

開放系大気 CO₂増加施設で育成したカンバ類の虫害

北海道大学大学院農学院 及川 聞多
 岩手大学農学部 松木 佐和子
 北海道大学大学院農学研究院 渡辺 誠・小池 孝良

はじめに

産業革命以降、大気中の CO₂濃度は上昇しており (4)、将来の森林の生産性の予測は重要である。森林の生産性を決定する要素の一つに昆虫による葉の食害が挙げられる。これは森林の葉の生産量の 2~15% を占めるといわれており (7)、将来における森林の生産性を予測する上で、高 CO₂環境が食害率に与える影響の評価は重要である。

高 CO₂環境下で昆虫の食害率に大きな影響を及ぼす要因として葉の被食防衛能力の上昇が挙げられる。高 CO₂環境により光合成が活発になると、光合成産物が増加、蓄積し、昆虫の成長にとって重要な養分である葉中の窒素は相対的に薄まる (1)。一方、炭素骨格を持つ樹木の被食防衛物質は光合成産物から合成されるため、高 CO₂による光合成産物の増加に伴って、防御物質も増加する場合がある (1)。このような変化は昆虫の生残や成長に対してマイナスに働くため (11)、食害率は低下する (5)。

しかし、食害率の高 CO₂応答は樹種によって異なると考えられる。これは被食防衛能の高 CO₂への応答が樹種によって異なるためである (8)。本研究ではカンバ類 (カバノキ属樹木) に着目した。カンバ類は北海道の主要樹種であり、その葉の食害率の変化は生態系に大きな影響を及ぼすと考えられる。また同属でも種によって高 CO₂に対する被食防衛能の応答が異なることが明らかにされている (8, 9)。

食害率の高 CO₂応答は食害する昆虫のタイプによっても異なると考えられている (1)。前述の被食防衛物質は葉脈など葉の特定の部位に多く分布 (局在) している (2, 6, 10)。高 CO₂環境では被食防衛物質の総量は増加しても、局在のパターンは変化しない場合がある (3)。一方、葉を摂食する昆虫には、葉の部位を選択的に摂食するものがある。そのうち、Skeletonizer (葉肉食者) と呼ばれる昆虫群は葉脈を避け葉肉のみを摂食する。このような摂食様式を持つ昆虫群は摂食部位を選ばない Chewer (葉食者) に比べて被食防衛能の影響が比較的少ないと推測され、高 CO₂の食害率への影響も少ないことが予想される。

以上を踏まえて、本研究では高 CO₂環境がカンバ類の食害率に与える影響が樹種によって異なるのか、また昆虫の食害様式 (Chewer または Skeletonizer) によって異なるのかについて明らかにすることを目的とした。

材料と方法

本研究は北海道大学北方生物圏フィールド科学センタ

一札幌研究林実験苗畑に設置された開放系大気 CO₂増加 (FACE) 施設の褐色森林土壌区において行った。試験期間中の対照区の大気 CO₂濃度は約 385ppm だった。一方、FACE 施設の CO₂濃度は約 500ppm に設定した。これは 2040 年ごろを想定した値である。観察は 2011 年 6~8 月に行った。供試樹木は 3 年生のダケカンバ (*Betula ermanii*), ウダイカンバ (*Betula maximowicziana*), シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*) で、2010 年に植栽され (植栽時は 2 年生), CO₂暴露は 2 年目であった。

測定項目はシュート当たりの食害率と葉の CN 比である。CN 比は窒素濃度の減少、被食防衛物質の増加により増加するため被食防衛能の指標となる。食害率の測定にあたって、まず 1 個体につき 1 本シュートを選択した。選んだシュートの完全展開葉を全てデジタルカメラで撮影した。その後、画像解析ソフト (LIA32, 山本一清作製) を用いて葉ごとに葉面積と Chewer, Skeletonizer それぞれの食害面積を推定し、シュート単位で (総食害面積/総葉面積) × 100 を食害率 (%) とした。測定は 6~8 月の月末に行い、それぞれをその月の食害率とした。7, 8 月は 6 月の測定時に選択したシュートを継続して測定した。なお、食害率は落葉、出葉により前の月を下回る場合がある。CN 比の測定に用いた葉は食害率測定木の測定シュートと近い条件のシュートの、先端から数えて 3~5 枚目から採取し葉齢を揃えた。測定には NC アナライザー (NC-900, 島津製作所) を用いた。

統計解析は測定月を被験者内効果、CO₂処理を被験者間効果として Repeated-ANOVA を行った。有意水準は 10% 以下とした。統計ソフトは SPSS12.0 を用いた。食害率のデータは統計処理前に (12) の方法で対数変換した。

結果

調査地においてダケカンバとシラカンバの食害はハンノキハムシによるものが最も多かった。5~6 月と 8 月に出現するハンノキハムシの成虫は Chewer であり、7 月に出現する幼虫は葉脈を避けて食害する Skeletonizer である。ウダイカンバでは Chewer の鱗翅目昆虫の幼虫が主な食害者だった。また、わずかにハンノキハムシ幼虫による食害が観察された。

Chewer の食害率はダケカンバで CO₂処理と測定月の交互作用が検出され、7, 8 月の食害率が高 CO₂区で減少する傾向が見られた。ウダイカンバとシラカンバの食害率は高 CO₂により有意に減少した (図-1, 表-1)。一方、Skeletonizer の食害率はダケカンバで高 CO₂区で有意

Monta OIKAWA (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ. Sapporo 060-8589), Sawako MATSUKI (Faculty of Agriculture, Iwate Univ. Morioka 020-8550), Makoto WATANABE, Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ. Sapporo 060-8589)

Insect herbivory of 3 kinds of birch saplings grown under a Free Air CO₂ Enrichment system

に増加した。ウダイカンバ, シラカンバでは有意差は見られなかった(図-2, 表-1)。CN比は全ての種で高CO₂により有意に増加した。(図-3, 表-1)

考察

Chewerの食害率は全ての樹種で高CO₂により減少した。同時に葉のCN比の有意な低下が見られたため、これは樹木の被食防衛能が上昇したことが昆虫の生残に影響し、昆虫の密度が低下したことが原因と考えられる。

一方、Skeletonizerの食害率はダケカンバで高CO₂により増加した。SkeletonizerはChewerに比べて移動能力が低いために補償摂食が起きたのではないかと考えられる。補償摂食とはCN比の上昇により低下した餌の質を摂食量の増加によって補う昆虫個体の反応である(1)。この反応が、昆虫の密度低下の効果を上回り、食害率が増加したと考えられる。シラカンバとウダイカンバでは食害率にCO₂処理による差が見られなかった。これは仮説の通り、被食防衛能上昇の影響が少なかったためだと考えられる。Skeletonizerの食害率の高CO₂応答はダケカンバとウダイカンバ, シラカンバで樹種間差が見られた。これはCN比上昇の主要因の違いが原因であると考えられる。葉のCN比が上昇する要因は窒素量の減少、被食防衛物質の増加、デンプンなどの非構造炭水化物濃度の増加などが挙げられ、これらに対する昆虫の反応はそれぞれ異なる(7)。そのため、これらCN比の増加要因を分けて調査することが今後の研究課題である。

謝辞

本研究は日本学術振興会・科学研究費(21114008)および若手研究(B-2410027)の一部支援を得た。記して感謝する。

引用文献

(1) Bezemer T. M. and Jones T. H. (1998) Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. *Oikos* **82**: 212-222.

(2) 日向潔美, 渡邊陽子, 渡辺誠, 北岡哲, 飛田博順, 上村章, 宇都木玄, 北尾光俊, 小池孝良. (2009) 高CO₂と窒素付加環境で生育した落葉広葉樹個葉の被食防衛物質の局在. *日林北支論* **57**: 45-47.

(3) 日向潔美, 渡邊陽子, 渡辺誠, 北岡哲, 飛田博順, 上村章, 宇都木玄, 小池孝良. (2010) 高CO₂と窒素付加環境で生育した落葉広葉樹個葉の被食防衛物質の局在—2 生育期間に渡る処理の影響—. *日林北支論* **58**: 43-46.

(4) IPCC (2007) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 pp.

(5) Knepp R. G., Hamilton J. G., Mohan J. E., Zangerl A. R., Berenbaum M. R. and DeLucia E. H. (2005) Elevated CO₂ reduces leaf damage by insect herbivores in a forest community. *New Phytologist* **167**: 207-218.

(6) 小池孝良, 渡邊陽子, 柴田隆紀, 松木佐和子, 松本剛史, 坂本泰明, 丸山温. (2005) カバノキ科5種若齢木の葉の表面構造と被食防衛能. *日林北支論* **53**: 79-81.

(7) Lindroth R. L. (2010) Impacts of elevated atmospheric CO₂ and O₃ on forest: Phytochemistry, trophic interactions and ecosystem dynamics. *J. Chem. Ecol.* **36**: 2-21

(8) 松木佐和子. (2003) カバノキ科樹木を中心とした落葉広葉樹の被食防衛の種特性に関する研究. 北大農博士論文.

(9) Matsuki S., Hara H., and Koike T. (2003) Comparison of Foliar Defense by Chemical Analysis and Bioassay in Betulaceae Seedling. *Proceedings IUFRO Kanazawa 2003.*

(10) 大塚優佳, 渡邊陽子, 福井富三, 間宮春大, 藤戸永司, 日浦勉, 小池孝良. (2006) ブナ個葉の被食防衛物質の局在. *日林北支論* **54**: 52-55.

(11) Stiling P., Moon D. C., Hunter M. D., Colson J., Rossi A. M., Graham J. H. and Drake B. D. (2003) Elevated CO₂ lowers relative and absolute herbivore density across all species of a scrub-oak forest. *Oecologia* **134**: 82-87.

(12) 山村光司. (2002) 正しい分散分析結果を導くための変数変換法. *植物防疫* **56**: 436-441.

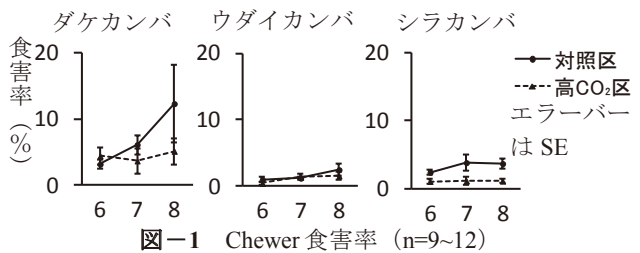


図-1 Chewer 食害率 (n=9~12)

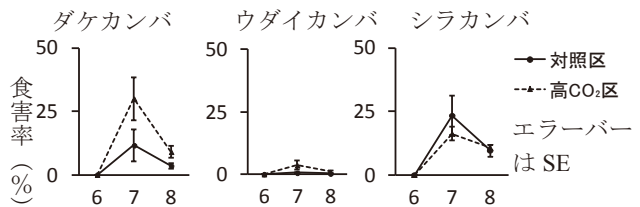


図-2 Skeletonizer 食害率 (n=9~12)

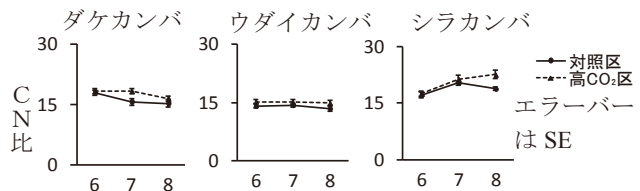


図-3 CN比 (n=8~12)

表-1 分散分析結果

Chewer 食害率			CN比			
	ダケカンバ	ウダイカンバ	シラカンバ	ダケカンバ	ウダイカンバ	シラカンバ
CO ₂	n.s.	*	***	**	*	*
月	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	***
CO ₂ ×月	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
Skeletonizer 食害率						
	ダケカンバ	ウダイカンバ	シラカンバ			
CO ₂	**	n.s.	n.s.	***:p<0.01, **:p<0.05,		
月	***	**	***	*:p<0.1, n.s.:有意差なし		
CO ₂ ×月	**	n.s.	n.s.			