

## 造景樹木의 大氣汚染物質에 대한 防禦機能(II)

— POD 活性을 중심으로 —

金明姬<sup>2</sup> · 李壽煜<sup>3</sup>

## Resistance Function of Woody Landscape Plants to Air Pollutants(II)

—POD Activity—

Myung Hee Kim<sup>2</sup> and Soo Wook Lee<sup>3</sup>

### 要 約

造景樹木들의 大氣汚染物質들에 대한 感受性 및 抵抗性을 규명하기 위해서 野外調査와 室內實驗을 통하여 葉內 硫黃含量과 peroxidase(POD) 및 superoxide dismutase(SOD) 含量을 測定 分析하였다. 은행나무에서는 葉內 硫黃含量과 POD 活性間에 負의 相關이 나타났고 잣나무, 소나무 및 양버즘나무에서는 葉內 硫黃含量과 POD 活性間에 正의 相關을 나타내었다. 각 樹木들은 汚染物質이 體內에 吸收, 蓄積됨에 따라 耐性機構로써 POD 같은 酵素 活性을 증가시켰다. 특히 잣나무와 양버즘나무의 POD 活性이 높게 나타났다. SO<sub>2</sub> 처리실험에서 고유의 POD 活性이 낮은 針葉樹 1년생 잎이나 은행나무에서는 SO<sub>2</sub> 처리구간에 POD 活性 변화가 거의 없으나, 고유의 POD 活性이 높은 스트로브잣나무와 튜립나무에서는 처리농도가 높을수록 POD 活性이 증가하는 것으로 보아, 외부 stress에 대한 단기적 POD 活性은 感受性이 큰 樹種에서 나타나며, 장기적 POD 活性 증가는 植物體의 防禦機作중의 일부로써 나타났으며 樹木의 SOD와 POD 活性間的 相關關係는 은행나무에서만 負의 相關을 보이고 나머지 樹木에서는 正의 相關을 나타내었다. SOD와 POD 活性은 樹種마다 특이한 反應을 나타내며, 대부분의 樹種에서 SOD와 POD가 동시에 耐性 機構에 참여함을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

This study was conducted to determine the toxic effects of air pollutants on landscaping trees. *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Ginkgo biloba*, *Liriodendron tulipifera*, *Platanus occidentalis* and their resistance to the pollutant toxicity in urban and industrial regions of Seoul and Taejeon, Korea. Total sulfur contents and enzyme activities such as superoxide dismutase and peroxidase were analyzed in tree foliage of *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Ginkgo biloba*, *Liriodendron tulipifera*, *Platanus occidentalis*. In addition, POD activity was analyzed in the foliage on tree seedlings, i.e. *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Ginkgo biloba*, *Liriodendron tulipifera*, with the fumigation of SO<sub>2</sub> in gas chamber 4 hours a day for six days. In *Ginkgo biloba* total sulfur content and POD activity had a negative correlation while other species had a positive relationship

<sup>1</sup> 接受 1992年 4月 3日 Received on April 3, 1992.

<sup>2</sup> 中部社會産業大學 Chungbu Socio-Industrial College. Majon, Chungnam, Korea.

<sup>3</sup> 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon, Korea.

in total sulfur content and enzyme activity. Air pollutants accumulated in tree tissues were supposed to enhance the enzyme activity like POD providing the resistance mechanisms. Especially *Pinus koraiensis* and *Platanus occidentalis* had higher POD activity than other species. The increase of temporary POD activity against environmental stress appeared in sensitive trees and prolonged increase of POD activity played an important role in resistance mechanism. SOD and POD activities in all species had a positive correlation except *Ginkgo biloba*. Changes of SOD and POD activities were different between species and in most species SOD as well as POD seemed to participate in resistance mechanism.

*Key words* : Air pollutions, Total sulfur content, Superoxide dismutase activity, Peroxidase activity, Resistance mechanism.

### 緒 論

人間이나 動植物에 被害를 야기시키는 大氣汚染物質중에서 대표적인 것에는 亞黃酸가스(SO<sub>2</sub>), 酸化窒素(NO<sub>x</sub>), 拂化水素(HF), 炭化水素(HC), Ozone(O<sub>3</sub>), PAN(peroxyacetyl nitrate), Ethylene 및 重金屬類 등이 있다.

大氣汚染物質에 노출된 植物은 그 毒性作用을 직접 받기도 하지만, 植物體內에서 여러 경로를 통하여 강한 毒性을 나타내기도 한다.<sup>1,2,3,8,9,10)</sup> SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 및 O<sub>3</sub> 같은 大氣汚染物質은 細胞內에서 活性酸素(activated oxygen)를 발생시켜 각종의 酸化的 障害를 일으킨다. 이때 발생하는 活性酸素에는 superoxide radical(O<sub>2</sub><sup>-</sup>), 過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 水酸基(OH<sup>-</sup>) 및 singlet oxygen(<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) 등이 있다.<sup>1,2,3,9)</sup> 이러한 活性酸素은 O<sub>3</sub>과 SO<sub>2</sub> 自體에 의해서 보다는 生體物質과의 反應性이 높아 葉綠素와 carotenoid 色素의 破壞, 核酸, 蛋白質, 脂質 등의 變性을 일으켜, 최종적으로 植物體를 致死시킨다.<sup>12,23,25)</sup>

Shimazaki 등<sup>23)</sup>은 시금치 잎에 SO<sub>2</sub>를 處理한 후 생긴 葉綠素의 파괴는 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 때문에 발생하였으며, Peiser 등<sup>21)</sup>은 alfalfa가 SO<sub>2</sub>에 노출된 후, ethylene과 ethane 생성이 증가하였는데, 이는 결국 活性酸素에 의하여 야기되었다고 하였다. Tanaka와 Sugahara<sup>26)</sup>도 SO<sub>2</sub>가 處理된 시금치 잎에서 O<sub>2</sub><sup>-</sup>에 의한 葉綠素 파괴 현상을 관찰하였다. 즉 SO<sub>2</sub>에 의하여 생긴 植物의 被害의 일부가 活性酸素 때문임을 시사하였다.

Asada<sup>1)</sup>는 光條件의 葉綠體에서 sulfite의 酸化作用이 葉綠體에서 생성된 O<sub>2</sub><sup>-</sup>에 의해 개시되며, 그 결과 O<sub>2</sub><sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> radical의 生産이 증

대되어 잎 組織의 被害를 야기할 수 있음을 시사했다.

植物은 生長過程에 있어서 代謝中 필연적으로 생기는 活性酸素의 毒性에 노출되고 있지만, 그래도 여전히 정상적으로 生命活動을 영위하는 것은 이러한 毒物을 中和하는 기능을 갖고 있기 때문이다. 植物體內에서 생성된 活性酸素는 peroxidase, superoxide dismutase 및 catalase 등의 酵素들과 葉綠體內에 존재하는 ascorbic acid 및 glutathion 등의 酸化還元物質들에 의해서 解毒된다.<sup>7,9,14)</sup> Catalase와 peroxidase는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 H<sub>2</sub>O로 還元시킴에 의해 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 消去하는 酵素이다.

酸素分子 還元過程의 中間 生成物인 O<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, OH 중 O<sub>2</sub><sup>-</sup>와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>는 SOD 및 peroxidase와 catalase에 의해 효율적으로 消去되어 細胞成分과 가장 반응이 활발한 OH의 형성을 막아주게 된다.<sup>7)</sup>

Upadhyaya 등<sup>2)</sup>은 大氣汚染物質에 대한 耐性을 갖는 酵素 活性 增大 및 free radical scavenger의 含量을 증가시켜 汚染物質에 대한 耐性을 증대시키고 있음을 보고하였다.

植物에 대한 活性酸素의 피해기작은 두가지 형태로, 生體內에서의 生成 速度를 超過하여 活性酸素가 過剩 生成되는 것과 大氣汚染에 의하여 活性酸素에 反應하는 물질들이 變性을 받아 中和機能이 저하됨으로서 活性酸素 濃도가 높아지게 되는 것으로 구분된다.<sup>4)</sup>

따라서 本 研究은 大氣汚染物質, 특히 亞黃酸가스가 造景樹木에 미치는 영향을 superoxide dismutase와 peroxidase 같은 防禦系 酵素의 活性과 汚染物質의 吸收量을 조사하여 大氣汚染物質의 毒性에 대한 植物의 生理 生化學的 防禦機

能을 조사 분석하여 大氣汚染의 指標와 淨化에 이용될 수 있는 樹種을 비교 선택하는데 유용한 基礎資料를 提供하고자 한다.

材料 및 方法

1. 野外試料의 採取

試料의 採取 地點으로는 表 1과 그림 1에 나타난 바와 같이 서울 市內에서는 交通量이 빈번한 宗廟, 昌慶宮, 德壽宮과 南山 및 洪陵 林業研究院과 大田市內에서는 都心 街路邊 및 大禾工團 地域의 街路 및 인근 야산 地域을 선정하였으며, 對照區 地域으로는 京畿道 光陵 林業試驗場의 樹

木園을 선정하였다. 供試樹種으로는 街路樹로 많이 이용되는 은행나무, 양버즘나무, 튜립나무, 잣나무 및 소나무를 선정하였다. 南山 地域의 森林內에서 소나무와 잣나무 잎을 채취하고 大禾工團 地域에서 소나무를 채취하였으며, 宗廟, 昌慶宮 地域의 소나무, 잣나무는 공원에서 채취하였고 그 外에는 모두 街路樹에서 標本을 채취하였다. 선정된 각 地點에서의 造景樹木의 葉試料 채취는 각 樹木의 樹冠 中位部의 葉을 각 地域의 3-5주 나무에서 3잎씩 채취한 것을 혼합하여 試料로 사용하였으며, 試料의 採取時期는 闊葉樹의 경우 1989年 5月 19日, 8月 20日, 10月 1日로 3

Table 1. Locations of sample plots of landscaping tree species.

Species	Location		Seoul				Taejon		
	KR	HR	NS	CM	CKK	DSK	TWD	SDJ	THD
<i>Pinus densiflora</i> (P.den.)	0	0	0	0	0		0		
<i>Pinus koraiensis</i> (P.kor.)	0	0	0	0	0		0		
<i>Ginkgo biloba</i> (G.bil.)	0	0	0	0	0	0	0		0
<i>Platanus occidentalis</i> (P.occ.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Liriodendron tulipifera</i> (L.tul.)	0		0	0			0	0	

KR : Kwangreung

HR : Hongreung

NS : Namsan

CM : Chongmyo

CKK : Changkyongkung

DSK : Dongsukung

TWD : Taehwadong

SDJ : Sodaejon

THD : Taehungdong

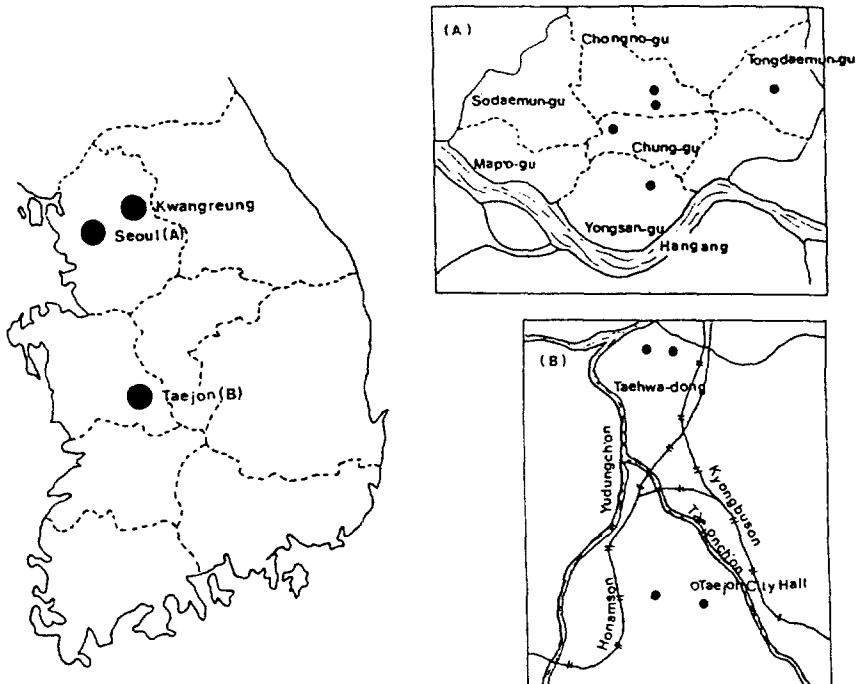


Fig. 1. Sampling sites in Seoul, Taejon and Kwangreung, Korea.

차레이었고, 針葉樹는 闊葉樹와 같은 採取時期 以外에 2月 12日로 4次에 걸쳐 1, 2, 3年生 針葉를 채취하였다. 채취일은 dry ice box에 넣어 보관, 운반하드로서 온도에 의한 酵素의 變異를 최소화하였다. 채취일은 육안적 피해 증상이 없는 건전한 잎을 선택하였으나, 10月채취시 闊葉樹의 일부 잎은 약간의 黃色斑點 현상이 있는 것도 있었으며, 針葉樹의 3年生잎의 끝이 黃變 또는 갈변 현상이 출현한 것이 있었다. 落葉 현상은 光陵地域보다 都心地域이 다소 빠르게 나타나고 있었다.

2. 室內 Pot 苗木의 SO<sub>2</sub> 處理

1) 供試材料

SO<sub>2</sub> 處理를 위한 pot 實驗에 사용된 樹種은 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*P. koraiensis*) 및 스트로브잣나무(*P. strobus*) 3種의 침엽수와 은행나무(*Ginkgo biloba*), 튜립나무(*Liriodendron tulipifera*) 2種의 闊葉樹로서 이들 苗木은 忠南大 練習林 시험포장에서 播種하여 養苗된 것으로 잣나무, 스트로브잣나무, 은행나무 및 튜립나무는 2年生 苗木이었고 소나무는 3年生 苗木이었다. 培養土는 황토(2) : 모래(2) : vermiculite(0.5) : perlite(0.5) : peatmoss(0.5) (v/v)의 混合土壤으로서 이를 넣은 直徑 13cm의 vinyl pot에 75-85주씩 苗木들을 이식하여 vinylhouse內에서 5個月 동안 生育시킨 후, 7月末-8月末에 가스를 接觸시키고 시료를 채취하였다.

植物體에 대한 SO<sub>2</sub> 接觸時 적용된 接觸箱의 溫度는 28±2°C, 濕度는 60-70%였으며, 光原은 水銀燈과 白熱燈을 사용하여 PAR 180μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>로 調節하였다. 모든 樹種은 각 樹種別로 生育 狀態에 따라 3群 혹은 4群으로 均등히 나눈 후에 각 群에서 5-6個體씩 선정하여 1個 處理區에 18個體로 하여 가스를 接觸시켰다. SO<sub>2</sub> 處理 濃度 水準은 無處理, 0.5, 1.5 및 2.5 ppm으로 각각 하루에 4時間씩 6日間 處理하였다. 가스 處理時 接觸箱內의 SO<sub>2</sub> 濃度는 Pulsed fluorescent analyzer(Thermo.electron Co.)를 사용하여 측정하였다.

3. 調査方法

1. 酵素의 活性 測定

a) Superoxid dismutase(SOD ; EC 1, 15, 1, 1)分析

SOD 分析은 McCord & Fridovich<sup>18)</sup>와 Fridovich<sup>9,10)</sup>의 分析法에 의하여, 일정 部位에서 채취한 生體試料 0.5g을 冷藏 保管된 mortar에 넣고 10ml의 Phosphate buffer(pH 7.8)를 첨가하여 마쇄한 다음 12,000rpm으로 30分間 遠心分離한 후, 上騰液을 助酵素로 사용하였다. 이런 모든 과정은 4°C 以下에서 실시하였으며, 0.1M Na-phosphate buffer(pH 7.8), 10<sup>-4</sup> M EDTA, 10<sup>-5</sup> M Cytochrome C, 6×10<sup>-5</sup> M Xanthine의 反應混合液에 助酵素를 첨가하여 총량 3ml로 하여 分光分析機로 측정하였다. 反應開始는 6×10<sup>-9</sup> M Xanthine oxidase(약 0.03 unit)를 첨가시켜, 550nm 에서 0.025A가 되게 조정하였고, 減少率은 2分間 10초 간격으로 읽었으며, SOD activity 1 unit는 이런 條件下에서 Cytochrome C의 減少率을 50% 억제시킨 量으로 定意하였다.

b) Peroxidase(POD : EC 1, 11, 1, 7)分析

POD의 活性은 Raa<sup>22)</sup>의 方法에 의하여 측정하였다. Phosphate buffer(pH 6.8) 7.9ml, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0.3%) 0.5ml, O-phenylenediamine(1%)0.5ml와 위에서 준비한 助酵素 0.1ml를 합하여 反應液을 9ml가 되도록 하였으며, 反應의 開始는 助酵素 첨가에 의하여 시작되었고 5分間 反應시킨 다음 反應停止液(NaH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) 1ml를 첨가하여 反應을 정지시키고 室溫에 30分間 방치 후, 430nm에서 分光分析機로 吸光度를 측정하였다. POD activity 1 unit는 分當 0.1까지 absorbance를 증가시키는 enzyme 量으로 決定하였다.<sup>66</sup>

2. 葉內 全硫黃含量

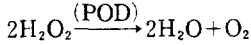
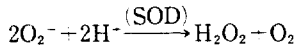
각 조사대상 地域에서 樹種別, 葉令別로 葉試料를 채취하여 實驗室로 운반한 후 통풍이 잘되는 그늘진 곳에서 氣乾시킨 후, dry oven에서 80-85°C로 24-48시간 건조시킨 후, 粉碎하여 分析用 試料로 사용하였다. 粉碎試料 1g을 Sulfur-determinator에 넣고 연소시키면서 자동 측정하였다.

結果 및 考察

1. Peroxidase(POD)의 活性

Peroxidase와 catalase는 SOD에 의하여 전환

된 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 H<sub>2</sub>O와 O<sub>2</sub>로 分解를 촉진하는 酵素이다.



따라서 POD도 SOD와 마찬가지로 SO<sub>2</sub>에 의해서 2次的으로 일어나는 活性酸素의 毒性으로부터 植物의 細胞組織을 보호하는데 중요한 역할을 하는 酵素이다. POD 活性은 여러가지 stress, 즉 毒性가스, 機械的 傷害, 病蟲害 등에 의하여 植物細胞에서 증가하는데, 일반적으로 POD 活性增加는 環境 stress에 대한 초기 代謝反應으로 여겨지며, 특히 慢性被害의 초기 진단을 위한 方法開發에 시도된 酵素이다.<sup>24)</sup> 이 酵素 活性의 증가

는 細胞膜의 파괴와 동시에 immobilized protein의 배출과 연관이 있다. 이 酵素는 aromatic acids, phenols, heterocyclic compound 같은 물질을 酸化하고 동시에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 分解시키는 酵素이며 oxidoreductases class에 속한다. 細胞에 해로운 active oxygen과 hydrogen peroxide의 제거는 SO<sub>2</sub>에 피해를 받은 植物에서 매우 중요하다.

우선 POD가 大氣의 汚染狀況과 연관이 있는지 없는지를 알아 보기 위하여 大氣汚染의 指標로서 측정된 硫黃含量과 POD와의 相關關係를 2차 回歸式으로 알아 본 결과(그림 2), 葉內 全硫黃含量과 POD 活性은 서로 相關關係가 있음이 나타났다. 단, 튼림나무에서는 유의성이 나타나지 않았으며, 잣나무(그림 2-2), 양버즘나무(그림

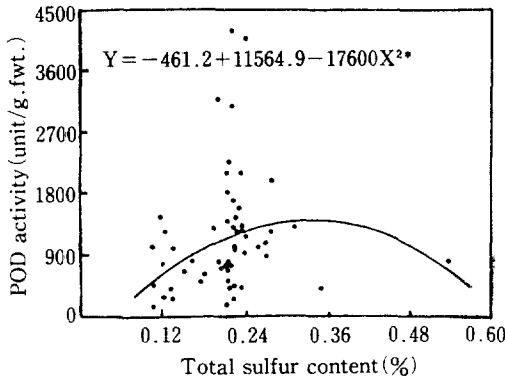


Fig. 2-1. Correlations between total sulfur contents and peroxidase activities in *Pinus densiflora* exposed to air pollutants in the fields.

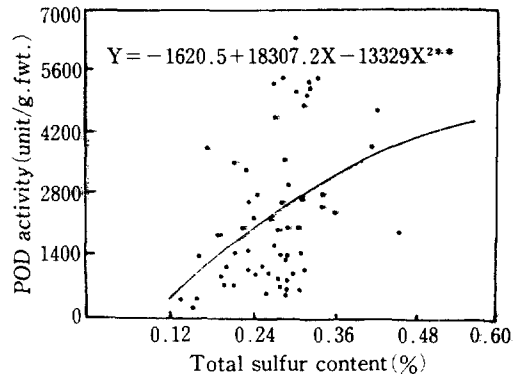


Fig. 2-2. Correlations between total sulfur contents and peroxidase activities in *Pinus koraiensis* exposed to air pollutants in the fields.

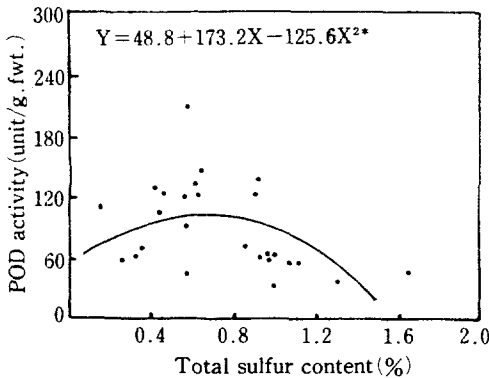


Fig. 2-3. Correlations between total sulfur contents and peroxidase activities in *Ginkgo biloba* exposed to air pollutants in the fields.

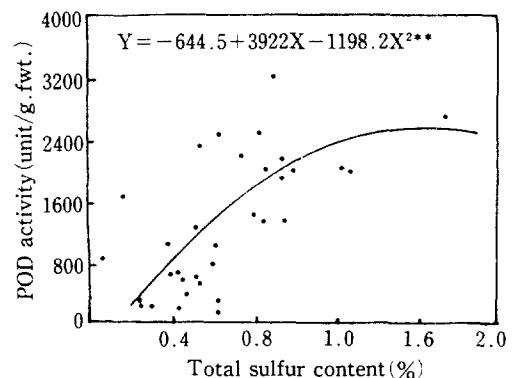


Fig. 2-4. Correlations between total sulfur contents and peroxidase activities in *Platanus occidentalis* exposed to air pollutants in the fields.

2-4)에서는 葉內 硫黃含量과 POD 活性이 高度의 正의 相關을 나타내고 있다. 소나무(그림 2-1)에서는 全硫黃含量이 높지 않을 때는 POD 活性의 범위가 매우 다양하게 나타나고 있지만 대체적으로 硫黃含量이 증가함에 따라 酵素 活性이 증가하고 있다. 硫黃含量이 0.24%를 넘을 때는 오히려 POD 活性이 떨어지는 것을 보여 주고 있다. 소나무의 針葉은 3年間 大氣中의 SO<sub>2</sub>를 계속적으로 吸收 蓄積함에 따라 POD 같은 酵素의 活性을 유도하여 植物自體에서 防禦作用을 하다가 汚染物質의 축적이 어느 한계를 넘을 때는 오히려 酵素의 活性이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 은행나무(그림 2-3)에서는 硫黃含量의 폭과 POD 活性 범위가 다소 다르지만 소나무와 유사하게 나타나고 있다. 硫黃含量이 0.71%까지는 POD 活性이 증가하고 있으나, 그 이상일 때는 감소하고 있으며, 전체적으로 負의 相關을 나타내고 있다. 또한 樹種에 따라 각 酵素가 서로

다르게 유도되고 있음을 알 수 있다. Horsman 等<sup>13)</sup>과 Keller<sup>25)</sup>는 POD 活性이 大都市 근처에서 汚染物質 分布, 評價의 좋은 指標가 될 수 있는데, 왜냐하면 SO<sub>2</sub>, HF 및 O<sub>3</sub> 같은 汚染物質들이 우선 POD 活性을 증가시키며 그 후 잎 피해의 可視症狀이 진행되기 때문이라 하였다.

本 調査地域에서 채취한 각 樹種別로 季節別, 地域間의 POD 活性은 그림 3과 같다. 소나무의 POD 活性(그림 3-1)은 잣나무보다 낮았고, 季節別 有意性은 인정되었으며, 10月の POD 活性이 제일 낮았다. 地域間 POD 活性은 汚染地域이 光陵地域보다 모두 높게 나타났다. 잣나무의 POD 活性(그림 3-2)은 본 조사대상 樹種中 제일 높았다. 季節別 POD 活性은 有意性을 나타냈으며, 소나무와 마찬가지로 10월에 최저를 나타내었고 2월이 최고로 높았다. 地域間 POD 活性은 모든 汚染地域에서 光陵보다 높게 나타났다. 은행나무의 POD 活性(그림 3-3)은 조사대

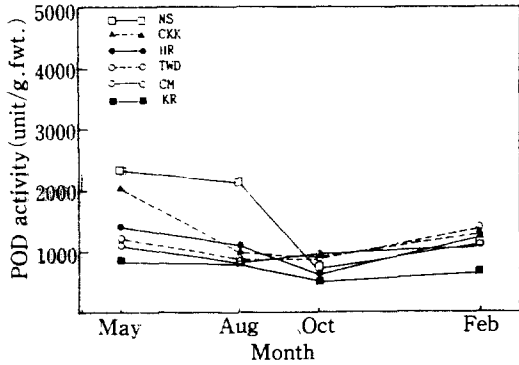


Fig. 3-1. Seasonal changes of peroxidase activities of *Pinus densiflora* needles between six sample plots.

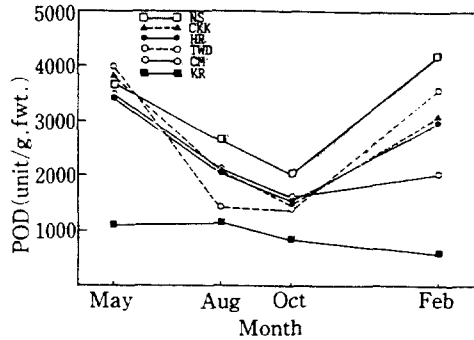


Fig. 3-2. Seasonal changes of peroxidase activities of *Pinus koraiensis* needles between six sample plots.

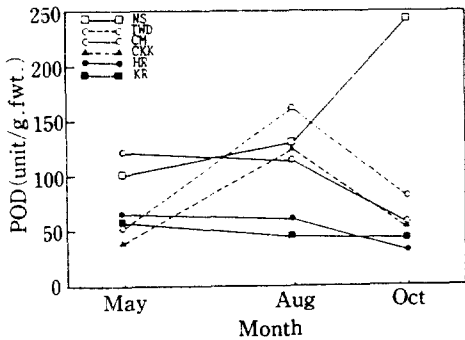


Fig. 3-3. Seasonal changes of peroxidase activities of *Ginkgo biloba* leaves between six sample plots.

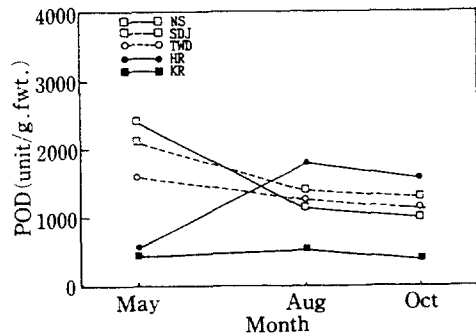


Fig. 3-4. Seasonal changes of peroxidase activities of *Liriodendron tulipifera* leaves between five sample plots.

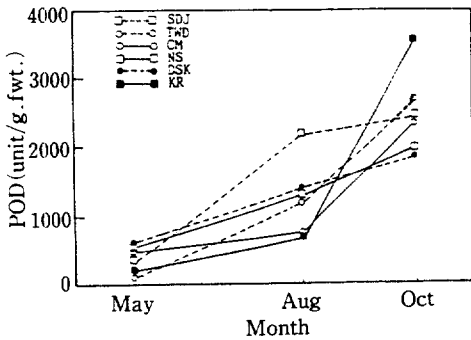


Fig. 3-5. Seasonal changes of peroxidase activities of *Platanus occidentalis* leaves between six sample plots.

상 樹種中 제일 낮았다. 地域間 POD 活性은 대부분 光陵보다 높게 나타났다. 튜립나무의 POD 活性(그림 3-4)은 季節別 有意性이 인정되었으나, 5月보다 8, 10月이 오히려 다소 낮았다. 地域間 POD 活性은 光陵보다 汚染地域이 높게 나타났다. 양버즘나무의 POD 活性(그림 3-5)은 季節別 有意性이 나타났고, 튜립나무와는 다르게 8月, 10月로 갈수록 POD 活性이 증가하였다. 地域間 POD 活性을 보면, 5月, 10月에는 汚染地域이 光陵地域보다 다소 높았으나, 10月에는 光陵보다 전지역의 活性이 낮아졌다. 이상의 결과로 볼 때, 針葉樹類中에서 잣나무의 평균 POD 活性이 소나무보다는 2.3배 높게 나타났다. 闊葉樹類에서는 튜립나무와 양버즘나무의

POD 活性이 각각 1,153, 1,391 unit/g.fwt로 비슷하게 나타났으며, 은행나무는 99 unit/g.fwt로 가장 낮게 나타났다. 소나무와 잣나무의 季節別 POD 活性 변화는 봄부터 가을, 겨울에 이르기까지 계속 증가하였고 그 증가폭은 소나무보다 잣나무에서 뚜렷하게 나타났는데, 특히 2月에는 3.2배의 차이를 나타내었다. 闊葉樹類中에서 양버즘나무의 活性은 봄부터 가을, 겨울에 이르기까지 계속 증가하는 반면, 튜립나무는 변화가 별로 없었고, 은행나무는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 소나무, 잣나무 및 양버즘나무에서는 季節別로 有意的인 차이가 나타난 반면, 은행나무와 튜립나무에서는 季節別 有意性이 나타나지 않았다. 이상의 결과를 볼 때 針葉樹類에서는 잣나무가 闊葉樹에서는 양버즘나무가 POD 活性이 높게 나타나는 것으로 보아, 본 조사 樹種中에서는 이 두 樹種이 環境汚染에 대한 防禦 能力이 제일 큰 것으로 생각된다.

그림 4는 野外에 있는 소나무에서 각 지역의 季節別, 葉令間의 POD 活性을 年度別로 配列하여 나타낸 것이다. 光陵地域에서의 POD 活性 변화를 보면, 新葉이 발생하면서 부터 活性이 서서히 증가하면서 10월에 最高值를 이루다가 2월에 다소 감소했고, 2年生잎에서는 다시 이듬해 5월에 급격히 증가하여 8월에 약간 증가하다가 10월과 2월에 다소 떨어졌다. 2年生잎의 POD 活性은 봄에 크게 증가한 것 이외에 季節別로 큰

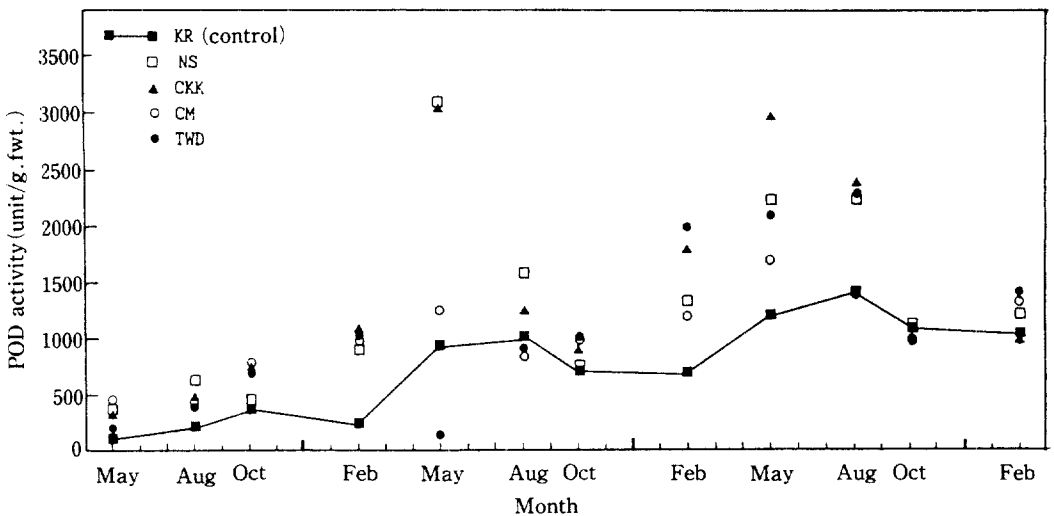


Fig. 4. Seasonal changes of peroxidase activities in time sequence of three needle ages of *Pinus densiflora* between five sample plots.

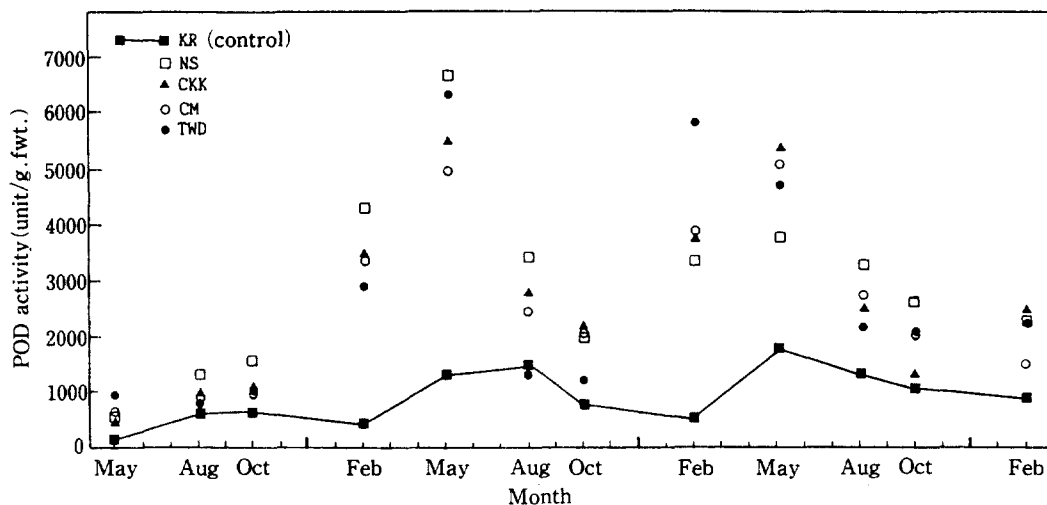


Fig. 5. Seasonal changes of peroxidase activities in time sequence of three needle ages of *Pinus koraiensis* between five sample plots.

변동이 없었고, 3년생일에서는 2년생일과 유사하게 5월에 크게 증가하고, 8월에 最高値를 이루다가 10월과 2월에 감소하나 변화폭은 작았다. 반면 汚染地域인 南山, 宗廟, 昌慶宮, 大禾洞地域의 POD 活性은 新葉이 나서부터 서서히 증가하여 光陵地域과는 다르게 2월까지 증가하였으며, 2년생일에서는 이듬해 5월에 크게 증가하여 南山地域이 3,096 unit/g.fwt.로 光陵地域보다 3.2배 더 높았다. 8월과 10월에는 급격히 떨어져서 光陵地域과 비슷하다가 2월에 다시 증가하였다. 3년생일에서는 5월에 다시 最大의 POD 活性을 나타내고 光陵地域보다 宗廟地域이 2.7배 높았다. 또 8월에는 떨어지고 10월에는 더 큰 폭으로 떨어져서 光陵地域보다 POD 活性이 低下되었다.

그림 5는 野外에 있는 잣나무에서 각 지역의 季節別, 葉令間의 POD 活性을 年度別로 配列하여 나타낸 것이다. 光陵地域의 POD 活性 變化를 볼 때 1, 2년생일에서는 소나무와 비슷하게 변화하고 있으나, 3년생일에서는 소나무의 POD 活性이 계속 上昇하는 反面, 잣나무에서는 다소 감소하고 있고, 특히 5월 이후 8, 10, 2월로 갈수록 계속 감소하고 있다. 反面 汚染地域인 南山, 宗廟, 昌慶宮 및 大禾洞地域의 POD 活性은 소나무와 비슷하게 新葉이 나서부터 증가하여, 2월까지 증가하고 2년생일은 이듬해 5월에 最大値를 이루어 南山地域은 光陵地域보다 5.6배 높은

POD 活性을 나타내다가 8월, 10월에 급격히 떨어지고 2월에 증가하다가 3년생일에서는 5월에 다시 光陵地域과 最大의 차이를 나타내고 있다. 汚染地域에 있는 소나무 3년생일에서 POD 活性이 10월에 光陵地域의 그것보다 오히려 떨어지고 있는 반면, 잣나무의 3년생일에서는 소나무 같은 큰 변동은 나타나고 있지 않다. 따라서 잣나무가 소나무보다 POD 活性이 높아, 같은 水準의 大氣 汚染에 대해서는 소나무보다 잣나무의 POD 活性 變化가 적어 大氣 汚染에 대한 防禦機能을 보다 오래 지속할 수 있을 것으로 思料된다. 以上の 考察에서와 같이 POD 活性은 季節別 變化가 다르며, 樹種間의 변이도 차이가 있음을 알 수 있었다.

針葉樹種의 葉令別 POD 活性은 소나무와 잣나무에서 모두 高度의 有意性을 나타내었으며, 소나무는 1년생일의 POD 活性이 573 unit/g.fwt.였고 2년생일은 이보다 2.4배 높게 나타났으며, 3년생일은 2년생일보다 약간 높아 1,467 unit/g.fwt.를 나타내었다. 잣나무 1년생일의 POD 活性은 1,319 unit/g.fwt.였고 2년생일은 3,187 unit/g.fwt.로 2.4배 높았으며, 3년생일은 2년생일보다 POD 活性이 떨어지는 것으로 나타났다. 소나무에서 3년생일이 2년생일보다 약간 높기는 했으나 별 차이가 없는것으로 보아 針葉樹의 POD 活性은 2년생일에서 최대였다.

그림 6은 SO<sub>2</sub>를 각 濃度別로 6일간 처리한



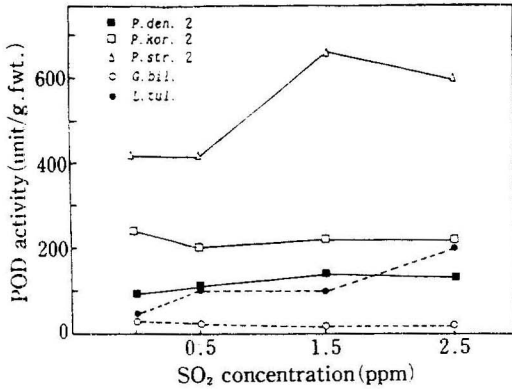


Fig. 6. Peroxidase activities of leaves in five tree species exposed to different concentrations of  $\text{SO}_2$ .

후, 각 苗木의 POD 活性변화를 나타낸 것이다. 針葉樹類의 경우 소나무, 잣나무 및 스트로브잣나무의 1년생잎의 POD 活性이 46.0-87.8 unit/g.fwt.로 수종간의 차이가 크지 않았다. 3樹種 모두 1년생잎보다는 2년생잎에서 더 높게 나타났는데, 소나무는 2.9배, 잣나무는 2.5배, 스트로브잣나무는 6.3배로 스트로브잣나무의 POD 活性이 특히 높게 나타났다. 2년생잎에서의 處理濃度間 POD 活性을 볼 때, 無處理區에서의 POD 活性이 소나무는 98.9, 잣나무는 241.2, 스트로브잣나무는 420.0 unit/g.fwt.로 소나무에서 제일 낮고 스트로브잣나무에서 제일 높았으며 각 處理區別로 POD 活性 변화는 소나무가 3樹種中 제일 낮았고, 스트로브잣나무에서는 1.5 ppm 處理區에서 특히 POD 活性이 높게 나타났으며, 2.5ppm 處理區에서는 다소 떨어지고 있으나, 어느 樹種보다 POD 活性이 뚜렷이 높게 나타났다.

闊葉樹類에서 은행나무는 無處理區에서의 POD 活性이 27.0 unit/g.fwt.로 針葉樹類 1년생잎의 것보다 낮았으며, 각 處理區間에서 은행나무보다 약간 높았으며,  $\text{SO}_2$  處理濃도가 높을수록 은행나무에 비하여 POD 活性의 증가가 뚜렷하였다.

野外에서는 POD 活性이 소나무보다 잣나무가 높고, 은행나무보다는 튜립나무가 더 높게 나타났는데, 室內 處理 實驗에서도 마찬가지로 소나무보다는 잣나무가 높고, 은행나무보다는 튜립나무가 높은 것으로 보아  $\text{SO}_2$  stress에 의한 POD

活性은 樹種에 따라 서로 다른 反應을 나타내고 있음을 알 수 있다. Nikolayevskii<sup>20)</sup>는  $\text{SO}_2$  汚染地域이나 燻蒸處理된 나뭇잎의 POD 活性 증가는 樹種, 季節, 가스의 濃도에 따라 다르게 나타난다고 하였다. Kieliszewska<sup>16)</sup>는  $\text{SO}_2$ 에 感受성이 다른 Scots pine과 'Van Houttle'에서 抵抗성이 약한 종은 POD 活性이 증가하였으며 抵抗성이 강한 종은 POD 活性이 감소하였다고 하였다. Nikolayevskii<sup>20)</sup>는 低濃度  $\text{SO}_2$ 接觸으로 抵抗성이 강한 box elder 잎의 POD 活性은 약간 증가하였으나, 感受성 樹種인 silver birch 잎의 POD 活性은 변화가 없었으며 急性被害를 야기할 정도의  $\text{SO}_2$  濃度에서는 두 樹種 모두 POD 活性이 증가하였다고 하였다.

이상의 변화를 볼 때, 固有의 POD 活性이 낮은 針葉樹 1년생잎이나 은행나무에서는  $\text{SO}_2$  處理區間에 POD 活性 변화가 거의 없으며, 固有의 POD 活性이 높은 스트로브잣나무와 튜립나무의 경우 處理濃도가 높을수록 POD 活性이 증가하는 것으로 보아, 외부 stress에 대한 단기적 POD 活性이 오히려 感受성이 큰 樹種에서 나타나며, 장기적으로 나타나는 POD 活性의 증가는 植物體의 防禦機作中の 일부분을 차지하는 것이라고 생각된다. Jäger<sup>14)</sup>는 感受성이 강한 *Tilia cordata*에서는  $\text{SO}_2$ 에 의하여 POD 活性이 증가함을 관찰하고 이러한 POD 活性의 증가는  $\text{SO}_2$  영향하에서 이 식물의 강한 stress 상황을 지적해 주며 POD 活性은 교란된 代謝作用에 대한 指標로서 고려될 수 있다고 하였다.

Tanaka 等<sup>25)</sup>은  $\text{SO}_2$ 에 燻蒸된 시금치 잎에서  $\text{H}_2\text{O}_2$ 의 축적을 발견하고 이것을 분명 $\text{O}_2^-$ 를 경유하며 생산된 것이라고 하였다. Fridovich와 Hendler<sup>11)</sup>는  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 이용할 수 있을 때, sulfite는 peroxidase 존재시 sulfate로 酸化된다고 제시하였는데, 이것은  $\text{SO}_2$ 에 노출된 植物細胞에서 peroxidase 活性의 증가로 설명할 수 있다고 하였다.

野外에서 조사된 樹木의 잎과 室內實驗에 이용한 苗木잎의 POD 活性 차이를 그림 3과 그림 6을 비교하여 살펴보면, 盛木과 苗木間의 酵素 活性 차이는 크게 나타나 소나무는 11.0배, 잣나무는 14.8배, 튜립나무는 9.5배 더 높았다. 특히 은행나무의 POD 活性은 낮게 나타났다. 따라서 野外에서는 室內實驗에서 處理한 결과 얻은 植物

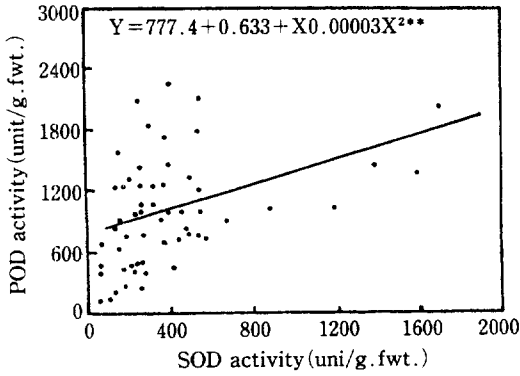


Fig. 7-1. Correlations between superoxide dimutase and peroxidase activities in *Pinus densiflora* exposed to air pollutants in the fields.

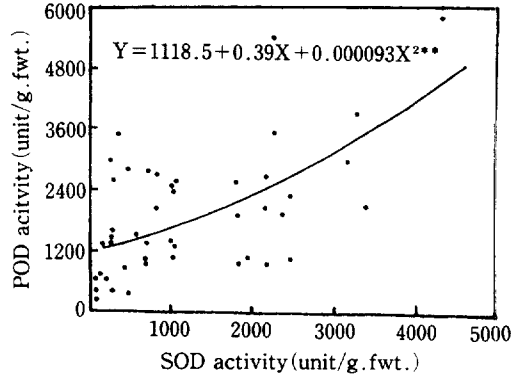


Fig. 7-2. Correlations between superoxide dimutase and peroxidase activities in *Pinus koraiensis* exposed to air pollutants in the fields.

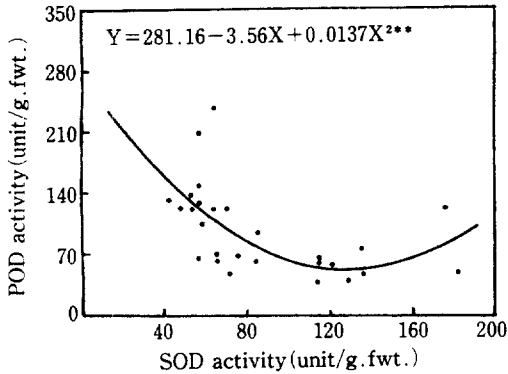


Fig. 7-3. Correlations between superoxide dimutase and peroxidase activities in *Ginkgo biloba* exposed to air pollutants in the fields.

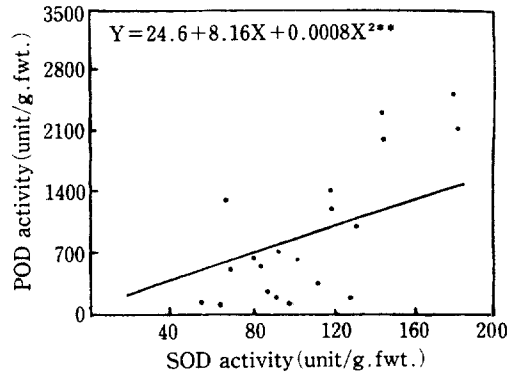


Fig. 7-4. Correlations between superoxide dimutase and peroxidase activities in *Platanus occidentalis* exposed to air pollutants in the fields.

體의 反應 濃度보다 높은 농도에서도 防禦할 수 있다고 생각된다.

각 樹種에서의 SOD 活性 변화와 POD 活性 변화와의 관계를 알아보기 위하여 SOD 변화에 대한 POD 변화를 2차 回歸 관계로 알아본 결과는 그림 7, 그림 8과 같다. 그림 7은 野外에서 채취한 잎에서 나타난 SOD와 POD 와의 關係를 나타내고 있다. 소나무, 잣나무 및 양버즘나무에서는 SOD와 POD가 正의 相關을 나타내었으나, 은행나무에서는 負의 相關을 나타내었다. Peroxidase의 種類는 anionic과 cationic POD 두 種類로 나누는데 anionic POD는 lignin 合成에 關係하고 cationic POD는 IAA의 酸化에 關係한다고 알려져 있다.<sup>5)</sup>

그림 8은 室內實驗에서 나타난 각 樹種別 SOD

와 POD와의 關係를 나타내고 있다. 소나무, 잣나무, 스트로브잣나무 및 튜립나무는 正의 相關을 나타내었으며, 은행나무에서는 負의 相關을 나타내고 있다. 이상에서 살펴 본 野外와 室內實驗에서 얻어진 결과를 볼 때 은행나무만 SOD와 POD가 負의 相關을 이루고 있으며 나머지 樹種은 모두 正의 相關을 나타내고 있음을 알 수 있다. SOD와 POD의 活性 변화는 樹種마다 특이한 反應을 나타내나 대부분의 樹種에서는 SOD와 POD가 동시에 耐性機構에 참여하고 있음을 알 수 있다.

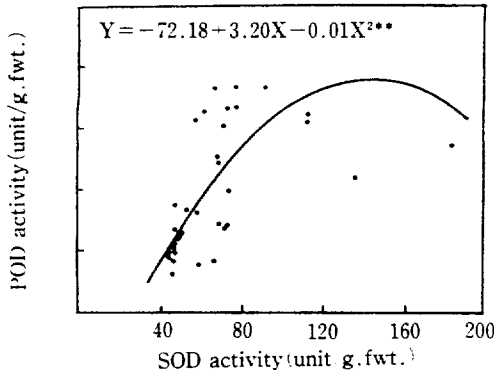


Fig. 8-1. Correlations between superoxide dismutase and peroxidase activities in *Pinus densiflora* exposed to 0.5, 1.5, 2.5 ppm of SO<sub>2</sub>.

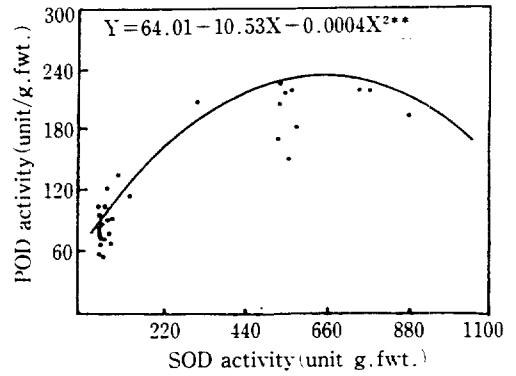


Fig. 8-2. Correlations between superoxide dismutase and peroxidase activities in *Pinus koraiensis* exposed to 0.5, 1.5, 2.5 ppm of SO<sub>2</sub>.

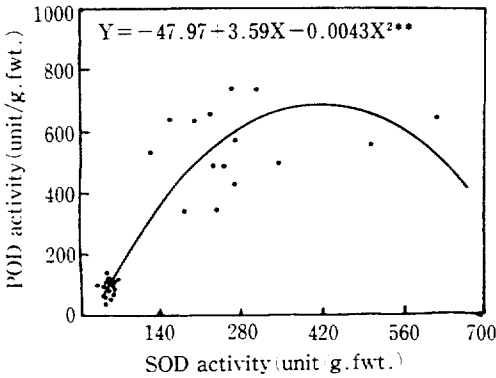


Fig. 8-3. Correlations between superoxide dismutase and peroxidase activities in *Pinus strobus* exposed to 0.5, 1.5, 2.5 ppm of SO<sub>2</sub>.

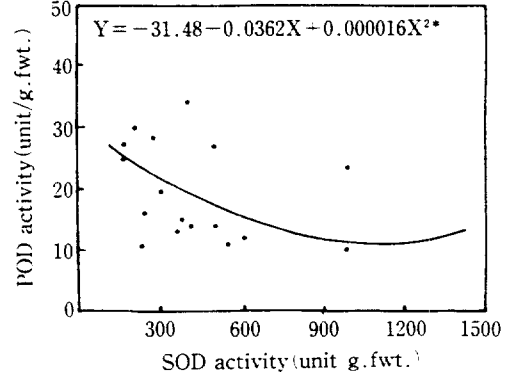


Fig. 8-4. Correlations between superoxide dismutase and peroxidase activities in *Ginkgo biloba* exposed to 0.5, 1.5, 2.5 ppm of SO<sub>2</sub>.

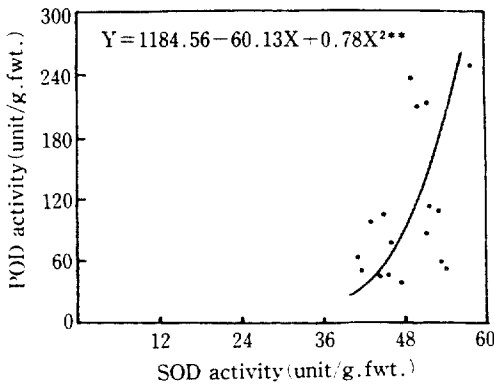


Fig. 8-5. Correlations between superoxide dismutase and peroxidase activities in *Liriodendron tulipifera* exposed to 0.5, 1.5, 2.5 ppm of SO<sub>2</sub>.

結 論

이상과 같은 結果들을 考察해 볼때 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 葉內 硫黃含量과 酵素 活性間에 나타난 相關關係를 보면, 은행나무에서는 硫黃含量과 POD 活性間에 負의 相關이 나타났고, 잣나무, 소나무 및 양버즘나무에서는 葉內 硫黃含量과 POD 活性間에 正의 相關을 나타내었다.
2. 樹木들은 汚染物質들이 體內에 蓄積함에 따라 耐性機構로서 POD 같은 酵素들의 活性을 增加시켰다. 특히 잣나무와 양버즘나무의 POD 活性이 높게 나타났다.

3. 소나무의 POD 活性은 1, 2, 3年生잎으로 갈수록 증가한 반면 잣나무의 POD 活性은 1, 2年生잎까지는 증가하다가 3年生잎에서는 다소 감소하였다. 光陵地域과 汚染地域間的 POD 活性 差異는 2年生잎에서 5월에 最大의 差異가 나타났다.
4. SO<sub>2</sub> 처리실험에서 固有의 POD 活性이 낮은 針葉樹 1年生이나 은행나무에서는 SO<sub>2</sub> 처리구간에 POD 活性변화가 거의 없으나, 固有의 POD 活性이 높은 스트로브잣나무와 튜립나무에서는 處理濃度가 높을수록 POD 活性이 증가하는 것으로 보아 외부 stress에 대한 단기적 POD 活性은 感受性이 큰 樹種에서 나타나며, 장기적 POD 活性증가는 植物體의 防禦機作중의 일부분을 차지하는 것이라고 생각된다.
5. 樹木의 SOD와 POD 活性間의 相關關係에서는 은행나무에서만 負의 相關을 보이고 나머지 樹木에서는 正의 相關을 나타내었다. SOD와 POD 活性은 樹種마다 特異한 反應을 나타내며, 大部分의 樹種에서 SOD와 POD가 동시에 耐性機構에 參與함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. Asada, K. 1980. Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts with relation to injury by sulfur dioxide. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. Jpn. 11 : 165-179.
2. Asada, K. and S.K Kiso. 1973. Initiation of aerobic oxidation of sulfite by illuminated spinach chloroplasts. Eur. J. Biochem. 33 : 253-257.
3. Asada, K., S.K Kiso and K. Yoshikawa. 1974. Univalent reduction of molecular oxygen by spinach chloroplasts on illumination. J. Biol. chem. 249 : 2175-2181.
4. Bennet, J.H., E.H. Lee, and H.E. heggesstd. 1984. Biochemical aspect of plant tolerance to ozone and oxyradicals. In gaseous air pollutants and plant metabolism. Edited by M.J. Koziol and F.R. Whatley. pp 413-424. Butterworth, England.
5. Chibbar, R.N. and R.B. Huystee. 1984. Characterization of peroxidase in plant cells. Plant. Physiol. 75 : 956-958.
6. 大阪府立大學農學部 園藝學校室編. 1981. 園藝學實驗實習. pp.201-202. 養賢堂, 東京.
7. Dass, H.C. and G.M. Weaver. 1968. Modification of ozone damage to *Phaseolus vulgaris* by antioxidants, thiols and sulfhydryl reagents. Can. J. Plant Sci. 48 : 569-574.
8. Elstner, E.F. 1987. Metabolism of activated oxygen species. In the biochemistry of plants. Vol. 11. Edited by, Academic Press. pp. 253-315.
9. Fridovich, I. 1975. Superoxide Dismutases. Annu. Rev. Biochem. 44 : 147-159.
10. Fridovich, I. 1978. The biology of oxygen radicals. Science. 201 : 875-880.
11. Fridovich, I. and P. Handler. 1961. Detection of free radicals generated during enzymic oxidations by the initiation of sulfite oxidation. J. Biol. Chem. 236 : 1836-1840.
12. Hallgren, J.E. 1987. Physiological and biochemical effects of sulfur dioxide on plants. In Sulfur in the Environment. Edited by J.O. Nriagu. pp.163-209. Willey-Interscience Publication. John Willey & Sons, U.S.A.
13. Horsman, D.C. and A.R. Wellburn. 1987. Synergistic effects of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> polluted air upon enzyme activity in *pea* seedlings. Environ. Pollut. 8 : 123-133.
14. Jäger, H.J., J. Bender, and L. Grunhage. 1985. Metabolic responses of plant differing in SO<sub>2</sub> fumigation. Environ. Pollut. Ser. A. 39 : 317-335.
15. Keller, T. 1974. The use of peroxidase activity for monitoring and mapping air pollution areas. Eur. J. For. Patho. 4 : 11-19.
16. Kieliszewska, R.B. 1979. Peroxidase activity in varieties of *Weigela* and *Pinus sylvestris* resistant and susceptible to SO<sub>2</sub>. Arboretum Kornickie. 24 : 213-320.
17. Kondo, N. 1979. Physiological responses involved in defense against SO<sub>2</sub> phytotoxicity. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. Jpn. NO. 10 : 309-315.
18. McCord, J.M. and I. Fridovich. 1969. Superoxide dismutase : an enzymic function for *erythrocytein (hemocuprein)*. J. Biol. Chem. 244 : 6049-6055.

19. Mejnartowicz, L.E. 1982. Enzymatic investigations on tolerance in forest trees. In gaseous air pollutants and plant metabolism. Edited by Koziot, M.J. and F.R. Whatley. Butterworths. England. pp.381-398.
20. Nikolayevskii, V.S. 1979. Biologicheskiye osnovy gazoustoichivosti rastenyij[A biological basis for plant resistance to gaseous emission]. Akademyia Nauk SSR. Nauka Sibirskoye Otdyelyeniye. pp.1-278.
21. Peiser, G.D. and S.F.A. Yang. 1979. Ethylene and ethane production from sulfur dioxide-injured plants. *Plant Physiol* 63 : 142-145.
22. Raa, J. 1971b. Indole-3-acetic acid levels and the role of indole-3-acetic acid oxidase in normal root and club-root of *cabbage*. 25 : 130-134.
23. Shimazaki, K., T. Sakaki and K. Sugahara. 1980. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO<sub>2</sub>-fumigated leaves of spinach. *Res. Rep. Natl. Environ. Stud. Jpn.* 11 : 91-101.
24. 松島二良・原田學. 1966. 果樹の亞硫酸ガスによる煙害. 第五報. *カンキツ類の亞硫酸ガスの吸収の落葉ならひに體內成分との關係. 園藝學雜誌.* 35 : 25-32.
25. Tanaka, K., N. Kondo, and K. Sugahara. 1982. Accumulation of hydrogen peroxide in chloroplasts of SO<sub>2</sub>-fumigated spinach leaves. *Plant & Cell Physiol.* 23 : 999-1007.
26. Tanaka, K. and K. Sugahara. 1980. Role of superoxide dismutase in the defense against SO<sub>2</sub> toxicity and induction of superoxide dismutase with SO<sub>2</sub> fumigation. *Res. Rep. Nat. Inst. Environ. Stud. Jpn.* 11 : 155-164.
27. Upadhyaya, A., T.D. Davis, R.H. Walser, A. B. Galbraith, and N. Sankhla. 1989. Uniconazole-induced alleviation in relation to antioxidant activity. *Hortscience.* 24 : 955-957.