

## 亞硫酸가스에 의한 農作物의 被害生理 減收率 및 被害輕減에 關한 研究

韓 基 確

農業技術研究所

(1973.9.1. 수리)

## Effect of Sulfur Dioxide on Crops - Physiology of Lesion, Yield Loss, and Preventive Measures.

Ki Hak, Han

Institute of Agricultural Science

Suweon, 170 Korea

(Received, September 1, 1973)

### SUMMARY

Crop damages caused by sulfur dioxide poisoning were studied with respect to physiology of lesion, yield loss and prevention measures. The results are summarized as follows;

#### 1. On the physiology of injury:

The sulfur dioxide gas did not affect the pH and  $E_h$  values of the tested leaf juice of plants. Peroxidase activity was inhibited just after sulfur dioxide treatment but gradually recovered to normal after 10 hours.

Methanolic chlorophyll solution was instantaneously and irreversibly bleached by the addition of sulfur dioxide gas with no evidence of pheophytin formation. It seems that chlorophyll forms colourless addition product or is reduced to colourless form with either sulfur dioxide gas or sulfurous acid. Chlorophyll in the chloroplast was also bleached by the sulfur dioxide treatment, as in the case of methanolic solution of chlorophyll, except that the rate of bleaching was rather slow, requiring 1—2 hours. It appears that the most inflicting cause of sulfur dioxide gas to plants may be the destruction of chlorophyll by the poisoning gas.

#### 2. On the effects to crop yield:

The crop yield losses were proportional to the concentration of inflicting sulfur dioxide gas. The order of tolerance of the crops to the sulfur dioxide gas was as follows - chinese cabbage being the most susceptible; wheat, paddy rice, barley, soybean, welsh onion, radish and chinese cabbage. The crucifer crops were generally found more susceptible than other crops studied. With respect to the growing stages of crops exposed to sulfur dioxide gas, it was found that the flowering stage was the most susceptible followed by panicle forming, milky and tillering in the decreasing order of susceptibility.

#### 3. On the preventive measures of yield losses:

Soil applications of potassium, wollastonite, lime or spray of lime water were effective to prevent yield losses from sulfur dioxide fumigation of paddy rice, barley, and soybeans. The most responsive treatment was lime water spray for all crops tested. In case of sulfur dioxide fumigated paddy rice, the lime water spray also increased carbon assimilation.

## 緒 論

19世紀 中葉부터 이미 金屬製鍊所에서 排出되는 燃燒가스가 人類保健과 作物生育에 障害을 주며 그 被害原因이 亞黃酸가스에 依한 것으로 알려진 이래 産業의 多樣化는 大氣의 污染源으로 弗化水素, 鹽素 가스 그리고 最近에는 ozone, NO<sub>x</sub>, 炭化水素, PAN等에 이르기 까지 많은 污染源이 알려져 大氣汚染問題는 漸次 複雜性을 띄게 되었다.

이들 中 亞黃酸가스는 그 毒性 및 排出量으로 보아 아직도 가장 重要한 污染源의 하나이며 植物被害에 對하여는 100餘年前부터 많은 研究가 遂行되어 왔으나 아직도 解決하지 못한 問題가 많이 남아있다. 硫黃은 植物이 比較의 多量으로 要求하는 必須元素의 하나이나 그 化學形態 및 濃도에 따라 植物에 주는 影響은 다르며 亞黃酸가스는 低濃度에서도 植物에 被害를 줄 수 있는 硫黃化合物 中 가장 毒性이 강한 것의 하나이다.

우리나라도 急激한 經濟發展과 더불어 大規模의 産業工場이 工業園地를 비롯하여 全國各地에 걸쳐 建設一路에 있으며 이들 工場의 原動力으로 쓰이는 油類나 石炭等의 燃燒 및 一部化學工場의 生産過程에서 排出되는 亞黃酸가스는 大氣汚染의 根源이 되고 있다. 特히 油類의 國內消費量이 激增하고 있는 趨勢는 앞으로 亞黃酸가스에 依한 大氣汚染의 深刻性을 말해 주고 있으며 이로 因한 農作物의 被害面積은 增加되어 農業生産量에 미치는 影響도 至大할 것이다.

그러나 아직 이에 對한 國內의 研究는 活潑하지 않다. 이에 著者는 1968년부터 이와같은 農作物의 被害에 關한 調查研究를 實施하였고 그 中 被害面積이 가장 큰 亞黃酸가스에 依한 農作物의 被害生理를 究明하려고 하였으며 이 가스에 依한 農作物의 種類 및 生育時期別로 받는 被害가 農作物收量에 주는 影響, 即 減收率을 알아보고 이 가스로부터 農作物을 保護하여 被害를 輕減할 수 있는 方法等을 試驗하여 그 結果를 發表하는 바이다.

本研究에 있어 많은 指導와 鞭撻을 베풀어 주신 恩師, 서울大學校農科大學 李春寧博士님, 그리고 農業技術研究所 所長 金泳燮博士님께 感謝를 드리

며 아울러 實驗과 成績整理에 協助하여 주신 同僚 職員들에게도 感謝를 드리는 바이다.

## I. 研究史

硫黃은 植物의 必須元素로서 作物의 蛋白質을 비롯한 數種의 含硫黃物質의 形成에 必要不可缺한 元素이다. 硫黃酸化物인 亞黃酸가스는 大氣中에 微量으로 存在하면 作物의 營養源으로 利用되나<sup>(38, 63, 64)</sup> 19世紀(1850年頃)부터 製鍊地帶에서 일어난 煤煙은 大氣中 亞黃酸가스의 過多에 依한 것으로 알려진 以後 1905年 製鍊所隣近의 住民에 依하여 被害에 關한 提訴를 비롯하여 여러 學者의 觀心을 끌게 되었다.<sup>(22)</sup>

植物에 依한 氣體의 導入은 잎에 依하여 일어나며<sup>(75)</sup> 亞黃酸가스는 植物의 잎에 가장 毒性이 강한 것으로 알려졌고, Zimmerman等 (1934)<sup>(76)</sup>은 葉部位別로 보아 惹葉이나 老葉은 盛葉보다 萎凋된 잎은 正常葉보다, 그리고 낮에 處理한 잎은 밤보다 亞黃酸가스에 依한 被害에 敏感하였으며 이는 氣孔의 開放때문 일 것이라고 했다. Thomas와 Hill(1935)<sup>(60)</sup>도 alfalfa 잎에 依한 亞黃酸가스의 吸收는 葉의 破壞를 일으키며 亞黃酸가스의 濃도에 比例하나 低濃度에서는 잎의 破壞없이 吸收되며 잎이 스스로 中和 또는 酸化할 수 있기 때문이라고 했다.

Setterstrom등(1938)<sup>(46)</sup>도 亞黃酸 가스處理로 炭素同化作用이 沮害되었으며 가스 接觸이 끝난 10日 後에는 65%에서 80%로 回復되었다고 했다. 또한 그들은<sup>(46)</sup> 4.5°C 以下에서 그리고 相對濕度 60% 以下에서는 亞黃酸가스에 對한 抵抗性이 컸으며 土壤中의 水分含量에 따라 큰 變化를 주지 않았으나 萎凋點에 達하면서, 不良土壤에서, 그리고 暗所에서 자란 植物은 亞黃酸에 強하다고 했다.

Whitby<sup>(70)</sup>도 光, 溫度, 濕度等の 環境條件은 氣孔의 開閉에 關係되며 氣孔의 開放은 亞黃酸가스의 被害를 助長한다고 했고 Barton(1940)<sup>(6)</sup>도 種子의 發芽 및 發芽期間에 影響을 준다고 했다. 葉綠素의 破壞에 對하여는 1930年代의 여러 學者들<sup>(8, 45, 46, 47, 61, 62, 67, 71, 76)</sup>에 依하여 報告되었으며 Das Gupta<sup>(11)</sup>等은 Mango 果實에서 Pearson (1965)<sup>(40)</sup>은 藜苔類에서 確認하였다. Solberg등 (1956)<sup>(48)</sup>

은 亞黃酸가스로 小麥 잎의 갓솨組織(mesophyll)과 下部 表皮組織이 第一 먼저 다음이 올타리組織 中の 葉綠體가 變形되고 最後에 上部 表皮細胞가 變形되어 심하면 破壞된다고 했다. 그러나 單位 面積當 氣孔細胞의 數와는 無關하였다고 했으며 Zimmerman(1956)등<sup>(79)</sup>도 氣孔細胞의 數와 感受性 과는 關係가 無하다고 했다. 또한 Heck等(1965)<sup>(18)</sup>은 大氣汚染에 依한 植物의 感受性은 植物의 種類, 品種 그리고 그 環境에 따라 다르며 有害가스의 接觸以前에 氣孔이 열려 있어야 被害를 준다고 했다.

Wieler(1933)은<sup>(71)</sup> 亞黃酸 가스 處理로 同化量이 減少되었으며, 이는 잎이 脫色되었기 때문이며 酸에 依한 葉綠體中の Fe가 可溶化되기 때문이라고 했으나 Joslyn等(1938)<sup>(21)</sup>은 0.001~0.002 N HCl酸性에서 chlorophyll이 24時間內에 그 70%가 pheophytin으로 轉換되었다고 했고 野內(1973)<sup>(43)</sup>은 chlorophyll a/b가 亞黃酸가스로 明白히 減少했고 xanthophyll/carotenoide의 比率이 增加했다고 했다. Rao等(1965)<sup>(41)</sup>은 藜苔類에 亞黃酸 가스를 處理하므로 chlorophyll이 漂白되었으며 이는 高濃度일수록 심했고 亞黃酸과  $Mg^{++}$ 의 量이 增加하고 chlorophyll의 吸光曲線도 無處理와는 달리 667 및 662 $m\mu$ 에서 peak를 나타내 pheophytin a를 檢出했으며 이는 亞黃酸이 和水하여 생긴  $H_2SO_3$ 가 解離하여  $H^+$ ion을 生成하며 이것이 chlorophyll의  $Mg^{++}$ 와 置換하므로 pheophytin이 生成할 것이라고 했다.

Thomas等(1944)<sup>(64)</sup>은 硫黃이 缺乏하는 條件에서 많은 量의 亞黃酸 가스가 吸收되며 吸收된 亞黃酸은 即時 有機態로 轉換되기 爲하여 黃酸鹽(sulfate)이 된다고 했다. 또한<sup>(65)</sup>이 sulfate는 cystine, methionine等 有機硫黃化合物이 된다고 했으며 Fried(1948)도<sup>(14)</sup> 이를 確認하고 大氣中の 亞黃酸가스는 植物體의 硫黃營養源이 된다고 했다.

Harrison(1944)도<sup>(17)</sup> 잎에서 吸收된 亞黃酸가스는 잎에 골고루 分布되며 種子에 서는 蛋白質의 分布와 같다고 하여 有機態가 되는 것을 確認했다. 그러므로 Thomas<sup>(66)</sup>는 準致命的(sub lethal)인 濃度로 吸收된 亞黃酸은 sulfate가 되고 이것이 蓄積되므로 原形質分離를 이끈다고 했다.

한편 Thomas等<sup>(65)</sup>은 앞의 研究에서 亞黃酸 가스 處理後, alfalfa의 葉汁液의 pH變化는 顯著하지 않았고 이는 有機鹽基에 依하여 中和되기 때문이라고 하였으며 電位適定法에 依한 緩衝力은 減

少되나 서서히 回復이 된다고 했다. 그러나 淺田(1966)<sup>(4)</sup>등은 吸收된 亞黃酸가스와 植物體 內的 aldehyde 및 ketone 등과 結合하여  $\alpha$ -hydroxy-sulfonate가 되고 光磷酸化反應을 阻害한다고 했고 Shibuya(1963)<sup>(44)</sup>는 藻類에서 20餘種의 sulfonate를 檢出했고 Zelitch(1957)<sup>(74)</sup>은 이 化合物이 lactic acid의 酵素的 酸化를 阻害하며 田中等(1970)은<sup>(52)</sup> serine의 合成을, Asada<sup>(3)</sup>는  $CO_2$ 의 固定을 阻害한다고 했다. Adams(1969)<sup>(1)</sup>은 大豆葉에서 ATP-sulfurylase의 活性이 葉中の 硫黃含量과 關係하며 Ryrie(1971)<sup>(43)</sup>도 無機黃酸鹽이 葉綠體의 光磷酸合成作用을 阻害 한다고 했다.

Thomas等(1950)<sup>(69)</sup>은 植物體內 酵素中 catalase의 活性은 亞黃酸으로 阻害되나 diastase는 增加하였고 oxidase나 peroxidase의 活性은 結論을 내릴 수 없다고 했다. 그러나 Reddi等<sup>(42)</sup>은 사과나무에서 分離된 peroxidase의 活性이 亞黃酸 處理로 濃度에 따라 阻害되었으며 Cruess等<sup>(8)</sup>도 살구 果實에 含有된 peroxidase는 亞黃酸 6,500ppm에서 完全히 破壞되었다고 했다. 다른 酵素의 活性 阻害에 關한 報告<sup>(53,78)</sup>도 있으며, 酵素蛋白의 SH基를 blocking하기 때문이라고 했다.

亞黃酸 가스에 依한 農作物의 被害症狀은 여러 사람<sup>(7,15,19,25,27,33,76,78)</sup>에 依하여 觀察되었으며 一般的으로 葉脈을 따라 灰白色이나 褐色의 斑點을 나타내며 chlorosis나 necrosis를 일으키고 被害가 심하여지면 煙斑이 葉脈을 끊어 落葉되고 急激한 被害가 나타나지 않은 濃度에서는 葉綠素가 減少하여 淡黃色으로 되나 이러한 被害症狀은 作物의 種類에 따라서 相異하며 棉花의 경우 葉裏面에 表皮가 分離되어 銀色(silvering)으로 되고 針葉樹에서는 暗綠色의 針葉이 黃褐色으로 되고 다음 赤褐色으로 된다고 綜合하고 있다.<sup>(23)</sup> 1933年 Hill과 Thomas는<sup>(19)</sup> alfalfa에 對한 亞黃酸 가스의 被害를 葉脈間 및 葉邊을 脫色시키는 急性被害(acute injury)와 黃色의 斑點이나 黃化되는 黃化性被害(chlorotic injury)로 區分하였으며 같은해 Wieler<sup>(71)</sup>도 酸 ion에 依하여 直接的으로 死滅하는 急性毒(acute injury)과 同化作用을 阻害하는 慢性毒(chronic injury)으로 區分하였다.

作物의 被害症狀과 農作物 被害率과의 關係는 密接한 것으로 Thomas와 Hill(1937)<sup>(61)</sup>은 被害症狀이 可視的인 被害를 보이지 않는 限 原形質이나 植物組織에 不可視的인 被害(invisible injury)도 보이

지 않는다고 하였으며 Setterstrom(1938) 등은 (45) 不可視의 被害를 밝히고자 alfalfa와 十字花科植物을 供試하여 低濃度(最低 0.05ppm—0.5ppm)로 處理하였으나 硫黃이 缺乏되는 境遇에는 오히려 硫黃의 效果는 認定하였고 收量에는 別影響을 주지 못하였다고 報告하였다.

1936年 Swain 과 Johnson은 (60) 小麥을 水耕栽培 下에 每日 몇 時間式 被害症狀이 나타나지 않은 濃度의 亞黃酸 氣를 接觸하므로 外觀上의 變化도 없을뿐더러 乾物 生産量에도 支障이 없었으며 子實收量은 오히려 無處理보다 增加하였고 成熟도 빨라졌다고 報告하였다. 1956年 Todd(69)도 “hidden damage”를 主張하였으나 1959年 Bresley(80)는 亞黃酸 氣에 依한 葉破壞와 收量과는 正의 關係가 있다고 하고 可視的 被害가 없을 때는 收量減少 및 病害도 없었다고 報告하였으며 Davis(1972)(42)는 大豆에 對하여 이를 確認한 바 있다.

作物別 被害程度에 對하여는 Zimmerman等(76,77)이 alfalfa, 大麥, clover 等은 0.4ppm에서 7時間, tomato는 0.66ppm에서 5時間, 상치, 가지等은 1ppm에서 1~2時間, 大豆, salvia等은 1ppm에서 5時間의 亞黃酸氣 處理로 枯死한다고 報告하였으며, 田中(1968)(51)等은 배 品種間에 있어 長十郎이 二十世紀 보다 被害程度가 輕하였다고 報告하였으며 谷山는 (54) 數種作物의 抵抗力을 水稻>裸麥>煙草>orchard grass>alsike clover의 順位라고 했으며 포도의 品種中 巨鯨種이 가장 低抗性이 있었다 하였다. 또한 最近 Temple(1972)(59)과 井上(1973)(20)等은 數種樹木에 對한 抵抗力을 報告하였으며, 鈴木等(1972)(49)은 大麥이 抵抗力이 強하고 다음이 시금치 小麥의 順位였다고 報告하였고 最近에는 Dochinger(1973)(13)等에 依하여 hybrid poplar에 對한 亞黃酸 氣에 抵抗力을 갖는 hybrid를 發見하여 이에 關한 研究가 始作되고 있다.

作物의 生育時期에 따른 亞黃酸氣의 被害에 對한 抵抗力은 감귤에 있어 秋期에 더욱 甚하며 冬期에는 抵抗力이 強하였다고 報告하였으며 (82) 谷山(54)等은 담배 및 裸麥은 營養生長期 보다 開化期가 가장 弱하다고 했다.

포도中 感受性이 높은 品種의 경우 被害는 萌芽期에 生育이 進行되면서 그리고 秋期에는 感受性이 높아졌으며 0.13ppm에서도 花房의 着生을 不良하게 하였다고 말하였다(45). 谷山(56)는 水稻의 開化期에 處理한 것이 開花前에 處理한것 보다 顯著한 被害率을 보여 5ppm의 亞黃酸 氣를 1日 8

時間식 10日間 處理한 結果 開花中 處理는 約 90%의 減收率을 보였다고 報告하였다.

田中(51)等은 배에서 谷山(1968)(54)等은 clover, 담배, 보리, 벼 등에서 그리고 다른 報告(85,86)는 포도 및 一般作物에서, 亞黃酸에 依한 收量減少를 報告하였으며, 栗林(1971)(24)은 被害桑葉과 누에의 生育과의 關係를 報告하였다.

Menser(1966)(80) 및 Applegate(1969)(2)는 ozene과 亞黃酸 氣가 混合되었을 境遇 落花生 및 담배의 被害에 對하여, 그리고 Matsushima(1972)(28)는 亞黃酸 氣와 HF의 複合氣는 citrus의 生育에 各가스 單一接觸보다도 더욱 甚한 被害를 준다고 報告하였다.

亞黃酸 氣源으로 부터 距離別 汚染度에 對하여 1938年 McCool(29)은 亞黃酸 氣 發生源으로부터 멀어질수록 植物體中 硫黃 및 黃酸鹽의 濃度는 減少한다고 하였으며, 1960年 Gorham(46)等은 鐵製鍊所附近의 120個所의 湖水 및 연못물의 化學的 組成을 調査 報告하였다.

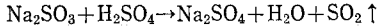
農作物 被害를 輕減시키기 爲하여는 立谷에 (57) 依하면 일찌기 米丸(1911—1918)가 水稻 및 裸麥에 加里를 施用하므로 效果를 보였다고 하였다.

1945年 田崎(10)는 炭酸 barium+石灰乳, 石灰乳, 石灰보르드 液의 亞黃酸氣에 對한 效果는 顯著하였고 炭酸바리움+石灰乳의 被害輕減效果는 水稻에 있어서 出穗期에 45%, 乳熟期에 73%, 糊熟期에 76%였으며, 大麥에 있어서는 穗孕期에 53% 出穗期에 97%, 乳熟期에 76%의 效果를 보였으며 大麥에 對한 石灰보르드液은 穗孕期에 70%, 出穗期에 99% 乳熟期에 79%의 效果를 보였고, 石灰보르드液의 石灰含量이 많을수록 그 效果는 더욱 좋았다고 했다. 立谷(1964)(57)도 石灰乳의 效果를 認定했으며 石灰乳와 OED 合劑로서 葉面을 被覆하므로 亞黃酸 氣를 中和하여 體內의 氣 侵入을 防止하고 그 效果도 持續的이라고 하였으나 松島(1965)(27)는 포도에서 石灰보르드液은 오히려 被害를 助長한다고 하였다. 한편 1968의 報告는(85) 골풀(蘭草)에 對하여 珪酸肥料 15kg/a를 施用하므로 被害輕減效果를 보였고 감귤에 acryl 樹脂被覆等은 效果的이였으며 田中(1968)(51)는 배에서 polyoxin의 處理로서 被害를 輕減시키고 品質도 向上시켰다고 報告한바 있다.

## II 材料 및 方法

### 1. 亞黃酸가스의 發生 및 接觸

供試한 亞黃酸가스는 亞黃酸소다를 濃黃酸으로 分解하여 얻은後, 다시 濃黃酸 溶液에 通過시켜 除濕하였다.



供試作物의 接觸은 乾燥된 亞黃酸가스를 vinyl film을 씌운 移動式 接觸室(1.2×1.8×1.35m)內에서 人工對流條件下에서 行하였다.

接觸室內 亞黃酸가스의 濃度は 添加하는 亞黃酸소다의 量으로 調節하였으며, 이때 必要한 亞黃酸소다는 接觸室內 亞黃酸가스를 Rosalinin-Formalin 法<sup>(9)</sup>으로 定量하였다.

亞黃酸가스 接觸方法은 被害試驗과 被害輕減試驗으로 區分하였다. 前者에 있어서는 pot에 栽培된 作物을 接觸室로 옮겨 生育期別로 1時間式 處理하였다. 作物別 亞黃酸가스의 處理濃度は 다음과 같다.

水 稻 : 1, 5, 10 ppm

麥 類 : 0.1, 0.5, 1, 3, 5 ppm

大 豆 : 0.1, 0.5, 1, 5, ppm

菜蔬類 : 0.1, 0.25, 0.5, 1, 5, ppm

後者에 있어서는 pot栽培한 作物을 開花期에 接觸室로 옮겨 亞黃酸가스 濃度 5ppm에서 1時間 處理하였다.

### 2. pH 및 Eh 測定

pH 및 Eh 測定에 쓰인 배추는 農業技術研究所에 隣接한 圃場(禮山統)에서 栽培한 農民 6號로 8月 22日에 播種하여 50日된 배추를 試驗材料로 하였다. 亞黃酸가스 接觸方法은 배추 圃場에 接觸室을 옮겨 0.4ppm에서 60分間(午前9時—10時) 處理하였다.

試料는 午前 10時, 11時, 12時 午後 1時 4時 및 8時에 各各 採取하였다. 試料는 生體葉肉 10gr로 여기에 蒸溜水 50ml를 加하고 4°C에서 5分間 homogenizer로 磨碎한다음, 硝子 및 白金電極을 使用하여 pH와 Eh를 各各 測定하였다.

### 3. Peroxidase 活性

pH 및 Eh 測定에 使用한 배추 試料를 Peroxidase 活性評價에도 利用하였다. 배추 生體葉肉을 冷凍 眞空乾燥器(-20°C, 23.4mmHg)에서 脫水後 粉碎한 乾物 0.1gr에 蒸溜水 50ml를 加하여 磨碎하고 冷凍遠心分離(3,000×G)하여 上澄液을 改良 Guai

acol法<sup>(37)</sup>에 準하여 測定하고 Guaiacol Unit(G.U.)로 表示하였다.

### 4. 葉綠體分離 및 處理

#### 가 葉綠體의 分離

市販 시금치의 綠色葉肉을 取하여 1cm<sup>2</sup> 程度로 切斷한 生體重 50gr에 tris buffer I (tris 0.02M, NaCl 0.01M, Sucrose 0.4M, pH8.0) 50ml을 加하여 homogenizer로 10分間 磨碎한後(4°C) 遠心分離(1,000×G, 4°C)하여 上澄液을 取하고 다시 10分間 遠心分離(3,000×G, 4°C)하여 上澄液을 버린다음 沈澱된 葉綠體에 tris-buffer II (tris 0.02M, NaCl 0.01M, pH 8.0)를 注加하여 沈澱된 葉綠體를 懸濁시켜 棉 gauze로 濾過하고 濾液을 다시 5分間 遠心分離(15,000×G, 4°C)시킨後 沈澱된 葉綠體를 tris-buffer II로 懸濁시켜 試料로 하였다<sup>(4)</sup>

#### 나. 葉綠體 및 葉綠素 處理

上記 方法으로 分離한 葉綠體의 懸濁液 200ml에 5ppm의 亞黃酸가스를 常溫(25°C)에서 通過(1l/min.)시키면서 15, 및 30, 90分後에 各各 25ml式 取하였다. 處理後의 葉綠體는 ethyl ether層에 옮겨 flash evaporator (20°C)에서 濃縮시킨後 methanol 100ml에 溶解하여 double beam spectrophotometer (Shimadzu, UV. 200)로 波長 330~750m $\mu$ 에서 吸光度를 測定하였다.

葉綠素는 앞에서 分離한 葉綠體(100ml)를 ethyl ether層에 옮겨 flash evaporator (20°C)로 濃縮시킨後 methanol 250ml에 溶解하였다. 葉綠素의 methanol 溶液 10ml에 5ppm의 亞黃酸가스를 注射器로 各各 10, 15, 20, 25, 30 및 50ml을 注入하고 곧 吸光度를 測定하였다.

### 5. 組織中 可溶性 Mg<sup>#</sup>의 定量

市販 배추의 生葉肉 10gr에 蒸溜水 50ml를 加하여 homogenizer로 5分間 磨碎(4°C)한後 濾過하여 水溶性 成分을 除去하였다. 未濾過物과 濾紙를 beaker에 옮기고 여기에 10, 50, 100, 500, 1000, 및 3,000ppm의 亞黃酸溶液을 50ml式 加하여 다시 5分間 homogenizer (4°C)에서 混合한後 濾過하였다. 濾液과 未濾過物은 各各 60% 窒酸 5ml와 60% 過鹽素酸 3ml를 加하여 濕式分解하고 原子 吸光分光 分析器 (Hitachi 207)로 Mg<sup>#</sup>를 定量하였다.

### 6. 供試作物의 栽培

#### 가. 被害 試驗

(1) 水稻 : 供試品種은 振興을 擇하였으며 土壤

은 農業技術研究所 圃場의 壤土로 pH가 5.3, 有機物含量이 2.2%, C.E.C.가 5.5me/100gr였다. 風乾한 土壤 15kg을 a/2,000 Wagner pot에 充塡하고 施肥方法은 尿素, 重過石 및 鹽化加里를 pot當 2.5, 4.6 및 3.6gr(成分量으로 10a當 5, 8, 8kg)를 土壤과 全量 混合施用하였다. 移秧은 40日苗를 pot當 1本 4株式으로하고 分藥肥 및 穗肥로 pot當 尿素 1.2g(窒素2.5kg/10a) 式을 各各 追肥하였다.

2) 大麥. 小麥: 土壤은 水原市 近郊의 壤土로 pH 6.5, 有機物 含量이 1.03%, C.E.C.가 8.8me/100gr 였으며, 風乾하여 a/2,000 無底 pot에 37kg를 充塡하고 尿素, 重過石 및 鹽化加里로 pot當 10.2, 17.4 및 7.8gr(成分量으로 10a當 7, 12, 7kg)를 充塡土壤上部 2/3에 混合, 基肥로 施用하고 24時間後에 大麥, 水原 8號와 小麥 永光을 3粒4株式으로 點播하였다. 追肥로서 pot當 尿素 5.1gr, 鹽化加里 3.3gr (成分量으로 10a當 3.5, 3.0kg)를 分藥肥로, 穗肥로서 尿素 5.1gr 및 鹽化加里 2.7gr (成分量으로 10a當 3.5kg, 2.0kg)를 施用하였다.

3) 大豆: 土壤은 大, 小麥의 境遇와 同一하며 pot는 a/4,000이었고, 施肥量은 pot當 尿素 3.0gr

重過石 8.3gr 및 鹽化加里 8.9gr(10a當 成分量으로 2, 6, 8kg)를 施用하였으며 大豆 長端白目を pot當 1粒 1株로 點播하였다.

4) 배추, 무우, 파: 供試土壤은 大, 小麥의 境遇와 같은 것이 있으며 pot는 a/4,000였다.

배추, 무우, 파의 供試品種은 各各 農民6號, 宮中大根, 및 石昌으로 하였다.

基肥는 pot當 배추의 境遇 尿素 290gr, 重過石 116gr, 鹽化加里 122gr, 무우는 尿素 261gr, 重過石 145gr, 鹽化加里 189gr, 그리고 파는 尿素 363gr, 重過石 363gr, 鹽化加里 333gr을 各各 施肥하였다. 배추 및 무우는 播種後 3葉期에 pot에 移植 栽培하여 30日後에 試驗材料로 하였으며 파는 3月 25日 露地에 播種 100日間 育苗하여 移植하고 35日間 栽培하여 試驗材料로 하였다.

#### 나. 被害輕減 試驗

作物의 栽培 方法은 被害 試驗에 準하고 供試作物로는 水稻(振興), 大麥(水原8號), 大豆(長端白目)의 3種으로 하였다. 鹽化加里 珪灰石, 石灰 및 石灰乳等 亞黃酸가스 被害輕減劑의 處理方法은 다음 表와 같다. pot의 크기는 水稻에서 a/2,000, 大麥에서 a/300, 大豆에서 a/4,000를 各各 使用하였다.

處 理	水 稻	大 麥	大 豆
Potassium I	4kg/10a	—	4kg/10a
Potassium II	6kg/10a	—	6kg/10a
Wollastonite <sup>1)</sup> I	300kg/10a	300kg/10a	—
Wollastonite II	600kg/10a	600kg/10a	—
Lime <sup>2)</sup> I	—	200kg/10a	—
Lime II	—	400kg/10a	—
Lime Water <sup>3)</sup> I	5ppm 亞黃酸가스 處理 5日전에 撒布	5 ppm 亞黃酸가스 處理 5日전에 撒布	5ppm 亞黃酸가스 處理 5日전에 撒布
Lime Water II			

1) 可溶性珪酸含量 19.45%

2) 炭酸石灰

3) “리노” 展着劑 0.1% 添加, 撒布量 100ml/pot.

鹽化加里, 珪灰石, 및 石灰는 基肥와 同時에 土壤處理하고 石灰乳는 葉面 撒布하였다.

#### 7. 炭素同化率

炭素 同化率은 村田<sup>(81)</sup>(1961)의 移動式裝置를 利用하여 가스接觸 24時間後에 測定하였다. 供試作物은 被害 輕減 試驗의 水稻를 使用하였으며 測定方法은 pot 1個式을 同化箱(50×50×50cm)에 옮겨 自然光化에서 時間當 炭酸가스의 同化量을 求하였다 炭酸가스는 infrared gas analyzer (IRP-II, Fuji Elect. Co.)로 測定하여 다음式에 依據 計算하였다.

$$P = (A - B) \times C$$

但 P: 同化率 CO<sub>2</sub> mg/pot/hr.

A: 供試한 空氣中の CO<sub>2</sub>量

B: 同化箱에서 나온 空氣中の CO<sub>2</sub>量

C: 同化箱에 供給한 通氣量

## Ⅱ. 結果 및 考察

### 1. 被害 生理

가. 植物體의 pH 및 Eh의 變化

生育中の 배추에 亞黃酸가스를 接觸하고, 葉汁液의 pH 및 Eh의 變化를 經時的으로 調査한結果는 그림 1 및 2와 같다.

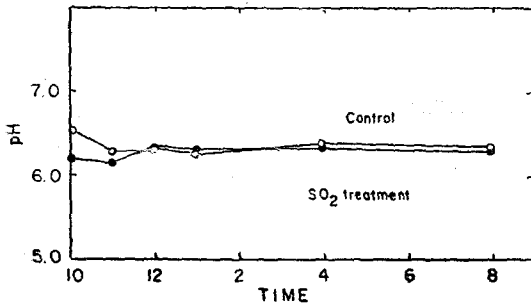


Fig. 1. Effect of SO<sub>2</sub> fumigation on pH of chinese cabbage leaves

그림 1에서 보는바와 같이 가스 處理 直後인 10時와 11시에 測定한 pH가 處理, 無處理間에 僅小한 差異를 보여주고 있으나, 對照區의 平均 pH가 6.3 水準이므로 亞黃酸가스의 影響은 나타나지 않은 것으로 보인다. 亞黃酸가스의 接觸이 alfalfa의 pH에 影響을 주지 않았다는 것은 Thomas<sup>(65)</sup>에 의하여 報告되었으나 물에 易容性인 亞黃酸가스는 물에 쉽게 溶解되어 亞黃酸으로 되거나, 黃酸과 發生機의 水素로 되므로<sup>(4)</sup> 生體內에서 이러한 生成物의 二次的인 作用, 即 亞黃酸 및 反應性인 發生機 水素의 置換作用에 앞서, 氣孔을 通하여 植物體에 到達한 亞黃酸가스는 上述한 亞黃酸 및 黃酸의 形態로 되어 兩酸의 높은 酸恒數때문에 쉽게 배추 汁液의 pH에 變化를 가져올 것으로 期待되었으나 그러한 證據는 없었다.

그림 2에 亞黃酸가스가 배추 葉汁液의 Eh에 미치는 效果를 表示하였다. 그림에서 보는바와 같이 가스 處理後 2時間사이 即 午前 10時~12時 사이

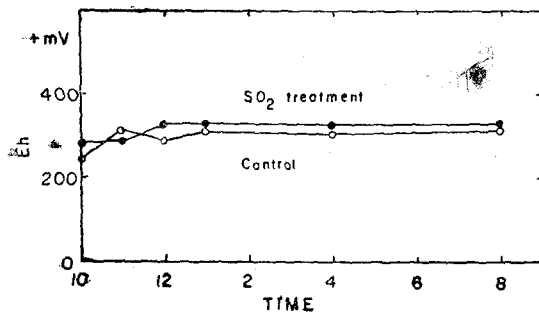


Fig. 2. Effect of SO<sub>2</sub> fumigation on Eh of chinese cabbage leaves

에 酸化還元電位의 處理別 變化幅이 나타나고 있으나 兩者間的 差異는 認定할 수 없었다. 가스 處理 3時間後가 되는 午後 1時 以後는 가스 處理 배추의 Eh가 平均 20mV 높았다.

#### 나. Peroxidase의 活性

배추 葉汁의 peroxidase 活性에 미치는 亞黃酸가스의 影響은 그림 3과 같다. 無處理에 있어서 同 酵素의 活性은 經時的으로 變하여, 正午부터 午後 4時사이 低下되었다가 午後 8時에 다시 回復되었다. 이러한 peroxidase의 經時的 變化的 生理的 意義는 아직 不明하다. 亞黃酸가스의 處理는 對照區의 peroxidase 活性 曲線에 따라 沮害되었다가 處理 10時間 後에는 對照區와 對等한 活性을 보였다.

따라서 亞黃酸가스가 peroxidase 沮害로 期待되는 生理的 影響은 가스 處理로부터 10時間 以內에 顯著하게 나타난 것으로 解釋된다. peroxidase의 沮害는 體內 酸化物的 蓄積을 이르게 亞黃酸가스에 依한 被害作用과 關聯이 있을 것으로 보인다. 亞黃酸가스에 依한 peroxidase의 沮害에 關한 報告는 많지 않다. Reddi<sup>(62)</sup>는 高濃度의 亞黃酸가스가 사과 組織中의 peroxidase를 沮害한다고 하였으나 Thomas<sup>(66)</sup> 등은 不明하다고 하였다.

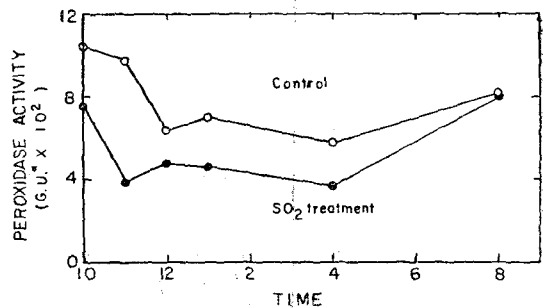


Fig. 3. Effect of SO<sub>2</sub> fumigation on peroxidase activity in chinese cabbage leaves

\* Guaiacol Unit/g protein

다. 亞黃酸가스에 依한 葉線體 및 葉綠素의 破壞

葉線體의 懸濁液에 濃度 5ppm의 亞黃酸가스를 繼續處理하면서 葉綠素의 破壞를 經時的으로 調査한 結果는 그림 4와 같다. 이 結果를 보면 350~700m $\mu$ 範圍의 全吸收曲線이 時間이 經過함에 따

라 漸次 그 吸光度가 弱化되어가고 있으며 葉綠素의 吸收曲線이 消失됨에 따라 새로운 生成物을 表示하는 다른 spectra의 出現은 不遂였다. 이는 葉綠體中の 葉綠素가 亞黃酸가스에 依하여 徐徐히 破壞되어 消失되는것이라고 解釋할수 밖에 없다. 葉綠素의 methanol 溶液에 亞黃酸가스를 處理하였을 境遇에는 그림 5와 같이 葉綠素에 亞黃酸가스를 處理하자마자 亞黃酸가스와 當量의 葉綠素가 瞬間적으로 消失함을 觀察할수가 있었다. 葉綠素의 spectra가 消失한 葉綠素溶液은 肉眼으로 보아도 葉綠素가 破壞된 有음을 알수있을 程度로 褪色이 되어 있음을 볼수 있었다.

純粹한 葉綠素에 對한 亞黃酸가스의 作用은 매우 急激한 것이며 또 pheophytin 같은 中間 生成

物의 蓄積없이 進行된다는 것이 이 結果로 明白하다.

植物에 對한 亞黃酸가스 有害作用의 主要原因으로서 葉綠體에 對한作用, 特히 葉綠素의 亞黃酸에 依한 破壞를 생각하는 것이 가장 普遍的으로 되어 있다.

葉綠素에 對한 亞黃酸가스 破壞作用의 化學的 機作은 잘 究明되어 있지 않다. 그러나 우리가 생각할수 있는 것은 亞黃酸가스가 葉綠素와 附加物을 形成하거나 亞黃酸가스 또는 亞黃酸가스가 물에 溶解한 亞黃酸( $H_2SO_3$ )의 강한 還元力에 依한 葉綠素의 無色 化合物로의 還元이다. 亞黃酸가스에 依한 色素의 褪色反應에 對한 이러한 化學機構는 이미 Partington<sup>(89)</sup>이 提案한바 있다.

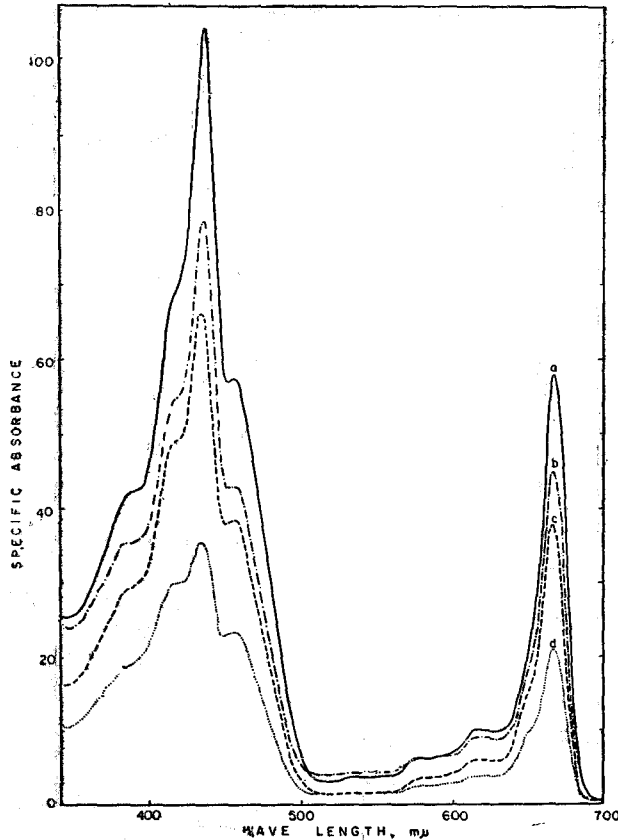


Fig. 4. Spectral changes of chlorophyll from spinach chloroplast treated with sulfur dioxide gas

Treatment periods, at the sulfur dioxide concentration of 5 ppm, are 0, 15, 30 and 90 minutes for a, b, c and d respectively.



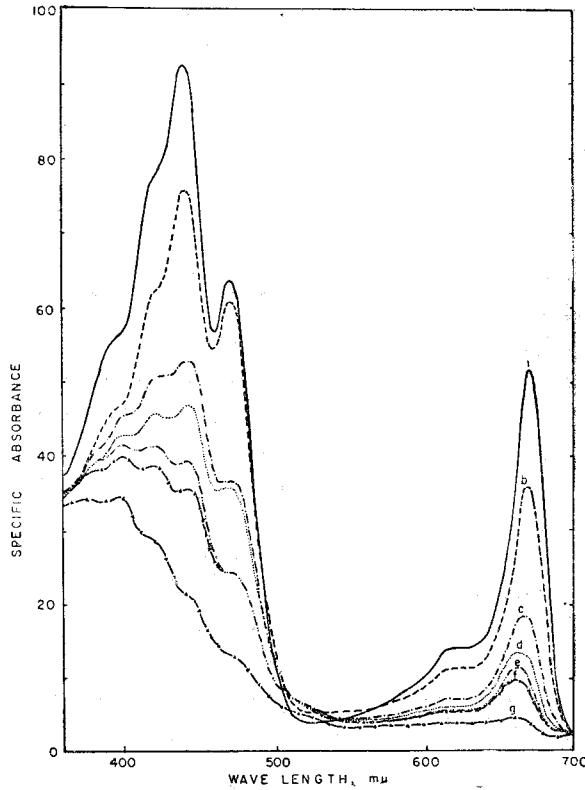
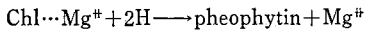


Fig. 5. Absorption spectra of methanolic chlorophyll solution treated with sulfur dioxide gas

Volumes of sulfur dioxide (5 ppm) treated are 0, 10, 15, 20, 25, 30 and 50ml for a, b, c, d, e, f, and g respectively.

Rao<sup>(41)</sup> 등은 algae葉綠素의 亞黃酸가스에 의한 褪色的 다른 또하나의 化學機構로서 亞黃酸가스가 물에 溶解하여 生成된 亞黃酸(H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)의 酸으로서의 作用으로 다음과 같은 反應으로 pheophytin의 生成을 指摘하였다.



그러나 筆者의 本實驗에서는 pheophytin의 生成은 觀察할수가 없었다. pheophytin은 그 spectrum에 있어서 506 및 535mμ에서 葉綠素에는 볼수 없는 光吸收를 나타내는 것이 그 特徵인데 pheophytin의 蓄積을 나타내는 spectra는 葉綠體 및 葉綠素에 對한 亞黃酸가스 處理時의 어느 段階에서나 觀察할수가 없었다. 또한 Rao 등이<sup>(41)</sup> 發表한 報告

에서 pheophyton의 生成을 實證하는 spectra를 詳細히 觀察하면 매우 不明한 點이 있어 Rao의 主張은 그 根據가 稀薄한것 같다. 筆者의 實驗結果를 土臺로 한다면 葉綠素에 對한 亞黃酸가스의 作用은 그 段階가 葉綠素를 無色物質로 還元 또는 無色附加物을 生成하는데 있지 않나 生覺된다.

葉綠體로부터 置換되어 나올 수 있는 水溶性 Mg<sup>#</sup>을 生體에서 證明하고자 배추잎의 水溶性 成分을 除去한 組織에 亞黃酸(H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)를 加한 後의 全 Mg<sup>#</sup>에 對한 水溶性 Mg<sup>#</sup>을 定量한 結果는 表 1과 같이 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>의 濃도가 增加함에 따라 全Mg<sup>#</sup>에 對한 水溶性 Mg<sup>#</sup>의 比率은 增加했다.

Table 1. Effect of sulfurous acid treatment on insoluble Mg<sup>#</sup> in chinese cabbage leaves\*

H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> Concentration, ppm	Water Soluble Mg <sup>#</sup> , %
0	12.9
10	20.9
50	20.7
100	21.4
500	28.8
,000	32.4
3,000	42.5

\* Water soluble substances had been removed prior to the addition of sulfurous acid

葉綠素에서 Mg<sup>#</sup>가 떨어져 나오는 機作은 分明치 않다. 가장 簡單한 化學反應은 pheophytin의 生成인데 本實驗에서는 pheophytin의 生成은 觀察되지 않았다. 葉綠素가 亞黃酸가스의 作用을 받은後 Mg<sup>#</sup>가 置換되는 것이 한 可能性이고 葉綠素가 pheophytin으로 된다음 pheophytin에 亞黃酸가스가 急速히 反應하기 때문에 pheophytin이 檢出되지 못하였을 可能性도 있으나 이點은 不分明하다.

배추잎의 生體에 直接 亞黃酸을 處理한 後의 水溶性 Mg<sup>#</sup>은 亞黃酸가스 濃度에 따라 一定한 傾向을 보이지 않았으며 이는 生體에서 일어나는 여러 가지 變化 및 緩衝作用<sup>(68)</sup>等 未知의 作用에 依한 때문으로 보이며 松島等(1965)<sup>(26)</sup> 및 鈴木(1972)<sup>(40)</sup> 등이 試驗한 結果와 같다.

## 2. 減收率

### 가. 水稻

水稻의 收量에 미치는 亞黃酸가스의 影響은 가스의 濃度 및 處理 時期에 따라 달랐다. 表 2에서 보는바와 같이 1969年 및 1970年의 2年間 平均 成績은 各 時期別 共히 亞黃酸가스의 濃度가 높을수록 收量이 顯著하게 減少하였으며 濃度別 平均 減收率에 있어서 1ppm 亞黃酸가스 處理는 14.1%, 5ppm에서는 24.5%, 그리고 10ppm에서는 44.5%였다. 한편 生育 時期別로 보면 開花期에 가장 感受性이 컸으며 이때의 平均 減收率은 45.0%에 達하였다. 다음으로 幼穗形成期, 乳熟期 및 分蘖最盛期의 順으로 各各 36.4, 18.0, 및 17.0%였다. 이와같이 開花 및 幼穗形成期에 가장 甚한 減收率

Table 2. Grain yield of paddy rice as affected by different concentration of SO<sub>2</sub> fumigation at various growth stage (1969-1970)

Growth Stage	Grain Yied, g/pot and Yield Loss (%)				
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm				
	0	1	5	10	Average
Maximum Tillering Stage		79.84 (8.42)*	70.31 (19.35)	66.20 (24.04)	79.12 (17.27)
Young Panicle Formation		63.32 (27.37)	67.58 (22.48)	35.40 (59.39)	55.43 (36.42)
Flowering Stage		76.04 (12.78)	40.71 (53.30)	26.69 (69.39)	47.81 (45.16)
Milky Stage		80.41 (7.77)	68.66 (21.24)	65.24 (25.17)	71.44 (18.05)
Average	87.18 (0)	74.90 (14.09)	65.82 (24.50)	48.29 (44.49)	

LSD 1% = 4.56

\* yield loss in percent

을 보인것은 이러한 時期가 가장 生育이 旺盛한 時期이며 Zimmerman<sup>(76)</sup>, Thomas<sup>(60)</sup>, Setterstrom<sup>(48)</sup> 등이 報告한 바와 같이 呼吸作用이 活潑하여 氣孔이 더 開放되었기 때문에 亞黃酸가스의 侵入이 容易하게 된것으로 생각된다. 特히 開花期에 被害가 甚한 것은 谷山<sup>(55)</sup> (56) (59)도 報告한 바있다. 그는 水稻의 開花期中 亞黃酸가스의 處理로 일어나는 減收는 登熟率의 低下때문이라고 하였다. 한편 田中等<sup>(51)</sup>은 배(長十郎)에 있어서 亞黃酸가스의 處理로 花粉의 發芽 및 花粉管 伸長에 顯著한 影響을 보였다고 報告한것으로 보아 亞黃酸가스에 依한 開花期의 被害가 作物의 收量에 미치는 影響은 兪 뿐만아니라 花粉發芽 및 花粉管 伸長을

沮害하여 花粉授精이 阻止되었기 때문에 생각된다.

#### 라. 麥 類

大麥과 小麥의 收量도 表 3에서 보는바와 같이 水稻에서와 마찬가지로 亞黃酸가스의 濃度에 比例하여 收量이 減少하였다. 大麥의 全生育期間中 平均減收率은 0.1, 0.25, 0.5, 3.0, 및 5.0ppm에서 各 各 4.6, 7.5, 15.0, 20.3, 및 35.9%였고, 小麥에서도 가스 濃度에 比例하여 0.1ppm에서 4.8%였으나 5.0ppm에서는 26.9%의 減收率을 보였다.

生育時期別로 본 亞黃酸가스의 被害는 水稻의 境遇와 같이 大小麥 共히 開花期에 가장 甚하였으며 다음이 伸長期, 分蘗最盛期 등으로 生育이 活潑한

Table 3. Grain yield of barley and wheat as affected by different concentration of SO<sub>2</sub> fumigation at various growth stage

Crops	Growth Stage	Grain Yield, g/pot and Yield Loss (%)						
		SO <sub>2</sub> Concentration, ppm						
		0	0.1	0.5	1.0	3.0	5.0	Average
Barley	Max. Tillering		19.70 (1.7)*	19.10 (4.6)	18.82 (5.9)	18.25 (8.8)	17.17 (14.2)	18.60 (6.6)
	Elongation		19.55 (2.3)	19.00 (5.0)	18.82 (5.9)	16.77 (16.1)	12.68 (36.6)	17.36 (12.3)
	Flowering		18.35 (8.3)	18.00 (10.0)	13.35 (33.3)	12.82 (36.0)	8.62 (56.9)	14.23 (27.1)
	Average	20.00 (0)	19.19 (4.6)	18.70 (7.5)	16.99 (15.0)	15.94 (20.3)	12.82 (35.9)	
Wheat	Max. Tillering		13.00 (0.5)	12.90 (1.3)	11.93 (8.7)	11.87 (9.3)	11.78 (9.9)	12.30 (5.1)
	Elongation		12.85 (1.7)	12.85 (1.7)	12.03 (10.8)	10.52 (19.5)	9.82 (24.9)	11.61 (9.8)
	Flowering		11.50 (12.0)	11.20 (14.3)	10.53 (19.4)	10.12 (22.7)	7.05 (46.1)	10.08 (24.3)
	Average	13.07 (0)	12.45 (4.8)	12.32 (5.7)	11.50 (12.0)	10.83 (17.1)	9.55 (26.9)	

LSD 1%=1.62

\* yield loss in percent

時期였으며 開花期에 被害가 가장 甚한것은 水稻와 같이 花粉의 發芽 및 花粉管伸長이 沮害된 때문이라고 본다.

亞黃酸가스 濃度 1ppm에서 大麥, 水稻 및 小麥의 減收率은 各 各 15.0, 14.0 및 12.0%였으며, 5ppm에서도 35.9, 24.5 및 26.9%로서 같은 傾向이 있으므로 禾本科作物에 있어서 亞黃酸가스에 依한 被害는 大麥이 가장 컸다.

다. 大豆

大豆에 있어서도 表 4에서 보는바와 같이 亞黃酸가스 濃度가 增大함에 따라 子實의 收量은 顯著히 減少함을 알수있다.

亞黃酸가스에 依한 生育時期別 減收率을 보면 營養生長期의 處理는 가스濃度 0.1, 0.5, 1.0, 및 5.0ppm에서 各 各 4.0, 24.0, 28.9 및 65.7%였으나 開花 및 着莢期에 있어서 亞黃酸가스에 依한 被害는 이보다 甚하여 가스濃度 1.0과 5.0ppm에서의 減收率은 66.2와 94.7%에 達하였다.

**Table 4.** Grain yield of soybean as affected by different concentration of SO<sub>2</sub> fumigation

Growth Stage	Grain Yield, g/pot and Yield Loss (%)					
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm					
	0	0.1	0.5	1.0	5.0	Average
Vegetative		25.23 (4.0)*	19.97 (24.0)	18.67 (28.9)	9.00 (65.7)	18.42 (29.9)
Flowering and Podding		23.13 (12.0)	16.50 (37.2)	8.87 (66.2)	1.40 (94.7)	12.48 (52.8)
Average	26.27 (0)	24.18 (8.0)	18.24 (30.6)	13.17 (47.6)	5.60 (78.7)	

LSD 1% = 4.02

\* yield loss in percent

大豆作物에 있어서 開花期의 亞黃酸가스 處理가 이같이 收量에 큰 影響을 招來한다는 것은 特記할 點이라 하겠으며 또 同時期가 亞黃酸가스에 가장 敏感한 것은 禾本科 作物에서와 同一하였다.

라. 菜 蔬  
배추, 무우 및 파등 菜蔬類에 對한 亞黃酸가스 의 被害는 表 5에서와 같이 가스 濃度가 增加할수록 收量은 比例的으로 減少하였다.

**Table 5.** Yield of vegetables as affected by different concentration of SO<sub>2</sub> fumigation

Crops	Yield, g/pot and Yield Loss (%)						Remark (LSD) 1%
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm						
	0	0.1	0.25	0.5	1.0	5.0	
Radish, Top	450.0 (0)*	401.6 (10.8)	327.6 (27.2)	260.1 (42.2)	136.8 (69.6)	—	52.08
Radish, Root	644.2 (0)	422.3 (34.4)	333.5 (38.2)	251.8 (60.9)	142.0 (78.0)	—	80.23
Radish, Top+Root	1094.1 (0)	823.9 (24.6)	661.1 (39.6)	511.8 (53.2)	278.8 (74.5)	—	
Chinese Cabbage**	12.74 (0)	9.05 (29.0)	—	8.30 (34.9)	1.34 (89.5)	0.49 (96.2)	1.62
Welsh Onion	472.9 (0)	469.4 (0.7)	419.5 (11.3)	326.8 (30.9)	202.0 (57.3)	—	68.54

\* yield loss in percent

\*\* dry matter

무우의 境遇는 地上部 뿐만아니라 地下部 까지 도 그 收量이 減少하였으며 특히 地下部 被害率은 地上部 보다 顯著하였다. 이와같은 被害 樣相은 山添(72)가 20日 무우에 對한 弗化水素의 試驗에서 얻은 結果와 같다. 이는 地上部의 葉破壞로 因한 同化 生産量이 減少하여 地下部 蓄積이 沮害되었기 때문이라고 생각된다.

배추의 收量도 무우의 境遇와 마찬가지로 가스 濃度의 增加에 따라 減少하였으며 1.0ppm의 處理로 89.5%의 減收率을 보였으며 5.0ppm에서는

96.2%로서 收量의 거의 없는 狀態였다.

파에서도 他作物과 마찬가지로 收量은 가스濃度에 따라 減少되어 1.0ppm의 處理로 50%以上の 減收率을 보였다.

減收率로 보아 亞黃酸가스에 對한 各作物別 抵抗性을 各濃度別로 比較하면 表 6과 같이 濃度別로 多少 相異하였으나 大體的으로 禾本科인 水稻, 大麥, 小麥等은 十字花科인 무우, 배추 또는 大豆나 파보다는 抵抗性이 強함을 알수 있다.

이와같은 傾向은 高濃度일수록 뚜렷하였다. 禾本科作物이 다른 作物에 比하여 亞黃酸가스에 抵抗性

Table 6. Resistance of crops versus sulfur dioxide concentration

SO <sub>2</sub> Concentration ppm	Resistance*
0.10	welsh onion, barley, wheat, soybean, chinese cabbage, radish
0.25	welsh onion, radish
0.50	barley, wheat, welsh onion, chinese cabbage, soybean, radish
1.00	paddy rice, wheat, barley, welsh onion, soybean, radish, chinese cabbage
3.00	wheat, barley
5.00	wheat, paddy rice, barley, soybean, chinese cabbage

\* crops are shown in the decreased order of resistance

이 강한것은 이들 作物의 細胞膜이 보다 珪質化되어 있으며 또 細胞의 組織이 緻密하여 亞黃酸가스의 作物體內 侵入을 어렵게 한 때문이라고 推測된다.

### 3. 被害 輕減

亞黃酸가스 處理에 依한 農作物의 被害輕減方法으로 加里, 珪灰石, 石灰 및 石灰乳의 效果를 比較하였다.

水稻에 있어서는 表7에서 보는바와 같이 亞黃酸가스 無處理의 各 處理別 正租收量의 差는 顯著하지 않았다. 그러나 5ppm 處理의 境遇, 對照區의 收量 46.1gr/pot 보다는 有意性있는 被害輕減效果를 보였다. 即 石灰乳 2% 處理는 67.3gr/pot로서 가장 效果的이었으며 다음이 石灰乳 1%, 加里 4kg, 珪灰石 400kg, 珪灰石 200kg 및 加里 6kg 處理의 順으로 正租收量이 各各 67.3, 64.3, 60.0, 57.9, 55.9 및 54.5gr/pot이었다.

Table 7. Effect of potassium chloride, wollastonite and lime water on yield of paddy rice fumigated with SO<sub>2</sub>

Treatment	Grain Yield (g/pot)		Yield Loss (%)	Yield Index
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm			
	0	5	$C = \frac{100(A-B)}{A}$	$\frac{(100-C)100}{49.7}$
Check	A	B		
Potassium I	92.7	46.1	50.3	100
Potassium II	94.5	60.0	36.5	126
Potassium III	94.7	54.5	42.5	114
Wollastonite I	94.9	55.9	41.1	117
Wollastonite II	96.0	57.9	39.7	120
Lime Water 1%	90.4	64.3	28.9	141
Lime Water 2%	96.0	67.3	29.9	139

LDS 1%=5.50

各 處理의 效果는 減收率(表 7의 c欄)로도 表示했다. 對照區의 減收率 50%에 對해 各種 被害輕減劑 處理의 減收率은 29~43%였다. 또한 收量指數는 對照區의 減收率 50%와 各 處理區의 減收率을 比較한 百分率로 이指數는 곧 被害輕減劑의 效果를 評價하는 基準으로 하였다. 따라서 葉面 處理한 1% 및 2% 石灰乳는 收量指數가 各各

142 및 140으로 가장 有效한 것이었으며 다음으로 鹽化加里 및 石灰石 등의 土壤 處理는 對等한 效果를 나타냈다.

한편 石灰石의 施用量 增加는 그 效果도 增大되었으나 石灰乳 撒布 效果는 1% 및 2% 處理間에 큰 差異는 없었다. 그러나 鹽化加里는 6kg 處理보다 4kg 處理가 效果的이었다. 이는 施用量 鹽化

加里의 量이 14kg/10a에 達하여 過量의 加里가 投與되었으며 더우기 供試土壤의 鹽基置換容量이 5.5me/100g로서 매우 낮아 加里의 吸着 能力이 적었기 때문이라고 생각된다.

大麥에 있어서 亞黃酸가스에 對한 被害 輕減劑의 效果는 表 8에서 보는 바와 같다. 水稻와는 달리 가스 無處理에서의 各 被害 輕減劑의 效果는

石灰 II (400kg/10a)區를 除外하고는 對照區의 收量 76.2gr/pot 보다 收量이 많았다. 亞黃酸가스 處理에서 各 被害輕減劑 處理의 全般的인 效果는 크지 않았으나 亞黃酸가스 處理 및 無處理의 收量에서 誘導된 減收率을 보면 各 輕減劑의 處理는 모두 對照區인 75.3%와 對等하거나 낮았다.

끝으로 被害輕減劑의 效果를 뜻하는 收量指數에

Table 8. Effect of lime, wollastonite and lime water on yield of barley fumigated with SO<sub>2</sub>

Treatment	Grain Yield (g/pot)		Yield Loss (%)	Yield Index
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm			
	0	5	$C = \frac{100(A-B)}{A}$	$\frac{(100-C)100}{24.7}$
Check	A 76.2	B 18.8	75.3	100
Lime I	78.1	23.9	69.4	124
Lime II	66.7	18.0	73.0	109
Wollastonite I	74.2	18.8	74.7	102
Wollastonite II	78.8	22.0	72.1	113
Lime Water 1%	90.2	22.1	75.5	99
Lime Water 2%	79.4	25.4	68.0	130

LSD 5%=4.55

있어서 石灰乳 2%는 130에 達하여 가장 效果的이 있으며 다음으로 石灰 200kg區가 124였다.

그러나 石灰乳 1% 및 珪灰石 200kg 등은 거의 效果가 없었다.

石灰 400kg 이 200kg土壤 處理보다 收量指數가 낮은것은 供試된 土壤의 pH가 6.5로서 石灰 400kg /10a施用이 過多하였기 때문이라고 생각된다.

石灰乳 1%處理에 있어서 收量指數가 對照區와

對等한 原因은 不明하나 亞黃酸가스 無處理에서의 收量이 越等히 높았던 때문인 것으로 推測된다.

亞黃酸가스에 比較的 銳敏한 大豆에 있어서 加里 및 石灰乳의 效果를 보면 表 9와 같다.

子實收量에서 보면 가스 無處理時 加里 및 石灰乳의 效果는 顯著하지 않았으나 가스 處理로 子實의 收量은 對照區에 比하여 加里 6kg 를 除外하고는 輕減 效果를 認定할수 있었다.

Table 9. Effect of potassium chloride and lime water on soybean fumigated with SO<sub>2</sub>

Treatment	Grain Yield (g/pot)		Yield Loss (%)	Yield Index
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm			
	0	5	$C = \frac{100(A-B)}{A}$	$\frac{(100-C)100}{27.3}$
Check	A 26.3	B 9.8	62.7	100
Potassium I	25.5	17.3	30.2	186
Potassium II	28.2	8.5	69.9	81
Lime Water 1%	24.6	12.1	50.8	132
Lime Water 2%	27.3	22.9	16.1	225

LSD 1%=2.62

減收率은 石灰乳 2%의 處理 16.1%가 가장 낮았으며 다음의 石灰 200kg 區 및 石灰乳 1%의 順으로 各各 30.2 및 50.8% 였다.

收量指數에서도 石灰乳 2% 撒布는 225 로서 가장 效果의이었으며 加里 4kg, 및 石灰乳 1%의 順으로 낮아졌다. 石灰乳의 撒布는 水稻나 大麥에서 보다도 大豆에서 顯著하게 나타났다. 特히 石灰乳 2% 撒布 및 加里 4kg處理는 收量指數 225 및 186 으로 優秀한 效果를 보였다.

加里 6kg/10a 處理의 效果가 4kg 보다 훨씬 적

고 對照區 보다도 낮은 理由는 分明치 않다. 그러나 亞黃酸가스 無處理에서는 加里의 效果가 若干 보인것으로 보아 加里의 過量 施用에서 오는 理由만은 아닌것 같다.

한편 水稻의 炭素同化作用에 미치는 各種 被害 輕減劑의 效果를 보면 表 10과 같다. 亞黃酸가스 無處理의 境遇 各 被害輕減劑 處理로 對照區에 比하여 同化量이 增加됐다. 亞黃酸가스 處理後의 同化量은 對照區에 比하여 珪灰石 200kg 및 加里 4kg 處理에서는 오히려 減少되었다.

Table 10. Effect of potassium, wollastonite and lime water on carbon assimilation in rice plant fumigated with SO<sub>2</sub> gas.

Treatment	Assimilation Rate, mg CO <sub>2</sub> /pot/hr		Assimilation Loss (%)	Index
	SO <sub>2</sub> Concentration, ppm			
	0	5		
	A	B	$C = \frac{(A-B)100}{A}$	$\frac{(100-C)100}{53.3}$
Check	741.5	394.8	46.7	100
Potassium I	778.8	368.4	50.1	93
Potassium II	809.5	533.0	32.9	126
Wollastonite I	967.7	296.6	69.3	58
Wollastonite II	1,075.2	553.0	48.6	97
Lime water 1%	1,059.9	788.0	25.6	139
Lime water 2%	963.1	768.0	20.3	149

各 處理別 亞黃酸가스 處理로 인한 同化量의 減少率을 보면 石灰乳 2% 撒布區가 20.3%로 가장 적었으며 石灰乳 1%, 및 加里 6kg의 順으로 各各 25.6 및 32.9%였다. 그러나 珪灰石 400kg, 200kg 및 加里 4kg 區는 對照區의 46.7% 보다도 컸다. 對照區의 對比인 指數로 보면, 石灰乳 2%는 149 로서 가장 同化量이 많았으며 다음이 石灰乳 1%, 加里 6kg 이 對照區 보다 많았을뿐 其他 處理는 모두 적었다.

## VI. 綜合 考察

亞黃酸가스에 의한 植物의 被害 生理에 여러가지 要因을 生覺할수 있으며 또 많은 報告가 있다. 本實驗에서는 그중 pH 및 Eh의 變化, peroxidase 에 미치는 影響, 그리고 葉綠體 및 葉綠素의 破壞에 對하여 研究된바, 그 結果는 다음과 같이 綜合할수가 있을 것이다. 배추를 材料로한 本研究 結

果를 보면 pH 및 Eh는 亞黃酸가스로 크게 變化를 이르지 않았으며 이는 植物體의 緩衝能에 의한 것으로 思料되며 peroxidase 는 處理 初期에만 顯著한 沮害를 받았고 處理 10時間後에는 그 沮害作用이 없어지는 것으로 보아 繼續인 亞黃酸가스의 作用이 없는 限 植物의 生理에 큰 影響을 주지 않을 것으로 보인다. 亞黃酸가스가 植物에 미치는 主要 被害機作은 本研究結果에서는 葉綠體 및 葉綠素의 破壞라고 생각된다. 葉綠素의 알콜 溶液에 亞黃酸가스를 作用시키면 葉綠素는 거의 瞬間적으로 또 不可逆적으로 褪色된다.

Rao<sup>(41)</sup> 등은 이러한 葉綠素의 褪色을 亞黃酸가스가 물에 溶解하여 生成한 亞黃酸의 酸으로서의 作用으로 인한 pheophytin의 生成때문이라고 하였으나 本研究結果에서는 pheophytin의 蓄積은 觀察할수가 없었다. 따라서 本研究者는 葉綠素의 褪色은 그 可能한 原因의 하나로 亞黃酸가스나 亞黃酸에 의한 葉綠素의 還元 또는 葉綠素와 亞黃酸가스 또

는 亞黃酸과의 無色 附加化合物의 生成이고 또 다른 可能性은 葉綠素가 亞黃酸에 依하여 一但 pheophytin 이 生成되고  $Mg^{2+}$  를 遊離시킨다음 이 pheophytin 이 亞黃酸가스나 亞黃酸에 依하여 還元되든지 附加化合物을 만들든지 하는 反應으로 始作되는 2次的인 反應이 너무나 急速하여 steady state 의 pheophytin 의 蓄積이 全無할 程度가 되는것이 아닌가 한다. 이 두번째의 機作은 本研究者가 實驗한 遊離  $Mg^{2+}$  의 定量實驗結果를 잘 說明하여 준다고 하겠다. 그러나 첫번 可能性도 또한 全然 排除할수는 없다. 葉綠素가 亞黃酸에 依하여 還元되던지 附加化合物을 만든 다음에도 2次的으로  $Mg^{2+}$  을 遊離시킨다는 것도 생각할수가 있기 때문이다. 本實驗 段階만으로는 그 結果를 確認할수가 없었다. 如何間 亞黃酸가스의 葉綠素에 對한 瞬間의이고 不可逆의인 徹底한 破壞作用은 明白하여 이것이 植物에 對한 亞黃酸가스의 가장 致命的인 被害 機作의 하나라는 것만은 確實한 것으로 보인다. 葉綠體中の 葉綠素에 對한 亞黃酸가스의 加害作用은 純粹한 溶液中の 葉綠素에 對한것 보다는 緩慢하다 이는 葉綠體中の 葉綠素는 溶液中과는 달리가스에 잘 接觸되지 않은 狀態이거나 其他 매우 保護되어 있는 狀態에 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 溶液中에 있는 葉綠素에 對한 被害作用으로 미루어 보더라도 그 加害作用은 亦是 甚하여 1~2時間이던 그 葉綠素는 破壞하기에 充分한 能力이 있다. 植物體에 對한 亞黃酸가스의 被害 機作에서 가장 큰 原因은 亦是 葉綠素의 破壞하는 點을 이 實驗 結果에서도 確認할수가 있다.

亞黃酸가스에 依한 農作物의 收量減少는 亞黃酸가스에 露出되는 時期가 植物의 生育 期間中, 開花期, 幼穗形成期, 伸長期 또는 營養 生長期等 植物의 生育이 가장 旺盛한 時期로 氣孔이 開放되어 있는 時期이며 亞黃酸가스의 植物體內侵入이 가장 容易하여 葉綠體, 따라서 葉綠素의 亞黃酸가스와의 接觸이 가장 잘 되어 葉綠素의 破壞가 가장 甚하게 일어나기 때문이 아닌가 생각된다. 亞黃酸가스가 開花期에 花粉管 伸長을 抑制하는 原因은 아마 이와는 別途의 作用 機作인지는 確實치 않다.

植物의 種類에 따라 亞黃酸가스에 對한 抵抗力이 다른것은 植物에 따라 細胞膜의 珪質化의 程度가 다르므로서 亞黃酸가스의 植物體內 侵入 程度가 相異하기 때문이라고 생각된다. 이 點은 一般的으로 禾本科 作物이 亞黃酸가스의 被害를 적게 받는다는 本 研究 結果가 뒷바침 하고 있다.

植物體에 對한 亞黃酸가스의 被害를 輕減시키는 方法으로는 石灰乳의 撒布, 石灰, 珪灰石 및 加里의 施用을 試驗하였다. 이중 石灰乳의 撒布는 가장 좋은 被害輕減效果를 보였으며 이는 葉表面에 被覆된 石灰乳가 亞黃酸가스를 中和하여 가스의 體內 侵入을 防止할수 있었기 때문에 생각된다. 이와 같은 效果는 石灰乳를 撒布한 植物에 亞黃酸가스를 處理한後 炭酸가스의 同化量을 測定한 結果로도 明白하였으며 石灰乳의 撒布가 亞黃酸가스를 中和하여 葉綠素의 破壞를 防止하는 效果가 있음을 알수있다. 珪酸의 供給은 作物 細胞膜의 珪質化를 도와 亞黃酸가스의 細胞內 侵入을 抑制할수 있을것으로 보이며 石灰의 施用效果는 土壤의 中和로 여러 無機 養分을 可溶化하므로 이들 養分의 吸收가 增加되고 이로 因한 組織內의 緩衝力 增大가 주는 效果라고 풀이된다. 끝으로 加里의 效果는 不明한 點이 있으나 細胞液中  $K^{+}$  의 增加로 植物體의 緩衝能에 寄與할것으로 보인다. 그러나 石灰, 珪灰石, 및 加里의 施用 效果는 어떤 被害輕減作用을 나타내는 것이므로 그 正確한 被害輕減 機構는 不分明하며 果然 이들이 葉綠素의 破壞를 間接的으로 라도 阻止할는지는 더욱 不明하다.

## V. 摘 要

大氣汚染物質中 가장 重要한 亞黃酸가스가 農作物에 미치는 影響에 關한 基礎 資料를 얻고자 亞黃酸가스가 作物에 미치는 被害生理와 同가스의 濃度別 및 作物의 生育時期別로 農作物收量에 미치는 影響과 이들 被害로 부터 作物을 保護하기 爲한 方法을 模索하기 爲하여 試驗한 結果는 다음과 같다.

### 1. 被害 生理

가. 亞黃酸가스 處理는 作物(배추)組織의 pH 및 Eh에는 影響을 주지 않는다.

나. 作物(배추)中 peroxidase 의 活性은 亞黃酸가스 處理로 低下되었으나 徑時的으로 回復되어 處理 10時間 後에는 無處理와 對等하였다.

다. 溶液中の 葉綠素는 亞黃酸가스에 依하여 瞬間的으로 또 不可逆的으로 褪色된다. 그러나 pheophytin의 生成은 觀察되지 않았으며 葉綠素의 褪色 生成物은 亞黃酸가스의 附加化合物 또는 그 還元 生成物인 것 같다.



다. 葉綠體中の 葉綠素도 亞黃酸가스에 依하여 溶液中의 葉綠素와 같은 現象으로 褪色되었으나 다만 그 速度가 緩慢하여 1~2時間이 所要되었다.

다. 亞黃酸가스의 植物에 對한 가장 큰 加害作用의 하나는 葉綠素의 破壞인것 같다.

### 2. 農作物의 收量에 미치는 影響

가. 亞黃酸가스 處理 濃도에 따른 作物의 減收率은 各作物 共히 處理가스의 濃도에 比例하여 增加함을 確認하였다.

나. 亞黃酸가스가 生育時期別로 作物收量에 미치는 影響은 開花期에 가장 甚하였으며 다음 幼穗形成期, 伸長期, 乳熟期, 最高分藥期の 順位였다.

다. 亞黃酸가스에 對한 作物別 抵抗力은 處理濃도에 따라 多少 相異하나 一般的으로 小麥이 가장 強하였으며 다음이 水稻, 大麥, 과, 무우, 배추의 順位로 十字花作物은 禾本 科作物 및 豆科作物보다 感受성이 컸다.

### 3. 被害 輕減 效果

가. 亞黃酸가스에 依한 作物被害는 加里, 珪灰石, 및 石灰施用, 그리고 石灰乳의 葉面 撒布로 水稻, 大麥, 大豆에 그 效果가 認定되었다.

나. 石灰乳의 撒布는 가장 優秀한 被害輕減效果를 보였다.

다. 水稻에 對한 石灰乳의 撒布는 炭素同化作用을 顯著히 增加시켰다.

## 引用 文 獻

1. Adams, C.A., and R.W.Rinne, 1969. Influence of age and sulfur metabolism on ATP-sulfurylase activity in the soybean and a survey of selected species. *Plant Physiol.* 44 : 1241-1246.
2. Applegate, H.G., and L.C. Dunant, 1969. Synergistic action of ozone-sulfur dioxide on peanuts. *Environ. Sci. Technol.* 3 : 7594.
3. Asada, K., and Z. Kasai, 1962. Inhibition of photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation in green plants by  $\alpha$ -hydroxysulfonates and its effect on the assimilation products. *Plant & Cell Physiol.* 3 : 125-136.
4. 淺田 浩二, 出浦隆一郎, 葛西 善三郎, 1966. 葉綠體의 光リン酸化反應에 及ぼす 硫酸이온의 影響. *日土肥誌*, 37 (4) : 277-280.
5. Barton, L.V., 1940. Toxicity of ammonia, chlorine, hydrogen cyanide, hydrogen sulfide, and sulfur dioxide gases: (4) Seeds. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 11 : 357-362.
6. Brisley, H.R., and W.W. Jones, 1950. Sulfur dioxide fumigation of wheat with special reference to its effect on yield. *Plant Physiol.* 25 : 666-681.
7. Brisley, H.R., C.R. Davis, and J.A. Booth, 1959. Sulfur dioxide fumigation of cotton with special reference to its effect on yield. *Agron. J.* 51:77-80.
8. Cruess, W.W., R. Samisch, and H.M. Pancoast, 1933. Fruit enzyme investigations. *Fruit Prod. Jour. and Amer. Vinegar Indust.* 12:323-324.
9. 大氣汚染研究全國協議會 第二小委員會, 1965. “大氣汚染の測定” コロナ社, 東京, p.139-141.
10. 田崎 桂一郎, 舟橋 錠助, 1945. 石灰乳 其他農藥의 撒布에 依る 煙害의 防除 第1報 亞硫酸互. *斯農業及園藝* 20:253-254.
11. Das Gupta, S.N., G.S. Verma, and S. Sinha, 1941. Studies in the diseases of *Mangifera indica* Linn. III. Investigation into the effect of sulfur dioxide gas on the mango fruit. *Proc. Indian Acad. Sci. Sect. B.* 13(1):71-83.
12. Davis, C.R., 1972. Sulfur dioxide fumigation of soybeans: Effect on yield. *J. Air Poll. Control Assoc.* 22:964-966.
13. Dochinger, L.S., A.M. Townsend, D.W. Seegrist, and F.W. Bender, 1972. Responses of hybrid poplar trees to sulfur dioxide fumigation. *J. Air Poll. Control Assoc.* 22: 369-371.
14. Fried, M., 1948. The absorption of sulfur dioxide by plants as shown by the use of radioactive sulfur. *Soil Sci. Amer. Proc.* 13: 135-138.
15. 藤原 喬. 1970. 大氣中の SO<sub>2</sub>에 對する 브ドウ의 障害 感受性 について. *園藝學雜誌*. 39: 219-224.
16. Gorham, E., and A. Gordon, 1960. The influence of smelter fumes upon the chemical

- composition of lake waters near Sudbury, Ontario and upon the surrounding vegetation. *Can. J. Botany* 38:477-487.
17. Harrison, B.F., M.D. Thomas, and G.R. Hill, 1944. Radioautographs showing the distribution of sulfur in wheat. *Plant Physiol.* 19:245-257.
  18. Heck, W.W., J.A. Dunning, and I.J. Hindawi, 1965. Interactions of environmental factors on the sensitivity of plants to air pollution. *J. Air Poll. Control Assoc.* 15:511-515.
  19. Hill, G.R. Jr., and M.D. Thomas, 1933. Influence of leaf destruction by sulfur dioxide and by clipping on yield of alfalfa. *Plant Physiol.* 8:223-245.
  20. 井上 敏雄. 1973. 亜硫酸 ガスによる樹木の被害, 植物防疫 27:224-228.
  21. Joslyn, M.A., and G. Mackiney, 1938. The rate of conversion of chlorophyll to pheophytin. *J. American Chem. Soc.* 60:1132-1136.
  22. Katz, M., 1949. Sulfur dioxide in the atmosphere and its relation to plant life. *Ind. Eng. Chem.* 41:2450-2465.
  23. 公害と防災編集委員会. 1967. “大気汚染Ⅱ” 白亜書房(東京) p.49-52.
  24. 栗林 茂治, 彌富喜三, 門田 正也 1971. ふつ化水素 および 二酸化 硫黄の クワおよび カイコに及ぼす 影響. 大気汚染研究 6:155.
  25. Leone, I.A. and E. Brennan, 1972. Modification of sulfur dioxide injury to tobacco and tomato by varying nitrogen and sulfur nutrition. *J. Air Poll. Control Assoc.* 22:544-547.
  26. 松島二郎, 原田學, 1965. 果樹の 亜硫酸ガスによる煙害(第2報) 被害カンキツ樹の 實態ならびに その 營養學的觀察, 園藝學雜誌, 34:169-176.
  27. 松島二郎, 原田學, 1965. 果樹の 亜硫酸ガスによる煙害(第3報) カンキツの 落葉に 及ぼす 亜硫酸ガスの くん蒸と ボルドー液散布の 影響. 園藝學雜誌 34:272-276.
  28. Matsushima, J., and R.F. Brewer, 1972. Influence of sulfur dioxide and hydrogen fluoride as a mix or reciprocal exposure on citrus growth and development. *J. Air Poll. Control Assoc.* 22:710-725.
  29. McCool, M., 1938. Nitrogen and sulfur content of leaves of plants within and at different distances from industrial centers. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 9:371-380.
  30. Menser, H.A., and H.E. Heggestad, 1966. Ozone and sulfur dioxide synergism: Injury to tobacco plant. *Science*, 153:424.
  31. 村田 吉男, 1961. 水稻の 光合成と その 栽培學的 意義に 關する研究. 農技研報 9(D):1-169.
  32. 西場靜雄, 田端 市郎, 橋本 敏章, 1967. カンキツの 亜硫酸ガスによる煙害 1. 亜硫酸ガス處理濃度と 可視的被害. 三重縣農試研報 2:12-18.
  33. Noble, W.M., and L.A. Wright, 1958. Air pollution with relation to agronomic crops (2): A bio-assay approach to the study of air pollution. *Agron. J.* 50:551-553.
  34. 野内 勇, 大平 俊男, 沃田 正, 1973. 大気汚染質の 植物色素への 影響. 大気汚染研究 8 (3):309.
  35. 岡山縣 農業試驗場, 1968. 農作物公害對策試驗, 岡山縣農業試驗場 報告 p.37-38.
  36. 岡山縣 農業試驗場, 1969. 農作物公害對策試驗, および調査, 岡山縣農業試驗場報告 p.33-36.
  37. 奥田 東, 1961. “植物營養學實驗”朝倉書店(東京) p.198-199.
  38. Olsen, R.A., 1957. Absorption of sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants. *Soil Sci.* 84:107-111.
  39. Partington, J. R., 1950 *A Text Book of Inorganic Chemistry.* McMillan & Co., London, 6th Ed., p.466.
  40. Pearson, L., and E. Skye, 1965. Air pollution affects pattern of photosynthesis in *Parmelia sulcata*, a corticolous lichen. *Science*, 148:1600-1602.
  41. Rao, N.D., and B.F. LeBlanc, 1965. Effect of sulfur dioxide on the Lichen alga, with special reference to chlorophyll. *The Bryologist* 69:69-75.
  42. Reddi, R.R., W.B. Esselem, Jr., and C.R.

- Fellers, 1950. Peroxidase activity in apple tissue. *Food Technol.* 4:63-68.
43. Ryrie, I.J., and A.T. Jagenodorf, 1971. Inhibition of photo-phosphorylation in spinach chloroplasts by inorganic sulfate. *J. Biol. Chem.* 246:582-588.
  44. Shibuya, I., T. Yagi, and A.A. Benson, 1963. Sulfonic acids in algae. *Studies Microalgae Photosynthesis. Bacterial Collection Papers* p. 627-633.
  45. Setterstrom, C., P.W. Zimmerman, and W. Crocker, 1938. Effect of low concentrations of sulfur dioxide on yield of alfalfa and cruciferae. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 9:179-198.
  46. Setterstrom, C. and P.W. Zimmerman, 1939. Factors influencing susceptibility of plants to sulphur dioxide injury (1). *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 10:155-181.
  47. Setterstrom, C., 1940. Effects of sulfur dioxide on plants and animals. *Ind. Eng. Chem.* 32:473-479.
  48. Solberg, R.A., and D.F. Adams, 1956. Histological responses of some plant leaves to hydrogen fluoride and sulfur dioxide. *Am. J. Botany*, 43:755-760.
  49. 鈴木 信隆, 黒澤 諒, 和田 士, 1972. 各種作物に對する 亞硫酸ガスの影響(第1報)養分吸収に及ぼす 亞硫酸ガスの影響. *大氣汚染研究* 7:228.
  50. Swain, R.E., and A.B. Johnson, 1936. Effect of sulfur dioxide on wheat development. *Ind. Eng. Chem.* 28:42-47.
  51. 田中 榮介, 高橋高志, 1968. 大氣汚染による市原ナシの被害と對策(2) *農業技術*, 23(12):555-559.
  52. 田中 啓文, 高梨 俊治, 谷田澤 道彦, 1970. 亞硫酸ガスによる植物被害の實驗的研究(第4報)亞硫酸被曝植物におけるアミノ酸代謝の變動. *大氣汚染研究* 5(1):152.
  53. 田中 啓文, 高梨 俊治, 谷田澤 道彦, 1971. 亞硫酸ガスによる植物被害の實驗的研究(第5報)炭素固定に對する亞硫酸イオンの影響. *大氣汚染研究*. 6:143.
  54. 谷山 鐵郎, 有門 博樹, 1968. 作物のガス障害に關する研究:第一報 數種作物の亞硫酸ガス濃度と葉面破壞程度との關係. *日作記*. 37:366-370.
  55. 谷山 鐵郎, 有門 博樹, 鈴木 久光, 1970. SO<sub>2</sub>による裸麥の光合成と葉面蒸散との關係ならびに光合成からみたSO<sub>2</sub>低濃度限界値. *大氣汚染研究* 5(1):154.
  56. 谷山 鐵郎, 澤中 和雄, 1972. 水稻の子實生産におよぼす亞硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)の影響. *大氣汚染研究* 7(2):227.
  57. 立谷壽雄, 1964. 農作物の煙害と被害軽減策 *農業技術* 19(2):69-74.
  58. Taniyama, T., H. Arikado, and I. Iwata, 1971. Studies on the mechanism of injurious effect of toxic gases on crops plants. IX. Effect of sulfur dioxide treatment for long period on dry matter production in rice plants. *Proc. Crop Sci. Soc. Jap.* 40:455-461.
  59. Temple, P.J., 1972. Dose-response of urban trees to sulfur dioxide. *J. Air Poll. Control Assoc.* 22:271-274.
  60. Thomas, M.D., and G.R. Hill, 1935. Absorption of sulfur dioxide by alfalfa and its relation to leaf injury. *Plant Physiol.* 10:291-307.
  61. Thomas, M.D., and G.R. Hill, 1937. Relation of sulfur dioxide in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa. *Plant Physiol.* 12:309-383.
  62. Thomas, M.D., and G.R. Hill, 1937. The continuous measurement of photosynthesis, respiration, and transpiration of alfalfa and wheat growing under field conditions. *Plant Physiol.* 12:285-307.
  63. Thomas, M.D., et al., 1943. The utilization of sulphate and sulphur dioxide for the sulphur nutrition of alfalfa. *Plant Physiol.* 18:345-371.
  64. Thomas, M.D., R.H. Hendricks, H.L. Bryner, and G.R. Hill, 1944. A study of the sulphur metabolism of wheat, barley, and corn using radioactive sulphur. *Plant Physiol.* 19:227-244.
  65. Thomas, M.D. R.H. Hendricks, and G.R.

- Hill, 1944. Some chemical reactions of sulfur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. *Plant Physiol.* **19**:212-226.
66. Thomas, M.D., R.H. Hendricks, and G.R. Hill., 1950. Sulfur metabolism of plants: Effect of sulfur dioxide on vegetation. *Ind. Eng. Chem.* **42**:2231-2235.
67. Thomas, M.D., 1958. Air pollution with relation to agronomic crops: (1) General status of research on the effects of air pollution on plants. *Agron. J.* **50**:545-550.
68. Thompson, J.R., and D.M. Pace, 1962. The effects of sulfur dioxide upon established cell lines cultivated in vitro. *Can. Jour. Biochem. and Physiol.* **40**:207-217.
69. Todd, G.W., 1956. "Hidden damage" to plants as caused by air pollutant. *Plant Physiol.* **31**:Suppl. p. 15.
70. Whitby, G.S., 1939. The effects of sulfur dioxide on vegetation. *Chem. Ind.* **58**:991.
71. Wieler, A., 1933. Über die Einwirkung von Säuren auf die Assimilation der Holzgewächse. *Jahrb. Wiss. Bot.* **78**. 483-543.
72. 山添 文雄, 1962. 弗化水素による煙害の實態ならびに機作に関する研究. *日農技研報* **B. 12**:1-116.
73. 谷田澤 道彦, 古橋 勝久, 田中啓文 1972. 亞硫酸ガスによる植物被害の實驗的研究(第6報) 炭素固定酵素の亞硫酸による阻害様式について. *大氣汚染研究* **7**(2):183.
74. Zelitch, I., 1957.  $\alpha$ -Hydroxysulfonates as inhibitors of the enzymic oxidation of glycolic and lactic acids. *J. Biol. Chem.* **224**:251-260.
75. Zimmerman, P.W., A.E. Hitchcock, and W. Crocker, 1931. The movement of gases into and through plants. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* **3**:313-320.
76. Zimmerman, P.W., and W. Crocker, 1934. Toxicity of air containing sulfur dioxide gas. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* **6**:455-470.
77. Zimmerman, P.W., 1955. Chemical involved in air pollution and their effect upon vegetation. *Contrib. Boyce Thompson Inst. Plant Research Professional Paper* **2**(14): 124-145.
78. Zimmerman, P.W., and A.E. Hitchcock, 1956. Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulfur dioxide gases. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* **18**:263-279.