HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高濃度オゾン環境下におけるシラカンバの虫害と植物由来揮発性有機化合物の関係性に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	増井, 昇
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7188号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91195
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Masui_Noboru_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博　士（農学）　　氏名　　増　井　　昇

学 位 論 文 題 名

高濃度オゾン環境下におけるシラカンバの虫害と
植物由来揮発性有機化合物の関係性に関する研究

対流圏オゾン（O_3）は、植物に対して負の影響を引き起こす大気中の環境ストレスであることが知られている。北海道大学札幌林苗畑ではこれまで、開放系 O_3 曝露施設を利用して「野外の高濃度 O_3 曝露環境が植物の生理機能や当該植物の植食性昆虫による食害度に与える影響」を調査してきた。例えば、北海道に広く生育するシラカンバ（*Betula platyphylla* var. *japonica*）では、高濃度の O_3 によって光合成速度の低下や落葉の早期化だけでなく、葉内の化学防御物質量（縮合タンニン、総フェノール量など）の低下が起こる。通常、植食性昆虫による植物の葉に対する食害度は、当該植物の有する化学防御物質量の多寡に依存している。実際に、シラカンバを食害するハンノキハムシ（*Agelastica coerulea*）は、実験室内の試験では化学防御物質量の低下した野外シラカンバの O_3 曝露葉に対する摂食嗜好性が高くなること、野外 O_3 曝露葉を摂食した場合に成長率が向上することが認められた。しかし、野外の O_3 曝露環境下では、上記の結果とは対照的に O_3 曝露区のシラカンバへの食害度が低下していた。したがって、「ハンノキハムシは野外では何らかの要因によって、本来好む O_3 曝露されたシラカンバへの食害行動が改変されている」ことが新たな問いとして挙げられた。植食性昆虫の食害は森林生態系における純一次生産量の最大 15%の損失に相当しており、森林生産性の将来予測においても高濃度 O_3 環境下における植食食性昆虫の行動変化の要因を解明する意義がある。

本研究では、植物由来の揮発性香気シグナルと O_3 曝露影響に着目し、次の 1) 〜 4)の研究から、上記問いの解明を試みた。

1)　植物由来揮発性有機化合物（BVOCs）の放出に対する O_3 曝露影響

樹木を含め植物は、葉から揮発性有機化合物（BVOCs；Biogenic Volatile Organic Compounds）を大気中に放出しており、イソプレン（C_5H_8）以外のテルペン類、特にモノテルペン（MT；$C_{10}H_{16}$）は昆虫に対する長距離の香気シグナルとしての機能が多く認められている。野外のシラカンバを測定した本研究の結果から、シラカンバは MT を主に放出する樹種であることを確認した。さらに、開放系 O_3 曝露試験における対照区（O_3 濃度：約 30ppb）及び O_3 曝露区（O_3 濃度：60-70ppb）に生育するシラカンバ個体の BVOCs 基礎放出速度（標準化温度 30℃における BVOCs の放出速度）を比較したところ、MT を含むいずれの放出成分に関しても基礎放出速度や放出組成に処理区間差は認められなかった。したがって、BVOCs の放出自体が O_3 曝露によってハンノキハムシの行動を改変している可能性は除外された。

2)　葉内長鎖脂肪酸（LCFAs）に対する O_3 曝露影響

近接距離の香気シグナルとしてハンノキハムシの行動選択に影響し得る要因であることから、シラカンバの葉に含まれる長鎖脂肪酸（LCFAs；Long-Chain Fatty Acids）の季節的変化及び O_3 曝

露影響を調査した。特に、LCFAs 由来の過酸化物の存在量をベースとした O_3 曝露影響の推定ではなく、野外における実際の LCFAs 含有量・組成に関する O_3 曝露影響を本研究において初めて明らかにした。例えば、LCFAs の季節変化として、いずれの処理区でも展葉初期から展葉後期にかけて LCFA 量は経時的に減衰し、特に不飽和度の高いリノレン酸やリノール酸の経時的減衰率が高かった。O_3 曝露影響に関しては、春葉の LCFAs の経時的減衰率が O_3 曝露で加速されるのに対し、夏葉では差は認められなかった。さらに、前年度もしくは夏葉における当年春葉（夏葉の発達は春葉の光合成活動に依存する）への O_3 曝露歴から、当年の O_3 曝露影響をほとんど受けていない展葉初期でも O_3 曝露の間接的影響が発生することを明らかにした。例えば、春葉では展葉初期に飽和 LCFAs のパルミチン酸やステアリン酸が O_3 曝露区で有意に増加した。一方、夏葉の展葉初期では有意な差ではないものの、LCFAs 量は対照区よりもやや低下した。したがって、LCFAs の O_3 曝露による影響は、シラカンバの異型葉性（春葉、夏葉）によって異なることを明らかにした。しかし、LCFAs に関して春葉と夏葉で一貫性のある傾向は認められないことから、LCFAs はハンノキハムシの行動変化における主要因ではないと結論付けた。

3)　BVOCs の大気中減衰反応と昆虫に対する誘引性

O_3 が BVOCs の生物学的機能を改変する可能性は、1)の BVOCs の放出自体への影響以外に、放出後の大気中 O_3 反応による BVOCs の減衰が挙げられる。本研究では、香気シグナルに対する選好性を調査する Y 字管試験を行ったところ、O_3 単体（≦120ppb）がハムシの行動を制限する要因ではなく、シラカンバの BVOCs はハンノキハムシに対して誘引性を示すことが認められた。さらに、シラカンバの BVOCs は特に 80ppb（野外 O_3 曝露区の設定濃度）の O_3 濃度条件下でハンノキハムシに対する誘引性が低下することを明らかにした。シラカンバ春葉及び夏葉の BVOCs 放出成分の解析から、O_3 に対する BVOCs 各成分の反応速度係数に基づき、ハンノキハムシを誘引し、かつ高濃度 O_3 環境下において減衰する可能性の高い放出成分の候補（e.g., β-ocimene 、β-linalool、2-carene、limonene）を選抜した。

4)　樹種間の BVOCs 放出組成比較による誘引組成探索

食害対象樹種（シラカンバ、ハンノキ類）と非食害対象樹種（ヤマグワ、ナナカマド）の Y 字管試験から、ハンノキハムシは非食害対象樹の BVOCs には誘引されず食害対象樹種の BVOCs のみに誘引されることが認められた。したがって、ハンノキハムシは BVOCs を単に「植物である」というシグナルではなく、食害対象樹種のシグナルとして識別していることが明らかとなった。また、食害対象樹種と非食害対象樹種の BVOCs 組成は顕著に異なり、上記誘引性の結果を裏付けた。但し、食害対象樹種の中でもハンノキ類 2 種（ハンノキ、ヤマハンノキ）は葉の形態が大きく異なるにも関わらず BVOCs 組成に類似性が認められた一方で、シラカンバとハンノキ類は BVOCs 組成が明らかに異なった。各樹種の BVOCs 放出組成の結果から、ハンノキ類も高濃度の O_3 曝露によってハンノキハムシに対する誘引性は低下することが示唆された。

以上の結果より、野外の高濃度 O_3 環境におけるハンノキハムシの行動変化の要因は、1) BVOCs の放出や、2) LCFAs に対する O_3 曝露影響ではなく、3) における「O_3 に対する反応性の高い BVOCs の大気中 O_3 反応により放出後の BVOCs の誘引性が低下することでハンノキハムシの植物探索が阻害されている」と結論付けられた。また、4) 食害対象樹種内における BVOCs 組成が異なることは「高濃度 O_3 環境下における BVOCs 誘引性の低下に樹種間差が生じる」ことを意味する。高濃度 O_3 環境における特定の樹木の誘引性が低下した分の植食性昆虫の食害は、誘引性が比較的維持されている同一生態系内の他の食害対象樹種に集中する可能性が提唱された。