

## SO<sub>2</sub>에 대한 耐性樹種의 選拔을 위한 基礎研究<sup>1\*</sup>

### — I. 葉組織 實驗 —

金 甲 泰<sup>2</sup>

## A Study on Selection of SO<sub>2</sub> Resistant Tree Species<sup>1\*</sup>

### — I. Leaf Disk Experiment —

Gab Tae Kim<sup>2</sup>

#### 要 約

SO<sub>2</sub>에 대한 耐性樹種을 選拔하기 위하여, 6樹種(등나무, 일본목련, 찔레, 튜울립나무, 야까시, 단풍나무)의 葉組織(直徑 6mm, 50個)을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 증류수로 희석 濃度別(0, 25, 50, 100 및 250 ppm stoichiometric SO<sub>2</sub> concentration) 溶液 25ml에 띄워 室溫에서 1,500 Lux (fluorescent lamp) 하에서 20시간 처리한 후 葉綠素含量과 處理溶液의 酸度變化를 測定하였다.

總葉綠素含量은 處理前에 비해 處理后에 감소했으며, 給源H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>에서 가장 심하고 다음으로 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 순이었다. 葉綠素含量의 減少率은 대체로 단풍나무, 일본목련 및 등나무에서는 크게 나타났고, 찔레, 튜울립나무 및 야까시에서는 상대적으로 작았다. 엽록소함량의 감소율은 잎의 SO<sub>2</sub>에 대한 感受性を 나타내는 指標로 이용할 수 있을 것으로 보인다. 處理溶液의 酸度は 대체로 處理后에 낮아졌으며, 이는 處理中에 세포질누출이 있었음을 나타낸다. 處理前后的 溶液의 酸度變化는 樹種別로 葉肉發達程度, 組織內 酸度維持機作 및 緩衝能이 상이하므로 SO<sub>2</sub>에 대한 感受性を 나타내는 指標로 利用하기는 부적당하다고 보여진다.

#### ABSTRACT

To select SO<sub>2</sub>-resistant tree species, leaf disks of 6mm in diameter, cut from the leaves of 6 species (*Wistaria floribunda*, *Magnolia obovata*, *Rosa multiflora*, *Liriodendron tulipifera*, *Robinia pseudo-acacia* and *Acer palmatum*) were floated on 25ml of testing medium and placed on laboratory under fluorescent lamp (1,500 Lux) for 20 hours. Chlorophyll content and acidity of the testing medium were measured. Testing medium was prepared by diluting H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with distilled water for various stoichiometric SO<sub>2</sub> concentrations, 0, 25, 50, 100 and 250 ppm.

Total chlorophyll content was more decreased after treatment than before treatment, and was decreased more severely in H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> sources, followed by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sources. Decreasing rate of total chlorophyll

<sup>1</sup> 接受 4月 13日 Received on April 13, 1988.

<sup>2</sup> 尙志大 Sangji Univ. Wonju

\* 이 논문은 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음

content was generally large in *Acer palmatum*, *Magnolia obovata* and *Wistaria floribunda*, and was relatively small in *Rosa multiflora*, *Liriodendron tulipifera* and *Robinia pseudo-acacia*. Decreasing rate of chlorophyll content may be useful index for judging susceptifility of the leaf to SO<sub>2</sub>. The acidity of the testing medium was generally decreased after treatment, and it means that cell leakage was occurred during treatment. The differences in medium acidity between before and after treatment may be poot index for susceptibility of the leaf to SO<sub>2</sub> owing to the difference among tree species in development of leaf mesophyll, acidity maintaining mechanism and butter capacity of the leaf tissue.

Key words : SO<sub>2</sub> resistant tree species ; chlorophyll content.

## 緒 論

大氣汚染은 植生에 可視的 被害를 입히기도 하고 각종 生理的 障害를 誘發하여 결국에는 生産性を 떨어뜨림은 물론 植物群集의 種組成의 變化, 養料循環體系의 覺亂. 植物體를 弱화시켜 2차적 被害를 誘發하는 등으로 植物生態系의 變化를 招來하고 있다. Eckert와 Houston(1980)은 SO<sub>2</sub>에 의한 소나무의 光合成率의 減少를 밝혔으며, 光合成뿐만 아니라 窒素固定이 沮害되었으며 (Haellgren과 Huss, 1975), 光合成産物의 分配도 變化됨이 밝혀졌다. Mukerji와 Yang(1974), Ziegler(1974) 등은 sulphite에 의해 RuDP carboxylase 등의 효소활성이 억제됨을 보고했으며, 大氣汚染에 의한 葉綠素含量的 減少(韓, 1973 ; Kundson 등, 1977 ; 金 등, 1982 ; 李 등, 1984), 受粉 및 受精의 沮害 등의 多樣한 生理的 障害가 보고되었다.

Umbach와 Davis(1984)는 SO<sub>2</sub>에 의한 葉組織의 被害를 57개 樹種에서 調査하여 樹種間 耐性差가 있음을 밝혔고, Pasuthova(1981)는 針葉의 buffer capacity로 SO<sub>2</sub>에 대한 耐性を 調査했으며, 種內에서도 소나무類에서(Houston과 Stairs, 1973 ; Mclaughlin등, 1982), 포플러에서(Karnosky, 1977) 각각 耐性差가 있음이, Scholz와 Reck(1977)은 針葉樹의 家系間 酸性物質에 대한 耐性差를 밝혔다. 한편 Garsed와 Rutter(1982), 任등(1979)은 汚染地域에 植栽하기 위한 耐性樹種 및 耐性個體의 選拔可能性과 必要性을 설명하였다.

이러한 研究動向을 볼 때, 大氣汚染에 대한 耐性樹種의 選拔과 被害機作의 究明은 絶실히 필요하다. 이 研究는 일반적 大氣汚染物質인 SO<sub>2</sub>가 樹木葉組織에 미치는 영향을 樹種 및 處理濃度別로 比較해 보고자, 등나무를 비롯한 6樹種(일본목련, 켈레, 튜

울립나무, 아까시나무 및 단풍나무)의 葉組織(直徑 6mm의 葉組織 圖板 50個씩)을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 증류수로 묽혀만든 濃度(0, 25, 50, 100 및 250 ppm, stoichiometric SO<sub>2</sub> concentration)別 溶液 25ml씩에 띄워 室溫에서 1,500Lux (fluorescent lamp) 光度下에서 20시간 처리한 후, 葉綠素含量과 處理溶液의 酸度變化를 測定比較하였다.

## 材料 및 方法

### 植物材料

원주시 우산동에 소재한 尙志大學 構內에 造景植栽된 등나무, 켈레, 튜울립나무, 일본목련 및 단풍나무와 周邊 野山에 生育中인 아까시나무를 대상으로 月 1回씩 잎을 따서 直徑 6mm의 葉組織圖板(leaf disk)을 取하여 植物材料로 하였다.

### 葉組織實驗

각 樹種別로 채취된 葉組織 50개씩을 25ml의 處理溶液을 담은 petridish에 띄워 室溫에서 1,500 Lux (fluorescent lamp) 下에서 20시간 처리하였다. 處理溶液은 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 증류수로 희석하여 25, 50, 100 및 250ppm(stoichiometric SO<sub>2</sub> concentration)이 되도록 했으며, 對照區로 0.05 M phosphate buffer(pH 7.0)를 利用하였다. 處理實驗은 1987년 7월부터 10월까지 월 1회씩, 濃度 5水準, sulfur 給源 3種類, 6樹種, 2反復으로 행하였으며,

Table 1. pH values of testing medium

Source of medium	Control (phosphate buffer)	Stoichiometric SO <sub>2</sub> concentration			
		25ppm	50ppm	100ppm	250ppm
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.00	3.96	3.43	3.06	2.57
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	7.00	3.05	2.88	2.53	2.12
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.00	6.81	6.73	6.36	6.20

處理溶液的 酸度는 Table 1에 보였다.

**葉綠素含量 및 處理溶液的 酸度測定**

葉綠素含量은 處理된 葉組織圖板을 증류수로 세척한 후 Kim 과 Lee(1983)의 方法에 따라 80% acetone으로 色素를 抽出하여 Arnon(1949)의 方法으로 比色定量했으며, 處理溶液的 酸度는 pH-meter(Doa, HM-20E)로 測定하였다.

**結果 및 考察**

**葉組織의 葉綠素含量**

處理前後의 樹種別 葉組織의 葉綠素含量(葉綠素 a, 葉綠素 b, 總葉綠素 및 葉綠素 a와 b의 比)의 平均과 處理前에 대한 葉綠素含量의 減少率 및 處理間 統計分析結果를 Table 2에 보였다.

處理溶液的 給源에 따라 反應이 相異하나 대체로  $H_2SO_3 > H_2SO_4 > Na_2SO_4$ 의 순으로 葉綠素含量의 減少가 심한 것으로 나타났으며, 處理后는 處理前에 비해 葉綠素含量이 減少하였다. 이러한 結果는  $SO_2$ 에 의한 作物에서(韓, 1973), 여러가지 給源의 sulfur solution에 처리한 상치잎에서(Lee 등, 1975), 은행나무와 현사시 잎에서(金, 1986), 오존

에 의한 피해(金 등, 1982; Kundson 등, 1977), 등으로 葉綠素含量의 減少를 밝힌 보고들과 같은 경향이였다. 葉綠素含量의 減少는 葉綠素 a보다는 葉綠素 b에서 더욱 심하게 나타났다. 이런 경향은 金(1986)이 은행나무와 현사시에서, Lee 등(1975)이 상치에서, 李 등(1984)이 소나무와 잣나무에서 葉綠素 a가 보다 많이 減少했다는 보고들과는 다른 결과였다. 이는 아마도 樹種, 處理溶液的 濃度 및 處理 方法의 差異때문으로 보여진다.

튜울립나무와 아까시를 제외한 다른 수종들에서는 葉綠素含量이 處理間 統計的 有意性이 대체로 인정되나 處理溶液的 濃度에 따른 경향은 樹種이나 處理溶液的 給源에 따라 相異한 결과를 보였다. 處理에 따른 總葉綠素含量의 減少率을 給源  $H_2SO_4$ 에서 樹種間 比較하면, 단풍나무에서는 處理溶液的 濃도가 높아질수록 減少率이 커지는 경향이하나, 다른 樹種에서는 대체로 50ppm 處理에서 減少率이 가장 작은 것으로 나타났으며, 給源  $H_2SO_3$ 와  $Na_2SO_4$ 에서는 樹種에 따라 相異한 결과를 보였다. 이는 樹種別로 葉組織內의 酸度와 酸度維持機作이 다르며, 給源에 따라 葉組織의 反應이 다르기 때문인 것으로 여겨진다.

樹種間 比較에서는 給源에 따라 조금씩 다르나 葉

**Table 2.** Means of chlorophyll content ( $\mu g \cdot cm^{-2}$ ) and the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b of by tree species and by the source of medium

Tree species	<i>Wistaria florifunda</i>				<i>Magnolia obovata</i>				<i>Rosa multiflora</i>			
	a	b	a+b	a/b	a	b	a+b	a/b	a	b	a+b	a/b
Before treatment	5.97	4.88	10.85	1.23	5.45	3.83	9.28	1.60	5.87	4.43	10.30	1.33
After treatment												
Control 0ppm	5.94	4.43	10.37	1.41	4.94	3.19	8.13	1.60	5.91	4.35	10.36	1.37
$H_2SO_3$ 25ppm	5.70	4.42	10.12	1.40	5.03	3.16	8.19	1.71	5.77	4.10	9.87	1.41
50ppm	5.55	4.24	9.79	1.39	5.08	3.24	8.32	1.59	5.82	4.37	10.19	1.34
100ppm	5.63	4.38	10.01	1.34	4.99	3.04	8.03	1.70	5.78	4.33	10.11	1.33
250ppm	5.55	4.15	9.70	1.45	4.91	2.93	7.84	1.77	5.74	4.09	9.83	1.40
F-value	19.209**	15.802**	5.348**	2.811*	7.325**	14.029**	15.315**	2.917*	6.059**	4.552**	6.465**	2.780*
LSD 0.05	0.13	0.22	0.53	0.14	0.21	0.25	0.38	0.13	0.08	0.20	0.23	0.06
$H_2SO_4$ 25ppm	5.81	4.03	9.84	1.47	4.66	2.64	7.30	1.83	5.73	4.09	9.82	1.41
50ppm	5.59	3.93	9.52	1.39	5.07	2.84	7.91	1.83	5.78	4.23	10.01	1.37
100ppm	5.58	4.15	9.73	1.34	5.01	2.80	7.81	1.88	5.77	4.09	9.86	1.42
250ppm	5.57	4.08	9.65	1.45	5.21	2.98	8.19	1.78	5.60	3.48	9.08	1.65
F-value	7.234**	8.802**	8.648**	4.765**	3.886*	4.747**	4.475**	1.909	5.125**	12.357**	11.775**	9.110**
LSD 0.05	0.20	0.35	0.31	0.12	0.39	0.57	0.91	NS	0.14	0.28	0.38	0.11
$Na_2SO_4$ 25ppm	5.60	3.97	9.57	1.54	5.06	3.33	8.39	1.58	5.86	4.14	10.01	1.43
50ppm	5.94	4.67	10.61	1.28	4.97	3.13	8.10	1.62	5.96	4.39	10.35	1.36
100ppm	5.69	4.15	9.84	1.41	4.80	2.91	7.71	1.74	5.86	4.25	10.11	1.40
250ppm	5.66	3.94	9.60	1.51	4.80	2.71	7.52	1.81	5.91	4.20	10.10	1.42
F-value	5.423**	5.456**	6.214**	4.320**	5.216**	11.998**	11.067**	3.626*	0.927	3.944**	2.906*	4.150**
LSD 0.05	0.21	0.48	0.64	0.18	0.31	0.32	0.54	0.15	NS	0.17	0.23	0.06

<i>Liriodendron tulipifera</i>				<i>Robinia pseudo-acacia</i>				<i>Acer palmatum</i>			
a	b	a+b	a/b	a	b	a+b	a/b	a	b	a+b	a/b
5.02	3.54	8.56	1.64	5.85	4.49	10.34	1.32	5.27	2.45	7.71	2.17
5.04	3.31	8.35	1.66	5.78	4.28	10.06	1.35	5.20	2.66	7.86	2.01
5.10	3.28	8.38	1.79	5.68	4.35	10.03	1.31	4.91	2.34	7.26	2.31
5.14	3.29	8.43	1.69	5.68	4.48	10.16	1.28	4.83	2.18	7.01	2.39
5.08	3.46	8.54	1.59	5.63	4.22	9.85	1.34	4.42	1.91	6.34	2.45
5.06	3.43	8.49	1.63	5.66	4.11	9.76	1.39	3.94	1.62	5.56	2.53
0.714	2.194	0.629	1.179	1.363	3.406*	3.283*	1.341	38.397**	12.652**	43.408**	1.886
NS	NS	NS	NS	NS	0.24	0.34	NS	0.24	0.31	0.39	NS
4.88	2.96	7.84	1.93	5.75	4.32	10.07	1.37	4.17	1.62	5.79	3.31
4.78	2.62	7.40	2.22	5.70	4.20	9.90	1.40	4.30	1.87	6.17	2.64
4.86	2.92	7.78	1.90	5.65	4.23	9.89	1.39	4.27	1.76	6.03	2.65
5.05	2.93	7.98	1.91	5.67	3.96	9.63	1.50	4.09	1.55	5.63	2.91
0.822	3.887*	2.366	2.803*	0.915	2.144	2.325	2.008	27.402**	16.776**	27.919**	5.237**
0.36	0.49	NS	0.37	NS	NS	NS	NS	0.30	0.33	0.55	0.61
4.91	3.35	8.26	1.62	5.98	4.26	10.24	1.41	4.60	2.00	6.61	2.47
4.69	3.30	7.99	1.83	5.70	4.25	9.95	1.38	4.72	2.11	6.83	2.33
4.89	3.25	8.14	1.94	5.61	3.78	9.38	1.56	4.36	1.74	6.09	2.80
4.69	3.07	7.76	2.09	5.27	3.53	8.79	1.67	4.55	2.00	6.55	2.63
5.135**	3.911*	9.543**	1.709	6.718**	14.420**	17.736**	12.774**	9.344**	7.794**	11.347**	4.762**
0.20	0.22	0.26	NS	0.28	0.28	0.41	0.11	0.35	0.35	0.61	0.39

Significant at 5% (\*), 1% (\*\*) level and not significant (NS)

綠素含量的 減少率이 단풍나무, 일본목련 등나무의 순으로 크게 나타났으며, 쯤레, 튜울립나무, 아까시 등은 비교적 葉綠素含量的 減少率이 작게 나타났다. 이러한 傾向은 金(1986), 金(1980), Umbach와 Davis(1984), 任 등(1979) 등이 밝힌 SO<sub>2</sub>에 대한 樹種間的 耐性差와 符合되는 結果이다. 이러한 結果와 葉綠素가 光化學反應의 反應中心 및 光吸收體(light harvesting complex)로서의 機能을 맡으며(Katz, 1972), 生産力을 表現하는 生理的 指標이며(Kim과 Lee, 1983), 각종 stress에 대한 損傷程度를 葉綠素

含量的 減少로 나타낼 수 있음을 밝힌 報告(Todd와 Arnold, 1962)로 보아, SO<sub>2</sub>에 대한 植物體 生理的 機能의 損傷程度를 葉綠素含量的 減少로 나타내는 것은 可能할 것으로 판단된다.

處理溶液의 酸度變化

處理后 溶液의 平均酸度和 變化量을 Table 3에 보였다. 대부분의 樹種에서 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>를 給源으로 했을 때 處理后 溶液의 酸도가 보다 높게 나타났으며, 다음으로 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 순으로 나타났다. 處理前

Table 3. Means of pH values of the testing medium by tree species and by the source of medium

Tree species	<i>Wistaria floribunda</i>			<i>Magnolia obovata</i>			<i>Rosa multiflora</i>		
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
control (0ppm)	7.03	7.03	7.03	7.04	7.05	7.04	7.00	7.00	7.00
25ppm	6.39	5.61	6.84	7.25	6.47	6.91	6.68	5.65	6.64
50ppm	5.64	5.51	6.89	7.10	5.66	6.97	6.45	5.30	6.64
100ppm	4.48	4.77	6.81	6.46	5.04	7.04	5.06	4.95	6.62
250ppm	3.77	3.71	6.85	4.88	4.15	7.09	3.73	3.88	6.56

  

<i>Liriodendron tulipifera</i>			<i>Robinia pseudo-acacia</i>			<i>Acer palmatum</i>		
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
7.00	7.00	7.00	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04
6.88	6.18	6.91	6.60	5.91	6.83	5.99	5.42	6.73
6.71	5.22	6.91	6.33	5.25	6.67	5.41	4.85	6.60
5.73	4.97	7.04	4.91	4.85	6.57	4.65	4.42	6.39
4.39	3.98	7.00	3.98	3.93	6.49	3.87	3.35	6.24

에 비하여 處理后에는 대체로 處理溶液의 酸도가 낮아졌으나, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 給源으로 한 쟈레, 튜울립나무, 아까시, 단풍나무들에서는 處理后에 酸도가 높아진 경우도 있었다. 處理后 溶液의 酸도가 낮아졌음은 植物組織으로 들어온 SO<sub>2</sub>는 물과 反應하여 酸(H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)으로 變化되어 組織內의 緩衝能에 影響하여 原形質分離나 膜構造를 파괴하게 된다 (Heath, 1980; 金, 1980)는 被害機作으로 葉組織의 細胞質漏出이 일어났기 때문에 판단된다.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>給源의 處理溶液에서 樹種別 酸度變化를 比較하면 대체로 일본목련이 가장 크고 튜울립나무, 쟈레, 아까시, 등나무, 단풍나무의 순으로 작아졌으며, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>給源에서도 處理溶液의 濃도에 따라 相異하나 대체로 같은 순으로 酸度變化量이 작아지는 傾向이었다. 이는 細胞質漏出이 많이 일어날수록 處理溶液의 酸度變化가 심하게 나타난 것으로 판단되며, 이러한 結果는 樹種에 따라 葉肉發達程度가 相異하기 때문이기도 하다. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>給源에서는 낮은 濃度에서 쟈레, 단풍나무 및 아까시에서는 處理后 오히려 酸도가 높아지는 結果였다. 이는 樹種別로 組織內의 酸도와 酸度維持機作이 相異하기 때문에 판단되며, 이것은 植物體가 生化學的 酸化還元反應을 통해 組織內의 酸도를 조정하는 機能을 가지며 (Smith와 Raven, 1979), 이러한 特性이 遺傳的 形質임을 밝힌 보고(Scholy와 Reck, 1977)로 보아 樹種에 따른 緩衝能差에 起因된 것으로 보인다.

이상의 結果로 보아 處理溶液의 酸度變化는 葉肉發達程度, 組織內 酸度維持機作 및 緩衝能이 樹種別로 相異하므로 酸性物質에 대한 耐性を 樹種間 比較하는 데는 문제가 있으며, 種內의 家系間이나 個體間 比較에는 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

引用 文 獻

1. 金甲泰. 1986. 亞黃酸이 은행나무와 현사시 葉組織에 미치는 影響. 尙志大論文集. 7: 461-472.
2. 金福榮·趙在規·朴英善. 1982. 水稻生育에 對한 O<sub>3</sub>one가스의 影響에 關한 研究. 1. O<sub>3</sub>one가스에 對한 水稻生育時期別 影響. 韓國環境農學會誌 1(2): 123~128.
3. 金泰旭. 1980. 大氣汚染에 의한 山林被害와 그

對策. p. 31~41. 韓國林學會 “山林災害에 관한 심포지움” 1980. 11. 14., 서울. 49pp.

4. 李敦求·金甲泰·辛俊換·朱洸秧. 1984. 人工酸性雨가 소나무와 잣나무 幼苗의 葉綠素含量에 미치는 影響. 서울大 農學研究 9(2): 15-19.
5. 任慶彬·金泰旭·權琦遠·李景宰. 1979. 環境汚染이 都市樹木의 生育에 미치는 影響(II). 서울大 演習林報告 15: 103-124.
6. 韓基鎬. 1973. 亞黃酸가스에 의한 農作物의 被害生理, 減收率 및 被害輕減에 關한 研究. 韓國農化學會誌 16: 146-165.
7. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Phenol oxidase in *Betula vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
8. Eckert, R.T. and D.B. Houston. 1980. Photosynthesis and needle elongation responses of *Pinus strobus* clones to low level of sulfur dioxide exposures. Can. J. For. Res. 10: 357-361.
9. Garsed, S.G. and R.A. Rutter. 1982. Relative performance of conifer populations in various tests for sensitivity to SO<sub>2</sub>, and the implications for selecting trees for planting in polluted areas. New Phytol. 92: 349-367.
10. Haellgren, J.E. and K. Huss. 1975. Effects of SO<sub>2</sub> on photosynthesis and nitrogen fixation. Physiol. Plant. 34: 171-176.
11. Heath, R.L. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 395-431.
12. Houston, D.B. and G.R. Stairs. 1973. Genetic control of sulfur dioxide and ozone tolerance in eastern white pine. Forest Sci. 19: 267-271.
13. Karnosky, D.F. 1977. Evidence for genetic control of response to sulfur dioxide and ozone in *Populus tremuloides*. Can. J. For. Res. 7: 437-440.
14. Katz, J.J. 1972. Chlorophyll function in photosynthesis. p. 103-142 in The Chemistry of Plant Pigments. ed. by C.O. Chichester. A.P., New York. 218 pp.
15. Kim, G.T. and D.K. Lee. 1983. A technique for selecting superior *Populus alba* × *Populus glandulosa* F<sub>1</sub> clones with some physiological

- characters. Jour. Korean For. Soc. 59 : 15-30.
16. Kundson, L.L., T.W. Tibbitts and G.E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol. 60 : 606-608.
  17. Lee, M.S., J.W. Park and S.R. Lee. 1975. Discoloration pattern of lettuce leaf disks as influenced by sulfur dioxide. Korean J. Bot. 18 : 1-10.
  18. McLaughlin, S.B., R.K. McConathy, D. Duvick and L.K. Mann. 1982. Effects of chronic air pollution stress on photosynthesis, carbon allocation, and growth of white pine trees. Forest Sci. 28 : 60-70.
  19. Mukerji, S.K. and S.F. Yang. 1974. Phosphoenolpyruvate carboxylase from spinach leaf tissue inhibition by sulfite ion. Plant Physiol. 53 : 829-834.
  20. Pasuthova, J. 1981. Buffer capacity of spruce needles as an indicator of SO<sub>2</sub> resistance. Prace Vyzkumneho Ustavu Lesniho Hospodarstva Myslivosti 58 : 139-151. From Forestry Abstract 48, 3197.
  21. Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects of acids on forest trees as measured by titration *in Vitro*, inheritance of buffering capacity in *picea abies*. Water, Air and Soil Pollution 8 : 41-45.
  22. Silvius, J.E., M. Ingle and C.H. Baer. 1975. Sulfur dioxide inhibition of photosynthesis in isolated spinach chloroplasts. Plant Physiol. 56 : 434-437.
  23. Smith, F.A. and J.A. Raven. 1979. Intercellular pH and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 30 : 289-311.
  24. Suwannapinunt, W. and T.T. Kozlowski. 1980. Effect of SO<sub>2</sub> on transpiration, chlorophyll content, growth and injury in young seedlings of woody angiosperms. Can J. For. Res. 10 : 78-83.
  25. Todd, G.W. and W.N. Arnold. 1962. An evaluation of methods used to determine injury to plant leaves by air pollutants. Bot. Gaz. 136 : 212-215.
  26. Umbach, D.M. and D.D. Davis. 1984. Severity and frequency of SO<sub>2</sub>-induced leaf-necrosis on seedlings of 57 tree species. Forest Sci. 30 : 587-596.
  27. Ziegler, I. 1974. Action of sulphite on plant malate dehydrogenase. Phytochem. 13 : 2411-2416.