감소하였다. 실험 데이터에는 나타나 있지 않지만 산성 전해수(pH 2.5)를 보리 잎에 처리하면 흰 반점이 나타나서 처리시간이 지속됨에 따라 그 정도가 심각한 것으로 보아 산성 전해수는 강력한 표백작용도 일으키는 것을 알 수 있다.

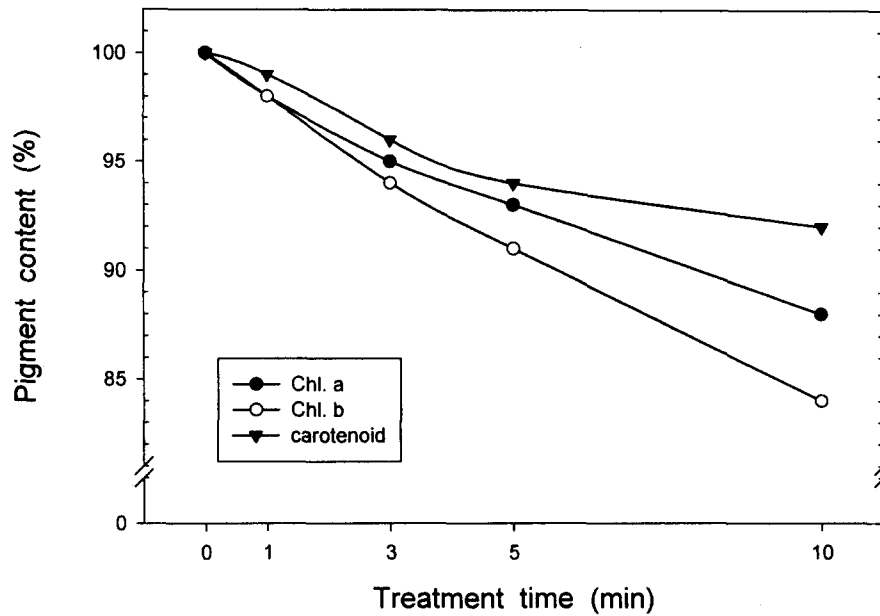


Fig. 1. Effects of acidic electrolyte water on chlorophyll contents of barley leaves. The value corresponding to 100% of Chl a, Chl b, and carotenoid contents were 560, 160, and 150  $\mu\text{g/g}$ . fr. wt., respectively.

Fig. 2는 보리 잎을 산성 전해수(pH 2.5)로 처리했을 때 측정된 엽록소 형광을 나타낸 것이다.  $F_0$ 는 산성 전해수를 보리 잎에 처리한 처리시간에 따라 미세하지만 증가하여 10분간 처리했을 때 대조구보다 7% 증가하였으나,  $F_v$ ,

Fm 그리고 Fv/Fm은 처리시간에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 엽록소 함량이 크게 감소하지 않은 것으로 보아 광수집 색소의 뚜렷한 파괴없이 Fo가 증가한 것은 광계 II 전자전달이 억제되었다는 것을 알 수 있으며 또한 Fv와 Fv/Fm이 감소된 것도 광계 II가 억제되었다는 것을 나타낸다. 그러므로 산성 전해수 중 특히 강산성 전해수는 보리 잎의 광계 II 활성을 저해하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fv/Fm이 17%나 감소하였음에도 Fo는 7% 밖에 증가하지 않은 것은 UV-B를 보리 잎에 처리했을 때 Fv/Fm이 약 11% 감소했을 때 Fo는 약 16% 증가한 것(박 등 1997)과는 차이가 있다. 이것은 Fig. 1에서 산성 전해수(pH 2.5)를 10분간 처리했을 때 엽록소 a의 함량은 약 12% 감소한 것을 고려하면 산성 전해수로 인해 보리 잎의 엽록소가 표백되어 엽록소의 함량이 감소하며 또한 Fo의 증가폭이 적은 것을 알 수 있다.

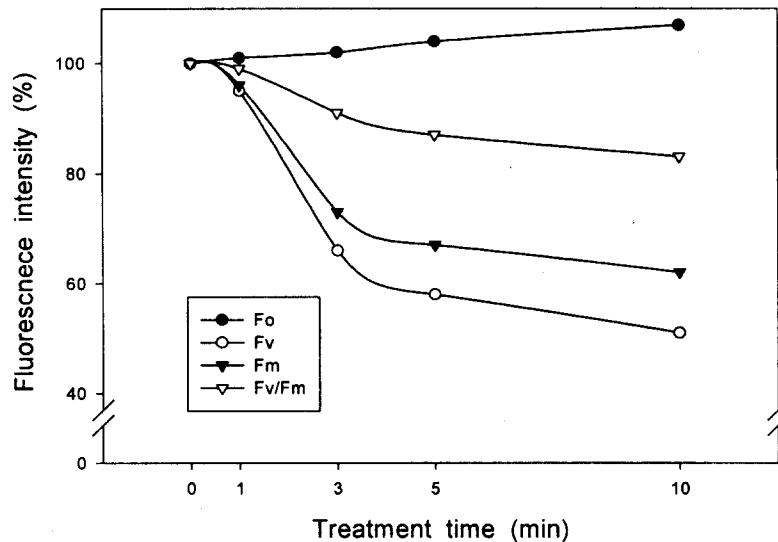


Fig. 2. The effects of acidic electrolyte water on chlorophyll a fluorescence of barley leaves. The value corresponding to 100% of Fo, Fv, Fm, and Fv/Fm were 1.47, 6.13, 7.60, and 0.807 relative units, respectively.

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

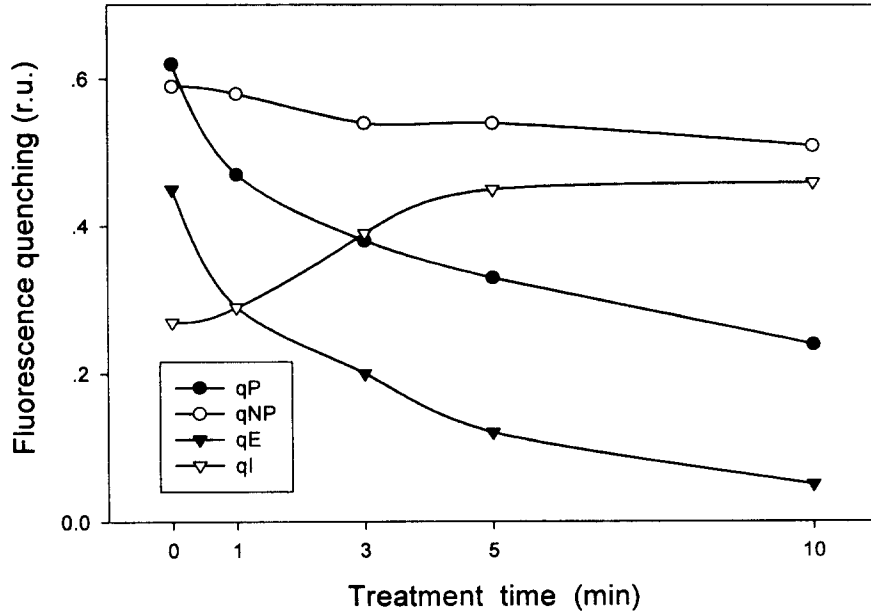


Fig. 3. Effects of acidic electrolyte water on fluorescence quenching coefficients of barley leaves.

Table 1은 보리 잎에 전해수와 이와 pH가 같은 HCl, NaOH 그리고 산성 전해수에 알카리 전해수로 적정하여 pH 7.0으로 한 물과 산성 전해수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 물을 처리하여 엽록소 형광을 측정하는 것이다. 산성 전해수(pH 2.5)를 보리 잎에 10분간 처리했을 때 Fv/Fm은 대조구에 비해 17% 감소하였으나 pH 2.5인 HCl로 10분간 처리했을 때는 Fv/Fm 비는 대조구에 비해 약 1% 감소하였다. 그리고 알카리 전해수(pH 12.5)로 10분 처리했을 때 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 알카리 전해수(pH 12.5)로 적정하여 pH 7.0으로 한 후 보리 잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비가 대조구보다 약 6% 감소하였으나 산성 전해수(pH 2.5)에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 것으로 보리 잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비는 약 3% 감소하였다. 이와 같이 HCl과 NaOH 그리고 알카리 전해수로 처리한 보리 잎의 광계 II 활성은 대조구에 비해 극미한 감소만 일어났지만 산성 전해수를 처리한 보리 잎의 광계 II 활성은 심각하게 억제되었다. 그리고 산성 전해수에 알카리 전해수를 적정하여 pH 7.0으로 맞추는 것이 산성 전해수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 맞추는 것에서 보다 Fv/Fm의 비가 낮게 나타난 것으로 보아 산성 전해수와 알카리 전해수에 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup> 이온 반응 이외에 다른 이온의 작용이 있다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Effects of electrolyte water, HCl and NaOH on the chlorophyll fluorescence, total chlorophyll content of barley leaves. Leaf fragments were prepared as described in the Materials and Methods.

Treatment	pH	Fluorescence parameters (relative units)				Total Chl $\mu\text{g/g.fr.wt.}(\%)$
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm (%)	
Control	7.0	1.47	7.60	6.13	0.807(100)	670(100)
Acidic 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)
Alkaili 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 water + Alkali water	7.0	1.49	6.21	4.72	0.760 (94)	650 (97)
Acidic water + NaOH	7.0	1.48	6.79	5.32	0.782 (97)	661 (99)

Fig. 4는 보리 잎에 처리한 산성 전해수의 pH에 따른 엽록소 형광 변화를 나타낸 것이다. 산성 전해수의 pH가 낮아질수록  $F_o$ 는 증가하였으며  $F_v$ ,  $F_m$  그리고  $F_v/F_m$  비는 감소하였다. 산성 전해수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었다는 것을 알 수 있으며 또한 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리 잎을 처리해도 광합성 활성에 그의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

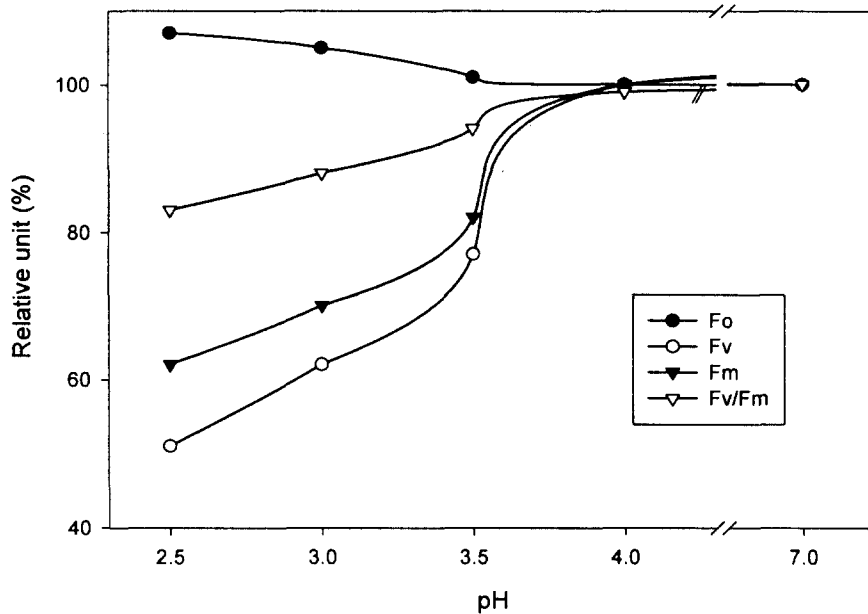


Fig. 4. The effects of acidic electrolyte water on chlorophyll a fluorescence of barley leaves. The value corresponding to 100% of  $F_o$ ,  $F_v$ ,  $F_m$  and  $F_v/F_m$  were 1.47, 6.13, 7.60 and 0.807 relative units, respectively.



#### 4. 요약

강산성 전해수가 보리 잎의 광합성 활성화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다. 강산성 전해수(pH 2.5)를 보리 잎에 처리했을 때 처리시간이 지속됨에 따라 엽록소 함량은 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 전해수를 10분간 처리한 보리 잎의  $F_0$ 는 대조구보다 7% 증가하였으나,  $F_v$ ,  $F_m$  그리고  $F_v/F_m$ 은 감소하였으며 특히  $F_v/F_m$ 은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 전해수는 광계 II에 심각한 손상을 준다는 것을 알 수 있다. 그리고 엽록소 형광 소멸 요인을 분석했을 때 광화학적 형광소멸인  $q_P$ 는 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인  $q_{NP}$ 도 대조구에 비해 14% 감소하였다. 비광화학적 형광소멸요인 중 에너지 의존적인 형광소멸인  $q_E$ 도 대조구에 비해 90%나 감소하였다. 그리고  $q_I$ 는 처리시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. HCl (pH 2.5) 용액으로 보리 잎을 처리했을 때에는 엽록소 형광에 거의 변화가 없는 것으로 보아 산성 전해수에는  $H^+$  이온 이외의 물질이 작용하는 것으로 추측된다. 산성 전해수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었으나 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리 잎을 처리해도 엽록소 형광에 그의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0 이상의 산성 전해수는 단시간 내에 식물체의 광합성 작용에 심각한 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- Shimazaki, K. and K. Sugahara, 1979, Specific inhibition of photosystem II activity in chloroplasts by fumigation of spinach leaves with  $SO_2$ , Plant & Cell Physiol., 20, 947-955
- Shimizu, 1994, Inactivation of virus by high oxidation potential water, The medical and test journal, Vol. 398, 28
- Iwasawa, et al., 1992, Inactivation effects to micrograms of aqua oxidation water, Clinical diagnosis, Vol. 37, 918-919

- Gunsé, B., C. Poschenrieder and J. Barceló. 1997. Water transport properties of roots and root cortical cells in proton- and Al-stressed maize varieties. *Plant Physiol.* 113: 595-602.
- Katsuhara, M., Y. Yazaki, K. Sakano and T. Kawasaki. 1997. Intracellular pH and proton-transport in barley root cells under salt stress: in vivo  $^{31}\text{P}$ -NMR study. *Plant Cell Physiol.* 38: 155-160.
- Maruyama, A., M. Yoshiyama, Y. Adachi, A. Tani, R. Hasegawa and Y. Esashi, 1996, Promotion of cocklebur seed germination by allyl, sulfur and cyanogenic compounds, *Plant Cell Physiol.*, 37, 1054-1058.
- Matsuo, M. and A. Sima. 1994. 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. 1994. 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. 1994. 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.
- 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