

벼 품종의 오존에 대한 생리적 반응

정일민 · 김광호 · 송동규 · 강병화¹⁾
건국대학교 농업생명과학대학, 고려대학교 자연자원대학¹⁾

Physiological Responses of Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties to Ozone

Ill-Min Chung · Kwang-Ho Kim · Dong-Kyu Song · 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 experiment was conducted to select and utilize the tolerant rice varieties for ozone stress through comparing the physiological responses. In SOD activity, Backunchalbyeo which treated once by 0.15 ppm O₃, Ilpumbyeo and Inbujinado treated twice showed significantly different SOD activity compared with non-O₃ treatment. No significant difference of SOD activity in three-times O₃ treated Sangnambatbyeo and Hangangchalbyeo was found as compared to (non-O₃ treated) control. POD activity, when Sangnammbatbyeo, Hangngchalbyeo, Ilpumbyeo and Inbujinado were sequently treated by third ozone, showed no significant difference between O₃ treatment and non-O₃. In the comparison of amino acid content in rice leaf blade between three times O₃ treatment and non-O₃ treatment in 3 varieties, phenylalanine content represent as increased quantities. Especially, in three times O₃ treatment of Sangnambatbyeo, phenylalanine content(0.66 mg/g) was significantly increased as compared with non-O₃. Visual-growing characters of Sangnambatbyeo were significantly different between O₃ treatment and non-treatment. However, grain-filling rate showed no difference. SOD and POD related to resistant mechanism were high activity. In addition, phenylalanine known as precursor which is synthesized resistant materials was increased by O₃ treatment. These results suggested that Sangnambatbyeo which increased SOD and POD activity, and phenylalanine content under ozone stress could be selected as a tolerant variety.

Key words : Rice, Ozone, SOD(Supperoxide dismutase), POD(peroxidase), Amino acids

서 론

여러 가지 대기오염물질 중 자동차 및 공단의 배출가스인 질소화합물은 광화학 반응에 의해 독성인 오존으로 변화한다. 특히, 6~8월 고온기의 우리나라 대도시 및 외곽지역의 오존농도는 매년 증가하는 추세이므로 공단주변지역이나 교통량이 많은 도로 주변의 여름 농작물생육에 피해가 심할 것으로 예상된다. 정부의 지속적인 대기환경개선 노력으로 SO₂ 농도 수준은 계속적으로 감소하는 추세이지만, O₃ 생성에 관여하는 이산화질소는 자동차의 급격한 증가에 따라 계속적으로 문제가 될 것이다. 또한 이에 대한 대비책 및 탈질장치 부족으로 다른 대기오염물질에 비해 오존피해는 날로 심각해질 것으로 예상될 뿐만 아니라 다른 대기오염물질보다 오존에 의한 작물 수량손실은 매우 크며, 작물종류와 같은 작물내 품종간, 오존의 농도, 생육단계 그리고 각각의 수량구성 요소 관여하는 정도에 따라

수량손실에 미치는 영향이 다르다고 알려져 왔다.^{1,2)}

대기중 오존농도에 따른 식물체 반응에 대한 연구결과는 식물종류, 식물체내의 생리적 상태, 생육단계, 수분함량 등에 따라 피해양상이 다양하며, 기온, 상대습도, 일사량 등의 기후조건에 따른 피해양상도 다양한 것으로 보고되고 있다.^{3,4,5,6,7,8,9)}

벼의 오존반응 양상은 0.15 ppm의 오존에 의해 다갈색 반점형태로 하위엽에서 가시적 피해가 나타나고⁹⁾, 0.09ppm의 저농도에서도 RuBP carboxylase 활성도와 초장, 건물중 등이 감소하며¹⁰⁾, 수량구성요소들의 손실을 초래한다. 벼 생태형별로는 인디카형과 통일형이 자포니카형보다, 중생종이 극조생보다 오존내성이 강한 것으로 나타났다^{11,12)}. 또 벼의 생육단계별로는 분얼취성기~유수형성기의 오존치리에 의한 수량감소가 가장 큰 것으로 보고¹³⁾ 된 바 있다.

오존피해는 식물체의 해독대사 능력을 넘어섰을때 나타나는 잎의 고사나 괴저병반과 색의 변화 및 형태적 기형

등의 가시적 피해와 가시피해증상은 나타나지 않으나 생리적으로 피해를 받아 생육이 부진하거나 생산량이 감소되는 불가시적 피해로 구분한다⁵⁶⁾. 또한 오존이 직접적으로 식물체에 피해를 주는 직접 피해와 산성비와 반응한 오존이 잎의 무기영양소 즉, 기공개폐과 관련된 Ca^{2+} 이나 엽록소 구성물질인 Mg^{2+} 을 씻어내어 무기영양소의 결핍을 초래하여, 광합성과 생장을 감소시키는 간접피해로 구분한다⁶²⁾. 이외에도 피해 진전속도에 따라 급성피해와 만성피해로 구분하기도 한다⁶⁾.

오존에 의한 식물체내의 변화양상은 오존이 세포수용액에 용해되어 높은 산화력을 갖는 hydroxyl free radical, superoxide anion, hydrogen peroxide 등의 활성산소로 전환되는데, 이들 활성산소들은 가시적 피해 이전에 지질과 막단백질을 산화시켜 효소의 촉매작용을 간섭하거나 단백질을 변형시킨다⁶¹⁾. 또한 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)에서는 0.3ppm의 높은 오존농도에서 잎의 총아미노산 함량 및 탄수화물과 당 함량이 감소하는 것으로 나타났고, 0.3ppm의 오존처리에서 isoleucine 함량이 증가하였고, 0.15ppm의 낮은 오존농도에서는 arginine과 1-methylhistidine 함량과 유리아미노산의 함량이 증가한다⁶⁾고 하였다.

오존에 의하여 체내 대사작용이 방해받을 수 있다면 이의 회복을 위해 에너지가 필요하여 호흡률이 증가하므로 생장이 감소한다⁷⁾. 오존과 관련된 산화적 스트레스를 받았을 때의 식물체 방어기작은 오존에 의해 생성된 활성산소 형성을 억제하는 것과 생성된 활성산소를 소거하는 기작¹⁹⁾이 있다. 이런 방어기작은 α -tocopherol, phenolic compound, ascorbate, carotenoid, glutathione 등의 항산화 물질에 의한 방어기작과 SOD(Superoxide dismutase), POD(Peroxidase) 등의 효소에 의한 방어기작이 있다¹⁹⁾. 이중 활성부위에 금속이 붙어있는 metalloenzyme인 SOD는 식물체내에 생성된 superoxide anion(O_2^-)을 산소와 과산화수소(H_2O_2)로 전환 시켜주는 효소로서, Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD 등의 3종류가 있으며 POD는 SOD에 의해 생성된 과산화수소를 물과 산소로 전환시켜주는 효소이다^{19,21)}. 오존에 의한 가시적 피해가 나타나기 이전에 잎의 SOD와 POD활성이 증가하며, 오존내성이 강한 품종이 SOD와 POD활성이 높은 것으로 보고되어 왔다.^{18,19,20,21,22)}

따라서, 본 연구는 벼품종의 오존처리에 대한 생리반응 차이를 조사하여 오존 내성품종을 선발하는데 기초자료로 활용코자 실시하였다.

재료 및 방법

재료 및 처리내용

본 실험은 건국대학교 농업생명과학대학내의 실습포장에

서 수행하였으며 공시재료로는 백운찰벼, 한강찰벼, 일품벼, 인부지나도, IR3941-4-28, 상남밭벼, 들피를 사용하였다. 1997년 5월 4일에 파종하여 6월 1일에 4~5엽기의 벼를 1/5000a wagner pot에 주당 1본씩 5주를 이앙 하였다. 재배시의 시비량은 11-7-8 kg/10a ($N-P_2O_5-K_2O$) 수준을 pot당 면적으로 환산하여 시용하였으며 기타 재배관리는 중부지방의 관행법을 따랐다.

이앙후 23일동안 생육시킨 공시품종을 $90 \times 100 \times 120$ cm의 plastic chamber내에 넣어 무성방전방식의 오존발생기(일본오존 주식회사, 0-1-2형식)를 통해 0.15ppm 농도의 오존을 30초 발생후 30분동안 공시품종을 접촉시킨 다음 다시 30초 발생후 30분간 접촉하였다. 오존처리시기는 한번 처리는 6월 23일, 두번 처리는 6월 23일과 7월 7일, 세번 처리는 6월 23일, 7월 7일 그리고 7월 21일에 처리하였다. 시험구배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 통계분석은 SAS (statistical analysis system)을 이용하여 최소유의차(LSD)를 검정하였다²³⁾.

조사항목 및 방법

오존처리 1주일 경과후 엽신을 수확, 즉시 동결건조후 오존처리에 따른 SOD와 POD 활성검정, 구성 아미노산의 함량등 생리반응을 조사하였다.

SOD활성도 분석

NBT(Nitro Blue Tetrazolium) 환원법²⁴⁾을 이용하여 SOD 활성도를 분석하였다. 마쇄된 벼 잎 0.2g과 효소 추출 완충용액(pH 7.0 100 mM phosphate, 5 mM EDTA) 5ml를 막자사발에 넣은 후 갈아서 얻은 조추출액을 15,000 rpm으로 10분간 1회 원심분리 하였다. 원심분리하여 얻은 상등액을 탈염완충용액(pH 7.0 100 mM phosphate, 0.2 mM EDTA)으로 평형시킨 다음 sephadex G-25 column을 이용하여 탈염 후 효소활성 검정용액으로 사용하였다. 효소활성 검정용액[A] 60 μ l와 riboflavin 30 μ l[B]을 pH 7.8 50mM phosphate[C] 27 μ l와 0.1mM EDTA [D] 5.4 μ l로 혼합한 용액에 L-Methionine(30mg/10ml H_2O)[E] 2.5 μ l와 NBT-2HCl(14.1mg/10ml H_2O)[F] 1 μ l 그리고, Triton X-100(1% w/v)[G] 0.75 μ l로 만든 혼합용액([C]+[D]+[E]+[F]+[G]) 3ml에 넣어 최종용액([A]+[B]+[C]+[D]+[E]+[F]+[G])을 7분동안 빛을 조사한 다음 UV-VIS spectrophotometer (UV-1201, Shimadzu, Japan)를 이용하였다. SOD활성은 560nm에서 흡광도를 측정하여 시료 무첨가시의 sample 흡광도(B)에 대한 시료첨가시의 흡광도(A)의 비율로서 아래식에 의하여 계산하였다

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

POD활성 검정

POD 활성은 Raa²⁵⁾의 방법에 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. 효소검정용액 첨가로 5분간 반응시킨 다음 Na₂H₂SO₃ 1ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 상온에 30분간 방치한 후 UV-VIS spectrophotometer(UV-1201, Shimadzu, Japan)를 이용하여 430nm에서 흡광도를 측정하였다. POD활성은 시료무첨가시의 sample의 흡광도(B)에 대한 시료첨가시의 sample의 흡광도(A)의 비율로서 아래식에 의하여 계산하였다.

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

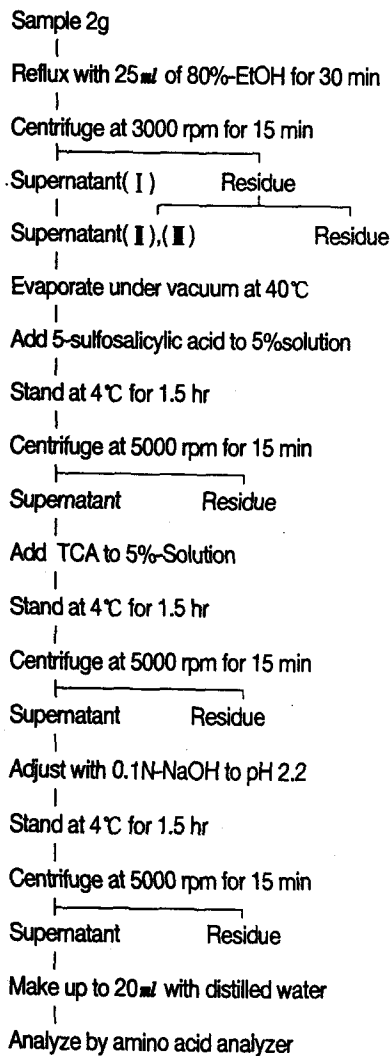


Fig. 1. Analytical process of amino acid

Table 1. Analytical condition of automatic amino acid analyzer

Instrument : HITACHI model 835 High Speed Amino Acid Analyzer
Column size : 2.6mm ID x 150mm
Packing materials : IPH-1
Column Tem. : 53°C
Column pressure : 80-130kg/cm ²
Reaction time : 60±1min.
Reaction Tem. : 100°C
Buffer flow rate : 0.225ml/min.
Injection sample quantity : 50μl

구성 아미노산 함량의 변화 조사

건조 마쇄된 시료 2g을 정확히 평량하여 아래와 같은 방법(그림 1)에 준하여 추출, 농축 그리고 재단백 처리를 거쳐 얻은 용액을 pH 2.2로 조절하여 검액으로 사용하였다.

구성 아미노산 함량분석은 표1과 같은 조건에서 아미노산 자동분석기(Automatic Amino acid Analyzer)로 분석하였다.

결과 및 고찰

SOD활성 검정

오존처리후의 벼의 내부적인 생리 반응정도를 비교하고자 SOD 활성, POD 활성 및 아미노산 함량을 조사하였다. 표 2는 오존처리횟수에 따른 품종별 오존처리구와 무처리구간의 SOD 활성을 비교한 것이다. 한번 처리에서는 백운찰벼가 무처리구보다 오존처리구의 SOD 활성이 더 크게 나타났고, 두번 처리에서는 일품벼와 인부지나도의 SOD 활성이 감소하였다. 세번 처리에서는 한강찰벼와 상남발벼를 제외한 모든 품종에서 SOD 활성이 감소하는 것으로 나타났다. 한강찰벼와 상남발벼에서는 무처리구와 비교하였을 때 각각의 오존처리구 모두에서 SOD 활성차이가 나타나지 않았다.

그림 2는 오존처리에 의한 SOD 활성 변화양상을 비교하고자 무처리구와 오존처리구의 차이를 나타낸 것으로 본 실험에서는 상남발벼의 각 오존처리구와 무처리구의 SOD 활성은 다른 품종에 비해 처리간 변이폭이 작으면서 오존처리구에서 무처리구에 비해 활성이 높게 나타났다. 이러한 연구결과는 오존처리에 의한 SOD의 활성산소 중화능력으로 SOD 활성도가 높을수록 오존내성이라는 보고^{18,20,22)}와 일치되는 것으로 담배, 수목류등에도 오존처리에 의해 SOD의 mRNA 함량이 증가하며, 엽록체의 SOD보다 cytosol의 SOD가 변성이 적다고 하였으며²⁰⁾, 보리에서는 오존스트레스에 의해 Cu/Zn-SOD mRNA의 함량이 증가하고, 어린 잎에서 더욱 많이 축적되며²¹⁾ 특히 SOD활성은 가시적 피해가 나타나기 이전의 생육초기에 저항성 품종을 구분하는 지표라는 연구보고²⁰⁾가 있어 벼의 생육특성상 오존피해가 심할 것으로 예상되는 세번 처리에서의 SOD 활성을 비교함이 내성품종 선발에 더 효율적일 것으로 판단

Table 2. Effect of ozone treatment on SOD activity of rice varieties

Varieties	Treat	SOD activity (%)		
		Once	Twice	Three-times
Baekunchalbyeo	O ₃	13.60a*	1.00a	10.96b
	non-O ₃	10.94b	1.00a	16.30a
Hangangchalbyeo	O ₃	16.18a	37.85a	15.34a
	non-O ₃	24.80a	20.30a	15.09a
Ilpumbyeo	O ₃	23.59a	3.23b	6.76b
	non-O ₃	20.62a	14.77a	9.85a
Inbujinado	O ₃	14.38a	1.00b	13.25b
	non-O ₃	6.88a	2.46a	17.52a
IR3941-4-28	O ₃	31.10a	2.50a	13.83b
	non-O ₃	47.04a	4.00a	16.83a
Sangnambatbyeo	O ₃	24.07a	2.00a	24.10a
	non-O ₃	17.66a	1.50a	24.08a
Formosens	O ₃	9.16a	11.03a	10.59a
	non-O ₃	6.37a	4.56a	10.58a

*Means within each column response grouping followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level LSD

Table 3. Effect of ozone treatment on POD activity of rice varieties

Varieties	Treat	POD activity (%)		
		Once	Twice	Three-times
Baekunchalbyeo	O ₃	70.77*	38.17a	80.44a
	non-O ₃	23.51a	28.05a	74.71b
Hangangchalbyeo	O ₃	49.83a	38.61a	79.45a
	non-O ₃	37.77a	56.76a	66.90a
Ilpumbyeo	O ₃	40.70a	83.84b	87.14a
	non-O ₃	23.60a	72.56a	90.60a
Inbujinado	O ₃	41.17a	18.31b	81.78a
	non-O ₃	26.97a	71.95a	88.67a
IR3941-4-28	O ₃	53.10a	37.15a	62.73a
	non-O ₃	59.03a	30.92a	37.39b
Sangnambatbyeo	O ₃	54.02a	26.95a	82.69a
	non-O ₃	52.94a	12.92a	82.07a
Formosens	O ₃	30.96a	23.24a	68.78a
	non-O ₃	49.77a	4.28a	36.47a

*Means within each column response grouping followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level LSD

된다. 따라서 오존을 세번 처리했을 때에도 SOD 활성이 감소하지 않은(표 2와 그림 2) 상남밭벼와 한강찰벼가 오존내성을 가진 품종으로 판단되나 좀 더 광범위한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

POD 활성

오존처리횟수에 따른 공시품종별 오존처리구와 무처리구 간의 POD 활성을 비교한 것은 표 3이다. 한번 처리했을 때에는 무처리구와 오존처리구간 벼 6품종과 들피에서 POD 활성차이는 나타나지 않았고 두번 처리했을 경우에도 인부지나도를 제외한 품종에서 POD 활성차이를 보이지 않

았고 세번 처리했을 때에는 오존처리구에서 POD 활성은 일품벼, 상남밭벼, 인부지나도, 백운찰벼 순으로 높게 나타났으나 백운찰벼와 IR3941을 제외한 벼 품종에서 오존처리구와 무처리구간 POD 활성차이가 나타나지 않았다.

그림 3은 오존처리에 의한 POD 활성 변화양상을 비교하고자 무처리구와 오존처리구의 차이를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 오존을 세번 처리한 경우가 POD 활성을 이용한 오존내성 품종을 선발하는데 더 확실한 시기로 생각되어지며, 일품벼, 인부지나도 및 상남밭벼는 세번 오존처리했을 때의 POD 활성이 높으면서 변이폭이 적은 것으로 나타나(표 3과 그림 3) 오존내성이 강한 품종으로 생각되며,

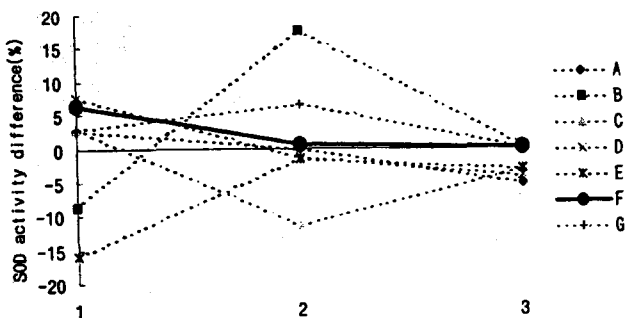


Fig 2. SOD activity difference between O₃ and non-O₃ treatment in rice varieties.

- A : Baekunchalbyeo, B : Hangangchalbyeo,
- C : Ilpumbyeo, D : Inbujinado,
- E : IR3941-4-28, F : Sangnambatbyeo,
- G : Formosens

Note: POD activity difference = POD activity treated by O₃ - POD activity in non-O₃

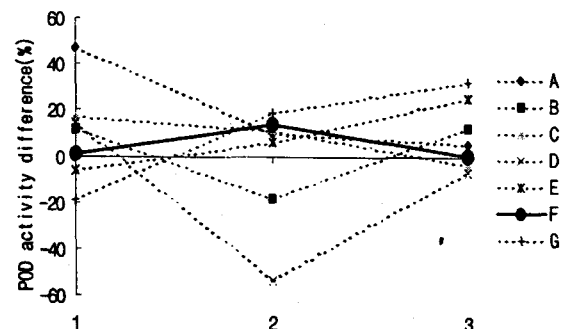


Fig 3. POD activity difference between O₃ and non-O₃ treatment in rice varieties.

- A : Baekunchalbyeo, B : Hangangchalbyeo,
- C : Ilpumbyeo, D : Inbujinado,
- E : IR3941-4-28, F : Sangnambatbyeo,
- G : Formosens

Note: POD activity difference = POD activity treated by O₃ - POD activity in non-O₃

Table 4. The comparison of amino acid content in leaf blade between three-times O₃ and non-O₃ treatment in Sangnambatbyeo

Amino acids	Amino acid content (mg/g)			Amino acids	Amino acid content (mg/g)		
	O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)		O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)
ALA	16.726	19.090	10.44	LYS	6.985	10.772	15.15
ASP	17.972	17.515	3.053	PHE	6.606	5.682	0.370
GLU	16.242	18.766	6.808	PRO	10.273	11.640	5.107
GLY	14.202	16.834	2.696	SER	8.327	8.990	1.367
HIS	24.78	5.842	13.18	THR	6.613	6.444	4.386
ISO	4.322	5.459	0.889	TYR	65.046	4.726	4.806
LEU	9.130	12.189	3.383	VAL	7.516	8.923	1.761

이것은 POD 활성은 가시적 피해가 발생하기 이전에는 활성이 높은 품종에서, 가시적 피해가 발생한 경우에는 무처리구와 비교해 POD 활성차이가 나지 않는 품종, 즉 변이 폭이 적은 품종이 오존에 대한 내성품종이라는 연구보고²¹⁾와 일치하는 결과를 보였다. POD 활성도 SOD 활성과 마찬가지로 환경스트레스에 대한 초기 대사반응으로 여겨지는데, SOD에 의해 생성된 과산화수소를 물과 산소로 분해시켜줌으로서 막구성물질은 산화를 방지하는 역할을 하는 것으로 효소로 알려져 있어 오염 내성작물을 선발 할 경우 SOD와 POD활성을 동시에 검정할 필요가 있는 것으로 생각된다.

구성 아미노산 함량 비교

표 4는 세번 처리한 상남밭벼에서 오존처리구와 무처리구간 잎에 함유된 14종의 아미노산 함량을 비교한 것이다. 아미노산 함량변화는 isoleucine, phenylalanine, tyrosine을 제외하고 처리간에 차이가 인정되지 않았다. 이러한 결과는 Scots pine(*Pinus sylvestris* L.)에서는 0.3ppm의 오존처리에서 isoleucine 함량이 증가하였고, 0.15ppm의 낮은 오존농도에서는 arginine과 1-methylhistidine 함량이 증가하고 proline의 함량과 유리아미노산의 함량이 감소하고, 0.1과 0.3ppm에서는 glutamic acid함량이 감소 한다¹⁶⁾고 하였다. 목화에서는 저농도의 오존에서는 alanine, histidine 등의 아미노산 함량이 증가하는 것으로, 그리고 피해엽에서 단백질 가수분해로 인한 유리아미노산 함량이 증가한다는 보고⁶⁾가 있어 특히 phenolic acids와 같은 저항성물질의 함

성에 관련되는 전구물질인 phenylalanine과 tyrosine의 함량이 오존처리구에서 증대되는것으로 보아 상남밭벼는 오존 내성이 강한 품종으로 생각된다.

표 5는 백운밭벼에 오존을 3회 처리구와 무처리구의 아미노산 함량을 비교한 것이다. Alanine 함량은 무처리구에서는 17.101mg/g, 오존처리구에서는 16.379mg/g로 감소하는 하였으며, 그 외의 아미노산 함량은 처리구와 무처리구간에 차이가 나타나지 않았다. 이는 Scots pine에서는 alanine의 함량이 오존처리에 의해 증가한다는 보고¹⁶⁾와 달리 본 실험에서는 감소하는 경향을 보여 식물종간 오존처리에 대한 반응에서 서로 다른 양상을 보였다. 그리고, isoleucine과 hisidine 함량은 통계적 차이는 보이지 않았지만 수치상으로 감소하는 것으로 나타났는데 이는 벼 외 다른 종류의 작물에서는 오존처리에 의해 아미노산 함량이 증가했다는 보고^{6,16)}와는 다르게 나타났다. 한편, Scots pine에서 glutamic acid와 proline 함량은 감소하는 것으로 나타나 비슷한 양상을 보였고, phenylalanine 함량은 오존처리구와 무처리구간 통계적인 유의차는 인정되지 않았으나 증가한다고하는 보고¹⁶⁾와는 일치하는 경향을 보였다. 이런결과를 종합하여 보면 오존처리에 대한 식물의 반응은 식물종간, 아미노산 종류에 따라 서로 다른 양상을 보이는 것으로 생각된다.

표6은 IR3941-4-28의 오존 3회 처리구와 무처리구간의 아미노산 함량을 비교한 것이다. Histidine의 함량은 무처리구 4.052mg/g에 비하여 오존처리구 2.297mg/g로 감소하는

Table 5. The comparison of amino acid content in leaf blade between three-times O₃ and non-O₃ treatment in Sangnambatbyeo

Amino acids	Amino acid content (mg/g)			Amino acids	Amino acid content (mg/g)		
	O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)		O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)
ALA	16.379	17.101	0.216	LYS	6.884	4.397	0.580
ASP	16.409	9.430	33.796	PHE	5.218	3.507	9.107
GLU	18.972	22.954	6.751	PRO	14.796	16.640	8.300
GLY	15.125	14.626	1.656	SER	7.355	7.007	0.643
HIS	3.483	2.817	6.245	THR	5.980	6.281	1.268
ISO	4.800	4.564	10.240	TYR	4.127	7.417	8.793
LEU	9.899	7.175	15.830	VAL	7.744	7.498	1.320

Table 6. The comparison of amino acid content in leaf blade between three-times O₃ and non-O₃ treatment in IR3941-4-28

Amino acids	Amino acid content (mg/g)			Amino acids	Amino acid content (mg/g)		
	O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)		O ₃	non-O ₃	LSD (0.05)
ALA	15.963	14.933	8.766	LYS	7.294	7.475	5.380
ASP	15.703	14.455	2.275	PHE	5.858	5.516	2.890
GLU	16.843	17.680	9.446	PRO	8.058	15.801	26.46
GLY	15.424	14.621	7.910	SER	7.415	7.106	0.814
HIS	2.297	4.052	1.200	THR	6.368	5.731	3.712
ISO	5.809	5.750	4.306	TYR	4.019	3.887	2.583
LEU	11.400	11.079	2.105	VAL	7.366	7.419	2.954

것으로 나타났다. 이러한 결과는 다른 식물에서 histidine 함량이 증가한다는 연구보고¹⁶⁾와 상이한 양상을 보였다. 또한 alanine, glutamic acid, isoleucine, proline과 phenylalanine 함량에서도 약간씩 감소하는 경향을 보였으나 통계적인 유의성은 없었다.

이상의 벼 3품종의 아미노산 함량을 분석한 결과를 종합하면, 지금까지의 여러 연구보고와 비교해 볼 때 오존처리를 했을 때 14종의 아미노산 함량 대부분은 무처리구와 차이가 없었으며 품종에 따라 alanine, isoleucine, histidine이 감소하였으나, 상남발벼에서만 환경스트레스 내성과 관계가 있는 phenylalanine 함량이 오존처리에 의해 증가하여 오존에 대한 내성을 가진 것으로 판단되었다. 그러나 오존에 대한 내성은 생육 및 수량반응, SOD 및 POD 활성 그리고 식물체내 아미노산 함량 등을 종합적으로 고려하여 선발하는 것이 합리적이므로, 오존내성품종 선발을 위해서는 지속적인 연구가 더 이루어져야 될 것으로 본다.

요 약

벼 품종의 오존처리에 대한 생리반응의 차이를 조사하여 내성품종을 선발하는데 이용하고자 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. SOD활성은 오존을 한번 처리 했을 때 백운찰벼, 두번 처리시 일품벼 및 인부지나도에서 무처리구와 차이를 보였으나, 세번 처리할 경우 상남발벼, 한강찰벼를 제외한 모든 품종에서 처리간 유의성을 보였다. POD활성은 오존 세번 처리시 상남발벼, 한강찰벼, 일품벼와 인부지나도에서 무처리구와 유의성을 보이지 않았다.
2. 벼 잎의 아미노산 함량은 오존처리구가 무처리구에 비해 phenylalanine 함량이 높은 경향을 보였다. 특히 상남발벼에서는 오존처리에 의한 phenylalanine 함량의 증가가 뚜렷하였다.
3. 상남발벼는 오존처리구와 무처리간에 외관상의 생육특

성은 차이가 있으나 등숙율에서는 차이가 인정되지 않았고, 저항성기작에 관여하는 물질로 알려진 SOD와 POD 활성도가 높으며, 특히 저항성물질의 합성에 관련되는 전구물질인 phenylalanine 함량이 오존처리구에서 증대되는 것으로 보아 오존내성이 강한 품종으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 교육부 농업과학분야 거점연구소 육성사업에 의한 연구비 지원으로 수행된 연구결과와 일부임.

참 고 문 헌

1. Heagle, A.S., Miller, J.E. and Pursley, W.A. (1998). Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: II. Yield and seed quality. *Crop Sci.* 38:128-134
2. Rawlings, J.O. and Cure, W.W. (1985). The weibull function as a dose-response model to describe ozone effects on crop yields. *Crop Sci.* 25:807-814
3. Heagle, A.S., Body, D.E. and Pounds, E.K. (1972). Effect of ozone on yields of sweet corn. *Phytopathology.* 62:683-687
4. 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
5. Hur, Jae-Sun, Hur, Y. K. and Lee, C. I., (1995). Evaluation of SO₂ or O₃ exposure durations requiring foliar damage development by using bioindicating plants. *Korean J. Plant Pahtol.* 11(2):107-115
6. Irwin P. Ting. (1989). Responses of plants to air pollutant oxidants, pp:89-121
7. Lee, Woo-Sang. (1994). Effect of ozone on plants, '94 Symposium on plant science "Plant responses to environmental stress". pp: 61-74
8. 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

9. Matsuoka, Y., Takasaki, T., Morikawa, M., Matsumura, 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
10. Nakamura, H. and Saka, H. (1978). Photochemical oxidant injury in rice plants II. Effect of ozone on physiological activities in rice plants. *Jpn. of Crop Sci.* 47(4):707-714
11. Jeong, Y.H., Nakamura, H. and Ota, Y. (1981). Physiological studies on photochemical oxidant injury in rice plants III. Effect of abscisic acid(ABA) on ozone injury and ethylene production in rice plants. *Jpn. of Crop Sci.* 50(4):560-565
12. Kim, kwang-Hoo, 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
13. Sohn, Jae-Keun, Lee, S. C. (1997). Varietal difference of resistance to ozone injury in plant. *Korean of Crop Sci.*42(3):338-343
14. Kim, Jong-Wook and Kim, J. H. (1995). Responses in net photosynthetic rate of *Quercus mongolica* leaves to ozone. *Korean of Ecol.* 18(2): 265~273
15. Pino, M.E., Mudd, J.B. and Bailey-Serres, J. (1995). Ozone-include alterations in the accumulation of newly synthesized proteins in leaves of maize. *Plant Physiol.* 108:777-785
16. Kainulainen, P., Holopainen, J.K., Hyttinen, H. and Okasanen, J. (1994). Effect of ozone on the biochemistry and aphid infestation of scots pine. *Phytochemistry.* 35(1):39-42
17. Jeffrey, S. Amthor. (1989). *Respiration and Crop productivity.* SpringerVerlag. pp:148-152
18. Sharma, Y. K. and Davis, K.R. (1994). Ozone-induced expression of stress-related genes in *Arabidopsis thaliana*, *Plant physiol.* 105:1089-1096
19. Shim, Sang-In, Kang, B.H. (1993). Oxidative stress resulting from environmental pollutions and defence mechanisms in plants, *Korean J. Environ. Agric.* 12(3):264-280
20. Kim, Myung-Hee and Lee, S. W. (1992). Resistance functions of woody landscape plants to air pollutants (I)-SOD Activity. *J. Korean For. Soc.* 81(2):164-176
21. Kim, Myung-Hee and Lee, S. W. (1992). Resistance functions of woody landscape plants to air pollutants (II)-POD Activity. *J. Korean For. Soc.* 81(3):234-246
22. Willekens, H., Camp, 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 *Nicotiana plumbaginifolia* L. *Plant Physiol.* 106:1007-1014
23. SAS Institute. (1985). *SAS User's Guide: Basics.* 5th ed. SAS Institute. Cary, NC.
24. Beyer, W. F. and Fridovich, Jr. I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity : some arge consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem.* 161: 559-566.
25. 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
26. Casano, L. M., Martin, M. and Sabater, B. (1994). Sensivity of superoxide dismutase transcript levels and activities to oxidative stress is lower in matuer-senescent than in young barley leaves. *Plant Physiol.* 106:1033-1039
27. Pitcher, L. H. and Zilinskas, B. A. (1996). Overexpression of copper/zinc superoxide dismutase in the cytosol of trasgenic tobacco confers partial resistance to ozone-induced foliar necrosis. *Plant Physiol.* 110:583-588
28. Taiz and Zeiger. (1991). *Plant physiology.* The benjamin/Cummings publishing company. pp:328-330