

국내 주요 조경수의 항산화 능력 및 오존 민감성

한심희*, 이재천, 이위영, 오창영, 박영기
국립산림과학원 산림유전자원부

Antioxidative ability and ozone sensitivity of major ornamental trees in Korea
Sim-Hee Han*, Jae-Cheon Lee, Wie Young Lee, Chang-Young Oh, and Youngki Park
Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

1. 서론

최근 지구 환경이 급속하게 악화되면서 각종 스트레스 요인들이 증가하여 인간뿐만 아니라 식물 또는 동물의 생명을 위협하고 있다. 따라서 이러한 환경 변화에 적절하게 대처하고, 환경의 질을 개선하고자 하는 노력이 세계 각국에서 진행되고 있다. 특히 친환경적인 대기 정화를 위하여 정화능력이 우수한 수종을 선발하거나, 특정 유전자의 삽입 등과 같은 생명공학기술을 이용하여 스트레스에 대한 내성이 우수하고 정화능력이 뛰어난 식물체 개발을 시도하고 있다.

식물은 환경 스트레스에 대해 매우 민감하게 반응하며, 스트레스로 야기되는 여러 가지 손상을 방지하기 위한 수단을 가지고 있다. 이들 중 항산화 능력은 대표적인 식물의 스트레스 방어 수단으로 수종 또는 품종에 따라 다양한 메커니즘을 가지고 있다. 따라서 이러한 방어기작을 정확하게 이해하면 스트레스에 민감한 수종 및 내성 수종을 선발하거나 새로운 품종을 개발하는데 큰 도움이 될 수 있다.

오존은 대표적인 대기오염물질의 하나로서 최근 대기 중의 농도가 급격하게 증가하고 있다. 수목에서 오존에 의한 피해는 여러 가지 생리적인 장애를 유발하며, 심할 경우 잎의 괴사현상과 같은 가시적인 피해를 발생시킨다. 오존은 식물의 체내에 흡수되면 일련의 항산화 메커니즘을 거쳐 제거되는데, 수종에 따라서 항산화능력은 매우 다르며, 메커니즘 또한 다르게 나타난다. 따라서 스트레스를 받고 있는 식물의 항산화 능력을 수종별로 정확하게 이해하는 것은 스트레스에 대한 내성 및 민감성 수종을 구별하는데 큰 도움이 된다. 본 연구는 오존에 대한 내성 및 민감성 수종을 선발하기 위하여, 오존 처리된 수목을 대상으로 그들의 항산화 능력을 비교하고, 오존에 대한 민감성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

시험 재료는 가중나무 등 36종으로 국내에서 주로 조경수로 이용하고 있는 수종을 선정하였으며, 국립산림과학원 산림유전자원부(경기도 수원시 권선구 오목천동 44-3)의 온실에서 파종하여 양묘한 후 포트에 옮겨 심었다. 오존 처리 1주일 전에 생장이 균일하고 활력이 있는 묘목을 수종별로 5개체를 선정하여 산림유전자원부 환경제어실의 인공광 온

실내에서 적용시켰다. 인공광 온실의 광 조건은 $450\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 온도는 $25\pm 1^\circ\text{C/day}$, 습도는 RH $60\pm 5\%$ 를 유지하였다.

2.2. 오존 처리

오존 처리는 인공광 챔버를 이용하였으며, 처리 구분은 대조구인 오존 비처리구와 우리나라 오존 주의보 발령 기준인 120ppb 오존에 1일 8시간씩 2주일간 노출시킨 처리구로 구분하였다. 실험기간 동안의 대조구와 처리구 챔버내의 평균 오존 농도는 각각 $5\pm 1\text{ppb}$, $120\pm 10\text{ppb}$ 로 기록되었다.

2.3. 오존 민감성 및 항산화 능력

대상 수종의 오존 민감성을 평가하기 위하여 PSII의 최대 광화학효율을 측정하였다. 최대 광화학효율은 OSI 5 FL 엽록소 형광반응 측정기(ADC, UK)를 이용하여, 매일 오존 처리 바로 전과 오존 처리가 끝난 직후에 잎을 30분간 암적응시킨 후 측정하였다. 한편 오존 처리가 진행되는 동안 잎에 나타나는 가시적 피해를 조사하여 사진과 최초 피해 발생 일을 기록하였다.

처리가 종료된 후 수종별로 오존 민감성을 평가하기 위하여, 조직의 손상 여부를 판단하기 위하여 MDA 함량을 잎에서 분석 하였으며, 엽록소 손상의 여부를 판단하기 위하여 잎 내 총 엽록소 함량을 분석하였다. 또한 수종별 항산화 능력을 평가하기 위하여 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 와 H_2O_2 의 제거율을 분석하였으며, $\text{O}_2^{\cdot-}$ 의 제거에 관여하는 SOD 활성을 측정하였다. 이 자료를 근거로 오존에 대한 민감성 및 내성을 구분하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 최대 광화학효율의 변화

오존 처리된 모든 수종의 최대 광화학효율을 측정한 결과, 오존에 노출된 대부분의 수종에서 광 저해(photoinhibition) 현상이 나타났다 (Fig.1). 그러나 오존 노출이 중지된 밤 시간 동안 낮 시간에 받았던 광 저해는 어느 정도 회복되었다. 그러나 광 저해에 대한 회복 속도는 수종별로 차이가 있어 느티나무, 떡윤노리 등과 같은 수종은 피해를 완전히 회복하지 못하고, 광 파괴 (photodestruction)로 이어져 최대 광화학효율이 감소하였다. 오존 처리에 의한 최대 광화학효율을 수종별로 비교한 결과, 떡윤노리, 산사나무, 쪽동백 등의 최대 광화학효율은 대조구보다 각각 22.3, 11.9, 7.9%씩 감소하였으며, 가중나무, 팽나무, 매죽나무 등은 오존 처리에 의한 최대 광화학효율 저하가 나타나지 않았다(Fig. 1).

3.2. 잎의 가시적 피해

오존 처리된 수목들의 잎에 나타난 가시적 피해 증상은 잎 표면의 검은 반점, 엽 조직의 괴사 및 조기 낙엽 3가지로 나타났다. 잎 표면에 검은 점을 나타내는 수종은 대왕참나무, 백당나무, 산수유, 노각나무 등이었으며, 가장 먼저 피해 증상을 보인 수종은 대왕참나무와 백당나무로 오존 처리 3일 후부터 피해가 나타나기 시작했으며, 산수유는 7일 후

부터, 노각나무는 14일 후부터 피해가 나타나기 시작하였다. 떡윤노리, 산사나무, 뱃나무 등은 잎 조직의 괴사 증상이 나타났으며, 산사나무와 떡윤노리는 오존 처리 후 5일 후부터 뱃나무는 오존 처리 7일 후부터 잎의 괴사 현상이 발생하였다. 한편 가중나무는 오존 처리 14일 후부터 줄기의 하단부 앞에서 부터 조기 낙엽이 시작되었다.

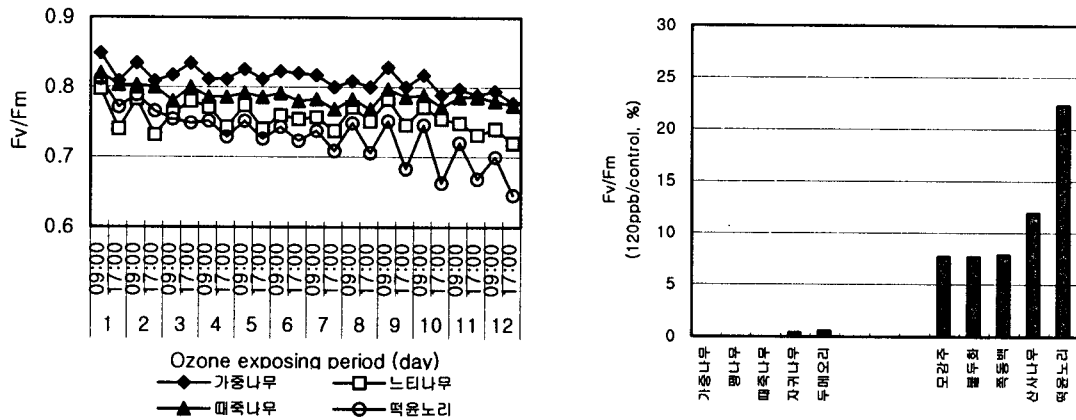


Figure 1. Changes of photoinhibition (left) and rate of ozone treatment to control (right) of chlorophyll fluorescence in the leaves of tree species

3.3. MDA 함량

일반적으로 오존 처리된 수목들은 잎 내 조직의 손상으로 인하여 체내 MDA 함량이 증가한다. 본 연구에서는 사스레나무의 MDA 함량은 대조구보다 52.5%가 증가하여 가장 높은 증가율을 나타냈으며, 그 다음은 느티나무, 박태기나무로서 대조구보다 각각 35.4, 32.5%의 증가율을 나타냈다(Fig. 2). 그러나 신나무, 벽오동, 가중나무 등은 대조구보다 낮은 MDA 함량을 나타내 오존에 의한 조직 손상이 나타나지 않았다.

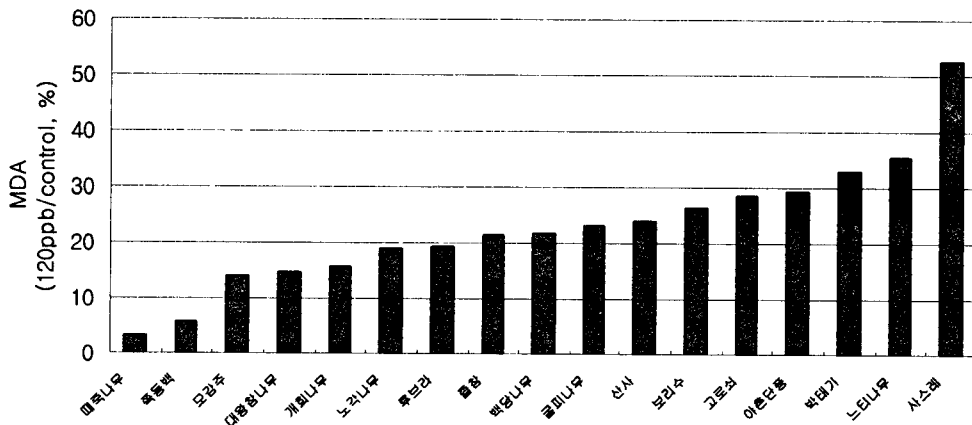


Figure 2. Rate of ozone treatment to control of MDA in the leaves of tree species

3.4. 엽록소 함량 변화

총 엽록소 함량은 오존 처리구에서 백당나무, 무궁화, 보리수나무 등이 대조구보다 크

게 감소한 것으로 나타났으며, 이들의 엽록소 함량은 대조구의 54.9, 58.3, 71.7%였다. 즉 이들 수종의 엽록소는 오존에 의해 영향을 받은 것으로 나타났다(Fig. 3). 일반적으로 오존에 노출된 식물의 잎에서 엽록소 함량은 감소한다. 그러나 개회나무, 쪽동백, 신나무 등은 대조구보다 오히려 높은 엽록소 함량을 나타냈다.

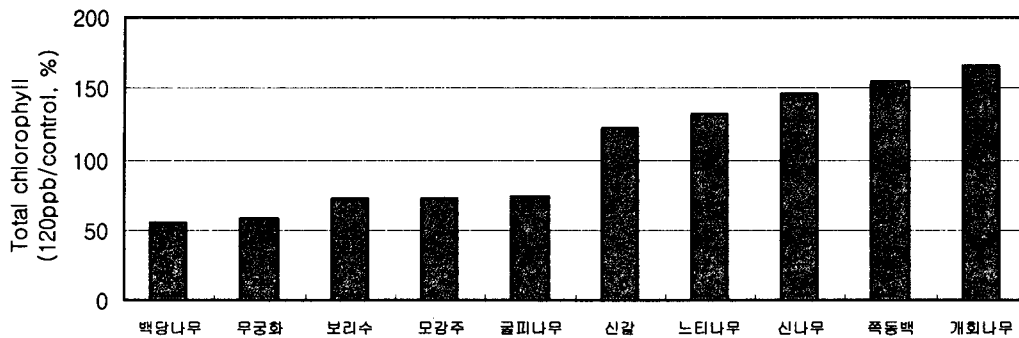


Figure 3. Rate of ozone treatment to control of total chlorophyll in the leaves of tree species

3.5. 활성산소 제거능 및 SOD 활성 변화

오존 노출시 체내에서 발생하는 활성 산소의 제거 능력은 오존에 의해 나타나는 스트레스를 완화시키는 능력과 같다. 대조구의 대상 수종 중 활성 산소 제거 능력이 가장 높았던 수종은 가중나무와 무궁화로 H_2O_2 의 제거율이 각각 96.3, 97.5%를 나타냈다. 반면 단풍나무와 루브라참나무는 가장 낮은 제거율인 72.2, 73.7%를 나타냈다. 한편 오존 처리된 수종의 활성 산소 제거율은 개회나무와 가중나무가 가장 높은 값으로 대부분의 H_2O_2 가 제거되는 것으로 나타났으나, 루브라참나무와 대왕참나무는 제거율은 64.2, 65.6%로 매우 낮은 값을 나타냈다. 대조구와 오존 처리구를 비교한 결과, 굴참나무와 노각나무의 제거율은 오존 처리로 크게 감소하여 대조구의 79.4, 81.6%까지 감소하였으나, 가중나무와 개회나무는 대조구와 큰 차이를 보이지 않았다.

$O_2^{\cdot-}$ 의 제거율은 대부분의 수종에서 매우 낮은 값을 나타냈다. 특히 무궁화와 벽오동의 $O_2^{\cdot-}$ 제거율은 각각 7.5, 8.5%를 나타냈으며, 가장 높은 $O_2^{\cdot-}$ 의 제거율을 보이는 것은 신나무로 52.2%였으며, 그 다음은 사스레나무로 39.6%의 제거율을 나타냈다.

$O_2^{\cdot-}$ 를 H_2O_2 로 전환하는 SOD 활성은 사스레나무와 신나무가 대조구보다 2.4, 1.7배 정도 증가하여 활성 산소를 효과적으로 제거하는 것으로 나타났으나, 무궁화와 가중나무의 SOD 활성은 대조구의 42.6, 46.6%로 매우 낮은 값을 나타내 $O_2^{\cdot-}$ 의 제거 능력이 매우 낮은 것으로 나타났다.