

Uniconazole 처리가 양버즘나무의 SO₂ 내성증대 및 효소의 활성에 미치는 영향

조정희* · 구자형** · 최종명**

Effect of Uniconazole Treatment on Plant Tolerance to SO₂ Injury and Enzymatic Activity and *Platanus Occidentalis*

Jeong-hee Cho*, Ja-hyeong Ku** and Jong-Myung Choi**

Abstract

This study was conducted to investigate the phytoprotective effects of uniconazole on SO₂ injury in *P. occidentalis*. The detoxification role of free radical scavengers such as superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) was also examined under the conditions of combined treatment with uniconazole and diethyldithiocarbamate (DDTC). Uniconazole drenching significantly reduced the occurrence of visible injuries. Though shoot length, leaf area, and T/R rate were greatly decreased by uniconazole application, the tolerance to SO₂ was enhanced through increased chlorophyll content and activities of SOD and POD. Spray of DDTC decreased the activity of SOD and POD resulting in the increase of visible injury. Plant tolerance to SO₂ induced by uniconazole application was reduced by the additional application of DDTC. These results indicate that plant tolerance to SO₂ induced by uniconazole is associated with the reduction of vegetative growth as well as the increase in free radical scavengers such as SOD and POD.

서 론

대기 오염물질로서 아황산가스는 식물체내에 흡수되면 수분에 쉽게 용해되어 H₂SO₃와 HSO₃⁻ 및

SO₃²⁻로 산화되는데,¹⁾ 식물세포내의 생리학적 pH값에서는 대부분 HSO₃⁻와 SO₃²⁻ 상태로 존재하는 것으로 보고 되고 있다.²⁾ 흡수된 SO₂ 가스는 2차적으로는 독성물질인 유리기(遊離基)을 형성하여 식물의

* 동양화학 주식회사(Dongyang Chemical Company, Taejon 305-762, Korea)

** 충남대학교 농과대학 원예학과(Department of Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea)

생리작용에 여러가지 피해를 유발하는데,^{3,4)} 유리기 형성은 superoxide radical에 의한 bisulphite와 sulphite의 광산화에 의해 시작되는 것으로 알려지고 있다.⁵⁾ SO₂에 의해 형성되는 독성 유리기에 대한 내성기구는 내생 free radical scavengers 함량과 enzyme 활성에 의한 유리기의 중화능력에 기인되는데,^{3,6)} superoxide dismutase (SOD)는 O₂⁻를 H₂O₂와 O₂로의 전환을 촉진하는 metalloenzyme으로 알려져 있고,⁶⁾ 식물체내의 SOD활성은 SO₂ 저항성과 관계가 깊어 같은 식물체에서도 SOD활성이 높은 부위에서 저항성이 높게 나타나고, 품종간에서도 SOD활성이 높은 품종에서 SO₂ 저항성이 높은 것으로 보고되었다.⁷⁾ Peroxidase (POD)와 catalase는 H₂O₂를 H₂O와 O₂로의 전환을 촉진함으로써 SO₂의 독성을 중화시키는데 관여하는 효소로 알려져 있다.⁸⁾

Triazole계 화합물인 uniconazole은 kaurene oxidase의 활성을 저해하여 GA합성을 억제시킴으로써 많은 식물체에서 영양생장을 억제하는 것으로 밝혀졌으며,⁹⁾ 이러한 triazole계의 생장왜화제는 식물의 왜화 및 체내의 생리화학적 물질의 변화를 초래하여 SO₂ 가스에 내성을 갖는다고 보고되고 있다.^{10,11)}

본 실험은 가로수로 가장 많이 이용되고 있는 양버즘나무에 uniconazole을 토양주입하여 SO₂에 대한 내성증대를 꾀하고, 그 내성기구를 독성 유리기에 대한 중화역할을 SOD와 POD의 활성변화에 중점을 두어 조사하였으며, SOD불활성제인 diethyldithiocarbamate을 이용하여 양버즘나무의 SO₂ 내성증대에 미치는 SOD와 POD의 역할을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시식물

양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.) 종자를 흙 : 모래 : 부엽 : peatmoss : vermiculite : perlite (1 : 1 : 1 : 1 : 0.5 : 0.5 ; v/v)를 혼합한 토양에 파종하여

40일 후에 직경 12 cm의 플라스틱포트에 이식하였다. 모든 재배관리는 plastic house에서 실시되었고, SO₂ 처리 일주일 전에 SO₂ 챔버의 환경조건과 비슷한 환경조절실(온도 ; 28 ± 2°C, 조도 ; PAR 180 mol m⁻²s⁻¹)로 옮겼다.

2. 처리방법

1) Uniconazole

Uniconazole[(E)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol)]은 이식 4주 후에 0, 0.02, 0.2 그리고 2.0 mg/pot가 되도록 증류수에 희석하여 50 mL씩 SO₂ 처리 4주 전에 토양주입하였고, 약액의 손실을 막기 위해 1회용 petri-dish를 포트밑에 놓았다.

2) Diethyldithiocarbamate (DDTC)

20 mM potassium phosphate buffer(pH 7.8) 1 L 속에 DDTC 30 g을 녹여 3%의 농도로 만들고 0.05% Tween-20을 혼합하여 SO₂ 처리 14시간 전에 1회 엽면살포하였다.

3) SO₂ 처리

접촉상의 온도는 28±1°C로 하였고 습도는 70±5%로 조절하였으며, 조도는 형광등과 백열등을 사용하여 PAR 230 mol m⁻²s⁻¹로 조절하였다. SO₂ 가스는 Fluorescent SO₂ analyzer (model 8850)를 사용하여 농도를 측정하였고, 2.0 ppm에 1일 8시간씩 2일간 처리하였다.

3. 측정 및 분석방법

간장은 uniconazole 토양주입 후 1주일 간격으로 4주간 조사하였고, uniconazole 토양주입 4주 후에 엽면적은 Delta-T automatic MK₃ areameter를 이용하여 주당 엽면적으로 표시하였으며, T/R율은 지상부와 지하부를 수확하여 생체중으로 측정하였다. 또한, SO₂의 피해율은 SO₂ 처리 종료 2일 후에 각

앞마다 可視被害를 0에서 100% (0=피해 없음, 100=100% 피해)로 나누어 조사하였다. 엽록소 함량은 직경 0.6cm의 cork borer를 사용하여 양버즘나무의 선단부로 부터 4엽에서 5개씩의 disk를 채취하여 80% acetone 용액 10 mL에 넣고 4℃의 암조건에서 48시간 추출한 다음 spectrophotometer를 사용하여 663과 645 nm에서 흡광도를 측정하고 Arnon법¹²⁾에 의해 함량을 계산하였다.

SOD 활성은 McCord와 Fridovich의 분석법¹³⁾에 의하여 실시하였던 바, 양버즘나무의 선단부로 부터 4엽에서 채취된 생체시료 0.5 g을 냉장보관된 mortar에 넣고 0.5g P.V.P와 0.05 M phosphate buffer (pH 7.8) 10 mL를 첨가하여 마쇄한 다음 12,000 rpm으로 30분간 원심분리한 뒤 상등액을 취하여 조효소로 사용하였다. 마쇄 및 원심분리 과정은 4℃ 이하에서 실시되었으며, 반응액은 5×10⁻³ phosphate buffer (pH 7.8), 10⁻⁴ M EDTA, 10⁻⁵ M cytochrome C, 5×10⁻⁵ M xanthine 및 6×10⁻⁹ M xanthine oxidase (약 0.033 unit) 와 일정량의 조효소를 첨가하여 total volume 3 mL로 하여 550 nm에서 spectrophotometer로 흡광도를 측정하였다. 반응개시는 xanthine oxidase의 첨가에 의하여 시작되었으며, SOD 활성은 cytochrome C reduction이 50% 억제되는 것을 1단위로 하였다.

POD 활성은 Raa의 방법¹⁴⁾에 의하여 측정하였던 바, 9 mL의 반응액에는 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 7.8 mL, 0.3% H₂O₂ 0.5 mL, 1% o-phenylenediamine 0.5 mL와 0.2 mL의 조효소를 혼합하였다. 반응개시는 조효소 첨가에 의하여 시작되었고, 5분간 반응시킨 다음 반응정지액 (Sodium bisulfite) 1 mL를 첨가하여 반응을 정지시키고 실온에 30분간 방치 후 spectrophotometer로 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. POD 활성은 0.1 O.D./min가 증가한 것을 1단위로 정했다.

결 과

Uniconazole를 토양주입한 다음 1주일 간격으로

생육을 조사한 결과 포트 당 0.02 mg 처리구에서는 무처리구에 비하여 간장의 차이가 거의 없었으나, 포트 당 0.2 mg 이상 처리구에서는 무처리구에 비하여 간장이 현저하게 억제되었으며, 2.0 mg 처리구에서는 억제정도가 심하여 토양주입 7일 후 부터는 거의 생장이 일어나지 않았다(그림 1).

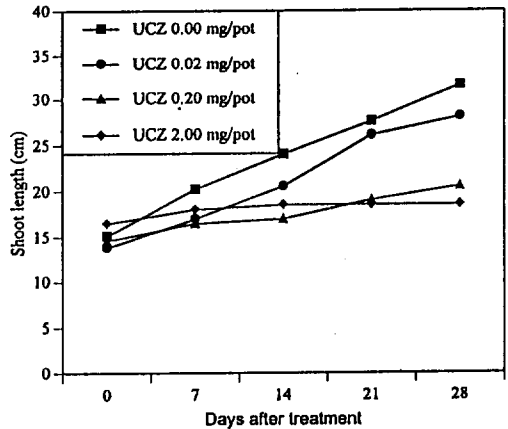


Fig. 1. Effect of uniconazole(UCZ) on shoot length of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation.

Uniconazole 처리 4주 후에 농도별로 엽면적을 조사한 결과 간장의 감소와 비슷하게 uniconazole 처리구에서 농도에 따라 엽면적이 크게 감소하였으며, 포트 당 2.0 mg 처리구에서는 무처리구에 비해 약 53% 정도 엽면적이 감소되었다. 지상부와 지하부의 생장률을 조사한 결과 무처리구에서는 지상부의 생육이 지하부보다 큰데 비해 uniconazole 처리구에서는 근계가 짧아지는 반면에 비후해져서 T/R율이 현저히 감소했는데, 특히 2.0 mg 처리구에서 2배 이상 감소했다(표 1).

Uniconazole 처리 4주 후에 SOD와 POD 활성 및 엽록소 농도를 조사한 결과 무처리구에 비하여 uniconazole 처리구에서 chlorophyll 농도가 뚜렷하게 증가 하여 2.0 mg 처리구에서는 무처리구에 비해 60% 이상 증가하였으며(그림 2), uniconazole 농도가 높을 수록 SOD의 활성이 3~6배 정도 증가 하

였고(그림 3), POD 활성 역시 유의성 있게 증가하였다(그림 4).

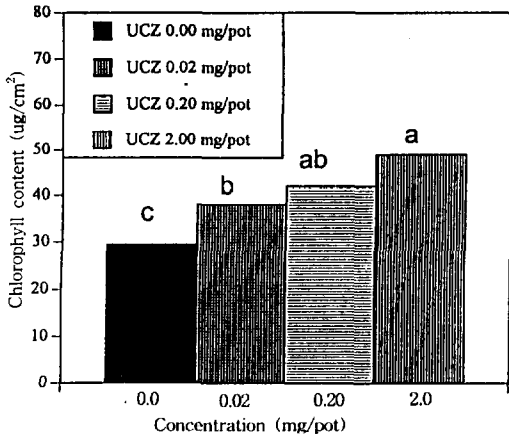


Fig. 2. Effect of uniconazole on chlorophyll content in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation.

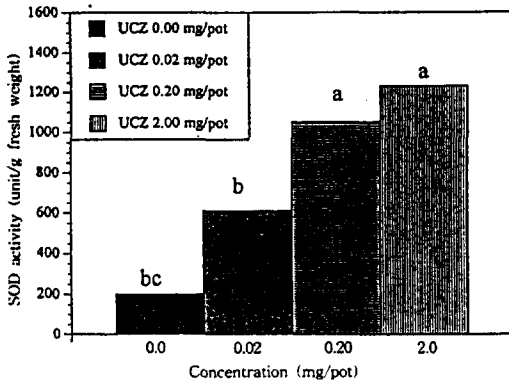


Fig. 3. Effect of uniconazole on superoxide dismutase activity in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation.

Table 1. Effect of uniconazole on leaf area and T/R rate of *P. occidentalis* at 4 weeks after soil drench.

Uniconazole (mg/pot)	Leaf area (cm ² /pot)	T/R rate (%)
0.00	425.75 a ²	137 a
0.02	411.50 a	102 b
0.20	227.25 b	63 c
2.00	227.00 b	45 c

² Means separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level.

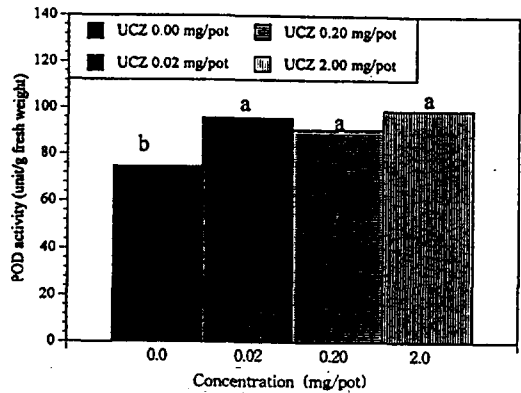


Fig. 4. Effect of uniconazole on peroxidase activity in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation.

양버즘나무에 SOD 불활성제인 DDTC를 처리한 다음 SOD 및 POD 활성 변화를 조사한 결과 SOD 활성은 DDTC 처리 직후부터 급격하게 감소되어 5 시간째에는 1-4배 감소되었고, 이후에는 거의 일정한 낮은 수준을 유지하였다(그림 5). POD 활성은 5 시간까지 약간 증가하는 경향이었으나 그 이후부터는 SOD 활성과 같이 급격하게 감소 되었는데, 무처리구에서 더 급격하게 감소 되었다(그림 6).

그림 7 은 DDTC 처리 후 엽록소 농도변화를 조사한 것으로 DDTC처리 후 10시간 까지는 영향을 받지 않았지만, 10 시간 이후 부터는 DDTC처리에

의해서 엽록소 농도가 약간 감소되었다.

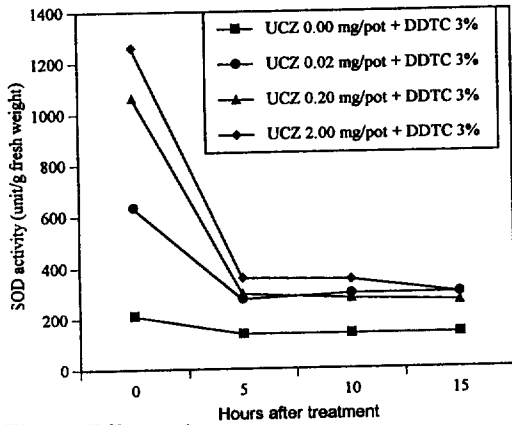


Fig. 5. Effect of uniconazole and diethylthiocarbamate(DDTC) on superoxide dismutase (SOD) activity in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation and DDTC was applied to plant as foliar spray 14 h before SO₂ fumigation.

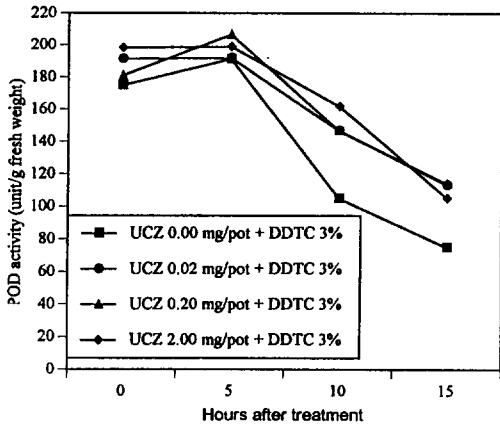


Fig. 6. Effect of uniconazole and diethylthiocarbamate (DDTC) on peroxidase (POD) activity in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation and DDTC was applied to plant as foliar spray 14 h before SO₂ fumigation.

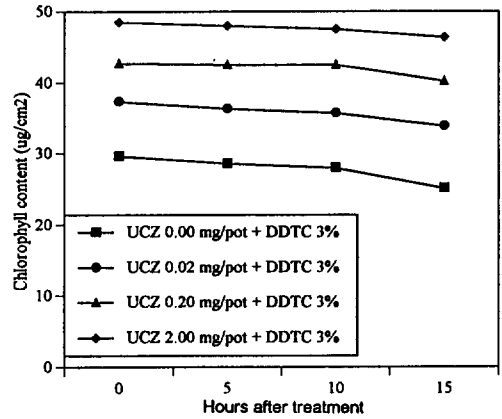


Fig. 7. Effect of uniconazole and diethylthiocarbamate (DDTC) on chlorophyll content in leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as a soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation and DDTC was applied to plant as foliar spray 14 h before SO₂ fumigation.

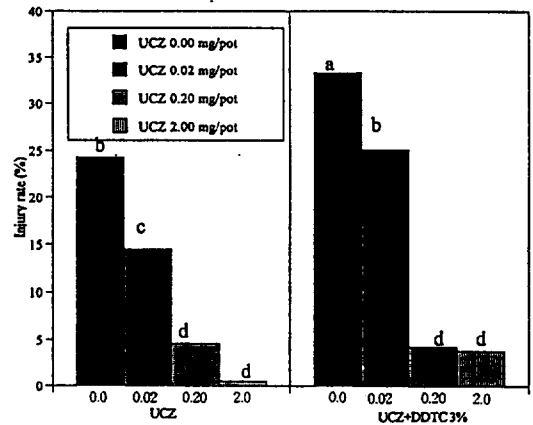


Fig. 8. Effect of uniconazole and diethylthiocarbamate (DDTC) on injury of leaves of *P. occidentalis*. Uniconazole was applied to plant as soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation and DDTC was applied to plant as foliar spray 14 h before SO₂ fumigation.

그림 8은 uniconazole 와 DDTC를 단독 및 혼용 으로 처리한 다음 SO₂를 접촉시켰을 때 피해를

조사한 것으로 전체적으로 DDTC 혼용처리구가 uniconazole 단용 처리구 보다 SO₂ 감수성이 높았다. Uniconazole 단용처리구에서는 농도가 높을 수록 SO₂의 피해경감 효과가 현저해 포트 당 2.0 mg 처리구에서는 전혀 可視被害가 나타나지 않았다. 그리고 DDTC 혼용처리구는 SO₂의 감수성을 높여줌으로써 可視被害가 전혀 나타나지 않았던 2.0mg의 uniconazole 처리구에서 약 4 %정도 가시피해가 나타났다.

Table 2. Effect of uniconazole alone or with diethylthiocarbamate (DDTC) on superoxide dismutase(SOD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO₂.

Treatments		SOD activity (unit/g fresh weight)		
Uniconazole (mg/pot)	DDTC (%)	SO ₂ exposure (h)		
		0	8	16
0.00	0.0	207.84 bc ^z	149.79 b	123.12 c
0.02	0.0	624.00 b	190.36 b	227.11 b
0.20	0.0	1055.06 a	343.88 a	290.39 b
2.00	0.0	1233.52 a	388.05 a	374.84 a
0.00	3.0	136.71 c	128.35 b	113.88 c
0.02	3.0	286.03 bc	138.07 b	143.57 c
0.20	3.0	260.28 bc	179.74 b	129.78 c
2.00	3.0	289.24 bc	226.46 b	125.57 c

^z Means separation within column by Duncan's multiple range test, 5% level

양버즘나무를 SO₂에 노출시켰을 때 엽록소의 파괴는 공히 모든 uniconazole처리구에서 발생되었지만, SO₂처리 종료 후 엽록소 농도는 uniconazole농도가 높을 수록 높은 수준을 유지했으며, 또한 DDTC와 uniconazol 혼용처리구에서는 uniconazole 단용처리구에 비해 엽록소 파괴율이 더 높게 일어났다(그림 9).

표 2는 uniconazole와 DDTC를 단용 또는 혼용 처리구에 SO₂를 접촉시킨 다음 SOD 활성변화를 조사한 것으로 uniconazole처리에 의해 SOD 활성은 현저하게 증가된 반면에 DDTC처리에 의해 SOD

활성이 뚜렷하게 감소 되었다. SO₂의 처리는 시간이 경과함에 따라 SOD 활성을 급격하게 감소 시켰는

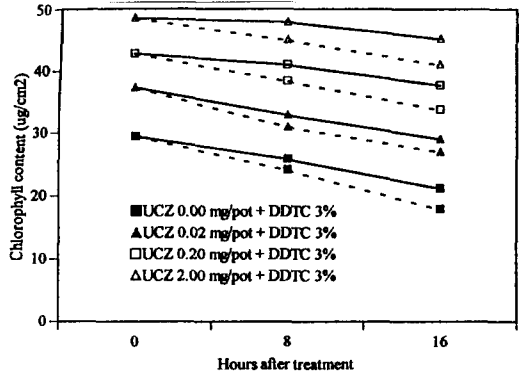


Fig. 9. Effect of uniconazole (UCZ) alone (—) or with diethylthiocarbamate (DDTC) (---) on chlorophyll content in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO₂ for 8 h daily for 2 days. Uniconazole was applied to plant as soil drench four weeks prior to SO₂ fumigation and DDTC was applied to plant as foliar spray 14 h before SO₂ fumigation.

Table 3. Effect of uniconazole alone or with diethylthiocarbamate (DDTC) on peroxidase(POD) activity in leaves of *P. occidentalis* exposed to 2.0 ppm SO₂ for 8 h daily for 2 days.

Treatments		POD activity (unit/g fresh weight)		
Uniconazole (mg/pot)	DDTC (%)	SO ₂ exposure (h)		
		0	8	16
0.00	0.0	75.13 bz	34.88 cd	30.00 bc
0.02	0.0	95.38 a	47.75 a	43.13 ab
0.20	0.0	90.38 a	47.00 ab	41.50 abc
2.00	0.0	99.13 a	53.63 a	49.63 a
0.00	3.0	37.75 c	25.88 d	23.38 c
0.02	3.0	67.63 b	36.00 bcd	31.13 bc
0.20	3.0	68.75 b	43.38 abc	30.63 bc
2.00	3.0	52.88 bc	46.25 ab	36.75 abc

^z Means separation within column by Duncan's mutiple range test, 5% level.

데, SO₂처리 종료 후 최종 SOD활성은 uniconazole 단용처리구에서 훨씬 높았다.

POD활성 역시 SOD활성과 비슷한 경향을 보였는데, uniconazole 단용처리구 보다는 DDTC와 혼용처리구서 활성이 낮은 것으로 나타났다(표 3).

고 찰

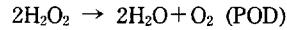
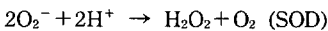
Triazole계 화합물인 uniconazole의 생리적인 작용기작은 도관을 통하여 세포분열조직으로 이행된 다음 GA의 생합성과정 중 kaurene에서 kaurenoid acid로 산화되는 단계에서 kaurene, kaurenol 그리고 kaurenal의 산화를 저해함으로써 GA 합성을 억제하여 결과적으로 영양생장이 억제된다고 하며,¹⁵⁾ 이러한 왜화의 작용은 GA 처리에 의해 상쇄된다고 한다.¹⁶⁾

Uniconazole은 triazole 계의 다른 화합물에 비해 식물 왜화 정도가 현저하며,^{17,18)} 대기오염 물질에 대한 식물의 내성을 증대시키는 것은 주로 영양생장의 억제에 의한 조직세포를 치밀화시킴으로서 오염물질의 식물체내 유입을 억제하는 측면^{10,19)}과 대기오염물질에 내성을 갖는 효소활성을 높혀줌으로서 대기오염물질의 중화능력증대와 관계가 깊다.²⁰⁾

양버즘나무에 uniconazole을 토양주입한 결과 간장, 엽면적 및 T/R을 감소와 엽록소 함량 증가에 의하여 식물체의 조직을 치밀화시켜 SO₂의 체내흡수를 억제하여 피해를 경감시킨 것으로 사료된다(그림 1, 2 와 표 1).

SO₂는 식물체내로 흡수된 다음 독성 유리기를 형성하여^{5,21)} 엽록소와 β-carotene 파괴 및 lipid peroxidation등을 유발함으로써 2차적인 피해를 일으키는 것으로 알려지고 있다.⁵⁾

SOD는 다음과 같이 O₂⁻를 H₂O₂와 O₂로의 전환을 촉진하는 metalloenzyme이며,^{6,22)} POD와 catalase는 SOD에 의해서 전환된 H₂O₂를 H₂O와 O₂로 전환을 촉진하는 효소이다.⁸⁾



그러므로 SOD 와 POD는 SO₂에 의해서 2차적으로 일어나는 활성산소의 독성으로부터 식물의 세포조직을 보호하는 중요한 역할을 하는 효소이다.^{6,23)}

Uniconazole처리에 의한 양버즘나무의 SO₂ 피해 경감 효과는 적어도 부분적으로는 SOD와 POD활성을 증가시킴으로서 SO₂에 의해 발생하는 유리기의 피해를 경감시킨 것으로 판단된다(그림 3, 4, 8).

SOD는 Cu, Zn- 와 Mn- 및 Fe-containing SOD등 세가지 형태로 존재하는데 대부분의 식물체에서는 Cu, Zn-SOD 와 Mn-SOD 형태로 존재한다고 하며,²⁴⁾ copper chelating agent인 DDTC처리에 의해 Cu, Zn-SOD가 불활성화된다고 한다.²³⁾ 무처리구 및 uniconazole처리구에 대해 DDTC를 엽면살포하였을 때 무처리구와 uniconazole 처리구 모두 SOD 활성이 처리직후 부터 5시간까지는 급격히 감소하였고 이후 부터는 거의 일정한 낮은 수준을 유지하였으며(그림 5), POD활성 역시 SOD 활성과 같이 불활성화 되었다(그림 6). 이러한 효소 활성의 감소는 DDTC를 처리하므로써 Cu-, Zn-SOD 등이 DDTC에 의해 중금속을 빼앗기므로 기능이 상실되고 SO₂ 처리에 의한 독성 유리기의 중화력의 감소를 유발함으로써 SO₂ 피해를 증가시킨 것으로 판단된다.(그림 7, 9 와 표 2, 3).

요 약

SO₂에 대한 양버즘나무의 내성을 증대시키고자 생장왜화제인 uniconazole을 토양주입하고, 그 내성기작을 superoxide dismutase와 peroxidase의 역할과 관련하여 조사했던 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

Uniconazole은 농도가 높아질 수록 간장, 엽면적 및 T/R率을 현저하게 감소시키고, 엽록소 농도와 superoxide dismutase 및 peroxidase활성을 현저하게 증가시켜 SO₂ 처리에 의한 가지피해를 유의성있

게 경감시켰다.

Diethyldithiocarbamate를 엽면살포하였을때, superoxide dismutase와 peroxidase 활성이 현저하게 불활성화되어 SO₂ 처리에 의한 可視被害가 증가되었으며 uniconazole 처리에 의해 증대되었던 SO₂ 내성은 diethyldithiocarbamate 처리에 의하여 다시 감소되었다. 이상과 같이 uniconazole은 식물생장의矮化에 의한 조직의 치밀화 이외에 SOD와 POD의 활성증대를 통해 SO₂에 대한 내성을 증대시킨 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Pucket, K.J., E.P. Nieboer, W. Flora, and D.H. S. Richardson. 1973. Sulfur dioxide: its effect on photosynthetic 14C fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. *New Phytologist* **72** : 141~154.
2. Heath, R.L. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Ann. Rev. of Plant Physiol.* **31** : 395~431.
3. Abeles, F.B. 1986. Plant chemiluminescence. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **37** : 49~72.
4. Asada, K. 1980. Formation and scavenging of superoxides in chloroplasts, with relation to injury by sulfur dioxide. National Institute for Environmental Studies, Research Report No. **11** : 165~169.
5. Peiser, G.D. and S.F. Yang. 1977. Chlorophyll destruction by the bisulfite-oxygen system. *Plant Physiol.* **60** : 277~281.
6. Fridovich, I. 1975. Superoxide dismutases. *Ann. Rev. Plant Physiol.* : 47~159.
7. Jager, H.J., J. Bender, and L. Grunhage. 1985. Metabolic responses of plants differing in SO₂ sensitivity towards SO₂ fumigation. *Environ. Pollution* **39** : 317~335.
8. Larson, R.A. 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* **27**(4) : 969~978.
9. Hallahan, D.L., A.P. Heasman, M.C. Gossel, R. Quigley, P. Heden, and J.R. Bowyer. 1988. Synthesis and biological activity of an azido derivative of paclobutrazol, an inhibitor of gibberellin biosynthesis. *Plant Physiol.* **88** : 1425~1429.
10. Krizek, D.T., P. Semeniuk, R. M. Mirecki and G. L. Steffens. 1986. Comparative effects of three triazoles in controlling stem and leaf growth and in ameliorating SO₂ injury in coleus. USDA.
11. Ku, J.H., D.T. Krizek, R.M. Mirecki, and E.D. Lee. 1987. Efficacy of XE - 1019 as a phytoprotectant against SO₂ injury in snap bean. *Proc. Plant Growth Reg. Soc. Amer.* **14** : 304~311.
12. Arnon, D. I. 1959. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiol.* **24** : 1~15.
13. McCord, J. M. and I. Fridovich. 1969. Superoxide dismutase : an enzymic function of erythrocytes. *J. Biol. Chem.* **244** : 6049~6055.
14. 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. *Ibid.* **25** : 130~134.
15. 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-penten-3-ol(S-3307)] and comparative effects of its stereoisomers in a cell-free system from *Cucurbita maxima*. *Plant Cell Physiol.* **26**(5) : 821~827.
16. Izumi, K., I. Yamaguchi, A. Wada, H. Oshio and N. Takahashi. 1984. Effect of a new plant

- growth retardant [(E)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(1, 2, 4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol(S-3307)] on the growth and gibberellin content of rice plants. *Plant Cell Physiol.* **25**(4) : 611~617.
17. Barrett, J. E. and T. A. Nell. 1986. Evaluation of XE-1019 and paclobutrazol for height control of flowering annuals. *Proc. Plant Growth Reg. Soc. Amer.* 62~64.
 18. Bessi, P. K., S. M. Abernathy and D. E. Glazier. 1986. Comparative efficacy of XE-1019 with other plant growth regulators. *Proc. Growth Reg. Soc. Amer.* 54~61.
 19. Krizek, D. T., R. M. Mirecki, and P. Semeniuk. 1986. Influence of soil moisture stress and abscisic acid pretreatment in modifying SO₂ sensitivity in poinsettia. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **11** : 446~450.
 20. Upadhyaya, A., D. Sankhla, T. D. Davis, N. Sankhla, and B.N. Smith. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *J. Plant Physiol.* **121** : 453~461.
 21. Yang, S. F. 1973. Destruction of tryptophan during the aerobic oxidation of sulfite ions. *Environmental Research* **6** : 396~402.
 22. Sandalio, L.M. and L.A. DelRio. 1988. Intracellular distribution of superoxide dismutase in plant peroxisomes (glyoxysomes and leaf-peroxisomes). *Plant Physiol.* **88** : 1215~1218.
 23. Tanaka, H. and K. Sugahara. 1980. Role of superoxide dismutase activity with sulfur dioxide fumigation. *Plant and Cell Physiol.* **21** : 601~612.
 24. Bridges, S.M. and M.L. Salin. 1981. Distribution of ion-containing superoxide dismutase in vascular plants. *Plant Physiol.* **68** : 275~278.