

## 開放系オゾン付加施設で生育したシラカンバ若齢木の葉の食害

北海道大学大学院農学院  
北海道大学北方生物圏フィールド科学センター  
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

崎川 哲一  
中村 誠宏  
渡辺 誠  
佐藤 冬樹  
小池 孝良

### はじめに

現在、北半球において対流圏オゾン(以下 $O_3$ )濃度の増加が指摘されている(1)。とりわけ日本においては大陸方面からの越境大気汚染による $O_3$ 濃度の増加が懸念されている(9)。 $O_3$ は気孔より植物体内に取り込まれ、生理機能に様々な影響を与え、植物の植食性昆虫への応答を変化させる(4)。近年、ハンノキハムシによるシラカンバへの食害が増加している(8)。北海道では春先に $O_3$ 濃度が上昇するため、春先から初夏にかけて出現するハンノキハムシの食害に $O_3$ が影響する可能性がある。

また、 $O_3$ のハンノキハムシ食害への影響は、シラカンバの開葉様式とハンノキハムシの生活史が関係するとも考えられる。シラカンバは異型葉(春葉、夏葉)を持ち、春葉と夏葉では形態と機能、被食防衛能力が異なり(5, 7)、 $O_3$ や食害への応答がそれぞれ異なると考えられる。ハンノキハムシは土中で越冬した成虫が春先に出現し、食害および産卵を行い、初夏に幼虫が出現し食害する。そのため、出現時期が異なる成虫と幼虫では主に食害する葉(春葉、夏葉)が異なり、シラカンバの食害に対する $O_3$ の影響は、成虫と幼虫、春葉と夏葉で異なる可能性が考えられる。

そこで、本研究では、上記の可能性を検討するために $O_3$ 暴露下のシラカンバ葉へのハンノキハムシの食害の変化を明らかにすることを目的とし、ハンノキハムシ成虫と幼虫それぞれに $O_3$ 処理葉と非処理葉を与え、食害の様子を調査した摂食実験、どの葉を嗜好するかを調査した選択摂食実験を行った。

### 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ー札幌研究林実験苗畑に設置された開放系 $O_3$ 暴露装置を用いて行った。土壌は褐色森林土である。 $O_3$ 処理は処理区と非処理区を設置し、処理区では日照時(7時間)平均60 ppbを目標に、2011年8月より毎年、成長期間に付加を行った。なお、本研究は2014年に行った。摂食実験の植物材料として、処理区と非処理区で生育するシラカンバ(*Betula platyphylla* var. *japonica*)の陽樹冠の葉を採取した。なお、夏葉については当年生長枝の先端から3枚目か5枚目の完全展開葉を用いた。また、ハンノキハムシ(*Agelastica coerulea* : 以下、ハムシ)は成虫、幼虫(卵塊を

採取)を実験苗畑内で採取し、シラカンバの葉を与え飼育した後に実験に使用した。実験は成虫では6月11日~12日、幼虫では7月15日~16日に行った。

摂食実験ではプラスチックカップ(直径80 mm)にハムシ一匹を放逐し、12時間絶食後、全葉一枚を投入し、12時間摂食させた。選択摂食実験ではプラスチックケース(185 mm×165 mm)にハムシ6匹放逐し、12時間絶食後、全葉4枚(2処理×春葉、夏葉)を投入し、12時間摂食させた。ただし、幼虫については体長約8~10 mmの個体を用い、絶食時間を6時間とし、選択摂食実験では移動性の小ささを考慮し、プラスチックカップを使用し、葉はリーフパンチで抜いたリーフディスク(直径12 mm)を使用した。各実験終了後、葉を回収し、写真撮影を行い、画像解析ソフトで葉の食害面積を推定した。

統計解析は統計ソフトSPSS(12.0)を用いて、二元配置分散分析を行った。

### 結果

成虫と幼虫それぞれに食害する葉に嗜好性が見られた(図-1, 2, 表-1)。成虫では摂食実験において、オゾン処理、葉の種類両方において有意差は見られなかった。一方、選択摂食実験においては春葉、夏葉によらずオゾン処理葉の食害面積は有意に大きかった。幼虫を用いた摂食実験においてオゾン処理による有意な差は見られなかった。また、夏葉に比べ春葉の食害面積が大きい傾向が見られたが、有意差はなかった。選選択摂食実験においては、処理葉と非処理葉の両方で夏葉の食害面積は有意に小さかった。

### 考察

成虫では春葉、夏葉に関わらず $O_3$ 処理葉を嗜好する傾向が見られた。これから処理区の葉では被食防衛能力が低下している可能性が考えられた。樹木の被食防衛には主に光合成による二次代謝産物が用いられる(2)。しかし、 $O_3$ は植物の光合成機能を低下させるため(4)、当年または前年までの $O_3$ 処理により光合成産物が減少し、被食防衛にまわされる二次代謝産物が減少した可能性が考えられる。

幼虫では成虫とは異なり、処理に関わらず春葉を嗜好する傾向が見られた。これは夏葉ではクチクラが発達し

Tetsuichi SAKIKAWA (Graduate School Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Masahiro NAKAMURA (Nakagawa Experimental Forest, FSC, Hokkaido Univ., Nakagawa 098-2501), Makoto WATANABE (Institute of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture and Technology, Tokyo 183-8509), Fuyuki SATOH (Hokkaido Univ. Forest, Sapporo 060-0809), Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589)

Grazing of leaf beetle on Japanese white birch saplings grown under a free-air ozone fumigation system.

ていることによる可能性が考えられた。葉を乾燥や食害から守るためにクチクラが発達する(6)ため、シラカンバでは気温が高く、乾燥する夏に展開される夏葉ではこのクチクラが発達、この結果、植食性昆虫に対する物理的防御が向上すると考えられる。

以上のように成虫と幼虫で食害する葉の嗜好性に違いが見られた。これは、食害様式の違いによると考えられる。幼虫の顎は小さく、成虫に比べて葉の硬さによる物理的防御に対して弱いと考えられる。ハムシの成虫は葉に穴を空けるように食害するのに対し、幼虫は葉肉摂食性と呼ばれ、葉脈を避け、葉肉のみを食害する。幼虫は成虫に比べクチクラの発達による葉の硬さの影響を受けやすいと考えられる。また、成虫と幼虫の食害様式の違いは、オゾン処理に対する反応の違いにも関係する可能性がある。樹木では植食性昆虫に対して効率良く防御するために、葉内の被食防御物質を維管束部分などに局在させている(3)。幼虫が成虫と異なり、オゾン処理の影響を顕著に受けなかったことは、被食防御物質が局在している維管束部分などを避けるように摂食している可能性を示唆する。これらから、成虫と幼虫では嗜好する葉が異なると考えられる。

本研究の結果から、ハンノキハムシによるシラカンバ葉の食害に対する O<sub>3</sub> の影響は、ハンノキハムシの生育段階、春葉と夏葉で異なることが示された。今後は葉の被食防御物質や窒素の定量を行い、さらに検証する必要がある。

謝辞

本研究は科学研究費補助金「開放系 O<sub>3</sub> 付加施設で生育する冷温帯樹種の成長に及ぼす窒素沈着の影響解明と応用」(YY2014-2016)の支援を得た。記して感謝する。

引用文献

(1)Akimoto H. (2003) Global air quality and pollution. *Science* **302**, 1716-1719.  
 (2)Coley P.D. (1988) Effect of Plant growth rate and leaf lifetime on the amount and type of anti-herbivore defense. *Oecologia* **74**, 531-536.  
 (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, 北尾光俊, 小池孝良 (2010) 高 CO<sub>2</sub> と窒素付加環境で生育した落葉広葉樹個葉の被食防御物質の局在 -2 生育期間に渡る処理の影響-. 日本森林学会北海道支部論文集 **58**, 43-46.  
 (4)伊豆田猛 (2006) 植物と環境ストレス. コロナ社. 東京.  
 (5)Koike T. (1995) Physiological ecology of the growth characteristics of Japanese mountain birch in Northern Japan: a comparison with Japanese white birch *Vegetation Science in Forestry*, (Box, E. et al. eds.), Elsevier, 409-422.

(6)菊沢喜八郎 (2005) 葉の寿命の生態学 —個葉から生態系へ—. 井立出版, 東京.  
 (7)Matsuki S., Sano Y. and Koike T. (2003) Chemical and physical defense in the early and late leaves in three heterophyllous birch species native to northern Japan. *Annals of Botany*, **93**, 141-147  
 (8)佐山勝彦, 尾崎研一, 原秀穂, 小野寺賢介 (2014) 2012 年に北海道で発生した森林昆虫. *北方林業*. **66**, 143-145  
 (9)大原利真 (2011) なぜ日本の山岳や島嶼でオゾン濃度が上昇しているのか? *日本生態学会誌*. **61**, 77-81

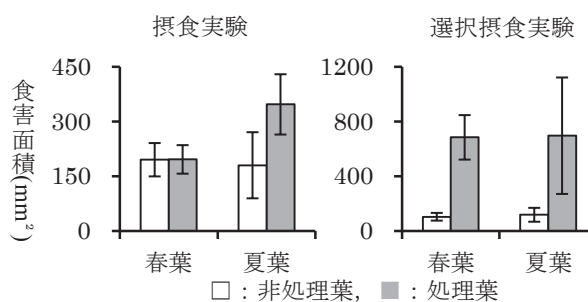


図-1. 成虫への摂食実験(n=6), 選択摂食実験(n=3) エラーバーは標準誤差を示す。

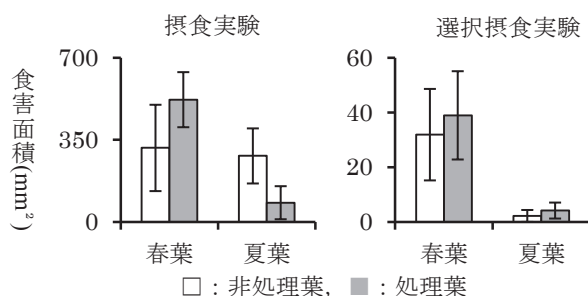


図-2. 幼虫 摂食実験(n=6), 選択摂食実験(n=6) エラーバーは標準誤差を示す。

表-1. 摂食実験と選択摂食実験の統計結果

		摂食実験	選択摂食実験
成虫	O <sub>3</sub> 処理	n.s	*
	葉	n.s	n.s
	O <sub>3</sub> 処理 × 葉	n.s	n.s
幼虫	O <sub>3</sub> 処理	n.s	n.s
	葉	n.s	*
	O <sub>3</sub> 処理 × 葉	n.s	n.s

\*: p<0.05  
 n.s: 有意差なし