

CO₂와 O₃ 농도 증가에 따른 현사시나무의 성장, 광합성 및 광색소 함량 변화

한심희¹, 김길남^{1*}, 김두현¹, 신수정²

¹국립산림과학원 산림유전자원부, ²충북대학교 목재종이과학과

Changes on growth, photosynthesis and pigment contents of the populus alba × P. grandulosa under enhanced CO₂ and O₃ concentration

S. H. Han¹, G. N. Kim^{1*}, D. H. Kim¹, and S. J. Shin²

¹Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Republic of Korea, ²Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-736, Republic of Korea

1. 서 언

인간 활동에 의해 지구의 대기 중 CO₂와 O₃ 농도가 지속적으로 증가되고 있는데, 이러한 미량 가스들은 각각 서로 다른 방법으로 식물의 성장과 광합성에 영향을 미친다. 생태계 내에서 높은 비율을 차지하고 있으며, 식물의 성장에 중요한 요소 중의 하나가 바로 탄소이기 때문에 산림에서 대기 중 CO₂와 O₃ 농도 증가로 인한 식물의 반응을 이해하는 것은 매우 중요하다. 대기 중 CO₂ 농도 증가는 식물의 광합성 활성화와 성장을 촉진시킨다. 그러나 O₃은 식물의 성장에 유해한 오염물질로써 O₃ 농도의 증가는 대기 중 CO₂ 농도 증가로 인한 산림의 성장과 탄소 저장능력을 약화시키는 경우가 있다. 대기 중 CO₂와 O₃ 농도는 앞으로 계속 증가할 것으로 예상되기 때문에 산림생태계에서 CO₂와 O₃의 상호작용에 관한 복합적인 이해가 반드시 필요하다. 그러나 아직까지 CO₂와 O₃의 상호작용이 산림 생태계에서 어떻게 영향을 미치는지에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 기존의 연구 결과들에 따르면, 높은 CO₂ 농도 하에서 O₃ 농도가 증가하면 초기에는 O₃에 의한 효과로 식물의 광합성에 영향을 미쳐 생장이 감소하지만, 시간이 지날수록 식물의 성장을 더 이상 악화시키지 않는 것으로 보고되었다. 또한, 높은 CO₂ 농도 하에서 O₃ 농도가 증가해도 식물의 성장에 영향을 미치지 않는다는 연구결과도 있었다.

본 연구는 최근 전 지구적으로 문제시 되고 있는 기후변화와 관련하여, 우리나라에서의 대기 중 CO₂와 O₃ 농도 증가에 따른 수목의 성장 및 생리 반응 변화를 예측하고자 실시되었다. 이를 위해서 다양한 환경에 쉽게 적응하고 생장이 빠르며, 높은 증산량으로 오염물질을 흡수하고 분해하는 기능이 뛰어난 포플러 수종 중 현사시나무를 대상으로 CO₂와 O₃ 농도 증가에 따른 성장 및 생리적 특성 변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

공시 재료는 다양한 환경에서 쉽게 적응하고 생장이 빠른 현사시나무(*Populus alba* × *P. grandulosa*)를 대상으로 하였다. CO₂와 O₃ 농도는 우리나라 수목의 생육 기간과 IPCC 보고서에 제시된 시나리오에 근거하여, 100년 후 CO₂와 O₃ 예상 농도인 800ppm과 70ppb를 적용하였으며, 처리기간은 4월부터 9월까지 총 6개월간 실시하였다.

모든 처리가 끝난 후, 잎, 줄기, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하였으며, 이를 이용하여 지상부와 지하부의 비(S/R)를 구하였다. CO₂ 농도 변화에 따른 광합성 반응(A-CI)은 엽육 내 CO₂ 농도 변화에 따른 광합성속도 변화를 이용하여 측정하였으며, 광변화에 대한 광합성 반응(광-광합성)은 광량에 따른 광합성 속도를 측정하였다.

엽 내 광색소 함량 측정은 dimethyl sulphoxide(DMSO)를 이용하여 추출하는 Hiscox and Israelstam(1979)의 방법을 사용하였다. 0.1g 생엽에 DMSO 10mL를 첨가하고 70°C의 항온 수조에서 2시간 동안 유지하여 색소를 추출하였다. 추출액의 흡광도는 470, 645, 663nm에서 측정하였다.

3. 결 과

CO₂ 및 O₃ 농도 증가가 현사시나무의 생장에 미치는 영향을 알아보기 위해, 모든 처리가 종료된 후 잎, 줄기, 뿌리 건중량과 총 건중량을 분석한 결과, CO₂ 농도가 높은 처리구에서 잎, 줄기, 뿌리 건중량과 총 건중량 모두 가장 높은 값을 나타냈다. O₃ 농도가 높은 처리구에서는 잎, 줄기의 건중량은 가장 낮은 값을 보였지만, 뿌리의 건중량은 오히려 대조구와 CO₂ + O₃ 처리구보다 높았다. 지상부와 지하부의 비(S/R)역시 다른 처리구에 비해 O₃ 농도가 높은 처리구에서 가장 낮은 값을 보였으며, CO₂ + O₃ 처리구에서 S/R 율이 가장 높은 값을 나타냈다(Table 1). 일반적으로 CO₂ 농도가 높을 때, 지상부와 지하부 모두 생장이 증가하지만, 지상부의 생장이 지하부보다 상대적으로 더 많이 증가하여 S/R 율이 증가한다.

Table 1. Differences of dry weight and shoot: root ratio (S/R) of *Populus alba* × *P. grandulosa* at different CO₂ and O₃ concentrations.

Treatment	Dry weight(g)				S/R
	Leaf	Stem	Root	Total	
Control	3.40±1.63	1.85±1.66	3.90±1.61	9.15±4.80	1.29±0.37
O ₃	2.09±1.02	0.88±0.51	4.35±0.85	7.32±2.08	0.67±0.28
CO ₂	4.41±1.57	2.54±1.25	4.90±1.63	11.85±4.24	1.42±0.24
CO ₂ + O ₃	2.89±1.65	1.34±0.98	2.76±1.01	6.99±2.64	1.62±0.85
Pr> F	CO ₂	ns	ns	ns	**
	O ₃	**	**	ns	ns
	CO ₂ ×O ₃	ns	ns	**	ns

All values are means of ten replicates±SD; *≤0.05, **≤0.01, and ns: non-significance.

현사시나무의 잎에서 측정된 광합성 관련 변수들을 살펴보면, 탄소고정효율 및 광호흡속도가 O₃ 처리구와 CO₂ + O₃ 처리구에서 높은 값을 보였다(Table 2). 일반적으로 CO₂ 농도가 증가하면 식물의 광합성은 증가하는 것으로 알려져 있으며, O₃에 노출된 식물은 광합성이 감소하는 것으로 보고되고 있다. 그러나 일부 연구에서는 O₃ 농도가 높은 처리구에서 생육한 식물이 CO₂ 농도가 높은 처리구에서 생육한 식물보다 광호흡속도가 높다는 연구결과도 있었다. 현사시나무 잎에서 측정된 기공전도도 및 증산속도를 살펴보면 CO₂ 농도가 높은 처리구에서 가장 낮은 값을 보였으며(Table 3), 수분이용효율은 CO₂와 O₃ 농도가 높은 처리구에서 높았다(Fig. 1). 일반적으로 CO₂ 농도가 증가하면 식물의 기공전도도는 감소하고, 수분이용효율은 증가하는 경향이 있다.

Table 2. Differences of photosynthetic parameters in the leaves of *Populus alba* × *P. grandulosa* at different CO₂ and O₃ concentrations.

Treatment	Carboxylation efficiency (mmol CO ₂ mol ⁻¹)	Photo respiration (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Dark respiration (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Apparent quantum yield (mmol CO ₂ mol ⁻¹)	Light compensation point (μmol m ⁻² s ⁻¹)
Control	0.04±0.01	2.30±0.06	0.74±0.25	0.05±0.01	13.75±4.87
O ₃	0.05±0.01	3.00±0.05	0.92±0.29	0.06±0.01	15.15±4.03
CO ₂	0.03±0.01	1.80±0.31	1.14±0.15	0.06±0.01	19.74±2.00
CO ₂ + O ₃	0.05±0.01	2.90±0.60	0.93±0.16	0.06±0.01	16.12±3.60
Pr> F	CO ₂	ns	ns	ns	ns
	O ₃	**	**	ns	ns
	CO ₂ × O ₃	ns	ns	ns	ns

All values are means of three replicates±SD; **≤0.01, and ns: non-significance.

Table 3. Differences of photosynthetic characteristics in the leaves of *Populus alba* × *P. grandulosa* at different CO₂ and O₃ concentrations.

Treatment	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Control	14.08±1.48	0.382±0.157	4.77±0.93
O ₃	16.93±1.56	0.306±0.059	4.25±0.52
CO ₂	11.41±1.65	0.204±0.075	3.31±0.80
CO ₂ + O ₃	17.38±2.35	0.454±0.118	5.37±0.84
Pr > F			
CO ₂	ns	ns	ns
O ₃	**	ns	ns
CO ₂ ×O ₃	ns	*	*

All values are means of three replicates±SD; *≤0.05, **≤0.01, and ns: non-significance.

CO₂와 O₃ 농도 변화에 따른 현사시나무의 잎 내 광색소 함량은 Table 4에 나타냈다. CO₂와 O₃ 농도가 증가하면서 엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량 뿐 만 아니라 카로테노이드 함량 모두 대조구에 비해 증가하였으며, 특히, O₃ 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 그러나 엽록소 a/b 비는 O₃ 처리구에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 광색소 함량은 스트레스를 받으면 감소하는 특징을 가지고 있으며, 수종 간 반응 차이도 매우 크게 나타나는 인자이다. 일부 수종의 경우, 스트레스 처리 후, 광색소 함량이 증가하는 결과를 나타내기도 해서, 스트레스의 민감성 평가를 하는데, 매우 혼란스러운 결과를 가져오기도 한다.

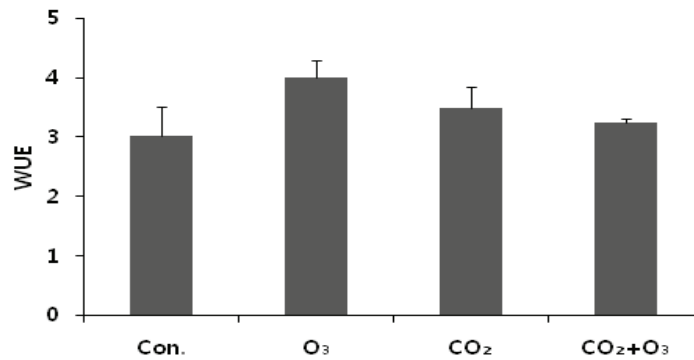


Fig 1. Differences of water use efficiency in the leaves of *Populus alba* × *P. grandulosa* at different CO₂ and O₃ concentrations.

Table 4. Differences of photosynthetic pigment content in the leaves of *Populus alba* × *P. grandulosa* at different CO₂ and O₃ concentrations.

Treatment	Chl. a	Chl. b	Chl. a+b	Car.	Chl a/b	Chl/Car
	mg g ⁻¹					
Control	1.72±0.26	0.54±0.07	2.27±0.33	0.44±0.06	3.17±0.15	5.19±0.12
O ₃	2.99±0.24	1.53±0.57	4.52±0.80	0.81±0.10	2.17±0.65	5.53±0.33
CO ₂	1.76±0.26	0.64±0.07	2.40±0.32	0.48±0.05	2.74±0.19	4.97±0.26
CO ₂ + O ₃	2.54±0.08	0.77±0.03	3.31±0.10	0.63±0.02	3.29±0.05	5.25±0.05
CO ₂	***	***	***	***	***	***
Pr) F O ₃	***	***	***	***	*	***
CO ₂ ×O ₃	***	***	***	***	***	ns

All values are means of five replicates±SD; *≤0.05, ***≤0.001, and ns: non-significance.

인용문헌

Hiscox, J. D., and G. F. Israelstam, 1978: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* **57**: 1332-1334.