

開放系大気 CO₂ 増加 (FACE) 施設で育成したカバノキ属 3 種の葉面積指数の動態

北海道大学大学院農学院
 北海道大学大学院農学研究院
 北海道大学北方フィールド科学センター
 北海道大学大学院農学研究院

原 悠子・伊藤 寛剛・毛 巧芝
 渡辺 誠
 高木 健太郎・佐藤 冬樹
 小池 孝良

はじめに

18 世紀後半の産業革命以降、地球規模で大気 CO₂ 濃度は増加し続けている。CO₂ は植物の光合成の基質であるので、高 CO₂ 環境下では光合成速度が増加し、成長が促進することが予想されている(8)。例えば、熱帯雨林を対象としたシミュレーションでは、CO₂ 濃度が増加すると炭素吸収の働き(シンク)が期待できることが指摘されている(9)。群落の光合成生産は、LAI(葉面積指数: 単位面積あたりの葉面積; Leaf Area Index, m²・m⁻²)とその分布、吸光係数(7)、個葉の窒素濃度(3)によって規定される。高 CO₂ 環境では、上層木の LAI が上昇し、被陰された中下層の光強度は減少するが(9)、高 CO₂ 環境では、光補償点が低下するため(2)、被陰下でも個葉を維持し、LAI の増加は持続される(8)。一方で、ヤナギを用いた実験では高 CO₂ により LAI は一時的に増加するものの、被陰された葉は落葉し、LAI の増加は持続しない(5)。これらは相反する結果であるが、対象とした樹種が異なり、葉の垂直方向の配列にも違いが生じたことを理由として挙げる事ができる。そこで、本研究では、冷温帯森林の先駆樹種として一般的で、上層を一時的に構成するカバノキ属に注目した。

カバノキ属は北半球の冷温帯・亜寒帯に広く分布しており、ダケカンバ、ウダイカンバ、シラカンバは国内の代表的な樹種である。3 種とも成長の早い陽樹であるが、生育環境や生態的特性が異なる。ダケカンバは、ウダイカンバやシラカンバと比較し、冷涼な気候条件である比較的標高の高い場所に生育する(4)。ウダイカンバは寿命が長く、大径化する(4)。シラカンバは、典型的な先駆種であり、他 2 樹種と比較して寿命が短い(4)。カバノキ属は、一斉開葉である春葉とその後に順次に展開する夏葉を持っており、高 CO₂ 環境で葉のフェノロジーが変化するならば、LAI も変化すると思われる。これら 3 種の LAI が高 CO₂ 環境で変化するのであれば、その後、林床に生育する遷移後期種の稚樹の生育も含めて森林生態系に与える影響は大きいと考えられる。

実際に我々は CO₂ 付加 2 年目の 2011 年に行った実験で、LAI の CO₂ 応答の樹種による違いを確認した。CO₂ 付加 2 年目の 2011 年に行った実験では、ダケカンバは高 CO₂ 処理により個葉寿命が増加し 10 月に LAI が増加した(1)。ウダイカンバでは高 CO₂ 処理により個葉面積が増加し、8 月に LAI が増加した(1)。シラカンバは高 CO₂ 処理によって枝分かれが増加することで葉数も増加し、6 月末～7

月に LAI が増加した(1)。高 CO₂ 処理により、各樹種で LAI は増加したが、増加時期や増加要因が樹種により異なることがわかった(1)。前年と同じ反応が見られるのであれば、CO₂ 付加 3 年目も高 CO₂ 処理によってカバノキ属 3 種の LAI は増加し、また、LAI の季節変化や垂直分布には樹種間差がみられると予想した。しかしながら、樹木の高 CO₂ 環境での成長には、経年変化が報告されており(6)、多年にわたる実験が必要であると考えられる。

そこで本研究ではカバノキ属 3 種の 4 年生幼樹を対象として、野外に近い環境で CO₂ 付加実験を行い、LAI とその垂直分布の季節変化を追った。

材料と方法

本研究では北海道大学北方フィールド圏フィールド科学センター札幌研究林実験苗畑(N43°07', E 141°38', 15 m a.s.l.)に設置された開放系大気 CO₂ 増加(FACE, Free Air CO₂ Enrichment)施設を用いて行った。2010 年 5 月末にダケカンバ (*Betula ermanii*)、ウダイカンバ (*Betula maximowicziana*)、シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*) の 2 年生苗を、個体サイズをそろえて褐色森林土に植栽間隔 50~55cm で植栽した。CO₂ 処理として対照区(CO₂ 無付加, 約 380~390ppm)と高 CO₂ 区(500ppm, 2040 年頃を想定)をそれぞれ 3 サイト設けた。測定は、CO₂ 付加 3 年目となる、2012 年の 4 月より、4 年生の幼樹(樹高 3.5m~5.0m)を対象に行った。

測定は同一樹種の群落を対象とし、地表面から高さ 0.5m ごとに 5 月末より測定を行った。LAI は LAI-2200, LAI-2000(LI-Cor 社)、単位面積あたりの窒素量(N_{area} , g・m⁻²)はアグリエキスパート(サタケ社)、相対光量は可視域用フォトダイオード(浜松ホトニクス社)を用いて測定を行った。また、LAI と相対光量の結果から吸光係数(K)を算出した。

LAI、吸光係数および樹高についての統計解析は分散分析(Nested-ANOVA)を用い、固定効果を CO₂ 処理、変量因子をサイトとした。 N_{area} に関する統計解析は一般化線形混合モデル(GLMM)の尤度比検定を用い、説明変数の固定効果を CO₂ 処理と高さ、変量効果をサイトとした。 $p < 0.05$ で有意差ありとした。

結果

ダケカンバとウダイカンバでは、生育期間を通して高 CO₂ による有意な LAI の増加は見られなかった(図-1)。

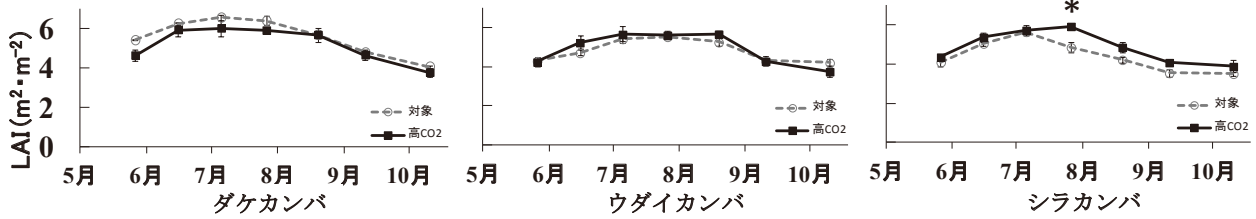


図-1 LAIの変化

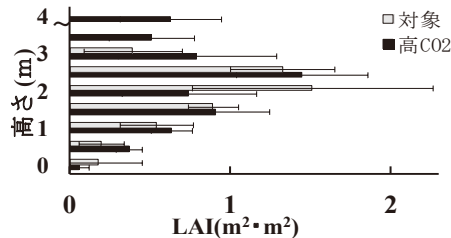


図-2 シラカンバLAIの垂直分布変化(7月)

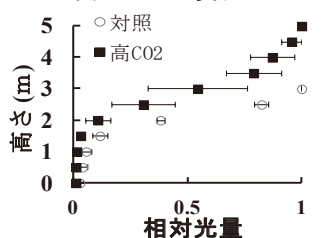


図-3 シラカンバ相対光量(7月)

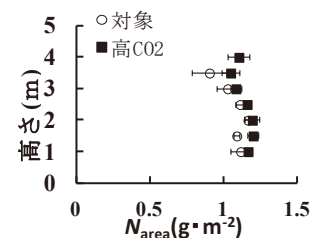


図-4 シラカンバN_area(7月)

一方、シラカンバでは、7月末に LAI の有意($p < 0.05$)な増加が認められた(図-1)。この時期のシラカンバの LAI の垂直分布(7月)を図-2 に示す。地表面から 3m までは、CO₂ 処理の有意な影響は見られなかったが、高 CO₂ 区では葉の分布が上層(高さ 3.5m 以上)まで拡大していた。同時期におけるシラカンバ群落の相対光量は減少した。また、吸光係数は(K)は、対照区で $0.59(\pm 0.031)$ 、高 CO₂ 区で $0.71(\pm 0.007)$ となり、高 CO₂ 区で有意に大きくなった。シラカンバの 7 月末における N_{area} は(図-4)高 CO₂ 区で高い傾向($p = 0.1158$)であった。

考察

CO₂ 付加 2 年目とは異なり、CO₂ 処理による LAI の増加はシラカンバでのみ見られ、先に述べたようにダケカンバ、ウダイカンバでは LAI の明瞭な増加は観察されなかった。シラカンバでは、高 CO₂ 処理で 7 月下旬の LAI が増加した。これは、高 CO₂ 処理による樹高成長の増加(平均樹高 ± SE; 対照: 355 ± 6 cm, 高 CO₂: 434 ± 15 cm; $p < 0.001$) に伴ってシュート(枝+葉)をより多く展開させたためであると考えられる。しかし、LAI の増加は一時的であり 8 月中旬には対照区との間に有意な差は見られなかった。7 月下旬において、高 CO₂ 区では吸光係数が増加していた。LAI と吸光係数の両方が高 CO₂ 処理によって増加したことから、高 CO₂ 区では樹冠下部の光環境が悪化したと言える。その結果、高 CO₂ 区の樹冠下部で落葉が進行し 8 月中旬には対照区と高 CO₂ の間に有意差が見られなくなったと考えられる。

高 CO₂ 区では対照区より N_{area} が高い傾向にあった。もし、これらの窒素がクロロフィルなどの集光部位に多く配分され、その結果として光補償点が低下するならば、樹冠下部での葉の維持が可能となる。しかし、高 CO₂ に伴う LAI の増加は一時的であったことから、増加した窒素が対陰性の増加には繋がらなかったと考えられる。

本研究の結果、高 CO₂ 環境における LAI の動態には種間差があることが明らかになった。このことから、同じカバノキ属の中でも、将来の高 CO₂ 環境による炭素貯留・成長の増加に差が出るのが考えられた。また、これらの違いが将来の森林の更新・樹種構成に影響するこ

とも予想される。

謝辞

本研究は、日本学術振興会の新学術領域研究(21114008)および若手研究(B-24710027)の一部支援を得た。記して感謝する。

引用文献

- (1) 原 悠子・伊藤 寛剛・渡辺 誠・高木 健太郎・斎藤 秀之・渋谷 正人・小池 孝良 (2012) 開放系大気 CO₂ 増加施設で育成したカバノキ属 3 種のシュートの動態 [CO₂ 付加 2 年目の効果- 北方森林研究 60:39-40
- (2) Hättenschwiler S. (2001) Tree seedling growth in natural deep shade: functional traits related to interspecific variation in response to elevated CO₂. *Oecologia* 129:31-42
- (3) Hirose T. and Werger MJA. (1987) Nitrogen use efficiency in instantaneous and daily photosynthesis of leaves in the canopy of a *Solidago altissima* stand. *Physiologia Plantarum* 70:215-222
- (4) 伊藤隆夫・佐野雄三・安部久・内海泰弘・山口和穂 (2011) カラー版日本有用樹木誌. 海青社, 滋賀, 238pp.
- (5) Koike T., Kohda H., Mori S., Takahashi K., Inoue M. T. and Lei T. T. (1995) Growth Responses of the Cutting of Two Willow Species to Elevated CO₂ and Temperature. *Plant Species Biology* 10:95-101.
- (6) Körner C. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* 172:393-411
- (7) Monsi M. and Saeki T. (1953) Über den Lichtfactor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14:22-52
- (8) Norby RJ., Wullschlegel SD., Gunderson CA., Johnson DW. and Ceulemans R. (1999) Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell and Environment* 22:683-714
- (9) Oikawa T (1986) Simulation of forest carbon dynamics based on a dry-matter production model III. Effects of increasing CO₂ upon a tropical rainforest ecosystem. *The Botanical Magazine Tokyo* 99: 419-430.