

## 水稻生育에 對한 Ozone가스의 影響에 關한 研究

### 3. Ozone가스에 依한 水稻葉의 生化學的 變化

金 福 榮·趙 在 規·李 淑 喜

(1986. 10. 16 접수)

## Studies on the Effects of Ozone Gas in Paddy Rice

### 3. Biochemical effects of ozone gas on rice plant

Bok Young Kim\*, Jae Kyu Cho\*, and Suk Hee Lee\*\*

#### Abstract

Biochemical and histological effects of ozone gas (0.3 ppm) on rice plant were discussed. After ozone exposure, damage symptom, percentages of destroyed leaves, activities of peroxidase and polyphenoloxidase, and the contents of flavonoid, protein and sugar were examined on two rice varieties (Seokwangbyeo, Jinjubyeo), on tillering stage, and at different exposure time (0, 1, 3, 5 hr).

The result were as followed.

1. The ozone-injured cell adjoining stomata become pigmented red-brown.
2. The percentage of injured leaves in Jinjubyeo was higher than that in Seokwangbyeo.
3. The activities of peroxidase and polyphenoloxidase increased on ozone-injured leaves.
4. The peroxidase activity increased with time in Jinjubyeo compared to Seokwangbyeo.
5. Peroxidase isozyme spectrum was altered after ozone exposure.
6. The content of flavonoid and reducing sugar in the rice leaves was increased, but the contents of protein was reduced.

#### 序 論

Ozone가스가 植物에 미치는 影響에 對하여는 被害生理에 關한 研究가 많이 報告되고 있으며<sup>(1,2,3)</sup> 植物이 Ozone가스에 露出되면 Ozone가스가 氣孔을 通하여 葉 內部에 吸收되어 細胞膜의 構造와 透過性에 影響을 주

고 酵素와 細胞器官에 作用하여 代謝過程을 沮害하여 細胞內容物도 酸化되어 미토콘드리아의 合成과 活動에 影響을 미친다고 하며<sup>(4)</sup>, 野內等<sup>(5,6)</sup>은 Ozone가스 接觸으로 植物의 柵狀組織의 崩壞나 着色이 되고 葉綠素가 減少됨과 同時에 Anthocyanin色素가 形成되며 廣葉植物의 早期 黃紅化, 早期落葉等이 Ozone과 關係가 있고, R.N.A., D.N.A. 蛋白質含量이 Ozone가스 接觸

\*Agricultural Sciences Institute, Surweon, Korea.

\*\*Gyeongbug Provincial Office of Rural Development, Taegu, Korea.

時間에 比例하여 減少한다고 하였고(7), 古川等(8)은 가스接觸으로 光合成速度가 減少되고 氣孔이 閉鎖되며 暗呼吸速度가 增加하는等 光合成代謝를 阻害한다고 하였다. 또한 Keen(9)은 콩에 Ozone가스를 接觸하여 콩잎에 斑點에 나타나고 銀白色으로 退色되는 同時에 Isoflavonoid의 化合物인 Coumestrol이 많이 蓄積된다고 報告하고, Flagler等(10)은 牧草에 亞黃酸가스를 接觸한 結果 Ozone가스가 亞黃酸가스보다 牧草의 品質에 影響을 더 주었으며 Ozone가스는 全蛋白質, 粗脂肪, 粗纖維, 全遊離糖含量을 減少시키고 粗蛋白質, 粗灰分, 地上部의 可溶性糖含量等을 增加시켰다고 報告하였다.

筆者等은 Ozone가스에 依한 水稻葉이 生化學的變化를 究明하기 爲하여 曙光벼와 眞珠벼를 供試하여 Ozone가스를 接觸한 後에 被害葉率 被害葉의 顯微鏡的觀察, Peroxidase 및 Polyphenol oxidase活性變化, peroxidase의 電氣泳動 pattern, flavonoid含量變化, 各種 抽出液別 蛋白質의 含量, 糖含量變化等을 調査報告하는 바이다.

## 材料 및 方法

### 가. 供試作物栽培

砂壤土를 1/5000 wagner pot에 4kg씩 充填하고 曙光벼는 NPK=15:9:10, 에 該當되는 量인 尿素 8.9g, 重過石 5.2g, 加里 4.4g, 眞珠벼는 NPK=12:7:8에 該當되는 量인 尿素 6.95g, 重過石 4.04g 加里 3.4g를 土壤과 골고루 섞어 基肥로 施用하고 pot當 水稻苗 4株씩을 移秧하여 慣行方法에 準하여 栽培하였다.

### 나. 가스發生 및 接觸

가스發生은 第一報와 同一하며 移秧後 23일에 0.3 ppm의 Ozone가스를 第一報와 同一하게 接觸하였다(11).

### 다. 被害症狀, 및 被害葉率

被害症狀 및 被害葉率은 第一報와 同一한 方法으로 調査하였다.

### 라. 葉의 生化學的 分析

○酵素活性: 水稻生體葉試料를 Trisbuffer (pH 7.4)에서 sea sand와 함께 粉碎하여 10,000 rpm.에서 30分間 遠心分離하고 그 上澄液을 粗酵素로 하였으며 peroxidase는 guaiacol과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 polyphenol oxidase는 Catechol을 基質로 하여 活性化測定은 Spectrophotometer로 波長 500nm와 420nm에서 30초 間隔으로 3回 測定하였다(12).

○peroxidase의 電氣泳動: 0.1% ascorbic acid, 0.1% cysteine HCl, 17% sucrose를 包含한 Trisbuffer (pH 7.4)溶液에 peroxidase를 抽出하여 7.5% acryla-

mid Gel에서 5.5mm×10cm管을 使用하여 전개하였으며 benzidine 혹은 guaiacol과 H<sub>2</sub>O로 發色하였다(13).

○Flavonoid: 水稻試料를 ethanol에 抽出後에 木谷清美方法(14)에 따라 測定하였으며 rutin當量으로 表示하였다.

○蛋白質: 各抽出液(Tris·HCl Buffer, pH 7.5), H<sub>2</sub>O, 10% NaCl, 70% Ethanol, 0.05N NaOH) 一定量을 生體葉試料에 넣어 Sea sand와 함께 mortar內에서 微細하게 粉碎하여 遠心分離後 上澄液에 10% TCA를 加하여 蛋白質을 沈澱시켜 0.1N-NaOH로 다시 溶解하여 Lowry法(15)으로 定量하였다.

○糖含量: 乾燥된 水稻葉을 80% Ethanol로 75—80°C에서 還流冷却하면서 抽出하여 減壓濃縮後 5% ZnSO<sub>4</sub>, 0.3N Ba(OH)<sub>2</sub>로 除蛋白한 後 Somogyi-Nelson 方法(16)으로 定量하였다.

### 다. 顯微鏡調査

水稻葉을 hand-section하여 橫斷面 및 表皮部分을 光學顯微鏡으로 100—400倍의 倍率로 檢鏡하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 被害症狀

벼 一般系品種인 眞珠벼와 多收系品種인 曙光벼에 對하여 Ozone가스를 接觸시킨 結果 第二報와(12)같이 銀白色 또는 赤褐色의 微細한 斑點이 葉脈사이를 따라 무수히 나타났으며 赤褐色의 斑點은 Ozone가스 接觸當時 잎이 가리워져 그늘진곳 即 光度가 낮은데서 發生되(寫眞 1)였으며 銀白色의 斑點은 잎이 가리워지지 않고 直接太陽光이 照謝되어 光度가 높은데서 나타났다. 山添(17)等은 가스接觸時 光度가 높을수록 被害가 甚하고 光度가 0일 때는 痕跡程度라는 報告와도 一致한다. 中材(18)等은 褐色과 黃白色의 斑點이 發生되는 것을 確認하였고 나팔꽃에서도 Ozone이 接觸되면 葉의 表面에 chlorosis가 發生되고 甚한 경우는 necrosis가 發生된다는 報告가 있는데 本試驗에서도 被害症狀이 이와 類似하였다.

따라서 被害症狀은 急性被害인 경우는 銀白色 혹은 灰白色으로 나타나고 慢性被害인 경우는 赤褐色의 微細한 斑點으로 나타나는 것으로 判斷되며 多收系品種인 曙光벼에서는 主로 褐色斑點으로 一般系品種인 眞珠벼에서는 銀白色 현은 灰白色斑點으로 나타나는 것은 多收系인 曙光벼가 耐性이 眞珠벼보다 크기 때문에 赤褐色斑點으로 나타나며 眞珠벼는 感受性인 品種이기 때문에 銀灰色으로 나타난다고 思料된다.

Ozone가스 被害葉을 顯微鏡으로 觀察한 結果 寫眞 2

와 같이 氣孔周邊에 赤褐色의 色素가 沈着되어 있는것을 確認하였는데 松岡<sup>(19)</sup> 등에 依하면 Ozone가스로 인한 被害症狀과 赤枯病被害症狀이 類似한 樣狀을 나타내나 赤枯病은 一定한 傾向이 없이 赤褐色의 色素가 分布되어 있으나 Ozone가스被害의 경우는 氣孔周邊에 分布되었다고 報告하여 Ozone가스 被害와 赤枯病被害狀은 區分이 된다고 생각된다. 또한 Ozone과 같은 系列인 PAN은 잎의 뒷面에 赤褐의 斑點이 生成된다고 하며<sup>(20)</sup> Led better<sup>(21)</sup> 등은 Ozone가스는 palisacle parenchyma를 제일먼저 공격한다고 하였다. 따라서 Ozone은 光의 觸媒로 葉의 組織을 破壞하는 것으로 생각된다.

2. 被害葉率

水稻의 曙光벼 및 眞珠벼를 供試하여 0.3 ppm의 Ozone가스를 0, 1, 3, 5時間 接觸한 結果 表 1과 같이 曙光벼가 眞珠벼 보다 各 處理 共히 被害葉率이 적게 나타났으며 時間이 길어짐에 따라 被害葉率이 增加되었다. 前報에서와 마찬가지로 曙光벼는 Ozone가스에

Table 1. Degree of injury caused by ozone exposure to foliage of rice 3 days after exposure.

Varieties	Fumigation time (hours)			
	0	1	3	5
Seokwangbyeo	—	4.0	8	12
Jinjubyeo	—	12	19	33

(unit: %)

抵抗性이었고 眞珠벼는 感受性인 品種으로 나타났으며 鄭<sup>(22)</sup> 등도 Japonica Type이 感受性이며 Indica-Japonica hybrid Type이 抵抗性이라고 報告하였는데 馬場<sup>(23)</sup> 등은 品種間 抵抗性의 差異를 氣孔開度, 莖葉中 Eh와 關係가 있다고 하였고 鄭等<sup>(22)</sup>은 水稻體內 abscisic acid 含量과 關係가 있으며 abscisic acid含量이 높은 경우 抵抗性이 높다고 하였고 窒素增施로 感受性이 增加한다고 하여 이들 差異는 品種間에 生理的 特性으로 생각된다.

3. 酵素의 活性

Ozone가스를 接觸한 後에 水稻葉內 酵素의 活性은 表 2에서와 같이 peroxidase의 活性이 曙光벼, 眞珠벼 모두 對照區에 比하여 Ozone가스 接觸時間이 增加함에 따라 增加하였다. 即, Ozone가스의 被害가 많을수록 peroxidase의 活性이 增加되었다. 中村等<sup>(24)</sup>은 Ozone가스에 노출된 植物은 老化가 促進되고 光合成等 生理的 活性이 衰退하고 呼吸量이 增加된다는 報告로 보아 Ozone가스 接觸으로 植物體內의 peroxidase活性 增加로 細胞의 老化가 促進되고 生理的 活性이 減退되어 水稻葉에 被害를 가져오는 것으로 생각된다. 또한 그림 1에서와 같이 對照區는 增加가 없었으나 Ozone가스 接觸後에 日字經過에 따라서 그 活性이 增加되었으며 Ozone가스被害가 큰 眞珠벼가 曙光벼보다 그 活性의 增加幅이 크게 나타났다. 또한 polyphenol oxidase도 曙光벼 眞珠벼 모두 Ozone가스 接觸時間이 增加함에 따라 增加되었다. Golbeck<sup>(25)</sup> 등에 依하면 polyphenol oxidase는 chloroplast內 thylakoid membrane에 latent state로 結合되어 있으며 membrane의 構造的 變化로 活性化된다고 하였다. polyphenol oxidase의 活性化로 光條件下에서 active oxygen의 形成이 촉진되며<sup>(26)</sup>, 生成된 active oxygen에 依해 光合成色素인 chlorophyll a와 carotenoid가 破壞된다고 하였다<sup>(27)</sup>. 따라서 Ozone가스에 依해 active oxygen 生成이 촉진되어 水稻葉의 色素가 破壞되어 被害가 發生되는 것으로 생각된다.

Ozone가스接觸後 peroxidase의 isozyme을 調査한 結果 그림 2와 같이 a, b, c, band의 變化를 가져왔으며

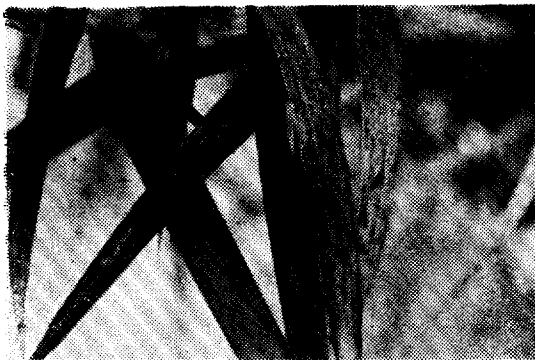


Photo. 1. Typical symptoms of ozone Toxicity on rice leaf

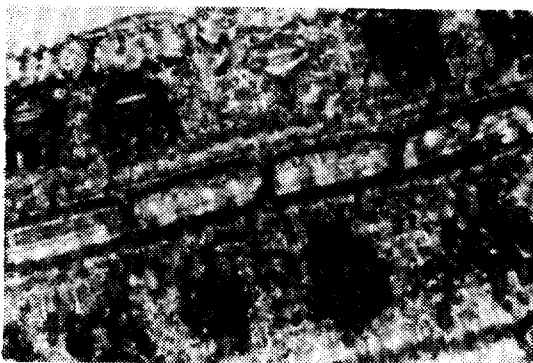


Photo. 2. Photomicrograph of ozone induced flecks on rice leaf, showing the red-brown pigment adjoining of Stomata

Table 2. The activities of peroxidase and polyphenoloxidase in rice leaves 1 day after ozone fumigation.

Enzyme	Varieties	Fumigation time (hours)			
		0	1	3	5
Peroxidase*	Seokwangbyeo	1.06	2.63	2.81	2.75
	Jinjubyeo	1.07	2.01	2.80	3.27
Polyphenol oxidase**	Seokwangbyeo	0.389	0.653	0.647	0.838
	Jinjubyeo	0.427	0.634	0.641	0.980

\* Δ O.D/mg protein/30 sec

\*\* Δ O.D/mg protein/min

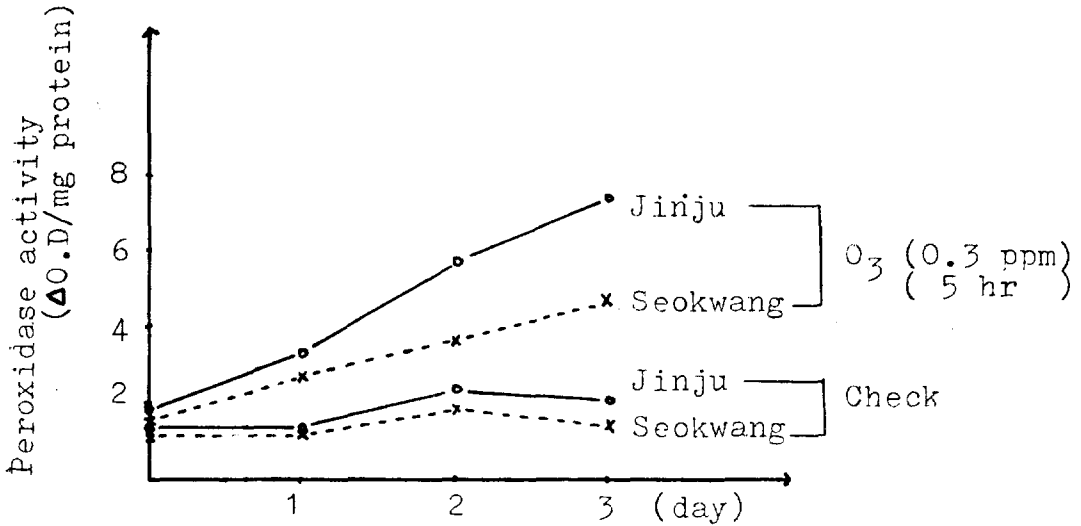


Fig. 1. Periodic change of peroxidase activity in rice leaves after ozone fumigation

d, e, F, G, band는 對照區와 類似하였다. Peroxidase의 Isozyme은 外部의 stress에 對해서 그 pattern이 變化한다는 報告가 있다<sup>(28,29)</sup>. 따라서 Ozone가스接觸으로 peroxidase의 構造狀에 變化를 가져와 peroxidase의 分子量의 變化로 band의 變化가 나타난 것으로 생각된다.

4. Flavonoid含量

曙光벼와 眞珠벼에 Ozone가스를 時間別로 接觸한 結果 表 3과 같이 Ozone가스接觸時間이 길어짐에 따라 Flavonoid含量이 增加하였으며 曙光벼가 眞珠벼보다 顯著히 增加되었다. Keen<sup>(7)</sup> 등은 Ozone가스 接觸으로 콩잎에 被害斑點이 나타나고 銀白色으로 退色되는 同時에 isoflavonoids의 化合物인 coumestrol가 蓄積된다는 報告로 보아 Ozone가스 被害時에 Flavonoid含量이 增加되어지는 것으로 思料되며, 被害率 增加에 따라서 Flavonoid含量도 增加되었으나 被害率이 큰 眞珠벼에서 Flavonoid含量의 增加幅이 적고 曙光벼보다 含量이

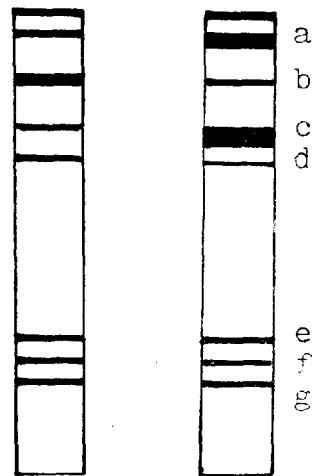


Fig. 2. Electrophoretic patterns of peroxidase 3 days after ozone fumigation

Table 3. Flavonoid contents in rice leaves 2 days after ozone fumigation (unit: mg/g F.W. rutin equivalent)

Varieties	Fumigation time (hours)			
	0	1	3	5
Seokwangbyeo	2.62	2.91	3.28	3.41
Jinjubyeo	2.75	2.98	3.00	2.93

적게 나타났다. 따라서 이는 벼品種特性에 따라 含量 差異가 있기 때문으로 생각되며 單一品種에서는 Ozone 가스 被害率增加에 따라서 Flavonoid含量이 增加되는 傾向이었다.

5. 蛋白質含量

Ozone가스를 水稻에 接觸하고 抽出溶液의 種類에 따른 抽出溶液別 蛋白質含量을 調査한 結果 表 4와 같이 單純히 蒸溜水로 抽出할 경우 Ozone가스 接觸時間이 增加함에 따라 減少되었다. 即 Ozone가스 被害가 增加함에 따라서 水溶性蛋白質 含量이 減少된다는 것을 意味하며 水溶性蛋白質含量은 被害率이 큰 眞珠벼가 曙光벼보다 全體的으로 높았다.

10% NaCl 可溶性蛋白質含量은 水溶性蛋白質보다 그 含量이 높았으며 Ozone가스 處理時間이 增加함에 따라 水溶性蛋白質과 같은 傾向으로 減少되었다.

70% Ethanol可溶性蛋白質含量은 그 含量이 매우 낮으나 眞珠벼는 Ozone가스 接觸時間增加에 따라서 增加하나 曙光벼는 一定한 傾向이 없었다.

0.05N NaOH 可溶性蛋白質含量은 水溶性이나 10% NaCl可溶性含量에 倍程度 많았으며 Ozone가스 接觸時

間이 增加함에 따라서 減少되었다.

Buffer (pH 7.4)溶液에 可溶性인 蛋白質含量은 水溶性含量과 類似한 傾向이며 Ozone가스接觸時間이 增加함에 따라서 減少하였으나 水溶性蛋白質과는 反對로 曙光벼가 眞珠벼 보다 그 含量이 많았다. Flagler<sup>(10)</sup> 등은 牧草에 Ozone가스와 亞黃酸가스를 接觸한 結果 Ozone가스가 牧草品質에 惡影響을 주었으며 蛋白質含量도 減少하였다고 報告하여 Ethanol抽出性蛋白質을 除外한 其他抽出物質에 抽出되는 蛋白質과는 같은 傾向을 나타내었다.

6. 糖含量

Ozone가스를 接觸한 後에 水稻葉中 糖含量은 表 5와 같이 還元糖含量은 曙光벼에서는 一定한 傾向이 없었으나 眞珠벼에서는 增加하는 傾向이며 非還元糖含量은 曙光벼에서는 增加하는 傾向이었으나 眞珠벼는 一定한 傾向이 없었다.

還元糖含量이 增加하는 것은 非還元糖인 蛋白質과 糖 및 脂肪複合體가 Ozone가스의 影響을 받아 還元糖으로 變化되기 때문에 思料되나 非還元糖이 增加하는 것은 研究의 對象으로 생각된다.

要 約

Ozone가스에 依한 水稻葉의 生化學的變化를 究明하기 爲하여 水稻의 曙光벼와 眞珠벼를 供試하여 分蘖期에 0.3ppm의 Ozone가스를 0, 1, 3, 5, 時間別로 接觸한 後 被害率과 酵素의 活性, Flavonoid, 蛋白質含量을 調査한 結果는 다음과 같다.

1. Ozone가스의 急性被害症狀는 銀白色의 斑點이고

Table 4. Protein contents in rice leaves at the 3 days after ozone fumigation

(unit: mg/g D.W.)

Extraction solution	Varieties	Fumigation time (hours)			
		0	1	3	5
Distilled water	Seokwangbyeo	36.0	35.4	22.8	19.1
	Jinjubyeo	48.5	40.4	30.6	25.8
10% NaCl	Seokwangbyeo	48.5	38.1	32.9	21.1
	Jinjubyeo	55.7	43.3	36.5	34.1
70% EtOH	Seokwangbyeo	2.2	1.9	3.1	1.1
	Jinjubyeo	1.9	3.3	4.5	7.8
0.05N NaOH	Seokwangbyeo	111.0	98.6	85.7	84.6
	Jinjubyeo	113.1	102.9	92.7	86.3
Buffer (Tris. HCl Buffer pH 7.4)	Seokwangbyeo	41.3	36.0	28.6	21.7
	Jinjubyeo	38.6	28.0	21.8	16.9

Table 5. Sugar contents in rice leaves at the 3 days after ozone fumigation

(unit: mg/g. D.W.)

Sugar	Varieties	Fumigation time (hours)			
		0	1	3	5
Reducing sugar	Seokwangbyeo	10.30	13.74	9.73	10.20
	Jinjubyeo	9.82	16.66	17.72	16.95
Non reducing sugar	Seokwangbyeo	9.65	12.50	14.61	11.54
	Jinjubyeo	8.18	4.64	12.50	9.93

慢性被害症狀은 赤褐色의 斑點으로 나타났다.

2. 被害葉의 赤褐色의 被害斑點은 주로 잎의 前面氣孔周邊에 發生되었다.

3. 曙光벼가 眞珠벼보다 葉被害率이 적었다.

4. Ozone가스 接觸으로 葉中 peroxidase 및 polyp-phenol oxidase活性이 增加되었다.

5. 被害後 時間이 經過함에 따라 眞珠벼가 曙光벼보다 peroxidase活性이 높았다.

6. peroxidase를 電氣泳動한 結果 對照葉과 被害葉間에 band의 差異가 있었다.

7. Ozone가스被害로 葉內 Flavonoid 및 還元糖含量이 增加하고 蛋白質含量이 減少하였다.

大氣汚染研究, 8(3). 308.

8. 古川昭雄, 門田正也(1973): O<sub>3</sub>による ポプラ葉의 光合成, 光呼吸, 暗呼吸의 性質에 對한 影響에 對하여 大氣汚染研究, 8(3). 376.

9. Keen W.T. and O.C. Taylor. 1975. Ozone injury in soybeans isoflavonoid accumulation is related necrosis, Plant Physiol, 55, 731-733.

10. Flagler R.B. and V.B. Youngner. 1985. Ozone and sulfur dioxide effects on tall fescue. II. Alteration of quality constituents. J. Environ. Qual. Vol. 14. No. 4: 463-466.

11. 金福榮, 趙在規, 朴英善(1982): 水稻生育에 對한 Ozone가스의 影響에 關한 研究, 1. Ozone가스에 對한 水稻生育時期別 影響, 韓國環境農學會誌, 1 (2). 123.

12. Abramoff. P. and Thomson, R.G. (1972): Cellular Respiration, Laboratory Outlines in Biology II. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 113-143.

13. Gabriel, O. (1971): Analytical Disc Gel Electrophoresis. Methods in Enzymology 22: 565-578.

14. 木谷清美, 大畑貫一, 久保千冬(1972): ごま葉枯病罹病イネ의 代謝의 變動, 四國農試報, 24: 1-26.

15. Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Randall. (1951): Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

16. 久保田正光(1974): 栽培植物分析測定法 養賢堂(日本東京): 328-333.

17. 山添文雄, 眞弓洋一(1976): 大氣複合汚染防止에 關한 研究(第2報), 日本農技研肥料化學資料, 172. 1.

18. 中村拓, 橋本俊一, 太田保夫, 沖野政行(1975): 光化學オキシダントによる稻의 被害에 對한, 第一報, 埼玉縣 鴻巣市에 對한 被害發生と 症狀, 日作紀, 44(3). 312.

參考文獻

1. Elkies and Ormrod, D.P. (1979). Leaf diffusion resistance response of three petunia cultivars to ozone and or sulfur dioxide, J. Air Pollut., Control Assoc. 29(6), 622.

2. 金福榮, 金善寬, 金福鎮(1982): 水稻生育에 對한 Ozone가스의 影響에 關한 研究, 2. Ozone가스에 對한 水稻品種別 影響, 韓國環境農學會誌, 1(2). 129.

3. 中村拓, 松中昭一(1974): 大氣汚染에 對한 指標植物의 利用, 1. 光化學 オキシダント에 對한 아사카오의 感受性 と 光의 變動要因, 日作紀 43 (4). 517.

4. 大韓民國學術院(1973): 大氣汚染物質에 對한 植物의 感受性, 環境問題報告書, pp. 3~43.

5. 野內勇, 大平俊男, 澤田正, 小口邦子, 古明地哲人(1973): 오존에 의한 植物被害症狀, 大氣汚染研究, 8(2). 113.

6. 野內勇, 大平俊男(1973): 오존의 植物色素에 對한 影響, 大氣汚染研究, 8(2). 120.

7. 野內勇, 大平俊男, 大橋毅(1973): 大氣汚染의 植物에 及ぼ는 影響, 탄닌含量에 對한 오존의 影響,

19. 松岡義浩, 高崎強, 森川昌記(1976) : 光化學オキシダントによる 水稻可視的 障害の研究, 第一報, 光化學オキシダントによる 葉障害原因の 立證, 日作紀, 45(1) : 124.
20. Haagen-Smit, A.J., (1952) : Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog ; Ind. Eng. Chem. 44 : 1342-46.
21. Led better; M.C., Zimmerman, P.W., and Hitchcock, A.E. (1959) : The histopathological effects of ozone on plant foliage, Conrib. Boyce Thompson Inst., 20 : 275-82.
22. 鄭永浩, 中村拓, 大田保夫(1980) : イネの光化學オキシダト 障害に關する 生理的研究, 第一報, イネの アブシシン酸(ABA)含量の 品種間差異と オゾン抵抗性との 關係, 日作紀, 49(3). 456.
23. 馬場赴, 寺岡幸(1979) : 作物の 大氣汚染被害の 發生機構に關する 生理的研究, 農學研究, 57. 163.
24. 中村拓, 坂齊(1978) : 光化學オキシダントにする稻の被害にへいて 第3報, オゾンガイネ葉の 諸生理活性に及ぼす影響, 日作紀, 47(4). 707.
25. Golbeck, J.H., and Cammarata, K.V. (1981) : Spinach thylakoid polyphenol oxidase. Isolation; activation, and prorties of the native chloroplast. enzyme.
26. Elstner, E.F., Konze, J.R., Selman, B.B., and Stoffer. (1976) : Ethylene formation formation in suger beat leaves, Evidence for the Involvement of 3-hydroxy tyramine and polyphenol oxidase after wounding. Plant physiol. 58 : 163-168.
27. Takeshi, Sakaki, Noriak: Kondo and Kiyoshi Sugahara. (1983) : Breakdown of photosynthetic pigments and lipids in spinach leaves with ozone fumigation: Role of active oxygens. Physiol. Plant 59 : 24-38.
28. Farkas, G.L., and Mark. A. Stahmann.(1965) : On the nature of changes in peroxidase isozymes in bean leaves infected by southern bean mosaic virus. Phytopathol. 56 : 669.
29. Solymosy, F., J. Szirmai, L. Beczner, and G.L. Farkas. (1967) : Changes in peroxidase-isozyme patterns induced by virus infection. Virology. 32 : 117-121.