

(様式第14号)

学位論文要約

氏名: 小中 隆文

題目: ジャトロファ (*Jatropha curcas* L.) の重金属耐性および非油脂バイオマスの有効利用に関する研究

(Study on the heavy metal tolerance and non-oil biomass utilization of *Jatropha curcas* L.)

トウダイグサ科の落葉低木であるジャトロファは、種子にバイオディーゼルを製造できる油分を多く含み、再生利用可能なエネルギー源として注目されている。ジャトロファによるバイオディーゼルの製造は、アフリカ貧困村等における地産地消型のエネルギー源として期待できるが、食糧の供給が十分ではない貧困地域において、耕作可能地への植林は適切とは言えない。一方、人間の産業活動の拡充や環境の悪化によって食糧耕作不適地は増えている。こうした問題を解決する手段としてジャトロファの荒廃地での栽培が期待される。ジャトロファを荒廃地に栽培することにより荒廃地を緑化するとともに、バイオマスを有効利用することで、経済的生産性を高めることが期待できる。こうした問題意識のもと、本論文ではジャトロファの食糧耕作不適地での栽培と廃棄バイオマス利用の可能性を検討した。

本論文ではまず、食糧耕作不適地、特に、重金属汚染土壌におけるジャトロファ栽培の可能性を検討した(2章)。ジャトロファとアカシアを、農作物生産に使われている土壌(FS)と、FSと比較して酸性かつ銅の含有量が58倍、ニッケルの含有量が14倍のボツワナ由来土壌(ACNS)で成長させ、地上部の生育状況を観察した。その結果、アカシアではFSで生育したものに比べACNSで生育したものは枝および側枝の数が少なく、幹の径が細く、クロロフィルの含有量が少ないという成長阻害が見られた。一方、ジャトロファでは樹高、幹の径、若枝の長さ等の比較基準において統計的に有意な成長阻害は認められなかった(Table 2-2)。これらの結果からジャトロファは銅およびニッケル含有土壌での成長に耐性を示していることが示唆された。

次の実験では、銅およびニッケルを50, 150, 300 mg kg⁻¹の異なる濃度で混入させた土壌でジャトロファを成長させ、高濃度の銅およびニッケルがジャトロファに及ぼす影響とジャトロファ植物内の蓄積量を分析した(3章)。その結果、ジャトロファは銅およびニッケルを高濃度で含む土壌においても、その成長を阻害されることなく成長することが確認された。また、ジャトロファは余剰なニッケルを根に蓄積するだけでなく、若枝や老化葉にも蓄積することが明らかになり、若枝や老化葉を除去・回収することにより土壌中のニッケルを浄化できる可能性が示唆された。こうした実験結果から、ジャトロファは重金属汚染土壌、特にニッケル汚染土壌の緑化と土壌浄化に寄与できる可能性が示唆された。

Table 2-2. アカシアとジャトロファのFS土壌およびACNS土壌における栽培 6 ヶ月後の生育状況

Growth Parameter	Acacia ¹				Jatropha ¹			
	FS ²	ACNS ³	p-value ⁴	Fold ⁵	FS ²	ACNS ³	p-value ⁴	Fold ⁵
Height (cm)	28.3 ± 6.0	31.0 ± 10.4	0.72	n.a. ⁶	24.3 ± 8.7	25.0 ± 7.0	0.92	n.a. ⁶
Diameter (mm)	14.0 ± 1.0	10.3 ± 0.6	5.3 × 10 ⁻³	0.74	14.7 ± 0.6	16.0 ± 1.0	0.12	n.a. ⁶
Number of petioles per tree	82.7 ± 4.7	11.7 ± 5.0	5.8 × 10 ⁻⁵	0.14	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷
Number of branches per tree	5.0 ± 0.0	2.0 ± 1.0	6.5 × 10 ⁻³	0.40	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0	1.0
Total length of emerged branch	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷	45.0 ± 21.8	56.7 ± 55.1	0.75	n.a.
Number of leaves per tree	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷	n.d. ⁷	5.3 ± 2.9	10.3 ± 1.2	4.9 × 10 ⁻²	1.9
Chlorophyll contents (µg chl cm ⁻²)	7.2 ± 0.4	2.2 ± 0.6	3.2 × 10 ⁻⁴	0.31	11.4 ± 0.6	10.2 ± 1.6	0.28	0.89

¹Values are the average and standard deviation (n = 3).

²FS: Field Soil.

³ACNS: Acidic and Cu/Ni-rich Soil.

⁴The probability values for the significant difference between the two soils were calculated by *t*-test (*p* < 0.05).

⁵Fold difference of the value for ACNS in comparison to that of FS.

⁶n.a.: not applicable because the difference was not statistically significant.

⁷n.d.: not determined.

次にジャトロファの廃棄バイオマスの有効利用に関する可能性を検討した(4章)。ジャトロファは栽培にあたって、落葉など不要物として扱われるバイオマスを多く生じる。落葉を、中古ドラム缶を利用した簡易炭化装置(Fig.4-1)を用いて炭化し、製造したジャトロファ落葉バイオチャー(Fig.4-3)を土壌改良剤および有機肥料として活用することができるか実験した。



Fig. 4-1. ジャトロファ落葉バイオチャーを製造した、中古ドラム缶を利用した簡易炭化装置。(A)側面。ドラム缶はレンガの上に乗せ、自作した煙突付きの蓋で上部を塞いだ。熱分解を進める際には煙突の上部をレンガで塞いだ。(B)底面。熱分解開始時に空気を取り入れる穴を複数開けた。

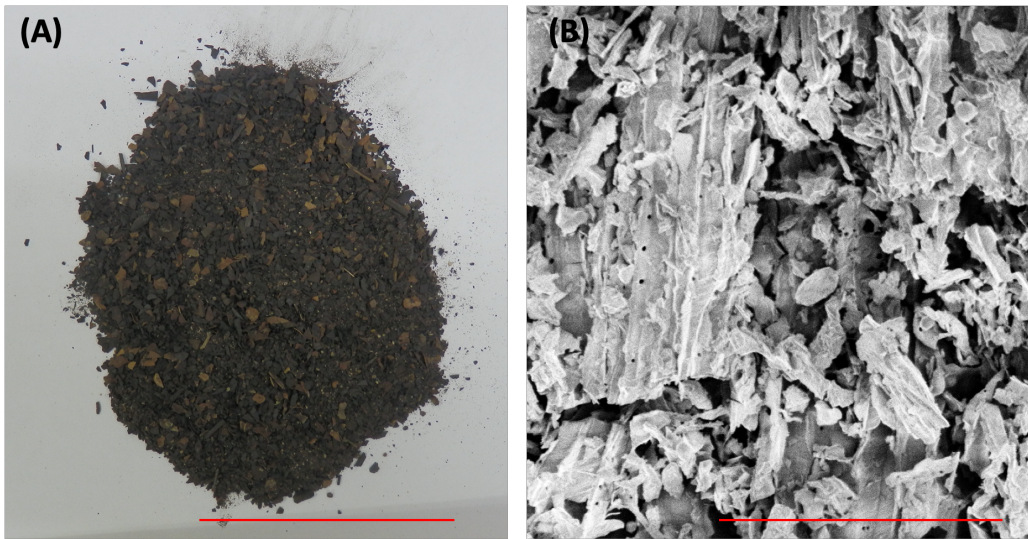


Fig. 4-3. (A) 簡易炭化装置を用いて製造したジャトロファ落葉バイオチャー. 赤線は5cmを示す. (B) Electron microscope による表面拡大図. 赤線は100µmを示す.

まず、酸性貧栄養下の土壤に落葉バイオチャーを施用してフダンソウを栽培し、葉面積、乾燥重量等を計測して植物の生育状態を観察したところ、落葉バイオチャーを 3%, 5%, 10% (w/w) 施用した土壤で栽培したフダンソウはコントロール土壤に比較し、乾燥重量がそれぞれ1.57, 1.88, 2.32倍重くなり(Fig.4-5)、施用量と収量に正の相関が認められた。加えて、落葉バイオチャーを混入させることで土壤の保水力の向上(Fig.4-7)などの効果が明らかになった。

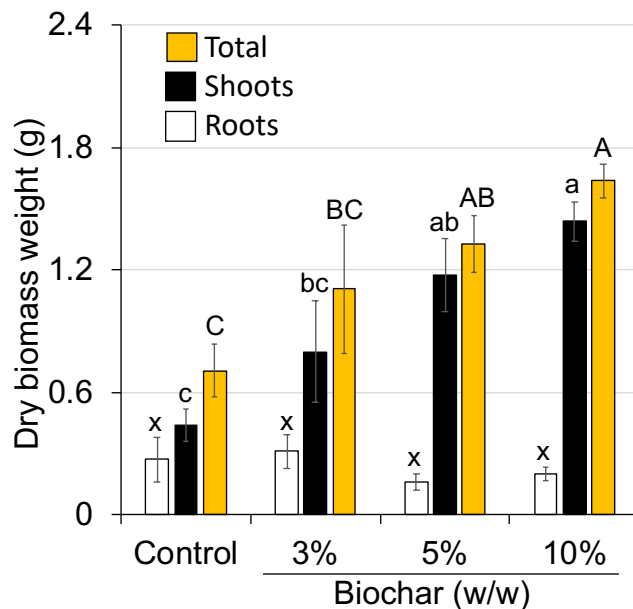


Fig. 4-5. フダンソウをジャトロファ落葉バイオチャー(3%, 5%, 10% (w/w))を施用した土壤と落葉バイオチャーを施用しないコントロール土壤で栽培し、収穫後に計測した乾燥重量の比較. 値は平均値と標準偏差. 各棒グラフに示したアルファベットはANOVAによる有意性の検定 (Holm's test, $p < 0.05$).

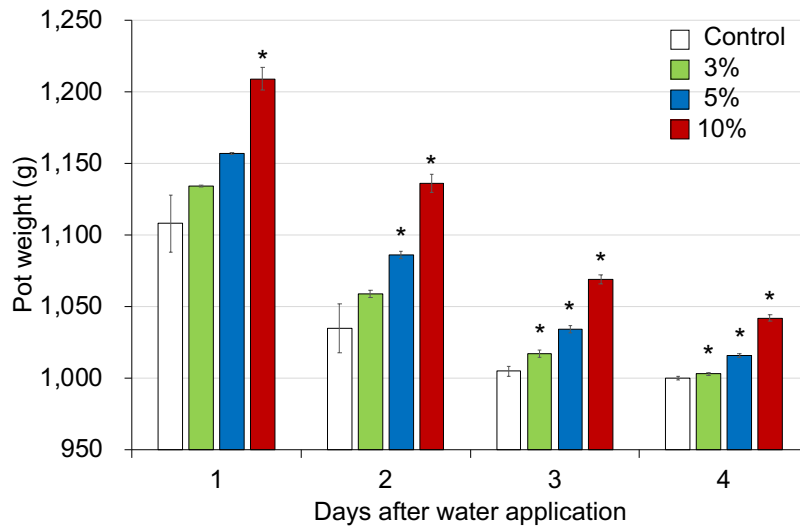


Fig. 4-7. ジャトロファ落葉バイオチャー施用土壌における水分量の推移. ポット重量を毎日計測しポットからの水分排出量を見積もった. 値は平均値と標準偏差(n=3). アスタリスクはコントロールと比較しての有意性を示している (*t*-test, $p < 0.05$).

次の生育実験では、ジャトロファ落葉バイオチャーを通常の野菜栽培用土壌に施用し、フダンソウとカラシナという2種類の葉菜の生育を評価した(5章)。その結果、落葉バイオチャー 5%(w/w)施用土壌では、フダンソウの地上部の乾燥重量はコントロールと比較して3.5倍重く(Fig.5-1A)、同じくカラシナは3.25倍重く(Fig.5-2A)、どちらも化学肥料2g kg⁻¹を施肥したものと同等の成長を示した。これらの結果から、簡易炭化装置で製造した落葉バイオチャーは葉菜の収量増大に寄与し得ることが明らかになった。

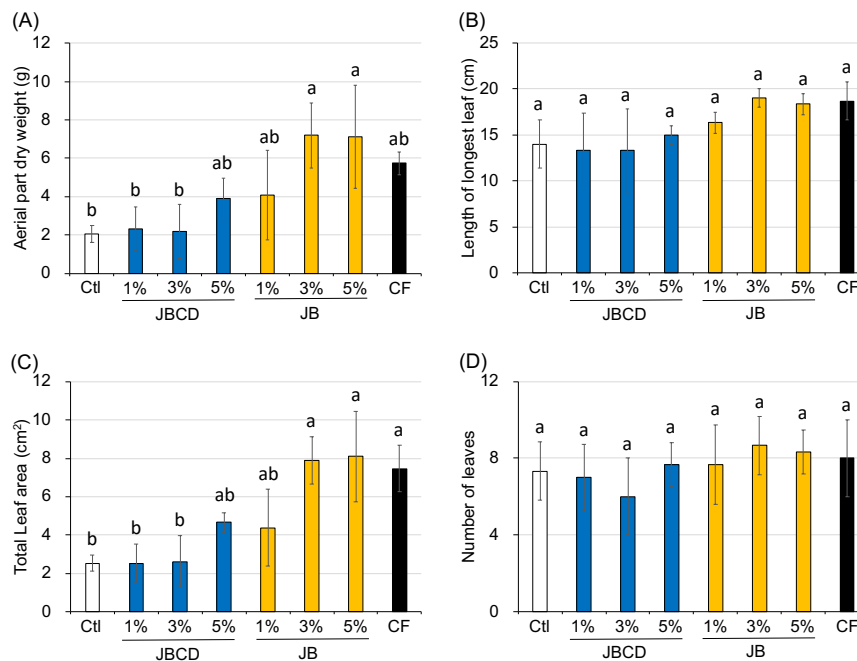


Fig. 5-1. フダンソウの生育状況. コントロール土壌(Ctl), ジャトロファ落葉バイオチャーと乾燥牛糞の混合材1%, 3%, 5% (w/w)施用土壌(JBCD), ジャトロファ落葉バイオチャー1%, 3%, 5% (w/w)施用土壌(JB), 化学肥料2g kg⁻¹施肥土壌 (CF). (A) 地上部の乾燥重量, (B) 最大葉の葉長, (C) 総葉面積, (D) 葉数. 値は平均と標準偏差(n= 3). ANOVAによる有意性はアルファベットで示している. (Holm's test, $p < 0.05$).

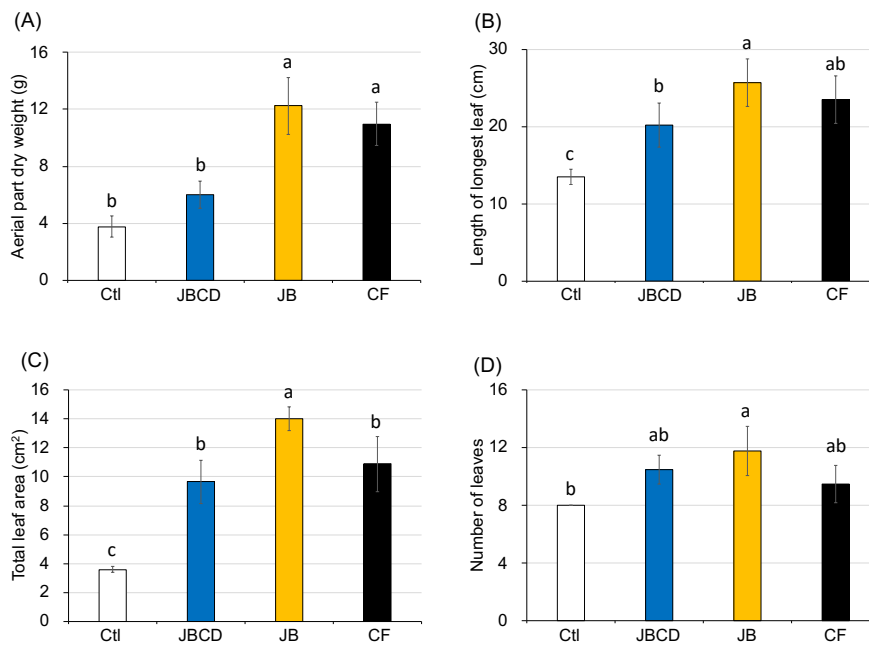


Fig. 5-2. カラシナの生育状況。コントロール土壌(Ctl), ジャトロファ落葉バイオチャーと乾燥牛糞の混合材5% (w/w) 施用土壌(JBCD), ジャトロファ落葉バイオチャー5% (w/w)施用土壌 (JB), 化学肥料2g kg⁻¹施肥土壌 (CF). (A) 地上部の乾燥重量, (B) 最大葉の葉長, (C) 総葉面積, (D) 葉数. 値は平均と標準偏差(n= 3). ANOVAによる有意性はアルファベットで示している. (Holm's test, $p < 0.05$).

これらの栽培結果を受けて、ジャトロファ・バイオチャーの物理化学特性を分析した(6章)。落葉に加えて、剪定枝および幹を、4つの炭化温度(300, 400, 500, 600°C)で製炭し、製造した、ジャトロファ・バイオチャーの特性を評価した。結果として、一般的な傾向として、温度が上がるにつれ、pH および電気伝導率が増す一方、収量および陽イオン交換容量が減少すること、落葉炭は枝炭や幹炭と比較し、炭素量が低い一方、窒素量、リン、カリウム、マグネシウムの量が多いなどの特性が明らかになった。この結果から、土壌の状態や用途に合わせたジャトロファ・バイオチャーを炭化温度や組織を変えることで製造できることが示唆された。

本論文では、こうした結果から、ジャトロファを用いることで環境改善を促進するとともに、ジャトロファを再生利用可能エネルギー源として利用することとどまらず、ジャトロファ・バイオマスを有効利用することで持続性を持った農業に貢献できる可能性を示した。

「※なお、一部図表等を割愛しています。」