

Uniconazole(XE-1019) 처리가 토마토의 오존피해경감에 미치는 효과

원동찬 · 구자형 · 김태일

Effectiveness of Uniconazole(XE-1019) Treatment in Reducing Ozone Injury to Tomato Plant

Dong-Chan Won, Ja-Hyeong Ku and Tae-Il Kim

Abstract

To determine the efficacy of uniconazole[(E)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol](XE-1019) as a phytoprotectant against O₃ injury in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. 'Pink Glory'), plants were given a 50 ml soil drench of uniconazole solution at concentrations of 0.001, 0.01, 0.1 and 0.2 mg/pot thirteen days prior to O₃ fumigation. All four uniconazole concentrations were effective in providing protection against O₃ exposure(16 h at 0.3 ppm). Uniconazole treatment above 0.001 mg/pot significantly reduced stem elongation, leaf enlargement, leaf area and fresh weight of plant, whereas increased chlorophyll concentration. Transpiration rate on a whole plant basis was reduced by uniconazole treatment and O₃ exposure. Uniconazole reduced ethylene production induced by O₃ injury but had little or no effect on defoliation of cotyledons and leaf epinasty. Activities of peroxidase (POD) and superoxide dismutase(SOD) were slightly increased by application of uniconazole. With increasing exposure time, O₃ increased POD activity but decreased SOD activity. The phytoprotective effects of uniconazole were diminished by applying gibberellin at 10~20 ppm. These results suggest that the phytoprotective effects of uniconazole are related to its role of increasing activities of free radical scavengers such as POD and SOD, in addition to growth-retardation as an anti-gibberellin.

緒 論

광화학 smog중 oxidant로서 식물체에 많은 피해를 입히는 주 대기오염원으로는 오존(O₃)과 PAN(peroxyacetyl nitrate)을 들 수 있는데, 특

히 오존은 대기중에 hydrocarbon이 존재할 때 대기중에 많이 적체되는 것으로 알려져 있다. 따라서 우리나라의 도시에서도 차량의 증가와 함께 오존에 의한 피해가 차츰 큰 문제로 대두되리라 예상되며, 식생의 관리면에서도 이에 대한 대비가 연구

충남대학교 농과대학 원예학과

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

되어져야 할 것이다.

대기오염 및 각종 환경 stress에 대한 내성을 증대시키기 위한 abscisic acid를 비롯한 각종 생장 조절물질의 이용이 시도되고 있다.^{1,2,3,4,5,6,7)} 최근에는 paclobutrazol과 같은 triazole 계통의 생장왜화제가 snap bean과 coleus 등에 대기오염에 대한 내성을 증대시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다.^{8,9)} 최근 생장왜화제로서 개발되어 연구중에 있는 uniconazole(XE-1019)은 triazole계 화합물로서 paclobutrazol과는 하나의 이중결합 구조를 갖는데서 차이가 있고, 식물에 대한 생장왜화효과는 paclobutrazol에 비하여 10배 이상으로 밝혀지고 있다.⁸⁾

본 시험은 uniconazole을 토마토에 토양주입하여 생장왜화에 대한 적정농도를 밝힘과 동시에 오존피해에 대한 내성을 증대시키고자 실시하였다.

材料 및 方法

1. 공시재료

토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill, 'Pink Glory') 종자를 흙 1:모래 1:부엽 3:vermiculite 1(v/v)의 혼합토양에 파종하고, 10일 후에 직경 9cm의 비닐포트에 이식하여 온도 25~29°C의 비닐하우스에서 생육시키면서 사용하였다.

2. 처리방법

가스접촉은 소형생육상을 사용하였으며, 접촉상내의 조도는 10,000 lux로 조절하고, 온도는 27~29°C, 습도는 60~80%로 유지하였다. 오존처리에는 ozonizer(한국이오니카 Model-OZ-821)를 사용하여 발생시켰으며, 가스 검지관(Gastec)을 사용하여 농도를 측정하였고, 0.3 ppm 수준으로 처리하였다. Uniconazole은 증류수에 희석하여 0, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2 mg/pot가 되도록 50 ml씩 토양주입하였으며, 용액의 손실을 막기 위하여 petri-dish를 포트 밑에 놓았다. Uniconazole의 생장왜화에 대한 gibberellin의 상쇄효과를 관찰하기 위하여 토양주입 후에 GA₃를 10 ppm과 20 ppm으로 엽면에 살포하였다.

3. 측정 및 분석방법

오존처리 종료 2일 후 각 잎의 가시피해를 0에서 100%로 나누어 피해를 조사하였다. 초장 및 엽장은 4일 마다 조사하였고, 엽장은 제 3엽을 택하였다. 생체중은 uniconazole을 토양주입한 다음 20일 후 지상부와 지하부를 채취하여 측정하였고, 엽면적은 Delta-T automatic MK 3 엽면적계를 이용하여 식물체단 엽면적으로 표시하였다.

Ethylene 발생량은 오존처리 직후에 채취하여 소량의 증류수를 넣은 30 ml의 시험관에 넣어 Parafilm으로 밀봉한 후 30°C의 항온기에 4시간 보관 후 syringe로 채취한 1 ml의 가스를 gas chromatograph를 사용하여 FID로 정량하였다.

Chlorophyll 함량은 직경 0.7 cm의 cork borer를 사용하여 10개의 disk를 채취하여 80%의 acetone 10 ml에 4°C의 암조건에서 48시간 추출하여 spectrophotometer를 사용 645와 663 nm에서 흡광도를 측정하여 Arnon법¹⁰⁾으로 함량을 계산하였다.

Epinasty는 엽 부위별로 엽병과 줄기사이의 각도를 측정하고, 특히 epinasty 정도가 심하여 잎의 끝이 뒤로 말리어 줄기에 닿는 잎을 조사하였다. 증산량은 포트전체를 비닐백으로 밀봉하고 경시적으로 무게를 측정하였다.

일정부위에서 채취한 생체시료 1g을 5×10⁻² M phosphate buffer (pH 7.8) 10 ml와 PVP (polyvinylpolypyrrolidone) 1g을 가하여 4°C 이하에서 마쇄한 다음 이 homogenate를 냉동원심분리기에서 12,000 rpm으로 40분간 처리한 후 상동액을 취하여 peroxidase (POD), superoxide disutase (SOD) 활성에 사용하였다. POD의 활성은 Raa¹¹⁾의 방법에 의하여 측정하였다. 즉 7.8 ml phosphate buffer (pH 7.0), 0.5 ml, H₂O₂ (0.3%), 0.5 ml o-phenylenediamine (1%)과 0.2 ml 조효소를 합하여 반응액을 9 ml가 되도록 하였으며, 반응의 개시는 조효소 첨가에 의하여 시작되었고 5분간 반응시킨 다음 반응정지액 (sodium bisulfite) 1 ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 실온에 30분간 방치후 430 nm에서 spectrophotometer로 흡광도를 측정하였다. POD 활성단위는 0.1 O.D./min가 증가한 것을 1단위로 정했다.

SOD 활성은 5×10^{-3} M phosphate buffer (pH 7.8), 10^{-4} M EDTA, 10^{-5} M cytochrome C, 5×10^{-5} M xanthine, 6×10^{-9} M xanthine oxidase (0.033 unit)의 반응 혼합액에 조효소를 첨가하여 3 ml로 하고, 550 nm에서 spectrophotometer로 측정하였다. 반응개시는 xanthine oxidase의 첨가에 의하여 시작되었으며, SOD 활성단위는 cytochrome C reduction이 50% 억제되는 것을 1단위로 하였다.¹²⁾

Gibberellin(GA)의 처리는 uniconazole 처리 2일 후에 GA₃를 10, 20 ppm으로 처리하고, 그리고 다시 2일 후에 오존을 처리하였다.

結 果

Uniconazole를 토양주입한 다음 13일 후에 0.3 ppm의 오존에 16시간 동안 접촉시켰던 바, uniconazole의 농도가 높을수록 오존에 대한 피해 경감효과가 커서 무처리구는 25%의 피해를 보인데 비하여 0.2 mg 처리구는 약 5%의 피해를 보였다(표 1과 그림 1). Uniconazole 처리구의 자엽은 무처리구와 마찬가지로 오존처리시 심한 피해가 발

생하여 처리종료 2일 후에 대부분이 황화되어 이층이 형성되어 낙엽되었다. 0.3 ppm에 4시간 정도 처리되면 잎표면에 검은 갈색 또는 검은색의 미세한 반점이 노엽에서 먼저 발생하였으며, 8시간 이상 접촉되면 성엽과 유엽에서도 피해가 발생되었다. 2일째 처리에서는 처음 처리에 비하여 피해의 진전도가 늦은 경향을 볼 수 있었다.

Table 1. Effect of uniconazole on injury and defoliation of cotyledons of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Injury rate (%)	No. of defoliation
0.000	25.2a ²	10(100)
0.001	14.5b	10(100)
0.010	9.9bc	8(80)
0.100	7.3cd	9(90)
0.200	4.8d	8(80)

Values in () are percent age of control

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

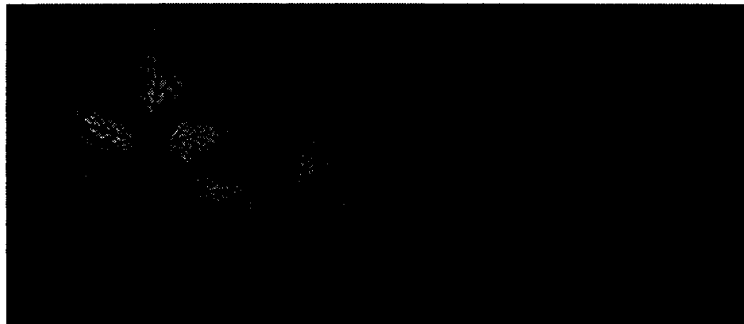


Fig. 1. Effect of uniconazole on reduction of O₃ injury of tomato plants exposed to 0.3 ppm for 16 hours. From left to right : Uniconazole 0, 0.001, 0.01, 0.1 and 0.2 mg/pot.

Uniconazole를 토양주입한 후 초장과 제3엽의 생장을 조사한 결과 포트당 0.001 mg만 처리하여도 무처리구에 비하여 초장 및 엽장이 현저히 억제되었으며, 농도가 높아질수록 직선적으로 생육이 감소되는 경향을 보였다(그림 2, 3). Uniconazole 처리후 chlorophyll 함량의 변화는 8일까지는 처리

농도에 따라서 현저히 증가되었으나, 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다(그림 4). 표 2는 uniconazole 처리 20일 후에 엽면적과 생체중을 조사한 결과인데, uniconazole의 농도가 높을수록 지상부와 지하부의 생체중이 감소되었으며 엽면적 또한 현저히 감소되었다.

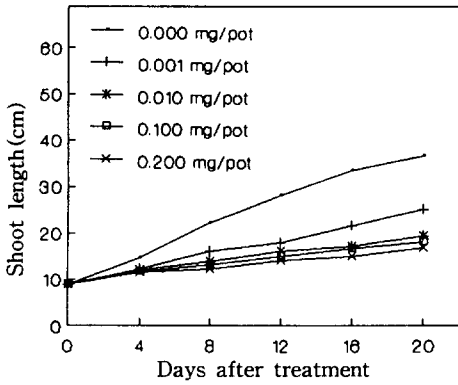


Fig. 2. Effect of uniconazole on shoot length of tomato plants.

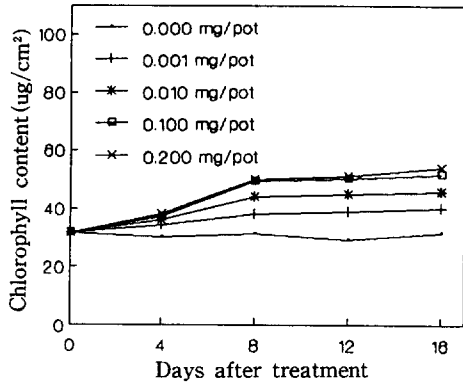


Fig. 4. Effect of uniconazole on chlorophyll content of tomato plants.

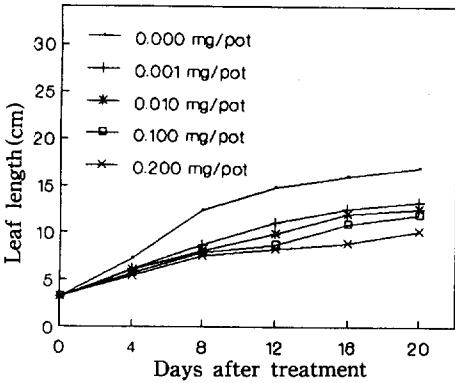


Fig. 3. Effect of uniconazole on length of the third leaf of tomato plants.

오존을 처리하는 동안 ethylene의 발생량은 12시간 처리에서 발생량이 급격히 증가하여 최대가 되

었으며, 그 이후에는 현저하게 감소되었다(표 3).

Table 3. Effect of uniconazole on ethylene production by leaves of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Ethylene production (nl/g/hr)				
	Hours of O ₃ exposure				
	0	4	8	12	16
0.000	7.63a ^z	32.33a	69.65a	224.05a	102.96a
0.001	6.51a	11.63b	34.66b	86.71b	115.51a
0.010	7.27a	6.82bc	17.49b	38.64c	47.81b
0.100	6.86a	8.98bc	14.86b	26.59c	45.42b
0.200	6.76a	6.03c	10.11b	26.17c	15.85b

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

Table 2. Effect of uniconazole on fresh weight and leaf area of tomato plants at 20 day after soil drench.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Fresh weight (g/plant)	Leaf area (cm ² /plant)
0.000	13.80a ^z	256.40a
0.001	11.12b	199.00b
0.010	10.89b	180.40b
0.100	10.02bc	139.40c
0.200	9.05c	122.40c

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

Uniconazole 처리구는 무처리구에 비하여 ethylene 발생량이 현저하게 감소되어 0.2 mg/pot 처리구에서는 약 8배 이상으로 발생량이 적었다.

오존에 약 4시간 정도 접촉되면 잎에 epinasty가 발생되기 시작하였는데 노엽보다는 성엽이나 유엽에서 초기에 발생되었으며, 8시간 정도 경과하면 어린 잎에서 먼저 엽병이 뒤로 말리기 시작하여 심

한 경우에는 잎 끝이 줄기에 닿을 정도로 진전되었다. Uniconazole의 처리는 epinasty의 발현을 크게 억제시키지 못하였으나, 처리농도가 높을수록 심하게 epinasty가 발현되어 엽병이 말리는 것이 적었다(표 4와 그림 5). 오존처리가 종료되어 12시간 정도가 경과되면 epinasty가 일어났던 잎은 원상태로 회복되었다.

Table 4. Effect of uniconazole on development of leaf epinasty of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Degree of epinasty															
	Hours of O ₃ exposure															
	4				8				12				16			
	Leaf number from bottom															
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
0.000	10b ^z	18a	12a	2a	20a	30a	12a*	3a*	25a	38a	12a*	3a*	30a	48a*	12a*	3a*
0.001	13ab	17a	12a	5a	18a	23a	15a*	5a*	23a	30a	17a*	5a*	37a	38a*	23a*	5a*
0.010	8b	15a	8a	1a	12a	20a	10a*	8a*	20a	20a	10a*	8a*	30a	30a*	12a*	8a*
0.100	20a	15a	8a	1a	25a	18a	10a*	1a	28a	23a	10a*	1a*	38a	40a*	10a*	1a*
0.200	7b	22a	8a	1a	10a	23a	8a	1a	18a	30a	10a*	2a	37a	35a*	10a*	2a

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

* Indicate severe epinasty that leaf tip was curved back to stem.

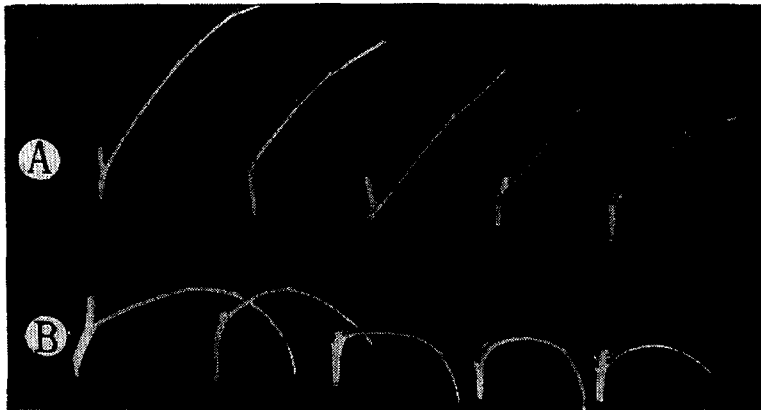


Fig. 5. Effect of uniconazole(XE-1019) on epinasty of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours. A) O₃ free, B) O₃ treatment. From left to right : Uniconazole 0, 0.00, 0.01, 0.1 and 0.2 mg/pot.

잎의 chlorophyll 함량을 조사한 결과(표 5) uniconazole는 처리농도가 높을수록 chlorophyll 함량을 현저히 증가시키고 오존에 의한 감소를 방지시킬 수 있었는데 이러한 감소는 피해율의 감소와 같은 경향을 보였다.

Uniconazole는 처리농도가 높을수록 증산량을 현저하게 감소시켜 0.2 mg/pot 처리구는 무처리구에 비하여 약 4배 정도 증산량이 적었다(표 6). 한편 오존처리는 처리 4시간 후부터 급격히 증산량을 감소시켰는데, 16시간 후에는 무처리구의 경우 그 차이가 약 2배 정도였다. Uniconazole 처리농도에 관계없이 모든 처리구에서 오존에 의한 증산량의 감소에 영향을 미치지 못하였다.

Table 5. Effect of uniconazole on chlorophyll content of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	Total chlorophyll content(μg/cm ²)	
	Hours of O ₃ exposure	
	0	16
0.000	31.55e ²	25.03d
0.001	40.11d	35.95c
0.010	45.84c	44.50b
0.100	51.56b	50.95a
0.200	54.12a	53.50a

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

Table 6. Effect of uniconazole on transpiration of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Ozone conc. (ppm)	Uniconazole conc. (mg/pot)	Transpiration rate(g/plant)			
		Hours of O ₃ exposure			
		4	8	12	16
0.0	0.000	4.30a ²	8.47a	13.99a	17.49a
	0.001	2.56b	5.49b	8.83b	11.16b
	0.010	1.74c	3.53cd	5.92cd	7.23cd
	0.100	1.35cd	2.67def	4.63def	5.76def
	0.200	1.04d	2.22ef	4.15ef	4.67ef
0.3	0.000	2.37b	4.03c	6.84c	8.81c
	0.001	1.63cd	2.91de	5.10de	6.41de
	0.010	1.05d	2.14ef	3.74ef	4.91ef
	0.100	1.05d	2.11ef	3.57ef	4.34ef
	0.200	1.01d	1.75f	3.19f	4.00f

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

POD의 활성을 측정한 결과(표 7) uniconazole 처리농도가 높을수록 활성이 증가하였으나 그 폭이 비교적 적었다. 오존처리 시간이 경과할수록 모든 처리구에서 활성이 증가하였지만 uniconazole 농도가 높을수록 증가폭이 적었다.

표 8은 SOD의 활성을 조사한 결과로서 uniconazole 농도의 증가와 함께 유의성있는 증가를 보였으나 증가량은 크지 않았다. 오존처리는 8시간 경과 후에는 SOD 함량을 크게 변화시키지 않았으나 16시간 후에는 오히려 감소하였다.

GA₃를 10, 20 ppm으로 살포한 후 오존을 처리한 결과 무처리구가 47%의 피해를 나타내는데 비하여 GA₃ 처리구는 각각 65%와 75%의 높은 피해를 보였고, uniconazole를 처리하고 GA₃를 처리했을 경우에도 GA₃에 의하여 내성증대효과가 감소되는 경향을보였다(표 9). 또한 잎 부위에 따라서 그 GA₃에 대한 감수성이 상이한데 중간 부위의 잎이 가장 큰 피해를 입었다.

Table 7. Effect of uniconazole on peroxidase (POD) activity of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	POD activity(unit/g fresh wt)		
	Hours of O ₃ exposure		
	0	8	16
0.000	60.87c ^z	482.00a	64.00a
0.001	64.93bc	296.40b	616.00a
0.010	69.80b	272.40c	529.33b
0.100	77.80a	239.33d	440.67c
0.200	80.70a	169.73e	392.67c

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

Table 8. Effect of uniconazole on superoxide dismutase(SOD) activity of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	SOD activity(unit/g fresh wt)		
	Hours of O ₃ exposure		
	0	8	16
0.000	59.40d ^z	63.20ab	39.73c
0.001	61.40cd	65.87a	46.93b
0.010	63.67c	62.93ab	49.33b
0.100	67.67b	60.00b	53.60a
0.200	71.13a	59.73b	55.20a

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

Table 9. Effect of uniconazole and GA₃ on injury of tomato plants exposed to 0.3 ppm O₃ for 16 hours.

Uniconazole conc. (mg/pot)	GA ₃ (ppm)	Injury rate (%)
0.000	0	47.3c ^z
0.100	0	24.0e
0.200	0	15.8f
0.000	10	65.5b
0.100	10	31.6d

0.200	10	16.5f
0.000	20	75.6a
0.100	20	34.3d
0.200	20	18.0ef

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

考 察

Triazole계 화합물인 uniconazole의 생리적인 작용기작은 도관을 통하여 세포분열 조직으로 이행되어 GA 생합성중 kaurene에서 kaurenol acid로 산화되는 과정에서 kaurene, kaurenol 그리고 kaurenol의 산화를 저해함으로써 GA 합성을 억제하고 결과적으로는 세포분열 능력을 저해하여 영양생장을 억제하는 것으로 알려지고 있다.¹³⁾

Uniconazole은 leaf abscission이나 노화 등을 방지하며 기존의 성장왜화제 및 동일한 triazole계통인 paclobutrazol에 비하여 왜화효과가 뛰어난 것으로 보고되고 있는데, 대기오염에 대한 식물의 내성증대 효과는 영양생장의 억제, 증산억제 등과 관계가 있는 것으로 밝혀지고 있다.^{5,8)}

본 시험에서도 uniconazole은 초장, 엽장 및 엽면적 등을 현저히 억제시키고 단위엽면적당 chlorophyll 함량을 증가시키는 것으로 미루어 식물체의 조직을 치밀하게 함은 물론 증산량을 현저하게 억제하는 것으로 미루어 볼 때 오존가스의 세포내 유입을 막아 내성을 증대시켜 주는 것으로 판단된다(그림 2, 3, 4와 표 2, 6).

대기오염피해로 인한 ethylene의 발생은 피해정도의 한 지표가 되는 것으로 밝혀지고 있는데, 본 시험에서도 uniconazole의 처리는 오존처리시 피해가 적었던 관계로 ethylene의 발생이 적었다(표 3). 그러나 uniconazole 처리구에서 피해는 적었을지라도 떡잎이 낙엽되고 epinasty 현상이 심했던 결과로 미루어 볼 때 uniconazole은 antiethylene의 작용은 하지 못한 것으로 판단된다(표 1, 4와 그림 5).

오존의 식물체 피해기작은 광조건하에서 오존이 직접 protein이나 lipid에 작용하거나, 2차적으로 생성된 oxyradical의 해작용으로 추측되고 있는

데,^{14,15)} free radical scavenger인 SOD는 oxyl radical을 H_2O_2 와 O_2 로 중화시키고 POD는 다시 H_2O_2 를 H_2O 와 O_2 로 중화시킴으로서 피해를 경감시킬 수 있는 것으로 알려지고 있다.^{16,17,18)}

오존처리에 의한 peroxidase의 활성증가는 타작물에서의 오존피해 보고들^{19,20)}과 일치하였으며 결국 피해에 대한 방어기작에서 온 활성의 증가로 해석된다(표 7). Uniconazole 처리에 의한 POD의 활성증가는 비록 큰 폭은 아니었지만 오존에 대한 내성증대에 일부 작용되었을 것으로 풀이된다.

SOD 활성 역시 uniconazole 처리에 의하여 약간 증가되었으며, POD와는 달리 오존처리의 시간이 경과할수록 오히려 활성이 낮아지는 경향을 보였는데 이는 토마토의 특성이 오존에 대하여 내성이 매우 약하기 때문에 온 결과로 생각되나 본 결과만으로 해석하기는 어려웠다.

Lee등⁹⁾은 paclobutrazol을 처리한 snap bean에 GA를 처리하면 SO_2 에 대한 내성이 감소된다고 하였는데, 본 시험에서도 uniconazole를 토양주입한 후 GA_3 를 엽면살포한 결과 오존에 대한 내성이 감소되어 GA의 농도가 높을수록 피해율이 증가되는 경향을 보였다(표 9). 이는 uniconazole 역시 antigibberellin의 작용으로 생장을 왜화시켜 오존에 대한 내성을 증대시켜 주는 것을 확인시켜주는 결과로 해석된다.

지금까지의 결과를 종합하여 볼 때 uniconazole의 토양주입에 의한 토마토의 오존피해 내성증대는 anti-gibberellin의 작용으로 식물체의 조직을 치밀하게 하여 오염물질의 세포내 유입을 적게 함으로써 얻어지는 직접적인 효과와 함께, 세포내에서 일어나는 oxyradical의 피해를 중화할 수 있는 POD와 SOD의 활성을 증대시킴으로써 피해를 경감시키는 간접적인 효과가 인정된다고 할 수 있다.

摘 要

토마토의 오존에 대한 내성을 증대시키고자 생장 억제제인 uniconazole을 0, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2 mg/pot의 농도를 토양주입하고, 0.3 ppm이 오존에 처리하였던 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Uniconazole은 0.001 mg/pot의 낮은 농도에

서도 식물체를 크게 왜화시켰으며, 왜화정도가 클수록 오존에 대한 내성을 증대시켜 무처리구의 25% 피해에 비하여 0.01 mg/pot의 낮은 농도처리에서도 10% 이하로 피해를 경감시켰다.

2. Uniconazole은 처리농도가 높아질수록 토마토의 초장, 엽장, 엽면적 및 생체중을 감소시켰고, chlorophyll 함량을 증가시켰으며 증산량을 현저히 감소시켰다. 오존처리는 증산량을 현저히 감소시켰으며 uniconazole 처리는 오존에 의한 증산량의 감소에 영향을 미치지 못하였다.

3. Uniconazole은 오존피해를 경감시킴으로써 ethylene의 발생량을 크게 경감시켰으나 자엽의 낙엽 및 잎의 epinasty 발생을 방지시킬 수 없었다.

4. 오존처리는 POD의 활성을 크게 증가시켰으나, SOD의 활성은 감소시키는 경향이였다. Uniconazole은 농도가 높아짐에 따라 POD와 SOD의 활성을 약간 증가시키는 경향이였다.

5. Uniconazole을 처리한 다음 GA_3 를 엽면살포한 결과 생장왜화효과가 소멸되면서 오존에 대한 내성도 감소되었다.

6. 이와같은 결과를 종합하여 볼 때, 토마토에 있어서 uniconazole의 오존 피해경감은 식물체의 왜화와 엽록소의 함량증대에 따른 오염물질의 세포내 유입억제와 함께 oxyradical의 해를 중화시킬 수 있는 효소의 활성증대가 일부 인정되는 것으로 판단된다.

參考文獻

1. Cathey, H.M. and H.E. Heggstad (1972) : Reduction of ozone damage to *Petunia hybrida* vilm. by use of regulating chemicals and tolerant cultivars, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 97, 659~700.
2. Cathey, H.M. and H.E. Heggstad (1973) : Effect of growth retardants and fumigation with ozone and sulfur dioxide on growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd., J. Amer. Soc. Hort. Sci., 98, 3~7.
3. Cathey, H.M. and H.E. Heggstad (1982) : Ozone and sulfur dioxide sensitiv-

- ity of petunia: modification by ethylenediurea. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107(6), 1028~1035.
4. 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.
 5. 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.
 6. Larson, R.A.(1988) : The antioxidants of higher plants, Phytochemistry., 27(4), 969~978.
 7. Larsen, M.H., T.D. Davis and R.P. Evans(1988) : Modulation of protein expression in uniconazole treated soybeans in relation to heat stress, Proc. Plant Growth Reg. Soc. Amer., 12, 1~7.
 8. Ku, J.H., D.T. Krizek, R.M. Mirecki and E.D. Lee(1987) : Efficacy of uniconazole as a phytoprotectant against SO₂ injury in snap bean, Proc. Plant Growth Reg. Soc. Amer., 14, 304~311.
 9. Lee, E.H., J.K. Byun and S.J. Wilding (1985) : A new gibberellin biosynthesis inhibitor, paclobutrazol, confers increased SO₂ tolerance on snap bean plants, Environ. Exp. Bot., 25, 265~275.
 10. Arnon, D.I.(1959) : Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol., 24, 1~15.
 11. 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. Plant, 25 : 130~134.
 12. McCord, J.M. and I. Fridovich(1969) : Superoxide dismutase: an enzymatic function of erythrocyte hemocuprein, J. Biol. Chem., 244, 6049~6055.
 13. Izumi, K., I. Yamaguchi, A. Wada, H. Oshio and N. Takahashi(1984) : Effects of a new plant growth retardant (E)-1-(4-chloro-phenyl)-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.
 14. Grims, H.D., K.K. Perkins and W.F. Boss(1983) : Ozone degrades into hydroxyl radical under physiological condition, Plant Physiol., 72, 1016~1020.
 15. Nouch, I. and S. Toyama(1988) : Effect of ozone and peroxyacetyl nitrate on polar lipid and fatty acid in leaves of morning glory and kidney bean, Plant Physiol, 87, 638~646.
 16. Fridovich, I.(1975) : Superoxide dismutase, Ann. Rev. Plant Physiol., 44, 147~158.
 17. Ormrod, D.P. and N.O. Adedipe(1974) : Protecting horticultural plants from atmospheric pollutions: a review., HortScience, 9(2), 309~313.
 18. Sandalio, L.M. and L.A. Derio(1988) : Intraorganellar distribution of superoxide dismutase in plant peroxisomes (glyoxysomes and leaf peroxisomes), Plant Physiol., 88, 1215~1218.
 19. Dass, H.C. and G.M. Weaver(1972) : Enzymatic changes in intact levels of *Phaseolus vulgaris* following ozone fumigation, Atmos. Environ., 6, 759~763.
 20. Lee, E.H. and J.H. Bennett(1982) : Superoxide dismutase: a possible protective enzyme against ozone injury in snap beans, Plant Physiol., 69, 1444~1449.