아황산가스에 노출된 5개 수종의 생리적 피해 및 내성 반응

이재천[1] · 한심희[1] · 권기원[2] · 우수영[3] · 오창영[1] · 최정호[2] · 강병식[2]
[1]임업연구원 산림유전자원부, [2]충남대학교 산림자원학과, [3]서울시립대학교 환경원예학과

Physiological Injury and Tolerant Responses of Five Tree Species Exposed to SO_2

Jae-Cheon Lee[1], Sim-Hee Han[1], Ki-Won Kwon[2], Su-Young Woo[3], Chang-Young Oh[1], Jeong-Ho Choi[2] and Byung-Sik Kang[2]
[1]*Dept. of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea*
[2]*Dept. of Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*
[3]*Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*
(Correspondence : kiwon@cnu.ac.kr)

1. 서론

아황산가스(SO_2)는 일차 대기오염물질 중의 하나이며, 수용성인 무색의 자극성 가스로써 주 배출원은 황을 함유하고 있는 석탄과 석유가 연소되는 공정과 금속 제련공정, 기타 산업공정 등으로 볼 수 있다. 최근 선진국들은 배출 규제를 통하여 아황산가스 배출량을 감소시켜왔으나, 개발도상국의 아황산가스 배출은 매년 증가하여 전 세계적으로는 증가 추세에 있다 (Agrawal and Deepak, 2003).

일반적으로 아황산가스가 식물체에 흡수되면 황산염이나 아황산염으로 축적되어 독성을 나타내는데 (Agrawal and Verma, 1997), 체내 대사 작용이 방해를 받기 때문에 이를 회복하기 위한 에너지 생산과 관련하여 호흡이 증가하므로 결국 생장이 감소하게 된다(Skärby *et al.*, 1987).

대기오염물질들은 식물체내에 흡수되면 세포 내 각종 활성산소(activated oxygen)가 발생시킨다. 대기오염물질에 의해 발생한 활성산소는 각종 산화적 장해를 일으키며, 생체물질과 반응성이 높기 때문에 광합성 관련 색소들의 파괴, 핵산, 단백질, 지질 등의 변성을 일으킨다.

Malondialdehyde (MDA)는 생체 내에서 지질의 과산화반응에 의해, 즉 $O_2^{\cdot}$로부터 생성된 singlet oxygen($^1O_2$)과 불포화지방산의 상호작용으로 형성되는 물질이다. 또한 MDA는 아황산가스와 같은 산화물질에 의해 생성되는 자유기들로 인해 발생한 세포막의 손상 및 파괴 정도를 측정하는데 이용되며, 여러 가지 환경 스트레스에 의한 민감성을 결정하는데 이용되어 왔다(Davis and Swanson, 2001).

그러나 아황산가스와 같이 활성 산소를 생성하는 대기오염물질은 superoxide dismutase (SOD), ascorbate-peroxidase (APX), glutathione reductase (GR) 등과 같은 식물의 효소적 항산화기작과 carotenolds, tocopherols (vitamin E), ascorbate, glutathione 등과 같은 비효소적 항산화기작에 의하여 독성이 제거되기도 한다. 이와 같이 각종 대기오염물에 대한 생리적 피해 반응과 독성 제거 능력은 각종 대기오염물질에 대해 내성을 보이는 수종 또는 개체를 선발하기 위한 중요한 기준으로 이용된다. 따라서 본 연구는 아황산가스에 노출된 수목의 생리적 피해 및 내성 반응을 기준으로 아황산가스에 대한 민감성을 평가하고자 수행하였다.

본 연구는 농촌진흥청 주관 하에 행해지는 바이오그린 21사업의 일환으로 수행되었음

2. 재료 및 방법

공시수종은 오갈피나무 (*Eleutherococcus sessiliflorus* Seem), 백합나무 (*Liriodendron tulipifera* L.), 버즘나무 (*Platanus orientalis L.*), 가죽나무 (*Ailanthus altissima* Swingle) 현사시 (*Populus ×tomentiglandulosa*)였다.

SO_2 처리농도는 대조구와 300ppb로 하루에 8시간씩 20일간 노출하였다. SO_2 노출이 종료된 묘목 중 잎을 채취하여 malondialdehyde (MDA) 함량, 단백질 함량, superoxide dismutase (SOD) 활성, 광색소 함량을 분석하였다.

MDA 함량은 45℃에서 N-methyl-2-phenylindole (NMPI)과 MDA와의 반응을 기초로 한 Esterbauer and Cheeseman (1990)의 방법을 따라 수행하였으며, 단백질 함량은 Coomassie Blue를 이용한 단백질 분석 방법을 이용하였다(Bradford, 1976). SOD 활성의 측정은 nitro blue tetrazolium (NBT) - xanthine oxidase 법에 따라 수행하였으며 (Beauchamp and Fridovich, 1971), 엽 내 엽록소 함량 측정은 dimethyl sulphoxide (DMSO)를 이용하여 추출하는 Hiscox and Israelstam (1979)의 방법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 아황산가스에 의한 생리적 피해 반응

아황산가스에 노출된 5개 수종의 MDA 함량과 단백질 함량은 수종 간에 큰 차이를 보였다(Fig. 1). 5개 수종 중 오갈피나무, 백합나무, 가죽나무는 300ppb의 아황산가스에 노출된 잎에서 MDA의 함량이 대조구보다 각각 36%, 12%, 16%씩 증가하여 생리적인 피해를 받았음을 보여 주었다. 그러나 버즘나무와 현사시는 잎 내에서 MDA의 함량이 아황산가스에 노출되었을 때조차 대조구보다 낮게 나타남으로써 생리적 피해가 없고, 아황산가스에 대해 비교적 높은 저항성을 보여주었다. 또한 아황산가스에 노출된 백합나무와 가죽나무의 잎에서 측정한 단백질 함량은 대조구보다 각각 60%, 33%씩 감소하였으나, 오갈피나무, 버즘나무, 현사시의 잎 내 단백질 함량은 크게 변하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 아황산가스에 노출된 5개 수종 중 백합나무와 가죽나무는 세포막의 파괴와 단백질의 변성으로 생리적 장애가 나타나는 민감성 수종으로 판단되며, 반대로 버즘나무와 현사시는 비교적 저항성이 높은 수종으로 판단된다.

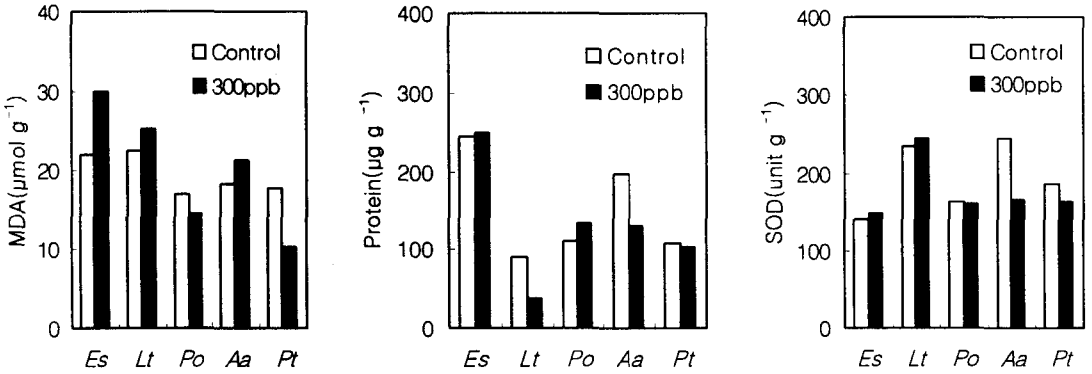

Fig. 1 Changes in MDA and protein content and SOD activity in the leaves of five tree species exposed by 300ppb SO_2 for 20 days. *Es: Eleutherococcus sessiliflorus, Lt: Liriodendron tulipifera, Po: Platanus orientalis, Aa: Ailanthus altissima, Pt: Populus ×tomentiglandulosa*

3.2 아황산가스에 의한 내성 반응

아황산가스와 같은 산화물질의 항산화 기작에 관여하는 잎 내 SOD 활성은 가죽나무를 제외한 4개 수종에서 대조구와 유사한 수준으로 나타났다(Fig. 1). 즉 가죽나무의 잎 내 SOD 활성은 아황산가스 노출에 의해 크게 감소됨으로써 내성 능력이 상실되었음을 알 수 있었으며, 현사시는 약간 감소하는 경향을 나타냈고, 오갈피나무, 백합나무, 버즘나무의 잎 내 SOD 활성은 변하지 않거나 약간 증가하는 경향을 보여 주었다. 아황산가스에 노출된 5개 수종의 피해 반응에서도 제시한 바와 같이 가죽나무는 아황산가스에 대한 방어기작인 손상되어 생리적인 피해가 뚜렷하게 나타나는 매우 민감한 수종으로 판단된다.

Table 1은 5개 수종의 아황산가스에 의한 엽록소, 카로테노이드 함량 변화를 나타낸 것이다. Table 1에서 아황산가스에 의한 엽록소 함량 감소는 백합나무, 버즘나무, 가죽나무에서 관찰할 수 있었으며, 현사시의 엽록소 함량은 오히려 증가하였다. 그러나 아황산가스가 노출된 수목의 잎 내 카로테노이드 함량은 현사시를 제외한 모든 수종에서 감소하였다. 아황산가스의 민감성 지표로 이용할 수 있는 엽록소 b와 a의 비는 오갈피나무, 버즘나무, 현사시에서는 크게 감소하였으며, 가죽나무는 증가하였다. 카로테노이드와 총 엽록소 함량의 비는 오갈피나무에서는 감소하였으나, 백합나무에서는 증가하였다. 즉 가죽나무와 백합나무는 각각 엽록소 b와 a의 비 및 카로테노이드와 총 엽록소 함량의 비가 증가함으로써 아황산가스에 민감하게 반응하였다.

결론적으로 생리적 피해 반응과 내성 반응을 기준으로 한 5개 수종의 아황산가스에 대한 민감도는 가죽나무 > 백합나무 > 오갈피나무 > 현사시 > 버즘나무 순으로 판단되었다.

Table 1 Changes in chlorophylls and carotenoids content in the leaves of five tree species exposed by 300ppb SO_2 for 20 days.

Species	Treatment	Chlorophyll a (A)	Chlorophyll b (B)	Total chlorophyll (C)	Total carotenoid (D)	B/A	D/C
Es	Control	10.9±0.4	3.8±0.1	14.8±0.4	5.2±0.8	0.35±0.01	0.35±0.06
	300ppb	12.6±0.1	3.0±0.3	15.7±0.1	3.9±0.1	0.24±0.01	0.25±0.01
Lt	Control	10.4±0.4	7.2±0.3	17.6±0.7	4.8±0.1	0.69±0.01	0.27±0.01
	300ppb	8.3±0.1	5.6±0.1	13.9±0.1	4.2±0.1	0.67±0.01	0.30±0.01
Po	Control	12.2±0.1	5.6±0.1	17.8±0.1	5.6±0.1	0.46±0.01	0.32±0.01
	300ppb	10.9±0.1	3.8±0.1	14.6±0.1	4.2±0.1	0.35±0.01	0.29±0.01
Aa	Control	16.2±0.1	3.8±0.1	19.9±0.1	4.7±0.1	0.23±0.01	0.24±0.01
	300ppb	13.9±0.1	3.8±0.1	17.7±0.1	3.8±0.1	0.27±0.01	0.22±0.01
Pt	Control	14.9±0.1	5.3±0.1	20.3±0.2	4.7±0.1	0.36±0.01	0.23±0.01
	300ppb	18.8±0.1	5.9±0.1	24.8±0.2	5.3±0.1	0.32±0.01	0.22±0.01

* *Es: Eleutherococcus sessiliflorus, Lt: Liriodendron tulipifera, Po: Platanus orientalis, Aa: Ailanthus altissima, Pt: Populus ×tomentiglandulosa*

인용문헌

Agrawal, M. and M. Verma, 1997: Amelioration of sulphur dioxide phytotoxicity in wheat cultivars by modifying NPK nutrients. *Journal of Environmental Management*, **49**, 231-244.

Agrawal, M. and S. S. Deepak, 2003: Physiological and biochemical responses of two cultivars of wheat to elevated levels of CO_2 and SO_2, singly and in combination. *Environmental Pollution*, **121**, 189-197.

Beauchamp C. and I. Fridovichi, 1971: Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, **44**, 276-287.

Davis, D. G., and H. R. Swanson, 2001: Activity of stress-related enzymes in the perennial weed leafy spurge(*Euphorbia esula* L.). *Environmental Experimental Botany*, **46**, 95-108.
Esterbauer, H. and K. H. Cheeseman, 1990: Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal. *Methods in Enzymology*, **186**, 407-421

Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam, 1979: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, **57**, 1332-1334.

Skärby L., E. Troeng and C. A. Bostrom, 1987: Ozone uptake and effects on transpiration, net photosynthesis, and dark respiration in Scotch pine. *Forest Science*, **33**, 801-808.