

炭素貯留を実現する水処理と肥料化技術の開発(その1)

横山 茂輝 倉澤 響
袋 昭太

概 要

地球温暖化を1.5°C以内に抑えるためには、世界全体の人為起源CO₂排出量を2050年前後には正味ゼロに達する必要があるとされており、CDR(大気中二酸化炭素の直接除去技術)の実現が期待されている。筆者らは、大気中の二酸化炭素を取り込んだ木質を常温常圧環境下で安定な炭化物へと変換し、地中に貯留するシステムの確立に取り組んでいる。具体的には、間伐材等の木質を原料にガス化発電し、発電により副生する炭化物に水処理機能を付加し、水処理後の炭化物を肥料利用するカスケードシステムの確立を目指している。

本報告では、木質ガス化発電の副生炭化物から調製した鉄含有炭化物(プライムカーボン®)を対象に、リン吸着後の炭化物(リン炭)の成分分析およびコマツナを用いた植害試験を行ない、肥料特性を検討した。この結果、30 mg/L以上の平衡濃度では比較対象の全てのリン吸着材よりも高いリン吸着量を示した。また、リン炭のりん酸全量に占める可溶性リン酸の比率は48%と比較的高く、有害成分も許容値以下であった。コマツナの生長量は化成肥料よりは劣るものの、鶏糞と同程度の生長を示し、植害は認められなかった。

Development of water treatment and fertilizer technology to realize carbon storage (Part 1)

Abstract

In order to suppress global warming to less than 1.5°C, it is said that world-wide anthropogenic CO₂ emissions need to reach net zero around 2050. CDR techniques are expected to be realized. The authors are working on the establishment of a system that converts wood that has taken in carbon dioxide from the atmosphere into stable carbon at room temperature and pressure, and stores them in the ground. Specifically, it aims to establish a cascade system that uses gasified power from wood such as thinned wood as a raw material, adds a water treatment function to the carbon produced as a by-product of the power generation, and uses the carbonized water as a fertilizer.

In this report, iron-containing carbons (Prime Carbon®) prepared from by-product carbons of wood gasification power generation were analyzed, and component analysis of carbons after phosphorus adsorption (phosphorus charcoal) and vegetation damage tests using Komatsuna were conducted. The fertilizer characteristics were examined. As a result, at the equilibrium concentration of 30 mg/L or higher, the phosphorus adsorption amount was higher than that of all the phosphorus adsorption materials to be compared. In addition, the ratio of soluble phosphoric acid in the total amount of phosphoric acid was relatively high at 48%, and harmful components were also below the allowable value. Although the growth of Komatsuna was inferior to that when using chemical fertilizer, it showed the same level of growth as chicken manure, and no plant damage was observed.

キーワード:	炭素貯留、バイオマス、吸着材 リン回収、肥料
--------	---------------------------

§1. はじめに

1.1 背景

地球温暖化を 1.5℃以内に抑えるためには、世界全体の人為起源 CO₂ 排出量を 2030 年までに 2010 年水準から約 45%減少させ、2050 年前後に正味ゼロに達する必要があるとされている¹⁾。一方で 2018 年度の世界全体の CO₂ 排出量は残念ながら増大していることから²⁾、現状の取り組みではその達成が極めて困難であり、大気中二酸化炭素の直接除去技術(CDR)や回収した炭素の利用技術(CCUS)や貯留技術(CCS)の実現が期待されている³⁾。

近年、欧州を中心に大気中の二酸化炭素を取り込んだ木質を常温常圧環境下で安定な炭化物に変換し、土壌改良材とすることで地中に炭素貯留する取り組みが行われている⁴⁾が、炭化物の製造コストに対し、作物の生育効果は高いとはいえない。

また、世界の人口は大幅に増加しており、窒素・リンを含む生活排水などが河川や湖沼などに流入することで富栄養化し藻類が異常増殖するなど、水質の悪化が問題となっている⁵⁾。一方で、肥料等の製造に使用されるリン鉱石は枯渇資源とされており、排水中から資源として回収する技術が求められている⁶⁾。

これらの課題を解決するため、筆者らは、木質発電で副生する木質炭化物にリン吸着機能を付加し、生活排水等と接触させることで排水中のリンを回収するとともに、リン吸着後の木質炭化物を肥料としてカスケード利用することで、システム全体のコストの低減化と炭化物の価値向上を実現する技術を開発している。

本報告では、鉄を含有させた木質炭化物(以降、プライムカーボン®)のリン吸着特性と、リン吸着後の鉄含有炭化物(以降、リン炭)の肥料効果について検討した結果を報告する。

§2. 試験材料および方法

2.1 リン吸着特性

プライムカーボン®のリン吸着試験により吸着等温線を求め、鹿沼土、活性炭と比較した。

(1) 供試試料

間伐材の木質ガス化発電にて副生する炭化物に独自の製法で鉄を含有させたプライムカーボン®(写真1)を調製し、供試試料とした。

(2) 試験方法および分析

1000 mlボトルに供試試料0.5 gとリン濃度を10、20、60、100、200 mg-P/Lに調整したリン酸二水素カリウム水溶液

500 mLを入れ、23℃、100 rpmの条件で平衡濃度に達するまで振盪(写真2)した後、全量をろ紙(5種B)でろ過した。ろ液のリン濃度はモリブデン青吸光度法(JIS K 0102 46.1.1)にて分析した。各試験区3系列とし、リン除去量から試料1 gあたりのリン吸着量を算出した。



写真1 鉄含有木炭

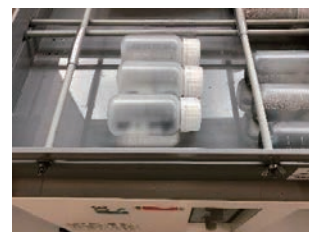


写真2 振盪試験状況

2.2 リン炭の肥料特性

リンを吸着させたプライムカーボン®のりん酸成分および有害成分の分析を行った。また、植物に対する害に関する栽培試験の方法・解説⁷⁾に準じてコマツナの栽培試験を行った。

2.2.1 リン炭の成分

(1) 供試試料

アクリルカラム(内径30 mm、高さ450 mm)にプライムカーボン®を25 g充填し、に50 mg/Lのリン酸二水素カリウム水溶液を通過してリンを吸着させたリン炭を調製し、供試試料とした。

(2) りん酸成分

リン炭を105℃で12時間乾燥した後、りん酸全量(TP)、可溶性りん酸(SP)、く溶性りん酸(CP)、水溶性りん酸(WP)を肥料等試験法⁸⁾に準じてバナドモリブデン酸アンモニウム吸光度法にて分析した。

(3) 有害成分

肥料取締法に基づき、リン炭に含有される有害成分(ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛)について、肥料等試験法⁹⁾に準じて分析した。分析項目および分析方法を表1に示す。

表1 有害成分の分析項目と分析方法

分析項目	試験方法
ヒ素	5.2.a 水素化物発生原子吸光度法
カドミウム	5.3.a フレーム原子吸光度法
水銀	5.1.a 還元酸化原子吸光度法
ニッケル	5.4.a フレーム原子吸光度法
クロム	5.5.a フレーム原子吸光度法
鉛	5.6.a フレーム原子吸光度法

2.2.2 リン炭のコマツナ栽培試験

(1) 供試土壌

供試土壌には黒土((株)オカベ園芸産業)を用いた。

(2) 供試肥料

栽培試験に使用した肥料の成分組成を表2に示す。化成肥料、鶏糞の肥料成分は製品に記載されている値とし、リン炭については肥料等試験法⁸⁾に準じて分析した。

表2 各肥料の成分組成

肥料	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
尿素	46.0%	0.0%	0.0%
硫酸カリウム	0.0%	0.0%	50.0%
混合化成肥料	8.0%	8.0%	8.0%
鶏糞	3.0%	4.7%	3.0%
リン炭	0.29%	2.79%	0.46%

(3) 試験区の設定

試験区ごとの肥料の施用量を表3に示す。リン炭施肥区の対照として無施肥、化成肥料、鶏糞の試験区を設けた。無施肥以外の試験区ではN、K₂O、P₂O₅がそれぞれ100 mg/ポットとなるように調整した。リン炭および鶏糞の試験区はNおよびK₂Oが不足分するため、尿素および硫酸カリウムを追加した。

表3 コマツナ植害試験区の肥料設定

試験区	無施肥	化成肥料	鶏糞	リン炭
	g/ポット			
尿素	-	-	0.08	0.19
硫酸カリウム	-	-	0.07	0.17
混合化成肥料	-	1.25	-	-
鶏糞	-	-	2.13	-
リン炭	-	-	-	11.03

(4) 栽培方法

ノウバウエルポット(1/10,000 a)に試験区ごとの施肥を行った黒土443 gを充填し、コマツナ (*Brassica rapa var. perviridis*) 種子20粒を播種した。ポットは各試験区について3つとした。栽培条件として温度20℃、湿度80%、明暗12時間とし、播種後7日目に1ポットあたり5株となるように間引きした。

播種後21日目に栽培試験を終了し、コマツナの全長、根を除いた株の生重量、105℃で24時間処理後の乾燥重量を測定し、ポットごとの平均値を算出した。

§3. 試験結果

3.1 リン吸着特性

リン吸着量と平衡濃度から求めたFreundlichの吸着等温線を図1に示す。ジルコニア系⁹⁾および活性アルミナ¹⁰⁾については文献値を参照した。

プライムカーボン[®]は平衡濃度にかかわらず鹿沼土、活性炭、活性アルミナよりも高い吸着量を示したが、平衡濃度1~30 mg-P/Lではジルコニア系⁹⁾よりも低い値となった。一方、30 mg-P/L以上の濃度では最も高いリン吸着量を示した。

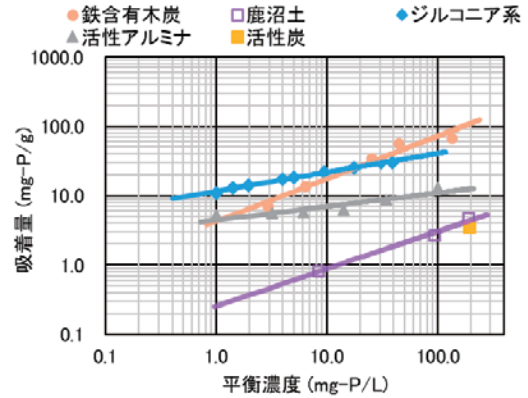


図1 リン吸着等温線

3.2 リン炭の肥料特性

3.2.1 リン酸成分

リン炭のりん酸全量(TP)、可溶性りん酸(SP)、く溶性りん酸(CP)、水溶性りん酸(WP)はそれぞれ66.1、32.3、14.0、0.07 mg-P₂O₅/gであり、TPに対するSP、CP、WPの比率はそれぞれ48.9%、21.2%、0.1%であった。SPは水には溶解せず植物の根から分泌される根酸により溶解する成分、CPは約2%のクエン酸溶液に溶解する成分であり、いずれも土中では徐々に溶解し遅効性であるとされている。一方、WPは水に溶解し、植物に速く吸収できる成分であることから、SP比率の高いリン炭は遅効性の肥料として利用できる可能性が示唆された。

3.2.2 有害成分

リン炭に含まれる有害成分を表4に示す。測定した項目全てにおいて、汚泥肥料中に含有を許される有害成分の最大量¹¹⁾以下となった。

表4 リン炭の有害成分

分析項目	含有を許される有害成分の最大量 (%)	測定値 (%)
ひ素	0.005	<0.0001
カドミウム	0.0005	<0.0001
水銀	0.0002	<0.0000005
ニッケル	0.03	0.0053
クロム	0.05	0.0034
鉛	0.01	<0.001

3.2.3 コマツナ栽培試験

植害試験終了時におけるコマツナの生育状況を写真3

に、全長を図2に、生重量を図3に、乾燥重量を図4に示す。

コマツナ収穫時の全長は無施肥、化成肥料、鶏糞、リン炭で、それぞれ平均13.4、15.7、16.2、16.4 cmであった。コマツナ収穫後の生重量は無施肥、化成肥料、鶏糞、リン炭がそれぞれ平均15.9、37.0、27.7、28.9 g、乾燥重量は無施肥、化成肥料、鶏糞、リン炭がそれぞれ平均1.4、2.1、1.9、1.9 gであった。

t検定の結果、リン炭施肥区は化成肥料区と比較して生重量が有意 ($p < 0.05$) に低かったが、それ以外の項目では化成肥料、鶏糞の試験区と比較して有意な差は認められず、無施肥よりも成長が良好であった。

また、栽培試験を通じて葉の色や形などに特段の障害は認められなかったことから、植害についてはおおきな問題はないと示唆された。

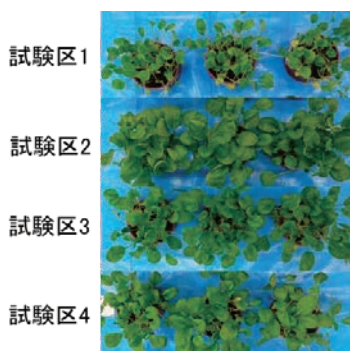


写真3 試験終了時のコマツナ生育状況

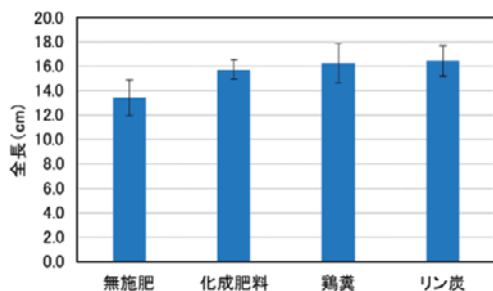


図2 試験終了時のコマツナ全長

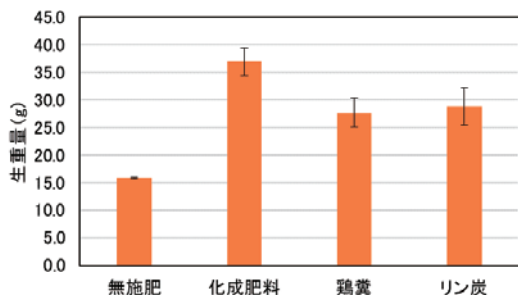


図3 試験終了時のコマツナ生重量

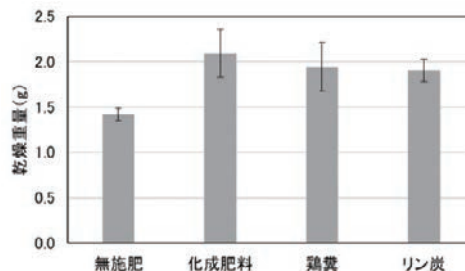


図4 試験終了時のコマツナ乾燥重量

§4. まとめ

本報告では、プライムカーボン®(鉄含有炭化物)のリン吸着特性とリン吸着後のリン炭の肥料特性について調査し、以下の知見を得た。

- (1) プライムカーボン®は既知のリン吸着材と比較し、遜色ないリン吸着特性を示した。特に30 mg/L以上のリン濃度では最も高いリン吸着量であった。
- (2) リン炭は可溶性リン酸の割合が高く、遅効性の肥料として利用できる可能性が示唆された。
- (3) リン炭には有害成分がほとんど含まれておらず、コマツナへの植害も認められなかった。

今後は、プライムカーボン®のリン吸着性能や、リン吸着炭の肥効をさらに高める技術開発を推進するとともに、実用化・商品化に向けた検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) IPCC(2018), Global Warming of 1.5°C
- 2) IEA(2019), Global Energy & CO2 Status Report
- 3) IPCC(2014), Climate Change 2014 Synthesis Report
- 4) 柴田晃 (2011), 地域振興のためのバイオマス簡易炭化と炭素貯留野菜COOL VEGE TM.
- 5) 新藤純子(2010), 食料増産と資源・環境問題としての肥料, 第32回農業環境シンポジウム
- 6) 三島裕一郎ら (2012), 低リン濃度の下廃水を対象とした新たなリン回収法の開発.
- 7) FAMIC(2017), 植物に対する害に関する栽培試験の方法・解説
- 8) FAMIC(2018), 肥料等試験法
- 9) 鈴木基之・藤井隆夫(1987)水和酸化ジルコニウム添着ゼオライトによるリンと窒素の同時除去.化学工学協会第20回秋期大会講演要旨集,508-509.
- 10) Gangoli, N. and G. Thodos (1973) Phosphate adsorption studies. Join. Water Poll. Control Fed., 45, 842-849.
- 11) 農林水産省告示284号, 肥料取締法第三条及び第二十五条ただし書の規定に基づく普通肥料の公定規格

ひとこと



横山 茂輝

地球温暖化は世界の大きな課題となっており、早急な温暖化対策が求められています。

本研究を通じて、大気中のCO₂を地中に貯留できる技術の早期確立を目指していきたいと考えています。