

委託プロジェクト
有機農業を特徴づける客観的指標の開発と
安定生産技術の開発
技術資料集

(国研)農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業研究センター

有機農業の広がりと深化のために ——有機農業技術研究資料集・まえがき——

この資料集は農林水産省の委託を受けて農業・食品産業技術総合研究機構(以下、農研機構)が中心となって5ヶ年にわたって取り組んだプロジェクト研究「有機農業を特徴づける客観的指標の開発と安定生産技術の開発」(2013年度～2017年度)の報告書です。内容は2部に分かれており、第1部は、有機農業の安定化を目指す実践的な技術開発研究の報告、第2部は、有機農業の技術的本質を探るやや基礎的な研究の報告です。

日本の有機農業は、最初の提唱からすでに80年余が過ぎた、とても息の長い民間主導の技術運動と言えます。40年ほど前からは、食品公害、農業環境問題、地球環境問題の深刻化のなかで、安全で環境に優しいこれからの農業のあり方として広く国民の支持を受けるようになっていきます。これらの動きに遅れたスタートではありましたが、2006年には有機農業推進法が制定され、国民の願いに応じて、有機農業者の取り組みを支援する諸施策が国によって推進されるようになりました。

技術開発、研究推進も国の有機農業推進施策の重要な柱と位置づけられました。農林水産省の委託による本格的な研究プロジェクトとして、2009年から4年間の継続で「有機農業の生産技術体系の確立」(2009年度～2012年度)が実施されました。これを第1期とすれば、この資料集で報告する研究プロジェクトは第2期と位置づけられます。内容的には第1期のプロジェクトを継承しており、両者をもって推進法に基づいて農研機構が中心となって進めた有機農業技術研究9年間(2009年度～2017年度)の中間取りまとめとすることになります。

研究期間の終了にあたって、まずはプロジェクトの成果内容を実践農家にお伝えしたいという考えから、この資料集のとりまとめに先行してカラーパンフ『有機農業の栽培マニュアル——実践現場における事例と研究成果』(2018年5月)を刊行しています。本資料集はその内容を詳しく説明したものです。できれば両方を対照しながらお読みいただければと思います。

まず、この資料集の構成と内容を簡略に説明します。最初に述べたようにこの研究は、現場での実践的な技術開発研究とやや基礎的な研究の二つの部分に分かれています。

第1部の現場での実践的な技術開発研究では、3つの現地テーマを取り上げました。

第1のテーマは、佐賀・平坦水田地帯での、冬作に有機野菜や有機小麦を取り入れた複合農業的な経営改善への支援です。温暖な気候を活かした冬季の有機野菜や有機小麦には、生産者にとってかなり有利な需要が潜在的にはあるものの、現地ではなかなか安定した生産体制が確立できていないという状況がありました。この研究ではこうした現地動向に則して一連の改善策を提案しました。体系的な栽培技術がおおよそ確立されて、新しい経営的展望を見通せるところまで到達できたと考えられます。対象地域が地力に恵まれた全国有数の多収穫稲作地帯であり、その特質を矛盾なく活かしていくことへの配慮が、研究推進における一つのポイントとなりました。

第2のテーマは、中部日本での有機レタス栽培に関するものです。

ここでは、長野・高冷地野菜地帯を取り上げ、そこで確立されてきたやや大規模な有機レタス栽培の生産体系の紹介と改善対策の提案をしています。長野県は高冷地野菜の大産地となっており、生産農家の規模も大きく、所得水準もおおむね高いものです。しかし、生産技術の実態をみると、連作、多肥多農薬の問題は深刻で、それへの抜本的対策の確立が求められています。また、高冷地野菜の有機栽培への消費者の期待も大きなものです。

こうした中で現地を精査してみると、有機農業でかなりの規模(約7ha)の生産体系の確立に成功している農家事例に出会うことができました。この研究では、この農家の、べたがけ資材(半透明の薄い

不織布)の浮きがけ利用などの一連の生産技術を詳細に追跡し、その技術内容を科学的に整理し、なお残されているいくつかの技術的な課題についても改善の方途を提示することができました。この成果を踏まえた生産により、高冷地レタスの有機栽培の普及・拡大を進めることが可能になると期待されます。

併せて、秋冬季レタスの大産地である茨城県の事例も取り上げました。ここでの有機レタス栽培では病害が大きな障害になっているので、病害の実態を詳しく調査し、病原菌の特定や有機栽培における対策を提案しました。

第3のテーマは、京都府・中山間地帯でのビニールハウス利用の有機ホウレンソウ周年栽培に関するものです。提案の内容は、連作障害対策技術として開発されたカラシナ、ダイコン残さなどの鋤込みによる生物的土壌燻蒸処理の実施です。太陽熱利用の消毒技術についてはすでに一般技術として普及定着していますが、この提案はそれを高度化し、連作障害対策に終わらせるのではなく、さらに土づくりの進展へと繋げようとしたものです。京都府だけでなく山口県でも同様の試験を進め、成果の汎用性を確認しています。加えて、施設ホウレンソウ栽培で難問題となっているホウレンソウケナガコナダニの有機栽培における対策技術も提案できました。これらの研究は現地生産者との協働で進められ、現場において成功事例を作り出すことができました。

第2部では、現場での取り組みと連関させながら有機土壌の持つ特性を解析することにより、作物生産に関わる基盤的な研究を進めました。具体的テーマは4つあります。

第1は水稻箱育苗における有機栽培育苗土の病害抑制機能についてです。水稻箱育苗の環境は病害が発生しやすく、農薬を使わない有機育苗には難しさがありました。ところが、実績のある有機稲作農家では、育苗期に病害の発生がない技術が確立されていました。その技術的ポイントはそれぞれの農家が独自に熟成させた堆肥等を用いて調整する育苗土にあるようだとの見通しを立てて、病害抑制に成功している東日本の11戸の農家から育苗土を提供いただいて研究を進めました。ご提供いただいた育苗土は素材、熟成方法はそれぞれに異なりましたが、病害抑制効果についてはほぼ同様な効果が認められました。研究では育苗土の微生物的構造に注目して、病害抑制機能のある生物群をおおよそ特定できました。さらにそれだけでなく、病害抑制には育苗土の微生物の多様性の役割も大きく、それらは環境変化等では容易には壊されない堅牢性(ロバストネス)をもっていることが確認されました。

微生物群集の多様性とその堅牢性が病害抑制に強い機能を有するという認識はこの研究結果の一つの核心でした。しかも、そうした独特な機能をもつ育苗土は有機稲作においては「特殊かつ特定のもの」ではなく、素材もそれぞれで熟成方法もそれぞれなのに、共通した機能を発揮しているようなのです。これらの点は有機農業技術の特質としてとても重要だろうと考えられます。今後の研究のいっそうの展開が期待される成果と言えます。

第2のテーマは有機農業の土づくりの成熟の指標的把握についての研究でした。端的に言えば土づくり進展度合いの指標化です。

この研究では、有機質肥料としてごく普通に使われている米ぬかを取り上げて、土づくりの程度によって、米ぬかの分解性は顕著に異なるという現象を突き止め、そのことの微生物生態的なメカニズムを解明しました。別の言い方をすれば土による米ぬかの消化力の解明と判定です。

米ぬかは有機質肥料としてとても有用ですが、脂肪が多いため施用初期には分解し難く、分解過程では作物の発芽や生育を阻害する物質が生成されることがあるなど、使用に当たっては注意を要するものでした。こうしたなかで研究推進の背景には、有機農業が続けられてきた畑では、米ぬかは、迅速に分解消化され、問題も起こらずに使用されているという経験的事実がありました。

この研究では、現場でのこの事実確認を踏まえて、そこに微生物生態的な独特なメカニズムの形成がありそうだと考えて研究を開始しました。その結果、有機農業の土づくりを重ねてきた畑では、ほぼ共

通してプロテアーゼ活性が高いという特徴があることが確かめられ、さらに、そこにはプロテアーゼ生産機能を持つ微生物群集が形成されていることもほぼ確認することができました。また、プロテアーゼ活性が高い土壌では、土壌の理化学性についても改善されている傾向にあることが確認できました。このプロテアーゼ活性に関わる機能改善は、有機農業と同様の土づくりを進めている環境保全型農業でもほぼ共通に認められることも解りました。

ただし、プロテアーゼ活性に関するこれらの知見は、限定された地域から採取した土壌の解析によって得られたものであり、すべての土壌について常に普遍的に認められるか否かについては今後の検証が必要となります。例外的なケースなども含め、より広い地域を対象にした詳細な研究を進めていくことが大切です。

第3のテーマは、有機栽培畑土壌では土壌線虫の生態に独特の構造があるという見通しからの研究でした。研究の初期の段階では、畑によって有害線虫の生息密度にはかなり明確な違いがあることが確認されました。しかし、その違いを有機栽培・慣行栽培で直ちに区分することは、研究手法上も難しかったため、線虫に着目したより詳細な研究の前段階として、有機栽培畑における線虫も含めた土壌小動物の生態的特性の把握に取り組みました。研究対象は長期間除草剤を使わず無施肥での管理を続けてきたりんご園としました。そこでは線虫、ダニ、トビムシなどの土壌小動物の生息数が慣行栽培の園と比較して有意に多いことが確かめられました。また、新しい実験手法を導入して土壌中の全DNA量を定量し、土壌中の微生物量を推定しました。既存の知見から、全DNA量が有機農業圃場の生物的特性把握の有力な指標になることが期待できます。

長年除草剤を使用しないりんご園では、自然な雑草草生が継続されてきました。現地での多面的な測定で、この環境が土壌中の植物遺体を増加させ、それが微生物の増殖に繋がり、また、土壌小動物も増加させるという連鎖があることも確認することができました。

園地における自然再生の序列としては、まず雑草草生による有機物の蓄積があり、それが土壌微生物の増殖を育み、微生物を餌とする土壌動物の多様な生息につながり、それらの連鎖が園地の生産的安定性を生み出すと考えることができます。これらの現象の詳しい検証は今後に残された課題となっています。

第4のテーマは、自然農法によるりんご栽培園についての技術的検証でした。

この研究では、弘前市の現地園の栽培管理を詳しく把握し、現地園と気象条件等が類似している盛岡市の農研機構研究センター内に現地園の栽培管理法に忠実に従った模倣試験園を設定して、7年間にわたる追跡調査を行いました。その結果、模倣試験園では病害虫による落葉が著しく、転換7年目になっても、収量・品質は著しく劣り、自然農法の汎用は困難と判断されました。

しかし、現地園自体に関しては、この追跡模倣園よりも生育はよく、落葉もある程度抑制されていて、収量は低位ながらある程度確保されており、品質にも独特なものがあることが確認されました。また、現地園のリンゴ葉の葉面微生物の調査で、葉面には独特の微生物生態系がかたちづくられていることが確認できました。

この研究では、周辺の有機 JAS 認定農家での調査も実施しました。そこでは、さまざまな技術的工夫の積み上げによって、収量・品質がともに市場出荷の水準に達しており、これからは有機 JAS 認定農家への技術支援が有効であるといえます。

本資料集で報告した研究成果はおおよそ以上のもので、いずれの課題についても当初の研究目的はほぼ達成できたと判断しています。この中で、とりわけ特徴的であることは、これらの異なる複数の課題の新しい研究成果が、内容的には相互に関連しあっており、全体として有機農業技術の体系性を浮き彫りにするものとなっていることです。

農地に付加される有機物の受け入れと分解能、その継続の中で出現していく微生物等の多様性とその堅牢性、畑の雑草草生が作り出す土壌生物の多様性、それらの連鎖の中で有機農業の安定した

生産性が徐々に形成されていく。このような営みが、本研究で実証され、また示唆される重要な認識群だと考えられます。これらの認識は、有機農業という限定した場面だけでなく、農業一般を考える上でもたいへん刺激的な問題提起となっていくと考えられます。本プロジェクト研究における、これらの成果を踏まえた一層の研究推進が強く期待されるところです。

第1期、第2期と継続された本研究がこのように多彩な研究成果を生み出し、そこに個別の知見に加えて有機農業技術の本質解明に向かう体系的な認識が示されてきたことは大きな成果だったと思います。そうしたことが実現できたのは、何よりも、現地にすでにしっかりとした有機農業の実践の積み重ねがあり、本研究がそれらの実践に寄り添い、その支援を得ながら進められたからにほかなりません。ご多用の中、快くご協力いただき、私たちに様々なことを懇切にご教示くださった有機農業農家の皆さんに深く感謝します。

最後になりましたが、このプロジェクト研究の第1期開始から第2期終了まで、9年にわたり外部評価委員を勤めてくださった茨城大学名誉教授中島紀一様ならびに住友化学(株)アグロ事業部開発・マーケティング部技術顧問牧野孝宏様に全てのプロジェクト担当者を代表し、お礼を述べたいと思います。お二人は、農業全般に対する深い造詣と有機農業への情熱をもって、私たちプロジェクト担当者を「叱咤激励」し続けてくださいました。有機農業の奥深さに気後れし、立ち止まってしまうがちな私たち研究者をある時は厳しい言葉で叱り、そしてある時は暖かく励まし、このプロジェクトが進むべき方向を常に照らす明かりをともして下さいました。プロジェクトの成果をこうしてマニュアルと技術集として皆様のお手元に届けることができるのも、外部評価委員のお二人のご指導があつてこそです。本当にありがとうございました。

プロジェクト推進リーダー(農研機構中央農業研究センター 虫・鳥獣害研究領域長) 後藤 千枝

目次

有機農業の広がりと深化のために—有機農業技術資料集・まえがき—

i ~ iv

委託プロジェクト「有機農業を特徴づける客観的指標の開発と安定生産技術の開発」概要

1. 年次計画 1
2. 実施体制（課題担当者一覧） 2~3
3. 研究目的 4
4. 研究成果 4~5
5. 今後の課題 6
6. 研究成果一覧 6~8

農研機構におけるこれまでの有機農業研究 9~10

第1章 有機農業を安定的に営農するための生産技術体系

第1節 暖地水田二毛作を対象とした雑草防除技術、土壌管理技術の検討と経営評価

1. 水稲後露地野菜の有望品種と定植時期 1-1~1-4
2. 露地野菜の施肥法 -マルチを被覆する栽培体系での施肥法 1-5~1-6
3. パン用小麦と水稲の二毛作体系での施肥法 1-7~1-8
4. 水稲+露地野菜二毛作における堆肥連用の影響 1-9~1-11
5. 現地実証における水稲+露地野菜の経営評価 1-12~1-14
6. 小麦葉齢を指標にした有機麦作の機械除草の効果的な実施時期 1-15~1-18
7. 要約 1-18

第2節 高冷地における有機レタス栽培技術

—高冷地露地レタスを対象とした病虫害防除技術、土壌理化学性改善手法の検討—

1. 背景 2-1
2. 病虫害対策と施肥の基本的な考え方 2-1
3. 主要病害の発消長調査とその防除法 2-1~2-7
4. 重要害虫に対する物理的、生物的防除法 2-8~2-14
5. 圃場の理化学性改善方策 2-15~2-23
6. 経営評価 2-24
7. レタス栽培において発生する主な病虫害《病害》 2-25~2-28
《虫害》 2-29~2-31
8. 関連成果（1）レタスすそ枯病の発生生態 2-32~2-36
（2）レタス立枯病の発生生態 2-37~2-39
9. 要約 2-39~2-40

第3節 アブラナ科植物のすき込み等を利用したハウレンソウの有機栽培技術

—施設ハウレンソウを対象とした生物的土壌燻蒸効果の安定と維持のための適正な圃場管理技術、栽培技術の検討—

1. 背景	3-1
2. 基本的な考え方	3-1
3. 作付け計画	3-1
4. カラシナのすき込みによる土壌消毒	3-1～3-4
5. ダイコン残渣のすき込みによる土壌消毒	3-5～3-10
6. 藻類の抑制と投入有機物の工夫等によるハウレンソウケナガコナダニ管理技術	3-10～3-17
7. 要約	3-17

第2章 有機農業を特徴づける指標の策定

第1節 水稻の有機栽培育苗土に特徴的な微生物相と病害抑制効果

1. 課題の背景・目的	4-1
2. 試験方法	4-1～4-2
3. 結果と考察	
(1) 有機栽培育苗土の病害抑制効果	4-2～4-3
(2) 有機栽培育苗土の土壌理化学性の解析	4-3～4-4
(3) 有機栽培育苗土の微生物多様性と環境変化に対する堅牢性の解析	4-5～4-6
(4) 有機栽培育苗土からの病害抑制活性を有する細菌の分離	4-6～4-7
(5) 有機栽培育苗土から分離した細菌施用による植物免疫の活性化の解析	4-7～4-8
(6) 有機栽培育苗土由来の培養可能な細菌の混合施用による病害抑制効果の解析	4-8～4-9
(7) 自作のもみ殻堆肥のイネもみ枯細菌病抑制効果	4-9
4. おわりに	4-10
5. 要約	4-10

第2節 有機栽培の安定化に対応した生物的指標の抽出・策定

1. 課題の背景・目的	5-1
2. 試験方法	5-1～5-2
3. 結果と考察	
(1) 有機物投入履歴の異なる現地圃場における米ぬか培養法を利用した窒素供給量評価	5-2～5-3
(2) つくば市内露地野菜農家圃場における調査事例	5-4
(3) 土壌管理履歴の異なる農家圃場における調査事例	5-4
4. 要約	5-4～5-5

第3節 リンゴ有機栽培実践園における病害虫発生抑制機構の解明と生物指標を用いた圃場評価法の開発

1. リンゴ有機栽培実践園の病害虫防除体系を再現した試験圃場における病害虫発生抑制要因の解析	
(1) 課題の背景・目的	6-1
(2) 試験方法	6-1～6-2

(3) 結果	
1) K園摸倣区における病害発生状況	6-2～6-3
2) K園摸倣区における虫害発生状況	6-3～6-4
3) 樹体生育および果実品質	6-4
4) 食酢の病害防除効果	6-4～6-5
5) マシン油の発芽前1回散布のナシマルカイガラムシに対する防除効果	6-5
6) 果実袋のシンクイムシ類に対する防除効果	6-5～6-6
7) 果実袋の種類が果実病害の発生程度に及ぼす影響	6-6
(4) 考察	6-7～6-8
2. リンゴ有機栽培実践圃における生物指標を用いた圃場評価法の開発	
(1) 課題の背景・目的	6-9
(2) 試験方法	6-9～6-10
(3) 結果	
1) K園の病害発生状況	6-11～6-12
2) K園リンゴ葉面微生物相の年次及び季節変動の特徴	6-12～6-14
3) 自然栽培リンゴ園における病害抵抗性の品種間差異とリンゴ内生菌の分析	6-14～6-15
4) K園に特徴的な <i>Pseudomonas</i> 属細菌の動態	6-15～6-17
(4) 考察—K園に特報的な葉面微生物	6-17
3. 要約	6-17
第4節 有機栽培や自然栽培の農家圃場を検出する生物指標作りを目指して	
—土壌生物相に対する除草剤使用の影響解明—	
1. 課題の背景・目的	7-1
2. 試験方法	7-1～7-3
3. 結果	7-3～7-7
4. 考察	7-7
5. 要約	7-8

索引

2. 実施体制(課題担当者一覧)

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	農研機構中央研	病虫害研究領域長	◎ 本多健一郎(～2015.3)
	農研機構中央研	虫・鳥獣害研究領域	◎ 後藤千枝(2015.4～)
1. 有機農業を特徴づける指標の策定	農研機構中央研	土壌肥料研究領域	○ 橋本知義
(1) 有機栽培の安定化に対応した生物的指標の抽出・策定	農研機構中央研	土壌肥料研究領域	△ 橋本知義 唐澤敏彦 長岡一成 (～2015.3, 2017.4～) 須賀有子 (2015.4～2017.3)
		虫・鳥獣害研究領域	岡田浩明(2016.4～)
(2) 栽培管理方法に対応した土壌自活線虫相の特徴解明と指標化	農環研	生物生態機能研究領域	△ 岡田浩明(～2016.3)
(3) 有機栽培水稻に特徴的な微生物相と病害抑制効果	東北大学大学院		高橋英樹 △ 安藤杉尋
(4) リンゴ有機栽培実践園における病虫害発生抑制機構の解明と生物指標を用いた圃場評価法の開発	農研機構果樹茶業研究部門	リンゴ研究領域	△ 伊藤 伝(～2016.3) 柳沼勝彦(～2016.3) 守谷友紀(～2016.3)
	弘前大学		佐野輝男(～2016.3) 杉山修一(～2016.3)
2. 有機営農を早期に安定化させる技術開発と体系化	農研機構西日本研	生産環境研究領域	○ 竹原利明
(1) レタス有機栽培における安定生産技術の体系化と経営評価	農研機構中央研	病害研究領域	△ 山内智史
	長野県野菜花き試験場	長野県野菜花き試験場	藤永真史 (2013.4～2014.3) 小木曾秀紀 (2014.4～2015.3) 清水時哉(2015.4～)

<p>(2) 生物的土壌燻蒸を活用したハウレンソウ有機栽培技術の体系化と経営評価</p>	<p>農研機構西日本研 山口県農林総合技術センター</p>	<p>生産環境研究領域 作物開発利用研究領域 農業技術部</p>	<p>桑澤久仁厚 (2013. 4～2017. 3) 金子政夫(2017. 4～) 矢口直輝 (2013. 4～2016. 3) 佐藤強 (2016. 4～2017. 3) 出澤文武(2017. 4～) △ 竹原利明 伊藤陽子 村上健二(2017. 4～) 吉岡陸人 徳永哲夫(～2014. 3) 木村一郎 (2014. 4～2017. 3) 本田善之(2016. 4～) 中島勘太(2017. 4～)</p>
<p>(3) 暖地有機二毛作体系の現地実証と営農安定化指針の策定</p>	<p>農研機構九州研 佐賀県農業試験研究センター</p>	<p>水田作研究領域</p>	<p>△ 増田欣也 大段秀記 住吉 正 中山敏文(～2014. 3) 國枝栄二 (2014. 4～2017. 3) 菖蒲信一郎(2016. 4～) 森則子(～2016. 3) 平田真紀子(2016. 4～) 八田 聡 牧 善弘 山口純一郎 (2016. 4～2017. 3) 大塚紀夫(2017. 4～) 衛藤友紀(2017. 4～) 渡邊幸子(2017. 4～)</p>

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

3. 研究目的

新規就農希望者のうち約3割が有機農業への取り組みを希望するなど、有機農業への参入者は今後も増加する見通しである。しかし、有機農業へ転換後の圃場では、数年に渡り有機農産物の生産が不安定であることが経験的に知られており、転換から安定生産までの期間の長短が新規参入者の経営安定化に大きく影響すると考えられる。国の施策として、有機農業の推進に関する法律のもと、有機農業の推進に関する基本的な方針において、有機農業の取り組み面積を現在の0.4%から1%に倍増させる目標が掲げられている。技術開発については、有機農業の初期の経営の安定に資するための土壌微生物相等に着目した科学的指標の策定や、有機農業者が使いやすい土づくり等の技術を組み合わせた技術体系の開発等、有機農業の推進に資する重要な研究課題を国が設定し、推進するよう努めることが明記されている。

このため、本研究では、有機農業を特徴づける指標の策定、有機営農を早期に安定化させる技術開発と体系化により、有機農業圃場の状態を把握するための客観性のある生物的指標を提示するとともに、有機農業を安定的に実施するための生産技術開発を目標とする。

その結果、有機農業参入者の定着促進と経営の早期安定化、消費者への国産有機農産物の安定的な供給が期待される。

4. 研究結果

有機農業を特徴づける指標の策定については、有機栽培育苗土の水稻病害抑制効果の普遍性を明らかにし、育苗土微生物多様性とその堅牢性を病害抑制効果の指標として提示した。この成果は、有機稲作における健全育苗の仕組みを病害抑制機能（図1）に着目して科学的に解明したものであり、有機稲作のみならず特別栽培や慣行栽培における安定的な育苗技術開発の基盤となる成果である。また、野菜の育苗培土調整技術への応用も期待できる。畑土壌では、土壌の有機物分解を担うと考えられるタンパク質分解酵素(プロテアーゼ)生産細菌に着目し、その群集構造が有機物施用履歴と関係性があることを明らかにし、PCR-DGGE法で検出される安定した有機圃場に特徴的なバンド（特定のプロテアーゼ遺伝子を持つ細菌の存在を示す）を有機農業圃場の状態を把握するための客観性のある生物的指標候補として抽出した。また、青森県の有機ならびに慣行栽培りんご農家圃場の表層土壌を比較し、土壌中の線虫全体に占める糸状菌食性線虫 *Aphelenchoides*属の割合の高さが有機農業を特徴づける生物的指標となり得ることを示した。これらの指標候補は、対象地域を広げた調査に基づきその適用範囲を明らかにした上で、有機栽培圃場の安定化の指標として活用できるものと期待される。

有機栽培育苗土のイネもみ枯細菌病抑制効果

慣行栽培育苗土と有機栽培育苗土にイネもみ枯細菌菌を接種したイネ種子を播種したところ、有機栽培育苗土では発病が抑えられることがわかりました。



図1 有機栽培育苗土の病害抑制効果

有機営農を早期に安定化させる技術開発と体系化については、関東東山地域の高冷地レタス栽培を対象に不織布（べたがけ資材）の展帳方法と有機JAS栽培に適用可能な農薬の使用を病害虫対策の中心技術とし、施肥等の情報を加えた有機栽培技術を体系化した。施設栽培ハウレンソウについては、夏季に問題となるハウレンソウ萎凋病を防除するためのカラシナやダイコン残渣を用いた生物的土壌燻蒸技術を中心として、ハウレンソウケナガコナダニや雑草の耕種的抑制技術を組み合わせて、有機栽培に必要な病害虫・雑草管理技術を体系化した（図2）。北部九州地域の麦類および冬作露地野菜栽培を対象に、小麦葉齢を除草適期の生物学的指標として用いる機械除草技術を確立したほか、有機栽培に適する冬作野菜の品種選定、有機質肥料の部分施肥技術の改善などにに基づき、水稻と露地野菜の暖地有機二毛作栽培技術を体系化した。また、実証試験圃場や実施農家から得られたデータを元に経営試算を行い、それぞれの技術の導入による農業所得の増加についても明らかにした。

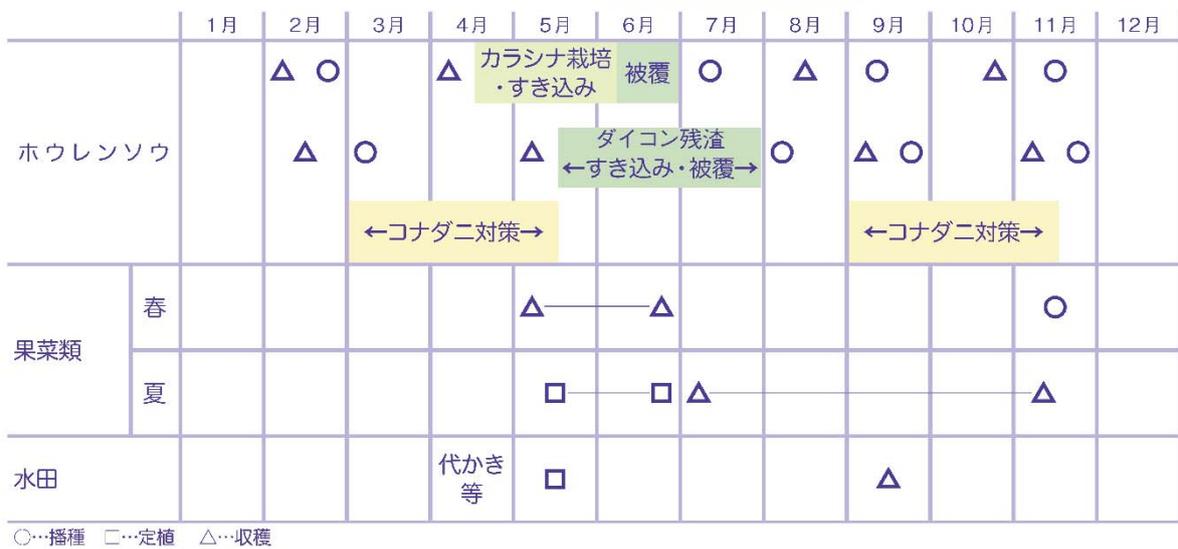


図2 生物的土壌燻蒸を用いたハウレンソウ有機栽培での作付体系の例
カラシナやダイコン残渣のすき込みによる土壌消毒期間中は、他の作業に集中できる。

以上の成果を取りまとめ、栽培マニュアルを作成した（図3）。



図3 栽培マニュアル表紙及び掲載事項

5. 今後の課題

今回作成した個々の有機栽培体系の実証は、研究を実施した地域に限定されたものであるため、他の地域において適用可能な技術と各地域での入手可能な資材を吟味して、普遍性を高めていくことになる。

もみ殻堆肥由来の細菌集団の混合施用による病害抑制技術の実用化に向けた研究の継続が必要である。また有機栽培育苗土に特徴的な細菌集団の研究成果は、野菜育苗培土における土壌微生物と病害抑制機能解明にも拡大し、実用化を進めることが望まれる。

土壌の生物的指標候補については、今後、調査事例を増やし、他の地域の土壌における適用可能性を明らかにする必要がある。

6. 研究成果一覧

タイトル	主著者	掲載誌	巻	頁	年
佐賀県における水稲の有機栽培技術の検証 第1報 有機質資材を用いた水稲育苗	森則子	日本作物学会九州支部会報	79	17-21	2013
佐賀県における水稲の有機栽培技術の検証 第2報 異なる施肥体系がトビイロウンカの発生に及ぼす影響	森則子	日本作物学会九州支部会報	79	22-26	2013
カラシナ等植物のすき込みによるバイオフィューミゲーション	竹原利明	技術と普及（全国農業改良普及支援協会）	50	65	2013
Changes and recovery of soil bacterial communities influenced by biological soil disinfestation as compared with chloropicrin-treatment.	竹原利明	AMB Express	3	46	2013
Suppression of spinach wilt disease by biological soil disinfestation incorporated with <i>Brassica juncea</i> plants in association with changes in soil bacterial communities.	竹原利明	Crop Protection	54	185-193	2013
Usefulness of Japanese-radish residue in biological soil disinfestation to suppress spinach wilt disease accompanying with proliferation of soil bacteria in the <i>Firmicutes</i>	竹原利明	Crop Protection	61	64-73	2014
Impact of organic crop management on suppression of bacterial seedling diseases in rice	安藤杉尋	Organic Agriculture	4	187-196	2014

植物バイオマスを用いた土壌還元消毒の効果と嫌気性細菌の動態	竹原利明	平成25年度研究成果情報	-	-	2014
緑肥作物鋤き込みによる土壌還元消毒時の一酸化二窒素発生と被覆資材の違いが与える影響	竹原利明	日本土壌肥料学雑誌	85	341-348	2014
「北部九州における水稻の有機栽培技術体系」	森則子	技術と普及	51	55	2014
佐賀県における水稻の有機栽培技術の検証 第3報 基肥窒素施用量と栽植密度が主要病害虫の発生と収量等に及ぼす影響	森則子	日本作物学会九州支部会報	81	9-13	2015
佐賀県における水稻の有機栽培技術の検証 第4報 有機栽培技術の体系化と現地実証	森則子	日本作物学会九州支部会報	81	14-17	2015
土壌還元消毒時の一酸化二窒素発生と被覆資材による放出低減	竹原利明	平成26年度研究成果情報	-	-	2015
レーキ式除草機による機械除草の実施時期と実施回数が暖地の水田裏作小麦作の雑草防除に及ぼす影響	大段秀記	九州の雑草	45	7-9	2015
焼酎粕濃縮液（肥料）の水稻への利用	増田欣也	土作りとエコ農業	531	24-29	2016
バイオフィューミゲーションに関する近年の研究と技術開発の動向	竹原利明	植物防疫	70	530-534	2016
Nematoda	岡田浩明	Global Soil Biodiversity Atlas			2016
ダイコン残渣すき込みでハウレンソウ萎ちょう病減	吉岡陸人	現代農業10月号			2016
麦作有機栽培におけるイネ科雑草及びコムギ葉齢を指標にした機械除草の効果的実施時期	大段秀記	九州の雑草	46	-	2016
<i>Pythium aphanidermatum</i> によるレタス立枯病（病原追加）とその発生への気温の影響	山内智史	関東東山病害虫研究会報	63	25-28	2016
イネ有機育苗培土における微生物相のロバストネスと苗病害抑制現象	高橋英樹	土と微生物（Soil Microorganisms）	70	6	2016
塩基配列解析に基づいた茨城県つくば市の露地野菜農家圃場における中性メタロプロテアーゼ生産細菌群集構造の解析	須賀有子	土と微生物（Soil Microorganisms）	71	18-23	2017

高冷地有機栽培レタスにおける病害の発生動向とその対策	清水時哉	関東東山病害虫研究会報	64	41-46	2017
Comparative analysis of microbial diversity and bacterial seedling disease-suppressive activity in organic-farmed and standardized commercial conventional soils for rice nursery cultivation.	高橋英樹	J. Phytopathol. DOI: 10.1111/jph.12682	166(4)	249-264	2018
有機栽培野菜畑土壌における施用有機物の窒素無機化特性 I. 有機栽培・転換中・慣行栽培の土壌に添加した米ぬかからの窒素無機化量の違い.	唐澤敏彦	土肥誌	*	*	2018
有機栽培野菜畑土壌における施用有機物の窒素無機化特性 II. 有機・慣行栽培の土壌における窒素無機化量の資材間の比較.	唐澤敏彦	土肥誌	*	*	2018
有機農業実践現場の研究事例に基づく安定栽培マニュアル	橋本知義	平成 29 年度普及成果情報			2018
有機農業の栽培マニュアル 実践現場における事例と研究成果	農研機構				2018
委託プロジェクト「有機農業を特徴づける客観的指標の開発と安定生産技術の開発」技術資料集	農研機構				2018

農研機構におけるこれまでの有機農業研究

有機農業は、数多くの先人が営農現場での実践により積み重ねてきた実績を元に徐々に拡大をしてきました。一方、近年まで、我が国の公的試験研究機関は、有機農業の科学的根拠への理解が必ずしも伴わなかったこともあり、有機農業に関する体系的研究にほとんど取り組んできませんでした。化学肥料や化学農薬等の多投入による環境負荷への懸念が、国民の環境保全型農業への関心を高めたこと、安全安心な農産物へのニーズが高まったこと等により、公的試験研究機関に対して有機農業安定生産技術の確立が求められるようになりました。さらに有機農業推進法(2006年)に「国及び地方公共団体は、有機農業に関する技術の研究開発及びその成果の普及を促進するため、研究施設の整備、研究開発の成果に関する普及指導及び情報の提供その他の必要な施策を講ずるものとする。」と技術開発等の促進が明記されたことから、公的試験研究機関における有機農業研究のいっそうの推進が図られることとなりました。

農業・食品産業技術総合研究機構(以下、農研機構)は、有機農業研究のあり方に関するワーキンググループによる検討を踏まえ、2008年3月に農研機構における有機農業研究の推進方向を取りまとめました。この中で、農研機構における有機農業研究を、持続性、日本型有機農業、経営形態から検討し、「(農研機構における)研究としては伝統的有機農業実践者の農業技術体系の機作解明を進めつつ、技術開発面でのターゲットとしてはより一般性を有する新たな有機農業技術体系の開発を進める必要がある」として、各分野別に有機農業技術の研究・技術開発課題を整理しました。

我が国の多様な気象条件に適する有機農業技術体系を確立するためには、全国規模のプロジェクト研究が必要です。そこで、農研機構は水田(水稲、水稲-大豆体系)、露地畑作物、施設野菜作などを対象に、日本型有機農業技術のひな形を提示することを目標として、農研機構プロジェクト「有機農業の生産技術体系の構築と持続性評価方法の開発(2008年度～2010年度)」を推進しました。また、農林水産省委託プロジェクト「有機農業の生産技術体系の確立(2009年度～2012年度)」のなかで、東北地域等の寒冷地水田作における有機栽培技術体系の開発、関東地域のジャガイモ栽培における微生物機能を核とした有機栽培体系の構築と実証、東海・近畿地域のナス科施設果菜栽培における生物的肥培管理技術・病害抑制技術導入による有機農業安定生産技術体系の高度化、地域植物資源によるバイオフィューミゲーションを基幹とした温暖地有機野菜生産体系の高度化、暖地二毛作体系の肥培管理・雑草抑制技術の導入による営農安定化技術の開発に取り組みました。以上の成果は、「環境保全型農業および有機農業の生産システムの確立 <https://www.naro.affrc.go.jp/project/challenge/project11/> 」として農研機構 HP で公開されています。

農研機構第3期中期計画(2011年度～2015年度)では、中課題「環境保全型農業及び有機農業の生産システムの確立」として、上記のプロジェクト研究を継続・発展させ、「水稲の有機栽培技術マニュアル <https://ml-wiki.sys.affrc.go.jp/Organic-Pro/> 」などの成果を公表しました。さらに、「環境保全型農業および有機農業の生産システムの確立 <https://www.naro.affrc.go.jp/project/challenge/project11/> 」の成果の一部として活用しました。ま

た農研機構第4期中期計画(2016年度から2020年度)では、バンカー法を利用した施設野菜の安定生産技術の開発、新たな除草機械等を活用した水稲有機栽培体系の高度化、大豆有機栽培体系の開発等に取り組む、中課題「新たな作物保護管理技術を活用した有機栽培体系の確立」を実施中であり、より多くの生産者が有機栽培に取り組めるよう技術・体系の開発と普及を目指しています。

有機農業研究には、農学としても重要なテーマが数多く含まれています。2020年東京オリンピック・パラリンピックへ向けて、国内有機農産物へのニーズの高まりに応える供給体制整備が必要となり、有機農業の普及定着に向けた研究は今後ますます重要になるといえます。

農研機構プロジェクトの流れ

	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	
	有機農業の推進に関する法律成立	機構における有機農業研究推進方向の検討														
農林水産省委託プロジェクト					有機農業の生産体系技術の確立				有機農業を特徴づける客観的指標の開発と安定生産技術の開発							
農研機構プロ・中課題					有機農業の生産技術体系の構築と持続性評価方法の開発				環境保全型農業及び有機農業の生産システムの確立				新たな作物保護管理技術を活用した有機栽培体系の確立			

[有機農業の栽培マニュアル](#) 34～35 頁より

第1章 有機農業を安定的に営農するための生産技術体系

第1節 暖地水田二毛作を対象とした雑草防除技術、土壌管理技術の検討と経営評価

1. 水稲後露地野菜の有望品種と定植時期

キャベツ

(1) 目的

水稲後作におけるキャベツの有機栽培では、定植時期が11月以降で、収穫は病害虫が多発する5月より以前に終了することが望まれます。そこで、この栽培期間に適合した品種および定植時期を明らかにします。

(2) 試験方法

1) 試験場所: 佐賀県農業試験研究センター

2) 試験区構成

品種	定植時期	H25	H26	H27
金春(サカタ)	11月上旬	11月5日	11月5日	11月5日
春波(タキイ)	11月中旬	11月15日	11月14日	11月16日
味春(タキイ)	11月下旬	11月25日	11月25日	-

試験規模: (H25、26)14株×2反復/区 (H27)18株×2反復/区

3) 耕種概要

① 育苗: 128穴セルトレイ 園芸有機培土

追肥はシープロテイン(N=6%)を500倍希釈し、N750mg/トレイ施用

② 播種日: (H25)10月1日、11日、21日 (H26)10月1日、8日、21日

(H27)10月5日、14日

③ 栽培様式: 畝幅1.5m、株間33cm、条間30cm、2条千鳥植え、4,040株/10a、
黒色マルチ栽培

④ 施用資材: 稲わら牛ふん堆肥 2t/10a、有機苦土石灰 100kg/10a

⑤ 施肥: N:P:K=25:17:18(kg/10a)

グリーンアニマル 725 (N:P:K=7%:2%:5%) 357kg/10a、グアノ(P=21%) 48kg/10a、微量要素資材 FTE 4kg/10a

(3) 結果

1) 「金春」、「春波」、「味春」の3品種の収穫日は、11月上旬定植では3月中下旬、11月中旬定植では3月下旬～4月上旬、11月下旬定植では4月上中旬でした。(表1-1)

2) 結球部のチョウ目害虫による食害率は定植時期が遅いほど高くなる傾向にあり、特に11月下旬定植が高く、可販品率もチョウ目害虫の被害のために11月下旬定植で低下しました。(表1-1)

3) 結球重は、3品種ともに定植時期が早いほど重い傾向にありましたが、「味春」はどの定植時期でも重い傾向にあり、11月上旬定植の「味春」が最も重くなりました。(表1-1)

4) 可販品収量は結球重と同様の傾向であり、11月上旬定植の「味春」が最も多くなりました。(表1-1)

(4) 考察

「金春」、「春波」、「味春」の3品種は、11月に定植すると、病害虫が多発する5月より以前に収穫を終了でき、後作の水稲の作業に影響しないと考えられました。11月下旬の定植ではチョウ目害虫の被害が増加し、定植時期が早いと結球重が重くなり可販品収量が多くなったことから、キャベツの定植は11月の早い時期が適当であると考えられました。品種では「味春」の可販品収量が多く、この作型での有望な品種であると考えられました。

表1-1 春どりキャベツの品種、定植時期の違いが収量、品質に及ぼす影響^{注1)}

定植時期	品種	収穫時期	結球重	可販品率	可販品収量	チョウ目害虫食害率 (結球部)
			(g)	(%)	(kg/10a)	(%)
11月上旬	金春	3月23日	911	92	3,379	0.0
	春波	3月21日	941	87	3,315	0.0
	味春	3月21日	1,028	94	3,889	2.0
11月中旬	金春	3月30日	813	92	3,016	0.7
	春波	3月30日	779	94	2,946	0.3
	味春	3月27日	861	95	3,286	1.0
11月下旬	金春	4月15日	738	79	2,354	12.9
	春波	4月15日	658	71	1,874	14.3
	味春	4月11日	800	87	2,794	6.1

注1) 11月上旬、中旬定植のデータは、平成25～27年の3か年平均。11月下旬定植のデータは、平成25、26年の2か年平均。

ブロッコリー

(1) 目的

水田における有機栽培の露地野菜では、水稲後作のため移植時期が11月以降で、収穫は病害虫が多発する5月より以前に終了することが望まれます。そこで、この栽培期間に適合した品種および定植時期を明らかにします。

(2) 試験方法

1) 試験場所: 佐賀県農業試験研究センター

2) 試験区構成

品種	定植時期	H25	H26	H27
チャレンジャー(タキイ)	11月上旬	11月5日	11月5日	11月5日
晩緑99w(野崎)	11月中旬	11月15日	11月14日	11月16日
晩緑100(野崎)	11月下旬	11月25日	11月25日	-

試験規模: (H25、26)14株×2反復/区 (H27)18株×2反復/区

3) 耕種概要

①育苗: 128穴セルトレイ 園芸有機培土

追肥はシープロテイン(N=6%)を500倍希釈し、N750mg/トレイ施用

②播種日: (H25)10月1日、11日、21日 (H26)10月1日、8日、21日

(H27)10月5日、14日

③栽培様式: 畝幅1.5m、株間33cm、条間30cm、2条千鳥植え、4,040株/10a、
黒色マルチ栽培

④施用資材: 稲わら牛ふん堆肥 2t/10a、有機苦土石灰 100kg/10a

⑤施肥: N:P:K=25:17:18(kg/10a)

グリーンアニマル 725 (N:P:K=7%:2%:5%) 357kg/10a、グアノ(P=21%) 48kg/10a、微量要素資材 FTE 4kg/10a

(3) 結果

1) 「チャレンジャー」、「晩緑99w」、「晩緑100」の3品種の収穫時期は、11月上旬、中旬の定植では3月下旬～4月上旬でした。11月下旬の定植では、「チャレンジャー」は4月上中旬、「晩緑99w」は4月下旬～5月上旬、「晩緑100」は4月中下旬でした。(表1-2)

2) チョウ目害虫による花蕾への被害は、全ての品種と定植時期で認められませんでした。また、花蕾以外への被害も11月上旬定植では全ての品種で見られませんでした。(表1-2)

3) 花蕾径は、「晩緑99w」が小さい傾向にあり、3品種ともに11月下旬定植の場合に小さくなりました。(表1-2)

4) 花蕾重は、花蕾径と同様に3品種ともに11月下旬の定植では軽く、11月上旬定植の「晩緑100」が最

も重くなりました。(表1-2)

5) 可販品率には、品種と定植時期による差は認められませんでした。(表1-2)

6) 可販品収量は、11月上旬定植の「晩緑100」が最も多くなりました。(表1-2)

表1-2 春どりブロッコリーの品種、定植時期の違いが収量、品質に及ぼす影響^{注1)}

定植時期	品種	収穫時期	花蕾径 (cm)	花蕾重 (g)	可販品率 (%)	可販品収量 (kg/10a)	チョウ目害虫食害率	
							全体	花蕾
11月上旬	チャレンジャー	3月24日	11.3	196	99	786	0.0	0
	晩緑99w	3月28日	9.4	161	100	652	0.0	0
	晩緑100	4月2日	12.0	262	92	969	0.0	0
11月中旬	チャレンジャー	3月28日	11.9	192	100	777	0.0	0
	晩緑99w	4月2日	10.4	167	100	676	0.5	0
	晩緑100	4月4日	11.4	212	99	847	0.0	0
11月下旬	チャレンジャー	4月9日	9.8	126	98	496	1.4	0
	晩緑99w	4月30日	5.2	90	89	321	11.3	0
	晩緑100	4月18日	7.9	131	94	498	1.5	0

注1) 11月上旬、中旬定植のデータは、平成25～27年の3か年平均。11月下旬定植のデータは、平成25、26年の2か年平均。

(4) 考察

「チャレンジャー」、「晩緑99w」、「晩緑100」の3品種ともに、11月上中旬に定植することで、後作として検討している水稻の作業に影響せず、病害虫が多発する5月より以前に収穫を終了できると考えられました。11月下旬の定植では、花蕾が小さく収量が少なくなることから、上中旬に定植する必要があります。また、11月上旬定植の「晩緑100」は可販品収量が多く、本作型での有望な品種であると考えられました。

ホウレンソウ

(1) 目的

水田における有機栽培の露地野菜では、水稻後作のため移植時期が11月以降で、収穫は病害虫が多発する5月より以前に終了することが望めます。そこで、この栽培期間に合った品種および定植時期を明らかにします。

(2) 試験方法

1) 試験場所: 佐賀県農業試験研究センター

2) 試験区構成

品種	播種時期	H25	H26	H27
ハンター(カネコ)	11月中旬	11月15日	11月14日	11月16日
プラトン(サカタ)	12月中旬	12月15日	12月15日	12月15日
トラッド7(サカタ)				

試験規模: (1.5m×2.5m)×2 反復/区

3) 耕種概要

①栽培様式: (H25)畦幅 1.5m、間引き後株間約 5cm、4条植え、5300 株/a
無マルチ、不織布べたがけ栽培

(H26、27)畝幅 1.5m、播種穴間 5cm、3粒播き、4条植え、5330 株/a
黒色マルチ+トンネル被覆栽培

②施用資材: 稲わら牛ふん堆肥 2t/10a

③施肥: N:P:K=15:20:10(kg/10a)、グリーンアニマル 725 (N:P:K=7%:2%:5%) 214kg/10a、
グアノ(P=21%) 76kg/10a、微量元素資材 FTE 4kg/10a

(3) 結果

1) 無マルチで不織布べたがけ栽培を行った平成 25 年は、気温が低いこと、雑草が繁茂して養分競合を

受けたことにより生育が劣り、15cm以上に伸長し上物となる率が低くなりました(表1-3)。この作型には不織布べたがけ栽培は適さないと判断しました。

- 2) 黒マルチ+トンネル被覆栽培を行った平成 26、27 年では、3 品種ともに上物率が高く、十分な収量を得ることができました。収量は、12 月中旬播種の「ハンター」が最も多くなりました。(表1-4)
- 3) 11 月中旬、12 月中旬定植ともに 3 品種には収穫時期に差が生じました。具体的には、11 月中旬に播種した「プラトン」と「トラッド7」の収穫日には約 3 週間の差が生じ、収穫作業を分散化できる可能性が得られました。

表1-3 ホウレンソウの品種、播種時期の違いが収量等に及ぼす影響
(H25:無マルチ、不織布べたがけ栽培)

播種時期	品種	収穫日	調整重		上物株重 ^{注1)}		上物率
			(g/本)	(kg/10a)	(g/本)	(kg/10a)	
11月中旬	ハンター	2月27日	9.0	1,181	19.0	608	34
	プラトン		7.3	1,070	11.9	476	27
	トラッド7		9.6	1,381	14.1	941	45
12月中旬	ハンター	4月4日	11.0	1,463	11.7	1,332	64
	プラトン		3.2	392	8.7	116	7
	トラッド7		13.6	1,784	14.3	1,768	61

注1) 上物は葉長15cm以上。

表1-4 ホウレンソウの品種、播種時期の違いが収量等に及ぼす影響
(H26、27:黒マルチ+トンネル被覆栽培)

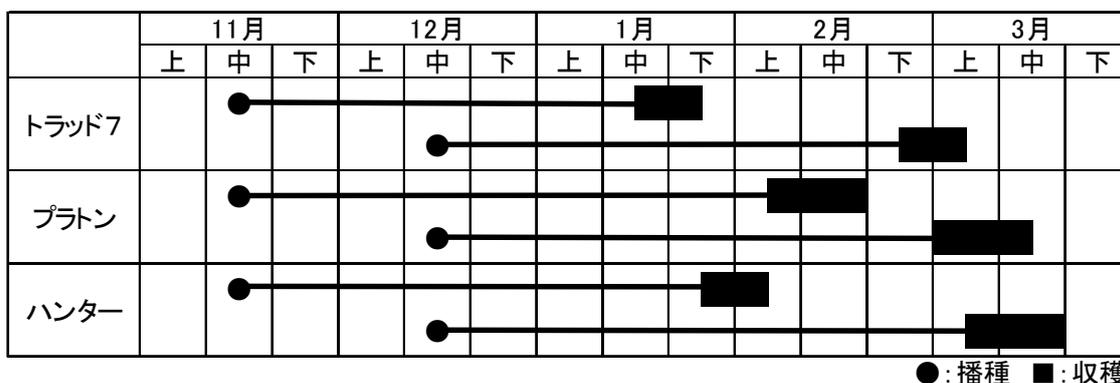
播種時期	品種	収穫時期	調整重		上物株重 ^{注1)}		上物率
			(g/本)	(kg/10a)	(g/本)	(kg/10a)	
11月中旬	ハンター	2月3日	29.8	1,525	31.0	1,494	91
	プラトン	2月13日	34.5	1,580	37.8	1,636	91
	トラッド7	1月20日	28.2	1,273	28.8	1,248	91
12月中旬	ハンター	3月12日	43.5	2,275	44.1	2,275	94
	プラトン	3月7日	30.1	1,543	31.5	1,535	92
	トラッド7	3月1日	31.9	1,642	33.0	1,635	93

注1) 上物は葉長15cm以上。

(4) 考察

ホウレンソウ品種「ハンター」、「プラトン」、「トラッド7」を 11 月中旬と 12 月中旬に播種する黒マルチ+トンネル被覆栽培を行うことで、安定した上物収量が得られ、1 月下旬から 3 月中旬の期間に連続した収穫が可能であり、収穫、出荷作業を分散化できると考えられます。(表1-5)

表1-5 ホウレンソウの品種による播種日と収穫時期(H26、27年の佐賀平坦のデータをもとに作成)



2. 露地野菜の施肥法 -マルチを被覆する栽培体系での施肥法-

(1) 目的

水稲後作の秋～春季作の有機露地野菜栽培では、生育中期以降が低温期に遭遇し、有機質肥料の肥効が発現しにくいことが課題となります。また、雑草対策として、マルチ栽培が必要ですが、マルチを被覆した状態での追肥の施用方法が問題となります。そこで、マルチ栽培における有機質肥料の基肥全量施肥法や追肥方法について検討します。

(2) 試験方法

- 1) 試験場所: 佐賀県農業試験研究センター
- 2) 供試品種: 「金春」
- 3) 試験区構成

試験区	施用窒素量(kg/10a)			合計
	基肥	追肥1 (1月14日)	追肥2 (2月10日)	
全量全層	25	0	0	25.0
表層5割局所5割 ^{注1)}	25	0	0	25.0
表層5割全層5割	25	0	0	25.0
表層5割 穴肥2回 ^{注2)}	12.5	6.3	6.3	25.0
表層帯条2.5割 穴肥2回 ^{注2、3)}	6.3	6.3	6.3	18.8
表層帯条2.5割 全層5割 ^{注3)}	18.8	0	0	18.8
表層带状2.5割 穴肥なし ^{注3)}	6.3	0	0	6.3
無施用	0	0	0	0

注1) 局所施用は、株下10cmの位置にすじ条に施用した。

注2) 条間に穴(直径3.5cm、深さ6cm)を掘り、肥料を埋め込んだ。

注3) 表層带状は、畝上面中央に50cm幅で施用した。

試験規模:(3.0m×7.0m)×3 反復/区

4) 耕種概要

- ① 育苗: 128 穴セルトレイ 園芸有機培土
追肥はシープロテイン(N=6%)を 500 倍希釈し、N750mg/トレイ施用
- ② 播種日: 平成 27 年 10 月 7 日
- ③ 定植日: 平成 27 年 11 月 12 日
- ④ 栽培様式: 畝幅 1.5m、株間 33cm、条間 30cm、2 条千鳥植え、4,040 株/10a、
黒色マルチ栽培
- ⑤ 施用資材: 稲わら牛ふん堆肥 1.5t/10a
- ⑥ 施肥: グリーンアニマル 725 (N:P:K=7%:2%:5%) (量は、「2) 試験区構成」参照)、
グアノ(P=21%)48kg/10a、微量元素資材 FTE 4kg/10a

(3) 結果

- 1) 試験期間中の気象は、暖冬が続き、特に 11 月と 3 月上旬の気温は平年より 4～5℃高くなりました。
- 2) 窒素吸収量は表層 5 割局所 5 割施肥区が約 18.9 kg/10a と、表層 5 割全層 5 割施肥区より約 3 kg/10a 程度多くなりました。また、穴肥2回区は穴肥なし区より、新鮮重と窒素吸収量ともに高く、穴肥の施肥効果はあることが確認されました。(表1-6)
- 3) 可販品率は、穴肥なし区と無施用区で劣り、その要因として菌核病の影響が考えられました。可販品収量は、表層 5 割局所 5 割区が最も多く、次いで表層 5 割全層 5 割区が多くなりました。(表1-7)

表1-6 施肥方法がキャベツの窒素吸収に及ぼす影響

施肥方法	新鮮重(kg/10a)			窒素吸収量(kg/10a)			窒素利用率(%)
	外葉	結球	合計	外葉	結球	合計	
全量全層	1,993	3,559	5,552	3.9	7.7	11.5	28.8
表層5割局所5割	2,713	4,411	7,124	7.4	11.6	18.9	58.4
表層5割全層5割	2,482	3,981	6,463	5.4	9.8	15.2	43.4
表層5割 穴肥2回	2,342	4,002	6,344	5.8	10.1	15.9	46.2
表層帯条2.5割 穴肥2回	1,857	3,410	5,267	4.6	8.2	12.8	45.0
表層帯条2.5割 全層5割	2,077	3,774	5,851	4.3	8.7	13.0	46.0
表層帯状2.5割 穴肥なし	1,611	2,694	4,305	2.7	5.6	8.2	62.5
無施用	989	1,509	2,499	1.6	2.7	4.3	-

注1) 窒素利用率は、無窒素区の窒素吸収量との差し引きで算出した。

表1-7 施肥方法がキャベツの収量、病虫害被害に及ぼす影響

施肥方法	可販品 収量 (kg/10a)	可販品率 (A+B) (%)	被害度		縁腐れ症 発生株率(%)	
			菌核 病	灰色 かび病	結球部	外葉
全量全層	2,581	73	27	0	17	1
表層5割局所5割	3,676	83	18	0	3	0
表層5割全層5割	3,346	84	21	2	17	0
表層5割 穴肥2回	3,268	82	23	1	13	0
表層帯条2.5割 穴肥2回	2,302	68	36	0	7	9
表層帯条2.5割 全層5割	2,854	76	27	1	10	3
表層帯状2.5割 穴肥なし	1,549	58	50	0	30	10
無施用	672	45	56	3	0	19

注1) 被害度

【菌核病、灰色かび病】

3:外葉に発病が認められ、さらに結球部にも発病あり。 2:外葉の3枚以上に発病が認められる。

1:外葉の1~2枚以上に発病が認められる。

0:発病が認められない。

(4) 考察

マルチ栽培における春キャベツの全量基肥施肥法や追肥について検討を行った結果、表層5割局所5割施肥が結球開始期から肥効が認められ、窒素利用率は高く、収量も良好でした。ただし、本施肥法の場合、表層と局所に施肥する専用の機械が必要となります。また、畝立とマルチ被覆を同時に行うために表層施肥ができないマルチャー等の機械を使用する場合は、穴肥で追肥する方法が良いと考えられますが、表層施肥ができないため初期生育がやや遅れる可能性があります。マルチャー等を使用しない場合は、表層5割全層5割施肥が良く、この施肥法が最も普及しやすいと考えられました。

3. パン用小麦と水稲の二毛作体系での施肥法

北部九州地域の小麦＋水稲の二毛作体系では、10月上旬中旬に稲刈りを行った後に、11月下旬に小麦の播種を行う場合が多く、約1ヶ月の期間で播種までの作業を実施します。従来の有機栽培法では、その約1ヶ月の間に石灰資材と基肥ぶんの有機質肥料の施用、前起こし、整地、小麦播種の作業を実施する必要がありました。その場合、年によっては耕耘後の降雨で圃場が乾かず、基肥ぶんの有機質肥料の施用が遅れて発芽障害を起こしやすくなり、播種が遅れる問題がありました。また、有機質肥料の肥料成分量の低さから、基肥と複数回の追肥の施用に必要な労力も問題でした。

(1) 省力型施肥法について

パン用小麦(せときらら)を使用し、播種前の基肥を施用せず、1月上旬中旬の分けつ期と3月上旬の幼穂形成期にのみ施肥を行う省力型施肥法を開発しました。使用する有機質肥料は、地域を問わず入手しやすい「鶏ふん」と「油かす」を使用する体系です。各時期の「鶏ふん」の施用量は約55kg/a、「油かす」の施用量は約16kg/aと多量であり、ライムソーまたはブロードキャスターの使用が適します(表1-8)。

表1-8 栽培スケジュール

	10月			11月			12月			1月			2月			3月			4月			5月			6月
	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
作業	石灰施用—播種						→ 収穫																		
施肥							追肥1						追肥2												
雑草対策	浅耕			浅耕			機械除草						機械除草						防除 防除						
赤かび対策																									

注) 追肥1には鶏ふん、追肥2には油かすを施用する。

(2) 省力型施肥法での小麦収量とタンパク含有率

パン用小麦(せときらら)では、播種前の基肥を施用せず、1月上旬中旬に「鶏ふん」、3月上旬に「油かす」を施肥をする肥培管理法において、化成肥料栽培及び従来の基肥と追肥を複数回実施する有機栽培管理と同等の収量とタンパク含有率が得られます(図1-1、図1-2)。

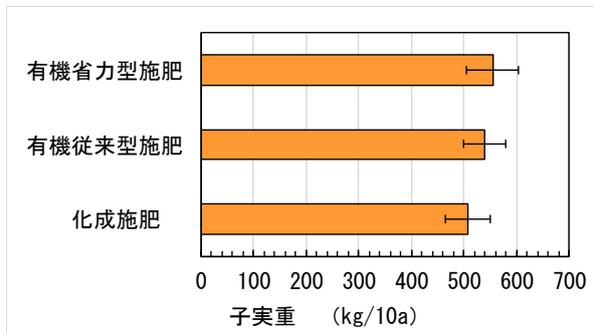


図1-1 小麦子実収量(kg/10a)

注) H25,26,27 の平均
2.2mm 篩上の重量

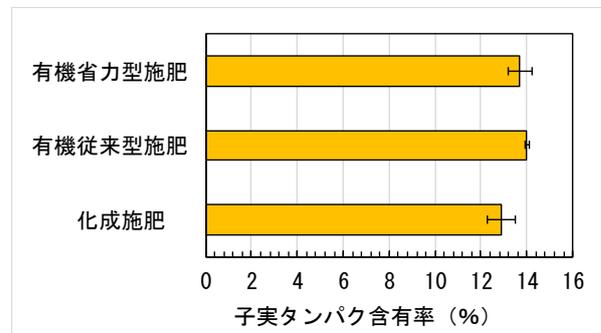


図1-2 小麦子実のタンパク含有率(%)

注) H25,26,27 の平均
水分 13.5%換算値

(3) 使用する石灰資材と有機質肥料

いずれも有機認定の資材を選択し、特に「鶏ふん」は窒素含有率が4%以上のものを施用する必要があります。窒素含有率が3%以下の「鶏ふん」では十分な肥効が期待できないので注意が必要です(表1-9)。

表1-9 使用する石灰資材と有機質肥料

	石灰資材	鶏ふん	油かす
資材	有機認定のもの	窒素含有率4%以上の高窒素鶏ふん	菜種油かす
施用量(10a当り)	100~200kg	窒素として25kg	窒素として8kg

注)石灰資材は土壌のpHが6.8を超えている場合は施用しません。

(4) 後作水稻の収量とタンパク含有率

後作となる水稻は無肥料で栽培し、有機小麦栽培時に施用した鶏ふんと菜種油かすの残り肥効を吸収させます。早生の品種(夢しずく)を6月末に移植(田植)することで、ウンカの被害を避けて収穫まで無防除で栽培できます。水管理は通常的水稻と同じです(図1-3、図1-4)。

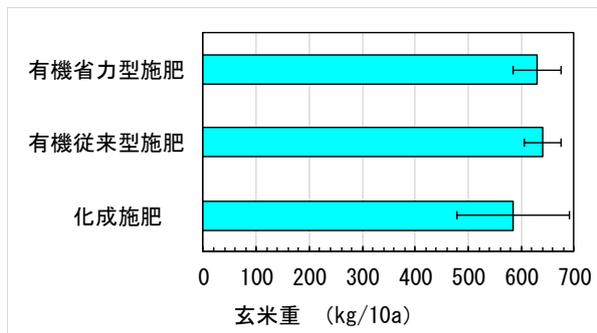


図1-3 後作水稻の収量(kg/10a)

注)1.8mm 篩上の玄米重

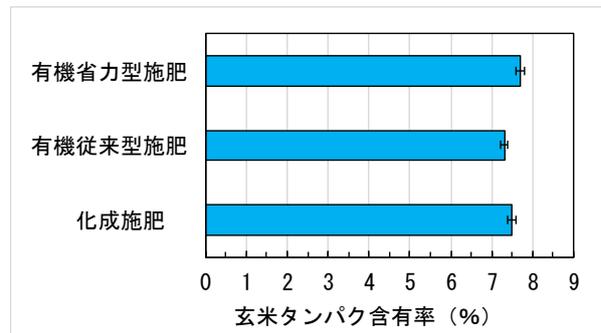


図1-4 後作水稻のタンパク含有率(%)

注)近赤外分析法による測定値

(5) 病虫害、雑草防除について

小麦の種子は温湯種子消毒を行い、赤カビ病は水和硫黄剤、アブラムシは気門封鎖剤等の有機認定の資材を使用して防除します。雑草は播種前の複数回の浅耕と、コムギの葉齢が3.5葉期と6.5葉期を目安とした2回の除草(機械、人力)で抑えます。詳しくは、「6. 小麦葉齢を指標にした有機麦作の機械除草の効果的な実施時期」のページをご覧ください。

水稻の種子は温湯種子消毒を行い、雑草対策は田植え前の複数回代かき、田植え後の除草は機械または人力で行います。

4. 水稻＋露地野菜二毛作における堆肥連用の影響

(1) 目的

露地野菜の有機栽培では多量の有機質肥料を施用するため、後作の水稻では過繁茂となり、病害虫の多発やタンパク質含有率が高くなることが懸念されます。そこで、露地野菜(キャベツ)栽培後における水稻の収量と品質が安定する土壌の化学性および露地野菜の適正な堆肥施用量を明らかにします。

(2) 試験方法

- 1) 試験場所: 佐賀県農業試験研究センター
- 2) 供試品種: キャベツ「金春」、水稻「夢しずく」
- 3) 試験区構成

キャベツ栽培時の堆肥施用量について以下に示す5試験区(2反復/区、1反復: 36~43m²)を設けました。なお、初年目に堆肥の現物窒素濃度を測定したところ、2tあたりの現物窒素量は 21.2kg であったことから 21.2kg/10a を基準とし、次年以降は窒素量をもとに堆肥施用量を算出しました。

試験区	堆肥由来施用窒素量(kg/10a) ^{注1,2)} (実際の堆肥施用量(kg/10a))								
	平成25年秋		平成26年秋		平成27年秋		平成28年秋		合計
無施用	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0.0
1t 連用	10.6	(1000)	10.6	(1325)	10.6	(1247)	10.6	(1050)	42.4
2t 3割漸減	21.2	(2000)	14.8	(1855)	10.4	(1222)	7.3	(720)	53.7
2t 1割漸減	21.2	(2000)	19.1	(2385)	17.2	(2020)	15.5	(1530)	73.0
2t 連用	21.2	(2000)	21.2	(2650)	21.2	(2494)	21.2	(2099)	84.8

注1) 堆肥は、稲わら牛糞堆肥を使用。注2) 堆肥施用量は初年目の施用窒素量に合わせた。

4) 耕種概要

キャベツ

- ①育苗: 128 穴セルトレイ 園芸有機培土
追肥はシープロテイン(N=6%)を 500 倍希釈し、N750mg/トレイ施用
- ②定植日: (H25)11 月 18 日 (H26)11 月 13 日 (H27)11 月 11 日 (H28)11 月 11 日
- ③栽培様式: 畝幅 1.5m、株間 33cm、条間 30cm、2 条千鳥植え、4,040 株/10a、
黒色マルチ栽培
- ④土づくり: 牛ふん堆肥(施用量については「3) 試験区構成」を参照)、
FTE1号 4kg/10a
- ⑤施肥: 5つの堆肥試験区すべてに以下の基肥、追肥を施用しました。
(基肥) グリーンアニマル 725(N:P:K=7%:2%:5%) 186kg/10a、
グアノ G(P=21%) 48kg/10a
(追肥) グリーンアニマル 725 57kg/10a×3回(12 月上旬、1 月中旬、2 月上旬)
追肥は、条間に穴を掘り、肥料を埋め込みました。

水稻

- ①育苗: 山土ともみ殻くん炭を3:1で混和し、床土として使用しました。追肥は1葉期と2葉期にシープロテイン(N=6%)を 40 倍希釈し、N960mg/トレイ施用しました。
- ②移植日: (H26)6 月 26 日 (H27)6 月 26 日 (H28)6 月 27 日 (H29)6 月
- ③栽植密度: 30cm×17.8~18.3cm 18.2~18.7 株/m²
- ④水稻に対する施肥: なし
- ⑤薬剤防除: なし

(3) 結果

- 1) 試験開始時の土壌の全炭素は 2~2.3%で、肥沃度は中~やや痩せていました。堆肥の連用により土壌の全炭素は、2t 連用では増加し、1t 連用ではほぼ変わらず、無施用では減少しました。水稻作付前の可給態窒素は、試験開始時には同程度だったのが、堆肥の連用により施用が無施用より多く、特に 2t 連用が多くなりました。(表1-10)
- 2) 堆肥施用量がキャベツに及ぼす影響は、平成 28 年を除き、堆肥施用により結球重が増大し無施用で収量が少ない傾向となり、平均では堆肥施用量が多いと収量は多くなりました。(表1-11)

- 3) 堆肥施用量が水稻の病害虫の発生程度に及ぼす影響は、トビイロウンカについては全試験区ともに発生が少なく、紋枯病については連用3、4年目で2t連用区の圃場被害度が高くなりました。(表1-12)
- 4) 堆肥施用量が水稻の生育に及ぼす影響は、連用4年目においても草丈、稈長ともに明確な差は認められず、倒伏程度も差は認められませんでした(表1-13)。
- 5) 堆肥施用量が水稻の収量に及ぼす影響は、年により精玄米重に1割以上の差がありましたが、平均での差は小さく、処理による明確な傾向は認められませんでした。無施用でも500kgに近い収量が得られたのは、キャベツ作での有機質肥料の肥効が後作の水稻にも現れたことによると考えられます。(表1-14)
- 6) 堆肥施用量が水稻の品質に及ぼす影響は、検査等級には明確な差は認められず、蛋白質含有率も適正な良食味が期待できる範囲内で、明確な差は認められませんでした(表1-14)。

表1-10 水稻+キャベツ二毛作体系での堆肥の連用による土壌への影響

堆肥施用量	水稻作付前			キャベツ作付前							
	可給態窒素(mg/乾土100g) ^{注1)}			全窒素(%)				全炭素(%)			
	H26	H27	H28	H25	H26	H27	H28	H25	H26	H27	H28
無施用	10.2	10.1	5.4	0.21	0.20	0.21	0.20	2.09	1.91	1.96	1.90
1t 連用	10.7	10.7	6.7	0.20	0.22	0.22	0.22	2.07	2.02	2.13	2.08
2t 3割漸減	12.6	12.6	7.6	0.21	0.21	0.23	0.23	2.28	2.09	2.14	2.15
2t 1割漸減	10.5	10.8	6.8	0.20	0.23	0.22	0.23	2.04	2.18	2.09	2.12
2t 連用	11.7	11.7	9.0	0.19	0.24	0.23	0.23	1.95	2.26	2.18	2.21

注1) 生土を用いて30℃4週間培養で実施した。

表1-11 水稻+キャベツ二毛作体系での堆肥の連用によるキャベツの収量への影響

堆肥施用量	結球重(g)				可販品収量(kg/10a)									
	H25	H26	H27	H28	H25		H26		H27		H28		平均	
					比	比	比	比	比	比				
無施用	678	715	824	804	2,603	84	2,492	88	2,706	83	2,652	108	2,613	90
1t 連用	706	750	967	785	2,675	87	2,726	96	3,077	94	2,537	104	2,754	95
2t 3割漸減	785	826	911	746	2,972	96	2,752	97	2,805	86	2,613	107	2,786	96
2t 1割漸減	750	790	902	755	2,992	97	2,753	97	2,962	91	2,540	104	2,812	97
2t 連用	815	816	1,009	727	3,086	100	2,842	100	3,259	100	2,448	100	2,909	100

表1-12 水稻+キャベツ二毛作体系での堆肥の連用による水稻の病害虫の発生程度に及ぼす影響^{注1)}

堆肥施用量	紋枯病				トビイロウンカ			
	ほ場被害度 ^{注2)}				成幼虫合計(頭/株)			
	H26	H27	H28	H29	H26	H27	H28	H29
無施用	-	38	29	38	-	0.00	0.02	0.02
1t 連用	-	31	27	41	-	0.00	0.04	0.02
2t 3割漸減	-	31	22	31	-	0.00	0.04	0.00
2t 1割漸減	-	38	31	36	-	0.00	0.10	0.00
2t 連用	-	33	42	44	-	0.02	0.02	0.04

注1) 9月下旬調査。紋枯病: 100株羽柴法。トビイロウンカ: 25株払い落とし法。

注2) ほ場被害度=発病株率×発病株被害度(1.62×病斑高率-32.4)

表1-13 水稲+キャベツ二毛作体系での堆肥の連用による水稲の生育に及ぼす影響(H29:連用4年目)

堆肥施用量	草丈		稈長	倒伏程度 ^{注1)}
	7/25	8/4	9/29	
無施用	64.4	84.1	84.6	1.0
1t 連用	65.0	86.1	85.4	1.5
2t 3割漸減	64.8	83.8	85.2	1.0
2t 1割漸減	64.7	85.2	85.9	1.0
2t 連用	65.7	84.8	86.2	1.0

注1)倒伏程度は、1(無)～5(甚)の6段階評価で実施した。

表1-14 水稲+キャベツ二毛作体系での堆肥の連用による水稲の収量、品質に及ぼす影響

堆肥施用量	精玄米重(kg/a) ^{注1)}						屑粒歩合(%)				検査等級(1～9) ^{注2)}				蛋白質含有率(%) ^{注3)}			
	H26	H27	H28	H29	平均	左比	H26	H27	H28	H29	H26	H27	H28	H29	H26	H27	H28	H29
無施用	48.0	55.3	46.9	48.6	49.7	101	6.8	5.5	13.6	8.7	8.8	5.5	4.0	5.5	6.7	6.3	6.5	6.2
1t 連用	47.6	54.4	47.1	45.3	48.6	99	7.4	6.0	16.6	10.1	9.0	5.5	4.0	5.5	6.9	6.2	6.5	6.2
2t 3割漸減	48.2	56.8	51.3	43.1	49.9	102	8.1	6.5	13.2	9.8	9.0	5.5	4.0	5.5	7.1	6.2	6.5	6.2
2t 1割漸減	51.5	54.7	48.0	48.5	50.7	103	6.9	7.0	13.2	9.4	8.8	5.5	4.5	6.0	6.7	6.2	6.4	6.4
2t 連用	49.7	56.3	46.4	44.0	49.1	100	7.4	4.7	17.9	10.5	8.5	5.5	4.0	4.5	6.6	6.4	6.7	6.3

注1)精玄米重は、水分14.5%換算。1.8mm篩上。注2)検査等級は1～9=1等上～3等下。

注3)蛋白質含有率は、FOSSInfratec1241で精玄米を測定。

(4)考察

水稲+キャベツの二毛作体系でのキャベツ作付前の堆肥の施用で、施用量の2tまではキャベツでは堆肥施用量が多いと収量はやや増加し、水稲では収量と品質への明確な影響は認められませんでした。堆肥連用の土壌への影響は、土壌の腐植は増加し、可給態窒素が増加しましたが、草丈や稈長伸長などの生育や倒伏への影響があるほどではありませんでした。

試験圃場の試験開始時の土壌の肥沃度は、全炭素が約2%と中～やや痩せており、この程度の土壌では、キャベツ作での堆肥2t/10aと有機質肥料TN-25kg/10a施用を4年続けても水稲過繁茂等の悪影響が出るほどではありませんでしたが、肥沃な土壌や連用年数が長い場合は注意を要すると考えられます。

5. 現地実証における水稲＋露地野菜の経営評価

(1) 目的

有機農業の水稲-小麦、水稲-露地野菜の暖地二毛作体系を確立するため、当該プロジェクト研究で蓄積された有機農業実践農家の経営・技術に関する実態調査結果と有機農業に適応する個別技術の検証結果をもとにモデルを組み立てました。

(2) 試験方法

当該プロジェクト研究で蓄積された有機農業実践農家の経営・技術に関する実態調査結果を基に、有機暖地二毛作体系のモデルを組み立てました。

- 1) 品目：有機栽培の水稲、小麦、タマネギ、レタス、キャベツ、ブロッコリー
慣行栽培の水稲、大豆、小麦
- 2) 品種：水稲「夢しずく」、タマネギ「ひろまる」「貴錦」、レタス「レイヤード」、小麦「シロガネコムギ」、キャベツ「味春」、ブロッコリー「晩緑100」
- 3) 栽培体系は以下の表1-15を参照。技術については、過去の試験研究成績を参照
- 4) 経営試算については、実証圃の労働時間、収益性のデータを用いました。所得が最大になる面積の組合せを求めるために線形計画法(XLPを使用)を用いました。

表1-15 栽培体系

品目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
水稲		○	△			□						
大豆				○				□				
小麦			□						○			
タマネギ	□					○			△			
レタス								○	△			
キャベツ	□						○	△				
ブロッコリー	□						○	△				□

記号：○播種、△定植、□収穫

表1-16 線形計画法で用いた営農指標

品目	有機栽培						慣行栽培		
	水稲	小麦	レタス	タマネギ	キャベツ	ブロッコリー	水稲	小麦	大豆
年度	2012	2012	2013	2013	2015	2015	2012	2012	2013
収量(kg)	467	276	3,197	5,444	3,300	801	471	320	235
粗収益(千円)	234	86	421	442	389	525	103	65	24
労働時間 (うち家族)	24 (14)	8 (7)	380 (346)	177 (156)	222 (0)	192 (0)	20.7	6.6	7.3
変動費*	29	24	164	161	115	133	23	15	8
固定費	56	13	21	11	10	10	84	17	25
農業所得 (千円)	147	48	237	370	264	382	34	31	-9
比例利益*	204.4	61.4	257.5	381.7	274.6	392.0	79.7	50.3	16.9

※変動費は自家労働除く。比例利益＝粗収益－変動費(単位：千円)

※慣行の水稲はH20～22の「米の生産費調査」の平均値。

表1-17 月別作業可能時間(佐賀)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月平均日長時間(hr)	10.2	11	12	13.2	14	14.3	14.1	13.3	12.5	11.3	10.4	10
月平均1日の作業時間(hr)	7.2	8	8.7	10	11	11.3	11.1	10.3	9.5	8.3	7.4	7
月別作業可能日数率(%)	69	73	76	70	69	58	63	79	70	84	87	84
月別作業可能時間(hr)	154	181	205	221	235	203	217	252	206	216	200	182

※月平均日長時間は、理科年表(H20年)を基に計算

※月平均1日の作業時間は、月平均日長時間から3時間を差し引いた

※月別作業可能日数率は、「水田作業化てびき」の佐賀県のデータ

表1-18 暖地における有機二毛作体系試算時に想定した固定費

費目	内容	金額(千円)	備考
機具費	トラクタ、カルチ、コンバイン、ロータリー、田植機、乾燥機、精米機、除草機、軽トラック、ライムソー、温湯消毒器	888	有機農家の実態により償還年数を15~20年に設定
建物費	倉庫、調整小屋、ビニール	49	H28 実態調査より
地代		58	〃
賃料料金		0	〃
土地改良費		73	〃
合計		1,068	

※自作地 160a 規模。租税公課は調査できなかったため、加算しなかった。

(3)結果

経営耕地面積を平成 21 年度佐賀市農業白書より 1.6ha、労働力を夫婦2人と設定しました。

暖地においては、スクミリンゴガイ生息の有無で、除草に係る手間が異なり、スクミリンゴガイが少ない地区では 50a 程度が限界でした。有機水稻 50a で借地無し(モデル1)で試算したところ、農業所得は自作地のみで 2,583 千円でした。

自作地のみで所得が最大になる組合せ(モデル2)は表1-19のとおりで、その時の農業所得は合計 3,361 千円と試算されました。

借地有りで有機水稻 50a(モデル3)、有機水稻 100a(モデル4)で計算したところ、それぞれ 600 万円代と農業所得に差はありませんでした。表作の有機水稻の面積制限により裏作の有機小麦が制限されるため、その分慣行の麦、ブロッコリーで所得を補う計算となりました。

また、有機水稻面積に制限を入れずに借地を入れて所得が最大になる組合せ(モデル5)では、農業所得は 8,649 千円と試算されました。ただし、2ha 分の有機米、有機小麦を販売する販売力がある事が前提であり、極めて限定的なケースと思われました。

(4)考察

自作地のみで所得が最大になる組合せの時、農業所得は 3,361 千円と試算されました。農家 2 人の所得としては少ないですが、借地を入れたり、野菜の労働時間を定植機などで減らしたり、組合せを考えた品種をもちいるなどをおこなえば発展性は高いと思われました。

借地が無い場合は、収益性が高い野菜を選択し、借地を増やす場合、労働時間が短い穀物を選択する傾向でした。(表1-19)

経営面積の制限(借地制限)ならびに有機水稻の作付制限を無くした場合(モデル5)は、経営面積 63ha で所得が 8,649 千円でした。ただし、過去の聞き取り調査から、有機の小麦 2ha 分の売り先を確保するのは難しいため、有機小麦の面積は制限されます。水稻栽培農家が比較的容易に取組める水稻の有機栽培から有機に取り組み始め(タイプ1)、モデル2、3、4へ発展するのが妥当と思われました。(図1-5)

表1-19 線形計画法により試算した暖地における有機二毛作体系の経営モデル

	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5
条 件	自作地のみ 有機水稻 50a	自作地のみ 有機水稻 制限なし	借地有り 有機水稻 50a	借地有り 有機水稻 100a	借地有り 有機水稻 制限なし
借地面積(a)	0	0	508	514	469
水稻(有機)	50	104	50	100	223
水稻(慣行)	54	0	330	282	186
大豆(慣行)	56	56	288	292	220
小麦(有機)	4	58	24	0	198
小麦(慣行)	110	56	618	0	405
タマネギ(有機)	5	4	0	0	0
レタス(有機)	13	13	0	0	2
キャベツ(有機)	0	0	0	0	0
ブロッコリー(有機)	28	29	26	23	25
農業所得(千円)	2,583	3,361	6,215	6,966	8,649

※自作地 1.6ha、家族労働力 2 人で想定

※小作料は H28 年度の佐賀市(兵庫)を使用

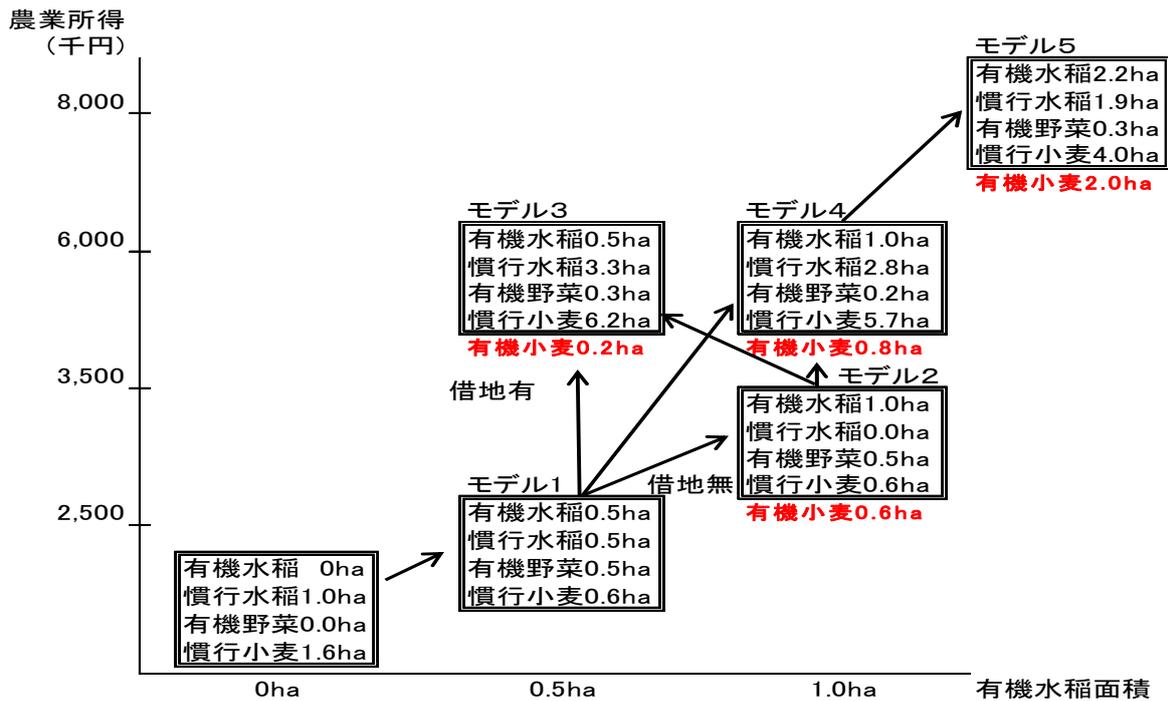


図1-5 暖地有機二毛作体系の経営モデルを農業所得と有機水稻面積でタイプ分け

6. 小麦葉齢を指標にした有機麦作の機械除草の効果的な実施時期

(1) 目的

暖地の水稲－麦類二毛作水田での麦作では、雑草の繁茂が収量、品質に大きな影響を及ぼします。特に、有機栽培を行う場合には除草剤を使用できないことから、その被害はより大きくなります。有機栽培では麦播種後の除草方法としては物理的な方法しかありません。麦用の除草機としては北海道の機械メーカーであるキュウホー社が販売しているレーキ式除草機があり、九州地域でも導入事例が増えているようですが、効果的な除草時期が明らかではなく、思ったような除草効果が得られていない事例が多くあります。そこで、暦日を指標にした除草時期の検討を行ったところ、年次変動が認められ(大段 2015)、変動要因として麦の播種時期が示唆されました。近年、暖地の麦作の標準的な播種時期である11月20日前後の天候は不安定で播種時期が安定していません。したがって、暦日を機械除草の実施時期の指標として採用することは困難です。そこで、小麦の葉齢を指標にした機械除草の効果を検討し、播種時期の影響を受けない除草時期の指標の策定を目的としました。

(2) 試験方法

1) 試験場所及び試験圃場の土性

九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)内の軽埴土(Light Clay)の試験圃場4筆(各3.2m×47m)で行いました。

2) 供試小麦品種及び播種時期

小麦は「ちくごまる」を供試しました。播種時期については、2015年11月16日と11月30日の2時期を設定し、いずれの播種時期についても夏作水稲及び夏作大豆の2圃場で試験を実施しました。

3) 栽培様式及び施肥

畦幅160cmで条間30cmの4条播きとし、播種量は約6kg/10aとしました。基肥として発酵鶏ふんを夏作水稲圃場には600kg/10a、前作大豆圃場には400kg/10a施用し、すべての圃場に追肥として菜種油粕150kg/10aを2月18日に施用しました。踏圧、土入れは実施しませんでした。

4) 使用したレーキ式除草機

図1-6に示したキュウホー社の狭畦栽培用除草機4条用を乗用管理機に接続して使用しました。

5) 機械除草実施時期

小麦の3.5葉期、4.5葉期、5.5葉期、6.5葉期に1回実施する区と3.5葉期と6.5葉期、4.5葉期と6.5葉期の2回実施する区及び機械除草を行わない無処理区を設定しました(表1-20)。試験は1区7.5㎡の2反復で行いました。



図1-6 使用したレーキ式除草機

表1-20 各圃場の機械除草処理時のコムギの葉齢

コムギ播種日		機械除草処理時期			
		3.5葉期	4.5葉期	5.5葉期	6.5葉期
11月16日		(12月22日)	(12月28日)	(1月8日)	(2月2日)
	前作水稲	4.2	4.8	5.7	7.3
	前作大豆	3.9	4.5	5.4	6.6
		(1月13日)	(2月2日)	(2月17日)	(2月25日)
11月30日	前作水稲	3.4	4.6	6.0	6.5
	前作大豆	3.5	4.9	6.2	6.7

無処理区の10個体の平均値、括弧内は機械除草を行なった日の暦日

6) 調査

2016年3月22日に、各試験区に30cm×30cmの調査枠を2箇所設置し、生残している雑草の地上を刈り取り、70℃で72時間通風乾燥させ、乾物重を測定、2箇所の合計値を試験区の残草量としました。小麦収量については、各試験区から1m×1.6mを刈り取り調査しました。残草量及び小麦収量について、各圃場ごとにDunnnett法により各処理区と無処理区との有意差検定を行いました。

(3) 結果と考察

図1-7に小麦の葉齢を指標にした場合の除草効果を示しました。残草量は小麦播種時期、前作の種類に関わらず、小麦3.5葉期と6.5葉期に2回実施する区で最も少なくなりました。機械除草1回区では、11月16日播種、前作大豆圃場を除いて機械除草の実施時期が遅くなるほど残草量は多くなりました。2回実施区においても1回目の機械除草を小麦3.5葉期に実施するほうが、4.5葉期に実施する区よりも残草量は少なくなりました。すべての圃場でキンポウゲ類(トゲミノキツネノボタンとイボミキンポウゲ)が優占し、小麦3.5葉期と6.5葉期の2回処理でこれらの草種に対し、無処理区比で約50%の除草効果が得られました。キンポウゲ類と同程度にヤエムグラが発生した11月30日播種、前作大豆圃場では、ヤエムグラに対しては高い防除効果を示しました。

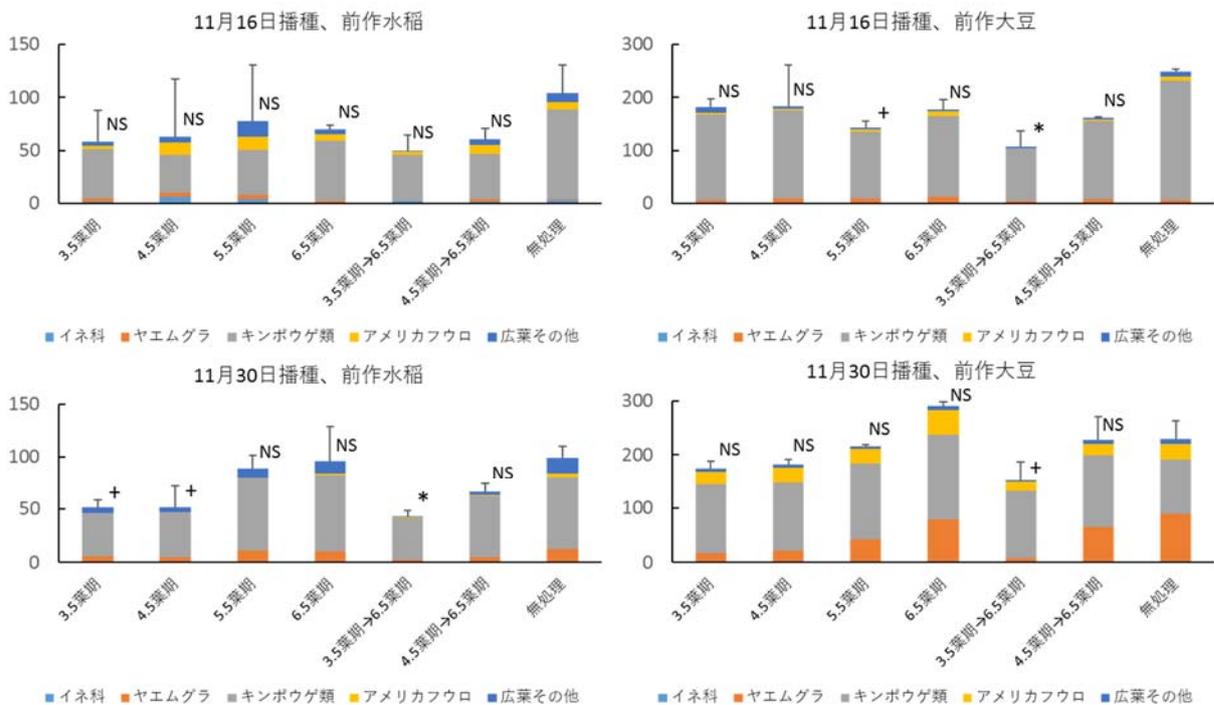


図1-7 小麦葉齢を指標にした場合の機械除草の除草効果

※残草量は地上部乾物重. 各圃場ごとにDunnnett検定により無処理区との有意差を検定(*;有意水準5%, +;有意水準10%, NS;有意差なし). 図中の誤差線は標準偏差.

同様のデータを、暦日を指標として解析した場合の除草効果を表1-21に示しました。11月16日播種、前作大豆圃場を除いて小麦3.5葉期に最も除草効果が高くなったものの、その暦日は11月16日播種と11月30日播種で明らかに異なりました。

表1-21 暦日を指標にした機械除草の効果

コムギ播種日		機械除草処理時期								
		12月22日 (3.5葉期)	12月28日 (4.5葉期)	1月8日 (5.5葉期)	1月13日 (6.5葉期)	2月2日 (6.5葉期)	2月17日 (3.5→6.5葉期)	2月25日 (4.5→6.5葉期)		
11月16日	前作水稻	55.9	60.6	74.7		67.6	47.5	58.4		
	前作大豆	73	73.6	57.3		71.1	43.3	65.1		
11月30日	前作水稻				(3.5葉期)	(4.5葉期)	(5.5葉期)	(6.5葉期)	(3.5→6.5葉期)	(4.5→6.5葉期)
	前作大豆				51.9	52.4	90.1	97	43.7	66.9
					76.5	79.8	94.1	127.2	66.1	99.7

値は対無処理区比 (%)

小麦収量を図1-8に示しました。いずれの圃場においても統計的有意差は認められなかったものの、残草量が最も少なかった小麦3.5葉期と6.5葉期の2回処理で多くなりました。

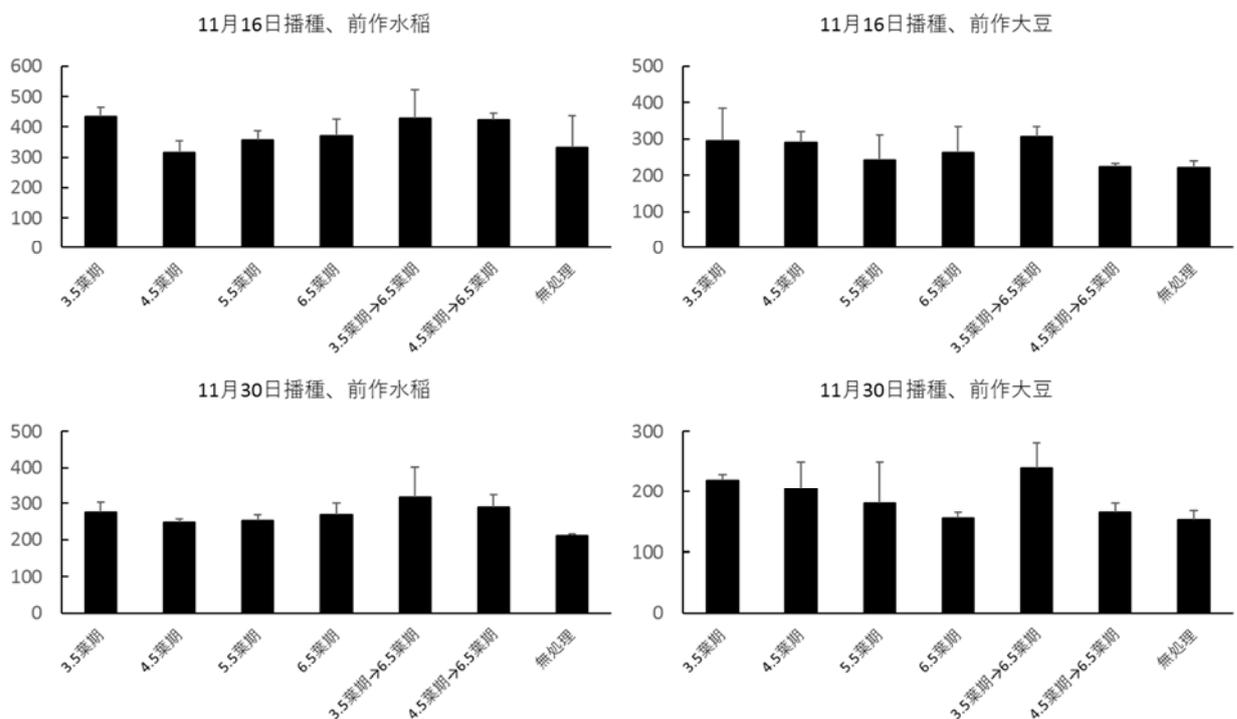


図1-8 小麦収量

※各圃場ごとにDunnett検定により無処理区との有意差を検定、すべての圃場において有意差はなし。図中の誤差線は標準偏差。

以上のように、小麦有機栽培において機械除草を行う場合には、小麦の葉齢が実施時期の指標として適していました。1回除草区では11月16日播種、前作大豆圃場を除き、早い時期に機械除草するほど残草量は少なくなる傾向にありました。さらに2回除草区においても1回目の機械除草を小麦3.5葉期に実施するほうが、4.5葉期に実施する区よりも残草量は少なかったことから、1回目の機械除草の実施時期が重要であると考えられました。小麦の葉齢は第N葉が完全展開する前に第N+1葉が抽出することから、キリの良い数字で示すことは難しく、3.5葉期は3~4葉期、6.5葉期は6~7葉期を目安にすると良いです。また、1回目

の実施時期については、早いほど効果的ですが、これ以上早い時期、つまり小麦の植物体が小さい時期に実施すると欠株が多くなる可能性があり、3.5 葉期程度が適しています。

本試験で供試したレーキ除草機は株間及び株に近い雑草の除去は困難です。つまり、むやみに除草回数を増やしても除草効果が高まるわけではないので、1 回目の除草後に条間に発生した雑草を再度防除する 2 回除草が効率的であると考えられます。特にヤエムグラのように発消長がゆるやかで、比較的遅い時期にも発生が多い草種には 2 回除草が効果的です。

小麦収量については、有意差は認められませんでした。いずれの圃場においても雑草量が最も少なかった小麦 3.5 葉期と 6.5 葉期の 2 回処理区で多くなり、雑草害を軽減できました。播種時期の影響を見ると遅いほうが収量は低い傾向にありました。播種時期が遅い場合には、生育量が十分に確保できないことも多いことから播種量を増やすなどの対策が必要ですが、本試験では播種時期によって播種量を変えていないことから収量が少ない傾向にあったと考えられます。

7. 要約

北部九州地域で有機農業に新規参入した場合の営農を早期安定化するために、小麦および冬作露地野菜栽培と水稲との組み合わせによる暖地有機二毛作栽培の体系化を行いました。冬作露地野菜（キャベツ、ブロッコリー、ホウレンソウの）では、有機栽培に適した品種と定植・播種時期、キャベツではマルチ栽培に適した施肥法を明らかにしました。また、冬作露地野菜作での堆肥と有機質肥料の 4 年間の連用では夏作の水稲の収量、品質に悪影響を及ぼさないことを明らかにしました。パン用小麦では基肥を施用せず、分けつ期に「鶏ふん」と幼穂形成期に「油かす」を施肥する省力型施肥法を開発し、後作となる水稲を無肥料で栽培することで収穫まで無防除で栽培できることを明らかにしました。小麦の機械除草では、レーキ除草機を小麦の葉齢を目安として、3.5 葉期と 6.5 葉期の 2 回処理することで効果が高く雑草害を軽減できました。小麦および冬作露地野菜栽培と水稲との組み合わせについては、現地実証試験の結果に基づく経営評価を行ってモデルケースを提示し、有機栽培に新規参入した場合の栽培管理マニュアルを作成しました。

8. 引用文献

- 大段秀記 (2015) レーキ式除草機による機械除草の実施時期と実施回数が暖地の水田裏作小麦作の雑草防除に及ぼす影響. 九州の雑草, **45**, 10-13
- 夏秋道俊・辻聡宏・森則子・秀島瑠満子・中山敏文・高尾雅晴 (2012) 佐賀県における水稲有機栽培の実態と経営評価. 第 75 回九州農業研究発表要旨集, 115
- 八田聡・夏秋道俊・中山敏文・森 則子・辻 聡宏・牧 善弘 (2014) 佐賀県における有機水稲栽培の特徴と成立条件. 第 77 回九州農業研究発表要旨集, 126

9. 執筆担当者一覧

- 佐賀県農業試験研究センター 平田真紀子 (1, 2, 4)
- 農研機構九州沖縄農業研究センター 増田欣也 (3)
- 佐賀県農業試験研究センター 八田 聡 (5)
- 農研機構九州沖縄農業研究センター 大段秀記 (6)

10. 問い合わせ先

- 農研機構九州沖縄農業研究センター Tel:096-242-7682
- 佐賀県農業試験研究センター Tel:0952-45-8808

第2節 高冷地における有機レタス栽培技術

－高冷地露地レタスを対象とした病虫害防除技術、土壌理化学性改善手法の検討－

1. 背景

近年、消費者の「食の安全・安心」や、地球温暖化、生物多様性など、「環境」に対する関心が高まりつつあります。一方で、気候変動により生産環境の悪化が危惧され、石油由来の農業資材に頼らない生産技術の一層の開発が望まれています。そこで、レタス栽培における有機農業に必要な栽培環境を可視化するため、個別技術の経営評価を行いつつ、高冷地のレタス有機栽培実践農家において問題となっている病虫害および施肥の課題を絞り込み、有機農業実践者の営農を早期に安定化させる技術の開発(マニュアル化)を目指しました。

2. 病虫害対策と施肥の基本的な考え方

病虫害の防除は、基本的に耕種的、物理的手法により対応します。ただし、多発生により収量や品質に悪影響を及ぼすことが予想される場合は、緊急的措置として生物農薬で対応することもあり得えます。

施肥面においては、有機質資材、特に低コストで供給が安定している鶏ふん施用を中心に対応します。ただし、土壌中のリン酸やカリが蓄積している場合は、リン酸、カリ含有率がなるべく低い資材を選んで施用します。

3. 主要病害の発生活消長調査とその防除法

(1) 高冷地有機栽培レタスにおける病害の発生活消長

平成25年～29年の5年間、長野県塩尻市のレタス有機栽培実践圃場(標高約750m～860m)において、作期(5月～10月)を通して巡回調査し、高冷地レタスにおける病害の発生活消長を継続調査しました。

[年度毎の病害の発生活消長の概要]

(その年に発生が目立った病害の発生活消長については、図2-1～2-5に示した)

平成25年:灰色かび病が春作で、秋作では腐敗病の発生がやや目立ちました。すそ枯病は春作と秋作の後半に発生が認められました。軟腐病は高温期の7～8月に発生しました。菌核病は5月4半旬にわずかに見られたのみで、斑点細菌病の発生はほとんどありませんでした。

平成26年:すそ枯病が春作で継続的に発生し、やや遅れて腐敗病の発生が続きました。腐敗病は高温期に発生が減少しましたが、秋雨期に入り再び発生が増加しました。また、7月以降は軟腐病と斑点細菌病が継続的に発生しました。灰色かび病、菌核病は5月にわずかな発生が認められただけで、べと病は10月3半旬にやや多発しました。

平成27年:すそ枯病が春作から作期を通じて断続的に発生しました。腐敗病は、梅雨期と秋雨期にやや発生が目立ちました。斑点細菌病は7月2半旬に発病株率で74%の発生を示し、発生圃場では結球の小玉化、収穫不能株が目立ち収量にも影響しました。軟腐病は7月以降から9月にかけて発生が認められました。この年は菌核病の発生は認められませんでした。また、灰色かび病は9月1半旬、べと病は5月3半旬と10月5半旬にわずかな発生が認められただけでした。

平成28年:すそ枯病が春作から継続的に発生し、梅雨期にはやや発生が増加しました。8月の一時発生は認められなくなりましたが、9月以降は再び継続的に発生が認められました。腐敗病、斑点細菌病は春～夏期の発生は目立ちませんでしたが、9月中下旬の長期的な天候不順により一気に発生は増加しました。特に、斑点細菌病は10月3半旬に発病株率で84%の発生を示し、発生圃場では平成27年に続き、結球の小玉化、収穫不能株が目立ち収量に影響しました。この年は、灰色かび病、菌核病の発生はほとんど認められず、べと病の発生もありませんでした。

平成29年:すそ枯病は、作期を通して発生が認められました。べと病の発生は認められませんでした。

菌核病・灰色かび病は平成28年に比べるとやや多い発生でした。細菌性病害の発生は栽培期間を通して少なく経過しました。

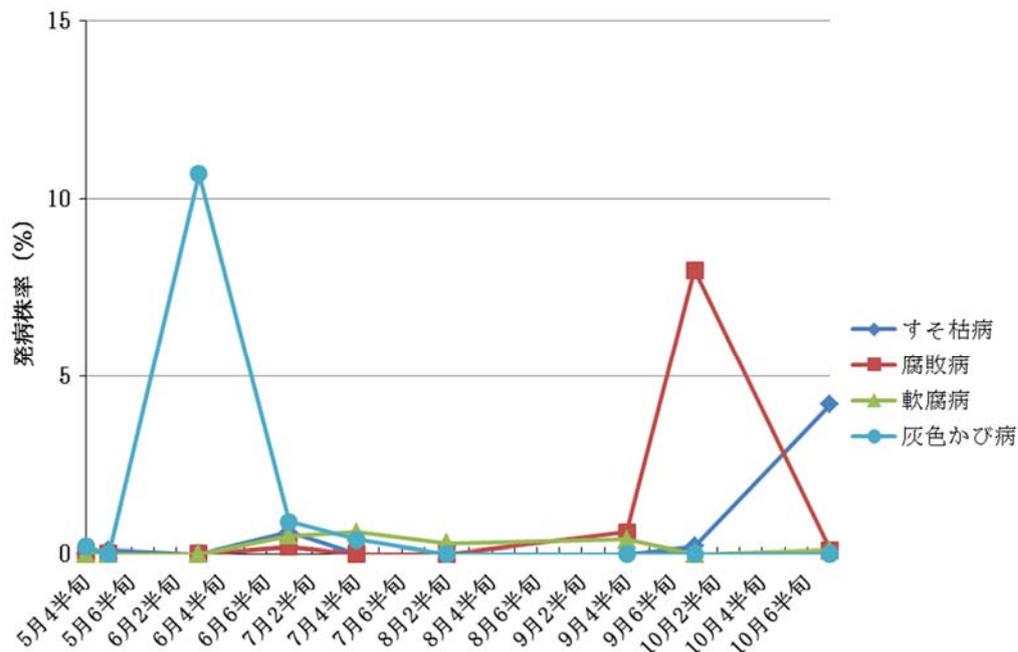


図2-1 有機栽培レタス圃場における主要病害の発生消長（平成25年）

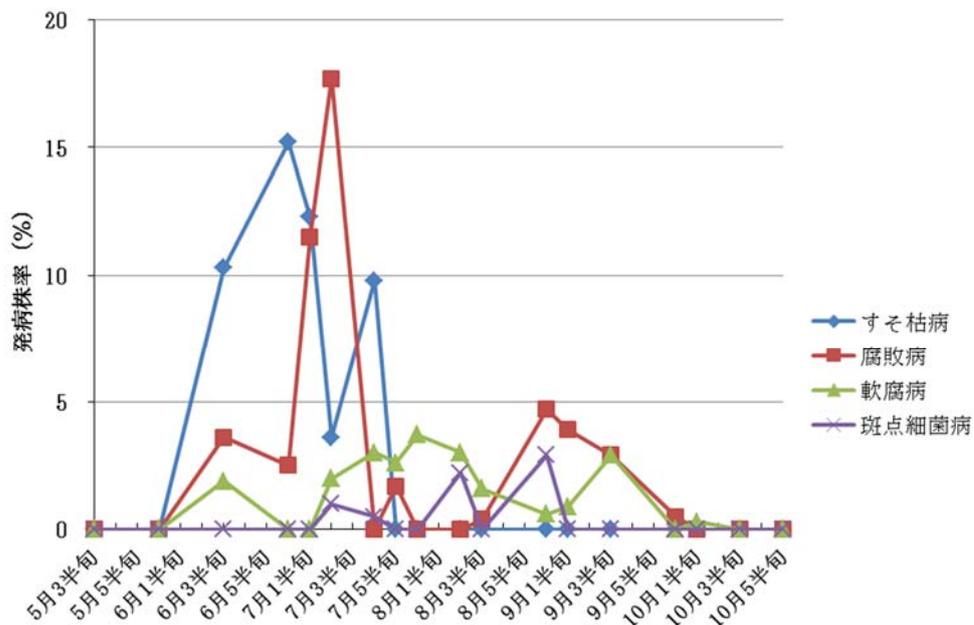


図2-2 有機栽培レタス圃場における主要病害の発生消長（平成26年）

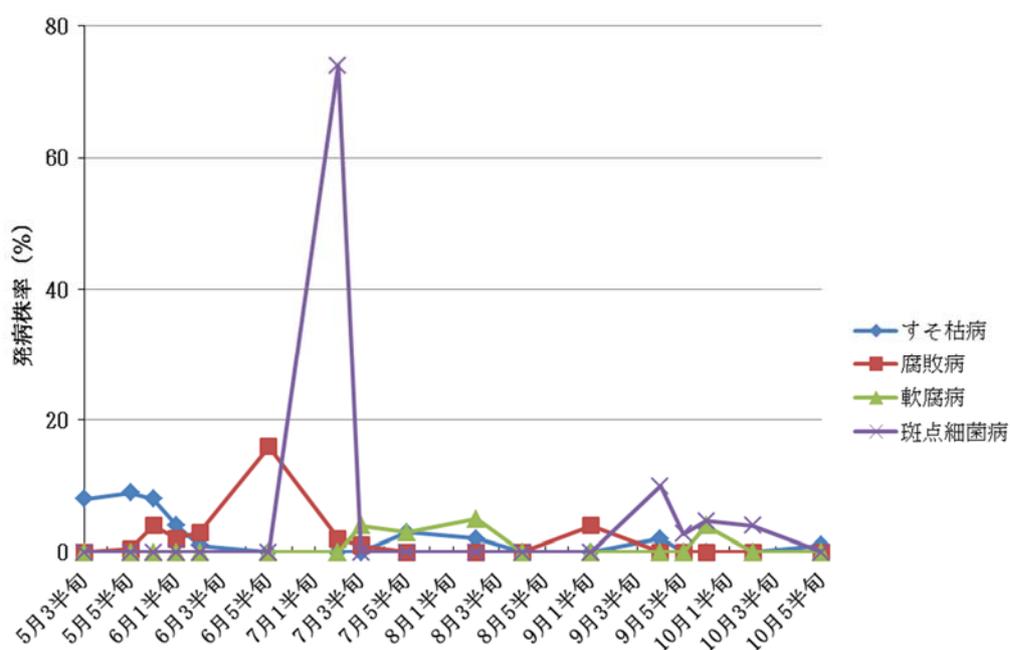


図2-3 有機栽培レタス圃場における主要病害の発消長（平成27年）

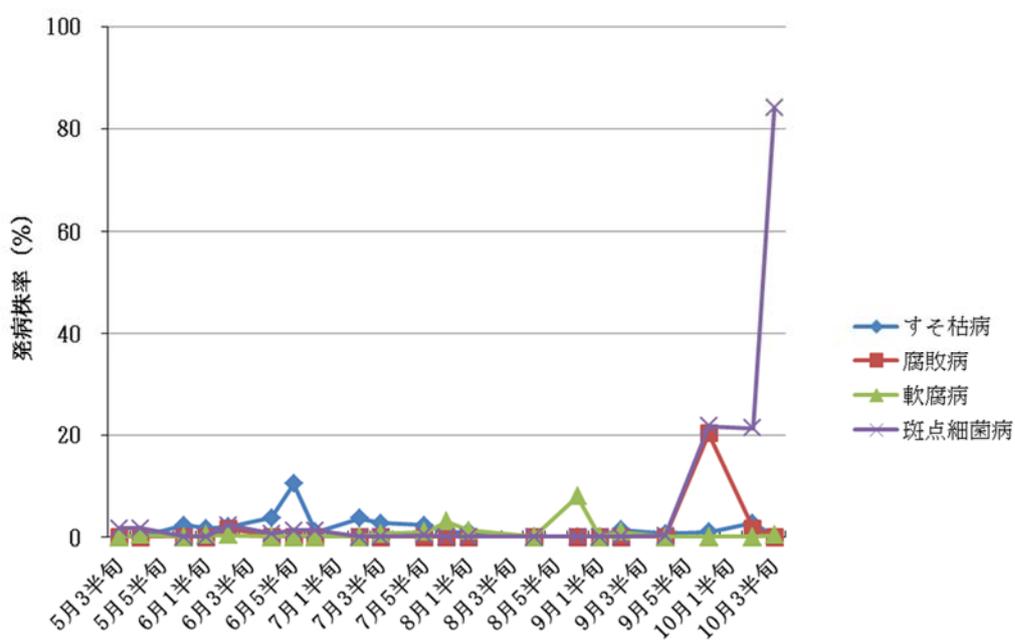


図2-4 有機栽培レタス圃場における主要病害の発消長（平成28年）

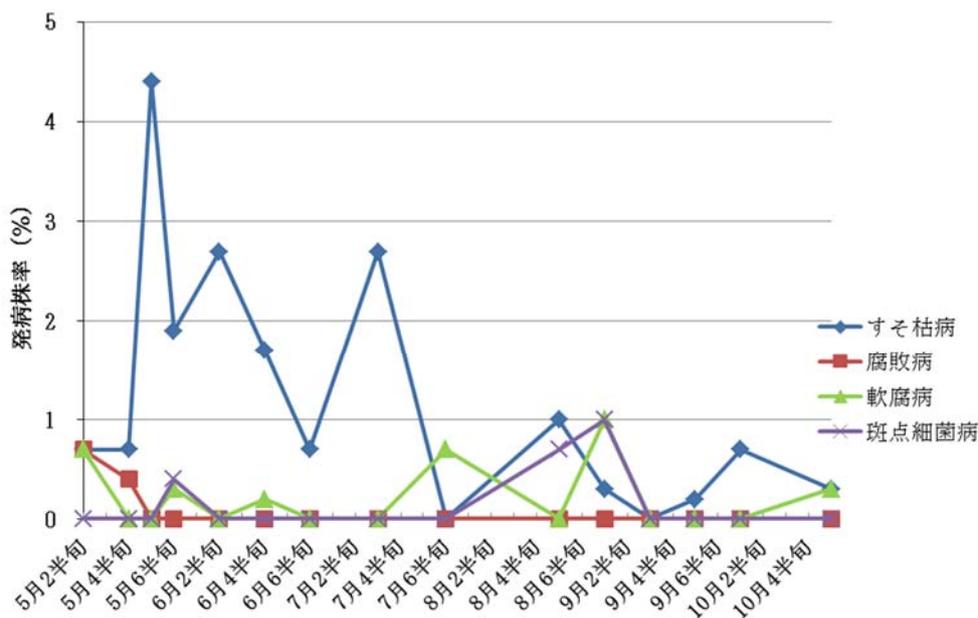


図2-5 有機栽培レタス圃場における主要病害の発生病消長（平成29年）

[有機栽培レタスにおける病害発生の解決すべき問題点]

5年間の調査結果から、収量や品質に影響する発生を認めたのは、斑点細菌病でした。また、梅雨期や秋雨期には腐敗病が、夏期には軟腐病の発生が増加しました。糸状菌病害では、栽培期間を通じてすそ枯病の発生が継続的に観察されました。

これらのことから、有機栽培レタスにおける病害発生の解決すべき問題点として、①細菌性病害の発病軽減策、②すそ枯病の発病軽減策の2点が考えられました。

(2) 細菌性病害に対するレタス品種の感受性及び微生物農薬による防除

細菌性病害に対するレタス品種の感受性について検討しました。また、補完防除技術として微生物農薬の防除効果についても検討しました。

3つの細菌病(腐敗病、斑点細菌病、軟腐病)に対して、主要なレタス品種の耐病性について検討したところ、品種により感受性は異なりました。3つの細菌病に対して「スターレイ」など感受性の高い品種はありましたが、3つとも感受性の低い品種はありませんでした(表2-1)。

次に3つの細菌病に対して、2種類の微生物農薬、非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤(適用病害:軟腐病)およびシュードモナス フルオレッセンス水和剤(適用病害:腐敗病)の防除効果について検討したところ、斑点細菌病に対して、非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤の生育期間中1回散布で、統計的な差はあったものの全体的に防除効果自体は低いものでした。腐敗病に対してシュードモナス フルオレッセンス水和剤は、定植当日1回散布、または定植当日1回散布+生育期間中1回散布区で、防除効果が認められました。軟腐病に対して非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤は処理による効果の差は認められず、今回の処理では十分な効果が認められませんでした(表2-2)。

以上のことから、圃場での発生状況や作型に合わせた品種の選択により、さらに被害軽減が図れる可能性が考えられました。しかし、斑点細菌病に対しては、今回供試した品種間では大きな差が無く、発生病消長調査結果でも時に多発し、収量に影響の出る場合があったことから、今後は新たに育成された品種を中心に本病菌に対する感受性のデータを継続的に蓄積していくことが、レタス有機栽培をより安定化させるために必要です。

また、今回供試した2種類の微生物農薬は斑点細菌病に対する効果が低かったことから、今後は斑点細菌病に対して実用的な効果のある微生物農薬が開発されることを期待します。

なお、本試験で供試した非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤は腐敗病、斑点細菌病に対して、シュードモナス フルオレッセンス水和剤は軟腐病、斑点細菌病に未登録ですのでご留意下さい。

表2-1 レタスの細菌性病害に対する市販数品種の感受性差異(平成26年)

品 種 名	斑点細菌病		腐敗病		軟腐病
	発病株率(%)	発病度	発病株率(%)	発病度	発病株率(%)
エスコート	78.9	31.3	71.3	58.3	22.8
ジュディ	100.0	44.6	83.8	74.6	35.4
バレイ	89.1	27.9	71.3	56.7	11.0
スターレイ	97.8	43.5	78.2	66.0	44.7
デローサ	94.1	35.7	61.3	41.3	30.2
Vレタス	89.3	29.3	75.0	67.5	15.8
メルカド	95.5	40.2	51.3	37.5	4.2
ルシナ66	—	—	56.7	27.2	24.8
シナノパワー	—	—	91.7	70.0	35.2

(注) 斑点細菌病、腐敗病は、病原菌を接種した。軟腐病は自然発病下での試験。

斑点細菌病試験 定植 平成26年6月9日、病原菌接種 6月30日 調査 7月16日

腐敗病試験 定植 平成26年8月21日、病原菌接種 9月17日 調査 10月2日

軟腐病試験 定植 平成26年6月13日、調査 7月22日

—: 試験未実施

斑点細菌病 発病指数 0: 発病を認めない 1: 外葉の一部のみに発病 2: 大部分の外葉に発病
3: 外葉だけでなく、内葉まで発病 4: 結球葉まで発病

発病度 = $\Sigma(\text{発病指数} \times \text{株数}) / (\text{調査株数} \times 4) \times 100$

腐敗病 発病指数 0: 発病を認めない 1: 外葉の一部のみに発病 2: 外葉と結球葉の一部に発病
3: 結球部の大部分が発病

発病度 = $\Sigma(\text{発病指数} \times \text{株数}) / (\text{調査株数} \times 3) \times 100$

以下の表も同じ。

表2-2 微生物農薬の種類と使用時期の違いによるレタス細菌性病害に対する防除効果(平成28年)

微生物農薬	希釈倍数	処理 ^{a)}	斑点細菌病	腐敗病	軟腐病
非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤	1,000倍	1	58.9* ^{b)} (17.2) ^{c)}	5.6 (—)	22.2 (28.6)
		2	63.3 (11.0)	6.7 (—)	22.2 (28.6)
		3	67.8 (4.6)	5.5 (1.8)	22.2 (28.6)
		4	71.1	5.6	31.1
シュードモナス フルオレッセンス水和剤	1,000倍	1	60.9 (6.0)	6.7 (39.6)	31.1 (—)
		2	70.5 (—)	2.2*(80.2)	22.2 (28.6)
		3	63.4 (2.2)	3.3*(70.3)	27.8 (10.6)
		4	64.8	11.1	31.1

a) 1: 生育期間中に1回散布 2: 定植当日、苗に散布 3: 1と2の組み合わせ 4: 無処理

b) 数値は発病株率(%)、3区制(1区30株調査)の平均値。

c) ()は、無処理区に対する防除価を示す。

防除価 = (無処理区の発病株率) - (処理区の発病株率) / 無処理区の発病株率 × 100

d) 発病株率: *はDunnnett法による多重検定(有意水準5%)で、無処理区と有意差あり。

(耕種概要)

腐敗病、斑点細菌病: 供試品種「極早生シスコ」 定植 平成28年8月24日 薬剤散布 9月23日 調査 10月7日

軟腐病: 供試品種「Vレタス」 定植 平成28年5月31日 薬剤散布 7月6日 調査 7月14日

(3)レタスすそ枯病に対する輪作による防除

レタスの品質を大きく損なうレタスすそ枯病に対して、輪作による発病の軽減について検討しました。

平成27年秋にレタスすそ枯病菌を接種した汚染圃場でレタスを全面栽培し、発病にムラのないことを確認しました。平成28年春、表2-3に示した輪作作物を栽培し、葉ネギ、ニンジン、エダマメは収穫しました。エンバクは出穂期に地上部を刈り取り圃場外へ搬出しました。カラシナは株腐れ症状が発生していたため、収穫期に根部ごと抜き取り、圃場外へ搬出しました。マリーゴールドは全区で栽培終了後にすき込みました。対照区は、レタス連作区とし、発病調査後収穫せずに地上部ごとすき込みました。平成28年秋に再びレタスを全区栽培して、レタスすそ枯病の発生をレタス連作区と比較しました。平成29年春は、発病軽減効果の低かったカラシナ区にホウレンソウを、エダマメ区にスイートコーンを栽培し、その他は同じ作物を栽培しました。葉ネギ、ニンジン、ホウレンソウ、スイートコーンは収穫し、エンバクは出穂期に地上部を刈り取り、その場に放置し栽培終了後にすき込みました。マリーゴールド、レタス連作区は前年と同様に処理しました。平成29年秋に再びレタスを全区で栽培して、レタスすそ枯病の発生をレタス連作区と比較しました。

レタスすそ枯病に対して輪作1年目で発病軽減効果が認められたのは、マリーゴールドとニンジン、次いでエンバクでした(表2-3)。ニンジンの長根種は栽培期間が長いので、栽培期間の短い短根種を供試しています。マリーゴールドは経済的には休作となりますが、ネグサレセンチュウの密度低下も期待でき、エンバクも緑肥としての利用が考えられます。輪作2年目も、マリーゴールドとニンジン栽培区で発病抑制効果が認められました(表2-4)。

また、レタス連作区では、発病株率、発病度ともに平成28年に比べ増加したのに対し、その他の輪作区でも効果に差はありますが、発病の減少が認められました。

以上のことから、レタスすそ枯病の常発または多発圃場では、レタスの作付けを年1作とし、輪作することにより発病軽減が図れるものと考えられます。今回調査した農家でも同一圃場でのレタスの栽培は年1作であり、輪作作物として、ブロッコリーやニンジンを栽培しています。今後は、発病抑制効果の高い作物の栽培と経済的見地を加味した輪作作物の選定により、安定的なレタスの有機栽培が行えるものと考えられました。

なお、レタスすそ枯病菌は、キャベツ株腐病、ハクサイ尻腐病の病原菌でもあるので、輪作を実施する場合は注意して下さい。

表2-3 輪作がレタスすそ枯病の発病に及ぼす影響(平成28年)

輪作作物名	発病株率(%) ^{a)}	発病度 ^{b)}	防除価 ^{c)}
葉ネギ	31.5	14.8	20.4
エンバク	22.4	11.2	39.8
カラシナ	37.4	23.0	—
マリーゴールド	20.4	6.8	63.4
ニンジン	15.7	7.4	60.2
エダマメ	38.3	22.0	—
レタス連作	46.1	18.6	

a)、b) 発病株率、発病度は3区制(1区30株調査)の平均値。

c) 防除価は、レタス連作区の発病度を対照とした。算出式は表2-2と同じ。

(秋作耕種概要) 供試品種「シナノホープ」定植 平成28年8月29日、調査 10月18日

(輪作耕種概要)

葉ネギ: 供試品種「小春」、定植 平成28年5月12日、6月下旬適宜収穫

エンバク: 供試品種「ヘイオーツ」、は種 平成28年4月15日、6月下旬地上部搬出

カラシナ: 供試品種「在来種」、定植 平成28年5月12日、6月中旬株ごと引き抜き搬出

マリーゴールド: 供試品種「在来mix」、定植 平成28年4月15日

ニンジン: 供試品種「ベビーキャロット」、は種 平成28年4月15日、7月上旬適宜収穫

エダマメ: 供試品種「宝石枝豆」、定植 平成28年5月12日、6月中旬適宜収穫

レタス連作区: 供試品種「Vレタス」、定植 平成28年5月31日

表2-4 輪作がレタスすそ枯病の発病に及ぼす影響(平成29年)

輪作作物名	発病株率(%) ^{a)}	発病度 ^{b)}	防除価 ^{c)}
葉ネギ	20.3	11.5	54.0
エンバク	19.1	7.9	68.4
ハウレンソウ	19.0	9.6	61.6
マリーゴールド	18.4	7.0	72.0
ニンジン	16.7	7.2	71.2
スイートコーン	36.9	15.5	38.0
レタス連作	48.8	25.0	

a)、b) 発病株率、発病度は3区制(1区28株調査)の平均値。

c) 防除価は、レタス連作区の発病度を対照とした。

(秋作耕種概要) 供試品種「シナノホープ」定植 平成29年9月4日、調査 10月26日

(輪作耕種概要)

葉ネギ: 供試品種「小春」、定植 平成29年6月2日、7月中旬適宜収穫

エンバク: 供試品種「ヘイオーツ」、は種 平成29年4月19日、6月下旬地上部刈り取り

ハウレンソウ: 供試品種「サンライト」、は種 平成29年4月24日、6月上旬適宜収穫

マリーゴールド: 供試品種「在来mix」、定植 平成29年5月11日

ニンジン: 供試品種「三寸人参」、は種 平成29年4月19日、7月上旬適宜収穫

スイートコーン: 供試品種「ゴールドラッシュ」、は種 平成29年4月24日、6月下旬適宜収穫

レタス連作区: 供試品種「パトリオット」、定植 平成29年5月17日

4. 重要害虫に対する物理的、生物的防除法

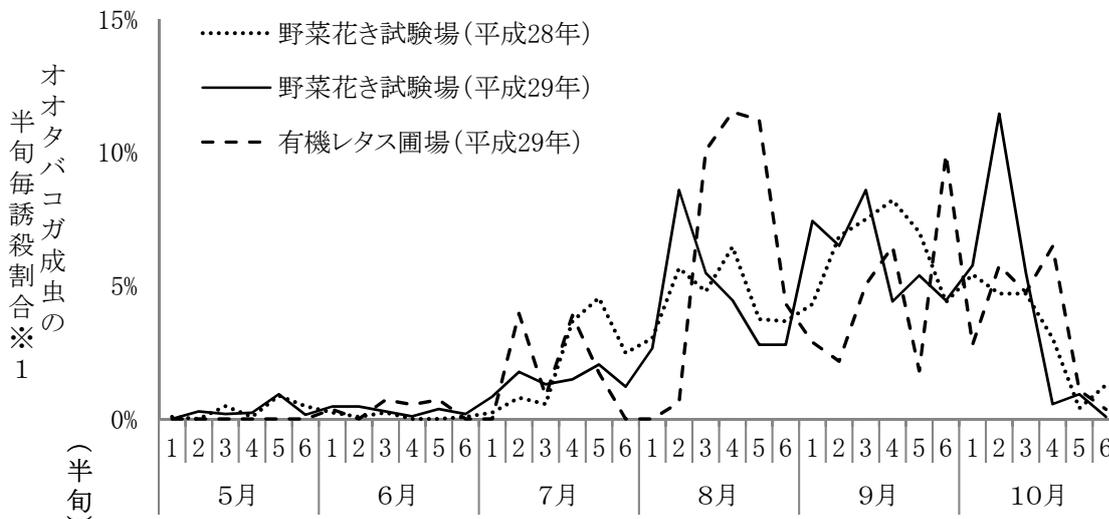
高冷地レタス栽培において問題となる害虫は、オオタバコガやヨトウムシなどのチョウ目害虫に加え、ナモグリバエ類、アブラムシ類等が挙げられます。有機レタス栽培を成功させるためには、これらの害虫に有効な物理的、生物的防除手段を組み合わせる必要があります。本技術集では、べたがけ資材を用いてレタスを被覆する物理的な防除手段を主軸に、高温期のべたがけ被覆による高温障害の回避や被覆除去後の防除対策を検討し、有機栽培レタスを安定的に生産するための技術を紹介します。

(1) べたがけ資材の被覆による防除効果

レタス栽培において最も重要な防除対象害虫は、幼虫がレタスを食害するオオタバコガやヨトウムシなどのチョウ目害虫です。物理的にチョウ目害虫による被害を抑制するためには、成虫の発生時期にべたがけ資材でレタスを被覆し、成虫の産卵を抑制することが重要です。

長野県塩尻市の野菜花き試験場(標高 740m)及び有機レタス栽培圃場(標高 860m)におけるオオタバコガ成虫の発生活消長を図2-6に示します。5月から10月にかけて成虫が発生すること、特に8月以降に成虫の誘殺数が増加することから、本県のレタス栽培ではいずれの作型でも定植直後から収穫前まで被覆する必要があります。被覆栽培を実践している有機レタス圃場において、フェロモントラップへの誘殺数が多い割に被害株数が少ない傾向が認められたことから、被覆栽培の効果について科学的に検証しました。

試験には不織布を素材とした「パオパオ 90®」(三菱樹脂アグリドリーム株式会社製、光線透過率90%)を供し、レタス苗の定植後に直接被覆する「じかがけ」と、支柱を用いて地上高50cm程度に浮かして被覆する「浮きがけ」による害虫の被害抑制効果を検討しました。



※1 年間総誘殺数に対する半旬毎誘殺数が占める割合

図2-6 野菜花き試験場及び有機レタス圃場におけるオオタバコガ成虫の発生活消長(平成28、29年)

※フェロモントラップ使用

1) 春作レタス

レタスをじかがけ、又は浮きがけした区は無被覆区と比較し、チョウ目幼虫による被害株数が少ない結果となりました。ハモグリバエ類及びアブラムシ類の被害株数は処理区間で顕著な差が認められませんでした(表2-5)。浮きがけ区はじかがけ区と比べてチョウ目幼虫による被害がわずかに多い傾向が見られましたが、じかがけから浮きがけに移行する作業時に害虫が侵入したか、支柱(グラスファイバーポール)によりネットに張力が生じ地際部に隙間ができて害虫が侵入した可能性が考えられました。

表2-5 春作レタスへのじかがけ又は浮きがけ被覆による防除効果(平成29年、試験場内)

処 理 区	レタスの被害株数 / 20株		
	チョウ目幼虫	ハモグリバエ類	アブラムシ類
じかがけ区	3.7 a	16.7 a	0.3 a
定植2週間後浮きがけ移行区	7.3 ab	18.3 a	0.3 a
定植3週間後浮きがけ移行区	4.3 a	17.3 a	1.7 a
無被覆区	16.3 b	19.7 a	0.3 a

Tukey HSD検定により、異なるアルファベットの間には5%有意差有り (3反復の平均値)

品種:「Vレタス」 定植日:5月18日 被覆期間:5月22日～6月16日 調査日:7月3日(定植46日後)
 チョウ目はヨトウムシが優占、アブラムシ類はジャガイモヒゲナガアブラムシとモモアカアブラムシが混発

参考に、べたがけ資材のじかがけ被覆を行っている有機栽培実践圃場におけるレタス主要害虫による被害を調査したところ、チョウ目幼虫、ハモグリバエ類及びジャガイモヒゲナガアブラムシによる被害が少ない傾向が確認できました(表2-6)。オオタバコガ成虫のフェロモントラップへの誘殺数が多い割に(図2-6破線)、オオタバコガ幼虫による被害が皆無であったことから、被覆栽培は一定の被害軽減効果があると考えられました。

表2-6 春作レタスへのじかがけ被覆による防除効果(平成29年、塩尻市)

調 査 圃 場	調査株数	レタスの被害株数 / 100株			
		オオタバコガ	ヨトウムシ	ハモグリバエ類	ジャガイモヒゲナガアブラムシ
有機栽培 実践圃場	100	0	0	3	3

これらの結果から、春作レタス栽培においてレタスをべたがけ資材で被覆することにより、チョウ目害虫(ヨトウムシ優占)による被害を抑制できると考えられました。

2) 夏秋作レタス

べたがけ資材の被覆により、オオタバコガによる被害株数は無被覆区と比較し、顕著に少ない結果となりました。ハモグリバエ類及びアブラムシ類の被害株数は少なく、調査区間で顕著な差は認められませんでした(表2-7)。

表2-7 夏秋作レタスへのじかがけ被覆による防除効果(平成29年)

処 理 区	レタスの被害株数 / 20株				
	オオタバコガ	ヨトウムシ	ウワバ類	アブラムシ類※	ハモグリバエ類
じかがけ区	0	1.3	0	0.3	0.7
無被覆区	7.7	3.7	0	0.7	0
t検定 1)	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

※ ジャガイモヒゲナガアブラムシ主体 (3反復の平均値)

1) n.s.: 5%水準で有意差無し、**: 1%水準で有意差有り

品種:「パトリオット」 定植日:7月21日 被覆期間:7月21日～8月21日 調査日:9月4日(定植45日後)

参考に、べたがけ資材のじかがけ被覆を行っている有機栽培実践圃場におけるレタス主要害虫による被害を調査したところ、チョウ目幼虫、ハモグリバエ類及びジャガイモヒゲナガアブラムシによる被害が少ない傾向が確認できました(表2-8)。オオタバコガ成虫のフェロモントラップへの誘殺数が多い割に(図2-6破線)、オオタバコガ幼虫による被害が皆無であったことから、被覆栽培は一定の被害軽減効果があると考えられました。

表2-8 夏秋作レタスへの浮きがけ被覆による防除効果(平成29年、塩尻市)

調査圃場	調査株数	レタスの被害株数 / 200株			
		オオタバコガ	ヨトウムシ	ハモグリバエ類	ジャガイモヒゲナガアブラムシ
有機栽培実践圃場	200	0	8	0	0

これらの結果から、夏秋作レタス栽培においても、レタスをべたがけ資材で被覆することによりチョウ目幼虫による被害を抑制できると考えられました。

(2) 高温障害の回避

レタスをべたがけ資材で覆うことにより、被覆内側の温度は外気温よりも高くなる傾向があります。特に気温が高い夏秋作レタスでは、葉焼け等の高温障害が発生することがあります(図2-7)。そこで、被覆方法による被覆内部の温度推移について調査しました。



図2-7 被覆栽培によるレタスの高温障害

1) 被覆内部の温度推移

試験場内のレタス畑において、被覆内部におけるレタス上部の温度推移を調査したところ、調査期間中(7月21日~8月21日)に最も温度が高くなった7月22日において、じかがけ内部のレタス葉上の最高温度は48.8℃に達し、浮きがけは、じかがけと比較し最高で10℃近い温度抑制効果が認められました(図2-8)。

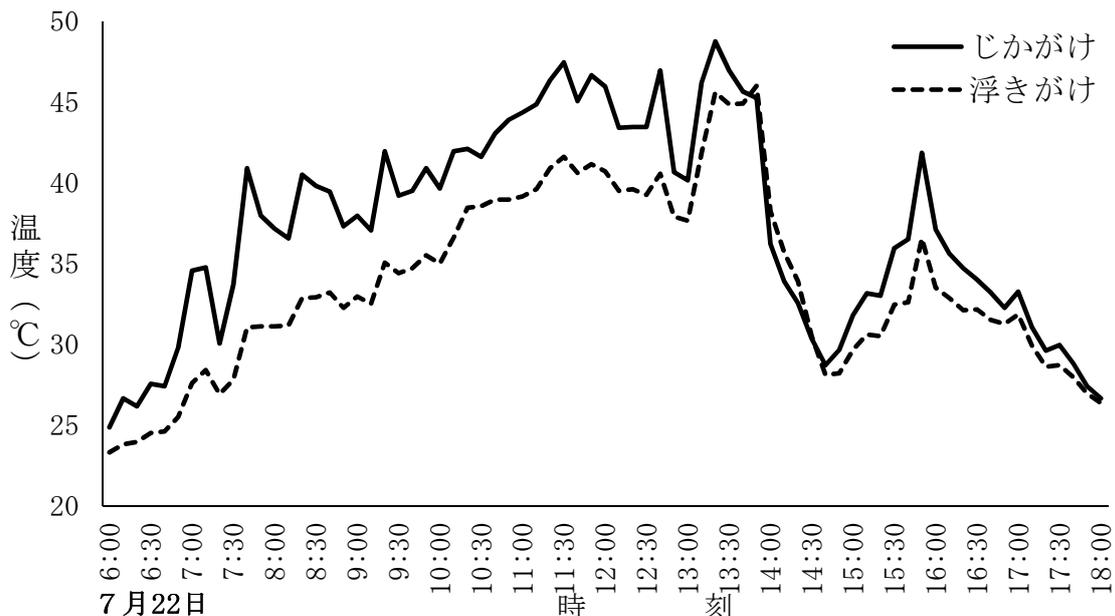


図2-8 レタスの被覆方法がべたがけ資材内部の温度推移に及ぼす影響(平成29年)

2) 被覆方法による高温障害の回避

定植直後から収穫2週間前までレタスを直接被覆する「じかがけ」、定植2週間後に「じかがけ」から「浮きがけ」に移行する「中途浮きがけ」、定植直後から収穫2週間前まで「浮きがけ」を行う「常時浮きがけ」を行い、収穫時に高温障害である葉焼け症状が認められる株数を調査しました。

この結果、じかがけ区は無被覆区と比較し、有意に高温障害の発生株数が多いこと、浮きがけを行うことで高温障害の発生株数が抑制される傾向がみられました(表2-9)。

表2-9 レタスの被覆方法が高温障害(縁枯れ症状)の発生に及ぼす影響(平成29年)

被覆方法	レタスの高温障害(葉焼け症状)株数/20株			
	I区	II区	III区	平均 ¹⁾
じかがけ区	15	15	13	14.3 a
中途浮きがけ区 ²⁾	12	11	5	9.3 ab
常時浮きがけ区	13	3	0	5.3 ab
無被覆区	3	2	2	2.3 b

1) Tukey HSD検定により、異なるアルファベット間で5%有意差有り

2) 8月4日(定植14日後)にじかがけから浮きがけに移行

中途浮きがけは、栽培途中でべたがけ資材を一旦外す必要があり、そのときに害虫が侵入する可能性があること、さらに支柱を用いて資材を浮かす作業が上乘せされることを踏まえると、高温期の作付けでは定植直後から浮きがけを行う常時浮きがけにより、高温障害をある程度回避できると考えられました。

(3) 被覆栽培がレタスの品質に及ぼす影響

べたがけ資材を用いてレタスを被覆することにより、日中の被覆内部の温度は外気温より高い傾向にあり、収穫時におけるレタス品質への悪影響が懸念されます。そこで、収穫時にレタスの重量や大きさ等を調査し、被覆方法がレタスの品質に及ぼす影響を調査しました。

1) 春作レタスの被覆による品質への影響

全ての被覆処理区において、無被覆区と比較し調整重が大きい傾向が認められましたが、調査区間で有意差は認められませんでした。結球緊度についても調査区間で有意差は認められなかったことから、被覆による春作レタス品質への影響は少ないと考えられました(表2-10)。

表2-10 春作レタスの被覆方法がレタスの重量や大きさ等に及ぼす影響(平成29年)

処 理 区	収穫時におけるレタスの重量、大きさ等(各区20株平均)					
	調整重g ¹⁾	長径cm	短径cm	球高cm	球形指数	結球緊度 ¹⁾
じかがけ区	886 a	19.8	17.0	14.6	0.74	0.35 a
定植2週間後浮きがけ移行区	797 a	19.3	16.2	14.0	0.73	0.36 a
定植3週間後浮きがけ移行区	842 a	19.2	16.1	14.2	0.74	0.37 a
無被覆区	787 a	17.6	15.2	13.6	0.78	0.42 a

※ 耕種概要は表1と同様

(3反復の平均値)

1) Tukey HSD検定により、異なるアルファベットの間に5%有意差有り

2) 球形指数 = 球高/長径

3) 結球緊度 = 調整重/(長径×短径×球高×π)/6

2) 夏秋作レタスの被覆による品質への影響

夏秋作レタスの被覆においても、調査区間で調整重及び結球緊度について有意差は認められなかったことから、被覆による夏秋作レタス品質への影響も少ないと考えられました(表2-11)。

表2-11 夏秋作レタスの被覆方法がレタスの重量や大きさ等に及ぼす影響(平成29年)

処 理 区	収穫時におけるレタスの重量、大きさ等(各区20株平均)					
	調整重g 1)	長径cm	短径cm	球高cm	球形指数 2)	結球緊度 1) 3)
じかがけ区	427 a	15.1	12.6	11.9	0.80	0.36 a
中途浮きがけ区 4)	528 a	15.2	13.1	12.4	0.82	0.41 a
常時浮きがけ区	576 a	16.0	13.8	13.2	0.83	0.38 a
無被覆区	512 a	16.4	13.8	12.5	0.76	0.35 a

※ 耕種概要は表3と同様

(3反復の平均値)

1) Tukey HSD検定により、異なるアルファベットの間に5%有意差有り

2) 球形指数 = 球高/長径

3) 結球緊度 = 調整重/((長径×短径×球高×π)/6)

4) 8月4日(定植14日後)にじかがけから浮きがけに移行

いずれの作型においても、被覆栽培によりレタス品質への影響は少ないと考えられましたが、被覆内部が高湿になることにより生育が進む傾向が見られるため、収穫作業が遅れないよう注意が必要と考えられました。

また、今回の試験では抽だいの発生は認められませんでした。被覆栽培により被覆内部の温度が高まることから、品種によっては抽だいが発生する可能性があります。できるだけ晩抽性の品種を選択するとともに、大規模栽培に取り組む前に試験栽培を行うようにしてください。

(4)被覆除去後の害虫対策

べたがけ資材を用いてレタスを栽培する場合、結球の適度な締まりや、着色の向上を図るため、収穫2週間前を目安にべたがけ資材を除去する必要があります。べたがけ資材の除去後は物理的な障壁が無くなるため、様々な害虫に対して無防備な状態となります。そこで、有機レタスの安定的な生産には被覆除去後の防除対策が不可欠であることから、べたがけ資材の除去後に有機JAS栽培で使用が認可されている殺虫剤を使用した場合の防除効果を検証しました。

1)チョウ目害虫

チョウ目害虫に効果があり、かつ有機JAS栽培で使用できる薬剤としてBT剤があります。BT剤の散布時期として、被覆除去直後に産卵されるケースを想定し、幼虫のふ化までに薬液を散布する必要があります。

平成22年までの過去30年間における松本市の旬別平均気温は、8月上旬が最も高く25.2℃でした。レタスを加害するチョウ目の25.2℃における卵期間は、オオタバコガが3.7日、ヨトウムシが3.5日、タマナギンウワバが3.9日であることから、本試験では被覆除去2日後にBT剤の散布を行った場合の被害抑制効果を調査しました。

今回の結果から、被覆除去後の薬剤散布の有無で被害軽減効果に明瞭な差は認められませんが、発生予察情報などから被害の発生が懸念される場合には、ヨトウムシについては有機栽培で使用可能なBT剤を1回もしくは2回散布することで被害をある程度抑制できる可能性が考えられました(表2-12)。オオタバコガについてはいずれの区においても被害株は認められませんでした。被覆を行わなかった区ではオオタバコガ幼虫による被害が大きかったことから、収穫2週間前まで被覆を行うことは被害軽減に有効であることが示唆されました。

表2-12 BT剤の散布回数がレタス主要害虫による被害株数を抑制する効果(平成29年)

処 理 区	収穫2週間前までの 被覆の有無	レ タ ス の 被 害 株 数 / 60 株				
		オオタバコガ	ヨトウムシ	ウワバ類	アブラムシ類※	ハモグリバエ類
BT剤2回散布	有	0 a	1 a	0	0 a	3 a
BT剤1回散布	有	0 a	0 a	0	1 a	2 a
BT剤無散布区	有	0 a	4 ab	0	1 a	2 a
参考)BT剤無散布区	無	23 b	11 b	0	2 a	0 a

Tukey HSD検定により、異なるアルファベットの間に5%有意差有り

※ ジャガイモヒゲナガアブラムシ主体

品 種:「パリオット」 定植日:7月21日 被覆期間:7月21日～8月21日

散布方法:BT剤1回散布区は8月23日(被覆除去2日後)に、2回散布区はさらに8月30日(1回目散布7日後)に背負式動力噴霧器を用いてBT剤1,000倍液(展着剤無加用)を十分量散布した。

調 査 日:9月4日(定植45日後)に中央2列の60株について収穫、解体調査を行った。

2)アブラムシ類

長野県でレタスを加害するアブラムシ類は、主にモモアカアブラムシとジャガイモヒゲナガアブラムシです。被覆除去後にアブラムシ類による被害を軽減するため、有機JAS栽培で使用できる気門封鎖剤「エコピタ液剤」による防除効果を調査したところ、対照薬剤のモスピラン顆粒水溶剤(有機栽培では使用不可)と比較すると効果は劣るものの、無処理区と比較するとおよそ半分程度の防除効果が認められました(図2-9)。

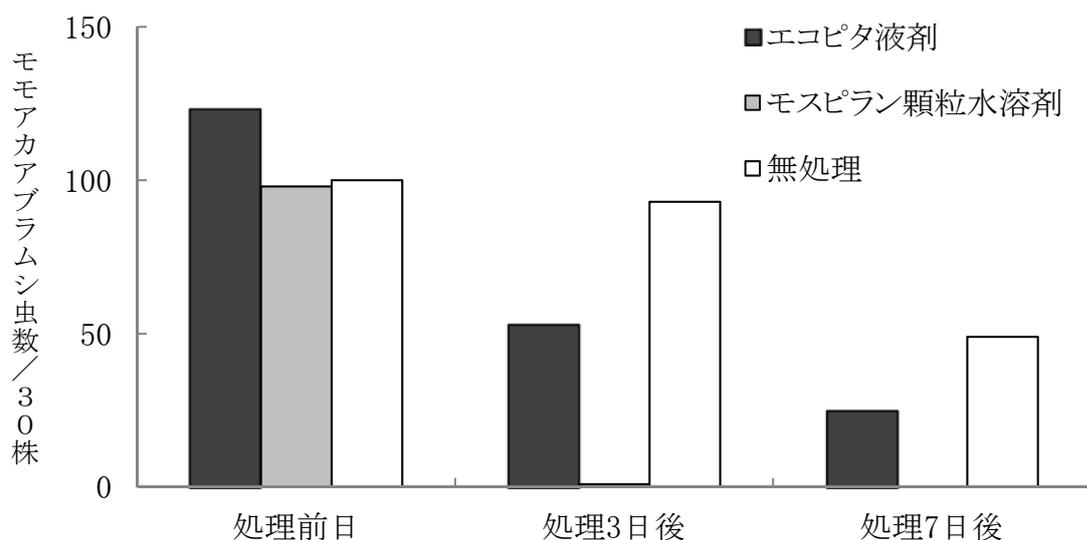


図2-9 気門封鎖剤によるレタスのモモアカアブラムシに対する防除効果(平成27年)

さらに、気門封鎖剤と微生物農薬「ボタニガードES」を混用した場合、気門封鎖剤の単用よりも高い防除効果が認められました。一方で、これらの薬剤は虫体に直接付着しないと十分な効果が得られないことから、散布後に葉上にアブラムシ類が残り、結果として処理13日後には生息密度が再び増加する結果となりました(図2-10)。

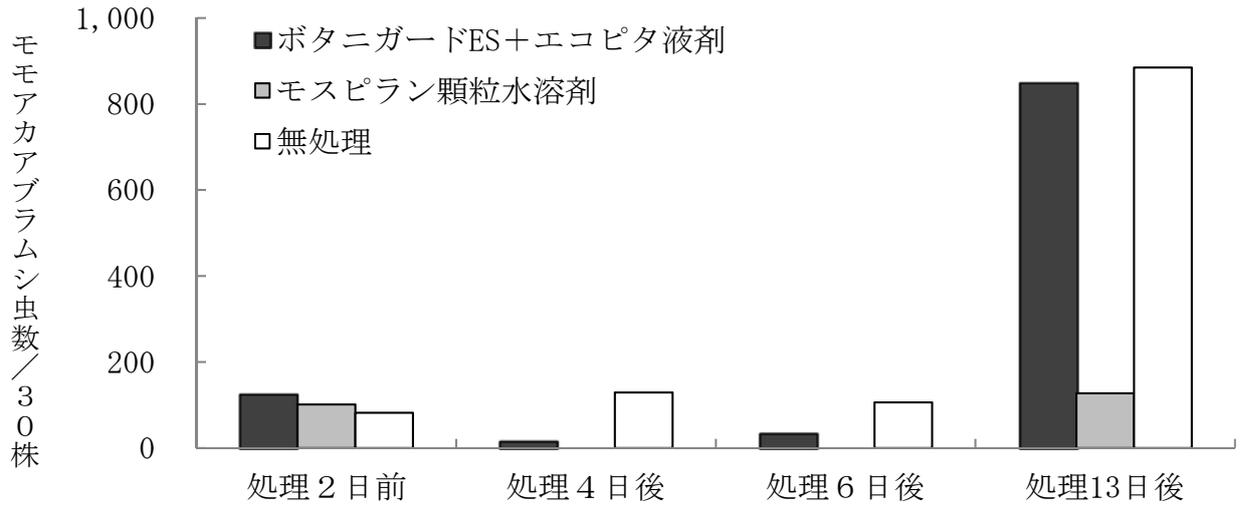


図2-10 微生物農薬と気門封鎖剤によるレタスのモモアカアブラムシに対する防除効果(平成28年)

アブラムシ類は主に外葉の葉裏に生息すること、気門封鎖剤や微生物農薬は虫体に十分に薬液が付着しないと十分な防除効果が得られないことから、化学合成殺虫剤と比較すると効果は劣りますが、アブラムシ類の発生が問題となる圃場では、発生初期に丁寧に散布することでアブラムシ類による被害を抑制できると考えられました。

これらのことから、被覆除去後の防除対策として、チョウ目害虫に対してはBT剤の散布、アブラムシ類に対しては気門封鎖剤や微生物農薬を使用することで一定の防除効果が得られ、有機レタスの安定生産に寄与できると考えられました。

5. 圃場の理化学性改善方策

(1) 高冷地レタス有機栽培における有機栽培転換後年数が化学性に及ぼす影響

調査した有機栽培農家は鶏ふん主体で施肥を行っています。この農家が耕作する圃場の土壌可給態窒素量を有機栽培転換後の年数毎に調査しました。

その結果、有機栽培転換後の年数が長いほど、土壌中の交換性塩基類、可給態リン酸量及び可給態窒素量が増加する傾向が認められました(図2-11、表2-13)。特に交換性カリ及び可給態リン酸量の増加が顕著でした。

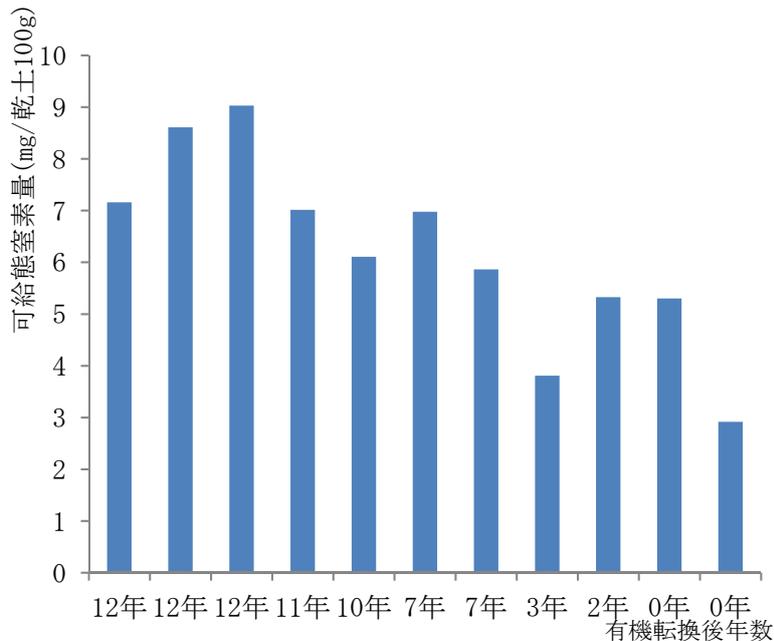


図2-11 有機転換後年数と可給態窒素量 (80℃水抽出法 平成25年)

表2-13 有機栽培圃場の有機転換後年数と化学性

有機転換後年数	pH	EC	CEC	カリ	石灰	苦土	リン酸吸収係数	可給態リン酸
	H ₂ O	mS/cm	me	交換性mg/100g乾土			mg/100g乾土	
1～3年	6.6	0.18	30	94	441	72	1947	42
5～7年	7.3	0.16	31	122	539	90	1620	121
10～12年	7.1	0.27	35	137	578	105	1696	241
目標値	6.0～6.5	0.2～0.6	30以上	60～80	370～550	100～175		10～35

有機転換後年数 1～3年n=9、5～7年n=4、10～12年n=24

(2) 高冷地レタス有機栽培に適応性のある2品種の吸肥特性の把握

化学肥料区では窒素吸収パターンに品種による差が認められ、「スターレイ」は「シナノスター」より吸収量が多いですが、発酵鶏ふん区では品種による差は認められませんでした。

春作、秋作のいずれも定植 14 日後からレタスの窒素吸収量が増え始め、結球始期に当たる 21 日後からさらに吸収量が増加しました(図2-12)。

発酵鶏ふん中の窒素無機化は春作よりも秋作の方がやや早く進み、施用後約 55 日ではいずれも 60%程度となりました(図2-13)。

以上の結果から、鶏ふんをレタス定植 10 日前に施用すると、春作、秋作ともにレタスの窒素吸収前に十分な窒素が供給されると考えられました(図2-14①、②)。

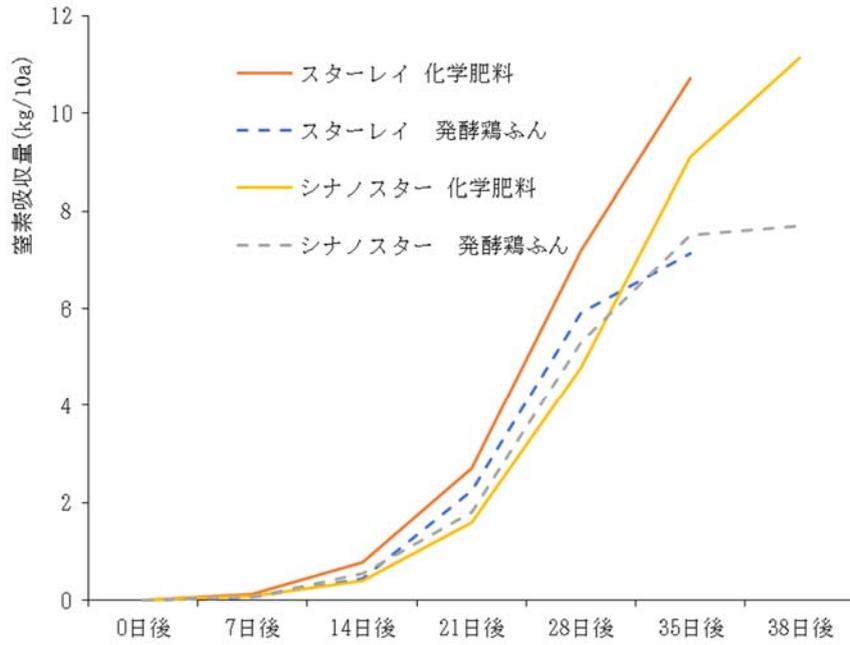


図 2-1-2 場内圃場における春作レタスの窒素吸収パターン
 (発酵鶏ふんの有効窒素施用量8kg/10a 化学肥料窒素施用量
 N10kg/10a 平成26年)

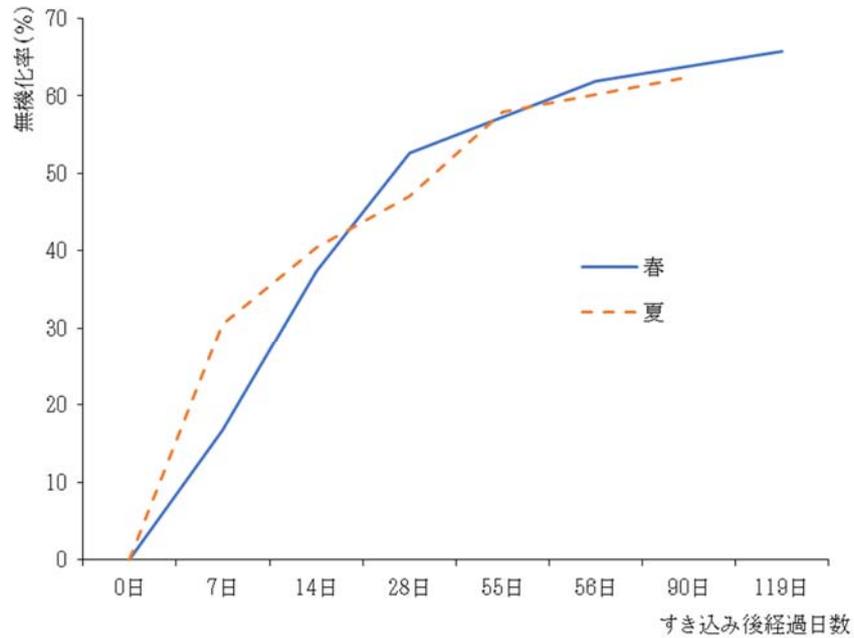


図 2-1-3 発酵鶏ふんの窒素無機化率の推移 (平成27年)

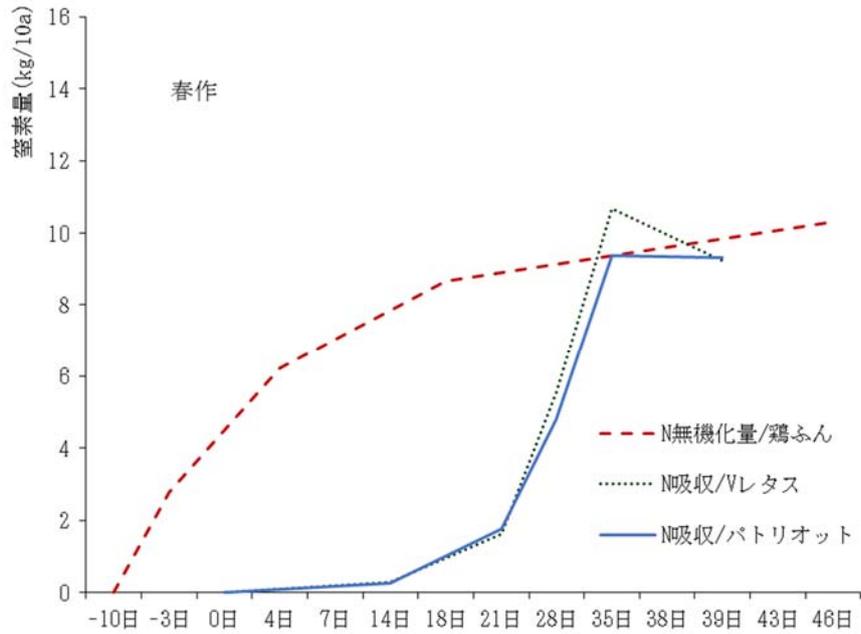


図2-14① 作型別の窒素吸収パターンと発酵鶏ふん窒素無機化量の関係
(定植の10日前に発酵鶏ふんを施用 場内圃場 平成27年)

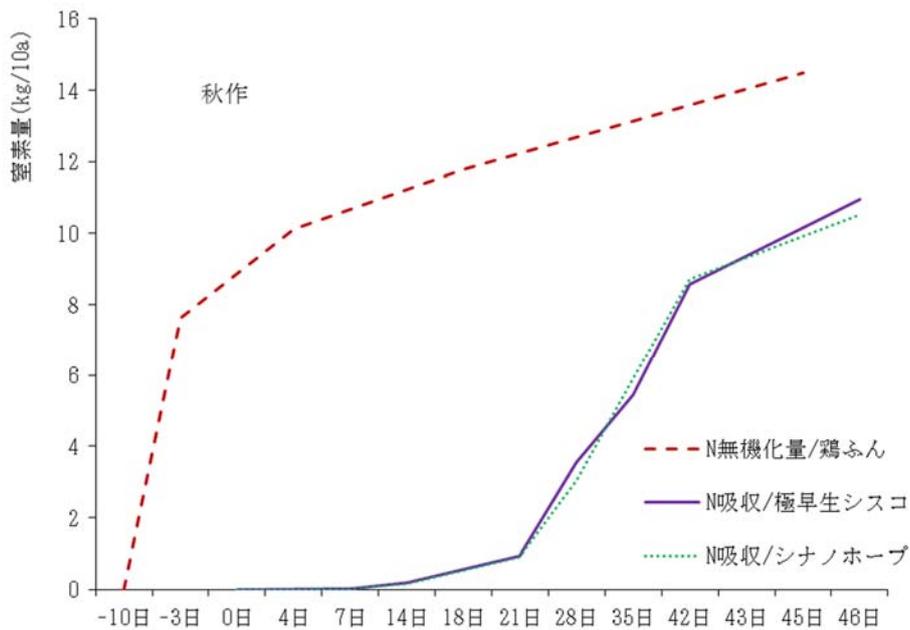


図2-14② 作型別の窒素吸収パターンと発酵鶏ふん窒素無機化量の関係
(定植の10日前に発酵鶏ふんを施用 場内圃場 平成27年)

(3) 春作及び秋作における発酵鶏ふんの適正窒素施用量の検討

発酵鶏ふんなど有機質肥料中の養分は化学肥料のように全ての量が有効化することはありません。有機質肥料中の養分が化学肥料と比べどの程度有効化するかを肥効率と呼び、[有機質肥料の施用量×有機質肥料の養分含有率×肥効率]で有効養分施用量を求められます(表2-14)。

本研究では埋設試験の結果や既往のデータから発酵鶏ふんの肥効率を窒素-リン酸-カリ 60-70-90%として有効養分施用量を求めました。

表 2-14 試験区の有効養分施用量

種類	有効窒素		成分含有率			肥効率			有効成分施用量		
	施用量	現物 施用量	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
	kg/10a	kg/10a	%			%			kg/10a		
バイ/有機	8	139	7.2	4.0	2.5	80	80	80	8	4	3
バイ/有機	10	174	7.2	4.0	2.5	80	80	80	10	6	3
バイ/有機	12	208	7.2	4.0	2.5	80	80	80	12	7	4
鶏ふん	10	518	3.22	4.6	3.2	60	70	90	10	17	15
無施肥	0	0							0	0	0

有効成分施用量kg/10a=現物施用量kg/10a×成分含有率%×肥効率%

[春作]

有機 JAS 転換1年目の場内圃場(標高 750m、可給態 N2.5mg/100g)で春作のレタスに対する発酵鶏ふんの適正施用量を検討した結果、化学肥料区(窒素慣行量 10kg/10a)のレタス調整重と比較して「スターレイ」は有効窒素施用量 11kg/10a、「シナノスター」は 8~11kg/10a で同等でした(図2-15)。

また、堆肥 1t/10a 施用を2年続けた有機 JAS 転換2年目の場内圃場では、「Vレタス」が有効窒素施用量 9~12kg、「パトリオット」は 6~12kg の間でレタス調整重に有意な差は無く同等でした(図2-16)。

有機 JAS 転換 14 年目の現地圃場(標高 860m、可給態 N8.6mg/100g)では、発酵鶏ふんの有効窒素施用量 6~14kg/10a では「Vレタス」の調整重に有意な差は有りませんでした(図2-17)。また、有機 JAS 転換 16 年目の現地圃場で表2-14のとおり施肥量でレタスの生育を比較したところ有効窒素施用量が多い区でタコ足球や過大軟球が増加し結球部の品質が低下しましたが、有効窒素施用量が増加しても地上部全重には影響しませんでした(表2-15、図2-18)。

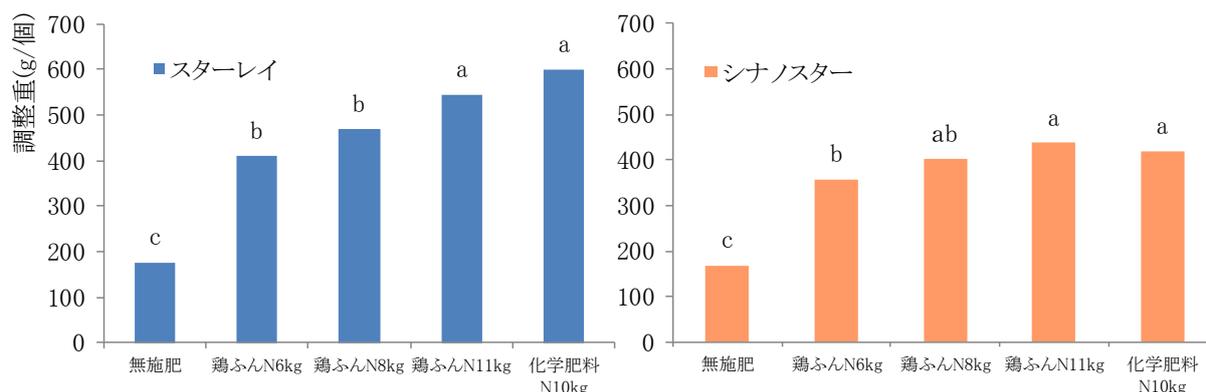


図2-15 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が春作レタスの調整重に及ぼす影響(有機 JAS 転換 1 年目場内圃場、Nkg/10a、平成 26 年)品種ごと異符号間で 5%水準の有意差有り(Tukey 法)

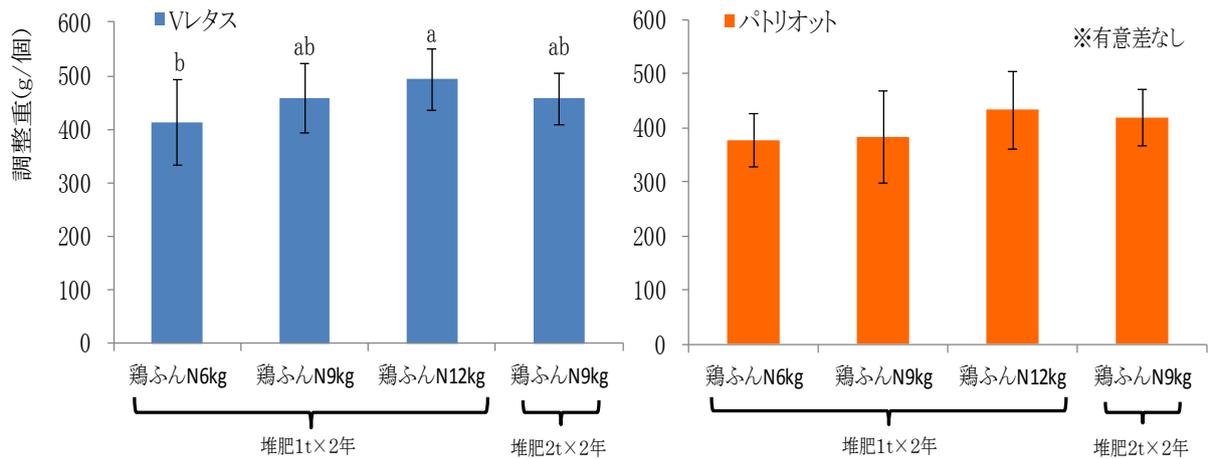


図2-16 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が春作レタス調整重に及ぼす影響 (有機 JAS 転換 2 年目 場内圃場、Nkg/10a、平成 27 年) エラーバーは標準偏差、品種ごと異符号間で 5%水準の有意差有り (Tukey 法)

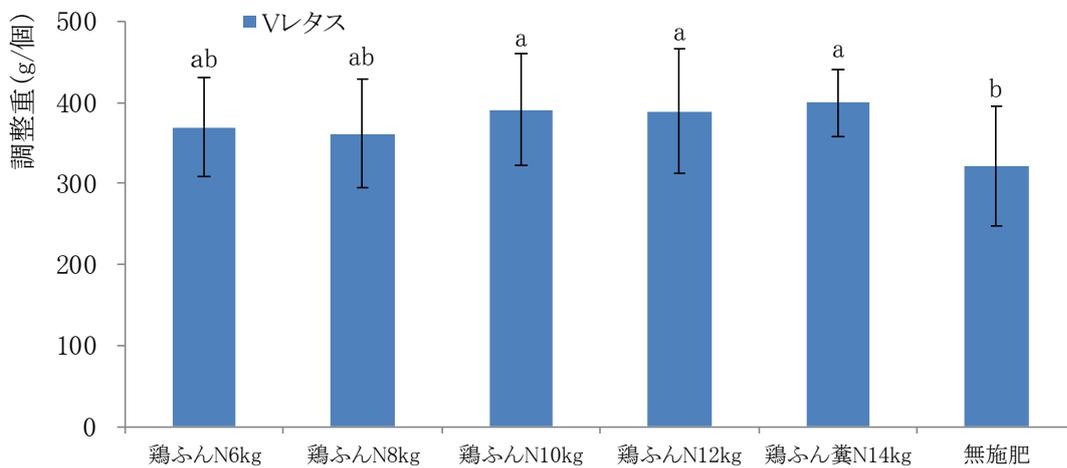


図2-17 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が春作レタス調整重に及ぼす影響 (有機 JAS 転換 14 年目現地圃場、Nkg/10a、平成 27 年) エラーバーは標準偏差、異符号間で 5%水準の有意差有り (Tukey 法)

表 2-15 レタスの結球部品質

肥料種類	有効窒素施用量 (kg/10a)	発生程度		
		タコ足球	変形球	過大軟球
バイ/有機	8	28	13	13
バイ/有機	10	28	12	15
バイ/有機	12	38	10	27
発酵鶏ふん	10	23	3	20
無施肥	0	10	3	0

発生程度 = 評点の合計 / (3 × 調査株数) × 100

評点 0 : 発生無 1 : 少 2 : 中(出荷不可) 3 : 甚

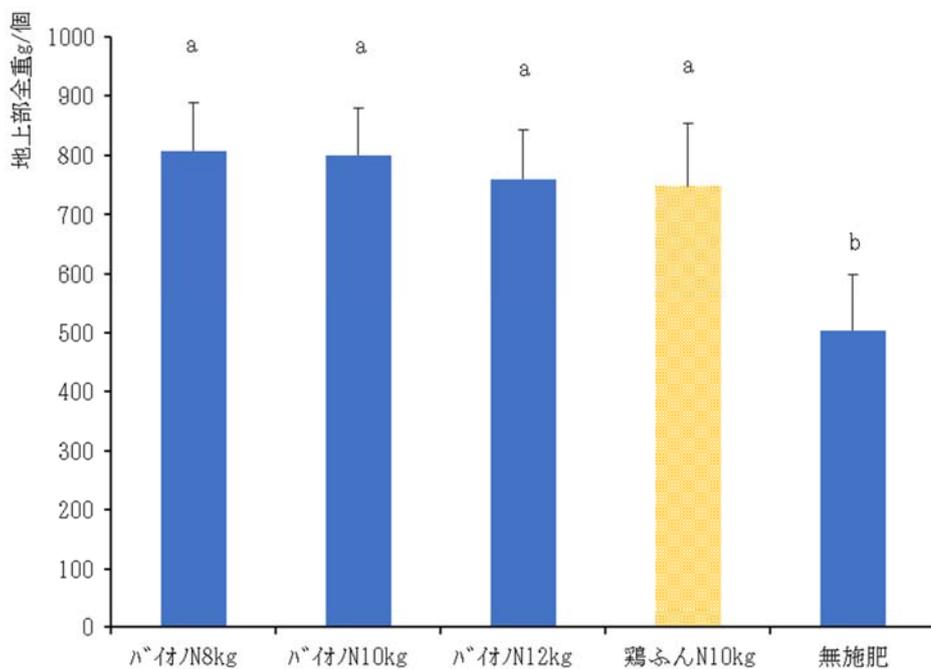


図 2-18 有機質肥料の有効窒素施用量が春作レタス地上部全重に及ぼす影響(有機JAS転換11年目圃場 平成29年)
エラーバーは標準偏差、異符号間で5%水準の有意差有り (Tukey法)

[秋作]

有機 JAS 転換1年目の場内圃場(標高 750m、可給態 N2.5mg/100g)で夏まきレタスに対する発酵鶏ふんの適正施用量を検討した結果、窒素慣行量(15kg/10a)の化学肥料区のレタス調整重と比較し「極早生シスコ」は有効窒素施用量 15~21kg/10a まで同等でした(図2-19)。

また、牛ふん・バーク堆肥(窒素-リン酸-カリ 0.9-1.4-1.5%)1t/10a 施用を2年続けた有機 JAS 転換2年目の場内圃場では、有効窒素量の増加と共に調整重が増加する傾向が認められましたが、「極早生シスコ」は 10.5~19.5kg の間でほぼ同等で、「シナノホープ」は 10.5~15kg 区は同等でしたが、19.5kg 区は有意に重い結果でした(図2-20)。有機 JAS 転換9年目の現地圃場(可給態 N6.6mg/100g)では、

発酵鶏ふんの有効窒素施用量 10.5～19.5kg/10a の間で調整重に有意差は有りませんでした(図2-21)。

(4) 高冷地レタス有機栽培におけるリン酸、カリ投入量適正化の検討

有機JAS栽培における土壌のリン酸、カリ過剰を改善するため、レタスの春作及び秋作において、窒素に比べリン酸、カリ含有率の低い有機質肥料であるバイオノ有機s(魚肉エキス 60%、米ぬか油かす 40% 窒素-リン酸-カリ 7.2-4.0-2.5%)について検討しました。

その結果、肥効率 80%として施用した場合、レタス調整重は発酵鶏ふんと同等の肥効以上であったことから(図2-22、23)、有機栽培の継続によりリン酸・カリが過剰となっている圃場ではバイオノ有機sの施用が有効であると考えられました。

また、バイオノ有機sの窒素無機化は、発酵鶏ふんと比べ、5月施用、8月施用とも速やかに進みました(図2-24)。

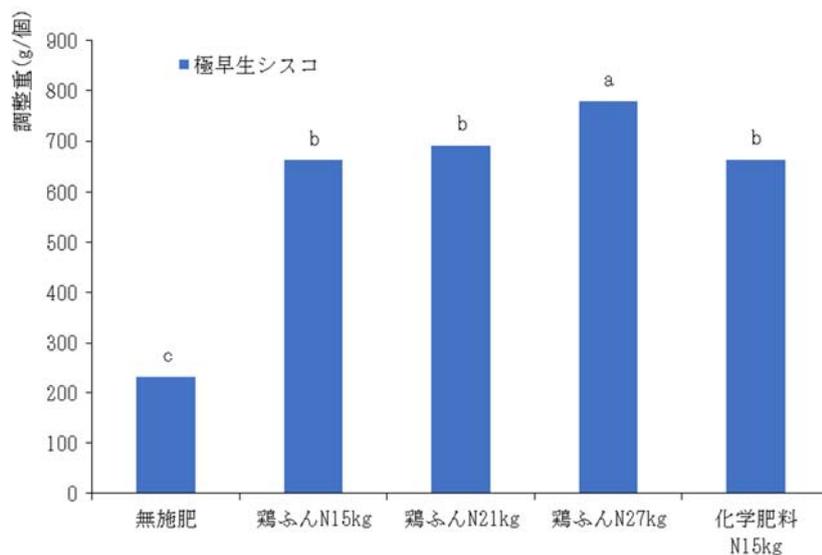


図2-19 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が秋作レタスの調整重に及ぼす影響(有機JAS転換1年目場内圃場、Nkg/10a、平成28年) 異符号間で5%水準の有意差有り(Tukey法)

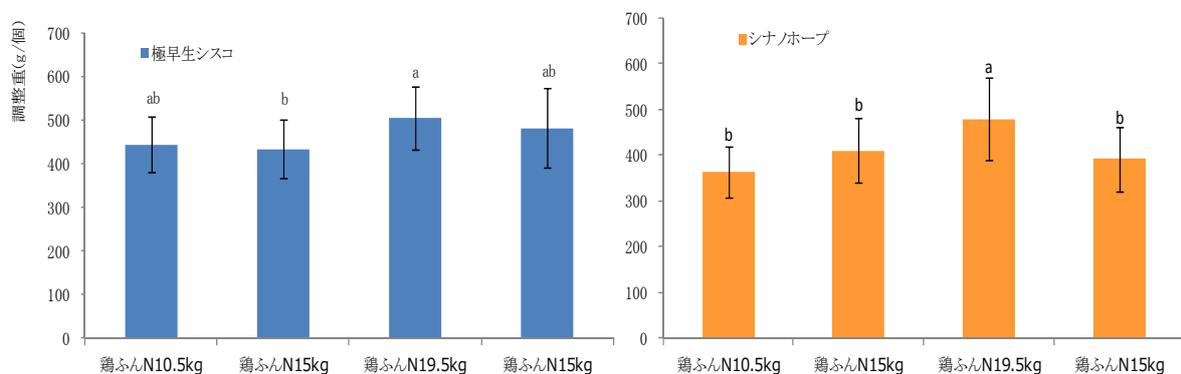


図2-20 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が秋作レタスの調整重に及ぼす影響(有機JAS転換2年目場内圃場、Nkg/10a、平成27年) エラーバーは標準偏差、品種ごと異符号間で5%水準の有意差有り(Tukey法)

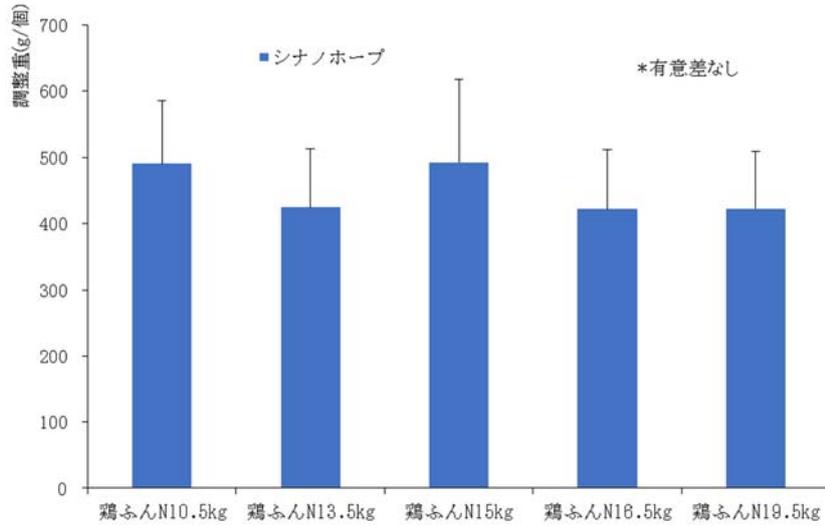


図2-21 発酵鶏ふんの有効窒素施用量が秋作レタスの調整重に及ぼす影響(有機JAS転換9年目現地圃場、Nkg/10a、平成27年) エラーバーは標準偏差 *有意差なし

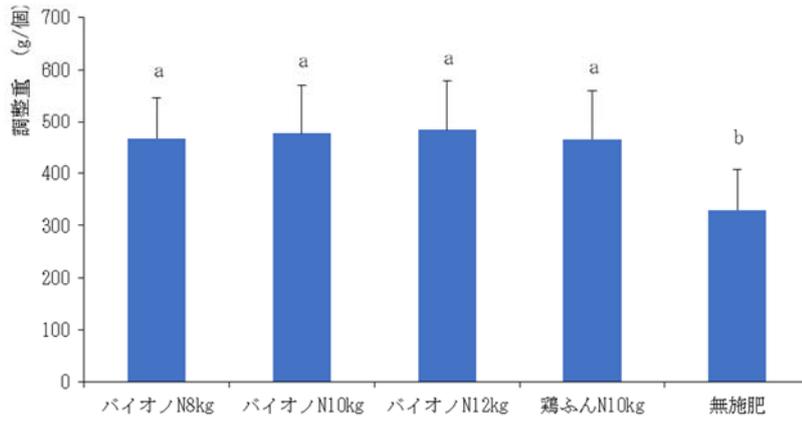


図2-22 有機資肥料の有効窒素量が春作レタス(Vレタス)の調整重に及ぼす影響(現地有機JAS圃場、N kg/10a、平成28年) エラーバーは標準偏差 異符号間で5%水準の有意差有り (Tukey法)

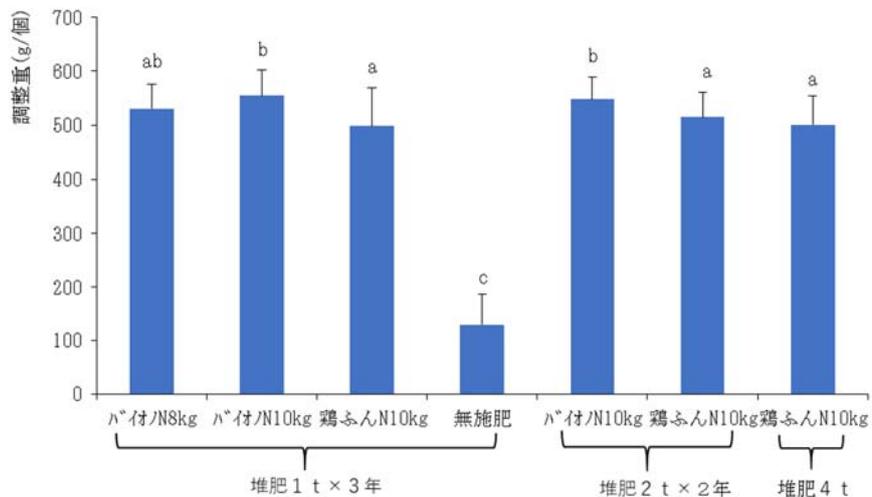


図2-23 有機資肥料の有効窒素施用量が春作レタスの調整重に及ぼす影響(場内圃場、N kg/10a、平成28年) エラーバーは標準偏差 異符号間で5%水準の有意差有り (Tukey法)

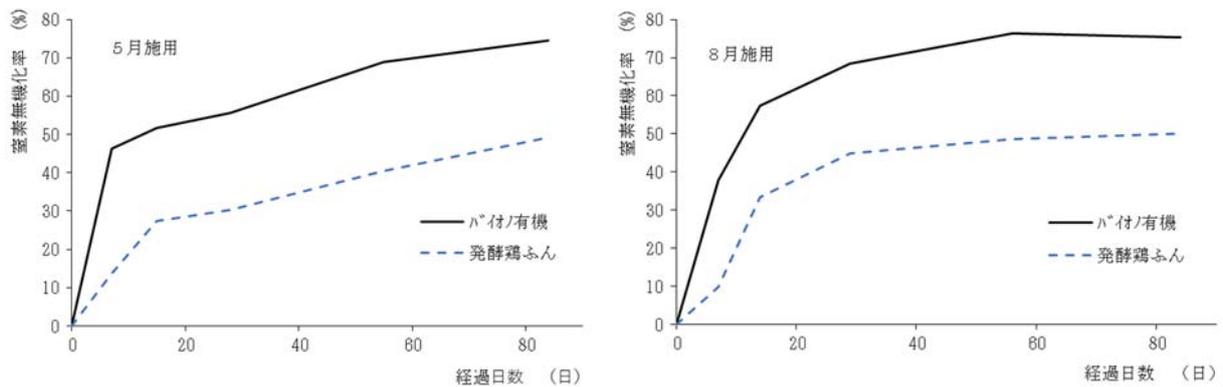


図2-24 有機質肥料の窒素無機化率の推移(平成 28 年)

(5) 圃場の理化学性改善方策まとめ

1) レタス有機栽培における有機栽培転換後年数が土壌の化学性に及ぼす影響を調査した結果、有機栽培年数が長いほど土壌中の交換性カリ、有効態リン酸量が顕著に増加していました。鶏ふんや一般的な有機質肥料はリン酸、カリの肥効に比べ窒素肥効が低く、作物が必要な窒素量を有機物で施用しようとする必要以上にリン酸、カリを施用してしまいます。この積み重ねが有機栽培土壌でのリン酸、カリ過剰の一因と考えられます。

2) 発酵鶏ふんの窒素無機化率は高く、施用2か月後までに6割程度が無機化しました。

一方レタスの窒素吸収パターンを調査すると、春作、秋作いずれのレタスとも定植 14 日後から窒素吸収量が増加し、結球始期にあたる 21 日後からさらに吸収量が増加しました。

これらの結果からレタスの春作、秋作とも定植 10 日前にあらかじめ発酵鶏ふんを施用しておくことレタスの窒素吸収特性に適したパターンで窒素が無機化すると考えられます。

3) 窒素無機化試験の結果から、発酵鶏ふんの窒素肥効率を 60%としてレタスを栽培したところ、化学肥料と同等の生育でした。

発酵鶏ふんの有効窒素施用量は、[有機質肥料の現物施用量×窒素含有率×肥効率]で求めることができ、慣行の化学肥料による窒素施用量と同レベルの有効窒素施用量となるように発酵鶏ふんを施用すればよいと考えられます。

なお、窒素施用量が多いと結球部の品質が低下する場合がありますので、過剰な施肥は行わないようにします。

4) バイオ有機 s は有機質肥料の中では窒素に比べリン酸、カリ含有率が低い資材です。バイオ有機 s の窒素肥効率を 80% (リン酸肥効率 80%、カリ肥効率 90%)としてレタスの生育を比較したところ、化学肥料や発酵鶏ふんと同等の肥効が得られました。このことからバイオ有機 s は土壌のリン酸、カリ過剰軽減に有効と考えられました。

6. 経営評価

調査対象農家について、経営評価を実施しました(表2-16)。調査対象農家では、レタスの反収は慣行栽培に比べてやや劣っていましたが、契約栽培により高単価を確保していることが経営上重要と考えられました。これは、長年にわたり出荷の2週間前には指定数量を確保してきたことで、実需者からの信用を得られた結果です。

生産費が慣行に比べ高いのは、不織布更新の値段が上乘せされたためです。一方、経営費については、契約栽培により手数料等の流通経費をカットすることで、低く抑えることに成功しています。販売単価が高く維持されていることで、この農家は利益を確保しています。

表2-16 調査対象農家A氏の経営評価

区 分	有機レタス 栽培農家A氏	慣行比(%)
野菜作付け延面積(a)	790	
内レタス栽培延面積(a)	190	
レタス反収(kg/10a)	3,400	85
平均単価(円/個)	200	147
粗収益(千円/10a)	686	126
生産費(千円/10a)	360	164
経営費(千円/10a)	495	114
労働時間(時間) (家族3名、時/10a)	102	99
全経営雇用(延べ人)	1,400	
農業所得(千円/10a)	191	174
時間あたりの所得(円/時)	1,873	159

(注) 慣行は、長野県農業経営指標を引用した
 経営費＝生産費＋流通経費

7. レタス栽培において発生する主な病害虫

《病害》

(1) すそ枯病(病原菌:*Rhizoctonia solani*)糸状菌

【病徴】: 地面に接した外葉の基部が腐敗し、外葉が黄化・枯死します(図2-25)。症状がひどい場合には結球部まで腐敗が進展します。

【診断のポイント】: 罹病部には褐色のくもの巣状の菌糸が見られることがあります(図2-26)。

【伝染および対策】: 罹病残渣が土壌にすき込まれ、次作以降の第一次伝染源になります。罹病残渣はできるだけ圃場外に持ち出し、レタスの連作にならないように作付け計画を立てましょう。



図2-25 すそ枯病の症状



図2-26 くもの巣状の菌糸

(2) 菌核病(病原菌:*Sclerotinia sclerotiorum*)糸状菌

【病徴】: 外葉の基部から発病することが多く、初めは褐色水浸状の病斑を形成し、株元から腐敗が進行します(図2-27)。腐敗部分には、白色で綿状の菌糸が観察されます。

【診断のポイント】: 罹病部の白色綿状の菌糸は、やがて黒色でネズミのふんに似た菌核(図2-28)となり、診断の決め手となります。

【伝染および対策】: やや低温で、多湿が続くと発生が多くなります。伝染源は越冬した菌核で、これが発芽し、直接菌糸を生じて伝染することもあります。菌核が発芽して子のう盤を形成し、子のう胞子が飛散して伝染すると考えられています。発病株や罹病残渣が第一次伝染源となるため、発見した場合は、抜き取ってできるだけ圃場外に持ち出し処分し、また、レタスは連作しないようにしましょう。



図2-27 菌核病の症状



図2-28 採集した菌核

(3) 灰色かび病(病原菌:*Botrytis cinerea*)糸状菌

【病徴】:初め淡褐色で水浸状の病斑を形成し、急速に広がって褐色に腐敗が進行します(図2-29)。腐敗部分には、灰褐色のかびが密生し、やがて胞子を多量に形成します(図2-30)。

【診断のポイント】:罹病部に形成される灰色のかびと胞子の形成が、診断の決め手となります。

【伝染および対策】:発生条件は菌核病と類似し、腐生性が強く、罹病残渣中で菌糸または菌核で越冬するものと考えられています。二次伝染は大量に形成される胞子により、伝染を繰り返します。菌核病と同様、発病株や罹病残渣が第一次伝染源となるため、発見した場合は、抜き取ってできるだけ圃場外に持ち出し処分しましょう。



図2-29 灰色かび病の症状



図2-30 病斑上に形成された
灰色かび病菌胞子

(4) べと病(病原菌:*Bremia lactucae*)糸状菌

【病徴】:初め地際の外葉の表面に輪郭のはっきりしない不整形の黄色斑紋を形成し、やがて拡大して葉脈に囲まれた黄色で多角形の病斑となります(図2-31)。この頃になると、病斑の葉裏には白い霜状のかびが観察されます(図2-32)。

【診断のポイント】:黄色、多角形の病斑と病斑葉裏の白い霜状のかびが、診断の決め手となります。

【伝染および対策】:やや低温で、多湿が続くと発生が多くなります。発病葉内で菌糸または卵胞子で越冬し、次年度の伝染源となります。二次伝染は病斑部に形成された胞子により、伝染を繰り返します。発病葉はできるだけ圃場外に持ち出し処分しましょう。



図2-31 葉表に形成された黄色病斑



図2-32 葉裏に形成されたべと病菌の胞子

(5)腐敗病(病原菌:*Pseudomonas cichorii* によるものが主)細菌

【病徴】:収穫期近くになり、結球葉の外側に黒褐色で不整形の病斑が現れます(図2-33)。病気が進むと結球葉全体が黒変しますが、表面は腐敗しないため、てかてか光って見えます(図2-34)。

【診断のポイント】:結球葉に発生し、黒変、乾固します。

【伝染および対策】:やや低温で、多湿が続くと発生が多くなります。罹病残渣と共に土壌中で生存し、次年度の伝染源となります。レタス品種により感受性が異なるので、発生の多い圃場では、耐病性品種を栽培しましょう。



図2-33 腐敗病の発病初期症状



図2-34 腐敗病の発病末期症状

(6)斑点細菌病(病原菌:*Xanthomonas campestris* pv. *vitians*)細菌

【病徴】:主に外葉に発生します。初め葉縁近くに水浸状の小斑点を生じ、病気が進むと褐色で不整形の病斑となります(図2-35)。多発すると病斑は拡大、融合し、葉縁がV字型に枯れ込みます。激発した場合は、外葉がボロボロになるため生育に影響し、結球部が小玉化します(図2-36)。

【診断のポイント】:外葉に形成された新鮮な病斑は、水浸状でハローが認められます。

【伝染および対策】:やや低温で、多湿が続くと発生が多くなります。病原菌は罹病残渣と共に土壌中で生存し、次年度の伝染源となります。レタス品種により感受性が異なるので、発生の多い圃場では、耐病性品種を栽培しましょう。



図2-35 斑点細菌病の症状



図2-36 多発し病斑が融合、結球は小玉化

(7)軟腐病(病原菌:*Pectobacterium carotovorum*)細菌

【病徴】:外葉の付け根付近から発病することが多く、初め水浸状の病斑が現れ(図2-37)、急速に拡大して心部に及びます。この頃になると株全体が萎れるため、容易に発見できます(図2-38)。

【診断のポイント】:株全体の萎凋が顕著で、いわゆる軟腐臭を発します。

【伝染および対策】:高温期の作型で発生が多い。病原菌は土壌中に存在し、降雨による泥はねや害虫による食害痕などの傷口から侵入します。多肥栽培を避け、寒冷紗等により被覆し、害虫による食害を防ぐようにしましょう。



図 2 - 3 7 軟腐病の症状



図 2 - 3 8 株全体が萎れる

《虫害》

(1)オオタバコガ(*Helicoverpa armigera*)、ヤガ科

【被害】:幼虫がレタスの結球内部を食害します(図2-39)。

【診断のポイント】:外観から幼虫による被害を確認することは困難ですが、被害を受けたレタスは切り口の洗浄時に虫ふんが認められる場合や、食害部分から乳液が浸出して褐変することがあります。幼虫の体色は変化に富み、若齢幼虫は黒色の毛がまばらに生え、老齢幼虫は背面、側面に筋状紋が入ります(図2-40)。若齢幼虫の頭部の色は黒色で、3齢以降は褐色となります。卵は白色で1粒ずつ産下されます。

【対策】:成虫発生期に被覆資材で畝全体を被覆しましょう。隙間があると成虫や歩行幼虫が侵入するおそれがあるので、裾に隙間が生じないよう固定します。被覆除去後の発生が懸念される場合にはBT剤を丁寧に散布します。



図2-39 レタスの食入孔



図2-40 オオタバコガ老齢幼虫

(2)ヨトウムシ(ヨトウガ: *Mamestra brassicae*)、ヤガ科

【被害】:幼虫がレタスの結球内部を食害します(図2-41)。

【診断のポイント】:卵塊で産卵し、若齢幼虫は葉の表皮を残すように集団で加害することが多く、体色は3齢までは緑色、4齢以降は茶褐色となります(図2-42)。

【対策】:オオタバコガの項を参照。



図2-41 食害を受けたレタス
(黒い粒は虫ふん)



図2-42 ヨトウムシ老齢幼虫

(3) ウワバ類、ヤガ科

【被害】: 幼虫がレタスの結球内部を食害します。

【診断のポイント】: 長野県内ではタマナギンウワバ (*Autographa nigrisigna*)、キクキンウワバ (*Thysanoplusia intermixta*) が優占します(橋山ら、2012)。幼虫の体色は淡緑色で、2対の腹脚を持ちシャクトリムシ状に歩行し、卵は1粒ずつ産下されます(図2-43)。

【対策】: オオタバコガの項を参照。



図2-43 タマナギンウワバ中齢幼虫
(原図: 桑澤久仁厚)

(4) ナモグリバエ (*Chromatomyia horticola*)、ハモグリバエ科

【被害】: 幼虫は主にレタス外葉の葉肉内を潜行して食害します。

【診断のポイント】: 幼虫は葉肉内を潜行し、銀白色で不規則な線状の食害痕を残します(図2-44)。幼虫は葉肉内で蛹化し、蛹化直後は黄土色であるが、やがて黒色となります。

【対策】: 成虫発生期に被覆資材で畝全体を被覆します。隙間があると成虫が侵入するおそれがあるので、裾に隙間が生じないように固定します。多発する圃場では、スピノエース顆粒水和剤(有機栽培で使用可)500~1,000倍液をセルトレイ1枚当たり500mlの割合で灌注処理します。



図2-44 ナモグリバエ幼虫のマイン(坑道)

※黄色い粒はジャガイモヒゲナガアブラムシ

(5) ジャガイモヒゲナガアブラムシ (*Aulacorthum solani*)、アブラムシ科

【被害】: 幼虫や成虫がレタス葉を吸汁加害し、寄生部位が退色して枯れることがあります。

【診断のポイント】: 主に春と秋に発生が多く、雌成虫の体長は3mm程度で、体色は黄緑色から淡緑色、各脚の脛節は淡い色の部分があります。触角は体長よりも長く、所々に黒色部があり、角状管の先端は黒色を呈します(図2-45)。

【対策】: 成虫発生期に被覆資材で畝全体を被覆しましょう。隙間があると成虫や歩行幼虫が侵入するおそれがあるので、裾に隙間が生じないように固定します。被覆除去後に発生が懸念される場合は、有機JASで使用できる気門封鎖剤(エコピタ液剤等)を丁寧に散布します。



図 2 - 4 5

ジャガイモヒゲナガアブラムシの無翅成虫と幼虫

(6) モモアカアブラムシ (*Myzus persicae*)、アブラムシ科

【被害】: 幼虫や成虫がレタス葉を吸汁加害します。

【診断のポイント】: 主に春と秋に発生が多く、雌成虫の体長は2mm程度で、体色は赤色、緑色、黄色と変化に富みます(図2-46、2-47)。触角は体長よりも短く、角状管の先端は黒色を呈します。

【対策】: ジャガイモヒゲナガアブラムシの項を参照。



図 2 - 4 6

モモアカアブラムシ無翅成虫



図 2 - 4 7 モモアカアブラムシのコロニー

8. 関連成果

(1) レタスすそ枯病の発生生態

課題の背景・目的: 長野県野菜花き試による現地有機栽培圃場の調査から、夏秋期のレタス栽培において発生する主要な病害は、菌類病のすそ枯病、細菌病の腐敗病、軟腐病、斑点細菌病であることが明らかとなりました(「3. 重要病害の発生消長調査と重要病害に対する防除法」参照)。すそ枯病は春～秋どり作型の気温がやや高め、土壌の湿度が高い条件で発生しやすい病害であり、*Rhizoctonia solani* の菌糸融合群・培養型 AG1-1B に属する菌系統により引き起こされる場合の多いことが知られています(岸・我孫子、2002; 関口、1998)。そして、食用作物、牧草、野菜、草花、樹木等の 32 の宿主で本菌による病害が報告されており(日本植物病理学会編、2017)、病原菌は長期間土壌に残ると考えられています。有機栽培の現場ではレタスとの輪作作物としてアブラナ科、セリ科、イネ科など多様な作物が導入されています。しかし、上述のとおり本菌は多犯性であることから、本病の既発生圃場では輪作される作物が発病する場合や、後作で栽培されるレタスの発病を助長する可能性が考えられます。そこで、有機栽培でも導入可能な耕種的防除法開発の一助として、すそ枯病菌に対する各種作物の感受性、発病程度に及ぼす気温や苗の植え付け深さの影響等の基本的な性質について解析しました。

試験方法:

1) すそ枯病菌に対する作物間の感受性差異

レタスすそ枯病菌(菌株名:T1-1、学名・菌糸融合群・培養型:*R. solani* AG1-1B)をフスマ・バーミキュライト培地(フスマ 3g、バーミキュライト 7g、蒸留水 10ml を 200ml 三角フラスコに入れてオートクレーブ処理)で約 1 週間培養し、園芸培土で 250 倍(g/g)に希釈して接種源としました。以下断りがない限り菌株 T1-1 を供試し、同様の方法で菌株を培養して接種源としました。

(a) 試験 1: 各種作物の感受性差異(苗接種)

図2-48で示した作物をセルトレイで約 3 週間育苗し、7.5cm ポットに鉢上げしてから接種源を 1 ポット当たり 25ml ずつ苗の株元に覆土して接種しました。接種後は温室内で栽培管理し、4 週間後に地上部の発病状況を調査しました。また、一部の作物については供試個体の地際部をサンプリングし、表面殺菌を行ってから接種菌の再分離を試みました。

(b) 試験 2: ウリ科作物間の感受性差異(苗接種)

ウリ科作物のカボチャ「えびす」、ズッキーニ「ダイナー」、キュウリ「北進」、ニガウリ「太

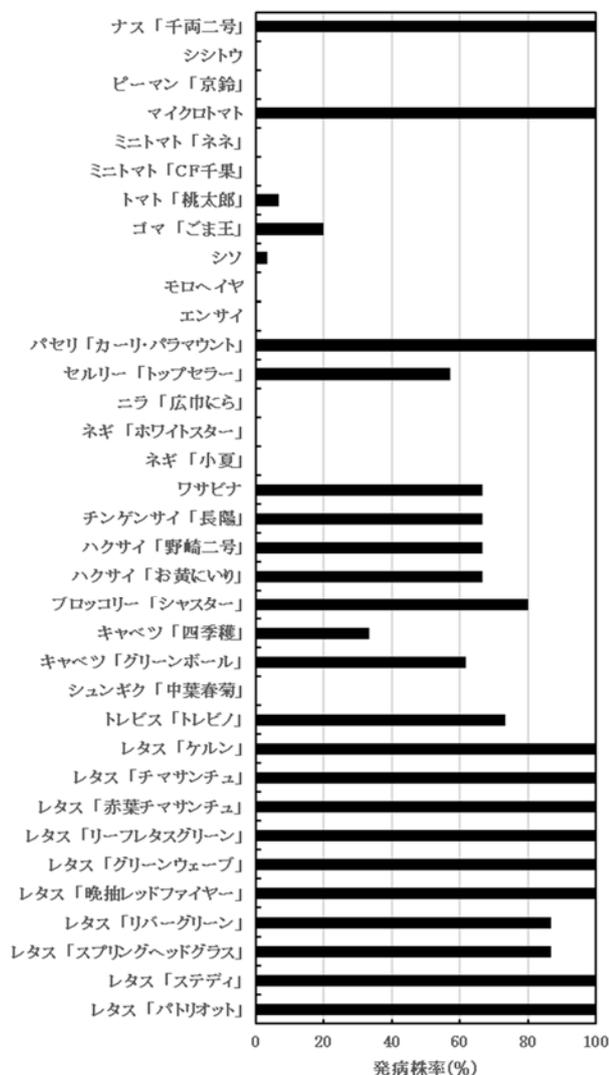


図2-48 レタスすそ枯病菌に対する各種作物の感受性差異

れいし」を 7.5cm ポットで 2 週間育苗し、試験 1 と同様の方法で病原菌を接種して温室内で栽培管理しました。4 週間後、地際の発病状況を調査すると共に、茎部を表面殺菌して地表面から高さ 5cm までを 1cm 間隔で横断し、切片毎に接種菌の再分離を試みました。

(c) 試験 3: 各種作物の感受性差異(汚染土への播種)

図2-51で示した作物を 10.5cm ポットに播種し、接種源を 1 ポット当たり 50ml ずつ覆土して接種しました。接種後は温室内で栽培管理し、4 週間後に地上部の発病状況を調査して無接種区に対する健全株率を算出しました。また、一部の作物については供試個体の地際部をサンプリングし、表面殺菌を行ってから接種菌の再分離を試みました。

(d) 試験 4: ダイコン品種間の感受性差異(汚染土への播種)

図2-53で示したダイコン 12 品種および葉ダイコン「葉太郎」を 10.5cm ポットに播種し、接種源を 1 ポット当たり 50ml ずつ覆土して接種しました。接種後は温室内で栽培管理し、4 週間後に地上部の発病状況を調査して無接種区に対する健全株率を算出しました。次に、接種区で生育したダイコンおよび葉ダイコンを抜き取り、ポットの土壌をビニール袋中で良く混和し、再度ポットに充填して放置しました。1 週間後にレタス「パトリオット」を播種し、温室内で 4 週間栽培管理した後、地上部の発病状況を調査して無接種区に対する健全株率を算出しました。

2) 気温と発病程度との関係

レタスすそ枯病菌をフスマ・バーミキュライト培地で 2 週間以上培養し、園芸培土で 100 倍(g/g)に希釈して接種源としました。200ml のポリプロピレン製カップに園芸培土を 100ml 入れ、1 カップ当たりレタス「パトリオット」を 10 粒ずつ播種し、接種源を 20ml ずつ覆土して接種しました。灌水してからインキュベータ(12/12hr、8000/0Lux、20/20°C)で 2 日間催芽処理を行った後、インキュベータの温度を 10、15、20、25、30°C の 5 段階に設定して 2 週間後に発病状況を調査し、無接種区に対する健全株率を算出しました。

3) 苗の植え付け深さと発病程度との関係

レタスすそ枯病菌を 9 日以上培養し、園芸培土で 250 倍(g/g)に希釈して接種源としました。7.5cm ポットに園芸培土を充填し、接種源を 1 ポット当たり 25ml ずつ覆土してポット中央に植え穴を開け、約 3~4 週間セルトレイで育苗したレタス「パトリオット」の苗を植え付けました。なお、苗の植え付け深さは図2-56のとおり浅植え(地表面から+5mm)、中間(地表面から±0mm)、深植え(地表面から-5mm)の 3 処理区を設け、4 週間後に地上部の発病状況を調査し、発病指数(0:無病徴、1:一部の葉が発病、2:半数以上の葉が発病、3:枯死)に従って発病程度を評価しました。

結果と考察:レタスすそ枯病菌(*R. solani* AG1-1B)に対する野菜類や緑肥作物等の感受性について明らかにするため、一般に育苗してから本圃に定植して栽培される作物は汚染土壌に苗を定植する方法で、また、直接本圃に播種して栽培される作物は汚染土壌に播種して接種試験を行いました。

試験 1:ナス科、ネギ属、アブラナ科、キク科等の各種作物苗に接種したところ、レタス類、アブラナ科の作物は全般に高い発病株率を示し、ネギ属のニラ、ネギおよびナス科(ナス「千両二号」、マイクロトマトを除く)作物の発病株率は比較的低い値を示しました(図2-48)。一方、レタス類の枯死・株腐発生状況については、ステムレタス「ケルン」のように全く認められないものから玉レタス「ステディ」のように半数近くが同症状を示すものまであり、品種間で大きな差異が認められました(図2-49)。接種個体の地際部から接種菌の再分離を試みたところ、ネギおよびナス科(ナス、マイクロトマトを除く)作物からの分離率は低く、発病程度と同調する傾向が認められました(図2-50)。

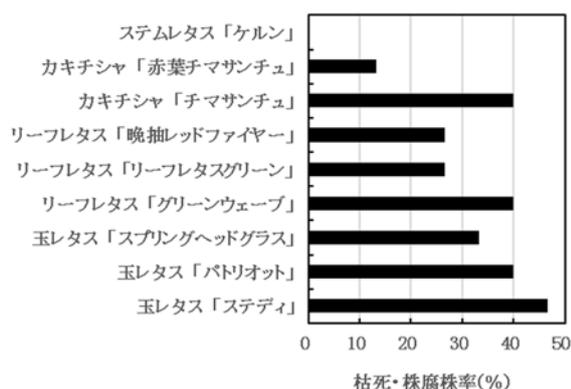


図2-49 レタスすそ枯病菌に対する品種間の感受性差異

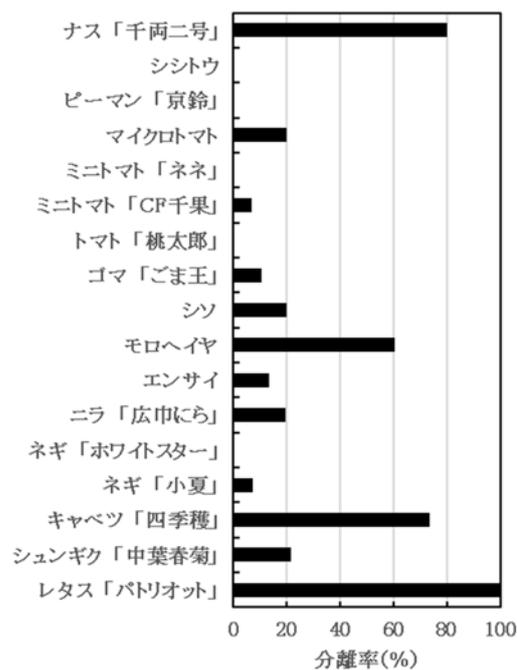


図2-50 接種個体からの接種菌分離率

試験 2:ウリ科作物の苗に接種したところ、いずれも地際褐変等の病徴を示しましたが、カボチャでは他のウリ科作物のような地際部の腐敗や水浸状の症状は認められず、接種菌の分離部位(地表面からの高さ)も低い傾向が認められました(表2-17)。試験 3:汚染土壤に各種作物を播種したところ、ネギ属(ネギ、ニラ)、イネ科(ソルガム、エンバク、スイートコーン)、ダイコン「耐病総太り」の健全株率は比較的高く(つまり発病株率は低く)(図2-51)、さらに、ネギ属、スイートコーン、ダイコン「耐病総太り」では地際部からの接種菌分離率が低い傾向を示しました(図2-52)。試験 4:汚染土壤にダイコンおよび葉ダイコンを播種したところ、健全株率 97%の「耐病総太り」から 0%の「葉太郎」、「江都青長」、「耐病みの早生大根」まで品種間で大きな差異が認められました(図2-53)。なお、「三浦大根」は健全株率 106%を示しましたが、無接種区の出芽率が 60%(データ省略)と他の品種に比べて低い水準でした。また、ダイコン栽培後の土壤にレタスを播種したところ健全株率は 0~79%と作付けした品種間で差が認められ、前作植え付けなし区の 93%と比べて全般に低い値を示しました(図2-54)。特に、本菌の汚染土壤へ播種した際にダイコンそのものの健全株率が高かった「耐病総太り」、「耐病宮重」、「夏の翼」(図2-53)を前作に栽培した場合、後作レタスの健全株率は 0~4%と低い値を示しました。以上の通り、各種作物にレタスすそ枯病菌(*R. solani* AG1-1B)を接種して発病調査および接種菌の再分離を行った結果、ネギ、スイートコーン、トマト、ピーマン等は感受性が低く、逆にレタスやアブラナ科作物等は感受性の高いことが明らかとなりました。本病の既発生圃場ではレタス以外の感受性の高い作物でも発病し、病原菌を増殖させる可能性があることから、病気の発生履歴等を考慮に入れた輪作作物の選定が重要と考えられます。一方、ダイコンについては本菌に対して発病程度の軽い品種も認められたが、後作のレタス栽培において本病を助長する結果となりました。この原因については前作の収穫後に残った細根などの地下部残渣を“エサ”として本菌が増殖し、前作植え付けなしの場合よりも発病を助長させた可能性が考えられます。本試験では前後作の間を 1 週間としましたが実際の生産場面では残渣の腐熟に十分な期間をおく場合もあります。今後は実際の生産場面を考慮したより詳細な解析を行いたいと考えています。

表2-17 レタスすそ枯病菌によるウリ科作物の発病

作物「品種」	病徴	接種菌の分離	
		分離株数/供試株数	分離部位 (平均値) ^a
カボチャ「えびす」	地際褐変 (高さ1~4cmまで)	7/11	1~2 (1.1)
ズッキーニ「ダイナー」	地際褐変、水浸状、割れ (高さ1~3cmまで)	5/7	1~5 (2.2)
キュウリ「北進」	地際褐変、腐敗、割れ、コルク化 (高さ1~10cmまで)	11/11	2~5 (4.6)
ニガウリ「太れいし」	地際褐変、水浸状、枯れ (高さ1~6cm)	9/11	1~5 (1.9)

a) 接種菌が分離された地際からの高さ (cm)

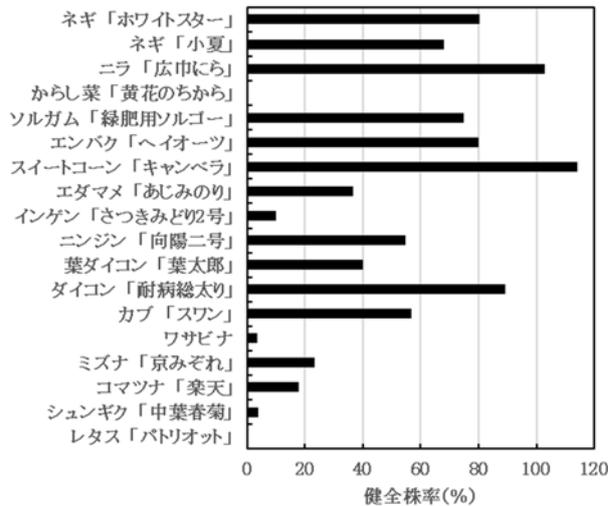


図2-51 レタスすそ枯病菌接種による各種作物の生育への影響

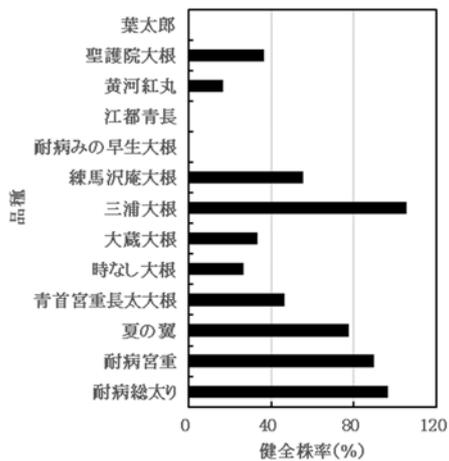


図2-53 レタスすそ枯病菌接種によるダイコン生育への影響

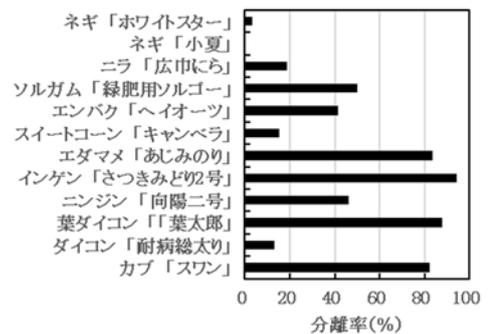


図2-52 接種個体からの接種菌分離率

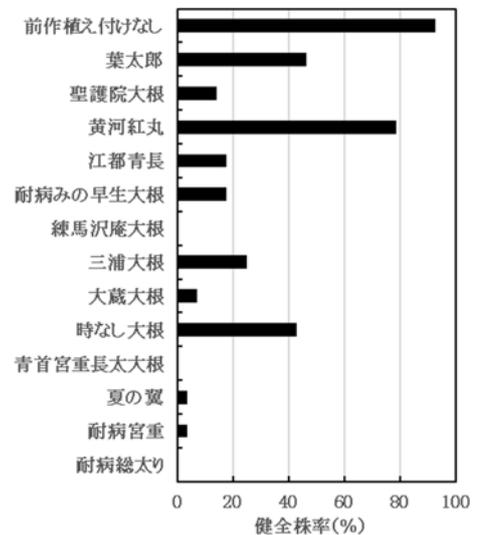


図2-54 ダイコン前作によるレタス苗立枯発生への影響

本病の発病程度に及ぼす気温の影響について、汚染土壌へレタス種子を播種する接種方法で調べたところ、気温 10°C では健全株率 100%、30°C では 0% となり、気温の上昇とともに健全苗率の低下、つまり発病が顕著になる傾向が認められました(図2-55)。なお、無接種区の健全株率はいずれの処理温度でも 90% 以上でした。次に、レタスの苗の植え付け深さと発病程度との関係について、3 処理区(浅植え、中間、深植え)(図2-56)を設けて調べたところ、浅植えでは平均発病指数 0.4、中間では 0.6、深植えでは 1.1 となり、苗を深く植えるほど発病が顕著になる傾向が認められました(図2-57)。キャベツの機械収穫では結球部の傾きが問題とされており、その対策として苗の深植えが有効とされています(山本ら、2015)。一方、同じ結球性の野菜であるレタスの場合には、深く植え付けると「タケノコ球」が発生しやすく、浅いと根鉢が乾燥して活着不良となることが知られています(土屋、2002)。レタスすそ枯病は地面に接した外葉から感染して発病します。胚軸の短いレタスの場合には、「深植え」により株元に土壌(病原菌)が接触する機会が増して発病を助長する恐れがあることから、定植時の圃場の水分状態や本病の発生履歴など勘案し、過度に深植えしすぎないことが肝要と考えられます。また、株間を広げることやサブソイラー等による土壌排水対策を講じることによっても本病の発生が軽減されることが報告されており(田代ら、2008)、後作に影響の少ない輪作作物の選定や本病の発生に好適な時期の作付けを避けるなど耕種的な取り組みの積み重ねが被害を軽減する上で重要と考えられます。

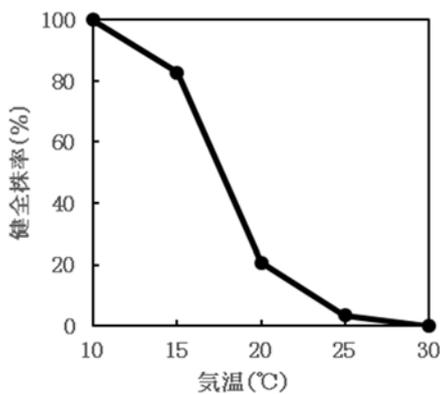


図2-55 レタス苗立枯の発生と気温との関係

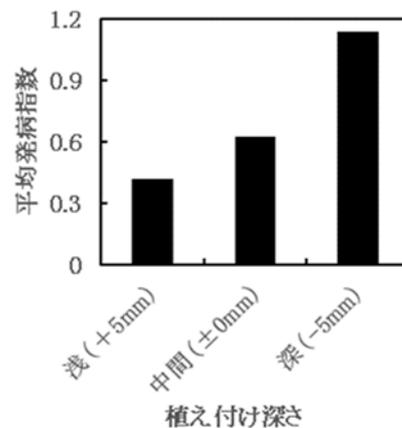


図2-57 苗の植え付け深さと発病程度の関係

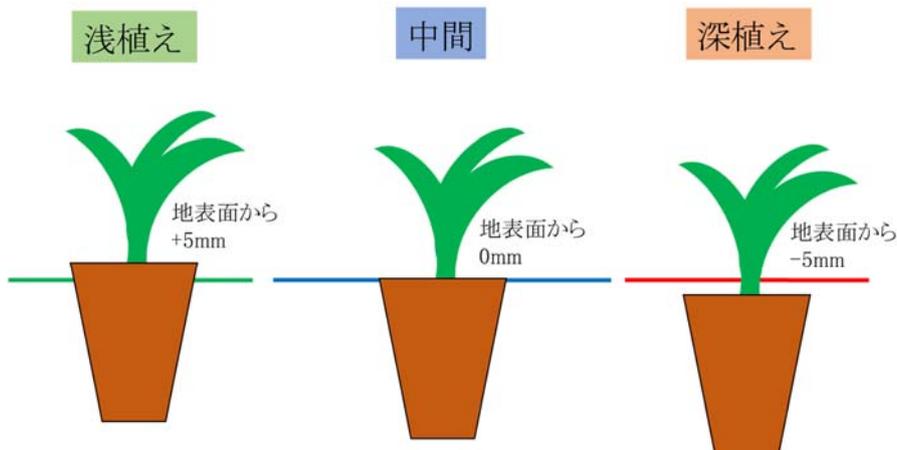


図2-56 レタス苗の植え付け深さ

(2)レタス立枯病の発生生態

課題の背景・目的:茨城県では県西地域を中心に秋から春にかけてレタスの栽培が盛んに行われています。年間の生産量は、初夏から秋にかけて栽培の盛んな長野県に次いで全国第2位となっています。レタスの有機栽培に目を向けると、慣行栽培と同様に長野県ではレタスの栽培に適した高冷地・準高冷地の冷涼な気象条件を利用して生産が行われているのに対して、茨城県の県南・県央地域などの生産が盛んな地域は平坦地が多くなっています。そのため、両県の生産現場で発生して問題となる病虫害の傾向も異なる可能性が考えられます。そこで、筆者らは茨城県内の有機栽培農家圃場においてレタス病害の発生状況を調査するとともに、有機栽培でも導入可能な耕種的・物理的防除法開発の一助として主要な病害の発生生態について解析を行っています。2013年9月にリーフレタスの生産現場においてこれまで国内で確認されたものとは異なる立枯性の病害が発生し、病原菌について分離・同定するとともに発病に及ぼす気温の影響等について検討しましたので、以下に報告します。なお、本報の一部は関東東山病虫害研究会報 63:25-28(山内・窪田、2016)において発表しましたので、詳細な実験手法、データ等についてはそちらを参照して下さい。

試験方法:

1)病原菌の分離・同定

リーフレタス地際茎葉部の罹病部位から病原菌を分離し、形態観察および rDNA-ITS 領域の解析を行って分離菌株を同定しました。

2)接種試験

200穴セルトレイでリーフレタス「リーフレタスグリーン」を約3週間育苗し、園芸培土を充填した10.5cmポットに2株ずつ鉢上げしました。株間中央部の土中に、ショ糖加用ジャガイモ煎汁寒天(PSA)平板培地で培養した分離菌株の菌糸片を2枚埋め込み接種しました。接種後は温室内で栽培管理し、14日後に発病状況の調査および地上部と地下部の生重量を測定しました。

結果と考察:2013年9月、茨城県内のビニールハウスで栽培していた定植後間もないリーフレタスにおいて、地際が褐色水浸状に腐敗し、株全体が萎凋・枯死する障害が発生しました(図2-58)。分離菌株はPSA平板培地上で白色、綿毛状の菌糸を旺盛に生育させ(図2-59)、菌糸は10~45°Cで生育して生育適温は35°Cと高温性の糸状菌でした(図2-60)。分離菌株の形態的特徴は既報の *Pythium aphanidermatum* (van der Plaats-Niterink, 1981) とほぼ一致し、rDNA-ITS 領域の解析結果もそれを支持しました(データ省略)。分離菌株をリーフレタスの苗に接種したところ、地上部では無接種の個体に比べて生育遅延し、症状の激しい個体では腐敗・枯死症状を示しました(図2-61)。地下部は褐変、腐敗し、無接種区に比べて根量が減少しました。以上の結果より、本病の病原菌を *P. aphanidermatum* と同定しました。

地上部の腐敗・枯死症状と気温の関係について調査したところ、平均気温が27°Cを超える高温条件で発生する可能性のあることが明らかとなりました(図2-62)。一方、地上部が腐敗や枯死の症状を示さない場合でも、無接種区に対する相対生重量は平均気温の上昇とともに顕著になる傾向が認められました(図2-63)。

我が国では類似の病害として *P. irregulare* 等による立枯病(楠、2012;楠ら、2009)や *P. uncinatum* によるピンム萎凋病(Matsuura et al., 2010)が報告されていますが、いずれも比較的気温の低い時期の露地栽培で発生が確認されています。一方、海外では *P. aphanidermatum* により水耕栽培で根腐れや萎凋を引き起こす病害が報告されています(Utkhede et al, 2000; Davis and Davis, 1997)。 *P. aphanidermatum* によるレタスの病害は我が国では今回初めて確認されたため、既報の立枯病と発生時期は異なるものの症状が類似していることから立枯病の病原として追加することを提案し、その後、日本植物病名目録に追加記載されました(日本植物病理学会編、2017)。なお、本菌は多犯性の病原

菌であり、アブラナ科、ウリ科、ナス科、マメ科など多くの作物に病気を引き起こすことが知られており（日本植物病理学会編、2017）、畑土壌では広く分布している可能性が考えられます。

本病が確認された生産者のビニールハウスでは2013年9月はじめにリーフレタスの苗が定植されていました。最寄りのアメダスデータでは平年値を上回る日平均気温が記録されており、9月1～7日の平均気温は約25.8℃でした（図2-64）。リーフレタスが栽培されていたビニールハウスの側窓は開放状態でしたが、害虫の侵入対策として目合いの細かい防虫ネットが展張されていたために通風が悪く、定植後の苗は上述のアメダスデータよりもさらに高温条件にさらされていた可能性が考えられます。一般に気温が比較的高い時期にレタスを定植する場合には、地温の上昇抑制を目的として白黒マルチが用いられることがあります。しかし本病の発生した圃場では秋以降の気温低下を懸念して黒マルチを使用していたことが本病の発生を助長した可能性が考えられます。長期予報を参考にして残暑が予想される場合には白黒マルチやハウス全体を覆う被覆資材を利用したり、他作物も含めて既発生圃場の場合には定植時期を気温の低い時期に変更したりする等によって本病の発生軽減が期待されます。

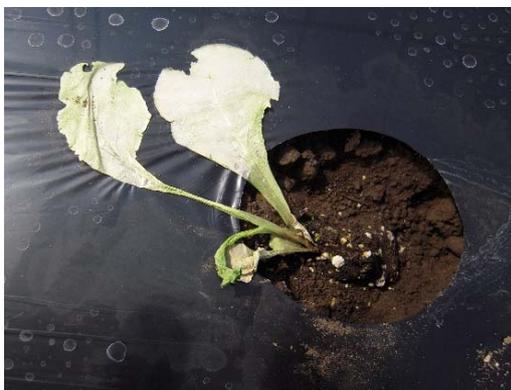


図2-58 立枯病の症状



図2-59 病原菌の菌叢

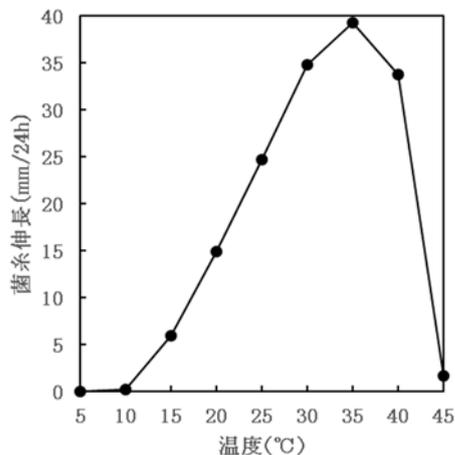


図2-60 分離菌株の菌糸伸長と温度



図2-61 立枯症状と地下部の腐敗
左:無接種、右:病原菌接種

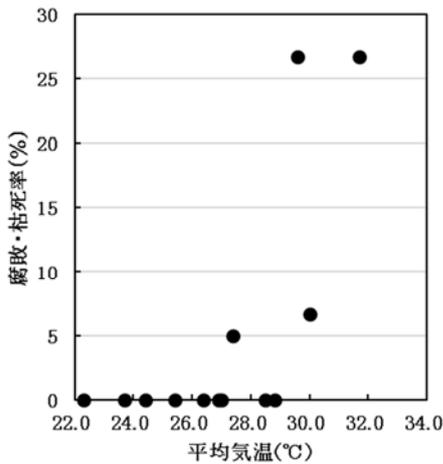


図2-62 腐敗・枯死症状の発生と気温の関係

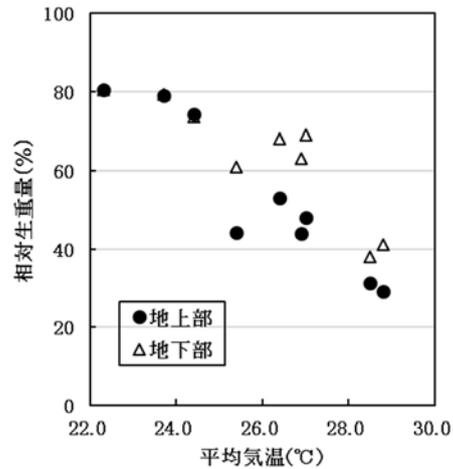


図2-63 生育遅延と気温の関係

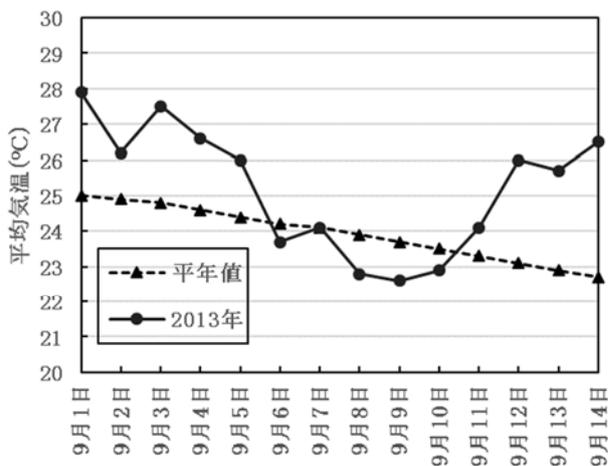


図2-64 2013年9月上旬の日平均気温と平年値の推移

9. 要約

- 1) 長野県塩尻市のレタス有機栽培圃場では、斑点細菌病の発生により収量や品質に影響が認められました。また、梅雨期や秋雨期には腐敗病、夏期には軟腐病、栽培期間を通じてすそ枯病が比較的多く観察されました。
- 2) 細菌性病害に対しては、レタス品種間で感受性の違いがありました。また、軟腐病や腐敗病に対しては、それぞれ登録のある微生物農薬が一定の防除効果を示しました。
- 3) すそ枯病に対しては、マリーゴールドやニンジンとの輪作による発病抑制効果が認められました。
- 4) 春作や夏秋作のレタス栽培では、不織布の「じかがけ」や「浮きがけ」によりチョウ目幼虫による被害軽減効果が認められました。
- 5) 不織布の「じかがけ」に比べて「浮きがけ」では、レタスの葉焼け症状の発生が抑制されました。
- 6) 有機栽培転換後の年数に従って、土壌中の可給態窒素や交換性カリ、可給態リン酸の増加傾向が認められました。
- 7) 鶏ふんをレタス定植の10日前に施用すると、春作、秋作ともにレタスの窒素吸収前に十分な窒素が供給されると考えられました。また、発酵鶏ふんの窒素肥効率を60%としてレタスを栽培したとこ

- ろ、化成肥料と同等の生育でした。
- 8)リン酸やカリ過剰となっている圃場では、窒素に比べてリン酸やカリ含有率の低いバイオ有機s等の施用が過剰軽減に有効と考えられました。
 - 9)有機レタス栽培農家の経営評価から、契約栽培による高単価確保や手数料等の流通経費カットが経営上重要と考えられました。
 - 10)これらの結果から、栽培地域の実情に合わせた物理的・生物的防除法等による病害虫対策や適切な施肥管理が、高冷地における有機レタスの安定生産に寄与するものと考えられました。
 - 11)レタスすそ枯病や立枯病の発生生態解析から発病助長要因が明らかとなり、今後は各種病害の被害軽減に向けた耕種的防除法の開発に役立てます。

10. 引用文献

- Davis, R. M. and Davis, J. B. (1997) *Compendium of Lettuce Diseases* (R. M. Davis et al. eds.). p. 23, APS Press, MN.
- 岸 國平・我孫子和雄 (2002) 野菜病害の見分け方-診断と防除のコツ-. pp. 138-140, 全国農村教育協会, 東京.
- 楠 幹生ら (2009) 香川県下で発生したレタス立枯病に関与する*Pythium*属菌. 日植病報 75: 185.
- 楠 幹生 (2012) レタスに発生する*Pythium*属菌による立枯病. 植物防疫 66: 96-100.
- Matsuura, K. et al. (2010) *Pythium* wilt of lettuce caused by *Pythium uncinulatum* in Japan. *J. Gen. Plant Pathol.* 76: 320-323.
- 日本植物病理学会編 (2017) 日本植物病名目録(2017年版). 日本植物病理学会, 東京.
- 関口昭良 (1998) 日本植物病害大事典(岸 國平編). pp. 423-424, 全国農村教育協会, 東京.
- 清水時哉ら (2017) 高冷地有機栽培レタスにおける病害の発生動向とその対策. 関東東山病虫研報 64: 41-46.
- 田代勇樹ら (2008) 圃場環境の改善によるレタスすそ枯病、軟腐病および灰色かび病の軽減技術. 平成 19 年度東北農業研究成果情報
<http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H19/yasai/H19yasai023.html>
- 土屋宣明 (2002) 新野菜作りの実際 葉菜(川城英夫編). pp. 138-146, 農山漁村文化協会, 東京.
- Utkhede, R. S. et al. (2000) *Pythium aphanidermatum* root rot in hydroponically grown lettuce and the effect of chemical and biological agents on its control. *Can. J. Plant Pathol.* 22: 138-144.
- van der Plaats-Niterink, A. J. (1981) Monograph of the genus *Pythium*. *Stud.Mycol.* 21: 1-242.
- 山本岳彦ら (2015) キャベツの機械化一貫栽培体系における苗の移植深度が収量、結球部の傾きおよび根系分布へ及ぼす影響. 根の研究 24: 3-10.
- 山内智史・窪田昌春 (2016) *Pythium aphanidermatum*によるレタス立枯病(病原追加)とその発生への気温の影響. 関東東山病虫研報 63: 25-28.

11. 課題担当者一覧

- 清水時哉(1~3、6、7)
金子政夫(4、7)
出澤文武(5)
山内智史(7、8)

12. 問い合わせ先

農研機構中央農業研究センター Tel:029-838-8481
長野県野菜花き試験場 Tel:0263-52-1148

第3節 アブラナ科植物のすき込み等を利用したハウレンソウの有機栽培技術

－施設ハウレンソウを対象とした生物的土壌燻蒸効果の安定と維持のための適正な圃場管理技術、栽培技術の検討－

1. 背景

ハウレンソウは全国の産地から通年で出荷がある葉菜ですが、暑さと過湿に弱いため、夏季は高原地域や東北、北海道などで栽培されます。近畿・中国地域の中山間地は、真夏の最高気温がそれほど低くならず、ハウレンソウ栽培にはあまり向いていない地域が多いのですが、京阪神地域などの大消費地が近いこともあり、ブランド化による差別化戦略をとる生産地もあります。ブランド化により、夏場でも一定数量の出荷が必要となり、夏季の栽培安定化が強く求められています。このため夏作最大の阻害要因であるハウレンソウ萎凋病(いちょうびょう)防除のため、土壌消毒技術の開発と現場への適用が不可欠です。

2. 基本的な考え方

土壌消毒技術としては太陽熱消毒が推奨されていますが、夏作のためには気温の低い梅雨時期に消毒を行う必要があります。このため、単純太陽熱消毒や、石灰窒素加用太陽熱消毒では十分な効果が得られません。

アブラナ科植物は辛み成分(イソチオシアネート)の配糖体であるグルコシノレートを持ち、これを土壌にすき込むことによりイソチオシアネートの抗菌性等によって土壌中の病原菌密度を低下させる生物的土壌燻蒸(くんじょう)(バイオフェューミゲーション)という手法があります。カラシナやダイコン残渣などはこのグルコシノレートを含み、かつ、土壌還元消毒のための有機質として利用できます。生物的土壌燻蒸と土壌還元消毒を組み合わせることにより(ここでは生物的土壌消毒とも呼びます)、夏作の前に十分な土壌消毒効果を得ることが期待できます。

3. 作付け計画

夏作ハウレンソウは7月中下旬播種、8月中下旬出荷となります。このため、土壌消毒期間は6月中旬から7月上旬の3から4週間となり、すき込みに用いるカラシナは、これに合わせて4月下旬から5月初旬に播種します。ハウレンソウの前年度最終作は、4月中旬までに収穫が終わるよう調整します。ダイコン残渣を用いる場合は、残渣の入手可能な時期に合わせて消毒時期をずらします。

4. カラシナのすき込みによる土壌消毒

(1)カラシナ播種と栽培(図3-1～3-2)

カラシナは霜が降りなくなれば栽培に支障はありません。1㎡あたり1g程度の種子を、筋蒔き、もしくはばら蒔きにします。4月下旬から5月初旬に播種できれば、6月中旬のすき込み時に十分なバイオマスを得られます。

カラシナ栽培中は乾燥に留意して下さい。ハウレンソウに比べて水分を多く必要とします。週1回の散水を目処に、萎れないように栽培して下さい。ハウスの入り口やサイドには防虫ネットを張り、鱗翅目害虫やカブラハバチなどの侵入を防ぎましょう。栽培中はアブラムシなどによる吸汁害や、べと病(図3-3)などの病害発生が見られますが、すき込み、土壌消毒処理によりハウレンソウ栽培への影響はほぼなくなります。



図3-1 カラシナの芽生え



図3-2 すき込み直前のカラシナ



図3-3 カラシナべと病

(2)カラシナのすき込み(図3-4、3-5)

カラシナは花が咲き始めた時期が最も多く辛み成分(グルコシノレート)を含むので、この時期を狙ってすき込みます。種ができ始めると茎が細く、堅くなりますので、花が盛りを過ぎる場合には、すき込みを早めに行ってください。

すき込みには、フレールモアによる破碎後にロータリーで耕耘する方法、刈払い機を使って地上部を何段階かに分けて刈り落とし、ロータリーで耕耘する方法、ロータリーを使ってすき込みと耕耘を同時に行う方法などがあります。すき込みに特化した機械(細断同時すき込み機)の開発も進んでいます*。

すき込み後は次作分の施肥を行ない、畝を立て、消毒処理後に土を動かさずに播種できるようにしておきましょう。



図3-4 フレールモアによる破碎



図3-5 耕耘(左)と畝立て(右)

*細断同時すき込み機

マトラ農機(株)製、2017年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業にて開発。購入予約受付中。

(3)散水と被覆(図3-6、3-7)

散水は、通常の土壌還元消毒と同等量が必要です。圃場全体がしっかりと水を含み、低い部分に水たまりができる程度に行ってください。水分量が不足していると病害防除効果が低くなります。

被覆は、透明なフィルムで圃場全体をしっかりと覆いましょう。周辺部は重しをするなどして、外気と遮断してください。ポリチューブに水を入れて周囲に置くと、圃場の凸凹に沿いやすいので密閉度が上がります。被覆資材には、ガスバリア性フィルムの使用が最適ですが、ビニールハウスの廃材を用いる場合には、穴をふさぎ、継ぎ目にも押さえをするなどの処置を行って通気を防いでください。

被覆期間は3週間から4週間です。ハウスの側窓、扉部分も閉め切ることで温度が上がり、消毒効果が高くなります。



図3-6 十分に散水された圃場



図3-7 被覆し、水を入れたポリチューブで押さえています

(4) 被覆の除去

被覆の除去時は、資材と土が濡れているため重くなっています。はぎ取る際には、可能であれば複数人で行うほうが良いでしょう。巻き取り用の機械を使うと作業が楽になります。また、ガスバリア性フィルムの中には通常の農業用ビニールより軽いものもあり、それを使うと除去の際の労力が軽減できます。

(5) 耕起法の注意とハウレンソウ播種

被覆を除去した直後は水分が多いので播種作業には向かない状態です。砂地では当日でも作業可能ですが、低地土では2、3日そのまま乾かし、作業しやすい状態になってから播種作業を行います。

消毒後はカラシナの長い茎などが残っていることがあるので、播種の邪魔にならないよう、軽く表面を掃除しましょう。雑草の多い畑では、特に土を動かさないように留意して下さい。

・雑草の発生について(図3-8)

ハウレンソウの播種には手押し式播種機を用いますが、手押し式播種機の走行を安定させるためや均一に覆土をするために、栽培土壌の物理性によっては播種前に畝表面の土を細かく砕く必要があります。一方、カラシナすき込み消毒の副次効果として、地温の上昇によるイヌビユ、スベリヒユ、カヤツリグサ等の夏雑草の防除効果が期待できます。しかし、これらの雑草種子はハウレンソウ萎凋病菌と比べて耐熱性が高く、土壌表層(0~約3cm)では地温の上昇によって種子が死滅しますが、それ以上の深さでは種子の生存率が上昇します。畝表面の土を砕くため耕起する場合、地下約3cm以上深く耕起すると深層で生存している種子が畝表面に出て雑草害を発生させるので、土壌の耕起は、地下約3cmまでの表層に留めます。

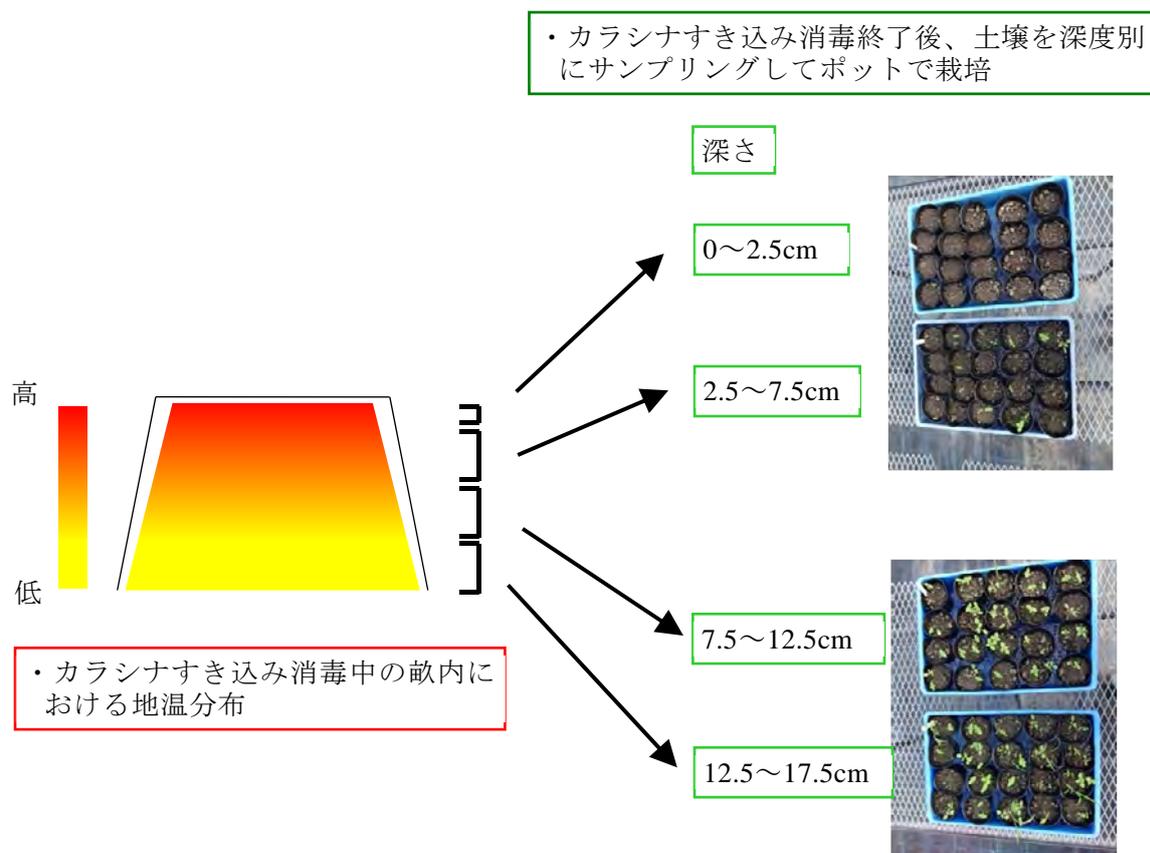


図3-8 夏雑草の種子の活性に対するカラシナすき込み消毒中における地温の影響
(深部の土壌からは雑草が発生)

(6) 防除効果の一例

1) カラシナすき込み生物的土壌消毒技術によるハウレンソウ萎凋病防除効果

4月中下旬にカラシナ(学名 *Brassica juncea*、品種 黄からし菜)播種、6月中下旬すき込み、被覆3週間、7月上中旬にハウレンソウ播種のスケジュールでの試験を行った1作目では、無処理区の発病率97.0%に対し、カラシナすき込み区では9.4%であり、単純太陽熱消毒区26.3%、石灰窒素加用太陽熱消毒区17.5%に比べても優れた防除効果を示しました(図3-9)。同様の試験で無処理区発病率52.5%の場合には、カラシナすき込み区は単純太陽熱消毒区や石灰窒素加用太陽熱消毒区に比べて優れてはいましたが、処理効果は十分とはいえませんでした。また、カラシナをすき込んでも被覆しないと効果はありませんでした。

ハウレンソウ萎凋病多発ハウスで、試験区ごとにハウレンソウ出荷数を調査した結果、発病抑制効果の差以上に大きな差が見られました(図3-10)。

2作目以降については、消毒処理による発病抑制効果は低下していきましたが、出荷量の差は3、4作目においても見られ、その原因としてはカラシナすき込みによる土壌の物理性改善の可能性が考えられます。

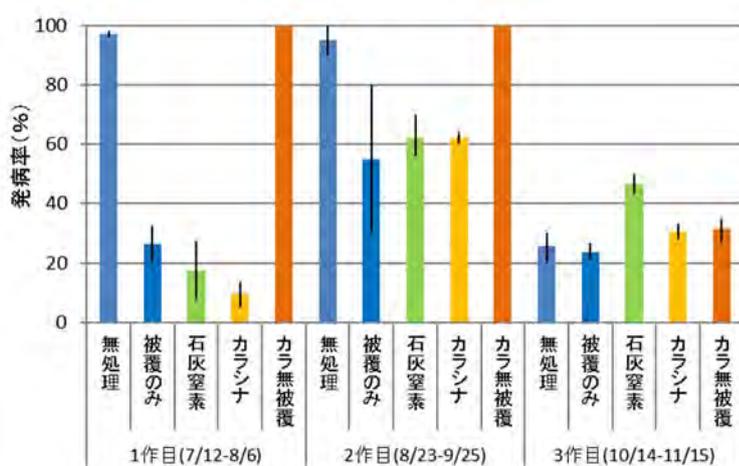


図3-9 ハウレンソウ萎凋病多発生ハウスにおけるカラシナすき込み生物的土壌消毒などの発病抑制効果
(カラ無被覆…カラシナをすき込み後、灌水・無被覆)

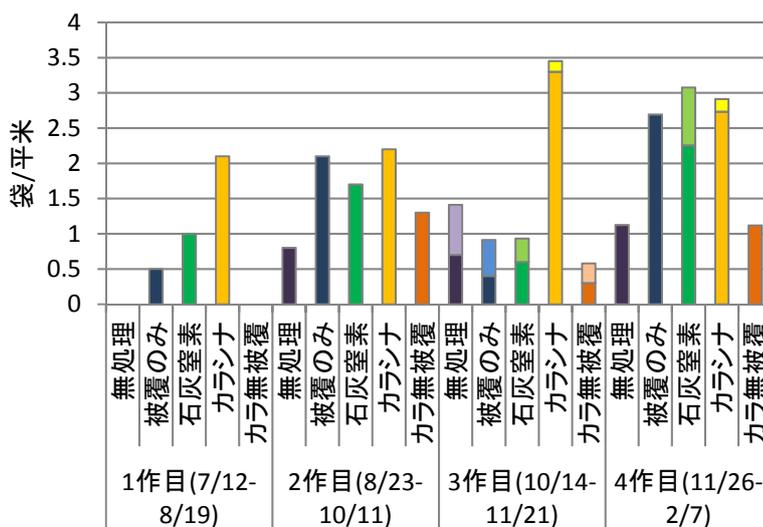


図3-10 ハウレンソウ萎凋病多発生ハウスにおけるカラシナすき込み生物的土壌消毒などの出荷数量への影響

1袋230g。Lサイズ(濃色の棒グラフ)、Mサイズ(薄色の棒)の合計値で比較
品種:1、2作目はミラージュ、3、4作目はトラッドセブン

5. ダイコン残渣のすき込みによる土壌消毒

(1)技術の概要

本技術は、生物的土壌燻蒸に用いるアブラナ科植物として、ダイコン産地の選果場から出る残渣を用いるものです。ダイコンはカラシナには及びませんがその分解過程で生じる抗菌成分(イソチオシアネート類等)により、土壌中の病原菌の活性を低下させます。図3-11のように、シャーレ内の密閉条件下でのハウレンソウ萎凋病菌(*Fusarium oxysporum* f.sp. *spinaciae*)に対するダイコンの抗菌力は磨砕したもので最も強く、輪切りのみではやや劣りました。ダイコンの辛み成分であるイソチオシアネートは、すりおろしたり、切ったりすることで細胞の外に出て化学反応により生成されます。実験からもダイコンの抗菌活性を十分に発揮させるためには、細かく磨砕する処理が重要であると考えられました。

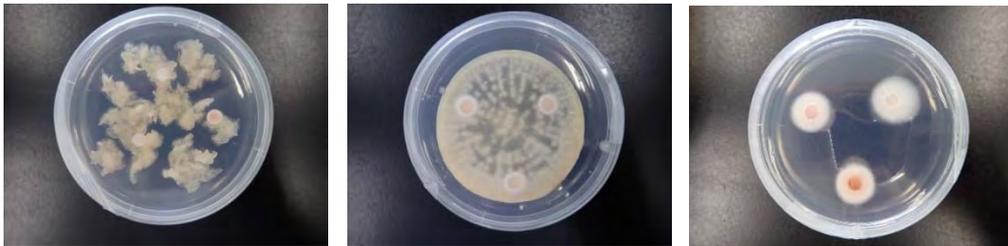


図3-11 ダイコン磨砕物(左)と輪切り(中央)と水(右)による萎凋病菌の生育抑制効果(28℃で培養)

1)資材の準備

ダイコン残渣(15~20t/10a)、被覆用のビニール(軽量なガスバリア性フィルムを用いると労力軽減できます)、被覆ビニールの裾を押さえる資材(水を満たしたポリダクトや直管パイプなど)、マニュアルスプレッダ(自給式のマニュアルスプレッダを用いるとダイコン残渣の散布が容易です)。

2)作業手順

①ダイコン選果場からの残渣の運搬(図3-12)



ダイコン残渣 15~20t/10a を運搬

②簡易枠に残渣を搬入(図3-13)



ハウス周辺にコンパネ等を用いて枠を作り、ダイコン残渣を入れると自給式マニュアルスプレッダで積み込みやすいです。

③散布(図3-14)



ダイコン残渣を自給式マニュアルスプレッダなどでハウス内に持ち込み、10aあたり15~20t散布。

④すき込み(図3-15)



ダイコン残渣を細かく粉碎しすき込むために、ロータリーは高速回転させ、低速で耕耘。

⑤灌水(図3-16)



ハウス内の土壌がほ場用水量以上になるまで灌水します。灌水量の目安は、100L/m²以上。

⑥被覆(図3-17)



灌水後に速やかにガスバリア性フィルム(バリアースターなど)で空気が入らないように地面に密着させて被覆し、裾を押さえます。被覆後は、ハウスを閉め切り、3週間放置します。処理後、被覆を除去し土壌が乾いたら、耕耘しホウレンソウを栽培します。

(2)ダイコン残渣粉碎工程を省略したときのホウレンソウ萎凋病の防除効果

1)目的

消毒作業の労力軽減を目指し、現地栽培ほ場で、ダイコンすき込みによる生物的土壌燻蒸の、フレールモアによるダイコン粉碎の工程を省略した方法(ページ3-5の④すき込み(図3-15)参照)によるホウレンソウ萎凋病の防除効果と収量を調査しました。また、土壌消毒にかかる経費及び労働時間を調査しました。

2)方法

生物的土壌燻蒸の基本的処理は、有機物の施用・混和、灌水、ガスバリア性フィルム(バリアースター)で被覆、被覆除去(開放)、播種としました。

山口県阿武町のビニールハウス(現地I)において、ダイコン粉碎工程を省略した生物的土壌燻蒸によるホウレンソウ萎凋病(以下萎凋病)防除効果と収量の検討を下記の通り行いました。

ア 場所及び時期:山口県阿武町宇生賀。生物的土壌燻蒸:2013年6月24日~7月17日(23日間)、開放:7月17~25日(8日間)、クロルピクリン油剤:7月9~19日(10日間)、開放:7月19~25日(6日間)。

イ ホウレンソウ栽培:処理後2連作。1作目;品種パワーアップ7、7月25日播種、8月29日収穫。

2作目;品種早生グローリー、9月13日播種、10月22日収穫。7月25日から40%遮光ネットを設置。

ウ 処理:①ダイコン残渣粉碎なし(無粉碎区;ダイコン残渣(約5cm片)をすき込み)、②ダイコン残渣粉碎(粉碎区;ダイコン残渣をフレールモアにより粉碎しすき込み)、③クロルピクリン(クロピク区)。④無処理区を設けました。

エ 処理量:ダイコン残渣;15t/10a、クロルピクリン油剤;3ml/穴(管理機による灌注)。ダイコン残渣はトラクターで混和しました。混和後は、150t/10a灌水しガスバリア性フィルム(バリアースター)で被覆しました。

オ 施肥:播種前の土壌分析を行い播種時の窒素成分をホウレンソウ肥料(有機質肥料)により15kg/10aに調整。

カ 区制:1区30m²。1区1連制。

キ 調査:発病は20株/カ所、6カ所/区を収穫期まで約7日ごとに調査。収量は、発病調査した株を収穫・調製後計量しました。

3)結果の概要

・無粉碎区の萎凋病の防除効果は、無処理区より優り、粉碎区及びクロピク区と同等でした(図3-1

8、3-19)。

・収量は、1作目、2作目とも無粉碎区、粉碎区、クロピク区で統計的有意差は認められませんでした。

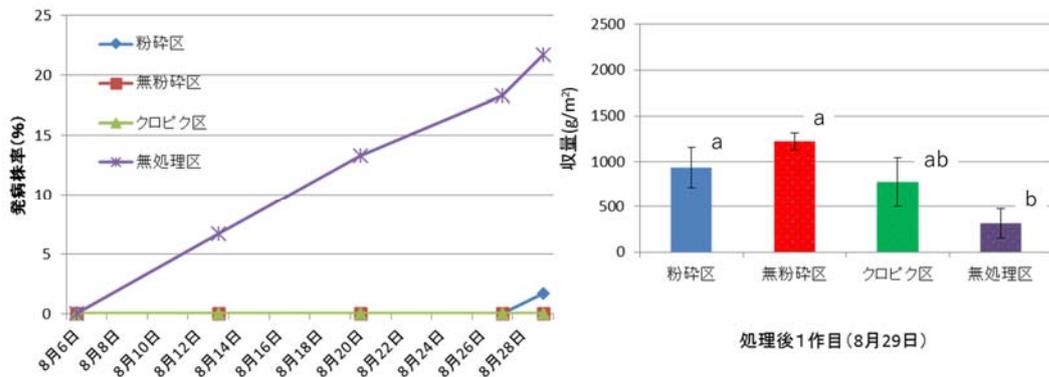


図3-18 処理1作目の発病株率及び収量

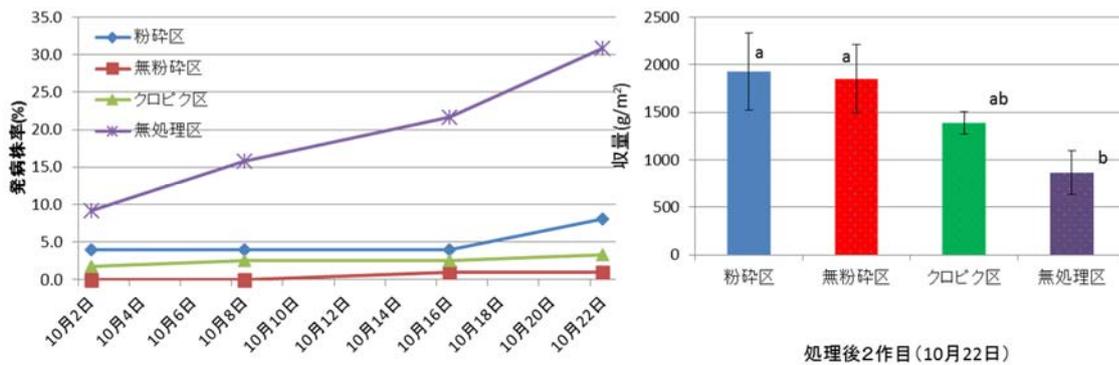


図3-19 処理後2作目の発病株率と収量

(3)ダイコン残渣散布の省力化

1) 目的

ダイコン残渣散布工程の機械化による省力効果を、現地栽培ほ場でのダイコンすき込みによる生物的土壌燻蒸において検証しました(ページ3-5の③散布(図3-14)参照)。

2) 方法

ア 場所及び時期: 山口県美祢市美東町。生物的土壌燻蒸: 7月17日～8月6日、開放: 8月6～22日、参考クロロピクリン油剤(近接する別ハウス): 8月9日～8月19日(10日間)、開放: 8月19～28日。

イ 処理: ①機械散布区(マニユアスプレッダ(MSX650BR))、②手散布区、③クロピク区

ウ 処理量: (2)と同じ。

エ 施肥; 播種前の土壌分析を行い播種時の窒素成分をホウレンソウ肥料(有機質肥料)により15kg/10aに調整。

オ 区制: 1区1連制。

カ 調査: ダイコンの機械散布と従来の手散布による経費と労働時間を調査。さらに、機械散布区及び手散布区を合わせてダイコン区として、クロピク区との経営収支を調査。

3) 結果 ダイコン散布工程の機械化による省力効果・費用効果の検証

・ダイコン機械散布区は、手散布区に比べて労働時間が50.6%削減できました(表3-1)。しかしながら、マニユアスプレッダ購入による減価償却費が増加しました。マニユアスプレッダ導入にあたって

は、事業導入や共同購入等の検討が必要です(表3-2)。

表3-1 機械化による労働時間の比較(10a 当たり)

区名	機械散布区	備考	手散布区	備考	クロピク区	備考
ダイコン搬送	15.6	2名延べ	15.6	2名延べ		
ダイコン施用	5.1	1名	36.4	2名延べ		
鋤き込み	3.3	1名	3.3	1名		
クロピク					11.8	1名
注水・被覆	6.6	2名延べ	6.6	2名延べ	上に含む	2名延べ
労働時間 計	30.6		61.9		11.8	

表3-2 10a 当たりの経費

区	分	ダイコン区	クロピク区	備考	
経営費	変動費	種 苗 費	16,284	14,733	各ほ1万粒播種の10a換算
		肥 料 費	10,282	13,067	ダイコン区：宇部有機、有機珪酸カリ、サンライム クロピク区：堆肥、宇部有機
		農業薬剤費	523	48,251	ダイコン区：ラウンドアップ クロピク区：クロルピクリン、サンクリスタル、スピ ノエース、ラウンドアップ
		動力光熱費	22,885	4,437	燃料代(ダイコン運搬含む)、電気代(含井戸) ガソリン145円/L、軽油129円/Lとする
		小計	49,974	80,488	
固定費		減価償却費	254,166		マニユアスプレッダ、換気扇、循環扇 施設、機械等は償却期間経過につき不計上
		修理費	87,845	29,453	修理費：建物1%、機械4%
		小計	342,011	29,453	
合計 (B)		391,985	109,941		
総労働時間		419	348		

(4)ダイコン残渣利用生物的土壌燻蒸の効果持続性の検討

1) 目的

現地栽培ほ場での、ダイコンすき込みによる生物的土壌燻蒸処理の、効果の持続性を検討しました。

2) 方法

生物的土壌燻蒸の基本的処理は、有機物の施用・混和、灌水、ガスバリア性フィルム(バリアースター)で被覆、被覆除去(開放)、播種としました。

ア 場所及び時期：山口県阿武郡阿武町宇生賀。生物的土壌燻蒸：2014年6月25日～7月21日、開放：7月21～27日、クロルピクリン油剤：7月12～21日、開放：7月21～27日。

イ ホウレンソウ栽培：1作目 播種：7月27日、収穫：8月27日。2作目播種：9月11日、収穫：10月16日。

ウ 処理：①ダイコン区、②クロルピクリン油剤区(クロピク区)。

エ 処理量：ダイコン残渣；20t/10a、クロルピクリン油剤；3ml/穴(管理機による灌注)。ダイコン残渣はトラクターで混和しました。混和後は、150t/10a 灌水しガスバリア性フィルム(バリアースター)で被覆しました。

オ 施肥：播種前の土壌分析を行い播種時の窒素成分をホウレンソウ肥料(有機質肥料)により15kg/10aに調整。

カ 区制: 1区 30m²。1区1連制 6カ所調査。

キ 調査: 発病は 20 株/カ所、6カ所/区を収穫期に罹病根率を調査。収量は、発病調査した株を収穫・調製後計量しました。処理後及び収穫後の土壌のフザリウム属菌(ハウレンソウ萎凋病菌を含む)の数を駒田培地で計数しました。

3) 結果

・土壌中の全フザリウム数は、1 作後まではクロピク区と同程度でしたが、2 作後はクロピク対比 580.2%と多くなりました。2 作目の罹病根率は、ダイコン区 39.0%、クロピク区 2.5%でした。2 作目収量はダイコン区 1,256g/m²、クロピク区 2,092g/m²でした(図3-20、3-21、3-22)。

・土壌の無機態窒素はダイコン区、クロピク区ともに処理直後は 20g/m²以上に高まり、その後、作付が進むにつれて減少しましたが 2 作後(3 作目)までは、栽培に必要な十分な窒素量(15g/m²)でした(図3-23)。

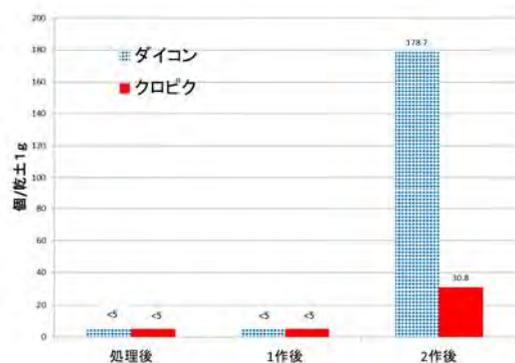


図3-20 処理後の土壌中の全フザリウム数

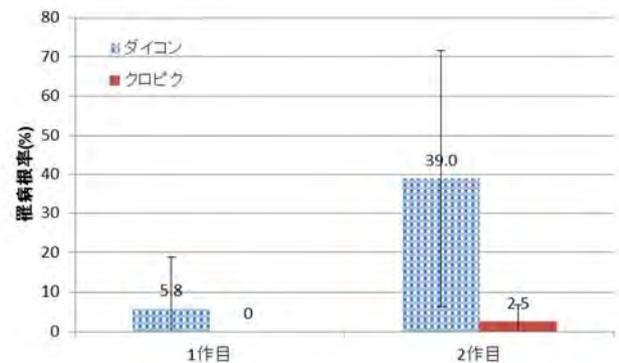


図3-21 処理後 2 作の罹病根率

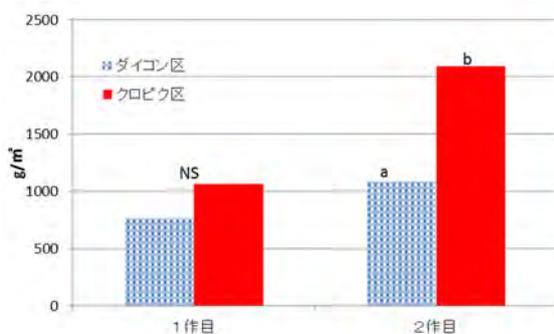


図3-22 処理後 2 作の収量

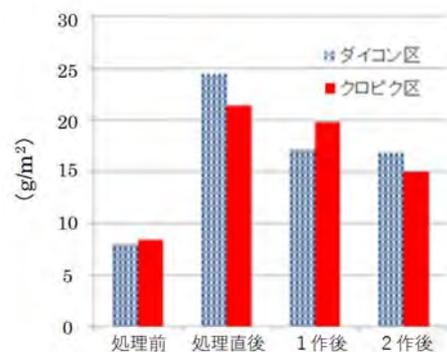


図3-23 土壌中無機態窒素含量の推移

(5) 肥料成分の変化

表3-3に示す山口県内3ヶ所の現地ハウスで行った、ダイコン残渣 15~20t/10a を用いた生物的土壌燻蒸前後の土壌中無機態窒素量の推移を図3-24に、可給態窒素量の推移を図3-25に示します。処理直後は、ダイコン残渣の分解により生成された無機態窒素が残存し、栽培期間中に土壌から生成される可給態窒素量も増加することから、1作目に必要な窒素量(15kg/10a)を確保することができます。

1作目栽培後も、2作目に必要な窒素量が土壌中に残存しますが、栽培開始前に硝酸態窒素量を確認し、必要に応じて施肥を行います。

表3-3 調査ハウスの処理前の土壌養分

	pH	EC(ms/cm)	腐植(%)	CEC(me/100g)
阿武(H26)	6.1	0.4	8.4	24.9
美東(H26)	5.1	0.5	4.4	17.5
美祢(H27)	5.5	0.6	9.4	28.7

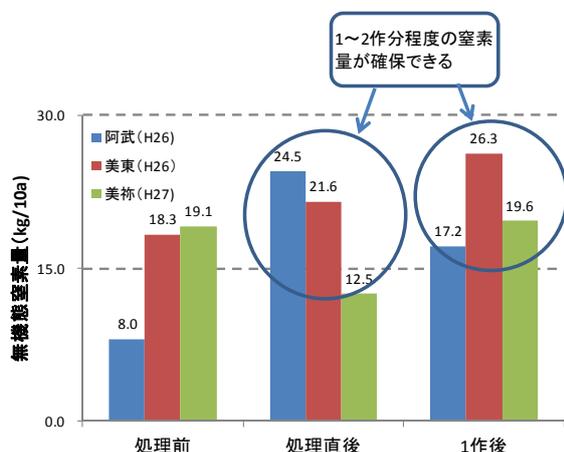


図3-24 ダイコン処理による土壌中無機態窒素量の推移

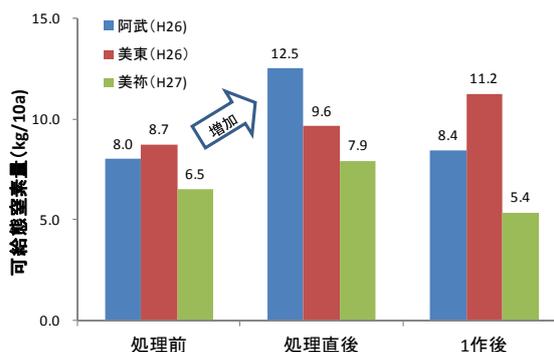


図3-25 ダイコン処理による土壌中可給態窒素量の推移

(6)留意点

1)ダイコン残渣

ダイコン残渣のすき込み量は、10aあたり15～20tのため、ダイコン産地又は選果場近辺のハウレンソウ産地での技術導入が望ましいです。

2)圃場

生物的土壌燻蒸では、20tのダイコン残渣を施用しますが、水分が多いため、炭素含量をもとに牛糞堆肥に換算すると2t程度となります。しかし、C/N比は18と比較的低く、木質を含んでいないので、分解は早く、土壌物理性の改善には、堆肥等を組み合わせた計画的な土づくりが必要です。

6. 藻類の抑制と投入有機物の工夫等によるハウレンソウケナガコナダニ管理技術

(1)ダイコン残渣がハウレンソウケナガコナダニの増殖に及ぼす影響

1)試験の目的

近年、中山間地域における雨除けハウレンソウ産地では、ハウレンソウケナガコナダニが難防除害虫となっています。これまで環境に優しい萎凋病対策として生物的土壌燻蒸(バイオフィューミゲーション)を実施した場合、ダイコンの残渣がコナダニの増殖を促進することが懸念されました。そこで、ダイコン残渣がコナダニの増殖に与える影響を確認しました。

2)材料および方法

①試験場所:山口県周南市鹿野ハウレンソウハウス(5m×30m)

②試験時期:2016年4月28日～5月11日

③試験区:6反復

- ・バイオ20(ダイコン残渣で20℃で20日間還元消毒したあとのダイコンを取り出し土壌に混和)、
- ・バイオ35(同様に35℃で還元消毒したあとのダイコンを取り出し土壌に混和)、
- ・藻類混和(無処理の土壌に藻類を含む土壌を混和)、
- ・無処理区

④試験方法:

幅 3cm×長さ 5cm の網ネットに、ハウスの土壌を入れた無処理区、20℃で還元消毒を実施したダイコン残渣を混和したバイオ 20 区、35℃で還元消毒を実施したダイコン残渣を混和したバイオ 35 区、同ハウス内の藻類を含む土壌を混和した藻類混和区を作成し、2015 年 4 月 21 日にハウスサイドの深さ 3cm の土壌に埋め込みました。13 日後の 5 月 11 日に土壌を掘り上げ、持ち帰ってツルグレン装置にかけ、24 時間後に抽出されたコナダニの成虫・若虫・幼虫の合計数を実体顕微鏡下で計数しました。

3) 結果の概要

- ①バイオ 20 とバイオ 35 のダイコン残渣は、両区とも繊維質が残ったゼリー状となり、見た目や臭いでの差は認められませんでした。
- ②バイオ 20 とバイオ 35 は、コナダニの増殖程度が全体的に低く、無処理と同等でした(図3-26)。
- ③藻類混和区のコナダニ密度が最も高くなりました。バイオ 20 のコナダニ密度がやや高い傾向がありました。有意な差は認められませんでした。

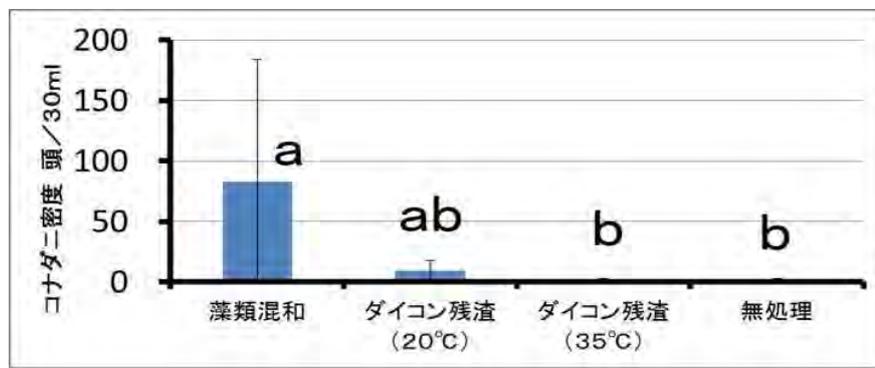


図3-26 各区のコナダニ密度

4) 考察

全体的にダイコン残渣を混和した場合のコナダニ密度は、無処理と同等程度であり、藻類混和による増殖と比較すると、コナダニを増殖させる程度は低いと考えられました。

(2) 冬季ビニール除去によるハウレンソウケナガコナダニの防除

1) 試験の目的

コナダニに対して効果が高い物理的防除法として、冬季のビニール除去によるコナダニの密度抑制効果を検討しました。

2) 材料および方法

①試験場所: 山口県周南市大潮 T農家 ホウレンソウハウス(150 m²)

②耕種概要: 品種:トラッド、ミラージュ、一部は小松菜に変更

栽植距離: 条間 15 cm×株間 10 cm

栽培管理は一般慣行による。

③調査時期: 2010 年 4 月 13 日～11 月 30 日

④試験区 1区 1 ハウス 5m×30m(ハウスFのみ 5m×20m) 2反復

・冬季ハウレンソウ栽培ハウス: 冬季 12 月～2 月に天井ビニールを被覆したまま無加温でハウレンソウ栽培を実施しました。ハウスE

・冬季ビニール除去ハウス: 冬季 12 月～2 月に天井ビニールを外して雨ざらしにして、栽培をしなかったハウス、3 月にビニールを再被覆。ハウスF

⑤調査方法:

<コナダニ見張番調査>各ハウス 10 カ所でコナダニ計数用トラップの「コナダニ見張番」を設置

し、設置3～5日後に捕獲されたコナダニを計数しました。調査日ごとに10カ所の平均捕獲数を求め、標準偏差を求めました。

<被害調査>各区のハウスサイドを回り、観察で被害株が1～3割程度を少、3～5割程度を中、半分以上の被害を多としました。

3) 結果の概要

- ① 冬期栽培継続のハウスEは、春期にトラップによるコナダニ捕獲数が増加し、4月は被害も多くなりました。夏期には発生が少なくなりました。10月以降にトラップによるコナダニ捕獲数が増加し、被害は中発生でした(図3-27)。
- ② ビニール除去区のハウスFでは、再被覆後～夏期までトラップによるコナダニ捕獲数はほとんど認められず、被害も認められませんでした。10月以降にトラップによるコナダニ捕獲数が急増しましたが、これは、それまで夏期に冠水したハウスのサイド部分に設置していたため、捕獲数が少なかったためで、10月25日以降に畦上にトラップを設置したところ、捕獲数が多くなりました(図3-28)。

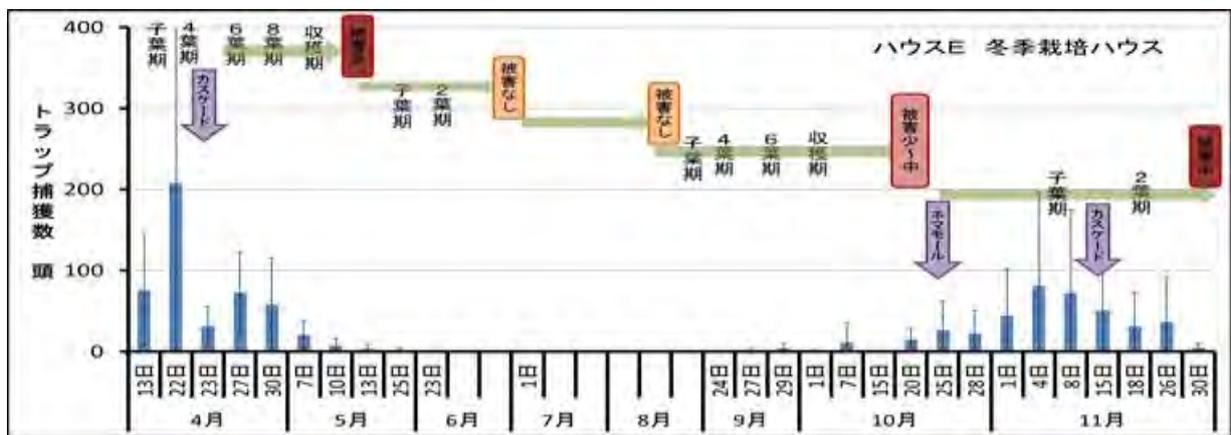


図3-27 対照区ハウスEのコナダニ発生状況

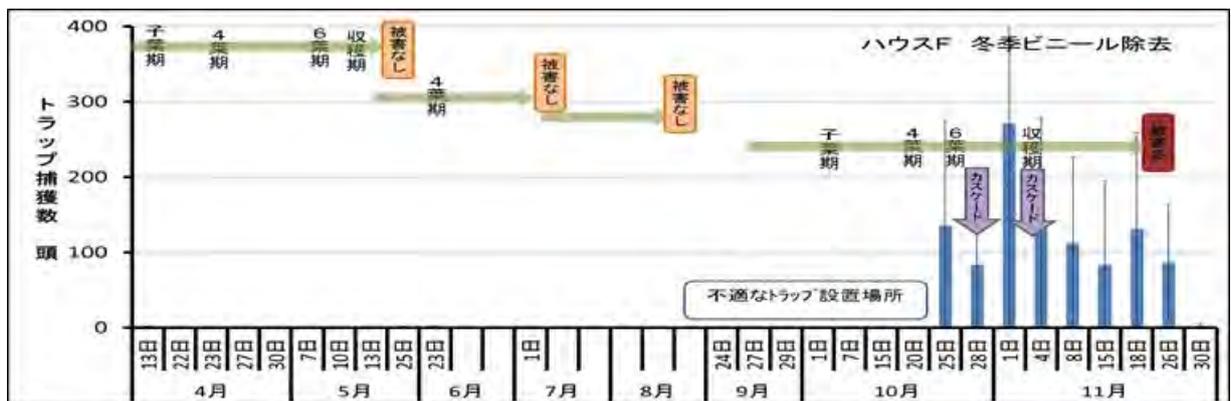


図3-28 冬季ビニール除去したハウスFのコナダニ発生状況

4) 考察

冬季にビニール除去したハウスでは、春期にはコナダニ密度が低く、被害も少なく推移しますが、秋にはコナダニ密度が高くなる傾向が見られました。この要因は、冬季にビニールを除去するとコナダニ密度が大きく低下し、餌となる藻類も除去されるためと推定されました。

(3) 食酢によるホウレンソウケナガコナダニの防除

1) 試験の目的

ハウス土壌に発生する藻がコナダニの増殖源となることが確認されましたが、播種前に発生してす

き込んだ藻類もコナダニの増殖源となることが確認されました。そこで、播種前の藻類を抑制する方法として食酢の効果を検討しました。

2) 材料および方法

①試験場所: 山口県周南市鹿野 農家ハウス(幅 5m×長さ 30m)

②試験時期: 2016年 9月 21日～11月 9日

③試験区: 1区 4 m²(2m×2m) 3連制。品種はトラッド7。播種 10月 2日

試験ハウスは 9/14 に灌水し、9/21 までサイドビニールを締めて密閉し、餌資源である藻類の発生を増やしてコナダニの発生を促しました。

- ・食酢散布区 9月 21日にミツカン米酢 9倍液を 300L/10a 散布し、藻が多く残ったので 9月 29日に米酢 3倍液を 300L/10a 散布しました。

- ・カスケード乳剤区 2葉期と 4葉期(10月 19日)に殺虫剤のカスケード乳剤 4000倍を 300L/10a 電動散布器で散布しました。

- ・無処理区

④調査方法:

コナダニ密度: 1区あたり土壌表面の藻類を含む深さ 0～3 cm の土壌 80 ml を採取し、当日中にツルグレン装置に設置し、24 時間後に抽出されたコナダニ成虫・若虫・幼虫の合計数を実体顕微鏡下で計数しました。調査は播種前から収穫時まで 1週間おきに実施しました。

被害程度: 各区 100 株について、一般社団法人日本植物防疫協会の新農薬効果試験の基準(A: 被害なしの株数、B: コナダニによる奇形葉 2枚以内の株数、C: 奇形葉 3～4枚で褐変なしの株数、D: 奇形葉の数に関わらず中心部が褐変し、芯止まりの株数、被害度 = (D×5 + C×3 + B×0.5 + A×0 / 調査株数×5) × 100) に準じて算出しました。調査は 4葉期から収穫時まで 1週間おきに実施しました。

3) 結果の概要

①食酢を散布した区は、2回散布しても播種前に藻類が残りましたが、2葉期までコナダニ密度が低く推移しました(図3-30)。しかし、4葉期以降密度が増加し、収穫時の被害度は 37.7 になりました(図3-29)。

②食酢を散布した区は、2葉期のコナダニ密度は低かったものの、4葉期以降増加して、無処理区と差がなくなりました(図3-30)。

③対照のカスケード乳剤の効果は低い結果となりました。

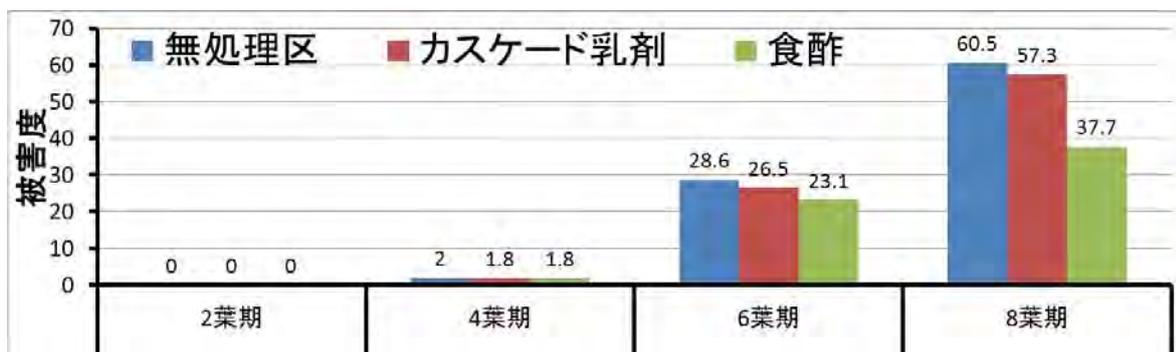


図3-29 各区の被害度



図3-30 各区のコナダニ密度

4) 考察

藻を抑制する方法として、食酢散布は2葉期までの密度抑制効果は認められましたが、藻の枯れ程度にばらつきがみられ、被害度は無処理の60%程度でした。

(4) 防草シートによるハウレンソウケナガコナダニの防除1

1) 試験の目的

ハウス土壌に発生する藻がコナダニの増殖源となることが確認されましたが、播種前に発生してすき込んだ藻類もコナダニの増殖源となることが確認されました。そこで、播種前の藻類を抑制する方法として遮光被覆の効果を検討しました。

2) 材料および方法

①試験場所: 山口県周南市鹿野 農家ハウス(幅5m×長さ30m)

②試験時期: 2017年10月2日～11月14日

③試験区: 1区4㎡(2m×2m) 3連制。品種はトラッド7。播種10月3日

・防草シート+サイド被覆区 9月25日～10月2日まで土壌表面を灌水後に防草シートで遮光被覆しました。10月2日の播種後はハウスサイド50cm部分を防草シートで遮光被覆しました。

・カスケード乳剤区 2葉期(10月17日)と4葉期(10月24日)にカスケード乳剤4000倍を300L/10a電動散布器で散布しました。

・無処理区

④調査方法:

コナダニ密度: 1区あたり土壌表面の藻類を含む深さ0～3cmの土壌80mlを採取し、当日中にツルグレン装置に設置し、24時間後に抽出されたコナダニ成虫・若虫・幼虫の合計数を実体顕微鏡下で計数しました。調査は播種前から収穫時まで1週間おきに実施しました。

被害程度: 各区100株について、一般社団法人日本植物防疫協会の新農薬効果試験の基準(A:被害なしの株数、B:コナダニによる奇形葉2枚以内の株数、C:奇形葉3～4枚で褐変なしの株数、D:奇形葉の数に関わらず中心部が褐変し、芯止まりの株数、被害度=(D×5+C×3+B×0.5+A×0/調査株数×5)×100)に準じて算出しました。調査は4葉期から収穫時まで1週間おきに実施しました。

コナダニの寄生虫数: 10月14日(収穫時)に1区10株(5列×10株)を採集して持ち帰り、実体顕微鏡下で株を分解し、コナダニの寄生株数、新芽に寄生しているコナダニ成虫・若虫・幼虫の合計数を計数しました。

3) 結果の概要

①防草シート+サイド被覆区は、子葉期～4葉期のコナダニ密度は低かったものの、6葉期には増加し、無処理区を超えました。カスケード乳剤区も6葉期にはコナダニ密度が高くなり、無処理区を超えました(図3-31)。

②防草シート+サイド被覆区は、被害度が無処理区に比べ低く推移し、収穫期の被害度は無処

理区の半分程度でした。カスケード乳剤も被害度は低く推移しましたが、収穫期の被害度は無処理区の半分程度でした(図3-32)。

- ③防草シート+サイド被覆区の株への寄生虫数は49頭で、無処理の326頭に比べ少なくなりました。カスケード乳剤区は無処理区の半分程度でした。寄生株率は33%で、無処理区の90%に比べ、少なくなりました。カスケード乳剤区は77%でした(図3-33)。



図3-31 各区のコナダニ密度



図3-32 各区の被害度

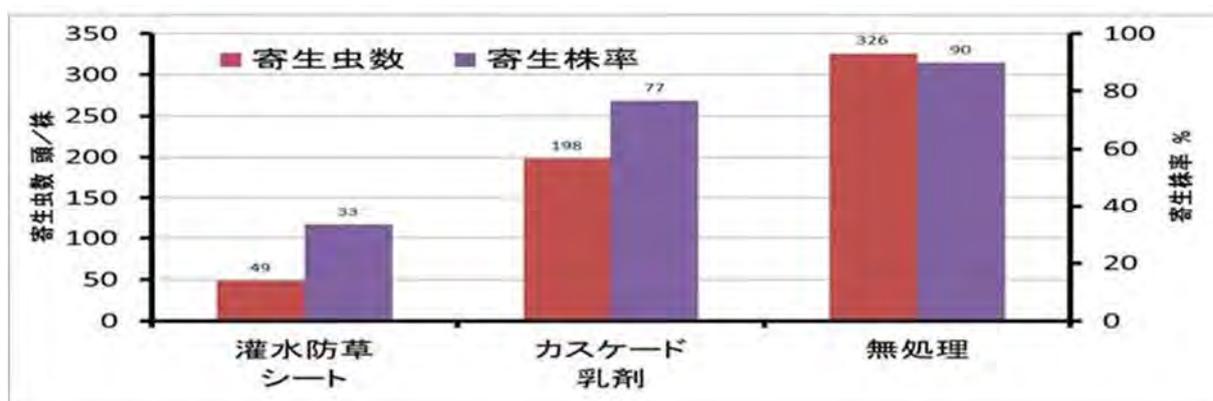


図3-33 各区の寄生虫数と寄生株率

4) 考察

藻を抑制する方法として、防草シート+サイド被覆区は4葉期までの密度抑制効果は認められましたが、6葉期には増加しました。被害度は無処理区の半分程度で、寄生虫数は少なくなりました。

防草シート+サイド被覆区は初期の密度抑制効果は確認できましたが、後半増殖してしまう傾向がありました。

(5) 防草シートによるハウレンソウケナガコナダニの防除2

1) 試験の目的

ハウス土壤に発生する藻がコナダニの増殖源となることが確認されましたが、播種前に発生してすき込んだ藻類もコナダニの増殖源となることが確認されました。そこで、播種前の藻類を抑制する方法として遮光被覆の効果を圃場全体を使った大規模試験で検討しました。

2) 材料および方法

①試験場所: 山口県美祢市於福 ハウレンソウ農家 ハウス(各 6m×30m)

②試験時期: 2017年 10月3日～11月17日

③試験区:

・防草シート+サイド被覆区 150 m²(25m×6m)、9月26日～10月3日まで土壤表面を灌水後に防草シートで遮光被覆しました。10月3日の播種後はハウスサイド50cm部分を防草シートで遮光被覆しました。

・無処理区 30 m²(5m×6m)、10月3日に播種。

・キルパー20kg 散布区、9月21日に土壤消毒剤のキルパー液剤を20kg/10a 散布し、24日までハウスサイドをしめました。27日に耕耘して播種しました。各区1連制、1区6か所調査。

④調査方法:

コナダニ密度: 1区あたり土壤表面の藻類を含む深さ0～3cmの土壤80mlを採取し、当日中にツルグレン装置に設置し、24時間後に抽出されたコナダニ成虫・若虫・幼虫の合計数を実体顕微鏡下で計数しました。計測されたコナダニ数は、各区の比較を行いました。調査は播種前から収穫時まで1週間おきに実施しました。

被害程度: 各区100株について、一般社団法人日本植物防疫協会の新農薬効果試験の基準(A: 被害なしの株数、B: コナダニによる奇形葉2枚以内の株数、C: 奇形葉3～4枚で褐変なしの株数、D: 奇形葉の数に関わらず中心部が褐変し、芯止まりの株数、被害度 = (D×5 + C×3 + B×0.5 + A×0 / 調査株数×5) × 100) に準じて算出しました。調査は4葉期から収穫時まで1週間おきに実施しました。

3) 結果の概要

①防草シート+サイド被覆区は、子葉期～4葉期のコナダニ密度は低かったものの、6葉期には増加し、無処理区と同等になりました(図3-34)。

②防草シート+サイド被覆区は、被害度が無処理区に比べ低く推移し、収穫期の被害度は無処理区の半分程度でした(図3-35)。

③キルパー20kg 散布区はコナダニ密度も低く、被害度もほぼ0で、被害がみられませんでした。

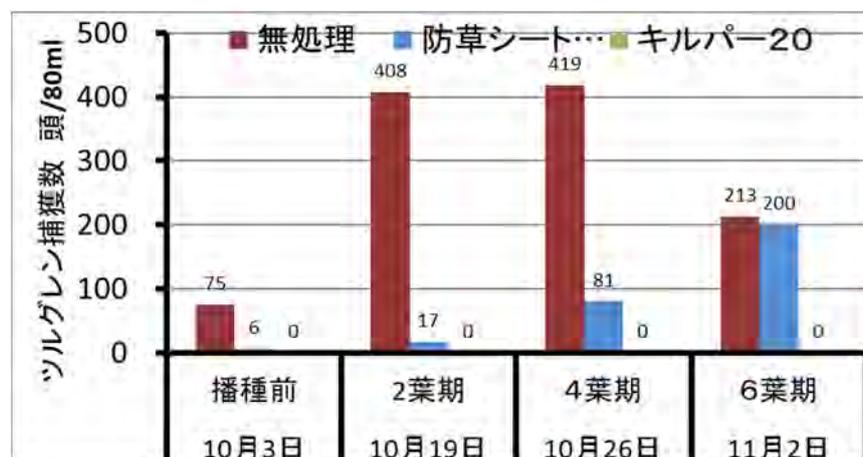


図3-34 各区のコナダニ密度

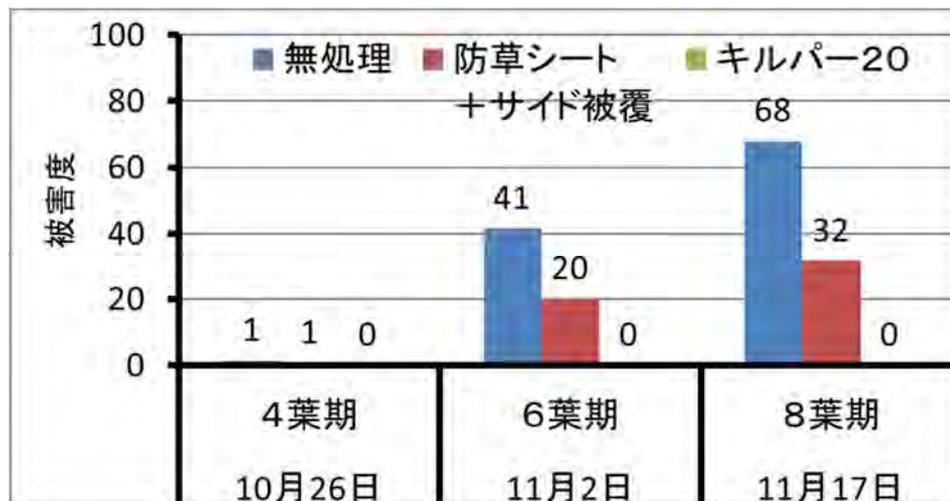


図3-35 各区の被害度

4) 考察

藻を抑制する方法として、防草シート+サイド被覆区は4葉期までの密度抑制効果は認められましたが、6葉期には増加しました。被害度は無処理区の半分程度でした。防草シート+サイド被覆区は、大規模試験区においても、初期の密度抑制効果はありましたが、後半増殖してしまう傾向が見られました。

7. 要約

- 1) 近畿中国四国地域の中山間地帯での施設栽培の有機ホウレンソウ周年栽培を目指して、生物的土壌燻蒸(バイオフェューミゲーション)と土壌還元消毒を組み合わせた土壌消毒法(生物的土壌消毒)を実用化しました。
- 2) ハウス内でカラシナを栽培して、初夏から夏季にすき込んだ後、圃場容水量程度に多量に灌水し、土壌表面全体を透明フィルムでしっかりと被覆してハウスを密閉することにより、ホウレンソウ萎凋病が効率的に防除できました。
- 3) スベリヒユなどの雑草の種子が多い圃場では、生物的土壌消毒後にホウレンソウを播種する際、土壌をできるだけ浅く耕起することにより、雑草の発生を抑えられました。
- 4) カラシナすき込みの代わりに、ダイコンの選果場から排出されるダイコン残渣を用いた生物的土壌消毒法を体系化しました。
- 5) ダイコン残渣 15~20t/10a を用いた生物的土壌消毒では、肥料(窒素)成分はホウレンソウ1~2作分くらい供給されることを明らかにしました。
- 6) ホウレンソウケナガコナダニに対しては、防草シートでコナダニの餌となる土壌表面の藻類の発生を防ぐことが、被害防止に役立つことを明らかにしました。

8. 執筆者一覧

農研機構西日本農業研究センター 竹原利明、伊藤陽子、村上健二
 山口県農林総合技術センター 吉岡陸人、本田善之、中島勘太、徳永哲夫、木村一郎
 (所属は研究実施時のもの)

9. 問い合わせ先

農研機構西日本農業研究センター Tel:084-923-4100
 山口県農林総合技術センター農業技術部 Tel:083-927-0211

第2章 有機農業を特徴づける指標の策定

第1節 水稻の有機栽培育苗土に特徴的な微生物相と病害抑制効果

1. 課題の背景・目的

有機栽培では、化学農薬を用いなくとも病害の発生が経済的許容水準以下に抑制され、収穫が可能となっています。しかしながら、その仕組みの解析は十分に行われていないため、有機農業を推進する上でその科学的な理解は必要不可欠です。本課題では、イネの育苗土に生息する微生物に着目し、有機栽培と慣行栽培における微生物相の特徴や差異を、培養法、PCR-DGGE 法、マイクロバイオーム解析により比較しました。さらに、有機栽培に特徴的な微生物種あるいは微生物相と、イネ苗病害抑制の相互関係を解析することにより、有機栽培育苗土に特徴的な微生物が、有機農業の指標となり得るかを検証しました。また、新たな有機農業用資材の開発の可能性を検討する目的で、独自にイネ由来の有機物を利用した堆肥を作成し、これを混合することにより有機栽培育苗土で得られた知見が再現できるか確認しました。

2. 試験方法

(1) 有機栽培育苗土の病害抑制効果の解析

有機栽培育苗土としては、東日本を中心とした各地の有機栽培農家が自作したもの(12点)を入手し解析に用いました(表4-1)。対照区としては市販の慣行栽培育苗土を用いました。イネもみ枯細菌病、イネ苗立枯細菌病による苗腐敗症を対象病害とし、イネ(品種:コシヒカリ)の種子を温湯消毒後、2日間 28°Cで吸水し、はと胸期に達したところで、*Burkholderia glumae* (MAFF 302746)または *B. plantarii* (MAFF 302475)の菌液(OD₆₀₀, 0.01)に浸漬し、5分間減圧接種を行いました。接種後、各育苗土に播種し(7.5×7.5×5.5 cmのプラスチック容器を使用)、30°C一定条件(明期:14 h, 暗期 10 h)で9日間培養し、発病検定を行いました。発病検定は病徴を4段階(0:無病徴、1:生育抑制・黄白化、2:半枯死、3:完全枯死)に分けて数え、発病度(Disease index, DI)を以下の式で算出しました(Ando et al., 2014)。

$$\text{発病度(DI)} = \frac{(1 \text{ の個体数} \times 1 + 2 \text{ の個体数} \times 2 + 3 \text{ の個体数} \times 3)}{(\text{総個体数} \times 3)} \times 100$$

有意差検定には、Steel-Dwass test を用いました。

(2) 有機栽培育苗土の土壤理化学性の分析

収集した有機栽培育苗土の土壤理化学性について、26項目(pH、EC、仮比重、全窒素、全炭素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、無機態窒素、有効態リン酸、交換性カリ、交換性石灰、交換性苦土、リン酸吸収係数、陽イオン交換容量、可給態鉄、腐植含量、カリ飽和度、苦土飽和度、石灰飽和度、塩基飽和度、苦土・カリ比、石灰・苦土比、水溶性ホウ素、交換性マンガン、可溶性亜鉛、可溶性銅)を測定しました。測定は(株)片倉コープアグリに委託しました。

(3) 有機栽培育苗土の微生物多様性と微生物相の堅牢性の解析

有機栽培育苗土の微生物多様性の検討を PCR-DGGE 法及び、次世代シーケンサーを用いたマイクロバイオーム解析によって行いました。育苗土からの DNA 抽出には、Fast DNA SPIN Kit for Soil (MP-Biomedicals)を使用しました。PCR-DGGE 解析は抽出した DNA を鋳型として使い、968f-GC (5'-CGC CCG GGG CGC GCC CCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GAA CGC GAA GAA CCT TAC-3')と 1378r (5'-CGG TGT GTA CAA GGC CCG GGA ACG-3') をプライマーに用いて細菌の 16S rDNA を、xml (5'-GTA GTC ATA TGC TTG TCT-3')と GCFung (5'-CGC CCG CCG CGC CCC GCG

CCC GGC CCG CCG CCC CCG CCC CAT TCC CCG TTA CCC GTT G-3') をプライマーに用いて糸状菌の 18S rDNA を増幅しました。DGGE 解析は、農研機構農業環境変動研究センターの“土壤微生物群集(細菌・糸状菌)の PCR-DGGE 解析 eDNA プロジェクト課題共通マニュアル Ver. 1.7”に従って行いました。また、マイクロバイオータ解析は 16S rDNA の V4 領域を増幅し次世代シーケンサー MiSeq (Illumina)を用いてデータを取得しました(Takahashi et al., 2018)。

(4)有機栽培育苗土からの病害抑制活性のある細菌の分離

宮城県涌谷町、福島県石川町、秋田県大潟村の有機農家から分譲された育苗土から、病害抑制活性を有する細菌の探索を行いました。NA 普通寒天培地に有機栽培育苗土の懸濁液を塗布し、25°C で 1 日培養後得られたシングルコロニーを分離し、16S rDNA 配列を基に簡易分類を行いました。分離した細菌を NA 培地で培養後、懸濁液の濁度(OD₆₀₀, 0.5)を調整後、1)に記載の通りに *B. glumae* を減圧接種した種子を播種した容器(オートクレーブした慣行栽培育苗土)に 10 ml 添加しました。30°C 一定条件(明期:14 h, 暗期 10 h)で 9 日間培養し、発病検定を行いました(Ando et al. 2014)。

(5)有機栽培育苗土由来の細菌による植物免疫の活性化の解析

有機栽培育苗土から分離したイネもみ枯細菌病抑制活性を有する細菌 (*Pseudomonas* sp. W6 株、Y3 株)による植物免疫の活性化の有無を解析するため、細菌処理後 2 日のイネ芽生えから RNA を抽出し、qRT-PCR による防御関連遺伝子の発現解析を行いました。RNA の抽出には TRIzol (Thermo Fisher Scientific)を用い、逆転写には PrimeScript[®] RT reagent Kit with gDNA Eraser (TAKARA)を用いました。さらに qPCR は SYBR[®]Premix Ex Taq[™] II を用い、7300 Real-Time PCR System (Life Technologies)を使用して標準条件で行いました。イネの ACC 合成酵素遺伝子(*OsACS2*)の解析には ACS2-f (5'-GGA ATA AAG CTG CTG CCG AT-3')及び *OsACS2-r* (5'-TGA GCC TGA AGT CGT TGA AGC-3')をプライマーとして用いました。内在性コントロールとしてはユビキチン遺伝子を用いました (RUB-f; 5'-CCA CAA ATC GCA CGT CAA GC-3', RUB-r; 5'-GGA CAC AAT GAT TAG GGA TCA C-3')。

エチレン産生量の測定にはガスクロマトグラフ[GC-8A、島津製作所、水素炎イオン化検出器(FID)]を用いました。イネ芽生えからのエチレン産生量を測定するため、播種後 2 日目のイネ種子 20 粒を蒸留水 750 µl とともに 25 ml のバイアルビンに入れ、密封しました。28°Cの暗条件で 6 時間インキュベートし、気体を 1 ml 抜き取り、ガスクロマトグラフに供試しました。エチレン産生量は植物体の新鮮重・1 時間あたりの産生量(pl/mg*h)として求めました。

(6)もみ殻堆肥の作出と施用方法

2016 年 5 月に東北大学青葉山新キャンパス圃場においてもみ殻、稲わら、米ぬかを材料に堆肥(以下、自作もみ殻堆肥)の作成を開始し、2017 年 5 月に温度推移などから完熟したと見なし、病害抑制効果の解析に用いました。無肥料培土と自作もみ殻堆肥を 3:1 の割合で混合し、イネもみ枯細菌病抑制効果の解析を行いました。

3. 結果と考察

(1)有機栽培育苗土の病害抑制効果

東日本を中心に全国 12 地点から有機栽培育苗土を収集し、イネもみ枯細菌病とイネ苗立枯細菌病の抑制効果を検討しました(表4-1)。対照としては市販の慣行栽培育苗土 3 点を用いました。その結果、慣行栽培育苗土では病原菌接種により激しい病徴を示し、枯死したのに対し、有機栽培育苗土に播種した場合は発病が有意に抑制されました(図4-1)。有機栽培育苗土では慣行栽培育苗土に比べてイネの生育が遅延するなどの特徴も認められましたが、解析した全ての有機栽培育苗土でイネも

み枯細菌病抑制効果が確認されました。イネ苗立枯細菌病についても同様の結果が得られました。このことから、有機栽培育苗土には病害抑制効果があり、この効果にはある程度の普遍性があると考えられます。有機栽培育苗土の作成方法の聞き取り調査では、材料として米ぬかやもみ殻などイネ由来の有機物を投入するケースが多いものの、特に決まった方法は存在しませんでした。そこで、有機栽培育苗土に共通して認められた病害抑制効果を生み出す要因について検討を進めました。

表4-1 有機栽培育苗土の採集地と病害抑制効果

有機栽培育苗土の採集地等	イネもみ枯細菌病	イネ苗立枯細菌病
福島県・石川町	抑制効果あり	抑制効果あり
宮城県・涌谷町	抑制効果あり	抑制効果あり
宮城県・鳴子町	抑制効果あり	抑制効果あり
栃木県・野木町	抑制効果あり	未解析
栃木県・芳賀町	抑制効果あり	抑制効果あり
秋田県・大潟村	抑制効果あり	抑制効果あり
静岡県・下田市	抑制効果あり	未解析
岩手県・遠野市	抑制効果あり	未解析
栃木県・上三川町	抑制効果あり	未解析
埼玉県・さいたま市	抑制効果あり	未解析
新潟県・新潟市	抑制効果あり	未解析
宮城県・東松島市	抑制効果あり	未解析
合成培土 L(慣行培土)	効果なし	効果なし
クレハ(慣行培土)	効果なし	効果なし
いなほ N(慣行培土)	効果なし	効果なし

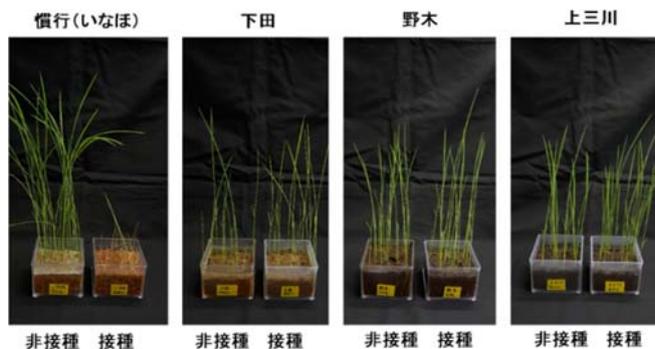


図4-1 有機栽培育苗土のイネもみ枯細菌病抑制効果。
イネもみ枯細菌病菌を接種した種子を育苗土に播種し、9日間培養後に発病を確認した。写真は静岡県下田市、栃木県野木町、栃木県上三川町の有機農家から入手した有機栽培育苗土について示した。対照区に慣行栽培育苗土(いなほN)を用いた。

(2) 有機栽培育苗土の土壤理化学性の解析

収集した有機栽培育苗土の共通の特徴を知る目的で、土壤理化学性の解析を行いました。その結果、有機栽培育苗土に特徴的な傾向は認められず、それぞれ土壤理化学性は異なっていることが示されました(表4-2)。従って、土壤理化学性は有機栽培育苗土の病害抑制効果に関連した指標となる可能性は低いと考えられました。また、育苗に最適化された慣行栽培育苗土と比較して、土壤理化学性が大きく異なる値を示す有機栽培育苗土も多くあり、このことが苗の生育遅延等に反映されたものと推察されます。

表 4-2 有機栽培育苗土の土壌理化学特性

No.	試料名	圃様土当たり				粒土当たり									
		pH	EC mS/cm	仮比重	窒素 全量 %	炭素 全量 %	7-7-7 窒素	硝酸態 窒素	無機態 窒素	有効態 リン酸 mg/100g	交換性 加里	交換性 石灰	交換性 苦土	リン酸 吸収 係数	
1	福島県石川町	5.97	0.49	1.02	0.10	0.45	48.0	0.1	48.1	5	66	145	63	1939	
2	宮城県楢谷町	5.36	0.21	0.78	0.23	2.94	1.7	5.8	7.5	22	58	391	93	1468	
3	宮城県鳴子町	5.63	0.12	1.0	0.08	1.16	16.9	0.6	17.6	3	38	111	36	1777	
4	栃木県野木町	6.48	0.21	0.40	0.97	22.98	3.0	5.4	8.5	2	41	1430	82	-	
5	栃木県芳賀町	5.55	0.64	0.67	0.75	12.20	1.5	36.8	38.2	10	224	143	173	2941	
6	秋田県大潟村	4.76	1.10	0.86	0.36	3.79	10.5	11.4	21.9	12	160	533	259	1608	
7	静岡県下田市	5.89	0.04	0.74	0.36	3.70	0.7	0.6	1.2	6	43	590	76	1721	
8	岩手県遠野市	6.39	0.78	0.59	0.69	8.39	8.0	21.5	29.5	93	427	366	173	1019	
9	栃木県上三川町	6.07	1.89	0.68	0.84	8.01	47	98	145	28	263	610	141	2646	
10	埼玉県さいたま市	6.35	0.65	0.81	0.3	3.9	1.1	35.9	37.0	30	108	297	96	1988	
11	新潟県新潟市	6.55	0.44	0.75	0.3	4.5	37	1	38	91	154	70	61	2032	
12	宮城県東松島市	6.42	1.35	0.50	0.5	11.5	71	55	127	467	507	320	298	383	
13	合成培土L	4.96	1.38	0.91	0.14	0.26	97.0	1.2	98.4	1.4	114	348	145	2351	
14	クレハ	5.63	1.91	1.00	0.2	1.8	104.4	0.1	104.5	28	168	380	154	1536	
15	し刈田N	5.48	1.40	1.04	0.2	0.2	115.4	0.1	115.5	35	124	172	73	1773	

No.	試料名	CEC meq/100g	粒土当たり											
			陽換 mg/kg	加里 陽和度	石灰 陽和度 %	苦土 陽和度	窒素 陽和度	有機態 窒素 %	7-7-7 窒素	硝酸態 窒素	無機態 窒素	有効態 リン酸 mg/100g		
1	福島県石川町	23.3	0.8	6.0	22.2	13.4	41.6	1.7	2.2	0.2	11.1	11.8	8.1	2.6
2	宮城県楢谷町	29.1	5.1	4.2	47.9	15.8	67.9	3.0	3.7	0.5	331.9	13.4	25.9	4.4
3	宮城県鳴子町	18.9	2.0	4.3	21.0	9.2	34.5	2.3	2.1	0.2	34.1	1.9	41.3	0.8
4	栃木県野木町	75.0	39.5	1.2	67.9	5.4	74.5	12.6	4.6	1.5	0.7	83.8	4.7	0.1
5	栃木県芳賀町	46.9	21.0	10.2	10.9	18.3	39.3	0.6	1.8	0.4	56.8	44.3	7.6	0.1
6	秋田県大潟村	37.9	6.5	9.0	50.2	33.9	93.1	1.5	3.8	0.7	141.4	118.3	10.7	3.4
7	静岡県下田市	28.7	6.4	3	73	13	90	5.6	41	0.2	-	1.4	11.1	8.5
8	岩手県遠野市	28.7	14.4	32	46	30	107	1.5	0.9	1.0	-	5.1	19.5	0.7
9	栃木県上三川町	36.0	13.8	15	60	19	95	3.1	1.3	0.5	90.4	3.3	36.4	0.6
10	埼玉県さいたま市	23.7	6.7	10	46	20	74	2.2	2.1	0.2	95.4	16.6	19.1	8.7
11	新潟県新潟市	13.2	1.1	26	19	23	67	0.8	0.9	0.4	16.9	19.6	19.6	1.8
12	宮城県東松島市	26.7	3.8	40	43	55	138	0.8	1.4	1.1	3.3	7.9	15.1	0.2
13	合成培土L	22.6	0.5	11	55	32	98	1.7	3.0	0.7	2.5	92.8	7.4	3.9
14	クレハ	19.7	3.2	18	51	39	108	1.3	2.1	0.1	8.5	138.0	3.9	0.9
15	し刈田N	16.8	0.4	16	37	22	74	1.7	1.4	0.3	4.6	18.7	9.7	3.2

※窒素陽和度はNを省略し窒素の陽和度を示す。

(3)有機栽培育苗土の微生物多様性と環境変化に対する堅牢性の解析

有機栽培育苗土の土壤理化学性が病害抑制効果の指標になる可能性は低かったことから、生物的要因に着目し、微生物多様性の検討を行いました。9地点の有機栽培育苗土と対照として慣行栽培育苗土2点からDNAを抽出し、細菌の16S rDNA及び糸状菌の18S rDNAをPCRで増幅後、PCR-DGGE解析に用いました。バンドパターンに基づく多様性指数を算出した結果、特にバクテリアにおいて微生物相の多様性の高さを示すRichnessと均等性を示すEvennessが慣行栽培育苗土に比べて高いことが明らかになりました。また、糸状菌においても同様の傾向が観察されました(表4-3)。さらに、傾向が強く認められた細菌について、次世代シーケンサーを用いてマイクロバイオータ解析を行いました。その結果、解析した全ての有機栽培育苗土において、明らかに慣行栽培育苗土よりも多くの種類の細菌が存在し、かつ特定の細菌が優先せず、バランスが取れていることが示されました(図4-2a)。個々の有機栽培育苗土を比較すると、含まれる微生物の種類や量は異なりますが、共通した特徴として微生物多様性が高いことが確認されました。

さらに、この微生物相が環境変化に対してどのように変動するかについても検討しました。微生物相に影響を与える環境要因として、「灌水処理」と「イネの栽培」を行い、1週間後に育苗土からDNAを抽出し、16S rDNAを用いたマイクロバイオータ解析を行いました。その結果、解析した2点の慣行栽培育苗土では灌水処理やイネの栽培によって細菌相が大きく変動したのに対し、有機栽培育苗土(野木町、大潟村)では細菌相の変動が少なく、安定していました(図4-2b)。同様の結果は、糸状菌についてもPCR-DGGE法を用いて確認しました。従って、有機栽培育苗土の微生物相は環境変化に対して堅牢性(ロバストネス)を持つことが示唆されました。また、有機栽培育苗土にイネのみ枯細菌病菌を接種した種子を播種し、その後のみ枯細菌病菌の増殖を解析した結果、有機栽培育苗土では病原菌の増殖が抑制されることも確認しました。このことは、有機栽培育苗土の微生物相の堅牢性が病害菌の増殖を抑制する可能性を支持するものと考えられます(Takahashi et al., 2018)。

表4-3 PCR-DGGE解析のバンドパターンに基づく多様性指数

No	Bacteria					Fungi				
	sample name	Richness	Shannon	Simpson	Evenness	sample name	Richness	Shannon	Simpson	Evenness
1	宮城県涌谷町 有機培土	28	3.181	0.952	8.803	宮城県涌谷町 有機培土	6	1.327	0.628	4.521
2	宮城県鳴子町 有機培土	24	3.096	0.951	7.751	宮城県鳴子町 有機培土	5	1.123	0.560	4.453
3	栃木県野木町 有機培土	33	3.362	0.962	9.814	栃木県野木町 有機培土	5	1.138	0.556	4.394
4	栃木県芳賀町 有機培土	21	2.916	0.942	7.201	栃木県芳賀町 有機培土	9	1.931	0.808	4.661
5	秋田県大潟村 有機培土	15	2.618	0.921	5.730	秋田県大潟村 有機培土	6	1.284	0.600	4.674
6	静岡県下田市 有機培土	23	2.943	0.938	7.816	静岡県下田市 有機培土	15	2.451	0.888	6.120
7	岩手県遠野市 有機培土	15	2.487	0.896	6.032	岩手県遠野市 有機培土	7	1.363	0.603	5.134
8	栃木県上三川 町有機培土	16	2.600	0.914	6.153	栃木県上三川 町有機培土	6	1.372	0.639	4.373
9	埼玉県さいたま市 有機培土	19	2.806	0.933	6.772	埼玉県さいたま市 有機培土	3	0.694	0.378	4.321
10	クレハ慣行 培土	12	2.239	0.871	5.358	クレハ慣行 培土	9	2.031	0.842	4.432
11	いなほ慣行 培土	8	1.278	0.567	6.262	いなほ慣行 培土	6	1.528	0.731	3.927

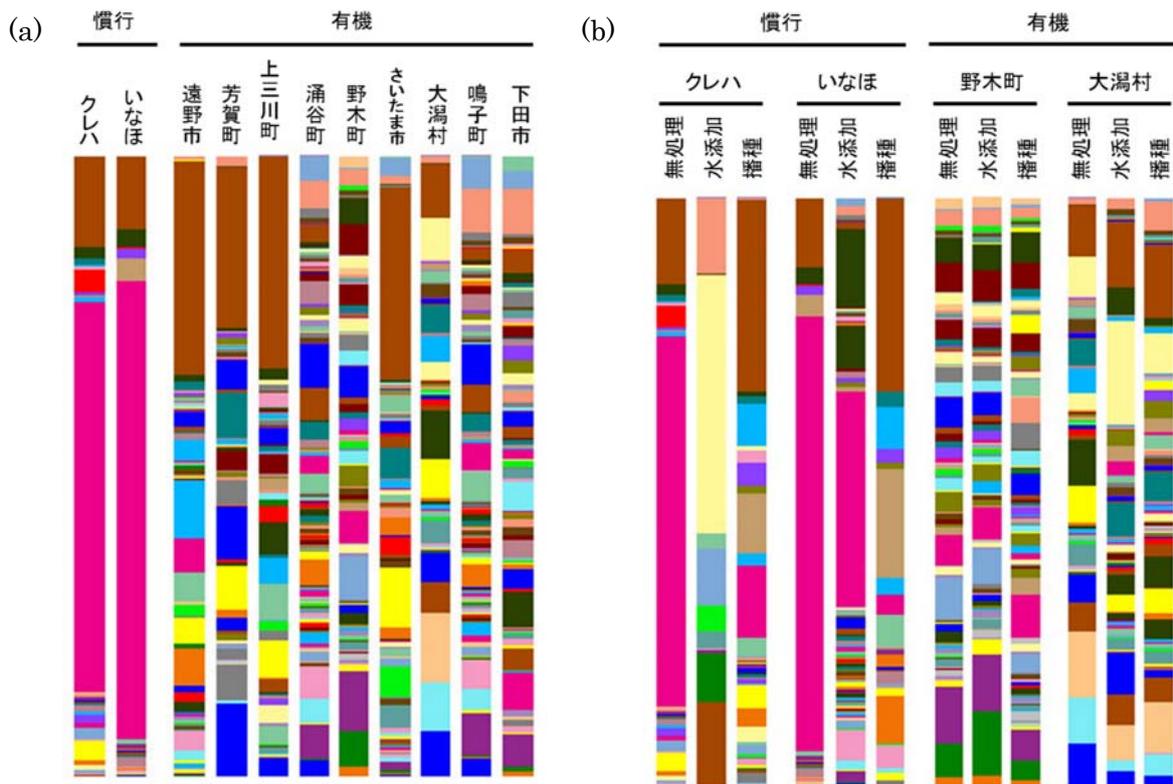


図4-2 有機栽培育苗土の微生物多様性とその環境変化に対する堅牢性。
 (a)慣行栽培育苗土2点と有機栽培育苗土9点からDNAを抽出し、16S rDNAを用いたマイクロバイオータ解析を行った。(b)有機栽培育苗土、慣行栽培育苗土各2点を用い、灌水処理(水添加)およびイネの栽培(播種)を行い、1週間後の微生物相の変動を解析した。異なる色は異なる属に分類される細菌の割合を表している。

以上の結果から、微生物多様性の高さとその堅牢性が有機栽培育苗土の病害抑制機能の指標となり得ると考えられます。

(4) 有機栽培育苗土からの病害抑制活性を有する細菌の分離

これまでの結果から、有機栽培育苗土の微生物相が病害抑制効果に関与する可能性が示唆されましたが、一方で有機栽培育苗土には強い病害抑制活性を有する微生物が存在する可能性も考えられます。そこで、培養法によって有機栽培育苗土から細菌を分離し、16S rDNAによる簡易分類後、イネのみ枯細菌病抑制効果を解析しました。

3点の有機栽培育苗土について解析した結果、*Pseudomonas*属菌、*Arthrobacter*属菌、*Bacillus*属菌などが主に分離され、同じ属と推定される菌においても16S rDNA配列の違いがあったため、さらに便宜的にグループ分けを行いました(表4-4)。分離した細菌の懸濁液を添加した育苗土にイネのみ枯細菌病菌を接種した種子を播種したところ、宮城県涌谷町の有機栽培育苗土から分離した*Pseudomonas*属菌と推定される菌株[W6株: *Pseudomonas* sp. (2), Y3株: *Pseudomonas* sp. (6)]にイネのみ枯細菌病抑制活性があることが明らかになりました(Ando et al., 2014)。

表4-4 有希栽培育苗土からの細菌の分離と16S rDNA配列による簡易分類

16S rDNAによる推定	涌谷町	石川町	大湊村
<i>Pseudomonas</i> sp. (1)	38		
<i>Pseudomonas</i> sp. (2)	4		
<i>Pseudomonas</i> sp. (3)	1		
<i>Pseudomonas</i> sp. (4)	1		
<i>Pseudomonas</i> sp. (5)	1		
<i>Pseudomonas</i> sp. (6)	1		
<i>Arthrobacter</i> sp. (1)		3	
<i>Arthrobacter</i> sp. (2)	1	2	
<i>Arthrobacter</i> sp. (3)	2	1	
<i>Arthrobacter</i> sp. (4)		1	
<i>Arthrobacter</i> sp. (5)		1	
<i>Arthrobacter</i> sp. (6)	1		
<i>Arthrobacter</i> sp. (7)	1		
<i>Bacillus</i> sp. (1)	4	2	5
<i>Bacillus</i> sp. (2)	1		
<i>Bacillus</i> sp. (3)		1	
<i>Bacillus</i> sp. (4)			15
<i>Bacillus</i> sp. (5)			15
<i>Bacillus</i> sp. (6)	1		
<i>Bacillus</i> sp. (7)	1		
<i>Bacillus</i> sp. (8)			1
<i>Bacillus</i> sp. (9)			1
<i>Bacillus</i> sp. (10)			1
<i>Janthinobacterium</i> sp.	1		
Total	59	11	38

(5) 有機栽培育苗土から分離した細菌施用による植物免疫の活性化の解析

有機栽培育苗土から病害抑制活性を有する細菌 (*Pseudomonas* 属菌、W6 株) が分離されたことから、その病害抑制効果のメカニズムの解析を行いました。W6 株には *B. glumae* に対する抗菌活性は認められなかったことから、植物免疫の活性化について検討しました。まず、W6 株施用後のイネ幼植物における防御関連遺伝子の発現解析を行ったところ、細菌施用後 2 日目のイネ芽生えでは、**PBZI**[サリチル酸(SA)、ジャスモン酸(JA)誘導性]、**PR5**(SA 誘導性)、**OsAOS2**(JA 生合成)などの遺伝子発現に大きな変動は認められなかったことから、SA や JA による誘導抵抗性は関与しないことが推察されました。一方、エチレン(ET)生合成遺伝子 **OsACS2** の発現は W6 株処理区において施用後早い段階で誘導されました(図4-3)。また、芽生えからのエチレン産生を測定したところ、細菌施用によって産生量が増加することが確認されました。さらに、ET 生合成前駆体である ACC を育苗土に添加することで、イネもみ枯細菌病による苗腐敗症が抑制されました。以上のことから、ET による初期の防御応答の活性化が W6 株の病害抑制活性に関与する可能性が推察されました。同様の結果は Y3 株についても確認されました。

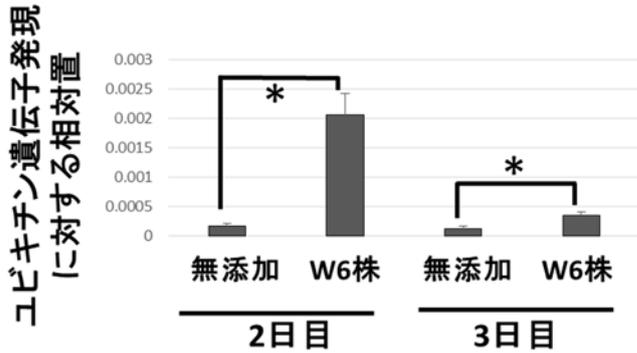


図4-3 W6株施用による *OsACS2* 遺伝子の発現誘導。
イネもみ枯細菌病接種実験と同条件で、病原菌を接種せず、W6のみ施用後(播種後)2日目と3日目の芽生えからRNAを抽出し、qRT-PCRを行った。*OsACS2*の発現量はユビキチン遺伝子との相対量で示した。*はt検定による有意差を示す(n=3, P<0.05)。

(6)有機栽培育苗土由来の培養可能な細菌の混合施用による病害抑制効果の解析

病害抑制活性が認められた *Pseudomonas* sp. (2) (W6株)の効果に対する、他の微生物の混合施用の影響を調べることで、育苗土において確認された微生物多様性が病害抑制活性に影響を与える可能性を簡易的に検証しました。まずは、*Pseudomonas* 属菌のみに着目し、分離した *Pseudomonas* sp. (表4-4)のうち、単独では病害抑制活性を持たない4種類を病害抑制活性の有効菌濃度以下(OD₆₀₀, 0.02)の *Pseudomonas* sp. (2)と混合して施用しました[Total菌濃度:OD₆₀₀, 0.5に調製した菌液を10 ml/pot(容量250 ml)で添加]。その際、最も多く分離された菌群である *Pseudomonas* sp. (1)でtotal菌濃度を調整しました。その結果、*Pseudomonas* sp. (2)に他の4菌株を添加すると、病害抑制活性が促進されました(図4-4)。また、この病害抑制活性には *Pseudomonas* sp. (2)が必要であることから、他の菌群が *Pseudomonas* sp. (2)の効果を促進している可能性が考えられました。このことは、微生物多様性が病害抑制活性に影響を及ぼす可能性を支持するものと考えられます。

続いて、有機栽培育苗土から得られた培養可能な細菌全てを混合し、施用することで、病害抑制効果が認められるか検証しました。まず、NA普通寒天培地で培養した細菌を全て混合し、OD₆₀₀値を0.1に調製後、育苗土に添加しました。その結果、元になる有機栽培育苗土によって、病害抑制効果が認められる場合があることが明らかになりました。また、細菌の培養に用いる培地の検討を行ったところ、1/1000に希釈したNA培地(貧栄養培地として使用)や、ゲル化剤としてゲランガムを用いることで、より病害抑制効果の強い細菌集団が得られる傾向が認められました。また、それぞれの培地から得た細菌集団のPCR-DGGE解析の結果、同一の育苗土から異なる培地で培養された細菌集団は異なる構造を持つことが確認されました。これらの結果から、特に病害抑制活性を有する微生物を分離しなくても、培養法を検討することで有機栽培育苗土から病害抑制効果を有する細菌集団を得ることが可能であることが示唆されました。

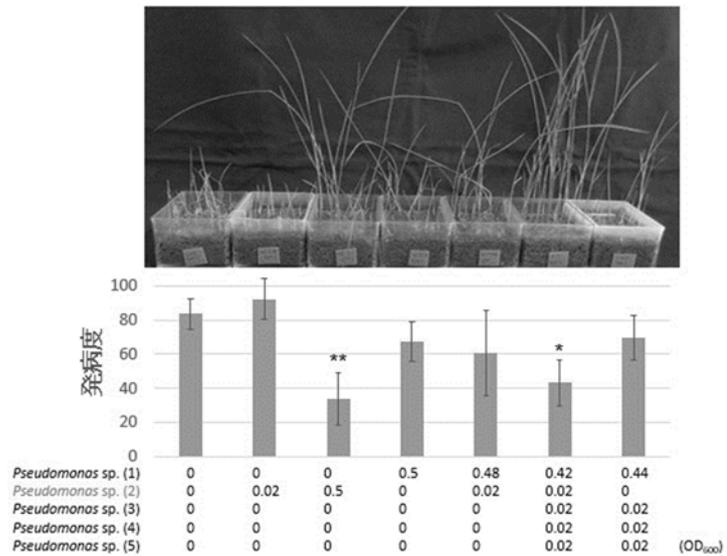


図4-4 土壌細菌の混合施用によるイネもみ枯細菌病抑制効果の促進。
病害抑制活性が認められた *Pseudomonas* sp. (2)に病害抑制効果が認められない *Pseudomonas* 属菌を混合施用した際の病害抑制効果の変化を解析した。施用する菌液はトータルOD₆₀₀値が0.5になるように調製した。*、**は無添加区に対する有意差を示すDunnnett test, n=3, *P<0.05, **P<0.01)

さらに、この細菌集団による病害抑制効果と育苗土添加後の細菌相形成との関係を解析しました。細菌集団を添加後9日の発病検定時の育苗土からDNAを抽出し、16S rDNAを用いたPCR-DGGEを行いました。その結果、病害抑制効果のある細菌集団添加後の育苗土の細菌相は病原菌の接種による影響が少ないことが明らかになりました。このことは、有機栽培育苗土の微生物相の堅牢性と類似しており、同様のメカニズムが関与している可能性が考えられます。

(7) 自作のもみ殻堆肥のイネもみ枯細菌病抑制効果

本研究において、有機栽培育苗土の多くは病害抑制機能をもつことが示唆されましたが、その作成方法は農家によって様々であり、有機農業を普及させるための技術としては問題があります。そこで、有機栽培育苗土の作成方法の聞き取り調査では、イネ由来の有機物が投入されていることが多いことに注目し、米ぬか(20 kg)、稲わら(15 kg)、もみ殻(19 kg)を材料としたもみ殻堆肥を作成し、これを用いて有機栽培育苗土で得られた結果が再現できるか検討しました。一年間かけて完熟させた堆肥を市販の無肥料培土に混合し、これを用いて有機栽培育苗土と同様の方法でイネもみ枯細菌病抑制効果の解析を行いました。対照としては堆肥無添加区と宮城県石巻市の有機農家から分譲されたもみ殻堆肥を使用した区を設けました。その結果、堆肥施用区では有機栽培育苗土と同様にイネもみ枯細菌病の発病が抑制されることが明らかになりました(図4-5)。

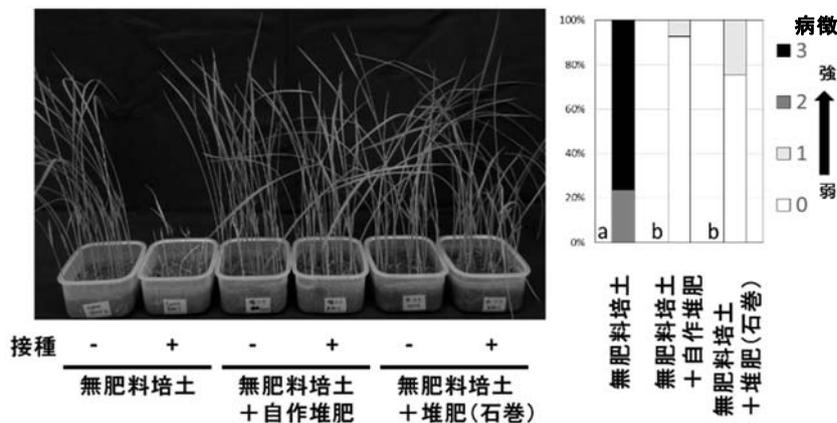


図4-5 堆肥施用によるイネもみ枯細菌病抑制効果。無肥料培土と堆肥を3:1で混合した育苗土にもみ枯細菌病菌を接種した種子を播種した。30℃で9日間培養後、発病度を4段階に分けてカウントした。異なるアルファベットは Steel-Dwass test による有意差を示す ($P<0.05$)。

さらに、堆肥施用による病害抑制時の育苗土の微生物相を PCR-DGGE 法によって解析した結果、堆肥施用によって微生物相の多様性が高くなりました。また、無施用区では病原菌接種による細菌相の変動が大きかったのに対し、堆肥施用区では、自作、石巻ともに病原菌接種による変動が少なくなりました。このことは有機栽培育苗土で観察された結果と類似しており、堆肥施用により微生物相の堅牢性が高くなったと考えられます。

また、堆肥由来の細菌集団の病害抑制効果についても解析を行いました。堆肥を水に懸濁し、NA 普通寒天培地および 1/1000 希釈 NA 寒天培地に塗布し1日または2日培養(25℃)しました。続いて得られたコロニーを全て混合し、OD₆₀₀ 値を 0.1 に調製後、10 ml/pot で添加しました。その結果、NA 普通培地を用いた場合は抑制効果が非常に弱かったのですが、1/1000 希釈培地を用いた場合は堆肥を施用した場合と同等のイネもみ枯細菌病抑制効果を示しました。その際の育苗土の細菌相を PCR-DGGE 法を用いて解析したところ、有機栽培育苗土から培養した細菌集団を用いて解析した結果と同様に、病害抑制効果と微生物相の安定性(堅牢性)が相関していました。

以上の結果から、有機栽培育苗土で示された病害抑制効果と微生物相の多様性及び堅牢性の関連や、培養で得た細菌集団を用いた病害抑制効果に関する知見が、自作のもみ殻堆肥を用いて再現できることが示されました。このことは、有機農業を普及させる上で利用可能な知見と考えられます。

4. おわりに

本研究の結果から、有機栽培の病害抑制機能の指標の一つとして、育苗土の微生物多様性と微生物相の環境変化に対する堅牢性が提起されました。さらに、知見を蓄積し基準値を設定することで、この指標を用いて土壌の健全性などを客観的に評価できるようになることが期待されます。また、自作のもみ殻堆肥や有機栽培育苗土から培養した細菌集団を用いることで、有機栽培育苗土における病害抑制と類似した効果を創出できることを示しました。さらに詳細な検討が必要ですが、有機農業発の病害防除技術として確立されれば、我国の有機農業の推進に大いに役立つことが期待されます。また、本研究の成果が微生物集団を用いたバイオコントロールの手法としても展開されることが期待されます。

5. 要約

有機農業の病害抑制機能を明らかにする目的で、私たちは水稻の有機栽培育苗土の病害抑制効果について解析を行いました。有機農家が独自の方法で作成した有機栽培育苗土は土壌理化学性に共通性の高い特徴はないものの、イネもみ枯細菌病やイネ苗立枯細菌病による苗腐敗症の抑制効果が、ある程度の普遍性をもってあることが分かりました。そこで、育苗土に含まれる微生物が病害抑制効果に係わっている可能性について解析を行いました。その結果、有機栽培育苗土の微生物多様性は市販の慣行栽培育苗土に比べて高いという特徴が示されました。またこの微生物相は、環境変化によって大きな影響を受けず安定であること(堅牢性)が明らかになりました。このことから、有機栽培育苗土の微生物相の堅牢性が病原菌の侵入と増殖を抑制している可能性があると考えています。さらに、有機栽培育苗土から病害抑制活性をもつ細菌の分離を行ったところ、*Pseudomonas* 属菌と推定される細菌が単離されました。本菌の病害抑制効果にはエチレンを介した植物の免疫機構の活性化が関与している可能性が示唆されています。従って、有機栽培育苗土の病害抑制効果は土壌微生物相の堅牢性や植物免疫の活性化など複合的な要因によって為されていると考えられます。これらの知見を踏まえ、私たちは有機栽培育苗土から培養した細菌の混合施用によって、有機栽培育苗土に類似した微生物相の堅牢性を介した病害抑制技術の開発を試みました。その結果、土壌から貧栄養培地を用いて培養した細菌集団に細菌相の安定化を伴った強い病害抑制効果があることが分かりました。今後、これらの知見を利用した新たなバイオコントロール手法の開発が期待されます。

6. 引用文献

Ando S, Ito T, Kanno T, Kobayashi T, Morikawa T, Honda K, Tsushima S, Takahashi H. (2014) Impact of organic crop management on suppression of bacterial seedling diseases in rice. *Organic Agriculture*, **4**,187-196

Takahashi, H, Matsuhita Y, Ito T, Nakai Y, Nanzyo M, Kobayashi T, Iwaishi S, Hashimoto T, Miyashita S, Morikawa T, Yoshida S, Tsushima S, Ando S. (2018) Comparative analysis of microbial diversity and bacterial seedling disease-suppressive activity in organic-farmed and standardized commercial conventional soils for rice nursery cultivation. *J. Phytopathol.* DOI: 10.1111/jph.12682

農業環境技術研究所編 土壌微生物群集(細菌・糸状菌)のPCR-DGGE解析 eDNAプロジェクト課題共通マニュアル Ver. 1.7

7. 執筆者一覧

安藤杉尋、高橋英樹

8. 問い合わせ先

東北大学大学院農学研究科植物病理学分野 Tel: 022-757-4297

第2節 有機栽培の安定化に対応した生物的指標の抽出・策定

1. 課題の背景・目的

有機栽培は概して慣行栽培よりも低収であり、特に有機栽培期間が短い場合に顕著に低収であることが、既存論文のメタ解析により示されています(Seufert ら、2012)。

一方、有機栽培における生産性を制限する要因のひとつとして、窒素養分を指摘する声もあります(Clark ら、1999)。有機栽培においては、有機態窒素が無機化されて作物へ供給されます。そこで、施用した有機物からの窒素無機化を評価する方法の開発を目指しました。

また、有機態窒素の無機化には、土壤微生物が関与しています。特に、タンパク質分解を担う酵素であるプロテアーゼは、土壤中での窒素代謝を律速する酵素であると考えられています(早野、1995)。そこで、プロテアーゼ生産細菌群集を対象に、有機栽培開始に伴う経年変化や農法の影響を調査しました。

2. 試験方法

(1) 調査圃場概要

茨城県つくば市の有機栽培農家(C、D、E および F)から、有機栽培土壌を採取しました(表5-1)。農家 C および農家 D については、新たに有機栽培を開始した転換中土壌も採取しました。2015 年に新たに有機栽培を開始した農家 F も一部、調査対象に加えしました。なお、農家 C および農家 F は、農家 E の弟子に当たります。これら有機栽培土壌や転換中土壌の比較対照として、農家 E に近隣の慣行栽培農家 B、農家 D に近隣の慣行栽培農家 A からも土壌を採取しました。

表5-1 土壌採取圃場(茨城県つくば市)

農家	農法	概要
A	慣行	D農家近隣の慣行栽培農家。
B	慣行	E農家近隣の慣行栽培農家。
C	有機	E農家の弟子。耕作放棄地において、2011年に有機栽培を開始。
D	有機	ベテラン有機栽培農家。
E	有機	ベテラン有機栽培農家。
F	有機	E農家の弟子。休閑地(2年間)において、2015年に有機栽培を開始。

有機栽培と慣行栽培のプロテアーゼ生産細菌群集構造を比較するため、長野県塩尻市の有機栽培1農家・4圃場および慣行栽培2農家・各2圃場より土壌を採取しました。また、茨城県石岡市の農家 H の有機栽培5圃場および慣行栽培4圃場より土壌を採取しました。

(2) 米ぬか培養法

有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌で、施用した有機物からの窒素の無機化に違いがあるかどうかを明らかにすることを目的に、つくば市内の露地野菜農家圃場から、有機栽培(農家 D、E)、転換中(農家 C、D)、慣行栽培(農家 A、B)の土壌を採取し、モデル有機物として米ぬかを添加する区と無添加の区を設けて、窒素の無機化量を経時的に調べました。

土壌に添加した米ぬかからの窒素の無機化量は、恒温器内で培養試験を行うことにより算出しました。培養試験は、荒巻ら(2007)の方法を一部改変した方法で行いました。すなわち、100 ml 容のガラス容器で、窒素で 10 mg 相当の米ぬかを土壌 20 g(生土)と混合し、畑状態(随時、水分が土壌の最大容水量の 60%となるよう調製)として、30℃の恒温器内で、最長 8 週間、静置培養しました。培養は、そ

れぞれ3反復で行いました。用いた米ぬかは、水分 112 g kg⁻¹、pH 6.26、全窒素 22.2 g kg⁻¹、全炭素 407 g kg⁻¹、C/N 比 18.3、全リン酸 45.4 g P₂O₅ kg⁻¹、全カリウム 17.9 g K₂O kg⁻¹、全カルシウム 0.84 g CaO kg⁻¹、全マグネシウム 14.2 g MgO kg⁻¹でした。

培養後に無機化した窒素の評価にあたっては、まず、米ぬか添加の有無を変えて、0、4、8 週間培養した土壌 20 g に、80 ml の 2 N KCl 溶液を入れて 30 分間振とうしてろ過しました。このろ液に含まれる NH₄-N と NO₃-N は、オートアナライザ (QuAAtro2-HR, BL-TEC) で測定しました。

培養 4 週間後の米ぬかからの窒素無機化量は、米ぬかを添加して 4 週間培養した区の無機態窒素量から、無添加で 4 週間培養した区の無機態窒素量を差し引いた値としました。同様に、8 週間で米ぬかから無機化した窒素量は、米ぬかを添加して 8 週間培養した後の無機態窒素量から、無添加で 8 週間培養した土壌の無機態窒素量を差し引いた値としました。

本研究では、米ぬかで判定した土壌の窒素無機化能が、他の有機物を施用した場合の無機化の遅速の評価にも利用できるのかどうかを明らかにするために、米ぬかからの窒素の無機化が早かった有機栽培土壌 (農家 D の土壌) と遅かった慣行栽培土壌 (農家 B の土壌) に、様々な家畜ふん堆肥や有機栽培農家が施用しているボカシなどを添加して培養し、窒素の無機化を調べました。

茨城県つくば市内の有機栽培農家 D、E、F、茨城県市岡市内の有機栽培農家 H から、栽培に使用しているボカシの提供を受け、試験に使用しました。農家 E と農家 F のボカシは米ぬか、もみ殻、かつお節かす (または、魚かす)、糖蜜などから作ったものでした。農家 D のボカシは、鶏ふん主体の原料から、農家 H のボカシは、米ぬか、油かす、炭、苦土石灰から作ったものです。この他の有機質資材として、油かす、乾燥鶏ふん、豚ふん、牛ふんと米ぬかを供試しました。

この試験では、米ぬかの代わりに窒素で 10 mg 相当の各有機質資材を土壌 20 g (生土) と混和し、前述の米ぬか培養試験と同様の手順で無機化量を測定しました。

(3) プロテアーゼ群集構造解析法

プロテアーゼ生産能を有する微生物のうち、ここでは、中性メタロプロテアーゼを生産する細菌を対象としました。Sakurai ら (2007) を参考に条件を検討し、土壌から抽出した DNA を鋳型として、中性メタロプロテアーゼ遺伝子を対象とした PCR-DGGE を行いました。得られた DGGE プロファイルに基づきクラスタ解析を行い、各土壌のプロテアーゼ生産細菌群集構造を比較しました。

3. 結果と考察

(1) 有機物投入履歴の異なる現地圃場における米ぬか培養法を利用した窒素供給量評価

有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌で、施用した有機物からの窒素の無機化に違いがあるかどうかを明らかにすることを目的に、つくば市内の露地野菜農家圃場から、有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌を採取し、モデル有機物として米ぬかを添加する区と無添加の区を設けて、窒素の無機化量を経時的に調べました (唐澤ら 2018a, 唐澤ら 2018b)。

その結果、慣行農家 A、B の 3 圃場では、いずれも、米ぬかを添加して 4、8 週間培養した後、米ぬかから無機化した窒素の量は少ない一方、有機農家 D、E の 7 圃場では、いずれも、より多くの窒素が 4、8 週間で無機化することが示されました。さらに、有機栽培転換中の農家 C、農家 D の 2 圃場は、いずれも、慣行よりは無機化が早く、有機土壌よりは無機化が遅いことが示されました (図 5-1)。

このことから、慣行土壌に比べると、有機栽培を続けた土壌の方が、添加した有機物から、速やかに窒素が無機化、すなわち、有効化することが考えられました。

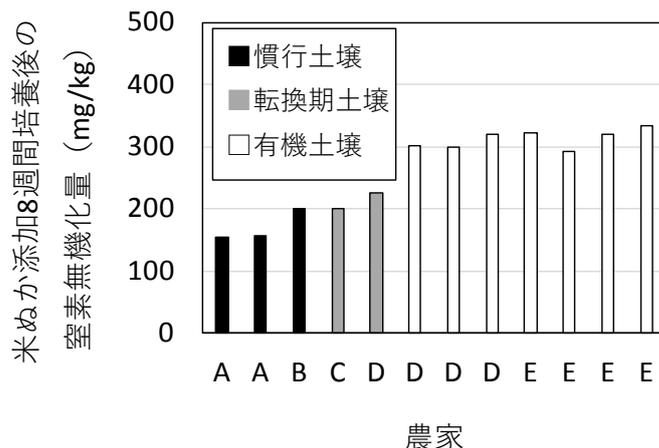


図5-1 土壌に添加した米ぬかから8週間で無機化した窒素量

米ぬかから無機化した窒素量は、米ぬかを添加して培養した土壌に含まれる無機態窒素量から米ぬかを添加せずに培養した土壌に含まれる無機態窒素量を差し引いた値

添加した米ぬかの全窒素量は、土壌 kg あたり 860 mg であり、米ぬかの窒素無機化率は、約 430 mg kg^{-1} で 50%

米ぬかからの窒素無機化が早かった農家 D の有機土壌と、隣接する農家Aの慣行土壌(米ぬかからの窒素無機化が遅かった)に、米ぬかの他、各種ボカシや堆肥などを添加して培養した結果、米ぬかでは、図5-1の試験と同じように、有機土壌で無機化が早く進むことが再確認されました。さらに、実際の有機栽培で用いられるボカシや家畜ふん堆肥でも、米ぬかで窒素の無機化が早いと評価された土壌では、無機化が早く進み、米ぬかで無機化が遅いと評価された土壌では、無機化が遅いことが確認できました(図5-2)。

このことから、米ぬかなどをモデル有機物に、有機物からの窒素無機化の遅速を評価することで、実際に有機農家が使う有機物でも、その窒素が効きやすい土壌か、効きにくい土壌であるのかを評価できる可能性が示されました。今後、有機栽培転換初期に施用有機物からの窒素が効きにくい土壌かどうかを判定することにより、施用有機物から窒素が無機化しにくい土壌では、転換初期には分解しやすい有機物を利用するなど、転換初期の窒素不足による低収を軽減する技術につながることを期待されます。

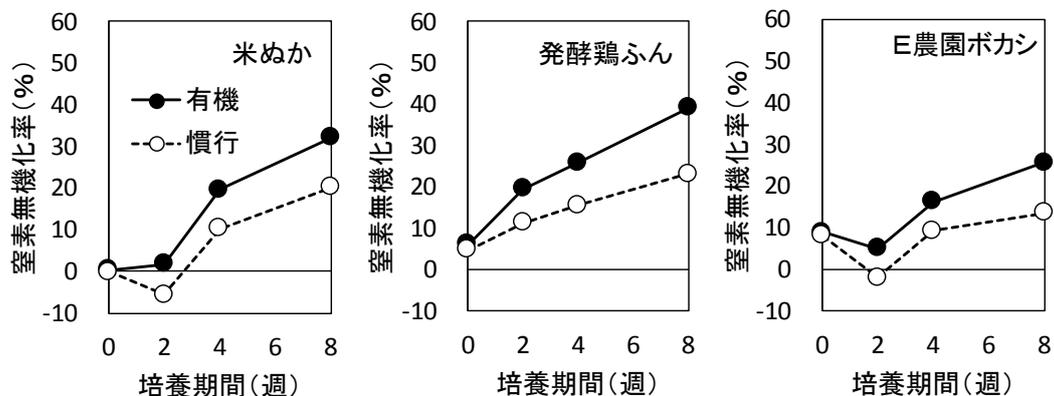


図5-2 有機および慣行栽培の土壌における各種有機質資材の窒素無機化率の経時変化

窒素無機化率は、施用した有機物に含まれる全窒素のうち、培養期間で無機化した割合
モデル有機物である米ぬか、1種類の発酵鶏ふん、1種類のボカシの例
有機土壌は、図5-1の農家 D、慣行土壌は農家Aの土壌

(2) つくば市内露地野菜農家圃場における調査事例

農家 C、E および F の土壌について、プロテアーゼ生産細菌群集構造の経年変化を解析しました(図5-3)。クラスター解析の結果、大きくふたつのクラスターに分かれました。農家 E の土壌は長期間安定した栽培を行っている有機栽培圃場から採取した土壌ですが、ひとつのクラスターにまとまりました。もうひとつのクラスターは、農家 C と農家 F、すなわち近年有機栽培を開始した圃場より採取した土壌です。詳細に見てみると、農家 C については、有機栽培7年目になっても、農家Eの安定した有機栽培土壌とは群集構造は大きく異なっています。一方、農家 F については、有機栽培開始3年目で、群集構造は農家Eの土壌に近づいてきました。以上より、有機栽培開始に伴うプロテアーゼ生産細菌群集構造の変化は、土壌あるいは農家によって異なることが示唆されました。このことが有機栽培開始に起こりうる低収期間と関係があるのか、今後明らかにする必要があります。

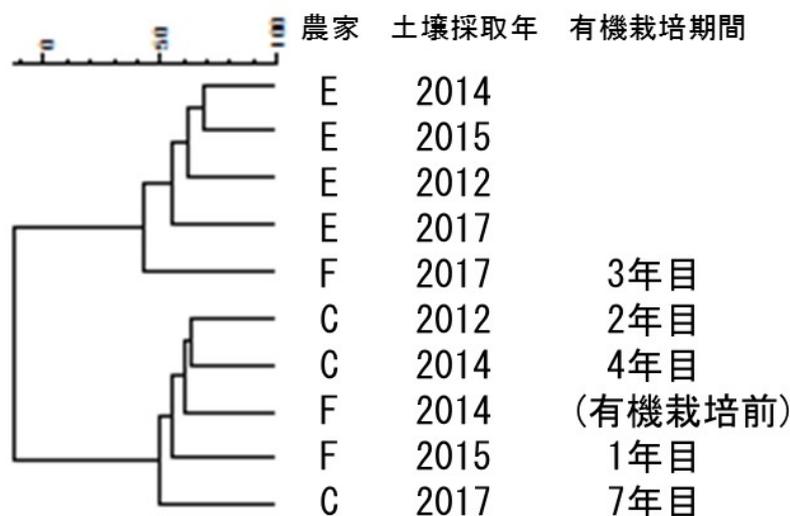


図5-3 有機栽培に伴うプロテアーゼ生産細菌群集構造の変化

(3) 土壌管理履歴の異なる農家圃場における調査事例

長野県塩尻市および茨城県石岡市の土壌について、有機栽培と慣行栽培におけるプロテアーゼ生産細菌群集構造の比較を行いました。

クラスター解析の結果、有機と慣行で農家が異なる長野県塩尻市の場合、群集構造は農法で分かれる傾向がありました(図5-4左)。一方、同一農家の農法が異なる圃場より土壌を採取した茨城県石岡市の場合、群集構造に対する農法の影響は認められませんでした(図5-4右)。以上のことから、プロテアーゼ生産細菌群集構造は、有機と慣行といった農法ではなく、肥培管理により影響を受けることが示唆されました。

4. 要約

有機・慣行・有機転換中畑圃場のN無機化能を米ぬか添加培養実験等により評価しました。各種有機質資材からのN無機化能の評価については、米ぬかを添加した時のN無機化能に基づき概ね判定できます。

プロテアーゼ生産細菌群集、酵素活性、土壌理化学性等について、有機圃場と慣行圃場の比較や有機栽培期間との関係を解析しました。安定した有機栽培圃場の生物的指標については、安定した有機栽培圃場に特徴的なDGGEバンドの経年変化という指標候補を見出すことが出来ました。この指

標候補は限定された有機栽培農家圃場の調査より見出されたものであり、今後は、他地域等の調査を行うことにより、適用範囲を明らかにする必要があります。

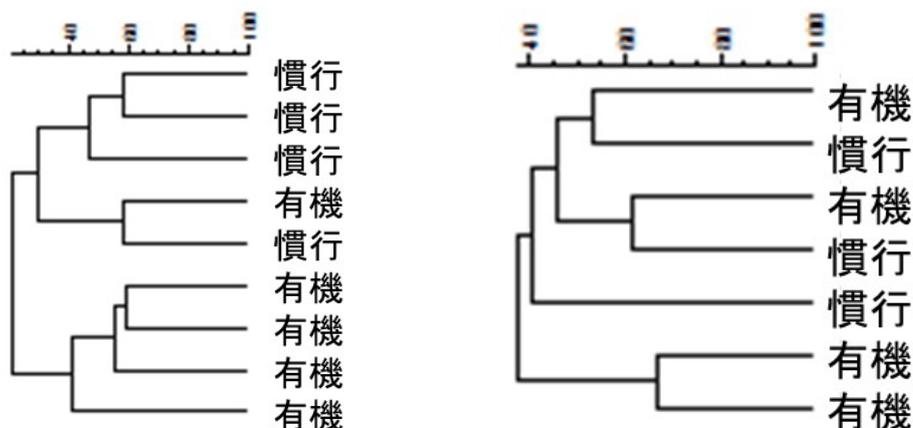


図5-4 有機栽培圃場と慣行栽培圃場におけるプロテアーゼ生産細菌群集構造の比較

左:有機栽培と慣行栽培で農家が異なる場合(長野県塩尻市)

右:同一農家が同等の肥培管理を行っている場合(茨城県石岡市)

5. 引用文献

荒巻幸一郎・山本富三・小山太・渡邊敏朗・荒木雅登・満田幸恵 (2007) 県内産家畜ふん堆肥の窒素無機化特性. 福岡県農業総合試験場研究報告, **26**,35-40

Clark MS, Horwath WR, Shennan C, Scow KM, Lantni WT, Ferris H. (1999) Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **73**,257-270

唐澤敏彦・長岡一成・浦嶋泰文・橋本知義 (2018a) 有機栽培野菜畑土壌における施用有機物の窒素無機化特性 I. 有機栽培・転換中・慣行栽培の土壌に添加した米ぬかからの窒素無機化量の違い. 土肥誌 (印刷中)

唐澤敏彦・須賀有子・浦嶋泰文・橋本知義 (2018b) 有機栽培野菜畑土壌における施用有機物の窒素無機化特性 II. 有機・慣行栽培の土壌における窒素無機化量の資材間の比較. 土肥誌 (印刷中)

早野恒一 (1995) 耕地土壌の窒素地力とプロテアーゼ. 化学と生物. **33**,173-180

Sakurai M, Suzuki K, Onodera M, Shinano T, Osaki M. (2007) Analysis of bacterial communities in soil by PCR-DGGE targeting protease genes. *Soil Biology & Biochemistry*, **39**,2777-2784

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, **485**,229-232

6. 執筆担当者一覧

長岡一成、唐澤敏彦、須賀有子、橋本知義

7. 問い合わせ先

農研機構中央農業研究センター Tel:029-838-8481

第3節 リンゴ有機栽培実践園における病害虫発生抑制機構の解明と生物指標を用いた圃場評価法の開発

1. リンゴ有機栽培実践園の病害虫防除体系を再現した試験圃場における病害虫発生抑制要因の解析

(1) 課題の背景・目的

リンゴの有機栽培は極めて困難と考えられていますが、あるリンゴ園(K園)では食酢の定期散布等を中心とした病虫害対策で40年近く、全くの無農薬・無肥料(堆肥含む)栽培が継続されており、特筆に値します。そこで、K園における栽培管理方式を模倣した区画(K園模倣園)を農研機構果樹茶業研究部門リンゴ研究拠点内に設け、K園に見られる病害虫発生抑制効果がK園以外でも短期間に再現可能なものであるかどうかを検証すると共に、防除資材としての食酢の効能を含めた病害虫発生抑制要因を検討しました。

(2) 試験方法

1) 試験区的设计

果樹茶業研究部門リンゴ研究拠点圃場の5号園内に2009年度から以下の2つの試験区(転換前は慣行防除実施)を設置し、2015年度までの7年間にわたって各試験区における病害虫発生状況及び樹体生育状況等を調査しました。

① 試験区A(面積約5a×3区画):

1区画あたり34年生ふじ及びスターキング・デリシャス(S.D)各2~4本(4本×2列、M9台)を供試しました。3区画の耕種概要は下記のとおりです。

・K園模倣(食酢)区A:無肥料、無農薬、スピードスプレーヤー(SS)等の大型機械不使用を基本。冬季剪定実施(拠点内慣行)。徒長枝切りや落葉処理は未実施。

病虫害防除は0.4%小麦粉糊を添加した食酢(ミツカン清泉15、酸度15%)希釈液の手散布(開花直前、落果直後、以降約10日間隔で9月中旬まで計13~16回、2009年:×200~800、2010及び2011年:×100~500、2012年:×100~300、2013年:×100~200、2014及び2015年:×100を散布。2014及び2015は開花前にも×50を1回散布)によりました。

摘果は6月上旬、シンクイムシ類防除を主目的とした果実への袋掛け(ハترون紙袋使用、2012年のみ二重袋使用)は、6月19日(2009年、ふじ及びS.Dの一部果実のみ)、6月24日(2010年)、6月14日(2011年)、6月7日(2012年)、6月13日(2013及び2014年)、6月15日(2015年)、除袋は9月末に行いました。

また、2009年6月18日には土壌改良を目的として列間及び列外に2.2m幅で大豆及び小麦の種子を、2010年4月15日及び5月14日には小麦の種子のみを同様にバラ蒔きして生育させました。

除草は、2009年は大豆及び小麦の播種前に1回、2010年は実施せず、2011年以降は7月下旬頃から背丈が高くなりすぎて管理の邪魔になる草種のみ切除し、9月上~中旬に肩掛け草刈り機で圃場全面の雑草を刈り取りました(刈った草は区画内に放置)。

・無散布(無農薬)区:食酢散布なし。他は全てK園模倣区と同じ管理

・慣行散布区A:リンゴ研究拠点の慣行管理(袋掛けなし)を行い、病虫害防除はSSによる化学合成農薬散布を年間10~11回実施(4月中旬から9月中旬まで約15日間隔)。

② 試験区B(面積約7.5a×2区画):

1区画あたり22年生ふじ、つがる、王林等の8品種、各2~4本(8本×4列、M9台)を供試しました。2区画の耕種概要は下記のとおりです。

・K園模倣(食酢)区B:栽培管理はK園模倣区Aと同じです。但し、2009及び2010年は袋掛けを実施しませんでした。また、早生品種の除袋は8月末~9月始めに実施しました。

・慣行散布区B:慣行散布区Aと同じです。但し、薬剤防除は手散布で実施しました(隣接区画へのドリフト防止のため)。

2) 害虫の発生調査

発生調査は試験区Aにて実施しました。K園模倣区にモモシンクイガ、ナシヒメシンクイ、スモモヒメシンクイ、モモノゴマダラノメイガ、キンモンホソガ、ナシマルカイガラムシのフェロモントラップを設置し、7日毎に誘殺数を調査しました。ナシマルカイガラムシに関しては枝に両面テープを巻き付け歩行幼虫の捕獲調査も行いました。

ハダニ類の調査は各試験区から毎週 30 葉を採集し、ブラッシング法により葉上のハダニ類およびカブリダニ類の種類と生息数を調査しました。

2011 年および 2012 年には 5 月下旬～10 月下旬に 3 週間ごとに害虫の見取り調査(各区 8 樹、30 新梢/樹)を行いました。

3) 樹体生育及び果実品質調査

試験区A及びBの各試験区画において、幹周増加量、側枝先端新梢長、頂芽花芽分化率、葉色、比葉重、果実収量、果実品質の 7 項目について調査しました。

4) 褐斑病及び果実病害に対する食酢等の防除効果の検討

2009 年より、別圃場(8 号圃)の 32 年生マルバ台紅玉を供試し、食酢(ミツカン清泉 15)の希釈液(×50、×100、×250)および農業用玄米酢(バイオトップ、飯尾醸造)の希釈液(×100)散布区を適宜設け、落花直後から 8 月下旬まで約 10 日間隔で 9～10 回連続手散布して、これらの褐斑病、すす斑病、すす点病、黒点病に対する防除効果を検討しました。果実は無袋としました。

5) 果実袋の種類が果実病害の発生程度に及ぼす影響の検討

K園模倣区A内の S.D、あるいは(4)の試験の対照区として設けた無散布区(殺虫剤のみ5～6月に3回散布)内において、2種類のハترون紙袋(袋内が高湿条件になることを防ぐために袋下部の両端をわずかに切除したものとそうでないもの)、新聞紙袋及び2種類の防菌一重袋の計4種類の果実袋を供試し、袋掛に用いる果実袋の種類が果実病害(黒点病、すす斑病、すす点病等)の発生程度に及ぼす影響を検討しました。

(3) 結果

1) K園模倣区における病害発生状況(図6-1)

転換1年目(2009年)は、K園模倣区A、Bの両区において、黒星病、斑点落葉病、褐斑病、黒点病、すす斑病、すす点病が多発しました。特に、褐斑病による早期落葉や果実病害(黒点病、すす斑病、すす点病)による果面の汚れが顕著で、収穫果実の市場価値はありませんでした。以上の状況は無散布区とほぼ同じでした。

2年目(2010年)は、散布食酢濃度を前年より約2倍濃くしたが、前年とほぼ同様の発生状況でした。

3年目(2011年)も、黒星病、褐斑病が多発し(斑点落葉病は少)、褐斑病による早期落葉が顕著でしたが、10月上旬でも徒長枝を中心に葉がある程度残存し、過去2年とは少し様相が異なりました。収穫果実においても黒点病、すす斑病等による果面の汚れが一般市場では無視できないレベルであり、問題があると考えられました。

4年目(2012年)においても、なお、黒星病および褐斑病が多発し、褐斑病による早期落葉が顕著でしたが、10月に入っても徒長枝を中心に3年目よりもさらに葉が残存する傾向が認められました。この現象を試験区Aの無散布区とK園模倣区で比較すると、後者でより顕著でした。収穫果実における黒点病、すす斑病等の発生は少なく、果面は比較的きれいでした。

4年間の発生状況を病害別に見ると、黒星病は転換後年数とともに漸増、褐斑病はほぼ横ばいでしたが、転換3年目あたりから落葉程度が少しづつ緩和されている傾向が観察され、斑点落葉病や果実病害(黒点病、すす斑病、すす点病)については転換後年数の経過とともに発病程度が軽くなる傾向が認

められました。

しかしながら、このような発病程度が軽くなる傾向も 5 年目以降は認められなくなり、結局、試験期間(7 年間)を通して、毎年、褐斑病等が多発して早期落葉し、花芽形成や果実品質等に大きく影響しました。

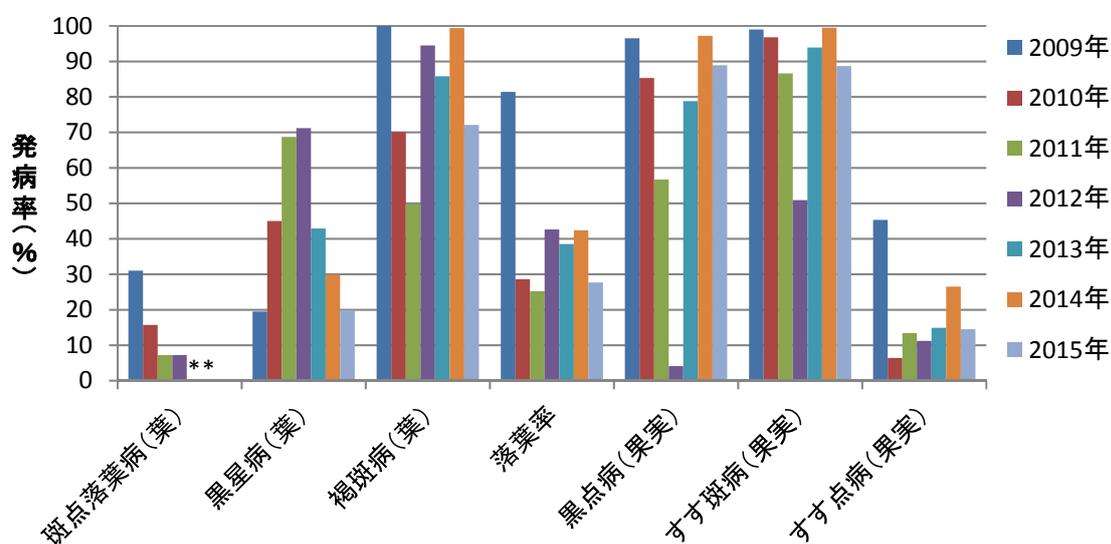


図6-1 K園摸倣区Aにおける病害発生状況(品種:ふじ)

各病害の調査日等は次のとおり

- 2009:斑点落葉病 8/4、黒星病 8/3、褐斑病&落葉率 9/25、
果実病害 11/12 収穫後(被袋期間 6/19~9/30:ハトロン紙袋)
- 2010:斑点落葉病 8/9、黒星病 7/6、褐斑病&落葉率 8/25、
果実病害 11/11 収穫後(被袋期間 6/24~9/29:ハトロン紙袋)
- 2011:斑点落葉病 9/7、黒星病 8/2、褐斑病&落葉率 9/9、
果実病害 11/14 収穫後(被袋期間 6/14~9/27:ハトロン紙袋)
- 2012:斑点落葉病 9/4、黒星病 7/30、褐斑病&落葉率 9/6、
果実病害 11/14 収穫後(被袋期間 6/7~10/2:二重袋)
- 2013:斑点落葉病 調査せず、黒星病 7/30、褐斑病&落葉率 9/5、
果実病害 11/18 収穫後(被袋期間 6/13~9/26:ハトロン紙袋)
- 2014:斑点落葉病 調査せず、黒星病 7/28、褐斑病&落葉率 9/4、
果実病害 11/14 収穫後(被袋期間 6/13~9/29:ハトロン紙袋)
- 2015:斑点落葉病 調査せず、黒星病 7/31、褐斑病&落葉率 9/3、
果実病害 11/18 収穫後(被袋期間 6/15~9/29:ハトロン紙袋)

2)K園摸倣区における虫害発生状況(試験区A)

リンゴの最重要害虫であるモモシクイガの越冬世代成虫の初発生は 6 月上旬、発生盛期は越冬世代が 6 月下旬、第1世代成虫の発生盛期は 7 月下旬から 8 月上旬でした。転換1年目(2009 年)にモモシクイガの成虫発生は少なかったのですが、2 年目(2010 年)、3 年目(2011 年)に成虫発生が激増しました。3 年目に果実被害回避のため袋掛けを徹底したことにより、4 年目(2012 年)以降成虫発生は漸減しました(図6-2)。モモシクイガ以外にナシヒメシクイ、スモヒメシクイ、モモノゴマダラノメイガもフェロモントラップに誘殺されましたが、誘殺数は少なくなりました。

ナシマルカイガラムシの雄成虫の発生は 8 月上旬から下旬、9 月中旬頃に多くみられました。歩行幼虫は 7 月上旬および 8 月下旬に発生が多く見られました。歩行幼虫の発生量は年々増加し、2012 年の発生量は 2010 年の約 68 倍でした。そのため果実寄生による被害も多くなりました。

K園摸倣(食酢)区で発生するハダニ類の優占種は 2010 年までリンゴハダニでしたが、2011 年以降はアウトウハダニに代わりました。発生数は少なく問題にはなりませんでした。

見取り調査では多くのチョウ目害虫が見られました。害虫の発生数、種類数とも 2011 年よりも 2012 年が多くなりました。2012 年 5 月にはリンゴハマキクロバの幼虫が大発生し、新芽、花芽の食害が問題となりました。本害虫は有効な防除法がないため、これ以降毎年問題になりました。

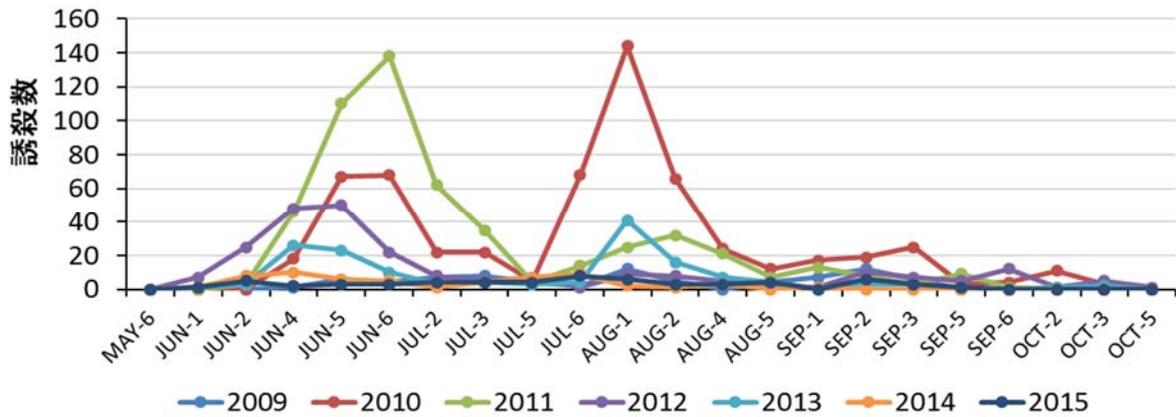


図6-2 フェロモントラップによるモモシキイガの発消長

3) 樹体生育および果実品質

転換 2 年目(2010 年)には、K園摸倣区A、B及び無散布区において、ほとんどの品種の頂芽花芽分化率が 20%以下と花芽数が極めて少なく結実数が激減しました(慣行防除区はジョナゴールド及び S.D を除いて 50%以上)。3 年目(2011 年)にはK園摸倣区のみ(摸倣区Aで 32.4%)を除いて花芽分化率 80%以上とほぼ回復しましたが、4 年目(2012 年)には2年目ほどではないが、再度、花芽数が減少しました(ふじ 45.4%、S.D 48.1%)。また、K園摸倣区の 1 花そう内花数は全ての品種において慣行防除区より有意に少なくなりました。

果実品質については、慣行防除区の果実と比較すると試験期間(7 年間)を通じて、K園摸倣区及び無散布区ともに収量が劣り、果実サイズも有意に小さく糖度も低くなりました。

4) 食酢の病害防除効果

試験区Aを対象に、K園摸倣区における各病害の防除価を、無散布区の各病害の発病率あるいは発病度を基準として算出しました(図6-3)。K園摸倣区と無散布区の差異は食酢散布の有無のみであることから、この防除価は食酢の各病害に対する防除効果と考えられます。転換後 7 年目までの防除価は斑点落葉病で 0~50.8、黒星病で 0~53.3、褐斑病で 0~38.7、黒点病で 0~30.4、すす斑病 0、すす点病 0 でした。

別圃場(8 号圃)の紅玉を用いた防除効果試験では、食酢希釈液(×100、×250)の防除価は褐斑病に対して 0、黒点病 40~50、すす斑病 38~43、すす点病 65~88 であり、農業用玄米酢(バイオトップ)(×100)では褐斑病に対して 0、黒点病 33、すす斑病 0、すす点病 0 でした。

また、食酢(×100)へ小麦粉糊(0.4%)を添加することによる防除効果の亢進は認められませんでした。

なお、散布可能な食酢の希釈倍数は×100 程度以下であり、×50 以上では新梢(葉)に薬害を生じました。

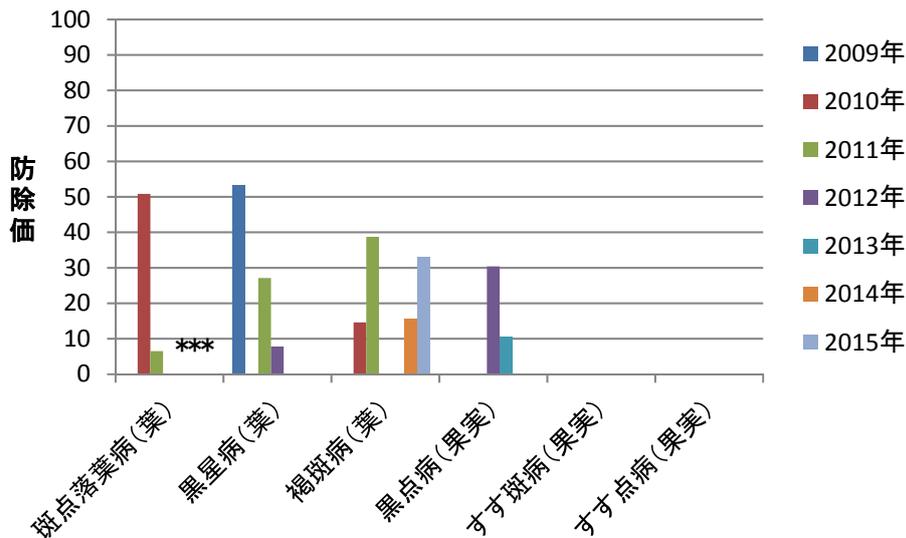


図6-3 食酢による病害防除効果(K園摸倣区A、品種:ふじ)

1) 防除価は無散布区の値を基準にして算出(果実は有袋果)

5) マシン油の発芽前1回散布のナシマルカイガラムシに対する防除効果

転換後の年数経過につれて被害が増加したナシマルカイガラムシに対しては、発芽前1回(4月上旬)のマシン油(×50)散布が有効であり、転換5年目(2013年)に実施したところ、転換4年目(2012年)の被害果率21.2%が1.1%に激減しました。これ以降、発芽前にマシン油を散布することにより転換6年目(2014年)および7年目(2015年)の被害果率はそれぞれ0%、0.2%になり、防除効果が確認されました。

6) 果実袋のシンクイムシ類に対する防除効果

1年目(2009年)はモモシンクイガの越冬世代成虫の発生が少なかったため、K園摸倣(食酢)区、無散布(無農薬)区とも被袋果実に被害はありませんでした。しかし試験園内の無袋の果実では被害が多くみられ、それらが越冬したことにより、2年目(2010年)は越冬世代の成虫が多発生しました(図6-2)。さらに袋掛が6月24日と遅くなったため、袋掛前に産卵された果実が多く、果実被害が多く発生しました。そのため第1世代成虫の発生も多くなりました。3年目(2011年)は越冬世代成虫が2年目よりも多く発生しましたが、袋掛時期を早めたため被害が2年目よりも少なくなりました。この年より試験園全体のモモシンクイガの密度を下げるため、被袋漏れがないよう徹底したことにより、第1世代成虫の発生は減少しました。4年目(2012年)は越冬世代成虫の発生が少なく、また前年同様袋掛時期を早くしたため、モモシンクイガによる果実被害はほとんどなく、5年目(2013年)以降も同様にモモシンクイガによる果実被害はほとんどありませんでした(図6-4)。

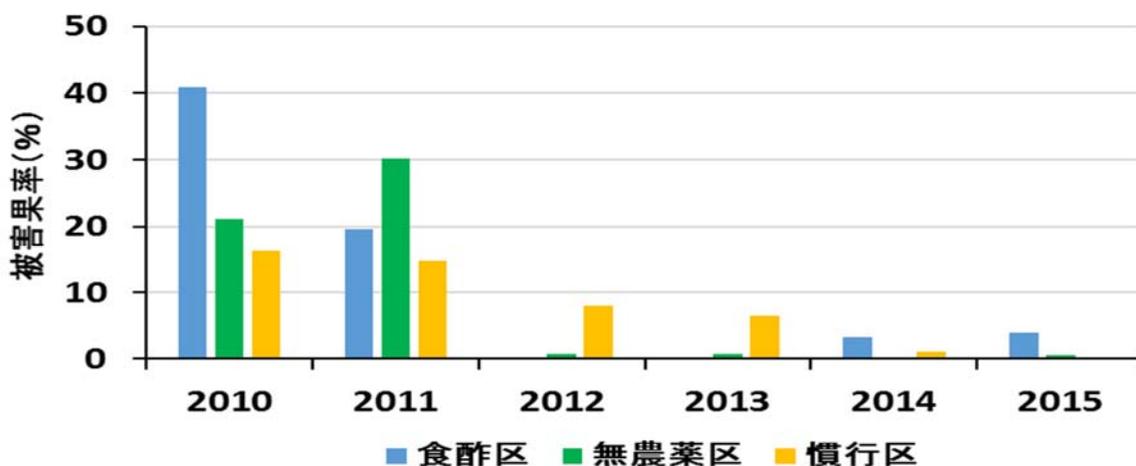


図6-4 シンクイムシ類による果実被害(品種:ふじ)
1)食酢区、無農薬区は有袋果、慣行散布区は無袋果

7) 果実袋の種類が果実病害の発生程度に及ぼす影響

防菌一重袋Aとハトロン紙袋を比較すると、黒点病、すす斑病、すす点病のいずれの病害でも防菌一重袋Aの防除効果が優れていました。特に、すす斑病やすす点病の発生は防菌一重袋Aでは極めて少なく、ハトロン紙袋との差が大きくなりました。同様の結果は新聞紙袋との比較でも認められました。

また、防菌一重袋Bでもハトロン紙袋に比べて黒点病、すす斑病、すす点病に対する防除効果が優っていました(図6-5)。ハトロン紙袋への切込みの有無の影響は、袋掛の効果の方が大きく、今回ははっきりしませんでした。

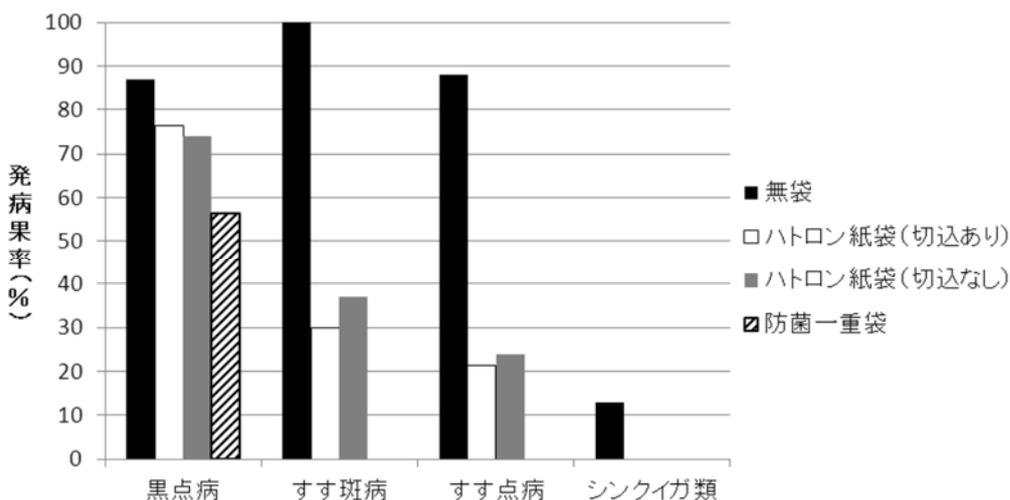


図6-5 果実病害発生程度に及ぼす果実袋の種類の影響(2012年、品種:紅玉)

- 1) 殺菌剤無散布の35年性マルバ台紅玉を供試(3樹)し、収穫後に調査。
被袋期間:7/4~9/12。収穫日:9/12
- 2) 殺虫剤は5/24にダズバンDF(×3000)、6/8にスプラサイドWP(×1500)、6/22にパーマチオンWP(×1000)を散布

(4) 考察

1) K園摸倣区における病害発生状況

平良木ら(1993)は、通常の年間散布回数の半分にあたる 6~7 回の減農薬栽培中のふじ(25 年性)を供試して 1 年間だけ無農薬栽培(無袋)を実施し、黒星病、斑点落葉病、褐斑病、すす斑病、すす点病、輪紋病、リンゴハダニ、モモシクイガが多発し、早期異常落葉して商品となる果実は皆無であったことを報告しています。K園摸倣区も転換 1 年目はこれとほとんど同じ状態でしたが、転換 3 年目あたりから落葉程度が少しずつ緩和されている傾向が認められました。また、斑点落葉病や果実病害(黒点病、すす斑病、すす点病)についても転換後年数の経過とともに発病程度が軽くなる傾向がありました。しかしながら、このような傾向は 5 年目以降は認められなくなり、結局、試験期間(7 年間)を通して、毎年、褐斑病等が多発して早期落葉し、花芽形成や果実品質等に大きく影響しました。この結果から、K園における栽培管理方式を摸倣しただけでは汎用性のあるリンゴ有機栽培技術の確立は困難と判断されました。

2) K園摸倣区における虫害発生状況(試験区A)

リンゴの有機栽培開始 1 年目では被袋果実にモモシクイガによる被害は見られませんでした。園内に無袋の果実を残すと、それらが増殖源となり、2 年目以降被害が増加することが明らかになりました。リンゴの有機栽培でモモシクイガの被害を回避するためには、モモシクイガの越冬世代成虫の発生時期を正確に把握し、成虫が発生する前に袋掛すること、さらに増殖源を除去する意味で園内の全果実に袋掛することが重要です。

シクイムシ類以外で問題になった害虫はナシマルカイガラムシとリンゴハマキクロバでした。ナシマルカイガラムシは密度が高くなると果実被害や樹勢低下など深刻な被害がみられ、殺虫剤無散布条件下では、その密度は年々指数関数的に増加することが報告されています(新井ら、2011)。有機栽培開始 4 年目で要防除水準を超える状況になったため、越冬期のマシン油乳剤による防除が必要です。4 年目に大発生したリンゴハマキクロバが春先に新芽、花芽を食害したため、樹によっては深刻な状況となりました。有機栽培では有効な防除手段がなく、被害軽減のため物理的防除として捕殺を行っているのが現状です。

3) 樹体生育および果実品質

転換 2 年目にはK園摸倣区A、B及び無散布区において花芽数が激減しましたが、平良木ら(1993)も同様の現象(花芽分化率 16%弱)を観察しており、これは前年の激しい早期落葉の影響と考えられます。その後も、1花そう内花数が慣行防除区より有意に少ないことから、8 月以降の早期落葉が花芽の充実に与える影響が大きいと考えられます。

4) 食酢の病虫害防除効果

無散布区における病害発生程度を基準として、K園摸倣区における各病害について防除価を算出した場合、年度によって値がばらつきましたが、最高でも防除価 50 以下でした。また、散布可能な食酢の最高濃度と考えられる 100 倍希釈液連続散布の防除効果も防除価 50 以下であり、食酢の各種病害に対する防除効果は皆無ではないが、ほとんど期待できないと考えられました。各種害虫についても同様でした。

5) 果実袋の種類が果実病害の発生程度に及ぼす影響

袋掛けによる果実病害発生抑制効果は高く、特に防菌一重袋を使用した場合に顕著でした。K園では、すす斑病及びすす点病の発生がほとんど認められませんが、例年、モモシクイガ防除を目的に袋掛けが実施されており、これが果実病害発生抑制要因の一つと考えられます。

6)有機 JAS 農法による技術開発の可能性

花岡ら(2014)は有機 JAS 農法による食味の良い果実生産の可能性を示唆しており、今後は有機 JAS 規格に合わせた技術開発が必要と考えられます。

2. リンゴ有機栽培実践圃における生物指標を用いた圃場評価法の開発

(1) 課題の背景・目的

無農薬・無化学肥料で自然栽培を30年以上継続しているリンゴ園(K園)及びその模倣園を主対象に、定期的な病害虫発生調査と葉圏・根圏の表在性及び内生微生物相の調査・分析を実施し、有機或は自然栽培リンゴ園を特徴づける微生物的指標を抽出・策定しました。また、それまで4年間継続調査した盛岡市果樹研究所内に設置したK園模倣区の5年目以降の病害虫発生状況の経年調査や有機・自然栽培リンゴ園に特徴的な微生物種と主要病原菌の相互作用を調査し、有機栽培実践圃における病害虫発生抑制機構を分析しました。

(2) 試験方法

1) 調査圃場概要

2013年～2015年の3年間、K園、K園の隣接圃に設けられたK園模倣園、岩手県盛岡市果樹研究所のK園模倣区、慣行防除区、及び無散布区を継続して調査対象圃としました。2014年度はそれに加えて、青森県黒石市の自然栽培圃、青森県藤崎町のJS有機栽培圃(石灰硫黄剤、石灰水和剤、ICボルドー、コンフューザーR等を使用)、岩手県遠野市のK園模倣園(9年目)と隣接の慣行防除区(減農薬圃)、長野県中野市のK園模倣圃と隣接の慣行防除区、弘前大学農学生命科学部附属生物共生センター内の慣行防除区、黒石市青森県りんご試験場内の慣行防除区を調査しました。

2) 分析方法

① K園の病害発生状況

K園・模倣圃及び対照慣行防除圃の病害虫発生状況を年度毎に以下のように調査しました。

2013年は6月～11月まで毎月1回、K園、隣接慣行防除圃(O園)、及び果樹研りんご拠点内に設置したK園模倣区(5年目)、K園模倣区(1年目)、無散布区(5年目)、慣行防除区の各圃地3樹(品種、ふじ)の黒星病、斑点落葉病、褐斑病など主要病害の発生状況と落葉程度を調査し、圃地間の違いを分析しました。

2014年度は、過去5年間の分析データに基づき、りんご葉面微生物相が最も多様かつ豊富になる9月上旬にK園、K園の隣接圃に2014年度から設けられたK園模倣圃、青森県黒石市の自然栽培圃、青森県藤崎町のJS有機栽培圃(石灰硫黄剤、石灰水和剤、ICボルドー、コンフューザーR等を使用)、岩手県盛岡市果樹研究所のK園模倣区(6年目と2年目)、岩手県遠野市のK園模倣圃(9年目)、長野県中野市のK園模倣圃の合計7カ所の自然栽培圃及びその模倣区、及び各々の比較対照区としてK園隣接圃の特別栽培圃、藤崎町弘前大学農学生命科学部附属生物共生センター内の慣行防除区、黒石市青森県りんご試験場内の慣行防除区、盛岡市果樹研究所内の慣行防除区、遠野市K園模倣圃隣接の慣行防除圃(減農薬圃)、長野県中野市のK園模倣圃隣接の慣行防除圃の病害発生状況を調査しました。

2015年度は、過去6年間の分析データに基づき、また2014年度はりんご葉面微生物相が最も多様かつ豊富になる9月上旬にK園及び比較対照圃の病害発生状況を調査したので、K園がこれまでの分析で最も特異な微生物相を示している8月上旬に焦点を当てて、K園及びその模倣圃、すなわちK園、K園に隣接して2014年度から設置されたK園模倣2年目圃、盛岡市果樹研究所りんご研究拠点内に設置されたK園模倣区(7年目と3年目)、無散布区(7年目)、及び慣行防除区の病害発生状況を調査しました。

②K 園リンゴ葉面微生物相の年次・季節変動の特徴ーリンゴ葉圏主要真菌・細菌類マクロアレイ分析

定期的に K 園、模倣園及び対照慣行防除園からリンゴ葉を採集し、マクロアレイ法でリンゴ葉圏主要微生物相の動態を分析し、リンゴ葉面微生物の多様性を解析することで、K 園を特徴付ける微生物的指標を抽出しました。

2013 年度は 6 月～11 月まで毎月 1 回、2014 年度は 9 月上旬、2015 年度は 8 月上旬に上記①のように病害発生状況を調査した際に、調査園の対象樹から以下のようにリンゴ葉を採集し、マクロアレイ法を行い、各園地間のリンゴ葉圏主要微生物の動態を分析しました。

具体的には、各調査対象園のリンゴ樹(品種:ふじ)3 樹を選定し(毎年固定)、各樹の 1 m、1.5 m、2 m くらいの高さの位置からそれぞれ葉を 3 枚ずつ採取し、それを 1 樹につき 3 か所で繰り返しました。すなわち、1 樹で合計 27 枚の葉を採集しました。これをひとまとめにして研究室に持ち帰り、500 ml の蓋つきのプラスチックボトルに入れて、100 ml の滅菌蒸留水を加えて冷室(4℃)で 1 時間激しく振とうしました。溶液を回収して 12,000×g、10 分間遠心分離して、葉面微生物が含まれている沈殿を回収しました。沈殿は適量の滅菌蒸留水に溶解後、市販の核酸抽出試薬キット(ISOPLANT II、ニッポンジーン等)を用いて DNA を抽出しました。この DNA をマクロアレイ法で分析して、その中に含まれている菌類、細菌類の種類と相対量を測定しました。リンゴ主要葉圏微生物診断マクロアレイ法はリンゴの葉圏に生息する主要な微生物種(菌類と細菌類それぞれ 20 種程度)に関して、その存在量を網羅的に解析することが出来る実験手法です。上記のように抽出した DNA 試料から、真菌類の場合はリボソーム DNA の ITS 領域、細菌類の場合はリボソーム RNA をコードする遺伝子の一部の配列をそれぞれ PCR 法で増幅し、試験管内で相補的 RNA に転写しました。この時にジゴキシゲニンで標識されたヌクレオチドを相補的 RNA の中に取り込ませると葉面微生物由来の RNA プローブができあがります。一方、ナイロン製のメンブレンにリンゴの葉圏に生息することがわかっている主要な微生物種の特徴的遺伝子配列を有する短い DNA 断片(アレイと呼びます)を縦横等間隔で整然とスポットしたものを作成し、これにジゴキシゲニン標識した葉面微生物由来の RNA プローブをハイブリダイズさせることにより、当該微生物種の有無及び存在量を解析することができます。詳細は He et al. (2012)を参照してください。

③自然栽培リンゴ園における病害抵抗性の品種間差異とリンゴ内生菌の分析

K 園で栽培されているリンゴ 3 品種(ふじ、王林、紅玉)の斑点落葉病に対する抵抗性の差を接種試験と圃場での罹病度の観察から調査し、品種間差異の原因を解析しました。3 品種各 6 本のリンゴ苗を 4 月中旬に K 園に移植しました。その後、6 月 25 日に斑点落葉病菌の胞子を接種し、病害度を 9 月に調査しました。また、リンゴ園の成木についても、1 品種 3 個体について葉の病斑面積から病害度を調査しました。また、各品種の葉について DNA を抽出し、リアルタイム PCR 法を用いて斑点落葉病菌の密度を調査しました。

④K 園に特徴的な *Pseudomonas* 属細菌の動態

2013 年度は 6 月～11 月まで毎月 1 回、2014 年度は 9 月上旬、2015 年度は 8 月上旬に上記①のように病害発生状況を調査した際に、調査園の対象樹から以下のようにリンゴ葉を採集し、*Pseudomonas* 属細菌を分離培養し、季節変動とその生息量の特徴を解析することで、K 園を特徴付ける微生物種を策定しました。

上記の②のマクロアレイ法の時と同様の手順で各園からリンゴ葉を採集し、27 枚をひとまとめにして 500 ml のプラスチックボトルに入れ、200 ml の抽出緩衝液(0.85% NaCl, 0.01% Tween 20)を加えて、4℃で 1 時間振とうしました。上清約 50 ml を新しい 50 ml チューブに移し、原液 1 ml を *Pseudomonas* 選択培地にプレーティングして、25℃で培養し、24 時間後と 48 時間後にコロニー数を計測しました。培養実験は 3 回繰り返して行いました。

(3) 結果

1) K園の病害発生状況

2013年度は、K園では病害発生が少なく、春先にモニリア病の発生がありましたが、9月に至るまでほとんど黒星病の発生が見られない状態で推移しました。斑点落葉病が8月になって目立つようになり、8月初旬で30%の葉に病斑が見られましたが、病斑数は発病葉当り数個程度と軽度でした。9月初旬の調査時点でも依然として病害の発生程度は低く、健全葉率は約50%でした。褐斑病の微小な斑点が約40%の葉に見られたが、まだ落葉するほどには達していませんでした。すなわち、9月上旬時点までK園はこの数年間で最も病害発生が少ない状態で「つがる」などの早生品種の収穫期を迎えました。

一方、K園模倣区(5年目と1年目)では7月初旬時点で黒星病の発病葉が約20-25%、8月になると斑点落葉病及び生理障害による葉焼け症状の発生も約30%の葉に見られ、結果枝で落葉も始まりました。K園模倣1年目区では5年目区及び無散布区と比べて黒星病の発生が多く見られ、発病葉率は約50%に達しました。9月初旬時点で、落葉率は約15~45%に達し、一方、健全葉率は数~15%でした。盛岡市果樹研究所内の試験区の中では、K園模倣1年目区が最も落葉率が少なく、5年目区及び無散布区は同程度でした。K園模倣区ではK園より黒星病の発生と褐斑病による落葉が多くなりましたが、5年目区では昨年度より8月までの健全葉率が若干向上していました。

しかし、9月中旬以降、K園と模倣園共に褐斑病の被害葉が急増し、10月では、K園の褐斑病発病葉が約80%、健全葉は約3%、褐斑病等による落葉率は約10%に達しました。また、K園模倣1年目区、5年目区及び無散布区では褐斑病発病葉が100%、健全葉は0%、褐斑病等による落葉率が70-90%に達しました。一方、慣行防除区(O園)では褐斑病と斑点落葉病の発病葉が約30%、健全葉が約70%、落葉率は0%でした。11月になると、K園の落葉率は約30%に増加し、残った葉は全て褐斑病・斑点落葉病に罹病していました。K園模倣1年目区、5年目区及び無散布区では落葉率が90%以上でした。一方、慣行防除区では落葉はなく、健全葉率が35-55%でした(図6-6)。

以上、K園では9月以降褐斑病が急増し11月にはほぼ健全葉はなくなるほどで、慣行防除区と比較すると褐斑病被害は甚大でしたが、その一方で、K園模倣区と比較すると落葉率の点で顕著な改善効果が確認されました。これは、2012年度までの調査結果とよく一致していました。

2014年度は、慣行防除区では病害の発生がほとんど見られなかったのに対して、自然栽培園地(7カ所)では黒星病、斑点落葉病、褐斑病等の軽度~重度の発生が見られました。病害被害程度は園地間で大きく異なり、K園、K園隣接園自然栽培1年目園及び長野県中野市自然栽培園の被害は軽度、青森県黒石市自然栽培園と岩手県遠野市K園模倣園では落葉被害が激しくほとんど収穫は見込めない状況で、盛岡市果樹試験場K園模倣区(6年目と2年目)はその中間でした。K園とK園隣接自然栽培1年目園、及び盛岡市果樹研究所K園模倣6年目区と2年目区がそれぞれ類似した病害発生状況を示し、栽培履歴以上に立地条件の影響が大きい可能性が示唆されました。

2015年度は、病害の発生が顕著になる8月~9月に調査をした結果、健全葉率はK園で44~75%、K園隣接のK園模倣2年目園で23~51%、盛岡無散布区37~59%、盛岡K園模倣7年目区30~53%、盛岡K園模倣3年目区66~74%、盛岡慣行化学農薬散布区90~95%でした。K園では例年通り斑点落葉病、黒星病、褐斑病などの発生がありましたが、隣接のK園模倣2年目園より発生は少なくなりました。また、盛岡K園模倣7年目区、同3年目区、無散布区より落葉率が少なくなりました。すなわち、K園では化学農薬散布区には劣るが、K園模倣区より病害発生が少なく、過去の調査結果と一致し、一定の病害発生抑制効果が認められました。

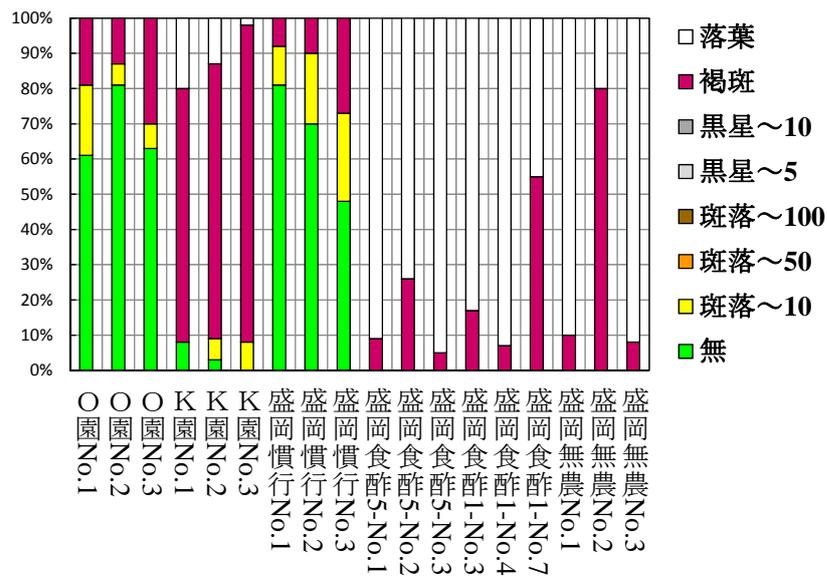
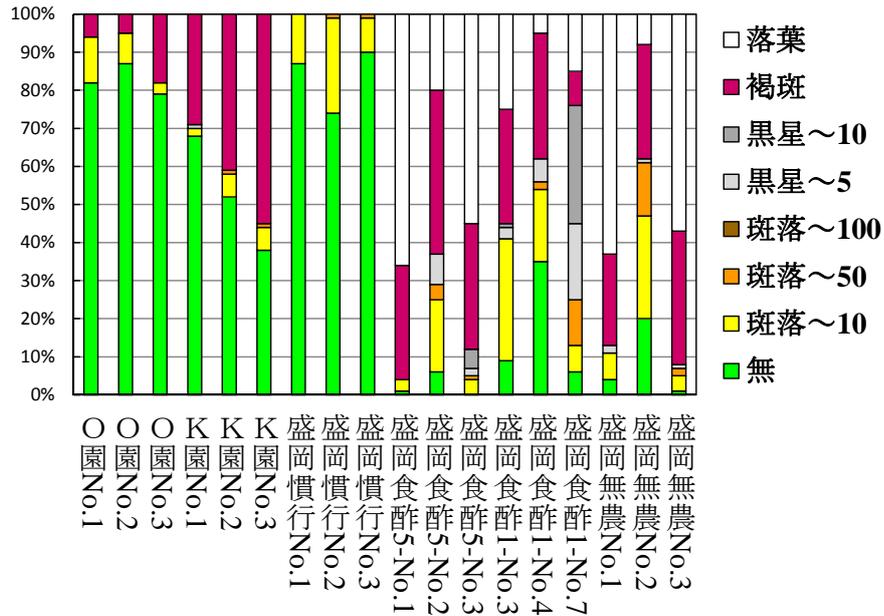


図6-6 リンゴ主要病害の発生状況の比較

2013年9月上旬(上)と10月上旬(下)

なお、図中のO園はK園の対照区として調査した慣行防除園を示しています。

2) K園リンゴ葉面微生物相の年次及び季節変動の特徴

①リンゴ葉圏主要真菌・細菌類マクロアレイ分析

2013年度は、K園では8月まで全般的に検出される真菌量が少なく、慣行防除園(O園、盛岡慣行)と同程度でした。しかし、8月以降、褐斑病菌が多数検出されるようになり、盛岡のK園模倣区と同様に9月、10月では多量の褐斑病菌が検出されました。一方、他の園地で優占する *Aureobasidium* の生息量が少ない特徴があり、以上の真菌類の動態は過去4年間の調査結果とよく一致しました。盛岡の園地ではすす点病菌 (*Zygothiala jamaicensis*) と黒点病菌 (*Mycosphaerella pomi*) が多いのが特徴で、すす点病菌は慣行防除園を含めた全区で豊富に検出されたのに対して、黒点病菌はK園模

倣区(1年目と5年目)でのみ多く、慣行防除区では検出限界以下でした。現行の農薬散布は黒点病菌には有効ですが、すす点病菌には有効でないかもしれません(図6-7)。

K園						O園-慣行					
	6	7	8	9	10		6	7	8	9	10
うどんこ	0	0	0	0	0	うどんこ	0	2	0	2	2
黒星	0	0	1	1	2	黒星	0	1	3	2	2
斑落	0	0	2	5	8	斑落	0	3	5	2	10
褐斑	0	0	0	1	5	褐斑	0	0	0	0	0
すす点	0	0	0	3	5	すす点	0	3	5	0	5
黒点	0	0	0	2	5	黒点	0	0	5	2	2
Aureobasidium	0	1	1	2	3	Aureobasidium	1	5	5	3	8
Cladosporium	0	5	5	10	10	Cladosporium	0	10	10	10	10
Epicoccum	0	3	1	0	2	Epicoccum	0	0	1	0	0
Cyrococcus	0	0	1	5	5	Cyrococcus	0	5	5	10	10

盛岡-食酢5						盛岡-食酢1					
	6	7	8	9	10		6	7	8	9	10
うどんこ	5	0	0	0	0	うどんこ	0	0	0	0	0
黒星	3	3	2	3	1	黒星	5	5	2	1	2
斑落	0	2	8	5	1	斑落	0	1	10	1	0
褐斑	0	0	2	5	10	褐斑	0	0	0	2	10
すす点	5	10	10	10	10	すす点	5	10	10	8	10
黒点	3	10	10	10	10	黒点	0	5	10	8	10
Aureobasidium	10	10	8	8	3	Aureobasidium	10	10	10	5	0
Cladosporium	3	5	8	8	1	Cladosporium	0	8	10	5	0
Epicoccum	10	10	3	3	0	Epicoccum	0	3	3	3	0
Cyrococcus	0	10	10	10	10	Cyrococcus	0	10	10	10	10

盛岡-無処理						盛岡-慣行					
	6	7	8	9	10		6	7	8	9	10
うどんこ	0	0	2	0	0	うどんこ	0	0	0	0	0
黒星	0	3	3	1	0	黒星	0	1	0	0	0
斑落	0	0	5	0	0	斑落	0	0	0	0	0
褐斑	0	0	0	0	10	褐斑	0	0	0	0	2
すす点	0	5	8	10	10	すす点	0	8	8	8	10
黒点	0	10	8	10	10	黒点	0	0	0	0	0
Aureobasidium	1	10	10	8	0	Aureobasidium	0	10	10	10	10
Cladosporium	0	8	8	8	0	Cladosporium	0	8	8	10	5
Epicoccum	0	3	5	0	0	Epicoccum	0	0	0	0	0
Cyrococcus	0	10	10	10	3	Cyrococcus	0	5	5	10	10

図6-7 リンゴ葉面主要真菌類の動態比較(2013年6月-10月、食酢1、5は1、5年目)

*表中の数字は検出された相対量をしめす(1=少 → 10=多)。

なお、図中のO園-慣行はK園の対照区として調査した慣行防除園を示しています。

2014年度は、自然栽培区では共通して *Aureobasidium* と *Cryptococcus* の生息量が少ない傾向が見られ、2013年度までのK園の調査結果が裏付けられました。また、*Sporidiobolus pararoseus* が慣行防除区のみから検出されました。

2015年度もK園ではこれまでと同様の傾向が認められ、真菌類では *Aureobasidium* の検出量が少なく、細菌類では *Pseudomonas graminis* の検出量が多く、*Pseudomonas sryngae* は少なくなっていました。*Pseudomonas graminis* の検出結果は培養実験の結果とも一致しました。また、これまでと同様、K園では黒点病とすす点病が少なくなりました。興味深いことに、これらK園の微生物相はK園と同様の食酢散布を実践して2年目のK園隣接倣倣園とは類似していませんでした。病害発生状況の違いと併せてK園とその隣接倣倣園では栽培履歴の違いによる影響が示唆されました。

②K園リンゴ葉面微生物の多様性

2014年度に実施したK園を含む多様な栽培歴のリンゴ園地のマクロアレイ法による分析に基づき、K園のリンゴ葉面微生物の多様性を分析しました。その結果、慣行防除区は病原性真菌類の生息が少ないため真菌類の多様性指数は低く評価されましたが、非病原性真菌類の多様性は自然栽培園と同程度でした。すなわち非病原性真菌類に対する化学農薬散布の影響は少ないものと考えられました。一方、細菌類(非病原性)は自然栽培区で多様性が高い傾向が見られ、特にK園で高くなりました。慣行防除区並みの防除効果が見られた青森県藤崎町真那板JS有機栽培園では真菌類・細

菌類共に生息種と生息量が少なく、葉面微生物相の多様性に対する負の影響が見られました。微生物相の類似度(検出された種とアレイシグナル強度)からデンドログラムを作成した結果、Ward法では自然栽培区が1つのグループを形成し、Horn法では一部の例外を除いて自然栽培区と慣行防除の2つのグループが形成されました(図6-8)。

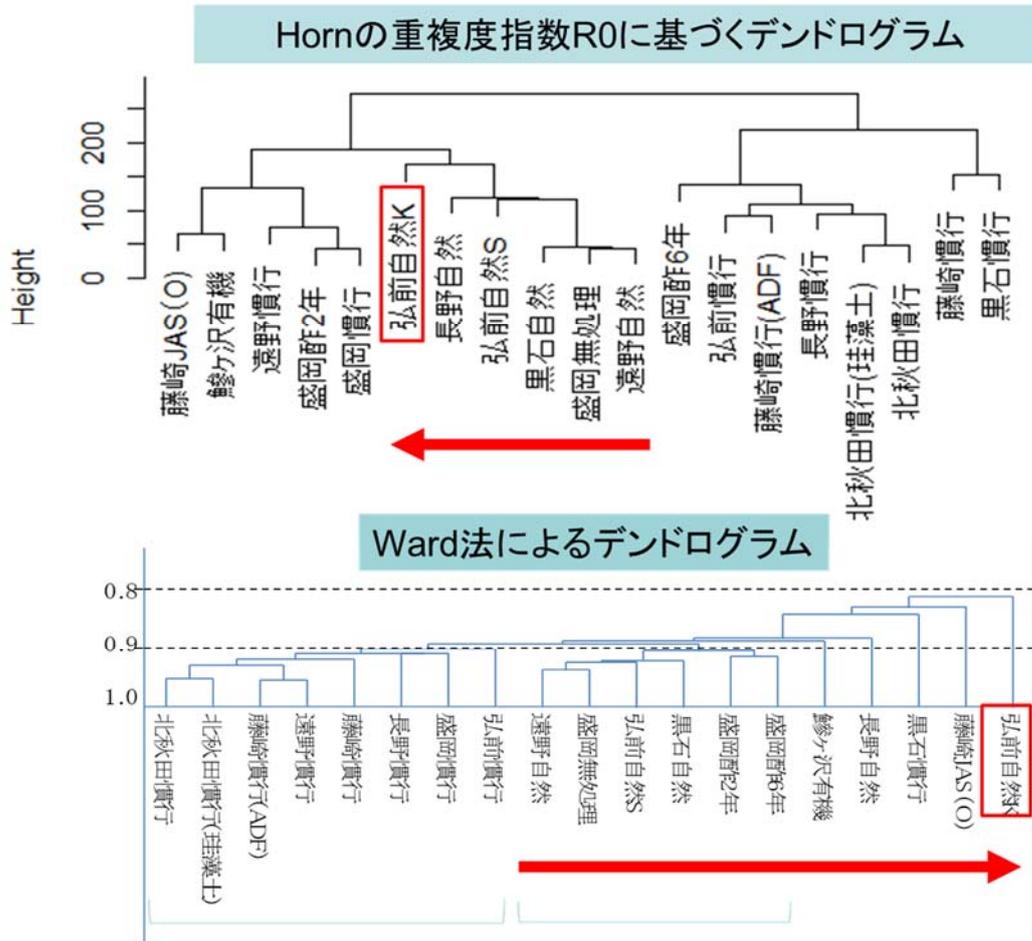


図6-8 マクロアレイ分析で得られたシグナル強度に基づく微生物相の類似度
赤矢印は自然栽培園内に見られた順序を示しており、どちらの分析方法でも K 園(図では“弘前自然 K”と表示)が最も端に位置していました。K 園が自然栽培園の中でも特異な位置にあることを示しているようです。

3) 自然栽培りんご園における病害抵抗性の品種間差異とりんご内生菌の分析

2013年6月に行った移植苗と成木の接種試験では、病害度(病斑面積)に3品種間で有意な差が見られました(図6-9)。移植直後の1年生苗は、紅玉を除き、成木より病害度が大きくなりました。3品種間では、紅玉が1年生苗、成木ともに病害度は低く、人為的に接種したにもかかわらず葉に病斑がほとんど見られませんでした。

成木の9月の病害調査は、自然の条件下での葉の病斑面積から調査しましたが、接種試験の結果と異なりました。特に、王林は病害度が高く、続いて紅玉となり、ふじは最も病害度が小さくなりました。また、葉内部の斑点落葉病菌数は、特に王林で9月に著しく増加しており、斑点落葉病菌が増えたことが病害に関係していることが推察されました。

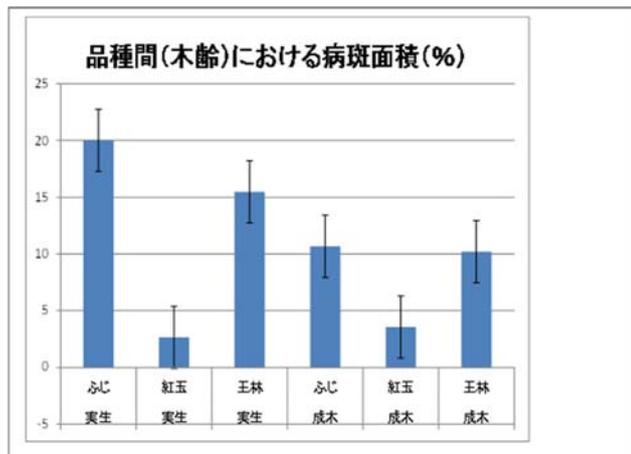


図6-9 K園で栽培したリンゴ樹の斑点落葉病抵抗性品種間差

2014年6月から9月までにリンゴ葉の内生菌(真菌, 細菌)の群集構造を制限酵素断片長(T-RLFP)により, 真菌と細菌の全量をリアルタイムPCRにより解析しました。PCR断片のクローニングにより, 真菌では18種, 細菌では7種が確認されました。紅玉, ふじ, 王林の3品種間には真菌, 細菌ともに群集構造に顕著な差は見られませんでした。他方, 増幅した内生菌のコピー数は品種間では有意な差が見られ, 斑点落葉病の抵抗性が高い紅玉はふじや王林より内生菌量が有為に高いことがわかりました。3品種を含む調査したリンゴ18樹間では, 真菌量が病害抵抗性と5%の有意な相関を示し, 葉の真菌量が多いことが紅玉の高い病害抵抗性に関係しているという結果が示唆されました。

2015年にはK園の内生真菌の分析を行いました。その結果, K園の葉に内生する真菌微生物相の特徴に関して, T-RFLP分析により, 総計19の(Operational Taxonomic Unit) *が検出され, DNAのクローニングにより各OTUの属名・種名を同定しました。5つのOTUで季節間に, 4つのOTUで品種間に有意差が認められました。*Cladosporium tenuissimum* は6月に70%近くを占めたが次第に減少し9月には50%以下となりました。それに対して, *Alternaria alternata* と *Sordariomycetes sp.*が季節とともに増加する傾向にありました。いずれの月においてもこれら3種で全体の8割近くを占めました。9月の品種間の差では, 病害抵抗性の強い紅玉でふじに比べ *Alternaria alternata* の割合が高く, *Cladosporium tenuissimum* の割合は低くなりました。

*OTU (Operational Taxonomic Unit)とは, 一定以上の類似性を持つ配列を一つの菌種として扱うための単位です。OTU数は菌叢を構成する菌種の数, 検出数はその菌種の相対的な存在量を反映しています。

4) K園に特徴的な *Pseudomonas* 属細菌の動態

2013年6月, 7月, 8月, 9月にK園, O園, K園模倣区(1年目と5年目), 無散布区, 及びそれぞれの対照慣行防除区から採集したリンゴ葉から葉面微生物を分離し, *Pseudomonas* 選択培地で *Pseudomonas* 属細菌を培養・分離しました。昨年度までの先行研究の結果と同様に, リンゴ葉表面には, コロニーの色(薄黄色と白色)で識別できる, 少なくとも2種類の *Pseudomonas* が生息し, K園では薄黄色のコロニーを形成する種が優占し, 特に8月に豊富に生息していることを再確認しました。10月以降は上述のように, K園模倣区で落葉率が70-90%に達し, 正常な葉が残っていなかったことから調査は9月までとしました(図6-10)。

以上の結果, K園を特徴付ける微生物の候補として *Pseudomonas* 属細菌を選定しました。

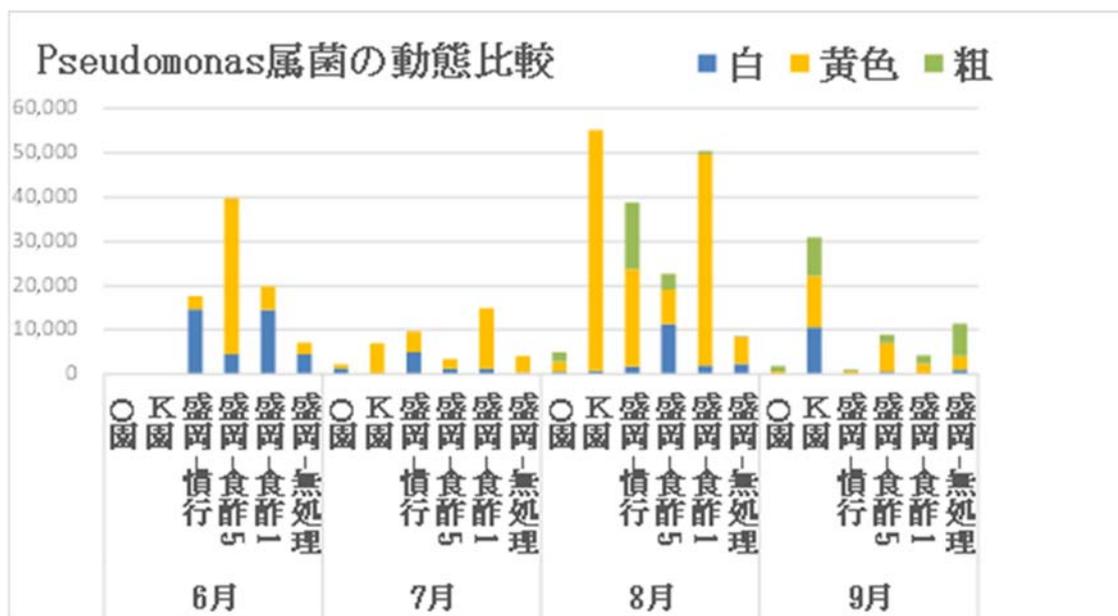


図6-10 *Pseudomonas* 属細菌の動態比較(2013年6月～9月)

なお、図中の○園はK園の対照区として調査した慣行防除園を示しています。

2014年度は、その前年まで、K園では8月から9月にかけて薄黄色のコロニーを形成する *Pseudomonas* 属細菌が豊富になる現象が確認されたので、9月上旬にK園、K園隣接慣行防除園、果樹研K園模倣区、果樹研慣行防除区から選択培地で *Pseudomonas* を分離し、薄黄色のコロニーを有する菌株と白色のコロニーを有する菌株をそれぞれ3～8菌株選び、16SリボソームRNAの塩基配列を解析し、種レベルの比較を行ないました。その結果、K園、K園隣接慣行防除園、果樹研慣行防除区の薄黄色の菌株は全て *P.graminis* であったのに対し、果樹研K園模倣区の薄黄色菌株は *P.graminis*、*P.putida*、*P.rhizosphaerae* が混じっていました。一方、白色菌株は *P.syringae* でしたが、果樹研慣行防除区からは *Erwinia persicina* が混じって検出されました。

上記で採集したリンゴ葉から選択培地を用いて *Pseudomonas* 属細菌の生息量を比較しました。昨年度までの調査で、K園では8-9月に薄黄色のコロニーを形成する *P.graminis* が寡占することが示されていましたが、予想どおり自然栽培区では *P.graminis* の生息量が多いことが確認されました。ただし、長野県中野市の自然栽培園では粗面のコロニー形態を示すものが多数分離されました。

K園とその対照慣行園のリンゴ葉面から分離した *P.syringae* と *P.graminis* を食酢を添加した培地で生育させ、その生育速度を比較しました。その結果、K園から分離した *P.syringae* と *P.graminis* は食酢添加量 10^{-6} ～ 10^{-3} 希釈に於いて慣行防除園より若干生育量が勝っていました。慣行防除園から分離した *P.putida* と *E.persicina* は生育が劣っていました。

2015年度は、その前年まで、K園では8月から9月にかけて薄黄色のコロニーを形成する *Pseudomonas* 属細菌が豊富になる現象が確認されたので、さらに8月上旬にK園、K園隣接模倣2年目園、果樹研K園模倣7年目区及び3年目区、果樹研慣行防除区から選択培地で *Pseudomonas* を分離しました。その結果、K園では、その他の全ての区に比べて、*Pseudomonas* 属細菌の生息量が5～10倍も豊富で、その全てが薄黄色のコロニーを生じる *P.graminis* で独占されていました。K園以外では白色のコロニーを生じる *P.syringae* も混在して生息し、その生息比率は様々でした。特に興味深い点は、K園隣接模倣2年目園はK園と細い道で隔てられているだけの園地であるにもかかわらず、*Pseudomonas* の生息パターンが全く異なっており、むしろ果樹研のK園模倣園と類似していた点です。K園で8月上旬に *Pseudomonas* の生息量が極めて豊富になり、特に薄黄色のコロニーを有する *P.graminis* が寡占するパターンは2012年と2013年の調査でも確認されていることから、これはK園を特徴付ける微生物相の指標となると考えられます。K園を特徴付ける微生物的指標として、①8月上旬の薄黄色のコロニー

を有する *P.graminis* の豊富さ、②*Aureobasidium*、*Cladosporium*、*Cryptococcus* 菌の生息密度パターンを選定しました。

(4) 考察

K 園に特徴的な葉面微生物

2013 年度の分析結果から、K 園と K 園模倣区では 9 月中旬以降褐斑病が急増し、10 月の K 園の褐斑病発病葉率は約 80%、健全葉は約 3%、褐斑病等による落葉率は約 10%でした。慣行防除区(健全葉率約 70%)に比べ病害被害は甚大でしたが、K 園模倣区(落葉率 70–90%)と比較すると顕著な病害発生抑制効果が確認されました。K 園では 8 月まで全般的に真菌類の生息量が慣行防除区並みに少なく、特に他の園地で優占する *Aureobasidium* の生息量が少なくなりました。K 園では薄黄色の *Pseudomonas* 菌(*P.graminis* と同定)が特に 8 月上旬に豊富に生息しており、盛岡の試験区ではすす点病菌と黒点病菌の生息量が年間を通じて多く、特に黒点病菌は K 園模倣区と無処理区のみで多かったことから有機栽培で増加する真菌類の一つと考えられます。

2014 年度と 2015 年度の分析結果から、K 園と青森・岩手・長野県の K 園を模倣した自然栽培園及び JAS 有機園を調査した結果、K 園、K 園隣接模倣 1 年目園と長野県模倣園は病虫害被害が軽度、青森県と岩手県の模倣園は病虫害被害が甚大でした。K 園と模倣園は真菌類が少なく細菌種が豊富で、JAS 有機園は菌類・細菌類共に貧弱でした。マクロアレイデータに基づく微生物相の類似度の分析の結果、自然栽培園と慣行防除園が各々グループを形成し、K 園・K 園隣接模倣 1 年目園・長野県模倣園が近隣に位置しました。自然栽培園では真菌類の *Aureobasidium*、*Cryptococcus*、*Sporidiobolus* が減少し、細菌類、特に *Pseudomonas* が豊富でした。マクロアレイデータの類似度の分析から K 園を基準(仮想の理想到達点)とする自然栽培園の微生物相のおおよその現状(到達程度)を提示できる可能性が示唆されました。

3. 要約

- 1) K園模倣区では、試験期間(7 年間)を通して、毎年、褐斑病等が多発して早期落葉し、花芽形成や果実品質等に大きく影響しました。
- 2) 転換 7 年目までの K園模倣区及び無散布区では、リンゴハマキクロバ、ナシマルカイガラムシによる被害が無視できないレベルまで増加しました。
- 3) 慣行防除区と比較すると、K園模倣区、無散布区ともに収量が劣り、果実サイズも有意に小さく、糖度も低くなりました。
- 4) 転換後の年数経過につれて被害が増加したナシマルカイガラムシに対しては、発芽前1回(4 月上旬)のマシン油(×50)散布が有効でした。
- 5) シンクイムシや病害(すす斑病等)による果実被害は早期(6 月上旬)の袋掛により抑制できました。
- 6) 袋掛けによる果実病害発生抑制効果は高く、特に防菌一重袋を使用した場合に顕著でした。
- 7) 食酢(清泉-15)および農業用玄米酢(バイオトップ)の直接的な病虫害防除効果はあまりないと判断されました。
- 8) K 園と、隣接する模倣園を対象に病虫害発生状況と葉圏・根圏の微生物相の動態を調査して、有機或は自然栽培リンゴ園に特徴的な微生物指標を調べました。K 園では慣行防除園に比べ病害被害は甚大でしたが、模倣園と比べると顕著な病害発生抑制効果が確認され、他の園地で優占する *Aureobasidium* 属菌の生息量が少ない、薄黄色の *Pseudomonas* 属細菌が特に 8 月に豊富に生息しているなどの微生物的特徴がみられました。
- 8) これらの結果から、K園における栽培管理方法を模倣しただけでは汎用性のあるリンゴ有機栽培技術の確立は困難と判断され、今後は有機 JAS 規格に合わせた技術開発が必要と考えられます。

4. 引用文献

新井朋徳・高梨祐明・柳沼勝彦・井原史雄・伊藤伝・成田治・豊島真吾 (2011) 殺虫剤無散布リンゴ園

- におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫の発生数の年次推移, 北日本病虫研報, **62**,179-181
- 花岡朋絵・赤平知也・木村佳子・山本晋玄 (2014) リンゴの有機栽培のための病害虫防除体系の組み立てとその評価, 北日本病虫研報, **65**, 104-110
- He Y-H, Isono S, Shibuya M, Tsuji M, Adkar Purushothama C-R, Tanaka K, Sano T. (2012) Oligo-DNA Custom Macroarray for Monitoring Major Pathogenic and Non-Pathogenic Fungi and Bacteria in the Phyllosphere of Apple Trees. *PLoS ONE* 7(3), e34249. doi:10.1371/journal.pone.0034249
- 平良木武・鈴木茂・及川英雄 (1993) 無農薬で栽培したリンゴの病害虫による被害と樹体への影響, 北日本病虫研報, **44**, 81-82

5. 執筆担当者一覧

伊藤 伝・柳沼勝彦・守谷友紀(1)
佐野輝男(2)

6. 問い合わせ先

農研機構果樹茶業研究部門 TEL:029-838-6453

第4節 有機栽培や自然栽培の農家圃場を検出する生物指標作りを目指して — 土壌生物相に対する除草剤使用の影響解明 —

1. 課題の背景・目的

有機農産物をブランド化して付加価値を付けるために有機 JAS 認証制度がありますが、これは農産物を対象とし、また、突き詰めれば農家の自己申告に基づく制度です。有機農業が「環境に優しい」というなら、その圃場についても、客観的に評価、認証する必要があります。土壌生物は栽培管理の影響を受けやすく、また、土壌を持ち帰れば専門機関で分析して種類組成などを把握することができるので、指標の候補と言えます。有機栽培の実施が土壌生物相に及ぼす影響を調べた報告はありますが、管理された試験区で行われたものが多く、農家圃場で行われた例は限定的です（瀧・加藤,1998; 藤田, 2001; Okada *et al.*, 2009)。また、統計学的検証に耐えるほどの反復（圃場）数を備え、複数の年次や異なる季節で検討した報告は少なく、複数の土壌生物群を対象にしたものはさらに乏しいです。そこで本研究では、有機・自然栽培の特徴の1つとして除草剤の不使用に注目し、それが土壌生物相に及ぼす影響を包括的に検討しました。リンゴなどの果樹栽培で除草剤は、慣行的栽培の下草管理に用いられますが、有機・自然栽培では用いられません。刈り払いなど他の手段で代替可能なので、殺虫剤や殺菌剤に比べれば使用を控えやすく、慣行的栽培から有機栽培への転換を図るきっかけとなることも期待されます。ミカン圃場で土壌生物相への除草剤の影響を調べた先駆的な報告はありますが（石橋ら、1978）、圃場の反復が少なく、統計分析まで実施していません。そこで本研究では、統計分析に耐えるだけの圃場数で土壌採取を行い、リンゴ園の下草管理での除草剤の使用の有無が土壌生物に及ぼす影響を包括的に解明しようと試みました。

2. 試験方法

調査圃場の特性を示した表7-1の栽培法の「有機」の圃場には、JAS 有機認定制度が認める肥料や農薬を使用しているもの他に、化学肥料及び化学農薬を一切使用していないもの（いわゆる自然栽培圃場）が含まれます。「慣行」（栽培圃場）では、有機質肥料の他に化学肥料も使用し、地上部病害虫の防除は、青森県の防除暦（青森県りんご病害虫防除暦編成部会、2014など）に基づくJAの防除暦にならい、化学農薬などを用いて行われます。一部の圃場を除き園主が異なるため栽培管理方法は有機と慣行各々の中でも圃場によって異なりますが、リンゴ樹の株元の下草管理については、有機ではどの圃場でも除草剤を使用せず刈り払い機などで行い、慣行ではどの圃場でも除草剤散布で行っています。立地条件を揃えるべく、各有機圃場から5km以内に位置する慣行圃場を比較対象に選び、後の統計分析でペアとして扱えるようにしました。

上記の圃場における土壌採取は、2014年6/30-7/3（以下では「7月」と表記）、10/7-10/9（10月）、2015年7/6-7/10（7月）、10/10-10/16（10月）に行いました。主に直径15cm以内の樹の株元から0.5~1m離れた地点で直径5cmの円筒採土器により地表から5cmまでの土壌を採取しました。毎回圃場内でランダムに選んだ14~19地点で採土し、プラスチック容器内で全土壌（1~2kg）をまとめ、筆書の研究機関に常温で送付し、分析を行うまでの2、3日間10℃で保管しました。土壌を軽く手で混合した後小分けし、各分析を実施しました（表7-2）。

表7-1 調査圃場の主な栽培管理

ID	栽培法	土性	砂%	シルト%	粘土%	場所	主な台木品種	樹齢(年)	施肥	使用農薬	株元の下草管理
Y1	有機	黒色火山灰土	29.3	37.9	32.7	弘前市	マルバ	35-50	ジュースの絞りかす、枝チップの堆肥、モミガラを時々	無農薬。酢を時々。	乗用草刈り機
Y2	有機	黒色火山灰土	28.9	44.9	26.3	弘前市	マルバ	35?	モミガラとヨウリン混ぜて発酵したものを2t/10a。追肥は多雨の年に苦土など。	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機と手動刈り払い機
Y3	有機	黒色火山灰土	41.3	33.0	25.8	弘前市	マルバ	35-50	なし	酢	手動草刈り機
Y4	有機	沖積土	55.0	19.4	25.7	藤崎町	マルバ	不明	生育悪いときののみモミガラ	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機
Y5	有機	沖積土	55.4	18.4	26.3	黒石市	M29?	12	基本的に施肥無し。	酢酸、木酢	手動刈り払い機
Y6	有機	黒色火山灰土	22.8	42.0	35.2	鱒ヶ沢町	M26	17-18	ボカシ、グアノ、草木灰などを樹勢が弱いところを時々	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機
Y7	有機	黒色火山灰土	35.3	31.7	33.0	弘前市	マルバ?	不明	なし	酢	手動草刈り機
K1	慣行	黒色火山灰土	24.7	41.4	33.9	弘前市	M26	6	毎年有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	春から6月までグリホサート剤、その後は乗用刈り取り機
K2	慣行	黒色火山灰土	20.3	38.7	41.0	弘前市	M26	10	化学合成肥料、有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	6月と収穫期にグリホサート剤、その後は乗用刈り取り機
K3	慣行	黒色火山灰土	43.8	34.0	22.2	弘前市	M26	7	有機質肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5、6月にグリホサート剤、状況により8月にも使用。
K4	慣行	主に黒色火山灰土	37.3	29.1	33.6	藤崎町	M26	5~6	調査年は無施肥だがそれぞれでは化成肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5、7月にジクワット・パラコート系薬剤やグリホサート系薬剤
K5	慣行	主に黒色火山灰土	49.0	23.5	27.5	黒石市	M26	7~18	有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	4-7月にグリホサート系やグルホシネート系薬剤
K6	慣行	黒色火山灰土	22.6	31.4	46.0	鱒ヶ沢	M26	不明	苦土石灰、有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5-7月にジクワット・パラコート系、グリホサート系、グルホシネート系薬剤
K7	慣行	沖積土	32.8	24.3	43.0	弘前市	M26	10~12	有機配合肥料、化成肥料	JA防除暦掲載の薬剤	年2回(5-7月の間?)グリホサート系薬剤

いずれの圃場でも基本的に不耕起。樹列間はいずれの圃場でも乗用草刈り機で除草。Y7とK7は2015年のみ、その他の圃場では2014、2015年とも調査を実施。

表7-2 土壌の生物性及び理化学性の分析方法

対象	供試土壌 (生土g)	前処理	分析方法
ダニ、トビムシ	100	なし	50g×2連でツルグレン装置に10日間かけ、分離した動物サンプルを75%エタノール液で固定し、常法でプレパラートを作成し総数をカウント。
線虫	80	5mmの篩別	ペールマントレイで48時間分離し、懸濁液として回収し濃度を調査。一部を取って岡田(2014)の方法でプレパラートを作って群集組成を分析。
微生物	0.4	2mmの篩別	-60°Cで保管後2mLの破砕チューブに0.4g採取し、融解後に森本、星野(高田) (2008) の方法によって抽出、精製したDNAの濃度を計測。
植物遺体	900~1600	5mmの篩別	篩別時の残渣のうち植物茎葉及び根を回収し、乾燥重を測定。
理化学性	500	2mmの篩別	十勝農協連農産化学研究所において常法 (Okada and Harada, 2007)によって仮比重、pH、トルオーグリン酸濃度、リン酸吸収係数、陽イオン交換容量、カリウム濃度、塩基飽和度、無機態窒素濃度、全窒素%、全炭素%を測定。

統計分析は次のように行いました。線虫については、分類群（科または属）を対象とし、1地点でしか出現しなかったものを除いて出現頻度ベースの非計量多次元尺度構成法(NMDS)を行い、栽培管理の違いが群集構造に影響するか（有機と慣行とで群集構造が異なるか）調べました（2014年夏季と秋季、2015年夏季のデータについて実施）。また食性群（細菌食、糸状菌食、雑食、肉食、植物食）ごと及び各食性群中の主な分類群の密度と出現頻度(Arcsine 変換後)についても栽培管理の違いが有意に($P<0.05$)影響するか調べました。密度については統計分析パッケージ SAS の glimmix プロシジャ（ポアソン分布を指定）を用い、場所及び場所と栽培管理の相互作用をランダム要因、季節を繰り返し要因としました。出現頻度については mixed プロシジャを用いて同様に分析しました。さらに、ダニ及びトビムシの密度、微生物量、植物遺体量、理化学性についても glimmix または mixed プロシジャを用いて同様に栽培管理の影響を検討しました。

3. 結果

NMDS によって線虫群集構造全体で見ると有機圃場と慣行圃場は分離されず、栽培管理の違いの影響は認められませんでした(図7-1に2014年7月のデータのみ表示、他はデータ略)。しかし、線虫分類群ごとに見ると栽培管理の影響が認められるものがありました。すなわち、糸状菌食性線虫のうち *Filenchus* 属線虫の密度は2014年には栽培管理と季節の相互作用が有意で、7月には有機圃場で密度が高くなりました(図7-2)。また2015年には栽培管理の主効果が有意でいずれの季節でも有機圃場で高くなりました。また、*Aphelenchoides* 属線虫の割合は2年次とも栽培管理と季節の相互作用が有意で、7月には有機圃場での割合が大きくなりました(図7-3)。ダニ(図7-4)及びトビムシ全体の密度(図7-5)、土壌微生物量(DNA

量、図7-6)、植物遺体量(図7-7)は、いずれも年次によらず栽培管理の主効果が有意でした。一方、主成分分析で土壤理化学性全体の傾向を見ると、有機圃場と慣行圃場はいずれの季節や年次でも分離されず、栽培管理の違いの影響は認められませんでした(図7-8、2014年7月の結果。他の季節や年次についてはデータ省略)。また、理化学性の項目ごとに見ても、2年次とも栽培管理の主効果または栽培管理と季節との相互作用が有意である項目はありませんでした(データ省略)。

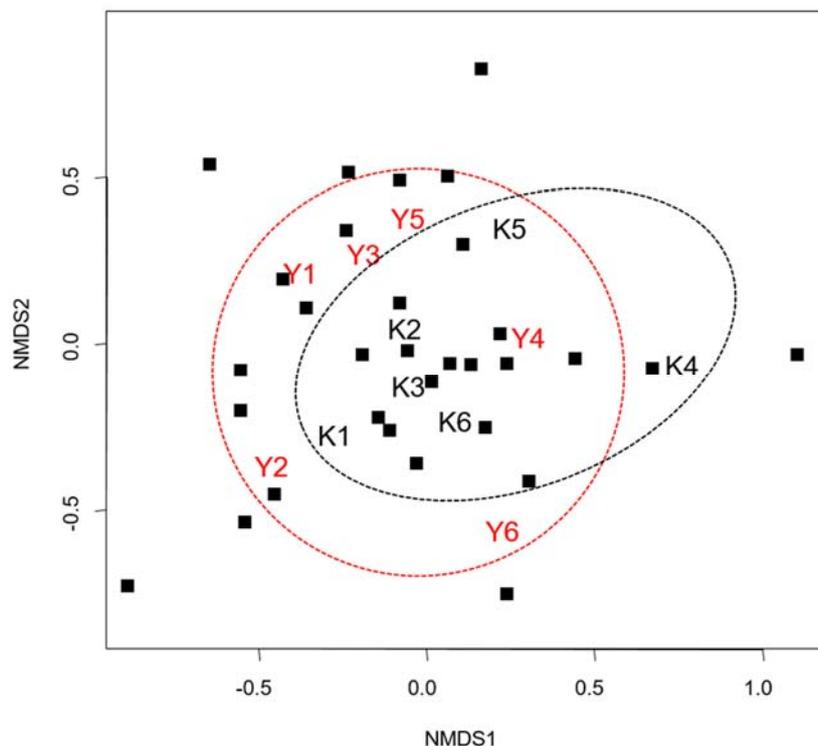


図7-1 NMDSによる線虫群集の座標付けの2014年7月の結果
Y1~Y6、K1~K6は圃場のID(表7-1を参照)、赤点線は有機の圃場分布、黒点線は慣行の圃場分布、■は各線虫分類群の座標を示す。

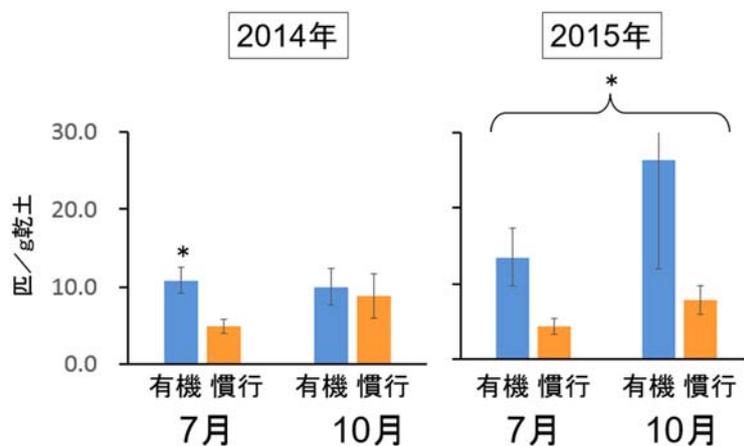


図7-2 *Filenchus* 属線虫の密度
*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

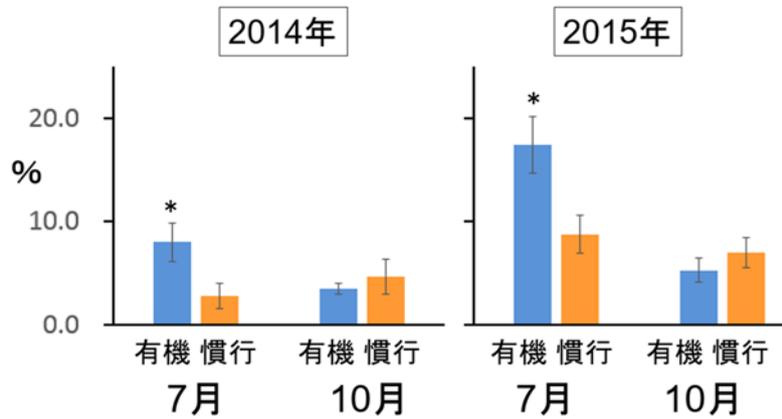


図7-3 *Aphelenchoides* 属線虫の割合

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

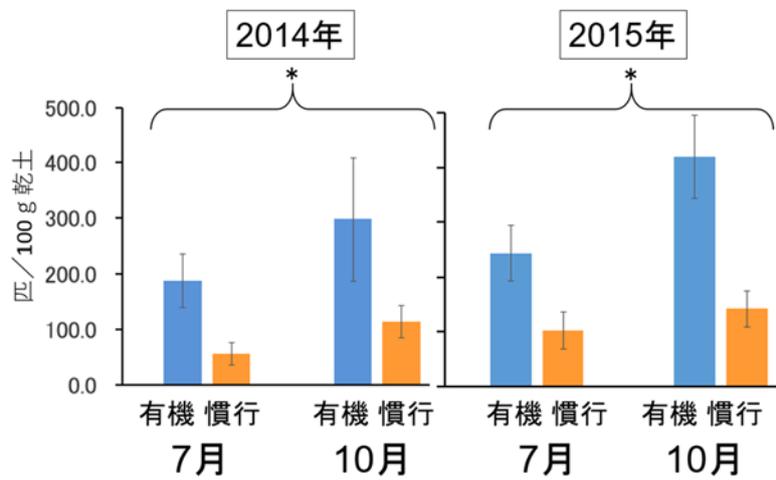


図7-4 ダニ全体の密度

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

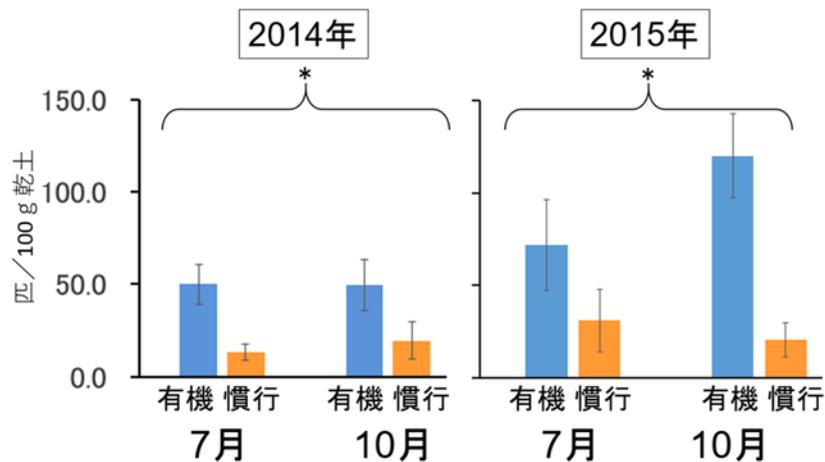


図7-5 トビムシ全体の密度

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

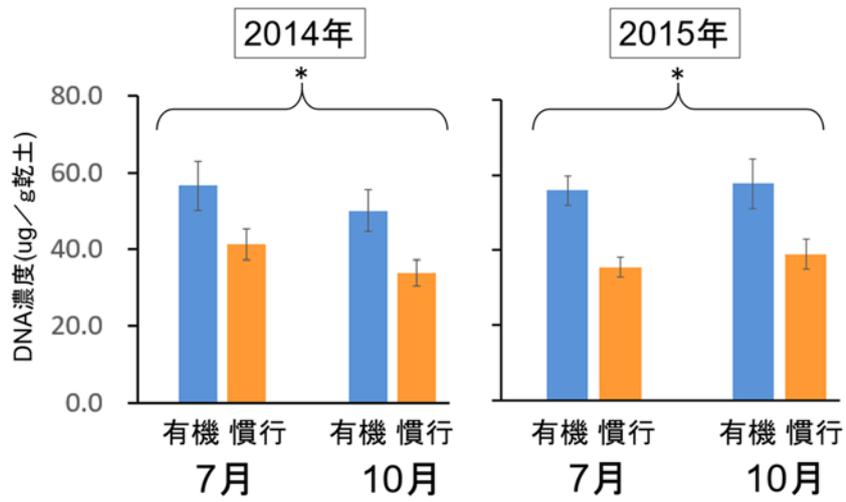


図7-6 土壤微生物量

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

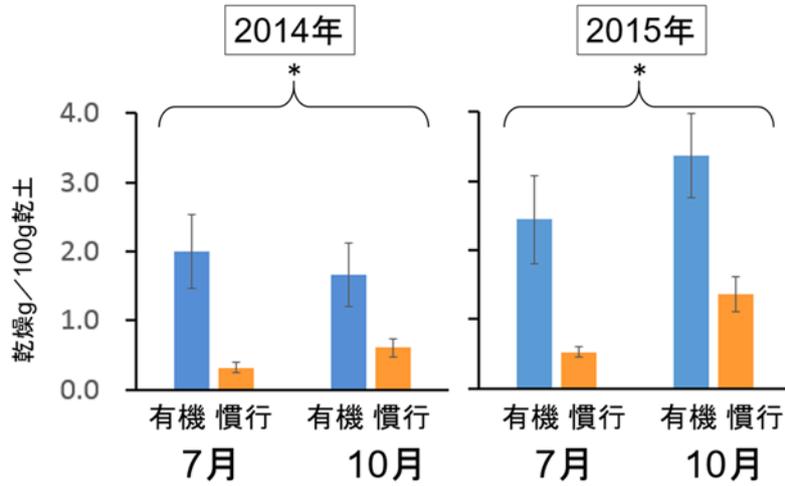


図7-7 植物遺体量

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

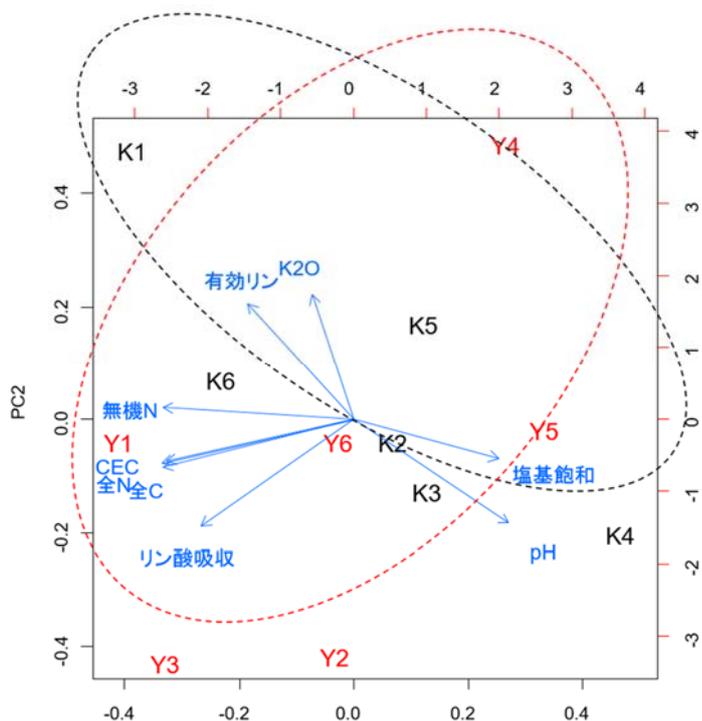


図 7-8 土壤理化学性の 2014 年 7 月の主成分分析の結果

Y1~Y6、K1~K6 は圃場の ID (表 7-1 を参照)、赤点線は有機の圃場分布、黒点線は慣行の圃場分布を示す。

4. 考察

土壤検診などの目的では理化学性の調査が行われることが一般的ですが、除草剤の使用は理化学性に大きな影響を与えず、剤使用の検出には不適であることがわかりました。一方、土壤生物や植物遺体については影響が大きく、剤使用の履歴を客観的に検出する指標としての利用が期待できました。特に、ダニとトビムシでは、季節や年次によらず剤の不使用（有機）と使用（慣行）との密度差が大きくなりました。この原因は、こうした土壤動物が植物遺体を直接摂食するためだと考えられます。石橋ら(1978)は統計的検定を実施していませんが、除草剤の使用によりミカン園の土壤ではやはりトビムシが減少すると述べています。線虫は植物遺体を直接摂食するのではなく、その分解に関わる微生物や動物を摂食します。よって本研究では、除草剤の影響が特定の分類群や季節に限定されたのではないかと考えます。石橋ら(1978)は、除草剤使用圃場では土壤水分の変動が大きく、環境耐性が大きい線虫種が増加すると述べています。本研究では土壤微生物量 (DNA 量) も剤の使用の有無の影響を受けましたが、ダニやトビムシに比べると有無による差が小さくなりました。今回は微生物群集の特性まで分析できませんでしたが、剤使用区では除草剤の分解菌が増えた結果、DNA 量があまり減少しなかった可能性があります。植物遺体量も当然剤使用の影響を受けますが、土壤中の植物茎葉や根を拾い集める労力がかかることや、調査時期によっては除草剤耐性の植物種が植物体量を速やかに回復させ、剤の影響を検出しにくくする可能性もあります。よって、除草剤の使用の有無から有機栽培圃場を客観的に検出する生物指標としては、ダニやトビムシの方が優れていると考えられます。これらの土壤動物は、小中学生の理科教材としても用いられ、安価かつ自家製の機材でも土壤から分離可能といった長所も持ちます。ただし線虫に比べると、土壤からの分離に時間がかかる欠点もあるので注意が必要です。

5. 要約

有機農産物をブランド化する有機 JAS 認証制度は農産物を対象とし、農家の自己申告に基づく。圃場自体について有機栽培の実践を客観的に評価、認証するため、リンゴ園における除草剤の不使用に注目し、それが土壤生物相に及ぼす影響を包括的に調べました。「有機」の圃場には、JAS 有機が認める肥料や農薬を使用しているもの他に自然栽培圃場も含めました。「慣行」圃場では、有機質肥料の他に化学肥料も使用し、地上部病害虫の防除を化学農薬などを用いて行っています。リンゴ樹の株元の下草管理については、有機では除草剤を使用せず刈り払い機などで行い、慣行では除草剤散布で行っています。各有機圃場から 5km 以内に位置する慣行圃場を比較対象に選び、統計分析でペアとして扱いました。土壤採取を 2014、2015 年の夏と秋に行いました。株元から 0.5~1m 離れた地点で地表から 5cm までの土壤を採取し、各種土壤生物及び理化学性などを分析しました。その結果、糸状菌食性線虫の一部のグループの密度または割合が、2 年とも主に夏季に有機で大きくなりました。ダニ及びトビムシ全体の密度、土壤微生物量 (DNA 量)、植物遺体量は、年次や季節によらず有機で大きく、除草剤使用の履歴を客観的に検出する指標としての利用が期待できました。特にダニとトビムシでは有機と慣行との違いが大きく、植物遺体を直接摂食するためと考えられました。一方、土壤理化学性については全体及び各項目ごとに検討しても、有機と慣行との違いについて安定した傾向がなく、除草剤使用の検出には不適でした。

6. 引用文献

- 青森県りんご病害虫防除暦編成部会編 (2014) 平成 26 年度青森県リンゴ病害虫防除暦, 281-289
- 藤田正雄 (2001) 畑地の土壤動物、特にヒメミミズとササラダニ群集に関する研究, 自然農法研究センター報告第 3 号, P.69
- 石橋信義・村岡実・近藤栄造・山崎浩・甲斐秀昭・岩切徹・中原美智男 (1978) 温州みかん園における除草剤の連用が線虫・ダニ・トビムシ等に及ぼす影響, 佐賀大學農學彙報, **44**,43-55
- 森本晶・星野 (高田) 祐子 (2008) PCR-DGGE 法による土壤生物群集解析法(1): 一般細菌・糸状菌相の解析(実験法), 土と微生物, **62**,63-68
- Okada H, Hasegawa H, Hashimoto T, Sekiguchi H, Urashima Y. (2009) Are community structures of soil nematodes different between organic and conventional farming systems in commercial tomato fields? *Nematological Research*, **39**,63-71
- Okada H, Harada H. (2007) Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology*, **35**(3),582-598
- 岡田浩明 (2014) 水久保孝之・二井一禎編, 線虫学実験, 京都大学学術出版会, PP324
- 瀧 勝俊・加藤保 (1998) 有機農業実践ほ場における土壤の特徴, 愛知県農業総合試験場研究報告, **30**,79-87

7. 執筆担当者

岡田浩明

8. 問い合わせ先

農研機構中央農業研究センター Tel:029-838-8481

技術資料集索引

キーワード【作物名】

イネ	暖地二毛作／水稻；暖地二毛作／早稲水稻を参照	1-8, 1-9, 1-12
コムギ	暖地二毛作／小麦；パン用小麦；麦作雑草を参照	1-7, 1-8, 1-12, 1-15
キャベツ	暖地二毛作／キャベツを参照	1-1, 1-5, 1-9, 1-12
ブロッコリー	暖地二毛作／ブロッコリーを参照	1-2, 1-12
ホウレンソウ	暖地二毛作／ホウレンソウ；施設野菜作／ホウレンソウを参照	1-3, 3-1, 3-5, 3-10
タマネギ	暖地二毛作／タマネギを参照	1-12
レタス	高冷地露地野菜作／レタス；暖地二毛作／レタスを参照	2-1, 2-8, 2-15, 2-24, 2-25, 2-32, 1-12
リンゴ	果樹／リンゴを参照	6-1, 6-9

キーワード【作目&品種】

暖地二毛作／キャベツ	1-1, 1-5, 1-9, 1-12
暖地二毛作／キャベツ／金春	1-1, 1-5, 1-9
暖地二毛作／キャベツ／春波	1-1
暖地二毛作／キャベツ／味春	1-1, 1-12
暖地二毛作／ブロッコリー	1-2, 1-12
暖地二毛作／ブロッコリー／チャレンジャー	1-2
暖地二毛作／ブロッコリー／晩緑 99w	1-2
暖地二毛作／ブロッコリー／晩緑 100	1-2, 1-12
暖地二毛作／ホウレンソウ	1-3
暖地二毛作／ホウレンソウ／ハンター	1-3
暖地二毛作／ホウレンソウ／プラトン	1-3
暖地二毛作／ホウレンソウ／トラッド7	1-3
暖地二毛作／レタス	1-12
暖地二毛作／タマネギ	1-12
暖地二毛作／コムギ	1-7, 1-8, 1-12, 1-15
暖地二毛作／コムギ／ちくごまる	1-15
暖地二毛作／コムギ／シロガネコムギ	1-12
暖地二毛作／パン用コムギ／せときらら	1-7
暖地二毛作／水稻	1-8, 1-9, 1-12
暖地二毛作／早生水稻／夢しずく	1-8, 1-9, 1-12
高冷地露地野菜作／レタス	2-1, 2-8, 2-15, 2-24, 2-25, 2-32

高冷地露地野菜作／レタス／エスコート	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／ジュディ	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／バレイ	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／スターレイ	2-4, 2-5, 2-15, 2-16, 2-18
高冷地露地野菜作／レタス／デローサ	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／V レタス	2-5, 2-9, 2-18
高冷地露地野菜作／レタス／メルカド	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／ルシナ 66	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／シナノパワー	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／パトリオット	2-7, 2-8, 2-9, 2-8, 2-15, 2-18, 2-19, 2-33
高冷地露地野菜作／レタス／極早生シスコ	2-15
高冷地露地野菜作／レタス／シナノスター	2-15, 2-16, 2-18
高冷地露地野菜作／レタス／シナノホープ	2-6, 2-15, 2-20
高冷地露地野菜作／リーフレタス／リーフレタスグリーン	2-32
施設野菜作／ハウレンソウ	3-1, 3-5, 3-10
施設野菜作／ハウレンソウ／ミラージュ	3-4, 3-11
施設野菜作／ハウレンソウ／トラッドセブン	3-4, 3-11, 3-13, 3-14
果樹／リンゴ	6-1, 6-9
果樹／リンゴ／スターキング・デリシャス	6-1
果樹／リンゴ／ふじ	6-1, 6-9

キーワード【栽培技術】

暖地二毛作／機械除草	1-15
暖地二毛作／機械除草／レーキ式除草機	1-15
暖地二毛作／機械除草／小麦葉齡	1-15
暖地二毛作／機械除草／除草回数	1-15
暖地二毛作／麦作雑草	1-16
暖地二毛作／麦作雑草／スズメノテッポウ	1-16
暖地二毛作／麦作雑草／カズノコグサ	1-16
暖地二毛作／麦作雑草／ヤエムグラ	1-16
高冷地露地野菜作／レタス／施肥法	2-15
高冷地露地野菜作／被覆資材／じかがけ	2-8
高冷地露地野菜作／被覆資材／浮きがけ	2-8
施設野菜作／生物的土壌くん蒸処理／	3-1, 3-5
施設野菜作／生物的土壌くん蒸処理／カラシナ	3-1

施設野菜作／生物的土壌くん蒸処理／ダイコン残渣	3-5
キーワード【病害・虫害】	
暖地二毛作／コムギ／赤カビ病	1-8
暖地二毛作／レタス／病害／菌核病	1-5
暖地二毛作／レタス／病害／灰色かび病	1-6
高冷地露地野菜作／レタス／病害／菌核病	2-1, 2-25
高冷地露地野菜作／レタス／病害／灰色かび病	2-1, 2-26
高冷地露地野菜作／レタス／病害／べと病	2-1, 2-26
高冷地露地野菜作／レタス／病害／腐敗病	2-1, 2-27, 2-32
高冷地露地野菜作／レタス／病害／斑点細菌病	2-1, 2-4, 2-27
高冷地露地野菜作／レタス／病害／軟腐病	2-1, 2-4, 2-28
高冷地露地野菜作／レタス／病害／すそ枯病	2-1, 2-4, 2-25, 2-32
高冷地露地野菜作／レタス／病害／立枯病	2-37
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／チョウ目幼虫	2-8
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／アブラムシ類	2-8, 2-13
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／オオタバコガ	2-8, 2-12, 2-29
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／ヨトウムシ	2-8, 2-12, 2-29
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／ハモグリバエ類	2-8, 2-13, 2-30
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／ウリバ類	2-9, 2-12, 2-30
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／ジャガイモヒゲナガアブラムシ	2-9, 2-13, 2-31
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／モモアカアブラムシ	2-9, 2-13, 2-31
施設野菜作／ホウレンソウ／病害／萎凋病	3-1, 3-3, 3-5
施設野菜作／ホウレンソウ／虫害／ホウレンソウケナガコナダニ	3-10, 3-12
施設野菜作／ホウレンソウ／虫害／キルパー液剤	3-16
施設野菜作／ホウレンソウ／虫害／カスケード乳剤	3-13
水稲育苗／病害／イネもみ枯細菌病	4-1
水稲育苗／病害／イネ苗立枯細菌病	4-1
果樹／リンゴ／病害／黒星病	6-1
果樹／リンゴ／病害／斑点落葉病	6-1
果樹／リンゴ／病害／褐斑病	6-1
果樹／リンゴ／病害／黒点病	6-1
果樹／リンゴ／病害／すす斑病	6-1
果樹／リンゴ／病害／すす点病	6-1
果樹／リンゴ／虫害／モモシンクイガ	6-1

果樹／リンゴ／虫害／ナシマルカイガラムシ	6-1
果樹／リンゴ／虫害／リンゴハマキクロバ	6-1
キーワード【防除資材】	
高冷地露地野菜作／レタス／病害／非病原性エルビニア・カロトボーラ水和剤	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／病害／シュードモナス フルオレッセンス水和剤	2-5
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／BT 剤	2-12, 2-29
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／ボタニガード ES	2-13
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／エコピタ液剤	2-13, 2-31
高冷地露地野菜作／レタス／虫害／モスピラン顆粒水溶剤	2-13
施設野菜作／ハウレンソウ／虫害／キルパー液剤	3-16
施設野菜作／ハウレンソウ／虫害／カスケード乳剤	3-13, 3-14, 3-15
施設野菜作／ハウレンソウ／虫害／食酢	3-12,
果樹／リンゴ／病害／食酢	6-4, 6-7
果樹／リンゴ／病害／マシン油	6-5
キーワード【農業資材・その他】	
シープロテイン	1-1, 1-2, 1-5, 1-9
牛ふん堆肥	1-1, 1-2, 1-3, 1-5, 1-9, 2-20, 5-2
グリーンアニマル 725	1-1, 1-2, 1-3, 1-5, 1-9
グアノ	1-1, 1-2, 1-3, 1-5, 1-9, 7-2
微量要素資材 FTE	1-1, 1-2, 1-3, 1-5, 1-9
油かす	1-7, 2-21, 5-2
鶏ふん	1-7, 1-15, 2-1, 2-15, 2-17, 2-21, 5-2
バイオノ有機 s	2-21, 2-23
水稲育苗土	4-1
もみ殻堆肥	4-2, 4-9, 5-2
米ぬか	5-1
暖地二毛作／経営評価	1-12
高冷地露地野菜作／レタス／経営評価	2-24
施設野菜作／ハウレンソウ／経営評価	3-8
土壌生物相／微生物多様性	4-1, 4-5, 4-8
土壌生物相／プロテアーゼ生産細菌	5-1

土壤生物相／線虫	7-3
土壤生物相／ダニ	7-3
土壤生物相／トビムシ	7-3
土壤生物相／土壤微生物量	7-3
リンゴ葉面／シュードモナス属細菌	6-9

この資料は、農林水産省委託プロジェクト
「有機農業を特徴づける客観的指標の開発と
安定生産技術の開発（2013～2017）」の成果普及資料です。

2018年7月 第一版発行

事業全般に関するお問い合わせ先
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18
Tel 029 - 838 - 8481