

## Uniconazole 및 Free Radical Scavenger 처리가 양버즘나무의 SO<sub>2</sub> 피해경감에 미치는 효과

조정희 · 구자형<sup>1)</sup> · 최종명<sup>2)</sup>

동양화학 주식회사, <sup>1)</sup>충남대학교 농과대학 원예학과, <sup>2)</sup>배재대학교 자연과학대학 원예조경학부

### Effect of Uniconazole and Free Radical Scavenger Treatments on Reduction of SO<sub>2</sub> Injury in *Platanus occidentalis*

Jeong-Hee Cho, Ja-Hyeong Ku<sup>1)</sup> and Jong-Myung Choi<sup>2)</sup> (Dongyang Chemical Company, Taejon 305-762 ; <sup>1)</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea ; <sup>2)</sup>Division of Horticulture and Landscape Architecture, College of Science Technology, Pai Chai University, Doma-dong, Seo-gu, Taejon 302-735, Korea)

Abstract : The objective of this research was to increase phytoprotective effects by combined treatment of uniconazole and free radical scavengers such as ascorbic acid or sodium benzoate on SO<sub>2</sub> injury in *P. occidentalis*. The plant injury, chlorophyll content and enzyme activity of superoxide dismutase(SOD) and peroxidase(POD) affected by combined treatment were also investigated. The phytoprotective role of uniconazole was nullified by spray of Diethyldithiocarbamate(DDTC) resulting in the decrease of SOD and POD activities. Free radical scavengers, sodium benzoate and ascorbic acid, did not affect SOD and POD activity, but significantly inhibited the development of visible injury, degradation of chlorophyll, and SOD and POD activity in leaves exposed to SO<sub>2</sub>. The spray of ascorbic acid decreased plant susceptibility to SO<sub>2</sub> induced by DDTC application. These results indicate that uniconazole application increase SOD activity that play a role of antioxidant in plant body, but sodium benzoate and ascorbic acid do not affect enzyme activities of SOD or POD.

## 서 론

식물에 흡수된 SO<sub>2</sub>와 그 산화물들은 그 자체로도 여러 형태로 식물의 생리작용을 저해함으로써 식물의 대사작용이나 구조를 파괴하지만, 한편으로는 유리기를 형성함으로써 피해를 유발하는 것으로 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> SO<sub>2</sub>의 산화 과정에서 생성되는 유리기로는 H<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 OH<sup>-</sup> 등을 열거할 수 있다.<sup>3,4)</sup> Charles<sup>5,6)</sup>는 시금치에서 FBPase 활성이 300μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에 의해 약 70%가 저해되며 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 억제효과는 thiol group enzyme의 산화 즉, R-SH + 3H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> → R-SO<sub>3</sub>H + 3H<sub>2</sub>O 반응에 의한다고 하였다. 또한 Puckett 등<sup>7)</sup>과 Tanaka와 Sugahara<sup>8)</sup>는 bisulphite의 산화과정에서 형성된 유리기에 의하여 시금치와 지의류의 chlorophyll과 β-carotene이 파괴된다고 하였다. 그러므로 SO<sub>2</sub> 산화과정에서 형성된 free radical을 다른 화학물질을 처리하면 생리적으로 식물독성을 감소시킬 수 있으며 ascorbate와 glutathione 등이 효과가 있는 것으로 알려져 있다.<sup>9,10)</sup>

한편 조 등<sup>11)</sup>은 양버즘나무의 실험에서 uniconazole이 유리기 제거제(free radical scavenger)의 역할을 하는 superoxide dismutase(SOD)의 활성을 증대시킴으로써 SO<sub>2</sub>의

피해경감에 효과적이었다고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 uniconazole의 피해경감 효과를 SOD의 활성 증대와 관련하여, 유리기 제거제인 sodium benzoate와 ascorbic acid 등과 비교하고 구명하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

공시재료는 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)를 이용하였으며 종자 파종방법, 배양토, 식물이식 및 재배조건은 조 등<sup>11)</sup>의 방법과 동일하게 수행하였다.

### 처리방법

SO<sub>2</sub> 처리 및 접촉상의 환경조건 SO<sub>2</sub> 처리를 위한 접촉상 및 SO<sub>2</sub> 처리방법은 조 등<sup>11)</sup>의 방법과 동일하게 설치 또는 처리하였으며, 접촉상의 온도는 28±1°C로, 습도는 70±5%로, 그리고 조도는 형광등과 백열등을 사용하여 PAR 180μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>로 조절하였다.

유리기 제거제 Sodium benzoate는 증류수에 희석하여 1.0, 10.0mM의 농도로, ascorbic acid는 0.6, 6.0%의 농도로 만든 다음 0.05% Tween-20을 혼합하여 SO<sub>2</sub> 처리

1일 전에 1회 엽면살포하였다.

Uniconazole과 Diethyldithiocarbamate(DDTC) 및 ascorbic acid의 복합처리 Uniconazole[(E)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol]은 0, 0.02, 0.2, 2.0mg/pot의 농도로 조절하고 DDTC는 0과 4%로 조절하여 처리하였다. uniconazole은 증류수에 희석하여 이식 4주후, 즉 SO<sub>2</sub> 처리 4주전에 50 ml씩 토양주입하였으며, 이후 DDTC 30g을 1L의 20mM potassium phosphate buffer(pH 7.8)에 용해시켜 3%의 농도로 만든 다음, 0.05% Tween-20을 혼합하여 ascorbic acid처리 14시간전에 엽면살포하였다. Ascorbic acid는 위에서와 같은 방법으로 SO<sub>2</sub> 처리 1일 전에 살포하였다.

**측정 및 분석방법**

양버즘나무의 SO<sub>2</sub> 피해율 측정 및 분석은 전반적으로 조 등<sup>11)</sup>의 방법에 따라 수행하였다. 가시피해율은 가스 처리 종료 2일 후에 육안으로 0~100%까지 차등을 두어 조사하였고 (0=피해없음, 100=100% 피해), 엽록소함량의 분석은 조 등<sup>9)</sup>의 방법에 의해 시료를 준비하고 엽록소를 추출하였으며 Arnon<sup>12)</sup>법으로 엽록소함량을 계산하였다.

또한 SOD 활성측정을 위해서는 양버즘나무의 선단으로부터 4번째의 잎을 채취하여 생체시료로 사용하였으며, 마쇄, 완충력, 원심분 방법 및 반응액 조제등은 McCord와 Fridovich<sup>13)</sup>의 방법을 따랐다. 이후 550nm에서 흡광도를 측정하여 SOD 활성을 분석하였으며 cytochrome C reduction이 50% 억제되는 것을 1단위로 하였다.

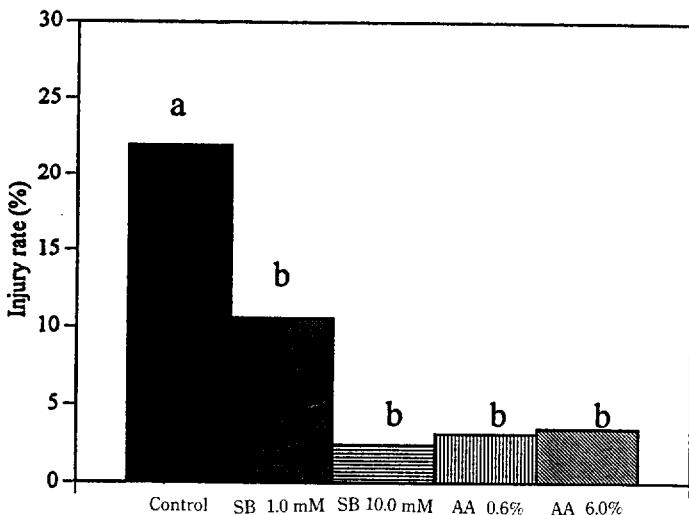


Fig. 1. Effect of free radical scavengers(SB : sodium benzoate, AA : ascorbic acid) on injury rate of leaves of *P. occidentalis* exposed to 2 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days. SB and AA were applied to plant as foliar spray a day prior to SO<sub>2</sub> fumigation.

Peroxidase(POD) 활성측정을 위한 반응액의 조제, 조효소의 혼합 및 반응정지액의 첨가는 Raa<sup>14)</sup>의 방법에 기초하여 수행하였으며 spectrophotometer로 530nm 에서 흡광도를 측정하였다. POD 활성은 0.1 O.D./min가 증가한 것을 1단위로 정하였다.

**결 과**

**유리기 제거제 처리에 의한 양버즘나무의 SO<sub>2</sub> 피해경감효과**

그림 1은 유리기 제거제 처리에 의한 양버즘나무의 SO<sub>2</sub> 피해경감효과를 조사한 것으로 무처리구에 비해 유리기 제거제 처리구에서는 SO<sub>2</sub>의 가시피해가 유의성 있게 경감되었고, sodium benzoate 10mM과 ascorbic acid 0.6% 및 6.0% 엽면살포구에서 가장 효과가 좋아 무처리구의 可視被害率이 24% 인데 비해 3~4%의 피해율을 보였다.

유리기 제거제는 엽록소 농도와 SOD 및 POD활성에 대해서는 영향을 미치지 않았지만, SO<sub>2</sub>처리에 의한 엽록소의 파괴와 SOD 및 POD활성의 감소정도를 완화시켜, SO<sub>2</sub>처리 종료 후 무처리구에 비해 엽록소 농도와 SOD 및 POD활성이 높은 수준을 유지했다(표 1, 2, 3).

Table 1. Effect of free radical scavengers on chlorophyll content in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days.

Treatment <sup>z</sup>	Chlorophyll content (µg/cm <sup>2</sup> )	
	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
	0	16
Control	26.39 a <sup>y</sup>	21.26 b
SB 1.0mM	26.10 a	21.69 b
SB 10.0mM	25.43 a	22.15 ab
AA 0.6%	25.92 a	24.53 a
AA 6.0%	26.75 a	23.73 ab

<sup>z</sup> SB : sodium benzoate, AA : ascorbic acid.

<sup>y</sup> Mean separation within a column by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 2. Effect of free radical scavengers on superoxide dismutase(SOD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days.

Treatment <sup>z</sup>	SOD activity (unit/g fresh weight)	
	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
	0	16
Control	189.49 a <sup>y</sup>	141.48 c
SB 1.0mM	184.49 a	169.92 b
SB 10.0mM	202.69 a	198.72 ab
AA 0.6%	185.63 a	178.44 b
AA 6.0%	189.71 a	175.39 b

<sup>z</sup> SB : sodium benzoate, AA : ascorbic acid.

<sup>y</sup> Mean separation within a column by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 3. Effect of free radical scavengers on peroxidase(POD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days.

Treatment <sup>z</sup>	POS activity (unit/g fresh weight)	
	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
	0	16
Control	47.33 a <sup>y</sup>	27.67 b
SB 1.0mM	47.33 a	32.33 ab
SB 10.0mM	48.67 a	34.00 ab
AA 0.6%	49.33 a	35.00 ab
AA 6.0%	48.67 a	35.33 a

<sup>z</sup> SB : sodium benzoate, AA : ascorbic acid.

<sup>y</sup> Mean separation within a column by Duncan's multiple range test, 5% level.

Uniconazole과 DDTC 및 ascorbic acid 단용 또는 복합처리가 SO<sub>2</sub> 내성에 미치는 효과

그림 2는 uniconazole과 DDTC 및 ascorbic acid를 단용 또는 복합처리하였을 때 SO<sub>2</sub>에 대한 내성정도를 조사한 것으로 DDTC 혼용처리구에서는 SO<sub>2</sub>에 대해 내성이 크게 낮아져 무처리구의 15% 可視被害에 반해 48%의 피해를 나타냈으며, DDTC 복합처리구에 다시 ascorbic acid를 처리하였을 때 SO<sub>2</sub> 내성이 다시 증가되어 29%의 가시피해를 나타냈다. 또한 uniconazole 단용처리구는 SO<sub>2</sub>에 대한 내성을 뚜렷하게 증가시켜 전혀 가시피해가 나타나지 않았으며, DDTC 복합처리구는 SO<sub>2</sub>의 감수성을 높히는 결과를 초래하여 약 11%의 가시피해가 나타났는데, 여기에 다시 ascorbic acid를 처리함으로써 SO<sub>2</sub>에 의한 가

시피해를 4%로 경감시킬 수 있었다.

DDTC와 ascorbic acid는 엽록소 농도에 거의 영향을 미치지 않은 반면에, uniconazole은 무처리구에 비해 엽록소 농도를 2배 정도 현저하게 증가시켰으며, SO<sub>2</sub>노출시에 단용 또는 복합처리구에서 공히 엽록소함량이 감소되었으나, uniconazole 단용처리구에서는 높은 수준의 농도를 유지했다(표 4).

Table 4. Effect of a combined treatment of uniconazole(UCZ), diethyldithiocarbamate(DDTC), and ascorbic acid(AA) on chlorophyll content in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days.

Treatment <sup>z</sup>	Chlorophyll content(μg/cm <sup>2</sup> )				
	(mg/pot)	DDTC (%)	AA (%)	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
				0	16
0.00	0.0	0.0	25.99 c <sup>z</sup>	23.60 c	
0.00	3.0	0.0	25.23 c	22.14 c	
0.00	3.0	0.6	26.52 c	23.99 c	
0.02	0.0	0.0	42.80 ab	36.63 b	
0.02	3.0	0.0	41.03 b	37.98 b	
0.02	3.0	0.6	45.42 a	43.40 a	

<sup>z</sup> Mean separation within a column by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 5. Effect of a combined treatment of uniconazole(UCZ), diethyldithiocarbamate(DDTC), and ascorbic acid(AA) on superoxide dismutase(SOD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8h daily for 2 days.

Treatment <sup>z</sup>	SOD activity (unit/g fresh weight)				
	(mg/pot)	DDTC (%)	AA (%)	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
				0	16
0.00	0.0	0.0	217.60 b <sup>z</sup>	151.26 bc	
0.00	3.0	0.0	167.63 b	126.81 c	
0.00	3.0	0.6	172.97 b	150.92 bc	
0.02	0.0	0.0	675.26 a	260.13 a	
0.02	3.0	0.0	209.55 b	170.94 b	
0.02	3.0	0.6	209.83 b	187.58 b	

<sup>z</sup> Mean separation a within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

표 5는 uniconazole과 DDTC 및 ascorbic acid를 단용 또는 복합처리한 식물체에 SO<sub>2</sub>를 처리한 다음 SOD 활성을 조사한 것으로 무처리구에 비해 DDTC 처리구에서 SOD활성이 감소되었고, ascorbic acid는 SOD활성에 영향을 주지 않았으며, uniconazole 단용처리구는 SOD활성을 3배 이상 현저하게 증가시켰다. 또한, SO<sub>2</sub> 접촉은 각 처리구에서 공히 SOD활성이 떨어졌지만, uniconazole 단용처리구에서 가장 높게 SOD활성이 유지되었고, ascorbic acid처리구에서는 SO<sub>2</sub>에 의한 SOD활성의 감소정도를 완화시키는 것으로 나타났다.

POD 활성도 SOD활성과 비슷하게 DDTC 혼용처리에

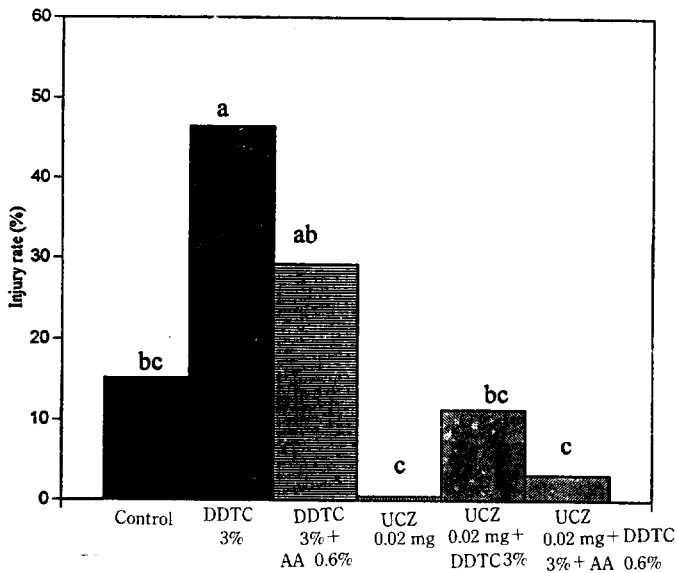


Fig. 2. Effect of a combined treatment with uniconazole(UCZ), diethyldithiocarbamate(DDTC), and ascorbic acid(AA) on injury rate of leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO<sub>2</sub> for 8 h daily for 2 days . UCZ was applied to plant as a soil drench 4 weeks prior to SO<sub>2</sub> fumigation where DDTC and AA were as foliar spray 14 h and a day prior to SO<sub>2</sub> fumigation, respectively.

의해 약간의 감소가 있었고, uniconazole 단용처리는 POD 활성을 2배 이상 현저하게 증가시켰으며, ascorbic acid 처리는 POD 활성에는 유의성있는 영향을 미치지 않았다. 또한 SO<sub>2</sub> 접촉은 모든 처리구에 대해 POD 활성을 감소시켰으며, SO<sub>2</sub> 처리 종료 후 uniconazole 단용처리 구에서 가장 높은 POD 활성이 유지되었다(표 6).

Table 6. Effect of a combined treatment of uniconazole(UCZ), diethyldithiocarbamate(DDTC), and ascorbic acid(AA) on peroxidase(POD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2 ppm SO<sub>2</sub> for 8 h daily for 2 days.

Treatment <sup>2</sup>			POD activity (unit/g fresh weight)	
UCZ (mg/pot)	DDTC (%)	AA (%)	SO <sub>2</sub> exposure (h)	
			0	16 h
0.00	0.0	0.0	44.00 bcd <sup>2</sup>	35.00 bc
0.00	3.0	0.0	33.33 cd	27.00 c
0.00	3.0	0.6	32.33 d	30.00 c
0.02	0.0	0.0	88.00 a	73.00 a
0.02	3.0	0.0	51.67 b	46.00 b
0.02	3.0	0.6	46.33 bc	44.67 b

<sup>2</sup> Mean separation within a column by Duncan's multiple range test, 5% level.

## 고 찰

Sodium benzoate, ascorbic acid, vitamin E 및 glutathione 등과 같은 유리기 제거제는 O<sub>3</sub> 또는 SO<sub>2</sub> 등에 의해 발생하는 독성 유리기를 중화함으로써 2차적으로 발생하는 활성산소의 해를 경감시키는 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>15-17)</sup> 양버즘나무에 sodium benzoate와 ascorbic acid를 엽면살포하였을 경우 엽록소 농도와 SOD 및 POD 활성변화에는 영향을 미치지 않았지만, SO<sub>2</sub>에 의한 가시피해율을 현저하게 경감시켰다(그림 1, 표 1, 2, 3). 이러한 결과는 유리기 제거제가 SO<sub>2</sub>에 의해 2차적으로 발생하는 독성 유리기를 직접 중화시켜 피해를 경감시킨 것으로 생각된다.

SO<sub>2</sub>에 의해 식물체내에서 2차적으로 형성되는 유리기에 의한 피해와 SOD의 역할정도를 알아보기 위해 uniconazole과 DDTC 및 ascorbic acid를 단용 또는 복합처리하였던 바, DDTC처리에 의해 SOD와 POD 활성이 감소된 처리구에 ascorbic acid를 처리한 후 SO<sub>2</sub>에 접촉시켰을 때, DDTC 처리에 의해 SO<sub>2</sub>의 내성이 감소된 것을 ascorbic acid가 상당히 회복할 수 있었다(그림 2, 표 4, 5, 6).

이와 같은 결과는 SOD가 SO<sub>2</sub>에 의해 유발되는 2차적인 피해를 부분적으로 방어하는 기능을 갖고 있다는 것을 시사한다고 할 수 있다. 또한 DDTC처리구에 다시 ascorbic acid를 처리함으로써 SO<sub>2</sub>에 의한 피해를 어느 정도 경감시킬 수 있었던 것은 유리기 제거제가 SOD와

같은 역할을 한 것으로 사료된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 양버즘나무에 처리한 uniconazole은 식물체의 왜화 및 엽록소 함량의 증대등에 의해 조직을 치밀화 시킴으로써 SO<sub>2</sub>에 대한 내성을 증가시키는 이외에도, 산화방지물질의 역할을 하는 SOD 및 POD와 같은 효소의 활성을 높여줌으로써 SO<sub>2</sub>에 의한 2차적인 피해를 경감시킨다는 것을 알 수 있었다. 또한 SO<sub>2</sub>의 내성에 관여하는 SOD와 POD의 역할을 조사하기 위해 SOD불활성제인 DDTC처리를 통해서 SOD가 SO<sub>2</sub>에 의한 2차적인 활성산소의 피해를 부분적으로 경감시킨다는 것을 명백히 할 수 있었다. 따라서 활성산소의 독성을 중화할 수 있는 효소의 활성과 아울러 glutathione, ascorbic acid 및  $\alpha$ -tocopherol과 같은 식물체내의 유리기 제거제에 대한 내성증대 효과가 구체적으로 밝혀진다면 가로수의 대기오염 피해경감 대책에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

SO<sub>2</sub>에 대한 양버즘나무의 내성을 증대시키고자 uniconazole, sodium benzoate 또는 ascorbic acid를 단용 또는 복합처리한 후 SO<sub>2</sub>에 의한 가시피해정도, 엽록소 함량 및 유리기 제거제로 활성산소의 독성을 중화시킬 수 있는 superoxide dismutase(SOD) 및 peroxidase(POD)의 활성변화를 조사하였다. Uniconazole 처리에 의한 SO<sub>2</sub> 피해경감 효과는 SOD불활성제인 diethyldithiocarbamate(DDTC)를 다시 처리하므로써 가시피해가 증가하였고 SOD와 POD의 활성도 감소하였다. 유리기 제거제인 sodium benzoate와 ascorbic acid처리는 SOD나 POD 활성에 영향을 주지않으면서 SO<sub>2</sub>의 피해를 경감시키고, DDTC의 SO<sub>2</sub> 피해증가 효과를 ascorbic acid 처리로 감소시킬 수 있었다. 이상의 결과로 미루어 uniconazole은 식물체내에서 산화방지물질의 역할을 하는 SOD의 활성을 증대시켜 SO<sub>2</sub> 가스의 피해를 경감시키는 효과가 인정되며, ascorbic acid와 sodium benzoate의 내성 증대 효과는 식물체내의 SOD나 POD 활성 증진과는 관계가 없는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Abeles, F.B.(1986). Plant chemiluminescence. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 37, 49~72.
2. Asada, K.(1980). Formation and scavenging of superoxides in chloroplasts, with relation to injury by sulfur dioxide. National Ins. *Environ. Stu. Res. Rep.*, 11, 165~169.
3. Peiser, G.D. and S.F. Yang(1977). Chlorophyll destruction by the bisulfite-oxygen system. *Plant Physiol.*, 60, 277~281.

4. Yang, S.F.(1970). Sulfoxide formation from methionine or its sulfide analogs during aerobic oxidation of sulfite. *Biochemistry*, **9**, 5008~5014.
5. Charles, S.A. and B. Halliwell(1980). Properties of freshly purified and thiol-treated spinach chloroplast fructose bisphosphatase. *Biochemical Journal*, **185**, 689~693.
6. Charles, S.A. and B. Halliwell(1980b). Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplast fructose bisphosphatase. *Biochemical Journal*, **189**, 373-376.
7. Puckett, K.J., E.P. Nieboer, W. Flora, and D.H.S. Richardson(1973). Sulphur dioxide : its effect on photosynthetic <sup>14</sup>C fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. *New Phytologist*, **72**, 141~154.
8. 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. Natl. Environ. Stud.*, **11** : 155~164.
9. Chiment, J.J., R. Alscher, and P.R. Hughes(1986). Glutathione as an indicator of SO<sub>2</sub> - induced stress in soybean. *Environmental and Experimental Botany*, **26**(2), 147~152.
10. Kar, M. and J. Feierabend(1984). Metabolism of activated oxygen in detached wheat and rye leaves and its relevance to the inhibition of senescence. *Planta*, **160**, 385~391.
11. 조정희, 구자형, 최종명(1996). Uniconazole처리가 양버즘나무의 SO<sub>2</sub> 내성증대 및 효소의 활성화에 미치는 영향. *한국환경농학회지*, **15**(4) 479~487.
12. Arnon, D.I.(1959). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, **24**, 1~15.
13. McCocrd, J.M. and I. Fridovich(1969). Superoxide dismutase : an enzymic fuction of erythrocyperin. *J. Biol. Chem.*, **244**, 6049~6055.
14. Raa, J.(1971). Indole-3-acetic acid levels and the role of indole-3-acetic acid oxidase in normal root and club-root of cabbage. *Physiol. Planct*, **25**, 130~134.
15. Dhindsa, R.S., P.L. Plumb-Dhindsa, and D.M. Reid(1982). Leaf senescence and lipid peroxidation : Effects of some phytohormones, and scavengers of free radicals and singlet oxygen. *Physiol. Plant*, **56**, 453~457.
16. Larson, R.A.(1988). The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, **27**(4), 969-978.
17. Izumi, K., Y. Kamiya, A. Sakurai, H. Oshio and N. Takahashi(1985). Studies of sites of action of a new plant growth retardant [(E)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-1-penten-3-ol(S-3307)] and comparative effects of its stereoisomers in a cell-free system from *Cucurbita naxima*. *Plant Cell Physiol*, **26**(5), 821~827.