

오존 처리에 의한 벼 품종간 SOD, POD 활성과 기공저항성의 변화

정일민 · 김광호 · 강병화¹⁾

건국대학교 농업생명과학대학 · 고려대학교 자연자원대학¹⁾

Change of SOD, POD Activity and Stomata Resistance for Ozone on Rice (*Oryza sativa* L.)

Ill-Min Chung, Kwang-Ho Kim, Byeung-Hoa Kang¹⁾ (College of Agricultural and Life Science, Konkuk University, Seoul, Korea 143-701, ¹⁾College of Natural Resources, Korea University, Seoul, Korea 136-701)

ABSTRACT : This study was carried to select the tolerance in rice varieties for ozone treatment through comparing SOD, POD and stomata resistance. In SOD Activity, Sangnambatbyeo showed the highest activity on 1 hr after ozone treatment and after 24 hr, SOD activity was decreased. SOD activity of Hangangchalbyeo was not different in observed all times after ozone treatment. In POD activity, Hangangchalbyeo, Sangnambatbyeo and Ilpumbyeo were similar to POD activity but Baeknabyeo was the lowest activity on 1 hr after ozone treatment. Also, all varieties represented the highest activity (above 90 %) on 24 hr after ozone treatment. In stomata resistance, Sangnambatbyeo was decreased stomata resistance on 1 hr after ozone treatment. Hangangchalbyeo, Sangnambatbyeo and Baekna were decreased stomata resistance on 24 hr after ozone treatment except Ilpumbyeo.

Key words : Rice, Ozone, SOD, POD, Stomata resistance

서 론

최근 지구상의 많은 나라들에서 급속한 인구증가와 공업화로 인한 환경오염이 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 특히, 대도시에서 발생하는 오염물질의 많은 부분은 자동차와 대단위 공업단지에서 방출되어진다. 이러한 여러 가지 대기 오염물질중에서 질소화합물은 태양광의 자외선에 의하여 탄화수소와 화학반응을 통해서 독성인 오존(O₃)으로 변화한다. 대도시에서 심각한 문제로 여겨지고 있는 오존에 대한 경보는 매년 증가하는 추세이며, 특히 여름철에 집중적으로 발생되고 있다. 서울시의 오존농도는 98년 6월 0.023 ppm, 7월 0.017 ppm, 8월에는 0.018 ppm으로서 여름에 높은 농도를 나타내었다¹⁾. 이러한 오존발생은 도시의 확대와 자동차의 증가와 더불어 발생지역이 점차 확대 될 것으로 예상되어진다.

오존에 의한 식물체의 반응에 대한 연구는 식물의 종류, 생리적 상태, 생육 단계, 수분 함량등에 따라 피해 양상이 다양하고, 기후조건 등에 따라서도 그 반응이 다르다는 보고도 있다^{2,3,4,5,6,7,8)}. 식물에 오존을 폭로하면 식물의 기공을 통하여 엽육세포에 도달하게 되고 엽육세포를 파괴하여 괴사시킴으로써, 0.15 ppm에서 다갈색반점형태의 가시적 피해가 발생한다. 그리고 오존에 의한 작물 수량손실은 매우 크며, 같은 작물내 품종간, 오존의 농도, 생육 단계와 각각의 수량 구성 요소에 관여하는 정도

에 따라 수량손실에 미치는 영향이 다르다고 알려져 왔다^{2,9)}. 벼 생태형별로는 인디카형과 통일형이 자포니카형보다, 중생종이 극조생종보다 오존에 대한 내성이 강한 것으로 나타났으며^{10,11)}, 벼의 생육단계별로는 분얼최성기에서 유수형성기의 오존처리에 의해서 수량감소가 가장 큰 것으로 보고되고 있다¹²⁾.

작물종에 따라 다르지만 대기중 오존농도에 따른 식물체 반응에 대한 연구결과는 여러 학자들에 의하여 연구되어지고 있는데, 오존이 식물체내에 흡수되면 광합성 효소인 RuBP carboxylase/oxygenase의 활성과 양을 감소시키고, CO₂ 교환능력을 감소시켜 탄소동화작용을 저해하며, 잎과 줄기 및 뿌리의 발육을 저해할 뿐만 아니라 식물체의 노화를 조장한다^{12,13)}. 또한, 정단 및 상위엽에서 특정세포의 백화현상과 탈수현상이 일어난 후 기공의 폐쇄와 엽육세포가 손상되고 황화현상이 일어나 광합성능이 저하된다⁴⁾. 오존 처리시에 저항성 물질의 합성에 관련된 전구물질인 phenylalanine 함량이 증가하는 품종이 오존내성에 강한 품종이라는 보고도 있다¹⁴⁾.

오존에 의하여 체내 대사작용이 방해를 받으면 이의 회복을 위해 에너지가 필요하여 호흡률이 증가하므로 생장이 감소한다¹⁵⁾. 오존과 관련된 산화적 스트레스를 받았을때 식물체의 방어기작은 오존에 의해 생성된 활성산소 형성을 억제하는 것과 생성된 활성산소를 소거하는 방어기작이 있다¹⁶⁾. 이런 방어기작은 α -tocopherol, ascorbate, carotenoid, glutathione, phenolic compound

등의 항산화 물질에 의한 방어기작과 SOD (Superoxide dismutase), POD (Peroxidase) 등의 효소에 의한 방어기작이 있다¹⁷⁾. 이중 SOD는 활성부위에 금속이 붙어있는 metalloenzyme으로 식물체내에 생성된 superoxide anion을 산소와 과산화수소로 전환 시켜주는 효소로서, Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD 등의 3종류가 있다^{17,18)}. POD^{18,19)}는 SOD에 의해 생성된 과산화수소를 물과 산소로 전환시켜주는 효소이다. 오존에 의한 가시적 피해가 나타나기 이전에 잎의 SOD, POD활성이 증가한다는 연구보고가 있으며^{17,18,19)}, 오존내성이 강한 품종이 SOD, POD활성이 높은 것으로 보고되어 왔다^{15,16,17,18,19,20)}.

따라서 본 연구는 벼 품종의 오존처리 후 시간에 따른 SOD, POD 활성과 잎의 기공저항성의 변화의 차이를 조사하여 벼에서 내성품종을 선발하는데 기초자료로 이용코자 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

재료 및 처리내용

본 실험은 건국대학교 농업생명과학대학내의 실습포장에서 수행하였으며 공시재료로는 백나를 포함하는 4품종의 벼를 사용하였다. 1999년 5월 4일에 파종하여 5월 31일에 4~5엽의 묘를 1/5000a wagner pot에 주당 1본씩 이앙하였다. 재배시의 시비량은 $N-P_2O_5-K_2O = 11-7-8$ kg/10a 수준을 pot당 면적으로 환산하여 시용하였으며 기타 재배관리는 중부지방의 관행법을 따랐다.

이앙 후 30일 동안 생육시킨 공시품종을 $90 \times 100 \times 120$ cm의 chamber내에 넣어 무성방전방식의 오존발생기 (Ozone generation, Nippon ozone CO., LTD, Japan)를 통해 0.15ppm 농도의 오존을 30초 발생후 30분 폭로시킨 다음 다시 30초 발생후 30분간 폭로 하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 통계분석은 SAS (statistical analysis system)을 이용하여 최소유의차 (LSD)검정을 실시하였다²¹⁾.

오존처리후 1시간, 2시간, 24시간후에 기공저항성을 조사하였으며, 또한 오존처리후 1시간, 2시간, 24시간후 벼 잎을 수확하여 바로 SOD와 POD 활성 검정을 실시하였다.

SOD활성 검정

NBT (Nitro Blue Tetrazolium) 환원법²²⁾을 이용하여 SOD 활성을 검정하였다. 벼잎 2g과 효소 추출 완충용액 (pH 7.0 100mM phosphate, 5mM EDTA) 5ml를 막자사발에 넣은 후 갈아서 얻은 조추출액을 15,000 rpm으로 10분간 1회 원심분리하였다. 원심분리하여 얻은 상등액을 탈염완충용액 (pH 7.0 100mM phosphate, 0.2mM EDTA)으로 평형시킨 다음 sephadex G-25 column을 이용하여 탈염 후 효소활성 검정용액으로 사용하였다. 효소활성 검정용액[A] 60 μ l와 rivoflavin[B] 30 μ l을 pH 7.8 50mM phosphate[C] 27ml 와 0.1mM EDTA [D] 5.4 μ l로 혼합한 용액에 L-Methionine (30mg/10ml H₂O)[E] 2.5ml와 NBT- 2HCl (14.1mg

/10ml H₂O)[F] 1ml 그리고, Triton X-100(1% w/ l)[G] 0.75ml 로 만든 최종용액 ([A]+[B]+[C]+[D]+[E]+[F]+[G])을 7분동안 빛을 조사한 다음 UV-VIS spectrophotometer (UV-1201, Shimadzu, Japan)를 이용하여 측정하였다. SOD활성은 560nm에서 흡광도를 측정하여 시료무첨가시의 sample 흡광도 (B)에 대한 시료첨가시의 흡광도 (A)의 비율로서 아래식에 의하여 계산하였다.

$$\text{SOD Activity(\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A : 시료첨가시의 흡광도 B : 시료무첨가시의 흡광도

POD활성 검정

POD 활성은 Raa의 방법²³⁾에 의하여 측정하였다. Phosphate buffer (pH 6.8) 7.9ml, H₂O₂ (0.3%) 0.5ml, *o*-phenylenediamine (1%) 0.5ml와 위에서 준비한 효소검정용액[A] 0.1ml를 합하여 반응액을 9ml가 되도록 하였다. 효소검정용액을 첨가하여 5분간 반응시킨 다음 Na₂H₂SO₄ 1ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 상온에 30분간 방치한 후 UV-VIS spectrophotometer (UV-1201, Shimadzu, Japan)를 이용하여 430nm에서 흡광도를 측정하였다. POD 활성은 시료무첨가시의 sample의 흡광도 (B)에 대한 시료첨가시의 sample의 흡광도 (A)의 비율로서 아래식에 의하여 계산하였다.

$$\text{POD Activity(\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A : 시료첨가시의 흡광도 B : 시료무첨가시의 흡광도

기공 저항성 측정

기공 저항성은 이앙 후 30일 동안 생육시킨 묘를 오존 처리 1시간, 2시간, 24시간 후 완전 전개된 상위 1번째, 2번째, 3번째 잎에 대하여 기공 저항성 측정기 (AP4 Porometer, Delta-T Devices LTD)로 측정하였다.

결과 및 고찰

SOD활성 검정

오존 처리 1시간, 2시간, 24시간 후 조사한 SOD 활성을 조사한 것이 표 1이다. 오존 처리후 1시간 후의 SOD 활성 조사에서는 한강찰벼, 백나, 일품벼에서 모두 대조구에 비해서 활성이 낮게 나타난 반면에 상남발벼에서만 대조구 (13.99%)에 비해서 오존처리후의 활성 (23.75%)이 높았다. 오존 처리 2시간 후 활성에서는 상남발벼는 1시간 후의 SOD 활성 조사와 비교해 보았을 때 23.75%와 22.32%로 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나, 백나와 일품의 경우 오존 처리 1시간 후 보다 2시간 후의 활성이 증가하였지만, 한강찰벼의 경우에는 처리 1시간 (17.83%)보다 2시간 후의 활성(10.24%)이 감소하였다. 오존

Table 1. The comparison of SOD activity by time after ozone treatment on rice varieties.

Varieties	Treatment*	Times after ozone treatment			CV(%)	LSD (0.05)
		1 hr	2 hr	24 hr		
Hangangchalbyeo	TRE	17.83	10.24	11.67	29.7	7.87
	POL	4.50	10.69	3.48	30.5	3.79
	CON	24.94	9.92	7.18	54.2	15.19
	CV(%)	47.80	23.5	50.6		
	LSD(0.05)	15.07	4.84	7.53		
Sangnambatbyeo	TRE	23.75	22.32	5.47	40.9	14.04
	POL	20.44	14.59	5.98	28.8	7.87
	CON	13.99	22.51	4.69	30.5	8.36
	CV(%)	35.4	12.4	10.65		
	LSD(0.05)	13.71	4.90	10.82		
Baekna	TRE	11.46	19.34	10.33	23.0	6.30
	POL	9.26	15.86	21.83	21.6	6.76
	CON	12.75	15.30	11.35	30.9	8.12
	CV(%)	17.6	11.1	38.1		
	LSD(0.05)	3.92	3.73	11.05		
Ilpumbyeo	TRE	9.71	14.53	19.01	19.6	5.65
	POL	14.33	15.88	19.00	19.0	6.24
	CON	14.14	15.43	24.48	34.9	12.58
	CV(%)	14.0	19.1	32.5		
	LSD(0.05)	3.56	5.82	13.51		

* TRE: O₃ treatment, POL: pollution region, CON: non O₃ treatment

처리 24 시간 후 SOD 활성 조사에서는 오존처리 후 활성이 가장 높았던 상남발벼의 활성은 크게 감소하였고 (5.47%), 일품의 경우에는 처리 후 시간이 지날수록 활성이 증가하는 경향을 보였으며, 한강찰벼의 경우에는 처리 24 시간 후의 SOD 활성 (11.67%)이 처리 2시간 후와 큰 변화를 보이지 않았다.

SOD 활성은 가시적 피해가 나타나기 이전의 생육초기에 저항성 품종을 구분하는 지표라는 연구보고가 있는데¹⁸⁾, 활성 산소 중화 능력과 관련하여 SOD 활성과 대기오염물질중 오존과의 관련해서는 활성이 높을수록 오존내성품종이라는 연구보고가 있다^{16,18,19)}. 벼와 같은 화분과인 보리에서는 오존스트레스를 받으면 Cu/ZnSOD mRNA의 함량이 증가하며, 어린 잎 일수록 많이 축적된다고 하였다⁹⁾. 또한, 오존처리에 의해 SOD의 mRNA 함량이 담배 등 기타작물에서 증가하며, 엽록체의 SOD보다 cytosol의 SOD가 변성이 없다고 보고되었다²⁴⁾. 이 실험에서 상남발벼의 SOD활성이 처리 후 변화가 적은 것으로 보아 오존에 대한 내성을 가지는 품종으로 생각되어지며, 이것에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각되어진다.

Table 2. The comparison of POD activity by time after ozone treatment on rice varieties.

Varieties	Treatment*	Times after ozone treatment			CV(%)	LSD (0.05)
		1 hr	2 hr	24 hr		
Hangangchalbyeo	TRE	92.80	89.21	94.82	2.1	3.96
	POL	87.07	96.61	91.40	1.1	2.05
	CON	89.42	96.38	93.80	2.4	4.51
	CV(%)	2.5	2.0	1.33		
	LSD(0.05)	4.42	3.81	2.49		
Sangnambatbyeo	TRE	97.54	97.61	98.21	0.2	0.31
	POL	97.77	96.61	98.40	0.2	0.46
	CON	97.64	96.74	98.55	0.3	0.73
	CV(%)	0.4	0.2	0.14		
	LSD(0.05)	13.71	4.90	0.28		
Baekna	TRE	25.47	98.04	90.81	23.0	21.87
	POL	38.11	98.64	98.48	15.8	24.8
	CON	96.16	98.72	98.57	31.8	56.49
	CV(%)	1.9	0.1	8.1		
	LSD(0.05)	3.92	0.14	15.15		
Ilpumbyeo	TRE	98.20	98.25	98.25	0.3	0.68
	POL	97.87	98.05	98.23	0.6	0.95
	CON	97.82	97.49	98.40	0.8	1.61
	CV(%)	1.0	0.2	0.3		
	LSD(0.05)	1.98	0.46	0.65		

* TRE: O₃ treatment, POL: pollution region, CON: non O₃ treatment

POD활성 검정

SOD활성과 마찬가지로 POD활성도 오존을 포함하는 대기물질에 의한 환경스트레스를 받았을 때 일어나는 초기 대사반응으로 여겨지는데, POD는 SOD에 의해서 생성된 과산화수소를 물과 산소로 분해시켜서 막구성 물질의 산화를 방지하는 역할을 하는 효소로 알려져 있다. 따라서, 이 실험에서는 SOD활성과 함께 POD활성도 조사하였다.

POD활성을 오존 처리 1 시간, 2 시간 그리고 24 시간 후에 조사한 결과가 표 2이다. POD활성에서 오존 처리 1 시간 후의 한강찰벼, 상남발벼, 일품벼는 각각 92.80%, 97.54%, 98.20%를 나타내어 서로 비슷한 POD활성을 나타내었지만, 백나는 25.47%의 POD활성을 나타내어 다른 품종들과 비교해보았을 때 POD활성이 매우 낮았다. 오존 처리 2 시간 후에서의 POD활성은 한강찰벼에서는 오존 처리 후 1 시간 후와 비교해보았을 때 약간 감소하는 경향을 나타내었고 (89.21%), 상남발벼와 일품에서는 변화가 거의 없었다. 그러나, 백나의 POD활성은 98.04%를 나타내어 오존 처리 1 시간 후의 POD활성과 비교해 보았을 때 활성

Table 3. The comparison of stomata resistance in leaf position by time after ozone treatment on rice varieties.

Varieties	Treatment	Leaf position *	Times after ozone treatment			CV (%)	LSD (0.05)
			1 hr	2 hr	24 hr		
			-----($s\ cm^{-1}$)-----				
Hangangchalbyeo	TRE	L1	8.36	9.83	3.06	52.7	7.46
		L2	7.58	10.36	3.42	38.2	5.44
		L3	8.83	10.15	2.78	51.6	7.47
	POL	L1	3.45	5.30	3.18	14.2	1.13
		L2	2.67	4.83	3.39	19.1	1.33
		L3	4.63	3.85	3.48	10.2	0.81
	CON	L1	3.96	10.79	5.31	36.3	4.84
		L2	5.65	10.82	4.51	54.2	7.57
		L3	9.30	10.74	3.85	46.2	7.35
Sangnambatbyeo	TRE	L1	1.67	4.06	3.33	12.5	0.75
		L2	2.13	4.18	2.93	37.9	2.33
		L3	2.59	5.65	3.16	19.1	1.45
	POL	L1	4.45	6.53	3.48	9.1	0.88
		L2	3.00	6.03	3.97	10.0	0.86
		L3	2.72	5.97	12.20	14.3	1.99
	CON	L1	2.96	2.56	2.59	21.28	25.23
		L2	2.78	2.59	2.78	23.55	25.23
		L3	3.93	2.59	3.93	25.23	1.66
Baekna	TRE	L1	18.80	6.23	2.87	40.8	18.8
		L2	19.06	4.96	5.93	13.2	6.23
		L3	17.94	4.61	2.93	24.8	2.87
	POL	L1	2.95	5.19	8.53	15.5	1.72
		L2	2.53	5.00	11.1	1.7	0.21
		L3	2.54	4.82	5.33	17.6	1.49
	CON	L1	2.18	2.90	3.83	12.9	0.76
		L2	2.67	2.98	3.93	16.2	1.03
		L3	2.21	3.78	3.19	13.2	0.81
Ipumbyeo	TRE	L1	12.93	7.34	10.53	30.1	6.18
		L2	11.49	10.77	11.03	29.6	6.57
		L3	12.60	8.31	12.20	31.9	7.24
	POL	L1	5.74	8.27	6.89	6.8	0.95
		L2	6.41	8.33	8.52	6.1	0.94
		L3	7.18	8.43	8.49	6.8	1.09
	CON	L1	5.65	9.87	2.73	25.5	3.09
		L2	7.69	9.66	2.90	18.3	2.47
		L3	6.47	9.83	2.87	29.7	3.80

*L1: developed 1st leaf position above top, L2: developed 2nd leaf position above top, L3: developed 3rd leaf position above top

이 크게 증가하는 경향을 보였다. 오존 처리 24 시간 후의 POD 활성은 조사된 품종 모두에서 활성이 90 % 이상을 나타내었다.

SOD, POD 활성이 높은 것이 오존내성이 강한 품종이라는 보고^{15,16,17,18,19)}와 비교할 때 상남발벼와 일품벼가 오존에 대한 내성을 가지고 있는 것으로 생각되어지며, 앞으로 이에 대한 세부적인 생리적 연구가 더욱 더 필요할 것으로 생각되어진다.

기공 저항성 측정

표 3은 오존 처리 후 잎의 기공 저항성을 측정된 결과이며, 기공 저항성은 이앙 후 30일 동안 생육시킨 묘에서 완전히 전개된 상위 1 번째 (L1), 2 번째 (L2), 3 번째 (L3) 잎을 측정하였다. 오존 처리 1 시간 후의 상위 1 번째 잎의 기공 저항성은, 한강찰벼, 백나, 일품벼의 경우 대조구에 비하여 기공 저항성이 증가하였지만, 상남발벼의 경우는 대조구 ($2.96\ s\ cm^{-1}$)와 비교하였을 때 오존 처리 후 감소하는 경향 ($1.67\ s\ cm^{-1}$) 나타내고 있었다. 상위 2 번째 잎에서도 1 번째 잎과 같은 경향이 나타났다. 상위 3 번째 잎에서는 한강찰벼와 상남발벼의 오존 처리 후 기공 저항성은 각각 $8.83\ s\ cm^{-1}$ 와 $2.59\ s\ cm^{-1}$ 로 대조구에 비하여 작아졌지만 백나와 일품의 경우에는 대조구에 비하여 높았다. 오존 처리 2 시간 후의 기공 저항성에서 상남발벼의 경우 오존 처리 1 시간 후와 비교했을 때 조사 잎 모두에서 기공 저항성이 증가하였지만, 다른 세 품종과 비교하였을 때 조사 잎 모두에서 가장 낮은 기공 저항성을 나타냈으며, 한강찰벼와 일품의 경우도 역시 기공 저항성이 증가하는 경향을 나타냈으나, 백나의 경우에는 조사 잎 모두에서 처리 2시간 후의 기공 저항성이 낮아지는 경향을 나타내었다. 오존 처리 24 시간 후의 기공 저항성은 한강찰벼, 상남발벼, 백나의 조사 잎 모두에서 $2.78 \sim 5.93\ s\ cm^{-1}$ 의 범위를 보였고, 오존 처리 후의 시간이 지날수록 기공 저항성은 감소하는 경향을 나타냈으나, 일품에서는 상위 1, 2, 3 번째 잎의 기공 저항성이 각각 $10.53\ s\ cm^{-1}$, $11.03\ s\ cm^{-1}$, $12.20\ s\ cm^{-1}$ 로 다른 세 품종에 비하여 높았으며 대조구와 비교하여도 매우 높은 경향을 나타냈으며 오존 처리 1 시간 후와의 기공 저항성을 비교해보았을 거의 변화가 없었다. 정단 및 상위엽에서 특정세포의 백화현상과 탈수현상이 일어난 후 기공의 폐쇄와 엽육세포가 손상되고 황화현상이 일어나 광합성능이 저하된다는 보고⁴⁾와 비교할 때 상남발벼의 경우에는 기공저항성이 크게 변화하지 않아 오존 처리시에 기공 폐쇄가 적은 것으로 생각되어졌다.

요 약

오존(O_3) 처리후 벼 품종의 SOD(Superoxide Dismutase)와 POD(Peroxidase)활성, 기공 저항성의 반응의 차이를 조사하여 내성품종 선별의 기초 자료로 이용하고자 실험을 실시 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. SOD활성 조사에서 오존 처리 1시간 후 상남발벼는 활성이 높아졌고, 백나와 일품벼의 경우 오존 처리 1 시간 후 보다 2 시간 후 활성이 증가하였다. 오존 처리 24시간 후에는 상남발벼

- 의 활성이 크게 감소하였고, 잎품벼는 활성이 증가하는 경향을 보였으며, 한강찰벼는 큰 변화를 보이지 않았다.
2. POD활성 조사에서 오존 처리 1 시간 후에는 한강찰벼, 상남발벼, 잎품벼등이 서로 비슷한 POD활성을 나타내었지만, 백나는 활성이 매우 낮았고 시간이 지날수록 POD활성은 증가하였다. 오존 처리 24 시간 후의 POD활성은 조사된 품종 모두에서 활성이 90 %이상을 나타냈다.
 3. 기공 저항성 조사에서 오존 처리 1 시간 후에는 상남발벼의 경우 기공 저항성이 감소하는 경향 나타났다. 오존 처리 24 시간 후의 기공 저항성은 한강찰벼, 상남발벼, 백나에서 조사 앞 모두 기공 저항성이 감소하였지만, 잎품벼에서는 오존 처리 1 시간 후와 비슷한 높은 기공 저항성을 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 교육부 학술연구조성비(1998-024-G00068)에 의해 연구수행된 논문임.

참고 문헌

1. The Ministry of Environment. Environmental statistics yearbook Vol. 12. (1999). p:185.
2. Heagle A.S., Body, D.E. and Pounds, E.K. (1972). Effect of ozone on yields of sweet corn. *Phytopathology* 62:683-687.
3. Heagle A.S., Miller, J.E., Rawlings, J.O. and Vozzo, S.F. (1991). Effect of growth stage on soybean response to chronic ozone exposure. *J. Environ. Qual.*, 20:562-570.
4. Hur, J.S., Hur, Y.K. and Lee, C.I. (1995). Evaluation of SO₂ or O₃ exposures durations requiring foliar damage development by using bioindicating plants. *K. J. Plant Pathol.*, 11(2):89-115.
5. Irwin P. Ting. (1989). Response of plants to air pollutant oxidants. pp:89-121.
6. Lee, W.S. (1994). Response of plants to air pollutant oxidants. pp:61-74.
7. Luwe M.W.F. Takahama, U. and Heber, U. (1993). Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spanish(*Spinacia oleracea* L.) leaves. *Plant physiol.*, 101:969-976.
8. Matsuoka Y., Takasaki, T., Morikawa, M., Matsumara, T. and Shiratory. K. (1976). Studies on the visible injury to rice plants caused by photochemical oxidants I. Identification of the leaf injury caused by photochemical oxidants. *Jpn of Crop Sci.*, 45(1):124-130.
9. Heagle, A.S., Miller, J.E. and Pursley, W.A. (1998). Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: III. Yield and seed quality. *Crop Sci.*, 38:128-134.
10. Jeong Y.H., Nakamura, H. and Ota, Y. (1981). Physiological studies on photochemical oxidant injury in rice plants II. Effect of abscisic acid(ABA) on ozone injury and ethylene production in rice plants. *Jpn of Crop Sci.* 50(4):560-565.
11. Kim, K.H., Lee, W.W., Park, W.C. and Choi, Y.J. (1994). Effect of ozone exposure dose and time on growth of rice seedling. *KGARR.* 7:23-33.
12. Sohn, J.K. and Lee, S.C.(1997). Varietal difference of resistance to ozone injury in plant. *K. of Crop Sci.*, 42(3):338-343.
13. Miller J.E., W.A. Pursley, S.F. Vozzo and A.S. Heagle. 1991. Response of net carbon exchange rate of soybean to ozone at different stages of growth and its relation to yield. *J. Environ. Qual.*, 20:571-575.
14. Chung, I.M., Kim, K.H., Song, D.K. and Kang, B.H. (1999). Physiological response of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to ozone. *K. J. Environ. Agric.*, 18(1):11-17.
15. Jffrey S. Amthor. (1989). Respiration and Crop productivity. Springer-Verlag pp:148-152.
16. Sharma Y.K. and Davis, K.R. (1994). Ozone-induced expression of stress-related genes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant physiol.*, 105:1089-1096.
17. Shannon J.G. and C.L. Mulchi. 1974. Ozone damage to wheat varieties at anthesis. *Crop Sci.*, 14:335-337.
18. Kim, M.H and Lee, S.W. (1992). Resistance functions of woody landscape plants to air pollutants(I)-SOD activity. *J. K. For. Soc.* 81(2):164-176.
19. Kim, M.H and Lee, S.W. (1992). Resistance functions of woody landscape plants to air pollutants(I)-POD activity. *J. K. For. Soc.* 81(3):234-246.
20. Willekens H. C, W.V. Montagu, M.V. Inze, D. Langebartels, C. and Sandermann, H. Jr. (1994). Ozone, sulfur, and ultraviolet B have similar effects on mRNA accumulation of antioxidant genes in *Nicotianaplumbaginifolia* L. *Plant physiol.*, 106:1007-1014.
21. SAS Institute. (1985). SAS User's Guide: Basics. 5th ed. SAS Institute. Cary, NC.
22. Beyer, W.F. and Fridovich, Jr.I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some alge consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem.*, 161:559-566.
23. Raa, J. (1971). Indole-3-acetic acid levels and the role of indole-3-acetic acid oxidase in normal root and club-root of cabbage. *Plant physiol.*, 25:130-134.

24. Casano L.M., Martin, M. and Sabater, B. (1994). Sensitivity of superoxide dismutase transcript level and activities to oxidative stress is lower in mature-senescent than in young barley leaves. *Plant physiol.*, 106:1033-1039.