

令和 4 年 5 月 13 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20459

研究課題名（和文）農作物の収量に対するオゾンの影響評価 - 植物成長モデルを用いた新規手法 -

研究課題名（英文）Impact assessment of ozone on crop productivity - A new method using plant growth model -

研究代表者

黄瀬 佳之 (Yoshiyuki, Kinose)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：00818528

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年、農作物に対するオゾンの悪影響が懸念されている。本研究では、オゾンの影響プロセスを組み込んだ植物成長モデルを開発し、比較的オゾン濃度が高い関東圏で広く栽培されているコマツナを対象として現状濃度のオゾンによる収量低下率を評価した。都道府県によってオゾンによる収量低下率は異なるが、7月において最も高く、10-27%であった（2010-2019年の平均）。これはオゾン濃度が高いことと、気温が高くてオゾンの悪影響が発現しやすいことに起因していた。したがって、オゾン濃度の低減対策のみならず温暖化対策も必要だと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのオゾンの影響評価モデルは経験的なモデルであり、本研究で開発したプロセスベースの植物成長モデルはより多様な環境条件に適用できると考えられる。本モデルを用いた解析によって、7月頃はオゾン濃度が高いことに加えて、気温が高いことでオゾンの悪影響がより一層顕著になることが明らかになった。また、このことから、将来にわたって農作物の収量を高く維持していくためには、オゾン濃度の低減のみならず温暖化対策も同時に進める必要があることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Recently, there is concern about negative effects of on agricultural crops. This study developed a growth model that incorporates effect and evaluated the -induced yield reduction at current concentrations for komatsuna, which is widely grown in the Kanto region, where concentrations are relatively high. Although the yield reduction rate due to varied among prefectures, it was highest in July, ranging from 10-27% (mean of 2010-2019). This was attributed to high concentrations and high temperatures in July, which promotes the adverse effects of . Therefore, it is necessary not only to take measures to reduce concentrations, but also to of global warming.

研究分野：植物生理生態学、農業気象学

キーワード：オゾン 光合成 収量 植物成長モデル 影響評価

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、持続可能な開発目標（SDGs）やパリ協定を受け、農作物の収量に対する気候変動の影響評価が活発に行われており、悪影響に対する緩和・適応策の検討も行われつつある。一方、農作物に対するPM_{2.5}（粒径2.5 μm以下の粒子状物質）などの大気汚染物質の悪影響も懸念されている。日本では約1,200ヶ所で大気汚染物質の濃度が測定されており、PM_{2.5}における環境基準の達成率は88.7%となっている（平成28年度）。それに対して、光化学オキシダントにおいては0.1%であり、環境基準をまったく達成できていない。光化学オキシダントの主成分であるオゾン酸化力が極めて強く、植物の葉の気孔から葉内に侵入して光合成、呼吸および各植物器官への光合成産物の分配などに影響を及ぼし、収量を低下させる。しかしながら、日本においては農作物の収量に対するオゾンの影響実態はほとんど把握されていない。今後は、持続可能な社会の実現のために農作物に対する気候変動の影響把握のみならずオゾンの影響把握や対策の実施が必要になる可能性がある。

(2) 気候変動分野においては、植物の光合成や呼吸などの生理プロセスを反映した植物成長モデルが開発され、農作物の収量に対する気候変動の影響評価が行われてきた。一方、オゾンの影響評価モデルとして、40 ppbを超える大気オゾン濃度の積算値（AOT40）または葉のオゾン吸収量に比例して農作物の収量が低下するという経験的な関係式を用いて、田畑の農作物の収量に対するオゾンの影響が評価されてきた。しかしながら、これまで開発されてきたオゾンの影響評価モデル経験的であり、気候変動分野で開発されたプロセスベースの植物成長モデルとの親和性はなく、オゾンと気候変動の複合影響を評価できないという問題点がある。一方、将来的には、農作物に対する気候変動とオゾンの複合影響評価および対策が必要となることが予想される。それを実行するためには、気候変動分野で開発されたモデルをベースにした、オゾンの影響プロセスを反映した植物成長モデルの新規開発が必要不可欠である。

2. 研究の目的

(1) オゾンによる収量低下プロセスを導入した植物成長モデルを新規開発する。

(2) プロセスベースの植物成長モデルを用いて、日本の農作物の収量に対するオゾンの現状影響評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 植物成長モデル開発用として2019年4～12月に4回、モデル検証用として2020年4～12月に3回のコマツナ（*Brassica rapa* var. *perviridis*, cv. いなむら）へのオゾン暴露実験を行った。オゾン暴露実験設備として、山梨大学甲府キャンパス圃場に設置した8基のオープントップチャンバー（OTC）を用いてコマツナを育成した。処理区として、オゾン触媒フィルターによってOTC内のオゾンを浄化する浄化空気区、OTC内のオゾン濃度を外気濃度の2.0倍に制御するオゾン添加区の2段階を設け、各処理区あたり4反復を設けた。育成期間中に、純光合成速度、気孔コンダクタンス、葉数、葉面積、植物器官別の乾重量などを測定した。それらのデータに基づいて農作物の収量に対するオゾンの影響プロセスを解明し、気候変動分野において開発されてきた植物成長モデルをベースに、そこに新たにオゾンの影響プロセスを導入した。植物成長モデルは、光合成、呼吸（維持・構成）、光合成産物の分配、葉面積成長などの各種植物生理プロセスを反映したモデルとした。なお、オゾンの影響プロセスとしては、葉におけるオゾン吸収とそれに伴う光合成低下を考慮した。

(2) 新規開発したオゾンの影響プロセスを考慮した植物成長モデルを用いて、関東圏のコマツナの収量に対するオゾンの現状影響評価を行った。オゾン濃度は国立環境研究所の環境数値データベース、気象データは気象庁の過去の気象データ検索から取得し、各都道府県における環境データの1時間平均値を解析に用いた。対象期間は2010～2019年の4～10月とし、各月の1日に発芽したと仮定して、その30日後の収量に対するオゾンの影響を評価した。

4. 研究成果

(1) オゾン暴露によってコマツナの収量や純光合成速度が低下した。この時、オゾンによって気孔コンダクタンス、最大カルボキシル化速度、最大電子伝達速度が低下し、細胞間隙CO₂濃度は上昇していた。このことから、オゾンによる光合成低下の原因は気孔閉鎖に伴う葉内CO₂の不足ではなく、葉内の光合成能力の低下であることが明らかになった。

(2) オゾンによる純光合成速度の低下をモデル化するために、光合成低下の原因であった葉内の光合成能力の指標である最大カルボキシル化速度または最大電子伝達速度と気孔を介した葉のオゾン吸収量との関係を得た。オゾンは葉内で一部解毒されるため、ある一定の閾値を上回る葉のオゾン吸収量と光合成能力の指標との関係を解析したところ、線形回帰式のR²は0.705で

あった。しかしながら、得られた線形回帰モデルでは、気温の高い時期にはオゾンによる光合成能力の低下を過小評価し、気温の低い時期にはそれを過大評価する傾向が認められた。一般に、オゾンの悪影響は気温が高い時期に著しくなることが知られており、本研究ではオゾンの影響発現に関わる閾値を気温の関数にしてオゾン吸収量を再計算した。その結果、 R^2 は著しく向上し、0.878となった(図1)。本モデルを用いれば、気温に依存したオゾンの悪影響の変化を考慮して、オゾンによる光合成低下を評価できることが明らかになった。

(3) 本研究では、光合成、呼吸(維持・構成)、光合成産物の分配、葉面積成長などの各種植物生理プロセスをモデル化・パラメタライズし、植物成長モデルを開発した(図2)。モデル検証用実験における収量予測の平均絶対パーセント誤差(MAPE)は20.2%であった。

(4) オゾンによる収量変化率をモデルで予測した(図3)。その結果、オゾンによる収量変化率の平均絶対誤差(MAE)は4.7%であり、誤差が比較的小さかった。また、本結果からオゾンによる光合成低下が収量低下の主要因であり、光合成低下プロセスを植物成長モデルに導入することで、オゾンによる収量低下を精度良く評価できることが明らかになった。

(5) 一般に大気中のオゾン濃度は春および梅雨明けに高くなるが、オゾンによるコマツナの収量低下率の予測値は7月に最も高く、4-5月は比較的低かった(図3は群馬県の例)。これは、気温が高いとオゾンの悪影響が顕著になるという現象を本モデルは反映しているためである。また、7月におけるオゾンによる収量低下率は年度や都道府県によって異なるが、最大で約40%であることも示唆された。以上のことから、オゾン濃度が高く、かつ、比較的気温が高い7月頃には、現状濃度のオゾンによって日本の農作物の収量が顕著に低下している可能性があり、将来にわたって農作物の収量を高く維持していくためには、オゾン濃度の低減対策のみならず温暖化対策も重要だと考えられた。

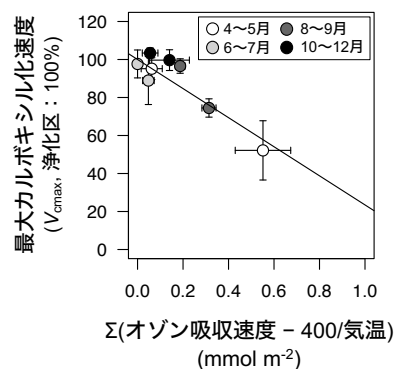


図1 解毒能力を上回るオゾンの吸収量と最大カルボキシル化速度との関係。

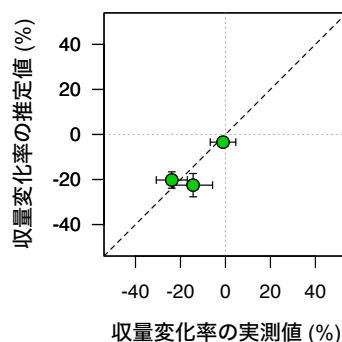


図2 オゾンによる収量変化率の実測値と推定値との関係。

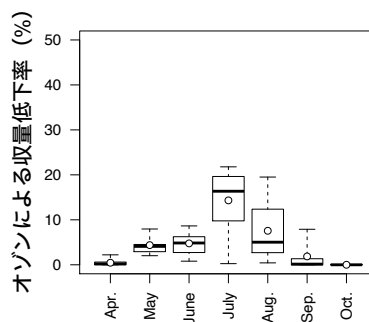


図3 群馬県におけるオゾンによる収量低下率の推定値。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黄瀬 佳之, 山中 くるみ, 渡壁 佳子, 茂手木 悠樹
2. 発表標題 植物成長モデルを用いたコマツナの収量に対するオゾンの影響評価法の開発
3. 学会等名 大気環境学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黄瀬佳之, 山中くるみ, 渡壁佳子, 茂手木悠樹, 橋口佑菜, 藤川あかり, 村山咲乃, 宮口光大, 山口真弘
2. 発表標題 コマツナの収量予測モデルの開発とオゾン・気温・CO2濃度上昇環境での利用可能性
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------