

平成22年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「施肥後の土壌酸性化を大きく低減する
きのこ廃菌床堆肥製造技術の研究開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋産業科学研究所

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制（研究組織・体制）	2
1-3	成果概要	3
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	6
第2章	大規模生産時において廃菌床の腐食発酵作用を安定的に発現させる技術の研究開発	6
2-1	研究目的及び目標	6
2-2	実験方法	7
2-3	研究成果	8
第3章	安定的な作用発現の再現性を高める研究開発	11
3-1	研究目的及び目標	11
3-2	実験方法	12
3-3	研究成果	12
第4章	施肥土壌に対する影響度合いと農作物への影響に関する研究開発	15
4-1	研究目的及び目標	15
4-2	実験方法	16
4-3	研究成果	16
第5章	全体総括	19
5-1	成果の総括	19
5-2	工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	20
5-3	今後の事業化に向けた取組み	20

第1章 研究開発の概要

(プロジェクト名)

施肥後の土壌酸性化を大きく低減するきのこ廃菌床堆肥製造技術の研究開発

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究背景】

きのこ生産分野においては、きのこの人体に対する抗酸化機能や免疫力増強機能(抗腫瘍機能)など健康維持・増進効果への注目が高まり、それに伴って大幅に需要が増加している。しかしながら、きのこを生産する際には可食部のおよそ2~3倍量の「廃菌床」が残渣として発生する。長野県中野市は日本有数のきのこ産地で年間5万トン以上のきのこ生産があり、それに伴い10万トン以上の廃菌床が廃棄されている。

これら廃棄物としての廃菌床を消費する方法として、バイオエタノール精製やペレット燃料化などが検討されているが、いずれも再資源化に伴うコストが非常に大きく、実用化には至っていない。

一番簡単な方法は焼却することであるが、膨大な量のCO₂排出に繋がり、地球温暖化への影響が大きい点や最終的に残ってしまう焼却灰が環境に与える影響も相当であることを考えると適切な処理方法とは言いがたい。

その結果、従来から行われてきた、堆肥として農地に還元する方法が、一番よいと考えられた。しかし、廃菌床の原料がオガクズなどの繊維質であり、自然界では非常に難分解な物質を含むことから、農地圃場に施用可能な状態に腐食発酵させられるまでに通常は最低でも1年以上の期間がかかるため、この点がボトルネックとなって廃菌床の廃棄量に再資源化処理が追いついていない現状がある。そのため、きのこの生産量を維持する面から、廃菌床を未熟堆肥のまま流通させ、周辺の農地圃場に深刻な土壌酸性化を引き起こしてしまっている。

さらに廃菌床中にはきのこ菌が残留しており、自然放置でも腐植熟成させることは可能であるが、「原料が難分解性である」「堆肥化管理が難しい」「腐敗しやすく悪臭が出やすい」「強酸性で土壌酸性化を起こしやすい」等の問題を併せ持つため、精通者でなければ取扱いは極めて難しい。

今日までの研究開発により、好気性または通気性である特定の有用微生物群を廃菌床に混合し、意図的に強力な腐食発酵作用を発現させることで、腐食過程の初期段階で微生物群が土壌酸性化の要因となる各種の酸性化物質をほぼ完全に分解できることがわかった。

資材中の酸性化物質を早期に分解できたということは、化学性変化はその時点で完了していると考えられることができる。その後の過程での資材変化は土壌

改良効果を高める物理性や生物性の変化（多孔質化、自然界の微生物の呼び込みなど）が主体となることから、完成した廃菌床堆肥を農地に還元しても土壌酸性化が生じることはなく、堆肥化技術として十分運用に耐えるものになったと考えられた。しかし、実用化を考慮した処理サイクルを構築するためには、中野市での廃菌床廃棄量から想定して一回あたりの処理可能量を最低でも 200 トン以上とする必要があった。

そのため、補完研究において段階的に規模拡大試験を行ったところ、100 トン規模から原料塊の底面部付近を中心に腐食発酵過程の後期になっても各種の酸性化物質が検出されてしまう現象が確認された。

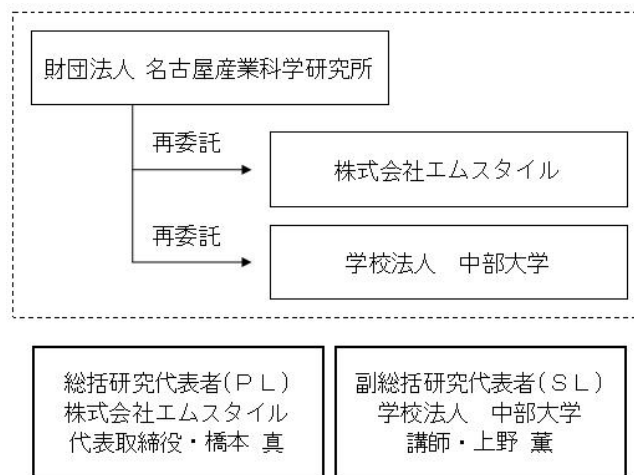
このことから、大規模生産時と中小規模生産時とでは、大きく異なる腐食発酵過程になっていると考えられたため、増産傾向にあるきのこの廃菌床を主資材として大量に消費できる技術の実用化のためにこの問題を解決できる技術開発が重要な課題となった。

【研究目的及び目標】

本研究開発においては、実用化を目指した大規模生産時における腐食発酵作用の発現時に原料塊の全ての領域で中小規模生産時と同じように酸性化物質がほとんど検出されないようにし、最終成果物の品質を均一化させるための研究開発を行う。

今日までの補完研究により、70～80 トン規模と100 トン規模の試験結果の比較において作用の中～後期に顕著な酸性化物質の検出量の違いがあることがわかっている。生産規模を拡大するために原料塊の積上げを大きくすると原料塊底面部にかかる圧力が急激に増加して底面部の原料が硬化する。それにより原料中の空隙が圧壊し、酸素が塊外へ流忙することで塊内の酸素濃度が低下し、好気性微生物群の活性も低下、結果として腐食発酵作用が低下したものと考えられた。そのため、腐食発酵作用を進める過程で、微生物の活性を高いまま維持するための条件把握と生産方法を確立することが本研究の重要な目的である。

1-2 研究体制 (研究組織)



1-3 成果概要

●本研究開発により、次のような結果を得ることができた。

①廃菌床堆肥の大量生産時の作用安定発現にかかる課題への対応

廃菌床堆肥の作用安定発現のための管理手法構築については、「積層方法の工夫による物理的状態変化」「意図的な酸素供給を行うことによる化学的状態変化」「資材に添加する微生物培養液を高精度に調整することによる生物的状态変化」の3要件を中核として、個別ないしは複数の要件の組み合わせから最も腐食熟成の作用が高く生じる条件を探索することができた。

また、堆肥化過程の前・中・後期において、資材状態モニタリング装置を用いて原料塊内のリアルタイムな計測、サンプリング計測を実施することで、微生物活性状態等を把握することができた。

特に原料塊内の酸素濃度推移の把握により、微生物活性状態と共に時間の推移に伴い、層状に腐食熟成が進行するなど、本研究で用いた微生物特有の現象が確認された。

さらにこの手法を用いて作られた最終成果物は、一般の廃菌床堆肥資材と比べるとpH、EC、イオン物質などの点で土壌を酸性化させることがほとんどないことがわかった。

- 1) 生産の際の人為的攪拌・積層方法の工夫、および微生物の高精度培養による高濃度微生物溶液の添加により、原材料塊の腐食速度の向上、資材状態の良化を確認した。

(図1) [資材塊の状態と適正状態への到達時間]

[A] 本研究による高精度微生物培養液を添加した原材料塊
(添加後72時間経過)



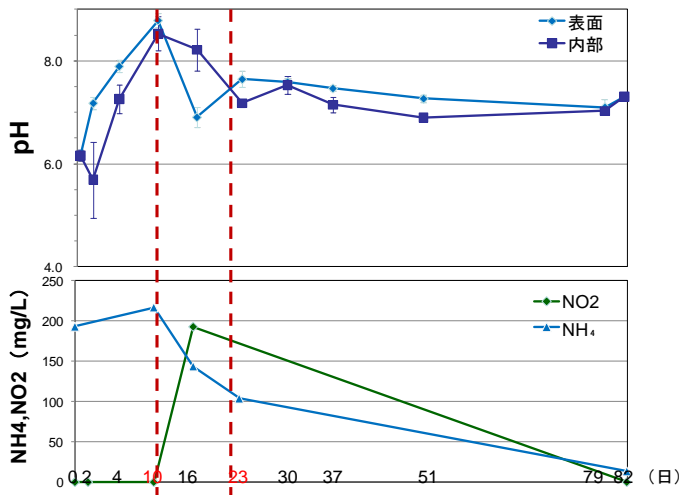
[B] 昨年までの培養方法で作った微生物溶液を添加した原材料塊
(添加後2週間経過)



結果として、本研究による高精度微生物培養液を添加した原材料塊は添加後24時間で、従来の微生物溶液を用いた場合の2週間後よりも資材塊の腐食状態がよいことを確認できた。また、資材塊中の酸素濃度については、以下のグラフが示すように高精度微生物培養液を用いた場合は3日経過後以降の酸素濃度の低下が少なくなることがわかった。これは、微生物群の資材中における増殖・浸透により、団粒化が促進され、資材の自重重量による原料塊中の空隙の圧壊が抑制されていると考えられた。

- 2) 最適と判断する最終資材の状態が本当に土壤酸性化抑制に寄与する状態になっていることを確認した。

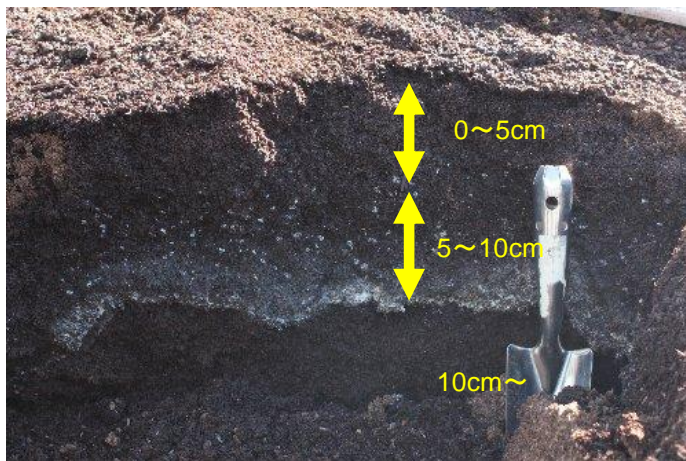
(図2) [pHとアンモニウムイオン、亜硝酸イオンの挙動]



本研究による最終成果物は、約3ヶ月で農地圃場へ施用が可能になると想定した。約80日間観察した中では、資材生産開始直後にpH(平均値)が5.5程度である時期があったものの10日経過後からはほぼpHが中性領域を推移するようになり、以降は酸性に振れることはなかった。そのため、仮にこの状態の本資材を農地に施用したとしても土壤が大きく酸性化することはないことがわかった。この特性は一般汎用の腐菌床堆肥には見られないものである。

- 3) 本研究による大量生産対応の手法を用いた場合、腐食熟成の状態が層状に表れることを確認した。表面から5cmまでの層、5-10cmまでの層、10cm以下の部分が目視で容易に確認できる層状態になっていたことから、これをサンプリングして解析したところ放線菌の発生している層を境界に上層と下層で腐食熟成の状態が大きく異なることがわかった。

(図3) [腐食の積層状態の様子]



- 表層~5cm 部は酸素濃度が高く腐食が非常に良く進んでいる
- 5~10cm 部は現在微生物による急速分解が行われており、下層に向けて放線菌増殖が進んでいる
- 10cm 以深は酸素濃度が急速に低下し、臭いの質が変わる

この問題については人為的な攪拌の実施により、状態が改善されることがわかった。攪拌を実施すれば、2週間程度の経過後に更に10cm下層に放線菌(白い層)が移動することが確認された。腐食作用の発現が悪い場所に対し、意図的に酸素濃度を上昇させてやることで、腐食作用が大きく促進にされることが証明された。

②施肥後の土壌・農作物に対する影響にかかる課題への対応

本研究によって生産された最終資材を用いて試験圃場を製作し、実際に農作物を定植して経過を調査したところ、施用区と対象区において一定以上の差を確認できた。

- 1) 本手法を用いて作ったきのこ廃菌床堆肥を実際の農地土壌に施用し、小松菜を栽培して植生の変化を確認した。

平成23年7月～9月までの期間で定植・生育を行い、本資材の施用区と対照区で生育状況・収穫量等の差を確認した。畝を替えて5cm間隔10箇所植え付け（二畝）で行ったところ、結果は以下の通りであった。

(図4) [生育状況の比較]			
項目	資材施用区	慣行農法区 (対照区)	比較
収穫数	9本/10植	7本/10植	発芽率が高い
収穫重量(総計/平均)	214g 平均23.7g	169g 平均24.1g	+45g 平均-0.4g
最大/最小重量	37.0g/13.3g	33.6g/9.5g	+3.4g/+3.8g
茎径	36mm	24mm	+12mm
全長	270mm	265mm	ほぼ同等
葉の枚数	6枚	5枚	+1枚

鮮度等についても差が生じており、図5のような差が現れ、本研究資材は農作物の収量増加だけでなく、その後の保存・物流などに対してもよい影響を与える効果が期待された。

(図5) [小松菜の状態比較]



また、施用後の圃場の土壌状態について調査したところ、作物が育った後もpHは中性を維持しており、本研究資材の施用による土壌の酸性化、農作物の生育による土壌の酸性化のいずれも発生していないことが確認された。

通常は農作物を育てることによる土壌の酸性化が不可避であるとされているため、本研究資材が農作物収穫終了後も土壌酸化抑制効果を持続していることがわかった。

- 本年度の研究開発により、前述のような研究成果を得ることができたが、研究後について、次のような課題の解決を図る。

①資材の大量生産時の堆肥化期間短縮、更なる効率堆肥化に関する研究開発

本研究により、農地圃場に施用できる資材となるのに約3ヶ月を要することが確認されたが、堆肥化の際には深部が未熟化しやすいことは不可避であるのと、季節・気候等の外的要因が大きく腐食熟成の作用に影響を及ぼすことから、更なる効率的な積層方法や攪拌タイミング、微生物群の活性向上条件を探索し、標準化する必要がある。

そのため、腐食熟成の作用を深部にまで容易に到達させ得る条件・手法を開発し、今回以上に堆肥化期間の短縮を目指す必要がある。

併せて、本研究により原料塊中のアンモニウムイオンの推移が腐食熟成の度合いと連動することが確認されたことから、アンモニウムイオンの簡便に計測できる方法を開発すると共に実際の原料塊の状態をリンクさせて、モニタリングの容易化を進める。

②実践的な規模での植生試験による農地圃場への影響に関する研究開発

本研究による農作物への影響・農地圃場への影響に関する検証は極めて限定的なものであるため、本研究資材を用いた施用時に起こる現象の再現に関する確実性が低い。

また、百様な使用者の利用方法をある程度網羅できる資材の柔軟さが必要であることから、条件の異なる圃場での使用情報の継続的な集積と分析が必須である。

特に資材施用に伴う土壌酸性化だけでなく、農作物の生産に伴う恒常的な土壌酸性化をも抑制できるとなれば、慣行農法そのものに一石を投じる全く新しい農法ともなりうるため、事業規模の農地への影響を検証し、複数種類の農作物および農地圃場に対する更に具体的な研究を実施する。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人名古屋産業科学研究所 中部ハイテクセンター

産学連携支援部門 担当部長 古川 俊治

〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目10番19号 名古屋商工会議所ビル8階

連絡先 Tel 052-223-5694 Fax 052-211-6224 E-Mail furukawa@nisri.jp

第2章 大規模生産時において廃菌床の腐食発酵作用を安定的に発現させる技術の研究開発

2-1 研究目的及び目標

①大規模生産時における作用持続に必要な底面部圧力と酸素濃度の特定

まずはじめに、きのこ廃菌床を大規模レベルで堆肥化する際に作用過程の終末期

になっても酸性化物質が検出される状況について、その原因と想定される底面部の圧力上昇と酸素濃度の状態を検証し、回避技術開発のための要因説明を行う。

②最適作用持続時の微生物叢、活性状態の把握

資材中に最適な腐食熟成作用が持続していると判断される状態が生物学的な面から把握する。堆肥化資材を時系列的にモニタリングとサンプリングを実施し、微生物叢（構成）並びに微生物の活性状態を把握する。

表層部分は今までの研究等から腐食作用が高く発現することがわかっていることから、できる限り資材塊の芯部分（底面に近いところ）の状態に対してモニタリングとサンプリングを実施する。

③最適作用持続時の資材状態の把握

資材中に最適な腐食熟成作用が持続していると判断される状態を化学的な面から把握する。主にpH、EC、各種イオン物質の解析から把握する。

測定結果を全農基準・全国バーク堆肥協会基準・日本バーク堆肥協会規準と比較することにより、品質基準を判断すると共に土壌酸性化の原因となる物質の生成が資材中で行われるかどうかを把握する。

④微生物培養精度の向上による微生物作用の増大また促進効果の把握

資材に添加する微生物培養液をより微生物濃度の高いものにするこゝで、添加後の資材状態の変化や腐食作用の進行が促進されることを把握する。

従来の微生物培養液を用いた腐食発酵作用に比べて、新しい微生物培養液を用いた場合に特に腐食作用の発現までの時間とその変化について把握する。

2-2 実験方法

①大規模な腐菌床の堆肥化を行う際に「未熟部分の発生」がなぜ起こるのかを100トンレベルのスケールダウンモデルをエムスタイルで作り、時系列的な含水量、温度、酸素濃度等のモニタリングによって解析する。

底面部圧力については資材塊がかなり大きい状態であるので、これをリアルタイムに測定するのは難しいことから、サンプリング装置によってできるだけ底面部に近い部分を取り出し、塊の硬度を測定することで、未熟部分が集中する底面の状態と腐食熟成の関係を解析する。

②腐食熟成の状態が進んでいるところと遅れているところの資材サンプルを採取し、当該資材を粉碎して資材中に含まれる微生物のDNAを抽出・加工し、リアルタイムPCR分析、分光光度計による核酸量分析等により、微生物叢の状態・微生物活性についてデータ集積し、状態比較から最適な微生物群の状態を解析する。必要によっては、サンプル資材を脱イオン水に混和した溶液を作り、寒天培地で培養し、コロニーカウントを行って差を比較する。

③②で採取したサンプルについて化学成分分析を行い、資材中の状態変化を把握する。主には、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン、その他主要な栄

養分、pH、ECとする。

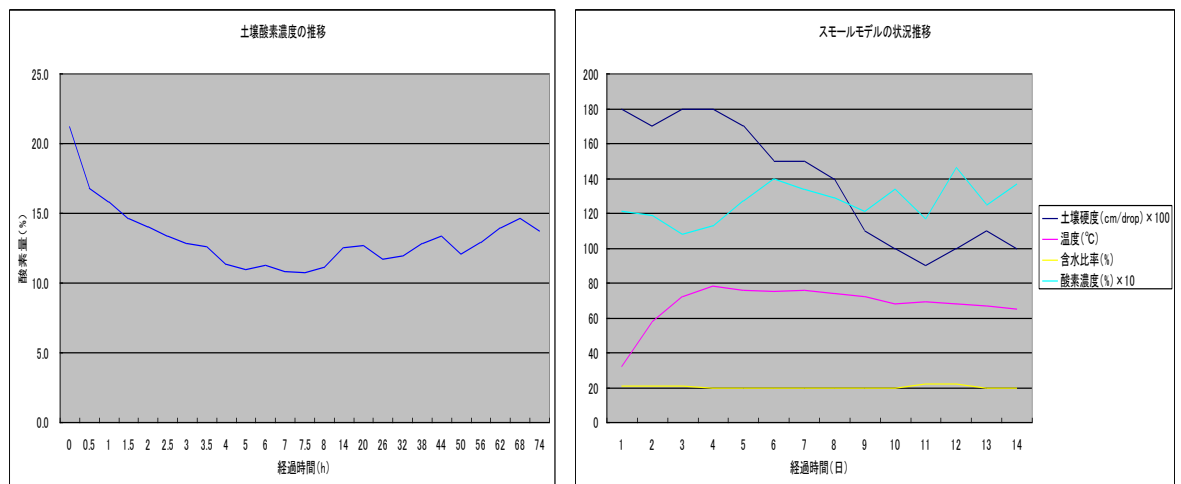
- ④高精度微生物培養装置を用いて、高濃度に調整培養された微生物溶液を作り、この溶液の状態を濁度、pH、溶残酸素濃度の各条件から従来培養液との違いを特定する。

また本溶液を資材に添加した後、資材状態がどのように変化したか資材状態（目視）、pH、EC、含水量、酸素量から把握する。これにより、新培養液を用いた際の具体的な腐食発酵作用発現における優位性を解析する。

特に添加後の腐食作用発現、特に放線菌の繁殖の状態や経過時間については重点的に観測し、微生物培養液の精度によって腐食作用の発現がどれほど変化するかを特定する。

2-3 研究成果

前提として、本研究に使用する原材料の積層方法を今日までの研究から円錐状にする方式では底面部への重量的圧迫が大きくなり、酸素濃度の低下が不可避であると考えられた。そのため、新管理法の目標条件を満たすことができると想定されたパイル（半円）式で実施した。パイル式での積層による酸素濃度の変化は、下記のグラフの通りで、一般大気の酸素濃度が20.9%であることから、底面付近であっても酸素濃度が10%を下回らない方式とすることができ、底面部にかかる圧力も0.045Kg/cm²となり、目標値をクリアすることができた。



スケールダウンモデルによるモニタリングについては上記の結果を得た。

計測には資材モニタリング装置を用いてパイル挿注することで、資材塊内の状況を大きく変化させることなく、できるだけ自然状態で数値取得を行った。

資材硬度は4日目から硬度が上昇した。自重重量によって底面部にかかる圧力が増えたためである。

温度は微生物の添加混合からわずか1日で60°Cを超え、3日目には80度近くまで上昇したが、その後は60-70°C帯に留まったまま状態の維持が続いた。

特徴的であったのは、酸素濃度が10%を下回らないだけでなく、14%程度までの間で状態が維持されたことである。

当初想定では自重重量による空隙の圧壊によって、資材中の空気が追い出されて酸素濃度が著しく低下するはずだった。

特に9日目を過ぎてからは資材硬度が1cm/drop（計測器特有の単位：多くの作物が根を張るのにぎりぎりの土の固さと定義されている）を下回る状況が出てきたにも関わらず、酸素濃度は12%以上あった。

原因を検討したところ、本研究においては、時間的制約から観察対象の資材に高精度培養した微生物を添加した状態であったことが特異点として挙げられた。



資材サンプルの物理特性を調べたところ、上の写真のように団粒化が進んでおり、ひとつひとつが構造材のような空間を持った塊になっていることがわかった。

この個々の塊は50~150g程度のつぶれ強度を持っており、これが底面部までの広い範囲に及んでいることからこれらの粒子が複合的に組み合わさることで、自重重量を支えることができ、圧壊を抑制していると考えられた。

また、粒子ひとつひとつが多孔質のようになっていることで、ここに空気が貯留され、酸素濃度の維持にも貢献していることがわかった。

すなわち、高濃度な微生物溶液を添加したことで、作用が伝播しにくい底面部まで高速に到達し、未熟な部分がないか、極めて少ない状態まで一定の腐食発酵作用を発現させることができたと考えられた。

次にスケールダウンモデルの中から腐食熟成の進んでいる箇所と遅れている箇所からサンプリングを実施し、微生物叢について解析を行ったところ、分光光度計による核酸量（DNA量から転じて微生物の量を示す指標）としては、腐食熟成の良い／悪いに関係なく、必要な微生物は確保できていると判断できた。しかし、高精度微生物培養液を用いたことにより、腐食熟成の作用が大きくなっていることは間違いなく、単位量あたりの微生物量が変化していることを想定して、各サンプルを0.1gずつ脱イオン水1mlで混和し、遠心分離したものの上澄みをSCD寒天培地に植え付けて、48時間後にできたコロニーをカウントしたところ、熟成の良いところは約 3.8×10^8 、熟成の悪いところは約 1.8×10^8 の微生物濃度を確認した。

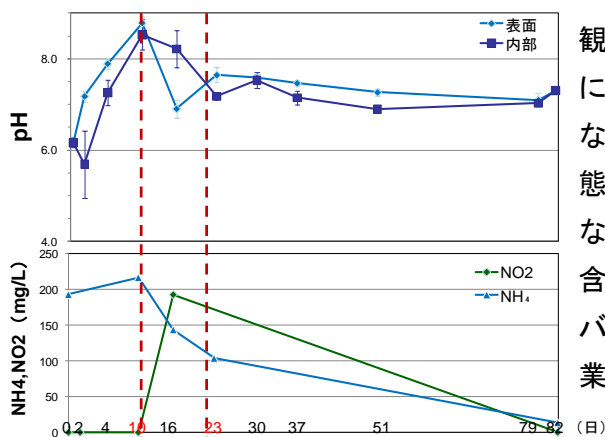
この後、DNAシーケンサー装置によって、構成微生物を調査したところ、両方のサンプルにおいて初期添加の微生物が全て確認でき、それ以外にもきのこ菌と推察される担子菌類が複数確認できた。

このことから、微生物群は腐食作用の良し悪しに係らず、必要なもの全てが生存していることが確認された。

従って、短期間の腐食発酵（高速発酵）において重要なファクターとなるのは単位量あたりの微生物濃度であることがわかった。

また約2～3ヶ月で堆肥化が完了することが一連の結果からわかったが、完了時の資材を化学的に分析したところ、pHが7、ECは3.8mS/cmとなっていて、pHの変動と亜硝酸の生成が連動していることが確認できた。

硝酸についても亜硝酸の生成の後で濃度上昇が確認されており、pHの挙動には窒素の分解過程が顕著に反映されることがわかった。



観察期間中においては、どのタイミングにおいても資材状態が酸性になることはなく、左のように最適作用時の資材の状態を把握することができた。

なお、腐食発酵作用完了時の成分状態は、含水比が若干高い以外は全農基準・日本バーク堆肥協会基準・全国バーク堆肥工業会基準のいずれも十分に満たしていた。

以上の成果を得るにあたり、高精度微生物培養液が大きな役割を果たしたことは間違いないと考えられ、従来方式との違いについて検証したところ、新方式の培養液は品質が大きく向上していることがわかった。

	濁度（水道水：2度）	溶残酸素濃度（40℃時）	pH
従来方式	約30度	3.00mg/L程度	7.0～7.5
新方式	約100度	8.00mg/L以上	7.5～8.5

新方式で作られた培養液は培養液中の酸素濃度が過飽和状態になっており、液中の微生物濃度が高いだけでなくその活性を低下させることがない状態になっていることがわかった。

2つの培養液をそれぞれ原料塊に添加したところ、下記のような顕著な変化が資材に現れた。



左：新方式による溶液を添加
右：従来方式による溶液を添加

	放線菌が出るまでの時間	微生物の出方
高精度培養液	72時間	有機物が見える程度
従来方式培養液	2週間	ほぼ全面を覆い隠している

従来培養液では、2週間経過してようやく資材表面に放線菌の繁殖が見られるようになったが、新方式による培養液ではわずか72時間で表面を覆いつくすほどの圧倒的な放線菌の繁殖が確認された。この現象は、原料塊内の有機物質の分解が一定以上終わった後に現れるものであり、腐食発酵作用の速やかな発現を示すものである。

結論として、本研究による新方式の高精度培養液を用いた場合は、使用方法・管理方法等を従来と変えることなく、腐食発酵作用の発現速度だけを5倍以上にできることがわかった。(理想的な環境管理下での比較による)

第3章 安定的な作用発現の再現性を高める研究開発

3-1 研究目的及び目標

①資材量の規模を変化させても作用が変化せずに発現する生産手法確立のためのフィールドテスト

第2章の研究で集積されたデータと補完研究で蓄積したデータを基に大規模生産時に最適な微生物作用を発現させられる条件を特定する。

腐食発酵作用発現の条件の確認に関しては、資材硬度(底面部圧力)、酸素濃度、酸性化物質、温度、含水量、pHをモニタリング・サンプリングして判断基準とする。

対象原料の処理規模の拡大に伴い、第2章で確認した作用の発現と状況が異なる場合は、積層方法の工夫(物理的変化)・意図的な酸素供給(化学的変化)・高精度に調整した微生物溶液の添加(生物的变化)等の人為的補助を実施し、作用の更なる効率発現による状態変化を起こさせ、大規模生産時に対応する条件に補正する。

人為的補助による結果を確認した後、一番短期間に原料塊底面部における酸性化物質の検出がなくなった方法を基本手法とする。

②実用規模での作用発現を確実にする生産手法確立のためのフィールドテスト

①の結果を踏まえて、中野市農協における廃菌床の一日処理量の指標となる200トンを対象に第2章で行ったスケールダウンモデルと同様の検証を行い、同等の作用の発現があることを確認する。

3-2 実験方法

- ①エムスタイルで製作したスケールダウンモデルの熟成完了資材に対し、最終時点での資材状態を計測して、データ化する。
- ②中野市農協で200トンの廃菌床を用いた生産検証を行う。
200トン分の廃菌床をコンクリート貼床に静置し、パイル（半円）式に積層して微生物資材を添加するやり方については従来と同様に行う。添加する微生物は液状のものを用いる。
原料と微生物培養液を混合する段階から底面部の資材をサンプリングする。
スケールダウンモデルと今までの研究によって得られた成果を用いて、適正な腐食発酵作用が200トン規模においても同様に再現できることを立証する。

3-3 研究成果

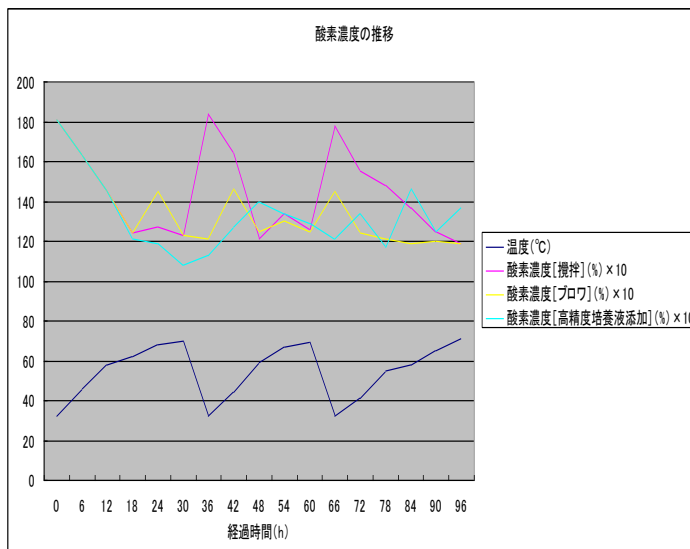
スケールダウンモデルにおいては、高精度微生物溶液の添加により、腐食熟成が高速に進んだ結果、底面部まで十分な作用が及んでいることが確認された。底面部付近でも十分な腐食発酵作用が確認されたことから、生物的状态変化を起こさせるだけ、すなわち高精度微生物培養液の添加だけで、100トン規模までの堆肥化であれば、高速な腐食発酵作用が発現し、未熟部分がでることを防止できることがわかった。

腐食発酵作用の発現をより効率的に行う場合には、積層方法及び人為的な攪拌の実施も高い効果を付与できることがわかった。

積層方法は、円錐型の積上げよりはパイル型にしたほうが、底面部の資材硬度が低減する傾向にあることがわかった。

	資材硬度	粒子状態	酸素濃度
円錐型	0.6cm/drop	10mm 以下が多い	7%
パイル型	1.3cm/drop	10mm 以上が多い	11%

※資材硬度はサンプリングした資材を長谷川式貫入硬度計で測定



これは、円錐型積層に比べてパイル型積層は積上げの高さが抑えられ、底面部にかかる圧力を分散することができるため、その分パイル長が長くなるものの、腐食発酵作用の管理はしやすくなるといえた。同時にパイル型積層の方が底面部の酸素濃度が高くなっており、底面部の

土壌硬度が低くなると酸素が底面部まで浸透しやすくなり、微生物の活性も向上することがわかった。さらに人為的な攪拌を行うことは、静置だけでは底面部の隅々まで酸素が行き渡らないことに対してフォローすることができ、資材の積み重ねりの状態を一変させることができるという意味では有効である。

	微生物培養液添加	攪拌	ブロウリング
酸素濃度	12%前後を推移	20.9%→12% (24H 後)	14.5%→12% (6H 後)

次に中野市農協で実施した200トン規模での堆肥化試験については、資材の総量が予測量を大きく上回ってしまったため、パイル型での積上げだけでは予定作業場内に収められなかったことから、パイル型と円錐型の組合せ積層とした。



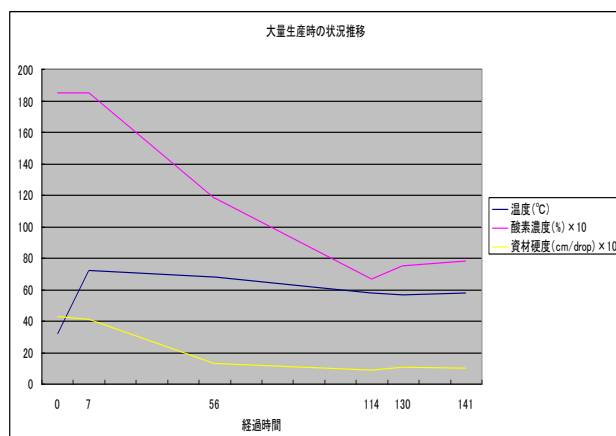
(写真：中野市農協における資材製作の作業) (写真：200トンの資材の積層状況、パイル+円錐)

今までの集積データに基づき、原材料には高精度微生物培養液を添加し、1週間に1回の定期的な攪拌を行うことにより酸素供給を行って経過観察した。

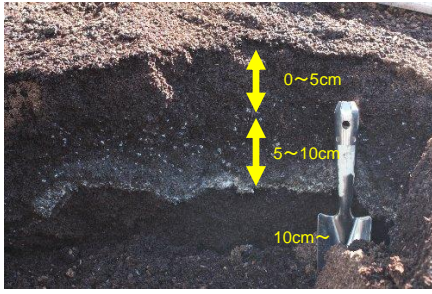


資材作成開始から約1ヶ月経過した段階で、現地資材塊の底面部からサンプリングを実施したところ、写真のように団粒化が始まり、放線菌なども発現していたことからスケールダウンモデルとほぼ同等の腐食発酵作用が発現していることが確認できた。

しかし、経過日数が10日を過ぎた辺りから酸素濃度が著しく低下し、資材硬度も経過と共に高くなる傾向を確認した。



この状態では十分な腐食発酵作用を進ませることは難しいため、資材中の状態を綿密に解析するために資材塊内部全域に対するサンプリングを行ったところ、資材の腐食状態に特異的な傾向を確認することができた。

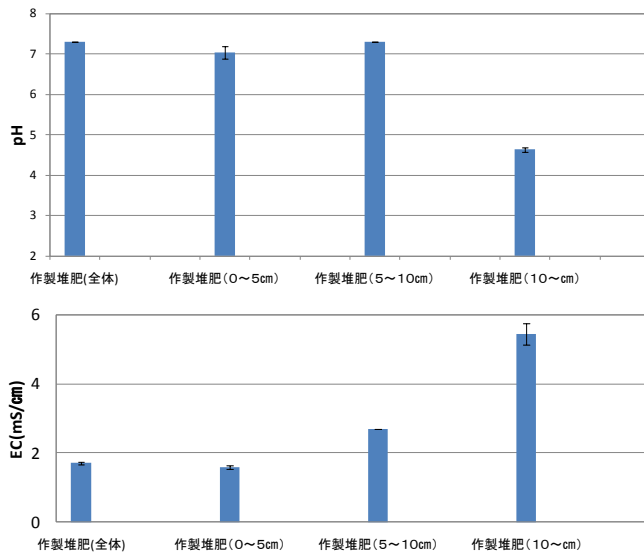


資材内部の腐食状態が大きく分けて3層に分かれていることを確認した。表層部から5cmの部分、5~10cmの部分、10cm以深の部分と大別することができ、放線菌が中間層に多く現れていることから、表層から10cmまでの層の腐食発酵作用はほぼ完了していると考えられた。

10cmより下の部分では乳酸臭等が確認され、未熟

と思われる部分が残留していることが推察された。

スケールダウンモデルでこの状態が確認できなかったことから、各部をサンプリングして化学組成を解析したところpH、ECに関して下記の結果を得た。



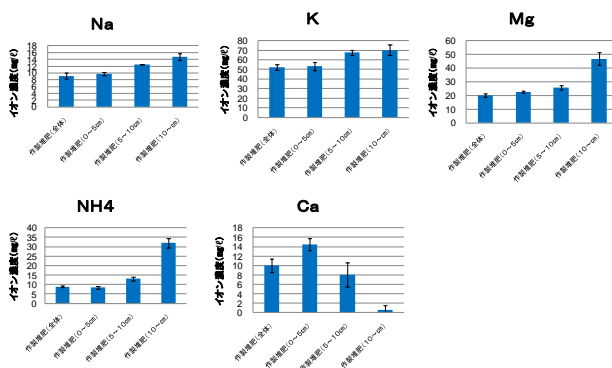
10cm以深でサンプリングした資材は、pHが4.5と弱酸性を示した。

他のサンプリング深度ではpHは7.0~7.3程度の中性域を示したので、深度10cmを境界にして極端なpHの変化が起きていることがわかった。

ECについてはサンプリング深度が深くなるほど高い値を示した。

10cm深度の上下でECの値に倍以上の開きがあったため、詳細にイオン物質の存在状態を解析した結果、下記の結果を得た。

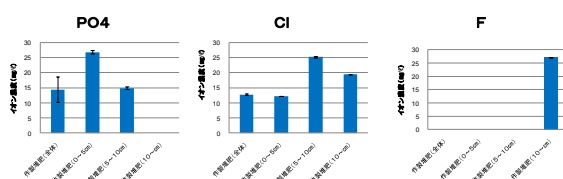
【陽イオン濃度】



陽イオン濃度については、アンモニウムイオンが未成熟部位で顕著に高濃度であることがわかった。このことから、アンモニウムイオンを指標にして資材の未熟度判断ができると考えられた。

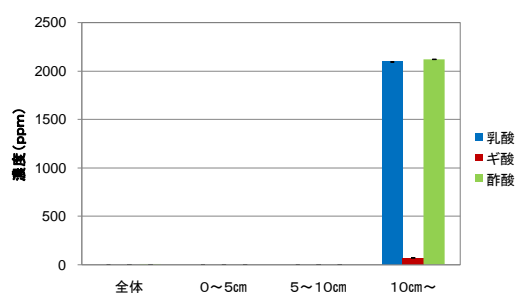
また、カルシウムイオンは未熟部位ほど低濃度であることがわかった。

【陰イオン濃度】(検出されたもののみ)



陰イオンについては、リン酸イオンが未成熟部位で検出されない現象を確認した。強酸性の無機物質に該当する成分は検出されなかった。

【有機酸物質】



土壤酸性化の要因として考えられた有機酸物質群については、乳酸・ギ酸・酢酸の3つを中心に解析を行った。10cm以深で3種の有機酸が全て検出され、特に乳酸と酢酸が高濃度だった。0~5cm、5~10cm層では全ての有機酸物質が検出限界以下となり、腐食発酵

作用が十分に行われた箇所には有機酸物質はほとんど存在しないことがわかった。

以上のことから堆肥化（発酵）完了の指標としては、アンモニウムイオンとこれらの有機酸物質の濃度の推移が有力な候補になることがわかった。



過剰な水分が資材へ流入することにより、腐食発酵作用により分解生成されたイオン物質がその水分に溶け、資材塊の下部に蓄積されると共に急激な通気阻害が生じたことによって、腐食発酵作用が停滞したと推察され、今後は屋根などの雨水の流入を防止する措置が必要になると考えられた。

措置を講じた場合、2週間ほど経過すると放線菌の層が、表層から20cm以上上下へ移動する現象が確認できた。

また、放線菌の活性状況も高くなっていることが確認されたことから、腐食発酵作用を安定的に持続させるためには、過剰水分の抑制も必要であることがわかった。

結論として、200トン規模での廃菌床堆肥の生産に関しては、環境コントロールが難しい点はあるものの、概ねスケールダウンテストと同様の成果を得ることができると判断できた。

第4章 施肥土壌に対する影響度合いと農作物への影響に関する研究開発

4-1 研究目的及び目標

① 廃菌床堆肥を実際の農地に適用したときの土壌単体の理化学性のモニタリングから適正な施肥法を研究

廃菌床堆肥の機能と製造方法が確立した段階で実際の農地にこれを適用し、土壌状態の変化を施用試験を行って把握する。堆肥化過程を新たに構築し直したことによ

り、本研究によって開発される資材は、農地土壌へ施用した後に酸性化が起きなくなっているはずである。以下の方法によって従来のものと廃菌床堆肥の性質が変化していることを検証する。

- ②実際の農作物の育成と理化学性のモニタリング・収穫量から適正な施肥法を研究次に土壌への影響が確認でき、適正施肥量が判明した段階で、実際に農作物を植える農地へ施用して、農作物の生育状況と収量について検証を行う。
- 本研究では収穫までの期間が比較的早い小松菜を対象に、下記の項目について従来型廃菌床の堆肥区、一般堆肥区を用意して比較しつつ、新しい肺菌床堆肥の優位性を示すデータを集積する。これにかかる目標値は以下のとおりである。

	新型廃菌床堆肥区(目標)	従来型廃菌床堆肥区	一般堆肥区
土壌の酸性化	ほとんどpH低下は起きない	大きなpH低下が起きる	多少のpH低下が起きる
放置栽培における生育状況(環境条件同一)	丈 20cm 以上 葉長 20cm 以上 根張 長く太い 重量 2,500g/m ² 以上	丈 16cm 以下 葉長 16cm 以下 根張 溶解もしくは極短 重量 1,800g/m ² 以下	丈 20cm 程度まで 葉長 20cm 程度まで 根張 短め細め 重量 2,000g/m ² 程度
収量の量順	1	3	2

※育成の仕方は出荷用の製品づくりではなく、播種後一定以上(丈10cm程度)に生育した小松菜苗をそれぞれの試験区に植え、元肥(最初に土造りのために入れる肥料)として各肥料を1度だけ適正施肥量投入した状態で、約3ヶ月間栽培し、その結果、収穫できたものを調べることで得られる予定のデータを記載している。条件管理のみの放置栽培であり、特殊な技術を実施するものではない。

4-2 実験方法

本研究は実際の農家圃場および試験圃場にてフィールドテストを行う。

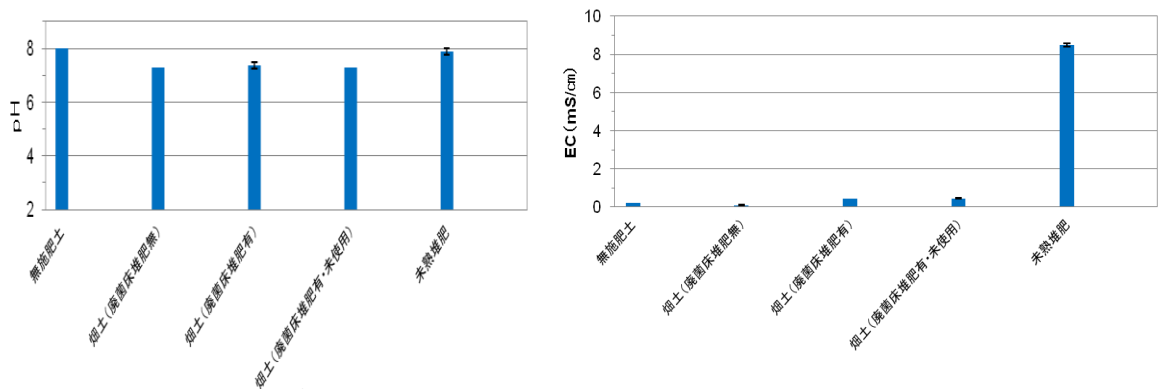
4-3 研究結果

農地圃場において、小松菜収穫後に以下状態の土壌を採取した。



圃場中で条件を変えて各種資材を混合し、小松菜を栽培、収穫した後、一定期間の養生を済ませた状態でサンプリングしたが、畑土(廃菌床堆肥あり)は黒色を呈するが、畑土(廃菌床堆肥なし)や未熟な堆肥は褐色を呈しており、目視でも腐植量等に差が生じていることが容易に推察できた。

なお、小松菜を栽培したのは畑土（廃菌床堆肥あり）、畑土（廃菌床堆肥なし）の2つであり、無施肥土、廃菌床堆肥+畑土、未熟堆肥は比較対象として用意した。それぞれのサンプルのpH、ECについて以下の結果を得た。



未熟堆肥は他のサンプルに比べてECが8倍高い値を示した。

畑土（廃菌床堆肥なし）と畑土（廃菌床堆肥あり）ではpHに差はなかった。

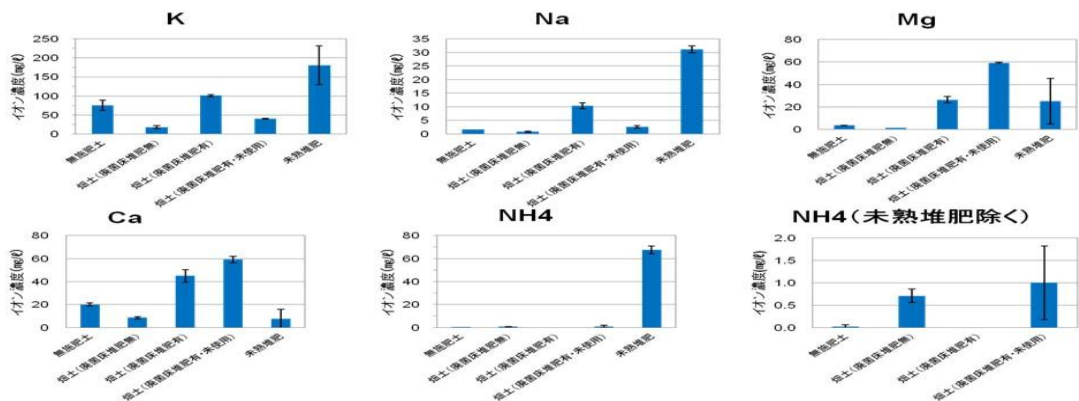
ECは畑土（廃菌床堆肥あり）が畑土（廃菌床堆肥なし）の4倍程度高いが、いずれも濃度としては低いものである。

未熟堆肥のECが高いのは分解作用が中途であるためと考えられ、溶脱が進んでいないことに由来すると考えられた。

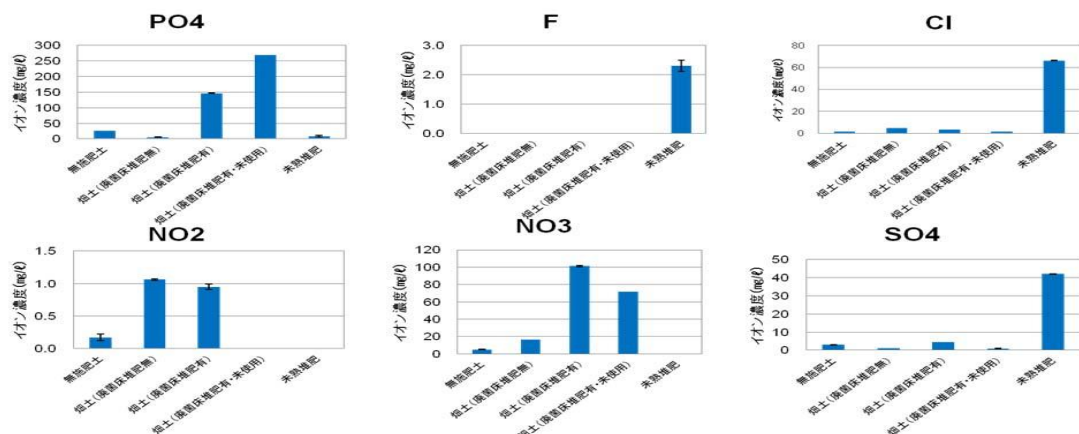
なお、短期間かつ一回の生育実験であるため、連作時における土壌の変化は今回の研究では明確になっていない。

また、各イオン物質の濃度については以下の結果を得た。

【陽イオン濃度】



【陰イオン濃度】



本研究ではイオン分析により、廃菌床堆肥施用区のカリウムやマグネシウム、カルシウム、硝酸の各イオン濃度が高いことが確認されたことから、農作物収穫後の土壌でこれだけの栄養分が残留していたことは、単純な肥料成分のあるなしではなく、常時的な有機物分解による栄養生産が行われていなければ説明できない。

微生物群による常時的な栄養生産が農作物の生産力を高める方向に影響すると考えられた。

なお、堆肥の生産ロットによっても土壌への添加割合は変化することがあると考えられたため、今後追試験を行い、土壌に与える影響について更なる情報蓄積が必要である。

また、今回は小松菜収穫後のサンプルを対象に測定したため、実験開始からの経時的な土壌成分の変動を改めて把握し、さらに廃菌床堆肥の効能の持続性などを検証していく必要があると考えられた。

農作物への影響調査に関しては、実際の農業者さんにご協力いただき、小松菜を定植し、約4週間育成した後に収穫したものを比較検討した。

[生育状況の比較]			
項目	資材施用区	慣行農法区 (対照区)	比較
収穫重量 (総計/平均)	214g 平均 23.7g	169g 平均 24.1g	+45g 平均-0.4g
単位面積あたりの収量	2,850g/m ²	2,250g/m ²	+600g
茎径	36mm	24mm	+12mm
全長 (丈)	270mm	265mm	ほぼ同等

廃菌床堆肥を施用した区で収穫された小松菜は、慣行農法区に比べて、すべての項目で上回っていた。



上・右：慣行農法区
下・左：廃菌床堆肥施用区

根元部分を観察すると慣行農法区のもものは、土汚れが付着しているが廃菌床堆肥施用区ではこの汚れが見られないことから、資材の影響により土壌の団粒化などの状

態が改善されていたと考えられた。

また、慣行農法区で収穫できた小松菜も当初予想していた目標値に比べて高い品質になっていたため、生育方法自体は技術的に高いものであったことがわかった。

今回の検証はそういった農業者のプロ技術による農法に本研究資材を加えれば、より高い品質・より収量を目指した農作物が作れることの証明となった。

第5章 全体総括

5-1 成果の総括

(1) 研究成果のまとめ

微生物を用いたきのこ廃菌床堆肥は、全農堆肥化基準・日本バーク堆肥協会・全国バーク堆肥工業会に定められた項目をほとんどクリアできる優秀な堆肥資材とすることができた。また、堆肥化過程における詳細な化学性分析・成分分析により、本研究資材を単体で圃場に施用した場合、農地圃場の土壌を酸性化させる要因がないことを確認できた。

中部大学上野先生の強力なサポートにより農事試験場などでは実施が難しいイオンクロマトグラフィー装置による解析をはじめとする信頼性の高い検証から数々の情報の取得をすることができ、きのこ廃菌床堆肥の農資材としての有効性を裏付ける情報を得ることができた。

また、完成後の農地圃場への施用試験、農作物収穫後の土壌に対する分析を行ったことで、本研究資材が農地に与えるにおいてもほとんど酸性化物質を検出することがないことが確認できた。

大規模生産という実用化を目指した取組みであるために、テーブルテストとは異なる想定外の事象も確認されたが、難しい規模を対象としながらも前回の研究時に比べると1ヶ月程度の腐植熟成期間の短縮を図ることができたことは大きな成果である。3ヶ月での熟成完了は現行市販されている製品群と比較しても相当な高速発酵機能を持った資材であるといえた。

(2) 今後の課題

研究後において今後は以下の問題を課題として取り組んでいく予定である。

①原料塊中における栄養分（イオン物質）の偏りと通気阻害要因を除去することにより、資材の品質の均一化を図る研究

大規模生産になるほど原料塊中の腐植発酵レベルを一定にすることが難しくなる。今回も過剰水分の流入と思われる事象によって、発酵状態が不均一になる現象を確認したことから、より定型的な管理手法の開発による品質管理の研究を行う必要がある。アンモニウムイオンと有機酸物質の濃度推移が堆肥化完了の指標とな

る可能性がでてきたことから、具体的な資材の状態と各成分濃度の関連性について解析し、明確な堆肥化完了の条件を策定したいと考えている。

② 廃菌床堆肥としての安全性を担保した上で、よりよい農資材としての機能を付加するための研究開発

今回の研究により、本研究資材は土壌を酸性化するような要因は概ね持たないことがわかり、安心・安全な農資材として、またリサイクルの側面からも有用な資材として利用できることがわかった。その一方で、熟成期間を長期にすればするほど資材内部の残留栄養分が発酵分解により消失することもわかってきた。

肥料として保持する栄養分が少ないことから他資材との併用がやむないことも考えられ、別の要因による土壌酸性化を引き起こす可能性がないといえないことから、単体資材としての分析をより進め、堆肥化過程の精査による利用タイミング（発酵完了の見極めと最良な使い時の接点）を把握したいと考えている。

③ 廃菌床堆肥を実際の農地に適用したときの土壌単体の理化学性のモニタリングから適正な施用法を研究

今回の定植試験は単年度のものであり、土壌改良の必要性が出てくるのは2年目以降に連作を行うなど土壌に負荷をかけたときであるといわれる。そのため、継続的に土壌に与える影響を把握することが必要である。また、廃菌床堆肥にはオガクズ等の難分解性物質が含まれていることから、堆肥化レベルでは安全性が担保された場合でも実際の施用レベルでは状況が変化することも考えられる。

また更に様々な農作物での利用データの蓄積も不可欠である。

今後、この新型きのこ廃菌床堆肥を具体的な営農家等で使用してもらい、データを累積的に蓄積し、必要な改良を実施したいと考えている。

5-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

特になし

5-3 今後の事業化に向けた取組み

研究終了後、JA中野市様にご協力いただき、農地圃場に対する影響状況調査を引き続き実施し、製品クオリティに資する開発を行っていく予定である。

エムスタイルにおいても現実の利用を想定した試験圃場を製作し、今回作った廃菌床堆肥を用いた各種育成試験を実施することで、検証を継続していく予定である。

また、中小基盤整備機構が実施するテストマーケティング事業に参画する予定であり、今後は実際の施用の実績を蓄積しつつ、市場ニーズにあわせた開発を行っていく予定である。