

植物生長調節劑 處理가 담배의 오존 被害輕減에 미치는 影響*

朴錦淑 · 趙正煥 · 孫再根 · 李相哲**

Effect of Plant Growth Regulators on Minimizing Ozone Injury in Tobacco(*Nicotiana tabacum* L.)*

Park, K.S., J.H. Cho, J.K. Sohn, S.C. Lee**

ABSTRACT

This experiment was conducted to find out the effects of ABA and IAA on activities of antioxidant enzymes, antioxidant content, and growth of tobacco under exposure to ozone. The exposure to ozone in tobacco plant significantly decreased plant height, but it did not show any difference in vegetative characteristics except plant height of IAA 10⁻³M treated. Total chlorophyll content of NC 82 was dramatically decreased with increase in days after ozone treatment. However, reduction of chlorophyll was minimized when plant growth regulators were treated before ozone exposure. Three days treatment of ozone in tobacco increased ascorbic acid of oxidised form, while slightly decreased in reduced ascorbic acid by IAA treatment. But seven days of ozone treatment showed increase in ascorbic acid and decrease in dehydroascorbic acid. Ozone treatment did not show any difference in glutathione content and glutathione reductase activity when plant growth regulators were treated. Activities of superoxide dismutase(SOD), ascorbate peroxidase(AP) and guaiacol peroxidase(GP) were increased by the exposure to ozone for three days. However, there were no difference in activities of SOD, AP and GP due to exposure to ozone for seven days. These reactions may be interpreted as protective responses to prevent or alleviate the damage of tobacco plant by ozone exposure.

Key words : Tobacco, Ozone injury, Antioxidant enzyme.

緒 言

식물의 오존피해의 원인으로는 오존이 강한 산화력을 가지고 있어서 식물체내에 흡수되면 조직중에 있는 물과 반응하여 독성물질을 생

성하며 이렇게 생성된 독성물질은 지질대사의 장애 및 탄소동화작용을 저해하여 결국 잎, 줄기 및 뿌리의 발육을 저해할 뿐만 아니라 chlorophyll의 파괴, 식물체의 노화를 조장하며 고사에 이른다. 오존가스에 대한 식물의 반응은 식물의 종, 노출시간, 노출전후의 환경조건에

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

** 慶北大學校 農科大學(Coll. of Agr. Kyungpook N. Univ. Taegu 702-701, Korea)

(’98. 1. 14 접수)

따라 다르게 반응하며 일반적으로 화분과작물은 대체로 강하게 반응하는 반면에 토마토, 무, 담배 등의 광엽식물은 민감하게 반응한다고 Nouchi 등¹⁾이 보고하였고, 담배품종 중 가장 민감한 것은 0.05ppm에서도 피해 증상이 나타나므로 오존가스의 존재 여부를 감지할 수 있다고 하였다. 오존 농도가 높은 곳에서 자란 식물들은 오존에 의한 실질적인 해가 나타나기 전에 진화과정에서, 각종 환경 stress에 대해서 획득한 자기 방어 체계로 식물체내에서 여러 가지 생화학적인 변화 즉, 식물의 자기방어체계와 관련된 효소들의 활성이 증가하는 등의 변화를 겪는다고 알려져 있으며, 이는 곧 식물의 생존에 직접적인 관련이 있으며 각종 stress에 대한 저항성의 발현에도 연관이 있다고 하겠다.

식물에서 오존 처리에 의한 활성산소 생성과 그로 인한 산화스트레스의 피해에 대한 가능성이 제기되고 있는데, 식물은 진화과정을 통하여 여러 종류의 스트레스로부터 세포를 지켜나가는 생화학적 방어기구를 가지고 있다. 여기에는 superoxide dismutase(SOD), ascorbate peroxidase(AP), glutathione reductase(GR) 등을 포함한 여러 종류의 항산화 효소와 ascorbate 및 glutathione 등과 같은 항산화 물질들이 관여되어, 각종 스트레스로 생성된 활성산소를 해독하는 것으로 보고되어 있다²⁾. 지금까지 오존의 피해를 줄이기 위한 방법으로 식물생장조절제인 ABA를 엽면에 처리하여 식물의 오존피해를 경감한다고 알려져 있으며, 이는 기공의 기능조절을 통해 간접적으로 오존의 흡수를 적게 하는 것으로 보고하고 있고, IAA 전처리로써 오존으로 인한 엽록소 파괴를 감소시킴으로서 피해를 경감한다는 보고도 있다. 그러나 오존의 피해기작에 대해서 많은 연구가 수행되었으나 피해경감에 관하여서는 아직까지 충분한 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 실험에서는 식물생장조절제인 ABA와 IAA의 처리가 오존에 의한 가시피해 경감효과에 미치는 영향과, 항산화물질의 함량 및 항산화효소의 활성과 관련되는 생화학적

변화를 구명하여 앞으로 오존 등 대기오염물질로 인한 식물피해를 경감하기 위한 기초자료를 제공하고자 본 실험을 실시하였다.

材料 및 方法

1. 식물 재료

본 실험의 공시 작물로 일반 농가에서 가장 널리 재배중인 담배품종 “NC82”를 한국인삼연초연구원 대구시험장으로부터 분양받아 유리 온실에 파종하여 4주간 생육후 담배를 pot(1/2,000a)당 2포기씩 퇴비와 흙을 50 : 50으로 혼합한 배양토에 이식하였으며, 시비는 담배용 복합비료(N₂ : P₂O₅ : K₂O = 13 : 7 : 25kg/10a)를 톤당 30g씩 기비로 사용하고, 이식 30일 후 추비로 10g씩 사용하였다. 그리고 물관리는 매일 1회 이상 충분히 관수하였으며 기타 관리는 한국인삼연초연구원 표준관리법에 의하여 재배하였다.

2. 오존 및 식물생장조절제 처리

파종후 60일된 개체에 식물생장조절제 ABA와 IAA를 각각 10⁻³M 및 10⁻⁵M의 농도로 오존처리 하루전 엽면살포 후, 오존가스 처리는 자체제작된 오존발생 및 측정 장치³⁾를 이용하여 0.3ppm의 농도로 하루 6시간(10 : 00 ~ 16 : 00)씩 7일간 처리한 후 담배의 기초생육조사, 가시적 피해정도, 피해엽율을 조사하였다.

3. Chlorophyll 함량측정

ABA와 IAA가 chlorophyll 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 약 1g의 잎을 채취하여 99.5% ethanol에 4℃의 암상태하에서 48시간 동안 추출하였다. Chlorophyll의 측정은 spectrophotometer(UV-1200, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 Knudson의 방법⁴⁾에 따라 664nm 및 649nm에서 흡광도를 측정하여 조사하였다.

4. Ascorbic acid 및 Glutathione 함량측정

Ascorbic acid의 함량을 측정하기 위하여, 오

존이 처리된 담배잎을 1g 채취하여 막자사발에 넣고 7.5ml의 추출용액(50g⁻¹ methaphosphoric acid)을 넣어 추출한 다음 15,000rpm에 10분간 원심분리 한 후 상층액을 분광광도계를 이용하여 흡광도 520nm에서 Bobin과 Book의 방법⁵⁾에 의해 측정하였고, glutathione의 함량은 ascorbic acid 추출조건과 동일하며 분광광도계를 이용하여 Law의 방법⁶⁾에 의해 측정하였다.

5. 항산화효소의 활성측정

담배 1g의 잎을 채취하여 막자사발에 넣고 0.5mM의 ascorbic acid와 1mM의 환원형 glutathione을 포함하는 potassium phosphate buffer (pH7.8) 10ml를 넣고 추출한 후, 추출액을 15,000rpm 10분간 원심분리한 후, 상등액을 조효소로 이용하여 효소활성을 측정하였다. 그리고 상등액 일부를 이용하여서 직접 ascorbate peroxidase(AP), dehydroascorbate reductase(DHAR), monodehydroascorbate reductase(MDHAR)의 활성을 측정하였으며, 나머지 상등액을 potassium phosphate buffer(pH7.8)에 넣어 24시간 투석처리한 다음 superoxide dismutase(SOD), guaiacol peroxidase(GP), glutathione reductase(GR)의 효소활성을 측정하였다.

SOD의 활성은 Schoner과 Krause의 방법⁷⁾에 따라 cytochrome c의 감소를 A₅₅₀에서 측정하였으며, 또 AP의 활성은 A₂₉₀(2.8mM⁻¹cm⁻¹)에서 H₂O₂에 의한 ascorbate의 산화를 조사하였다. MDHAR의 활성은 Hossain 등의 방법⁸⁾에 의해

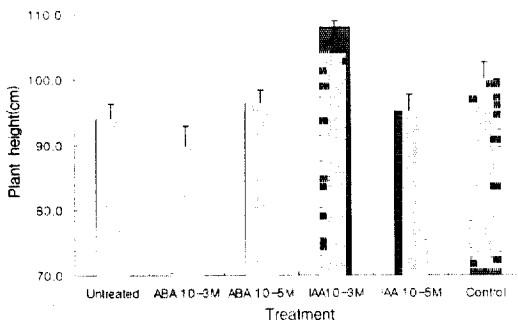


Fig. 1. Effects of plant growth regulators on plant height under ozone exposure at vegetative stage of tobacco.

A₃₄₀에서의 NADH의 산화를 조사하였고, DHAR의 활성은 A₂₉₀(2.8mM⁻¹cm⁻¹)에서, dehydroascorbate에서 ascorbate로의 환원을 조사하는 Tanaka 등의 방법⁹⁾에 따라 측정하였다. GR의 활성은 Tanaka 등의 방법⁸⁾에 따라 A₃₄₀(26.6mM⁻¹cm⁻¹)에서 NADPH의 감소량을 측정하였으며, GP의 활성은 H₂O₂ 존재하에서의 guaiacol의 산화를 A₄₇₀(26.6mM⁻¹cm⁻¹)에서 측정하였다.

結果 및 考察

1. 담배의 생육과 Chlorophyll 함량에 미치는 영향

Fig. 1은 ABA와 IAA가 처리된 담배를 일정 농도의 오존에 노출시켰을 때 나타나는 초장의 변화로 오존을 처리할 경우 초장은 무처리에 비하여 다소 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았으며 ABA 10⁻³M 처리는 처리들중에서 가장 짧은 초장을 보였고, 10⁻⁵M 처리는 무처리에 비하여 짧게 나타났으나 오존처리구 보다는 초장이 다소 길었다. 이것은 ABA 10⁻³M는 농도가 다소 높아 생육을 억제하는 ABA 효과에 기인한 것으로 사료되며, ABA 10⁻⁵M 처리는 기공의 기능조절을 통해 오존의 흡수를 적게하여 식물의 오존피해를 경감한다는 Downton 등¹⁰⁾의 보고와 일치하는 것으로 나타났다. 그리고 IAA의 경우는 10⁻³M 처리에서 초장이 증가하였고, 10⁻⁵M인 경우 오존을 처리한 것과는 차이를 나타나지 않았다. 이와 같이 IAA의 농도에 따라 담배의 초장에 다르게 반응하고 있는데 이는 IAA가 식물의 세포신장에 관여하는 생리적 효과로 인정되며 보통의 식물에서 10⁻⁴M~10⁻⁵M의 auxin 농도는 식물의 줄기신장을 촉진한다고 보고되고 있으나 본 실험에서 처리된 10⁻³M은 약간 고농도이나 stress를 받은 식물에서는 줄기신장 효과가 인정된다고 생각된다.

Table 1은 식물생장조절제를 처리한 담배잎의 오존처리에 의한 생육특성을 나타낸 것으로 모든 처리구에서 처리간의 유의성이 인정되지 않았지만 잎의 두께와 잎수는 오존처리

Table 1. Effect of plant growth regulators on vegetative characteristics under ozone exposure at vegetative stage of tobacco.

Treatment	Leaf thickness(mm)	No.of leaves	Leaf area(cm ² /plant)	Leaf dry weight(g/plant)
ABA10 ⁻³ M	0.47a	31.7a	8145.0a	43.02a
ABA10 ⁻⁵ M	0.40a	29.0a	7046.7a	37.82a
IAA10 ⁻³ M	0.43a	28.0a	7046.3a	33.29a
IAA10 ⁻⁵ M	0.46a	33.0a	6211.7a	33.63a
Untreated	0.45a	25.0a	6194.0a	33.69a
Control	0.45a	30.0a	7824.3a	37.95a

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

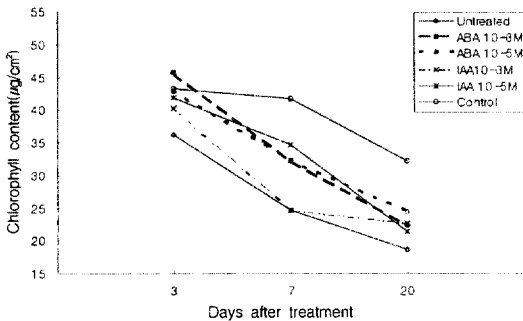


Fig. 2. Changes in chlorophyll content of tobacco by ABA and IAA application 7days after ozone exposure.

와 무처리간에 그리고 생장조절제처리에 의한 변화의 폭이 작았으며, 오존을 처리함으로써 엽면적과 건물중은 대체로 감소하였다. 그리고 chlorosis가 가장 적게 나타난 ABA10⁻³M 처리에서 엽면적과 건물중이 다소 증가하였으나 역시 오존처리구와 비교하여 유의성이 인정되지 않았다.

Fig. 2는 ABA 및 IAA를 처리한 담배 잎의 오존 처리에 의한 chlorophyll 함량의 변화를 나타내고 있다. 본 실험의 결과를 보면, chlorophyll 함량은 오존처리 일수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, ABA 및 IAA 처리에 의해 오존에 의한 chlorophyll 함량 감소가 경감되는 것으로 나타났다. 특히 3일간의 오존처리 결과, 10⁻³M의 ABA를 처리한 담배 잎은 무처리에 비하여 약 26%의 높은 chlorophyll 함량을 나타내었다. ABA 처리에 의한 chlorophyll 함량 감소의 경감 효과는 기공 폐쇄에 관여하는 ABA의 작용에 의한 것으로 기

공 폐쇄에 의해 오존의 침투가 차단되어 chlorophyll 함량의 감소가 경감된 것으로 사료된다. 이와 같은 chlorophyll 함량 감소의 경감 효과는 IAA 처리구에서도 나타났는데, 10⁻⁵M의 IAA을 처리한 잎은 무처리에 비하여 7일간의 오존 처리 결과에 약 40%의 높은 chlorophyll 함량을 나타내었고, 이 결과는 IAA 처리를 한 순무에 오존 처리를하여 약 33%의 chlorophyll 함량의 감소를 보인 Adedipe와 Ormrod¹¹⁾의 실험 결과와 상반된 결과를 보였지만, 오존 처리에 의해 담배잎에 극심한 chlorosis 현상을 나타내었고, 이는 식물에 있어서 chlorophyll 파괴 또는 생합성 억제는 오존의 전형적인 피해 현상으로 보고되어 있다. 野内 등¹²⁾은 오존가스 접촉으로 식물이 채상조직의 붕괴나 착색이 되고 엽록소가 감소됨과 동시에 anthocyanin색소가 형성되며 광엽식물의 조기 황색화, 조기 낙엽 등이 오존과 관계가 있다고 보고하였다.

2. 항산화 물질의 함량에 미치는 영향

Table 2는 ABA 및 IAA를 처리한 담배 잎의 오존처리에 의한 ascorbic acid의 함량변화를 나타낸 것으로 담배가 오존 등의 환경 stress를 받게되면 일반적으로 산화형이 증가를 하게 되는데 본 실험의 결과를 보면 3일간 오존처리에 의해 산화형 ascorbic acid(DHA)가 무처리보다 증가하는 경향이었으며 유의성도 인정되었다. 그리고 식물생장조절제 처리가 DHA의 증가를 유도한 것으로 나타났으며, 7일간의 오존처리에서도 같은 경향이였다. 이것은 산화물이 생성되어 H₂O₂의 무독화과정이 이루어지게

Table 2. Effect of plant growth regulators on ascorbic acid¹⁾ contents under ozone exposure at vegetative stage of tobacco(*Nicotiana tabacum* L.)

Treatment	AsA($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		DHA($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	3 DAT ²⁾	7 DAT	3 DAT	7 DAT
Untreated	55.16 a	41.78 e	141.58 a	85.87 a
ABA 10^{-3}M	56.70 a	91.37 c	93.41 b	72.94 b
ABA 10^{-5}M	49.82 ab	120.22 b	98.97 b	84.88 a
IAA 10^{-3}M	24.22 c	153.63 a	99.69 b	75.69 b
IAA 10^{-5}M	39.16 b	95.39 c	100.18 b	61.60 c
Control	48.99 ab	52.46 d	77.84 c	63.69 c

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

¹⁾ AsA : Ascorbic acid, DHA : Dehydroascorbic acid.

²⁾ DAT : Days after treatment.

Table 3. Effect of plant growth regulators on glutathione contents under ozone exposure at vegetative stage of tobacco.

Treatment	Glutathione reduced($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		Glutathione oxidased($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	3 DAT ¹⁾	7 DAT	3 DAT	7DAT
ABA 10^{-3}M	0.59 a	0.29 c	0.61 ab	0.22 c
ABA 10^{-5}M	0.68 a	0.27 cd	1.00 a	0.22 c
IAA 10^{-3}M	0.51 a	0.25 de	0.45 b	0.31 b
IAA 10^{-5}M	0.70 a	0.23 e	0.73 ab	0.22 c
Untreated	0.73 a	0.32 b	0.65 ab	0.32 b
Control	0.70 a	0.48 a	0.55 b	0.39 a

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

¹⁾ DAT : Days after treatment.

되면 DHA가 증가하게 되는 것과 일치하는 결과였다. ABA를 처리한 담배 잎에서는 환원형 ascorbic acid(AsA)의 함량은 3일간의 오존처리에서 오존처리구에 비하여 다소 높게 나타났으나 유의성이 인정되지 않았고, IAA를 처리한 담배 잎에서는 약 30~40% 가량의 감소를 나타내었다.

그러나, 7일간의 오존처리에서는 ABA 및 IAA 두처리 모두에서 2~3배 정도의 AsA의 함량 증가를 나타내었다. 이와 같이 오존처리에서 ABA 및 IAA 처리에 의한 AsA의 증가와 DHA의 감소는 벼를 이용한 Nouchi²⁾의 장기 저농도 오존 처리 결과와 같은 결과이며, 이는 오존의 산화작용을 방어하기 위하여 AsA의 함량이 ABA나 IAA에 의해 증가한 것으로 사료된다. 그러나 이 결과는 Sakaki 등¹⁵⁾의 실험과 반대되는 결과를 나타내고 있다. 오존은 일부

식물에 있어서 활성산소 생성의 유도과, 그로 인한 산화 스트레스를 일으키는 것으로 보고되어 있으며, 식물에는 이러한 산화 스트레스로부터 생체를 보호하기 위한 ascorbate 및 glutathione 등과 같은 항산화물질이 존재한다. 특히, ascorbate는 대기오염물질이나 건조 등 여러가지 환경스트레스에 의해 생성되는 O_2 나 H_2O_2 등의 활성산소의 무독화에 관여하는 항산화 물질로 알려져 있다²⁾. 그러나 연구자에 의해 AsA와 DHA에 대한 상반된 견해를 보고하고 있기 때문에 앞으로 확실하게 구명되어야 할 것으로 생각된다.

Table 3은 식물생장조절제를 처리한 담배잎의 오존처리에 의한 Glutathione의 함량을 나타낸 것으로 Glutathione의 함량은 오존처리 일수가 증가함에 따라 산화형 및 환원형 모두 무처리에 비하여 감소하는 경향을 나타내었으며, 오

존을 처리한 담배에서 환원형 glutathione(GSH)의 함량은 3일간의 오존 처리에 ABA 및 IAA 처리한 담배 앞에서는 큰 변화를 나타내지 않았으나, 7일간의 오존처리의 경우 ABA 및 IAA 처리에서 모두 GSH 함량이 감소하였으며, ABA 보다 IAA 처리에서 다소 큰 감소를 나타내었다. 그리고 산화형 glutathione(GSSG)의 함량은 3일간의 오존 처리에서 ABA 및 IAA 처리한 담배에서 오존을 처리하지 않은 담배에서 보다 대체로 증가하였으나, 오존 처리구간에는 GSSG 함량에는 변화를 보이지 않았다. 그러나 7일간의 오존 처리에서는 무처리에 비하여 식물생장조절제의 처리와 관계없이 모든 처리에서 감소하였으며, 오존처리구간에는 IAA 10^{-3} M을 제외한 모든 처리에서 GSSG 함량이 감소되었다. 결론적으로 항산화물질의 변화는 본 실험에서의 결과를 요약하면 담배에 오존을 처리한 결과 ascorbic acid의 함량은 대체로 증가하였으나 glutathione의 함량에는 별다른 차이가 없었다. 이는 Sakaki¹⁵⁾나 Tanaka¹⁶⁾의 실험에서 glutathione함량이 증가한다는 보고와는 상반되는 결과였다. 이것은 앞으로 더 많은 연구가 되어야 할 것으로 생각된다.

3. 항산화효소 활성의 변화

식물의 진화 과정중 여러 가지 환경 스트레스로부터 생체를 방어하기 위한 방어기구를 발달시켜왔으며, 특히 SOD, AP, MDHAR, DHAR, GR, GP 등의 항산화 효소에 의해 각종 스트레

스로 생성된 활성산소를 해독하는 것으로 보고되어 있다²⁾.

Table 4는 ABA와 IAA를 처리한 담배 앞의 오존처리에 의한 SOD, AP, GP 등의 효소의 활성을 나타낸 것이며, SOD의 활성은 3일간의 오존처리와 7일간의 오존처리에서 오존무처리구보다 오존처리구에서 활성이 증가하였는데 이것은 Superoxide가 많이 생성되었기 때문인 것으로 생각된다. 이 증가 경향은 ABA 10^{-3} M과 IAA 10^{-3} M에서 가장 뚜렷하게 나타났으며, 7일간의 오존처리에서 생장조절제를 처리하지 않은 구에서 보다 생장조절제를 처리한 것이 낮게 나타난 것은 ABA와 IAA를 처리함으로써 식물에 피해를 경감할 수 있었기 때문인 것으로 생각된다. 본 실험에서, 3일간의 오존 처리에 의해 10^{-3} M의 ABA 및 10^{-3} M의 IAA에서 2~3배 정도의 SOD 활성의 증가를 나타내었다. 이같은 결과는 오존 처리에 의해 superoxide가 생성되고, 이를 무독화시키기 위한 SOD의 활성 증가가 ABA 및 IAA에 의해서 촉진된 것으로 사료된다. 오존 처리에 의한 SOD의 활성 증가는 벼를 이용한 Nouchi의 실험²⁾에서도 같은 결과로 보고되어 있다. AP의 활성은 3일간 오존처리에서 오존 무처리구보다 활성이 증가하였지만 식물생장조절제 ABA와 IAA를 처리함으로써 AP의 활성을 감소시키는 효과가 나타났다. 7일간의 오존처리에서는 무처리에 비하여 AP활성이 낮을 뿐만 아니라 모든 처리구에서 3일간의 오존처리보다 활성이 급격히 낮

Table 4. Effect of plant growth regulators on superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and guaiacol peroxidase under ozone exposure at vegetative stage of tobacco.

Plant growth regulators	SOD ¹⁾ (unit/cm ³)		AP(μmol/cm ³)		GP(μmol/cm ³)	
	3DAT ²⁾	7DAT	3DAT	7DAT	3DAT	7DAT
ABA 10^{-3} M	223.4 b	260.5 a	16.9 ab	1.0 c	3.3 ab	12.6 b
ABA 10^{-5} M	126.3 c	246.1 ab	22.0 a	1.2 bc	5.1 ab	13.4 b
IAA 10^{-3} M	336.7 a	203.9 ab	19.4 b	1.3 bc	4.0 ab	12.7 b
IAA 10^{-5} M	137.5 bc	218.2 ab	16.1 ab	1.3 bc	5.2 ab	11.3 c
Untreated	111.4 c	294.6 a	23.7 a	1.5 b	8.0 a	14.6 a
Control	80.8 c	115.2 b	15.7 ab	2.0 a	2.1 b	11.0 c

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

¹⁾ SOD : Superoxide dismutase, AP : Ascorbate peroxidase, GP : Guaiacol peroxidase.

²⁾ DAT : Days after treatment.

아졌다. GP의 활성은 3일간의 오존처리와 7일간의 오존처리에서 오존무처리구 보다 처리구에서 활성이 증가하였으며 생장조절제 처리구에서 무처리구 보다 활성이 낮은 것은 ABA와 IAA를 처리함으로써 식물에 피해가 더 적게 나타났기 때문인 것으로 생각된다. GP의 활성은 AP의 활성과는 반대로 3일간의 오존 처리구보다 7일간의 오존처리에서 높게 나타났다. 이상의 결과에서, 7일간의 오존처리에서 AP의 활성은 낮아지고 GP의 활성이 증가하였는데 H₂O₂의 무독화 과정이 Ascorbate/Glutathione 경로에 의해 작용한다기 보다는 다른 경로의 peroxidase의 작용에 의한 것이기 때문인 것으로 생각된다. 中村 등¹⁷⁾은 오존가스의 피해를 받은 식물은 노화가 촉진되고 광합성 등 생리 활성이 쇠퇴하고 호흡량이 증가된다는 보고로 보아 오존가스 접촉으로 체내의 peroxidase의 활성증가로 세포노화가 촉진되며, 따라서 생리적인 활성이 감퇴하여 피해를 유발한다고 생각된다.

Table 5는 ABA와 IAA를 처리한 담배 잎의 오존처리에 의한 DHAR, MDHAR, GR의 활성을 나타낸 것으로 DHAR의 활성은 오존처리 3일째에서 무처리보다 식물생장조절제 처리에서 낮은 활성을 보였으며 오존처리 7일째에서는 3일째보다 더 낮은 활성을 보이는 것으로 나타났다. 이와는 반대로 MDHAR 활성은 오존처리 3일째 무처리보다 식물생장조절제 처

리에서 높은 활성을 보였는데, 특히 ABA 10⁻⁵M에서 3배정도 높은 활성을 나타내었고 오존처리 7일째에서는 ABA 10⁻⁵M보다는 ABA 10⁻³M에서 오히려 높은 활성을 보이는 것으로 나타나 오존에 대한 피해경감은 IAA보다 ABA가 다소 효과적이라고 생각되며, GR 활성에서는 무처리와 비교해 볼 때 오존처리 7일째보다는 3일째 오히려 높은 활성을 보였는데 이러한 결과는 오존 스트레스에 대한 담배의 식물세포내 효소반응기작이 외부의 환경스트레스에 대하여 지속적인 활성을 보이지 않는다는 것을 시사해 준다고 할 수 있어 오존처리에 대한 시간별 효소활성을 조사해야 할 것으로 판단되었다. 이상의 실험 결과로 볼 때 DHAR, MDHAR, GR의 활성은 식물이 오존 흡수 후 무독화 과정에서 앞의 AP와 GP의 과정과 유사하게 Ascorbate/Glutathione 경로에 의해 작용한다기 보다는 다른 경로의 peroxidase의 작용에 의해 일어났기 때문인 것으로 생각된다.

摘 要

본 실험은 식물생장조절제인 ABA와 IAA를 처리가 오존에 의한 가지적 피해 경감효과에 미치는 영향과, 항산화물질의 함량 및 항산화 효소의 활성과의 관련성을 조사하기 위하여 담배품종 NC82를 공시하여, 파종후 60일 된

Table 5. Effect of plant growth regulators on monodehydroascorbate reductase, dehydroascorbate reductase, and glutathion reductase activities under ozone exposure at vegetative stage of tobacco.

Plant growth regulators	DHAR ¹⁾ ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2$)		MDHAR($\mu\text{mol}/\text{cm}^2$)		GR($\mu\text{mol}/\text{cm}^2$)	
	3DAT ²⁾	7DAT	3DAT	7DAT	3DAT	7DAT
ABA 10 ⁻³ M	5.12 a	1.38 c	0.62 ab	0.35 a	0.43 c	0.53 ab
ABA 10 ⁻⁵ M	4.96 a	1.45 c	0.91 a	0.11 a	0.93 ab	0.47 b
IAA 10 ⁻³ M	4.02 a	1.28 c	0.38 bc	0.10 a	0.43 c	0.47 b
IAA 10 ⁻⁵ M	3.54 a	3.60 a	0.40 bc	0.09 a	1.02 a	0.43 b
Untreated	4.48 a	2.68 b	0.31 c	0.09 a	0.54 bc	0.58 a
Control	6.08 a	3.05 b	0.31 c	0.16 a	0.57 bc	0.50 ab

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

¹⁾ DHAR : Dehydroascorbate reductase, MDHAR : Monodehydroascorbate reductase, GR : Glutathion Reductase

²⁾ DAT : Days after treatment.

개체에 ABA와 IAA를 각각 10^3M 및 10^5M 의 농도로 엽면처리한 후 0.3ppm의 농도로 하루 6시간씩 7일간 오존을 처리하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 담배에서 ABA와 IAA의 처리는 오존의 가시적 피해증상을 감소시키는 결과를 나타냈으며 오존 처리구에서는 모두 담배의 생육에는 큰 영향을 주지 않았으나 초장의 경우 IAA 10^3M 의 처리구에서 다소 증가하였다.
2. 엽록소 함량은 오존처리후의 일수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 ABA와 IAA 처리는 오존처리구에서 엽록소함량의 감소를 작게 하였다.
3. 오존에 3일간 처리한 담배는 산화형 ascorbate가 환원형 ascorbate 보다 높게 나타났으며 ABA와 IAA를 처리한 구에서는 오존처리구보다 산화형 ascorbate가 낮게 나타났으나 7일간 오존을 처리한 구에서는 처리간에는 차이가 나타나지 않았다.
4. 3일간 오존 처리시 superoxide dismutase (SOD) 활성은 무처리구에 비하여 증가하였고 ABA 및 IAA 10^3M 에서는 다른 처리구에 비하여 증가가 뚜렷하였으며, 7일간 처리에서도 SOD의 활성이 증가하였으나 식물생장조절제의 처리 효과는 나타나지 않았다.
5. Ascorbate peroxidase와 guaiacol peroxidase 활성은 오존무처리구에서도 모두 증가하였으나, 7일간 처리하는 두 효소 모두 처리간에는 변화가 없었다.

引用 文 獻

1. Nouchi, I., T. Takasaki and T. Totsuka : 1988, Relative Photochemical Oxidant Sensitivity of Agricultural and Horticultural Plants. J. Japan Soc. Air Pollut. 23(6) : 355-370.
2. Nouchi, Isamu(1993) Changes in antioxidant levels and activities of related enzymes in rice leaves exposed to Ozone. Soil Sci. Plant Nutr. 39 : 309-320.

3. Sohn, J.K., and S.C. Lee : 1997, Varietal Difference of Resistance to Ozone Injury in Rice Plant. Korean J. Crop Sci. 42(3) : 338-343.
4. Kundsom, L.L., T.W. Tibbitts and G.E. Edwards(1997) Measurement of ozone injury by determination of chlorophyll concentration. Plant physiol. 60 : 606-608.
5. Bolin, D.W. and L. Book(1947) Oxidation of ascorbic acid to dehydroascorbic acid. Science 106 : 451.
6. Law, M.Y., Charles, S.A, and Halliwell, B. : 1983, Glutathione and ascorbic acid in spinach(*Spinacia oleracea*) chloroplasts. The effect of hydrogen peroxide and paraquat. Biochem. J. 210 : 899-903.
7. Schoner, S. and G.H. Krause(1990) Protective systems against active oxygen species in spinach : response to cold accumulation in excess light. Plant 180 : 383-389.
8. Hossain, M.A., Y. Nakano and K. Asada (1984) Monodehydroascorbate reductase in spinach chloroplasts and its participation in regeneration of ascorbate for scavenging hydrogen peroxide. Plant cell physiol. 25 : 385-395.
9. Tanaka, K, N. Kondo and K. Sugahara(1982) Accumulation of hydrogen peroxide in chloroplasts of SO₂ fumigated spinach leaves. Plant cell physiol. 23 : 999-1007.
10. Downton W.J., Loveys B.R. & Grant W.J.R. : 1988, Stomatal closure fully accounts for the inhibition of photosynthesis by ascorbic acid. New phytologist 108 : 263-266.
11. Adedipe N.O. and Ormrod D.P. : 1972, Hormonal control of ozone phytotoxicity in *Raphanus sativus*. Zeitschrift für pflanzenphysiologie 68 : 254-258.
12. 野内勇·大平俊男·大橋毅 : 1973, 大氣汚染の植物に及ぼす影響, タンパク質へのオオゾンの影響, 大氣汚染研究, 8(3) : 308.

13. 松岡義浩・高崎強・森川昌記：1976, 光化学オキシダントによる 水稻可視的 障害の研究, 第一報, 光化学オキシダントによる葉障害原因の立證. 日作紀. 45(1) : 124.
14. Luwe M.W.F., Takahama U., and Heber U. (1993) Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach(*spinacia deracea L.*) leaves. *Plant Physiol.* 101 : 969-976
15. Sakaki, T., Kondo, N., and Sugahara, K. 1983 : Breakdown of photosynthetic pigments and lipids in spinach leaves with ozone fumigation : Role of active oxygens. *Physiol. Plant.* 59 : 28-34.
16. Tanaka, K., Sajj, H, and Kondo, N. 1988 : Immunological properties of spinach glutathione reductase and inductive biosynthesis of the enzyme with ozone. *Plant Cell Physiol.* 29 : 637-642.
17. 中村拓・橋本俊一・太田保夫・沖野政行 : 1975, 光化学オキシダントによる稲の被害にヘンコ, 第一報, 埼玉縣 鴻巣時における被害發生と 症状. 日作紀. 44(3) : 312.