

課題9 間伐竹材を用いた有機肥料の開発

担当者：桧原 健一郎、谷坂 隆俊

■研究目的

竹は植物の中で最も成長度が早く、1日の成長量は最大で1メートルにも達する。また、地下茎で繁殖することから、驚異的な勢いで生育面積を拡大する。そのため、適切な管理がなされないとたちまち人が立ち入ることができない環境となり、周辺の農耕地にも悪影響を及ぼす。昨今、日本各地でこのような放棄竹林が問題となっており、淡路島においてもその面積が増大している。しかし、増えすぎた竹を良質な有機肥料に変えることができれば、竹は有用な植物資源となり得る。本研究は、竹材と農学を結びつけ、竹を粉砕した竹パウダーを有機肥料化して、農業資材として活用することにより、竹材を農業に再利用することを目的とする。

■令和元年度の達成目標

竹パウダー（有機肥料）を用いた野外での作物試験栽培の実施

→竹パウダーを施用した土壌中における微生物の多様性の変化を菌そう解析によって調査を行い、竹パウダーが作物生育や土壌に及ぼす影響について考察する。

→市販されている竹パウダーの性状や特徴について分析を行い、有機肥料として効果の高い竹パウダーの性状について理解する。

■令和元年度研究方法

年度当初の予定では、南あわじ市の放置竹林からモウソウチク、マダケを伐採させていただき、竹パウダーの製作する予定であったが機械の不具合により、市販されている竹パウダーを用いた。竹パウダーが作物（コマツナ、ソルガム、レタス）生育ならびに土壌環境に及ぼす影響について、ポット栽培、大学グラウンド圃場、フィールド圃場で試験を実施した。また、市販されている竹パウダーの性状について形状、菌叢解析、作物生育の観点から比較検証を行った。

■令和元年度研究成果

【1：南あわじ市の放置竹林からの竹パウダーの製作の断念と市販竹パウダーの調査】

昨年度は大学周辺にある竹を伐採し、竹パウダーを製作したが、より具体的に地域の放置竹林の有効活用を行うため南あわじ市の放置竹林からモウソウチク、マダケを伐採させていただき、竹パウダーの製作を開始した。竹は大学から離れた場所で伐採したため、上部を切断した竹材を用いた。竹材を細かくするチップperを用いて竹チップの作成に取り掛かったが、機械に竹が絡み、ローター回転部のベルトに異常に圧がかかることでベルトの破損が度々発生した。昨年度の竹チップ作成時も上部を切断すると同様の現象は見られたが、今年

度は特に発生回数が多かった。竹パウダーを使用した実験にも影響が出ることから、今後の竹パウダー開発の参考とするために、すでに市販されている竹パウダーの調査ならびに市販された竹パウダーを使用して作物生育や土壌微生物に及ぼす影響について解析を行うこととした。

【2：市販竹パウダーの調査と竹パウダーが作物生育に及ぼす影響】

放置竹林は全国各地で見られるため、様々な地域で竹パウダーの製作、販売が行われている。調査したところ、竹パウダーを販売する会社は24社見つかったが、その価格は1kgあたり最も高いもので1,360円(A社)、最も安いもので42円(X社)であった(図1(A))。価格の大きな開きはあるが全て竹パウダーとして販売されている。そのため、それらの違いについて検証するため、A社、X社と比較的大量に販売されていたQ社(216円/kg)を購入し、実験を行った。A社、Q社のものは開封後果実臭がしたため、何らかの形で嫌気発酵処理を行っていることが示唆されたが、X社のものはほぼ無臭であり、発酵させていないことがわかった。また、竹パウダーの形状は図1(B-I)に示すように最も高かったA社のものは細く、X社のものは大きかったが、昨年度大学で作成したものに比べると形状が整っているように感じられた。次に各社の竹パウダーのC/N(炭素/窒素)比を測定した(図1(J))。C/N比が高い

有機物を土に施すと窒素が微生物に取り込まれ、作物利用できる窒素が少なくなり、窒素飢餓に陥ると言われている。竹パウダーは稲藁などに比べるとC/N比が高いことが知られている。A、Q社のC/N比は220-235と一般的な竹(280前後)に比べて低い傾向を示したことから嫌気発酵により炭素源の分解が進んでいることが推察された。一方、発酵が進んでいないX社のものは364と高い値を示した。次に各竹パウダーに含まれる微生物を調査するため、菌叢解析(16SrRNA アンプリコン解析)を行った(図2(A))。3社の竹パウダーと昨年度大学で作成した竹パウダーから得られた菌叢データを比較したところ、A社は99.7%が乳酸菌群の大部分を占めるラクトバシラス属であった。また、

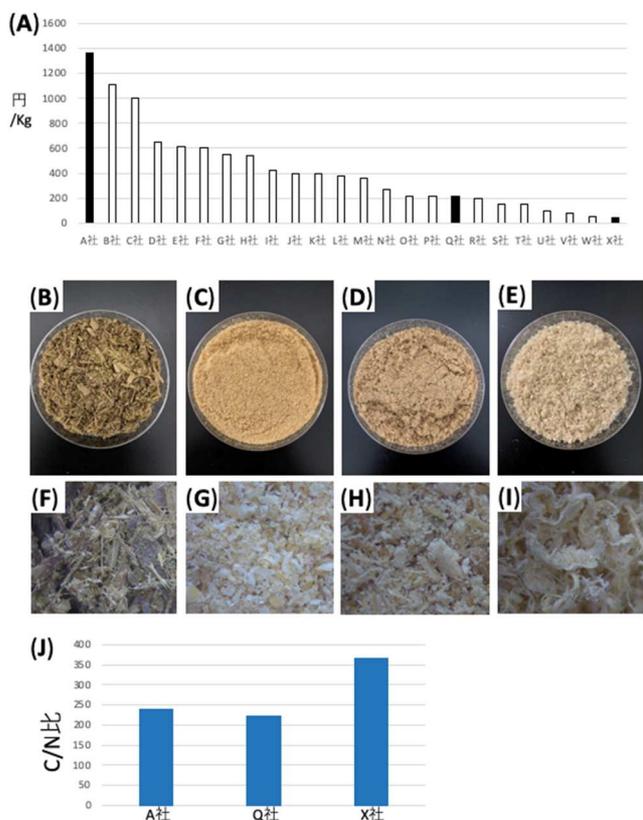


図1.市販されている竹パウダーの比較

(A)調べた24社の竹パウダー1kgあたりの販売価格。黒色で示しているA社、Q社、X社の竹パウダーを実験に使用した。縦軸は1kg辺りの価格(円/kg)を示す。(B,F)2018年に大学で作製した竹パウダー、(C,G)A社、(D,H)Q社、(E,I)X社の竹パウダーの外観と形状。(J)A,Q,X社の竹パウダーのC/N比。

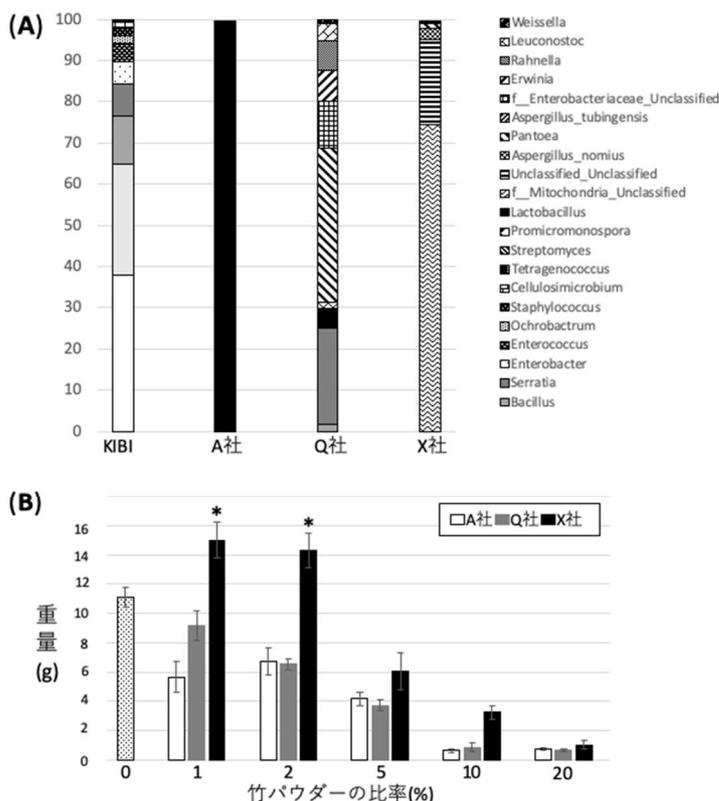


図2.市販されている竹パウダーの菌叢とレタスへの影響

(A) 菌叢解析から得られた各竹パウダーに含まれた微生物。属レベルで微生物を分類したのち、各竹パウダーで0.1%以上含まれる微生物をまとめた図。KIBIは、昨年度大学で作成した竹パウダーの菌叢解析データ。(B) 各社の竹パウダー(1~20% (v/v)含有区で栽培したレタスの定植後8週間目の重量(g)。各栽培区のデータは、3個体の平均値±標準偏差で示す。*: P>0.05

Q社にもラクトバシラス属は含まれていたが、大学で作成した竹パウダーに含まれていたエンテロкокカス属の乳酸菌は含まれていなかった。各竹パウダー間で共通して含まれていた菌はスフィンゴモナス属、バシラス属だけであった。これらの結果から市販されている竹パウダーは、形状や菌種など様々な点で異なっていることが明らかとなった。次に各社の竹パウダーの作物生育に及ぼす影響を調査するため、土の体積あたり 1~20%の竹パウダーを混ぜた処理区に球レタスの苗を定植し、8週間後の重量を測定した。その結果、5%以上竹パウダーを入れた処理区は全て対照区に比べて小さくなった。予想に反して、A、Q社の竹

パウダーは1%程度でも対照区よりも小さくなる傾向を示したが、X社の竹パウダーは1%、2%処理区において有意に重量が重くなっていた。昨年度大学で作成した竹パウダーでは、サニーレタス、コマツナの栽培において1-2%処理することで重くなる傾向が見られていたことを踏まえると、作物ごとに竹パウダーを含有する土壌に対する応答性が異なることが示唆された。また、ほとんど発酵しておらず高いC/N比を示したX社の竹パウダー処理区において有意にレタスが大きくなったことから竹パウダーが土壌中で分解されたことによる効果ではなく、土壌の物性に与える影響が大きかったと考えられた。竹パウダーが土壌物性に与える影響についてはさらなる調査が必要である。

【3：竹パウダーの圃場での作物生育への効果と土壌に及ぼす影響】

今年度は、Q社の竹パウダーを使用し、大学フィールド圃場ならびにグラウンド圃場において1、2、5、20%処理区を設けてコマツナ、夏大根、ソルガムの栽培を実施した。コマツナ、夏大根は虫害対策が遅かったため、生育データを得ることはできなかったが、ソルガムに関しては5週間目までは2%以上の処理区で窒素飢餓と見られる草丈の減少が見られ、13週間目では逆に2%以上の処理区の草丈が高くなる傾向が見られた。次にこれらの処理区に

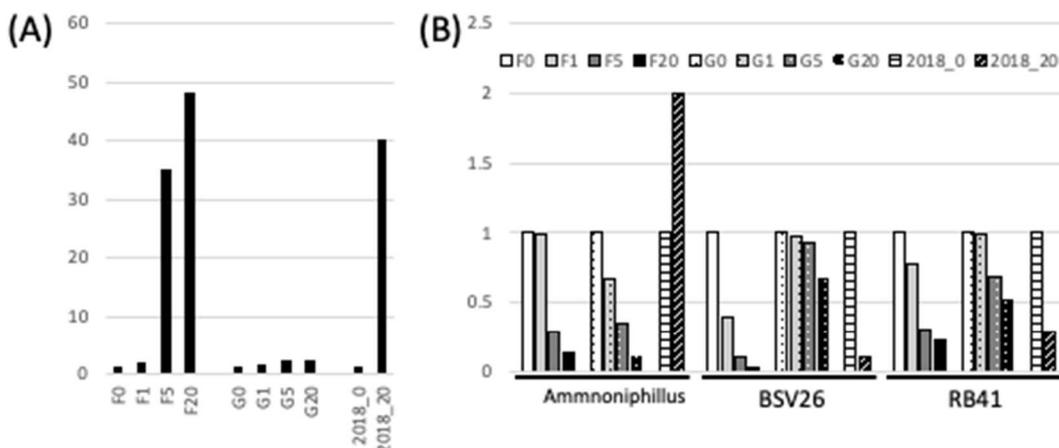


図3.竹パウダーの投入に応答する細菌の同定

(A) 竹パウダーの含有量に依存して増加したCaulobacteraceae属の変化。(B)竹パウダーの含有量に依存して減少した3つの属の変化。Fはフィールド、Gはグラウンド、2018は昨年度のポット栽培を示し、数字は添加した竹パウダー量(%)を示す。縦軸は、それぞれ0%処理区(対照区)を1とした時の相対値を表す。

おける菌叢解析を実施し、土壌に及ぼす影響について調査を行った。フィールド、グラウンド圃場の0、1、5、20%処理区(竹パウダー投入後8週間)の土壌からDNAを抽出して菌叢解析を行った結果、昨年度と同様竹パウダー(Q社)に含まれる菌の増加は見られなかった。また、今年度と昨年度のデータから竹パウダー量依存的に変化する菌について調べたところ、増加する菌が1属(Caulobacteraceae属)、減少する菌が2属(BSV26科に属する未分類の属、RB41属)が見つかった(図3)。これらの菌属が土壌に与える影響はほとんど分かっていないが、今後これらの菌と竹パウダーや作物生育との関係性を科学的に明らかにすることにより、竹パウダーの有効性やより良い竹パウダーの開発につながることを期待している。

■令和元年度の達成目標の状況

竹パウダー投与がもたらす作物生育への促進、抑制効果や土壌微生物への影響についての基礎的な情報を多数得ることができ、概ね達成することができたと考えている。

■最終目標の達成状況

竹パウダーが作物生育に及ぼす影響

竹パウダーは、放置竹林の整備の過程で生じる廃材の有効利用を目的に全国の様々な場所で農業資材としての利用が試みられている。本研究では、ポット栽培や圃場栽培から竹パウダーが作物生育に及ぼす影響について調査を行った。ポット試験では、竹パウダー投入量が体積比あたり20~30%ではカリフラワー、コマツナ、サニーレタス、ソルガム、レタスにおいて窒素飢餓と見られる生育障害が見られたが、ソルガムに関してはその後回復し、収穫時の草丈は対照区とあまり差は見られなかった。また、1~2%で使用するとコマツナ、サニ

ーレタス、レタスなどで生育促進効果が見られた。しかし、少量であると常に生育促進を示すわけではなく、市販竹パウダー用いたレタス試験では、1~2%の発酵竹パウダーでも生育阻害の傾向が見られた。これらの結果から、(1)少量(<2%)の竹パウダーでは成長促進効果を示す場合があるが、使用する竹パウダーの性状あるいは作物種によって異なること、(2)大量(>20%)の竹パウダーは共通して窒素飢餓による生育阻害を引き起こすがその程度は作物種ごとに異なることが明らかとなった。作物種ごとに応答性が異なることは興味深い、今回の研究では、場所や竹パウダーの量、生育時期などの理由から、全ての作物に対して一様に試験を実施していないため、さらに同じ環境下で栽培試験を実施する必要がある。

市販竹パウダーと自作竹パウダーとの相違点

今回の研究では、今後大学で竹パウダー製作を行っていく上での参考として、市販されている竹パウダーの調査を行った。今回調査した3社竹パウダーは、価格、性状、形状、そしてそれらの竹パウダーが含む菌叢など様々な点で大きな違いがあった。また、上述したように作物に対する使用効果も各社で大きく異なっていた。各社の価格の違いを生み出す要因は、竹パウダーの加工、発酵処理工程の違いにあることが推察されたが、それぞれの竹パウダーが作物生育に良い効果をもたらす主要因を明確にすることはできなかった。これらの竹パウダーは全て、インターネット上で竹パウダーとして販売されている。利用者がこれらを用いて良い効果が得られた場合はいいが、悪い効果であった場合、総合して“竹パウダー”はあまり良くないものであるという結論に至るであろう。

竹パウダーの何が作物に良い効果をもたらし、何が悪い効果をもたらすのか、また、どのような作物であれば継続的効果が見込まれるのかなどまだ明らかにしなければならない点は多く存在する。しかし、放置竹林の拡大は実際に大きな社会問題であり、竹パウダーのような使用方法は模索しながらも進める必要がある。今回調査することができなかった竹パウダーを土壌混入後の分解過程なども考慮すると新たな展開が生まれるかもしれない。竹パウダーのような有機物を利用する環境循環型農法を科学的に提示するためにも、多角的な視点からさらなる調査が望まれる。

竹パウダーと土壌細菌叢との関係性

嫌気発酵させた竹パウダーや竹パウダーを混入した土壌の菌叢解析から、竹パウダーに含まれる細菌がそのまま土壌で増加するわけではないことや土壌中で3属の細菌が竹パウダーの投入量依存的に増減することが明らかとなった。今回の解析では細菌に着目して属レベルでの解析を実施したが、土壌細菌の中で種レベルまで同定されているものはごくわずかであることや土壌中には細菌だけでなく、菌類(酵母、カビ、キノコなど)、微細藻類、原生動物、ウイルスなども含まれている。これらの生物が叢となって土壌が成り立っているため、今回の解析ではその一部を紐解いたに過ぎない。竹パウダーによって変動する菌種の特定ならびにそれらが土壌特性、作物生育に及ぼす影響を調べると同時にその他の“微生物”

も実施することによって竹パウダーが土壌に及ぼす影響、有効性を包括的に実証することができるであろう。

■研究成果の発表

なし