

## 벼와 콩의 오존 피해증상과 품종간 차이

이종태\* · 손재근<sup>1)</sup>

충남 농업기술원, 경북대학교

### Symptom of Leaf Injury and Varietal Difference to Ozone in Rice and Soybean Plant

Lee Jong-ta, <sup>1)</sup>Sohn Jae-keun (Chungnam Provincial Agricultural Research and Extension Service, Taejeon 305-313, Korea, <sup>1)</sup>Department of Agronomy, Kyungpook National University, Taegu, Korea, e-mail : m0813j@chollian.net)

**ABSTRACT** : This study was carried out to elucidate the symptom of leaf injury to ozone and to determine varietal difference to ozone injury in rice and soybean plant. Ozone was produced by electrostatic discharge in oxygen and was monitored by UV absorption ozone analyzer. The rice leaves were spotted red and rolling leaf edge, discolored to reddish brown or yellowish white in response to ozone, and the leaves that were severely stressed were withered from the tip of leaf. The soybean ones were also discolored to lemon yellow, yellow or dark brown. The leaf injury in both rice and soybean was clearly appeared at the reverse side of leaf and in lower leaves. Milyang 23 and Nonganbyeon among rice cultivars tested were resistant to ozone, but Chucheongbyeon was resistant to it. The ratio of leaf injury was increased and chlorophyll content was decreased as the extension of ozone exposure from 2 to 8 hours in rice. Keunolkong and Danyepkong among soybean cultivars tested showed resistant reaction to ozone, but Kwangankong and Muhankong were susceptible to it. It was observed that the soybean plants grown for 45 days after seeding were severely damaged by ozone than those of other growth stages.

**Key words** : Ozone, Leaf injury, air pollution, Rice, Soybean

## 서론

교통수단의 발달과 화석연료의 대량 사용으로 날로 대기환경 오염이 심각해지고 있으며, 이러한 오염물질은 인간에게 뿐만 아니라 식물에게도 많은 영향을 끼치고 있다.

대류권내 오존농도는 1980년대를 통하여 매년 1%씩 증가하였으며 공업화전에 0.015 ppm이었던데 비해서 1990년에는 0.035 ppm수준에 도달하였다고 보고된 바 있으며<sup>4)</sup>, 오존은 광화학 산화물의 80 ~ 90%를 차지하는 오염물질<sup>15)</sup>로 자동차, 항공기 등의 내연기관에서 배출되는 가스에 의하여 대기 중에서 2차적으로 생성되는 것이 가장 많으며, 석유계 연료의 연소에 의해 생기는 탄화수소와 질소화합물이 자외선의 존재 하에서 광화학적 반응으로 생성되는 것으로 밝혀져 있다<sup>6)</sup>. 식물체가 오존에 노출되면 식물의 기공을 통하여 체내에 흡수되어 원형질막 단백질의 sulfhydryl기와 지질을 산화시키고 원형질막의 투과성을 변화시켜 잎표면의 색소를 황백화시키는 것으로 알려져 있다<sup>3,19,21,22)</sup>. 자동차의 증가와 석유연료의 사용량이 늘어남에 따라 앞으로 대기중의 오존농도는 더욱 증가할 것이고 이에 따른 인축 및 식물체의 피해 또한 적지 않을 것이다. 우리 나라에서도 대기중의 오존농도가 0.12 ppm이상일 때 오존주의보를 발령

토록 제도화한 1995년 7월이후 서울을 비롯한 대도시에서 여러 차례 오존주의보가 발령되었으며 매년 그 회수가 증가하고 있다. 1994년 7월중에는 35℃이상 고온건조한 날이 연일 계속되면서 경상북도 경주일원의 벼 재배지역에서 벼의 하위엽에 갈색 반점이 심하게 나타나는 증상이 비교적 넓은 면적에서 나타났는데, 이를 정밀 조사한 결과 오존의 피해로 확인된 바 있다. 일본에서는 벼를 포함한 주요 농작물에 대한 오존피해 검정과 피해정도에 대한 연구결과가 보고된 바 있고<sup>2,15)</sup>, 미국에서는 오존으로 인한 주요 농작물의 수량감소 정도<sup>4,23)</sup>, 오존피해 검정방법<sup>9,12,20)</sup>, 식물체내에서의 피해기작 및 방어기작<sup>1,6,9,14)</sup> 등에 대한 연구가 광범위하게 수행되어지고 있다. 이러한 외국의 활발한 연구동향에 비해 국내에서는 1980년대 초에 일부 농작물의 오존피해증상과 주요 작물별 피해정도에 대한 보고<sup>12,13,16)</sup>가 있는 이후 오존피해가 과거보다 훨씬 심각해지고 있는 근년까지 농작물의 오존피해양상과 경감대책 등에 대한 연구성과는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내 오존발생장치를 이용하여 오존에 대한 벼와 콩의 피해증상, 품종간 저항성 정도, 생육시기 및 처리시간별 피해정도 등에 대한 연구를 수행하여 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

벼와 콩의 오존피해증상, 품종간 저항성 정도, 생육시기별 피해정도 등에 관한 실험에는 1995년도에 제작한 표 1의 내용과 같은 오존발생 및 측정장치를 사용하였다<sup>20)</sup>.

벼와 콩의 오존피해증상

벼의 오존피해증상을 관찰하기 위하여 추청벼 외 5품종의 종자를 원형 Jiffy포트(Ø11×10 cm)에 품종별 5립씩 10반복으로 파종하고, 5~6엽기에 0.3 ppm의 오존농도에 3시간동안 처리한 다음 날부터 잎의 변색정도, 반점형성양상 및 잎의 고사정도 등을 조사하였으며, 콩의 피해증상 관찰에는 큰울콩의 9품종의 종자를 원형 Jiffy포트(Ø11×10 cm)에 품종별 3립씩(출아후 2개체 제거) 3반복으로 파종하고, 30일 후에 0.3 ppm의 오존농도에 3시간 동안 처리한 다음날부터 벼에서와 같은 방법으로 피해양상을 조사하였다.

벼 품종별 오존저항성 정도

벼의 품종별 오존에 대한 저항성검정에는 추청벼의 5품종의 종자를 최아시켜 '96. 5. 20일에 원형 Jiffy포트(Ø11×10cm)에 5립씩 품종별 10반복으로 파종하여 온실에서 육묘한 다음 5~6엽기에 실험 1에서와 같은 방법으로 오존을 처리하고 3일 후에 잎의 가시피해와 피해엽율을 조사하였다. 그리고 농안벼의 2품종의 5~6엽기에 0.3 ppm의 오존농도에서 2~8시간동안 처리한 다음 오존처리시간별로 피해엽율과 엽록소함량 변화양상을 조사하였다. 밀양 23호의 3품종을 Jiffy포트에서 30일 동안 육묘한 다음 건전한 묘를 플라스틱 원형포트(Ø22×20 cm)에 1본씩(품종별 25포트) 이앙하고 묘대기, 최고분얼기 및 수잉기 각각 0.3 ppm의 오존농도에 3시간씩 처리하고 처리한 후에 무처리구와 처리구의 엽록소함량 차이로서 엽록소감소율을 조사하여 생육시기별 변화양상을 품종별로 분석하였다. 묘대기 처리구는 원형 Jiffy포트에서 23일 동안 자란 묘에 오존을 처리하고 7일 후에 플라스틱 원형포트에 주당 1본씩 이앙하였으며, 분얼기 처리는 이앙후 25일에, 수잉기 처리는 각 품종별로 출수전 13일에 각각 실시하였다. 오존에 대한 벼의 가시피해는 孫과 수<sup>22)</sup>의 조사기준에 근거하여 조사하였

고 피해엽율은 가스접촉 3일 후에 오존에 의해 적갈색, 황색 등으로 변색되어 피해증상이 뚜렷하게 나타나는 잎수에 대한 전체 잎의 백분율로 계산하였으며, 엽록소함량은 chlorophyll meter (SPAD-502)로 측정하였다.

콩의 품종별 오존저항성 정도

콩의 품종별 저항성 정도를 조사하기 위하여 큰울콩의 9품종의 종자를 원형 Jiffy포트(Ø11×10 cm)에 품종별로 3립씩 3반복으로 5일 동안 생육시킨 다음 포트별로 건전하게 생육된 1개체만 남겨 플라스틱 원형포트(Ø22×20 cm)에 이식하고 25일 후에 0.3 ppm의 오존농도에서 3시간동안 처리한 다음 벼와 동일한 방법으로 콩의 가시피해와 피해엽율을 조사하였다. 콩의 생육시기별 오존에 대한 피해정도에는 큰울콩의 9품종의 종자를 원형 Jiffy포트(Ø11×10 cm)에 3립씩 품종별 12반복(생육시기별 3반복)으로 5일 동안 생육시킨 다음 포트별로 건전하게 생육된 1개체만 남겨 플라스틱 원형포트(Ø22×20 cm)에 이식하고 상토를 채운 후 이식 25일, 40일 및 55일 후에 각각 0.3 ppm의 오존농도에 3시간동안 처리하였다. 각 생육시기와 품종별로 오존처리후의 가시피해, 피해엽율, 주경장, 주경절수, 분지수, 임실율, 백립중, 총합수 등을 조사하여 무처리구와 비교하였다.

결과 및 고찰

벼와 콩의 오존피해증상

농작물의 오존피해증상은 작물의 종류 및 가스접촉농도에 따라 다소 상이하며 주로 백색반점, 암갈색반점, 표백화(크고 모양이 일정치 않은 흰 반점), 엽록체의 적색화, 조기낙엽 등으로 나타난다<sup>15)</sup>고 한다. 본 연구에서 수회에 걸쳐 벼와 콩의 오존피해증상을 관찰한 결과, 벼는 피해를 받은 잎에 작고 붉은 반점이 형성되거나(그림 1-A), 적갈색 또는 황백색으로 변색되고 심하게 피해를 받은 잎은 시간이 경과함에 따라 잎의 끝부분부터 말리면서 고사하였다(그림 1-B). 콩의 경우에는 0.3 ppm의 오존농도에 3시간 처리하였을 때 처리 3시간 후에 피해정도에 따라 황백색에서부터 황색으로 변색되거나 적갈색 반점을 형성하였으며(그림 2-A), 피해를 심하게 받은 잎은 시간이 경과되면서 엽맥을 따라 흑갈색으로 변색되었다(그림 2-B). 그리고 벼가 잎의 끝부분에서 피해증상이 먼저 나타나는데 비해서(그림 2-A) 콩은 잎의 안쪽부분에서부터 피해증상이 나타났다(그림 2-A-d). 이러한 피해양상은 벼와 콩 모두 품종에 따라 다소간의 차이를 보였으며 특히 표면보다는 이면에서, 그리고 상위의 신엽보다 하위엽에서 피해증상이 더욱 뚜렷하게 나타났다. 조 등<sup>12)</sup>은 오존피해를 받은 벼의 잎에 적갈색 또는 암갈색의 미세한 반점이 잎맥을 따라 발생하는 경우와 황백색 또는 은백색의 반점이 잎맥을 따라 나타난다고 하였는데 본 연구에서도 전체적인 피해증상은 이와 유사하게 나타났다. 그러나 연구에서 밝힌 벼의 오존 피해증상은 하위엽의 끝부분에서 가장

Table 1. Ozone generator and monitoring system

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

Fig. 1. Leaf symptom of rice appeared at 3 days after treated for 3 hours with 0.3 ppm ozone.

- A. Small red spots and rolling leaf edge.  
B. Discoloration to yellowish white and reddish brown of lower leaf.

먼저 나타나고 그 피해정도도 심하여 처리후 시간이 경과됨에 따라 잎 끝부분이 말리면서 고사한다는 점 등은 앞으로 벼의 오존 피해증상 구별이나 저항성개체선발, 오존피해 경감대책 연구 등에 매우 유익하게 이용될 수 있으리라 생각된다. 콩의 경우에도 조동<sup>12)</sup>은 초기에는 담황색 반점이 나타나고 약 10일정도의 시간이 경과함에 따라 암갈색, 또는 적갈색으로 변색된다고 하였는데, 본 연구에서도 대체적인 증상은 유사하였지만 그림 2에서 밝힌 바와 같이 동일조건하에서도 피해정도에 따라 그 증상이 황백색에서부터 황색, 또는 흑갈색 등으로 다양하게 나타났고, 잎의 안쪽부분에서부터 피해증상이 먼저 나타난다는 점 등은 앞으로 콩의 오존 피해 해석에 고려되어야 할 점으로 사료된다.

Fig. 2. Leaf symptom of soybean appeared at 3 days after treated for 3 hours with 0.3 ppm ozone.

- A. Degree of leaf discoloration induced by ozone stress ; healthy leaf(a), lemon yellow(b-e), yellow(f, g), and yellow with reddish brown spots(h).  
B. Dark brown spots induced by ozone stress.

#### 벼의 품종별 오존저항성 정도

벼의 품종별로 오존을 처리하고 처리 3일 후에 가시피해와 피해엽율을 조사한 바(표 2), 가시적인 피해는 밀양 23호와 농안벼가 저항성이었고, 추청벼가 감수성이었으며, 장안벼, 간척벼 및 동해벼는 중도저항성을 나타내었다. 피해엽율에서도 밀양 23호가 낮게 나타났고 추청벼가 높게 나타나 대체적으로 가시피해와 피해엽율이 일치하는 경향이였다. 그러나 농안벼, 간척벼, 동해벼 및 장안벼는 가시적 피해보다는 피해엽율이 상대적으로 높게 나타나 품조간에 다소간의 차이를 보여 보다 정확한 오존피해 증상을 조사하기 위해서는 가시적 피해와 피해엽율을 함께 조사하는 것이 효과적일 것으로 생각한다.

Table 2. Varietal difference of rice in response to ozone<sup>a)</sup>

Cultivars	Visible injury (1~9)	Leaf injury (%)
Milyang 23	3	0.0
Nonganbyeo	3	17.6
Janganbyeo	5	18.0
Kancheogbyeo	5	27.3
Donghaebyeo	5	23.0
Chucheongbyeo	7	18.0

a) Response was investigated at 3 days after ozone exposure at 5~6 leaf stage.

오존처리 시간별로 벼의 피해엽율과 엽록소함량변화를 품종별로 조사한 결과(그림 3, 4), 처리시간이 길어 질 수록 피해엽율은 높아지는 경향이었는데 추청벼와 동해벼의 경우는 처리시간이 2시간에서 8시간으로 길어짐에 따라 피해엽율이 서서히 증가하는 반면, 농안벼의 경우는 2시간처리에서 피해엽율이 7.9%이었던 것이 시간이 경과될 수록 크게 증가하여 8시간처리에서 피해엽율이 16%로 나타났다. 가시적 피해에서 중도저항성을 보인 동해벼는 처리시간이 길어짐에 따라 엽록소함량이 급격히 감소하였고, 가시적 피해와 피해엽율에서 감수성품종으로 밝혀진 추청벼의 엽록소 함량변화는 저항성품종인 농안벼와 같은 양상을 보였다. 처리시간에 따른 피해엽율과 엽록소함량의 변화는 품종에 따라 다르게 나타나 오존처리에 의한 엽록소 감소와 회복능력은 품종고유의 특성이라고 추정되어지나, 이에 대해서는 앞으로 보다 깊이있는 연구가 있어야 될 것으로 생각된다. 농작물의 오존에 대한 품종간 저항성차이는 콩<sup>11,14)</sup>, 담배<sup>11,15)</sup>, 보리<sup>13)</sup> 등에서 보고된 바 있고, 병 저항성과 관련하여 Dohmen<sup>16)</sup>은 밀의 줄녹병 저항성과 오존저항성간에 정의 상관관계를 가지며 품종간 차이는 잎표면조직 형태와 관련이 있다고 밝힌 바 있다. 벼에 있어서 孫과 李<sup>20)</sup>는 자포니카형 품종에서보다는 통일형 과 인디카형 품종에서 저항성 정도가 높은 품종이 많은 것으로 보고하였는데, 본 연구에서도 통일형 품종인 밀양 23호는 저항성 정도가 높았고, 자포니카형인

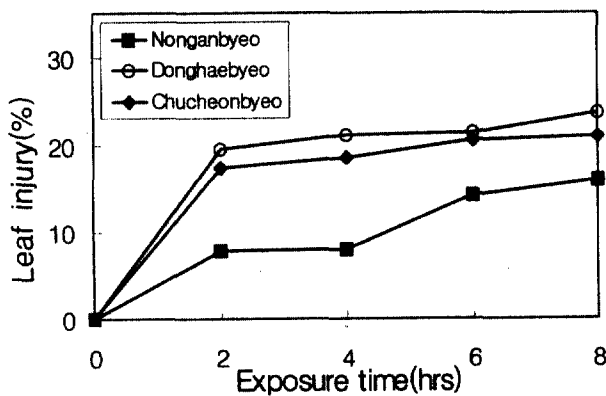


Fig. 3. Changes in ozone injury to exposure time at seedling stage of rice.

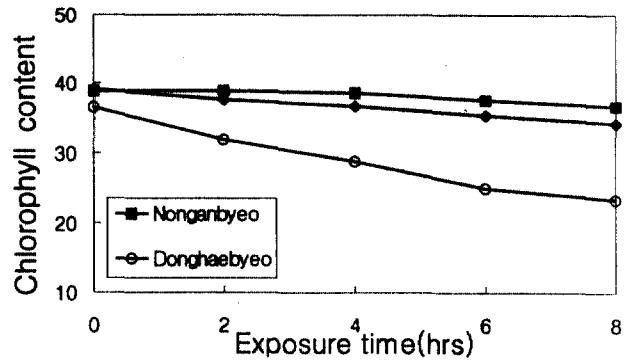


Fig. 4. Changes of chlorophyll content to ozone exposure time at seedling stage of rice.

Table 3. Reduction rate of chlorophyll content to ozone exposure at different growth stages in rice

Cultivars	Seedling stage <sup>a)</sup>	Maximum tillering stage	Booting stage
Milyang 23	6.7	1.3	8.9
Nonganbyeo	6.3	0.8	6.6
Donghaebyeo	24.4	7.1	0.7
Chucheongbyeo	6.8	8.8	13.4

a) 23-day seedlings.

추청벼는 감수성으로 나타났다. 이 동<sup>14)</sup>이 서광벼 등 2품종에 대하여 처리시간에 따른 피해엽율조사에서 처리시간이 1시간에서 5시간으로 길어 질 수록 피해엽율이 증가하였다고 보고한 바 있는데 본 연구에서도 처리시간이 2시간에서 8시간으로 늘어남에 따라 피해엽율이 증가하였지만 그 증가양상은 품종에 따라 상당한 차이를 보였는데, 이러한 차이는 품종 고유의 특성에서 비롯된 결과라고 생각된다.

벼의 생육시기별 오존처리후의 엽록소함량 감소율을 조사한 바 밀양 23호와 농안벼는 최고분얼기 처리에서 엽록소의 감소율이 가장 낮았으며, 동해벼는 묘대기에서 24.4%의 감소를 보였다가 수잉기에서는 0.7%로 생육이 진전 될 수록 낮아지는 경향을 보였다(표 3). 엽록소의 감소는 오존 스트레스의 인디케이터로 널리 사용되며<sup>4)</sup> 오존은 엽록소를 파괴하고 엽록소 생합성을 저해한다<sup>4)</sup>고 보고된 바 있다.

콩의 품종별 오존저항성 정도

콩의 품종별로 파종 30일 후에 오존을 처리한 결과(표 4), 가시적 피해는 큰울콩과 단엽콩이 저항성으로 나타났고, 팽안콩, 두유콩, 무한콩, 은하콩 및 푸른콩이 감수성이었으며 미원콩, 소백나물콩 및 태광콩이 중도저항성으로 나타났다. 저항성을 보인 단엽콩(3)과 중도저항성을 보인 태광콩(5)은 가시적 피해와 피해엽율이 일치하지 않았으나 그 외 품종은 대체로 가시피해와 피해엽율이 일치하여 콩의 경우 가시적 피해만 조사하여도 품종간 차이를 판단할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 4. Varietal difference of soybean in response to ozone<sup>a)</sup>

Cultivars	Visible injury(1~9)	Leaf injury(%)
Keunolkong	1	0.0
Danyeopkong	3	25.0
Taekwangkong	5	15.6
Miweonkong	5	40.0
Sobaeknamulkong	5	45.7
Duyeukong	7	44.0
Eunhakong	7	42.4
Pureunkong	7	53.5
Muhankong	7	55.6
Kwangankong	7	77.7

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

Table 5. Leaf injury to ozone exposure at different growth stages in soybean

Cultivars	Leaf injury(%)		
	30 DAS <sup>a)</sup>	45 DAS	60 DAS
Keunolkong	0.0	7.7	6.0
Danyeopkong	25.0	16.2	16.8
Kwangankong	77.7	27.3	1.8
Miweonkong	40.0	53.3	55.1
Sobaeknamulkong	45.7	52.6	32.1
Eunhakong	42.4	50.0	51.4
Pureunkong	53.5	56.1	32.3

a) Days after seeding

콩의 생육시기별 오존처리후의 피해엽율을 품종별로 조사한 바(표 5), 큰울콩은 전 생육시기에서 피해엽율이 낮게 나타났고, 단엽콩과 광안콩은 생육이 진전 될 수록 피해엽율이 낮아지는 경향이였으며, 미원콩, 소백나물콩, 은하콩 및 푸른콩은 전 생육시기에서 높게 나타났다.

콩의 생육시기별로 오존을 처리한 후 품종별로 잎실율을 조사한 결과(표 6), 공시품종 모두가 파종 45일 후 처리에서 가장 낮아지는 경향이였다. 콩의 경우도 벼에서와 같이 오존스트레스에 대한 품종간 저항성의 차이는 비교적 큰 것으로 알려져 있으며<sup>14,20)</sup>, 동일품종에서도 생육초기보다 생육 중·후기에서 피해엽율이 높아 생육시기에 따라 콩의 피해엽율이 다른 것으로 알려져 있고, 피해엽율과 탄소동화작용 및 수량과는 정의 상관성이 있었다는 보고도 있다<sup>10,19)</sup>. 본 연구에서도 콩의 오존스트레스에 대한 품종간에 차이는 뚜렷하게 나타났고 대체로 생육 중기와 후기에서 피해엽율이 높게 나타나서 생육시기별 피해정도는 Heagle 등의 보고와 같은 경향이였다. 파종 45일후 오존처리에서 콩의 잎실율이 가장 낮았는데, 이는 이시기가 잎의 신장이 왕성하고 수분함량도 많아서 잎조직이 연약할 뿐만 아니라 화아유도나 개화과정에서 오존피해가 컸기 때문이라고 생각된다. 지속적인 오존노출은 작물의 가시피해 뿐만 아니라 수량에도 영향을 미치는데 미국에서는 1980부터 1986년까지 오존농도와 수량 감소와의 관계를

Table 6. Grain fertility to ozone exposure at different growth stages in soybean

Cultivars	Control	Grain fertility(%)		
		30 DAS <sup>a)</sup>	45 DAS	60 DAS
Kwangankong	78.4	77.0	72.9	74.9
Danyeopkong	75.0	67.9	64.0	71.1
Duyeukong	77.0	70.0	56.0	77.1
Muhankong	77.5	70.6	60.7	63.0
Miweonkong	83.8	88.0	63.5	76.0
Sobaeknamulkong	80.0	72.5	72.5	78.3
Eunhakong	65.7	59.5	55.6	59.0
Keunolkong	85.0	80.6	70.6	83.3
Taekwangkong	75.9	77.4	72.5	72.8
Pureunkong	75.9	63.8	61.8	69.7

a) Days after seeding.

조사하여 오존농도가 0.025 $\mu\text{l}/\ell$ 에서 0.05 $\mu\text{l}/\ell$ 로 증가하였을 때 콩의 수량이 20% 감소되었다는 보고가 있는데<sup>25)</sup>, 이는 대기중의 오존농도가 일정수준이상 증가하게 되면 농작물의 수량도 크게 감소한다는 것을 잘 입증해 주고 있다. 따라서 대도시를 중심으로 여름철에 오존농도가 크게 증가하여 문제가 되고있는 우리나라에서도 오존으로 인한 농작물의 피해를 보다 정확히 밝히고 그 피해를 최소화할 수 있는 경감대책에 대한 연구가 시급히 이루어져야 될 것으로 사료된다.

## 적 요

대기환경오염원인 오존을 벼와 콩에 처리하여 오존피해증상, 품종간 저항성 차이 및 유전양상을 밝히고자 가시피해, 피해엽율, 엽록소함량, 잎실율 등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

벼의 오존피해증상은 피해정도에 따라 잎에 작고 붉은 반점이 형성되거나 잎전체가 적갈색 또는 황백색으로 변색되며 잎끝부터 말리면서 고사하였다. 콩은 피해엽이 황백색 또는 흑갈색으로 변색되었으며 벼와 콩 모두 잎의 표면보다는 이면이, 신엽보다는 하위엽에서 뚜렷하게 나타났다. 벼의 오존저항성 정도는 밀양 23호와 농안벼가 저항성을, 추청벼가 감수성으로 조사되었다. 오존처리시간이 2시간에서 8시간으로 길어짐에 따라 벼의 피해엽율은 증가하였고 엽록소함량은 감소하는 경향이였지만 그 정도는 품종에 따라 다르게 나타났다. 콩의 품종별 오존저항성정도는 큰울콩과 단엽콩이 저항성을, 두유콩, 무한콩, 은하콩 및 푸른콩 등이 감수성으로 나타났다. 콩의 생육시기별 피해엽율은 품종에 따라 다소 다른 경향이였으나 대체로 파종후 45일 처리에서 피해엽율이 가장 높았다.

## 참 고 문 헌

1. Aben J.M.M., Janssen-Jurkovicova M., and Adema E.H. 1990. Effects of low-level ozone exposure under ambient

- conditions on photosynthesis and stomatal control of *Vicia faba* L. *Plant Cell Environ.* 13: 463-469
- 2 Asada K. 1980. Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts, with relation to injury by sulfur dioxide. In *Studies on the Effects of Air Pollutants on Plants and Mechanisms of Phytotoxicity*, Research Report No. 11, p.165-179, National Institute for Environmental Studies Tsukuba
  3. Bowler C., van Montagu M., and Inze D. 1992. Superoxide dismutases and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 43 : 83-116.
  4. Darrall N. M. 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant Cell Environ.* 12 : 1-30
  5. Dohmen G. P. 1988. Is plant resistance to air pollution related to resistance towards disease?. p.158~162. In P. Mathy(ed.) *Air pollution and ecosystems*. D. Reidel, Dordrecht, Netherlands.
  6. Fowler, D. 1992. Air pollution transport, deposition and exposure to ecosystems. In: *Air Pollution and Biodiversity*, eds. J.R. Barker and D.T. Tingey. New York: Van Nostrand Reinhold.
  7. Grimes, H.D., Parkins, K.K., and Boss, W.F. 1983. Ozone degrades into hydroxy radical under physiological conditions: A spin trapping study. *plant physiol.* 72 : 1016-1020.
  8. Heagle A.S., Reinert R.A., and Miller J.E. 1996. Response of white clover to ozone in different environments. *Environ. Qual.* 25 : 273-278
  9. 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. *Environ. Qual.* 20 : 562-570
  10. Heath R.L. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Annu. Rev. plant physiol.* 31 : 395-431
  11. Heggstad H.E., and Mense H.A. 1962. Leaf spot-sensitive tobacco strain BelW3, a biological indicator of ozone. *Phytopathology*, 52 : 735.
  12. 조재규, 김선관, 김복영. 1982. 환경오염에 의한 농작물 피해경 감연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 화학부편. 105-126
  13. 조재규, 이숙희, 김복영. 1984. 환경오염에 의한 농작물 피해대 책연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 화학부편. 53-59
  14. Kangasjarvi J., Talvinnen J., Utriainen M., and Karjalainen K. 1994. Plant defense systems induced by ozone. *Plant Cell Environ.* 17 : 783-794
  15. 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 : 50-68
  16. 이숙희, 조재규, 김복영. 1984. 환경오염에 의한 농작물 피해대 책연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 화학부편. 59-62
  17. Miller J.E., Pursley W.A., Vozzo S.F., and Heagle A.S. 1991. Response of net carbon exchange rate of soybean to ozone at different stage of growth and its relation to yield. *Environ. Qual.* 20 : 571-575
  18. Mulchi C.L., E Lee, Tuthill K., and Olinick E. V. 1988. Influence of ozone stress on growth processes, yields and grain quality characteristics among soybean cultivars. *Environ. pollut.* 53 : 151-169
  19. Sakaki T., Kondo N., and Sugahara K. 1983. Breakdown of photosynthetic pigments and Lipids in spinach leaves with ozone fumigation : Role of active oxygens. *Physiol. Plant.* 59 : 28-34
  20. 손재근, 이상철. 1997. 벼 품종별 오존 피해 저항성 차이, *한국 작물학회지*, 42(3): 338-343
  21. Tanaka K., and Sugahara K. 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
  22. Velissariou D., Barves J. D., and Davison A. W. 1992. Has inadvertent selection by plant breeders affected the O<sub>3</sub> sensitivity of modern Greek cultivars of spring wheat ?. *Agric. Ecosystems and Environ.*, 38: 79-89
  23. 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 Science.* 30 : 148-155