

# Silver Thiosulfate 처리가 토마토의 오존피해경감에 미치는 효과

## Effectiveness of Silver Thiosulfate Treatment in Reducing Ozone Injury to Tomato Plants

구 자 형 · 원 동 찬 · 김 태 일

충남대학교 농과대학 원예학과  
(원고접수 : 91. 12. 6)

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

Department of Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National  
University, Taejeon 305-764, Korea  
(Received : 6 December 1991)

### Abstract

This study was conducted to determine the effectiveness of silver thiosulfate(STS) in reducing O<sub>3</sub> injury to tomato plants (*Lycopersicon esculentm* Mill. 'Pink Glory'). Two days prior to O<sub>3</sub> fumigation, plants were given a foliar spray of STS solution at concentrations of 0, 0.2, 0.4, 0.6 mM contained with 0.05% Tween-20.

STS concentrations below 0.6 mM were significantly effective in providing protection against O<sub>3</sub> exposure (16 h at 0.3 ppm). STS reduced leaf injury rate, defoliation of cotyledons, ethylene production and degree of epinasty induced by O<sub>3</sub> injury. STS slightly increased ethylene production in non-O<sub>3</sub>-fumigated plants, but changes of chlorophyll content and transpiration rate on a whole plant basis were not observed. In O<sub>3</sub>-fumigated plants, STS treatment reduced chlorophyll destruction but did not affect transpiration rate. STS treatment seemed not to affect peroxidase(POD) and superoxide dismutase(SOD) activity in non-fumigated plants but reduced increasing activity of POD by O<sub>3</sub> fumigation. However, such an effect as above was not found in SOD activity.

Even though enzymatic protection effects were not confirmed, the fact that reduction of acute injury rate was attained for 16 h fumigation indicates that the phytoprotective effects of STS are not necessarily related to blocking the action of stress-induced-ethylene as an anti-ethylene agent.

### 1. 서 론

광화학 smog 중 oxidant로서 식물체에 많은 피해를 입히는 주 대기오염원으로는 ozone (O<sub>3</sub>)과 PAN (peroxy acetyl nitrate)을 들 수 있는데, 오존은 대기 중에 NO<sub>x</sub>와 hydrocarbon이 존재할 때 강한 태양광선하에서 광화학적 반응으로 인하여 생성되는 2차

적인 대기오염원이다.

오존에 의한 식물의 피해는 잎의 표면 또는 이면에 necrosis나 chlorosis등이 일어나는 가시피해와 피해반점이 발생하지 않고 생리대사작용에 영향을 미쳐 탄수화물생성의 감소를 초래하는 불가시피해로 나눌 수 있다.

식물이 오존피해를 받으면 chlorophyll 함량과 광

합성의 감소(Nobel, 1974; Pell and Brennan, 1973), peroxidase(POD)와 superoxide dismutase(SOD)의 활성증가(Dass and Weaver, 1972; Lee and Bennett, 1982), sugar와 amino acid의 감소 등 많은 생리적 변화를 초래한다. 또한 오존의 피해는 휘발성 물질인 ethylene 및 ethane(Tingey et al., 1976) 등이 발산되는데, 특히 ethylene은 식물의 노화에 관계하는 호르몬으로서 병충해 또는 각종 stress에 의해 피해를 받은 조직의 이층을 촉진시키는 물론 성장억제, epinasty 및 chlorosis 등을 일으키는 2차적인 피해원이 되기도 한다.

한편 식물의 대기오염 피해를 재배관리 측면에서 경감시키고자 하는 시도로서 최근에 antiethylene제, antioxidant제, fungicide, 생장조절제 및 생장왜화제와 같은 화학물질들을 사용하여 오존에 대한 내성을 증대시키려는 연구가 진행되고 있는데 (Cathey and Heggestad, 1982; Ormrod and Adedipe, 1974), 구(1987)는  $Ag^+$ 이 ethylene의 작용을 억제함으로써 식물의 오존피해를 경감시킬 수 있다고 밝힌 바 있다.

따라서 본 시험은 오존피해로 인하여 토마토에서 다량으로 발생하는 ethylene이 epinasty의 유발, 잎의 노화 또는 조기낙엽을 촉진하는 중요한 원인이 될 것으로 가정하고, antiethylene제인 silver thiosulfate(STS)를 엽면살포하여 ethylene의 생합성 및 작용을 억제함으로써 오존의 피해를 경감시킬 수 있는 방안을 조사하여 대기오염의 피해경감에 대한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

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

### 2.2. 처리방법

오존가스의 접촉은 소형 생육상을 사용하여 0.3 ppm 수준으로 16시간 계속하여 처리하였다. 접촉상의 조도는 10,000 Lux로 조절하고, 온도는 27~29℃, 습도는 60~80%로 유지하였다. 오존의 발생은 Ozonizer(한국이오니카 Model-oz-821)를 사용하였고, 복천식(Kitagawa) 가스 검지기를 사용하여 측정하였다.

Silver thiosulfate(STS)는 102 mg  $AgNO_3$ +1,191 mg  $Na_2S_2O_3/L$ 를 증류수에 녹여 0, 0.2, 0.4, 0.6 mM

( $AgNO_3$  환산농도)로 0.05% Tween-20을 혼합하여 오존처리 2일 전에 1회 엽면살포하였다.

### 2.3. 측정 및 분석방법

오존처리 종료 2일 후 각 잎의 가시피해를 0에서 100%로 나누어 피해율을 조사하였다.

Ethylene 발생량은 오존처리 직후에 채취하여 소량의 증류수를 넣은 30 ml의 tube에 넣어 parafilm으로 밀봉하여 30℃의 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℃의 암조건에서 48시간 추출하여 spectrophotometer를 사용 645와 663 nm에서 흡광도를 측정하여 Arnon(1959)법으로 함량을 계산하였다. Epinasty는 엽 부위별로 엽병과 줄기사이의 각도를 측정하고, 특히 epinasty 정도가 심하여 잎의 끝이 뒤로 말리어 줄기에 닿는 잎을 조사하였다. 증산량은 포트를 비닐봉지로 밀봉하고 경시적으로 무게를 측정하여 전체 식물체의 수준으로 계산하였다.

채취된 생체시료 1 g을 0.05 M phosphate buffer (pH 7.8) 10 ml와 PVP(polyvinylpyrrolidone) 1 g을 가하여 4℃ 이하에서 마쇄한 다음 이 homogenate를 냉동원심분리기에서 12,000 rpm으로 40분간 분리한 후 상등액을 취하여 사용하였다. POD의 활성은 Raa(1971)의 방법에 의하여 측정하였다. 7.8 ml phosphate buffer(pH 7.0), 0.5 ml  $H_2O_2$ (0.3%), 0.5 ml O-phenyl-enediamine(1%)과 0.2 ml 조효소를 합하여 반응액을 9 ml가 되도록 하였으며, 반응개시는 조효소 첨가로 시작되었고 5분간 반응시킨 다음 반응 정지액(sodium bisulfite) 1 ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 실온에 30분간 방치 후 430 nm에서 spectrophotometer로 흡광도를 측정하였다. POD 활성단위는 0.1 O.D./min가 증가한 것을 1단위로 정했다.

SOD 활성은  $5 \times 10^{-3}$  M phosphate buffer (pH 7.8),  $10^{-4}$  M EDTA,  $10^{-5}$  M cytochrome C,  $5 \times 10^{-5}$  M xanthine,  $6 \times 10^{-9}$  M xanthine oxidase (0.033 unit)의 반응 혼합액에 조효소를 첨가하여 3 ml로 하고 550 nm에서 spectrophotometer로 측정하였다. 반응개시는 xanthine oxidase의 첨가로 시작되었으며, SOD 활성단위는 cytochrome C reduction이 50% 억제되는 것을 1단위로 하였다(McCord and Fridovich, 1969).

## 3. 결 과

STS를 엽면살포한 후 오존을 처리하였을 때 STS

의 농도가 높을수록 오존에 대한 피해경감효과가 커서 무처리구는 30%의 피해를 보인데 비하여 0.6 mM 처리구는 약 6%의 피해를 보였다(표 1과 그림 1). STS 무처리구의 자엽은 오존처리시 심한 피해가 발생하여 처리종료 2일 후에 대부분이 낙엽되었다. 그러나 STS는 처리농도가 높을수록 자엽의 낙엽유발을 현저하게 감소시킬 수 있었다. 0.6 mM 보다 높은 농도의 STS를 엽면살포하면 그 자체피해를 관찰할 수 있었는데, 미세한 검은 반점이 노엽에서 먼저 심하게 발생하였다. STS 처리는 농도에 관계없이 초장, 엽수, 엽 형태, 개화, 착과 및 과실성숙에 전혀 영향을 미치지 않았다(data not shown). 0.3 ppm의 오존을 4시간 정도 처리하면 엽 표면에 검은 갈색 또는 검은 색의 미세한 반점들이 노엽에서 먼저 발생되었으며, 8시간 이상 접촉하면 성엽과 유엽에서도 necrosis 및 엽병의 갈변화 등을 관찰할 수가 있었다.

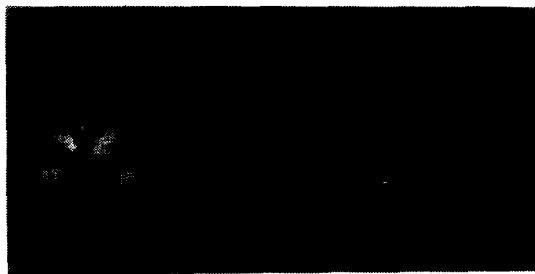
표 2는 STS를 처리한 후 ethylene의 발생량을 조사한 결과인데, 0.4와 0.6 mM의 STS 처리구에서 무처리구에 비하여 2일째에 현저히 ethylene 발생량이

**Table 1.** Effect of silver thiosulfate(STS) on injury and defoliation of cotyledons of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc. (mM) | Injury rate (%)     | No. of defoliation |
|----------------|---------------------|--------------------|
| 0.0            | 30.5 a <sup>z</sup> | 10(100)            |
| 0.2            | 18.5 b              | 7( 70)             |
| 0.4            | 10.7 c              | 5( 50)             |
| 0.6            | 6.3 d               | 3( 30)             |

Values in ( ) are percent of control.

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



**Fig. 1.** Effect of silver thiosulfate(STS) on reduction of visible injury of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours. From left to right : STS 0, 0.2, 0.4 and 0.6 mM.

**Table 2.** Effect of silver thiosulfate(STS) spray on ethylene production by leaves of tomato plants.

| STS conc. (mM) | Ethylene production(nl/g/h) |         |         |         |         |
|----------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                | Days after spray            |         |         |         |         |
|                | 1                           | 2       | 3       | 4       | 5       |
| 0.0            | 6.66 b <sup>z</sup>         | 7.46 b  | 7.71 c  | 7.04 b  | 7.65 a  |
| 0.2            | 7.30 b                      | 10.39 b | 8.58 c  | 8.65 b  | 8.73 a  |
| 0.4            | 9.68 a                      | 20.24 a | 12.24 b | 10.80 b | 10.60 a |
| 0.6            | 9.28 a                      | 20.50 a | 15.46 a | 11.80 a | 11.03 a |

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

**Table 3.** Effect of silver thiosulfate(STS) on ethylene production by leaves of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc. (mM) | Ethylene production(nl/g/h)      |          |          |           |          |
|----------------|----------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
|                | Hours of O <sub>3</sub> exposure |          |          |           |          |
|                | 0                                | 4        | 8        | 12        | 16       |
| 0.0            | 7.07 c <sup>z</sup>              | 53.39 a  | 118.20 a | 267.14 a  | 106.15 a |
| 0.2            | 10.17 c                          | 39.89 ab | 76.53 ab | 156.00 ab | 123.87 a |
| 0.4            | 15.03 b                          | 33.02 b  | 36.91 b  | 106.36 b  | 69.68 ab |
| 0.6            | 23.18 a                          | 27.71 b  | 30.23 b  | 63.06 b   | 49.54 b  |

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

많았지만, 4일부터는 그 발생량이 감소하기 시작하여 8일째는 처리간에 비슷한 수준을 유지하였다.

오존피해로 인한 ethylene의 발생량은 표 3에서 보는 바와 같이 오존처리 4시간부터 증가하기 시작하여 12시간에 발생량이 가장 많았으며, 그 이후에는 감소하기 시작하였다. STS 0.6 mM 처리구는 무처리구에 비하여 비록 오존처리 전에 ethylene 발생량이 3배 이상이었지만, 오존처리 이후에는 ethylene 발생량이 무처리구에 비하여 현저히 낮았다.

오존에 약 4시간 정도 접촉되면 잎에 epinasty가 발생되기 시작하였는데, 노엽보다는 성엽이나 유엽에서 초기에 발생되었으며 8시간 정도 경과되면 어린 잎에서 먼저 엽병이 뒤로 말리기 시작하여 심한 경우에는 잎 끝이 줄기에 닿을 정도로 진전되었다(표 4). STS 처리농도가 높을수록 오존으로 인한 epinasty의 유발을 현저하게 억제시켜 STS 0.6 mM 처리구에서는 엽병이 뒤로 말리는 심한 epinasty 현상은 전혀 유발되지 않았다(표 4와 그림 2). 오존처리가 종료되어 12시간 정도가 경과되면 epinasty 증상은 회복되어 무처리구와 차이가 없었다.

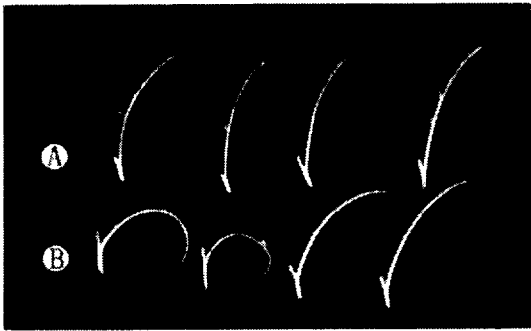
잎의 chlorophyll 함량을 조사한 결과(표 5) STS

**Table 4.** Effect of silver thiosulfate(STS) on development of leaf epinasty of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc. (mM)          | Degree of epinasty               |     |     |     |      |     |      |      |     |     |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                         | Hours of O <sub>3</sub> 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   |
| 0.0                     | 7a <sup>z</sup>                  | 12a | 8a  | 7a* | 18a  | 23a | 20a* | 12a* | 22a | 33a | 23a* | 15a* | 28a  | 47a* | 32a* | 18a*  |
| 0.2                     | 0b                               | 3b  | 5ab | 0b  | 10ab | 10b | 12b  | 7b*  | 13b | 17b | 15ab | 10b* | 15b  | 17b  | 17b* | 10ab* |
| 0.4                     | 3ab                              | 3b  | 2b  | 0b  | 8ab  | 7b  | 3c   | 0c   | 8bc | 8c  | 3b   | 0c*  | 12bc | 8c   | 3c   | 0b*   |
| 0.6                     | 0b                               | 0b  | 2b  | 2b  | 2b   | 5b  | 3c   | 2c   | 2c  | 7c  | 3b   | 2c   | 3c   | 8c   | 3c   | 2ab   |

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

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

**Fig. 2.** Effect of silver thiosulfate(STS) on epinasty of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours. A) O<sub>3</sub> free, B) O<sub>3</sub> treatment. From left to right : STS 0, 0.2, 0.4 and 0.6 mM.**Table 5.** Effect of silver thiosulfate(STS) on chlorophyll content of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc. (mM) | Total chlorophyll content (μg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|----------------|---|---------|
|                | Hours of O <sub>3</sub> exposure                |         |
|                | 0   | 16      |
| 0.0            | 32.24 a <sup>z</sup>                            | 23.55 c |
| 0.2            | 32.35 a   | 26.74 b |
| 0.4            | 30.94 a   | 30.62 a |
| 0.6            | 32.28 a   | 30.72 a |

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

처리농도간에는 함량의 차이가 인정되지 않았으나, STS는 오존처리로 인한 chlorophyll 함량의 감소를 방지시킬 수 있었으며 이러한 효과는 피해율 감소와 같은 경향을 나타냈다.

STS 처리농도가 높을수록 증산량이 약간 높았지

**Table 6.** Effect of silver thiosulfate(STS) on transpiration rate on a whole plant basis of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| Ozone (ppm) | STS conc. (mM) | Transpiration rate(g/plant)      |         |         |         |
|-------------|----------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
|             |                | Hours of O <sub>3</sub> exposure |         |         |         |
|             |                | 4                                | 8       | 12      | 16      |
| 0.0         | 0.0            | 4.08 abc <sup>z</sup>            | 8.04 b  | 12.30 a | 15.64 a |
|             | 0.2            | 4.67 a                           | 9.10 ab | 12.83 a | 16.71 a |
|             | 0.4            | 4.39 ab                          | 9.20 ab | 13.68 a | 17.31 a |
|             | 0.6            | 5.46 a                           | 10.41 a | 14.31 a | 17.33 a |
| 0.3         | 0.0            | 2.72 c                           | 4.38 c  | 7.04 b  | 9.42 b  |
|             | 0.2            | 3.95 abc                         | 6.07 c  | 8.53 b  | 11.06 b |
|             | 0.4            | 3.05 bc                          | 4.86 c  | 6.58 b  | 10.49 b |
|             | 0.6            | 3.93 abc                         | 5.81 c  | 7.93 b  | 11.21 b |

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

**Table 7.** Effect of silver thiosulfate(STS) on peroxidase(POD) activity of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc. (mM) | POD activity (unit/g fresh wt)   |           |          |
|----------------|----------------------------------|-----------|----------|
|                | Hours of O <sub>3</sub> exposure |           |          |
|                | 0                                | 8         | 16       |
| 0.0            | 87.07 ab <sup>z</sup>            | 416.67 a  | 716.80 a |
| 0.2            | 93.27 a                          | 364.5 b   | 380.13 b |
| 0.4            | 78.40 c                          | 330.13 bc | 375.33 b |
| 0.6            | 80.93 bc                         | 309.33 c  | 368.67 b |

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

One unit of POD activity is defined as increase in 0.1 O.D./min absorbance.

만 유의차는 인정되지 않았다(표 6). 오존처리 4시간 후부터 급격히 증산량이 감소되었으며 16시간 후에는 무처리구의 경우 그 차이가 현저하였다.

**Table 8.** Effect of silver thiosulfate(STS) on superoxide dismutase(SOD) activity of tomato plants exposed to 0.3 ppm O<sub>3</sub> for 16 hours.

| STS conc.<br>(mM) | SOD activity (unit/g fresh wt)   |         |          |
|-------------------|----------------------------------|---------|----------|
|                   | Hours of O <sub>3</sub> exposure |         |          |
|                   | 0                                | 8       | 16       |
| 0.0               | 44.27 a <sup>2</sup>             | 42.93 b | 41.87 a  |
| 0.2               | 43.47 ab                         | 41.27 c | 38.53 b  |
| 0.4               | 42.67 b                          | 37.73 d | 34.93 c  |
| 0.6               | 42.93 b                          | 44.00 a | 37.47 bc |

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

One unit of SOD activity is defined as 50% inhibition of cytochrome C reduction.

STS 처리농도에 관계없이 모든 처리구에서 오존에 대한 증산량의 감소에 영향을 미치지 못하였다.

STS 처리농도간에 POD의 활성(표 7)은 큰 변화가 초래되지 않았으나, STS 무처리구의 경우 오존 처리 시간이 경과함에 따라 POD 활성은 급격히 증가하였으며, STS는 급격하게 증가하는 POD 활성을 크게 억제시켰다.

표 8은 SOD의 활성을 관찰한 결과인데 STS의 처리는 SOD 활성변화에 영향을 미치지 못하였으며, 오존처리 시간이 경과할수록 STS 처리구에서 오히려 다소 낮아지는 경향을 보였다.

#### 4. 고 찰

Ag<sup>+</sup>은 식물체의 ethylene 대사에 있어서 ethylene의 receptor 역할을 하는 Cu<sup>+</sup>에 대체됨으로써 ethylene의 작용을 억제하는 것으로 알려지고 있으며(Beyer, 1976 ; Veen, 1979), endomembrane 조직의 재구성, plasma 막의 붕괴와 middle lamella의 분해를 막아 abscission을 방지하며, 또한 epinasty의 유발을 억제하는데 효과가 있음이 밝혀지고 있다(Baird et al., 1984 ; Carmeron and Reid, 1983).

본 시험에서도 silver thiosulfate(STS)를 엽면살포한 결과, 토마토 식물체의 외형에 어떠한 변형을 초래하지 않고 STS 처리농도가 높을수록 오존의 피해 경감효과가 컸으며, 또한 자엽의 낙엽을 현저하게 경감시켰다. STS를 처리하지 않은 식물체에서 오존으로 인하여 자엽이 많이 낙엽된 결과로 보아 피해로 인하여 다량으로 발생하는 ethylene은 조기낙엽을 일으키는 원인이 되는 것이 확실하였다(표 1과 그림 1).

STS 처리 그 자체가 ethylene의 발생을 조장한 이

유는 분명히 밝힐 수 없으나 서서히 안정되어 그 발생량이 감소되는 것으로 보아 STS에 의해 발생된 ethylene은 식물체에 큰 영향은 없는 것으로 생각된다(표 2). 그러나 STS의 처리구에서 오존피해로 인한 자엽의 낙엽이 크게 방지되고 epinasty의 유발정도가 현저하게 감소된 것은 STS가 stress로 유기된 ethylene의 작용을 억제하는 것이 분명하다는 사실을 입증한다고 할 수 있다(표 4와 그림 2).

오존 처리시간이 경과할수록 STS 처리구에서 무처리구에 비하여 가시피해가 크게 감소되고 동시에 ethylene의 발생이 현저히 감소되었으며(표 3), chlorophyll의 감소가 크게 억제되었는데(표 5), 이는 STS가 ethylene 작용억제 역할 이외에 다른 보호작용이 있음을 시사한다. 그러한 이유는 오존피해 특징인 미세한 반점이 나타나는 가시피해의 발생이 억제된 점과, stress로 유기된 ethylene이 가시피해를 유발하기에는 시간적으로 짧고, ethylene의 피해증상은 대개 chlorosis의 형태로 나타나는 것으로 미루어 볼 때, 위에 언급된 STS의 피해경감효과는 반드시 ethylene 작용억제에서 기인된 것만으로 해석하기는 곤란하기 때문이다.

STS 처리농도간에 증산량의 차이가 없고, 오존처리로 인하여 증산량은 현저하게 감소되었지만 STS 처리가 오존에 의한 증산량의 감소를 막아주지 못한 것으로 보아 STS는 식물체의 기공저항성에 큰 관계가 없는 것으로 판단된다(표 6).

STS 처리시 antioxidant의 역할을 하는 POD의 활성은 크게 변화가 없었으나, 오존 stress가 유발되므로 일어나는 활성의 증가폭을 감소시켰던 원인은(표 7) STS를 처리한 식물체에서 피해가 적었기 때문인 것으로 볼 수 있다. Dass와 Weaver(1972)가 보고한 결과와 마찬가지로 본 시험에서도 오존처리 시 두 처리구에서 모두 POD의 활성이 증가하였는데, 이는 오존피해에 대한 식물체의 방어기작에서 온 활성증가로 풀이된다.

Free radical scavenger인 SOD 역시 POD와 같이 오존에 의해 생성된 oxyradical의 독작용을 중화시킴으로 식물체의 오존내성과 큰 관계가 있는 것으로 보고되고 있는데(Fridovich, 1975 ; Lee and Bennett, 1982), STS 처리에 의한 변화는 찾아 볼 수 없는 것으로 보아 STS의 피해억제 작용은 SOD의 활성과도 별 관계가 없는 것으로 보인다(표 8). 따라서 STS 토마토의 경우에 있어서는 antioxidant의 역할을 하는 효소들과의 관계는 크지 않은 것으로 해석된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 STS는 0.6mM 이하로 토마토에 엽면살포되면 초장, chlorophyll 함량,

증산량 및 효소의 활성 등에 큰 변화없이 stress로 유기된 ethylene의 작용을 억제함으로써 오존피해에 대한 내성을 증대시키는 것이 분명하며 아울러 인정되는 다른 보호작용에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

## 5. 결 론

토마토의 오존에 대한 내성을 증대시키고자 antiethylene제인 silver thiosulfate(STS)를 엽면살포한 다음 0.3 ppm의 오존에 16시간 처리하였던 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. STS 0.6 mM 이하로 엽면살포하면 토마토의 생육에 전혀 영향을 미치지 않으면서 처리농도가 높을수록 오존피해 및 자엽의 낙엽을 현저하게 억제시켰다.
2. STS는 초기에 ethylene의 발생을 유발시켰으나, 오존처리로 인한 epinasty의 유기, ethylene 발생량 및 chlorophyll의 함량감소를 억제하는데 효과적이었다.
3. 오존처리는 식물체당 증산량을 크게 감소시켰으나, STS는 오존무처리 및 처리구에서 모두 증산량에 영향을 미치지 못하였다.
4. STS는 peroxidase(POD) 및 superoxide dismutase(SOD)의 활성에 큰 영향을 미치지 못하였지만, 오존처리로 인한 POD의 활성증가를 유의성있게 억제시켰다. 그러나 SOD의 경우에는 POD와 같은 효과가 인정되지 않았다.
5. 비록 효소적인 중화효과가 인정되지 않았지만, 16시간 처리동안에 급성피해증상을 크게 경감시킬 수 있음은 STS의 효과가 반드시 ethylene 작용의 억제에만 국한되지 않고 어떠한 다른 기작이 함께 작용되는 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 구 자형(1987) Silver thiosulfate 처리가 토마토의 오존피해경감에 미치는 효과. 충남대 환경연구보고, 5(2), 88-96.
- Arnon, D. I. (1959) Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol., 24, 1-15.
- Baird, L. M., M. S. Reid and B. D. Webster (1984) Anatomical and physiological effects of silver thiosulfate on ethylene-induced abscission in coleus. J. Plant Growth Regul., 3, 217-225.
- Beyer, E. M., Jr. (1976) Silver ion : a potent antiethylene agent in cucumber and tomato. Hort-Science 11(3), 195-196.
- Cameron, A. C. and M. S. Reid (1983) Use of silver thiosulfate to prevent flower abscission from potted plants. Scientia Hort., 19, 373-378.
- Cathey, H. M. and H. E. Heggstad (1982) Ozone sensitivity of herbaceous plants : modification by ethylenediurea. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107 (6), 1035-1042.
- Dass, H. C. and G. M. Weaver (1972) Enzymatic changes in intact levels of *Phaseolus vulgaris* following ozone fumigation. Atmos. Environ., 6, 759-763.
- Fridovich, I. (1975) Superoxide dismutase. Ann. Rev. Plant Physiol., 44, 147-158.
- 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.
- McCord, J. M. and I. Fridovich (1969) Superoxide dismutase : an enzymatic function of erythrocyte(hemocuprein). J. Biol. Chem., 244, 6049-6055.
- Nobel, P. S. (1974) Ozone effects on chlorophyll a and b. Naturwissenschaften, 61, 80-81.
- Ormrod, D. P. and N. O. Adedipe (1974) Protecting horticultural plants from atmospheric pollutants : a review. Hort Science 9(2), 309-313.
- Pell, E. J. and E. Brennan (1973) Changes in respiration, photosynthesis, adenose-5'-triphosphate, and total adenylate content of ozonated pinto bean foliage as they relate to symptom expression. Plant Physiol., 51, 378-381.
- 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.
- Tingey, D. T., C. Standley and R. W. Field (1976) Stress ethylene evolution : a measure of ozone effects on plants. Atmos. Environ., 10, 969-974.
- Veen, H. (1979) Effects of silver on ethylene synthesis and action in cut carnation. Planta, 145, 467-470.