

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04487

研究課題名(和文) バイオ炭の導入によるメコンデルタにおける農畜水産システムの環境負荷低減技術の開発

研究課題名(英文) Development of techniques for environmental loading reduction by introduction of biochar to agricultural, livestock and aquaculture system in Mekong Delta

研究代表者

多羅尾 光徳 (Tarao, Mitsunori)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60282802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：メコンデルタにおいて容易に入手可能な未利用有機資材より作製したバイオ炭を用いて、環境負荷を低減しつつ農民に利益をもたらす農畜産技術を開発することを目的とした。バイオ炭は、細菌では900 で、エンベロープ有りのウイルスでは500 で作製したもののほうが吸着性が高いと考えられた。また、ホテイアオイ由来のバイオ炭が最も吸着性が高かった。ただし、バイオ炭による真菌の吸着性は低かった。バイオ炭を施用した水田において、メタン発生量が23～50%、亜酸化窒素が44～54%、有意に低下した。バイオ炭を施用した酸性砂質土壌では土壌pHが有意に上昇し、葉菜類のサイシンおよびヨウサイの収量が有意に増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メコンデルタにおける農畜産業にともなう環境問題として、化学肥料を大量に施用することによる富栄養化、家畜の感染症を防止するために抗生物質を大量に投与することによる薬剤耐性病原微生物の拡大、未利用有機資材・廃棄物によるごみ問題などがあげられる。本研究では、未利用有機資材からバイオ炭をつくり、これを土壌の改良や家畜感染症の予防に用いることにより、農民に利益をもたらしつつ、農畜産業にともなう環境問題を解決する技術を提案することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop agriculture and husbandry techniques which reduce environmental loading and are beneficial to small farmers in the Mekong Delta by using biochar derived from unutilized organic materials easily obtainable in the area. Bacteria and enveloped viruses are significantly absorbed to biochar produced at 900 and 500, respectively. Absorption to the biochar derived from water hyacinth was the most significant. Fungi were not absorbed to biochar. Paddy field applied with biochar significantly reduced emission of greenhouse gases, i.e., 23-50% of methane and 44-54% of nitrous oxide. Application of biochar to acidic sandy soil increased soil pH and increased yield of leaf vegetables, i.e., green pak choi (*Brassica chinensis* var. *parachinensis*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*).

研究分野：環境微生物学

キーワード：廃棄物再資源化 熱帯農業 農村開発 人畜共通感染症 温室効果ガス排出削減 水質浄化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ベトナムのメコンデルタ地域はベトナムの食料生産の 40%近くを占める、この国にとってきわめて重要な地域である。この地域では稲作・畜産・水産・バイオガス生産を統合した、VACB システムと呼ばれる資源循環型の農畜水産複合システムが広く普及している(多羅尾, 2003)。V, A, C, B はそれぞれ、庭 (Vuon), 池(Ao), 家畜小屋 (Chuong), バイオガス(Biogas)を意味するベトナム語の頭文字である。このシステムでは、水田で収穫したコメの副産物(精米の際に生じる砕け米や米糠, 植物残さ)を家畜(ブタ・ニワトリ・アヒル等)の飼料として与える。家畜のふん尿はメタン発酵させてバイオガスを得て、個々の農家で使われる。バイオガスの発酵残さは窒素・リンに富み、養殖池に投入して植物プランクトンを増殖させ、魚・エビのエサとする。発酵残さはまた、農地の液肥として用いられる。池の水は水田にも回し、イネの養分とする。これがシステムの基本形であり、これに果樹栽培やキノコ栽培などを組み込んだ様々なバリエーションが存在する。VACB システムでは 1 戸の農家が行う稲作・畑作・果樹栽培・畜産・水産・バイオガス発酵の中で物質循環が成り立っており、自給自足が可能である。余剰生産物を市場で販売して現金収入を得ることもできる。経営的にも持続可能な農業システムである。

しかし、現状の VACB システムでは様々な環境負荷が生じている。申請者らはこれまで、科研費、JICA ミニプロジェクト、JICA 技術協力プロジェクト、文部科学省科学技術振興調整費などの支援を受けて、ベトナムのカントー大学と共同で、メコンデルタ地域の水質調査、水質モデリング、抗生物質耐性を獲得した人畜共通感染症病原微生物の実態把握、作物生産由来の温室効果ガスの発生調査などを行い、VACB システムがメコンデルタの水質・環境に及ぼす影響を調査してきた。その結果、メコンデルタにおける人・家畜のし尿汚染 (Isobe *et al.*, 2002; Ozaki *et al.*, 2013), 栄養塩類汚染 (Ozaki *et al.*, 2013), 家畜由来の抗生物質汚染 (Hoa *et al.*, 2011; Shimizu *et al.*, 2013), 人工化学物質汚染 (Kwan *et al.*, 2013), 病原微生物 (Ly *et al.*, 2009; Ly *et al.*, 2010) が明らかとなった。これらの問題を解決し、VACB システムを、環境負荷がより低いシステムに改良することが求められている。

そこで申請者らは、これらの問題を解決する手法として、バイオ炭と木酢液に注目した。バイオ炭とは生物資源を材料とした炭のことであり、酸素供給を制限した下でつくられる。木酢液は生物資源を乾留した際に生じる乾留液の上澄分のことであり、バイオ炭の製造工程中に副産物として得られる。これらは土壌機能の改良および環境の改善に効果をもたらすことが期待されている。申請者らはベトナム中部・バクマー自然公園において、JICA の草の根技術協力事業の支援を受けて、木炭多用途低負荷農業技術研究を行ってきた。この研究では、もみ殻を原料としたバイオ炭 (biochar) を養豚飼料に添加してブタの下痢発症を抑え、バイオ炭の副産物である木酢液を飼料に添加してブタの食欲をおう盛にして成長速度を高めるなど、家畜の生産性を著しく向上させる成果を得た。また、バイオ炭を入れた発酵堆肥 (通称、ぼかし) を用いた有機農業の導入により農耕地の土質を改善した成果も挙げた。これにより農家の現金収入が増えて農民の生活が向上した。

この成果を受けて申請者らは、VACB システムにおいてもバイオ炭と木酢液が活用できると考え、科研費 (基盤(B)(海外学術) 2014 年度~2016 年度) の支援を受けて研究を行った。その結果、次のような成果をあげることができた。一つ目は、バイオ炭をすき込んだ水田において、米の収量を減らすことなく、温室効果ガスの一つであるメタンの発生を抑制することに成功した。二つ目は、バイオ炭と木酢液を養豚飼料に添加することにより、ブタの下痢発生を大幅に減少することに成功した。この理由は、ブタの腸内で下痢の原因微生物 (毒素原性大腸菌やロタウイルスなど) がバイオ炭に吸着されるためであった。これにより、抗生物質の使用量を大幅に削減することができた。三つ目は、木酢液を養豚飼料に添加することによりブタの食欲をおう盛にして成長速度を高めることに成功した。以上より、バイオ炭と木酢液は VACB システムにおいても有効である可能性が示された。

しかし、これらの研究を実施する過程において、新たな課題も浮かび上がってきた。一つ目は、メコンデルタにはバイオ炭の材料となりうるさまざまな未利用有機資材があるが、異なる有機資材からつくられたバイオ炭の効果が不明であることである。

課題の二つ目は、バイオ炭を農地に施用するメリットが農家には見いだせないことである。温室効果ガスの発生抑制に効果があるとはいえ、バイオ炭を農地にすき込むことは農家にとっては大きな手間であるにも関わらず、物質的・金銭的利益は何も得られない。そこで、バイオ炭を農地に施用することにより農作物の収量の増加がもたらされれば、バイオ炭を農地に積極的に施用する動機付けとなると考えられる。

2. 研究の目的

研究の背景をふまえ、本研究の目的を以下のとおりとした。

(1) バイオ炭の材料となり得る有機資材の検討

メコンデルタで容易に入手することが可能であり、バイオ炭の材料となりうる有機資材を用いてバイオ炭を作製し、農地への施用効果を検討することを目的とした。

(2) 材料・製造温度の異なるバイオ炭による病原性微生物の吸着性の検討

1) において選定した有機資材を用いて、異なる温度にてバイオ炭を作製し、それらバイオ炭による病原微生物 (細菌・真菌・ウイルス) の吸着性を評価することを目的とした。

(3) 水田からの温室効果ガス放出におよぼすバイオ炭施用の影響

メコンデルタの水田において、バイオ炭施用が温室効果ガスの削減効果があるかを評価することを目的とした。

(4) バイオ炭施用による葉菜の収量増加の検討

メコンデルタの地域性とバイオ炭の施用効果を踏まえた普及教材の作成を目指し、メコンデルタ上流部のカンボジアにおいてバイオ炭を用いた栽培試験を行い、小農向けに普及可能な技術を検討した。

3. 研究の方法

(1) バイオ炭の材料となりうる有機資材の検討

メコンデルタおよび周辺地域において、バイオ炭の利用・普及に向けた地域バイオマスとバイオ炭生産の現地調査を行った。

(2) 材料・製造温度の異なるバイオ炭による病原性微生物の吸着性の検討

ベトナム・メコンデルタで普遍的にみられるもみ殻、竹、メラルーカおよびホテイアオイの4種類のバイオマス材料を用いて、異なる温度（900 と 500 ）で処理してバイオ炭を作製した。そして、これらのバイオ炭の細菌、ウイルスならびに真菌のウイルス吸着性を比較した。

活性炭への細菌と真菌のバイオ炭への吸着試験は、以下のようにして行った。細菌については、毒素原性大腸菌の特異線毛抗原 F4, F5 および F18 を保有する3菌株(それぞれ F4 株, F5 株ならびに F18 株)ならびに特異線毛抗原を持たない大腸菌 JCM5491 株の供試菌液 (10^5 CFU mL⁻¹) 100 mL に、バイオ炭を 1% (w/v) の濃度となるように加え、バイオ炭-菌混合液とした。このバイオ炭-菌混合液の上清中の大腸菌数をコロニー形成法にて経時的に測定した。

真菌については、糸状菌である *Aspergillus flavus* と、酵母である *Candida albicans* を用い、細菌と同様の方法でバイオ炭への吸着性を測定した。

活性炭へのウイルスの吸着試験は以下のようにして行った。バイオ炭を 1% (w/v) 含むバイオ炭-ウイルス混合液（以下、ウイルス混合液）を調整し、PEDV J-Gm1 株ならびに PRV-A H80 株を 60 分間回転混和した。そして、混和後の上清中のウイルス力価を測定した。ウイルス力価は、単層培養した細胞に 10 倍段階希釈系列のウイルス液を接種した後、CPE の出現を指標として Reed & Muench 法による TCID₅₀/mL を算出する CPE 法によって測定した。

(3) 水田からの温室効果ガス放出におよぼすバイオ炭施用の影響

メコンデルタ・Can Tho 市 Binh Thuy 区の水田から採取した土壌（pH, 5.9±0.1; C/N 比, 13.7±0.2; 電気伝導度, 0.26±0.1 mS cm⁻¹）に、もみ殻由来バイオ炭または竹由来バイオ炭を土壌湿重量の 0.1, 0.2, または 0.5% となるように混入した。土壌を屋外にて 21 日間培養しながら、クローズドチャンバー法にて経時的にメタンおよび亜酸化窒素の放出速度を測定した。

4. 研究成果

(1) バイオ炭の材料となりうる有機資材の検討

Can Tho 市郊外の Hau Gian 省 Chau Thanh 郡 Phu Tan 村では、マングローブ材が枯渇したため、集落周辺で調達したリュウガンやランブータン等の果樹の剪定枝・枯死材やユーカリ材を用いて木炭生産を継続していた。集落内には炭やき窯が密に設置されており、煙の処理・軽減対策は必要であるが、周辺デルタ農村にも豊富な熱帯果樹の剪定枝・枯死材は、バイオ炭資材としても利用可能であると考えられた。

(2) 材料・製造温度の異なるバイオ炭による病原性微生物の吸着性の検討

細菌の吸着性

4つの原材料のうち、ホテイアオイから作製したバイオ炭の細菌吸着性が最も高かった（図1）。製造温度別に比較すると、いずれのバイオ炭も 900 で作製したもののほうが 500 のものより、細菌吸着性が有意に高かった。また、用いた細菌の菌種により、細菌の吸着性に差があることが明らかとなった。

真菌の吸着性

供試した4種類のバイオ炭は、60分間作用させても糸状菌の孢子ならびに酵母をほとんど吸着しなかった。バイオ炭の代わりに活性炭を用いた場合のみ、酵母の菌数は 1/10 程度まで減少

した。以上の結果より、材料や作製温度にかかわらず、バイオ炭には真菌類の吸着性がないことが考えられた。

ウイルスの吸着性

ロタウイルス（エンベロープ無し）の場合は、いずれの材料間ならびにいずれの製造温度においても、実験開始時に比べ60分後ではウイルス量に有意な減少は認められなかった。TGEウイルス（エンベロープ有り）の場合は、いずれの材料間ならびにいずれの製造温度においても、実験開始時に比べ60分後ではウイルス量は有意に減少し、ホテイアオイを除き500で製造したバイオ炭のほうが900のものよりも吸着性が高かった。以上の結果より、ウイルスの種類により、ウイルスの吸着性に差があることが考えられた。

以上の結果より、バイオ炭は、細菌では900で、エンベロープ有りのウイルスでは500で作製したもののほうが吸着性が高いと考えられた。バイオ炭の材料は、今回用いた材料ではホテイアオイが最も吸着性が高く、適していることが示された。バイオ炭による真菌およびエンベロープ無しのウイルスの吸着性を向上させることが今後の課題として示された。

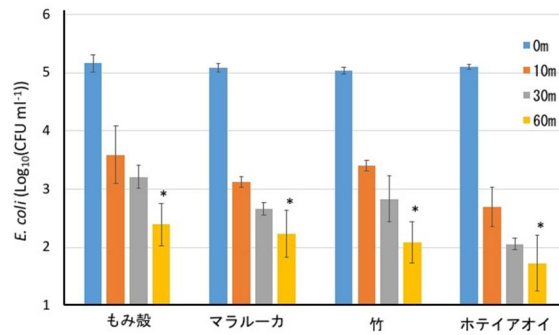


図1. 900で作製した4種類のバイオ炭を用いたバイオ炭-菌混合液の上清中の大腸菌JCM5491株の経時変化。アスタリスクは培養開始時に対して有意な差があることを示す（*t*-test, $p < 0.01$ ）。

(3) バイオ炭施用による水田からの温室効果ガス放出量の削減

水田土壌からのメタンの総放出量は、バイオ炭を施用しない場合は $205 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2}$ であった。もみ殻由来バイオ炭を0.1または0.2%施用した場合の放出量は、無施用区と比較して有意な差がみられなかった。それに対して、0.5%施用した場合の放出量は $103 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2}$ と、著しく低かった。また、竹由来バイオ炭を0.1%施用した場合は、放出量は無施用区と比較して有意な差がみられなかった。それに対して、0.2または0.5%施用した場合の放出量はそれぞれ、179または173であり、無施用区と比較して有意に低かった（*t*-test, $p < 0.05$ ）。

亜酸化窒素の総放出量は、バイオ炭を施用しない場合は $5.3 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2}$ であった。もみ殻由来バイオ炭、竹由来バイオ炭のいずれを施用した場合においても、バイオ炭の施用量に関わらず、亜酸化窒素放出量は44～54%、有意に低下した。

以上の結果から、もみ殻由来バイオ炭と竹由来バイオ炭の施用は、水田からの温室効果ガスの放出量削減に著しい効果をもたらすことが示唆された。

(4) バイオ炭施用による葉菜の収量増加の検討

バイオ炭・ハイドロゲル・堆肥施用の比較

カンボジア・コンボンチュナン州農村開発事務所の圃場においてバイオ炭（もみ殻くん炭）・ハイドロゲル施用試験について検討した。乾季に栽培されたレタスの収量は、バイオ炭またはハイドロゲルのみ施用区に比べて、牛糞堆肥のみの施用区と、牛糞堆肥とバイオ炭またはハイドロゲルとの混合施用区において良好であった。現地で調達可能な堆肥の施用によって、土壌改良効果と保湿改善効果が期待され、当該地域の野菜栽培に寄与する可能性が示唆された。なお同試験では、地元の特産品である素焼きの陶器を用いた陶器灌漑を試行し、節水効果が観察された。

砂質土壌へのバイオ炭施用の効果

メコン地域において広く入手可能な畑地雑草であるヒマワリヒヨドリ *Chromolaena odorata* 茎葉をドラム缶型炭やき窯で炭化し、バイオ炭を作成した。このバイオ炭を用いたポット栽培試験をカンボジアのタクマウ町において行い、バイオ炭の施用効果を調査した。コンボンチュナン州で入手した砂質土壌を用いてヨウサイ *Ipomoea aquatica* を栽培した。バイオ炭施用区の収量は、無施用区または化学肥料のみ施用区と比較して、それぞれ2.7倍または2.0～2.2倍、有意に高かった。一方、バイオ炭施用区のみで比較すると、化学肥料の有無による収量の有意差は見られなかった。その後、バイオ炭および化学肥料を再施用せずにヨウサイを播種・栽培した結果、第1回目と同様、バイオ炭施用区の収量は無施用区または化学肥料のみ施用区と比較して有意に高くなった。以上より、化学肥料を用いずにヒマワリヒヨドリ由来バイオ炭のみの施用により作物栽培ができる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Oikawa, Y., Phan Q. D., Phan V. B. D., Nguyen V. L., Yamada, M., Hayashidani, H., Tanaka, H., Tarao, M., Katsura, K.	4. 巻 1
2. 論文標題 Charcoal application farming with livestock for small scale farmers in central Viet Nam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Agroecology for Food Security and Nutrition, Proceedings of the International Symposium on Agroecology in China	6. 最初と最後の頁 197-210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Vicheka LORN, Haruo TANAKA, Sonoko Dorothea BELLINGRATH-KIMURA, Yosei OIKAWA	4. 巻 61
2. 論文標題 The Effects of Biochar from Rice Husk and Chromolaena odorata on the Soil Properties and Tomato Growth in Cambodia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Tropical Agriculture and Development	6. 最初と最後の頁 99-106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11248/jsta.61.99	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 及川洋征	4. 巻 97
2. 論文標題 どうしたら煙を出さずにくん炭をやけますか？	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 現代農業	6. 最初と最後の頁 88-91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 林谷秀樹
2. 発表標題 炭の作製条件の違いによる細菌吸着能
3. 学会等名 第161回日本獣医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hayashidani, H.
2. 発表標題 Absorption of bacteria and virus in biochar originated from several materials
3. 学会等名 International Scientific Workshop of Model Joint Research Activities in the Field of Environment, JICA-CTU project (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thi Hong To Tran、柳川 春香、Khanh Thuan Nguyen、Minh Hiep Du、久保 亮一、林谷 秀樹
2. 発表標題 ベトナム・メコンデルタにおけるAHPNDに關与するVibrio paraheamoliticaの分布
3. 学会等名 第160回日本獣医学会学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾崎里沙、田中治夫、Nguyen Nghia Khoi、Chau Khoi Minh、多羅尾光徳、及川洋征、杉原創
2. 発表標題 メコンデルタの畑でバイオ炭と堆肥の施用が土壤酵素と土壤有機物にあたる影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辰馬千佳子・東城清秀・帖佐直・及川洋征・EL SHARKAWI Haytham M.・ALI Beelal
2. 発表標題 砂質土壤と混合したモミガラ低温炭化物の水分保持特性
3. 学会等名 農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vicheka LORN, Yosei OIKAWA, Haruo TANAKA, Mitsunori TARAO, Seishu TOJO
2. 発表標題 The similar effects of Chromolaena odorata biochar with or without NPK fertilizer on the growth of water spinach (Ipomoea aquatica) in a sandy soil of Cambodia
3. 学会等名 日本熱帯農業学会第127回講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yosei Oikawa, Vicheka Lorn, J. Indro Surono, Y. P. Sudaryanto, Dian Askhabul Yamin, Tineke Mandang, and Seishu Tojo	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer Nature Singapore Pte Ltd.	5. 総ページ数 240
3. 書名 Recycle-Based Organic Agriculture in Japan and the World	

〔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
研究分担者	林谷 秀樹 (Hayashidani Hideki) (30180988)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	及川 洋征 (Oikawa Yosei) (70323756)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師 (12605)	
研究協力者	チャン シー・ナム (Tran Sy Nam)	カントー大学・College of Agriculture・Lecturer	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	グエン スアン・ロック (Nguyen Xuan Loc)	カントー大学・College of Agriculture・Lecturer	
研究協力者	グエン フー・チエム (Nguyen Huu Chiem)	カントー大学・College of Agriculture・Associate Professor	
研究協力者	ローン ヴィシェカ (Lorn Visheka)	東京農工大学・農学府・大学院生 (12605)	
研究協力者	乙幡 賢 (Oppata Satoshi)	東京農工大学・農学府・大学院生 (12605)	