

## 벼의 오존피해 경감에 미치는 ABA의 효과

김주령\* · 손태권\*\* · 조정환\* · 이상철\*†

\*경북대학교 농학과, \*\*경북대학교 농업과학기술연구소

## Effects of Abscisic acid on Ozone Injury in Rice

Kim Joo Ryung\*, Tae Kwon Son\*\*, Jeong Hwan Cho\*, and Sang Chul Lee\*†

\*Department of Agronomy, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

\*\*Institute of Agricultural Science & Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

**ABSTRACT:** This study was carried out to investigate the effects of abscisic acid (ABA), three concentrations, on growth, activities of antioxidant-related enzymes and grain yield of two rice plants (*Oryza sativa* L. cv. Hwamyungbyeo and cv. Namchunbyeo) exposed to ozone (0.150 ppm) for 6 hours a day for 30 days. The leaf chlorophyll contents, plant height, and tillering numbers were not shown significant difference. But ABA  $10^{-5}$  M treatment affects to growth slightly. In all concentrations of ABA, superoxide dismutase (SOD) activities were increased at tillering stage of Namchunbyeo which was exposed to ozone. It is considered that the optimum concentration of ABA is  $10^{-5}$  M for minimizing loss of grain yield loss.

**Keywords:** abscisic acid, ozone, rice, superoxide dismutase (SOD)

**산업화가** 가속화되면서 대기 환경이 많이 오염되어 왔으며, 특히 오존(O<sub>3</sub>)이 식물에 끼치는 영향에 대한 연구는 식물에 대한 오존 피해 양상(Kim *et al.*, 1982)과 오존 피해 경감(Cho *et al.*, 2001; Park *et al.*, 1997) 등이 보고되었고, 많은 지역에서 대기 중 O<sub>3</sub>은 낮은 농도에서도 식물에 영향을 줄 수 있는데, 주로 식물 세포막을 통한 물질의 투과성과 세포내 물질 대사에 영향을 주며(Heath, 1996), 엽록소 함량을 감소시켜 광합성을 저하시키고, 광합성 산물의 분배에 영향을 주어 식물의 생장을 억제시키고 수확량을 감소시킬 수 있다(Heagle, 1989). 장기간 저농도의 O<sub>3</sub>은 주로 생리적 대사과정에 영향을 주었으나 가시적 피해는 나타나지 않고, 단기간 고농도의 O<sub>3</sub>은 가시적 피해를 일으킨다(Pell and Dann, 1991).

식물은 저온, 고온, 건조, 병해충 및 대기 오염물질 등과 같은 불리한 환경 조건에서 살아남기 위해 자체의 생체방어기작을 지니는데, 기공의 閉閉는 대기오염물질이 식물체내로 유입

되는 것에 가장 중요한 조절기구이다(Webb and Mansfield, 1992). 대기오염물질에 대한 식물의 견딜성은 식물의 생리 생화학적 특징에 의해 결정되며, 기공반응이 대기오염물질에 대한 식물의 견딜성에 중요한 역할을 한다는 실험 결과들이 보고되고 있다(Wolfenden and Mansfield, 1991). 오존은 기공을 통하여 식물 잎에 흡수되므로 O<sub>3</sub> 흡수량은 기공의 수와 크기 및 氣孔開度의 정도에 의존하며 일반적으로 식물체는 多濕 조건에서 기공開度의 증가로 대기오염물질에 더욱 민감하게 반응한다고 보고되고 있다(McLaughlin and Taylor, 1981). 식물 호르몬인 abscisic acid(ABA)는 수분스트레스를 받은 거의 모든 식물체에서 증가되며 스트레스를 받지 않은 식물이라도 외부에서 ABA를 처리 할 경우 閉閉를 일으킨다는 것은 이미 잘 알려져 있다(Walton, 1980). 오존의 경우, ABA와 달리 기공閉閉 증가로 기공을 더 크게 열리게 하여 그 피해가 더욱 커질 수 있다는 보고도 있다(Darrall, 1989).

항산화물 생성의 증가와 같은 식물체내의 생화학적 반응도 식물체의 중요한 보호기작이 되며(Barnes and Pfirmann, 1992), 생화학적 반응으로 자체의 강한 산화력과 더불어 오존이 식물조직 내에 흡수되었을 때 물과 반응하여 생성되는 superoxide(O<sub>2</sub><sup>-</sup>), singlet oxygen(O<sup>-</sup>), hydroxyl radical(-OH) 등의 활성산소종(active oxygen species)에 의해 산화작용이 나타나는 것으로 보고되고 있다(Saralabai *et al.*, 1997). 활성산소종은 오존을 비롯한 각종 환경 stress에 의해 생성되며, 여기에는 superoxide dismutase(SOD), ascorbate peroxidase(APX) 등의 여러 가지 항산화 효소와 ascorbate 및 glutathione 등의 항산화 물질이 있으며 이들은 각종 stress에 의해 발생된 활성산소종을 해독하는 것으로 보고되어 있으나(Heath, 1996), 이들 방어기구는 어느 정도 한계가 있기 때문에 인위적으로 식물호르몬인 ABA를 처리하여 식물체내로의 O<sub>3</sub>의 유입을 억제 시킴으로써 O<sub>3</sub> 저항성을 증가시켜 O<sub>3</sub>에 대한 식물의 피해를 경감시키고자 식물생장조절제인 ABA를 전처리하여 오존의 가시적인 피해, 수량 감소에 미치는 영향 및 식물체내 항산화효

†Corresponding author: (Phone) +82-53-950-5713 (E-mail) Leesc@knu.ac.kr <Received February 7, 2002>

소 활성의 변화를 구명하고자 본 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

통일형품종인 남천벼와 자포니카품종인 화명벼를 경북농업기술원으로부터 분양 받아 공시하였다. Wagner pot(1/5000a)에 흙과 퇴비를 1:1의 비율로 혼합한 배양토에 파종 후 15일된 모를 1본 씩 3주를 이식하였으며, 시비는 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O를 10a 당 15:10:8 kg의 수준으로 질소는 50%, 인산과 칼륨은 전량 기비로 사용하고, 파종 90일 후 질소를 50% 추비로 사용하였다. 그리고 물 관리는 매일 1회 이상 충분히 관수하였으며 기타 관리는 농촌진흥청 벼 표준재배법에 따랐다. 시험구 배치는 분할구 배치 3반복으로 하였으며, 오존처리는 open top chamber 내에서 pot 위치를 매일 바꾸어 주면서 처리하였다.

분얼기의 오존처리는 파종 후 30일(이식 후 15일)된 벼 개체를, 수잉기의 오존처리는 출수 10일전의 벼 개체를 대상으로 하였으며, 식물생장조절제 ABA를 각각 10<sup>-3</sup>M, 10<sup>-4</sup>M 및 10<sup>-5</sup>M의 농도로 오존처리 2시간 전 엽면살포 후, Table 1의 오존발생 및 측정 장치를 이용하여 0.15 ppm의 농도로 하루 6시간씩(10:00~16:00) 30일간 오존 처리하였다.

오존처리 벼의 생육에 미치는 ABA의 영향을 알아보기 위하여 분얼기와 수잉기 두시기의 오존처리기간 중에 10일 간격으로 초장과 분얼수를 조사하였고, 엽록소함량은 오존처리기간 중 10일 간격으로 chlorophyllmeter(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 하위 3번째 잎의 선단부에서 10 cm 되는 지점에 marking을 한 후 같은 곳을 계속 측정하였다. 엽록소함량은 Yoshida(1972)등이 발표한(y=0.1x+0.578, r=0.98\*\*) 계산식에 따랐다.

오존처리 벼의 수량감소 경감에 미치는 ABA의 영향을 알아보기 위하여 분얼기와 수잉기에 오존처리한 벼를 출수 45일 후에 수확한 후 수량구성요소인 주당 이삭수, 이삭당 영화수, 백립중 및 등숙률을 조사하고 수량을 환산하였다.

오존처리 벼의 항산화 효소 활성에 미치는 ABA의 영향을 알아보기 위해 분얼기와 수잉기에 오존처리를 시작하여 15일째와 30일째 되는 날, 분얼기는 하위 3번째 잎을, 수잉기에는

지엽을 시료로 채취하였으며 채취 즉시 액체질소에 넣어 운반한 후 -80°C 냉동고에 보관하면서 분석에 이용하였다. 오존을 처리한 벼 잎 약 1 g을 0.5 mM의 ascorbic acid와 1 mM의 환원형 glutathione을 포함하는 potassium phosphate buffer (pH 7.8) 10 ml를 넣고 추출한 후, 추출액을 15,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후, 상등액을 조효소로 이용하여 효소활성을 측정하였다. 그리고 상등액 일부를 이용하여서 직접 APX, dehydroascorbate reductase(DHAR), monodehydroascorbate reductase(MDHAR)의 활성을 측정하였으며, 나머지 상등액을 potassium phosphate buffer(pH 7.8)에 넣어 4°C 암상태에서 24시간 투석 처리한 다음 SOD, guaiacol peroxidase(GPX), glutathione reductase(GR)의 효소활성을 측정하였다.

SOD의 활성은 Schoner과 Krause(1990)의 방법에 따라 cytochrome c의 감소를 A<sub>550</sub>에서 측정하였으며, APX의 활성은 Nagano와 Asada(1981)의 방법에 따라 A<sub>290</sub>(2.8 mM·cm<sup>-1</sup>)에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에 의한 ascorbate의 산화를 조사하였다. MDHAR의 활성은 Hossain(1984)등의 방법에 의해 A<sub>340</sub>(6.2 mM·cm<sup>-1</sup>)에서의 NADH의 산화를 조사하였고, DHAR의 활성은 A<sub>290</sub>(2.8 mM·cm<sup>-1</sup>)에서 dehydroascorbate에서 ascorbate로의 환원을 조사하는 Tanaka(1985)등의 방법에 따라 측정하였다. GR의 활성은 Tanaka(1982) 등의 방법에 따라 A<sub>340</sub>(26.6 mM·cm<sup>-1</sup>)에서 NADPH의 감소량을 측정하였으며, GPX의 활성은 Tanaka와 Sugahara(1980)의 방법에 따라 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 존재 하에서의 guaiacol의 산화를 A<sub>470</sub>(26.6 mM·cm<sup>-1</sup>)에서 측정하였다.

모든 실험은 분할구 배치 3반복으로 수행하였으며 통계처리는 F-검정을 거친 후 최소유의차검정(LSD, P ≤ 0.05)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 오존, ABA처리가 벼의 생육에 미치는 영향

분얼기에 오존을 0.15 ppm의 농도로 하루 6시간씩 30일간 처리한 후 초장과 분얼수를 조사한 결과를 보면 Table 2와 같다. 30일간 오존처리 후의 초장을 살펴보면 대조구에 있어서 화명벼 89.3 cm, 남천벼 74.8 cm로 화명벼가 초장이 더 큰 것으로 나타났고, 화명벼의 경우 오존처리 20일까지는 오존처리에 의해 초장생육이 감소하다가 30일째에는 무처리구와 LSD 5%에서 유의성이 인정되지 않았으며, 남천벼의 경우에는 오존처리 20일까지는 대조구에 비하여 생육이 증가하다가 30일째에는 초장생육이 감소하여 화명벼와는 반대로 나타나 오존처리에 따른 초장생육은 품종에 따라 다르게 나타났다. 이 결과로 미루어 볼 때 통일형품종인 남천벼보다는 자포니카품종인 화명벼가 오존에 대한 저항성이 강하다는 것을 알 수 있다.

또한, 분얼수에 있어서도 오존처리에 따른 분얼수의 증감은 남천벼의 경우 오존처리 30일째 대조구 17.7개, 오존 단독 처

Table 1. Ozone generator and monitoring system.

Classification	Function
Ozone generator	
O <sub>3</sub> fumigated velocity	0~4 g/hrs.
Air volume	10 l/min.
Ozone measuring instrument	
O <sub>3</sub> measuring range	0.00~9.99 ppm
O <sub>3</sub> monitoring instrument	In-2000 UV absorption analyzer
Chamber	
Mode	Open-top chamber
Dimension	200×100×150

**Table 2.** Effect of ABA on plant height and tiller number in tillering stage of rice during 30days after ozone treatment .

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment					
		10		20		30	
		P.h. <sup>†</sup> (cm)	Tiller(no.)	P.h.(cm)	Tiller(no.)	P.h.(cm)	Tiller(no.)
Hwamyeongbyeo	Control	45.5	8.0	61.2	8.0	89.3	11.3
	O <sub>3</sub>	41.9	7.7	50.8	8.0	87.6	12.0
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	39.2	8.0	58.3	9.0	88.8	10.0
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	43.2	7.3	59.2	8.0	84.2	10.3
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	47.6	10.0	63.1	10.0	84.1	12.3
	<b>Mean</b>	<b>43.5</b>	<b>8.2</b>	<b>58.5</b>	<b>8.6</b>	<b>86.8</b>	<b>11.2</b>
Namcheonbyeo	Control	39.6	9.7	45.6	10.3	74.8	17.7
	O <sub>3</sub>	41.1	10.0	49.0	11.0	68.6	12.7
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	36.6	10.7	49.6	11.7	69.5	12.7
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	40.3	9.7	49.9	10.3	72.3	11.0
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	40.5	9.7	49.1	9.7	69.7	11.3
	<b>Mean</b>	<b>39.6</b>	<b>9.9</b>	<b>48.6</b>	<b>10.6</b>	<b>71.0</b>	<b>13.1</b>

<sup>†</sup>P.h.; plant height.

LSD(5%)

- means between varieties

(1.6)

(0.7)

(1.4)

(1.3)

(2.0)

(ns)

- means between treatments within a variety

(1.1)

(ns)

(1.3)

(ns)

(2.5)

(1.2)

리구 12.7개로 5개 감소한 것을 제외하고는 오존처리에 따른 분얼수 증감에 영향을 끼치지 않는 것으로, 화명벼의 경우에는 오존처리에 따른 분얼수의 증감은 나타나지 않았다. 따라서 화명벼의 경우 오존처리 30일째에 초장과 분얼수 모두에서 대조구와 비교해서 증감현상은 인정되지 않았고 남천벼의 경우 초장과 분얼수에서 초장 8.3%, 분얼수 28.3% 감소하여 남천벼가 오존에 대한 저항성이 약하게 나타났다. 화명벼는 10일간 오존 처리한 경우 대조구에 비해 약 7.9%의 초장 감소를 보였으나, ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서는 대조구보다 약 13.8%의 초장 감소를 보였다. 이는 고농도의 ABA 처리에 의해 초장억제에 대해 상승작용을 일으킨 것으로 판단된다. 반면, ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 대조구보다 오히려 초장이 약 4.6% 정도 증가하였는데, 이는 박 등(1997)이 담배를 대상으로 0.3 ppm의 오존 농도로 하루 6시간씩 7일간 처리한 실험에서 ABA 10<sup>-5</sup>M의 처리로 인해 초장 억제를 경감시켰다는 보고와 유사한 결과를 보여주었다. 화명벼를 대상으로 20일간의 오존을 처리한 경우 10일간의 오존 처리결과와 오존 처리구 별로 비슷한 경향을 보였으나, 오존을 30일간 처리한 후의 결과를 살펴보면 오존 단독처리가 1.9% 감소하였으며 ABA 10<sup>-3</sup>M, 10<sup>-4</sup>M 및 10<sup>-5</sup>M 처리의 경우 각각 0.6%, 5.7% 및 5.8%의 감소를 보여 ABA 10<sup>-3</sup>M에서는 유의성이 인정되지 않았고 ABA 10<sup>-4</sup>M 및 10<sup>-5</sup>M 처리에서 유의성이 인정되어 고농도의 ABA에서 30일간의 오존 처리에 대한 초장 억제를 감소시키는 지속효과가 인정되었다.

남천벼는 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 10일간 오존 처리를 한 경우를 제외하고는 20일간 및 30일간 오존 처리를 한 결과 모

든 오존 처리구에서 초장이 증가하는 경향을 보였는데, 일반적으로 오존처리에 의해 생육이 억제된다는 다른 오존 실험결과들과는 반대되는 현상을 보였다. 이는 통일형 품종인 남천벼의 오존 반응에 대한 유전적 특성인 것으로 사료되며, 추후 남천벼를 대상으로 ABA 농도 및 오존 농도를 달리한 정밀한 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

신(1998)이 보리를 대상으로 한 실험에서는 오존 처리에 의해 분얼이 감소하는 경향을 보였다고 하였으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다고 했는데, 본 실험의 경우도 오존 처리 초기에서 중기인 10일에서 20일까지는 ABA 처리에 의한 효과보다는 화명벼와 남천벼의 유전적 특성에 의한 품종간 차이만이 인정되었다.

Park *et al.*(1998)은 오존 처리 후 초장이 감소하였으나 ABA에 의한 초장 감소의 억제 효과는 인정되지 않았다고 하였고, 신(1998)은 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 오존에 의한 초장 감소를 가장 적게 하는 것으로 보고하였다. 본 실험의 경우 비교적 오존 처리 초기인 10일간의 오존 처리에서는 저농도인 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 오존피해로 인한 초장의 감소를 억제하는 것으로 나타났으며, 오존 처리 후기인 30일간의 오존 처리에서는 고농도인 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 초장의 감소를 억제하는 것으로 나타났다. 이것으로 미루어 볼 때, 저농도의 오존이 비교적 단기간인 10일 미만 정도로 발생하는 상습발생지역에서의 벼농사 시 예상되는 오존에 의한 가시적인 피해를 줄이기 위해서는 저농도의 ABA가 피해를 줄여줄 수 있을 것으로 판단되며, 저농도의 오존이 비교적 오랜 기간인 30일 정도로 상습 발생하는 지역에서의 벼농사 시 예상되는 오존 피해를

**Table 3.** Effect of ABA on plant height and tiller number in booting stage of rice during 30days after ozone treatment .

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment					
		10		20		30	
		P.h. <sup>†</sup> (cm)	Tiller(no.)	P.h.(cm)	Tiller(no.)	P.h.(cm)	Tiller(no.)
Hwamyeongbyeo	Control	83.1	14.7	81.7	13.0	80.5	13.0
	O <sub>3</sub>	81.9	16.3	83.3	14.0	83.4	14.0
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	80.2	16.0	78.9	13.0	78.6	13.0
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	81.1	16.0	80.9	14.7	81.1	14.0
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	81.0	15.3	80.2	14.0	80.1	14.0
	<b>Mean</b>	<b>81.5</b>	<b>15.7</b>	<b>81.0</b>	<b>13.7</b>	<b>80.7</b>	<b>13.7</b>
Namcheonbyeo	Control	79.1	21.7	78.8	16.7	77.7	16.0
	O <sub>3</sub>	76.7	22.7	80.5	15.3	80.4	15.3
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	74.4	22.0	74.1	15.3	74.1	15.3
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	77.0	20.0	76.3	15.7	75.9	15.7
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	78.6	19.3	80.2	14.0	79.5	14.0
	<b>Mean</b>	<b>77.2</b>	<b>21.1</b>	<b>78.0</b>	<b>15.4</b>	<b>77.5</b>	<b>15.3</b>

<sup>†</sup>P.h.; plant height.  
LSD(5%)

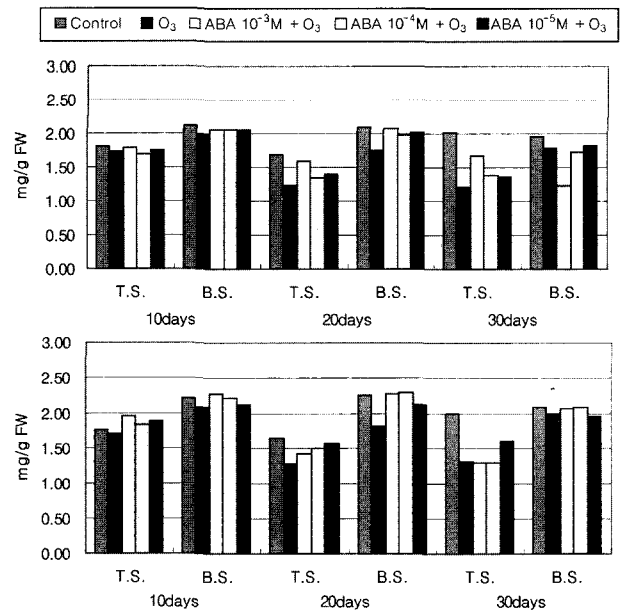
- means between varieties	<b>(0.5)</b>	<b>(1.9)</b>	<b>(2.4)</b>	(ns)	(ns)	(ns)
- means between treatments within a variety	<b>(1.0)</b>	(ns)	<b>(2.9)</b>	(ns)	<b>(2.6)</b>	(ns)

줄이기 위해서는 고농도의 ABA가 피해를 줄여줄 수 있을 것으로 생각된다.

수잉기에 0.15 ppm 농도의 오존을 하루 6시간씩 30일간 처리한 후 초장 및 분얼수를 조사한 결과를 보면 Table 3과 같다. 오존처리후 30일째의 초장생육은 화명벼의 대조구에서 80.5 cm, 오존 처리구 83.4 cm, 남천벼 대조구의 경우 77.7 cm, 오존 처리구 80.4 cm로 나타나 오존 처리에 의한 초장 생육의 감소 현상은 나타나지 않았으며, ABA 처리에 따른 초장 생육 증진 효과는 나타나지 않았다. 남천벼의 경우 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 오히려 초장생육이 대조구와 오존단독처리보다 감소되었다. 분얼수는 대조구와 오존 처리구, ABA 처리구 모두에서 유의적인 차이가 인정되지 않았고 수잉기에서의 오존치리에 대한 분얼수의 영향은 두 품종 모두에서 인정되지 않았다.

화명벼와 남천벼 모두 10일간의 오존 처리 시 분얼수에서 품종간 차이가 인정되었으나 오존 처리일수가 증가함에 따라 유의성이 인정되지 않았는데, 이는 남천벼에서 오존 처리에 의한 무효 분얼의 노화가 조장되어 고사된 결과인 것으로 생각되어지며, 남천벼가 화명벼보다 오존에 대해 더 큰 감수성을 지녔기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 오존 처리일수에 관계없이 두 품종 모두 오존 처리구들 내에서는 ABA의 효과가 인정되지 않았다.

오존을 처리하는 동안 10일 간격으로 엽록소 함량을 조사한 것을 나타내면 Fig. 1과 같다. 화명벼의 경우 오존 처리구들이 모든 시기에서 대체적으로 남천벼 보다는 엽록소 함량이 높게 나타났으며, 두 품종 모두 오존 단독처리 후에 엽록소 함량이



**Fig. 1.** Effect of ABA on chlorophyll content in tillering and booting stage of rice during 30days ozone treatment. Bottom, Hwamyeongbyeo; Upper, Namcheonbyeo; T. S., Tillering stage; B. S., Booting stage.

감소하는 경향을 보이고 있다. 화명벼의 경우, 수잉기 10일간 오존 처리 시 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리와 수잉기 20일간 오존 처리 시 ABA 10<sup>-3</sup>M 및 10<sup>-4</sup>M 처리에서 대조구 보다도 오히려 엽록소 함량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 남천벼의 경우는 모든 오존 처리구들에서 엽록소 함량이 감소하는 것을

볼 수 있다. 화명벼 내에서 ABA 처리에 따른 엽록소 함량의 증감에는 일정한 경향은 없었으나 10일간의 오존 처리 시에는 분얼기와 수잉기 모두 ABA  $10^{-3}$ M 처리에서 엽록소 함량이 가장 높게 나타났으며, 20일간 및 30일간의 오존 처리의 경우 분얼기에서는 ABA  $10^{-5}$ M, 수잉기에서는 ABA  $10^{-4}$ M에서 오존 처리에 따른 엽록소 함량의 감소를 줄여주는 것으로 나타났다. 남천벼에서는 수잉기 10일간 오존 처리와 30일간의 오존 처리 시 ABA  $10^{-5}$ M 처리에서 엽록소 함량 감소를 줄여주는 것으로 나타났으며, 그 외의 다른 시기의 처리들에서는 ABA  $10^{-3}$ M 처리에서 엽록소 함량 감소를 줄여주는 것으로 나타났다.

Park *et al.*(1998)은 담배 잎의 엽록소 함량이 ABA  $10^{-3}$ M 처리에서 오존 단독처리구 보다 약 26% 정도 증가하였으며, 이는 ABA의 기공폐쇄에 의한 오존 침투의 차단이 엽록소 파괴를 감소시켰을 것으로 보고하였다. 본 실험에서는 남천벼의 분얼기 오존 처리에서 ABA  $10^{-3}$ M 처리가 오존 피해 경감 효과가 인정되었으며, 화명벼의 분얼기 오존 처리는 10일까지는 ABA  $10^{-3}$ M 처리가, 30일까지는 ABA  $10^{-5}$ M 처리가 오존 피해 경감 효과가 있는 것으로 나타나 오존 처리 일수가 경과함에 따라 Park *et al.*(1998)이나 Shin(1998)의 실험 결과와 유사한 경향을 보였는데, 이는 0.15 ppm 정도의 저농도 오존 처리가 장기간 지속되면 0.3 ppm 정도의 고농도 오존 처리 시 받을 수 있는 피해와 유사한 피해를 받을 수 있는 것으로 판단할 수 있으며, 피해 경감 효과도 고농도 오존 처리 시 처리했던 ABA 농도와 같은 농도에서 그 효과가 있다는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

#### 오존처리 벼의 수량감소 경감에 미치는 ABA의 영향

분얼기의 벼를 대상으로 ABA를 농도별로 엽면 처리한 후

오존을 30일간 처리했을 때의 수량을 조사한 결과를 나타내면 Table 4와 같다. 주당 이삭수의 경우 무처리구를 비교해 보면 화명벼와 남천벼 간에 품종간의 차이가 인정되는데 오존 처리 후 두 품종 모두 이삭수가 약 2개 정도씩 줄어든 것을 알 수 있으며 화명벼는 ABA  $10^{-5}$ M 처리에서, 남천벼의 경우는 모든 ABA 농도에서 오존 피해로 인한 이삭수의 감소를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 특히 ABA  $10^{-5}$ M 농도는 두 품종 모두 오존 처리로 인한 피해를 경감시켜 유효분얼 확보에 효과가 있는 것으로 판단된다.

이삭당 영화수의 경우 품종간 차이는 인정되지 않았으나 오존 처리후 영화수는 화명벼가 약 2개의 감소를 보인 반면 남천벼는 약 32개의 감소를 보여 남천벼가 오존에 대해 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

오존처리로 인한 백립증은 화명벼가 약 3.7%, 남천벼가 약 4.1%의 감소를 보여 남천벼가 화명벼보다 오존에 대해 더 민감한 것으로 나타났다. ABA 처리는 화명벼의 경우 ABA  $10^{-3}$ M 및  $10^{-4}$ M 처리에서 무처리구 보다도 오히려 백립증이 더 증가한 것을 알 수 있으며, 남천벼에서는 ABA  $10^{-4}$ M 처리가 오존 처리로 인한 백립증 감소를 경감시켜주는 것으로 나타났다.

등숙률의 경우도 품종간 차이가 인정되었는데 남천벼가 전체적으로 등숙이 저조하였으며 오존 처리로 인한 등숙률은 화명벼가 약 14.6%, 남천벼가 약 21.9%의 감소를 보였다. 화명벼의 경우는 모든 ABA 처리에서 오존 처리로 인한 등숙률의 감소를 경감시켜주는 것으로 나타났으며, 남천벼의 경우도 모든 ABA 처리에서 오존처리로 인한 등숙률의 감소를 경감시켜주는 것으로 나타났는데 특히 ABA  $10^{-5}$ M 처리에서는 무처리 보다도 오히려 약 1.7% 정도 등숙률이 증가하였지만 유의

**Table 4.** Effect of ABA on yields and yield components in tillering stage of rice treated with 30days ozone treatment .

Variety	Treatment	Panicle (no./plant)	Spikelet (no./panicle)	100 grains wt.(g)	Ripening ratio(%)	Yield (g/plant)
Hwamyongbyeo	Control	13.7	99.0	2.45	85.4	28.3
	O <sub>3</sub>	11.3	97.0	2.36	72.9	18.8
	ABA $10^{-3}$ M + O <sub>3</sub>	10.7	91.3	2.48	79.5	19.1
	ABA $10^{-4}$ M + O <sub>3</sub>	11.0	100.3	2.48	79.0	21.5
	ABA $10^{-5}$ M + O <sub>3</sub>	15.3	90.7	2.43	75.5	25.5
	<b>Mean</b>	<b>12.4</b>	<b>95.7</b>	<b>2.44</b>	<b>78.4</b>	<b>22.7</b>
Namcheonbyeo	Control	17.3	123.0	2.43	63.9	33.2
	O <sub>3</sub>	15.3	91.3	2.33	49.9	16.3
	ABA $10^{-3}$ M + O <sub>3</sub>	17.7	101.7	2.37	56.4	23.9
	ABA $10^{-4}$ M + O <sub>3</sub>	18.0	103.3	2.42	53.3	23.9
	ABA $10^{-5}$ M + O <sub>3</sub>	18.7	103.3	2.33	65.0	29.4
	<b>Mean</b>	<b>17.4</b>	<b>104.6</b>	<b>2.38</b>	<b>57.7</b>	<b>25.3</b>

LSD(5%)

- means between varieties

(1.7)

(ns)

(0.04)

(8.4)

(ns)

- means between treatment within a variety

(2.1)

(9.2)

(0.04)

(4.0)

(4.6)

**Table 5.** Effect of ABA on yields and yield components in booting stage of rice treated with 30days ozone treatment.

Variety	Treatment	Panicle (no./plant)	Spikelet (no./panicle)	100 grains wt.(g)	Ripening ratio(%)	Yield (g/plant)
Hwamyeongbyeo	Control	16.3	80.0	2.50	84.9	27.7
	O <sub>3</sub>	14.3	79.0	2.27	72.9	18.8
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	13.3	77.3	2.37	76.2	18.6
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	14.7	83.0	2.24	75.5	20.7
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	14.0	87.0	2.29	75.5	21.2
	<b>Mean</b>	<b>14.5</b>	<b>81.3</b>	<b>2.34</b>	<b>77.0</b>	<b>21.4</b>
Namcheonbyeo	Control	16.0	115.7	2.43	65.4	29.3
	O <sub>3</sub>	15.0	111.7	2.33	46.7	18.2
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	16.0	109.0	2.24	36.9	14.2
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	14.7	107.0	2.37	53.8	20.1
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	14.3	121.0	2.33	61.8	24.9
	<b>Mean</b>	<b>15.2</b>	<b>112.9</b>	<b>2.34</b>	<b>52.9</b>	<b>21.3</b>

LSD(5%)

- means between variety

(ns)

**(11.0)**

(ns)

**(1.8)**

(ns)

- means between treatment within a variety

(ns)

(ns)

**(0.06)****(3.6)****(3.87)**

성은 인정되지 않았다.

수량의 경우 두 품종간 차이는 인정되지 않았으나 남천벼가 화명벼보다 수량이 높은 경향을 보였으며, 오존처리로 인한 수량은 화명벼가 약 33.6%, 남천벼가 약 50.9%의 감소를 보여 남천벼가 오존에 대해 더 민감한 것을 알 수 있다. 그러나 두 품종 모두 ABA 처리로 인해 수량 감소를 줄일 수 있는 것으로 나타났는데, 특히 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리했을 때의 수량은 화명벼와 남천벼가 각각 9.9%와 11.4%의 감소를 보여 ABA 처리구들 중에서 가장 적은 감소를 보였다.

벼의 분얼기 때 오존 처리 시 수량에 영향을 미치는 수량구성요소는 화명벼의 경우 등숙률, 남천벼의 경우 이삭당 영화수와 등숙률이 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

수잉기의 벼를 대상으로 ABA를 농도별로 엽면 처리한 후 오존을 30일간 처리했을 때의 수량을 조사한 결과를 나타내면 Table 5와 같다. 이삭수의 경우 품종간 차이나 처리간 차이가 인정되지 않았으며, 이삭당 영화수의 경우 화명벼가 남천벼보다 평균 약 32개의 차이가 났고 처리간 차이는 인정되지 않았다.

백립중의 경우 품종간 차이는 인정되지 않았으나, 오존 처리로 인해 화명벼와 남천벼가 각각 9.2%와 4.1%의 백립중 감소를 보였으며 화명벼는 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 약 5.2%, 남천벼는 ABA 10<sup>-4</sup>M 처리에서 약 2.5%의 감소를 보여 오존 피해 경감 효과가 인정되었다. 등숙률의 경우 화명벼가 남천벼보다 등숙률이 높게 나타났으며 오존처리로 인해 화명벼는 약 14.1%, 남천벼는 약 28.6%의 등숙률 감소를 보였으나, 화명벼는 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리로 인해 등숙률 감소가 10.2%로 낮아졌으며 남천벼는 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리로 인해 5.5%의 등숙률 감소를 보였다.

수량의 경우 품종간 차이는 인정되지 않았으나 화명벼는 오존처리로 인해 약 32.1%의 수량 감소를 보였으며 남천벼의 수량은 약 37.9%의 감소를 보였다. 두 품종 모두 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 화명벼와 남천벼가 각각 23.5% 및 15%의 수량 감소를 보여 오존 처리로 인한 수량 감소를 경감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

벼의 수잉기 때 오존처리 시 수량에 가장 큰 영향을 미치는 수량구성요소는 화명벼와 남천벼 모두 등숙률이 가장 크게 영향을 미치고 그 이외에도 백립중이 수량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

신(1998)은 오존 처리 후 보리의 수량이 약 31.3% 정도 감소하였다고 하였는데 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 약 16% 정도로 감소하여 이 농도에서 오존 피해 경감 효과가 인정된다고 하였는데, 본 실험에서도 분얼기의 오존 처리 시 화명벼와 남천벼에서 수량이 각각 약 33.6%와 50.9%가 감소한 반면, ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 각각 약 9.9% 및 11.4%가 감소하여 오존 피해를 줄여 주었다. 이는 신(1998)의 결과와 일치하는 것으로 두 품종 모두 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에 의한 충분한 유효분얼 확보가 수량의 감소 피해를 줄여 준 것으로 판단된다. 수잉기의 오존 처리 시 화명벼와 남천벼에서 수량이 각각 약 32.1% 및 37.9%가 줄어들었는데 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 각각 23.5% 및 15%가 줄어들어 오존 피해를 줄여준 것으로 나타났다. 수잉기 오존 처리 시에는 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에 의한 충분한 영화수의 확보가 수량 감소를 줄여 줄 수 있었던 것으로 판단된다.

#### 오존처리 벼의 항산화 효소활성에 미치는 ABA의 효과

오존처리후 15일 및 30일째의 SOD의 활성변화에 대한

**Table 6.** Effect of ABA on superoxide dismutase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days after O<sub>3</sub> treatment. (unit/g fw.)

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyongbyeo	Control	990	133	495	251
	O <sub>3</sub>	530	214	1000	363
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	595	234	793	329
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	568	232	1016	619
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	567	279	1086	705
	<b>Mean</b>	<b>650</b>	<b>219</b>	<b>878</b>	<b>453</b>
Namcheonbyeo	Control	499	216	471	571
	O <sub>3</sub>	361	339	655	310
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	220	395	741	216
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	369	193	809	359
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	430	217	806	296
	<b>Mean</b>	<b>376</b>	<b>272</b>	<b>696</b>	<b>351</b>
LSD(5%)					
- means between varieties		(213)	(30)	(88)	(57)
- means between treatments within a variety		(194)	(35)	(94)	(50)

ABA의 효과를 조사한 결과를 나타내면 Table 6과 같다. 분얼기의 오존 처리 후 15일째의 경우 두 품종 모두 오존 처리구들에서 대조구보다 SOD 활성이 낮아진 것을 볼 수 있으며, ABA 처리들에서는 남천벼 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리를 제외하고는 모두 오존 단독처리보다 SOD 활성이 높아진 것을 볼 수 있다. 특히 화명벼의 경우는 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서, 그리고 남천벼의 경우는 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 다른 오존 처리구들보다 SOD 활성이 높아진 것으로 보아 이들 ABA 농도처리에 의해 식물체의 오존 스트레스에 대한 방어작용을 높여준 것으로 생각된다.

분얼기 30일간 오존처리의 경우 모든 오존 처리구들에서 두 품종 모두 SOD 활성이 증가한 것을 볼 수 있다. 화명벼의 경우 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서, 그리고 남천벼의 경우 10<sup>-4</sup>M 처리에서 가장 높은 SOD 활성을 나타내었다.

수잉기 15일간 오존처리의 경우 화명벼에서는 오존 처리에 의해 SOD 활성이 증가하였으며 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 가장 높은 활성을 보였고, 남천벼의 경우는 오존 단독처리와 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 활성이 증가하였는데 남천벼의 15일간 오존 처리에서는 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리가 오존에 대한 방어능력을 높여준 것으로 생각된다.

수잉기 30일간 오존처리의 경우 화명벼에서는 모든 오존처리구들에서 SOD 활성이 증가하였으며 특히 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 대조구보다 약 2.8배의 활성 증가를 보였다. 그러나 남천벼에서는 모든 오존처리구들에서 활성이 감소하였는데, 이는 오존에 대한 반응으로 오존 피해를 입은 남천벼에서 노화가 진전되어 나타난 현상으로 사료된다.

분얼기와 수잉기의 벼에 ABA를 전 처리한 후 오존을 30일간 처리하고서 APX 활성을 조사한 결과가 Table 7이다. 분얼기에 오존을 15일간 처리한 후 APX 활성을 조사한 결과 모든 오존처리구들에서 활성이 증가하였는데 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서는 화명벼와 남천벼 모두 오존 단독처리보다 활성이 낮아진 것을 볼 수 있다. 이것은 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에 의해 벼 잎의 기공 개폐에 영향을 미쳐 오존 흡수를 줄여서 활성산소가 상대적으로 적게 생성되어 활성이 낮아진 것으로 생각된다. 그러나 분얼기에 오존을 30일간 처리하였을 때는 품종과 처리에 관계없이 APX 활성에 대해 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

수잉기의 벼를 대상으로 오존을 15일간 처리한 후 APX 활성은 Table 8과 같은데 화명벼의 경우는 오존 처리후 오히려 APX 활성이 낮아졌으며 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리는 오존 단독 처리보다 활성이 더 낮은 반면 ABA 10<sup>-3</sup>M은 대조구보다도 오히려 APX 활성이 더 높아진 것을 볼 수 있다. 남천벼의 경우는 오존 처리 이후 APX 활성이 높아졌는데 ABA 처리에 의한 활성이 오존 단독처리보다 낮아진 것을 볼 수 있다. 특히 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서는 오존 단독처리보다 약 18.8%의 활성 감소를 보였다.

수잉기에 30일간 오존을 처리한 후 APX의 활성은 화명벼의 경우 모든 오존 처리구에서 대조구보다 활성이 감소하였으며, 남천벼의 경우는 모든 오존 처리구에서 활성이 대조구보다 증가하였는데 특히 ABA 10<sup>-3</sup>M에서는 활성이 오존 단독처리구보다 약 33.3%의 감소를 보였다. 이는 ABA의 기공폐공 작용에 의한 오존 흡수 감소에 기인된 것으로 생각된다. 식물

**Table 7.** Effect of ABA on ascorbate peroxidase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days after O<sub>3</sub> treatment. (mol/g fw.)

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyongbyeo	Control	14.5	11.8	3.39	11.2
	O <sub>3</sub>	22.1	8.8	2.91	8.6
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	18.4	5.9	3.07	9.6
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	21.3	11.1	3.73	8.8
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	22.9	13.2	3.25	9.2
	<b>Mean</b>	<b>19.8</b>	<b>11.2</b>	<b>3.27</b>	<b>9.5</b>
Namcheonbyeo	Control	11.4	11.2	4.42	7.8
	O <sub>3</sub>	26.7	14.4	4.10	14.1
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	22.2	11.7	3.35	9.4
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	31.5	14.1	3.93	11.7
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	31.7	12.6	3.62	12.4
	<b>Mean</b>	<b>24.7</b>	<b>12.8</b>	<b>3.88</b>	<b>11.1</b>
LSD(5%)					
- means between varieties		(1.0)	(1.3)	(ns)	(1.5)
- means between treatments within a variety		(1.7)	(1.4)	(ns)	(1.2)

**Table 8.** Effect of ABA on guaiacol peroxidase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days after O<sub>3</sub> treatment. (mol/g fw.)

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyongbyeo	Control	5.4	2.45	1.73	1.35
	O <sub>3</sub>	10.4	4.50	5.20	1.65
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	6.6	3.12	3.90	1.63
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	10.2	3.29	6.08	1.83
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	9.9	3.41	6.33	1.81
	<b>Mean</b>	<b>8.5</b>	<b>3.35</b>	<b>4.65</b>	<b>1.65</b>
Namcheonbyeo	Control	3.2	2.66	1.02	1.87
	O <sub>3</sub>	11.0	2.62	8.04	3.41
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	5.5	2.68	4.95	2.14
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	11.9	2.68	9.02	3.38
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	10.6	2.34	8.90	4.02
	<b>Mean</b>	<b>8.4</b>	<b>2.60</b>	<b>6.39</b>	<b>2.97</b>
LSD(5%)					
- means between varieties		(ns)	(0.65)	(0.96)	(0.23)
- means between treatments within a variety		(0.9)	(0.30)	(1.72)	(0.33)

체가 어떠한 스트레스를 받게 되면 생리적 소모를 조절하기 위하여 기공을 폐쇄하여 자신의 생체리듬을 유지하려고 하는 성질을 가지고 있으며 ABA 스트레스에 의해서도 기공이 닫힌다고 하였는데(Netting, 2000) 본 실험에서도 ABA 처리에 의한 기공폐공 작용에 의한 APX의 활성이 저하된 것으로 사료되어진다.

분얼기와 수잉기에 오존을 15일간 및 30일간 처리한 후 GPX의 활성을 조사한 결과는 Table 8과 같다. 먼저 분얼기 오존 처리후의 GPX의 활성을 살펴보면 15일간 및 30일간의 오존처리 모두 모든 오존 처리구에서 활성이 증가하였으나 두 품종 모두 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리시 오존 단독 처리에 비해 약 25%~50%의 감소를 보여 ABA 처리에 의한 오존 피해 경감



**Table 9.** Effect of ABA on dehydroascorbate reductase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days after O<sub>3</sub> treatment.

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyongbyeon	Control	1929	365	251	1008
	O <sub>3</sub>	1757	590	105	923
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	1385	577	137	1017
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	1997	632	401	1290
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	1684	896	198	1165
	<b>Mean</b>	<b>1750</b>	<b>612</b>	<b>218</b>	<b>1081</b>
Namcheonbyeon	Control	896	1057	197	1465
	O <sub>3</sub>	1443	696	234	1585
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	1146	769	332	934
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	1421	573	286	1302
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	1540	527	388	1421
	<b>Mean</b>	<b>1289</b>	<b>724</b>	<b>287</b>	<b>1341</b>
LSD(5%)					
- means between varieties		<b>(198)</b>	<b>(9)</b>	<b>(12)</b>	<b>(185)</b>
- means between treatments within a variety		<b>(134)</b>	<b>(138)</b>	<b>(58)</b>	<b>(108)</b>

효과가 인정됨을 알 수 있다.

수잉기에 오존을 15일 및 30일간 처리하였을 경우 오존 처리에 의해 GPX 활성은 증가하였으나 오존을 15일간 처리한 분얼기 화명벼 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리와 오존을 30일간 처리한 수잉기 남천벼 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리 이외에는 ABA의 오존 피해 경감 효과가 인정되지 않았다.

분얼기와 수잉기에 오존을 15일간 및 30일간 처리한 후 DHAR 활성을 조사한 결과는 Table 9와 같다. 화명벼의 분얼기 때 오존 15일간 및 30일간 처리의 경우 ABA 10<sup>-4</sup>M을 제외한 모든 오존 처리구들에서 DHAR 활성이 감소하였으며, 수잉기 때는 오존을 15일간 처리한 결과 모든 오존 처리구들에서 DHAR 활성이 증가하였는데 특히 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 무처리구 보다는 약 145%, 오존 단독 처리구 보다는 약 52%의 활성 증가를 보였다. 화명벼의 수잉기 30일간 오존 처리 후에는 ABA 처리구들의 경우 활성이 오존 무처리구 보다는 높은 경향을 보이고 있으며, 오존 단독처리구의 경우 활성이 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 30일간의 오존 처리로 인해 오존 단독처리에서는 오존에 의한 세포의 파괴로 인해 활성이 감소한 것으로 생각되며 ABA 처리구들에서는 ABA의 기공개폐조절작용으로 인해 오존의 흡수를 줄여준 것이 원인으로 작용하여 DHAR 활성이 30일간 유지된 것으로 생각된다.

남천벼의 분얼기에 오존을 15일간 처리했을 때 모든 오존 처리구들에서 DHAR 활성이 증가하였으나 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서는 오존 단독 처리 보다 약 25.9%의 감소를 보여 이 농도에서의 오존 피해 경감 효과가 인정되는 것으로 나타났다.

남천벼의 분얼기 30일간 오존 처리 시 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서 오존 단독 처리보다 약 41.9% 정도 활성이 높게 나타났는데, 30일간의 오존 처리에도 불구하고 활성이 가장 높게 나타나는 것으로 보아 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리 시 오존에 대한 식물체의 방어기능을 높여 주는 것으로 나타났다.

남천벼의 수잉기때 오존을 15일간 처리 시 모든 오존 처리구에서 무처리보다 DHAR 활성이 낮게 나타났으며, 30일간 오존 처리 시 오존 단독 처리구가 무처리구 보다 약 8.2% 정도 활성이 증가하였으나 ABA 처리구들에서는 활성이 무처리구 보다 낮아졌으며, 특히 ABA 10<sup>-3</sup>M 처리에서는 약 36.2% 정도의 활성 감소를 보여 30일간의 오존 처리시 ABA 10<sup>-3</sup>M 농도에서 오존 피해에 대한 경감효과가 30일간 지속되는 것으로 나타났다.

분얼기와 수잉기에 오존을 30일간 처리한 후 MDHAR의 활성을 조사한 결과는 Table 10과 같다. 분얼기의 화명벼를 대상으로 오존을 15일간 처리 후 활성이 모든 오존처리구들에서 증가하는 것으로 나타났는데 ABA 10<sup>-3</sup>M에서 오존 단독처리구 보다 약 32.4%의 증가를 보여 가장 큰 활성을 나타내었다. 30일간의 오존 처리 시에도 오존 처리 후에 모든 오존 처리구들에서 활성이 증가하였으나 ABA 처리구들에서는 오존 무처리구와 비교해 볼 때 약간의 MDHAR 활성이 증가하는 경향은 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

분얼기의 남천벼를 대상으로 15일간 오존 처리 후 MDHAR 활성은 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리를 제외하고는 모든 오존 처리구들에서 증가하였는데, ABA 10<sup>-3</sup>M 처리의 경우 오존 단독처리구 보다 약 7.8%의 활성증가를 보였다. 분얼기의 남천벼에 30일

**Table 10.** Effect of ABA on monodehydroascorbate reductase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days after O<sub>3</sub> treatment. (nmol/g fw.)

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyeongbyeo	Control	204	955	93	293
	O <sub>3</sub>	287	1283	214	249
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	380	1823	128	245
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	337	2143	131	315
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	312	2218	115	314
	<b>Mean</b>	<b>304</b>	<b>1684</b>	<b>136</b>	<b>283</b>
Namcheonbyeo	Control	283	979	85	169
	O <sub>3</sub>	357	1646	124	261
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	385	1722	181	318
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	344	1845	75	266
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	267	1556	195	336
	<b>Mean</b>	<b>327</b>	<b>1550</b>	<b>132</b>	<b>270</b>
LSD(5%)					
– means between varieties		(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
– means between treatments within a variety		<b>(59)</b>	<b>(97)</b>	<b>(50)</b>	<b>(52)</b>

간 오존 처리 후 ABA 10<sup>-4</sup>M을 제외한 모든 오존처리구들에서 MDHAR 활성이 증가하였는데, 특히 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서는 오존 단독처리구 보다도 약 57.3%의 증가를 보였다.

수잉기의 화명벼와 남천벼를 대상으로 15일간 오존을 처리한 후 MDHAR 활성은 두 품종 모두 모든 오존처리구들에서 증가하였는데, 화명벼의 경우는 ABA 10<sup>-5</sup>M 처리에서 오존단

독처리구보다 약 72.9%의 증가를 보였으며, 남천벼의 경우는 ABA 10<sup>-4</sup>M 처리에서 오존 단독처리구보다 약 12.1%의 증가를 보였다. 수잉기때 화명벼와 남천벼를 대상으로 30일간 오존을 처리한 후 MDHAR 활성은 화명벼의 경우는 오존 처리구들에서 약간 증가하거나 감소하는 경향은 있었으나 통계적 유의성은 인정되지 않았고, 남천벼의 경우는 오존 처리 후 모

**Table 11.** Effect of ABA on glutathione reductase activities in tillering and booting stage of rice leaves during 30days O<sub>3</sub> treatment.

(nmol/g fw.)

Variety	Treatment	Days after O <sub>3</sub> treatment			
		15		30	
		Tillering stage	Booting stage	Tillering stage	Booting stage
Hwamyeongbyeo	Control	219	208	121	242
	O <sub>3</sub>	358	299	167	253
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	338	257	160	265
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	371	301	148	286
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	384	328	180	298
	<b>Mean</b>	<b>334</b>	<b>279</b>	<b>155</b>	<b>269</b>
Namcheonbyeo	Control	217	235	108	212
	O <sub>3</sub>	361	237	202	277
	ABA 10 <sup>-3</sup> M + O <sub>3</sub>	308	279	188	203
	ABA 10 <sup>-4</sup> M + O <sub>3</sub>	341	273	202	276
	ABA 10 <sup>-5</sup> M + O <sub>3</sub>	379	236	214	252
	<b>Mean</b>	<b>321</b>	<b>252</b>	<b>183</b>	<b>244</b>
LSD(5%)					
– means between varieties		<b>(5)</b>	(ns)	(ns)	(ns)
– means between treatments within a variety		<b>(30)</b>	<b>(38)</b>	<b>(23)</b>	(ns)

든 오존 처리구들에서 MDHAR 활성이 증가하였는데 특히 ABA  $10^{-5}M$  처리에서 오존 단독처리구보다 약 28.7% 증가하였다.

분얼기의 화명벼와 남천벼를 대상으로 오존을 30일간 처리한 후 GR의 활성을 조사한 결과는 Table 11과 같다. 화명벼의 경우 분얼기와 수잉기의 오존 15일 및 30일간 처리 후 GR 활성이 모든 오존 처리구들에서 증가하였는데 특히 ABA  $10^{-5}M$  처리에서 생육시기별 및 오존 처리일수 별로 오존 단독처리구보다도 각각 약 7.3%, 9.7%, 7.8% 및 17.8% 모두 가장 높은 활성을 나타내었다.

남천벼의 경우 분얼기 15일, 30일간 오존 처리 및 수잉기 15일간 오존 처리 후에 GR 활성이 증가하였는데, 분얼기 오존 처리들에서는 ABA  $10^{-5}M$  처리에서 오존 단독처리구보다 각각 약 5.0% 및 5.9%의 활성 증가를 보여 오존 처리구들 중에서 가장 큰 활성을 내었으나, 수잉기 15일간 오존 처리 후에는 ABA  $10^{-3}M$  처리에서 오존 단독처리구보다 약 17.7%의 활성 증가를 보여 오존 처리구들 중에서 가장 큰 활성을 나타내었다.

대부분의 식물체는 한발, 냉해, 저온 및 오존 등의 환경 스트레스에 처하게 되면 체내에서 생성되는 superoxide( $O_2^-$ )를 제거하기 위한 자기 방어기작을 가지고 있으며 이 역할을 하는 효소가 superoxide dismutase(SOD)이다. 이 SOD는 superoxide의 독성을 제거하며 과산화수소수( $H_2O_2$ )로 전환시킨다. 그러나 이 과정의 부산물인 과산화수소수는 자체적으로도 산화력을 가지는 활성산소종으로서 이 과산화수소수의 독성을 제거하는 효소들이 ascorbate peroxidase(APX)와 guaiacol peroxidase(GPX) 같은 효소들이다. 과산화수소수는 이들 peroxidases에 의해 물과 산소로 분해되어 무독화된다.

오존은 열려있는 기공을 통해 식물체 안으로 흡수되며, 식물체내로의 이입은 기공의 수와 크기 그리고 열려있는 정도에 좌우된다(Rich *et al.*, 1970). 높은 습도 하에서는 기공이 열리는 정도는 증가하고 일반적으로 식물체는 대기 오염물질에 대해 더욱 민감해진다(McLaughlin and Taylor, 1981). 식물생장 조절제인 ABA의 외부 처리는 식물체 내의 오존 피해를 줄여주는 것으로 알려져 왔는데(Adepice and Ormrod, 1972), ABA는 기공 기능의 변경을 통해 식물체 내에서 오존 저항성을 간접적으로 유발할 수 있다는 것을 제시하였다(Downton *et al.*, 1988).

Park *et al.*(1998)이 담배를 대상으로 0.3 ppm의 농도로 하루 6시간씩 7일간 오존을 처리한 실험에서는 ABA의 외부 처리로 오존의 가시적 피해를 감소시켰다고 하였으며, 신(1998)이 보리를 대상으로 0.3 ppm의 농도로 하루 6시간씩 10일간 오존을 처리한 실험에서는 ABA  $10^{-5}M$  처리가 오존의 가시적 피해를 줄여주었다고 하였는데, 본 실험에서도 ABA의 농도별 또는 품종에 따라 다른 결과를 나타내어 이 부분에 대한 세밀한 연구가 필요로 되어진다.

## 적 요

벼의 오존 처리에 따른 피해 경감 효과를 조사하기 위해 자포니카품종인 화명벼와 통일형 품종인 남천벼에 오존처리와 함께 식물생장조절제인 ABA를 농도별로 30일 동안 엽면 처리한 후 분얼기 및 수잉기에 생육, 수량 및 항산화 효소 활성의 변화를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 오존처리에 의해 화명벼 수잉기의 ABA 무처리에서 가장 낮은 초장억제를 보였고 ABA  $10^{-4}M$  처리에서 초장이 커지는 것을 볼 수 있다. 분얼기의 오존처리에 의한 분얼수의 감소는 크지 않았으나 분얼수 확보를 위해서는  $10^{-5}M$  처리가 바람직한 것으로 나타났다. 화명벼 분얼기 오존처리의 경우는 ABA  $10^{-5}M$ , 화명벼 수잉기 오존처리의 경우는  $10^{-3}M$ , 남천벼 분얼기 오존처리의 경우는 ABA  $10^{-4}M$ , 그리고 남천벼 수잉기 오존처리의 경우는 ABA  $10^{-5}M$  처리가 엽록소 함량 감소를 적게 하는 것으로 나타났다.

2. ABA  $10^{-5}M$  처리를 할 때 오존 피해에 의한 수량 감소를 최소화 하는데 유리한 것으로 판단된다.

3. 남천벼 분얼기 오존처리의 경우 모든 ABA 처리에서 SOD 활성이 증가한 것으로 나타났으며, APX는 분얼기와 수잉기 화명벼의 오존 15일간 처리에서 활성이 약간 낮아지는 것으로 나타났고, 분얼기 벼의 GPX 활성이 다른 처리구들에 비해 낮게 나타났다.

## 인용문헌

- Adedipe N. O. and D. P. Ormrod. 1972. Hormonal control of ozone phytotoxicity in *Raphanus sativus*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 68 : 254-258.
- Barnes J. D. and T. Pfirmann. 1992. The influence of  $CO_2$  and  $O_3$ , singly and in combination, on gas exchange, growth and nutrient status of radish (*Raphanus sativus* L.). *New Phytologist* 121 : 403-412.
- Cho, J. H., S. Y. Park, T. K. Son and S. C. Lee. 2001. Growth yield responses of two rice cultivars to ozone treatment under different nutrient supply. *Korean J. Crop Sci.* 46(2) : 78-83.
- Cho, J. H., S. Y. Park, T. K. Son and S. C. Lee. 2001. Response of antioxidative enzymes of two rice cultivars to ozone exposure and nutrient supply. *Korean J. Crop Sci.* 46(1) : 40-46.
- Dann M. S. and E. J. Pell. 1989. Decline of activity and quantity of ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase and net photosynthesis in ozone treated potato foliage. *Plant Physiology* 91 : 427-432.
- Downton W. J., Loveys B. R., and W. J. R. Grant. 1988. Stomatal closure fully accounts for the inhibition of photosynthesis by ascorbic acid. *New phytologist* 108:263-266.
- Heagle, A. S. 1989. Ozone and crop yield. *Ann. Rev. Phytopathol.* 27 : 397-423.
- Heagle, A. S., J. E. Miller and F. L. Booker. 1998. Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: I. Foliar properties. *Crop Sci.* 38 : 113-121.
- Heath, R. L. 1996. Lipid metabolism and oxidant air pollutants. *In* M. Yunis and M. Iqbal(ed) *Plant response to air pollution*. John Wiley

- and Sons, Chichester, England.
- Hossain, M. A. and K. Asada. 1984. Inactivation of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts on dark addition of hydrogen peroxide: Its protection by ascorbate. *Plant Cell Physiol.* 25 : 1285-1295.
- Hossain, M. A., Y. Nakano and K. Asada. 1984. Monodehydro-ascorbate reductase in spinach chloroplasts and its participation in regeneration of ascorbate for scavenging hydrogen peroxide. *Plant Cell Physiol.* 25 : 385-395.
- Kim, B. Y., J. K. Cho and Y. S. Park. 1982. Studies on the effect of ozone gas in paddy rice. *Korean J. Environ. Agric.* 1(2) : 123-128.
- McLaughlin S. B. and G. E. Taylor. 1981. Relative humidity: Important modifier of pollutant uptake by plants. *Science* 211 : 167-169.
- Nagano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22 : 867-880.
- Netting, A. G. 2000. pH, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. *Journal of Experimental Botany* 51(343) : 147-158.
- Park, K. S., J. H. Cho, J. K. Sohn and S. C. Lee. 1998. Effect of plant growth regulators on minimizing ozone injury in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Kor. J. Weed Sci.* 18(1) : 54-62.
- Pell E. J. and M. S. Dann. 1991. Multiple stress-induced foliar senescence and implications for whole-plant longevity. In H. A. Mooney, W. E. Winner and E. J. Pell(ed) Response of plants to multiple stresses, pp 189-204, Academic Press, San Diego, CA.
- Saralabai, V. C., M. Vivekanandan and R. Suresh Babu. 1997. Plant responses to high CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere. *Photosynthetica* 33(1) : 7-37.
- Schoner, S. and G. H. Krayse. 1990. Protective systems against active oxygen species in spinach : response to cold accumulation in excess light. *Plant* 180 : 383-389.
- Tanaka, K. and K. Sugahara. 1980. Role of superoxide dismutase in defense against SO<sub>2</sub> toxicity and an increase in superoxide dismutase activity with SO<sub>2</sub> fumigation. *Plant Cell Physiol.* 21 : 601-611.
- Tanaka, K., N. Kondo and K. Sugahara. 1982. Accumulation of hydrogen peroxide in chloroplasts of SO<sub>2</sub> fumigated spinach leaves. *Plant Cell Physiol.* 23 : 999-1007.
- Tanaka, K., Y. Suda, N. Kondo and K. Sugahara. 1985. O<sub>3</sub> tolerance and the ascorbate dependent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> decomposing system in chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 26 : 1425-1431.
- Walton D. C.. 1980. Biochemistry and physiology of abscisic acid. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31 : 453-489.
- Wolfenden J. and T. A. Mansfield. 1991. Physiological disturbances in plants caused by air pollutants. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 97 : 117-138.
- Yoshida, S., A. F. Douglas, H. C. James and A. G. Kwanchai. 1972. Laboratory manual for physiology studies of rice. IRRI, Philippines, pp36-41.