

平成 22 年 6 月 18 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19580019

研究課題名（和文） 大気 CO₂ 濃度の増加が水田雑草と水稲の競合に及ぼす影響の解明研究課題名（英文） Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on the competition between rice and paddy-field weeds

研究代表者

酒井 英光 (SAKAI HIDEMITSU)

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員

研究者番号：00354051

研究成果の概要（和文）：イヌホタルイ・コナギは水稲よりも大きな高 CO₂ 応答を示した。一方、タイヌビエでは高温条件においてのみ高 CO₂ 応答を示し、温度・CO₂ 濃度の相互作用が存在する雑草種があることが示唆された。そして、大気 CO₂ 濃度の上昇により水稲と水田雑草の競合が激しくなり、水稲の減収率が高まることが示唆された。また、水田雑草の密度が高いほど水稲の N 吸収量が減少し、減収率が高まることが示唆された。

研究成果の概要（英文）： *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides* showed higher growth responses to elevated CO₂ than rice. *Echinochloa oryzoides* responded to elevated CO₂ only under higher temperature condition, showing the interaction between CO₂ concentration and temperature. Elevated CO₂ stimulated the competition between rice and paddy-field weeds, which decreased rice yields under the future CO₂ concentration.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：作物学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：気候変動，水稲，収量，雑草，競合，CO₂，水田

1. 研究開始当初の背景

大気 CO₂ 濃度の上昇およびそれに伴う温暖化は、作物生産に極めて大きな影響を及ぼす。大気 CO₂ 濃度の上昇による作物の増収率は、実際の圃場において CO₂ を暴露する開放系大気 CO₂ 増加 (Free-Air CO₂ Enrichment ; FACE) 実験を行った場合には、人工気象室や温室を用いたこれまでの実験結果から予測される値ほどには高くはなかった。そのため、実際の圃場条件では、大気 CO₂ 濃度上昇による作物収量の増加は IPCC の予測を下回るのではないかと懸念されている。

実際の圃場では、作物収量は雑草害、病害および虫害によって減収する。その中でも特に大気 CO₂ 濃度上昇時に問題となるのが雑草害であると考えられる。イネと同様に水田雑草も CO₂ 増加により生長が促進されるため、イネに対する養分（特に窒素 (N)）の競合力がより高まれば、CO₂ 上昇時のイネの増収率が大きく低下する可能性があることが上記の結果から示唆される。

しかしながら雑草を対象とした高 CO₂ 応答の研究は非常に限られており、特に作物との資源の競合への影響についての報告は稀で

ある。さらに、これまでに行われた研究のほとんどが海外で行われてきたために、畑地雑草を対象としており、水田雑草についての研究はほとんどないのが実情である。畑地では光合成経路が C₄ 型の雑草が優勢であるのに対し、水田では C₃ 型の雑草が優勢である。そのため、畑地雑草を用いた高 CO₂ 実験の結果を水田に適用することは難しい。また、C₃ 型の水田雑草において高 CO₂ 応答の種間差がどの程度あるのかも不明である。

2. 研究の目的

大気 CO₂ 上昇時のイネの生産量の変動予測を行う上では、水田雑草の生長やイネとの資源の競合に及ぼす CO₂ 増加の影響を明らかにする必要がある。そこで本研究では主要な水田雑草を対象として、大気 CO₂ 増加が各種雑草の生理、生長および種子生産量に及ぼす影響を明らかにする。また、雑草の高 CO₂ 応答と温度との相互作用についても検証を行う。さらに、高 CO₂ 条件下でイネとの競合実験を行い、高 CO₂ によるイネの増収率に及ぼす影響を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 高 CO₂ に対する水田雑草の応答解明

本研究には水稲 (*Oryza sativa*; 品種: コシヒカリ) および主要な水田雑草 (イネ科雑草: タイヌビエ [*Echinochloa oryzoides*]、広葉雑草: コナギ [*Monochoria vaginalis*]、カヤツリグサ科雑草: イヌホタルイ [*Scirpus juncooides*]) を供試した。水稲およびタイヌビエは採取した種子から発芽させた個体を用い、コナギおよびイヌホタルイは茨城県つくばみらい市の水田から採取した土を灌水し、出芽した個体を用いた。水稲は5月21日、タイヌビエおよびコナギは6月1日、イヌホタルイは6月8日に、1ポットに3個体を移植した。移植時の葉令はどの種も約4であった。移植後は野外型人工気象室において生育させた。室内の環境条件は、気温 32/22°C (昼/夜)、相対湿度 70%とし、CO₂ 濃度は 380 / 680 ppmv の2水準とした。ポットあたり N、P₂O₅、K₂O をそれぞれ 0.6、1、1g 移植前に施肥し、移植後約 40 日に N を 0.4g 追肥した。移植後約 30 日 (水稲は 39 日) および 60 日に、各 CO₂ 濃度処理区から水稲は 3 ポット、各雑草は 5 ポットの破壊的サンプリングを行い、茎数、葉面積、器官別の乾物重および窒素濃度を測定した。

(2) 高 CO₂・温暖化に対する水田雑草の生長応答の解明

本研究には国内の主要な 3 種の水田雑草 (イネ科雑草: タイヌビエ [*Echinochloa oryzoides*]、広葉雑草: コナギ [*Monochoria vaginalis*]、カヤツリグサ科雑草: イヌホタルイ [*Scirpus juncooides*]) を供試した。タイヌビエは種子から発芽させた個体を用い、コナギおよびイヌホタルイは農業環境技術研究所 (茨城県つくば市) の水田から採取した土を灌水し、出芽した個体を用いた。タイヌビエは 4 月 15 日、コナギおよびイヌホタルイは 4 月 23 日に、栽培用ポットに移植した。移植後は野外型環境制御チャンバー (高さ 2.61m、幅 4m、奥行き 3.05m) を用いて約 80 日間生育させた。チャンバー内の環境条件は、CO₂ 濃度が外気 (380ppmv)、高濃度 (680ppmv) の 2 水準の条件において、温度を標準 (29/21°C; 昼/夜)、高温 (34/26°C) の 2 水準とし、計 4 つの試験区を設定した。全試験区において相対湿度は 70%とした。ポットあたり N、P₂O₅、K₂O をそれぞれ 0.6、1、1g 移植前に施肥し、移植後約 40 日に N を 0.4g 追肥した。実験期間中に 4 回の破壊的サンプリングを行い、各試験区の茎数、葉面積、地上部の器官別乾物重および各器官の窒素濃度を測定した。

ルイ [*Scirpus juncooides*]) を供試した。タイヌビエは種子から発芽させた個体を用い、コナギおよびイヌホタルイは農業環境技術研究所 (茨城県つくば市) の水田から採取した土を灌水し、出芽した個体を用いた。タイヌビエは 4 月 15 日、コナギおよびイヌホタルイは 4 月 23 日に、栽培用ポットに移植した。移植後は野外型環境制御チャンバー (高さ 2.61m、幅 4m、奥行き 3.05m) を用いて約 80 日間生育させた。チャンバー内の環境条件は、CO₂ 濃度が外気 (380ppmv)、高濃度 (680ppmv) の 2 水準の条件において、温度を標準 (29/21°C; 昼/夜)、高温 (34/26°C) の 2 水準とし、計 4 つの試験区を設定した。全試験区において相対湿度は 70%とした。ポットあたり N、P₂O₅、K₂O をそれぞれ 0.6、1、1g 移植前に施肥し、移植後約 40 日に N を 0.4g 追肥した。実験期間中に 4 回の破壊的サンプリングを行い、各試験区の茎数、葉面積、地上部の器官別乾物重および各器官の窒素濃度を測定した。

(3) 水稲と水田雑草の競合に及ぼす高 CO₂ の影響解明

高 CO₂ 条件下でイネとの競合実験を行い、高 CO₂ 濃度によるイネの増収率に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的に研究を行った。

試験は、農業環境技術研究所内にある野外型半閉鎖系人工気象室 (高さ 2.61m、幅 4m、奥行き 3.05m) 2 室を用いて行った。室内の環境条件は、気温 32/22°C (昼/夜)、相対湿度 70%とした。2 水準の CO₂ 濃度条件 (外気レベル (380ppmv) および外気 + 300ppmv) において、水稲および水田雑草を成熟期までポットにおいて栽培した。ポットあたり N、P₂O₅、K₂O をそれぞれ 0.6、1、1g 移植前に施肥し、移植後約 55 日に N を 0.4g 追肥した。水田雑草の主要な構成種であるイヌホタルイ (カヤツリグサ科) およびコナギ (広葉雑草) の 2 種を試験に供試した。両水田雑草について、水稲 1 個体に対して 5、10、15 個体の 3 水準の密度でポットに移植し、水稲と同一のポット内で競合させた。水稲の出穂期にあたる移植後約 61 日および成熟期にあたる移植後 112 日に、各 CO₂ 濃度処理区において水稲単作区および各雑草競合処理区からは 3 ポットの破壊的サンプリングを行い、水稲および水田雑草の茎数、葉面積、器官別の乾物重および窒素濃度を測定した。成熟期の水稲サンプルについては収量調査を行った。

4. 研究成果

(1) 高 CO₂ に対する水田雑草の応答解明
CO₂ 濃度の上昇に対する総乾物重の応答は、移植後 30、60 日ともにイヌホタルイ > コナギ > タイヌビエ・水稲の順に大きかった (図

1. a)。

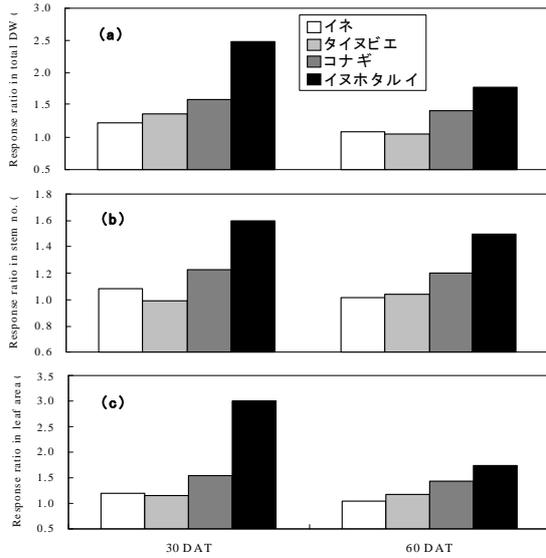


図1. 移植後約30, 60日の高CO₂濃度に対する(a)総乾物重, (b)茎数, (c)葉面積の応答

特にイヌホタルイでは、移植後30日で約2.5倍、60日で約1.8倍と非常に大きなCO₂応答がみられた。一方、イネ科である水稲およびタイヌビエはともにCO₂応答が大きなものではなく、5%水準では統計的に有意ではなかった。どの種においても、総乾物重の応答は移植後30日の方が60日より大きかった。CO₂濃度の上昇に対する茎数および葉面積の応答においても、ほぼ総乾物重と同様の傾向がみられた(図1.b, c)。各器官へのバイオマス分配率は、どの種においてもCO₂濃度上昇の影響をあまり受けず、両CO₂処理間の差は小さなものであった。

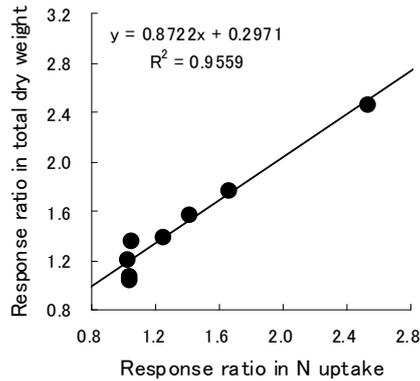


図2. 高CO₂濃度に対する窒素吸収量の増加比(E/A)と総乾物重の増加比(E/A)の関係

* 移植後約30, 60日における全種のデータを用いた,
** E: elevated CO₂, A: ambient CO₂

CO₂濃度の上昇に対する窒素吸収量の応答と総乾物重の増加比(E/A)の関係には、高い正の相関関係がみられた(図2)。

このことから、種および移植後日数の応答の違いは、窒素吸収応答の程度と密接に関わっていると考えられた。以上の結果から、競

合条件下ではなく窒素が十分な環境においては、イヌホタルイやコナギなどの水田雑草は、水稲よりも大きな高CO₂応答を示すことが示唆された。

(2) 高CO₂・温暖化に対する水田雑草の生長応答の解明

タイヌビエは、最終地上部バイオマスが温度上昇により有意に34%増加したが、CO₂濃度増加によっては有意には増加しなかった(図1)。しかし、高温区においてはCO₂濃度増加により17%増加し、高CO₂と高温の有意な相互作用がみられた。コナギは、最終地上部バイオマスが温度上昇およびCO₂濃度増加により有意に増加し、その増加率はそれぞれ51%、13%であった(図3)。しかし、両者の相互作用はみられなかった。イヌホタルイは、最終地上部バイオマスがCO₂濃度増加により有意に増加し、その増加率は3種中で最大の81%であった(図3)。温度上昇によりイヌホタルイの最終地上部バイオマスは有意に減少したが、穂重(種子生産量)は逆に41%増加していた。

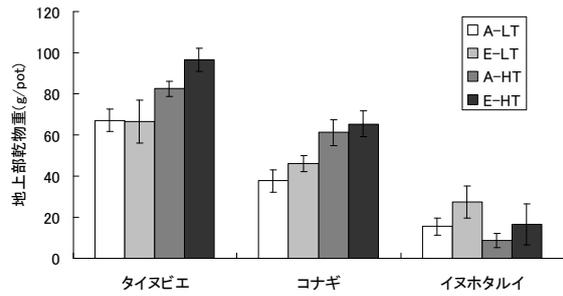


図3. 移植後約80日におけるタイヌビエ、コナギ、イヌホタルイの温度およびCO₂濃度の増加に対する地上部乾物重の応答; E: 高CO₂, A: 外気CO₂, LT: 標準気温, HT: 高温。

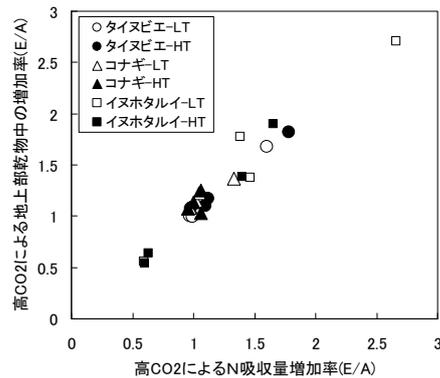


図4. 高CO₂濃度に対する窒素吸収量の増加比(E/A)と地上部乾物重の増加比(E/A)の関係; E: 高CO₂, A: 外気CO₂, LT: 標準気温, HT: 高温。

CO₂濃度の上昇に対するN吸収量の応答と地上部乾物重の増加比(E/A)の関係には、非常に高い正の相関関係がみられた(図4)ことから、

種および温度処理による高 CO₂ 応答の変動は、N 吸収応答の程度と密接に関わっていると考えられた。

これらの結果より、温度・CO₂ 濃度の上昇に対する成長応答は水田雑草の種によって大きく異なること、バイオマス生産に対する温度・CO₂ 濃度の相互作用が存在する雑草種があることなどが示唆された。

(3) 水稻と水田雑草の競合に及ぼす高 CO₂ の影響解明

成熟期の水稻のバイオマスは、コナギおよびイヌホタルイとの競合によりそれぞれ 22、20%低下した。また、高 CO₂ 濃度によりその低下率は大きい傾向がみられた。水稻の精籾収量は、両水田雑草との競合により 27%低下した。コナギとの競合では外気 CO₂ 濃度および高 CO₂ 濃度下でそれぞれ 22、32%の減収、イヌホタルイとの競合ではそれぞれ 24、31%の減収がみられ、高 CO₂ 濃度により水稻の減収率が高まった。また、雑草密度が高いほど水稻の減収率は高まった (図 5)。

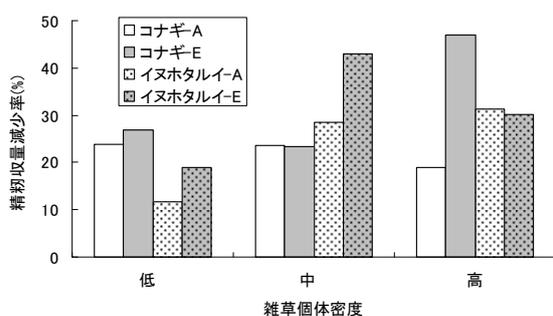


図 5. 水田雑草の個体密度が水稻の精籾収量の減少率に及ぼす影響, *E: 高 CO₂, A: 外気 CO₂, **水稻単作区の収量を基準として減少率を計算した。

収量構成要素である籾数は雑草との競合により減少したが、登熟歩合および一粒重には影響はみられなかった。

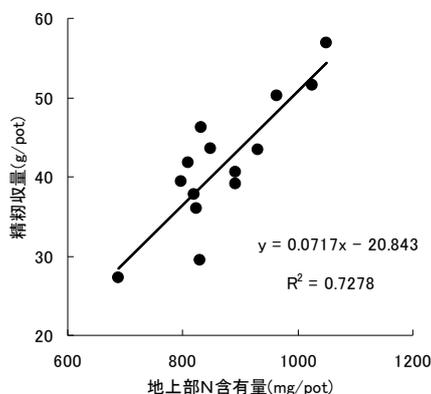


図 6. 全処理区を通じた水稻の地上部 N 含有量 (吸収量) と精籾収量の関係

全 CO₂・雑草処理区を通して水稻の地上部 N 含有量 (吸収量) と精籾収量との間には高い

正の相関関係がみられた (図 6)。また、水稻の地上部 N 含有量と競合する水田雑草の地上部 N 含有量との間には高い負の相関が見られた。このことから、高 CO₂ 濃度環境下で減収率が高まる主要因は、水田雑草との N 競合が激しくなり、水稻の N 吸収量の減少がより大きくなるためであると考えられた。

以上の結果から、大気 CO₂ 濃度の上昇により水稻と水田雑草の競合が激しくなり、水稻の減収率が高まることが示唆された。そして、水田雑草の密度が高いほど水稻の N 吸収量が減少し、減収率が高まることが示唆された。このことは、将来の高 CO₂ 濃度環境においては、より確実な雑草管理が必要になることを意味している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

① Weiguo Chen, Hidemitsu Sakai, Seiichi Nishimura, Kazuyuki Yagi, Toshihiro Hasegawa, The lowland paddy weed *Monochoria vaginalis* emits N₂O but not CH₄, Agriculture, Ecosystem and Environment, 査読有, 137 巻, 2010, 219-221

〔学会発表〕 (計 7 件)

① 酒井英光, 温度および CO₂ 濃度の上昇が水田雑草の成長に及ぼす影響, 日本農業気象学会 2010 年度全国大会, 2010 年 3 月 18 日, 名城大学

② 程為国, *Azolla filiculoides*, a floating aquatic fern response to elevated [CO₂] with high temperature and P nutrient, 12th European Weed Research Society Symposium, 2009 年 8 月 24-28 日, フィンランド

③ 酒井英光, 大気 CO₂ 濃度の上昇に対する水稻および水田雑草の生長応答の比較, 日本作物学会第 227 回講演会, 2009 年 3 月 28 日, つくば国際会議場エポカル

④ 程為国, 大気中の二酸化炭素濃度の上昇が水生シダ植物アゾラ (*Azolla filiculoid*) の増殖に及ぼす影響, 日本作物学会第 226 回講演会, 2008 年 9 月 25 日, 神戸大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 英光 (SAKAI HIDEMITSU)
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 00354051

(2) 連携研究者

程 為国 (CHENG WEIGUO)
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・農環研特別研究員
研究者番号: 80450279