

ブナ苗の光合成活性と葉の窒素・硫黄利用に対する SO₂ と土壌への窒素負荷の複合影響

○山口真弘¹⁾, 田辺千佳子¹⁾, 那波純一¹⁾, 渡辺 誠²⁾, 松村秀幸³⁾, 河野吉久³⁾, 伊豆田 猛¹⁾
¹⁾ 東京農工大学大学院, ²⁾ 北海道大学大学院, ³⁾ (財)電力中央研究所

【はじめに】二酸化硫黄(SO₂)は、植物に対する毒性が高いガス状大気汚染物質である。東アジア諸国における SO₂ の排出量と大気濃度は今後も増加することが予測されており、日本においても越境大気汚染によって SO₂ 濃度が上昇することが懸念されている。一方、化石燃料の大量消費などによって、大気への窒素放出量が増加しており、それに伴って大気から地表面への窒素沈着量が増加することが予測されている。そのため、日本の森林を構成する樹木は、SO₂ と土壌への窒素沈着の複合影響を受ける可能性がある。しかしながら、樹木の光合成活性や葉における窒素・硫黄利用に対する SO₂ と土壌への窒素負荷の複合影響はまったく明らかにされていない。そこで本研究では、日本の代表的な落葉広葉樹であるブナの苗木の光合成活性と葉の窒素・硫黄利用に対する SO₂ と土壌への窒素負荷の複合影響を明らかにすることを目的とした。

【材料と方法】2004 年 3 月に、黒ボク土を詰めた 12 L のポットにブナの 2 年生苗を移植した。2004 年 4 月に、電力中央研究所赤城試験センターに設置されているオープントップチャンバー(OTC)内に苗木を移し、ガス処理と土壌への窒素処理を行った。ガス処理区として、浄化空気区(CF 区)と 10 ppb, 20 ppb または 40 ppb の SO₂ を 24 時間/日で暴露した 3 つの SO₂ 処理区を設定した。2004 年と 2005 年の 4 月から 9 月に、毎月 1 回、土壌への窒素負荷量が 0, 20 または 50 kg ha⁻¹ year⁻¹ となるように脱イオン水または硝酸アンモニウム溶液を土壌表面に添加し、それぞれを N0 区、N20 区および N50 区とした。4 段階のガス処理と 3 段階の窒素処理を組み合わせ、合計 12 処理区を設定した。2005 年 7 月に、葉の純光合成速度、Rubisco 活性・濃度、クロロフィル濃度、窒素濃度、硫黄濃度、窒素代謝系および硫黄代謝系に関わる物質の濃度と酵素の活性を測定した。

【結果と考察】ブナ苗の葉の純光合成速度に SO₂ と土壌への窒素負荷の有意な交互作用が認められ、SO₂ による純光合成速度の有意な低下は、N0 区と N20 区では認められなかったが、N50 区で認められた。また、Rubisco 濃度と葉の窒素濃度に対する Rubisco 態窒素濃度の比(Rubisco-N/N)に両処理の有意な交互作用が認められ、N50 区における Rubisco 濃度と Rubisco-N/N が SO₂ によって有意に低下した。

SO₂ が葉内に吸収されると、細胞に対する毒性が高い亜硫酸イオン(SO₃²⁻)が生成される。SO₂ によって生成された SO₃²⁻は、最終的にグルタチオンまたは硫酸イオン(SO₄²⁻)に代謝される。ブナ苗の葉の SO₃²⁻濃度に両処理の有意な交互作用が認められ、SO₂ による SO₃²⁻濃度の有意な増加は、N0 区や N20 区では認められなかったが、N50 区で認められた。一方、いずれの窒素処理区においても、SO₂ によってグルタチオン濃度が有意に増加した。葉の SO₄²⁻濃度に両処理の有意な交互作用が認められ、N50 区における SO₂ による SO₄²⁻濃度の増加程度は、N0 区や N20 区のそれに比べて低かった。

以上のことから、土壌への窒素負荷量が比較的多い処理区で育成したブナ苗の葉では、SO₂ によって葉内で生成された SO₃²⁻を SO₄²⁻に代謝する能力が低下した結果、葉内に SO₃²⁻が蓄積し、光合成への窒素利用が抑制されたため、SO₂ による光合成活性の著しい低下が認められたと考えられる。本研究は、環境省地球環境研究総合推進費「C-7 東アジアにおける酸性・酸化性物質の植生影響評価とクリティカルレベル構築に関する研究」の一環として行われた。

ブナ苗の葉における純光合成速度、Rubisco濃度、葉の窒素濃度に対するRubisco態窒素濃度の比(Rubisco-N/N)、グルタチオン濃度、硫酸イオン(SO₄²⁻)濃度、亜硫酸イオン(SO₃²⁻)濃度に対するSO₂と土壌への窒素負荷の複合影響。

Treatment		純光合成速度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Rubisco濃度 ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}$)	Rubisco-N/N (mg mg^{-1})	グルタチオン濃度 ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)	SO ₄ ²⁻ 濃度 ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)	SO ₃ ²⁻ 濃度 ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)
Gas	N						
CF	N0	5.1 (0.1) f	8.6 (1.3) d	0.213 (0.020) abc	0.469 (0.024)	9.6 (0.8) ef	0.381 (0.127) bc
10 ppb SO ₂	N0	5.3 (0.3) ef	9.5 (0.3) bcd	0.259 (0.020) ab	0.456 (0.069)	11.9 (1.0) def	0.322 (0.124) c
20 ppb SO ₂	N0	6.1 (0.6) def	8.3 (1.1) d	0.207 (0.029) abc	0.515 (0.108)	21.3 (3.6) cde	0.511 (0.066) abc
40 ppb SO ₂	N0	6.3 (1.3) cdef	8.5 (1.1) d	0.194 (0.013) bc	0.767 (0.077)	52.0 (7.4) a	0.356 (0.114) bc
CF	N20	7.9 (0.5) bcd	8.0 (0.4) d	0.243 (0.016) bc	0.494 (0.092)	9.5 (3.0) ef	0.328 (0.081) bc
10 ppb SO ₂	N20	8.1 (0.6) bc	9.5 (1.1) bcd	0.203 (0.009) abc	0.630 (0.103)	12.7 (2.3) def	0.517 (0.097) abc
20 ppb SO ₂	N20	7.6 (0.1) bcd	10.4 (2.1) bcd	0.239 (0.025) abc	0.535 (0.052)	17.9 (4.4) def	0.421 (0.089) bc
40 ppb SO ₂	N20	6.4 (0.2) cdef	10.5 (0.1) cd	0.195 (0.023) c	0.753 (0.084)	43.1 (8.3) ab	0.614 (0.064) ab
CF	N50	10.2 (1.1) a	15.0 (0.2) a	0.296 (0.028) a	0.446 (0.099)	8.8 (1.3) f	0.327 (0.064) c
10 ppb SO ₂	N50	7.2 (0.4) bcde	12.6 (1.9) b	0.265 (0.012) a	0.570 (0.093)	12.2 (1.5) def	0.545 (0.116) abc
20 ppb SO ₂	N50	9.2 (1.0) ab	12.7 (0.9) bc	0.183 (0.016) bc	0.744 (0.106)	22.2 (1.6) cd	0.459 (0.079) abc
40 ppb SO ₂	N50	6.4 (0.4) cdef	8.8 (0.3) bcd	0.200 (0.014) c	0.902 (0.141)	32.7 (5.5) bc	0.709 (0.113) a
ANOVA	SO ₂	*	n.s.	n.s.	***	***	**
	N	***	***	***	*	n.s.	*
	SO ₂ ×N	***	***	**	n.s.	*	*

括弧内の数字は標準偏差を示す。ANOVA: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$; n.s., not significant. 異なるアルファベットのついた値間には有意差がある ($p < 0.05$).