

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：32682

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：平成23年度～平成24年度

課題番号：23658019

研究課題名（和文）地球温暖化と作物生産の関係解析のためのエアフィルター式チャンバー

研究課題名（英文）An air-filter chamber to analyze the relationship between global warming and crop production

研究代表者

今井 勝（IMAI KATSU）

明治大学・農学部・教授

研究者番号：20125991

研究成果の概要（和文）： 新たな発想によるエアフィルター式チャンバーを設計し、戸外に設置して温度環境に関わる制御能力を検討するとともに、水稻およびコムギを栽培して温暖化影響を検討した。このチャンバーの外気温追従および一定の加温追従能力は満足できるものであり、作物も期待される成長を示した。また、温暖化に関連して、水稻に対するオゾンと二酸化炭素の相互作用を純光合成、光化学系 II および抗酸化物質等に着目した実験を遂行し、有用な成果を得た。

研究成果の概要（英文）： An air-filter chamber based on a new idea was designed and set up outdoors. This chamber enabled to add surplus temperature up to 5°C in addition to truck natural changes of temperature. The growth and dry matter production of paddy rice and wheat were those in expected ranges. On the other hand, in relation to global warming, the interaction between ozone and carbon dioxide on paddy rice was examined: ozone inhibited net photosynthesis and photosystem II activities but carbon dioxide ameliorated these inhibitions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・作物学-雑草学

キーワード：温暖化影響，食用作物，物質生産，リアルタイム制御

## 1. 研究開始当初の背景

（1）地球温暖化が顕在化しつつある今日、食料供給の基礎となる作物生産に及ぼす主要環境要因、特に温度、二酸化炭素、オゾンなどの単独ないし組み合わせの影響評価が要求されていた。そのためには、環境要因を厳密に制御して作物を栽培する設備が必要であるが、標的とする要因以外は自然か自然に近い条件を形成できるものとして、オープントップ・チャンバーや FACE (Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment) があるが、設置費用や制御能力の点で、さらに経済的で精密な制御が可能な設備の開発が望まれていた。

## 2. 研究の目的

（1）新たな研究を展開するために、今までに誰も思いつかなかった発想に基づき、形式はオープントップ（天井なし；光条件が自然）であるが、環境の制御方式が全く異なる高性能の環境制御装置を、低廉な価格で製作すること。

（2）既存の環境制御装置（自然光ファイトトロン）を用いて、地球温暖化に関連した環境変化と作物、特に水稻の反応を光合成関連形質と抗酸化物質およびストレス関連の植

物ホルモンに着目して解析する。

### 3. 研究の方法

(1) 新たにエアフィルター式チャンバーを考案・製作し、その環境制御能力（外気温度環境への追従と外気+数度の昇温制御、室内の温度分布のムラ、など）を検討する。また、作物を栽培して、予期される生育反応がもたらされるのか否かを確認する。

(2) 既設の自然光型ファイトトロンを用い、光合成による二酸化炭素の吸収と光化学系IIの活性を環境ストレスの指標として、光化学オキシダント（主成分はオゾン）の被害を受ける水稻の生理代謝変化の追跡、および高二酸化炭素濃度が存在すると、その反応がどのように変化するのかを探求する。

### 4. 研究成果

(1) 戸外にエアフィルター式チャンバーを製作し、所期の性能を発揮するか否かを検討した。このチャンバーは、アルミニウム製のフレームにテフロン・フィルムを張り付け、空気流動システムとヒートポンプを利用した冷暖房システムを設置して、自然光下で環境と作物の関係を解析することを目的として製作したものである。その結果、流動する空気の層がフィルター（カーテン）の役割を果たし、天井が存在しない（オープントップ）にも拘らず、チャンバー内部の温度を精度良く制御できることが明らかになった。本研究では、外気温追従型の制御方式を採用しており、定値温度制御ではない。ただし、設置1年目の実験初期にはチャンバーの冷暖房に関わるヒートポンプが暑熱期および厳冬期に能力不足に陥ることがあり、不凍液の増量や温水還流速の増強などを含め、試験運転にかなりの期間と改善とを要した。

(2) 上記のチャンバーを用いて、2年目の夏季には水稻、冬季にはコムギをポット栽培した。その際にチャンバーの右半分を外気温追従、左半分を外気温+5℃に設定したが、夏季の実験（水稻）では、上述のように、ヒートポンプの容量不足で、実際には3.5℃位の差しかつかなかつた。冬季のコムギに実験では、確実に5℃の差をつけることができ、コムギの成長と乾物生産にも明らかに違いが出た。よって、今後、温暖化と作物生産の関係解明に有力な手段として利用できることが確認できた。ただし、一台のチャンバーの中で温度を2区分することは難しく、高温側から低温側への顕熱伝達で、どうしても左右の境界領域では温度制御が厳密ではなくなることが分かった。栽培する植物のポットの位置を順次変更することにより、この不正確さを是正することが可能であるが、今後は、

チャンバー中央にテフロン・シートを吊り下げることによって、温度境界を明確に区分することができると考えている。このように、チャンバーのサイズを横方向に拡大すると、原理的には透明な（光環境が同一）その中で多種類の温度勾配環境を作出することができ、設置経費を極めて節減しながらも、温暖化影響を精密に解析することができる。

今後は、開発したチャンバーを用いて、水稻における登熟期の高温による登熟不良米の原因および冷害による不稔出現の機構の解明、ならびに温室効果ガス間の作物に対する相互作用の解析などに焦点を当てた研究を進める予定である。

(3) 新たなチャンバー設置と並行して、今後新チャンバーで行える内容と類似した実験を、既設のチャンバー（半閉鎖型）を用いて行った。材料に水稻を用い、生育各期に光化学オキシダントの主成分であるオゾンを数時間曝露し、植物の光合成に関連したパラメータの急性反応を調べた。また、同時に関連した抗酸化物質や植物ホルモンの動態も調べた。オゾンは0, 0.1, 0.3ppmの濃度、二酸化炭素は400, 800ppmの濃度として実験を行った。これは、将来の高二酸化炭素環境下で光化学オキシダントが発生した場合の植物反応をシミュレートしたものである。オゾンは生体膜を攻撃し、動物、植物を問わず生命体に甚大な被害をもたらすが、水稻においては、0.1ppmが可視被害の出る閾値に近い濃度であり、実験を行った明治大学生田校舎では年間数回～10回程度も夏季に出現する。また、オゾンが0.3ppmでは、確実に被害が出る。この分野で得られた成果は以下の通りである：

①高二酸化炭素濃度下で生育した水稻の光合成に及ぼすオゾンの急性曝露の影響 —— 二酸化炭素濃度を400, 800ppmとして水稻を栽培し、そこにオゾン濃度を0, 0.1, 0.3ppmとして晴天日に5時間曝露し、純光合成速度、気孔コンダクタンス（気孔の開き具合）、光化学系IIに関わる最大量子収率、実効量子収率、アスコルビン酸などの変化を経時的に追跡した。その結果、800ppmの二酸化炭素濃度下で生育した水稻は、光合成の順化を起しており、気孔コンダクタンスが小さいので、オゾンの葉内への流入を減じ、したがって、オゾン被害も小さかった。しかしながら、抗酸化物質の還元型アスコルビン酸およびアスコルビン酸の酸化還元状態は増大・改善されないで、高二酸化炭素濃度は水稻の抗酸化システムの増強をもたらさないものと結論した。

②異なる二酸化炭素濃度下で生育した水稻

のオゾンによる光合成阻害とアスコルビン酸に及ぼすジャスモン酸メチルの影響 --- ジャスモン酸メチルはオゾン被害に対抗する抗酸化システムに関与する植物ホルモンとして知られるが、高二酸化炭素濃度下で生育した水稻がオゾンの曝露を受けた場合に、投与したジャスモン酸メチルがどのような働きをするのかを知るために、純光合成速度、気孔コンダクタンス、光化学系 II に関わる最大量子収率、実効量子収率、アスコルビン酸などの変化を経時的に追跡した。その結果、純光合成速度、気孔コンダクタンス、最大量子収率および実効量子収率はオゾン曝露により直ちに阻害を受けたが、ジャスモン酸メチルは最大量子収率および実効量子収率のオゾン阻害を改善した。純光合成速度もジャスモン酸メチルにより回復したが、気孔コンダクタンスはそうでなかった。また、オゾンは還元型アスコルビン酸とアスコルビン酸の酸化還元状態を劣化させたが、ジャスモン酸メチルはそれらを増強する役割を演じていた。二酸化炭素濃度が 800ppm の場合、ジャスモン酸メチルの働きは 400ppm の場合よりも小さかった。

③水稻の止葉における葉の角度とオゾン被害の関係 --- 水稻の葉におけるオゾン被害は、葉の裏側よりも表側で激しく生ずることが観察される。水稻の葉にはオゾンが流入する場としての気孔密度がほぼ同じであるため、これが葉面の光強度と関係していることは容易に推察される。また、同一個体の下位葉は上位葉よりもオゾン被害を受けやすいので、これも葉面での光強度と関係があるものとの仮説を立て、葉身の角度を水平または垂直にして、同じ日射強度のもとでオゾンを曝露し、純光合成速度、気孔コンダクタンスおよび光化学系 II の活性を経時的に追跡した。その結果、仮説の通り、水平葉は同じ日射条件でも垂直葉より受光量が多く、オゾン被害も大きかった。また、抗酸化物質であるアスコルビン酸の含有量は、上位葉と下位葉の間でさほど違いがなかった。したがって、オゾン被害には葉身の角度が大きく関わっていることが分かった。

④水稻葉におけるオゾン被害に及ぼすアスコルビン酸およびサリチル酸の影響 --- 一部は未発表であるので、概略を述べるに留めるが、予め、根から植物体にアスコルビン酸を吸収させて体内濃度を高めておくと、オゾンによる被害がほとんど発現しないことがわかった。また、植物のストレス反応に関わると推定されるサリチル酸の水稻葉への投与がオゾン被害を軽減するとともに、オゾン曝露により体内でサリチル酸が大量に合成されることも分かった。オゾンが葉内に流

入すると、既に存在していた抗酸化物質は消耗されるので、新たな生成が誘導されるが、水稻ではやや能力不足であることがわかった。また、ジャスモン酸やサリチル酸は抗酸化物質の生成を促すのみならず、細胞死を誘導するという別の役割に伝達物質として働いていることが、示唆された。

今後は、今回新たに設置したチャンバーを活用して、より自然に近い状態での、オゾン、二酸化炭素、抗酸化物質および植物ホルモンの相互作用を検討したい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

(1) Kobayakawa, H., Imai, K. Inclination angle affects ozone injury in the flag leaf of rice. *Plant Production Science*, 査読有, Vol. 16, 2013, 24-30.

(2) Kobayakawa, H., Imai, K. Effect of acute O<sub>3</sub> exposure on leaf photosynthesis of paddy rice grown at elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Environment Control in Biology*, 査読有, Vol. 50, 2012, 31-39.

(3) Kobayakawa, H., Imai, K. Methyl jasmonate affects O<sub>3</sub>-inhibition of photosynthesis and ascorbic acid content in paddy rice grown at different CO<sub>2</sub> concentrations. *Environment Control in Biology*, 査読有, Vol. 50, 2012, 335-345.

[学会発表] (計 6 件)

①小早川紘樹・今井勝, 水稻の光化学系 II およびサリチル酸に及ぼすオゾンおよび二酸化炭素の影響, 日本作物学会第 135 回講演会, 2013 年 3 月 28 日, 明治大学生田校舎.

②小早川紘樹・今井勝, 異なる二酸化炭素濃度下で生育した水稻における光合成のオゾン阻害に及ぼすサリチル酸の影響, 日本作物学会第 135 回講演会, 2013 年 3 月 28 日, 明治大学生田校舎.

③小早川紘樹・今井勝, オゾン曝露したイネ葉における光化学系 II の測定に適切な暗順応時間, 日本生物環境工学会 2012 年東京大会, 2012 年 9 月 7 日, 東京大学農学部.

④小早川紘樹・今井勝, 異なる二酸化炭素濃

度下で生育した水稻における光合成のオゾン阻害に及ぼすジャスモン酸メチルの影響, 日本作物学会第 234 回講演会, 2012 年 3 月 30 日, 東京農工大学農学部.

⑤小早川紘樹・今井勝, 水稻光合成のオゾン阻害に及ぼすアスコルビン酸の影響, 日本作物学会関東支部会, 2011 年 12 月 2 日. 熊谷文化創造館

⑥田代亨・今井勝, 登熟期の植物成長調節剤散布が米質に及ぼす影響, 日本作物学会第 232 回講演会, 2011 年 9 月 2 日, 山口大学農学部.

[その他]

ホームページ等

<http://rwb2.mind.meiji.ac.jp/Profiles/8/0000788/profile.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今井 勝 (IMAI KATSU)  
明治大学・農学部・教授  
研究者番号: 20125991

### (2) 研究分担者

( )  
研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: