

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 —CO₂付加4年間の経時変化—

北海道大学大学院農学院
東京農工大学大学院農学研究院
北海道大学北方生物圏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
渡辺 誠
高木 健太郎・佐藤 冬樹
毛 巧芝・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、幹や枝の伸長成長が促進することが予想されている(5)。CO₂濃度が増加すると上層木の葉が繁茂し、LAI(葉面積指数:単位面積あたりの葉面積; Leaf Area Index, m²m⁻²)が上昇することが熱帯雨林を対象としたシミュレーションで予測された(9)。上層の葉が繁茂すると、被陰された中下層の光強度は減少する。ヤナギを用いた実験では高 CO₂による LAI の増加は一時的で、被陰された葉は落葉し、LAI の増加は持続しないという報告がされている(6)。一方、高 CO₂環境では、光補償点が低下するため(3)、被陰下でも個葉を維持し、LAI の増加は持続される可能性が指摘された(8)。先行の FACE 研究では LAI が小さい林分では CO₂付加により LAI は増加するが、林冠が発達した LAI が大きい林分では、CO₂付加による LAI の増加が見られないという報告がされた(7)。

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、カバノキ属の中でもっとも標高の高い場所に生育するが北海道では低地から高標高地まで広く生育する(10)。また、シラカンバより耐陰性があるとされる(10)。ウダイカンバは寿命が長く、大径化し、先駆種と極相構成種としての性格を併せ持つ(10)。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(10)。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いる。高 CO₂環境でカバノキ属の葉のフェノロジーが変化する(4)とすれば、LAI も変化すると考えられる。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。

そこで本研究ではカバノキ属3種を対象として、野外に近い環境で CO₂付加実験を行い、生育初期4年間(2年生~5年生)の LAI の経時変化を追った。高 CO₂環境において、1)カバノキ属の LAI は増加するか、2)樹種間差はあるのかを調べることを目的とした。

材料と方法

研究サイトは北海道大学北方生物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)施設である。2010年5月末にダケカンバ(*Betula ermanii*)、ウダイカンバ(*B. maximowicziana*)、シラカンバ(*B. 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 390ppm)と高 CO₂区(500ppm, 2040年頃を想定)を3反復で設けた。

LAI は同一樹種の群落を対象とし、林冠の開鎖前の2010年は、個葉の面積と葉数から LAI を算出し、林冠閉鎖後の2011年からは、LAI-2200, LAI-2000(プラントキャノピーアナライザー(LI-Cor社))で約3週毎に測定した。

統計解析は枝分かれ分散分析(Nested-ANOVA)を用い、固定効果を CO₂処理、変量因子をサイトとした。p < 0.1 で有意差有りとした。図のエラーバーは標準誤差を示す。

結果

ダケカンバでは CO₂付加により1年目(2010年)および2年目(2011年)の年平均で、LAI の増加が見られた(図-1, 2)。しかしながら、CO₂付加2年目以降、高 CO₂により LAI の季節変化に大きな違いはなく、3~4年目は LAI の明らかな増加は見られなかった(図-1)。ウダイカンバでは1年目においては CO₂付加による LAI の増加は見られなかった(図-1, 2)。翌年の CO₂付加2年目の夏(8月)には CO₂付加により LAI が増加したが(図-1), 3~4年目の CO₂付加の影響は見られなかった(図-1, 2)。シラカンバでは1年目に CO₂付加により LAI が大きく増加した(p=0.12)(図-1, 2)。また、2年目、3年目の初夏(7月末)に高 CO₂区で LAI が増加し、LAI の年平均も CO₂付加により増加した(図-1, 2)。しかし、LAI が大きくなるにつれて、CO₂付加による LAI の増加率は低下した(図-2)。CO₂付加4年目である2013年は3樹種すべてで CO₂付加による LAI の増加は見られなくなった(図-1, 2)。CO₂付加による LAI の増加率は、LAI が小さいときに大きく、LAI が大きくなるにつれて増加率が小さくなった(図-2)。

Yuko HARA (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Makoto WATANABE (Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology 183-8538), Kentaro TAKAGI, Fuyuki SATO (Field Science Center for Northern Hemisphere, Hokkaido Univ., Sapporo 060-0809), Qiao-zhi MAO, Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589)

Dynamics of Leaf Area Index of 3 kinds of birch species grown under free air CO₂ enrichment (FACE) system –Temporal changes of CO₂ exposure for 4 years–

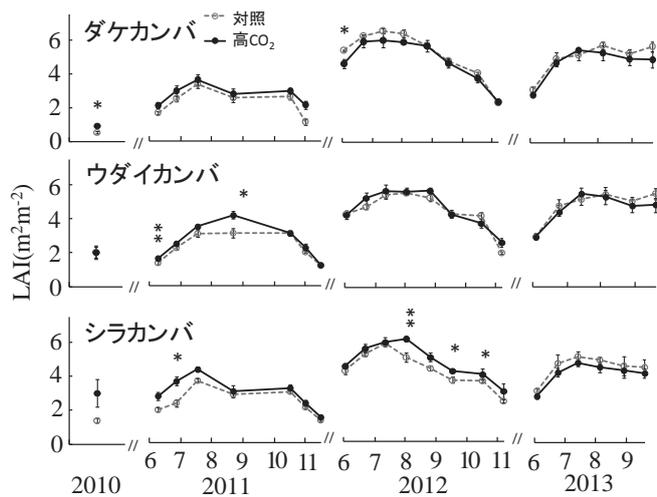


図-1 LAIの季節変化 (** $p<0.05$, * $p<0.1$)

考察

カバノキ属 3 種において CO₂ 付加により成長初期に LAI が増加した。また、CO₂ 付加による LAI の増加は樹種により時期や増加した要因が異なっていた。ダケカンバでは、CO₂ 付加 2 年目以降、CO₂ 付加による LAI の有意な増加はなかった。ウダイカンバは 2 年目の 8 月の CO₂ 付加による LAI の増加があった。ウダイカンバの CO₂ 付加による LAI の増加は個葉面積が増加したことによると考えられた(I)。シラカンバでは CO₂ 付加により 1~3 年目の初夏に LAI が増加した。この CO₂ 付加による LAI の増加は、上層の枝わかれ(同時枝) の増加によると考えられる(I, 2)。シラカンバはダケカンバ、ウダイカンバと比較し、CO₂ 付加による樹高などの成長も促進されており、葉を展開することができる空間が大きくなった(II) ことも寄与していると考えられる。

CO₂ 付加による LAI の増加率は比較的 LAI が小さい成長初期において高く、LAI が大きくなるにつれ小さくなる。これは、世界の FACE における LAI の先行研究(7)と同様の傾向を示した。CO₂ 付加による成長の増加により、上層の葉の展葉は増加するが、その結果、中下層に到達する光は減少し、光の制限により下層の葉が落葉するため、LAI が大きな林分では高 CO₂ 環境であっても LAI は増加しないと考えられる。

本研究の結果、CO₂ 付加によるカバノキ属の LAI の増加は成長初期におこることが明らかになった。高 CO₂ 環境においても光の制限が着葉量の制限要因となっていると考えられる。また、CO₂ 付加による LAI の増加の程度や季節、期間には、近縁であるカバノキ属 3 種の間にも、種間差があった。高 CO₂ 環境において種間の競争に変化が生じ、生態系の種構成にも影響することが予測される。

謝辞

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

引用文献

(I) 原 悠子・伊藤 寛剛・渡辺 誠・高木 健太郎・斎藤 秀

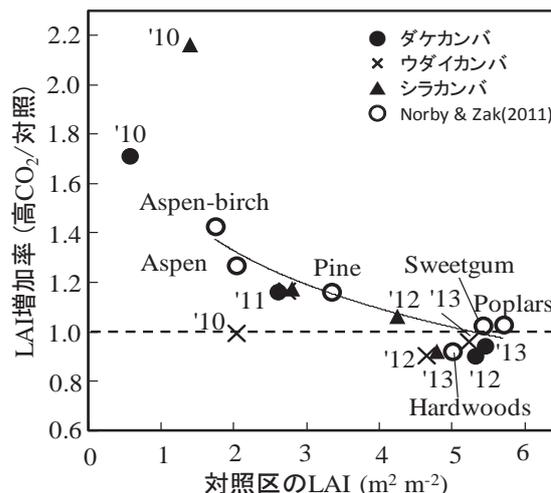


図-2 LAIの増加率(Norby & Zak (2011) を改作)

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) 原 悠子・伊藤 寛剛・渡辺 誠・毛 巧芝・高木 健太郎・佐藤 冬樹・小池 孝良 (2013) 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. 北方森林研究 61 : 41-42.
- (3) 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.
- (4) 伊藤 寛剛 (2011) 開放系大気 CO₂ 増加 (FACE) 施設で育成したカバノキ属 3 種のシュートの生物季節学的研究 - 樹木医学的視点からの解析. 北海道大学造林学研究室 卒業論文.
- (5) Koike T (1995) Effects of CO₂ in interaction with temperature and soil fertility on the foliar phenology of alder, birch, and maple seedlings. Can. J. Bot. 73: 149-157.
- (6) Koike T, Kohda H, Mori S, Takahashi K, Inoue MT and Lei TT (1995) Growth responses of the cutting of two willow species to elevated CO₂ and temperature. Plant Species Biology 10: 95-101.
- (7) Norby RJ and Zak DR (2011) Ecological lessons from Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) Experiments. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics 42: 181-203.
- (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.
- (10) 鈴木和夫・福田健二, 編著(2012) 図説 日本の樹木. 朝倉書店, 東京, 70pp.
- (11) Ward JK, Strain BR. 1999. Elevated CO₂ studies: past, present and future. Tree Physiology 19: 211-220.