

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340099

研究課題名(和文) 東南アジアで環境低負荷農業を展開するためのバイオ炭を利用した土壌管理技術の創成

研究課題名(英文) The creation of the soil management technology which used biochar to expand low environmental load agriculture in the South East Asia

研究代表者

田中 治夫 (TANAKA, Haruo)

東京農工大学・(連合) 農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20236615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯の発展途上地域で環境低負荷型農業を展開するために、地域バイオマス資源を活かした土壌管理技術の創世を試みた。バイオマス資源として、もみ殻と成育が速いヒマワリヒヨドリを用いた。バイオ炭の施用は、土壌の理化学性を改善し、収量を増加させる可能性が示唆された。しかし、その効果は土壌により異なり、多量施用は逆効果である可能性もあり、バイオ炭の施肥基準を確立する必要性が示唆された。一方で、ヒマワリヒヨドリとコンポストの混合施用が収量増加に大きな効果があることも示唆された。しかし、ヒマワリヒヨドリは強いアレロパシー阻害活性を有しているため、炭化して阻害活性を抑えて有効利用することを提案した。

研究成果の概要(英文)：We tried to create the soil management technology which used biochar to expand low environmental load agriculture in the tropical developing zone. As the biomass resource, we used the rice husk and Siam Weed. The possibility that the application of biochar improves soil fertility and increases a yield was suggested. However, the effect depends on soil types. When giving much, the yield sometimes decreases. It is necessary to establish the guideline of application of the biochar. On the one hand, there was a big effect in the yield increase to the mixing biochr of Siam Weed and the compost. However, because Siam Weed had strong allelopathy obstruction, it proposed to use Siam Weed as the biochar after carbonizing to suppress the obstruction.

研究分野：土壌学

キーワード：バイオ炭 土壌 東南アジア

1. 研究開始当初の背景

(1) カンボジアなどの熱帯の発展途上地域では、農薬や化学肥料を多投する慣行農業は、環境面とコスト面、両方の負担が大きいため、化学肥料を用いず環境にできるだけ負荷を与えない持続的農業、すなわち環境低負荷型農業の展開が望まれている。そのため、環境低負荷型の土壌改良(土づくり)と施肥・耕起などの適切な土壌管理技術に取り組むことが必要である。

(2) また、近年では、地域バイオマスの利活用が求められている。バイオマスは利用されなければ廃棄物として環境汚染を引き起こすこともあるため、特に廃棄される可能性が高いバイオマスはその利活用が求められている。申請者らは、独立行政法人国際協力機構(JICA)の草の根技術協力事業「農民参加型木炭多用途利用技術普及計画 - ベトナム中部世界自然遺産候補特別保護区周辺地域の持続的開発と核心地域の環境保全実現のために - 」に携わり、「炭を用いた循環型有畜複合農業モデル」を普及するプロジェクト拠点を構築し、バイオ炭を利用した堆肥「Bokashi-Tham」の普及を行った。このバイオ炭を利用した技術の普及、特にカンボジアなどへの普及には、有効で新たなバイオ炭の探索が必要であり、新たなバイオ炭を活かした、簡便で、安価な土壌管理技術を開発する必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、東南アジアにおいて環境低負荷型の農業を展開するため、その環境創成に、バイオ炭を用いた土壌管理技術を開発することである。カンボジアを対象地域として、もみ殻や地域の雑草などの地域バイオマスを活かしてバイオ炭を作製し、そのバイオ炭施用の効果を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) カンボジアの各種土壌を用いて、バイオ炭の施用試験を行った。バイオ炭の原料としては、稲作の残渣として多量に排出されるイネのもみ殻とヒマワリヒヨドリ(*Chromolaena odorata*)を用いた。ヒマワリヒヨドリは、熱帯アメリカ原産の草本で、東南アジアをはじめ世界に広く分布している。繁殖力が高く、生育が早いため、土地に



図1 ヒマワリヒヨドリ

侵略的に自生することから、国際自然保護連合の世界の外来侵入種ワースト100に選ばれ、日本でも生態系被害防止外来種リストに含まれている。ヒマワリヒヨドリは外来侵入種で大量に発生し、バイオマス量が多いので、無害化し有効活用す

ることが望まれていて、バイオ炭の原料として適切だと判断した。

(2) 日本国内でも、バイオ炭の施用の影響を調べるため、もみ殻くん炭施用土壌の理化学性や土壌酵素活性を調べた。

また、カンボジアでバイオ炭の施用は行っていないが、環境保全型農法を行っている畑地の試験圃場で研究も行った。

4. 研究成果

(1) カンボジアの弱アルカリ質(pH(H₂O) 7.7)で粗粒質(壤質砂土(砂:シルト:粘土=81:10:9)の土壌(全炭素6.6 g kg⁻¹、全窒素0.5 g kg⁻¹)にもみ殻およびヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭(各8 Mg ha⁻¹)、コンポスト(15 Mg ha⁻¹)、化学肥料(NPK: 15-15-15を0.8 Mg ha⁻¹)(コンポストと化学肥料では窒素施用量は同じ量)を施用した処理区を設けてトマト(*Solanum lycopersicum*)の栽培試験を行った。

表1 カンボジアの弱アルカリ性粗粒質土壌でトマトを栽培したときのもみ殻およびヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭施用のトマト生育への効果

施用処理区	全バイオマス量 (g m ⁻²)	生根重 (g m ⁻²)	収量 (g m ⁻²)
無施用区	945 ^b	92 ^b	256 ^a
RB	1259 ^{ab}	95 ^{ab}	239 ^a
RB+コンポスト	1935 ^{ab}	108 ^{ab}	628 ^a
RB+化学肥料	2308 ^{ab}	125 ^{ab}	733 ^a
CB	1514 ^{ab}	108 ^{ab}	356 ^a
CB+コンポスト	2236 ^{ab}	113 ^{ab}	694 ^a
CB+化学肥料	2511 ^a	145 ^a	854 ^a

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す(Tukey's test)
RB: もみ殻バイオ炭, CB: *Chromolaena odorata* バイオ炭

トマトの生育は必ずしも均一ではなく、バイオマス量や収量はばらつきが大きく、統計的に差は認められなかったものの、バイオ炭や化学肥料、コンポストの施用により、収量は高くなった。バイオ炭では、もみ殻よりヒマワリヒヨドリの方の影響の方が大きいと考えられた(表1)。

表2 カンボジアの弱アルカリ性粗粒質土壌でトマトを栽培したときのもみ殻およびヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭施用のpHおよび可給態養分への効果

施用処理区	pH	可給態P (mg kg ⁻¹)	可給態N (mg kg ⁻¹)
無施用区	7.3 ^d	66 ^b	23 ^b
RB	7.5 ^{cd}	65 ^b	23 ^b
RB+コンポスト	7.6 ^{bcd}	116 ^{ab}	30 ^{ab}
RB+化学肥料	7.5 ^{bcd}	95 ^{ab}	25 ^{ab}
CB	7.8 ^{ab}	111 ^{ab}	24 ^b
CB+コンポスト	7.9 ^a	156 ^a	31 ^a
CB+化学肥料	7.7 ^{abc}	142 ^{ab}	27 ^{ab}

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す(Tukey's test)
RB: もみ殻バイオ炭, CB: *Chromolaena odorata* バイオ炭

土壌に対する影響も、ばらつきが大きく、必ずしも統計的な差は認められなかったが、ヒマワリヒヨドリのバイオ炭の施用で pH の上昇、可給態リンの増加がみられたが、可給態窒素は変化がみられなかった(表2)。

陽イオン交換容量や交換性陽イオンについては(表3) カリウムを多く含むもみ殻から作製したバイオ炭を施用しても顕著な違いは見られなかった。

表3 カンボジアの弱アルカリ性粗粒質土壌でトマトを栽培したときのもみ殻およびヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭施用の陽イオン交換容量と交換性陽イオンへの効果

施用処理区	CEC	Ex-Ca	Ex-Mg	Ex-K
	(cmol _c kg ⁻¹)			
無施用区	4 a	9.1 abc	1.1 ab	0.3 b
RB	4 a	8.5 bc	1.1 ab	0.3 b
RB+コンポスト	4 a	8.4 bc	1.0 ab	0.5 ab
RB+化学肥料	4 a	7.4 c	0.8 b	0.4 b
CB	4 a	8.7 abc	1.0 ab	0.5 ab
CB+コンポスト	5 a	11.3 a	1.3 a	0.6 a
CB+化学肥料	5 a	10.4 ab	1.3 a	0.5 ab

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す(Tukey's test)

RB: もみ殻バイオ炭, CB: Chromolaena odorata バイオ炭

CEC: 陽イオン交換容量, Ex-: 交換性

(2) トンレサップ湖の氾濫原に分布する酸性土壌(壤質砂土、pH(H₂O) 4.4)でチンゲンサイ(*Brassica rapa* subsp. *chinensis*)栽培試験を行った。処理区は、無施肥区、コンポスト施用区(10 Mg ha⁻¹)、もみ殻およびヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭(10 Mg ha⁻¹) + コンポスト(10 Mg ha⁻¹)施用区である。

図2に示したように無施肥区ではチンゲンサイは育たなかったが、コンポスト施用区、もみ殻バイオ炭 + コンポスト施用区では成長が認められ、特にヒマワリヒヨドリバイオ炭 + コンポスト施用区で成長が認められた。



図2 カンボジアの氾濫原成酸性土壌にチンゲンサイを栽培したときのもみ殻バイオ炭とヒマワリヒヨドリバイオ炭の施用効果

土壌では、栽培後の pH・塩基飽和度の増加、特に可給態リンの増加が顕著であった。

バイオ炭の施用が、特にヒマワリヒヨドリから作製したバイオ炭とコンポストの混合施用が有効であり、特に可給態リンの増加を通して寄与していると考えられた。

カンボジアの台地土壌に広く分布する赤色または白色の Arenosols で、ミニトマト(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)を栽培した場合もほぼ同様の結果が得られた。

(3) スタイロ(*Stylosanthes guianensis*)によるカバー作物や不耕起の環境保全型農法を行っているカンボジアの圃場(Oxisols)でダイズ(*Glycine max*)を栽培し調査を行った。その結果、土壌有機炭素量の増加と、それに伴う陽イオン交換容量や土壌酵素活性の増加が確認され、土壌劣化の防止に効果があることが考えられた。

(4) 国内の黒ボク土(Andosols)で、もみ殻くん炭の施用量(0(C), 5.5(B5), 11.0(B10) Mg ha⁻¹と化学肥料は同量)を変えて、ジャガイモ(*Solanum tuberosum*)とカブ(*Brassica rapa* var. *rapa*)の栽培試験を行った。

表4 黒ボク土にもみ殻くん炭を施用した時の土壌の物理性の変化

採取月	処理区	孔隙率 (%)	含水比 (kg kg ⁻¹)	乾燥密度 (Mg m ⁻³)	透水係数 (m s ⁻¹ × 10 ⁻⁵)
3	C	0.71	0.76	0.57	5.3
	B5	0.64	0.74	0.67	5.3
6	B5	0.65	0.72	0.67	4.4
	B10	0.63	0.71	0.67	2.7
9	C	0.71	0.74	0.62	1.0
	B5	0.72	0.69	0.63	1.2
	B10	0.72	0.67	0.64	2.2
11	C	0.74	0.68	0.65	1.7
	B5	0.73	0.66	0.66	1.7
	B10	0.74	0.64	0.65	2.3

くん炭施用による顕著な物理性の変化はみられず(表4)、化学性ではくん炭に多く含まれているカリウムが交換性カリウムの増加という形で認められた(表5)。

表5 黒ボク土にもみ殻くん炭を施用した時の土壌の化学性の変化

採取月	処理区	pH	EC (dS m ⁻¹)	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	K (cmol _c kg ⁻¹)	可給態リン (mg kg ⁻¹)
3	C	6.1	0.076	29.2	3.5	2.5	79
	B5	5.9	0.042	25.7	3.3	1.9	84
6	B5	6.1	0.047	24.5	3.1	2.2	87
	B10	6.1	0.045	22.4	2.8	2.1	86
9	C	6.4	0.040	11.1	1.7	1.8	85
	B5	6.1	0.047	11.3	1.9	2.2	88
	B10	6.0	0.058	9.8	1.4	2.1	90
11	C	6.0	0.200	12.2	2.0	1.9	113
	B5	6.0	0.166	11.4	1.9	2.2	113
	B10	6.0	0.165	10.3	1.8	2.1	125
くん炭		7.0	1.439	6.3	2.9	37.0	394

一方、生物性の一指標である土壌酵素活性は、ホスホモノエステラーゼ活性が9月にくん炭施用で増加し、-グルコシダーゼ活性は9月と11月にB5区で活性が増加した(表6)。

収量は、C区に比べ、B5区で増加し、B10区で減少している。くん炭の過剰施肥による収量の低下が考えられる(表7)。

表6 黒ボク土にもみ殻くん炭を施用した時の土壌酵素活性の変化

採取月	処理区	DH ($\mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}$)	Phos	β -GI
3		0.08	6.5	1.30
6	C	0.11	7.9	1.42
	B5	0.12	8.2	1.25
	B10	0.10	7.9	1.30
9	C	0.09	3.6	1.04
	B5	0.09	4.2	1.15
	B10	0.08	4.4	1.06
11	C	0.13	4.6	0.99
	B5	0.10	4.4	1.17
	B10	0.10	4.3	1.02

DH=デヒドロゲナーゼ活性

Phos=ホスホモノエステラーゼ活性

β -GI= β -グルコシダーゼ活性

表7 黒ボク土にもみ殻くん炭を施用した時の作物収量

処理区	ジャガイモ		カブ	
	(g) (新鮮重)			
C	503	b	399	a
B5	616	a	437	a
B10	508	b	332	b

記号が異なる場合は5%の水準で有意な差がある

(5)これらの研究から、カンボジアにおけるバイオ炭の施用は、土壌の理化学性を改善し、収量を増加させる可能性があることが示唆された。しかし、酸性土壌ではその効果が顕著であったが、アルカリ性土壌では必ずしも作物の増収には結びついていなかった。また、日本国内で行った研究からバイオ炭の過剰施用は、収量増加に逆効果がある可能性も示唆された。

今後、東南アジアでバイオ炭の施用には、それぞれの土壌に適した施肥基準を確立していく必要性が示唆された。

一方で、ヒマワリヒヨドリとコンポストの混合施用が収量増加に大きな効果があることも示唆されている。ヒマワリヒヨドリは、バイオマス量が大きいことから緑肥で用いられることもある。しかし、侵略植物であり強いアレロパシー阻害活性を有しているため、緑肥としての施用には注意が必要である。サンドイッチ法によってアレロパシーによる阻害活性を調べたところ、ヒマワリヒヨドリでは炭化により、その阻害活性が低下した。バイオ炭へと炭化することにより、地域のバイオマスを有効利用できると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

LORN, Vicheka, TANAKA, Haruo, BELLINGRATH-KIMURA, S. Dorothea and OIKAWA, Yosei. Effects of biochar from rice husk and *Chromolaena odorata* on soil properties and tomato growth in Cambodia. *Tropical Agriculture and Development*. 2017. 印刷中(査読あり)

〔学会発表〕(計10件)

LORN, Vicheka, TANAKA, Haruo and OIKAWA, Yosei. Effects of biochar from rice husk and *Chromolaena odorata* on water spinach growth in acidic upland soils of Cambodia. 日本熱帯農業学会. 2017年3月11日. 日本大学生物資源科学部(神奈川県・藤沢市)

川目 匠・田中治夫・杉原 創. くん炭施用が黒ボク土の理化学性およびカリウム保持能に与える影響, 日本土壌肥料学会. 2016年12月3日. 宇都宮大学峰キャンパス(栃木県・宇都宮市)

LORN, Vicheka, TANAKA, Haruo and OIKAWA, Yosei. Effects of biochar from rice husk and *Chromolaena odorata* on tomato growth and soil properties of red and white soils in Cambodia. 日本熱帯農業学会. 2016年10月9日. 鹿児島大学農学部郡元キャンパス(鹿児島県・鹿児島市)

尾崎里紗・田中治夫・HOK, Lyda・及川洋征・杉原 創. カンボジアのOxisolsで環境保全型農法が土壌理化学性および土壌酵素に与える影響, 日本土壌肥料学会. 2016年9月21日. 佐賀大学本庄キャンパス(佐賀県・佐賀市)

LORN, Vicheka, TANAKA, Haruo and OIKAWA, Yosei. Effects of biochar from rice husk and *Chromolaena odorata* on tomato growth and soil properties of upland acidic soil after forest conversion in Cambodia. 日本熱帯農業学会. 2016年3月24日. 明治大学農学部生田キャンパス(神奈川県・川崎市)

LENG, Vira, SUGIHARA, Soh, OIKAWA, Yosei, B-KIMURA, Sonoko D., FUJII, Yoshiharu, TANAKA, Haruo. Effect of short-term conservation agriculture on soil organic C and N in lowland rice agroecosystem in Cambodia. 日本ペドロロジー学会. 2016年3月4日. 琉球大学50周年記念会館(沖縄県・中頭郡西原町)

川目 匠・杉原 創・内本 聡・田中治夫. くん炭施用が黒ボク土の理化学性と酵素活性及び作物収量に与える影響. 日本ペドロロジー学会. 2016年3月4日. 琉球大学50周年記念会館(沖縄県・中頭郡西原町)

尾崎里紗・杉原 創・Lyda Hok・田中治夫. カンボジアのOxisolsで6年間の環境保全型農法は効果を発揮するか? ~土壌の理化学性と土壌酵素の観点から~. 日本ペドロロジー学会. 2016年3月4日. 琉球大学50周年記念会館(沖縄県・中頭郡西原町)

LORN, Vicheka, TANAKA, Haruo and OIKAWA, Yosei. Differences in soil fertility based on chemical and organic fertilizer application at upland and flood plain soils in Cambodia. 日本土壌肥料学会.

2015年9月10日. 京都大学吉田キャンパス(京都府・京都市)
LORN, Vicheka, KIMURA, Snoko Drothea, TANAKA, Haruo, OIKAWA, Yosei. Effect of biochar from *Chromolaena odorata* and rice husk combined with organic and inorganic fertilizer on soil property and crop biomass. 日本土壤肥料学会.
2014年9月9日. 東京農工大学小金井キャンパス(東京都・小金井市)

[その他]

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~kagiten/pdf/program/fuchu/b-1.pdf>

http://web.tuat.ac.jp/~kagiten/2014/pdf/program/fuchu/A/A_tanaka.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 治夫 (TANAKA, Haruo)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 20236615

(2) 研究分担者

及川 洋征 (OIKAWA, Yosei)
東京農工大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号: 70323756

(3) 連携研究者

村田 智吉 (MURATA, Tomoyoshi)
独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 50332242

(4) 研究協力者

LORN, Vicheka
LENG, Vira
川目 匠 (KAWAME, Takumi)
尾崎 里紗 (OZAKI, Risa)
木村 園子ドロテア (BELLINGRATH-KIMURA, Sonoko Dorothea)