

## 강남콩에 대한 SO<sub>2</sub> 피해경감제로서 uniconazole의 효과에 관한 연구

### Efficacy of Uniconazole as a Phytoprotectant Against SO<sub>2</sub> Injury in Snap Bean

구 자 형 · Donald T. Krizek<sup>1)</sup> · Roman M. Mirecki<sup>1)</sup> · Edward H. Lee<sup>1)</sup>

충남대학교 농과대학 원예학과 · <sup>1)</sup>미국무성 농업연구센터

(원고접수 : 1991. 12. 6)

Ja-Hyeong Ku, Donald T. Krizek<sup>1)</sup>, Roman M. Mirecki<sup>1)</sup> and Edward H. Lee<sup>1)</sup>

Department of Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National  
University, Taejeon 305-764, Korea

<sup>1)</sup>Plant Stress Laboratory, Plant Physiology Institute, U. S. Department of  
Agriculture, Beltsville, MD 20705

(Received: 6 December 1991)

#### Abstract

This study was conducted to determine the efficacy of using uniconazole, [(E)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazole-1-yl)-1-penten-3-ol]] as a phytoprotectant against SO<sub>2</sub> injury in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L. 'Strike'). Thirteen days prior to SO<sub>2</sub> fumigation, plants were given a 100 ml soil drench of uniconazole solution at concentrations of 0.02, 0.10, 0.25 and 0.50 mg/pot. All four uniconazole concentrations were significantly effective in providing protection against SO<sub>2</sub> exposure (3 h at 1.5 ppm), but uniconazole treatment above 0.02 mg/pot severely reduced stem elongation, leaf enlargement, flowering date and pod number and weight. Uniconazole treatment had little or no effect on stomatal conductance but reduced transpiration rate on a whole plant basis by nearly 40%. This may reflect an alteration in canopy structure by reducing stem elongation and leaf enlargement. Although uniconazole did not increase the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in non-SO<sub>2</sub>-fumigated plants, it significantly increased those enzyme activities in SO<sub>2</sub>-fumigated plants. Chlorophyll concentration on the basis of unit area was increased 50-60% by uniconazole. However, the difference was not detected on the basis of dry weight. SO<sub>2</sub> increased variable chlorophyll fluorescence (Fv) 48% after 1.5 h of exposure in non-uniconazole treated plants but decreased Fv in the plants after 3 h of exposure. By applying uniconazole, it was possible to maintain high Fv values in the latter group of plants. These results suggest that the phytoprotective effects of uniconazole are related to its growth-retarding properties as an anti-gibberellin as well as the increase of activities of free radical scavengers such as SOD and POD.

## 1. 서 론

대기오염 및 기타의 환경 stress에 대한 내성을 높이기 위하여 식물 생장왜화제를 비롯한 여러가지의 화학물질들의 사용이 시도되어 왔다(Fletcher, 1985; Krizek et al., 1986). 대개 생장왜화제들의 내성증대효과는 기공저항성의 증대 및 세포간극의 치밀화에 있으며(Uhring, 1978), ethylenediurea 등은 free radical scavenger의 역할을 하는 효소의 활성 증대에 있는 것으로 알려지고 있다(Bennett et al., 1984; Cathey and Heggstad, 1982). 최근에는 paclobutrazol을 비롯한 triazole계의 물질들이 생장 왜화효과가 크고 각종 stress에 대한 내성증대효과가 좋은 것으로 보고되고 있다(Bassi et al., 1986; Lee et al., 1985; Swietlik and Miller, 1983).

본 시험은 triazole계의 생장왜화제로서 paclobutrazol에 비하여 10배 이상 강력한 것으로 밝혀지고 있는 anti-gibberelline제인 uniconazole을(Bassi et al., 1986; Izumi et al., 1984) 사용하여 강낭콩에 대한 생장왜화효과를 측정하고 SO<sub>2</sub>에 대한 내성증대효과를 여러가지 생리적 측면에서 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

식물재료: 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* L. 'Strike')을 peat-vermiculite 혼합토(Jiffy-Mix, Geo. Ball Co., West Chicago, IL)에 silica sand를 1:1(v/v)로 혼합한 배양토를 사용하여 직경 12.5 cm의 포트에 파종하였다.

재배조건: Charcoal-filter가 부착된 온실에서 재배하였으며 낮과 밤의 온도를 각각 27±3℃와 21±1℃ 조절하고, 습도는 각각 60±20%와 45±10%로 조절하였다. 일장은 200 W의 백열등을 사용하여 16시간으로 조절하였고, 매일 1-2회 관수하고 일주일마다 20N:8.8P:16.6K의 비율로 혼합된 액비를 시비하였다.

Uniconazole의 처리: 증류수에 희석하여 SO<sub>2</sub> 처리전 13일에 포트당 100 ml씩을 0, 0.02, 0.10, 0.25, 0.50 mg/pot의 농도로 토양주입하였다. 약액의 유출과 상호 오염을 막기 위하여 화분 밑에 플라스틱 받침을 놓았다.

SO<sub>2</sub> 처리: 10%의 SO<sub>2</sub> 가스를 이용하여 growth chamber (Convion model PGW 36)내에서 실시하고, chamber내의 환경조건을 온도 25±2℃ 습도 70±5%, 빛은 백열등과 형광등을 사용하여 PAR 325  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ 로 조절하였다. 식물체는 SO<sub>2</sub> 처리전 1시간 동안 처리상에서 환경에 적응시키고 1.5

ppm의 농도로 2 또는 3시간 처리하였다. SO<sub>2</sub>의 농도는 pulsed fluorescent SO<sub>2</sub> analyzer (Thermo Electron Co., Model 43)을 사용하여 측정하였다. 처리가 끝난 식물체는 charcoal filter가 부착된 온실내로 옮겨 생육시켰다.

피해율 조사: SO<sub>2</sub> 처리종료 2일 후에 피해받은 잎을 0에서 100%까지로 나누어 가시피해율을 계산하였다. 생육조사는 4일 간격으로 간장 및 잎면적을 조사하였으며 그 외에 개화일수와 꼬투리 수확 후 80℃ dry oven에 24시간 건조 후에 수량을 측정하였다.

증산량의 측정: 식물체 전체의 증산량은 각각의 포트를 polyethylene 주머니를 사용하여 밀봉하고 시간경과에 따른 무게의 변화를 측정하고 기공저항성은 porometer(LI-COR Inc., Lincoln, NE)를 사용하여 제2엽의 증산소염을 택하여 측정하였다.

효소의 활성: Superoxide dismutase(SOD)의 활성은 McCord 와 Fridovich(1969)의 분석법에 의하여 실시하였다. 제 2 본엽의 가운데 잎을 채취하여 acetone powder를 만들어 냉동고에 보관하면서 0.5 g의 시료를 0.5 g PVP와 0.05 M phosphate buffer (pH 7.8) 10 ml를 첨가하여 혼합한 다음 12,000rpm으로 30분간 원심분리한 뒤 상등액을 취하여 조효소로 사용하였다. 원심분리과정은 4℃ 이하에서 실시하였고, 반응은 5×10<sup>-3</sup> M phosphate buffer (pH 7.8), 10<sup>-4</sup> M EDTA, 10<sup>-5</sup> M cytochrome C, 5×10<sup>-5</sup> M xanthine 및 6×10<sup>-9</sup> M xanthine oxidase(약 0.033 unit)와 일정량의 조효소를 첨가하여 전량을 3ml로 하고 spectrophotometer를 사용하여 550nm에서 흡광도를 측정하였다. 반응개시는 xanthine oxidase의 첨가로 시작하였으며, SOD의 활성은 cytochrome C의 감소가 50% 억제되는 것을 1단위로 하였다.

Peroxidase (POD)의 측정은 Raa(1971)의 방법에 의하여 측정하였다. 9 ml의 반응액에는 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 7.8 ml, 0.3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0.5 ml, 1% o-phenylenediamine 0.5 ml와 0.2 ml의 조효소를 혼합하였다. 반응개시는 조효소 첨가에 의하여 시작하였고 5분간 반응시킨 다음 반응정지액(sodium bisulfite) 1 ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 실온에 30분간 방치 후 430 nm에서 흡광도를 측정하였다. POD의 활성은 0.1 O.D/min가 증가하는 것을 1단위로 하였다.

엽록소의 함량: 4 ml의 80% acetone 용액에 직경 5mm의 잎 절편 5개를 넣은 다음 4℃의 냉암소에서 48시간 추출 후 다시 4 ml의 acetone 용액에 절편을 씻은 다음 spectrophotometer를 사용하여 흡광도를

조사하고 Arnon(1949)법에 의하여 chlorophyll 함량을 구하였다.

Chlorophyll fluorescence: SO<sub>2</sub> 처리가 종료된 직후에 식물체를 25℃ 실내에 보관하면서 첫번째 본엽의 중간 소엽을 택하여 Schreiber(1983)방법에 의하여 측정하였다.

### 3. 결 과

표 1은 uniconazole 처리에 SO<sub>2</sub> 피해경감효과를 나타낸 것으로 SO<sub>2</sub> 1.5 ppm에 1.5 시간 처리에서는 피해를 나타내지 않았으며 3시간 처리한 결과 uniconazole 무처리에서는 제 1 본엽과 제 2 본엽이 각각 40, 64%의 피해를 보였다. 그러나 uniconazole의 농도가 0.02 mg/pot 이상되면 전혀 피해를 나타내지 않았다(그림 1).

Uniconazole의 식물체 왜화효과는 0.02 mg/pot에서부터 간장과 잎넓이의 신장억제효과가 뚜렷하여 SO<sub>2</sub> 처리전 13일 동안 각각 74%와 64% 정도 감

Table 1. Effect of uniconazole treatment on injury of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 3 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Overall injury(%)	
	First trifoliolate	Second trifoliolate
0.00	40.0±21.7 <sup>a</sup>	64.7±17.0
0.02	0	0
0.10	0	0
0.25	0	0
0.50	0	0

<sup>a</sup>Means ± SE based on 6 observations per treatment.

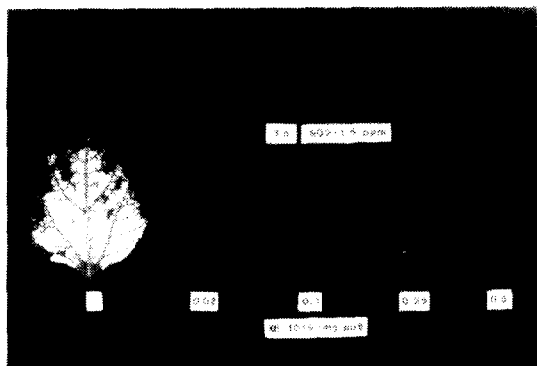


Fig. 1. Effect of uniconazole treatment on reduction of leaf injury of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 3 hours.

소하여(표 2) 초관이 뻗뻗한 외관을 나타냈다.

표 3은 uniconazole 처리와 SO<sub>2</sub> 처리에 의한 개화일수의 변화와 수량을 비교한 것으로 uniconazole은 농도가 높을수록 개화를 지연시켜 0.02, 0.1 mg/pot에서 각각 2, 8일 정도 지연시키고 0.25 mg/pot 이상에서는 꽃봉오리가 정상적으로 성장하지 못하고 아주 작은 상태에서 낙화되었다. 표

Table 2. Effect of uniconazole treatment on rate of leaf expansion of the first trifoliolate leaf and elongation of the main shoot in snap bean plants.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Rate of leaf expansion (cm/day)	Rate of stem elongation (mm/day)
0.00	12.5a <sup>a</sup>	7.7a
0.02	4.8b	2.0b
0.10	2.9c	1.2c
0.25	2.1cd	1.0c
0.50	1.8d	0.8c

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

Table 3. Effect of uniconazole treatment on flowering day and pod number and weight of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 1.5 and 3 hours.

SO <sub>2</sub> exposure (h)	Uniconazole conc. (mg/pot)	Day of flowering after seeding	Number of pods	Weight of pods(g)	
				Fresh	Dry
0.0	0.00	32.3b <sup>a</sup>	5.7a	14.1a	1.46a
	0.02	34.0b	5.3a	9.9abc	0.74bc
	0.10	41.a	4.0ab	3.3cd	0.25cd
	0.25	A	0.0c	0.0d	0.00d
	0.50	A	0.0c	0.0d	0.00d
1.5	0.00	33.0b	5.0a	13.8a	1.45a
	0.02	34.3b	4.7a	9.2abc	0.79bc
	0.10	40.7a	5.0a	4.6bcd	0.32cd
	0.25	A	0.0c	0.0d	0.00d
	0.50	A	0.0c	0.0d	0.00d
3.0	0.00	32.3b	4.7a	9.8abc	0.98ab
	0.02	35.0b	5.0a	10.3ab	0.76bc
	0.10	40.7a	2.7b	4.0bcd	0.29cd
	0.25	A	0.0c	0.0d	0.00d
	0.50	A	0.0c	0.0d	0.00d

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

A indicates abortion of flower bud.

투리수 역시 uniconazole의 농도가 높을수록 감소하였으며, 생체중과 건물중 역시 심한 감소를 보였다. SO<sub>2</sub>의 처리는 꼬투리수에는 거의 영향을 미치지 않았으나 무개에는 처리시간이 경과할수록 유의성있는 감소를 보였다. Uniconazole 0.02mg/pot을 처리했을 경우 비록 무처리에 비하여 꼬투리무개는 적었지만 SO<sub>2</sub> 처리로 유발되는 수량의 감소를 막을 수 있었다.

식물체당 증산량을 측정한 결과 식물체의 왜화정도가 클수록 증산량은 크게 감소되어 uniconazole 0.02mg/pot에서 무처리에 비하여 40% 정도의 감소를 보였다. SO<sub>2</sub> 처리 역시 시간당 증산량을 48-66% 정도 감소시켰다(표 4). 그러나 porometer를 사용하여 기공저항성을 측정한 결과 uniconazole에 의한 변화는 찾아볼 수 없었다(data not shown).

SOD와 POD의 활성을 조사한 결과 uniconazole의 농도가 증가함에 따라 SOD와 POD의 활성이 유의성있는 차이는 없었으나 다소 높아지는 경향을 보였다. 그러나 SO<sub>2</sub>를 처리하여 피해를 받는 경우에는 uniconazole 무처리에 비하여 처리구에서 SOD와 POD의 활성이 크게 증가되었으며, 농도가 높을수록 더 높은 활성을 보였다(표 5).

Uniconazole 처리는 단위면적당 chlorophyll의 함량을 크게 증가시켜 0.02mg/pot에서는 30% 이상 증가되었다(표 6). 그러나 단위건물중당 chlorophyll 함량은 농도의 증가에 따라서 변화를 보이지 않았다(data not shown). 한편 SO<sub>2</sub> 처리시 노출시

**Table 4.** Effect of uniconazole treatment on transpiration rate on a whole plant basis of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 1.5 and 3 hours.

SO <sub>2</sub> conc. (ppm)	Uniconazole conc. (mg/pot)	Transpiration rate(g/plant/h)	
		After 1.5 h	After 3 h
0.0	0.00	11.0a'	11.6a
	0.02	6.6b	7.1b
	0.10	5.2bcd	5.4bcd
	0.25	6.0bc	6.4bc
	0.50	5.6bc	5.6bcd
1.5	0.00	3.9bcde	5.7bcd
	0.02	3.3cde	3.7cde
	0.10	2.5de	2.4e
	0.25	2.0e	2.8de
	0.50	2.2de	2.1e

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

**Table 5.** Effect of uniconazole treatment of the activities of superoxide dismutase(SOS) and peroxidase(POD) in snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 1.5 and 3 hours.

SO <sub>2</sub> exposure (h)	Uniconazole conc. (mg/pot)	Enzyme activity(unit/g dry wt)	
		SOD	POD
0.0	0.00	167e'	265d
	0.02	163e	269d
	0.10	179e	274d
	0.25	185e	296d
	0.50	192e	288d
1.5	0.00	300d	289d
	0.02	387cd	473c
	0.10	432abc	475c
	0.25	458abc	486c
	0.50	413bc	541c
3.0	0.00	309d	685ab
	0.02	387cd	660b
	0.10	495ab	689ab
	0.25	521a	697an
	0.50	521a	736a

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

**Table 6.** Effect of uniconazole treatment on chlorophyll content of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 1.5 and 3 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Total chlorophyll conc.(μg/cm <sup>2</sup> )		
	SO <sub>2</sub> exposure(h)		
	0	1.5	3.0
0.00	27.8b'	25.7c	24.7d
0.02	44.4a	38.6b	38.8c
0.10	46.4a	47.4a	50.7a
0.25	51.7a	50.9a	53.5a
0.50	51.3a	51.7a	44.1b

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

간 경과에 따른 엽록소함량의 감소는 uniconazole 0.02mg/pot 처리까지는 무처리에 비하여 많은 감소를 보였으나 그 이상의 농도에서는 별다른 감소를 보이지 않았다.

Variable chlorophyll fluorescence(Fv)의 변화를 조사한 결과(표 7), uniconazole 무처리의 경우 SO<sub>2</sub>

**Table 7.** Effect of uniconazole treatment on variable fluorescence(Fv) of snap bean plants exposed to 1.5 ppm SO<sub>2</sub> for 1.5 and 3 hours

SO <sub>2</sub> exposure (h)	Uniconazole conc. (mg/pot)	Variable fluorescence	
		mV	S
0.0	0.00	388.0b <sup>7</sup>	2.19bc
	0.02	338.7b	2.01bc
	0.10	301.3bc	1.88c
	0.25	352.0b	2.11bc
1.5	0.00	575.5a	3.80a
	0.02	436.0ab	2.42bc
	0.10	452.0ab	3.24ab
	0.25	436.0ab	2.96abc
3.0	0.00	149.3c	1.71c
	0.02	374.7b	2.36bc
	0.10	298.7bc	2.76abc
	0.25	376.0b	2.08bc

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

의 피해가 발견되지 않았던 1.5시간에서는 Fv가 48% 정도 증가되었으나 3시간 처리에서는 60% 이상 감소하였다. Uniconazole 처리는 농도가 높아도 SO<sub>2</sub> 무처리 상태에서 Fv에 별다른 영향을 초래하지 않았으나 SO<sub>2</sub>에 3시간 처리될 경우 uniconazole 처리는 높은 수준의 Fv를 유지시켰다.

#### 4. 고 찰

식물체에 SO<sub>2</sub>를 노출시키기 전에 uniconazole을 처리한 결과는 왜화정도가 클수록 피해경감효과가 뚜렷하였으며(표1, 그림 1), 농도가 높아질수록 잎이 작아지면서 두꺼워지고, 식물체의 외관을 아주 치밀하게 하였다(표 2). 비록 본 시험의 목적이 uniconazole의 SO<sub>2</sub> 피해억제효과의 규명에 있지만 0.02 mg/pot의 제일 낮은 농도에서 강낭콩의 생장이 13일 동안 간장 74%, 엽면적 62%의 심한 왜화가 초래되었던 것으로 보아 처리 적정농도는 0.02 mg/pot가 될 것으로 추측되며, 농도가 높아질수록 개화를 늦추고 심할 경우 낙뢰를 유발시켜 수량을 감소시킴으로써(표 3) 작물의 이용은 적정농도의 구명에 더 많은 연구검토가 있어야 할 것이다.

Triazole계의 생장왜화제는 증산량을 감소시켜 식물의 수분이용을 보다 효과적으로 높이고 수분 stress에 대한 내성을 증대시키는 것으로 보고되고

있다(Asamoah and Atkinson, 1985; Arase-Boamah et al., 1986; Fletcher et al., 1986). Uniconazole 역시 농도의 증가에 따라 기공저항성에는 무처리와 크게 차이가 없는 것으로 보아 식물체당 증산량의 차이는 단순히 식물체가 왜화된 결과 엽면적의 감소로 인하여 초래되는 간접적인 효과로 풀이된다(표 4). 한편 SO<sub>2</sub>의 처리는 가시피해가 유발되지 않은 경우에도 증산작용을 크게 억제시켰는데, 이러한 결과는 식물체의 대기오염 내성기작에서 유발된 기공의 폐쇄에서 오는 결과로 풀이된다(Mansfield and Freer-Smith, 1984).

SO<sub>2</sub>는 식물체에 흡수되면 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, HSO<sub>3</sub>와 SO<sub>3</sub> 등으로 산화되어 protein이나 lipid에 작용하여 직접적인 피해를 유발하고 부산물로서 free radical을 형성하여 2차적인 피해를 유발하는 것으로 밝혀지고 있다(Jäger et al., 1985; Tanaka and Sugihara, 1980). Jäger 등(1985)은 SOD나 POD와 같은 효소의 활성이 높은 식물이 SO<sub>2</sub>에 내성이 강한 것으로 보았으며, Tanaka와 Sugihara(1980)는 포플라의 경우 SO<sub>2</sub>에 내성이 강한 어린 잎에서 성엽에 비하여 SOD의 활성이 5배 이상 높은 것을 관찰하고 SO<sub>2</sub>의 피해기작은 superoxide radical의 작용이 인정되며 SOD가 피해경감에 큰 역할을 하는 것으로 보았다. 본 시험에서 uniconazole의 처리는 SOD나 POD의 활성을 크게 증대시키지는 못하였으나, SO<sub>2</sub>의 피해가 유발될 경우에는 uniconazole이 처리된 식물체에서 앞서의 두 가지 효소활성이 크게 높아지는 것으로 미루어(표 5), SOD나 POD에 의한 free radical의 독성에 대한 중화작용이 크게 인정된다고 할 수 있다. Upadhyaya 등(1985, 1989)은 triazole 계통의 생장왜화제가 stress에 대한 내성을 유발시키는 원인을 antioxidant 활성을 높여주기 때문인 것으로 보고한 바 있다.

대체적으로 생장왜화에 의한 대기오염 내성증대는 세포조직의 치밀화로 오염물질의 식물체내 유입을 감소시킴으로써 얻어지는 효과에 기인하는 바가 큰 것으로 알려지고 있는데 (Uhring, 1978), uniconazole에 의한 단위면적당 chlorophyll 함량의 증가는(표 6) 곧 조직의 치밀화를 의미하는 것으로 볼 수 있다.

Variable chlorophyll fluorescence의 감소는 즉 SO<sub>2</sub>가 photosystem II의 기능을 억제하는 것을 시사하는데, SO<sub>2</sub> 피해가 발견되지 않았던 1.5시간 처리에서 Fv가 크게 증가된 결과는(표 7) 설명하기 어려운 점도 있으나 3시간 처리의 결과는 uniconazole이 SO<sub>2</sub>에 의한 광합성의 저해를 어느 정도 막아줄 수 있다는 사실을 시사한다고 할 수

있다(Darrall and Jäger, 1984).

이와 같은 결과를 종합하여 볼 때 uniconazole의 SO<sub>2</sub> 피해경감효과는 anti-gibberelline의 역할로 식물체를 왜화시키는데 있을 뿐만 아니라 SO<sub>2</sub>가 식물체내에 흡수되어 산화되는 과정에 발생하는 free radical의 독성을 중화시키는 역할도 중요한 것으로 파악된다.

## 5. 결 론

Triazole계의 생장왜화제인 uniconazole이 강낭콩의 SO<sub>2</sub> 피해경감효과에 미치는 효과를 조사하기 위하여 SO<sub>2</sub> 처리 13일 전에 uniconazole을 0, 0.02, 0.1, 0.25, 0.5 mg/pot의 농도로 토양처리하고 1.5 ppm의 SO<sub>2</sub>를 1.5시간 내지 3시간 처리하였던 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Uniconazole의 농도가 0.02 mg/pot 이상 처리되면 SO<sub>2</sub> 피해를 크게 경감시킬 수 있었으나, 간장과 잎의 신장을 심하게 왜화시키고 개화를 지연시키거나 화기의 발달을 저해하여 결실을 감소시켰다.

2. Uniconazole의 처리는 기공저항성에 영향을 미치지 않고 왜화정도에 따라서 식물체당 증산량을 감소시켰으나, SO<sub>2</sub> 처리로 유발되는 증산량의 감소에는 영향을 미치지 못하였다.

3. Uniconazole의 처리는 농도가 높을수록 SO<sub>2</sub> 무처리의 SOD와 POD의 활성을 다소 높였으나 유의성있는 차이는 없었다. 그러나 SO<sub>2</sub>의 피해를 받았을 경우에는 가시피해가 나타나지 않았을지라도 SOD와 POD의 활성을 크게 증가시켰다.

4. Chlorophyll 함량은 uniconazole 처리에 의하여 증가되었으나, variable chlorophyll fluorescence (Fv)는 변화가 없었다. 그러나 uniconazole 처리는 Fv의 감소를 현저히 경감시킬 수 있었다.

5. 이와 같은 결과를 종합하여 볼 때 uniconazole의 SO<sub>2</sub> 피해경감 효과는 anti-gibberellin에 의한 생장의 감소효과와 함께 SO<sub>2</sub>가 처리되었을 경우 free radical의 독성을 제거할 수 있는 SOD와 POD의 활성을 높여주는 데 있는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol., 24, 1-15.
- Asamoah, T. E. O. and D. Atkinson (1985) The effect of (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(dimethyl-2-yl, 2, 4-triazol-1-yl) pentan-3-ol (Paclobutrazol:PP 333) and root pruning on growth, water use, and response to drought of Colt Cherry rootstocks. Plant Growth Regulation, 3, 37-45.
- Arase-Boamah, N. K., G. Hofstra, R. A. Fletcher, and E. B. Dumbroff (1986) Triadimefon protects bean plants from water stress through its effects on abscisic acid. Plant Cell Physiol., 27, 383-390.
- Bassi, P. K., S. M. Abernathy and D. E. Glazier (1986) Comparative efficacy of XE-1019D with other plant growth regulators. Proc. Plant Growth Reg. Soc. Amer., 13, 54-61.
- Bennett, J. H., E. H. Lee and Heggstad (1984) Biochemical aspects of plant tolerance to ozone and oxyradicals: superoxide dismutase. pp 413-424. In: M. J. Koziol and F. R. Whatley(eds.) Gaseous air pollutants and plant metabolism: Butterworths, London.
- Cathey, H. M. and H. E. Heggstad (1982) Ozone and sulfur dioxide sensitivity of petunia: modification by ethylenediurea. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107(6), 1028-1035.
- Darrall, N. M. and H. J. Jäger (1984) Biochemical diagnostic tests for the effect of air pollution on plants. pp 333-349. In: M. J. Koziol and F. R. Whatley(eds.), Gaseous air pollutants and plant metabolism, Butterworths, London.
- Fletcher R. A. (1985) Plant growth regulating properties of sterol-inhibiting fungicides. pp 103-113, In: S. S. Purohit (ed.), Hormonal regulation of plant growth and development, Vol II. Agro Botanical Publisher, Bikaner, India.
- Fletcher, R. A., G. Hofstra and J. Gao (1986) Comparative fungitoxic and plant growth regulating properties of triazole derivatives. Plant Cell Physiol., 27, 367-371.
- Izumi, K., I. Yamaguchi, A. Wada, H. Oshio and M. Takahashi (1984) Effects of new plant growth retardants (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.
- Jäger, H. J., J. Bender and L. Grünhage (1985)

- Metabolic responses of plant differing in SO<sub>2</sub> sensitivity towards SO<sub>2</sub> fumigation. Environ. Pollut. Ser. A., 39, 317-335.
- Krizek D. T., R. M. Mirecki and P. Semeniuk (1986) Influence of paclobutrazol concentration and time of pretreatment in ameliorating SO<sub>2</sub> injury in coleus. Plant Physiol., 80 (4), 125, (Abstract).
- Lee, E. H., J. K. Byun and S. J. Wilding (1985) A new gibberellin biosynthesis inhibitor, paclobutrazol(pp.333), confers increased SO<sub>2</sub> tolerance on snap bean plants. Env. Expt. Bot., 25, 265-275.
- Mansfield T. A. and P. H. Freer-Smith (1984) The role of stomata in resistance mechanism. pp 131-146, In: M. J. Koziol and F. R. Whatley (Eds.) Gaseous air pollutants and plant metabolism, Butterworths, London.
- McCord, J. M. and I. Fridovich (1969) Superoxide dismutase: an enzymatic function of erythrocuprein (hemocuprein). J. Biol. Chem., 244, 6049-6055.
- 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. Ibid., 25, 130-134.
- Shreiber, U. 1983. Chlorophyll fluorescence yield changes as a tool in plant physiology. 1. The measuring system. Photosynthesis Res., 4, 361-373.
- Swietlik, D. and S. S. Miller (1983) The effect of paclobutrazol on growth and response to water stress of apple seedling. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 108, 1076-1080.
- Tanaka, K. and K. Sugihara (1980) Role of superoxide dismutase in the defense against SO<sub>2</sub> toxicity and an increase in superoxide dismutase with SO<sub>2</sub> fumigation. Plant Cell Physiol., 21, 601-611.
- Uhring, J. (1978) Leaf anatomy of petunia in relation to ozone damage. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 103(1), 23-27.
- Upadhyaya, A., T. D. Davis, R. H. Walser, A. B. Galbraith and N. Sankhla. (1989) Uniconazole-induced alleviation of low temperature damage in relation to antioxidant activity. HortScience 24(6), 955-957.
- 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.