

新有機質肥料講座

(総論)

学術文献から客観的にみた有機質肥料



写真提供：(株)サンセイ・馬場氏



Copyright 2018-2019 Seiya Fertilizer Ind. Co., LTD All rights reserved

新有機質肥料講座（総論）・・・学術文献から客観的にみた有機質肥料

一口に有機質肥料と言っても非常に多種多様な有機質肥料が流通または現場で使われています。有機JAS規格には明らかな無機肥料も含まれています。肥料取締法に基づいて制定された普通肥料公定規格では、有機質肥料は動植物に由来する肥料に限るとされています。近年、家畜糞などは植物に対する養分供給能力が評価され、有機質肥料として扱われることが多くなってきました。一般には草木灰や鶏糞焼成灰なども有機と見られていますが、化学的見地からすれば無機と見るべき物です。本講座では、普通肥料公定規格には囚われず、一般的に有機質肥料とされている肥料を対象とし、家畜糞は原則除外しました。

「有機農業」という言葉が生まれたのは1971年で、その後徐々に有機農産物指向が広がりました³⁷⁾。有機質肥料は、一部の生産者や消費者に熱烈に支持されています。消費者の指向は科学的根拠によるものより「健康・本物」といったイメージ先行型になっているのではないのでしょうか³⁷⁾。確かに有機質肥料には優れた性質があることは事実です。しかし、ややもすると盲目的に支持されたり、科学的には怪しいこともあるように感じています。客観的に証明されていなくても、生産者にもメーカーにとっても耳障りがよく、何かと都合な解釈が横行していることもあるのではないのでしょうか。「有機は安全で良いもの、化学肥料は悪いもの」「有機農産物は安全で身体に良くて高品質、化学肥料農産物は品質が悪く身体にも悪い」こういった見方は明らかに間違いです。

長所も欠点もあるのが有機質肥料ですが、いわば“レフェリーのいる”学術文献から有機質肥料について客観的に考察し、有機質肥料の特性を明らかにしようと試みました。演者の力量を遥かに超る内容であり、未熟さ故の間違いや解釈の相違等があると思います。諸氏からのご批判等を頂戴できれば幸いです。個々の有機質肥料の性質等については別に執筆したいと思っています。

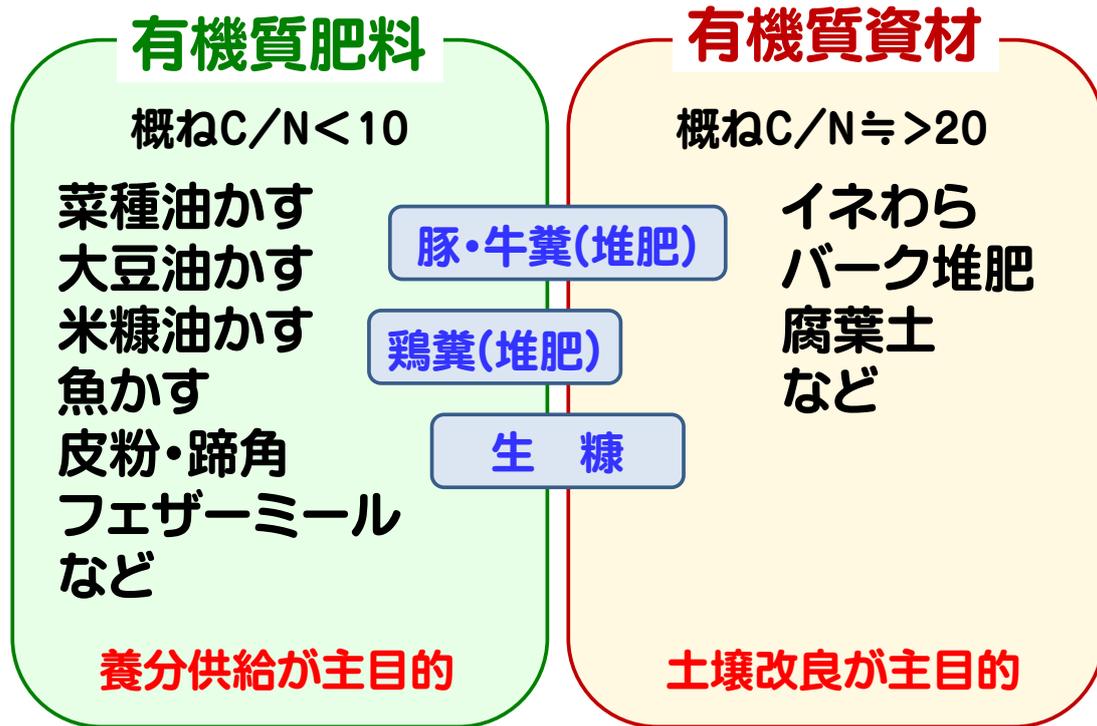


図1-1 有機質肥料と有機質資材の関係

最初に有機質肥料と有機質資材の関係を整理しておきたいと思います。本来肥料とは作物に必要な養分を供給することを目的に使用されます。一方で、土壌改良（土づくり）のために様々な有機物が施用されています。有機物に含まれる炭素と窒素の比であるC/N比が概ね20くらいを境に窒素を土壤中に放出するか、窒素を取り込むかが変わってきます。多くの有機質肥料のC/N比は概ね10以下です。有機質肥料は、作物に対する養分供給を目的に施用されます。一方でイネわらやバーク堆肥などは、養分供給能は低く、土壌の物理性改善などの土壌改良を目的に施用されます。これらは、本来「有機質肥料」ではなく「有機質資材」に分類されるべき物です。ところが、本来の有機質肥料と有機質資材をひっくり返して有機質肥料とされている場合があることに注意しなければならないと思っています。

家畜糞堆肥などは土づくりのための一般的な資材です。家畜糞またはその堆肥は有効な窒素、りん酸、加里を含み、その意味では有機質肥料と言える物です。米糠またはその油かすは、土壤中での分解が遅く、養分供給能は低いと考えられます。特に、油を除いていない生糠の肥効はかなり低いことが知られています。これらの物は、肥料と資材の中間に位置する物であると言えます。有機質資材は注意して使わないと土壌の養分不均衡を招くことがあります。各地の畑土壌で起こっている富栄養価と養分不均衡は、土づくり目的で施用された家畜糞などに含まれる肥料養分を無視したことが一因であると考えられています。

- 緩効的な養分供給
- 有機物と結びついた微量元素
- 有用有機成分の効果
含有成分(アミノ酸・核酸等)
分解生成物
- 土壌微生物を増やす
根圏環境の改善
養分吸収促進
地力の増大と物質循環の円滑化
- 土壌物理性改善(団粒生成)
根量増加・根活性増大・品質向上
- 腐植の生成
土壌の緩衝能・保肥力の増大

生育安定
収量安定
品質向上

図2-1 有機質肥料の働きと効果(模式図)

有機質肥料の効果について、一般的に図2-1のように整理できます。有機質肥料に含まれる養分は緩効的な肥効を示すものが多く、比較的安全で長い肥効を示します。長く、安定した肥効が作物生育の安定と高品質生産に寄与していると考えられています。有機質肥料は、無機肥料と違って土壌の急激な塩類濃度上昇がなく、比較的安全に施肥することができます。

有機質肥料は、動植物などに由来する有機物ですから、様々な微量元素を含有しています。一般に微量元素含有量は僅かですが、有機質と結びついた有効度の高いものであるとも言われています。

有機質肥料は、無機肥料にはないアミノ酸や核酸などの有機成分を含んでいます。土壌中の分解過程でも様々な物質が生成されます。過大評価することは慎むべきだと思いますが、限定的ながら一定の効果を示している場合もあると考えられます。

土壌には様々な微生物が無数に生息しています。土壌微生物の9割は人の手によって培養できない種類だとも言われています。土壌微生物は直接、間接に植物の生育に大きな影響を及ぼしていると考えられています。土壌中における物質循環の担い手でもあり、地力養分の本体は土壌微生物です。有機質肥料は土壌微生物を増やすことが広く認められています。

効果の持続性は難分解性有機物より劣りますが、有機質肥料は短時間で土壌団粒生成を促進し、特に大型団粒の生成に深く関わっています。

腐植酸りん肥などの腐植を含む肥料以外でも、有機質肥料は土壌の腐植の材料になります。連用によってCECが大きくなることも報告されています⁷⁰⁾。これらの作用が複雑に絡み合っ、生育や収量の安定、収穫物の品質向上に寄与していると考えられています。

第1章 土壌中での分解特性からみた 有機質肥料の肥効と安全性

第1章 土壌中での分解特性からみた有機質肥料の肥効と安全性

本章では、土壌中における有機質肥料の分解、窒素無機化特性を詳しくみていきます。そこから有機質肥料の肥効、施用効果、さらには有機質肥料の安全性について考えてみたいと思います。

リービッヒは1840年に発表した著書「化学の農業および生理学への応用」の中で『植物は有機物に依存しないで無機栄養を営む』という無機栄養説を提唱しました。以後植物栄養学の基本原理として大きく発展してきました。本章では、植物は硝酸またはアンモニウム（アンモニア）の形で窒素を吸収しているという無機栄養説を大前提とした窒素肥効について考えます。



図3-1 有機態窒素の土壌中での変化と植物による吸収過程

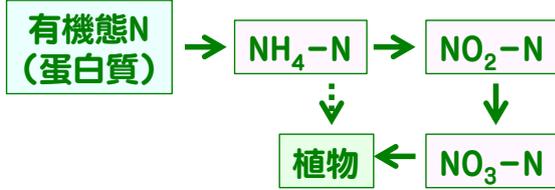


図4-1 有機態窒素の無機化と植物による吸収

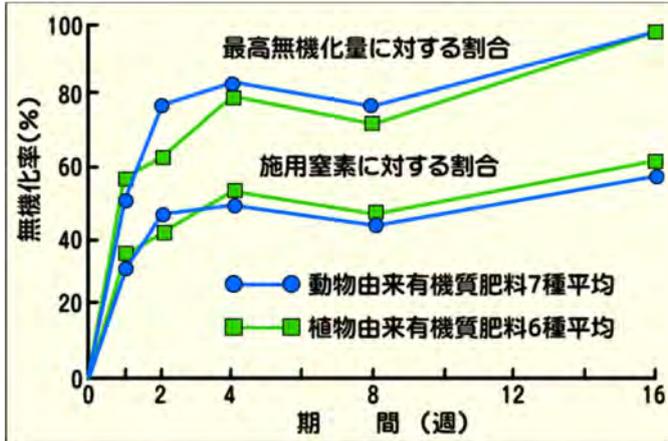


図4-2 畑土壤中窒素無機化特性(NO₂g/g乾土) 米澤⁷⁰⁾を改図

表4-1 畑土壌25℃16週間の無機化率(米澤⁷⁰⁾)

肥料名	少肥区 N20mg/100g土壌		多肥区 N100mg/100g土壌	
	無機化率 (%)	硝化率 (%)	無機化率 (%)	硝化率 (%)
カボック油かす	57.8	100	59.1	72.1
菜種油かす	60.2	100	57.2	69.7
サフラワーかす	54.8	100	56.8	66.5
綿実油かす	55.4	100	50.3	72.5
ひまわり油かす	67.7	100	70.6	69.9
大豆油かす	82.3	100	86.3	55.7
植物かす平均	64.7	100	64.7	67.7
蒸製骨粉	63.6	100	64.6	85.9
魚荒かす	49.1	100	49.6	61.0
魚かす	60.1	100	65.4	86.7
肉かす	67.7	100	67.7	66.9
蒸製皮革粉	42.4	100	52.0	71.9
蒸製蹄角粉	46.1	100	58.3	64.1
乾血粉	70.8	100	65.9	61.0
動物かす平均	57.1	100	60.5	71.1
尿素	94.7	100	96.5	50.0
硫安	85.5	100	97.3	21.2

畑作物が土壌から吸収する窒素の形態は、一般に硝酸態窒素(NO₃-N)またはアンモニア態窒素(NH₄-N)です。有機質肥料に含まれる窒素は、その大半が蛋白質であるため、植物はそのままでは吸収利用することができません。土壌微生物によって蛋白質はアンモニアに分解され、さらに亜硝酸を経て硝酸に変化することで植物は窒素を吸収出来るようになります。蛋白質などの有機態窒素がアンモニアや硝酸(無機態窒素)に変化する過程を「窒素の無機化」(図5-1)と呼び、有機質肥料の無機化特性を調べることで窒素の肥効を知ることが出来ます。有機質肥料(有機物)に含まれる成分やC/N等の違いによって無機化に要する時間が異なります。図4-2は動物由来有機質肥料7種、植物由来有機質肥料6種の平均無機化過程が示されています。表4-1は、土壌に施用された有機質肥料の16週間後の無機化率(肥料に含まれる窒素の内無機態窒素に変化した割合)と、無機化された窒素の内硝酸態窒素に変化した割合(硝化率)が示されています⁷⁰⁾。有機質肥料の窒素無機化率は概ね50~70%程度です。高いものでも80%、低いものでは40%程度です。速く無機化される肥料ほど早く肥効を現します。最終無機化率の高低は窒素の肥効率(有効化率)に影響します。多くの有機質肥料は、施用後1ヶ月程度の期間は盛んに無機化しますが、それ以降の無機化は緩慢になっていきます。無機化しなかった窒素の行方はよく分かっていない部分もありますが、土壌微生物に取り込まれたり、土壌窒素として長い時間をかけて無機態窒素として放出されてくると考えられています。有機質肥料の種類によって、はっきりした残効が見られる場合もあります。一般に施肥量が多いほど無機化は遅くなる傾向にあります。N20mg/100g土壌(単純計算で20kg/10a)とN100mg/100g土壌(100kg/10a)との比較では、無機化率の差は比較的小さいようですが、硝酸化成は明らかに遅くなることが分かります。実験的データでは一部の例外を除いて無機化特性にそれほど大きな違いはありません。しかし、ベテラン農家は感覚的に違いを見抜きます。メーカーは、安易な原料変更を行うべきではないと思っています。

表5-1 有機質肥料の無機化窒素の硝酸化成特性(米澤⁷⁰⁾)

肥料名	無機化窒素の硝化率(%)									
	N20mg/100g乾土					N100mg/100g乾土				
	1週	2週	4週	8週	16週	1週	2週	4週	8週	16週
カボック油かす	33.9	84.6	89.6	100	100	9.7	18.8	52.6	69.7	72.1
菜種油かす	3.1	43.5	76.8	100	100	0.0	0.0	15.2	53.1	69.7
サフラワーかす	34.7	79.0	79.7	100	100	0.0	9.0	50.1	61.3	66.5
綿実油かす	40.2	85.5	99.0	100	100	0.0	18.3	55.8	69.8	72.5
ひまし油かす	41.4	72.8	84.1	100	100	0.0	26.6	50.5	63.0	69.9
大豆油かす	15.5	75.0	80.3	100	100	0.0	8.2	28.1	53.2	55.7
植物かす平均	28.1	73.4	84.9	100	100	1.6	13.5	42.1	61.7	67.7
蒸製骨粉	38.4	85.5	91.6	100	100	0.0	18.3	60.1	78.8	85.9
魚荒かす	27.3	86.7	91.9	100	100	0.0	23.2	47.2	53.4	61.0
魚かす	46.6	94.4	96.6	100	100	0.0	36.3	67.9	82.1	86.7
肉かす	26.1	86.2	95.0	100	100	0.0	23.0	52.1	58.6	66.9
蒸製皮革粉	65.4	89.0	93.0	100	100	0.0	33.6	50.6	66.7	71.9
蒸製蹄角粉	57.7	91.2	98.7	100	100	6.8	38.3	54.3	61.0	64.1
乾血粉	34.8	91.5	97.0	100	100	3.9	27.5	50.3	56.7	61.0
動物かす平均	42.7	89.2	94.8	100	100	1.5	28.6	54.6	65.7	71.1
尿素	14.8	91.1	91.8	100	100	0.0	24.2	45.5	49.5	50.0
硫安	24.7	68.7	80.2	100	100	0.0	9.1	11.7	16.8	21.2

土壤に施用された有機質肥料は、土壤に生息している微生物によって分解されます。その過程で蛋白質などの有機態窒素はアンモニア、さらには亜硝酸を経て硝酸に酸化され、植物の根によって吸収・利用されます。有機態窒素のアンモニアへの変化は一般的な有機栄養細菌や糸状菌(カビ)、原生動物などによって行われます。アンモニア→亜硝酸→硝酸への変化は、それぞれアンモニア酸化細菌(亜硝酸化成菌)と亜硝酸酸化細菌(硝酸化成菌)と呼ばれる特殊な独立栄養細菌によって営まれています。これらの細菌は土壤の環境によってその活動が制限されます。特に高濃度のアンモニアの集積はこれらの細菌の活動を抑制します。アンモニアから亜硝酸への変化はあまり抑制されませんが、アンモニア濃度が高く、pHが高いほど亜硝酸から硝酸への変化は強く抑制されます。特に陽イオン交換能(CEC)の低い土壤では多量の亜硝酸が蓄積されます²⁶⁾。表4-1をみると、施肥量の違いは有機態窒素の無機化(アンモニア化成)には大きな影響は現れていません。しかし、施肥量が多いと、生成された無機窒素の硝酸化成は明らかに抑制されています。多肥が原因で起こる亜硝酸ガス障害(後述)の発生原因の一つになっています。植物油かす類は概して初期の硝酸化成が抑制される傾向にあります。動物由来有機質肥料と植物由来有機質肥料を比べると、図4-2で示したように、どちらかと言えば植物由来有機質肥料の方が無機化はやや早くなっていますが、硝酸化成は動物由来有機質肥料の方が速いようです(表5-1)。畑地では動物由来有機質肥料の方が早効きだと感じている方が多いのはそのためだと考えられます。

植物油かす(特に菜種油かす)は硝酸化成を抑制

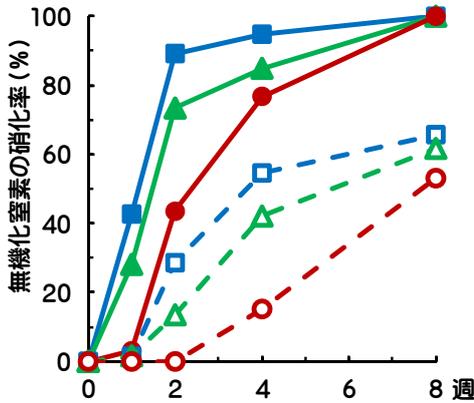


図6-1 有機質肥料の硝酸化成特性(米澤⁷⁰⁾より作図)

- □ 動物かす7種平均
- ▲ △ 植物かす6種平均
- ○ 菜種油かす
- ▲ ● N20mg/100g乾土
- △ ○ N100mg/100g乾土

表6-1 有機質肥料の水抽出液の硝酸化成に及ぼす影響(米澤⁷⁰⁾より作表)

試験区名	全無機化窒素に対する硝化窒素の割合(%)					
	1日	3日	5日	7日	14日	28日
尿素単用	5.1	8.4	20.1	29.8	76.6	91.7
尿素+菜種抽出液	0	1.4	4.2	6.3	30.3	74.4
尿素+ひまし抽出液	0	8.6	15.2	24.3	69.9	92.9
尿素+魚かす抽出液	0	6.4	13.6	22.1	65.0	84.0
菜種抽出液	0	0	0	7.1	100	100
ひまし抽出液	100	100	100	100	100	100
魚かす抽出液	100	62.2	93.4	95.3	100	100

尿素:N20mg/100g乾土、有機質肥料抽出液:N5mg/100g乾土相当量
pH(H₂O)5.9、容水量の50%水分、培養温度25℃

図6-1は、先ほどの表5-1の結果を整理してグラフにしたものです。施肥量の違いが硝酸化成の進行に大きく影響することがよく分かります。

表5-1でも明らかのように、植物油かす類、特に菜種油かすでは、施用初期の硝酸化成が抑制されています。菜種油かすには土壤中の硝酸化成を抑制する物質が含まれている可能性が議論されています。

表6-1⁷⁰⁾は、有機質肥料の水抽出液と尿素を同時に施用し、尿素の硝酸化成を経時的にみた結果です。同時に菜種油かす、ひまし油かす、魚かすの抽出液の硝酸化成をみています。この結果によると、尿素単体施用に比べて菜種油かすの抽出液を加えた区では、硝酸化成が強く抑制されています。一方で、ひまし油かすの抽出液や魚かすの抽出液を加えた場合の影響はほとんどありません。これら有機質肥料の水抽出液の硝酸化成をみても、菜種油かす抽出液の硝酸化成が特異的に抑制されています。菜種油かすには強い発芽抑制作用、活着阻害作用があることが広く知られています(後述)。菜種油かすなどに含まれる硝酸化成抑制物質と発芽抑制物質はともに水溶性成分であり、両者の関係性(同一物質の可能性)が疑われていますが、原因物質の特定には至っておりません。

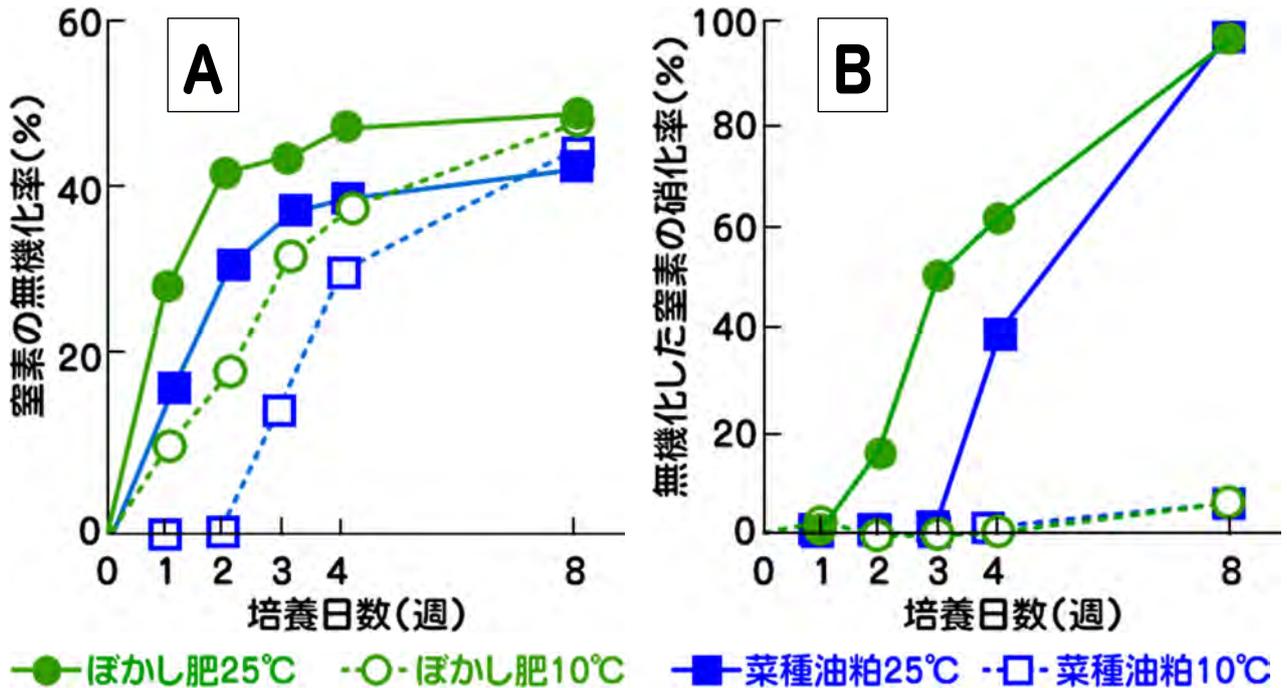


図7-1 畑土壌における有機質肥料の窒素無機化特性(清和肥料工業(株)¹⁷⁾)
窒素添加量：N100mg/100g乾土、容水量の60%水分、pH6.2

土壌中で窒素の無機化を担っているのは言うまでもなく微生物です。微生物活動は温度の影響を受けるため、地温は無機化に大きな影響を及ぼします。図7-1は、ぼかし肥と菜種油かすについて、畑土壌で、培養温度を変えて行った無機化試験の一例です。グラフAの25°Cと10°Cにおける窒素の無機化率の推移を見ると、10°Cでは25°Cに比べて無機化が遅くなっていることが分かります。特に培養初期の無機化の遅れが顕著です。肥料の種類によっては最初の2週間程度はほとんど無機化が起こらない場合もありました。培養開始8週間目には温度による差は小さくなっていました。一方、グラフBの硝酸化成を見ると、温度による違いが顕著に表れています。硝酸化成抑制物質を含むことが知られている菜種油かすでは、25°Cでも最初の3週間は硝酸化成が起こっていません。10°Cでは、ぼかし肥、菜種油かすともに8週間経過後もほとんど硝酸化成を起こしていません¹⁷⁾。

畑作物が吸収する窒素の主体は硝酸態の窒素です。冬季の作で有機質肥料のみを施用した場合、十分な肥効が得られない場合があることが示唆されます。15°Cくらいを境に肥効が十分得られないと言われていますが、被覆肥料でも同様なことが言われています。現地圃場では、地温は日々変化しており、季節によっても地温は変化します。実際の圃場での無機化と肥効発現については後ほど詳しくみていきます。

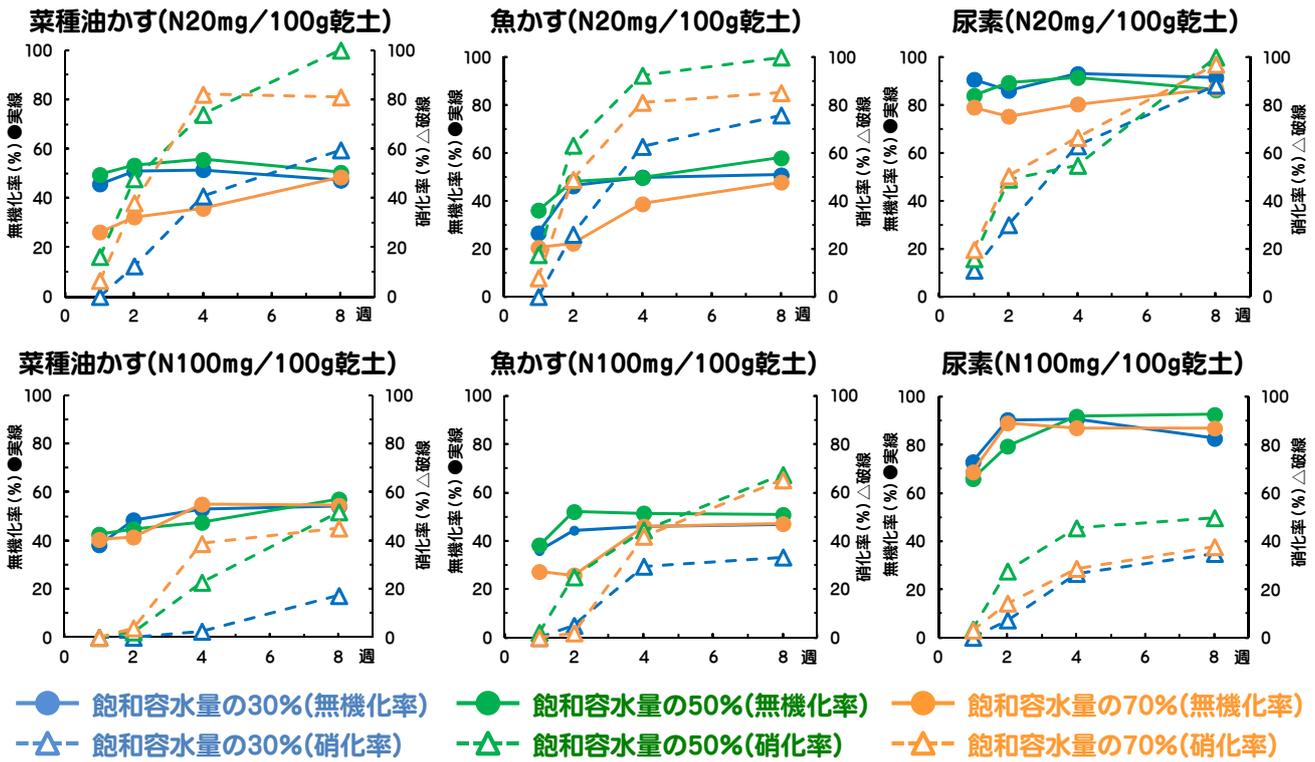


図8-1 有機質肥料の無機化に及ぼす土壌水分の影響(米澤⁷⁰⁾により作図)

微生物活動は土壌水分の影響を受けます。そのため、有機質肥料の土壌中での無機化にも土壌水分が影響します。まず、本項では代表的な有機質肥料と尿素について畑状態の土壌水分を飽和容水量の30~70%に変化させた時の窒素無機化の経時変化を示しています。飽和容水量の30~70%の範囲での無機化は、土壌水分が多くなると若干遅れる傾向がみられるものの、それほど大きな違いはありません。一方、硝化率については、土壌水分が少なくなると、遅れる傾向にあるようです。植物が最も生育しやすい50~60%に保つことが、肥効の面でも良い結果をもたらすと考えられます。

下の図8-2は、熱可塑性樹脂被覆化成肥料の溶出に及ぼす土壌水分の影響をみたものです。被覆肥料の肥効は、一般的に水中での溶出率によって評価されます。水中溶出特性は水田と比べて差支えありません。被覆肥料からの成分溶出は、土壌が極端に乾燥している場合を除いて大きな影響はありません。被覆肥料の溶出は、水蒸気圧に影響されるため、まったく水分のない状態では溶出しませんが、ある程度の水分があれば、溶出に影響されることはありません。自然任せの有機質肥料に比べ、この点では被覆肥料に軍配が上がります。

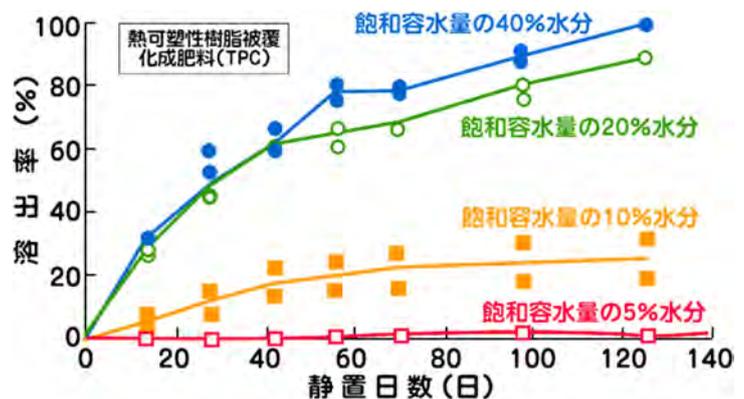


図8-2 熱可塑性樹脂被覆化成肥料の溶出に及ぼす土壌水分の影響(越野⁷⁵⁾を改図)

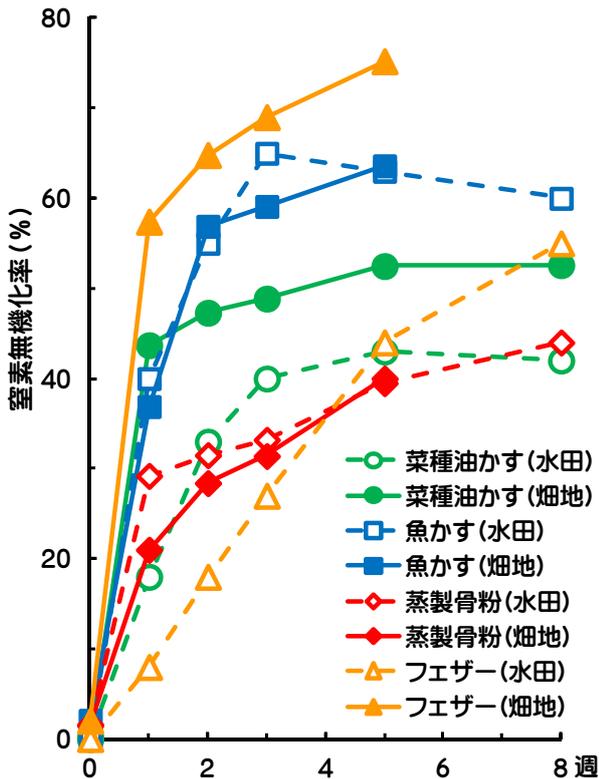


図9-1 畑土壌と湛水土壌中での有機質肥料の無機化、25℃培養試験(未発表)

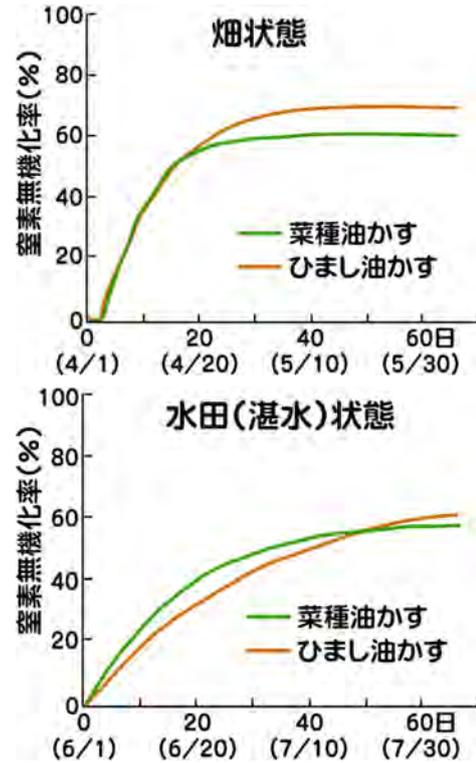


図9-2 有機質肥料の無機化(岡山市地温データに基づく予測)岡山県農総セ農研⁷³⁾

スライド8では、有機質肥料の畑土壌中における無機化に及ぼす土壤水分の影響について議論しました。飽和容水量の30~70%水分の範囲では無機化に及ぼす影響は小さいが、土壤水分が低くなると硝酸化成は遅れる傾向にありました。水田(湛水)土壌ではどうでしょうか？水田状態では土壌が還元化される(酸素が少ない)ため、土壤微生物相は畑地とは大きく異なっています。水田では硝酸化成は起こりません*。肥料の種類によっても異なりますが、概ね畑地より無機化は遅くなる傾向にあるようです。菜種油かすやひまし油かすは畑地より無機化が遅くなります。図9-1は室内実験の結果ですが、菜種油かすは初期の無機化が遅くなり、最終無機化率も低くなっています。一方、魚かすや蒸製骨粉では差がありません。図9-2は、岡山県農総セ⁷³⁾が公表している菜種油かすとひまし油かすの現地圃場での無機化予測結果です。このデータは無機化試験データを基に、現地の土壤温度変化に基づいた無機化予測結果です。これをみると、菜種油かすとひまし油かすともに水田の方が無機化は遅くなっています。畑土壌では概ね20~30日くらいで最大無機化量に達しています。一方、水田土壌では40~60日を要しています。図11-1では、鶏の羽から作られたフェザーミールという肥料が、畑地と水田では無機化特性が全く異なっています。畑地ではかなり速効性の肥料ですが、水田では強い緩効能を示しています。フェザーミールは、水稻元肥に活用され、その長い肥効によって、一発肥料の原料として省力施肥に役立てられています。IBDU、ホルム窒素(UF)、CDUなどに代表される化学合成緩効性肥料はどうでしょうか？これらの肥料は加水分解または微生物分解によって肥効を発現します。被覆肥料は土壤水分の影響をほとんど受けませんが、IBDUは加水分解であるため、土壤水分の影響を強く受けます。畑地でも土壤水分が高いほど分解が速くなり、UFやCDUは畑地に比べ水田での無機化はかなり遅くなります^{82, 83)}。

*水田表層土は酸化層になっているため硝酸が生成され、下層土に移動した硝酸は脱窒菌の作用で再還元され窒素ガス(N₂)として大気に放出される。これを脱窒といいます。

表10-1 豊橋市飯村町の露地畑の地温から推定した窒素無機化率(大橋ら⁷⁴⁾)

肥料名	TN	C/N	可分解性 有機態窒素 (%)	各月1ヶ月間の地温に基づく窒素無機化量の推定値			
				2月(6.7℃) ¹⁾	5月(21.7℃) ¹⁾	8月(30.8℃) ¹⁾	11月(13.1℃) ¹⁾
				無機化率(%)	無機化率(%)	無機化率(%)	無機化率(%)
魚かす	8.3	4.4	67.6	41.9 (62) ²⁾	66.9 (99) ²⁾	67.6 (100) ²⁾	56.7 (85) ²⁾
カニ殻	4.1	6.1	55.9	34.6 (62)	54.1 (97)	55.8 (100)	45.5 (81)
鶏豚肉骨粉	9.7	4.5	64.5	42.2 (65)	63.6 (99)	64.5 (100)	55.4 (86)
フェザーミール	13.2	4.0	72.9	40.0 (55)	70.3 (96)	72.8 (100)	56.4 (77)
蒸製皮革粉	13.5	3.1	47.0	24.9 (53)	46.2 (98)	47.0 (100)	37.2 (79)
蒸製骨粉	4.6	4.8	62.5	45.5 (73)	61.5 (99)	62.4 (100)	55.4 (89)
大豆油かす	8.4	5.4	65.1	45.9 (71)	64.9 (100)	65.1 (100)	59.0 (91)
菜種油かす	6.6	7.0	56.7	37.1 (65)	56.2 (99)	56.7 (100)	49.2 (87)
あまに油かす	5.9	7.8	56.4	38.1 (68)	55.7 (99)	56.4 (100)	49.0 (87)
ひまし油かす	5.9	8.3	58.7	36.2 (62)	58.1 (99)	58.7 (100)	49.9 (85)
米ぬか油かす	3.3	12.5	37.4	13.8 (37)	27.0 (72)	33.2 (89)	19.2 (51)
グルテンフィード	3.7	12.7	31.4	12.4 (35)	21.7 (65)	26.7 (81)	16.2 (47)

¹⁾()内は当月の平均地温

²⁾ 可分解性有機態窒素量(最大無機化量)に占める割合(%)

これまで有機質肥料は土壤中で微生物等の作用によって分解され、蛋白質などの有機態窒素がアンモニア、さらに亜硝酸を経て硝酸に変えられることで植物に有効な窒素が供給されることをみて来ました。有機態窒素から無機態窒素への変化を「窒素の無機化」と呼び、一定期間に無機化される窒素の割合(窒素無機化率)は有機質肥料の種類によって50~80%であること、窒素の無機化は土壌の温度や水分状態に影響されることが分かりました。とりわけ地温の影響が大きいことも分かりました。そこで実際の畑に施用された有機質肥料について、施用時期を変えた時の無機化についてみてみましょう。表10-1は、愛知県豊橋市の実圃場の地温計測データを基に、各月の1日に有機質肥料を施用した時の当月の1ヶ月間の無機化率の予測値(数学的に計算によって求められる)を示したものです。非常に無機化が遅いことで知られる米ぬか油かすとグルテンフィードを除けば、平均地温が約21℃の5月1ヶ月間と平均地温が約31℃の8月1ヶ月間で、最大無機化量のほぼ全量が無機化しています。多くの有機質肥料の最大無機化量は、これまで見てきたように概ね全窒素の60~70%です。夏場に施用された有機質肥料は、施用後1ヶ月以内に含まれる窒素の60~70%が有効化されることを表しています。一方で地温の低い11月では最大無機化量の8割から8割強、平均地温が10℃を下回る2月では、最大無機化量の6割程度に止まっています。寒い時期は植物の生育量も小さい、養分吸収量も少ないと考えられますが、地温に比べて気温の高い施設栽培では窒素の不足を招く恐れがあります。無機肥料との併用を考慮すべきでしょう。一方、夏期は有機質肥料の窒素の無機化が早く、初期から十分な肥効が期待できる反面そんなに長い肥効は期待できません。米ぬか油かすとグルテンフィードは可分解性有機態窒素量が少なく、無機化速度も非常に遅く、肥料養分を作物に供給するという肥料本来の目的にはそぐわないという見方も出来ます。

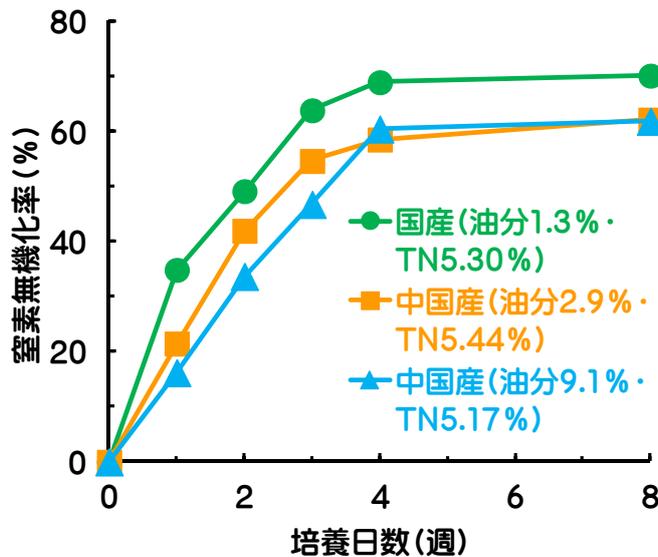


図11-1 抽油方法の異なる菜種油かすの窒素無機化特性(清和肥料工業(株)未発表)
30℃、容水量の60%水分、pH6.5
油分はエーテル抽出分

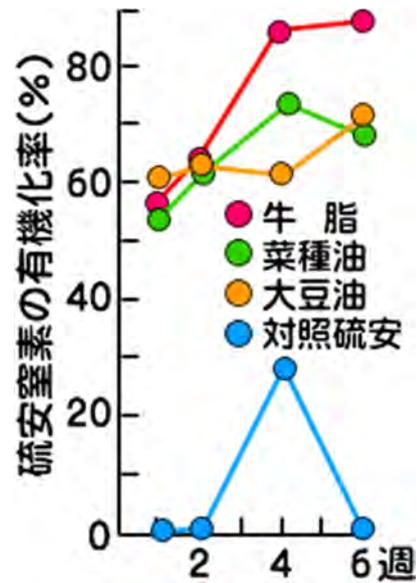


図11-2 油脂の添加が硫安窒素の有機化に及ぼす影響(樋口⁷⁷⁾)
油脂添加量: 500mgC/100g乾土
硫安添加量: 20mgN/100g乾土

図11-1は、抽油方法の異なる菜種油かすの畑土壌中での窒素無機化特性をみた結果です。抽油方法の違いによって、含まれる油分(エーテル抽出物)は1.3~9.1%でした。それほど大きな影響はありませんが、油分が多いほど見かけの無機化が遅れる傾向にありました。大杉ら⁸⁷⁾は、有機質肥料の成分と分解について検討した結果、エーテル抽出物は比較的好く分解するとしています。また、樋口⁷⁷⁾によれば、菜種油や大豆油は予想以上に早く分解するようです(図11-3)。硫安も、土壌中では微生物に取り込まれることで窒素の有機化が起こります。樋口⁷⁷⁾は油脂類の硫安窒素の有機化に及ぼす影響をみています(図11-2)。硫安とともに油脂を土壌に施用すると、硫安の窒素が強く有機化されました。これは、油脂が土壌中で微生物によって分解される際に、硫安の窒素が微生物に取り込まれることで起こる現象です。菜種油かすにおいて、油分が多いほど無機化が遅れる傾向にありました。油脂による分解抑制よりも菜種油かすから無機化された窒素の再有機化が起こっていると考えるのが妥当ではないでしょうか。

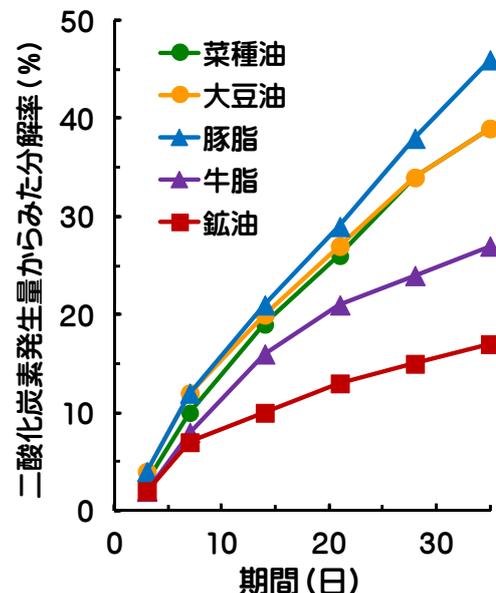
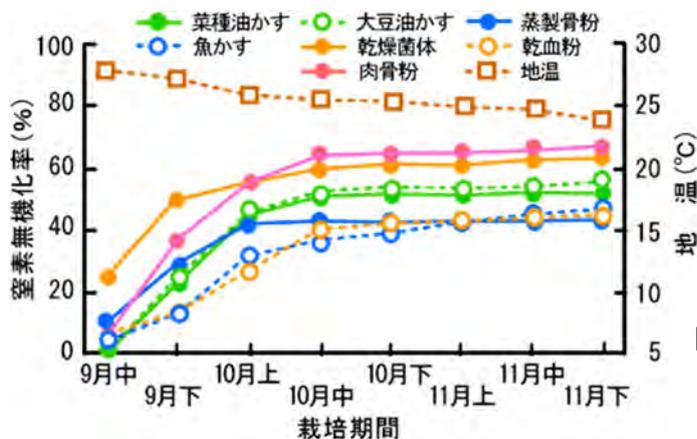


図11-3 油脂の分解率(樋口⁷⁷⁾)
30℃、500mgC相当量+硫安20mgN相当量/100g乾土添加

表12-1 窒素無期化特性から見た有機質肥料の分類(西尾1997²⁶⁾)に筆者加筆

肥料の種類	窒素肥効のタイプ*	無機態窒素放出特性(無期化特性)
乾血・フェザーミール・大豆油かす・乾燥酵母	比較的早くから効き始め、肥効が長い	30日目までと31~200日目とで25g/kg以上の無機窒素を放出
魚かす・肉かす・肉骨粉・皮粉・蛹かす	速効性で肥効の持続期間は短い	30日目までは25g/kg以上の無機窒素を放出、その後は放出量が少ない
蒸製骨粉・カニガラ・菜種油かす・ひまし油かす・米ぬか	緩効性で肥効の持続期間が長い	2つの時期の無機窒素放出量が25g/kgに達しないが、30日目までと31~200日目との両期で無機窒素を放出

*西尾の表に筆者が加筆した項目



**有機質肥料・肥効の持続
畑地で約1ヶ月
水田で約1.5ヶ月**

図12-1 抑制メロン栽培土壌における有機質肥料の無機化推移 郡司掛¹⁰⁾を改図

窒素の肥効の現れ方は、無機化特性が大きく影響します。野口³²⁾が発表した有機質肥料の無期化に関するデータを、西尾²⁶⁾が再整理して、窒素無機化特性から3つのグループに分けました。表12-1は、西尾の表を分かり易くするため、赤字の部分を書き加えたものです。乾血、フェザーミール、大豆油かす等は早くから肥効を現す速効性タイプの有機質肥料であると同時に、長い期間無機化が続くことで長い肥効を現すタイプです。

魚かすや肉かすは、無機化が速く速効性ですが、無機化の持続性がなく、比較的早く肥切れすると考えられるタイプです。

菜種油かす、蒸製骨粉、カニガラ等は、長く肥効が持続する反面、無機化率そのものが低く、肥効率(窒素の吸収利用率)が低いと考えられるタイプです。

有機質肥料は、その種類によって窒素の無期化特性は異なっていますが、実験室内で行う無機化試験(25°Cまたは30°C)の結果では、最初の30日くらいは旺盛に無機化してきますがその後は緩慢になる例が多いと思います。無機化は、土壌の温度によっても変わります。15~10°Cを下回ると、特に初期の無機化が強く抑制され、硝酸化成をほとんど起こさなくなります。一般の圃場では、真夏以外では地温が30°Cになることは少なく、室内の培養試験で得られた結果より遅く、長くなると言われています。図12-1は郡司掛¹⁰⁾がメロン栽培圃場で行った無機化試験の結果です。概ね1ヶ月半くらいは無機化が起こっていますが、それを過ぎると無機化量は僅かです。スライド9で見た植物油かすは、畑地で約20日、水田で約40日程度無機化が継続しています。これらのデータから考えて、有機質肥料の肥効は、畑地で1ヶ月、水田でも1.5ヶ月くらいではないかと考えられます。

窒素で30kg/10a相当量を施肥し、一度の施肥でコマツナを5作栽培、窒素吸収量を調査した結果(佐藤¹³⁾)

表13-1 コマツナ5作の窒素積算利用率と肥効の遅速目安(佐藤¹³⁾)

肥料	主原料	窒素含有率 (%)	窒素肥効率 (%)	NU50 (日)*
化学肥料	アンモニア50% + CDU50%	15.86	100.0±0 g	33.6±0.3 bc
配合肥料	フェザーミール・魚かす・菜種かす・米ぬか	6.91	79.9±0.5 f	38.8±1.7 c
ぼかし肥	魚かす・菜種かす・米ぬか等量混合	6.15	50.7±1.9 c	36.1±1.0 c
魚かす	魚かす	9.19	69.1±1.0 e	57.2±2.0 d
大豆かす	大豆かす	8.27	62.7±3.3 d	71.5±3.6 e
菜種かす	菜種かす	7.00	54.9±0.4 c	95.2±5.5 f
米ぬか	米ぬか	2.81	16.8±0.8 a	108.6±2.1 g
乾燥鶏糞	鶏糞	3.54	25.7±0.7 b	50.9±3.8 d
牛糞堆肥	牛糞・おが屑	2.74	16.5±1.2 a	24.9±0.4 ab

*NU50: 肥料由来の窒素吸収量の半量を吸収するのに要した日数、施用当作における窒素肥効の遅速の目安

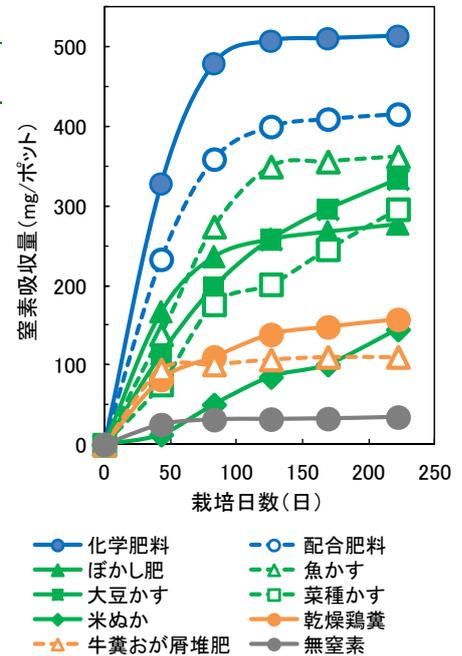


図13-1 窒素吸収量積算値の推移 佐藤¹³⁾より作図

有機質肥料の肥効(養分の吸収利用率)については、様々な作物で膨大な数の試験が行われてきました。一部には有機質肥料の方が水稻の籾重が増加した例¹⁰⁶⁾も報告されていますが、公表された研究結果の多くは、硫酸や尿素に比較して有機質肥料の肥効(吸収利用率)は低いことが多いようです^{147, 148, 149)}。

有機質肥料窒素の無機化率は60%前後のものが多く、最初から無機態である硫酸などに比べて肥効が劣るとされています。このような試験は、戦前から昭和の終わりまでは多数実施されていました。左のスライドは最近の研究として、福島県農試の佐藤¹³⁾が2010年に発表した結果を示しました。この試験は窒素供給能の低い未耕地の褐色森林土を用い、ポットでN30kg/10a相当量の肥料を施用し、一度の施肥でコマツナ5作を栽培し、各作の窒素吸収量から窒素肥効率を算出しました。コマツナ5作の合計肥効率は、化学肥料(硫酸+CDU)の100%に対し、有機質肥料は80~50%です。米ぬかでは20%にも達していません。無機化速度の遅速と最終無機化量の違いを反映したと考えられます。表中のNU50とは、施用した肥料に含まれる窒素の半量が作物に吸収されるまでの日数で、日数が短いほど速効性であると言えます。施用当作の窒素肥効の目安となる数値です。

図13-1は各作の窒素吸収量の推移を示しています。1作目は多く、作を重ねるに従って窒素吸収量が少なくなっているのが分かります。化学肥料は1作目の窒素吸収量が多い反面、3作以降の吸収量はごく僅かです。一方、有機質肥料は概ね3作目までは肥効の持続が認められます。菜種油かす、大豆油かす、米ぬかでは1作目から5作目まで肥効の持続が見てとれます。有機質肥料は、肥効が弱く、緩効的ですが、種類によっては相当長い期間肥料が効いていると言えます。肥効はやや弱くても、ゆっくり長く効くという性質が高品質農産物生産に有利であると考えられています(後述)。弊社も同様な試験を行い、ぼかし肥の肥効は化学肥料に比べて長く続くという結果を得ています¹⁷⁾。

表14-1 有機質肥料の当用効果
(スイカ)(米澤⁷⁰⁾により作表)

試験区	個数/a	重量kg/a	糖度
無機	243	1,029(100)	9.7
有機	167	566(55)	9.9
有機増施	243	893(87)	10.0

有機区は菜種、魚かす、骨粉をN成分で6:3:1
標準施肥量N25kg/10a、有機増施区は35kg/10a

表14-2 有機質肥料の当用効果(ニンジン)
(米澤⁷⁰⁾により作表)

試験区	収穫本数 本/a	茎葉重 kg/a	根重 kg/a(指数)	有機 /無機	カロテン mg/100g
無機少肥	5,030	131	341(100)	92	6.33(100)
有機少肥	4,470	108	315(92)		7.56(119)
無機多肥	4,990	127	349(102)	96	7.03(111)
有機多肥	4,830	121	335(98)		7.88(124)

有機区は菜種油かす、魚かすをN成分比で1:1混合、無機区は硫安
少肥区N1kg/a、多肥区N2kg/a

表14-3 有機質肥料の露地連用効果(収量指数)(米澤⁷⁰⁾により作表)

試験区	1作タマネギ	2作ニンジン	3作キャベツ	4作ニンジン	5作キャベツ
	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作
無窒素	77	86	0	98	34
無機(硫安)	100	100	100	100	100
菜種+硫安	84	101	44	99	96
ひまし+硫安	81	104	75	103	96
魚かす+硫安	96	99	73	93	104
菜種単用	75	95	28	96	89

米澤⁷⁰⁾は、まずポット試験によってキュウリ、ナス、ピーマンについて有機質肥料の施用効果を検討しました。その結果、何れの作物においても有機質肥料区の収量は硫安に及びませんでした(データ省略)。次に圃場試験によってスイカとニンジンについて、有機質肥料の当用効果(生育・養分吸収量・収量・品質)を検討し、表14-1と表14-2の結果を得ました。有機質肥料区の収量はスイカ、ニンジンともに無機区に及びませんでした。スイカでは、有機質肥料の窒素無機化率を60%と仮定し、不足する40%分を同じ有機質肥料で増施する区も設けています。窒素量を合わせた場合の有機質肥料区の収量は無機区の半量でしたが、増施した有機質肥料区は、無機区には及ばないまでも収量が改善されました。ニンジンでは、少肥での有機区/無機区に比べ、多肥では有機区/無機区の差が小さくなっています。反面、スイカの糖度やニンジンのカロテン含量は有機質肥料区の方が良い結果が得られました。また、米澤⁷⁰⁾は露地圃場において5作の有機質肥料連用試験を行い、表14-3のような結果を得ました。試験区の構成は硫安単用、菜種油かすなど3種の有機質肥料と硫安の併用、菜種油かすの単用です。1作目タマネギでは、硫安区の収量に対し、菜種油かす単用では75%で無窒素区と変わりませんでした。有機質肥料と硫安の併用区でも81~96%です。3作目キャベツでは、無機、有機の差は顕著に現れています。一方で2作目と4作目のニンジンでは、菜種油かす単用でも硫安区の95%以上の収量が得られています。作物の種類は異なりますが、冬作での有機質肥料は無機肥料に及ばないが、夏作では無機肥料に近い収量が得られたと考えられます。地温の高い夏作に比べ冬作では地温が低く、有機質肥料の窒素無機化率は夏作より冬作の方が低いと考えられます。そのために、冬作の有機質肥料区の収量は無機区より大きく劣ったと考えられます。当用効果を見た表14-1と表14-2の結果も有機質肥料の窒素無機化特性が大きく影響したと考えられます。多くの試験が示す有機質肥料の肥効は無機肥料に及ばないという結果^{73, 74, 75)}と一致しています。いわゆる**有機入り化成肥料**と言われる無機、有機両方の窒素を含む肥料の存在価値は、まさにこの部分にあります。

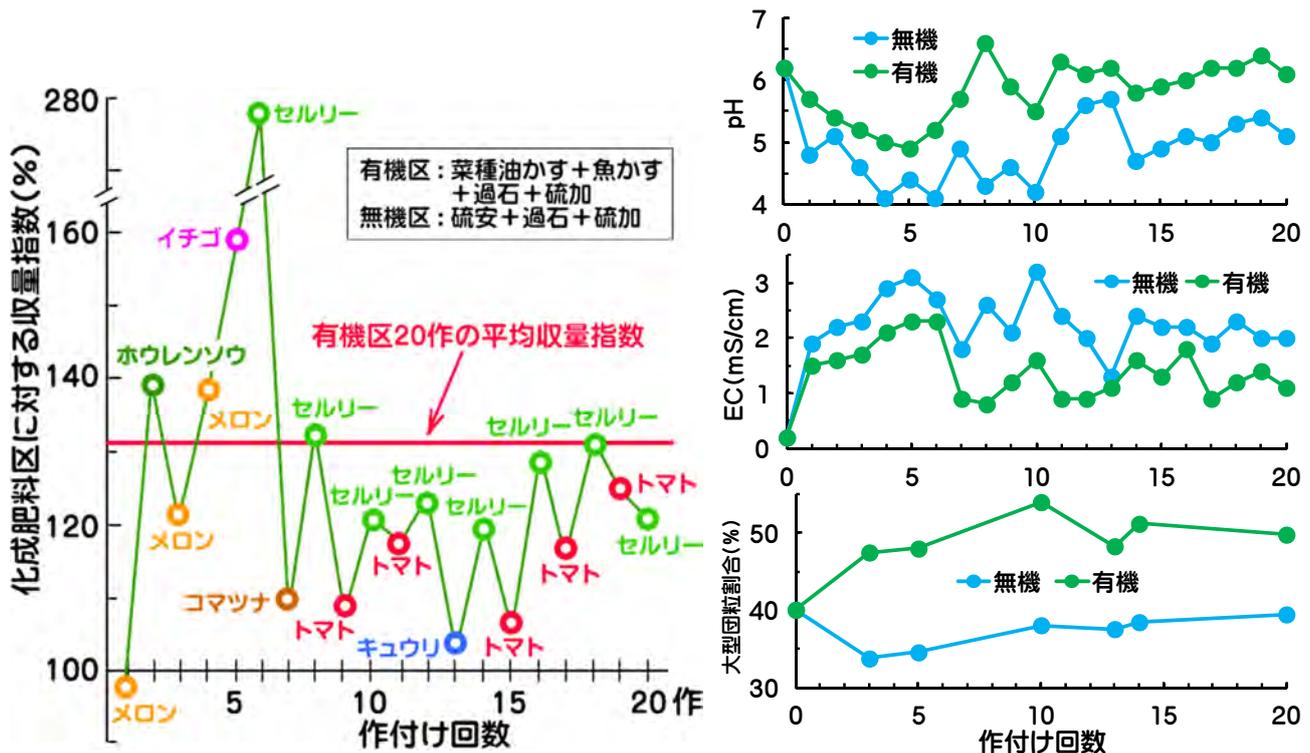


図15-1 ハウスでの有機質肥料連用試験結果(1966~78年)(米澤⁷⁰)により作図)
土壌調査: 作付け0回は試験開始前、各作の栽培跡地土壌の分析

露地においては、有機質肥料区の収量は無機区に及びませんでした。この結果は、有機質肥料の窒素無機化特性の影響だと考えられました。では、ハウス栽培ではどうでしょうか。米澤⁷⁰による20作に及ぶ有機質肥料連用試験の結果をみてみましょう。図15-1は、各作の無機肥料区の収量を100とする有機質肥料区の収量指数の変化を示した図です。初作のメロンを除けば有機質肥料区の収量が無機肥料区より高くなっています。露地とは異なった結果が得られています。概ねハウレンソウやセルリーで、増収効果が大きく、トマトやキュウリでは無機区との差が小さくなっています。

土壌化学性の推移を見ると、無機区の土壌pHが有機区より常に低く推移し、電気伝導率(EC)は高く推移しています。無機区は硝酸含量が常に高く、pHの低下とECの上昇をきたしたと考えられます。露地では、有機質肥料の窒素無機化に影響された結果、有機質肥料区の収量は無機肥料に及びませんでした。反面、多肥になりやすく、表土に塩類集積を起こしやすい環境にあるハウス栽培では、無機態窒素の供給が緩効的な有機質肥料が有利であったと考えられます。米澤⁷⁰は、生育、収量、養分吸収量、品質、土壌の理化学性に及ぼす影響を詳細に見ています。コマツナ、セルリーでは、有機区の窒素含有率が低く、リン、カリウムは高くなっていました。品質面では、糖度、ビタミンC、クロロフィル等が有機区で高く、保存性にも優れていました。土壌理化学性の面では、試験開始前原土のCECは31.3me/100g乾土、無機区平均では32.8me/100g乾土に対し有機区のそれは36.3me/100g乾土でした。大型団粒生成割合が有機区において常に高く推移しています。これは生育のみならず収穫物の品質向上に有利に働いたと考えられます。土壌物理性と品質、有機質肥料による団粒生成促進効果については後ほど詳しくみていきます。

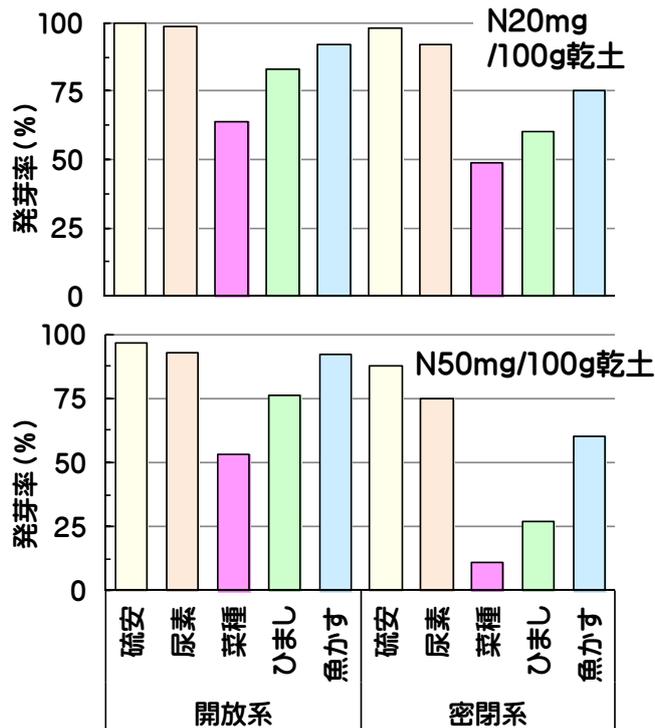


図16-1 有機質肥料の発芽に及ぼす影響 (米澤⁷⁰⁾により作図)
ダイコン、25℃、10日、飽和含水量の50%

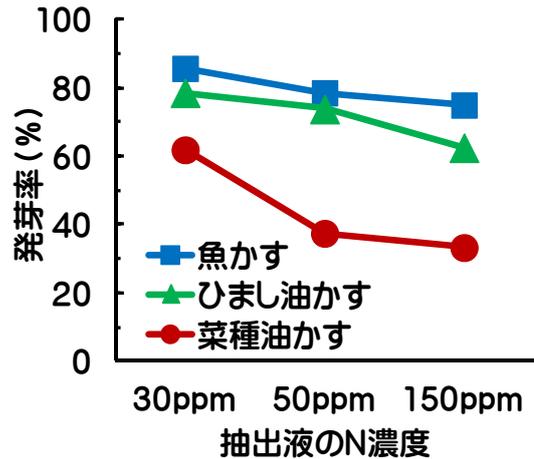


図16-2 有機質肥料の水抽出液が発芽に及ぼす影響 (米澤⁷⁰⁾を改図)
シャーレの発芽床に抽出液を入れて発芽させた
コマツナ、25℃、7日

菜種油かすなどの植物油かすは、施用直後に強い発芽抑制作用が現れることが知られています。米澤⁷⁰⁾は有機質肥料の発芽抑制、活着阻害作用について詳細に検討しました。図16-1は、窒素で20mgまたは50mg相当量の肥料を全層に施肥し、ダイコン種子を播種し、25℃、7日後の発芽率を示しています。一方のポットは、ポット表面をそのまま開放した状態に、もう一方のポットにはポリエチレンフィルムを被せて密閉した状態で試験を行いました。菜種油かすでは明らかな発芽抑制がみられました。ポットを密閉した状態にすると、より強い発芽抑制が認められました。発芽後の初期生育をみると、有機質肥料である菜種油かすにおいて生育量が極端に小さくなっていました。米澤は、障害の発生は、地上部よりも根に強く現れていたと述べています。

次に有機質肥料の水抽出液を入れたシャーレの発芽床にコマツナを播種し、発芽率をみました(図16-2)。抽出液濃度の上昇に伴って、菜種油かす抽出液の発芽抑制が顕著に現れています。水抽出液を用いたサラダナ苗活着試験でも菜種油かすに最も強い阻害作用が現れました⁷⁰⁾。有機物施用による発芽、生育障害の原因については、微生物の代謝産物あるいは有害微生物⁸⁹⁾などが報告されていますが、米澤⁷⁰⁾は菜種油かすが示す発芽阻害について様々な検討を行った結果、菜種油かす中に発芽・活着阻害物質が含まれる可能性が高いことを示しました。発芽障害の観点からみると、魚かすは安全性の高い有機質肥料であると言えます。菜種油かす等に含まれる阻害物質について、その物質は特定されていませんが、水洗、加熱処理によって阻害が軽減されました⁷⁰⁾。また、表6-1では菜種油かすの水抽出液によって土壤中の硝酸化成が強く抑制されることをみました。硝酸化成抑制物質と同一の物質ではないかと言われています。

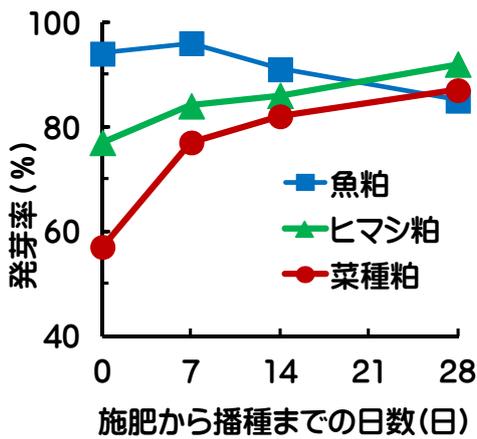


図17-1 施肥後播種までの日数と発芽
(米澤⁷⁰⁾を改図)
施肥量：N50mg/100g乾土
コマツナ、25℃
水分：飽和容水量の50%

表17-1 発芽・活着に及ぼす有機・無機肥料の相違
(米澤⁷⁰⁾・塩谷¹⁴⁾)

肥料	N施肥量 /kg乾土	発芽率 (%)		活着試験		EC mS/cm
		7日	11日	葉枯死	根褐変	
菜種 油かす	N1.0g	38	77	-	+	0.17
	N1.5g	7	40	-	++	0.19
	N2.5g	0	13	-	++	0.23
魚かす	N1.0g	63	89	-	-	0.16
	N1.5g	45	81	-	+	0.12
	N2.5g	42	75	-	+	0.28
硫安	N1.0g	43	76	+	+	0.12
	N1.5g	29	52	++	+	1.63
	N2.5g	0	5	+++	+++	2.54
尿素	N1.0g	56	88	++	+	0.49
	N1.5g	58	89	++++	+++	0.61
	N2.5g	27	77	枯死	++++	0.52
無肥料	N0g	76	89	-	-	

ノイバウエルポット試験、土壌水分：飽和容水量の60%
発芽試験：トキナシダイコン、活着試験：サラダナ苗(3cm)

菜種油かす等に発芽を抑制する物質が含まれている可能性が高いことをみました。施肥直後に播種すると強い発芽抑制を示しました。施肥から播種までの日数を変えて試験した結果が図17-1⁷⁰⁾です。施肥後2~3週間(25℃)経過後に播種することで発芽障害は軽減されています。

表17-2は、施肥量と発芽、施肥量とサラダナ苗の活着の関係をみたものです。この試験では窒素で100~250mg/100g土壌相当量の施肥が行われています。実際の場面ではあり得ないような多肥での試験結果ですが、菜種油かすと魚かすの安全性を考える指標の一つになります。菜種油かすは、これまでみてきたように明らかな発芽阻害を起こします。サラダナ苗活着試験の結果をみると、菜種油かす、魚かすともに根部の褐変という形で活着阻害を起こしています。無機肥料である硫安や尿素でも施肥量が多ければ明らかな発芽障害を起こします。サラダナ苗活着試験では、非常に強い活着阻害を起こしています。地上部の障害は、明らかに有機質肥料より強く現れています。土壌の電気伝導率(EC)は、硫安や尿素では明らかに高い値となっています。確かに菜種油かす等には発芽抑制物質を含んでいるようです。しかし、施肥から播種までに2週間以上の時間をとることで回避できます。濃度障害の観点からみれば、有機質肥料は安全性の高い肥料と言えます。なかでも、魚かすは安全な有機質肥料の一つであると考えられます。魚かすは根強い人気があります。農家は経験的に魚かすの安全性を知っていたのかもしれませんが。



図18-1 ナスの亜硝酸ガス障害
(高橋ら¹⁸⁾より引用)

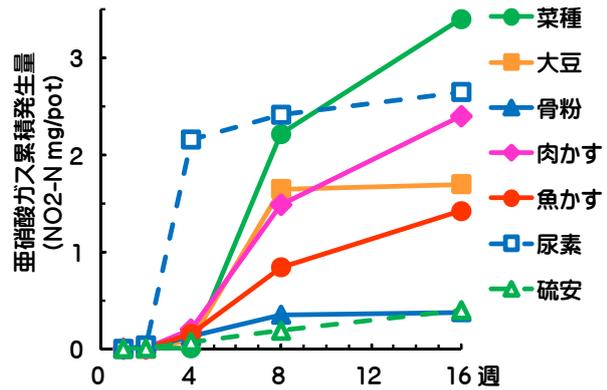


図18-2 亜硝酸ガス発生の経時変化
条件等は表18-1と同じ(米澤⁷⁰⁾により作図)

表18-1 有機質肥料施用土壌からのガス発生量(16週間累積発生量)(米澤⁷⁰⁾)

肥料名	亜硝酸ガスmg/pot	アンモニアガスmg/pot	肥料名	亜硝酸ガスmg/pot	アンモニアガスmg/pot
菜種油かす	3.400	0.154	蒸製蹄角	2.400	0.110
大豆油かす	1.700	0.420	蒸製皮革粉	0.975	0.104
綿実油かす	3.300	0.290	魚かす	1.250	0.196
ひまし油かす	1.500	0.137	魚荒かす	0.345	0.228
蒸製骨粉	0.380	0.170	尿素	2.650	0.540
肉かす	2.400	0.192	硫安	0.400	0.112

ノイバウエルポット、乾土300g/pot、施肥量100mgN/100g乾土相当量、pH6、25°C、50%MWC

多肥のハウス土壌から発生した亜硝酸ガスによって甚大な被害がもたらされることがあります。1962年頃の高知県において、極端な場合ハウス内の野菜が1~2日ですべて枯れるような激しい障害が生じました。高知農試によって、障害の原因が土壌から発生した亜硝酸ガスによるものであることが突き止められ、その発生機構と対策が明らかにされました^{33, 34, 25)}。土壌に尿素を添加すると、その分解に伴いアンモニアが放出され、土壌pHがアルカリ側に上昇します。この段階ではアンモニアの毒性で亜硝酸酸化細菌の活性が阻害され、土壌中にかなり多量の亜硝酸が蓄積します。この段階で揮散するのはアンモニアで、亜硝酸ではありません。その後アンモニアはアンモニア酸化細菌の働きによって亜硝酸に酸化されるのに伴い、pHは徐々に低下、亜硝酸は亜硝酸酸化細菌によって硝酸に酸化され、亜硝酸は消失します。しかし、土壌pHがさらに5近くまで低下すると、ふたたび土壌中に亜硝酸が蓄積、亜硝酸ガスが発生するようになります。尿素を弱酸性土壌に施用すると、初期は土壌中に亜硝酸蓄積は認められませんが、硝化作用の進行に伴ってpHが5近くまで低下すると、やはり亜硝酸の蓄積とガス化が起こります。pH5近くでは硝化細菌の活性が低下しますが、アンモニア酸化細菌(アンモニア→亜硝酸の反応を担う)に比べ、相対的に亜硝酸酸化細菌(亜硝酸→硝酸)の活性低下が著しく、亜硝酸が土壌中に蓄積されと考えられています。pH5近くでは亜硝酸が容易にガス化し、生育障害を起こします。その後、永井ら^{22, 23, 24)}は、ハウス土壌を通気の悪い状態に放置すると、特に硝酸含量の高い土壌ではpH6前後でも相当量の亜硝酸ガスが発生することを認めました。発生原因や対策の詳細は、橋田^{33, 34)}に詳述されています。

米澤⁷⁰⁾は有機質肥料施用土壌からのガス発生について詳細に検討しました。表18-1を見ると、アンモニアガスは少なく、亜硝酸ガス発生量が肥料の種類によって大きく異なっています。菜種油かす、綿実油かす、尿素からの発生が多く、蒸製蹄角粉からも発生が見られています。ハウスやトンネルなど密閉された場所での使用は注意しなければなりません。何れにしろ多肥は禁物と言うことです。

- 一般的に有機質肥料の肥効は無機肥料より劣る
露地作での収量は窒素の無機化に左右される(収量が低い)
特に冬作での減収が大⇒有機質肥料の窒素無機化・硝化
- 塩類集積を起こしやすいハウス栽培では無機肥料より増収
有機質肥料の窒素肥効特性がプラスに作用
- 露地、ハウスともに作物品質向上、土壌改良効果に期待



- 有機質肥料は、収量より品質改善効果に期待
- 冬作は無機肥料より増施、無機・有機併用を考える
スターターとしての無機肥料の活用
- 無機化特性の異なる有機質肥料を組み合わせる
- 油かすなどの有機質肥料は、播種・植え付け2週間前に土壌とよく混合する
トンネル、ハウス栽培での多肥は禁物

本項では、有機質肥料の無機化特性からみた肥効と発芽・活着阻害作用等の面から有機質肥料の使い方について考察してみたいと思います。
作物生育は土壤中無機窒素量によって決まる(無機栄養説)と仮定すれば、有機質肥料は無機肥料に比べ肥効(窒素の吸収・利用率)は低いと言えます。有機質肥料の収量は、無機肥料に及ばないとされています。特に冬作ではその影響が大きいと考えられます。無機肥料に比べて少し多めに施す、有機と無機の併用をすることも必要でしょう。寒冷地水稻の元肥全層施肥では2割程度の増施が必要だと言います(樋口太重博士私信)。また、葭田隆治博士はスターターとしての無機肥料の必要性を説いています。無機化特性の異なる有機質肥料の併用も効果的です。「有機入り化成肥料」の利用は、簡便で理にかなった方法と言えます。塩類集積を起こしやすいハウス栽培では、肥効の弱い有機質肥料の方が安全で、化成肥料より増収する例もありました⁷⁰⁾。しかし、郡司掛ら(図19-1)⁸⁸⁾によれば、有機質肥料からの初期無機窒素供給量は果菜類による養分吸収量よりかなり多くなっています。有機質肥料区、特に初期生育や収量を窒素無機化特性だけでは説明できません。油かす類の多肥は亜硝酸ガス障害の危険、施用直後の発芽阻害・活着阻害があります。播種・植え付けの2週間前に土壌とよく混和することも重要です。

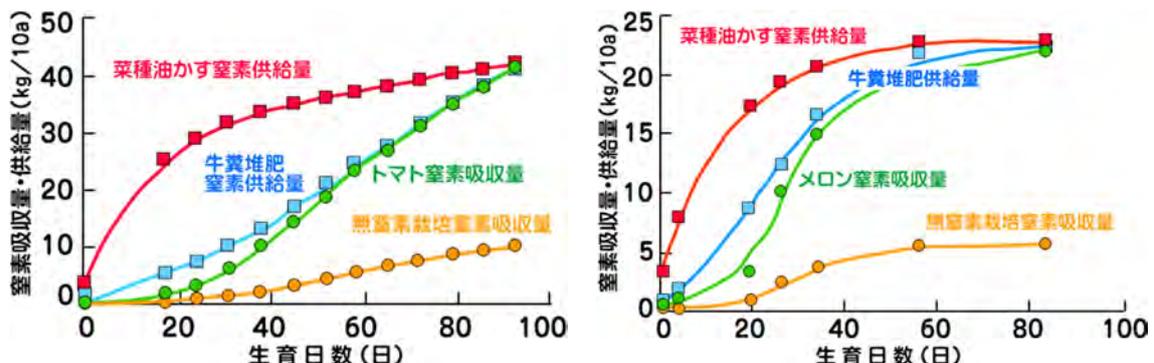


図19-1 トマト・メロンの窒素吸収量と有機物からの窒素供給量(郡司掛ら⁸⁸⁾)

第2章 植物による有機態窒素の直接吸収

無機態窒素だけでは説明出来ない植物の存在
一部の植物が直接吸収するPEONの発見
アミノ酸や核酸は効くのか?...

第2章 植物による有機態窒素の直接吸収

以前からアミノ酸や核酸の施用効果について議論されてきました。有機質肥料の施用効果と言えば、アミノ酸云々と言っても過言ではないくらいの時代もありました。最近では以前のように声高に叫ばれることは少なくなりませんが、今でも色々な機会に取り上げられることも多いと思われます。1960年頃から1980年代にかけてアミノ酸や核酸の有効性を示す報告がいくつか発表されています^{14, 52, 53, 84, 85, 86}。1990年代にはアミノ酸の吸収、利用性と施用効果について疑問視する報告が発表されてきました^{61, 76, 89}。その結果アミノ酸等の施用効果について疑問視する研究者が大勢を占めるようになりました。1990年代後半から2000年代に入ると別の視点から植物による有機態窒素吸収について研究されるようになってきました。例えば、アミノ酸の直接吸収と利用性に関し、注目すべきデータが示されています^{30, 54}。ツンドラ地帯に育つスゲは、アミノ酸を積極的に吸収、利用していることも報告されています¹⁵²。土壤中無機態窒素量では説明出来ない事例が多数存在する^{2, 43}ことから、特定の作物は土壤の有機態窒素を優先的に吸収していること、吸収する窒素化合物がPEONと呼ばれる蛋白様物質であること、その吸収機構等が、少しずつ分かってきました²。

一旦決着しかけたかにみえたアミノ酸の施用効果ですが、植物による有機態窒素の直接吸収が明らかとなり、有機質肥料の施用効果を議論するに当たって、作物による有機態窒素の直接吸収を考慮すべきだと考えられるようになってきました。新たな時代の到来と言えるかもしれません。

有機質肥料に由来するアミノ酸等の有機成分は作物に有効なのか？ 簡単に結論の出せる問題ではありませんが、植物の有機態窒素吸収(の可能性)という側面から植物栄養について考えたいと思います。

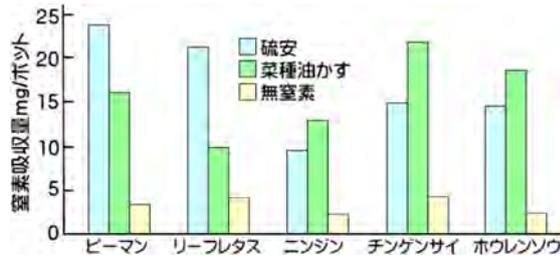


図21-1 10mgN/100g土壌の硫安または菜種油かすを施用した野菜の窒素吸収量²⁾

表21-1 図21-1の土壌中窒素の動態²⁾

施 肥	土壌中の窒素含有量(mg-N/kg)		
	無機態窒素	アミノ酸態窒素	蛋白様窒素
硫 安	90.5~133.0	0.3~0.4	18.9~31.0
菜 種	41.0~82.5	0.4~0.6	34.6~55.9
無窒素	27.5~50.0	0.1~0.2	18.7~34.7

表21-2 硫安または菜種油かすを施用したホウレンソウの窒素吸収量と土壌窒素²⁾

施 肥	乾物重 (g/株)	窒素吸収量 (mg/株)	体内硝酸濃度 (%)	土壌中窒素濃度(mg/100g)			
				無機態	硝酸態	アミノ酸	蛋白質
硫安標準 22kg-N/10a	3.99	238	3.5	20.6	17.7	0.66	15.8
硫安20%減肥 18kg-N/10a	3.74	184	2.2	16.9	13.9	0.59	14.9
菜種油かす 22kg-N/10a	4.28	250	2.1	16.6	11.7	1.70	23.9

施 肥	生体重 (g/株)	窒素吸収量 (mgN/株)	土壌溶液中無機態窒素濃度(mg/L)			
			6/19	6/30	7/8	7/15
農家ぼかし肥	14.1	36.7	21.8	22.5	21.8	23.0
市販ぼかし肥	17.5	37.1	15.1	16.5	17.0	6.3
硝安	16.6	37.6	42.3	81.2	47.8	25.9
無窒素	6.5	13.8	20.2	14.6	2.4	0.7

表21-3 コマツナの窒素吸収量と土壌溶液中窒素濃度の推移^{109, 110)}

施肥:6月16日(窒素20kg/10a相当)
 播種:6月24日
 収穫:7月15日

リービッチによる無機栄養説が近代農学に果たした役割は非常に大きく、現在でも、その基本原則は揺るぎないものです。ところが、土壌中の無機態窒素量では作物の生育と窒素吸収量を説明出来ない事例が多数存在します。英国ロザムステッド農場では、堆肥、緑肥、ワラの有無と化学肥料窒素施用量を変えた連用試験が行われました。大量の窒素施肥は作物の窒素過剰を招き、窒素の施肥反応がなくなり各試験区の差は小さくなるはずですが、オオムギと冬コムギはこの現象が認められ、堆肥区と緑肥区のオオムギと冬コムギは、有機物に含まれている養分(P、K、Mg)相当量を化学肥料で施用した区と同程度の窒素吸収量でした。しかし、ジャガイモとテンサイの窒素吸収量は、堆肥区や緑肥区では化学肥料区より多く、窒素施肥量を増やしても化学肥料との差が縮まりませんでした。ジャガイモとテンサイは有機物源からの窒素を効率的に吸収しています²⁾。松本ら⁴³⁾は、全国の都道府県農試の成績概要書を検証し、いわゆる無機栄養説では説明出来ない事例が多数あること指摘しています。図21-1と表21-1は、松本ら²⁾が行った試験の一部です。有機物の少ない土壌に菜種油かすを施用し、数種野菜の窒素吸収量をみたものです。土壌中の無機態窒素量は、硫安区に比べて菜種油かす区が明らかに少ないにも関わらず、ニンジン、チンゲンサイ、ホウレンソウの窒素吸収量は菜種油かす区が上回っています。菜種油かす区は土壌中窒素の蛋白様窒素の量が他の処理区より明らかに多くなっています。この蛋白様窒素の意味は後ほど詳しくみていきますが、これらの作物は有機態窒素を積極的に吸収・利用し、ピーマンとリーフレタスは有機態窒素に対する反応が小さいと考えられています。

表21-2では、ホウレンソウの乾物生産量は菜種油かす区が硫安標準区を上回り、窒素吸収量も若干多くなりました。ホウレンソウの体内硝酸濃度は硫安標準区が高く、土壌中の無機態窒素濃度を反映した結果です。体内硝酸濃度は、土壌中硝酸態窒素濃度を反映していますが、窒素吸収量は菜種油かす区の方が多くなっています。ホウレンソウが主に無機態窒素に依存していると考えると矛盾した結果です²⁾。

表21-3は、さらに分かり易い結果です。山土入り農家ぼかし肥、市販ぼかし肥(商品名バイオキング)の土壌中無機態窒素量は常に低く推移し、無窒素区と大差ありません。ところが、ぼかし肥施用区の窒素吸収量は硝安区と差がなく、市販ぼかし肥では生育量も上回っています^{109, 110)}。

表22-1 有機原料97%配合(TN=5.70%)化成肥料のアミノ酸組成(清和肥料工業(株)未発表)

アミノ酸名	加水分解アミノ酸 mg/100g	遊離アミノ酸 mg/100g	遊離/全量 %	アミノ酸名	加水分解アミノ酸 mg/100g	遊離アミノ酸 mg/100g	遊離/全量 %
全量	38,240	974	2.5	バリン	1,650	38	2.3
内訳				メチオニン	890	16	1.8
アスパラギン酸	2,220	98	4.4	イソロイシン	1,080	22	2.0
スレオニン	1,290	51	4.0	ロイシン	2,080	60	2.9
セリン	1,410	22	1.6	チロシン	830	48	5.8
グルタミン酸	5,400	98	1.8	フェニルアラニン	1,260	24	1.9
プロリン	2,730	193	7.1	ヒスチジン	2,650	52	2.0
グリシン	2,680	28	1.0	トリプトファン	490	3	0.6
アラニン	2,050	83	4.0	リジン	6,120	39	0.6
シスチン	910	38	4.2	アルギニン	2,500	61	2.4

表22-2 有機原料97%配合化成肥料の核酸関連成分(清和肥料工業(株)未発表)

冷酸可溶性画分 (ヌクレオシド・ヌクレオチド)	RNA画分	DNA画分
0.97%	0.64%	0.19%

分析法:Schmidt-Thanhuser-Schneider(STS)変法⁷⁸⁾

表22-1と表22-2には、弊社で行った有機入り化成肥料中に含まれるアミノ酸と核酸関連物質の分析結果を示しました(未発表、本銘柄は現在登録失効)。この肥料は、有機質肥料を97%(原料配合重量割合)、含有窒素成分とりん酸成分の全量が有機質肥料に由来するものです。全加水分解アミノ酸(蛋白質等を形成するアミノ酸、遊離アミノ酸を含むアミノ酸全量)のうち、遊離アミノ酸の占める割合は2.5%でした。アミノ酸の遊離率はプロリンが最も高く、7.1%で、次いチロシン5.8%でした。その他のアミノ酸の遊離率は、0.6~4.4%でした。核酸類を調べると、ヌクレオシドとヌクレオチドが1%弱、リボ核酸(RNA)を0.6%含有していました。

1960年頃から1980年代にかけて、アミノ酸の作物生育に対する有効性が報告されました^{14, 52, 53, 84)}。その後、中国農試⁸⁹⁾は、土壤に施用されたアミノ酸の25%前後が土壤微生物に取り込まれ、施用後1週間ですべて消失していることを報告しました。また、山室ら⁶¹⁾によれば、2~3日でほとんどのアミノ酸がアンモニアに変化したと推定されています。この分析例にある肥料を200kg/10a施用すると、持ち込まれるアミノ酸量(土壤中では蛋白質から生成される量は含まず)は、わずか数グラム/10aからプロリンでも40グラム/10a程度です。有機質肥料に含まれる遊離アミノ酸が直接作物に作用するとは考えられません。何らかの作用が期待できるとしたら土壤中の分解過程で生成されるアミノ酸でしょう。核酸類についても同様のことが言えるのではないのでしょうか。

※アミノレブリン酸(ALA)は、わずか数グラム/10aで高い効果を示す

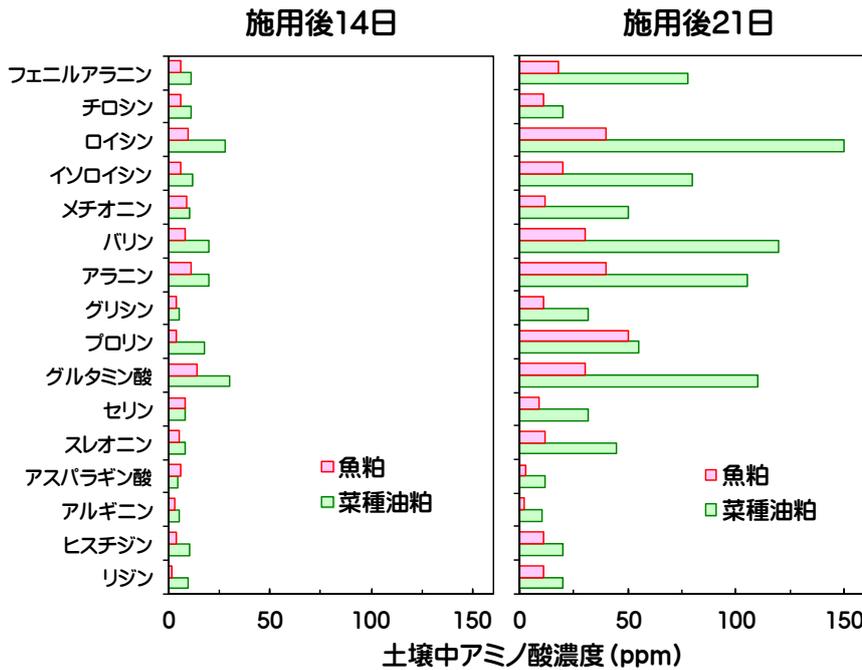


図23-1 有機質肥料を施用した茶園土壌中のアミノ酸未風乾茶園土(水分32%)100gに肥料5gを施用し、27℃で培養(池ヶ谷・平峯⁶⁾から作図)

表23-1 施肥2ヶ月後の玉露園土壌中遊離アミノ酸(池ヶ谷・平峯⁶⁾)

アミノ酸	濃度ppm
リジン	0.304
ヒスチジン	0.256
アルギニン	0.010
アスパラギン酸	0.428
スレオニン	0.594
セリン	0.498
グルタミン酸	0.698
プロリン	0.144
グリシン	0.550
アラニン	0.900
バリン	0.928
メチオニン	0.510
イソロイシン	0.768
ロイシン	1.288
チロシン	0.500
フェニルアラニン	0.706

図23-1は、茶園土壌に菜種油かす又は魚かすを混合し、施用後2週間後と3週間後の土壌に含まれる遊離アミノ酸濃度を測定した結果⁶⁾です。魚かすに比べ菜種油かす施用土壌で多くのアミノ酸が生成されていました。これは畝間表層上に菜種油かす、魚かすを10a当たり5,000kg施用した場合に相当する遊離アミノ酸の消長を示しています。菜種油かす施用土壌中で最も多いロイシンでは施用後21日目に150ppm、最も少ないアルギニンでも10ppm存在しています。アミノ酸生成量の少なかった魚かすでも数ppm~50ppmのアミノ酸が生成されていました。菜種油かすでは全遊離アミノ酸態窒素の全窒素に対する割合が、7、14および21日目にそれぞれ0.78、1.12および4.33%でした。魚かすは菜種油かすに比べて土壌中の分解が速く、遊離アミノ酸としての存在量が少なかったと考えられます。ぼかし肥を土壌に加えて畑状態で培養すると、硫安より僅かに多い傾向にはありましたが、アミノ酸態窒素生成量は、土壌に添加された窒素量の0.2~1.4%でしかなく、N100mg/100土壌の施肥量で、アミノ酸に換算して最大15ppm程度の量でした¹⁷⁾。

表23-1は、菜種油かすが大量に施用されている玉露園の畝間表層土壌に含まれる遊離アミノ酸濃度です。土壌採取時期は11月中旬、施肥後2ヶ月以上経過した時点でも、アミノ酸の種類によって0.3~1.3ppmの濃度で含まれていました⁶⁾。ここに示された、土壌中アミノ酸濃度をどう見るか？図23-1は、有機質肥料を5トン/10a相当の施肥量です。施用後21日目の菜種油かすでは最高150ppm程度のアミノ酸が検出されました。施肥量を200kg/10aに換算すると、6ppmとなります。この全量が土壌溶液中(土壌中に存在する水)に存在したと仮定すると、土壌溶液中濃度は約30ppmです。スライド25で紹介するトマトを用いた水耕栽培での試験では、培養液にアミノ酸を10数~20ppm添加しています。表23-1の例では、土壌溶液に全量存在したとしても数ppmです。これをどう見るか・・・。

表24-1 ホウレンソウ栽培土壤中窒素の動態(武田¹⁹⁾)

調査日	肥料	NO ₃ -N	mg/kg乾土	
			NH ₄ -N	アミノ酸-N
9/15	硫 安	44.8	156.1	2.265
	菜種油かす	37.4	92.3	2.803
10/15	硫 安	110.5	0.0	3.035
	菜種油かす	74.5	0.1	3.050
10/28	硫 安	72.0	0.4	2.819
	菜種油かす	44.4	0.5	2.807
11/19	硫 安	22.6	1.2	2.754
	菜種油かす	0.6	0.9	2.770

表24-2の試験条件

5年以上慣行栽培または有機栽培で管理された福島県内の圃場から採取した土壤に施肥し、ミズナ栽培後に新に施肥しニンジンを播種した

表24-2 化成または有機質肥料を施用した時の土壤窒素とニンジンによる窒素吸収量(武田¹⁹⁾抜粋)

場所	管理来歴	施肥	播種前土壤(Nmg/kg乾土)		収穫時土壤(Nmg/kg乾土)		固体重 g/株	N吸収量 mg/株
			無機態	アミノ酸態	無機態窒素	アミノ酸態		
浪江	慣行栽培	化成	237 (100)	1.0	178 (100)	1.2	81.8	177 (100)
		有機	186 (78)	1.2	147 (83)	1.4	97.9	173 (98)
	有機栽培	化成	258 (109)	1.3	186 (100)	1.5	27.8	130 (100)
		有機	213 (90)	1.5	163 (88)	1.7	89.3	151 (117)
会津若松	慣行栽培	化成	160 (100)	0.5	84 (100)	0.9	82.6	73 (100)
		有機	97 (61)	0.6	39 (46)	0.8	80.9	137 (187)
	有機栽培	化成	425 (266)	0.7	168 (100)	0.7	63.0	249 (100)
		有機	324 (203)	0.7	171 (102)	0.7	103.9	204 (82)

松本ら⁴²⁾、小田島ら¹⁰⁷⁾は、有機質肥料の施用によってアミノ酸態窒素やリン酸緩衝液に抽出される蛋白様窒素(可給態窒素の本体と考えられる)の量が増加することをみています。

福島農総セの武田¹⁹⁾は、未耕地黒ぼく土に無機肥料(硫安)または有機質肥料(菜種油かす)を施用し、ホウレンソウを栽培しました。ホウレンソウの生育量には差が無く、窒素吸収量は無機区に比べ有機質肥料区で減少し、ホウレンソウ体内のアミノ酸濃度を高めるほどではありませんでした。9月1日に窒素で14mg/100g土壤相当の施肥を行い、土壤中の窒素動態を調べました。その結果、硝酸態窒素は常に硫安区で高く推移し、アミノ酸態窒素は施肥後2週間後の9月15日には有機質肥料区で僅かに高くなっていますが、概ね無機、有機の差はありませんでした(表24-1)。

武田¹⁹⁾は、さらに福島県内の慣行栽培または有機栽培を5年以上継続している圃場から土壤を採取し、ミズナ、引き続きニンジン栽培を行いました。慣行または有機栽培土壤に化成肥料または有機質肥料を施用して栽培を行いました。慣行栽培土壤、有機栽培土壤ともに化成肥料施用区で無機態窒素は多くなりました。ところが、無機態窒素の多かった化成肥料区より有機質肥料区で窒素吸収量が多くなる場合が認められました(表24-2)。栽培管理来歴、施用肥料の種類に関わらずアミノ酸態窒素は無機態窒素に比べて非常に少なく、処理による差もありませんでした。ニンジンは、無機態窒素とともに有機態窒素も吸収していると考えられますが、アミノ酸態窒素ではニンジンの窒素吸収量を説明できません。問題はアミノ酸が吸収されるかどうかではなく、土壤がどれだけの量の遊離アミノ酸を供給できるかということにあるのです²⁾。

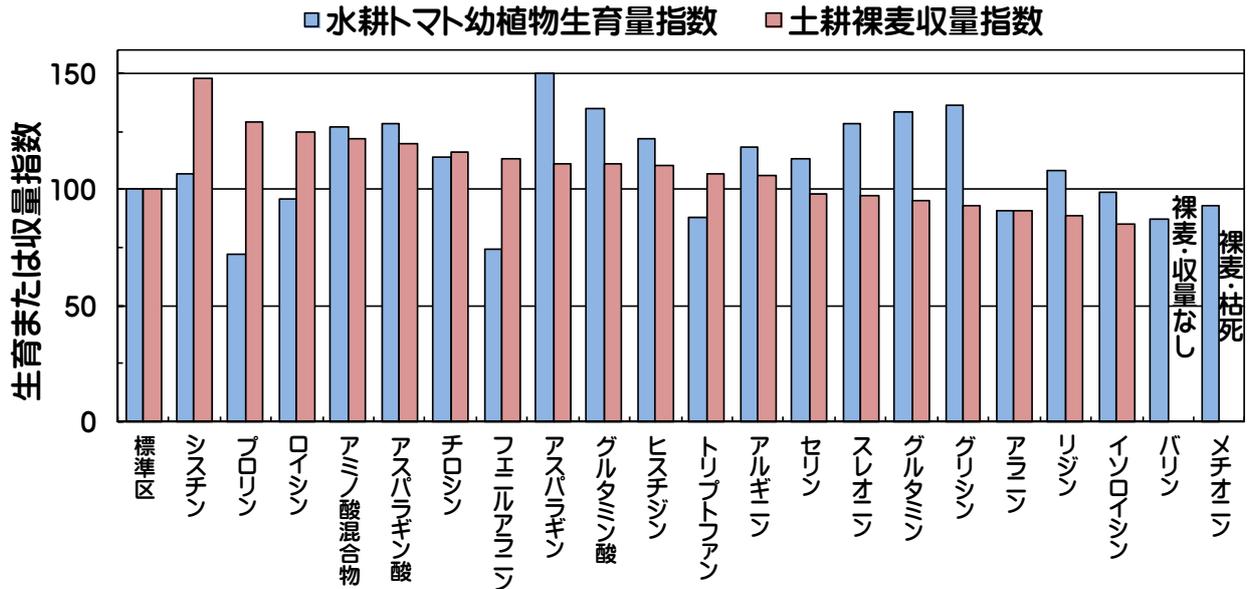


図25-1 トマトと裸麦に対するアミノ酸の効果

水耕トマト:1/2濃度園試処方水耕液(N濃度125ppm)にN濃度で2ppm相当量のアミノ酸を添加、トマト幼植物を栽培した(演者未発表、抜粋)
 土耕裸麦:硝酸ソーダを対照にアミノ酸を唯一の窒素源として施用した裸麦の子実収量、アミノ酸混合物はペプトン(森⁵²)より抜粋作図)

アミノ酸の施用効果については古くから報告されています^{14, 84)}が、図25-1は、水耕トマトと土耕裸麦に対するアミノ酸の施用効果をみたものです。青色のバーで示した結果は、1/2濃度園試処方水耕液(N125ppm)にNで2ppmに相当する濃度の単一アミノ酸を加え、トマト幼植物の生育をみた結果です。培養液は2日毎に全量更新し、アミノ酸の分解が最小となるよう考慮しました。アミノ酸の種類によって、アミノ酸無添加区と比べた生育に差を生じました。アミノ酸の種類によって、トマトの生育は促進あるいは抑制されました。慎ら⁹²⁾は、無機態窒素10ppmを含む培養液にアミノ酸を窒素で2ppm相当量添加して、水稻の無菌栽培を行いました。その結果、 γ -アミノ酪酸、グルタミン酸、グリシンは生育が変わらないか、促進され、フェニルアラニン、プロリン(環状アミノ酸)、メチオニン(含硫アミノ酸)では生育が抑制されました。慎らとは作物が異なっていますが、一致した結果でした。さらに、慎ら⁹³⁾は、水稻体内で、グルタミン酸は速やかに代謝されるが、プロリンは代謝されず蓄積されるという結果を得ました。以前から効果の高いアミノ酸として、プロリンが取り上げられることが多いと思いますが、再考した方が良いかもしれません。土壌にアミノ酸を施用した時のトマトによるアミノ酸の吸収率は、水稻より低く、吸収した窒素の数%であったとの報告があります⁸⁹⁾。少なくとも水耕栽培という条件において、トマトが経根吸収したアミノ酸がトマトの生理に何らかの影響を及ぼしている可能性があります。アミノ酸を植物の窒素源として捉えた場合の土壌存在量は無視しうる量です(後述)。水耕条件で得られた結果が土耕にも当てはまるかどうか疑問ですが、先の2つのスライドでみた量のアミノ酸が常在すれば何らかの効果が得られるかもしれません。

えんじ色のバーは、森⁵²⁾が土耕裸麦で行った結果です。単一アミノ酸を唯一の窒素源として施用し、裸麦が作付けられました。アミノ酸の種類によって硝酸ソーダに比較して増収する場合と、減収する場合があります。土壌に施用されたアミノ酸は、速やかに分解消失するようです⁸⁹⁾。植え付け時に、唯一の窒素源としてアミノ酸を土壌に施用、収穫期に調査した結果です。増収するアミノ酸もあれば、枯死するアミノ酸もありました。アミノ酸の直接的効果とみることは困難ですが、この結果をどう解釈すべきか？

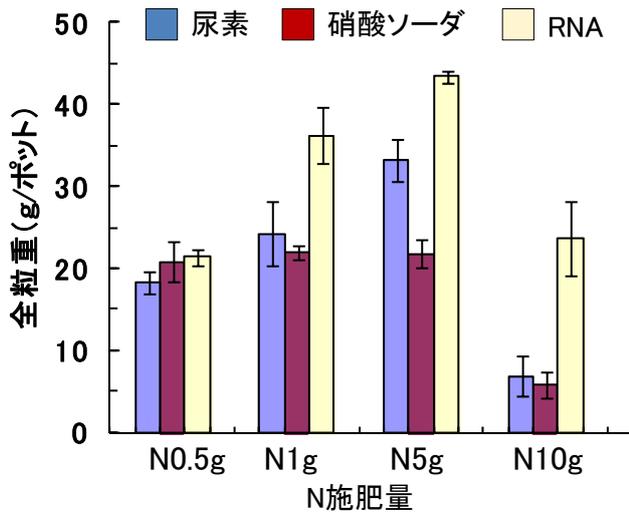


図26-1 核酸(RNA)の施用効果 (森⁵²⁾を改図)
 土壤に窒素源としてRNAを施用し、裸麦を作付け

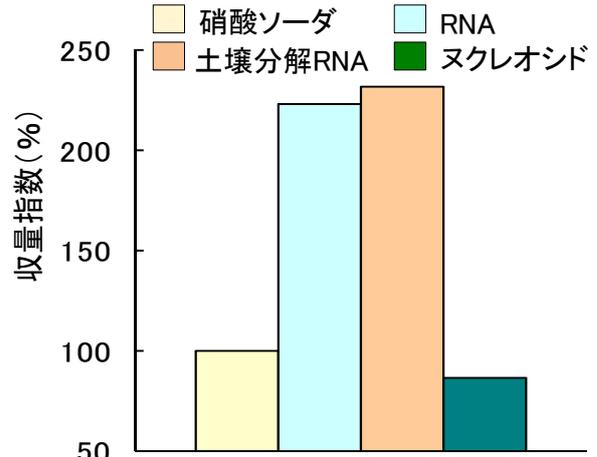


図26-2 核酸(RNA)分解物の施用効果 (森⁵²⁾を改図)
 土壤にRNAを施用し、直後に裸麦を植えた場合(RNA区)
 土壤中でRNAを一定期間分解させた後に裸麦を作付け(土壤分解RNA区)
 RNA構成成分であるヌクレオシド混合物を施用した区(ヌクレオシド区)

核酸は生物共通の遺伝に関与した物質です。核酸には大きく分けてデオキシリボ核酸(DNA)とリボ核酸(RNA)がありますが、古くから核酸関連物質が示す植物に対する生育促進効果等が報告されています^{14, 84, 85, 86)}。森⁵²⁾は、土耕の裸麦に窒素源としてRNAを与え、非常に興味深い結果を得ました。図26-1をみると、RNA区は尿素または硝酸ソーダに比較して非常に高い増収効果を示しています。土壤に施用されたRNAは微生物作用などで容易に分解するだろうと考えられます。そこで、森はRNA施用直後の土壤と、RNA施用後一定期間経過した土壤(土壤中ではRNAは分解していると考えられる)に裸麦を作付けました。RNAを構成するヌクレオシド混合物でも試験を行いました。ヌクレオシドはRNAを構成する部品です。RNAが土壤中では分解される過程でヌクレオシドが存在している可能性があります。図26-2を見ると、RNA施用直後、土壤中ではRNAが分解しているであろう時間経過後に作付けても高い増収効果を示しました。ところが、RNAを構成する部品であるヌクレオシドでは、全く効果が現れていません。森は、水耕実験でもRNAの顕著な肥効を確認しています¹⁴⁴⁾。土壤に施用されたRNAが長時間安定に存在していることは考えにくいことです。ところが森の結果では、ヌクレオシドでは効果がなく、RNA施用後一定期間培養した後に作付けても施用直後に作付けた場合と同等の収量が得られました。植物根はヘモグロビンのような巨大分子を取り込み、消化する機構をもっています^{2, 91)}。演者は水耕培養液にN2ppm相当量のRNAを添加すると、トマト幼植物の生育が約20%促進されました(未発表)。ヘモグロビンに比べれば遥かに小さなRNAを吸収・利用していることは否定できません。近年、無機態窒素より有機態窒素を優先的に吸収する植物の存在が指摘されていますが²⁾、このRNAで得られた結果は、植物による有機態窒素の吸収・利用という事柄では説明できないように思われます。この結果は大量のRNAが施用されています。普遍的に起こりうる現象かどうかは疑問ですが、興味深い結果です。

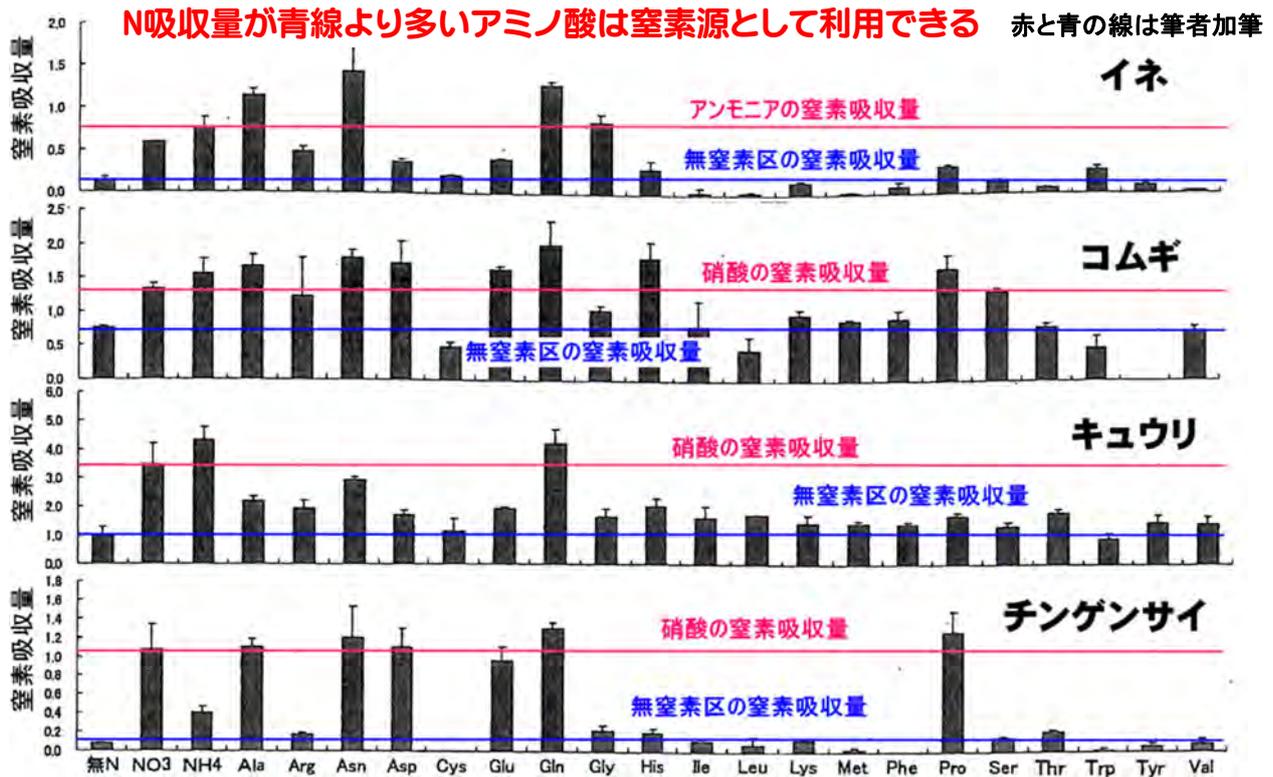


図27-1 アミノ酸を窒素源として生育した植物の窒素吸収量(二瓶³⁰)を改図)

二瓶^{30, 96})は、植物のアミノ酸吸収・代謝に関する詳細な研究を行いました。数種の植物を用いて、単一アミノ酸を窒素源として無菌栽培を行いました。その結果の一部を紹介します。植物の種類とアミノ酸の種類によって生育と窒素吸収量に差異が見られました。図27-1は、アミノ酸の種類を変えて、4種類の植物による窒素吸収量を調べた結果です。いくつかのアミノ酸は無機窒素区の吸収量を上回っています。植物はアミノ酸を窒素源として利用出来ると考えられます。グルタミンなどの一部のアミノ酸は無機態窒素より積極的に吸収しています。植物による有機態窒素吸収には作物間差があることが報告されています^{1, 2, 43, 44, 59})が、この結果でも、チンゲンサイは多くのアミノ酸を利用し、キュウリのアミノ酸利用能は低いと言えます。イネとコムギはアミノ酸の種類によって利用することができ、一部のアミノ酸は無機窒素より積極的に利用するものもありました。また、二瓶はいくつかの実験結果をもとにアミノ酸を直接吸収していることを強く示唆する結果を得ています。

武田¹⁹⁾の研究

- 無菌栽培で15種類のアミノ酸混合物を供試して、利用能を検討
- アミノ酸利用能あり：チンゲンサイ、ブロッコリー、ダイコン
- 利用能なし：コマツナ、キャベツ、リーフレタス、ホウレンソウ、ニンジン

森田ら⁵⁴⁾の研究

- 茶の水耕栽培で5種類のアミノ酸混合物を供試し、利用能を検討
- かなり積極的にアミノ酸を吸収、有効な窒素源となりうるが、土耕にあっては効果が大きく低下する可能性

Chapinら¹⁵²⁾の研究

- ツンドラ地帯に育つスゲは無機窒素よりアミノ酸態窒素を積極的に利用
極地においては低温のため窒素の無機化が非常に遅い

森ら^{53, 104, 105, 144)}の研究

- 水耕栽培裸麦は硝酸に比べグルタミン、アルギニンを多く吸収し、代謝された
- 水耕栽培イネで、無機窒素のみに比較して無機窒素+アルギニン(1:1)区は低温、寡照に対する補償効果が得られた
- 各種アミノ酸を唯一の窒素源として、イネ土耕栽培において、無機窒素同等収量のアミノ酸と大きく減収または収穫皆無のアミノ酸があった

武田¹⁹⁾は、無菌栽培でコマツナ、チンゲンサイ、キャベツ、ブロッコリー、リーフレタス、ホウレンソウ、ダイコン、ニンジンを供試して、土壤に存在する蛋白様物質(PEON、後述)のアミノ酸組成⁹⁷⁾をもとに15種類のアミノ酸混合物の利用能を検討しました。その結果、チンゲンサイ、ブロッコリー、ダイコンにアミノ酸利用能が認められました。

森田ら⁵⁴⁾は、グルタミン酸、グリシン、アラニン、リジン、アスパラギン酸のアミノ酸混合物を供試して、チャの水耕条件下でのアミノ酸吸収とチャ地上部への移行を検討しました。その結果、チャはかなり積極的にアミノ酸を利用していると考えられる結果が得られました。森田らはチャにとってアミノ酸は窒素栄養上有効な窒素源となり得る可能性があるとしながらも、土壤中でのアミノ酸の分解、微生物による取り込みなどの点から、実圃場にあつては効果が大きく低下する可能性があるとしています。

先にも述べたように、ツンドラ地帯に育つスゲは無機窒素よりアミノ酸態窒素を積極的に利用しています¹⁵²⁾。ツンドラ地帯では地温があまりにも低く、有機態窒素の無機化が極端に遅く、植物が吸収できる無機態窒素が極めて少ない窒素飢餓状態にあります。このような条件でスゲはアミノ酸を積極的に利用していますが、オオムギの生育はアミノ酸より無機窒素の方が良かったことが報告されています。

森ら^{53, 104, 105, 144)}は、水耕栽培によって裸麦を栽培し、硝酸に比べてグルタミン、アルギニンというアミノ酸を多く吸収し、植物体では代謝されていたことをみています。また、水耕栽培イネでは、無機態窒素のみの場合に比べて、無機態窒素+アルギニン(1:1)では低温や寡照に対する補償効果が得られたと報告しています。これらの結果から、森は吸収されやすい炭素源(エネルギー源)と窒素が同時に与えられたことで、光合成産物を根に送る量が減り、光合成産物が効率的に生育に利用されたと考えています。

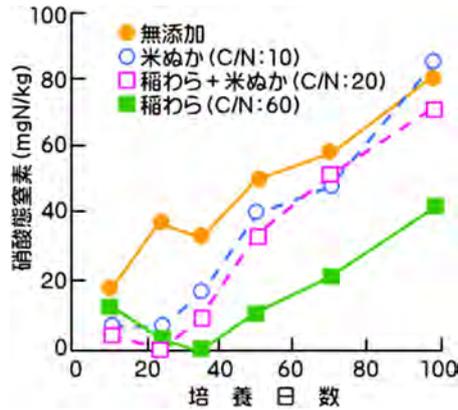
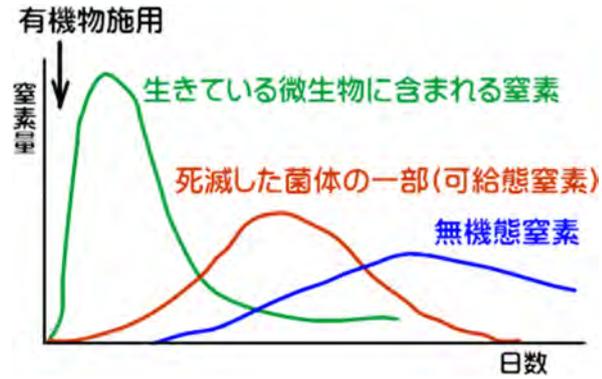
植物はアミノ酸を直接吸収できる その効果は限定された場面でのみ得られる？

- アミノ酸による生育改善、無機態窒素よりアミノ酸を積極的に吸収利用していると考えられる事例は、水耕栽培もしくは窒素無機化が極端に遅い極寒の地や大量の有機物によって絶え間なくアミノ酸が供給された場合に限られる
- 水耕・土耕を問わずアミノ酸の吸収利用率と施用効果はアミノ酸の種類と作物の種類によって異なる
- 土壤に施用されたアミノ酸の直接吸収利用率は非常に低い多くは土壤微生物への取り込み、無機化を経た無機態窒素で吸収されていた
- 有機態窒素を直接吸収していると考えられる植物においても、吸収窒素量に比べ土壤中アミノ酸態窒素量は少なすぎる

これまでみてきたように、植物はアミノ酸などの有機態窒素を直接利用できることは明らかです。条件によっては、無機態窒素より積極的に利用し、植物体内で有効に代謝されていること(アミノ酸の種類によっては代謝されず蓄積)も明らかです。有効な窒素源としての役割の他、少量のアミノ酸が生育を刺激する場合や低温・寡照などに対して報償効果を現すことで生育を改善する場合があります。ただし、植物の種類とアミノ酸の種類によって効果は異なっていると考えられます。

一方で中国農試⁸⁹⁾、山室ら^{61, 98~103)}による一連の研究や野菜茶試と山梨総農試の共同研究¹⁰⁴⁾等は、土壤に施用されたアミノ酸のうち、作物により直接吸収される割合は、非常に低く、一旦土壤微生物に取り込まれ、無機態窒素として吸収していることが示されました。水稻に比ベトマトでのアミノ酸吸収量はさらに少ないという結果でした。コムギを用いた試験では添加されたアミノ酸量の94%が根圏微生物によって吸収されたとの報告¹⁵³⁾もあります。また、土壤中無機態窒素量では説明のつかない、有機態窒素を積極的に利用していると考えられる場合においても、土壤中のアミノ酸態窒素量は、植物による窒素吸収量をカバー出来るだけの量ではないことは明らかです。

アミノ酸の効果が確認された事例は、水耕栽培における培養液にアミノ酸を添加した場合や、ツンドラ地帯など限られた条件で得られた結果です。また、橋本ら¹⁰⁸⁾によると、豚糞や牛糞の堆肥を10トン/10aを局所施肥した場合、葉菜類でアミノ酸濃度が上昇しました。土壤にアミノ酸を施用した場合の、アミノ酸の直接吸収率はかなり低いという結果が一般的だと考えられます。これらのことから、少なくとも土耕栽培において、アミノ酸が効果をあげる可能性は十分あると思いますが、普遍的とは言えません。有機質肥料とアミノ酸の効果を直接結びつけ、アミノ酸に対して過大な期待や評価は避けるべきではないでしょうか。

図30-1 有機物からの無機窒素の放出⁵⁹⁾図30-2 有機物が無機窒素として発現するまで²⁾

有機物→菌体→無機窒素の流れ

有機物の微生物分解＝微生物は有機物中の窒素と炭素を利用して増殖する
有機物がなくなるまで微生物の死滅と増殖を繰り返す

死滅(自己消化)した微生物からは直ぐには窒素は出てこない

微生物細胞壁残渣は形を変え、土壌のフェノール性物質やアルミニウム、鉄と結合し、土壌に安定的に貯留される

安定的に貯留された菌体由来物質はゆっくりと分解し、無機態窒素が放出される
これこそが可給態窒素(地力窒素)の本体である

植物が吸収している土壌中の有機態窒素化合物は何か？このことに迫る前に、土壌に有機物が施用されたとき、含まれる有機態窒素が無機化されるまでの様子を見てみましょう。図30-1はC/N比の異なる有機物が土壌に施用されたときの無機態窒素生成を経時的にみたものです。これは、第1章でみてきた無機化試験に他なりません。有機物は微生物分解を受けますが、その中の炭素(エネルギー源)と窒素を利用して微生物の菌体が構成されます。窒素が不足すると土壌中の無機態窒素まで利用するために「窒素飢餓」が起こります。有機物(エネルギー源)がなくなると、菌体自身が自己消化を起こし、最終的には無機態窒素として放出されます。C/N比が大きいほどエネルギー源が大きく、一定の窒素で増殖した微生物は死滅と増殖を繰り返し、維持され、無機態窒素の放出は遅れ、窒素飢餓状態が長く続くこととなります。窒素を含む有機物が土壌に施用されて放出される無機態窒素量は、同量の化学肥料(無機態窒素)を超えることはありません。

丸本¹¹⁾は、植物残渣を土壌に添加して半年間培養し、土壌固有のアミノ酸組成に近づくとともに微生物細胞壁のアミノ酸組成に極めて近似していたと報告しています。植物残渣に含まれる有機態窒素は、無機態窒素に移行する前に、一旦微生物菌体の一部として土壌に蓄えられます。いわゆる「可給態窒素」と言われているものです。ミュラーらは、有機物を施用すると微生物バイオマス(生きている微生物の存在量)が急激に増大し、その後バイオマスの減少(微生物の死滅)が起こっても、それに見合う無機態窒素は放出されてこなかったとしています²⁾。菌体が死滅し分解されても直ぐには無機化されることはなく、相当量の菌体残渣(分解されにくい細胞壁物質)が土壌に貯留されます。この貯留物は土壌中のアルミニウムや鉄と反応して、より安定化した形で蓄えられていると考えられています¹¹³⁾。そして、一部はゆっくりと分解され、無機態窒素として土壌に放出されます。その様子を概念的に示すと図30-2のようになります。

植物が土壌中から吸収する有機態窒素化合物体

||

土壌微生物の細胞壁由来の窒素化合物

PEON(ペオン)

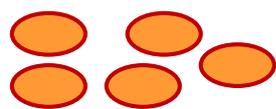
||

土壌の可給態窒素の本体

土壌に存在する有機態窒素化合物の大半はPEONである¹¹³⁾
すべての土壌で同一のPEONが存在する²⁾
どんな有機物もPEONに変換される²⁾
そもそも、土壌中の有機態窒素化合物は蛋白質だと考える
ことが間違っている²⁾

土壌の可給態窒素(地力窒素)の評価は、土壌を一定期間培養して土壌中に生成される無機態窒素量を測定して行われます。培養法は時間がかかるため、もっと簡便な方法がいくつか提案されています。その一つに樋口¹¹²⁾が開発したリン酸緩衝液抽出法があります。佐野⁹⁰⁾は、日本の農耕地土壌147点について様々な抽出法を検討し、このリン酸緩衝液抽出法が窒素の無機化を評価する方法として好適であると述べています。この、リン酸緩衝液で抽出される可給態窒素の本体と考えられる有機態窒素は、PEON(ペオン)と呼ばれています²⁾。PEONとは、リン酸緩衝液で抽出される有機態窒素：Phosphate-buffer Extractable Organic Nitrogenの頭文字をとってPEONと称されています。本章の冒頭、スライド21でみた土壌中の蛋白様窒素とは、リン酸緩衝液で抽出される有機態窒素(PEON)の量を蛋白質に換算した数値です。スライド21でみた菜種油かす施用土壌において、植物が土壌中から有機態窒素を吸収していると考えられる2つの例では、土壌中に窒素吸収量を支えるに足るアミノ酸量は存在していませんでした。有機態窒素を好んで吸収する植物が窒素栄養として利用していたのは、このPEONであることが証明されています。PEONが根圏で遊離した後、根圏微生物によって無機化されたことで吸収された可能性はないのか？無機態で吸収されるなら、化学肥料によって生育が促進されるはずですが、スライド21でみたロザムステッドでのテンサイの例やハウレンソウの例では、そうではありませんでした。山縣ら¹¹⁴⁾は、有機態窒素に高い反応性を示すイネの根圏のプロテアーゼ(蛋白分解酵素)活性は、有機態窒素に反応しないトウモロコシより低かったと報告しています。有機物施用土壌で栽培したハウレンソウの導管液にPEONが検出されたこと、抗PEON抗体に導管液が明瞭に反応したこと、精製PEON溶液で栽培したチンゲンサイの主根断面を抗PEON抗体で染色し、顕微鏡で観察したところPEONもしくはその断片が根の表皮に存在しただけではなく、細胞間隙を通して根内に取り込まれている様子が観察されました。チンゲンサイに精製PEONだけを与え、無機態窒素より生育が勝っていました²⁾。以上のことからPEONは植物に直接吸収されていると考えられています²⁾。

土壤に有機物が施用される



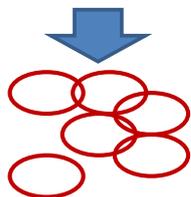
有機物を分解して
微生物が増殖



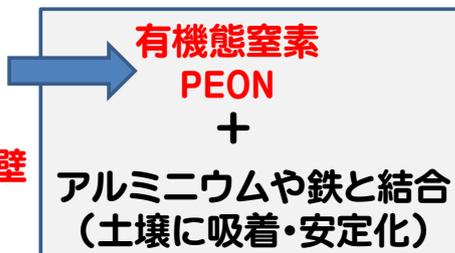
細胞質の分解は速い



無機態窒素



細菌*の細胞壁



ゆっくりと無機化

無機態窒素

植物が直接吸収

PEONとは?

細菌細胞壁に由来する

平均分子量約8,000ダルトンの均質な物質
(600~800ダルトンの有機物集合体?)

N含有率=約2%、C/N=約14

蛋白質(ペプチド)・アミノ糖を含む

根分泌有機酸?

根細胞壁の金属キレート能?

による土壤からの切り離し

エンドサイトーシスによる細胞内
への取り込み?

*細菌とともに古細菌(アーキア)の可能性も²⁾
古細菌については巻末解説(スライド55)参照

図32-1 リン酸緩衝液抽出有機態窒素(PEON)の生成と植物による吸収(模式図)

スライド31でも触れましたが、土壤の可給態窒素の本体であり、植物が土壤中から吸収する有機態窒素化合物であるPEONは、土壤微生物の細胞壁に由来し、土壤中で細菌の力を借りて合成される物質です。微生物の中でも細菌(細菌と古細菌)に由来し、糸状菌(カビ)には由来していません²⁾。死滅した微生物の細胞質は比較的速く分解し、土壤に無機態窒素を供給しますが、残された細胞壁は簡単には分解されません。土壤に残った細胞壁が変化して、PEONになると考えられています。PEONのアミノ酸組成やグルコサミンという物質を含むことから、微生物の細胞壁由来であることは間違いないと考えられています^{115, 2)}。窒素を約2%含み、C/N比は約14、蛋白質、グルコサミンやガラクトサンなどのアミノ糖を含む、平均分子量約8,000ダルトン(または600~800ダルトンの有機物集合体)の化合物とされています²⁾。土壤中ではアルミニウムや鉄と結合することで土壤に吸着、安定的に存在していると考えられています¹¹³⁾。PEONはゆっくりと無機化することで地力窒素としての機能を担っています。有機態窒素に反応する植物は、根の出す有機酸や根細胞壁の金属キレート能によってアルミニウムや鉄と結びつき土壤に吸着されていたPEONを引き離し、吸収すると考えられています^{2, 116)}。植物はエンドサイトーシス(食作用)と呼ばれる、巨大分子(分子量65,000ダルトンのヘモグロビン)を根に取り込む機構が分かっています^{2, 91)}。また、植物の細胞壁は、分子量6~50万ダルトンの物質なら通過できると言われています²⁾。分子量8,000ダルトンのPEONが根の細胞壁を通して細胞膜内へ吸収されることは理論上可能です。土壤にどのような種類の有機物が添加されても、施用後2週間で土壤には分子量8,000ダルトンの均質な蛋白様窒素化合物が生成されます²⁾。また、国内外の25種類の土壤から、分子量8,000ダルトンの単一の物質が検出されました²⁾。

弊社¹⁷⁾で行った試験では、ゼオライトを加えたぼかし肥においても、発酵20日目に、全窒素の6.4%に相当する量のリン酸緩衝液抽出有機態窒素が生成され、アミノ酸態窒素は、全窒素の0.2%に過ぎませんでした。

*エンドサイトーシスは植物など真核生物だけが有する機能、細菌と古細菌にはその機能はない¹⁴³⁾。

第3章 有機質肥料と土壤環境 土壤団粒を中心に

第3章 有機質肥料と土壤環境—土壤団粒を中心に

本章では、まず有機質肥料による土壤微生物増殖促進効果について簡単にみた後、有機質肥料の施用による土壤団粒の形成とそれによる土壤水分の安定について考えます。土壤団粒は、畑作物の生育に非常に重要な要件であるとともに、作物品質の向上に重要な働きをしています。

演者は、有機質肥料の施用効果において、土壤団粒形成促進効果の果たす役割が非常に大きいと考えています。

本章の最後には、有機質肥料に含まれる微量元素について簡単に記述しています。

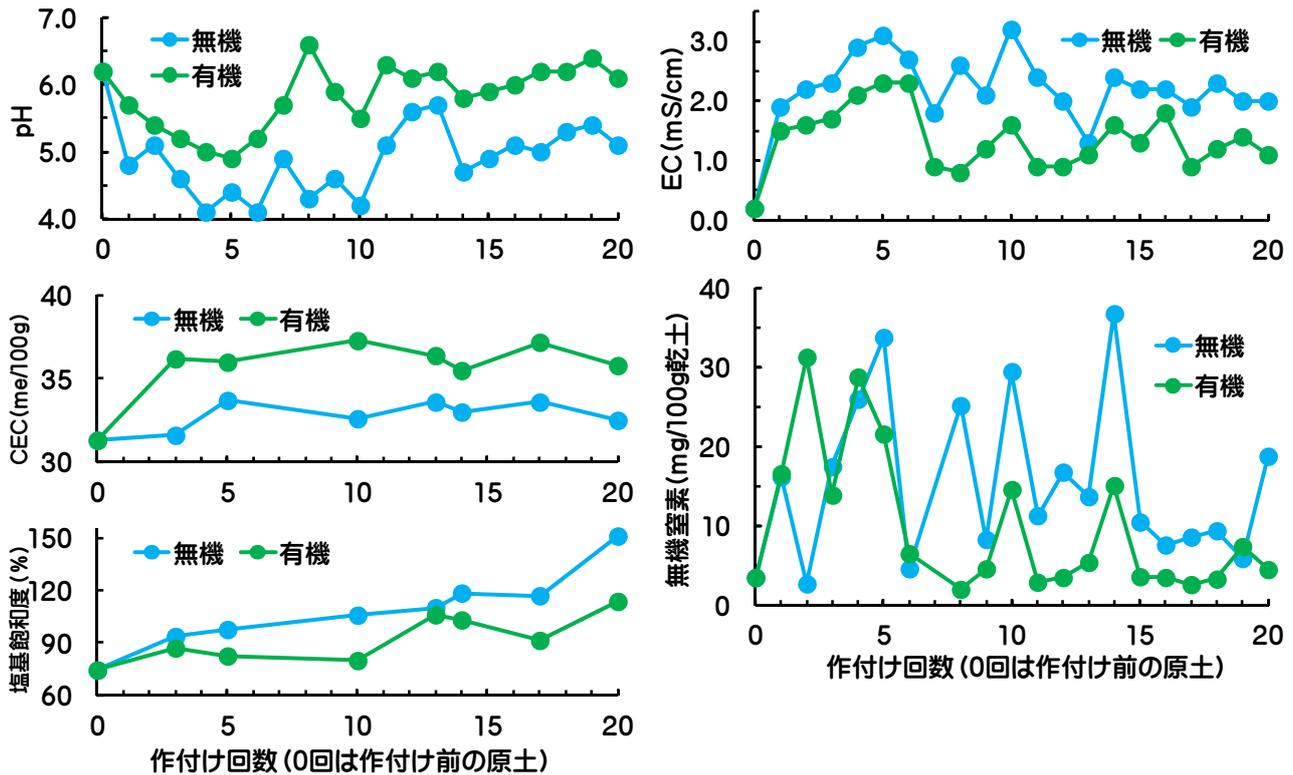
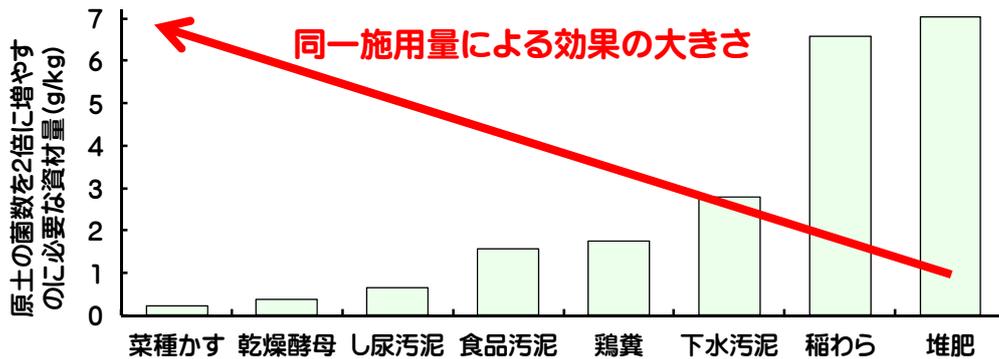
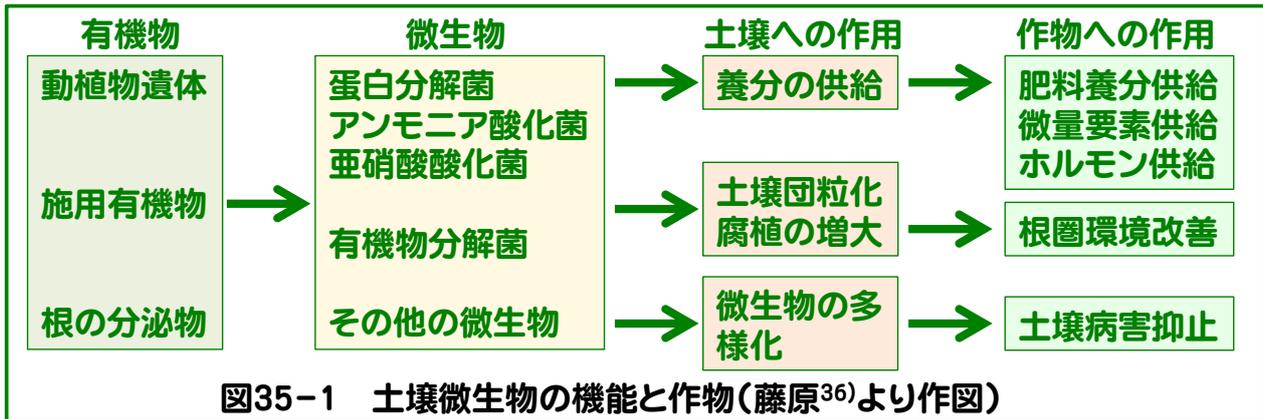


図34-1 有機質肥料連用ハウスの土壌化学性変化(スライド15栽培跡地土壌)(米澤⁷⁰⁾)

先にスライド15で紹介した米澤⁷⁰⁾によるハウスでの20作に及ぶ有機質肥料と無機肥料の連用試験土壌の化学性の変化を図34-1に示しました。無機区の土壌pHが有機区より常に低く推移し、電気伝導率(EC)は高く推移しています。無機区は硝酸含量が常に高く、pHの低下とECの上昇をきたしたと考えられます。pHの低下、ECの上昇は無機、有機ともにみられます。これは施肥の影響と考えられますが、有機質肥料区において作付け前原土との差が小さくなっています。土壌の無機態窒素含量は、その時々で変化が大きく、長期的にみた変動は捉えにくいと思われませんが、概ね有機質肥料区が低く推移しており、電気伝導率 (EC) との対応がみてとれます。最も注目できるのは、陽イオン交換容量 (CEC) が有機質肥料区で常に高く推移していることです。無機肥料区は、20作目まで原土と比べて大きな変化はしていません。有機質肥料区は、連用3作目から無機肥料区より高くなり、以降20作目まで維持されています。CECは、土壌のもつ化学的緩衝能・保肥力の指標となるものですから、特に塩類集積を起こしやすい施設栽培における意義は大きいと考えられます。一方で、交換性塩基類(交換性石灰、苦土、加里)の変化ははっきりしません。有機質肥料区のCECが無機肥料区より高く推移したことにより、塩基飽和度でみると無機肥料区がわずかに高く推移していました。



誰しもが知っているように土壌中には無数の微生物が生息しています。作物生育に及ぼす土壤微生物の影響は多岐に渡っています。図35-1は有機物と土壤微生物の関係、土壤微生物の作物に対する作用をまとめたものです³⁶⁾。植物遺体や根分泌物、有機物などによって土壤微生物は支えられ、植物に様々な影響を及ぼしていることが分かります。土壤微生物は土壌中における物質循環の担い手として、植物に対する養分供給、環境などに大きく関与しています。作物生育の安定に欠かすことの出来ない団粒生成は、微生物の出す粘物質が“のり”の役目を果たし、大きな団粒（マクロ団粒）の生成にはカビの菌糸が粒子を絡める作用をしています³⁾。土壤微生物の多様化は土壤病害の抑制に寄与します²⁹⁾。特に、植物根圏には多数の微生物が生息しています。有機質肥料は、微生物の力で植物の栄養となることが出来ます。同時に有機質肥料は微生物の餌として土壤微生物の生存を支えています。有機質肥料を施すと、土壤微生物を増やすことは古くから研究されてきました。その中から一つだけ紹介します。図35-2³¹⁾は土壌から発生する熱を計測することで有機質肥料・資材の土壤微生物増殖に及ぼす影響を調べた結果です。微生物数を原土の2倍に増やすために必要な肥料・資材の量を算出すると、鶏糞なら菜種油かすの7倍以上、堆肥なら30倍の量が必要であることが分かります。菜種油かすを約70kg施用することで、堆肥2トンと同じ微生物増殖効果が得られる計算になります。有機質肥料は、堆肥などに比べて非常に高い微生物増殖能力を有していると言えます。ただし、堆肥類に比べて土壌中で分解が速い有機質肥料は、微生物に対する基質供給が速効性である反面、堆肥類に比べて持続効果は弱いと考えられます。



図36-1 根の廻りの土壤
団粒
(土肥学会編:土の絵本、①
土とあそぼう、p2-3、農文
協⁸⁰⁾より引用)

根の廻りに着いた丸い土は何?
粘土や有機物の粒子が、だんだん大きな粒
になったもの。微生物が接着剤の役目をし
たり、カビや細根が締め付けたりして出来る
団粒と呼ばれる構造

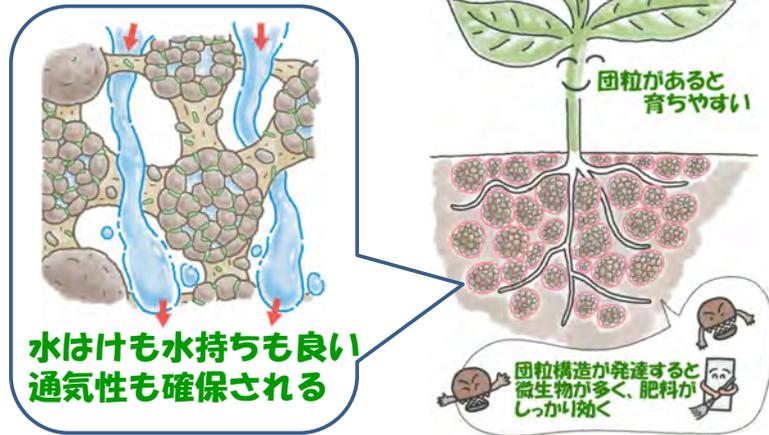


図36-2 土壤団粒が支える作物生育(現代農業、
2016年12月号、p70-71⁷⁹⁾を改図)

畑土壤では、団粒構造と呼ばれる特殊な構造が形成されます。土壤団粒は、作物の健全な生育に欠くことの出来ない重要な土壤構造の一つです。有機質肥料は、団粒の発達に寄与していますが、そのことを考える前に「団粒」とは何か、団粒の役割について簡単にみておきましょう。

土壤団粒とは、土壤粒子が結合されて出来る土壤粒子の集合体であり、様々な大きさを持っています³⁾。団粒は大きなものでは肉眼で見ることできますが、一般的には肉眼で団粒を見分けるのは難しいことです³⁾。団粒は一見土の塊のように見えますが、土塊とは大きく異なっています。土塊は大量の水で洗うと、直ぐに壊れてしまいます。団粒は水中で振盪しても簡単に壊れることはありません(耐水性団粒)。

植物が生育するためには、言うまでもなく水が必要です。土壤に適度な水が蓄えられなければなりません。同時に根が呼吸するための酸素が必要です。土壤に団粒が形成されると、水を保持する微細な孔隙と余分な水の排水と空気の流通を行う粗大な孔隙が形成されます。これによって、土壤は水と空気の供給という相反する役目を両立することが出来るのです。水稻は地上部から根に酸素を送る構造が出来ているため、水を張った水田土壤でも窒息しないで生育することが出来ます。畑作物は根が呼吸できないと枯れてしまいます。畑作農業を行うためには土壤団粒が不可欠であると言えます。

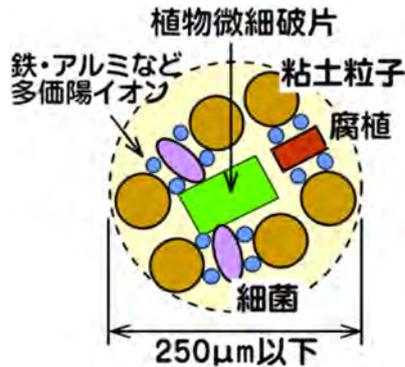


図37-1 ミクロ団粒(直径0.25mm以下)粘土粒子、細菌、腐植、植物破片等多価陽イオンと微生物の粘物質によって結合

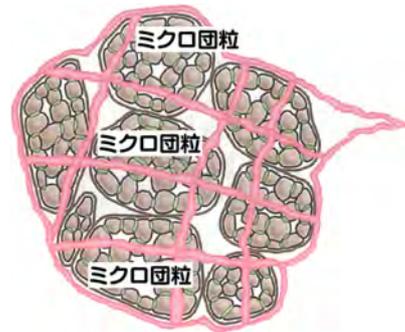


図37-2 マクロ団粒(直径0.25mm~数mm)ミクロ団粒と植物遺体断片がカビの菌糸や植物の細根によって絡め合わされる(現代農業2016年12月号p73⁷⁹⁾を改図)

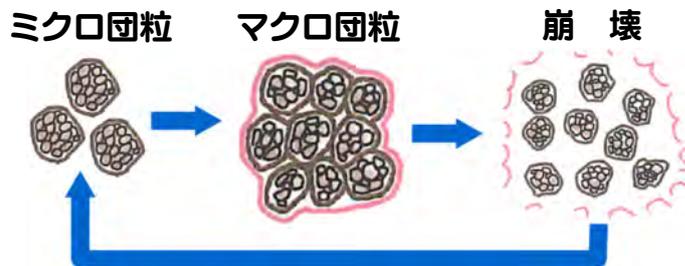


図37-3 形成と崩壊を繰り返すマクロ団粒(現代農業2016年12月号p73⁷⁹⁾を改図)

土壌団粒はどうやって形成されるのかについて簡単に解説します。土壌は、様々な大きさの粒子から成り立っており、個々の粒子の組成も多様です。こうした粒子がただ混在している訳ではありません。一定の法則性をもって結合し、集合体を形成しています。これがすなわち団粒なのです。団粒は一般的には微少な団粒(ミクロ団粒)ともう少し大きな団粒(マクロ団粒)の二つに大別されます。ミクロ団粒は、大きさ $250\mu\text{m}$ (0.25mm)より小さな団粒、それより大きな団粒をマクロ団粒と呼びます。ミクロ団粒は、粘土粒子、細菌細胞、腐植、微細な植物破片が、多糖類の粘物質や水和酸化物によって結合されて出来ています。実際には、微少な粘土粒子どうしの凝集体、粘土粒子に周りを取り囲まれた細菌細胞や粘土粒子と腐植の複合体といった $20\mu\text{m}$ (0.02mm)以下の大きさの粒子が基本単位となり、これらと植物破片とが主に微生物が作り出す粘物質によって結合されていると考えられています。一方マクロ団粒は、一般的にミクロ団粒と植物遺体の断片が、糸状菌菌糸や植物根によって絡み合わされることで形成されています。マクロ団粒内の有機物分解に伴ってミクロ団粒の形成も起こっています。団粒は、その形成において土壌微生物バイオマスと微生物代謝産物の役割が大きく、有機物分解とリンクして形成と崩壊が繰り返される動的な存在であると考えられています。糸状菌(カビ)がマクロ団粒の形成に大きく関わっていると考えられています。易分解性有機物(例えば有機質肥料)を施用すると微生物分解が急速に進み、微生物代謝産物の生産量が多く、マクロ団粒の高い形成効果が得られます。しかし、易分解性有機物の供給が途絶えるとマクロ団粒の崩壊が始まります。これに対して、比較的難分解性の有機物を施用した場合には微生物の増殖が小さく代謝産物の生産量も少ないため、マクロ団粒の形成効果は小さくなりますが、微生物への基質供給が継続し、マクロ団粒も長期安定すると考えられています^{3, 72)}。米澤⁷⁰⁾は、有機質肥料の多面的研究において、土壌の粘土鉱物や腐植酸の効果は小さく、微生物の役割が大きいことを指摘しています。

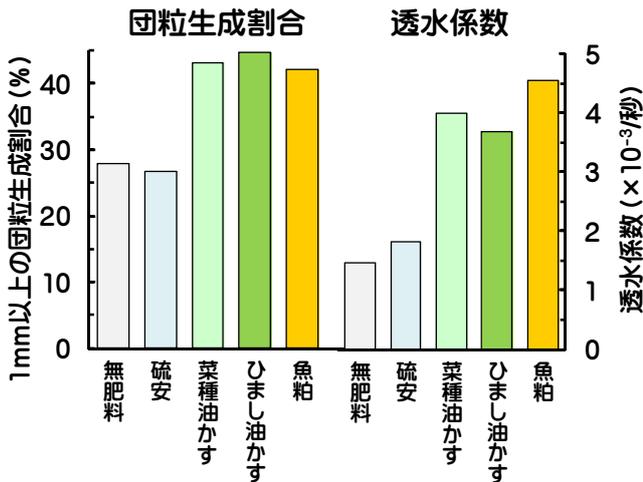


図38-1 有機質肥料の土壌団粒生成促進と透水性改善効果
Nで20mg/100g相当量を施用、3週間培養後(米澤⁷⁰⁾より作図)

**菜種油かす400kg/10a必要
100kg/10a以上で効果期待
(塩谷・文献14)**

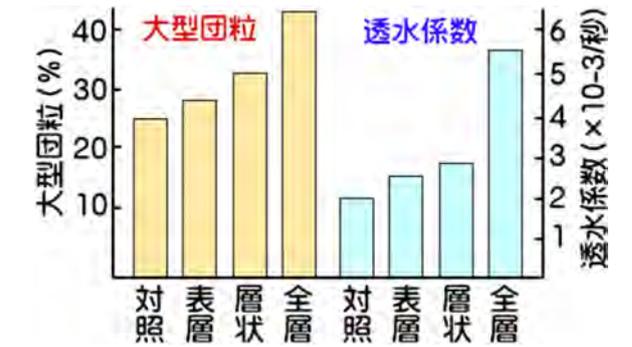


図38-2 菜種油かす施肥位置と団粒生成(米澤⁷⁰⁾より作図)

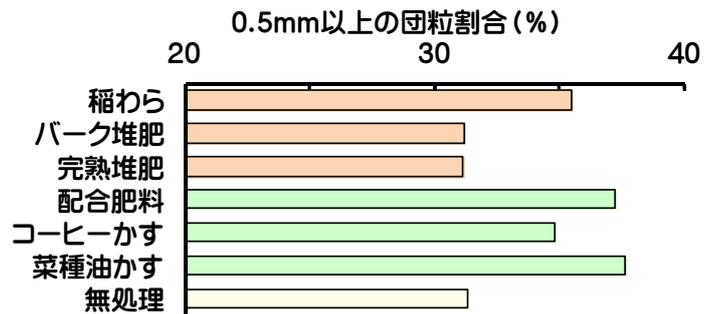


図38-3 有機質肥料・資材の土壌団粒生成効果(乾物2g/kg土壌、容水量の50%) (小野⁷⁾より作図)

図38-1では有機質肥料の施用によって大型団粒の生成が促進され、水はけの指標である透水性も改善されています⁷⁰⁾。土壌が団粒化することによって、土壌の排水性・通気性とともにより水持ちも良くなります。団粒内部に保持された水は、重力や乾燥によって失われにくく、土壌水分状態が安定します。土壌水分が低く安定することは、作物品質(味)向上に極めて重要な要件となります^{50, 51)}。土壌水分と品質について詳しいことは後述します。

米澤⁷⁰⁾は、施用する量は多いほど団粒化が促進されること、表層や層状施用では効果が小さく、全層施用で効果を発揮すること(図39-2)を報告しています。ミクロ団粒(粒径0.25mm以下)の割合が低下し、粒径1mm以上の大型団粒の割合が顕著に増加することを示しました。また、菜種油かす施用による団粒形成は、施用後2週間後にピークとなり、その後漸減するが、施用後5週間後も大型団粒が高く維持されていました。全農の塩谷¹⁴⁾は、この試験と同じ効果を得るためには、菜種油かす400kg/10a程度必要だが、100kg以上でも、ある程度の効果は期待出来ると述べています。

図38-3⁷⁾は有機質肥料と資材の団粒生成効果を比較したものです。菜種油かすなどの有機質肥料は速効的に団粒生成を助けますが、堆肥は施用後短時間では効果が見られませんでした。先のスライドでも解説したように、有機質肥料などの易分解性有機物の施用は、短期間にマクロ団粒の形成を促進する反面、易分解性有機物の供給が途絶えるとマクロ団粒の崩壊が始まります。一方堆肥など比較的難分解性の有機物は、マクロ団粒の形成効果は小さくなりますが、微生物への基質供給が維持され、団粒は長期安定すると考えられています。しかし、有機質肥料の継続的施用は、団粒構造の発達と維持効果が期待されます(スライド15、図15-1)。

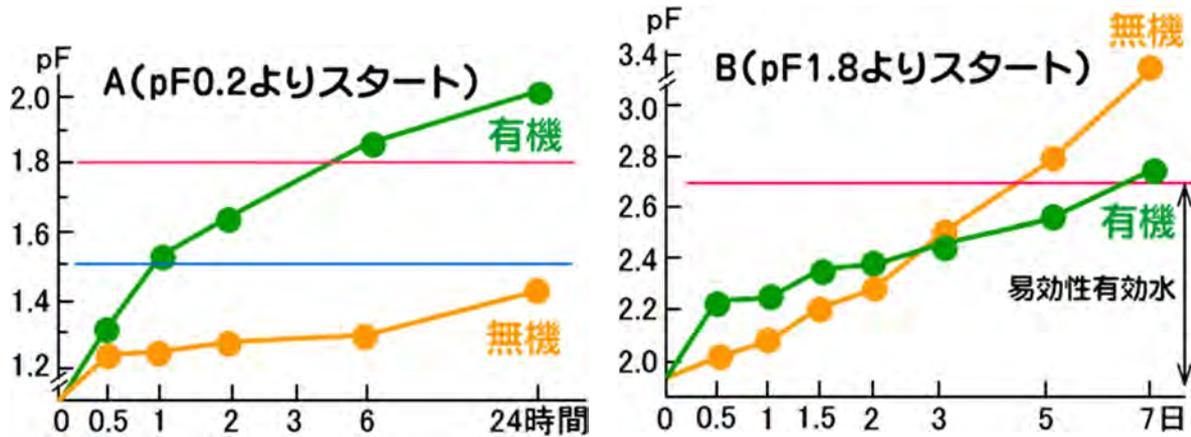


図39-1 メロン栽培土壤の灌水後の水分変化(米澤1982⁷⁰⁾を改図)
無機区：硫安、有機区：菜種油かす+魚かす+蒸製骨粉

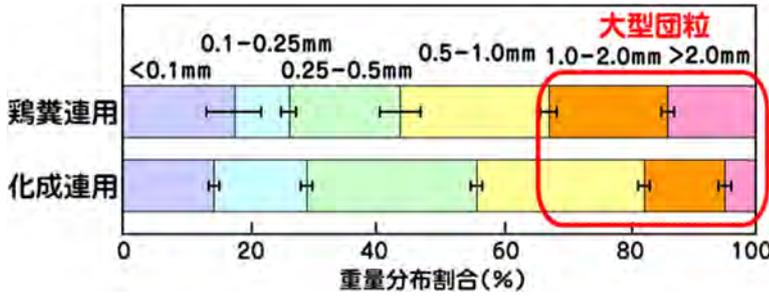
Aは、灌水を行って、ほぼ飽和容水量であるpF0.2で灌水を中止した。
有機区は灌水後1時間でpF1.5に達し、6時間後には好適水分状態であるpF1.8に達している。一方無機区は24時間後でもpF1.4で過湿状態である。

Bは、好適水分状態であるpF1.8に保持してから灌水を中止した。
有機区は7日経過後でもpF2.8を維持しているが、無機区は5日間でpF2.8に達し、7日後には初期しおれ点(pF3.8)に近いpF3.4に達している。

図39-1A、Bでは、静岡県磐田市の水田土壌を用いて、1株当たり20kg(乾土)に窒素30g相当の施肥後、メロン栽培を行いました。有機質肥料施用土壌では土壤水分状態が安定していることが示されています⁷⁰⁾。Aは、pF0.2(ほぼ飽和容水量)まで灌水を行い、土壤水分の経時変化を見ました。有機区は灌水後1時間でpF1.5まで土壤水分が減少し、6時間後には作物にとって好適水分であるpF1.8に達しました。一方無機区は、24時間経過後でもpF1.4という過湿状態を示しています。Bは、pF1.8という好適水分状態から始め、以後灌水を中断しました。有機区は1週間後でもpF2.8を維持しています。一方無機区は、5日後にpF2.8、1週間経過後には初期しおれ点(pF3.8)に近いpF3.4まで乾燥していました。この試験で、有機質肥料区はpF2.8が恒常的に維持されました。pF2.8という値は、ゆるい水ストレスであり、収穫されたメロンは糖含量が高く、保存性にも優れていました⁵¹⁾。この結果は、有機質肥料の施用によって土壤水分状態が安定し、それによって作物品質が向上されることを示した意義あるデータだと考えられます。

pF(水分張力を表す単位の一つ)⁸¹⁾

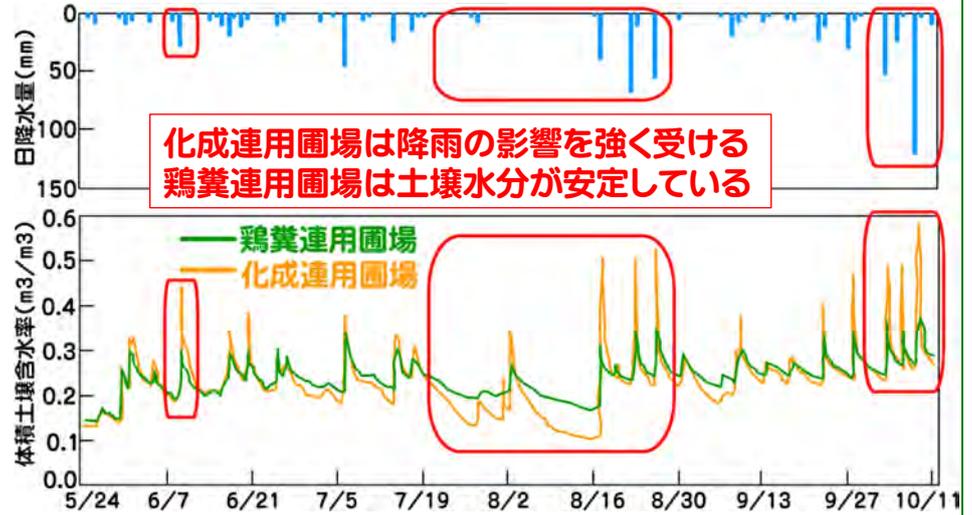
水が土壤に吸着・保持されている強さの程度を表す。土壤の水分状態を示す数値であり、含水量を示すものではない。数値が小さいほど過湿な状態、数値が大きいほど乾燥した状態にある。黒ぼく土pF1.8以下、非黒ぼく土pF1.5の水は重力によって土壤孔隙から排水される水であり、過剰水とも言う。過剰水は作物に湿害を招く要因となる。黒ぼく土pF1.8、非黒ぼく土pF1.5からpF2.7~3.0までの水を易効性有効水といい、植物が容易に吸収できる水。植物はpF1.5~4.2までの水を吸収することができるが、pF3.8を初期しおれ点、pF4.2を永久しおれ点と呼ぶ。飽和容水量のときpF0、圃場容水量(十分な降雨や灌漑の後1~2日経過し重力水が排水された状態)のとき黒ぼく土pF1.8(非黒ぼく土pF1.5)、105℃で完全に乾燥した状態のときpF7.0。



乾燥鶏糞200kg/10aを25年連用
平均子実収量300kg/10a
(全国平均150kg/10a)

図40-1 ダイズ畑の団粒サイズ分布
金田ら2018¹³⁴⁾を改図

排水性と保水性
の向上と維持
地力窒素の維持
土壌pHの維持
根粒活性の向上
↓
生育改善
高い収量の維持



化成連用圃場は降雨の影響を強く受ける
鶏糞連用圃場は土壌水分が安定している

図40-2 降雨とダイズ畑の土壌水分推移(金田ら2018¹³⁴⁾を改図)

秋田県大館市で、乾燥鶏糞200kg/10a(N8.0-P6.0-K3.4kg/10a)を連用し、25年間ダイズを連作しても300kg/10aを維持している農家事例を紹介します。ダイズの全国平均収量は150kg/10a程度で、栽培面積の93%は水田転換畑です¹³⁵⁾。田畑輪換による地力低下と排水性不良が収量低下要因とされています^{136, 137)}。乾燥鶏糞ペレットを肥料とし、25年間高い収量を維持している圃場と近隣の25年間化成肥料を連用している圃場の比較調査が行われました¹³⁴⁾。図40-1には鶏糞連用圃場(以下鶏糞区)と化成肥料連用圃場(以下化成区)における団粒サイズ別分布割合を示しました。赤線で囲った、粒径1mm以上の大型団粒の割合が鶏糞区で高くなっています。また、鶏糞区では液相率と気相率が高まり、孔隙率の増加が認められました。図40-2に示したように化成区では天候により土壌水分が大きく変動していますが、鶏糞区では、降雨の有無による変動の幅が低く抑えられ、土壌水分状態が安定しています。異なる大きさの団粒が排水性と保水性の機能を高めたと考えられます。土壌pHも化成区や隣接水田より高く維持されていました。化成区では3葉期から開花期にかけて葉色の低下が見られたのに対し、鶏糞区では葉色の低下は見られませんでした。隣接する水田土壌の全窒素含有率が0.25%に対し、鶏糞区0.37%、化成区0.17%でした。開花期以降の乾物重も鶏糞区で有意に増加しました。ダイズは短期間に大量の窒素を吸収、収量が高いほど根粒による固定窒素の寄与率が低下し、土壌から吸収された窒素に依存する割合が高く、増収の難しい作物とされています¹²⁹⁾。図40-3のように鶏糞区において窒素固定活性、根の窒素吸収活性ともに高くなる傾向が認められました。有原¹²⁹⁾は、根粒を活かす条件として根圏土壌の通気性と好適な土壌水分をあげています。鶏糞連用によって、地力窒素が維持されたこと、団粒構造の発達により土壌の排水性と保水性が高まったことにより、ダイズの生育、根粒活性の双方に好影響が得られたと考えられます。

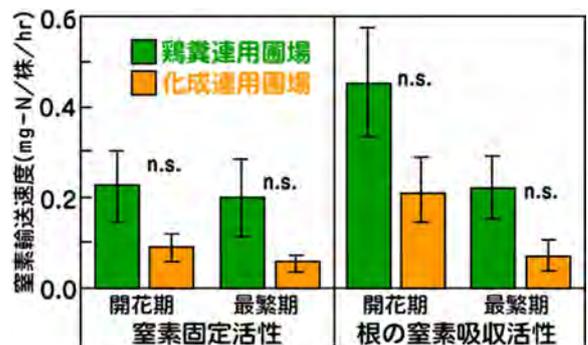


図40-3 ダイズの窒素固定活性と根窒素吸収活性(金田ら2018¹³⁴⁾)

表41-1 有機質肥料に含有する微量元素分析例

肥料の名称	CaO %	MgO %	B ₂ O ₃ ppm	MnO ppm	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Na %	出 展	備 考
蒸製骨粉	30.7				266	90	9		1, 2	
魚かす	11.2				284	80	11	0.65	1, 2	
蒸製皮革粉					852	19	13		1	
肉かす	2.8				504	42	7		1, 2	
カニ殻	18.2				704	58	24		1	
さなぎ粕						199			2	
米ぬか油かす	1.4	3.18	23	3	169	68	2		1	
大豆油かす		0.76	100	41	115	52	15		1	
菜種油かす		1.06	58	66	167	90	9		1	
綿実油かす		0.93	52	18	159	68	27		1	
ひまし油かす		1.49	52	59	484	64	42		1	
し尿汚泥肥料	0.1	0.56				630	130		2	和歌山市
海藻粉末		1.47	145	208	1,709				2	特殊肥料

出展 1:名古屋肥検(1964~1965分析)、 2:清和肥料工業株式会社(1991分析)

かなり古いデータで恐縮ですが、表41-1に有機質肥料に含有する微量元素の分析例を示しました。マグネシウム（苦土）は、施肥量によっては、施用効果が期待される量が含まれています。ほう素やマンガンについて直接的な施用効果が得られるかどうかは疑問ですが、鉄、亜鉛、銅はそこそこの量が含まれています。近年、化成肥料の連用による土壌の微量元素供給能力の低下やリン酸の過剰によって、目だった欠亡症は認められないまでも、潜在的な欠乏による品質の低下などが問題視されています。

有機質肥料に含有する微量元素は、それほど高い濃度ではありません。もちろん欠亡土壌を改善する効果は期待できないと思いますが、潜在的欠亡を防ぎ、品質の改善などに期待が持てると思います。

第4章 有機質肥料と作物品質 作物品質向上メカニズム

第4章 有機質肥料と作物品質—作物品質向上メカニズム

本章では、有機質肥料の施用による作物品質向上メカニズムについて考えていきます。作物体内成分と作物の内部品質や収穫物の保存性との関係、土壌水分の低位安定が作物の生理に何をもたらし、それが作物品質に如何に関係しているかについて考えます。

表43-1 有機質肥料・資材の施用と品質 ()内の番号は巻末の引用文献番号

トマト	外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)、硬さ・そしゃく性改善(64)、糖・ビタミンC多く、官能で果皮色と旨味が良い(37) 果色・糖・酸・ビタミンC・関連なし(37)、果房と収穫年によって食味は変動(63)、果房によって窒素含量変化(50)
ミニトマト	上物収量増、屈折糖度・ビタミンC増加(17)、ビタミンC・リコピン増加・エチレン生成減少(47)
ナス	外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)
キュウリ	外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)
エンドウ	無機成分・ビタミンC・官能試験で差なし(37)
エダマメ	ビタミンC含量に差なし(9)
ペッパー	無機成分・ビタミンC・官能試験で差なし(37)
イチゴ	日持ち性・香味で差あり(37)、収量増・上物果実増加(70)
メロン	土壌水分安定、糖度増・保存性改善(70, 51)、蛋白低・全糖増・ビタミンC増(148)、ビタミンC・β-カロテン増(51) 水溶性ペクチン増(70)、外観改善・糖度増・全糖増・遊離アミノ酸変化なし(17)、遊離アミノ酸減少(37)
レタス	糖含量高く貯蔵性向上(37)、外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)、還元糖増加・硝酸低減(141) 無機成分・ビタミンC・官能試験で差なし(37)
ホウレンソウ	官能試験と日持ち性に差あり(37)、還元糖増加・硝酸低減(141)、有機十石膏でビタミンC増(9) ビタミンC差なし・β-カロテン減少・アミノ酸増加(有機栽培・慣行栽培各16圃場の比較)(46) 水分・ビタミンC・糖分・硝酸・シュウ酸・日持ち性と関連なし(37)、食味と関連なし(37)
キャベツ	増収(37)、還元糖増加・硝酸低減(37)、外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)、収量低下・全糖含量増(58)
コマツナ	保存性向上、ビタミンC増加(70)
チンゲンサイ	還元糖増加、硝酸低減(141)
葉ネギ	葉色・硝酸含量に差、ビタミンC・シュウ酸・日持ち性・無機養分と関連なし(37)
ブロッコリー	花蕾重・屈折糖度・ビタミンC増加(17)
ニンジン	カロテン増・日持ち性向上・上物収量変わらず(37)、収量低・全糖含量増(58)、屈折糖度・ショ糖・β-カロテン増(17) 香味成分パターンに差なし(37)、カロチノイド含量に差なし(37)、糖・ビタミンC・β-カロテン差なし(37)
ダイコン	外観・肉質・歩留まり向上(4, 138)、辛み成分減少、上物収量変わらず(37)、日持ち性・香味に差(37)、増収、土壌CEC増大(142) 香味成分パターンに差なし(37)
サツマイモ	香味成分パターンに差なし(37)、クロロゲン酸含量に差なし(37)、ビタミンC含量に有意な差なし(9)
ジャガイモ	複数農家の平均でビタミンC増・澱粉価・蛋白・乾物率差なし、同一農家比較による嗜好は5回中2回は有機、3回は有機・慣行に分かれた(121) 内部品質に差なし(37)、無機成分・ビタミンC・官能試験で差なし(37)
コメ	粘り向上・Mg/K増大・食味向上(139)、十分な日射量が確保された場合は無機・寡照条件では有機で生育が良くなる(140) 食味・アミロース・Mg/K差なし(37)

表43-1は、堀田³⁷⁾が取りまとめ結果を基に演者が加筆したものです。堀田の取りまとめ結果の内、堀田が引用した原著論文が入手できなかったものは、引用先を堀田の総説³⁷⁾として表示しました。

有機質肥料(一部は資材)の施用(有機・無農薬栽培含む)と作物品質をみました。表の桃色に塗られた行は何らかの品質向上効果が認められた結果、黄色に塗られた行は効果が認められなかった結果を示しています。有機質肥料(資材)の施用によって品質の向上が得られたという結果が多数報告されています。反面効果がなかったという例も少なからず存在しています。

トマトでは収穫果房や収穫年によって食味は変動すること⁶³⁾や果実中窒素含量が変動すること⁵⁰⁾が報告されています。森^{50, 51)}は、果菜類は果房ごとに収穫されるので、その時々々の収穫前数日間の気象や土壌などの環境要因が大きく影響していると述べています。有機質肥料や資材を施用すれば必ず高品質生産に繋がるとは言えませんが、総合的に栽培条件を見直し、有機質肥料を使うことで作物品質の向上が可能になることは確かではないでしょうか。

次のスライド以降では有機質肥料によって品質向上が得られた事例を詳しくみていき、有機質肥料の施用による作物品質向上メカニズムを考察してみたいと思います。特に内部品質(糖などの含有量)は、土壌水分の影響が最も大きいと考えられますが、土壌水分の安定に果たす有機質肥料の役割が大きいことは第3章で述べた通りです。有機質肥料の施用が作物品質向上に効果があるとするれば、有機質肥料による土壌物理性改善効果と窒素の緩効的な肥効で説明できます。

表44-1 ハウスコマツナとセルリーの窒素含有率(乾物%)(米澤⁷⁰⁾)

	コマツナ	セルリー
無機	5.08	4.87
有機	4.67	4.67

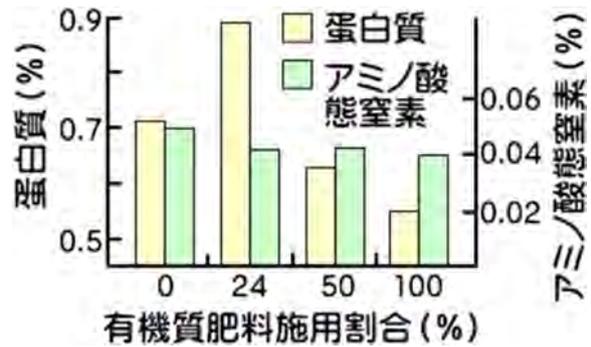


図44-1 マスクメロンハウスの蛋白含量とアミノ酸含量(斉藤¹⁵¹⁾)

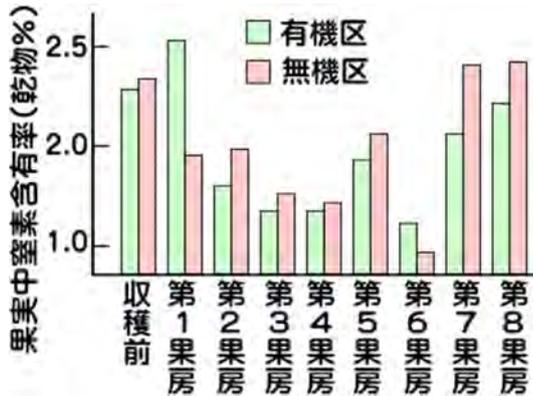


図44-2 トマトの蛋白含量(森⁵⁰⁾を改図)

表44-2 施肥とマスクメロンの蛋白質・糖・ビタミンC(斉藤¹⁵¹⁾)

処理区	蛋白質(%)	全糖(%)	ビタミンC(mg%)
標準A(無機+有機)	0.57	13.36	24.3
標準B(無機+有機)	0.58	13.16	23.4
菜種油かす	0.50	12.58	21.4
蒸製骨粉	0.49	13.10	21.5
魚かす	0.55	12.00	24.7
無機肥料	0.62	11.25	20.1

コマツナとセルリー(表44-1)、露地キャベツ(表44-3)において、施肥成分量を揃えた場合、有機質肥料区の作物体窒素(蛋白質)濃度が低下しています⁷⁰⁾。森^{50, 51)}は表44-1、表44-3等の結果から、葉物野菜の生育は、播種から収穫までの窒素の積算吸収量を示しているため、これらの窒素含量が低いということは、有機質肥料の分解により土壤中へ放出される可給態窒素の発現の様式が緩効的であることと関係していると述べています。図44-1では、無機肥料と有機質肥料の施用割合を変えたときのマスクメロンに含まれる蛋白質とアミノ酸含量を示しています¹⁰⁵⁾。有機率24%で蛋白質の上昇が見られますが、有機質肥料の施用割合が増えると、蛋白質、アミノ酸ともに漸次減少しています。アミノ酸含量は、蛋白質含量に比べて、無機肥料と比較した減少が小さくなっています。また、図44-2は、トマトの果実中窒素含有率が有機区において低下しています⁵¹⁾。表44-2では、肥料の種類を変えた時に、無機肥料に比べて有機質肥料では、マスクメロンに含まれる蛋白質含量が減少し、全糖、ビタミンCが増加しています¹⁰⁵⁾。表44-3のキャベツでも同様の結果が得られています⁷⁰⁾。

表44-3 露地キャベツの養分含有率(乾物%)(米澤⁷⁰⁾)

試験区名	外葉部			結球部		
	N	P	K	N	P	K
無窒素	2.90	1.12	4.37	3.19	1.55	4.19
無機(硫安)	3.90	1.04	4.12	3.90	1.53	4.27
菜種油かす併用	3.63	1.21	4.15	3.55	1.59	4.43
ひまし油かす併用	3.60	1.18	4.19	3.57	1.63	4.43
魚かす併用	3.68	1.18	4.34	3.55	1.62	4.36
菜種油かす単用	3.56	1.19	4.33	3.57	1.75	4.58

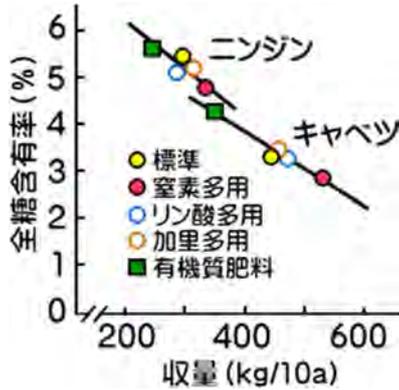


図45-1 施肥条件の異なるニンジン、キャベツの全糖含量と収量(矢野ら⁵⁸⁾を基に森⁵¹⁾が作図した図を改変)

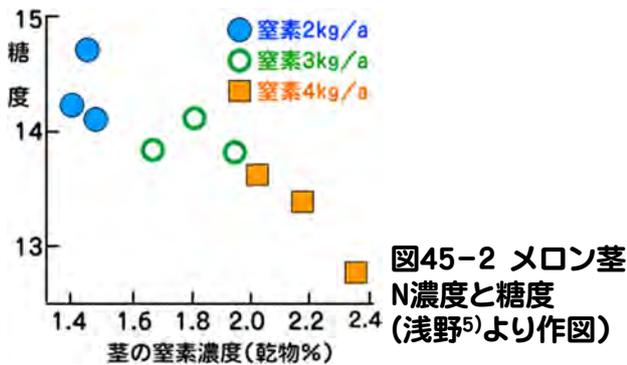


図45-2 メロン茎 N濃度と糖度 (浅野⁵⁾より作図)

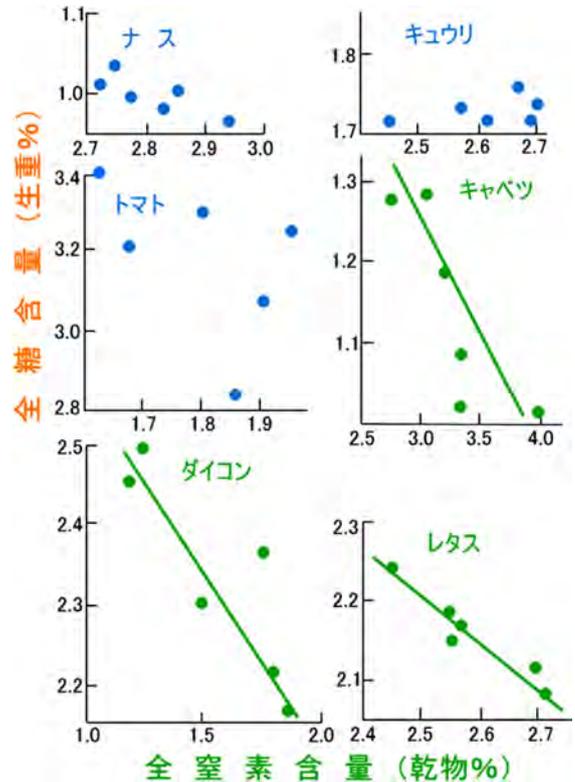


図45-3 収穫物中の全糖と窒素含量 (浅野¹³⁸⁾を改図)

図45-1は矢野ら⁵⁸⁾のデータを森⁵⁰⁾が解釈し直しグラフ化したものです。ニンジン、トマトでは、窒素の多用は収量を増大するが、有機質肥料区は減収しています。一方、リン酸、カリ多用区、標準区は、いずれも同じ収量と全糖含量の水準にあります。これらのことは、窒素が最も収量と糖度に関係していること、糖含量の高いニンジン、トマトを多収することの難しさを示しています。浅野⁵⁾は、メロンの茎の窒素濃度と糖度に負の相関があること(図45-2)、栃木ら²¹⁾は、トマトの糖度と1株当たりの収量に高い負の相関があることを示しています。作物栽培における量と質の二律背反が示されています。森⁵⁰⁾は、有機質肥料施用割合を変えて栽培されたメロンでは有機質肥料施用割合が高いほど還元型ビタミンCとβカロテンが多いこと、露地とハウスで見ると、露地の方がその差が顕著であることを示しています。

図45-3¹³⁸⁾をみると、キャベツ、ダイコン、レタスでは、窒素含量と糖含量の間に明確な負の相関が認められますが、ナス、トマト、キュウリでは明確な関係性が認められません。この結果について、森^{50, 51)}は、果菜類は果房ごとに収穫されるので、その時々々の収穫前数日間の気象や土壌などの環境要因が大きく影響している。作物の種類や栽培条件によって必ずしも明確な関係性が認められない場合もあるが、窒素肥料の種類と量が作物の収量と糖含量(質)に大きく関わっていると述べています。有機質肥料のもつ緩効的な肥効は、作物品質向上に少なからず影響を及ぼしていると考えられます。

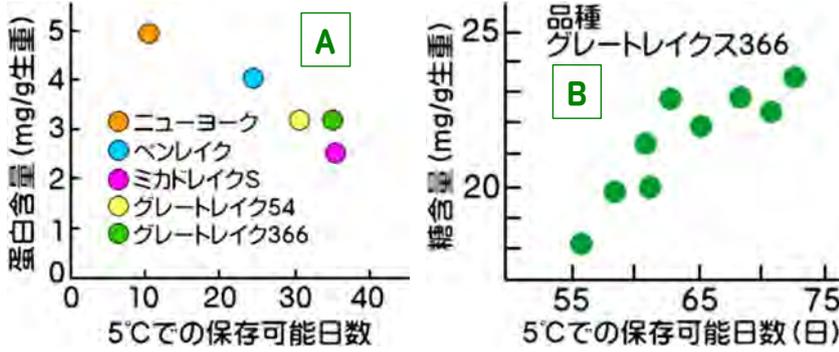


図46-1A・B レタスの蛋白含量、糖含量と保存性 (矢野・速水⁵⁶)より作図)

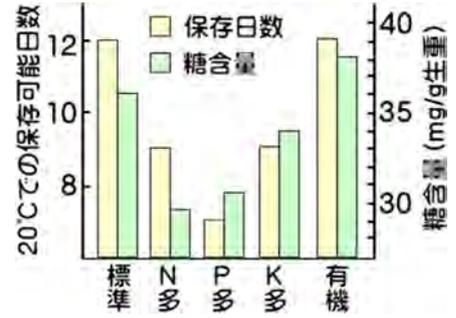


図46-2 施肥条件とキャベツの糖含量及び保存性 (矢野・速水⁵⁶)より作図)

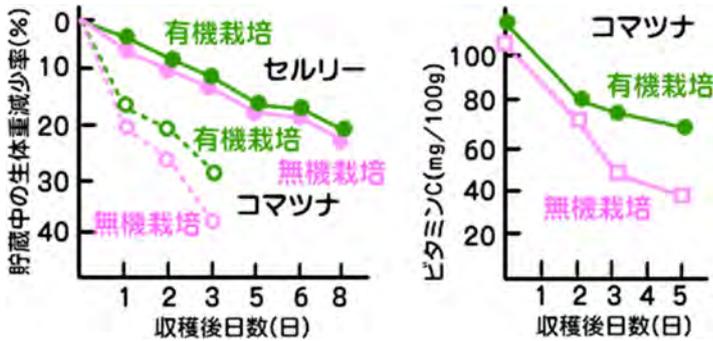


図46-3 有機栽培と野菜の貯蔵性(米澤⁷⁰)を改図)

収穫→呼吸による消耗増

糖含量高=呼吸基質多

↓
呼吸による組織の消耗少
(保存性向上)

矢野・速水⁵⁶)は、レタスの蛋白含量の低い品種ほど収穫後の鮮度保持に優れていること(図46-1A)、糖含量が高いほど鮮度保存性が高いこと(図46-1B)を報告しました。また、有機質肥料区のキャベツは糖含量が高く、鮮度保持日数が長いことを示しています(図45-2)。これらの結果から、保存性に対する影響は蛋白含量より糖含量の影響が大きく、貯蔵性の高いレタスに具備すべき条件として、呼吸の基質となる糖含量の高さをあげました。また、キャベツにおいて施肥条件を変えて、貯蔵性を検討しました。レタス同様に糖含量と貯蔵性が密接に関連すること、有機質肥料の施用によって糖含量が高く、貯蔵性に優れたキャベツが収穫されました(図46-2)。

森^{50, 51})は、有機物施用と作物品質向上に関する著述の中で、糖含量と貯蔵性について、次のように述べています。収穫されたことで養分供給が絶たれると、光合成による炭酸ガス固定速度より呼吸による炭酸ガス放出速度が上回るようになり、次第に乾物重の減少を招来する(図46-3)。このような一連の生化学反応が遅延するということは、貯蔵性が高いということと等価であり、糖分が高い、すなわち保存中の呼吸基質としての糖分ストックが多い方が、他の組織を分解して呼吸基質を得るに至る過程を引き延ばすことが出来る。

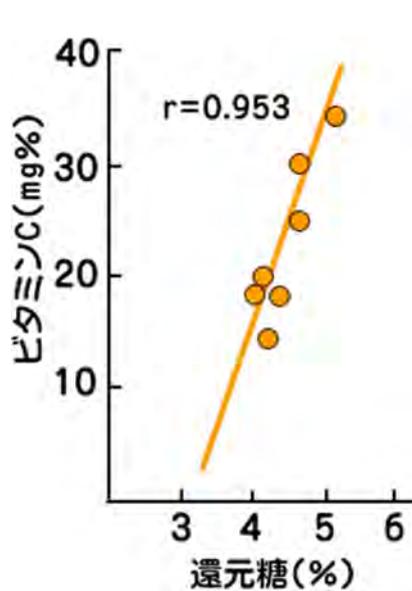


図47-1 トマトの糖とビタミンC含量 (吉田⁶⁷⁾より作図)

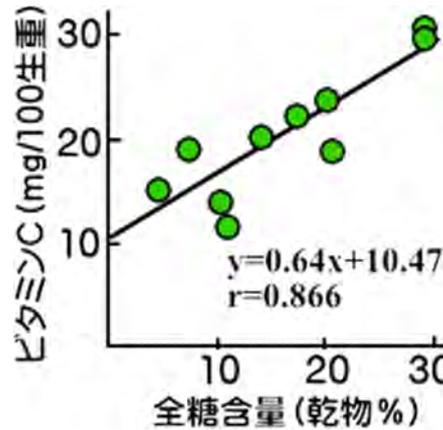


図47-2 レタスの糖とビタミンC含量 (篠原¹⁶⁾より作図)

表47-1 メロンの栄養成分(森⁵¹⁾)

有機質施用割合 (%)	還元型ビタミンC mg%		βカロテン I.U.	
	露地	ハウス	露地	ハウス
1	32.6	6.5	243	18.3
12	34.2		235	
24	33.1	8.6	242	15.4
50	34.1	8.4	306	22.4
60	34.6		345	
100	36.7	10.0	324	36.6

糖含量とビタミンC含量に高い正の相関が認められています(吉田⁶⁷⁾、篠原¹⁶⁾。表47-1⁵¹⁾では、有機質施用割合が高いほど、メロンのビタミンCとカロテン含量が高くなっています。図44-1で示した、有機質施用割合とメロンの蛋白含量の関係とは逆の関係になっていることが分かります。植物体内の遊離糖は、ビタミンCなどの原料となるものですから、糖含量の上昇はビタミンCやβカロテンなどの栄養成分を増加させると考えられています^{50, 51)}。吉田⁶⁷⁾は、ハウレンソウのカロテン含量とビタミンC含量、カロテン含量とクロロフィル含量の間にも正の相関を認めています(図47-3)。

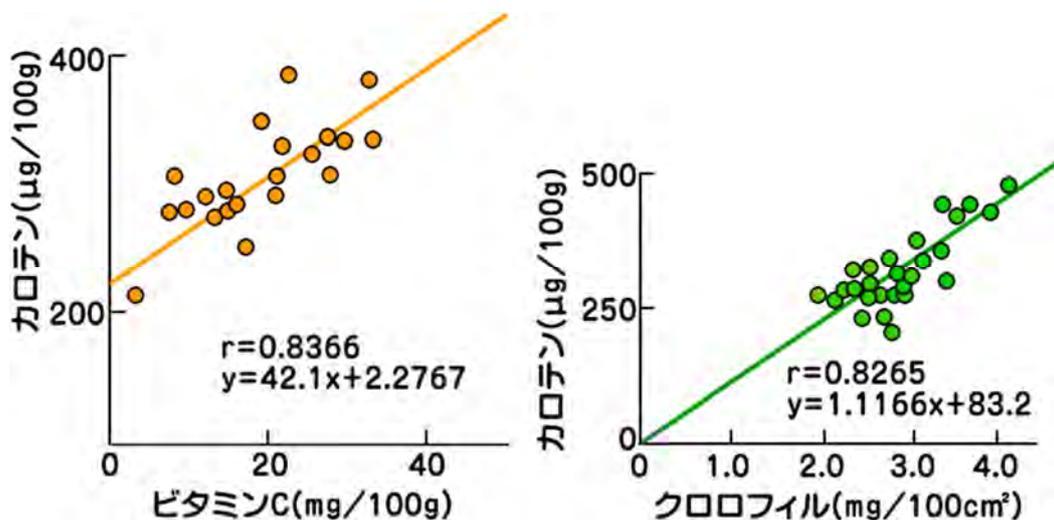


図47-3 ホウレンソウのカロテン含量とビタミンC含量、カロテン含量とクロロフィル含量の関係 (吉田⁶⁷⁾)

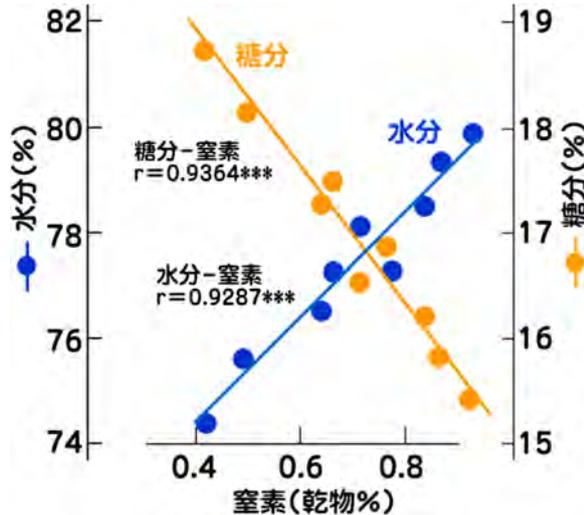


図48-1 ビート根中の窒素・水分・糖分(西宗²⁸⁾を改図)

表48-1 土壌水分とトマトの品質・収量(栃木²¹⁾)

土壌水分	葉長 cm	莖径 mm	1果重 g	収量 kg/株	糖度 %	酸度 %	ビタミンC mg%	果実硬度 kg
pF1.9	41	13.7	224	5.0	5.8	0.44	19.3	0.52
pF2.3	39	12.8	187	4.2	7.1	0.53	21.7	0.61
pF2.7	31	9.6	90	1.9	10.2	0.80	28.9	0.80

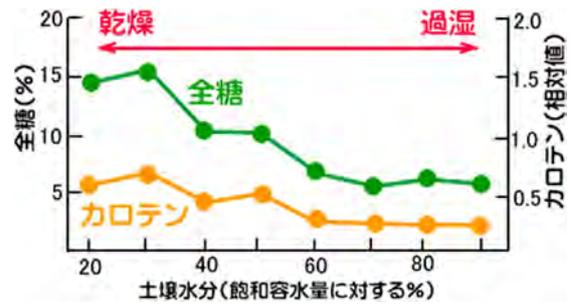


図48-2 土壌水分とニンジン成分(勝又⁷¹⁾)

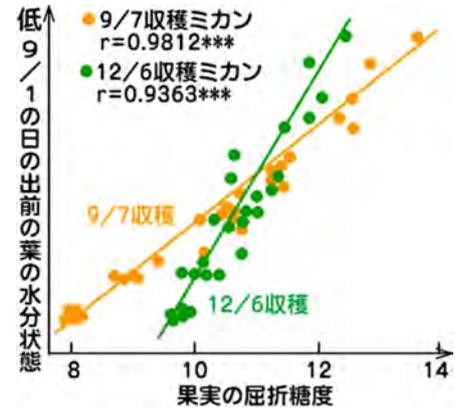


図48-3 ミカン葉の水分状態と糖度(間苧谷³⁹⁾より作図)

作物品質と土壌水分が密接に関連していることは広く知られています。西宗²⁸⁾は、ビート根中の水分、窒素、糖分の三者の関係について貴重なデータを示しています。西宗らは有機物施用の問題を考慮に入れていませんが、乾性土壌ではビートの糖度が上昇するが、可製糖量(収量と考えると良い)が減少する傾向にあることを示しました。図48-1によると、水分含量が増加すると糖含量が減少し、逆に窒素含量は増加することが示されています。必ずしもこのような三者の相関がきれいに認められない場合があるのはその対象作物に要求される食品としての部位が区々であることによると考えられます^{50, 51)}。先に図45-3で見たようにキャベツ、レタス、ダイコンでは窒素と糖含量に明確な負の相関が認められましたが、ナス、キュウリ、トマトでは明確な関係性が認められませんでした。いわゆる「なりもの」では、果房ごとの収穫前の気象や土壌条件による影響が大きいためだろうと考えられます^{50, 51)}。

図48-2を見ると、土壌の飽和容水量の60%までは全糖、カロテンともに大きな変化は見られませんが、それ以下の土壌水分になると両成分が急激に上昇しています⁷¹⁾。サツマイモでも、多水分圃場より少水分圃場で糖含量が増加すること、施肥量より土壌水分の方が糖含量に対する影響が大きいことが報告されています¹⁵⁰⁾。間苧谷³⁹⁾は、ウンシュウミカンの日の出前の葉の水分ポテンシャルが高い(水分が低い)ほど果実糖度が高く(図48-3)、果実酸度では、水分はある程度の支配要因にはなりうるが、それが主要因とは考えにくいことを報告しています。表48-1²¹⁾を見ると、土壌水分の低下は、トマトの糖度、ビタミンCを増加させるが、生育が悪く、果重の減少による大幅な収量低下を招くことが分かります。吉田⁶⁷⁾は、有機質肥料と無機肥料で栽培したトマトを比較し、有機質肥料区は水分は減少し、糖、ビタミンC、有機酸は増加するが、果実の固形分換算によっても同様であったと述べています。水ストレスによる単純な濃縮効果ではないことを示しています。スライド15、38、39、40でみたように、有機質肥料の施用は土壌団粒の発達に寄与します。このことが作物品質改善に大きく影響していると考えられます。

水ストレスによって植物の体内で何が起きている？

・・・森⁵¹⁾の著書から

水ストレス下と有機物施用下での植物生理の類似性

- 蛋白含量の減少(蛋白合成阻害)
- 澱粉を減少させ、可溶性糖を増加させる
(澱粉分解 → 可溶性糖の増加)
- ミトコンドリアの構造破壊・呼吸抑制
 - TCAサイクルの回轉阻害
 - ATP生産低下
 - 解糖系の低下 → グルコースやフラクトースの蓄積
- 糖、プロリンの集積
 - 細胞浸透圧の上昇 → 吸水機能の維持

水分ストレスが作物の品質に密接に関係していることが分かりましたが、低水分下におかれた植物体内では、いったい何が起きているのでしょうか？スライド39と40では、有機物（有機質肥料）の施用が、土壤の水分状態の安定に大きく関わっていることを見ました。水ストレス下にある植物の生理について、森の著書⁵¹⁾からまとめてみました。

低水分ストレスは植物体中の蛋白含量を低下させますが、これまでに得られた知見によれば、蛋白質の分解ではなく、蛋白合成が阻害されるためだと考えられています。

低水分ストレス下の植物体内では、不溶性糖（澱粉）の分解が起こります。その結果、可溶性糖（グルコース、フラクトース、シュクロース）の増加が起こります。さらに、細胞内のミトコンドリアの構造破壊による呼吸の抑制が起こります。これは、TCAサイクルの回轉阻害であり、TCAサイクルが低下することは、ATPの生産を低下させるため、TCAサイクルの手前にある解糖系の進行も抑えられることとなります。そのため、解糖系の入り口に位置するグルコースやフラクトースが代謝されないで溜まってくると考えられます。ミトコンドリアの構造破壊によって、アミノ酸の一種であるプロリンのグルタミン酸への酸化が進行しなくなり、プロリンの集積が起こってきます。水ストレスによるミトコンドリアの構造破壊の結果、糖やプロリンの集積が起こることは植物にとって否定的な出来事のように感じられますが、見方を変えれば水ストレスに対する植物の側からの巧妙な適応現象と考えることができます。水ストレス下にあっても、植物はその生命活動を維持するために、根から土壤水分を吸収しなければなりません。高い水ストレスで植物体に誘導的に蓄積されてくる糖やプロリンは無毒で、細胞浸透圧を高めることで低水分土壤からの吸水を可能にしていると考えられます。

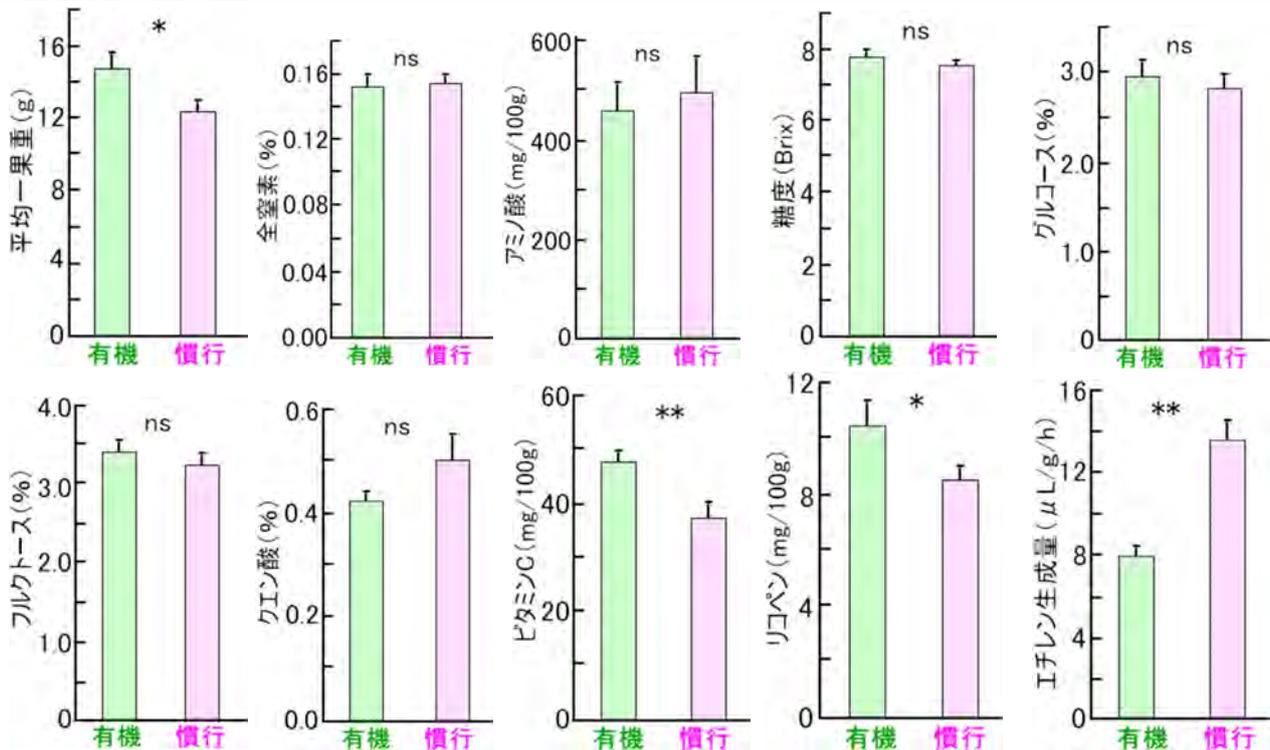


図50-1 有機栽培と慣行栽培の夏秋作ミニトマトの品質比較(村山ら⁴⁷⁾を改図)
 ns有意差なし * 5%水準で有意差あり ** 2%水準で有意差あり

有機質肥料を使うことで、必ずしも高品質生産が可能になるとは限りませんが、有機質肥料と無機肥料（化学肥料）との比較において作物品質が改善された例は多数の報告があります。有機質肥料と作物品質について様々な事例から考えてきましたが、ミニトマト2例、トマト、ブロッコリー、メロン、ニンジンを対象とした試験例をご紹介します。

まず、ミニトマトを対象に有機栽培と慣行栽培における品質比較を行った研究をみてみましょう。村山ら⁴⁷⁾は、多数の品質関連成分について詳細に調査していますが、紙面の都合で項目を絞って紹介しますが、注目すべきデータが得られています。調査は、2004年と2005年に実施され、山形県と福島県の延べ9軒、16ハウスの有機JAS認定圃場から採取されました。慣行栽培は有機圃場に隣接した同じ作型のハウスから採取され、品種はいずれも千果です。同一圃場における肥料の種類を変えた試験結果ではありませんが、有機栽培ミニトマトと慣行栽培の品質特性を比べることができると考えられます。

一果平均果重は有機栽培において有意に大きくなっています。果実の全窒素、アミノ酸含有率には差がありません。味に関係する屈折糖度と糖(グルコース・フルクトース)含有率は、有機栽培において僅かに高くなる傾向にあります。明確な有意差は認められません。クエン酸は、有意差こそ認められませんでした。有機栽培において低下する傾向にあります。栄養成分であるビタミンCとリコペンは有機栽培において有意に増加しています。注目されるのは、果実からのエチレン生成量が有機栽培において有意に低下しています。エチレンは作物の成熟に関係したガス状ホルモンです。エチレンによって成熟が進み、保存日数を低下させることが知られています。エチレン生成量から果実の保存性をみた数少ない貴重なデータです。有機栽培の方が慣行栽培に比べて収穫後の保存性が高いと考えられます。

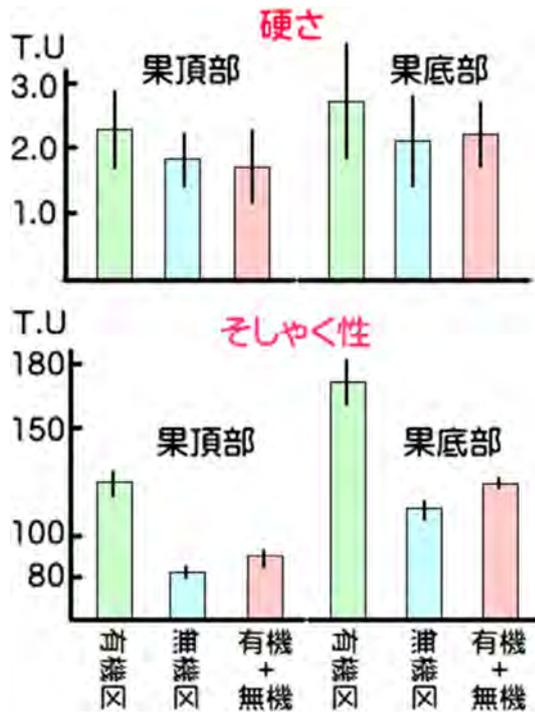


図51-1 トマト果肉の硬さとそしゃく性
有機区：菜種油かす+骨粉
(吉田ら⁶⁴)を改図)

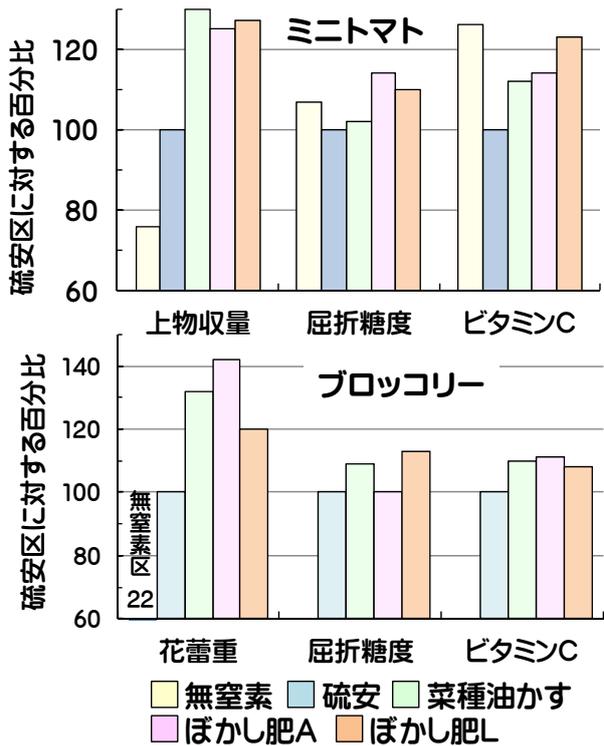


図51-2 有機質肥料と野菜の品質
(清和肥料工業株式会社¹⁷)

トマト果実の物性に関する研究結果(図51-1)を紹介します。吉田⁶⁴)は、有機質肥料(菜種油かす・蒸製骨粉・鶏糞灰)と化成肥料を施用したトマト果実をテクスチュロメーターという機器で測定しました。有機質肥料区のトマトは、硬さ、そしゃく性ともに増大しています。いわゆる「かみ応え」のある果実が収穫できました。

図51-2では、弊社¹⁷)が行ったぼかし肥で行った成績を紹介します。ミニトマト→ブロッコリー→ミニトマト→ブロッコリーという体系で、2年間同じ肥料を連用した結果から2年目のミニトマトとブロッコリーの結果の一部を示しました。ミニトマトでは化学肥料(硫安)に比較して、有機質肥料は果実重と外観で見た上物収量、糖度やビタミンC含有率等の上昇が認められました。ブロッコリーは、花蕾重が大きく上回り、糖度やビタミンCが上昇する傾向にありました。

表52-1 有機質肥料とハウスメロンの品質(清和肥料工業(株)¹⁷⁾)

肥料	ネット指数 (総合)	屈折糖度	糖含有率(%)			アミノ酸 (mmol/100g)
			還元糖	非還元糖	全糖	
無窒素	3.7	13.1±0.3 ^{ab}	1.93	5.33	7.27±0.06 ^a	4.9±0.6 ^a
硫安	3.0	11.3±0.3 ^c	2.33	4.29	6.61±0.31 ^b	6.5±0.4 ^b
菜種油かす	5.0	12.3±0.5 ^b	2.18	5.00	7.17±0.12 ^a	7.0±0.1 ^b
ぼかし肥A	4.3	12.5±0.4 ^b	1.90	5.32	7.22±0.04 ^a	6.4±0.1 ^b
ぼかし肥L	3.3	13.9±0.1 ^a	1.99	5.27	7.26±0.07 ^a	6.9±0.1 ^b

※還元糖:主にグルコースと果糖の合計、非還元糖:主にショ糖

表52-2 有機質肥料とニンジンの品質(清和肥料工業(株)¹⁷⁾)

肥料	屈折糖度	糖組成(%)				カロテン(mg/100g)		
		ブドウ糖	果糖	ショ糖	合計	α-カロテン	β-カロテン	合計
無窒素	8.9±0.1 ^a	0.51	0.46	3.92	4.95±0.16 ^c	3.4±0.2	6.3±0.2 ^d	9.7±0.4 ^d
硫安	9.2±0.1 ^a	0.67	0.66	3.49	4.82±0.27 ^c	2.9±0.1	6.5±0.2 ^{cd}	9.3±0.3 ^e
菜種油かす	10.0±0.3 ^b	0.55	0.54	4.61	5.69±0.40 ^{ab}	4.5±0.1	9.0±0.2 ^a	13.5±0.2 ^b
ぼかし肥A	10.4±0.3 ^b	0.64	0.64	4.64	5.92±0.06 ^a	5.6±0.1	9.2±0.1 ^a	14.8±0.0 ^a
ぼかし肥L	10.0±0.3 ^b	0.43	0.40	4.49	5.32±0.17 ^{bc}	5.0±0.3	8.3±0.2 ^b	13.2±0.6 ^{bc}

弊社¹⁷⁾が行ったぼかし肥に関する試験例を二つ紹介します。一つはハウスメロン(表52-1)、もう一つはニンジン(表52-2)の結果を示しました。ハウスメロン(表52-1)では、有機質肥料区は、硫安区に比べ、屈折糖度と糖含有率が高くなりました。ネット形成も有機質肥料区が良好でした。反面、アミノ酸含量は硫安区と有機質肥料区の差がありません。ニンジン(表52-2)では、硫安に比較して、有機質肥料区は屈折糖度、糖含量、カロテン含量の上昇が認められました。また、ブドウ糖と果糖の含量はあまり変わりませんが、食べたときに、より甘さを感じるショ糖の増加が大きいという結果が得られました。

- 窒素無機化率は50~80%で、肥効の持続性は1~1.5ヶ月くらい
肥効率は化学肥料に及ばないことが多い
- 窒素の緩効的な肥効
作物体の蛋白質低下 → 糖含量の増加 → 食味・貯蔵性の向上
- アミノ酸による作物生育改善効果を期待できるが、効果は限定的
- 単位量当たり土壤微生物増殖能力が高い
土壤の物質循環や物理性、養分吸収、根圏環境改善に貢献
- 速効的な土壤団粒生成促進効果(連用による団粒維持効果)
低く安定した土壤水分 → 作物の呼吸抑制・糖の増加・蛋白低下
→ 食味と貯蔵性向上
- 菜種油かす等は、発芽・活着阻害物質を含む
尿素同様、多肥では亜硝酸ガスを発生することがある
特にトンネル栽培やハウス栽培において注意を払う
- 種バエを助長することがある(ぼかし肥にはその心配がない)

有機質肥料の畑土壤中での窒素無機化率は、60~70%程度のものが多く、高くても80%、低いものでは50%以下です。そのため、肥効率(利用率)は化学肥料には及ばないとする試験結果が多数存在します。反面、緩効性の窒素は作物生育の安定や品質向上に貢献します。有機質肥料の肥効は、施用後1~1.5ヶ月、長くても2ヶ月くらいだと考えられます。目に見える肥効はもう少し短いかもしれません。

有機質肥料施用土壤には、アミノ酸が生成されています。作物によって直接吸収され、生育相の改善等に役立つ場合もあるでしょう。作物の種類によっても効果は異なります。森らによる「植物の無機栄養批判」と題した一連の研究において、ある種の有機態窒素化合物が無機態窒素に比べて植物にとって良質の窒素源たることは明白である¹⁴⁵⁾と述べつつ、『批判』とは『否定』ではないとも述べています¹⁴⁶⁾。PEONのような高分子有機化合物を積極的に利用している植物もあります²⁾。土耕栽培でも有機態窒素が一定の役割を担っていることは否定できませんが、植物栄養の基本は無機栄養であることは変わりません。アミノ酸等の効果は限定的とみるべきで、有機質肥料とアミノ酸を直接結びつけ、過大な期待と評価を下すことは避けるべきではないでしょうか。

土壤微生物は、土壤中の物質循環の担い手であり、地力養分を支えています。特に根圏微生物は、作物との相互作用により、様々に生育を支えています。有機質肥料の微生物増殖能力は高く、物質循環の円滑化、根圏環境の改善などを通じて作物の生育を支えています。

有機質肥料は、単位量当たりの土壤団粒生成促進効果が高く、その効果は速効的です。施用量が多いほど効果は高く、連用によってより良い土壤になっていくと考えられます。低く安定した土壤水分は、植物細胞の呼吸活性を低下させ、糖含量を増加させます。糖含量が増加することで食味や貯蔵性を改善します。有機質肥料の施用効果における最も重要な効果と考えています。

菜種油かすやひまし油かす等には発芽や活着を抑制する物質が含まれています。有機質肥料は、尿素同等、あるいはそれ以上に亜硝酸ガスが発生することがあります。トンネルやハウス内での多量施用は危険です。また、種バエの発生にも注意しなければなりません。

古細菌(アーキア、archaea)とは、生物分類の最上位に位置する特殊な生物群。

形や大きさこそ細菌(bacteria)と似ていますが、全く異なった生物群です。

古細菌も細菌と同じ原核生物(核やミトコンドリアなど持たない)ですが、生命の起源から進化の過程で細菌と古細菌に分かれ、真核生物(真菌(カビ)・アメーバ・植物・動物)は、古細菌から進化したと考えられています。

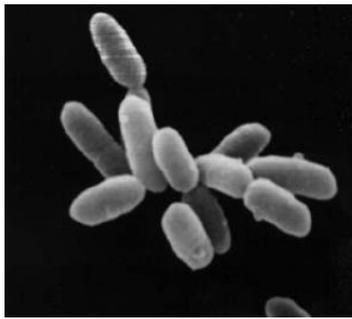


図55-1 古細菌(*Harobacterium* sp.)
Wikipedia¹⁴³⁾より引用



図55-2 生物進化の過程
Wikipedia¹⁴³⁾より引用

古細菌(アーキア archaea)¹⁴³⁾

古細菌(こさいきん)またはアーキアとは、生物分類の最上位に位置するドメイン※と呼ばれる分類群に属している生物群の名称です。古細菌は、細菌、真核生物(真菌(カビ)、アメーバやゾウリムシ、植物、動物)とともに生物界を3分する生物群の一つです。古細菌は、その形や大きさなど、細菌に近い部分も多いですが、細菌とは全く異なった生物群です。細菌、古細菌ともに、細胞に核やミトコンドリアなどの細胞小器官を持たない原核生物ですが、進化の過程からみれば、生命の起源から細菌と古細菌に分かれ、古細菌から真核生物が進化したと考えられています。古細菌は間欠泉、海底熱水噴出孔、火山、油田、塩田、塩湖、強酸・強アルカリ環境などから多数発見されています。強力な放射線に曝されても生き残るものも発見されています。古細菌は極限環境に生息する生物というイメージが強いかもしれませんが、水田や沼などに生息するメタン生成菌をはじめ、土壌などにも広く分布しています。農業上重要なアンモニアから亜硝酸への酸化を担うアンモニア酸化細菌や硫黄の酸化(作物による硫黄吸収を可能にする)を担う硫黄酸化細菌等の一部は古細菌です。

※ドメイン

生物学では、生物を互いに近縁な物同士グループ分けしています。例えば、イヌであればオオカミという種に属し、オオカミという種はイヌ属に、イヌ属はイヌ科、イヌ科はネコ目といった具合です。下から種(しゅ)、属(ぞく)、科(か)、目(もく)、綱(こう)、門(もん)、界(かい)、ドメインが設定され、上位の階級になるにしたがって大きなグループです。ドメインの階級で分類されているのが、「細菌」、「古細菌」、「真核生物」の3分類群で、すべての生物がこの3つのいずれかに属しています。

引用文献・参考文献

- (1) 阿江教治・松本真悟・山縣真人：新しい世紀への植物栄養の展望4. 土壌に蓄積する有機態窒素の作物による直接吸収、土肥誌、72、114-120 (2001)
 - (2) 阿江教治・松本真悟：有機態窒素の吸収、作物はなぜ有機物・難溶解成分を吸収できるのか、p95-165、農文協、東京 (2012)
 - (3) 青山正和：土壌団粒、p12-39、農文協、東京 (2010)
 - (4) 浅野次郎・速水昭彦・小濱節雄：野菜の品質に及ぼす油かす・バーク堆肥の影響、野菜試験報A9、97-113 (1981)
 - (5) 浅野次郎：養水分条件と野菜の内部品質、土肥誌、64、456-464 (1993)
 - (6) 池ヶ谷賢次郎・平峯重郎：茶園土壌におけるなたね粕および魚粕の分解に伴う無機態窒素とアミノ酸の生成、茶業技術研究、53、65-73 (1977)
 - (7) 小野善助：有機質肥料の効率的な施用法、p11 (1990)
 - (8) 鯨 幸夫：有機栽培野菜と普通栽培野菜のビタミンCおよび糖質含量について、日本栄養・食糧学会誌、47、148-151 (1994)
 - (9) 鯨 幸夫・中山真希：有機栽培が野菜の品質に及ぼす影響、北陸作物学会報、32、91-94 (1997)
 - (10) 郡司掛則昭：有機質肥料の特性と利用の基礎、CD-0M版農業技術体系、農文協、東京 (1999)
 - (11) 斉藤忠雄・渡辺慶一・高橋文次郎：火山灰土壌の床土利用が温室メロンの品質に及ぼす影響、土肥誌、54、95-93 (1983)
 - (12) 斉藤忠雄・渡辺慶一・高橋文次郎：火山灰土壌の床土利用と有機質窒素肥料の施用量が温室メロンの品質に及ぼす影響、土肥誌、55、15-22 (1984)
 - (13) 佐藤紀男：コマツナの連続栽培による各種有機質肥料の窒素肥効特性、土肥誌、81、557-562 (2010)
 - (14) 塩谷正邦：有機質肥料講座、有機質肥料講座〔増補版〕、p1-91、全農肥料部技術普及室 (1972)
-
- (15) 志賀一一：有機質肥料の土壌および作物に及ぼす影響、日本土壌肥料学会監修、有機質肥料の研究成果に関する文献収録、p115-122、全国農業協同組合連合会 (1980)
 - (16) 篠原 温・田中邦雄・鈴木芳夫・山崎肯哉：野菜の栽培条件と品質 (第1報) レタス、シュンギクにおける施肥条件とアスコルビン酸含量について、園学雑、47、63-70 (1978)
 - (17) 清和肥料工業株式会社：ぼかし肥による野菜の生育・品質向上技術の開発、有機質肥料生物活性利用技術研究組合編、高機能肥料生産基盤技術の開発-環境にやさしい肥料の開発-、p239-258、有機質肥料生物活性利用技術研究組合刊、東京 (1996)
 - (18) 高橋英一・吉野 実・前田正男：原色作物の要素欠亡過剰症、p68、農文協、東京 (1980)
 - (19) 武田容枝：野菜の品質は有機質肥料の施用で向上されるのか？、福島農総セ研報、4、1-14 (2012)
 - (20) 辻村 卓・日笠志津・根岸由紀子・奥崎政美・竹内 周・成田国寛：栽培条件 (有機栽培と慣行栽培) の違いによる野菜栄養成分の比較 [1]、ビタミン、79、497-546 (2005)
 - (21) 栃木博美・川里 宏：トマトの促成栽培における土壌水分が果実品質に及ぼす影響、栃木農試研報、36、15-24 (1989)
 - (22) 永井恭三：ビニールハウス土壌における硝化作用に基づく窒素の揮散について (第1報) インキュベーションによる窒素損失、土肥誌、38、340-374 (1967)
 - (23) 永井恭三・久保田正亜・小松鋭太郎：ビニールハウス土壌における硝化作用に基づく窒素の揮散について (第2報) 硝酸含量を異にする火山灰畑土壌の亜硝酸態窒素の揮散量と揮散窒素の検討、土肥誌、39、199-203 (1968)
 - (24) 永井恭三・久保田正亜・小松鋭太郎：ビニールハウス土壌における硝化作用に基づく窒素の揮散について (第3報) 亜硝酸の揮散の多い土壌とほとんどない土壌の硝化作用の比較および揮散発生条件についての検討、土肥誌、39、370-374 (1968)
 - (25) 西尾道徳：5-4・2微生物活性の変化、5-4・3ハウス土壌の亜硝酸ガス障害、土壌微生物研究会編、土の微生物、p108-113、博友社、東京 (1981)
 - (26) 西尾道徳：有機栽培の基礎知識、p120-121、農文協、東京 (1997)
 - (27) 西尾道徳：堆肥・有機質肥料の基礎知識、p1-213、農文協、東京 (2007)

- (28) 西宗 昭・斎藤元也・金野隆光・藤田 勇・宮沢数雄：十勝に分布する肥沃度の異なった土壌におけるテンサイの生育解析、北海道農試研報、133、31-60 (1982)
- (29) 新田恒雄：有機物施用による根圏微生物の制御、日本土壤肥料学会編、有機物研究の新しい展望、p43-84、博友社、東京 (1986)
- (30) 二瓶直登：植物のアミノ酸吸収・代謝に関する研究、福島農総セ研報、2、21-97 (2010)
- (31) 農環研・肥料動態科：有機質資材の新しい手法による評価法
- (32) 野口勝憲：有機質肥料の成分組成とその分解による土壌微生物相の変化、片倉チッカリン(株)筑波総合研究所特別報告、p1-218 (1992)
- (33) 橋田茂和：ビニールハウス栽培の土壌肥料科学的問題点、土肥誌、36、274-283 (1965)
- (34) 橋田茂和：ハウス栽培における窒素の動向について、土と微生物、8、25-35 (1966)
- (35) 藤沼善亮・岡部達雄・嶋田永生・麻生末雄・徳永美治・早瀬達郎：現代の有機質肥料—有機質肥料問題の多面的考察—、p1-201、全国肥料商連合会 (1974)
- (36) 藤原俊六郎：有機物と微生物、農業および園芸、73、122-126 (1998)
- (37) 堀田 博：有機栽培と慣行栽培農産物の品質上の差異、日本食品科学工業会誌、46、428-435 (1999)
- (38) 間苧谷徹・町田 裕：果樹の葉内水分不足に関する研究(VIII)、温州ミカン樹の日の出前と日中の葉の水ポテンシャルの関係、農業気象、33、19-23 (1977)
- (39) 間苧谷徹・町田 裕：夏期におけるウンシュウミカン樹の水管理の指標としての葉の水ポテンシャル、園学雑、49、41-48 (1980)
- (40) 松崎敏英：有機質肥料と施肥法、CD-ROM版農業技術体系、農文協、東京 (2012)
- (41) Shingo Matumoto, Noriharu Ae, and Makoto Yamagata: Nitrogen Uptake Response of Vegetable Crops to Organic Materials, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 269-278 (1999)
- (42) 松本真悟・阿江教治・山縣真人：有機質肥料の施用がハウレンソウの生育および硝酸、シュウ酸、アスコルビン酸含量に及ぼす影響、土肥誌、70、31-38 (1999)
- (43) 松本真悟・阿江教治・山縣真人：フィールドから展開される土壌肥料学—新たな視点でデータを採る・見る—3. 無機栄養説だけですべての作物の窒素吸収反応が説明できるのか?、土肥誌、72、698-706 (2001)

- (44) 松本真悟：作物の種類と吸収窒素の形態、CD-ROM版農業技術体系、農文協、東京 (1999)
- (45) 眞弓洋一：最近の研究の概要、有機質肥料が有する品質向上技術の開発、有機質肥料生物活性利用技術研究組合編、高機能肥料生産基盤技術の開発—環境にやさしい肥料の開発—、p27-35、有機質肥料生物活性利用技術研究組合刊、東京 (1996)
- (46) 村山 徹・宮沢佳恵・長谷川浩：秋冬作ハウレンソウの品質に対する有機栽培と慣行栽培の差異、日本食品科学工業会誌、55、494-501 (2008)
- (47) 村山 徹・長谷川浩・宮沢佳恵・武田容枝・村山秀樹：夏秋作トマトにおける有機栽培と慣行栽培による品質の差異、日本食品科学工業会誌、57、314-318 (2010)
- (48) 目黒孝司：有機野菜の品質と評価、研究ジャーナル、21、30-34 (1998)
- (49) 森国博全：野菜の品質に及ぼす有機質肥料の効果、肥料、No. 54、18-27 (1989)
- (50) 森 敏：食品の質と土壌管理—有機物施用を中心として—、農土誌、53、951-957 (1985)
- (51) 森 敏：食品の質に及ぼす有機物施用の効果、日本土壤肥料学会編、有機物研究の新しい展望、p85-137、博友社、東京 (1986)
- (52) 森 敏：リボ核酸の裸麦の生育に対する顕著な肥効、土肥誌、57、171-178 (1986)
- (53) 森 敏：植物による有機成分の吸収、CD-ROM版農業技術体系、農文協、東京 (2012)
- (54) 森田明雄・田中辰明・原野雅子・横山博実：水耕栽培条件下でのチャにおけるアミノ酸吸収、土肥誌、75、679-684 (2004)
- (55) 森 俊人・中川勝也・藤本治夫：低温寡照期におけるハウストマトの品質改善、昭和52年度・新技術—近畿中国地域における—、No. 12、p29-40 (1978)
- (56) 矢野晶充・速水昭彦：結球野菜の貯蔵性改善に関する研究、I レタス及びキャベツの貯蔵性と品種、収穫熟度、施肥条件との関係について、野菜試報、A4、77-88 (1978)
- (57) 矢野晶充・速水昭彦：結球野菜の貯蔵性改善に関する研究、II レタスの収穫後における生理変化の特徴と貯蔵性との関係について、野菜試報、A4、89-101 (1978)
- (58) 矢野晶充・伊藤 洋・速水昭彦・小濱節雄：野菜の品質に及ぼす栽培条件の影響に関する研究、I キャベツ及びニンジンの糖組成・含量、野菜試報、A8、53-67 (1981)
- (59) 山縣真人・阿江教治・大谷 卓：作物の生育反応に及ぼす有機態窒素の効果、土肥誌、67、345-353 (1996)

- (60) 山縣真人：有機態窒素に対する陸稲の窒素吸収特性とその機構、農環研報、18、1-31(2000)
- (61) 山室成一・上野秀人・高橋 茂：水田および畑土壌における遊離アミノ酸の¹³C、¹⁵Nトレーサー法による動態解析、土肥誌、70、739-746 (1999)
- (62) 吉田企世子・森 敏・長谷川和久・西沢直子・熊澤喜久雄：肥料の違いによる栽培トマトの食味、日本栄養・食糧学会誌、37、115-121 (1984)
- (63) 吉田企世子・森 敏・長谷川和久・西沢直子・熊澤喜久雄：肥料の違いによる栽培トマトの還元糖、有機酸およびビタミンC含量、日本栄養・食糧学会誌、37、123-127 (1984)
- (64) 吉田企世子・森 敏・長谷川和久・西沢直子・熊澤喜久雄：肥料の違いによる栽培トマトの物性、日本栄養・食糧学会誌、37、267-272 (1984)
- (65) 吉田企世子：トマトの味と栽培法、調理科学、18、2-10 (1985)
- (66) 吉田企世子：野菜の栽培方法と成分、日本食生活学会誌、7、15-22 (1996)
- (67) 吉田企世子：作物生育条件と野菜の栄養成分・調理性との関係、栄養学雑誌、56、1-9 (1998)
- (68) 葭田隆治：有機農産物と窒素化合物、北陸作物学会報、25、100-104 (1990)
- (69) 米澤茂人：有機質肥料の特性と施用法、近畿土壌肥料研究会資料 (1985)
- (70) 米澤茂人：有機質肥料の施用効果に関する研究、東京農業大学博士論文、p1-411 (1982)
- (71) 勝又広太郎：ニンジンの生育と栽培の諸問題、農業および園芸、42、1499-1504 (1967)
- (72) 和穎朗太・早津雅仁・青山正和・森也寸志・波多野隆介・井藤和人・浅野真希：土壌団粒構造と土壌プロセス、土肥誌、85、285-290 (2014)
- (73) 岡山県農林水産総合センター農業研究所：ひまし油粕の窒素肥効特性、
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/444292_2985488_misc.pdf、2018年8月1日閲覧
- (74) 大橋祥範・日置雅之・糟谷真宏：愛知県内で流通する12種の有機質肥料からの窒素無機化量の推定、愛知県農総試研報、49、1-8 (2017)
- (75) 越野正義・小林 新：被覆肥料の特性と展望－肥料効率の向上を目指して－、農林水産技術研究ジャーナル、26、10-14 (2003)
- (76) 古屋 栄：共通技術－葉面散布剤の利用、モモ、CD-ROM版農業技術体系、追録第13号、第6-②巻、農文協、東京 (2002)
- (77) 樋口太重：土壌中における施用窒素の有機化と再無機化、農技研報、B34、1-81 (1983)

- (78) 菅原龍幸・青柳康夫：食品中のプリン塩基、ヌクレオチド及び核酸の分離定量法、小原哲二郎・鈴木隆雄・岩尾裕之監修、林 淳三・印南 敏・菅原龍幸編集、改訂食品分析ハンドブック、p380-391、建帛社、東京 (1982)
- (79) 現代農業編集部：図解有機物と菌力で団粒構造ができるしくみ、現代農業2016年12月号、70-76 (2016)
- (80) 日本土壌肥料学会編：そだててあそぼう第8集、土の絵本、①土とあそぼう、p2-3、農文協、東京 (2002)
- (81) 金子文宜：土壌水分、藤原俊六郎・安西哲郎・小川吉雄・加藤哲郎編、新版土壌肥料用語事典第2版、p47-55、農文協、東京 (2010)
- (82) 栗原 淳：緩効性窒素肥料、植物栄養・土壌・肥料大事典編集委員会編、植物栄養土壌肥料大事典、p1110~1122、養賢堂、東京 (1984)
- (83) 尾和尚人：緩効性窒素入り化成肥料、CD-ROM版農業技術体系、土壌施肥編第7-1巻、農文協、東京 (1986)
- (84) 小林達治：有機性肥料の植物に与える効果、土と微生物、13、35-47 (1971)
- (85) 藤原彰夫・黒沢 諦：タバコに及ぼす核酸物質施用の影響 (第1報) タバコの初期生育に及ぼす影響、土肥誌、32、315-318 (1961)
- (86) 藤原彰夫・黒沢 諦：タバコに及ぼす核酸物質施用の影響 (第2報) タバコに及ぼす核酸物質の施用と光線の関係、土肥誌、32、319-322 (1961)
- (87) 大杉 繁・吉江修司：有機質肥料の分解に就いて (第2報) 組成成分との関係、農化誌、6、917-926 (1930)
- (88) 郡司掛則昭・久保研一：有機物の窒素分解特性と果菜類に対する効果的施用法、熊本県農研セ報告、5、46-55 (1996)
- (89) 中国農試生産環境土壌管理研・中国農試作物開発部作物生理研：作物による遊離アミノ酸の吸収機構の解明、平成3年度概要書 (1991)
- (90) 佐野修司：日本の農耕地土壌における窒素の形態別定量評価、日本土壌肥料学会編、土壌肥沃度の評価と管理-食料生産と環境保全の両立に向けて-、p7-39、博友社、東京 (2008)
- (91) 西沢直子・森 敏：自己貧食による液胞形成－ヘモグロビンで育てた水稻冠根皮層細胞の場合、土肥誌、48、471-480 (1977)

- (92) 慎 鏞吉・山口益郎・奥田 東：高等植物の生育に及ぼす有機物質の影響（第2報）無菌液耕培養下での水稻幼植物の生育に及ぼすアミノ酸の影響、土肥誌、37、311-314（1966）
- (93) 慎 鏞吉・山口益郎・奥田 東：高等植物の生育に及ぼす有機物質の影響（第3報）無菌水稻幼植物に吸収されたアミノ酸の体内での挙動、土肥誌、37、451-456（1966）
- (94) 二瓶直登：植物のアミノ酸吸収—植物の種類、アミノ酸の種類による違い、CD-ROM版農業技術体系、作物栄養Ⅲ 44の10、追録第20号、農文協、東京（2009）
- (95) 二瓶直登：有機栽培における有機態窒素成分の直接吸収に関する研究、季刊肥料、110号、40-51（2008）
- (96) 二瓶直登・増田さやか・田野井慶太郎・頼泰樹・中西友子：無菌栽培でアミノ酸を窒素源としたときの作物の初期生育、日作紀、81、194-200（2012）
- (97) 樋口太重：緩衝液で抽出される有機窒素化合物の性質について、土肥誌、53、1-5（1982）
- (98) 山室成一：水田土壌中のアミノ酸の定量法とその動態、土肥誌、51、131-135（1980）
- (99) 山室成一：表層および全層施肥 $\text{NH}_4\text{-N}$ と土壌無機化窒素の有機化、脱窒および水稻による吸収、土肥誌、57、13-22（1986）
- (100) 山室成一：細粒質強グライ土水田における堆肥 $\text{NH}_4\text{-N}$ と土壌無機化窒素の動態と堆肥3年連用との関係、土肥誌、57、23-28（1986）
- (101) 山室成一：水田における窒素の動態に関する ^{15}N トレーサー法の理論的展開、土肥誌、59、538-548（1988）
- (102) 山室成一：細粒質強グライ土水田における土壌無機化窒素の動態と堆肥6年連用との関係、土肥誌、57、551-557（1986）
- (103) 野菜試土肥研・山梨総農試：野菜畑における養水分環境の動態解明とその好適化技術の開発—根圏における物質代謝(1) トマト根圏土壌中のアミノ酸、昭和63年度概要書（1989）
- (104) Satoshi Mori, Hiroshi Uchino, Fumihisa Sago, Satoru Suzuki, and Akira Nishikawa, : Alleviation effect of arginine on artificially reduced grain yield of NH_4^+ - or NO_3^- -fed rice, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31, 55-67（1985）
- (105) 森 敏：有機態窒素と無機態窒素の共存条件下での植物の窒素吸収能について（第2報） $[\text{U-}^{14}\text{C}]$ グルタミン、 $[\text{2, 3-}^3\text{H}]$ アルギニンおよび $^{15}\text{N-NO}_3$ の共存培地からいずれを優先的に吸収するか、土肥誌、50、49-54（1979）

- (106) 農技研肥料化学科・三弊正巳：有機質肥料に関する研究、昭和53年度概要書（1979）
- (107) 小田島ルミ子・阿江教治・松本真悟：ハウレンソウの窒素吸収特性とその栽培跡地土壌の窒素の形態、土肥誌、78、275-281（2007）
- (108) 橋本真明・本田 朋・頼 泰樹・中村進一・服部浩之：種々の堆肥施用が土壌及び作物の遊離アミノ酸組成、含量に与える影響について、土肥要旨集、55、152（2009）
- (109) 和歌山農試環境保全部：環境保全型栽培基準設定調査事業 3) ぼかし肥料の種類とコマツナの生育量・窒素吸収量、平成9年度概要書（1998）
- (110) 橋本 崇・木村龍介・野副卓人・関口哲生・古賀野完爾：市販発酵有機質肥料施用土壌における窒素の動態、土肥要旨集、44、168（1998）
- (111) 丸本卓哉：土壌微生物の養分供給能と環境修復・緑化技術の開発に関する研究、季刊肥料、109号、16-31（2008）
- (112) 樋口太重：緩衝液による有機化窒素および土壌有機態窒素の抽出特性、土肥誌、52、481-489（1981）
- (113) 伊藤千春・阿江教治：各種抽出液によって抽出される可給態窒素の土壌中の存在形態、土肥誌、71、777-785（2000）
- (114) 山縣真人・中川建也・阿江教治：根圏土壌のプロテアーゼ活性の作物間比較、土肥誌、68、295-300（1997）
- (115) 萩内謙吾・中嶋直子・阿江教治・松本真悟：リン酸緩衝液抽出物中に含まれる有機態窒素のアミノ酸組成、土肥誌、71、385-387（2000）
- (116) 松本真悟・阿江教治：養分吸収機構からみた持続的農業のための輪作組合わせ、CD-ROM版農業技術体系、追録大5号、農文協、東京（2004）
- (117) 阿江教治・松本真悟：秋冬作物は有機態チッソを好む—分子量8000ダルトンのタンパク様物質を直接吸収、現代農業、2000年10月号、316-321（2000）
- (118) 阿江教治・松本真悟・杉山 恵：土と作物間で起こるさまざまな養分吸収システム、CD-ROM版農業技術体系、追録第3号、農文協、東京（2002）
- (119) 高澤まき子・保井明子：有機栽培トマトの品質と土壌成分、日本食生活学会誌、10、32-38、（1999）

- (120) 藤原孝之：有機野菜の品質評価研究の課題と展望、園学研、5、1-5 (2006)
- (121) 古館明洋・目黒孝司：有機栽培等パレイショの内部品質事例、北海道立農試集報、73、29-34 (1999)
- (122) 中本 洋・黒島 学・塩澤耕二：ハウレンソウのシュウ酸、硝酸、ビタミンCに及ぼす遮光、気温、かん水、堆肥施用の影響、北海道立農試集報、75、25-30 (1998)
- (123) 吉田企世子：野菜の成分変動—収穫、流通、保存において—、調理科学、26、359-363 (1993)
- (124) 目黒孝司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭：夏どりハウレンソウの内部品質指標、土肥誌、62、435-438 (1991)
- (125) 森 俊人・中川勝也・藤本治夫：低温寡照期におけるハウストマトの品質改善、昭和52年度新技術—近畿中国地域における—、No. 11、29-40 (1998)
- (126) 高橋敦子・伊藤喜誠・奥嶋佐知子・吉田企世子：カボチャの品質による果肉成分の違いが食味に及ぼす影響、日本調理科学会誌、30、232-238 (1997)
- (127) 高橋敦子・松田康子・駒場千佳子・奥嶋佐知子・吉田企世子：異なる土壌条件で栽培したコマツナのミネラル含量および硝酸態窒素含量、アミノ酸含量の調理操作による変動について、日本調理科学会誌、39、115-121 (2006)
- (128) 高橋敦子・松田康子・駒場千佳子・奥嶋佐知子・吉田企世子：異なる土壌条件で栽培したコマツナの食味と物性について、日本調理科学会誌、39、122-131 (2006)
- (129) 有原文二：ダイズ安定多収の革新技術—新しい生育のとらえ方と栽培の基本、p1-256、農文協、東京 (2000)
- (130) 中川祥治・山本秀治・五十嵐勇紀・田村夕利子・吉田企世子：堆肥および有機質肥料の施用がコマツナ (*Brassica campestris* L. rapifera group) の硝酸、糖、アスコルビン酸、およびβ-カロテン含量に及ぼす影響、土肥誌、71、625-634 (2000)
- (131) 藤原孝之・板倉 元・吉川重彦・安田典夫：有機質肥料および堆肥の連用がハウレンソウの品質に及ぼす影響、日本食品科学工学会誌、46、815-820 (1999)
- (132) 山口智子・村上 恵・石渡仁子・高村仁知・荒川彰彦・大谷博実・寺尾純二・的場輝佳：有機質肥料と化成肥料で栽培したキャベツのラジカル捕捉活性、日本食品科学工学会誌、46、604-608 (1999)

- (133) 福家洋子・永田郁子・丸田里江・益永利久・加藤哲郎・上田浩史：肥料の違いが野菜の生育および生理活性に及ぼす影響、日本食品科学工学会誌、47、700-707 (2000)
- (134) 金田吉弘・磯部百葉・高階史章・佐藤 孝：25年間の長期連作で多収を維持するダイズ栽培の特徴、農業および園芸、93、944-950 (2018)
- (135) 農林水産省：大豆関連データ集、http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/index.html、2018年10月31日閲覧
- (136) 新良力也：田畑輪換水田の現状と土壌管理についての問題提起、田畑輪換土壌の肥沃土と管理—変化の要因と制御の考え方—、p9-26、博友社、東京 (2010)
- (137) 有原文二：ダイズ安定多収の革新技術—新しい生育のとらえ方と栽培の基本、p1-256、農文協、東京 (2000)
- (138) 浅野次郎：野菜の品質に及ぼす有機物(油かす、パークたい肥)の影響、農業および園芸、57、1399-1404 (1982)
- (139) 玉置雅彦・吉松敬祐・堀野俊郎：水稻有機農法実施年数と米のアミノグラム特性値およびミネラル含量との関係、日作紀、64、677 (1995)
- (140) 玉置雅彦・猪谷富雄・山本由徳：異なる光条件下における有機質肥料と無機質肥料が水稻の生育に及ぼす影響、日作紀、68、16-20 (1999)
- (141) 山崎晴民・六本木和夫：有機物施用が葉菜類の収量及び品質に及ぼす影響、埼玉園試研報、21、7-20 (1998)
- (142) 西田一平・立川元治・古山賢治：開発造成畑野菜作における有機物の施用効果、奈良農試研報、26、53-60 (1995)
- (143) Wikipedia：古細菌、<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%A4%E7%B4%B0%E8%8F%8C>、2019年8月21日閲覧
- (144) 森 敏：植物の「無機栄養説」批判、東京大学博士論文、p1-240 (1979)
- (145) 森 敏・内野 弘：植物の無機栄養批判(2)、有機N化合物による水稻、大麦の成育、土肥誌講要、22、A42 (1976)
- (146) 森 敏・内野 弘：植物の無機栄養批判(3)、有機N源による水稻の生長解析、土肥誌講要、22、67 (1976)

以下3文献は原著論文が入手できなかったのでそれぞれの文献解題から引用した

- (147) 志賀一一：文献解題、日本土壤肥料学会監修、有機質肥料の研究成果に関する文献収録、p123-128、p129-135、p148-153、全国農業協同組合連合会発行（1980）
（原著論文）三幣正己：有機質肥料に関する研究（第2報）、動植物かす類の肥効の検討（I）、農技研肥料化学科資料、No. 168、49-76（1973）
- (148) 志賀一一：文献解題、日本土壤肥料学会監修、有機質肥料の研究成果に関する文献収録、p129-135、全国農業協同組合連合会発行（1980）
（原著論文）三幣正己：有機質肥料に関する研究（第3報）、動植物かす類の肥効の検討（I）、農技研肥料化学科資料、No. 177、1-54（1974）
- (149) 志賀一一：文献解題、日本土壤肥料学会監修、有機質肥料の研究成果に関する文献収録、p148-153、全国農業協同組合連合会発行（1980）
（原著論文）三幣正己：有機質肥料に関する研究（第5報）、連用効果その他、農技研肥料化学科資料、No. 206、1-60（1977）

以下の4文献は原著論文が入手できなかったので他文献の記述から引用した

- (150) 浅野次郎：砂地土壌における野菜の生産特性、今月の農薬、27、11月号、12月号（1983）
文献51のp108より引用
- (151) 斉藤 進：有機質肥料の特性解明に関する研究、成績検討会資料（全農主催）（1982-1984）
文献51のp91 図Ⅲ-2、同p91 表Ⅲ-5より引用
- (152) Chapin, F. S. III, Moilanen, L. and Kielland, K. : Preferential use of organic nitrogen for growth by a nonmycorrhizal arctic sedge. *Nature*, 361, 150-153 (1993)
文献2のp110-111より引用
- (153) Owen, A. G. and Jones, D. L. : Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil Biol. Biochem.*, 40, 2237-2245 (2001)
文献19のp2より引用

最後まで読んでいただき 誠にありがとうございました



新有機質肥料講座（総論）ver. 2. 21
初版作成：2018年 5月20日
最終改定：2019年11月13日
文責
清和肥料工業株式会社
研究室長 真野良平
r. mano@shk-net. co. jp

最後まで読んでいただき、誠にありがとうございました。

有機質肥料の多くは、化学肥料に比べて臭気などの点で取扱いに難点があると同時に価格も高いと思います。1990年ころから始まった有機ブームの時期に比べて有機質肥料の人気は下降気味ですが、現在でも熱心な生産者が多数います。弊社ではウェブサイト上で「有機肥料講座」を開設していましたが、公開後14年を経過し、内容も古くなりました。いささか都合良く書きすぎていた部分もあったように反省しています。そこで、改めて有機質肥料に関する文献を精査し、新有機質肥料講座として執筆いたしました。

有機質肥料は、その価格に比べて肥料成分の利用率（有効度）が低く、肥効調節型肥料（被覆肥料）よりも肥効制御が難しく、施用直後には植物阻害作用が出ることもあります。欠点もある有機質肥料ですが、改めて見直してみると優れた部分も沢山あることが分かりました。

弊社にとっても、筆者にとっても原点と言うべき有機質肥料について、真の姿を残したいとの思いから本編の執筆を決心いたしました。筆者の力量を遥かに超えるものであることは重々承知しております。可能な限り多くの文献を調査しましたが、データ個々の解釈には異論もあるかと思えます。筆者の勉強不足による間違った解釈や記載があるかもしれません。広くご批判、ご指摘等を頂戴できますなら幸甚に存じます。本講座が、農業生産に関わる方々にとって、少しでもお役に立つことがあれば幸いです。

2019年11月13日