

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23780254

研究課題名(和文) 農作物の重金属汚染リスクを低減するためのバイオチャーを用いた土層改良に関する研究

研究課題名(英文) Using biochar for reduction of heavy metal uptake by crops in heavy metal contaminated agricultural fields

研究代表者

亀山 幸司 (KAMEYAMA, KOJI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・農地基盤工学研究領域・主任研究員

研究者番号：90414432

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)： 重金属汚染農地において栽培される農作物の重金属濃度を低く抑えるため、土壌から農作物への重金属の移行性を抑制することが重要である。バイオチャーは、重金属吸着能を有することが知られており、そのための資材として有望である。しかし、バイオチャーの理化学性は、原料等により異なる。そこで、原料の異なるバイオチャーのカドミウム汚染土壌への混入が農作物のカドミウム吸収に及ぼす影響について検討した。その結果、バイオチャー(特に、鶏糞を原料とするもの)をカドミウム汚染土壌に混入した場合、土壌のpH・リン酸含有量の増加によりカドミウムが不溶化し、農作物のカドミウム吸収が抑制されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： The bioavailability of heavy metal in agricultural soils is a great health concern due to potential risks through exposure to agricultural foods produced in heavy metal contaminated fields. Biochars are known to be effective in the adsorption of heavy metals. Thus, the objective of this study was to investigate the effects of biochar incorporation on crop cadmium uptake in a cadmium-contaminated agricultural soil. Our experimental results indicated that biochars, especially chicken manure-derived biochar, can immobilize soil cadmium chiefly through the precipitation reaction associated with increasing soil pH. Consequently, cadmium bioavailability in cadmium-contaminated agricultural soils can be decreased with incorporation of biochars.

研究分野： 土壌物理，農地工学，炭化

キーワード： バイオ炭 土壌改良 カドミウム 不溶化 炭素貯留

1. 研究開始当初の背景

現在、わが国では食品のカドミウム濃度に関して、コメのみに基準値(玄米カドミウム含量: 0.4ppm)が設けられている。一方、食品の国際基準値を設定する Codex 委員会では、畑作物に対しても小麦 0.2ppm、葉菜 0.2ppm などの基準値が採択されている。農林水産省や環境省の実態調査では、多品種の畑作物がこの Codex 基準値を超過しており、仮にこれらの値が国内基準値として採択された場合、国内ではかなりの混乱が生じると懸念される。畑作物については、コメと対照的にカドミウム汚染対策技術の検討が殆ど行われてこなかったため、データの蓄積が少なく、対策技術の早急な確立が求められている。

農作物のカドミウム吸収抑制技術の一つとして、土壌改良資材を用いたカドミウムの吸収抑制(難溶化)技術が研究されている。この技術は、客土や植物を用いた除去技術と異なり、土壌のカドミウム含量そのものが低減するわけではないが、コストが極めて安い(～数万円/回/10a)のが特徴である。

カドミウムの吸収抑制を目的とした資材として、ケイ酸質肥料などのアルカリ資材や堆肥などの有機質資材が主に提案されている。これらの資材は、降雨によるアルカリ成分流出や微生物分解による消失などが生じるため、吸収抑制効果の安定性に疑問が持たれている。

バイオマス原料(間伐材、汚泥など)を炭化することによって生成される炭化物(バイオチャー)はカドミウムを吸着保持することが報告されており(Namgay ら, 2010)、農作物のカドミウム吸収を抑制するための土壌改良資材としての活用が期待される。このバイオチャーは、有機質資材でありながら微生物分解に対して強い耐性をもっており(Baldock ら, 2002)、農地中に長期間残存することから、長期の効果発現が可能と考えられる。また、バイオチャーによる土層改良は、バイオチャー由来の炭素が農地に長期間残存することから、農地への炭素貯留によるCO₂削減技術として有望と考えられている(Lehmann, 2007)。更に、カドミウム汚染が問題となる農村地域にはバイオチャーの原料となる未利用バイオマスが豊富に存在し、新たな用途が構築できれば、未利用バイオマスの解消にも貢献することになる。

バイオチャーの吸着特性(孔隙特性、荷電特性等)は、炭化条件(特に、温度)やバイオマス原料によって大きく異なる。これまでの研究では、木質系バイオマスを対象に炭化温度によるカドミウム保持能の違い(甲斐ら, 2000)や樹皮部と木質部でのカドミウム保持能の違い(Mohan ら, 2007)が検討されている。一方、木質系以外のバイオマスでのカドミウム保持能の検討は殆ど行われていない。

このため、多種類のバイオマスを対象に、炭化条件の違いがバイオチャーのカドミウム保持能に及ぼす影響を検討したものはこ

れまでにない。実際に農作物のカドミウム吸収抑制対策としてバイオチャーを活用する際には、当該地域おける未利用バイオマスの中からカドミウム保持能の高いバイオマス原料及び炭化条件を選抜することが重要と考えられる。

2. 研究の目的

本課題では、バイオチャーを用いた土壌改良により、農作物のカドミウム汚染リスクを低減するため、バイオマス原料の異なるバイオチャーが農作物のカドミウム吸収抑制に与える影響を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

供試土壌は、過去に鉱山排水により重金属汚染された農地の表土(0~20cm)を使用した。その土壌は、カドミウムを多く含有(全Cd含量: 3.3 mg/kg)する酸性砂質土壌(pH5.1)である。

また、供試した6種類のバイオチャーは、間伐材(スギ、ヒノキ、モウソウチク)、もみ殻、鶏糞、集落排水汚泥を原料として炭化温度600で生成したものである。

試験区として、バイオチャーを混入割合3%(重量比)でカドミウム汚染土壌に添加し、プラスチックポット(内径11.4cm、高さ10cm)に充填したものを準備した。また、対照区として、バイオチャーを混入しない試験区も準備した。4kgの窒素、リン酸、カリウムに相当する量を複合肥料として播種前の土壌に施肥した。

各試験区にコマツナを播種し、28日間栽培試験を行った。なお、1ポットあたり10個の種を播種し、播種後5日目までに1ポットあたり3株に間引きした。

栽培試験は、温度20℃、各12時間の明暗条件下のグロースチャンパー内で行った。なお、作物に使用される水分に相当する水分量を毎日ポットに給水した。

28日間の栽培試験後、コマツナ地上部を値際から刈り取り、80℃で2日間炉乾燥後、乾物重量とカドミウム濃度を測定した。また、栽培跡地土壌を風乾し、2mm篩を通過した後、土壌のpH、カドミウムの化学形態について測定した。なお、カドミウムの化学形態(交換態、炭酸態、酸化物態、有機物態、残留物態)は、Tessier et al (1979)により逐次抽出法により測定した。

4. 研究成果

(1)全てのバイオチャーは、アルカリ性を示した(表1)。原料毎のバイオチャーのpHは、以下の順であった。鶏糞(pH12.0) > モウソウチク(pH10.3) > もみがら(pH10.2) > スギ(pH8.8) > 集落排水汚泥(pH8.3) > ヒノキ(pH8.3)。

鶏糞由来のバイオチャーの全リン酸含量及び可給態リン酸含量(2%ギ酸抽出性)はその他の原料を由来とするバイオチャーより

も高かった (表 2)。

表 1 バイオチャーの理化学性

Amendment	Pyrolysis temperature	Volatiles matter	Ash	pH	EC	C	H	N	S	Cl	O	Hc	O:c
		%	%	-	dS m ⁻¹	%	%	%	%	%	%	-	-
Woodchip BC(sugi)	600	26	1.7	8.82	0.4	87.7	2.2	2.4	0	0	6.0	0.30	0.05
Woodchip BC(hinoki)	600	20	2.8	8.27	0.4	87.3	1.9	1.6	0	0	6.4	0.26	0.05
Bamboo chip BC	600	29	8.3	10.32	3.9	83.2	1.2	2.1	0	0.1	5.2	0.17	0.05
Rice husk BC	600	27	54.9	10.20	1.0	39.5	0	1.9	0	0	3.7	0.00	0.07
Chicken manure BC	600	17	56.7	12.02	18.8	33.8	0	3.7	0	1.3	5.8	0.00	0.13
Sewage sludge BC	600	11	52	8.33	0.3	38.6	1.2	5.8	0	0.1	2.4	0.37	0.05

表 2 バイオチャーの肥料成分・重金属含有量

Amendment	Pyrolysis temperature	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Available P ₂ O ₅	Cd	As	Hg	Ni	Cr	Pb
		%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Woodchip BC(sugi)	600	2.4	1.3	0.4	0.02	N.D.	3.1	0.19	4.1	2.7	N.D.
Woodchip BC(hinoki)	600	1.6	0.1	0.6	0.04	N.D.	N.D.	0.05	13.8	6.9	6.9
Bamboo chip BC	600	2.1	0.7	3.7	0.25	N.D.	N.D.	0.09	26.7	1.6	1.6
Rice husk BC	600	1.9	0.1	1.6	0.06	N.D.	N.D.	0.06	25.3	57	57.0
Chicken manure BC	600	3.7	11.1	13.7	7.38	N.D.	1.5	0.01	12.3	7.3	1.1
Sewage sludge BC	600	5.8	12.8	1.3	2.59	2.8	7.4	0.02	53.2	65.3	28.4

(2) コマツナ地上部のカドミウム濃度は、バイオチャーの混入により有意に低減した (図 1)。その原料毎のバイオチャーによる低減率は、以下の順であった。鶏糞 (78%) 集落排水汚泥 (31%) もみ殻 (29%) モウソウチク (28%) ヒノキ (26%) > スギ (19%)。

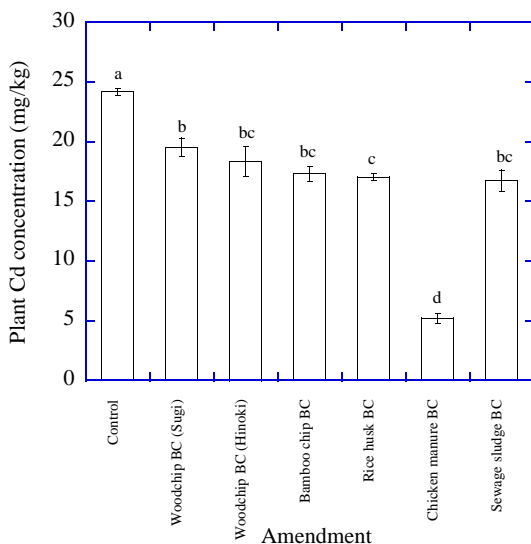


図 1 コマツナ地上部のカドミウム濃度

(3) 栽培跡地土壌の pH は、スギ、モウソウチク、もみ殻、鶏糞、集落排水汚泥を原料とするバイオチャーの混入により有意に増加した (図 2)。

無混入土壌 (対照区) (pH5.4) に対するバ

イオチャー混入土壌の pH の増加は以下の順であった。鶏糞 (pH 6.8) 集落排水汚泥 (pH 5.7) モウソウチク (pH 5.6) スギ (pH 5.6) もみ殻 (pH 5.5)。

栽培跡地土壌の交換態各分は、無混入土壌 (対照区) と比較して、鶏糞と集落排水汚泥を原料とするバイオチャーを混入した場合に有意に低減した (図 3)。一方、炭酸態は、無混入土壌 (対照区) と比較して、鶏糞と集落排水汚泥を原料とするバイオチャーを混入した場合に有意に増加した。その他の画分 (酸化物態、有機物態、残留物態) は、バイオチャーの混入により有意に変化しなかった。

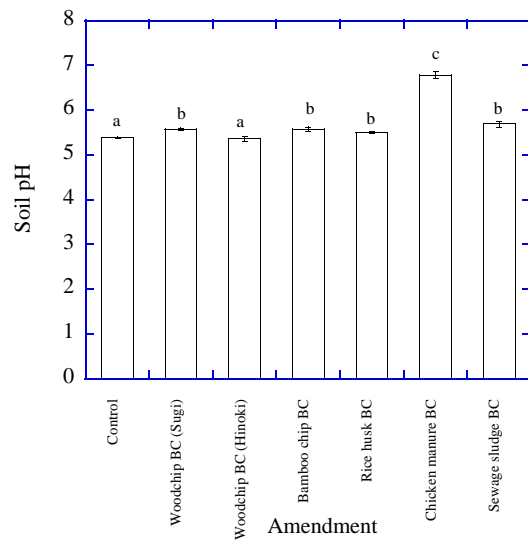


図 2 コマツナ栽培跡地土壌の pH

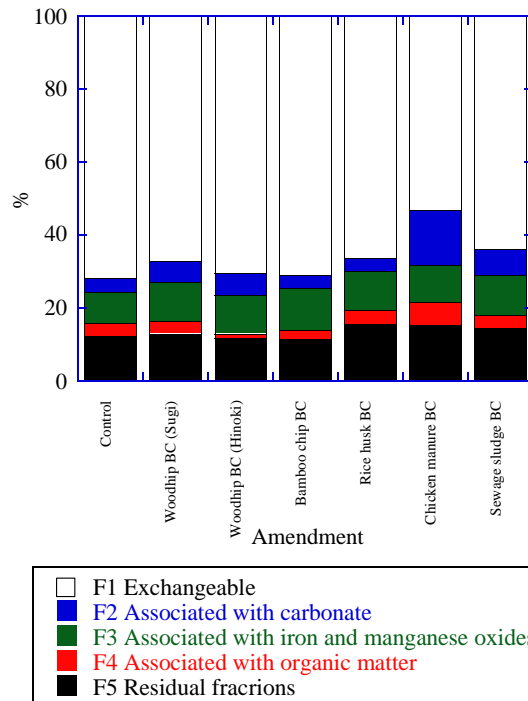


図 3 コマツナ跡地土壌のカドミウム形態

(4) 以上の結果から、バイオチャーをカドミウム汚染土壌に混入することにより、農作物

のカドミウム吸収を抑制することが明らかにされた。特に、鶏糞を原料とするバイオチャーは、農作物のカドミウム吸収の抑制に対して効果が高いことが確認された。

跡地土壌の分析結果からは、バイオチャー（特に、鶏糞を原料とするもの）をカドミウム汚染土壌に混入した場合、pH とリン酸含量の増加によりカドミウムの沈殿反応が生じ、カドミウムが不溶化することが示唆された。

<引用文献>

Baldock and Smernik、Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood、*Organic Chemistry*、Vol.33、2002、1093 - 1109

甲斐ら、木質系炭化物のカドミウム() および鉛() の吸着特性、資源循環技術、48巻、2000、9 - 18

Lehmann、A handful of carbon. *Nature*。Vol.447、2007、143 - 144

Mohan、Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production、*Journal of Colloid and Interface Science*、Vol.310、2007、57 - 73

Namgay et al.、Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.)、*Australian Journal of Soil Research*、Vol.48、2010、638 - 647

Tessier et al.、Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals、*Analytical Chemistry*、Vol.51、1979、844 - 851

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

亀山 幸司、宮本 輝仁、塩野 隆弘、Influence of biochar incorporation on TDR-based soil water content measurements、*European Journal of Soil Science*、査読有、Vol.65、No.1、2014、pp.105-112

DOI: 10.1111/ejss.12083

亀山 幸司、宮本 輝仁、塩野 隆弘、バイオチャーを混入した土壌の熱伝導率、土壌の物理性、査読有、Vol.123、2013、pp.81-88、

<https://js-soilphysics.com/data/pdf/123081.pdf>

亀山 幸司、谷 茂、塩野 隆弘、宮本 輝仁、ハクサンハタザオ (*Arabidopsis halleri* ssp. *gemmaifera*) を用いた黒ボク土畑の浄化による土壌 Cd 含有量変化の推定手法の検討、農業農村工学会論文集、査読有、Vol.80、No. 6、2012、pp.543-548、<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsidre/80/>

6/80_543/_pdf

亀山 幸司、宮本 輝仁、塩野 隆弘、凌 祥之、Influence of Sugarcane Bagasse-derived Biochar Application on Nitrate Leaching in Calcaric Dark Red Soil、*Journal of Environmental Quality*、査読有、Vol.41、No.4、2012、pp.1131-1137

DOI: 10.2134/jeq2010.0453

亀山 幸司、谷 茂、菅原 玲子、北島 信行、石川 祐一、黒ボク土畑地におけるハクサンハタザオ (*Arabidopsis halleri* ssp. *gemmaifera*) を用いた Cd 含有土壌浄化実験、農業農村工学会論文集、査読有、Vol.79、No.6、2011、pp.441-448、

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsidre/79/6/79_441/_pdf

[学会発表](計8件)

亀山 幸司、Effects of feedstock and pyrolysis temperatures on nitrate adsorption of biochar as soil amendment、9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries、2014年11月24日、ザ クラウンパレス 新阪急高知(高知県・高知市)

亀山 幸司、Evaluation of biochar, produced by pyrolysis of various biomass resources, as soil amendment material for water retention、8th Asian-Pacific Landfill Symposium、2014年10月23日、ホーチミン市(ベトナム)

亀山 幸司、バイオ炭の原料・生成温度が硝酸イオン吸着能に及ぼす影響、平成26年度農業農村工学会大会、2014年8月28日、新潟コンベンションセンター朱鷺メッセ(新潟県・新潟市)

亀山 幸司、Effects of biochar incorporation on Cd bioavailability in a Cd-contaminated agricultural soil、20th World Congress of Soil Science、2014年6月10日、済州島(韓国)

亀山 幸司、土壌保水力改良資材としてのバイオマス由来炭化物の特性評価、平成24年度農業農村工学会大会、2012年9月20日、北海道大学(北海道・札幌市)

亀山 幸司、Influence of biochar incorporation on TDR-based soil water content measurement、Eurosoil2012、2012年7月5日、バーリ市(イタリア)

亀山 幸司、農地でのバイオ炭の利活用に向けた試験研究、第12回エコカーボン研究会、2011年9月20日、産業総合技術研究所(茨城県・つくば市)

亀山 幸司、Hydraulic and thermal properties of a calcaric dark red soil as influenced by incorporation of sugarcane bagasse-derived biochar、2nd Asia Pacific Biochar Conference、2011年9月16日、立命館大学(京都府・京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀山 幸司 (KAMEYAMA, Koji)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究
機構・農村工学研究所・農地基盤工学研究
領域・主任研究員

研究者番号：90414432