

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25740032

研究課題名(和文)水田におけるバイオチャー施用がメタン発生に与える影響の評価とメカニズムの解明

研究課題名(英文)Evaluation of the effect of biochar application on methane emission from rice paddy field

研究代表者

当真 要 (Toma, Yo)

愛媛大学・農学部・助教

研究者番号：10514359

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：稲わら等有機物を施用した条件下では、水稻栽培へのバイオチャー施用はCH<sub>4</sub>発生量を増加する可能性がある。一方でバイオチャー施用はN<sub>2</sub>O発生量を低下する傾向にあり、有機物の還元的分解によるCH<sub>4</sub>生成増加とN<sub>2</sub>O生成低下が原因と考えられた。

圃場試験では稲の残さとバイオチャー施用で稲わらの還元的な分解が増加しCH<sub>4</sub>生成が増加した一方、N<sub>2</sub>Oは非栽培期の土壌の好气的環境化で発生量が低下した。地球温暖化指数で評価すると、バイオチャー施用で2年間のGWPは慣行栽培の約半分に低下し、この効果は20年程度継続することが示唆された。玄米の収量に対するバイオチャー施用の影響は明確ではなく、悪影響も与えていなかった。

研究成果の概要(英文)：Application of biochar in rice paddy field tended to increase or decrease in CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions due to acceleration of soil reduction condition by the biochar application.

Under the field condition, N<sub>2</sub>O emission decreased because of soil aeration by biochar application, while CH<sub>4</sub> emission increased due to the anaerobic decomposition of rice straw by the combination of rice straw and biochar. Biochar application in rice paddy field made 2 year's Global Warming Potential half compared in conventional cultivation practice, and that effect potentially continue for 20 years. Because effects of biochar application on brown rice yield was not observed, biochar application will not influence on rice grain production.

研究分野：土壤肥料学

キーワード：バイオチャー メタン 一酸化二窒素 水田 GWP

1. 研究開始当初の背景

(1) 農地へのバイオチャー (Biochar, バイオ炭) の施用は農作物の収量増加をもたらすことが知られているが、同時に、地球温暖化対策への観点からも農地へのバイオチャーの施用は有効な土壤炭素隔離法の一つと考えられる。

(2) 放置竹林が深刻な社会問題となっている最近において、バイオチャーの農業への利用は廃棄物の有効利用という観点からも社会的に貢献しうる。水稲栽培におけるバイオチャーの利用が地球温暖化に与える影響および水田の炭素収支に加え、水稲の生育についてこれまで明らかになっていない。

2. 研究の目的

(1) バイオチャーの施用が水田における地球温暖化を抑制する効果を明らかにする。

(2) 水稲生育環境の向上に効果的な施用技術を確立する。

3. 研究の方法

(1) バイオチャーの施用量が水稲栽培過程で発生するメタン (CH<sub>4</sub>) の量および水稲生育に与える影響について、バイオチャーの施用量を変えた4処理区 (0, 200, 400, 800 g/m<sup>2</sup>) を設け、それぞれのポットから発生する CH<sub>4</sub> と亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) の発生量をクローズドチャンバー法を用いて調査した。また、水稲の生育および収量についても調査を実施した。

(2) 有機物施用で増加する CH<sub>4</sub> 発生のバイオチャー施用による抑制効果について、有機物の種類 (稲わら 700 g/m<sup>2</sup>, レンゲ 156 g/m<sup>2</sup>, シロクローバー 99.4 g/m<sup>2</sup>, ヘアリーベッチ 182 g/m<sup>2</sup>, 緑肥は 4 gN/m<sup>2</sup> 相当量) およびレンゲとバイオチャーの組み合わせで次の10処理区を設け、CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の発生量をクローズドチャンバー法を用いて調査した。水稲の生育および収量についても調査を実施した。

- ・対照区 (バイオチャー、有機物無施用): C
- ・バイオチャー区: B
- ・稲わら区: R
- ・バイオチャー+稲わら区: BR
- ・レンゲ区: A
- ・バイオチャー+レンゲ区: BA
- ・バイオチャー+レンゲ 1/2 倍区: B1/2A
- ・バイオチャー+レンゲ 2 倍区: B2A

(3) バイオチャーの施用が水田から発生する CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、および水田の地球温暖化に及ぼす影響についての圃場試験

バイオチャー施用 (200 g/m<sup>2</sup>)、肥料の種類組み合わせにより、次の4処理区を設け、CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の発生量をクローズドチャンバー法を用いて調査し、温室効果ガスの発生量を CO<sub>2</sub> 当量で換算した地球温暖化指数 (GWP) を算出した。また、水稲の生育および収量についても調査を実施した。

- ・秋春耕起-化学肥料区

- ・秋春耕起-有機肥料区
- ・秋春耕起-化学肥料-バイオチャー区
- ・秋春耕起-有機肥料-バイオチャー区

(4) バイオチャー施用による水田から発生する CH<sub>4</sub> および N<sub>2</sub>O 発生へ与える効果の持続性について対照区、バイオチャー施用経過区 (B 経過区)、バイオチャー新施用区 (新 B 区) の3処理区を設け、CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の発生量をクローズドチャンバー法を用いて調査する。

4. 研究成果

(1) ポット試験において、水稲栽培期間中の CH<sub>4</sub> 発生量はバイオチャーを加えると低下する傾向が見られたが、異なる施用量の処理区間では明確な差は見られなかった (図 1a)。一方で、N<sub>2</sub>O の発生量は処理区間に明確な差は見られなかった (図 1b)。CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の発生量はトレードオフの傾向が見られたことから、バイオチャー施用により土壤の還元状態が緩和され CH<sub>4</sub> の生成が低下する一方、脱窒による N<sub>2</sub>O の生成量が増加したと考えられた。したがって、バイオチャーを施用すると水稲栽培期の CH<sub>4</sub> の発生量は低下するが、施用量を多くしても CH<sub>4</sub> や N<sub>2</sub>O の発生量に与える影響は小さくなる可能性がある。玄米収量は処理区間に明確な差はなく、ポット試験においてはバイオチャーの施用は玄米収量に影響を及ぼすものではなかった。

なお、本試験の際、バイオチャーの土壤への混合後すぐに灌水した場合にバイオチャーがよく沈降せず、十分にバイオチャーと土壤が混和するには時間を要した。したがって、バイオチャーの施用時期が遅れるほどバイオチャーが失われやすく、バイオチャー施用時期は水稲収穫後早い内に施用するのが適切と考えられた。

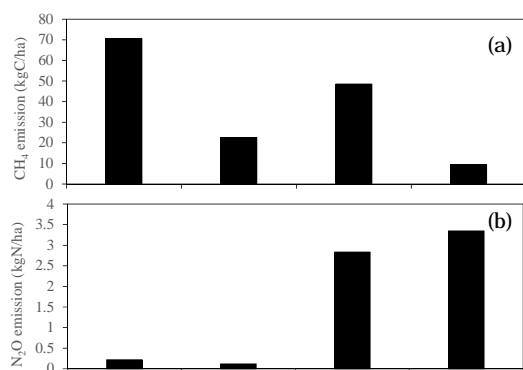


図1.ポット試験におけるバイオチャー無施用区 (0)、200g 区 (200)、400g 区 (400)、800g 区 (800) の CH<sub>4</sub> (a) および N<sub>2</sub>O (b) 発生量

(2) ポット試験において、水稲栽培期のバイオチャーのみの施用は CH<sub>4</sub> 発生に影響しなかったが、一方で有機物とバイオチャーの組み合わせでは CH<sub>4</sub> 発生量が増加する傾向があった (図 2a)。稲わらとバイオチャーの組み合わせは CH<sub>4</sub> 発生量が約 1.1 倍に増加し、レ

ンゲとバイオチャーの組み合わせは約3.5倍であった。また(1)の結果と同様バイオチャーの施用量はCH<sub>4</sub>発生に明確な影響は確認されなかった。N<sub>2</sub>Oについては、有機物の施用の有無や種類に関わらずバイオチャー施用により増加する傾向が見られた(図2b)。バイオチャーの土壌への施用は土壌中の微生物を活性化するとされるため、本研究においてはバイオチャーの施用で施用有機物の分解が活発となりCH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>O生成・発生量が増加したと考えられた。

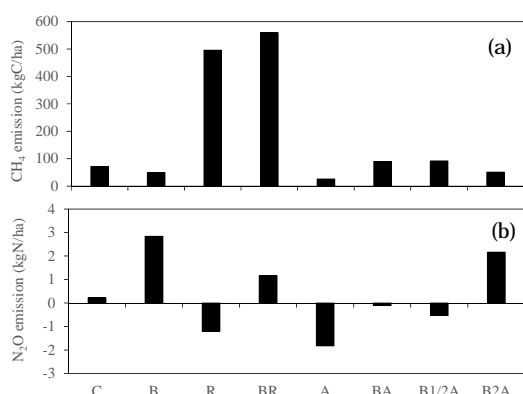


図2.ポット試験における対照区(C)、バイオチャー区(B)、稲わら区(R)、バイオチャー+稲わら区(BR)、レンゲ区(A)、バイオチャー+レンゲ区(BA)、バイオチャー+レンゲ1/2倍区(B1/2A)、バイオチャー+レンゲ2倍区(B2A)のCH<sub>4</sub>(a)およびN<sub>2</sub>O(b)発生量

(3) 化学肥料を使用した栽培条件において、年間のCH<sub>4</sub>発生量はバイオチャー施用により統計的に有意ではないが平均約6%増加した(表1)。特に水稻の生育前期にバイオチャー施用区でCH<sub>4</sub>フラックスが高い傾向が見られたことから、前作の稲わらの還元的な分解によるCH<sub>4</sub>生成をバイオチャーが促進したと考えられた。このことは(2)においてバイオチャーと有機物施用の組み合わせによりCH<sub>4</sub>発生量が増加した結果と一致する。一方で、N<sub>2</sub>Oの発生量はバイオチャー施用により有意に低下し、放出から吸収に変わった。特に非栽培期(冬期)にN<sub>2</sub>Oフラックスが低下し、バイオチャー施用による土壌物理的(好氣的環境)および化学的(アルカリ化)が非栽培期のN<sub>2</sub>O発生を抑制していた。

表1.圃場試験における化学肥料施用の場合の対照区(C)とバイオチャー施用区(B)区のCH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>O発生量

Year	Treatment	CH <sub>4</sub> emission (kgC/ha)	N <sub>2</sub> O emission (gN/ha)
2012-	C	220	122
2013	B	243	-27
2013-	C	128	146
2014	B	127	-47
Average	C	174	134
	B	185	-37

有機肥料を用いた栽培条件において、年間のCH<sub>4</sub>発生量はバイオチャー施用により統計的に有意ではないが平均約8%増加した。

の結果と同様、特に水稻栽培期のCH<sub>4</sub>発生量が増加しており、前作の稲わらに加え施用した有機肥料の還元的な分解によるCH<sub>4</sub>生成をバイオチャーが促進したと考えられた。N<sub>2</sub>O発生量に有意差はないが、バイオチャー施用により年間発生量が低下した。これは、有機肥料施用により土壌がより還元化したことで、脱窒過程においてN<sub>2</sub>OからN<sub>2</sub>への反応が進んだためと考えられた。

表2.圃場試験における有機肥料施用の場合の対照区(C)とバイオチャー施用区(B)区のCH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>O発生量

Year	Treatment	CH <sub>4</sub> emission (kgC/ha)	N <sub>2</sub> O emission (gN/ha)
2012-	C	238	0.38
2013	B	256	0.12

化学肥料を使用した栽培条件において、各温室効果ガス発生および炭素ロス・蓄積をCO<sub>2</sub>当量に換算したGWPの2年間の合計値は、バイオチャーを加えることで約半分に低下した(表3)。このことは水田から発生する2年間の正味の温室効果ガスがバイオチャーを施用することで約半分になることを意味する。バイオチャーの施用によりわずかにCH<sub>4</sub>発生量が増加したが、一方で稲の生長が増加した事による残さ由来の炭素インプットが増加し、さらにバイオチャーの炭素インプットがGWPの低下に貢献していた。

バイオチャー施用区でバイオチャーの施用により増加した2年間の平均CH<sub>4</sub>発生量と土壌有機物分解量はそれぞれ500 kgCO<sub>2</sub>eq/ha/yrと423 kgCO<sub>2</sub>eq/ha/yrである。一方で残さ炭素インプットの増加分の平均は-658 kgCO<sub>2</sub>eq/ha/yrで、これらの差し引きは正味GWPが264 kgCO<sub>2</sub>eq/ha/yrの増加となる。この値はバイオチャー炭素インプットの約1/22であることから、水田において1回のバイオチャー施用(200 g/m<sup>2</sup>)による地球温暖化の抑制効果は20年程度継続すると考えられた。

表3.圃場試験における化学肥料施用の場合の対照区(C)とバイオチャー施用区(B)区のGWP(MgCO<sub>2</sub>eq/ha/2yr)。正の値は温暖化促進、負の値は緩和を意味する。

	Treatment	
	C	B
Soil organic matter decomposition	30.1	31.0
CH <sub>4</sub> emission	15.8	16.8
N <sub>2</sub> O emission	0.12	-0.04
Biochar C	0	-5.90
Plant residue C	-35.0	-36.3
Total	11.1	5.53

玄米収量については、化学肥料を使用した栽培条件では対照区が 376 kg/10a であったのに対しバイオチャー施用区が 387 kg/10a であり、両処理区に有意差はなかった(2012 と 2013 年度の 2 年間の平均)。また、有機肥料を使用した栽培条件では対照区が 424 kg/10a であったのに対し、バイオチャー施用区が 408 kg/10a であり、両処理区に有意差はなかった(2013 年度のみ)。実際の圃場条件下において、バイオチャーの施用は玄米収量に対し明確な効果は見られないが悪影響も与えなかった。

(4) 2015 年のバイオチャー施用区の CH<sub>4</sub> 発生量は B 経過区で 255 kgC/ha であったのに対し、新 B 区で 260 kgC/ha となり、両処理区に差はなかった。このことから、バイオチャーの施用後 3 年が経過した状態においても CH<sub>4</sub> 発生に与える効果は継続していると考えられた。ただし、圃場試験においてはバイオチャー施用で CH<sub>4</sub> 発生量が増加する傾向があることから、バイオチャーを施用した場合水田からの CH<sub>4</sub> 発生を長期的に増加させることが懸念される。一方で、バイオチャー施用区の N<sub>2</sub>O 発生量は新 B 区の発生量が B 経過区の約 47% であり、バイオチャー施用による N<sub>2</sub>O 発生抑制の効果は年を経る毎に低下していく可能性が示された。しかしながら(3)で示されたように GWP に占める N<sub>2</sub>O の寄与はほとんど無視されるため、バイオチャー施用による N<sub>2</sub>O 抑制の効果は水田の地球温暖化に与える影響についてほとんど寄与しないと考えられた。

2015 年は対照区の CH<sub>4</sub> 発生量に対し 2 つのバイオチャー施用区で約 1.3 倍高かった。この差は B 経過区および新 B 区で水稲移植から中干開始前の期間に CH<sub>4</sub> フラックスが高かったことに起因していた。移植から中干開始までの CH<sub>4</sub> 発生は主に施用した稲わらに起因する。稲わら施用量に対する CH<sub>4</sub> 発生量の比(CH<sub>4</sub>/RS)は対照区が 0.049 であったのに対し、B 経過区および新 B 区でそれぞれ 0.065 および 0.068 であり、2015 年度ではバイオチャーが水稲生育前期の稲わら施用に由来する CH<sub>4</sub> 発生を助長したと考えられた。対照区と B 経過区の 3 年間の水稲栽培前期の気象要因と CH<sub>4</sub>/RS との関係では、気温と CH<sub>4</sub>/RS との相関はなかった。一方でその期間の積算降水量と CH<sub>4</sub>/RS とに指数的な相関関係があり、降水量増加に伴う CH<sub>4</sub>/RS 上昇程度は B 経過区が対照区よりも大きかった。このことは、降水量の増加に特に影響を受けると考えられる要因(特に土壌の還元状態)がバイオチャーの施用により CH<sub>4</sub> 発生に適した環境の形成に寄与したと考えられる。具体的な要因については特定できておらず今後の研究課題だが、今後要因を特定できれば将来の気候変動に伴ってバイオチャーの施用が水田からの CH<sub>4</sub> 発生に与える影響について予測と対処方法を提案できると考えられる。

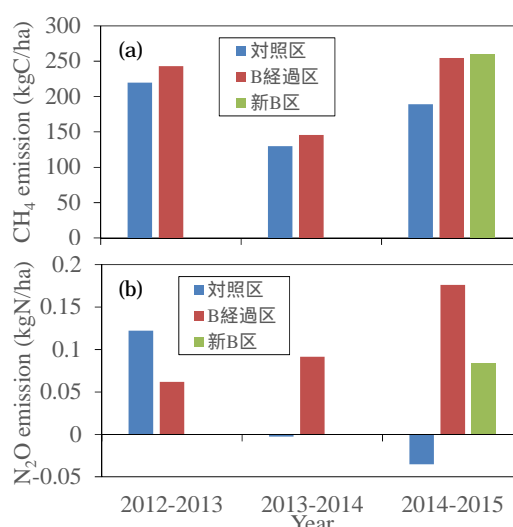


図 2. 圃場試験における対照区(C)、バイオチャー施用経過区(B経過区)、バイオチャー新施用区(新B区)の CH<sub>4</sub>(a)および N<sub>2</sub>O(b)発生量

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Yo Toma, Shingo Oomori, Asuka Maruyama, Hideto Ueno, Osamu Nagata, Effect of the number of tillages in fallow season and fertilizer type on greenhouse gas emission from a rice (*Oryza sativa* L.) paddy field in Ehime, southwestern Japan, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有、62 巻、2016、69-79  
DOI: 10.1080/00380768.2015.1109999

[学会発表](計4件)

大森 信吾、永田 修、上野 秀人、当真 要、水田への竹炭施用による地球温暖化緩和効果の評価、日本土壌肥料学会京都大会、2015 年 9 月 9~11 日、京都大学(京都府・京都市)

大森 信吾、上野 秀人、永田 修、当真 要、竹炭の施用が水田土壌から放出されるメタン、亜酸化窒素に与える影響、日本土壌肥料学会東京大会、2014 年 9 月 9 日~11 日、東京農工大学(東京都・小金井市)

三宅 由美奈、上野 秀人、当真 要、石岡 基、竹炭および牛糞堆肥等の有機物施用が水稲生育と終了に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013 年 11 月 28~29 日、近畿中国四国農業研究センター(香川県・善通寺市)

大森 信吾、丸山 明日香、当真 要、上野 秀人、永田 修、耕起回数と肥料の種類が水稲の生育・収量および水田のメタン発生に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013 年 11 月 28~29 日、近畿中国四国農業研究センター(香川県・善通寺市)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

当真 要 (TOMA, Yo)

愛媛大学・農学部・助教

研究者番号: 10514359