

有機農業研究者会議 2020 資料集

日 時：2020年11月18日(水)13時～18時10分

場 所：有機農業参入促進協議会事務局を主会場としたオンラインセミナー

主 催：「有機農業研究者会議 2020」実行委員会

共 催：(国研)農研機構中央農業研究センター

日本有機農業学会

NPO 法人有機農業参入促進協議会

後 援：農林水産省

第2部

有機農業に活用できる堆肥・緑肥の利用法 と効果～新しい土づくり技術の紹介～

- ◆ 堆肥がもつ土づくり効果と肥料効果の利用
- ◆ 堆肥がもつ土壌病害と線虫害の抑制効果の利用
- ◆ 緑肥がもつ土づくり効果と肥料効果の利用
- ◆ 緑肥がもつ線虫害の抑制効果の利用

堆肥がもつ土づくり効果と肥料効果の利用

井原 啓貴

農研機構九州沖縄農業研究センター

1. はじめに

私たちが堆肥を畑に施用するとき期待することは、土壌の保水性や保肥力を改善し、消耗した地力を回復させ、あるいは、土壌生物を富化、安定化させることである。減化学肥料栽培や有機農業では、堆肥施用は、天然の養分供給力や植物の窒素固定能の利用などと並んで、養分を補う手段となる。また、堆肥中養分の活用は、養分のリサイクルになり、環境に与える負荷を軽減できる。

このように多様な効果が期待され、また、環境保全の意味でも意義のある堆肥であるが、肥料効果を期待して施用する場合には、堆肥自体の質が個々の資材ごとに異なることや、化学肥料に比べて、施用後にその肥料効果が発現する時期が気象条件等に左右され、不確定であることが問題になる。

本講演では主に、これら問題を克服するべく開発された、化学分析による堆肥の肥料効果の評価法についてと、さらに、その手法を活用して、私が所属する九州沖縄農業研究センターで資材の評価データを蓄積してきた状況について話題提供する。

2. 基礎論；堆肥の窒素肥効は年単位の長期的なものだが、短期的な肥効もある

堆肥の全窒素含量と無機態、有機態

いうまでもなく窒素は作物へ与える養分の代表格であり、我々は、作物の要求する量の窒素を、利用しやすい条件で、土壌中に存在させる必要がある。そのためには、肥料や堆肥が含有する窒素の量と質を把握する必要がある。

堆肥が含有する窒素の全量を全窒素という。

(特殊肥料として販売される)市販の堆肥には、全窒素含量が表示されている。堆肥の全窒素含量は、専門の機材があれば比較的簡単に計測できる。全窒素は、「無機態」と「有機態」にグループ分けされる。無機態窒素は市販の化学肥料の成分にも使われる硝酸やアンモニウムの形態の窒素であり、その効果は速効性である。有機態の窒素成分は、多様な有機化合物から構成され、作物に速効性のものと緩効性のものを含む(図1)。

堆肥の窒素肥効は全体として見れば年単位の長期的なもの

前述のとおり、堆肥には緩効性の窒素成分が含まれるが、どれぐらいの期間の緩効性なのだろうか？高橋ら(2007)が畑地に牛ふん堆肥を施用した事例(図2)では、施用3年後において、堆肥由来の窒素は「施用した堆肥の全窒素量」の67%が作土中に残存していた。また、その量は、施用3年後においても減少傾向が続いた。作土から減少した窒素の一部は作物に利用されたと考えられることから、堆肥窒素の窒素は施用3年後においても作物の養分供給源であったことがわかる。

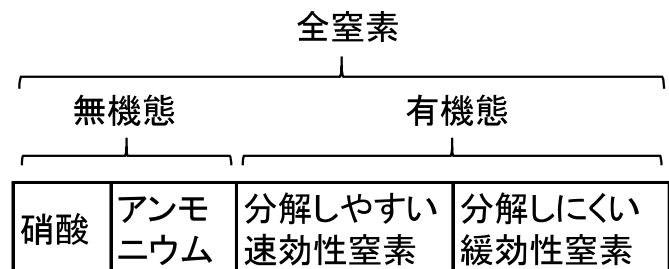


図1 全窒素、無機態窒素、有機態窒素

堆肥の窒素肥効の旧来の評価方法

堆肥には、施用当年に肥料としての効果が期待できる窒素成分が含まれる。ただし、化学肥料と同等に施用してすぐから効果をあらわすもの、おおむね施用当年期間中に効果をあらわすもの、施用当年に効果をあらわすもの、というように幅がある。従来、堆肥の肥効の評価は、個々の堆肥の特性を考慮したものではなく、堆肥の畜種、副資材や、堆肥の全窒素含量および C/N 比(全炭素含量÷全窒素含量)で場合分けして、それぞれに肥効率という値(堆肥が含有する窒素が窒素肥量の何%程度有効であるかを示した値)を示すにとどまっていた。例えば、牛ふん堆肥の肥効率は 20%、豚ふん堆肥は 30~40%、鶏ふん堆肥は 50%のように推定値が示されている(日本土壌協会, 2014)。

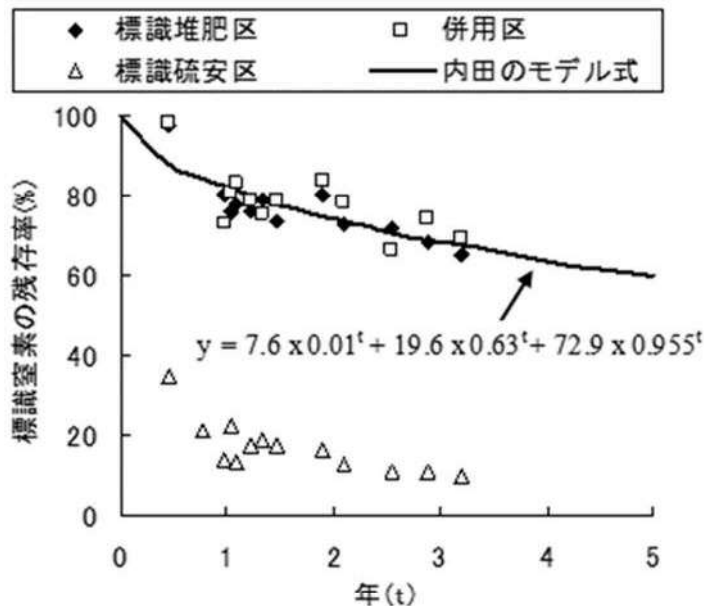


図2 堆肥由来窒素の作土残存率
高橋茂ら(2007)より引用

肥効率は分かりやすい一方で、窒素肥効の発現には、個々の堆肥の性質や、また、施用する土地や時期によって異なる地温、土壌水分、pH、土の種類、土壌腐植の量などが影響するため、個々の現場での堆肥の肥効は、平均的な肥効率と異なる場合があると、従来から指摘されてきた。その違いを精密に推定することができれば、より安定的な生産が実現する。

3. 養分面での堆肥の土作り効果の確認は定期的な土壌診断で

地力窒素診断の活用

前節の図2で例示したような、長期的な堆肥窒素の効果を確認するための試験研究結果は、ある程度の件数、存在する。しかし、現時点では、特性が多様な個々の堆肥について、その長期的な窒素肥効を精密に予測する技術は未開発である。

そのため、より現実的な方法として、定期的な土壌診断が推奨されている。堆肥を連用した畑地の地力窒素の診断方法として、専門的な機器や危険な薬品を利用せずに2日程度の操作で診断結果を得る手法も開発されている(上菌・加藤, 2010)。

NPKのバランスにも注意

一般的に、慣行農法に比べて、有機農業では、土作りには特に配慮がなされている印象が強いが、堆肥などの有機質資材を利用する場合には、その成分が、植物の要求する量に対してアンバランスにならないか、注意が必要になる。

図3に示したとおり、有機質資材が含有する養分は、作物の要求する養分に対して、概してアンバランスである。そのため、(成分量) × (施用量) × (肥効率)で施用資材からの養分投入量を概算すると良い。特に、有機農業に取り組み始めてすぐの生産者の方や、栽培方法を大きく変えた方などに有益と考えられる。例えば、上記の式で養分投入量を計算した結果、施用する養分の量が、慣行栽培での一般的な化学肥料施肥量より何倍も多い場合には、作物に害を及ぼすかもしれないと判断できる。有機物を長期連用した田畑でも、定期的な土壌診断は有益である。

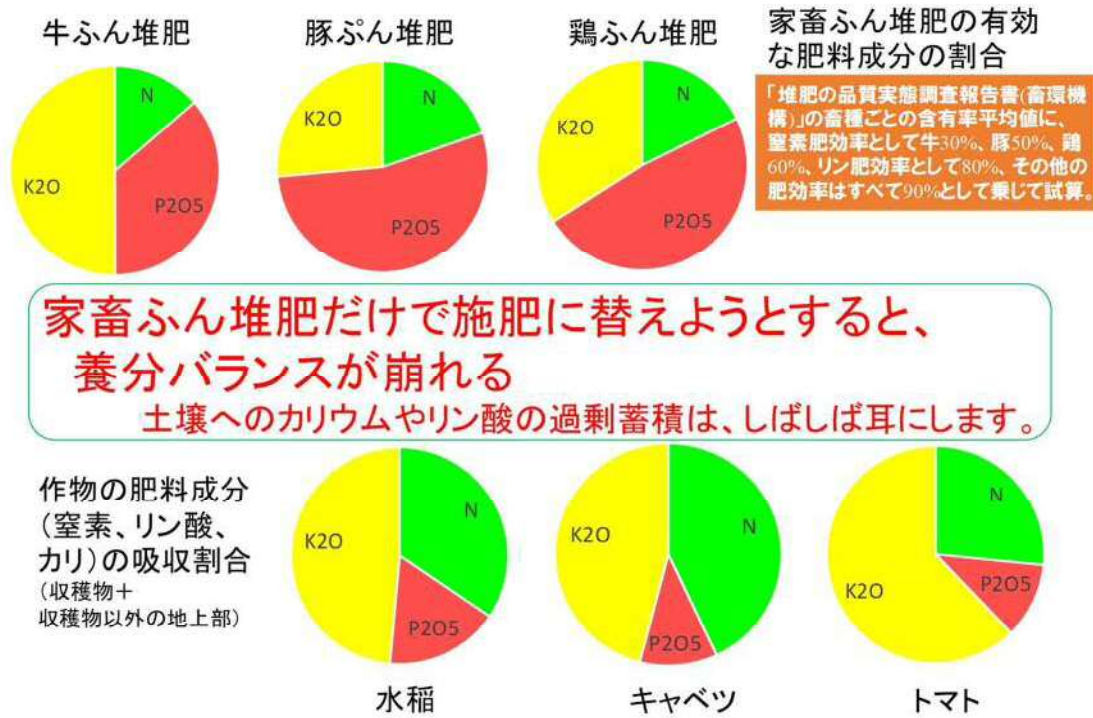


図3 家畜ふん堆肥の肥料成分と作物の肥料成分吸収割合のアンバランス
 畜産環境整備機構（2004）および尾和（1989）をもとに作図

4. 分析に基づく新たな家畜糞堆肥の窒素肥効評価法

これまで述べてきたとおり、堆肥1点ごとに、窒素肥効は異なる。しかし、個々の堆肥の分析値を得るということは、世の中に多数ある堆肥を計測することであるから、その分析手法は簡易でなければならない。すでに、ADSON含量の測定において、専門的な理化学機器を用いることなく、圧力鍋や市販のジャム瓶、10万円ほどで購入できる小型の簡易反射式光度計等を用いる方法も開発された（石岡ら, 2009）。この手法は実用技術開発事業18053の成果資料としてWebで公開されている。

また、その手法の開発者らは、堆肥の窒素肥効を精密に評価できるように、以下に例示するような新しい分析手法を開発した。

新しい分析手法一つは、塩酸による堆肥成分の抽出法である。この方法では、従来の分析法では抽出されなかった窒素成分である「リン酸マグネシウムアンモニウム」が抽出できる。これにより、化学肥料と同様に速効性の堆肥中窒素量を精密に評価できる。

もう一つ、本講演でとりあげるのが、酸性デタージェント可溶性有機態窒素（Acid Detergent Soluble Organic Nitrogen、略してADSON）である。デタージェントは界面活性剤のこと。すなわち、酸性デタージェント可溶性有機態窒素は、酸性の界面活性剤に溶け出す有機態の窒素を指す。これは、「上記の塩酸で抽出可能な速効性窒素より少し遅れるが、おおむね施用当作に発現する窒素」の指標となる。

ADSONの実際の測定は、強酸性の硫酸を含む臭化セチルトリメチルアンモニウムという界面活性剤の溶液で堆肥等の資材を煮沸して行うが、このとき溶け出さない堆肥中成分は、主に植物質由来のセルロースやリグニン、動物質由来の不溶性タンパク質とされる。これら物質は難分解性であり、土壌中での窒素無機化はゆっくりであると考えられる。一方、これらを除いた（すなわち、溶け出す方の）窒素成分の集まりがADSONであり、土壌中での窒素無機化は速やかと考

えられる。ここが、ADSON を用いた評価法のミソである。

5. ADSON 分析値からみた資材の種類ごとの特徴

堆肥の ADSON と堆肥以外の ADSON

私が所属する九州沖縄農業研究センターでは、家畜ふん堆肥や緑肥など様々な有機質資材約 500 点を収集し、資材の種類ごとに ADSON 含量の特徴を整理した。図 4 に有機質資材の ADSON 含量を示す。その平均値 (図中の×印) が高かったものは、植物油かす (なたね油粕など)、魚かす、骨粉、市販有機質資材のうち複数の原料が混合されたもの (表中では多原料混合資材と表記) であった。一方、ADSON が低かったのは、牛ふん堆肥、カニガラ、穀類や飼料作物の残さであった。これらの中に位置づけられるのが、豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥、緑肥の大部分、果菜類や根菜類の作物残さ、米ぬか、汚泥肥料や生ごみ堆肥であった。

牛、豚、鶏ふん堆肥の ADSON

家畜ふん堆肥では、豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥の ADSON 含量の平均値は、牛ふん堆肥の平均値の約 2 倍高い値を示した。家畜ふん堆肥の中では、牛ふん堆肥は比較的窒素無機化が遅く、豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥では無機化が速いとするこれまでの一般的な認識と一致し、それを数字で裏付ける結果が得られた。なお、今回収集した畜種混合堆肥の大多数が牛ふんを主原料としていたため、畜種混合堆肥の ADSON 含量は、牛ふん堆肥のそれに近似していた。

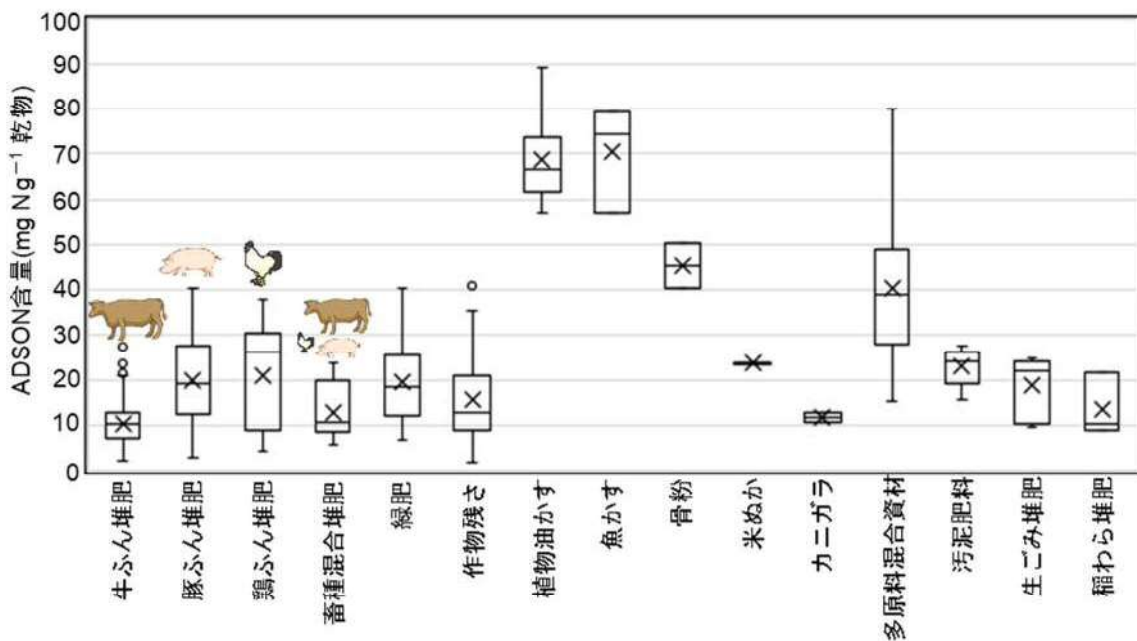


図 4 有機質資材の種類ごとの ADSON 含量の平均値とばらつき (井原 (2020) を一部改変。元データは古賀ら (2019))

6. おわりに

前述の塩酸抽出法や ADSON 分析により、堆肥の個々の資材における速効性窒素が系統立って評価可能になり、そのデータが蓄積されてきた。土作り効果 (緩効性窒素) の評価には定期的な簡易土壌診断が有益である。リン酸、カリウムなど成分の投入量も把握し、長期的に養分のアンバランスが生じないように配慮いただければ幸いである。

会議当日は、生物性、物理性改善や保肥力の改善効果の事前評価など、今回話題にできなかった項目への研究者への期待、課題もお寄せ頂きたい。

引用文献

- 畜産環境整備機構（2004），堆肥の品質評価実態報告書，pp.24
- 井原啓貴（2020）各種有機質資材の酸性デタージェント可溶有機態窒素含量，土作りとエコ農業，52(555)：48-52
- 石岡巖・小柳渉・加藤直人・棚橋寿彦・平柳恵子・村上圭一（2009）分析マニュアル（実用技術開発事業 18053 の成果資料として Web で公開中，http://www.g-agri.rd.pref.gifu.lg.jp/taihi_manual/manual.html）
- 古賀伸久ら（2019），日本土壌肥料学雑誌，90(2)：107-115
- 日本土壌協会（2014）土作りと作物生産，p91
- 高橋茂（2007）黒ボク土畑における牛ふん堆肥由来窒素の作物による吸収と土壌残存，<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2007/narc07-44.html>（2020年10月時点）
- 上 藺 一 郎 ・ 加 藤 直 人 （ 2010 ） 畑 土 壌 可 給 態 窒 素 の 簡 易 ・ 迅 速 評 価 法 ，http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/carc/result_digest/files/snmanu.pdf（2020年10月時点）
- 尾和尚人（1996）わが国の農作物の養分収支，環境保全型農業研究連絡会ニュース，33：428-445，http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/dotoku/hozen_news033.pdf（2020年10月時点）

堆肥がもつ土壤病害と線虫害の抑制効果の利用

豊田 剛己

東京農工大学

1. はじめに

有機農業を推進していくうえで、土壤の物理性、化学性、生物性を総合的に改善できる堆肥の役割は非常に大きい。本発表では堆肥がもつ土壤病害と線虫害の抑制効果に着目する。様々な有機物の土壤病害に及ぼす影響に関して、既報告の2423例を総括した研究によると（Bonanomi ら、2010）、作物残渣などの分解が進んでいない有機物では、土壤病害を抑制する場合と助長する場合に分かれる一方、堆肥などの分解が進んだ有機物は概して土壤病害を抑制する傾向にあるという。最近のレビューでも、多くの堆肥が発病抑制能を有すると報告されている（表1：De Corato, 2020）。堆肥の土壤病害抑制効果は、土壤の有する一般的拮抗作用や特異的拮抗作用が堆肥施用により高めるためと考えられているが、堆肥そのものに含まれる微生物が病害抑制に関与するとの報告もある（Antoniou ら、2017）。いずれにせよ、堆肥は土壤中の微生物を介して様々な効果をもたらす。堆肥を連用した土壤では、微生物バイオマスが高まり地力が高まるだけでなく、土壤消毒などの環境ストレス

にさらされた際、生物機能が維持されやすく、また、低下した機能の回復能が高まり、さらには土壤病害も軽減されることもあるなどプラスの効果が多い（豊田, 2011）。一方で、施用量や頻度によっては環境負荷が高まるというリスクもある（片山ら, 2002）。また、土壤病害を抑制する堆肥であっても、特定の堆肥で多くの土壤病害を防ぐことは期待できないため（De Corato, 2019）、堆肥の抑制効果は万能ではないことを忘れてはならない。本発表では、最近の研究動向を踏まえ、堆肥施用と土壤病害・線虫害との関係を論じてみたい。

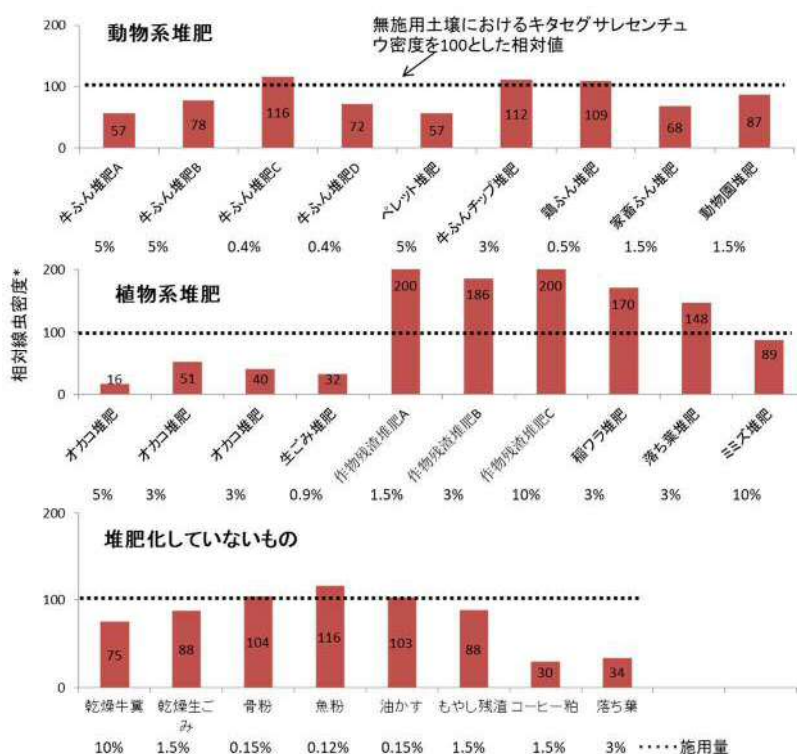


図1 各種堆肥のキタネグサレセンチュウ密度低減効果
棒グラフ中の数字は有機物施用区の無施用区に対する相対密度
%表記は土壤に対する施用量。（勝田、2012）

2. 各種堆肥のキタネグサレセンチュウ（ネグサレ）に対する密度軽減効果

ネグサレはダイコンなどに加害し品質を低下させる。防除には1,3-ジクロロプロペン（DD）や

ホスチアゼートといった殺線虫剤が用いられることが多いが、堆肥などの有機物施用によってネグサレによる害を軽減できないかと考え、様々な堆肥の効果を小規模室内試験で評価した。ネグサレ汚染土壌 100g に 0.12%~10%の資材を添加し、3 週間培養し、その後の線虫密度をベルマン法で計数し、資材無施用の土壌における線虫密度を 100 とした相対値を求めた (図 1) (勝田, 2012)。

オカラコーヒー粕堆肥 (オカコ) および生ごみ堆肥がネグサレ密度を 50%以下まで低減し、線虫抑制効果を有していると考えられた。その他の有機物では、密度低減効果は様々であった。一方、堆肥を含む大半の有機物施用により土壌中の自活性線虫密度が増加し、平均団粒直径も増加したことから、土壌構造を良好にし物質循環能を高めるという点では、いずれの有機物も高い効果を有すると考えられた。

ついで生ごみ堆肥を用いて圃場試験を行った。10a あたり 1.4t と慣行量の化学肥料を表層土に混和しダイコンを栽培したところ、堆肥施用により間引き時のネグサレ密度が無施用区に比べ 1/3 に減少し、収穫時のネグサレによる病斑数が半減した (図 2)。またダイコンの生重量も約 1 割増加したことから、完全にはネグサレ被害を抑制することはできないものの、堆肥施用によりネグサレ被害を軽減できる可能性が示された。メカニズムとしては土壌中の線虫捕捉菌密度が高まることが考えられたが解明には至っていない。

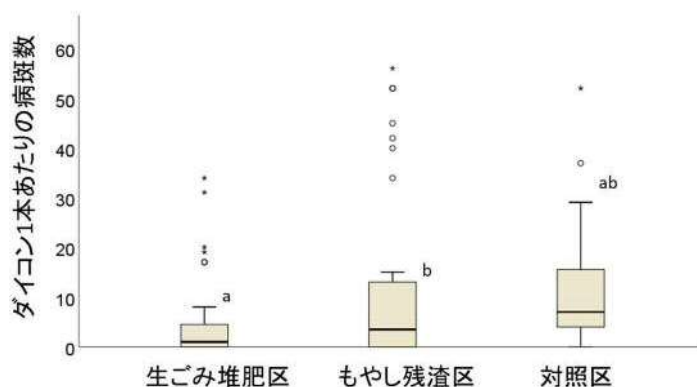


図 2 生ごみ堆肥のダイコンの線虫害への効果
1 区 1.5m×2.5m、4 反復。1 区当たり 10 本のダイコンを調査 (勝田, 2012)

3. キタネグサレセンチュウ・ネコブセンチュウ (ネコブ) 抑止土壌の例

様々な圃場でセンチュウ密度と被害度との関係について調査したところ、愛知県のとある有機農法圃場では、ダイコンを連作しているにもかかわらず線虫害がなく、植物寄生性線虫もないことを見つけた (宮原, 2011; Min & Toyota, 2013)。この土壌 (K) にネグサレやネコブを人工的に接種してその行方を見たところ、線虫密度が速やかに減少したので、この土壌はネグサレやネコブに対して抑止的な土壌であることがわかった (図 3)。本土壌の特徴は多量の牛糞堆肥の施用であり、かつ、化学合成農薬の使用歴がない。抑止メカニズムとして線虫捕捉菌の働きや捕食性線虫を含む多様な土壌動物群の存在が示唆された。堆肥施用と農薬不使用の両方が関与していると考えられた。

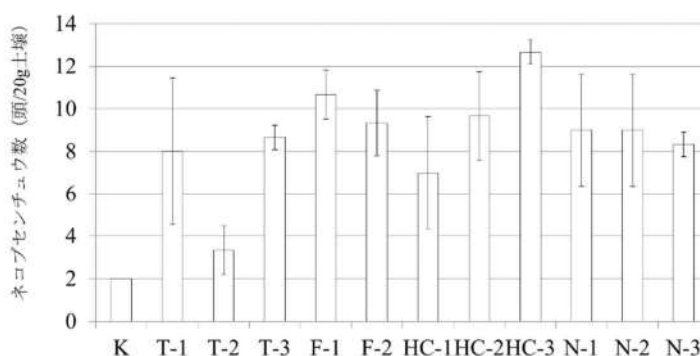


図 3 各種土壌のネコブセンチュウ抑止力
二期幼虫を接種し、5 日後の生残数 (Min and Toyota, 2013)

4. 苗立枯病抑止土壌の例

Pythium ならびに *Rhizoctonia* による苗立枯病の発生程度を各種の土壌で比較したところ、両

病害を顕著に抑制した土壌は、低農薬の堆肥施用圃場由来であったため、堆肥の施用が病害抑制に関与していると考えられた。そこで堆肥の病害抑制効果を見たところ、*Rhizoctonia* 病は堆肥を施用するだけでも顕著に抑制できた(図4)。一方、*Pythium* 病は堆肥の施用だけではまったく抑制効果が見られなかったのに対し、抑止土壌から分離したカビと組み合わせることにより、顕著な発病抑制効果が見られるケースがあった。本抑止土壌では堆肥の連用によりある種の拮抗菌が集積されてきたと推察された。

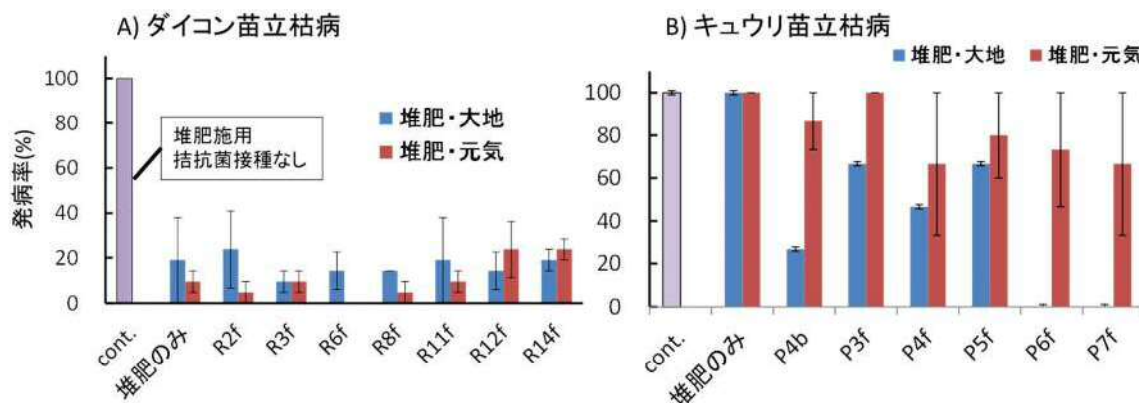


図4 2種類の堆肥と各種糸状菌の接種がダイコンとキュウリの苗立枯病に及ぼす影響

5. 堆肥連用圃場と化学肥料連用圃場における各種病原菌の生育状況と病害発生の違い

農工大には20年以上にわたる牛糞堆肥連用圃場(堆肥区)と化学肥料連用圃場(化肥区)がある。本黒ボク土は全炭素含量が8%を超える非常に有機物含量が豊富な土壌であるが、42t/haの堆肥連用の結果、土壌中の全炭素は有機区で18%増、全窒素で23%増となった(図5)。また、pF-水分曲線から求めたpF1.8 ~ pF3.0の有効水分は堆肥区で12%高くなり、最大容水量では有機区で16%増となり、土壌の物理化学的環境は有機物豊富な土壌でさえ、堆肥連用により着実に高まることが確認された。土壌の微生物性を見ると、DNA含量は微増であったが、呼吸活性は堆肥区で約2倍に増加しており、養分供給力が堆肥連用で高まることが確認できた。各種病原菌の接種・作物栽培試験では*Fusarium*によるトマト萎ちょう病の発病指数は両者で差がなかったが、*Rhizoctonia*による苗立枯病、*Pythium*によるキュウリ苗立枯病は堆肥区で低くなった(図6)。病害虫の生息状況は、*P. aristosporum*、*P. spinosum*、*P. ultimum*は両区で検出されず、ネグサレ、ネコブ、ダイズシストセンチュウ、*P. aphanidermatum*、*P. helicoides*の密度は両区で差がなかった。一方で、土壌の最大容水量、全炭素、微生物バイオマスは着実に堆肥区で高くなっており、堆肥施用による土壌構造の改善、地力の増加効果が見られ、土壌微生物性の面でも有機物連用による目立った弊害は見られなかった。

堆肥施用は、農薬のような速効性でかつ幅広い病害虫に対する効果を期待することは難しいが、上述のような土壌全般にわたる改良効果、それに加えて種類によっては病害抑制能が期待できる。一方、発病助長リスクは少なく、さらには、地域における資源循環につながるという点でも積極的に取り入れるべきである。

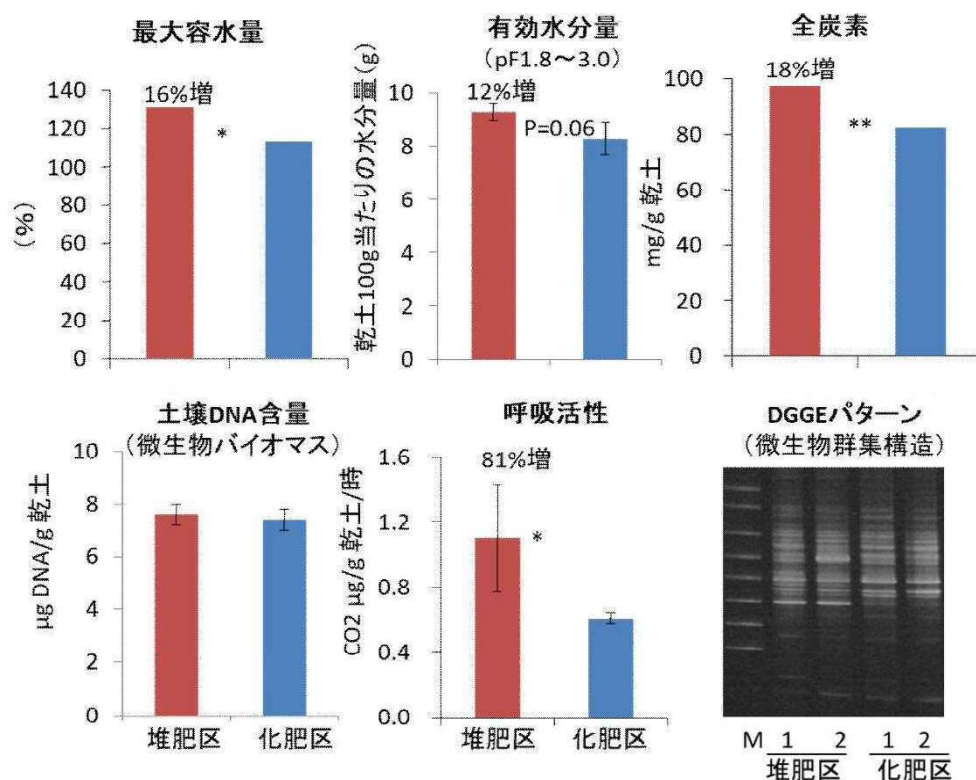


図5 化学肥料および堆肥連用土壤における物理性、微生物性
堆肥区：牛ふん堆肥（42t/ha）を20年以上にわたって連用。（豊田ら，2015）

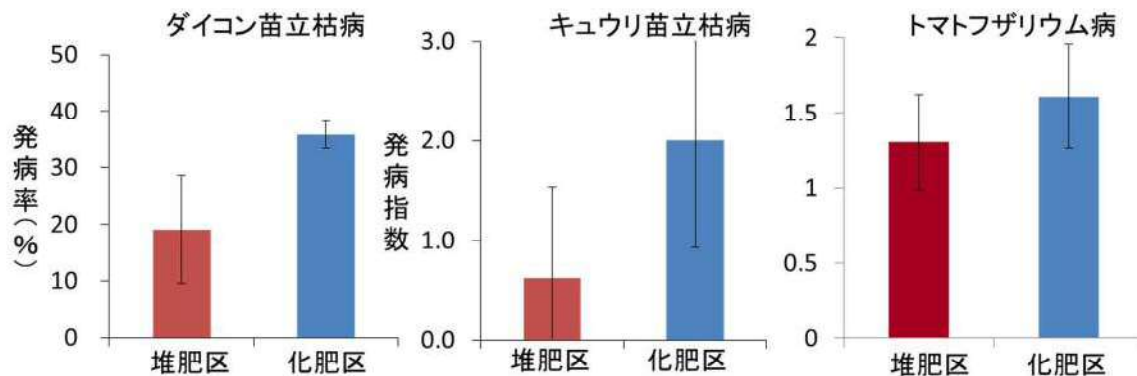


図6 化学肥料および堆肥連用土壤における各種病害の発病程度
両土壤に *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* を接種し、発病度を比較。堆肥区：牛ふん堆肥（42t/ha）を20年以上にわたって連用。（豊田ら，2015）

引用文献

- Antoniou, A., Tsolakidou, M. D., Stringlis, I. A., and Pantelides, I. S. 2017. Rhizosphere microbiome recruited from a suppressive compost improves plant fitness and increases protection against vascular wilt pathogens of tomato. *Frontiers in Plant Science* 8: Article 2022. Doi: 10.3389/fpls.2017.02022
- Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., and Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil*

Biology & Biochemistry 42(2): 136-144. Doi: 10.1016/j.soilbio.2009.10.012

De Corato, U., Patruno, L., Avella, N., Lacolla, G., and Cucci, G. 2019. Composts from green sources show an increased suppressiveness to soilborne plant pathogenic fungi: Relationships between physicochemical properties, disease suppression, and the microbiome. *Crop Protection* 124: 104870.

Doi: 10.1016/j.cropro.2019.104870

De Corato, U. 2020. Disease-suppressive compost enhances natural soil suppressiveness against soil-borne plant pathogens: A critical review. *Rhizosphere* 13: 100192.

Doi: 10.1016/j.rhisph.2020.100192

Min, Y.Y., and Toyota, K. 2013. Suppressiveness of *Meloidogyne incognita* in different agricultural soils and possible contribution of soil fauna, *Nematology* 15(4): 459-468.

片山新太・山川晴義・水谷浩孝・井上康・豊田剛己・吉田重方. 2002. 厩肥を施用した農耕地断面における硝酸溶脱の実態例。環境科学会誌 15(4): 287-291.

勝田あかね. 2012. Suppressive effects of organic amendment on the root-lesion nematode, *Pratylenchus penetrans*. 東京農工大学農学部地域生態システム学科卒業論文

宮原麻岐. 2011. ダイコン栽培圃場におけるキタネグサレセンチュウ被害に対する減農薬手法の確立。東京農工大学農学部地域生態システム学科卒業論文

豊田剛己. 2011. 農耕地土壌における微生物多様性の評価手法とその利用、日本農学会編「シリーズ 21 世紀の農学」、養賢堂、東京、pp.113-137.

豊田剛己・宮原麻岐・吉原周佑・兒山裕貴・勝田あかね・Saleem Family・宮崎駿人. 2015. 土壌病害と有機物施用。土と微生物 69(2): 31-34.

表 1 土壌伝染性病原菌に対して発病抑制能を有する堆肥の例 (De Corato ら、2020)

			ブドウの搾りかす堆肥	Borrero ら (2002)
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	トマト	野菜、動物残渣、下水汚泥の混合堆肥	Cotxarrera ら (2002)
			作物残渣と食品残渣の堆肥	De Corato ら (2019)
			牛ふん堆肥	
	<i>radicis-lycopersici</i>	トマト	パルプ・廃紙堆肥	Pharand ら (2002)
フザリウム導管病			トマト植物体と牛糞の堆肥	Saadi ら (2010)
	<i>melonis</i>	メロン	園芸作物残渣堆肥	Suarez-Estrella ら (2007)
			作物残渣と食品残渣の堆肥	
			牛ふん堆肥	De Corato ら (2019)
	<i>basilici</i>	バジル	作物残渣と食品残渣の堆肥	
			牛ふん堆肥	
	<i>conglutinans</i>	ダイコン	広葉樹のバーク堆肥	Trillas-Gay ら (1986)
フザリウム根腐病	<i>F. o. f. sp. radicis-lycopersici</i>	キュウリ	干し草、乳牛糞、野菜残渣の堆肥	Kannangara ら (2000)
バーティシリウム導管病	<i>Verticillium dahliae</i> , <i>V. albo-atrum</i>	トマト	コルク堆肥と泥炭	Borrero ら (2004)

<i>Verticillium</i> sp.	ナス	脱脂したオリーブの搾りかすと fennel（セリ科）の堆肥	De Corato ら (2019)	
		脱脂していないオリーブの搾りかすと artichoke（キク科）の堆肥		
		コーヒー粕とセルリーとニンジン残渣の堆肥		
		お茶殻、トマト茎葉部とレタス残渣の堆肥		
		トマト残渣の堆肥		
ワタ	ウッドチップに加えて、トマト茎葉部と endive（キク科）の残渣	Kanaan ら (2017)		
	アスペンチップ、artichoke と fennel の堆肥			
	ブドウの木の剪定くず、ワイナリー残渣、コムギワラに加えて、ジャガイモとトウガラシの茎葉部の堆肥			
	オリーブ粉砕物の堆肥			
リゾクトニア苗立枯病	<i>Rhizoctonia solani</i>	鶏糞とリターの堆肥、乳牛の糞尿とリターの堆肥、子牛と馬の堆肥	Aviles and Borrero (2017)	
		ダイコン	Ringer ら (1997)	
		キュウリ	家庭ごみ、野菜、果樹などの残渣堆肥	Tuitert ら (1998)
			コルク、オリーブの搾りかす、菌床の堆肥	Trillas-Gay ら (2006)
		キャベツ	家畜糞尿、バーク、庭の刈り取り残渣、ミミズふんの堆肥	Stone ら (2004)
		マメ	脱脂したオリーブの搾りかすと fennel の堆肥	De Corato ら (2019)
			脱脂していないオリーブの搾りかすと artichoke の堆肥	
			コーヒー粕、セルリーとニンジン残渣の堆肥	
			お茶殻、トマト茎葉部とレタス残渣の堆肥	
		クレス	トマト、endive（キク科）、ウッドチップの堆肥	Pane ら (2013)
artichoke（キク科）とウッドチップの堆肥				
ラベンダー	樹木の伐採残渣、芝生の刈草の堆肥	Chilosi ら (2017)		
ピシウム苗立枯病	<i>Pythium ultimum</i>	庭の剪定残渣、バーク、ブドウの搾りかすの堆肥	Erhart ら (1999)	
		キュウリ	バーク堆肥と泥炭の混合物 Inbar ら (1991)	

		家畜ふん、バーク、芝草、ミミズ ふんの堆肥	Stone ら (2004)
		脱脂したオリーブの搾りかすと fennel の堆肥	
		脱脂していないオリーブの搾りか すと artichoke の堆肥	De Corato ら (2019)
		コーヒー粕、セルリーとニンジン 残渣の堆肥	
		お茶殻、トマト茎葉部とレタス残 渣の堆肥	
	クレス	ブドウ園、ワイン工場残渣、その 他様々な有機残渣の堆肥	Pane ら (2011)
	キュウリ	家畜ふん、バーク、芝草、ミミズ ふんの堆肥	Stone ら (2004)
		脱脂したオリーブの搾りかすと fennel の堆肥	
	<i>P. irregulare</i>	脱脂していないオリーブの搾りか すと artichoke の堆肥	De Corato ら (2019)
	ズッキー ニ	コーヒー粕、セルリーとニンジン 残渣の堆肥	
		お茶殻、トマト茎葉部とレタス残 渣の堆肥	
	<i>P. aphanidermatum</i>	キュウリ	Hadar and Mandelbaum (1986)
		柑橘類	Widmer ら (1998)
		脱脂したオリーブの搾りかすと fennel の堆肥	De Corato (2019)
		脱脂していないオリーブの搾りか すと artichoke の堆肥	
	トマト	コーヒー粕、セルリーとニンジン 残渣の堆肥	
		お茶殻、トマト茎葉部とレタス残 渣の堆肥	
フィトフトラ根腐 病	<i>Phytophthora nicotianae</i>	ブドウの剪定残渣とトウガラシの 残渣	
		ブドウの剪定残渣、artichoke の 残渣、トウガラシの残渣	
	トウガラ シ	ブドウの剪定残渣、トウガラシ・ ニンニク・ニンジンの残渣、アー モンドの殻	Blaya ら (2016)
		ブドウの剪定残渣と堆肥、 artichoke 残渣	

		ラベンダー	樹木の剪定残渣と芝生の刈草の堆肥	Chilosi ら (2017)
			脱脂したオリーブの搾りかすと fennel の堆肥	De Corato ら (2019)
	<i>P. cinnamomi</i>	アザレア	脱脂していないオリーブの搾りかすと artichoke の堆肥 コーヒー粕、セルリーとニンジン残渣の堆肥	
			お茶殻、トマト茎葉部とレタス残渣の堆肥	
		アボカド	オーツ麦と鶏ふんの堆肥	You and Sivasithamparam (1995)
フィトフトラ根腐疫病	<i>P. capsici</i>	キュウリ	オカクズ、牛ふん、トリコデルマ菌の堆肥	Khan ら (2004)
		トウガラシ	下水汚泥と庭の剪定残渣の堆肥	Kim ら (1997)
スクレロティニア根腐病	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	ラベンダー	樹木の剪定残渣と芝生の刈草の堆肥	Chilosi ら (2017)
		レタス	コーヒー粕、脱脂したオリーブの搾りかす、ウッドチップなどの堆肥	De Corato ら (2019)
	<i>S. minor</i>	クレス	トマト、endive（キク科植物）、ウッドチップの堆肥	Pane ら (2013)

緑肥がもつ土づくり効果と肥料効果の利用

唐澤 敏彦

農研機構中央農業研究センター

1. はじめに

緑肥とは、栽培している植物を収穫せずそのまま田畑にすき込み、後から栽培する作物の肥料とすること、またはそのための植物のことである。近年、緑肥の従来の利用目的である有機物の補給や養分の供給以外にも、雑草抑制、線虫抑制、土壌病害対策、透水性の改善、飛砂防止、景観美化など、緑肥のもつ様々な効果が明らかになり、栽培が広まっている。その一方で、圃場への堆肥の投入が年々減少して土づくりが不十分になるとともに、高止まりする肥料価格は生産コストを押し上げており、緑肥を有機物の補給や養分供給のために利用することが再び注目されている。こうした中、農研機構が中心となり、プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発（2015年度～2019年度）」の中で、緑肥を利用した土づくりと減肥について技術開発を行い、成果を「緑肥利用マニュアルー土づくりと減肥を目指してー」として公表した。ここでは、緑肥がもつ土づくり効果と肥料効果の利用について、プロジェクトで作成したマニュアルに掲載している成果を中心に紹介する。



2. 緑肥導入がもたらす土づくり効果

緑肥をすき込むと、作土には、たくさんの有機物が供給される。緑肥は、堆肥よりも土壌中で分解しやすいものの、すき込んでから1年後に作土に残る有機物の量を調べた結果、例えば、草丈220 cm、地上部乾物重1.3 t/10aのソルガムであれば、牛ふん堆肥を1.4 t/10a すき込んだのと同等の有機物蓄積効果を期待できることが示された（図1）。



図1 すき込み1年後に炭素150 kg相当の有機物を土壌に蓄積させるために必要な牛ふん堆肥と緑肥の量

緑肥のすき込みによって作土の有機物が増えると、作土の団粒化が進むことが期待できる。農研機構中央研の圃場では、緑肥を導入しなかった区に比べて、ヘアリーベッチを導入した区で直径2 mm以上の大きな団粒の割合が増え、シロガラシやエンバクの導入で、さらに大きな団粒の割合が多くなることが示された（図2）。

エンバクなどの緑肥の根は量が多く、深くまで伸びる。この根の働きで、エンバクの後では、耕盤と呼ばれる深さ15～30 cmの硬い層の緻密度が低くなった（図3上）。その次にコマツナを栽

培すると、緑肥無作付区では耕盤層の下に伸びた根が少なかったのに対し、エンバク作付区では、耕盤が少し柔らかくなったことにより、コマツナの根が深くまで伸びた。また、表層の柔らかい土の層が厚くなり、根が多い表層も緑肥無作付区より厚くなった。以上より、コマツナは、緑肥の導入によって、より広範囲から養水分を吸収できるようになったと考えられた(図3下)。

緑肥の根の効果により作土や下層土で土壤構造が発達し、水や空気の通り道が増える可能性も示された。このため、緑肥後の作物栽培時に、水はけが良くなる事例が示されている。

3. 緑肥導入がもたらす肥料効果

根粒で空中窒素を固定できるマメ科作物を窒素源として作物を栽培する方法は、古くから用いられてきた。古くから使われているレンゲのほか、ベッチ、クロタラリア、クローバなどが、後作への窒素供給能の高いマメ科緑肥として使われている。また、マメ科を使わずに窒素を供給することもできる。野菜などを収穫する時、作土中には、野菜が吸い残した窒素(多くは硝酸態)がたくさん残っているが、野菜の収穫後に裸地の期間がある栽培体系では、硝酸態窒素は降雨にともなって地下へ流亡し、その後には作付ける作物は吸収できなくなる。そこで、野菜収穫後の裸地の期間に緑肥を作付ければ、地下に流れるはずの硝酸態窒素を緑肥が吸い上げ、それをすき込むことで、次の作物の窒素源になることが期待できる。

カリについては、土壌中では作物が利用しやすい交換性と利用しにくい非交換性の形態があることが知られているが、イネ科などの緑肥の導入で、作土中の交換性カリが増えることが明らかになっている。カリも、硝酸態窒素と同様、雨が降ると下層

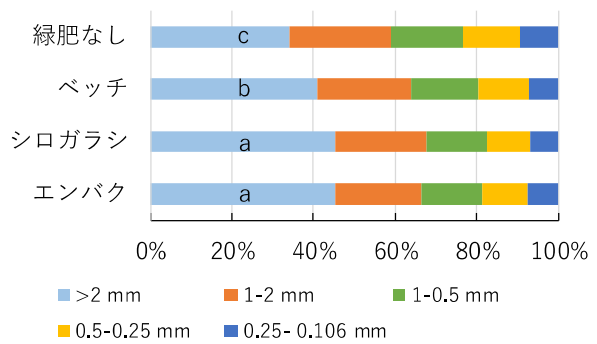


図2 緑肥が土壌の粒径別団粒割合に与える効果



深さ 100 cm の穴を掘り、10 cm×10 cm のメッシュごとに、緻密度(mm、土の硬さ)とコマツナの根の数(本/区画)を調査
縦 100 cm は深さ別に 10 等分し、横 50 cm も同じ幅で A~E の 5 つに分けて調査

		エンバク作付					緑肥無作付					
緻密度		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
0-10 cm	1	6	5	7	6	7	1	7	8	11	10	9
10-20 cm	2	10	12	12	15	14	2	21	22	23	22	20
20-30 cm	3	23	23	26	26	27	3	22	26	27	29	32
30-40 cm	4	23	25	24	21	21	4	18	24	21	27	24
40-50 cm	5	23	21	25	23	23	5	20	21	24	21	24
50-60 cm	6	20	19	22	22	22	6	18	19	20	19	22
60-70 cm	7	20	21	20	22	18	7	17	17	18	19	20
70-80 cm	8	18	20	20	19	16	8	19	19	17	20	20
80-90 cm	9	19	18	15	20	18	9	17	18	18	16	18
90-100 cm	10	18	16	16	19	17	10	18	17	18	18	18

		エンバク作付					緑肥無作付					
コマツナ根の分布		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
0-10 cm	1	200	200	200	200	200	1	200	200	200	200	200
10-20 cm	2	200	200	200	200	200	2	40	32	32	37	37
20-30 cm	3	66	63	53	75	60	3	38	12	31	35	14
30-40 cm	4	13	22	13	13	16	4	23	7	10	14	1
40-50 cm	5	20	21	6	5	6	5	8	1	13	10	0
50-60 cm	6	9	14	36	22	6	6	8	0	4	6	0
60-70 cm	7	6	6	20	9	8	7	3	0	7	10	0
70-80 cm	8	0	0	4	8	9	8	3	0	4	8	0
80-90 cm	9	0	0	0	0	4	9	1	0	2	2	0
90-100 cm	10	0	0	0	0	1	10	1	0	1	2	0

図3 エンバク作付で耕盤を改良した区と緑肥無作付区で栽培したコマツナ圃場の土壌硬度とコマツナ根の分布(収穫時)
* 赤色が濃いほど土が硬く、緑色が濃いほど根が多い

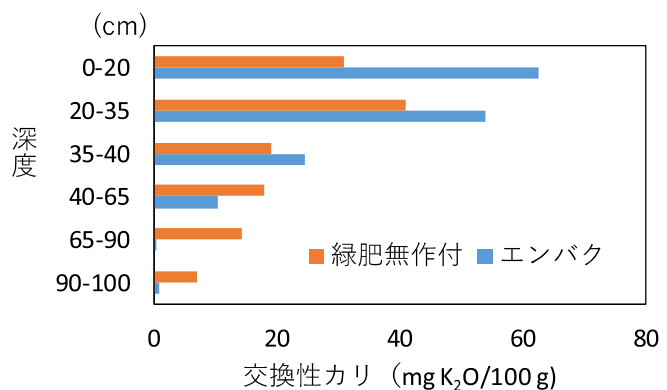


図4 緑肥無作付区とエンバク区における深さ別の交換性カリ(すき込み4週間後)

に流れ、作物が利用できなくなる。そこで、裸地期間に緑肥作物を導入することにより、溶脱す前にカリを吸い上げ、作土に戻すことができる。これにより、作土の交換性カリが高く維持され、減肥につながると思われる（図4）。

リン酸は、土壤中では有機態や難溶性で存在するものが多く、作物の多くは、それらを直接、吸収することができない。一方、土壤中の微生物には、有機態リン酸を分解して作物が吸収できる無機態に変える酵素を放出するものや、有機酸を放出して難溶性のリン酸を溶かす働きをするものが知られている。このうち、有機態リン酸を無機化するホスファターゼの活性は、各種緑肥のすき込みで上昇することが示された（図5）。このことから、緑肥をすき込むと、緑肥や土壤中の有機態リン酸が無機化され、作物に利用されやすくなる可能性がある。また、難溶性リン酸を溶かすリン溶解菌も、緑肥のすき込みで増えることが示された（図6）。これにより、緑肥をすき込むと、土壤中のリン酸が可溶化され、作物に吸収されやすくなる可能性があると考えられる。

このほか、緑肥をすき込むと、土壤中のバイオマスリン（微生物の体内に蓄積されたリン酸）が増える。これは、土壤に固定されない養分のプールとして、作物のリン酸吸収に有利に働く。また、作物の根に共生するアーバスキュラー菌根菌（VA菌根菌、菌根菌ともいう）と呼ばれる糸状菌も、リン酸吸収域を増やすことで、作物のリン酸吸収を促進する。菌根菌についても、アブラナ科を除く多くの緑肥の栽培で増えることが示されている。

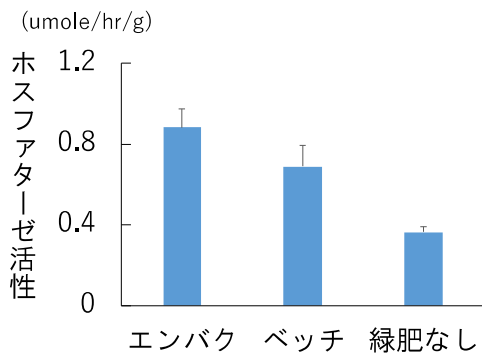


図5 緑肥のすき込みが土壌のホスファターゼ活性に及ぼす影響

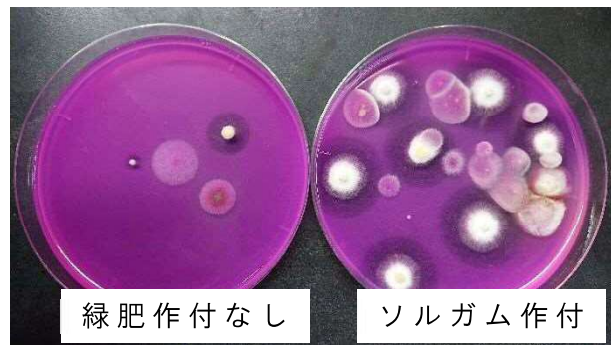


図6 緑肥のすき込みが土壌のリン溶解糸状菌数に及ぼす影響

周りが黒に見えるコロニーは、周囲のリン酸カルシウムの沈殿を溶かしたリン溶解菌であり（周囲の沈殿が透明になり、下の机の黒色が見える）、周りが黒くなっていないものは、リン酸カルシウムを溶解していない糸状菌

4. 緑肥の効果を高めるための方策

作物を大きくしてからすき込めば、より多くの有機物を補給することができる。しかし、生育が進むと緑肥に含まれる窒素に対する炭素の比率（C/N比）が高くなり、イネ科は出穂始期、マメ科は開花始期を過ぎると分解に時間がかかるようになる。このため、すき込み時期が遅れると、有機物補給による土づくりの効果は大きくなる一方で、次作での肥料効果は小さくなり、場合によっては、窒素の取り込みによる窒素飢餓が起きることもある（図7）。また、緑肥を大きくしすぎると、用いる機械によっては、すき込みが難しくなる。このため、緑肥は、

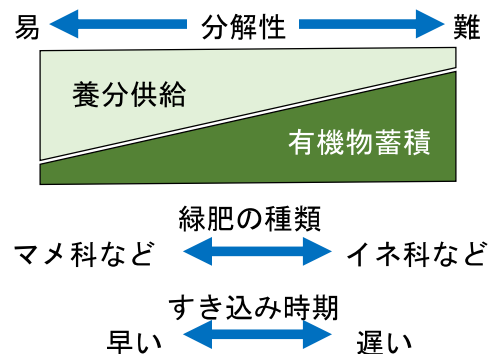


図7 緑肥の分解しやすさと効果の関係

効果と作業性を考えて、適期にすき込むことが重要となる。

また、緑肥をすき込んだ後、次の作物の栽培を始めるまでの期間も、緑肥の効果に影響を与える。一般に、緑肥をすき込むと速やかにその分解が始まり、特にマメ科など C/N 比が小さい緑肥からは、すき込み直後からアンモニア態や硝酸態の窒素などが放出される。こうした養分は、降雨などによって溶脱しやすいことから、緑肥に含まれている養分を効率良く次の作物に吸収させるには、すき込み後、早い時期に次の作物を作付けることが有効といえる。

しかしながら、緑肥をすき込んでからすぐに次の作物を栽培すると、植え傷みが起きることがある。その場合は、障害が起きなくなるまで作付けを行わず、腐熟期間を設ける必要がある。最適な腐熟期間は、すき込む緑肥の種類や次の作物の種類、すき込み時の温度条件などによって異なる。マメ科緑肥をすき込んだ後や低温の時期には、特に、適切な腐熟期間を設けることが必要となる。

5. おわりに

土づくりへの関心が高まっている中、また、生産コストや環境への影響の面から減肥が求められている中、緑肥のもつ土づくりや減肥の効果を有効に活用することが期待されている。緑肥は、それ自体が販売され、直接、利益を生むことがないため、効果を数値化しにくい。ここで紹介した緑肥利用マニュアルにおいては、土づくり効果（有機物の蓄積効果）は牛ふん堆肥の何トン分に相当するか、肥料効果（減肥可能な肥料の量）については化学肥料何キロ分に相当するか、というように定量的に示すことを目指した。こうした取り組みを通じて、緑肥の効果が明確化し、それにより緑肥の有効活用が広がることで、今後、土づくりの推進による生産性の維持・向上、減肥による生産コストの低減や環境負荷の低減などが実現されることを期待している。

参考資料

新版 緑肥を使いこなす（橋爪健、農文協、2007）

緑肥利用マニュアル ―土づくりと減肥を目指して―（農研機構中央研、2020）

Toshihiko Karasawa & Shigeru Takahashi (2015) Nutr Cycl Agroecosyst 103: 15-28

Hiroko Nakatsuka, Toshihiko Karasawa, Toshiaki Ohkura & Rota Wagai (2020) Geoderma 357: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113910>

緑肥がもつ線虫害の抑制効果の利用

富田 祐太郎

カネコ種苗株式会社 くにさだ育種農場 5グループ

1. はじめに

緑肥とは、土壌を肥沃にすること目的に、主作物の栽培前に栽培し、畑にすき込まれる植物である。緑肥が土壌を肥沃にする要因は、物理性の改善・化学性の改善・生物性の改善の3つであり、具体的な内容は次の通りである。①腐植の増加に伴う団粒構造の形成や植物の根が硬盤を破碎することで排水性・保水性が改善する。②腐植の増加に伴う保肥力の向上や緑肥と共生する窒素固定細菌による空中窒素の固定、菌根菌による可給態リン酸の増加、過剰塩類を吸収した緑肥（クリーニングクロープ）の持ち出しにより施設内土壌の塩類濃度を適正にする。③根からの分泌物により土壌中の微生物叢を変化、あるいは作物に加害する植物寄生性線虫を根内に誘引して成長を阻害または殺線虫物質により殺虫し減少させる（対抗植物）ことで土壌微生物叢が改善する。これらの緑肥の効果により土壌を肥沃にでき、換金作物の収量や秀品率を改善することができる。

また、連作障害が生じている畑で換金作物と緑肥を輪作すると、連作障害を予防または防ぐことができる。連作障害の原因は、土壌病原菌、植物寄生性線虫、土壌の化学性不良（養分欠乏、塩類集積など）、土壌の物理性不良（湿害など）などである。土壌病原菌や植物寄生性線虫の防除は、一般的に土壌病原菌や植物寄生性線虫は土壌くん蒸剤や粒剤・液剤の化学合成農薬により防除されるが、有機栽培ではこれらの化学合成農薬は使用できない。このため、有機栽培では抵抗性品種の利用、非寄主作物や緑肥による輪作、堆肥の施用、微生物資材、太陽熱消毒、生物農薬などを用いて土壌病原菌や植物寄生性線虫の密度を低下させる必要がある。そこで今回は、緑肥がもつ植物寄生性線虫の密度抑制効果と利用方法について説明する。

2. 植物寄生性線虫

日本で種または属レベルで同定発表された線虫のうち、植物寄生種は約 190 と報告されている。これらのうち、国内において、作物に被害を与える線虫はせいぜい 10 種類程度とされており、その主なものは「ネコブセンチュウ」「シストセンチュウ」「ネグサレセンチュウ」の3つのグループに分類される。また、2012年に中央農業研究センターが実施した線虫発生動向調査によると、検出された有害線虫の割合は、ネコブセンチュウ 48%、シストセンチュウ 22%（ジャガイモ 13%、ダイズ 9%）、ネグサレセンチュウ 14%、イネシンガレ 7%、イモグサレセンチュウ 4%であった。種レベルで順位づけすると、サツマイモネコブセンチュウ、ジャガイモシストセンチュウ、キタネグサレセンチュウの順であった。また在来の線虫害の拡大・顕在化として、ダイズシストセンチュウは東京都や群馬県で特にエダマメにおいて被害が深刻化していることが明らかとなった^{2,3)}。以上の報告より、サツマイモネコブセンチュウ、ジャガイモシストセンチュウ・ダイズシストセンチュウ、キタネグサレセンチュウを中心に、緑肥がもつ植物寄生性線虫の抑制効果を説明する。

3. 緑肥がもつ線虫害の抑制効果

(1) 緑肥がもつネコブセンチュウの抑制効果

サツマイモネコブセンチュウ（以下、サツマイモネコブ）は、サツマイモ、馬鈴薯などのいも類、ニンジンなどの根菜類、トマト・ナス・キュウリ・メロンなどの果菜類、レタスなどの葉菜

類など、日本では200種以上の寄生が確認されている。サツマイモネコブは、地温0℃以下となる地域では越冬できない。このため、国内の分布域は、北海道を除く都府県であるが、北海道の加温ハウス内では越冬が確認されている⁴⁵⁾。本線虫に寄生された植物は、根にコブが形成され、奇形や枯死といった症状が発生する。また、サツマイモネコブは、トマト萎凋病⁶⁾、ナス青枯病⁷⁾などの土壌病害を助長する。

サツマイモネコブを抑制する緑肥は、エンバク（「ヒットマン」（図1）「たちいぶき」など）、ソルガム（「緑肥用スタックス」など）、ギニアグラス（「ナツカゼ」「ソイルクリーン」など）、マリーゴールド（「フィールドキーパー」「エバーグリーン」など）、クロタラリア スペクタビリス（「ネマクリーン」など）、クロタラリア ジュンセア（「クロタラリア」など）である。晩生のエンバク「ヒットマン」を鹿児島県肝属町で2017年12月に播種し、翌年5月に土壌中のサツマイモネコブ密度を調査した結果、密度を大きく低下させた（表1）。緑肥でサツマイモネコブを抑制する場合、サツマイモネコブの寄生活動が始まる地温18℃を超える時期⁸⁾に栽培する必要がある。併せて、上記で紹介した緑肥は積雪により枯死するため、基本的に春～晩夏で播種し、初夏～年内にすき込むことを推奨する。



図1 エンバク「ヒットマン」と他品種A（サツマイモネコブ抑制効果あり）の早晩生と草丈の違い

全写真とも左：「ヒットマン」、右：「他品種A」

試験地：群馬県伊勢崎市 播種日：2017年3月1日

撮影日：（左）2017年5月12日（中央・右）2017年6月5日

表1 エンバク「ヒットマン」の現地試験結果（試験地：鹿児島県肝属町）

播種日 2017年12月16日 調査日 2018年5月24日

品種名	草丈 cm	生草収量 kg/10a	乾物収量 kg/10a	乾物率 %	ネコブセンチュウ頭数 土壌100gあたり	
					播種前	すき込み前
エンバク ヒットマン	179	400	97	24.4	148	0
エンバク 他品種B (線虫抑制効果なし)	152	401	100	25.0	134	31

キタネコブセンチュウ（以下、キタネコブ）は、冷涼な気候を好むが全国で発生しており、ニンジン、ゴボウ、イチゴ⁹⁾、ラッカセイ、馬鈴薯などで被害が確認されている。イネ科には寄生しないため、アウエナ ストリゴサ、エンバク、ソルガム、ギニアグラスや根に寄生したキタネコブを成長させないマリーゴールドやクロタラリア スペクタビリスでキタネコブを抑制できる¹⁰⁾。

(2) 緑肥がもつシストセンチュウの抑制効果

ジャガイモシストセンチュウ（以下、ジャガイモシスト）は、北海道、青森県、三重県、長崎県、熊本県に分布¹¹⁾する。馬鈴薯の最重要害虫であり、トマトやナスにも寄生する¹²⁾。ジャガイモシ

ストが寄生すると、根に 200～500 卵を含んだ褐色のシストが形成される（シストは初め白色であるが次第に黄化し褐色となる）。また卵は、土壤中で 10 年以上の長期間に渡りシスト内で生存する。ジャガイモシストが馬鈴薯の根部に寄生すると、養水分の吸収が妨げられ、黄化し収量が低下する。

現在市販されておりジャガイモシストを抑制する緑肥は、ソラヌム ペルウィヌア（野生種トマト）「ポテモン」（雪印種苗(株)）である¹³⁾。

ダイズシストセンチュウ（以下 ダイズシスト）は、関東以北と散発的に九州に分布しており、ダイズ、アズキ、インゲンなどの豆類に寄生する。本線虫に寄生されたマメ科植物は、根にシストが形成され、栄養が吸収できなくなり、地上部が黄化し、ひどい場合は枯死する。本線虫も複合病を引き起こし、アズキのアズキ落葉病を助長する¹⁴⁾。

ダイズシストを抑制する緑肥は、アカクロローバやクリムソクローバ（「くれない」など）クロタラリア スペクタビリス（「ネマックス」など）である。また一般的に緑肥による植物寄生性線虫の防除は約 60 日間の栽培期間を要するが、東京農工大学などが緑豆を使用した短期輪作（栽培期間 14～21 日）によるダイズシストセンチュウ抑制技術を発表している¹⁵⁾。

(3) 緑肥がもつネグサレセンチュウの抑制効果

キタネグサレセンチュウ（以下 キタネグサレ）は、350 種以上の植物に寄生すると報告されており、ダイコンやゴボウなどの根菜、アズキやダイズなどのマメ科作物、キャベツやハクサイ、レタスなどにも寄生する。キタネグサレに加害された場合、ダイコンでは白濁斑が生じ、ゴボウではしみ状の褐点や亀裂が生じる¹⁶⁾。また、ダイコンのパーティシリウム黒点病¹⁷⁾、キャベツのパーティシリウム萎凋病¹⁸⁾、ハクサイ黄化病¹⁹⁾などを助長する。

キタネグサレを抑制する緑肥は、アウエナ ストリゴサ（「ソイルセイバー」「ニューオーツ」「ヘイオーツ」など）、マリーゴールド（「フィールドキーパー」「エバーグリーン」など）、ライムギ（「緑肥用クリーン」など）、ギニアグラス（「ナツカゼ」「ソイルクリーン」など）、エビスグサ、またリビングマルチとして間作利用できる大麦（「てまいらず」）である。主にアウエナ ストリゴサが、北海道で小麦の後作で使用され、その後ダイズや甜菜などが栽培される。ダイコンの産地である神奈川県では、マリーゴールドが使用されている。

ミナミネグサレセンチュウ（以下 ミナミネグサレ）は、本州以南に分布し、馬鈴薯、サツマイモ、サトイモ、コンニャク、ダイズ、陸稲などに加害し品質や収量の低下をもたらす²⁰⁾。ミナミネグサレを抑制する緑肥は、クロタラリア スペクタビリス（「ネマクリーン」など）、マリーゴールド（「フレンチ」など）である。

4. 緑肥の使用法

(1) 品種の選定

上記の項目で各線虫を抑制する草種（アウエナ ストリゴサなど）を挙げたが、全ての品種が線虫抑制効果を持つわけではない。このため、各種苗メーカーが販売している品種に線虫抑制効果があるか良く確認し品種選定を行う必要がある（表 2）。この作業を怠ると線虫を増やす恐れがあるため、ご注意いただきたい。

また、アブラナ科野菜とエンバクが罹病する黒斑細菌病（*Pseudomonas cannabina* pv. *alisalensis*）が発生している地域では、耐病性品種（「緑肥用クリーン」など）を使用する必要がある。

表 2 品種特性表

科名	作物名	品種名	線虫抑制						播種量 (kg/10a)	播種期(月)			品種特性
			サ ツ マイ モ ネ コ ブ	キ タ ネ グ サ レ	ア レ ナ ス ト リ ゴ サ	ジ ヤ ワ ネ コ ブ	ダ イ ズ シ ス ト	キ タ ネ グ サ レ		ミ ナ ミ ネ グ サ レ	暖地	中間地	
イネ科	アウエナストリゴサ	ニューオーツ	○					◎	10~15	3~5 8~12	3~5 8~11	4~9	キタネグサレを強力に抑制。ダイコン連作地帯では、キスジノミハムシの幼虫による被害を軽減し、忌避効果が得られます。おとり作物としてアブラナ科根こが病の菌密度低減効果があります。
	アウエナストリゴサ	ソイルセイバー	○					◎	10~15	3~5 8~12	3~5 8~11	4~9	アウエナストリゴサの改良品種です。キタネグサレを強力に抑制。従来のアウエナストリゴサより根量が増え、根張りが強く地力増進に優れます。おとり作物としてアブラナ科根こが病の菌密度低減効果があります。
	エンバク	ヒットマン	◎	○					10~15	3~5 8~12	3~5 8~11	4~9	サツマイモネコブの密度抑制効果が高い。収量性と耐倒伏性に優れる。トンネル果菜類などでの防風対策にも利用可能。晩生品種のため長期間栽培できる。
	ライ麦	緑肥用クリーン	○					○	6~8	9~11	9~11	4~8 9~10	春先の出穂が早い。耐寒性・耐雪性に優れた極早生品種。キタネグサレの密度抑制効果あり。黒斑細菌病抵抗性あり。
	大麦	てまいらず	○					○	3~4 (間作利用) 8~10 (全面散布)	4~6	4~6	5~7	発芽、初期生育が旺盛。キタネグサレの密度抑制効果がある。※北海道では8月以降の気温により枯れきらないことがある為注意。
	ソルガム	スタックス緑肥用	◎	○					4~5	4~8	5~8	5~7	豊富な根群により、硬盤破砕能力が高い。サツマイモネコブを抑制。ドリフト対策の障壁作物として利用。
	ソルガム	ロールキング	◎	○					4~5	4~8	5~8	5~7	豊富な根群により、硬盤破砕能力が高い。サツマイモネコブ線虫を抑制。ドリフト対策の障壁作物として利用。出穂が遅い晩生品種。
	ギニアグラス	ナツカゼ	◎	◎	◎	◎		○	2~3	5~7	6~7	-	各種線虫抑制に効果あり。飼料・緑肥兼用。
キク科	マリーゴールド	フレンチ	◎	○	○	○		◎	0.4	4~6	4~6	5~6	草丈が50cm程になる景観緑肥。キタネグサレ、ネコブ線虫の密度抑制効果がある。
	マリーゴールド	フィールドキーパー	◎					◎	0.4	4~6	4~6	5~6	草丈が80cm程になる景観緑肥。キタネグサレ、サツマイモネコブの密度抑制効果がある。初期生育が良く、被覆幅の広いフレンチ種。茎葉が柔らかくすき込みやすい。秋までの開花量が少ない。
	マリーゴールド	アフリカントール	◎	○	○	○		◎	0.4	4~6	4~6	5~6	草丈が80cm程になる景観緑肥。キタネグサレ、ネコブ線虫の密度抑制効果がある。
マメ科	アカローバ	アカローバ						◎	4~5 (春播き)	3~4 9~11	3~4 9~11	5~8	ダイズシスト抑制効果あり。景観緑肥や窒素固定による地力増進に利用。
	クリムソクローバ	緑肥用クリムソクローバ						○	3~4	9~11	9~11	6中~7上 8上	窒素固定による窒素投入も期待できる。開花時は深紅の色が鮮やかで景観緑肥に好評。
	エビスグサ	エビスグサ						◎	3~4	6~7	6~7	-	キタネグサレを抑制。根が深くはより硬盤を破砕。
	クロタリア ジュンセア	クロタリア	◎						5~6	4~8	4~7	-	サツマイモネコブを抑制。窒素固定による地力増進。根が深くはより硬盤を破砕。初期生育が早い。
	クロタリア スペクタピリス	ネマクリーン	◎	◎	◎			◎	5~6	5~7	6~7	-	各種線虫を抑制。窒素固定による地力増進。根が深くはより硬盤を破砕。初期生育が緩慢であるが、すき込み易い。

(2) 緑肥の播き方

緑肥の播種は、手播き、散粒機、播種機（「クリーンシーダ」「ごんべえ」など）、ブロードキャスターなどで行われる。播種後は、発芽を安定させるため、ロータリーによる浅い覆土と鎮圧が必須である。マリーゴールドは種子が軽く散播しにくいいため、シーダーテープで加工するか、(株)向井工業の「ごんべえ」(バルト：2082-0-32、2086-0-32)を使用すると播種が容易になる。

(3) 緑肥をすき込む目安とすき込み方

植物寄生性線虫の抑制効果は約 60 日程度栽培することで生じる。出穂あるいは開花始めの時期が、すき込み適期である。品種にもよるが、遅くとも出穂・開花後 2~4 週間以内にすき込まなければ、稔実し雑草化する恐れがある。

フレールモアやハンマーナイフモアで緑肥を細断すると、ロータリーなどでのすき込みが容易である。モアがない場合は、出穂・開花しておらず草丈 1~1.5m の茎葉が柔らかい時期にすき込

むことを推奨する。

(4) 緑肥のすき込みから後作播種・定植までの期間（腐熟期間）

緑肥をすき込んでから後作を播種・定植するまでに、3～4週間の腐熟期間を設けなければならない。理由は2点ある。

- ① 緑肥すき込み直後は、立枯れ病を引き起こすピシウム菌の増加や緑肥が分解される際に生じるフェノール性酸により、発芽不良や生育障害が生じるため²¹⁾。
- ② 緑肥の残渣が残っていると、播種や定植の作業性が低下するため。

(5) 緑肥の導入に際して

緑肥は線虫害を抑制する効果をもつが、農薬ほど即効性はない。まずは小規模面積で試験的に試してから、大規模面積に導入することを推奨する。

5. おわりに

有機農業において線虫害を防ぐには、非寄主作物や緑肥の輪作、堆肥、微生物資材、生物農薬などの利用が挙げられる。これらのうち今回は緑肥がもつ線虫害の抑制効果を説明した。また緑肥には線虫害の抑制効果以外にも、土壌病原菌の密度抑制効果（ライムギ「ダッシュ」によるアブラナ科根こぶ病菌の抑制など）、雑草抑制・表層土壌の流亡防止・降雨による養分の流亡防止、景観形成といった効果がある。これらの緑肥がもつ多面的な効果が、有機農業の発展に貢献することを期待する。

引用文献

- 1) 一戸稔（1992）日本線虫研究史，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば，p.3-9.
- 2) 水久保隆之（2015）日本の線虫防除研究と防除技術の動向・日本線虫学会 20 周年記念事業：線虫防除に関するアンケート（1999～2011 年度）集計-，日本線虫学会 Vol45, 63-76.
- 3) 水久保隆之（2014）特集 春夏野菜の土壌害虫対策，植物防疫 第 68 卷 第 4 号,49-52.
- 4) 吉田睦浩（1992）サツマイモネコブセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば，p.133-137.
- 5) 山田英一・高倉重義（1975）北海道のハウス栽培トマト、キュウリで発見されたサツマイモネコブセンチュウ，道農試集報 31:43-49.
- 6) 平野和弥（1993）線虫病と他病害との複合病に関する一連の研究，日植病報 59：233-236
- 7) 桂琦一・植村則大（1963）トマト青枯病の発生における病原細菌とネコブセンチュウとの混合感染，京都府立大学学術報告農学第 15 号,33-36.
- 8) P. A. Roberts, S. D. Van Gundy, and H. E. McKinney（1981）Effects of Soil Temperature and Planting Date of Wheat on Meloidogyne incognita Reproduction, Soil Populations, and Grain Yield, Journal of Nemaology 13, 338-352.
- 9) 増田安弘・知脇勝久（1972）そ菜の生理におよぼすネマトーダの影響（第 4 報）温度と寄生について，園学雑 41(3)：265-271.
- 10) 高倉重義（1992）キタネコブセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば，p.138-141.
- 11) 農研機構北海道農業研究センター（2014），”ジャガイモシストセンチュウから馬齢しよを守る技術”，https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/cyst_manual_1.pdf
- 12) 相場聡・稲垣春郎（1992）ジャガイモシストセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば，p.121-124.

- 13) 佐久間太（2016）ジャガイモシストセンチュウ対抗植物「ポテモン」の紹介と多様な使い方ができる緑肥作物<ライムギ、ヘアリーベッチ>について（道内向け），牧草と園芸 第 64 巻第 3 号, p.17-19.
- 14) 相場聡・一戸稔（1992）ダイズシストセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば, p.125-132.
- 15) 豊田剛己，” 緑豆すき込み法によるエダマメのダイズシストセンチュウ害防除” . http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/chiiki_2019_result-c035-01.pdf
- 16) 大林延夫・三井康（1992）キタネグサレセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば, p.148-151.
- 17) 漆原寿彦ら（2000）ダイコンバーティシリウム黒点病の発病に及ぼすキタネグサレセンチュウの影響，関東東山病害虫研究会報 第 47 集, p.55-56.
- 18) 酒井 宏ら（2015）キャベツバーティシリウム萎凋病の発病に及ぼすキタネグサレセンチュウの影響，土と微生物 Vol.69 No.2, pp.100-104.
- 19) 百田洋二ら（1989）自然汚染土壌におけるハクサイ黄化病の発病に及ぼす発病助長要因としてのキタネグサレセンチュウの影響，関東東山病害虫研究会報 第 36 集, p.71-72.
- 20) 後藤昭（1992）ミナミネグサレセンチュウ，線虫研究の歩み（中園和年 編），日本線虫研究会，つくば, p.152-154.
- 21) 沢田泰男（1969）緑肥の分解に伴う畑作物の生育障害に関する研究，北海道農業試験場報告 76 巻, p.1-62.