



Title	開放系オゾン付加施設で生育させたハコヤナギ属2樹種の病虫害と成長の季節変化 : 2021年の事例
Author(s)	増井, 昇; Masui, Noboru; 北岡, 哲 他
Citation	北方森林保全技術, 40, 17-24
Issue Date	2022
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/87565">https://hdl.handle.net/2115/87565</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	01-6.pdf



## I-6 開放系オゾン付加施設で生育させたハコヤナギ属 2 樹種の 病虫害と成長の季節変化：2021 年の事例

増井 昇<sup>1, 2</sup>, 北岡 哲<sup>3</sup>, 渡邊 陽子<sup>3</sup>, 渡部 敏裕<sup>3</sup>, 藤戸 永志<sup>4</sup>, 佐々木 圭子<sup>4</sup>  
佐藤 冬樹<sup>4</sup>, アガトクレオス・エフゲニオス<sup>1, 5</sup>, 小池 孝良<sup>2</sup>

1 北海道大学・大学院農学院, 2 現所属：静岡県立大学・食品栄養科学部, 3 北海道大学・大学院農学研究院  
4 北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター, 5 現所属：南京信息工程大学・応用気象学部

### I. はじめに

**1. 背景：** ハコヤナギ属樹木（通称ポプラ）は、かつて北海道でも木材資源として期待され、道内各地に試験地が設けられた。特に、王子製紙の旧・育種研究所では、ハコヤナギ属ドロノキのうち、優れた成長速度をもつ“新品種”を選抜し「北海ポプラ」「北海ホープ」の名称でバイオマス資源として期待された（竹田 2007）。また、“ポプラ並木”の名で親しまれ北海道の観光名所にもなっているポプラ類は、各地で街路樹としても利用されている。

欧米や中国では、ポプラは緑化樹や繊維作物として多用されている。アジアでは、1999 年に始まった中国の退耕還林政策によって、特にポプラは注目された。また、温帯地域においてポプラ植林によって問題視されてきたタネ綿毛の分散も近年抑制されてきた。中国では東部のグイマツ、南部のコウヨウザン（汪 2019）、ユーカリ類（汪・小池 2019）とともに、木質資源としてもポプラは期待されている（Zhang et al. 2000）。しかし、ポプラはサビ病（*Melampsora laricis-populina*）への易罹患性（Eberl et al. 2018）やドロノキハムシなどの虫害が古くから問題視されてきた（西口 1987）。ただし、北海道ではポプラ類に対する病虫害の激害は、これまで幸いにも確認されていない（増井ら 2022）。しかし、札幌などの都市部にも見られるドロノキには、ドロノキハムシ（*Chrysomela populi*）の食害がみられ、夏期の一時期には激害の見られることがある。したがって、少なくとも、緑地の質に対してシラカンバと同様に悪影響が予想される（小池 2017, 小池ら 2019, 増井・小池 2020）。言うまでも無く、葉が失われると光合成生産の減退に直結するため、病虫害への対策とその手がかりを得ることは重要である。

本研究の背景には、樹体の活力を低下させている地表付近のオゾン（光化学スモッグの主体；対流圏オゾン：O<sub>3</sub>）の影響を再考する必要がある（Atkinson and Arey 2003; Koike et al. 2013, 伊豆田 2020）。また、この O<sub>3</sub> の主な前駆体の 1 つに、二酸化窒素（NO<sub>2</sub>）がある（概略：NO<sub>2</sub>

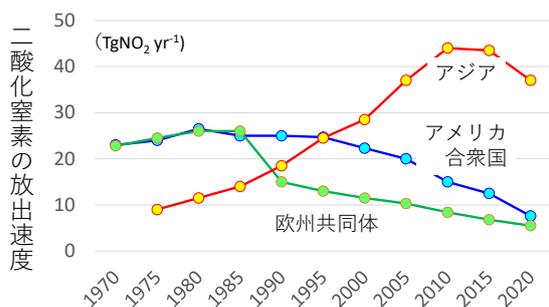


図 1. 欧米と東アジアにおける二酸化窒素の放出量の年変化 (Qu et al. 2022 から作成)

+ O<sub>2</sub> (+紫外線) → O<sub>3</sub> + NO → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> )。欧州 (EU) では 1985 年ころの EU 効果と呼ぶ排出規制が功を奏し、北米でも緩やかに EU の水準に 2020 年に達した (図 1; Qu et al. 2022a, b)。しかし、東アジアでは 1975 年から NO<sub>2</sub> の排出量は一貫して増加し続け、2015 年頃からやや低下傾向にあるが、2020 年であっても、その放出量は欧米の約 4 倍量である。偏西風の風下に位置する本邦では、自国の環境の改善がなされても“EU 効果”をアジア地域でも実現できなければ、現状か

らの脱却は難しい。一方で、人口減少を一要因として、欧州でも大都市への集中傾向が進んでいる (Sicard et al. 2022)。従って、住環境の確保には都市内部と周辺の緑地の保全が喫緊の課題である (Qu et al. 2022c, Sicard et al. 2022)。

札幌市の都心と郊外において、周辺の環境分析と同齢トドマツの年輪解析を行った結果 (排ガス偽装で問題になった Audi の予算 ; Pretzsch et al. 2015)、一見して空気のきれいな郊外のトドマツ個体に明瞭な成長低下が見られた (Moser-Reischl et al. 2019)。実際に、交通量の多い都市域では汚染物質排出量が多い。しかし、排ガス (NO<sub>x</sub>) と O<sub>3</sub> のバランスと近郊との対流によって、都市域では郊外よりも O<sub>3</sub> 濃度は低下し成長抑制の少ないことがポプラ挿し木個体を利用して解明された (Gregg et al. 2003)。従って、オゾンとその前駆体 (NO<sub>x</sub>、VOC) の動態に注目し、政府が進めるグリーンインフラを考える必要がある。この NO<sub>x</sub> 対流の結果、O<sub>3</sub> 濃度の高い郊外のシラカンバでは光合成が抑制され、主に炭素骨格の被食防衛物質の低下とその後の虫害の発生を予想した (Sakikawa et al. 2016)。しかし、現実是对照区 (低 O<sub>3</sub> 区 : 炭素起源の被食防衛能は高い) でのハンノキハムシの食害が大きかった (Agathokleous et al. 2017)。同様の傾向は、ハルニレとニレハムシの関係でも確認された (Sugai et al. 2019)。

ドロノキハムシを中心に、比較的多くの食葉性昆虫に喰われやすいハコヤナギ属のドロノキ (遠田 1965) では、どの様な傾向があるのかを特定するため、開放系 O<sub>3</sub> 付加施設による実験を行ってきた (増井ら 2022)。環境保全も睨んだ萌芽更新によるバイオマス生産に注目が集まっているなかで (Lands・屋代訳 2019)、本稿では、対流圏 O<sub>3</sub>、虫害、成長の関連を追跡してきたが (Masui et al. 2021, 2022)、2021 年度の夏季に見られた高温と乾燥の影響を検討する機会が得られたので、比較対象として利用している後述の改良ポプラの事例と共に報告する。

**2. 予測と目的 :** O<sub>3</sub> は気孔を介して葉内へ取り込まれる。O<sub>3</sub> は強力な温室効果ガスであるが、物質としての“寿命”は短いため CO<sub>2</sub> に比較して関心の程度は低い。しかし、強力な酸化作用によって光合成機能の低下や (伊豆田 2020)、結果として二次代謝産物による防御物質の低下を引き起こす (Sakikawa et al. 2016)。したがって、上記の様に高 O<sub>3</sub> 区では病虫害に遭いやすいことを想定していた。その後、各種実験から、ハンノキハムシは餌植物 (シラカンバなど) の葉の放出する生物起源揮発性有機化合物 (BVOCs) を目印に、餌資源であるシラカンバに到達していると考えられた (小池 2017, Masui et al. 2020, 増井・小池 2020, 小池・増井 2021)。そこで、O<sub>3</sub> 付加区では、BVOCs の O<sub>3</sub> による誘因性の低減により虫害の発生は少ないが、植物自身の代謝機能が低下することで病害の蔓延は高いと仮説を立てた。

2020 年度の結果から、ハコヤナギ属 2 樹種において O<sub>3</sub> 付加区の虫害は少なく、雑種ポプラの成長抑制程度が小さいと予想した。種間差については、雑種強勢によって雑種の成長などは親種より良い傾向がある。また、CNB (炭素—養分均衡 : Carbon-Nutrient Balance) 仮説からは貧栄養条件では食害後の再生が抑制されるため、被食防御能は貧栄養 (火山灰土壌混合区) で高い、と考えられる。

これらを確認するため、本研究では開放系オゾン付加施設 (Free Air Controlled Enriched O<sub>3</sub>: 以下 O<sub>3</sub>-FACE) を利用して、ドロノキと改良ポプラ (ギンドロ×欧州ヤマナラシ) の挿し木苗起源の萌芽における病虫害の発生状況、食害からの回復過程、植物体の成長を調べた。

## II. 材料と方法

**1. 材料 :** ドロノキ (*Populus maximowiczii* = *Populus suaveolens*—森林総研・羊ヶ丘実験林産) とポプラ雑種 F<sub>1</sub> (ギンドロ—*Populus alba* x 欧州ヤマナラシ—*Populus tremula* 'Erecta'; 北大苗畑; 以降、改良ポプラ) の挿し木 (直径、約 10 mm, 長さ 20 cm) を処理区

ごとに、5本ずつ交互に植え付け（50 cm 間隔）（増井ら 2020）、2021 年の萌芽を地上部 20~30 cm で切除し、バイオマスを検出した。萌芽の成長が始まり、約 5cm のシュート（“枝” + 葉）を確認した 5 月上旬からオゾン付加を開始した。



図 2. 開放系オゾン付加施設（北大実験苗畑）  
約 400 ppb のオゾンがテフロンチューブに 50 cm 間隔で設けられた孔から拡散される。オゾンモニターからの信号によってサークル内のオゾン濃度を約 80 ppb に維持する。

**2. 処理：** 北大北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林・札幌試験地実験苗畑の自然状態に近い環境で O<sub>3</sub> 処理のできる O<sub>3</sub>-FACE の未成熟火山灰土（VA）混合区（北大苫小牧研究林から客土：地表 20 cm 深さ）と褐色森林土（BF）区に挿し木を植え付けた（図 2, Shi et al. 2017）。灌水は自然降雨条件で、対照区の O<sub>3</sub> 濃度は約 30 ppb、O<sub>3</sub> 区は 70~80 ppb（検出；オゾンモニター、2B Tech, USA）であった。なお、2021 年 5 月 20, 21 日、9 月 4 日に、工事と点検のため停電があった。この間、O<sub>3</sub> 付加が停止した。

**3. 調査：** 2021 年 5 月~11 月まで、25~30 日ごとに生存、樹高、根元直径、虫害（植食者、被害葉）、分枝、罹病葉、落葉数などを記録した。また、クロロフィル量（SPAD）、気孔コンダクタンス（通道性）、気孔密度と形態、クロロフィル蛍光（LI-6400）を夏期に測定した。気象データは、試験地から約 2 km 離れた札幌気象台の公開データを利用した。

**4. 統計：** 気孔密度と樹高成長の差の検定は、オゾン付加と樹種を因子にした二元配置の分散分析を用いた。

### III. 結果と考察

**1. 虫害：** 炭素骨格の被食防衛能が低いと考えられる高 O<sub>3</sub> 区のドロノキと改良ポプラには、狭食者であるドロノキハムシによる虫害がほとんど見られなかった。これはシラカンバとハンノキハムシと同じ結果であった（Agathokleous et al. 2017、小池・増井 2021）。狭食者であるドロノキハムシの発生は、5 月下旬の調査時にはドロノキの対照区の BF 区でわずかに見られ、展開中のやや淡い緑色の葉は、既に成虫に食べられていた。その後、VA 区でも食害が始まった。



図 3. 改良ポプラにおける、左—サクツクリハバチの食痕：白い“柵”が見られる、右—マイイガ幼虫の食痕（葉柄のみ見られる）

改良ポプラでは 5 月下旬には、わずかに食害の始まった個体が見られた。この時点では、O<sub>3</sub> 区ではドロノキと改良ポプラには食害は見られなかった。停電後、約 10 日間は、O<sub>3</sub> 処理・土壌の違いにかかわらず、両種でハンノキハムシ成虫とサクツクリハバチ幼虫の食害が確認された（図 3 左）。ヤナギ（*Salix*）属をよく食するサクツクリハバチ（*Stauronematus compressicornis*）による食害は、処理区に関係なくわずかに見られたが、極めて軽微であった。また、処理に関係なく、改良ポプラには、葉柄を

残して葉身を食べ尽くすマイマイガの幼虫の食痕が見られた (図 3 右)。

ドロノキハムシの生活史から (図 4)、5 月頃は産卵・幼虫の食害時期に合っており、停電のわずか 2 日程度であったが、対照区だけでなく O<sub>3</sub> 区でも成虫の産卵があったと考えられる。しかし、その後、O<sub>3</sub> 区では成虫をほとんど観察出来なかった。

6 月中旬になると、対照区のみでハンノキハムシ成虫と幼虫の食害が見られ、O<sub>3</sub> 区では食害はドロノキ萌芽で合計 3 個体確認された (O<sub>3</sub>-1, 2 サイト; 増井ら 2022)。同じく改良ポプラでは土壌条件にかかわらず全く確認されなかった。一方、対照区のドロノキでは、先端部のシュートまで成虫に食べられ、約 20 日間は成長が停滞した (詳細は III-2)。

6 月中旬と 7 月下旬には、土壌条件にかかわらず、ドロノキが O<sub>3</sub> 区で 2 個体、対照区で 3 個体が枯死した。症状は、若いシュートでは葉が完全にしおれ、老化葉は落葉した。一方、改良ポプラでは枯死個体はなかった。この原因を探るため、ショベルを用いて掘り取りを行なった結果、錘下根の発達がよいと予想していたドロノキ (水分の多い土壌を好み、よく川岸や湿地などに生えている) は、側根を伸ばしていたが、予想に反して錘下根は発達が不十分で、耕作された土壌層の範囲で根を伸ばしていた (45cm 深)。一方、萌芽能の高いヤマナラシ系の改良ポプラでは、予想通り側根が伸びていたが、錘下根が 60cm まで伸びており、下層の粘土層まで達していた (図 5)。

2021 年の 6 月~8 月上旬は、過去 40 年の平均値に比べ、日最高気温は 2~3℃ 高く、降水量は 7 月では 7mm と極めて少なかった (図 6)。したがって、上述の根系分布と照らし合わせると、ドロノキでは根系の分布した土壌 (耕転層) の水分が消費され、脱水を生じ枯死したと考えられた。一方、改良ポプラでは、50cm 以深の粘土層にまで根が伸びていたおかげで吸水を維持し、枯死を免れたと考えられた。なお、蒸散速度と気孔応答 (暗所に置いてからの気孔閉鎖までの速度) を調べたところ、気孔の長径サイズはドロノキの方が改良ポプラより大きかったが (図 7)、シュートの中位葉では樹種間及び処理間の差はなかった。すなわち、予想した O<sub>3</sub> 区における葉のダルリーフ化 (気孔閉鎖能の劣化) は確認されなかった。

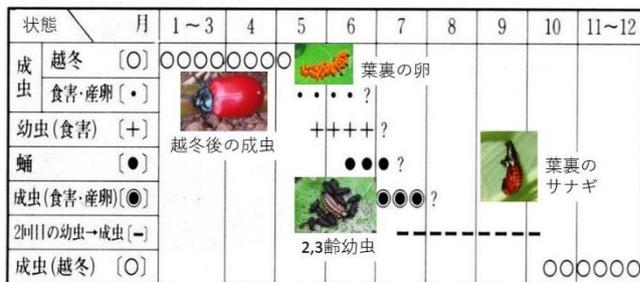


図 4. 北海道中央部におけるドロノキハムシの生活史 (林業試験場北海道支場保護 1985 から改作)

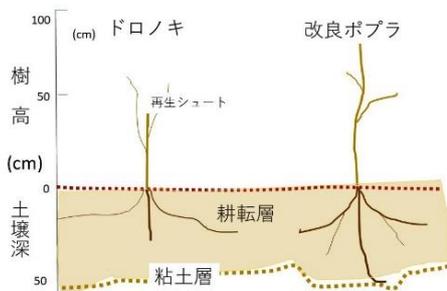


図 5. ドロノキと改良ポプラの全樹形の模式図 (掘り取りから作成)

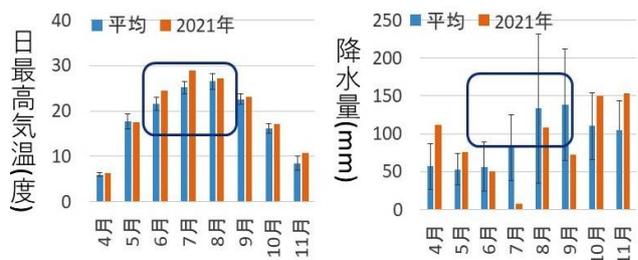


図 6. 1980~2020 年と 2021 年の、左一日最高気温、左一降水量の季節変化 (4 角部分は高温・乾燥時期)

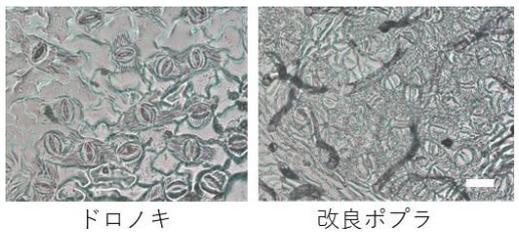


図 7. 気孔の例 (スンプ法) (横棒: 10 μm)

**2. 虫害後の応答と成長：** ドロノキでは6月頃まで O<sub>3</sub> による樹高の成長抑制が見られたが、10月の成長停止時には伸長成長量は処理間で差がなかった。対照区のドロノキでは、主軸(枝)を残して葉が食べ尽くされ、新葉が展開しても、黄緑色(成熟前)の葉ですら成虫の食害に遭った(図8)。なお、改良ポプラには O<sub>3</sub> の成長抑制は認められず、虫害後の再生枝(+葉)の光合成によって O<sub>3</sub> 区の伸長成長が維持されたと考えられた。また、葉の変色が全くなかったことから改良ポプラには O<sub>3</sub> 耐性があると考えられた(Qu et al. 2022c)。対照区の改良ポプラでは、葉身の食べ尽くし(葉柄が残る)が生じて、約20日で新シュートが見られた。

さらに、改良ポプラでは特に全体に分枝が増え(図9)、虫害のなかった個体より10月の葉量が多かった。なお、初年度には、新しいシュートへの食害は見られなかった。ドロノキでもこの傾向があった(増井ら 2021)。

光合成生産量は緑葉の面積と光合成機能の持続期間に依存する。従って、葉の面積が減少すると、光合成産物に由来する成長量や病虫害耐性が低下する。しかし、ドロノキハムシの食害により再生枝を含む葉面積が低下した対照区と異なり、病虫害の少なかった O<sub>3</sub> 区では、成長が継続し、最終的に O<sub>3</sub> 区の方が樹高成長は優ったと考えられた。



図8. ドロノキの食害(左)と再生(右)

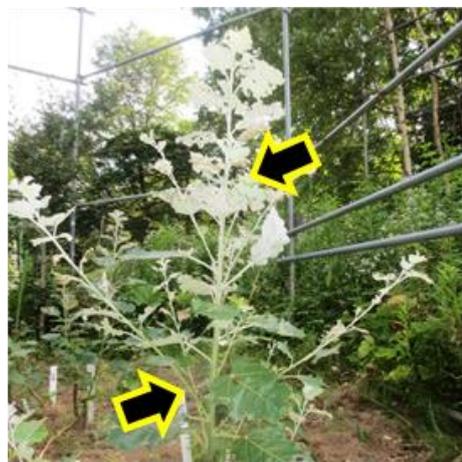


図9. 改良ポプラの食害後の再生(対照区の褐色森林土) 矢印上部: 虫害、下部: 新シュート



図10. 対照区(褐色森林土)のドロノキに発生したサビ病(写真の真ん中に位置する)

**3. 病害：** ドロノキに多発するサビ病は(図10)、対照区に比べると O<sub>3</sub> 区では極めて少なく、O<sub>3</sub>・VA 区では見られなかった。もちろん、病虫害への耐性には種内変異があるが(竹田 2007)、1個体からの挿し木由来であるので、O<sub>3</sub> の影響を考えざるを得ない。

樹木では、アブラムシ(種は未同定)の甘露排泄に伴う“すす病(*Capnodium salicinum*)”が問題となることがある。なお、アブラムシの発生は、その甘露を好むアリの存在によっても

間接的に認知することが出来る。2019, 2020 年度は、土壌にかかわらずドロノキでのみアブラムシの存在が確認され、O<sub>3</sub> 区ではほとんど見られなかった。しかし、2021 年には、ドロノキだけでなく改良ポプラでもアリが見られ、特にシュート先端部の未成熟部分にアブラムシがわずかに見られた。ただしスズ病の発生は見られなかった。

不思議だったのは、サビ病は対照区のドロノキで7月末頃から見られたが、一方で、O<sub>3</sub> 区では、サビ病の罹病個体が比較的少なく、発生は8月下旬からであった。サビ病への罹病はドロノキやセイヨウハコヤナギの老化葉の光合成速度を抑制し、成長低下に直結することは古くから注目されて来た（幸田・千葉 1986; Eberl et al. 2018）。したがって、O<sub>3</sub> 区でのドロノサビ病への罹病が少なかった要因を検証するには、サビ病胞子の密度を確認するなど、調査を進める必要がある。

## 謝辞

本研究は栗林財団と科学技術振興財団の戦略的国際共同研究プログラム（SICORP）日本—中国（環境・エネルギー分野）のサブ課題：都市生態へのオゾン汚染の影響：モニタリング・影響評価・適応策（No. JPMJSC18HB 代表・渡辺 誠：東京農工大学；分担代表・渡部敏裕：北海道大学）の一部支援を得た。また施設の管理には、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター、故市川一氏の協力があった。記して感謝する。

## 引用文献

- Agathokleous E, Sakikawa T, Abu ElEla S.A, Mochizuki T, Nakamura M, Watanabe M, Kawamura K, Koike T (2017) Ozone alters the feeding behavior of the leaf beetle *Agelastica coerulea* (Coleoptera: Chrysomelidae) into leaves of Japanese white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*). *Environmental Science & Pollution Research*, **24**: 17577–17583.
- Atkinson R and Arey J (2003) Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review. *Atmospheric Environment*, **37**: 197-219.
- Bruce T JA, Wadhams LJ, Woodcock C M (2005) Insect host location: A volatile situation *Trends in Plant Science*, **10**: 269-274.
- Coplovici L, Kännaste A, Rimmel T, Vislap V, Niinemets Ü (2010) Volatile emissions from *Alnus glutinosa* induced by herbivory are quantitatively related to the extent of damage. *Journal of Chemical Ecology*, **37**:18–28.
- Eberl F, Perreca E, Vogel H, Wright LP, Hammerbacher A, Veit D, Gershenson J, Unsicker SB. (2018) Rust Infection of Black Poplar Trees Reduces Photosynthesis but Does Not Affect Isoprene Biosynthesis or Emission. *Frontier Plant Science*, **9**:1733. doi: 10.3389/fpls.2018.01733.
- 遠田暢雄（1965）本邦産ポプラおよびヤナギ属植物の害虫．林業試験場研究報告，182: 1-41 (plate 8).
- Gregg JW, Jones CG, Dawson TE (2003) Urbanization Effects on Tree Growth in the Vicinity of New York City. *Nature*, **424**: 183–187.
- 伊豆田猛 編著（2020）大気環境と植物．朝倉書店．
- Koike T, Watanabe M, Hoshika Y, Kitao M, Matsumura H, Funada R and Izuta T (2013) Effects of ozone on forest ecosystems in East and Southeast Asia. *Development of Environmental Science*, **13**: 371-390.
- 幸田秀穂・千葉茂（1986）ドロノキのサビ病が光合成速度におよぼす影響．日本林学会北海道支部論文集，**34** : 151-153.

- 小池孝良 (2017) 街路樹シラカンバの虫喰いは、なぜ都心で目立つのか？ 樹木医学研究, 23: 74-75.
- 小池孝良・菅井徹人・渡部敏裕・市川一・藤戸永志・佐々木圭子・曲来葉・渡辺誠・荒川圭太・佐藤冬樹 (2019) 都市生態系へのオゾン汚染の影響：実験的研究による J S T へのとり組み. 北方森林保全技術, 37:11-17.
- 小池孝良・増井昇 (2021) 樹林地の健全性の維持－無機環境の変化の視点から虫害発生を化学する－. ツリードクター, 28: 37-42.
- Land S (2019) Sprout Lands-Trending the endless gift of trees, WW Norton & Company. Inc. (屋代通子訳;樹木の恵みと人間の歴史、築地書館) .
- Lindroth RL (2010) Impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on forests: phytochemistry, trophic interactions, and ecosystem dynamics. Journal of Chemical Ecology, 36: 2-21.
- 増井昇・小池孝良 (2017) ハンノキハムシの行動選択に及ぼす対流圏オゾンの影響. 北方森林研究, 66 : 47-50.
- Masui N, Mochizuki T, Tani A, Matsuura H, Agathokleous E, Watanabe T, and Koike T. (2020) Does ozone alter the attractiveness of Japanese white birch leaves to a leaf beetle (*Agelastica coerulea*) via changes in biogenic volatile organic compounds (BVOCs): An examination with the Y-tube test. Forests, 11; <https://www.mdpi.com/1999-4907>.
- 増井昇・小池孝良 (2020) 大気汚染が植物 - 昆虫間のコミュニケーションを阻害する－植物由来揮発性物質の役割－. 樹木医学研究, 24: 213-214.
- Masui N, Agathokleous E, Mochizuki T, Tani A, Matsuura H and Koike T (2021) Ozone disrupts the communication between plants and insects in urban and suburban areas: an updated insight on plant volatiles. Journal of Forestry Research, open access, [doi.org/10.1007/s11676-020-01287-4](https://doi.org/10.1007/s11676-020-01287-4).
- Masui N, Agathokleous E, Tani A, Matsuura H and Koike T (2022) Plant-insect communication in urban forests: Similarities of plant volatile components among host trees for alder leaf beetle *Agelastica coerulea*. Environmental Research, 204, Part A,111996, DOI:10.1016/j.envres.2021.111996.
- 増井昇・菅井徹人・渡邊陽子・渡部敏裕・塩尻かおり・佐々木圭子・藤戸永志・荒川圭太・佐藤冬樹・小池孝良 (2021) 高オゾン環境下でのヤマナラシ属 2 種の成長と病虫害. 北方森林保全技術, 38: 1-8.
- 増井昇・小池孝良・北岡哲・渡邊陽子・佐藤冬樹・渡部敏裕 (2022) オゾン存在下でのヤマナラシ属二種の病虫害への応答. 樹木医学研究, 26: 26-27.
- Moser-Reischl A, Rötzer T, Biber P, Ulbricht M, Uhl E, Qu LY (2019) Growth of *Abies sachalinensis* along an urban gradient affected by environmental pollution in Sapporo, Japan. Forests, 10; 707; [doi:10.3390/f10080707](https://doi.org/10.3390/f10080707).
- 西口親雄 (1999) 森の命の物語、新思索社.
- 林業試験場北海道支場保護 (1985) 北海道樹木病虫獣害図鑑、北方林業会.
- Sakikawa T, Shi C, Nakamura M, Watanabe M, Oikawa M, Satoh F, Koike T (2016) Leaf phenology and insect grazing of Japanese white birch saplings grown under free-air ozone exposure. Journal of Agricultural Meteorology, 72: 80-84. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/72/2/72\\_D-14-00031/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/72/2/72_D-14-00031/_pdf).
- Sugai T, Okamoto S, Agathokleous E, Masui N, Satoh F, Koike T (2019) Leaf defense capacity of Japanese elm (*Ulmus davidiana* var. *japonica*) seedlings subjected to a nitrogen loading and insect herbivore dynamics in a free air ozone-enriched environment. Environmental Science & Pollution Research, DOI 10.1007/s11356-019-06918-w.

- Sakikawa T, Shi C, Nakamura M, Watanabe M, Oikawa M, Satoh F (2016) Leaf phenology and insect grazing of Japanese white birch saplings grown under free-air ozone exposure. *Journal of Agricultural Meteorology*, 72: 80-84.
- Pretzsch H, Biber P, Uhl E, Dahlhausen J, Rötzer T, Caldentey J and Koike T, van Con, Chavanne A, Seifert T, du Toit B, Farnden C, Pauleit S (2015) Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 466–479.
- Qu, LY, Wang XN, Mao QZ, Agathokleous E, Choi DS, Tamai Y, Watanabe T and Koike T. (2022a) Responses of ectomycorrhizal diversity of larch and its hybrid seedlings and saplings to elevated CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and high nitrogen loading. *Eurasian Journal of Forest Research*, 22: 23-27, DOI:10.14943/EJFR.
- Qu LY, Wang YN, Masyagina O, Kitaoka S, Fujita S, Kita K, Prokushukin A and Koike T. (2022b) Larch: a promising deciduous conifer as an eco-environmental resource. In: "Ana Cristina ed." *Conifers - Recent Advances* Gonçalves, IntechOpen, <https://www.intechopen.com/chapters/80260>.
- Qu LY, Wang YN, Shi C, Wang XK, Masui N, Rötzer T, Watanabe T, Koike T. (2022c) Vigor and health of urban green resources under elevated O<sub>3</sub> in Far East Asia. In: Hufnagel L (ed) *Vegetation Dynamics, Changing Ecosystems and Human Responsibility*. IntechOpen, London, <https://doi.org/10.5772/intechopen.106957>. Shi C, Watanabe T, Koike T (2017) Stoichiometry of deciduous tree species in different soils exposed to free-air O<sub>3</sub> enrichment over two growing seasons. *Environmental and Experimental Botany*, 138: 148-163.
- Sicard P, Agathokleous E, De March A, Paoletti E. (2022) Ozone-reducing urban plants: Choose carefully. *Science*, 377. Issue 6606: 585.
- Sugai T, Okamoto S, Agathokleous E, Masui N, Satoh F and Koike T (2019) Leaf defense capacity of Japanese elm (*Ulmus davidiana* var. *japonica*) seedlings subjected to a nitrogen loading and insect herbivore dynamics in a free air ozone-enriched environment. *Environmental Science & Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-019-06918-w.
- 竹田貴彦 (2007) 北海道産樹木の新品種：ポプラ類登録品種 「北海ポプラ」「北海ホープ」. *北方林業*, 59: 63-64.
- 汪雁楠 (2019) 中国のコウヨウザンについて、*森林技術*, 931 : 24–26.
- 汪雁楠・小池孝良 (2019) 中国西南部のユーカリ樹と広葉樹類の現状と資源管理への取組：IUFROの現地検討会から。*森林技術*, 932:30-34.
- Zhang P, Shao G, Zhao G, Dennis C, Le Master DS, Parker JH (2000) China's Forest Policy for the 21<sup>st</sup> Century. *Science*, 288: 2135-2136