

벼 품종별 오존 피해 저항성 차이**

孫再根* · 李相哲*

Varietal Difference of Resistance to Ozone Injury in Rice Plant**

Jae Keun Sohn* and Sang Chul Lee*

ABSTRACT : The response of seventy-five rice cultivars to ozone(O₃) were tested in the open-top chamber with ozone producing and monitoring system to determine the varietal difference of resistance to O₃ stress. Ozone was produced by electrostatic discharge in oxygen and was monitored by UV absorption ozone analyzer. Difference in response of rice to ozone was more clearly appeared on rice plants treated for 2 to 4 hours at 0.3 ppm concentration of O₃. Varietal resistance of rice to ozone was more distinctly classified at 21- to 35-day seedlings compared with 14-day rice plants. Most of indica and Tongil(indica×japonica) type rice cultivars were more resistant than that of japonica cultivars based on the leaf injury to O₃. Eight Korean cultivars belong to japonica groups showed highly resistant reaction to O₃. Ozone exposure during booting stage caused lower grain fertility than exposures during seedling, maximum tillering and heading stages of rice.

Key words : Rice, Ozone injury, Varietal difference.

최근 산업화 과정에서 날로 증가하고 있는 여러 가지 대기 오염물질 중에서 자동차나 공장의 연소 기관으로부터 발생하는 질소산화물은 광화학 반응에 의해 오존이나 PAN(peroxy acetyl nitrates)과 같은 이차오염물질을 생성하며, 이러한 광화학 산화물(phytochemical oxidants)의 90% 이상을 차지하는 오존은 강한 산화력을 가지고 있어서 식물체내에 흡수되면 탄소동화작용을 저해하고 잎, 줄기 및 뿌리의 발육을 저해할 뿐만 아니라 식물체의 노화를 조장하며, 오존의 농도가 일정농도 이상일 때는 식물체 전체에 급성장애를 유발하여 심각한 피해를 입히는 것으로 알려져 있다^{7,9)}. 미국에서 콩재배기간 동안에 50nl/1의 오존농도가 하루 평균 7시간 정도 지속되면 콩의

수량은 10% 혹은 그 이상 감소하게 되며, 실제로 이 정도의 오존농도는 흔하게 검출되고 있는 것으로 보고된 예도 있다^{2,8)}. 우리 나라에서도 서울에서 오존경보제가 실시된 1995년 7월 이후 서울을 비롯한 대도시에서 하절기 대기중의 오존농도가 인체에 직접적인 자극증세가 나타나고 식물에 가시적 피해를 유발한다는 0.3ppm 이상의 농도가 종종 언론에 보도된 바 있다. 대체로 오존과 같은 대기오염원에 의한 식물피해는 육안 관찰 가능 여부에 따라 가시적 피해와 불가시적 피해로 구분하고, 피해 진전속도에 따라서는 급성피해와 만성피해로 구분한다. 불가시적 피해는 극히 저농도의 오염물질을 흡수한 식물이 앞에는 그 피해증상이 나타나지 않으나 생리적으로 피해를 받아 생육이

* 경북대학교 농과대학(Coll. of Agr., Kyungpook Nat'l, Uni., Taegu 702-701, Korea).

** 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

〈'97. 2. 20 接受〉

부진하거나 생산량이 감소하는 현상을 말하는데, 농작물의 경우는 가시적 피해 위주로 조사된 예가 대부분이어서 여기에 불가시적 피해까지 포함한다면 실질적인 피해 정도는 더욱 클 것으로 추정된다. 오존과 같은 대기오염물질로 인한 농작물의 피해를 경감시키기 위해서는 산업화 과정에서 발생되고 있는 각종 오염원인을 제거하거나 최대한 줄일 수 있는 장·단기적인 대책을 수립함과 동시에, 각종 오염원에 내성이 강한 농작물의 품종을 육성하거나 개발하는 것이 무엇보다 중요한 선결 과제라고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 오존에 대한 저항성 품종 육성을 위한 기초자료를 얻고자 벼의 오존피해양상을 효과적으로 조사할 수 있는 검정방법의 확립을 위하여 품종별 오존에 대한 피해양상과 저항성 정도 등에 대한 실험을 수행하여 얻어진 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

벼의 품종간 오존 저항성 정도와 생육시기별 오존피해 정도 실험에는 1995년도에 제작된 표 1의 내용과 같은 오존발생 및 측정장치를 사용하였다.

추정벼와 밀양 23호의 종자를 원형 Jiffy 포트(11×10 cm)에 10 립씩 파종하여 출아후 20일된 묘를 재료로 오존처리 농도(0.1, 0.3 ppm) 및 시간(2, 4, 6, 8h)별로 피해 정도를 조사하였으며,

Table 1. Ozone generator and monitoring system

Classification	Function
Ozone generator	
O ₃ fumigated velocity	0 ~ 4 g /hrs.
Air volume	10 ℓ /min.
Ozone measuring instrument	
O ₃ measuring range	0.00 ~ 9.99ppm
O ₃ monitoring instrument	IN-2,000 UV absorption ozone analyzer
Chamber	
Mode	Open-top chamber
Volume	200×100×150 cm

파종후 2, 3, 5 주된 묘를 0.3ppm의 오존농도에 3시간 처리하여 생육단계에 따른 피해 정도를 비교하였다. 오존처리 및 농도별 피해 정도는 벼의 변색과 고사 정도를 근거로 하여 설정된 조사기준(표 2)에 따라 각 처리별로 20 개체의 평균치로 비교하였다.

오존에 대한 저항성 정도는 피해증상이 거의 나타나지 않은 건전한 개체를 강(1), 하위엽의 끝부분이 연황색으로 변색되고 엽신에 소수의 작고 붉은 반점이 나타나는 것을 중강(3), 신엽을 제외한 모든 잎의 끝부분이 황색 또는 적갈색으로 변하고 하위엽이 고사하는 것을 중약(5), 신엽의 끝부분이 적갈색으로 변색되고 그 외 모든 잎의 피해엽율이 50% 이상인 것을 약(9)으로 하였다(표 2).

오존에 대한 벼 품종간 저항성 정도를 조사하기 위하여 동진벼의 74 품종을 원형 Jiffy 포트(4.5×4cm)에 파종하여, 파종후 20일 자란 묘를 0.3 ppm의 오존농도에 3시간 동안 처리하고 3일 후에 품종별 저항성 정도를 조사하였다. 벼 품종별 저항성 검정은 1995년과 1996년 7월과 8월에 같은 품종을 동일한 방법으로 4 회, 매 회 3 반복으로 수행하였다.

벼의 생육시기별 오존에 대한 피해 정도를 조사하기 위하여 추정벼의 5품종의 최아된 종자를 1996. 5. 20일에 원형 Jiffy 포트(11×10 cm)에 5 립씩 품종별 10반복으로 파종하여 온실에서 육묘하였고, Jiffy 포트에서 30일 동안 자란 건전한 묘를 플라스틱 원형포트(22×20 cm)에 1본씩(품

Table 2. Standard assessment for O₃ injury of rice plant

Reaction	Leaf injury
(1-9)	
R(1)	No injury
MR(3)	Slight yellowing or narrow and small reddish spots on lower leaves
MS(5)	Older and lower leaves discoloured to reddish-brown
S(7~9)	Most leaves discoloured to reddish-brown or partially dead

R : resistance, MR : moderate resistance, MS : moderate susceptibility, S : susceptibility.

종별 25 포트) 이양하였으며 기타의 재배법은 관행의 포트 실험 기준에 준하였다. 공시품종들의 유묘기, 최고분얼기, 수잉기 및 출수기에 각각 0.3 ppm의 오존농도에 3시간씩 처리하고 처리후에 가시적 피해 정도, 피해엽율, 임실율 등을 조사하여 무처리구와 비교하였다. 유묘기 처리는 원형 Jiffy 포트에서 23일 동안 자란 묘에 오존을 처리하고 7일 후에 플라스틱 원형 포트에 주당 1본씩 이양하였으며, 분얼기 처리는 이양후 25일에, 수잉기 처리는 각 품종별로 출수전 13일에 각각 실시하였고, 출수기 처리는 각 품종별로 총경수의 40% 정도가 출수되었을 때 실시하였다.

결과 및 고찰

오존의 처리농도와 시간에 따른 벼의 피해는 처리 시간이 길어질수록 피해 정도가 증가하였고, 0.1ppm에서보다는 0.3 ppm에서 뚜렷한 피해양상을 나타내었으며 자포니카인 추청벼가 통일형인 밀양 23호보다 피해 정도가 높게 나타났다(표 3).

Table 3. Effect of ozone concentrations and exposing time on leaf injury of two rice cultivars

Cultivars ^{a)}	O ₃ conc. (ppm)	Time (h)	Leaf injury (1-9) ^{b)}
Chucheongbyeo	0.1	2	2.4
		4	2.8
		8	3.4
	0.3	2	4.2
		4	6.8
		6	8.4
Milyang 23	0.1	2	1.2
		4	1.4
		8	1.4
	0.3	2	1.8
		4	2.4
		6	3.0

a) Ozone exposure at 20-day seedlings.

b) Mean values of 20 plants per treatment.

Table 4. Degree of leaf injury of rice plant to ozone exposure at different seedling ages

Cultivars	Leaf injury(1-9)		
	14-day seedling	21-day seedling	35-day seedling
Chucheongbyeo	6.8	6.5	6.2
Milyang 23	4.2	2.3	2.0

유묘기 벼의 성장정도와 오존 저항성과의 관계는 공시된 두 품종 모두 생육이 진전될수록 저항성 정도가 증가하는 경향이었으나 3 주묘와 5 주묘 간에는 큰 차이가 없었다(표 4).

오존에 대한 벼 품종별 저항성 정도를 조사한 바(표 5), 품종유형간에는 대체로 통일형 및 인디카형 품종들의 저항성 정도가 자포니카 품종보다 높은 경향이었고 자포니카 품종중에서도 장안벼, 화선찰벼, 간척벼, 신선찰벼, 동해벼, 일품벼, 농안벼, 향남벼가 높은 저항성 반응을 나타내었다.

벼의 생육시기별 오존처리후의 피해엽율 조사에서 공시품종 가운데 간척벼는 유묘기에서 밀양 23호, 동해벼, 농안벼, 추청벼, 장안벼는 최고분얼기 처리에서 각각 피해엽율이 가장 높았고 그 이후는 생육이 진전될수록 피해 정도가 낮아지는 경향이었다(표 6).

벼의 각 생육시기별로 오존 스트레스를 가한 다음 출수후에 임실율을 조사한 바(표 7), 공시 품종 모두가 수잉기처리에서 임실율이 가장 낮아지는 경향이었고, 그 외의 생육시기에서는 무처리와 큰 차이가 없었다.

오존가스에 접촉된 벼의 가시적 피해증상은 잎 표면에 적갈색 내지는 암갈색의 미세한 반점으로 나타나는데, 동일한 처리 농도에서도 상위엽 보다는 하위엽에서 잎의 하단부 보다는 선단부에서 피해가 심하게 나타나고, 높은 처리농도에 장시간 노출되면 하위엽의 선단부부터 고사하는 경향이였다. 오존 처리농도와 시간에 따른 농작물의 피해양상에 대한 연구는 옥수수에서 파종후 3주된 유식물에 오존 농도를 달리하여 5시간 동안 처리하였을 때 처리농도가 증가됨에 따라 잎의 가시적 피해가 더욱 뚜렷하게 나타났다고 하였고

Table 5. Varietal difference of rice in response to ozone

Types	Response to ozone ^{a)}						
	Resistant (1.0~3.0)		Moderate (3.1~6.0)		Susceptible (6.1~9.0)		
Tongil type & Indica	Tongil	Gayabyeo	Yeongpungbyeo	Namcheonbyeo	Tetep	TN 1	
	Hangangchalbyeo	Chilseongbyeo	Weonpungbyeo	Josaengtongil	IR 36	Milyang 63	
Indica	Cheongcheongbyeo	Milyang 21	Samgangbyeo	Dasanbyeo	IR 50	Taebaegbyeo	
	Pungsanbyeo	Milyang 22	Sujeongbyeo				
	IR 29	Milyang 23					
	Namyeongbyeo	Milyang 42					
Japonica	Janganbyeo	Hwaseonchalbyeo	Hwaseongbyeo	Keumnambyeo	Samcheonbyeo	Chucheongbyeo	Hwashinbyeo
	Kancheogbyeo	Sinseonchalbyeo	Dongjinbyeo	Daeyabyeo	Nagdongbyeo	Sangsanbyeo	Geumbyeo
	Donghaebye	Ilpumbyeo	Hwaeongbyeo	Gyeahwabyeo	Seohaebyeo	Sambaegbyeo	Tamjinbyeo
	Nonganbyeo	Hyangnambyeo	Daeanbyeo	Anjungbyeo	Sangnambatbyeo	Jinmibyeo	Jinbubyeo
			Unjangbyeo	Hwajungbyeo	Palgongbyeo	Nihonbare	Pungok
			Dunnaebyeo	Ilmibyeo	Cheongmeongbyeo	Koshihikari	Samnambyeo
			Seomjinbyeo	Mangyumbyeo	Yeongnambyeo	Shingeumbyeo	Gihobyeo
			Hwacheongbyeo	Sasanishiki	Joryeongbyeo		
			Hwanambyeo	Geumbyeo 1	Calrose		
			Sangiubyeo				
	Total	20		38		17	

a) Response was investigated at 3 days after ozone exposure.

Table 6. The ratio of leaf injury to ozone exposure according to growth stage in rice plant

Variety	Leaf injury(%)			
	Seedling ^{a)} stage	Maximum tillering stage	Booting stage	Heading stage
Milyang 23	0.0c	17.1a	3.9b	1.1c
Donghaebye	23.0a	23.3a	14.3b	1.9c
Nonganbyeo	17.6b	22.2a	14.0c	3.6d
Chucheongbyeo	18.0c	36.1a	25.7b	3.5d
Janganbyeo	18.0b	43.3a	15.0b	1.6c
Kancheogbyeo	27.3a	17.5b	13.7c	2.5d

a) 23-day seedlings.

Values followed by the same letter in the row are not significantly different at 5% probability level by DMRT.

¹²⁾ 벼에서도 이앙후 37일된 묘에 오존 처리 농도를 0.1, 0.3, 0.5 ppm으로 조절하여 2시간 동안 처리하였을 때 농도가 증가됨에 따라 피해엽율이 증가되었다고 보고하였는데¹⁾, 본 연구에서도 0.1 ppm에서보다는 0.3 ppm의 오존 농도에서 처리 시간이 길어질수록 잎의 피해 정도가 증가하는 경향이였다.

오존에 대한 농작물의 저항성 정도를 효과적으로 검정하기 위해서는 저항성의 구별이 가능한 오

존의 농도와 처리시간 및 대상작물의 처리시기 등을 먼저 고려하여야 하는데, 본 연구에서 벼의 경우는 파종후 3 주된 묘를 0.3 ppm의 농도에 2~4 시간 정도 처리하면 품종간의 저항성 구분이 가능한 것으로 조사되었다.

농작물의 오존 스트레스에 대한 품종간 저항성 정도는 담배^{5,6)}, 화이트클로버⁴⁾, 콩^{6,11)} 등에서 보고된 바 있다. 일본에서 다수의 벼품종을 대상으로 오존에 대한 저항성 정도를 조사한 바, 인디카

Table 7. The ratio of grain fertility to ozone exposure according to growth stage in rice plant

Variety	Control	Fertility(%)			
		Seedling ^{a)} stage	Maximum tillering stage	Booting stage	Heading stage
Milyang 23	69.2	71.4	72.0	64.5*	72.7*
Donghaebyeo	89.5	89.0	88.2	81.8**	88.2
Nonganbyeo	88.9	88.8	84.6*	83.0**	86.9
Chucheongbyeo	92.1	93.7	94.3	89.6*	94.5
Janganbyeo	90.5	93.3	90.7	85.5**	93.8*
Kancheogbyeo	92.7	89.8*	89.5*	88.4**	88.9*

a) 23-day seedlings.

*, ** is a significant at 5%, 1% levels, respectively.

품종 및 계통들은 저항성이 높은 품종에서부터 낮은 품종까지 넓게 분포하고 있는 것과는 달리 자포니카 품종들은 저항성 품종에 비해 감수성 반응을 보이는 품종이 많았다고 하고, 자포니카 품종 중에서도 추청벼와 MGS 359가 오존에 가장 민감한 반응을 보였으며, 우리 나라에서 육성된 통일품종을 저항성 정도가 가장 높은 품종으로 보고하였다⁶⁾. 본 연구에서도 자포니카 품종보다는 통일형 및 인디카 품종에서 저항성 정도가 높은 품종이 많은 것으로 나타나 품종의 생태형간 저항성 정도면에서 일본에서 보고한 내용⁶⁾과 유사한 경향이였다. 그리고 자포니카 품종 중에서 높은 저항성 반응을 보인 장안벼, 간척벼, 농안벼, 동해벼, 화선찰벼, 신선찰벼, 일품벼, 향남벼 등은 앞으로 양질 내재해성 신품종 육성을 위한 유전자원으로 매우 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

콩의 생육시기별로 오존을 처리하였을 때 피해엽율은 생육초기보다는 후기에서 높은 경향이고 수량은 생육중기와 후기처리에서 크게 감소하는 것으로 보고되어 있다^{3,10)}. 그러나 본 연구에서 벼의 생육시기별 피해엽율은 최고분얼기에서 가장 높았고 그 이후 생육이 진전됨에 따라 점차 낮아지는 경향이였다. 수잉기 처리에서 임실율이 가장 낮게 나타났는데, 이는 벼의 생육시기별 오존에 대한 피해 정도는 분얼최성기가 잎의 신장이 가장 왕성하고 수분함량도 많아서 잎조직이 연약하기 때문에 오존가스의 피해가 가장 크고, 출수기에는 잎이 견고하기 때문에 가시적 피해가 나타나지 않

으며, 수량의 감소는 분얼최성기~유수형성기 처리에서 가장 크게 나타났다고 보고한 조 등¹⁾의 연구결과와 비슷하였다.

적 요

벼 품종의 오존 저항성 판단을 위한 시험에서 오존의 처리농도는 0.3 ppm이 0.1 ppm보다 뚜렷한 결과를 보였고, 처리시간은 2~4시간이 알맞은 것으로 나타났다. 묘대일수에 따른 저항성 정도는 파종후 3주까지는 생육이 진전될수록 높아지는 경향이였으나 3~5주간에는 큰 차이가 없었다. 인디카와 통일형 품종들이 자포니카 품종보다 저항성이 높은 경향이였고, 자포니카 품종 중에서 장안벼의 7 품종은 높은 저항성을 나타내었다. 벼의 생육시기에 따른 피해엽율은 간척벼는 유묘기에서 밀양 23호의 4 품종은 최고 분얼기에서 가장 높게 나타났고 임실율은 수잉기 처리에서 가장 낮았다.

LITERATURE CITED

1. 조재규, 김선관, 김복영. 1982. 환경오염에 의한 농작물 피해경감 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 화학부편. 105-126.
2. Heagle A.S. 1989. Ozone and crop yield. Annu. Rev. Phytopathol. 27:397-423.

3. _____, 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. _____, _____ and Sherill D.E. 1994. A white clover system to estimate effects of tropospheric ozone on plants. *J. Environ. Qual.* 23:613-621.
5. Heggstad H.E and Menser H.A. 1962. Leaf spot-sensitive tobacco strain Bel-W3, a biological indicator of ozone. *Phytopathol.* 52:735.
6. 久野春子. 1994. 植物の大気汚染耐性と感受性. *植物細胞工學. 別冊 1*:59-68.
7. Landry L.G and Pell E.J. 1993. Modification of Rubisco and altered proteolytic activity in O₃-stressed hybrid Poplar (*Populus maximowizii* × *trichocarpa*). *Plant Physiol.* 101:1355-1362.
8. Lesser V.M, Rawlings J.O, Spruill S.E and Somerville M.C. 1990. Ozone effects on agricultural crops : statistical methodologies and estimated dose-response relationships. *Crop Sci.* 30:148-155.
9. Luwe M.W.F, Takahama U and Heber U. 1993. Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. *Plant Physiol.* 101:969-976.
10. Miller J.E, Pursely W.A, Vozzo S.F and Heagle A.S. 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.
11. Mulchi C.L, Lee E, Tuthill K and Olinick E.V. 1988. Influence of ozone stress on growth processes, yields and grain quality characteristics among soybean cultivars. *Environ. Pollut.* 55:151-169.
12. Pino M.E, Mudd J.B and Bailey-Serres J. 1995. Ozone-induced alterations in the accumulation of newly synthesized proteins in leaves of maize. *Plant Physiol.* 108:777-785.