

有機農業実践講座 落葉果樹

有機栽培はどこまで可能か

日 時:2016年1月15日(金)13時から16日(土)12時30分

会場:天童グランドホテル舞鶴荘(山形県天童市) 佐藤農場(天童市、サクランボ、モモ、ブドウ) 遠藤秀一氏圃場(東根市、サクランボ)

主 催:NPO 法人有機農業参入促進協議会

後 援:山形県、福島県、天童市

有機農業実践講座~落葉果樹~ 開催にあたって

果樹の有機農業実践講座も7回目を迎えます。そのうち、落葉果樹を対象として3回目の講座を、今回、東北・山形県で開催します。

水稲や野菜に比べて、果樹の有機栽培は難しいとされてきましたが、回を重ねるなかで、問題点や課題が絞られ、解決策や解決の方向が見えてきました。

落葉果樹栽培においても、土づくりを中心とした持続的な栽培方法により味の向上と病害虫の抑制が同時並行的に実現に向かうこと、雑草のコントロールや剪定・摘果にさまざまな工夫なされていること、販売を含めた持続的経営がなされていることなどなど、共有すべき情報が集積されつつあります。

本講座では、栽培の基本中の基本である土壌と土壌微生物と作物の関係を確認し、その道の研究の最前線で活躍中の農研機構・北海道農業研究センター主任研究員であり、プロジェクトリーダーでもある池田成志氏を基調講演にお招きしました。有機農家が当然視している事象の科学的裏付けや最新の研究状況など、実践をさらに後押しする情報を共有できるものと思います。

続く、事例発表、パネルディスカッションでは、地元山形県や福島県の代表的な生産者はもちろん、青森県、長野県からの発表者を交えて、有機農業だけでなく、高品質果実の生産やモデル的経営も含めて企画しました。2 日目の現地検討会も含めプログラムの各所で、事例発表者と参加者との情報共有が深化することを期待しています。

なお、2020 年にはオリンピック・パラリンピック東京大会が開催されます。世界の選手たちに、健康とパワーをもたらす有機農産物を国内で供給する話も取り沙汰されています。選手だけでなく前後して押し寄せる来日客に、味が良くて健康的な日本の有機農産物を食べてもらい、その後の輸出に結び付けようとの構想もあります。

本講座への参加は、有機農業の持つ戦略的価値を考慮し、今後の農業経営の在り方について再考するチャンスかとも思われます。

有機農業の実践者はもちろん、大多数の関心の高い生産者の皆様、加工や販売・流通の関係者、研究や普及・行政面で最新情報の取得や生産者との交流を望んでいる皆様など、果樹だけでなく有機農業に関心のある方々は、奮ってご参加いただき、さまざまな交流を通して、本講座がすばらしい出会いの場となることを期待しています。

最後に、開催にあたってご尽力いただいた関係者の皆様にこの場を借りてお礼を申し上げます。

平成 28 年 1 月 15 日 NPO 法人有機農業参入促進協議会 副代表理事 鶴田 志郎

目 次

開催にあたって

プログラム	6
植物共生微生物と農業(池田 成志)	9
賢い農業のための「光生態学のすすめ」(池田 成志)	18
植物共生科学の新展開と農学研究におけるパラダイムシフト(池田 成志ほか)	20
長野県中野市における減農薬モモ、リンゴ栽培(田中 久一)	31
福島県会津美里町における有機 JAS 認証カキ栽培(白井 則夫)	34
山形県朝日町における減農薬リンゴ栽培(菅井 誠吾)	36
山形県高畠町における減農薬ブドウ栽培(遠藤 五一)	39
青森県藤崎町における有機 JAS リンゴ栽培(福田 秀貞)	41
山形県天童市における減農薬サクランボ栽培(佐藤 善博)	44
山形県東根市における減農薬サクランボ栽培(遠藤 秀一)	47
参考資料	
耕地生態系を支える構成要素と機能	51
耕地生態系の機能を高める有機栽培技術の基本	63
果樹の有機栽培実施上の課題と対応策	78
有機農業の研修受入先をご紹介ください	83
有機農業の経営指標をご提供ください	85
有機農業に関する相談問い合わせ先	88
有機農業果樹・茶講座開催一覧	90

プログラム

第1部 シンポジウム

於:天童グランドホテル 舞鶴荘 会議室

13:00 ~ 13:30	開会式 あいさつ	鶴田 志郎(有機農業参入促進協議会副代表理事) 町口 和彦氏(農林水産省生産局農業環境対策課課長補佐) 寒河江 孝氏(山形県農林水産部農業技術環境課課長) 髙橋 正義氏 (天童市経済部農林課課長)
13:30 ~ 15:00	基調講演 「植物共生微生物と農業」	池田 成志氏 (北海道農業研究センター)
15:00 ~ 15:10	休憩	
15:10 ~ 16:25	事例発表	田中久一氏(長野県中野市、リンゴ・モモ)、白井則夫氏(福島県会津美里町、カキ)、菅井誠吾氏(山形県朝日町、サクランボ・リンゴ)、遠藤五一氏(山形県高畠町、ブドウ)、福田秀貞氏(青森県藤崎町、リンゴ)、佐藤善博氏(山形県天童市、サクランボ)
16:25 ~ 17:20	パネルディスカッション	コーディネーター:鶴田 志郎 パネラー:事例発表者
17:20 ~ 17:30	閉会式	有機農業参入促進協議会

第2部 情報交流会

於:天童グランドホテル 舞鶴荘 会議室

18:00 ~ 20:00	情報交流会
---------------	-------

第3部 現地見学会

8:30	天童グランドホテル	舞鶴荘発
8:45 ~ 9:15	佐藤善博農園	
10:00 ~ 11:30	山庄果樹園	
12:30	天童グランドホテル	舞鶴荘着解散(天童駅経由)

基調講演

池田成志(農研機構・北海道農業研究センター)

池田成志氏の専門は、植物共生科学、植物微生物学、分子微生物生態学。 植物共生科学の視点から有用微生物の機能を自然からの恩恵として最大限 に活用し、減農薬や減化学肥料を合理的に可能にするための技術開発や病害 防除などのプロジェクトに携わっておられます。

基調講演では、有機農業の基本である土づくりについて、土壌微生物の生態や働きを踏まえ適切な栽培管理を行うことで、減農薬、減肥料栽培が可能であること、さらに農産物の品質向上につながることを、専門の立場から紹介していただきます。

講演を通して、有機農業では最も困難とされている落葉果樹栽培の可能性 を共に考えるきっかけとなることを期待します。

植物共生微生物と農業

北海道農業研究センター・池田成志

1. 緒言

近年、農業の国際競争力強化のためのブランド化や海外産の農産物・食料品に対する不信感、消費者の安全・安心を求める需要等から、国産農産物、特に差別化商品の創出のために特別栽培や有機栽培が注目され始めている。しかしながら、これらの栽培法による国内の農産物生産が大きく増加しているわけではない。これは、主に生産者の方々の努力により減農薬や減化学肥料、あるいは無農薬・無化学肥料での作物栽培のために必要な一定の技術が開発されてはいるが、現状では未解決の問題も多く、特別栽培や有機栽培の栽培面積や生産者数の拡大のためには科学的な視点からの現状の技術の改善や新規の技術開発が必要であると思われる。そのための思案の1つとして、本稿では従来の農業技術では活用が不十分であったと思われる微生物や光環境に注目することの重要性について議論してみたい。これらの環境要因は様々な植物の形質に与える影響が非常に大きい可能性を持つが、一方で研究者にとっても人間の五感で直接感じることができない環境要因の重要性について研究することは大変困難で勇気が必要とされるからである。

筆者の専門分野は植物に共生する微生物の研究であるが、本稿では自分の専門分野を中心に、できるだけ生産者の方々の今後の栽培現場の改善に役に立つ形で、筆者が過去5年間の(有機)農業の研究分野で知り得た若干の知見について紹介したい。

2. 微生物分析手法の進歩

従来の土壌微生物多様性の分析手法としては、微生物(群)の有機物を分解する能力を測 定するバイオローグ法や、土壌中の微生物群の遺伝子をバーコード状に情報化する DGGE 法や T-RFLP 法のような DNA 多型解析法等がある。いずれの手法も農耕地や作物、農産 物等に含まれる微生物の多様性を評価するためには不十分な方法であるが、他に適当な方 法がないということで農業微生物研究者が無理をして使ってきたというのが実情である。 特に、バイオローグ法は技術的に大変不安的で問題点が多いこともあり、微生物研究の一 手法としての価値は認められるが、一定の科学的結論を下す手段としては適切な方法では ないと指摘され(Preston-Mafham ら、2002年) 現時点(2014年)で土壌微生物の多様 性評価には殆ど使われていない技術である。また、最近の農業微生物研究に良く使われて きた DGGE 法も技術的な不安定性があり、かつ、環境中の微生物の莫大な多様性に対して 得られる情報量は全く少ないので、実務的には利用価値が少ないことは専門家の間では知 られていた。他の微生物性診断技術としては、土壌酵素活性の測定や培養法による菌数測 定等があるが、これら技術もバイオローグ法や DGGE 法と同様で、大変不安定な技術であ る上に、得られる情報量も大変少なく、農業環境中の微生物情報については研究者も曖昧 な形でしか説明できなかった。以上で紹介したいずれの分析方法でも結果の解釈について は、「科学的には意味不明」というのが実情であり、土壌の化学分析のように得られた結果 から農業生産性向上のための処方箋を作成することはほぼ不可能である。したがって、生

産者が高い分析費用を支払って上述のような分析の依頼を行う意義は殆どないと思われる。 一方、最近の数年間における遺伝子分析技術の急速な発達により、現時点でようやくでは あるが、土壌や植物に、どのくらいの種類の微生物が、どのくらいの量で存在するのか、 という畑の微生物の多様性に関する疑問に答えられる時代になりつつある。20年前と比較 すると、同じコストで得られる微生物情報が 10 万~100 万倍に増えており、数年以内に土 壌の化学分析と同様なコストと時間で生産者個人の発注で土壌の微生物診断が可能になる と筆者は考えている。このような技術発展は農業や農学における従来の概念や方法論等に 大きな影響を与え、植物を中心に考えられてきた農業・食品(研究)のスタイルを今後大 きく変える可能性がある。例えば、微生物分析を通した土壌や作物の健康診断技術の開発、 土作りの科学化、堆肥の科学的評価、微生物を利用した農産物の産地識別やトレーサビリ ティ、栽培から収穫後の微生物制御を通した農産物・醗酵食品の品質管理や高品質化等が 可能になると考えられる。従来までは「できたらいいな」という夢の話として語られてき たことが可能になりつつある、「農業版ドラエもん」の時代が到来したように思われる。即 ち、農業・食品産業は、農耕地や食品中の有用微生物の探索や活用などを通した微生物バ イオテクノロジーを中心技術として再考されるべき分野だと筆者は考えている。このよう な背景から今後は民間企業と連携して、生産者の土作りや栽培管理技術の参考になるよう な、実務業務向けの堆肥や土壌、作物、農産物・食品等の微生物診断システムの開発を行 いたいと考えている。

3. 有用微生物研究の経緯と現状

初期の農業微生物研究では、有用微生物の圃場への定着促進や微生物の有用機能の発現誘導を期待した、キチン等のような農業資材の圃場への投入等による土壌微生物相全体の改変等に重点を置いた研究が多くなされた。しかし、このような研究は微生物接種源の準備や資材投入量・コスト等の負担が大きいこと、効果が不安定なこと等の理由から実用化が困難であった。次に、土壌中での有用微生物の安定的な環境として根圏が注目され、根圏微生物群の中からの有用微生物の選抜が多数試みられた。残念ながら、このような研究においても圃場レベルでの微生物資材や微生物農薬等の実用化は容易ではなかった。以上のような失敗の歴史は、環境中には膨大な数の微生物が環境中に存在していることが明らかにされている現在の微生物学から考えれば当然の帰結である。即ち、農業微生物研究者が無数の微生物が生息する土壌や植物等から偶然分離培養できた極僅かな微生物群の中から、さらに偶然にも素晴らしい有用微生物が選抜できるほど世の中は甘くはなかったのである。さらに、根圏微生物の活用にも失敗した研究者達は、環境微生物との競合を避けて有用微生物の植物への確実な定着と機能発現が期待される微生物群として植物組織内に共生する微生物(エンドファイト)の利用に注目した。

しかしながら、現在研究されている多くの有用エンドファイトも実際の農業現場で使い ものになっているとは言い難いのが現状である。上記の一連の農業有用微生物利用の歴史 の失敗の第一の原因としては、研究室内で分離培養され、選抜されてきた有用微生物が現 実の農業環境に最適な微生物ではなかったという可能性がある。第二の原因としては、仮 に農業現場に適した有用微生物が分離されたとしても、微生物を使えば、「いつでも、どこ でも、期待した効果が出る」、と思い込んでしまった研究者(人間)の考え方や使い方に問 題があると筆者は考えている。エンドファイトのような有用微生物は作物に散布さえすれば、あとは畑で人間のために働いてくれると考えることは筆者には楽天的すぎるように思われる。国際的に見ても、日本を含めた主要な先進国では農業における近年の有用微生物研究は閉塞状態にあり、高い実用性を示す研究は殆ど発表されていないのが現状である。それでは、どうすれば有用微生物を効率手に見つけ、効果的にそれら有用微生物を実際の農業現場で活用できるのだろうか。

筆者の提案としては、第一に、農業生産に強い影響を持つと思われる植物組織に共生する有用微生物の研究(共生微生物学)、第二に、牛や豚にエサを与えて適切な世話をするように、施肥管理や栽培管理を通して有用微生物が能力を十二分に発揮できる環境の研究(共生栽培学)、第三に、有機物利用能が高く、有用微生物との共生能力の高い作物育種(共生育種学)の3点であり、これらが持続的な農業を進めるための肝だと考えている。即ち、減農薬や減化学肥料、あるいは無農薬・無化学肥料栽培を科学的に行うためには、微生物の力(自然の恩恵、環境サービス)を最大限に活用することが求められるが、生産者は微

農業(研究)における複雑性

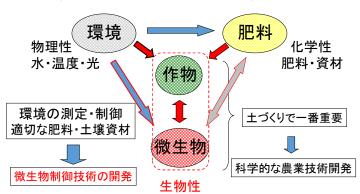


図1. 共生系の制御を通した持続的農業の概念

4. 植物共生の生態学的意義

現代微生物学では、乳酸菌等のヒト共生細菌が栄養分の吸収促進や生理活性物質の生産、様々な病気の発生の抑制等を通してヒトの健康維持に重要であることは既に広く知られている。アメリカでは Human Microbiome Project (HMP) と呼ばれるヒトに共生する微生物相の全容解明が国家プロジェクトとして進められており (http://commonfund.nih.gov/hmp/)、これまでに 600 種以上のヒト共生細菌のゲノム解析や 7000 万配列以上の 16S rRNA 遺伝子の解析、それらに対応するメタゲノム解析等が進められ、これらのデータ解析からヒトや動物の健康維持における共生微生物の重要性の詳細が解明されつつある (Proctor, 2011)。これらの研究の中においても、特に興味深い結果の 1 つは、同じ地域で生活をしている家族の中でも腸内に共生している微生物の多様性には類似性が少ないという事実である。これは同じ地域で同じような食生活をすれば、似たような共生微生物の多様性になるのではないかという多くの研究者の期待に合わない結果であった。腸内微生物の多様性は家族内でも個人によりバラバラであることや、大人になってから腸内微生物

の多様性を大きく変えることが困難なこと等から、離乳食後の一定期間の食生活が腸内微生物の多様性に反映され、個人の特徴として固定されるのではないかと筆者は考えている。おそらく作物でも同様であり、幼苗時に共生した微生物がその後の作物の生育に大きな影響を与えることは十分に考えられる。「苗半作」という言葉の中には、育苗時に有用微生物を共生させるということも含まれるように思われる。そのように考えると、持続的農業を目指す場合は有用微生物の共生に適した栽培環境(光条件や施肥条件等)を整えることが重要なように思われる。

一方、植物共生微生物については、後述するような技術的な問題もありヒトの共生微生物のような網羅的な研究は非常に遅れているが、共生微生物の重要性自体は植物科学・農学においても広く認識され、主として農業利用を目的とした微生物資材や微生物農薬等の研究としては長い歴史がある。植物における共生微生物の存在意義を大きく要約すると以下の3点になる。

1番目は、土壌からの養分吸収のための共生微生物の重要性である。数億年前に植物が水 域から離れて乾燥した陸地に進出した時点では、植物が利用しやすい形の土壌は地球上に は無かったと考えられており、陸生植物が土壌から養分を吸収するためには微生物との共 生が必須だったと思われる(Redecker et al., 2000)。 共生微生物には窒素、リン酸、硫黄、 鉄等の植物への養分吸収を促進する機能がある。これらの中で特に、窒素については土壌 中や植物に共生する窒素固定細菌が空中窒素を土壌中や植物組織中に固定して、土壌を肥 沃にし、作物の生産性を向上する大きな要因となる。普通の草地や牧草地等では植物の根 圏を中心にして年間反当り2~3kg程度の窒素量が土壌中に固定されると言われているが、 この細菌による窒素固定は大量の化学肥料の施肥により阻害される。したがって、大量の 化学肥料の使用を控えることが窒素固定有用微生物の効果的な活用のための1つの必要条 件であるが、化学肥料を使わないというだけでは細菌による窒素固定は大きくは進まない。 細菌が生きていくためには窒素だけではなく、炭素がより多く必要とされるが、土壌中に 窒素固定細菌が利用できる炭素源は非常に少ないからである。動植物を含めて多くの地球 上の生命体について重要な主要元素は一般的に炭素、窒素、リン、硫黄等の順番で必要と されるが、植物は自分で光合成して炭素を自給できることから、普通の化学肥料には微生 物が利用可能な炭素成分は含まれていないか、含まれていても大変少ない。これが化学肥 料の施用のみでは農耕地生態系が崩壊していくことの主要な原因の1つであると考えられ る。微生物資材や微生物農薬を利用しようとしても、当該有用微生物が栄養分を獲得でき なければ農耕地環境中で増殖できない。逆に、有用微生物が利用できる炭素源の供給があ れば、空中窒素が土壌に固定され、大気や雨、土壌等の環境中の希薄なリンや硫黄等の他 の養分についても微生物を通して土壌中への蓄積・濃縮が進むと考えられる。この土壌微 生物のための炭素源となり得るのが堆肥や有機質の肥料、土壌改良資材であり、それらの 施用が土壌への窒素固定を中心にした各種養分の土壌への蓄積を促進し、土壌を肥沃にす ることにつながると筆者は考える。以上のような背景が、完熟堆肥の施用だけでも、それ なりの農業生産が可能になる理由であると思われる。環境微生物には炭素や窒素等の物質 循環能があり、それらの養分が微生物を通して農耕地環境中でできるだけ多く循環させる ことが持続的農業に結びつくと考えると分かりやすい。

一方、植物の根は有機物を分泌し、それらの分泌物が炭素源となり雑草や作物の根圏で窒

素固定が起こる。水稲栽培だと土壌だけでなく、田面水中で光合成微生物の活動ともリンクして窒素固定が行われる。この場合、窒素だけではなく、炭素も水田環境に供給・蓄積され、これらの物質の循環や蓄積が水田土壌の持続的利用を可能にしている大きな要因だと考えられる。したがって、雑草や光合成微生物を死滅させる除草剤や化学肥料の使用は微生物による水田や畑土壌への炭素や窒素の蓄積を抑制し、環境サービスの大きな低下をもたらすと考えられる。以上から、有用微生物の機能を活用するためには、特に窒素肥料と除草剤の使用量を控えることが重要であると考えられる。

植物共生微生物の2番目の重要な機能は、植物の病害を防除・軽減する機能である。作物の病害防除に貢献する有用微生物の機能として、病原菌の生育を抑制する、あるいは植物の持つ抵抗性を強化する機能がある。これらの病害防除機能は基礎研究としては多数の報告があるが、実用的業現場での利用の試みは殆ど失敗に終わっている。そのような失敗の原因としては、上述のような有機物や化学肥料の施用のような栽培環境が植物と有用微生物・病原微生物の3者の相互作用に及ぼす影響や、後述する植物の有用微生物制御系から病原微生物が受ける影響等を考慮した微生物による病害防除研究が検討されていなかったこと等が考えられる。

3番目は、植物を健康にする機能である。共生微生物は酵素や植物ホルモン等の生理活性物質の生産を行い、植物の代謝制御を通した生育促進や物理・化学的な各種ストレスの緩和等の有用機能を持っている(Kim et al., 2011)。 さらに、従来の研究では検討すること自体が難しかった「おいしさの科学」も共生微生物の研究から紐解かれつつある。

以上のように多様な微生物との共生は宿主生物に機能的多様性を付与することを意味する。実際に、植物を含めた真核生物の祖先は 3~4 種類の細菌類の共生体と推定されており、現代生物学では共生は生物の飛躍的進化の原動力と考えられている。このような微生物との共生は宿主生物に「宿主生物単独では不可能なことを可能にさせる」という機能的多様性を付与することを意味する。上述の 1 番目と 2 番目の機能は化学物質で代替可能であるが、3 番目のような機能は容易に化学物質で代替でき得るものではない。また、我々の知らない「未知の共生微生物」の「未知の有用機能」も存在するはずである。

ヒトにおいても、欧米人の腸内には存在しない海藻を分解できる微生物群が日本人の腸内には共生していることが知られている。即ち、映画「X-MEN」のミュータントのように、研究者の想像以上に多様な微生物との共生を通して多様な代謝能力やストレス耐性等のヒトの機能を実際に改変できる可能性がある(リアル X-MEN)。同様に、植物共生微生物群の多様性や機能性の解明は農業に有用な微生物の研究をするための基盤的情報として非常に重要である。特に、化学肥料や化学農薬に依存しない有機農業においては、圃場に存在する有用微生物群の機能が養分吸収や病害防除において重要な役割を果たしているであろうことは容易に予想される。環境微生物の機能を無視した特別栽培や有機栽培のための技術開発は有り得ないように思われる。

5. 減肥・減農薬だけではない共生微生物の重要性

微生物は多様な化学成分に対する高い代謝能力を持つことから、共生微生物が農産物の 重要な風味の形成に関わっていることが明らかになりつつある。多くの微生物が空気中か ら水分を吸収し、気体類をエサとして増殖する能力を持っている。このような能力を持つ 共生微生物が農産物の風味・食味、特に「おいしさ」のようなヒトの食品嗜好性にも大きな影響を与える可能性は十分にある。例えば、ワイン等の発酵食品の場合は材料に含まれている共生微生物が農産物の品質に直接的な影響を与える。実際に、幾つかのワインの芳香成分は共生微生物に由来しており、分離培養された共生微生物が試験管中でワインの香りを生産することが報告されている。普遍的に植物に共生する Methylobacterium 属細菌については、イチゴの重要な芳香成分の生合成系に関与していることが報告されている。一方、これらの有用共生微生物群とは逆に、収穫後の農産物の病害や腐敗、悪臭や加工食品の変質の原因となる有害微生物の多くも植物共生微生物である。このような事実から考えると、圃場での栽培管理が共生微生物の影響を通して収穫後の農産物の貯蔵性や品質に大きな影響を与える可能があることから、栽培現場だけではなく収穫後のフードチェーン等を含めた一次産業全体を意識した栽培管理技術の再考をすることが今後の農業(研究)において有益であるように思われる。パスツールにより証明されたように一般的な腐敗現象は微生物が原因であるので、適切に栽培された有機農産物が腐敗し難いというような現象は共生微生物相の多様性や有用機能の解明から比較的容易に説明できる可能がある。

上述のような話が全て科学的に明らかになるには 10年、20年先の話である、と最近ま で思われていたが、近年の微生物分析技術の進歩は目覚しく、事態は急展開しつつある。 昨年、アメリカの企業と農務省の共同研究により、カリフォルニアワインのテロワールを 微生物学的に解明するという大変挑戦的な論文が発表された。当該論文では、ワイン製造 に使う品種、産地、ビンテージ等の違いに特徴的なブドウの房に共生する微生物を特定し ている。このような研究は、気象、土壌、栽培法、ブドウ、ワインの醗酵過程等の多様な 分析をしても未だに解明されていない産地特有のワインの風味・おいしさを解明する切り 札として注目されており、多様な環境因子が作用して最終的かつ直接的にブドウの醗酵過 程に大きな影響を与える環境因子として微生物に着目したと言える。このような研究の展 開は他の果樹類やお茶など、農産物の品質において風味が重視されている農作物では特に 重要であると思われる。上述したように肥料や栽培管理で共生微生物が影響を受けるとい うことを利用すれば、例えば、日本でも栽培管理を工夫すればカリフォルニアの Napa バ レーと同様なブドウの微生物相を再現が可能となり、結果としてカリフォルニア以上の品 質のワインを日本国内でも生産できることになるかもしれない。同様な概念は農産物や発 酵食品全般に使え、農業や食品産業全体のパラダイムシフトに繋がる概念だと筆者は考え ている。

6. 植物の有用微生物制御系

近年の植物共生科学の中で最も特筆すべき発見は、植物は有用微生物群と相互作用するための特別な微生物制御システムを持つことが解明されたことである(図2)。しかも、この制御系は地上部組織が地下の根における有用微生物の感染を制御していること、植物による土壌の窒素濃度のセンシング系とリンクしていることが明らかにされた。即ち、植物は過剰な施肥などを感知すると、情報が上述の微生物制御系に入力され、有用微生物の感染が抑制されることが判明した。さらに筆者らの研究により、それらの影響は根圏などの地下組織だけではなく、葉や茎、果実等の地上部組織の共生系全体にも大きな影響を与え得ることが明らかにされた。これらの結果から、植物と病原微生物との相互作用も過剰施

肥の影響を受ける可能性があることは容易に想像される。化学農薬を使わない有機農業では、有用微生物との共生を阻害する過剰施肥らり、低投入を基本にした土づうは組織である。特に、果樹類では組織される。特に、果樹類では組織される。特に、果樹類では過速を動力、共生微生物ののであるとは困難であり、共生微生物のらいて重要であると思われることから、

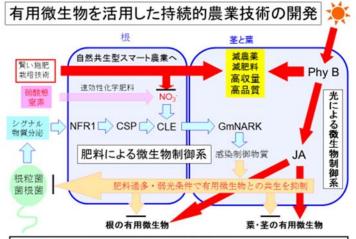


図2. 植物の有用微生物制御系を考慮した持続的農業の可能性

果樹園の施肥管理は一年生作物以上に重要であり、注意を払うべきだと思われる。

7. 農業微生物研究における光環境の重要性

根粒菌と植物の共生において光の質が重要であることが最近報告され、光環境が共生微生物に強い影響を与えることが明らかにされた。即ち、マメ科作物は光受容体であるフィイトクロム B(動物の目に相当する蛋白質)を通して日向の光(R/FR(赤色/遠赤色)比が高い光)を受けると、ジャスモン酸の生合成系の活性化を通して根粒菌や菌根菌等の有用微生物群との共生を促進する。逆に、他の植物の葉の下に位置することで日陰の光(R/FR 比が低い光)を受けると、マメ科作物は根粒菌や菌根菌との共生を拒否し、代わりに植物の細胞分裂や細胞伸長を促進する植物ホルモンが生合成され、結果として R/FR 比の高い日向の光を求めて植物が背伸びをする(徒長する)。

この R/FR 比は重要な環境情報として、フィトクロム B を通して作物の形態や色、多くの病害虫抵抗反応、農産物の品質等に大きな影響を与えることが知られており、農業の重要な「ツボ」の 1 つのように思われる。また、上述のような知見は、農業現場において植物や微生物の有用機能を十分に引き出すためには、現在の慣行栽培ではあまり注意を払われなくなった畝の方向や株間の距離等についても丁寧に検討して適正な光環境を確保する必要があることを示唆している。実際に、関東地域の有機稲作では慣行栽培よりも株間を広く取る疎植が栽培技術として定着しており、好適な光環境によりイネや共生微生物が持つ有用機能を上手に使っているように思われる。さらに、一年生作物における畝の方向に関する研究では、好適な栽培環境においては南北畝、不良な条件では東西畝において生産性や品質の向上が見られる傾向が報告されている。大変興味深いことに、一般に東西畝が南北畝よりも圃場の群落中の R/FR 比が高くなることが知られており、上記のような畝の方向に関する多くの研究結果は不良環境における光質の確保の重要性を示唆している。光の量だけではなく質が重要である点に注意が必要である。

上記のような R/FR 比に関するもうひとつの重要な生態学的な視点は夕日であると考えられる。一般的な人々の持つ夕日のイメージは水平性に沈む赤い日の丸であると思われるが、このイメージの中に 2 つの重要な情報がある。1 つは、日中の太陽よりも赤い夕陽は、夜の訪れを知らせ、植物の夜間の代謝の方向を決める重要な情報になることが基礎的な研

究から示唆されている。それらの研究結果をとりまとめると、一般論としては日没前に R/FR 比の高い光が当たると、夜間に光合成産物は果実や根部に積極的に利用されると考えられる。一方、日没前に R/FR 比の低い光が当たると、光合成産物は茎葉のために利用されやすくなると考えられる。野外において、植物は横から来る光(朝陽・夕陽)を茎の光受容体を通して感知し、情報として活用できることが報告されており、朝陽は生産性、夕陽は病害虫抵抗性や果菜類・根菜類の品質に大きな影響を与えると思われる。以上のような知見から、農作物の種類により最適な光環境は異なってくると思われるが、一般論としては農薬を使わない有機農業では夕陽が良くあたる環境が望ましいと思われる。光環境が微生物との共生にも大きな影響を与えることを考えると、本圃の光環境を変えることは困難でも、育苗段階だけでも好適な光環境が得られる場所を確保し、環境中の有用微生物との共生を促進することは大変重要なように思われる。人の腸内細菌と同様に、生育初期に共生した微生物を栽培の途中で入れ替えることは大変困難である。所謂「苗半作」という言葉の重要性の中には無意識のうちに共生微生物の重要性も含まれているのかもしれない。

野外において、空は明るいが夕陽が直接見えないような立地条件は日没前に R/FR 比の低い光が当たる場所になると思われる。そのような場所では、畝の方向、栽植密度、より丁寧な病害虫管理等の工夫が望まれ、栽培作物の選定も葉茎野菜や牧草等を中心にすることが生態的には合理的であると考えられる。「適地適作」という言葉も農業では何気なくよく使われるが、朝陽・夕陽の有無は適地を決める非常に大きな環境要因であると筆者は考えている。

8. 有用微生物の新たな機能解析

このようなことを言うと、筆者の頭がおかしいのかと思われるかもしれないが、実は植物 の茎が光ファイバーになっており、葉で受けた光が根の先端にまで到達しているという研 究が国内外で報告されている。さらに、植物の根にも動物の目に対応する光受容体タンパ ク質が存在することも報告されており、土壌中の光環境の存在や重要性を示唆している。 以上のような知見から、光る根に集まる土壌微生物というような世界もあってもおかしく はないというのが筆者の見解である。土壌中の光環境というものを想定すれば、不耕起栽 培は地表を有機物で覆い土壌への光を遮蔽する栽培法というような見方も可能なように思 われる。さらに、果樹栽培では株元に炭を散布する生産者も存在する。炭の表面施用が地 表面の落ち葉や枯れ枝のような堆積物の代わりとなり、土壌表面の光環境を制御して根や 土壌微生物の機能を制御するという可能性も考えられる。実際に、農研機構の有機農業の 研究成果から上述のような土壌表層の光環境の重要性を示唆する研究結果が報告されてい る。以上のように農業(研究)には未だ検討されていない、従来の知識や経験からのボト ムアップ型の考え方や研究では想像し難い、新しい概念へのブレークスルーをもたらす余 地が非常に大きく残されていると考えるべきである。想像をたくましくすれば、ひょっと すると、炭を土壌表面に散布しただけでモグラやネズミ、ミミズのような動物の土壌中で の動きも大きく変わるかもしれない。

9. 終わりに

本稿で紹介したような施肥や光等の環境条件と共生微生物相との関係を慎重に検討する

ことにより、農業現場での有用微生物の効果的な利用技術の開発が今後は期待できるかも しれない。本稿で紹介したような知見を活用することにより農耕地生態系の微生物相を改 善し、環境微生物の有用機能を環境サービスとして最大限に活用することが、化学物質の 投入を最小限にした持続的農業生産活動の基本の1つとなるのではないだろうか。従来ま での農業や農学では、植物微生物複合体の中の作物部分しか注目しておらず、共生微生物 の存在は無視されてきた。そのような植物中心の農業や農学は、特に植物栄養学や肥料学 の分野で顕著であるが、農業における共生微生物の重要性を強く否定することにもつなが ってきた。一方で、農学は工学や理学に比べて完成された学問というには程遠いレベルに あり、「農学栄えて農業滅ぶ」とまで揶揄される状況にある。また、農業現場には多くの「科 学的には説明できない不思議な現象」が存在し、同時に「科学的根拠のない怪しい資材や 農法」が横行しているのが現状である。このような状況に陥った大きな原因の1つが本稿 で紹介してきた共生微生物研究の遅れに起因しているのではないだろうか。農業現場では 現代農学が説明できない多くの不思議が存在することは多くの有機栽培の生産者が感じて いることだろう。また、慣行農業においても不思議なことや分からないことも多く存在す る。例えば、畑に投入した肥料は半分程度しか作物に吸収されておらず、残り半分の肥料 は行方不明というような話が肥料学の常識になってしまっている。そもそも様々な農産物 のおいしいとされる産地の成立条件についても科学的な説明は殆どないように思われる。 従来の多くの農学研究者は、このような説明のつかない部分に対する科学的考察を放棄し てきた(いる)が、上述のような「農業の不思議」というパズルを埋めるための大きなピ -スの1つが共生微生物であると考えられる。

最近の農業の政策や研究では、IT 化やロボット化の導入が「スマート農業」のような捉 え方がなされつつあるが、これらの基本技術の開発は海外の方が進んでおり、さらに、こ れら技術の導入は海外の大規模生産地でより効果的であると考えられるため、国内農業の 国際競争力の強化にはつながらないように思われる。また、IT 化やロボット化自体がコス トやエネルギーの新たなインプットを要求し、これらの技術だけではトータルに考えると 持続的農業にはつながらないように思われる。植物や微生物の生理・生態を理解し、それ らを上手に利用した栽培・育種技術を思案していくことが、言葉遊びではない本質的な「ス マートアグリカルチャー」につながると筆者には思える。これは、「大切なものは、目にみ えない」という狐の言葉のとおり、微生物や光のような「目に見えないもの」(栽培環境) をもっと意識することが現代農業においても重要なように思われるからである。目に見え ないものを対象とすることは立派な顕微鏡や分析装置が使える現代の研究者にとっても、 その効果を信じて研究するには大変な勇気が必要になる。しかしながら、本稿で紹介した ような新たな視点からの研究は有機栽培における多くの疑問点を解決し、現代農業の常識 を新たに再考するための糸口になる可能性がある。本稿で紹介したような共生微生物の理 解と活用から、従来の常識を越えた新たな農業技術や農学研究の展開への扉が開かれるこ とを期待したい。

農研機構・池田成志先生の

農業のための

植物共生微生物分野で注目される池田先生の最新研究成果をご紹介します。



農業における光環境

筆者は作物と微生物の関係に影響 を与える環境要因として光と土壌の 2つの環境要因に注目しているが (図1)、現状では光環境の生態的な 理解と農業利用は大変不十分だと感 じている。したがって、今後の新農 業技術の開発のためのヒントになる ことを期待して、本稿では農業にお ける光研究の重要性について、従来 までの研究事例と私の私見を紹介さ せて戴きたい。

農業環境における光環境として重 要な波長は主として、紫外領域から 近赤外領域である。紫外領域はさ らに、UVBとUVAに区別される。 UVBは作物の形態形成や色素生産 等の形質に強い影響を持つことが知 られており、さらに最近の研究で は、葉面上の微生物多様性の制御を 通して病原体の増殖を抑制する機能 を持つことも示唆されている。この UVBはガラス等を透過すると非常 に大きく減少することが知られてお

り、所謂「温室育ち」の作物はなぜ 病虫害に弱いのか、ということの科 学的説明につながる。

夕陽に農産物をおいしくする 可能性があるかも?

日本の民間企業の研究者が、北 海道の生産者から「夕陽がトマトを おいしくする」という話を聞いて、こ れが本当なのか科学的に検証した例 がある。朝陽と夕陽は日中の光(白色) と比べると赤い。これは太陽から地 表面に水平方向から光が来る朝と夕 方は、波長の短い光(青~緑)が空 中のホコリ等により弾かれ、結果とし て波長の長い光(赤色~赤外光)が より多く地表面に到達するからであ ると説明されている。夜よりも昼間 の方が空中のホコリの量が多いこと から、夕陽は朝陽よりも赤く見える と説明されている。上記のメーカー は植物工場内の白色光下で栽培した トマトに光照射時間の最後に夕陽を 真似て赤色光を少し照射すると、ト

マト果実に含まれる糖分やビタミン 含量が増加することを発見している。

上記のような夕陽の潜在的な有用 効果は日没前の夕陽が良くあたる圃 場でよりおいしい農産物ができる可 能性を示唆している。また、圃場西 側への夕陽の効果を示唆するよう な、岡場の東西両端での作物の生育 の違いも報告されている。お得意様 に贈呈する農産物は、夕陽の良くあ たる圃場の西側付近から取れたもの が良いかも、と言えるかもしれない。 さらに、夕陽の光の質や継続時間は 緯度や季節により大きく異なる。実 際に、上記のメーカーが北海道(余 市町)と本州(浜松市)で夕陽を 測定したところ、予想通り、R/FR 値は北海道で高く、本州中部で低 かった。Rは赤色光 (Red、600~ 700nm)、FR は遠赤色光 (Far Red、 700~800nm) を意味する。この R/FR値が農産物の形質・収量や品 質に非常に大きな影響を与えること は花卉園芸分野では良く知られた事 実である。夕陽の継続時間は、国内 では夏場の北海道あたりの地域が夕 陽の継続時間も一番長くなる。また、 夕陽の来る方向を考えると畝の方向 も大事なように思われる。栽培密度 が高い場合は東西畝の方が南北畝よ りもR/FR値は高くなることが明ら かにされ、水分環境の良い圃場では 南北畝が、強い乾燥ストレスを受け るような環境条件の悪い圃場では東 西畝が良いことが示唆されている。

有用微生物を活用した持続的農業技術の開発 棉 減農薬 自然共生型スマート農業へ 賢い施肥 滅肥料 光受容体 栽培技術 高収量 速効性化学肥料 高品質 酸態窒素 光による微生物制御系 遺伝子A 遺伝子B 遺伝子C 遺伝子D 肥料による微生物制御系 感染制御物質 根粒菌 菌根菌 根の有用微生物 葉・茎の有用微生物 科学的栽培による減農薬・減化学肥料と安全性と品質の向上

図1. 有用微生物との共生を通した持続的農業の可能性の概念図

なぜ夕陽なのか?

赤い光が、それも夕陽が朝陽以上 に重要だと筆者が考える幾つかの理

由はあるが、紙面の都合から本稿で はR/FR値の高い光が有用微生物と の共生を促進し、共生を通した生育 促進や病害防除の可能性があること だけ強調しておきたい(図2)。日没 直前の光環境は作物の代謝方向を 決めるための非常に重要な信号であ り、作物が日没時に真っ赤な夕陽を 浴びることは作物を健全にするため に、大変重要なことのように思われ る。図2に示すように、光環境の変 化は作物体内の植物ホルモンのバラ ンスの変化を引き起こす。この図の ような関係から、良い光条件下の作 物は共生微生物により生産された植 物ホルモンを利用して病害虫抵抗性 とバイオマスの増加の両方を可能に しているのではないか、と筆者は考 えている。ただし、肥料の過剰施肥 により有用微生物との共生は阻害さ れるので、有用微生物からの恩恵を 環境サービスとして受けるためには、 光と施肥について適切な栽培条件を 整える必要があると考えられる。

光生態学的な新農業技術の 開発を目指して

上記に加えて、筆者は土壌が関係する2つの光環境要因に注目している。1つは土壌表面の光環境である。よく新聞紙上等で「赤土で栽培した〜」というような農産物の紹介記事を見かけるが、土は赤い色の光が土壌の表面で反射している。即ち、赤土は赤い色のマルチと似た効果があるはずである。このような考えに基づいて、マルチ等を利用して地表付近の光環境を制御し、農産物の生育や品質への影響評価を試みた研究例が幾つかある。

ニンジンでは黄色・白色のパネルの 使用で、βカロチンとアスコルビ ン酸含量の増加が報告されている。 イチゴでは赤色マルチの使用で果実 重、香り、甘み等が増加したとされ ている。さらに、トマトでは赤色マ ルチで収量や果実重が増加したとの

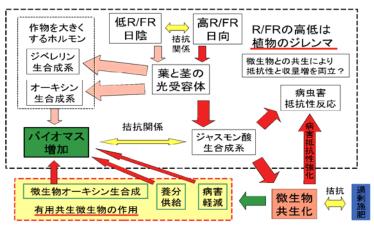


図2. 光環境を中心にした持続的農業の可能性の概念図

報告がある。面白いところでは、ダ イコンの味が青色マルチでは辛く、 緑色マルチでは甘くなるという研究 例もある。残念ながら、以上のよう なカラーマルチの効果は不安定なた め、広く技術が普及するには至って いない。これは、作物の収量や品質 は、光条件だけではなく、施肥や水 分条件等の他の環境要因の影響も大 きく受けるためであると思われる。 さらに、人が認識するマルチの色は 可視光領域であるが、可視光領域や 赤外領域の反射率も製造法等で大き く変化するため、マルチ表面からの 反射光の質の違いも大変重要である と考えられる。

上記のような知見から、ハウス等の施設栽培や育苗、露地でのトンネルやマルチ等でも使い方を思案する余地は多くあるように思われる。実は、作物は茎組織の光受容体で地表面付近の光環境を敏感に察知していることも明らかにされている。このような事実は、作物が横からの光(朝

陽・夕陽)を大変重 要な光情報とした変重 としているときにいるようにないるようにないるようにないのの 反射光等な対果的になり 光環境を効果のながるといとといると思った。 2つめの「土壌中の光環境」については、筆者の頭がおかしいのかと思われるかもしれないが、本稿では紙面の都合から割愛した。従来にはない農業的に大変面白い光の世界が土壌中にあると考えているので、納得してもらえるように後日に機会を改めて丁寧に紹介できればと思う。

最後に

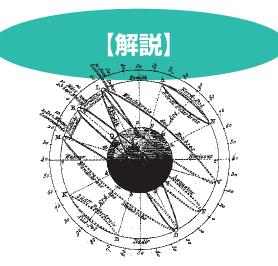
本稿で紹介した光に関する研究事例は殆ど海外で論文発表されたものであり、残念ながら同分野の国内での研究は大変遅れている。現在、筆者の研究グループで上述のような研究の確認をしつつ、従来の常識を越えた夢のある農業研究を進めていければと考えている。らでいっしゅばーやの生産者の皆さんとも情報交換や協力を頂き、新しい農業の展開をさせて戴きたいと思います。今後ともどうぞ宜しくお願い致します。



池田 成志先生

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター芽室研究拠点 知病道農業研究領域域 主任研究員 大阪府出身。1995年近畿大津、学院農学研究科博士後期表、東、北大学等での博士研究員を経復生がの3年から現職、植物共生復生の99年から現職、も地での講演となび農業技術普及に尽力しているよび農業技術普及に尽力している。

Radix News Letter No.76,16-17 $^{\circ}$ (2014)



植物共生科学の新展開と農学研究におけるパラダイムシフト

池田成志*1,鶴丸博人*2,大久保 卓*2,岡崎和之*1,南澤 究*2

植物共生科学は植物と共生微生物(群)の相互作用の解明を目的とする基礎科学であるが、当該分野の進歩は生命科学の幅広い諸分野に大きな影響を及ぼす、本稿では、植物共生の生態学的意義について解説した後、有用微生物の探索・選抜や機能解析、微生物ゲノム解析の進歩、植物における有用微生物制御系の発見、植物共生系の網羅的分析技術の開発、施肥条件や光環境を通した共生微生物制御、共生科学的視点からの「おいしさ」の科学的解明などの最近のトピックスと、関連する応用科学分野での今後の新たな研究展開の可能性について私見を紹介したい。

はじめに

共生(Symbiosis)とは、定義に混乱の見られることで有名な専門用語の一つであるが、広義にはドイツ人科学者であるAlbert Frankが1877年に最初に提案した「2種の生物が物理的に密接に関係している状態」と定

New Waves in Plant Microbiology and Paradigm Shifts of Agricultural Research

Seishi IKEDA, Hirohito TSURUMARU, Takashi OKUBO, Kazuyuki OKAZAKI, Kiwamu MINAMISAWA, *¹北海道農業研究センター芽室研究拠点, *²東北大学大学院生命科学研究科

義され、狭義には「2種の生物間で相利共生的関係にあ る状態」と定義される. 本稿では、病原微生物による寄 生も共生の一部であるとした Anton De Bary に従い、 広義の共生という立場で議論させてもらいたい(1). 多様 な生態学的可能性を考えると、自然環境下における2種 の生物間での相利共生的関係の有無について不用意に判 断は下せないと思われるからである. さらに, 「有用な 共生微生物」として有名な菌根菌と植物の共生関係は, 環境条件に応じて寄生的な関係にもなることが知られて おり、Johnsonら⁽²⁾ により示されているような寄生と 共生の連続性という概念を筆者らは支持するからでもあ る. 植物共生科学は植物と共生微生物(群)の相互作用の 解明を目的とする基礎科学であるが、当該分野の進歩は 農学を含む生命科学の幅広い諸分野に大きな影響を及ぼ す. たとえば、農業用微生物資材や微生物農薬の開発、 共生微生物由来の生理活性物質の探索, 植物共生系を活 用した環境修復技術の開発, 共生微生物を指標とした環 境リスクアセスメント、食中毒細菌なども含めた食品微 生物学、緑化促進技術の開発、微生物バイオテクノロ ジーなど、たいへん幅広い分野において植物共生や共生 微生物に関連した技術開発が期待されている^(3~8).

化学と生物 Vol. 51, No. 7, 2013

本稿では、始めに植物共生の生態学的意義について簡単に解説し、つづいて当該研究分野における最近のトピックスと、それらに関連する応用科学分野での新たな研究展開の可能性を紹介したい。最後に植物共生科学研究の問題点と植物共生をキーワードとした農学や関連分野の今後の展望について私見を示したい。なお、根粒菌や菌根圏などの代表的な有用共生微生物や病原微生物、病害防除に関連する特定の共生微生物については、既報の総説を参照していただきたい(9~11).

植物共生の生態学的意義

現代微生物学では、乳酸菌などのヒト共生細菌が栄養 分の吸収促進や生理活性物質の生産, さまざまな病気の 発生の抑制などを通してヒトの健康維持に重要であるこ とはすでに広く知られている. アメリカでは Human Microbiome Project (HMP) と呼ばれるヒトに共生する 微生物相の全容解明が国家プロジェクトとして進められ (http://commonfund.nih.gov/hmp/), 600種以上のヒト 共生細菌のゲノム解析や7.000万配列以上の16S rRNA 遺伝子の解析、それらに対応するメタゲノム解析などが 進められ、これらのデータ解析からヒトや動物の健康維 持における共生微生物の重要性の概要が解明されつつあ る⁽¹²⁾. 後述するような技術的な問題もあり HMPのよう な網羅的な研究は非常に遅れているが、共生微生物に関 する重要性は植物科学においても広く認識されている. 植物における共生微生物の存在意義を大きく要約すると 以下の3点になる. 1番目は、土壌からの養分吸収のた めの共生微生物の重要性である. 数億年前に植物が水域 から離れて乾燥した陸地に進出した時点では、植物が利 用しやすい形の土壌は地球上にはなかったと考えられて おり、陸生植物が土壌から養分を吸収するためには微生 物との共生が必須だったと思われる⁽¹³⁾.2番目は、植物 を健康にする機能である. 共生微生物は酵素や植物ホル モンなどの生理活性物質の生産を行い、植物の代謝制御 を通した生育促進や物理・化学的な各種ストレスの緩和 などの有用機能をもっている(14).3番目は、植物の病害 を防除・軽減する機能である(11). このように多様な微 生物との共生は宿主生物に機能的多様性を付与すること になる. したがって、HMPで試みられているように、 共生系に関与する微生物群の系統的・機能的な多様性は 共生科学の基盤的情報として非常に重要であると考えら れ、植物共生系においても「Plant Microbiome Project」 のような研究を今後展開する必要がある.

有用微生物の探索・分離・選抜・機能解析

植物共生微生物により植物の生育を促進させ、減農薬 や減肥料条件下で、収量を維持する作物生産技術の開発 研究が盛んに行われてきた⁽¹⁵⁾.このような有用微生物 群のなかでも、植物生育促進細菌 (Plant growth-promoting bacteria: PGPB) のもつ有用機能は細菌類の機 能解析や植物との相互作用の解析が容易であることか ら、非常に詳しく調べられている. 有名なPGPBである Azospirillum 属細菌については、過去35年の間に植物 への有用機能だけでも20以上が報告されている⁽¹⁶⁾. し かし、大部分のPGPB研究では、いくつかの"主要な有 用機能"のみを調べて、それらが複合的に機能した結 果,植物の生育が促進されたのだろう、と推論してい る(17).「主要な有用機能」とは、窒素固定能、難溶性リ ン酸溶解能,シデロフォア生産能,インドール酢酸 (indole-3-acetic acid (IAA))生產能, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase 生産能, そして病原微 生物への拮抗能など(17) である. 窒素固定能, 難溶性リ ン酸溶解能そしてシデロフォア生産能は、植物の窒素, リン酸そして鉄の養分吸収促進にそれぞれかかわる機能 である. また, 近年の研究から, 根圏のベータプロテオ バクテリアに属するPGPB群, 特に Variovorax 属など の Comamonadaceae 科に属する細菌群が根圏において 有機態の硫黄化合物からの脱スルホン化を促進し, 植物 への硫黄吸収に非常に重要な役割をもつことも明らかに されている⁽¹⁸⁾. IAA生産能とACC deaminase酵素生産 能は,植物ホルモンを制御し,植物の健康維持にかかわ る機能である. 植物ホルモンIAAには、植物生育促進 作用がある. 植物が生産するエチレンは、ストレス条件 下で植物の生長を抑制するが、微生物の生産するACC deaminase 酵素は、植物のエチレン合成を阻害すること により植物生育促進作用をもつ. 病原微生物に対する拮 抗能は、植物病害防除にかかわる機能である. 近年の報 告で注目されるのは、マメ科植物の根粒内から分離され た植物生育促進微生物の報告(19), 植物生育促進微生物 のゲノム解析の報告(後述のゲノム解析の項目を参照), そして エチレン感受性変異体が獲得されている植物や, ACC deminase遺伝子を欠損した微生物を用いて、ACC deaminase酵素の植物生育促進効果に関する報告などで ある(20).

植物生育促進微生物は、上述の主要な有用機能を複数 もつ場合が多く⁽¹⁷⁾、植物生育促進の原因を一つに絞る ことが難しい場合が多い.また、分類的に異なる系統間 で類似した機能性をもつ場合も多く、多くの有用微生物 について系統情報と機能情報の関係が判然としない場合 が多い. このような状況のため、筆者らの調べた2009 年以降で報告されているPGPBの分離論文では有用微生 物のほとんどが Pseudomonas 属や Bacillus 属などの既 知の有用微生物群であり、属レベル以上で新規なPGPB の報告はほとんどなかった.一方, それらとは対照的 に、筆者らが最近検討したテンサイからの有用共生細菌 の探索研究では,探索の効率と客観性を高めるために, ランダムに分離した数百株の細菌群について16S rRNA 遺伝子配列情報を利用した多様性解析を行い、種レベル でクラスタリング後に得られた約50個の OTU (Operational Taxonomic Unit) についてスクリーニングを行っ た. その結果、科レベルでの新規の菌群を含む多数の有 用微生物を容易に特定することに成功している(図1). 不思議なことに、このようなOTUベースの解析は従来 の有用微生物の探索研究ではほとんど利用されていな い(21,22). さらに、興味深いことに、これらの菌群には 窒素固定, 硫黄代謝, C1化合物代謝などの物質代謝に 関係の深い菌群や、多様な化合物について高い代謝能を もつアルファ綱とベータ綱に属するプロテオバクテリア が多数分離された. テンサイはバイオマスが非常に大き くなるエネルギー作物であり、微生物による物質循環の 促進が高いバイオマス生産を支えているのかもしれな

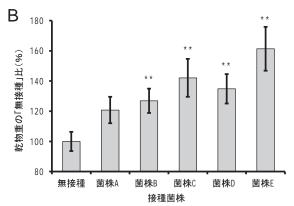
ゲノム解析

高速シーケンサーの普及により、ゲノム解読のコストが大幅に低減し、細菌であれば容易にゲノムが決定できる時代になった。データ解析ソフトウェアの利便性も向上し、アセンブルから遺伝子領域予測、遺伝子アノテーションまでの基本的な解析ができる。DDBJでは DDBJ Read Annotation Pipeline (https://p.ddbj.nig.ac.jp/pipeline/Login.do) などの解析ツールが整備されており、誰でもゲノム解析をすることが可能な時代になった。

ゲノム解析により、有用微生物の研究の進展が期待されているが、植物生育促進にかかわる既知の遺伝子(窒素固定や植物ホルモン合成など)は見いだされるものの、未知の生育促進因子を発見することは意外と難しい⁽²³⁾.技術的な理由としては、自然界の細菌ゲノムのバリエーションと頻繁なゲノム再編成により、同種の近縁株でもゲノムの1割以上は異なっていることにある.たとえば、生育促進効果をもつ菌ともたない近縁株のゲノムの遺伝子レパートリーを比べれば、生育促進因子を



無接種区 接種区



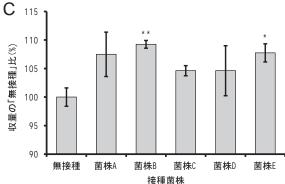


図1■有用共生細菌のテンサイへの接種効果

パネルA:テンサイへの有用細菌を接種約4週間後の様子.有用細菌接種区は地上部と地下部で、それぞれ73%と27%の生育量の増加を示した(N=3個体の平均値). パネルB:テンサイへの有用細菌接種による初期生育促進効果. 接種約3週間後の乾燥重量を示す. グラフ中の縦線は標準誤差 (n=10) を示し、** は、1%水準で無接種に対して有意であることを示す. パネルC:テンサイへの有用細菌接種による増収効果. 接種約6カ月後の収量(テンサイの収穫部位である根部の重量)を示す. グラフ中の縦線は標準誤差(1 反復52個体からなる3 反復の結果)を示し、** および* は、それぞれ1%、5%水準で無接種に対して有意に差があることを示す.

見つけることが可能のように思えるが、実際に見つかるのは、数百個の生育促進にかかわる可能性がある遺伝子の候補である。本質的な理由としては、大部分の環境微生物が難培養性であるという状況のなかで、現時点で研

究対象としている微生物(群)が本当に研究する価値があるのかという疑問も存在する.

一方で、主に土壌・根圏などに生息する Agrobacterium tumefaciens や Rhizobium leguminosarium のような植物共生細菌が驚くべきことにフィトクロムなどの光受容体をもっていることがゲノム解析を通して初めて明らかにされたように(24)、ゲノム解析は、既知の知識からのボトムアップ型研究では到達し難いブレークスルーをもたらすという期待も大きい. さらに、多数の菌株ゲノムとそれらの有用機能の比較解析(25) や、メタゲノム解析と合わせた植物共生系のデータベースの充実により、植物共生科学の飛躍的発展が期待されている.

植物における有用微生物制御系の解明

根粒菌や菌根菌は代表的な有用共生微生物群であるが、これら微生物群の研究から植物と微生物がいかにして共生関係を構築するのかという疑問に対する多くの知見がもたらされた⁽²⁶⁾.これらの研究のなかで最も特筆すべきことは、マメ科植物は病原微生物を認識する場合とは異なる特別な情報伝達システムを使って有用微生物群と相互作用し、しかも根粒菌と菌根菌という生物学的に全く異なる2種類の有用微生物群の根組織への感染を同一のシステムを用いて制御しているということである⁽²⁷⁾(図2).たいへん興味深いことに、この有用微生物制御系は地上部と地下部の間で情報のやり取りを通して地上部組織(おそらく葉組織)で有用微生物の感染を制御している。さらに、この微生物制御系の非常に重要

な特徴は、植物による土壌の窒素濃度のセンシング系と リンクしており, 植物が一定濃度以上の土壌窒素を感知 すると, 当該情報が上述の微生物制御系の途中から入力 されることが明らかにされたことである(図2). すな わち、植物の養分吸収と微生物制御にかかわる情報伝達 系はリンクしているのである. 上述の有用微生物制御系 に関与する遺伝子群のホモローグの一部は、 菌根共生を 行う非マメ科作物などのゲノムにも存在しており(28), 同様の有用微生物制御系が幅広い植物種に存在すること が推察される。実際に、筆者らが、それらのホモローグ 遺伝子に変異をもつイネを圃場環境下で栽培したとこ ろ, 生育不良になり, 同時に, 変異イネの根の共生細菌 群集ではアルファプロテオバクテリアの割合が大きく減 少した⁽²⁹⁾. アルファプロテオバクテリアは多くの根粒 菌や有用共生細菌が属する菌群である. 本研究は、マメ 科で明らかにされた図2のような有用微生物制御系の遺 伝子が、 非マメ科作物においても植物の生育や共生微生 物相全体の制御に大きな影響を与えることを初めて明ら かにした例となった. 興味深いことに、上述のイネ変異 体を人工気象機や温室などの制御環境下で栽培すると, 植物の生育や微生物相に大きな変化は観察されず、この ような植物と環境微生物(群)の相互作用の研究における 野外環境の重要性も示唆された.

植物共生系の網羅的分析手法の開発

植物組織には根粒菌や菌根菌だけが共生するのではな く、顕微鏡観察などから植物体の表面や内部にはエピ

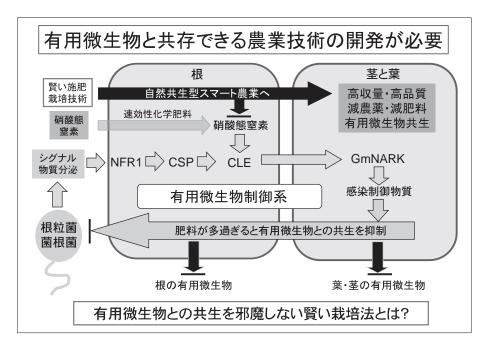


図2■植物の有用微生物制御系(概念図)

健全なマメ科作物は図中の有用微生物制御系などを通して根粒菌や菌根 南などの有用共生微生物の感染レベな ルを一定に維持している⁽²⁶⁾. 同様作 ・ 関係を一定に維持している⁽²⁶⁾. 同様作 ・ 関係を一定に維持している。 ・ 様なを一定に維持している。 ・ 様は、 ・ 「大なない。 ・ は、 ・ に、 ・ に 、 ・ に 、 ・ に 、 ・ に 、 ・ に 、 ・ に 、 に 、 ・ に 、 に 、 に 、 に 、 に 、 ・ に 、 に 、 に 、 に 、 に 、 に 、

化学と生物 Vol. 51, No. 7, 2013 465

ファイト(植物の表面に生息する微生物)・エンドファイト(植物の内部に生息する微生物)と呼ばれる多様な微生物群が存在し、これらの微生物群を対象として農業環境における窒素やリンなどの物質循環促進、病害防除のための有用微生物の探索研究も長年にわたり行われてきた。しかしながら、このような研究の大部分は研究者の経験と勘を頼りにして土壌あるいは植物組織に生息する微生物を分離培養して行われたものであり、農業環境中で真に生態的に重要な微生物群が解析されているという保証はない。

現在の環境微生物学的な知見から農業環境における微生物の多様性の大きさを考えた場合,一般的な微生物培養法では物質循環や病害防除に関与する主要な微生物を特定することさえ困難であることは明らかである.近年の環境微生物学では微生物を培養せずに、環境試料から直接微生物DNAを抽出して微生物多様性解析やメタゲノム解析などを行うという環境DNA分析技術の利用が中心になっている.このような手法を活用すると,ヒトや動物の共生系も含めて多様な環境試料中の微生物群集の系統的・機能的多様性に関する定性・定量的解析が可能となる.しかしながら,技術的な理由から植物組織への非培養法の適用が困難であったことから,植物共生微生物相に関する群集レベルの研究は停滞し,特に地球上で莫大なバイオマスを占める植物の地上部組織の共生系については完全にブラックボックス状態であった(30).

このような状況のなか、筆者らのグループは植物組織からの細菌細胞濃縮法を開発し、この手法の活用により初めて植物共生系について微生物群集レベルでの多様性解析や動態解析、さらに機能性解明を加速させうるメタゲノム解析を技術的に可能とした(31). このような手法を通して任意の植物における共生微生物群集についての生態学的情報を活用することにより、有用な共生微生物の迅速かつ効率的な探索や選抜が期待される. さらに、従来の培養に基づく実験法ではほとんど不可能な研究であった、各種環境因子(土壌養分、土壌、気象、植物遺伝子型など)に応答する共生微生物群集の動態解析が可能となり、農業現場などにおける有用微生物(群)の安定的かつ効果的な利用や有害微生物のモニタリングなどについて、群集レベルでの実用的研究が可能となった.

筆者らは、上述の細菌濃縮法を利用してダイズへの窒素施肥の影響評価を行った⁽³²⁾. その結果、過剰施肥は地下部だけではなく、葉や茎などの地上部組織の共生微生物相にも大きな影響を与えることが明らかとなった. 具体的には、アルファプロテオバクテリアの割合が大きく減少し、対照的に、ガンマプロテオバクテリアなどの

割合が増加していることが示された.ダイズ根粒菌を含む多くの根粒菌はアルファプロテオバクテリアに属するが、上述の結果は、根粒菌や菌根菌の感染を制御するための有用微生物制御系が、過剰施肥条件下で根粒菌だけでなく植物の地上部組織に共生しているほかのアルファプロテオバクテリアにも大きな影響を与えていることを示しているように思われる.特に、植物への生育促進効果や病害防除効果をもつことが知られている、Methylobacterium 属や Sphingomonas 属、さらに Aurantimonas 属などのアルファプロテオバクテリアが窒素施肥に反応して大きく減少していた.このような窒素の過剰施肥により引き起こされる共生系の多様性の大きな変化が、過剰施肥による病害の助長の一因となっている可能性も考えられる.

一方、窒素過剰施肥されたダイズ茎組織では、Enterobacter 属のような主に腸内細菌群に類縁の菌群の割 合が増加していた. 日本国内では一般的には知られてい ない事実であるが、腸内細菌群、特に食中毒を引き起こ す大腸菌やサルモネラ菌などのガンマプロテオバクテリ アに属する多数の病原細菌群が植物組織に対して高い共 生能をもつことが、アメリカやヨーロッパなどを中心に 明らかにされている(8). さらに、植物組織に内生能をも つエンドファイトとして報告されているガンマプロテオ バクテリアの種は、動植物のいずれか、あるいは両方に 対する病原性を有する細菌種として同定されているもの が多い⁽³³⁾. 施肥管理が植物共生系のなかの動植物に対 する病原性細菌群に大きな影響を及ぼす可能性があると いうことは農業生産だけでなく,収穫後の農産物や加工 食品の品質や衛生管理の視点からも注目すべき点である ように思われる.

以上のように、肥料や農業資材の圃場への投与は作物の地下部組織だけでなく、地上部組織の微生物相にも大きな影響を与えることから、施肥管理などが地上部の病害や農産物の品質などに与える影響は今後の研究における重要な視点だと考えられる.

植物共生系における光環境の重要性

根粒菌の感染を制御する物質として光質が重要であるという論文が2011年に報告され⁽³⁴⁾, 共生系と光環境のリンクが明らかになった(図3). すなわち, 根粒菌の感染は植物がフィイトクロムBを通して受容する光のR/FR(赤色/遠赤色) 比が高いとジャスモン酸の生合成系の活性化を通して根粒菌の感染が促進される. 逆にR/FR比が低いとジャスモン酸の生合成系が止まって根

化学と生物 Vol. 51, No. 7, 2013

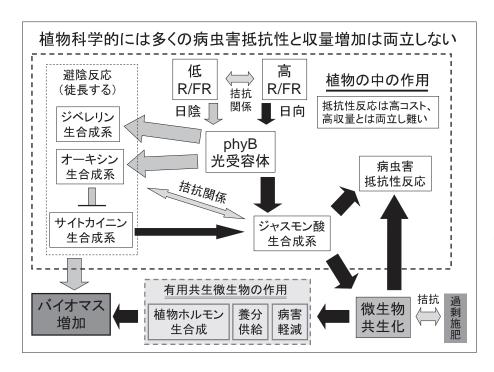


図3■有用微生物の共生化の生態的 意義(概念図)

植物は目向ではR/FR(赤色/遠赤 色) 比の高い光を受けてジャスモン 酸を介した病虫害抵抗性にエネル ギーコストを投資する. 一方, 日陰 ではR/FR (赤色/遠赤色) 比の低い 光を受けて細胞分裂や細胞増殖に関 与する植物ホルモンを生産し、光を 求めて徒長する. 細胞分裂や細胞増 殖に関与する植物ホルモンの生合成 系(左側)とジャスモン酸(右側) の生合成系は拮抗関係にあり、植物 体内では両方の植物ホルモン合成系 が同時に大きく活性化されることは ない. 多くの共生微生物は細胞分裂 や細胞増殖に関与する植物ホルモン を生合成する能力を有しているため, 植物は共生微生物由来の植物ホルモ ンを受け取ることが可能である.

粒菌の感染が阻害される一方で、避陰反応が活性化され、植物の細胞分裂や細胞伸長に関与する各種植物ホルモンが生合成される。結果としてR/FR比の高い光を求めて植物が徒長する。従来は、日陰に生育する植物で根粒菌や菌根菌の着生が悪い原因は光量が少なくて共生微生物に配分する光合成産物が少ないためと漠然と考えられる場合が多かった。実際には、光質が共生系を制御するための情報として重要であることが明らかとなったのである。R/FR比は重要な環境情報としてファイトクロームBを通して植物体内の多様な生理反応とリンクしていることが知られており、重要なものだけでも病害虫抵抗反応や植物体内の物質循環制御などに影響することがわかっている。

日向にいる植物はR/FR比の高い光を受け、ジャスモン酸の生合成系の活性化を通して多くの病虫害に対する抵抗反応を示すことが知られている(35). 逆に、植物が日陰のようなR/FR比が低い光環境にさらされると、上述したように植物はジャスモン酸の生合成系を止めて病虫害への抵抗反応を抑制し、避陰反応が活性化される.このようなシステムのなかで農学的に重要な点は、R/FR比により制御を受けるジャスモン酸の生合成系は多くのほかの植物ホルモン(ジベレリン・サイトカイニン・オーキシンなど)の生合成系と拮抗するということである. これらの事実は、植物科学的な視点からは、病虫害抵抗性の強化とバイオマスの増加の2つを同時に大きく進めることが難しいことを示唆しており、このような二者択一的な植物の生理反応は「植物のジレンマ」と

言われている⁽³⁵⁾.

その一方で、多くの共生微生物がサイトカイニンや オーキシンなどの植物ホルモンの生合成能をもっている ことは共生科学の分野ではよく知られている. 植物は R/FR比の高い光条件であっても共生系から植物ホルモ ンを受け取ることは可能である、実際に、微生物資材の 開発研究では有用微生物を接種すると植物のバイオマス 増加による生育促進効果が多数報告されており(図1), それらの主要な要因は微生物由来のオーキシンなどの植 物ホルモンであることが明らかとなっている $^{(4)}$. また, 生育促進効果と同時に、共生微生物の感染により植物の 病害抵抗性が誘導・強化されることも多数報告されてい る⁽³⁶⁾. すなわち,植物は共生系をバイパスとして植物 ホルモンを受け取ることにより、バイオマスの増加と病 害虫抵抗性の強化の両立を可能にしうる. 今後, 根粒菌 以外の有用な共生微生物群が、R/FR 比やジャスモン酸 とリンクした感染制御を同様な形で受けているかどうか などについては検討する必要があるものの、上述のよう な推察は、「なぜ、微生物が高いコストを払って植物ホ ルモンの生合成を行うのか」という謎に対する一つの生 態学的あるいは進化生物学的な意義づけとなりうる. ま た、R/FR比の高い光には、植物体内の炭素や窒素の物 質循環パターンに影響して、果菜類のような農産物の糖 分や窒素分に影響を与えるという報告もあり⁽³⁷⁾, R/FR 比を通した農業環境の制御は、ここを押さえると多面的 な有用効果が期待される重要な農業の「ツボ」の一つの ように思われる.

肥培管理による共生微生物制御の可能性

今日までに、世界中で植物への生育促進効果や病害防 除効果をもつ多数の有用微生物が探索・分離・選抜さ れ、微生物資材や微生物農薬のような形で農業技術とし ての実用化が検討されてきた^(3,4). 特に近年は, 化石燃 料の枯渇や地球温暖化、環境汚染などの諸問題から、微 生物資材や微生物農薬は減肥料・減農薬を可能にする持 続的農業生産技術として期待されている. 残念ながら, これら有用微生物群のほとんどは実験室などの制御環境 下で植物に接種すると有用効果を示すものの、圃場など の農業現場では効果の発現がたいへん不安定であること から、化学肥料や化学農薬を補完する技術にすらなりえ ていない. 農業現場での微生物利用は手詰まり感に覆わ れているのが現状である(38).このような微生物資材や 微生物農薬の効果の不安定性の要因は, これまで不明で あった. しかしながら、本稿で紹介したような植物共生 科学の最近の知見を活用し、施肥や光などの環境条件を 慎重に検討することにより、 圃場などの実際の農業現場 においても共生微生物の有用効果の安定化や促進が今後 は期待できるかもしれない. さらに、筆者らは、上述の ような植物の有用微生物制御系(図2)を刺激しないよ うな栽培技術の開発により、共生微生物の有用機能と施 肥の両方の効果を相加的あるいは相乗的に生かせる次世 代型の持続的農業生産システムの構築が可能になると考 えている. このような概念に基づいた技術開発は, 究極 的には、農業環境に存在する(微)生物資源の有用機能の 恩恵を環境サービスとして受けることにより、農産物の 収量や品質を犠牲にすることなく. 合理的な減農薬や減 化学肥料を進めることが可能になるかもしれない.

以上のような考えから、実際の農業現場において共生 微生物の有用機能も活用しうる栽培技術の一つとして、 筆者らは緩効性肥料の活用とその多面的な有用効果の再 評価を提案している.緩効性の窒素肥料を利用すると硫 安などの即効性肥料と比べて根粒形成の阻害が少ないこ とはよく知られており、緩効性の窒素肥料は有用な共生 微生物に優しい肥料と言えよう.また、緩効性肥料によ る農産物の腐敗の抑制(貯蔵性の向上)や、土壌病害の 防除などの効果についても報告されている⁽³⁹⁾.これら の事実は、緩効性肥料の有する農耕地微生物生態系の改 変機能を示唆しているように思われる.実際に、筆者ら のグループでは、ある種の緩効性化学肥料が植物共生系 の多様性に大きな影響を及ぼすことや、幅広い土壌病害 に対する軽減効果をもつことをすでに確認している.こ のような緩効性肥料の多面的な有用効果の活用は次世代 型の持続的農業生産システムの構築に有効だと考えている.

共生微生物から考える「おいしさ」の科学的解明

共生微生物は植物由来の物質の代謝経路を改変する能 力があることから、農産物や加工食品の「おいしさ」に も多大な影響を与えると考えても無理はない. すでに、 共生微生物が農産物の風味にもかかわっているという研 究報告例がいくつか出始めている. 直感的な例として は、ワインなどの発酵食品の場合は材料に含まれている 共生微生物がそのまま風味に影響する場合などが考えら れる. 実際に、いくつかのワインの風味は共生微生物に 由来しており、試験管中でワインの香りを生産すること が報告されている Paenibacillus 属細菌や Sporobolomyces roseus, Aureobasidium pullulans などは典型的な植 物共生微生物である(40). 先の窒素施肥に敏感に反応し たMethylobacterium 属細菌についても、イチゴの風味 の生合成系に関与していることが報告されている⁽⁴¹⁾. イチゴの場合は、単に微生物が植物の代謝物を変換して いるだけではなく、Methylobacterium 属細菌が植物由 来の1,2-propanediol を lactaldehyde に変換して植物に 戻し、最終的にイチゴの香り成分ができるという、微生 物と植物間での代謝物質の複雑なやり取りをしている. これらの有用共生微生物群とは逆に, 収穫後の農産物の 病害や腐敗を引き起こしたり、悪臭や加工食品の変質を 引き起こしたりする有害な共生微生物群の存在も知られ ている⁽⁴²⁾. 本稿で紹介したように, 栽培管理を通した 農耕地生態系の微生物の適切な制御法を開発することに より、収穫後の農産物の貯蔵性の向上や、おいしさを含 めた農産物の高品質化などの一次産業全体に対するプラ ス効果も期待できる可能性がある.

共生とは善玉菌も悪玉菌もともにいるという意味

本稿で述べてきたような植物共生科学の新知見からの 重要なメッセージは、「作物」を「微生物との複合共生 体」として認識することの重要性である。共生という言 葉は、日本語としては響きが良く、お互いに仲良く生き ていくというイメージがあるので、共生微生物はすべて 有用な、あるいは無害な微生物というように思われがち である。しかし、農業などの経済活動やヒトの健康科学 という視点からは植物共生系に善玉と悪玉の両方が存在 する。悪玉菌も、おそらく弱い個体を集団から取り除 き、死んだ動植物の死骸を速やかに無機化するなどの生

化学と生物 Vol. 51, No. 7, 2013

態的には重要な役割を担っていると思われる。また、本稿の冒頭で示したように、多様な生態学的可能性を考えると現在の科学知識では、生物間での相利共生的関係の有無について不用意な判断は下せない。したがって、地球環境全体を通した物質循環などを考えると、抗生物質や農薬を多用して人間に不都合な(微)生物群をすべて抹殺するというような従来の古典的な(微)生物制御戦略は共生科学的にも、生態学的にも非常に危険なように思われる。

植物共生科学研究の問題点

共生細菌については一通りの技術開発ができ、培養性の問題を除けば、ラボから野外環境までの幅広い範囲でかなり自由に解析できる研究環境が整いつつある。また、土壌や海水などの環境試料ではルーチンワークになりつつあるメタゲノム解析は、植物共生系では非常に困難であった⁽⁴³⁾.本稿で紹介した細菌細胞濃縮法の開発により技術的展望がようやくできたところであり、植物共生系の本格的なメタゲノム解析はこれからであるが、薬用性成分などを含めた新規生理活性物質の探索源などとしても注目されるであろう⁽⁵⁾.一方、植物共生系の微生物群として細菌類と同様、あるいはそれ以上に非常に重要な植物共生糸状菌類については不十分な分析技術しかなく、ブレークスルーにつながる技術開発が強く望まれる.

おわりに

今後は、上述したような共生科学に加えて、植物フェ ノミクス, 多様な環境情報のためのセンシング技術など も活用した統合的解析により、「農業の科学化」という ような展開は、思ったよりも近い将来に期待できるので はないか. 本稿で紹介したような栽培環境の工夫などに より農耕地生態系の微生物相を改善し、環境微生物の有 用機能を環境サービスとして最大限に活用することが, 化学物質の投入を最小限にした持続的農業生産活動の基 本となるのではないだろうか.「大切なものは、目に見 えない」という狐の言葉のとおり、微生物も光も実体と しては人の目では直接見えないものであり、これら目に 見えないものを意識することが農業においても大切なよ うに思われる. このような研究意識の変革により、従来 の農学研究における疑問点や矛盾点などが解決されると 同時に, 従来の常識を超えた新たな農学や関連科学の展 開への扉が開かれると期待したい.

謝辞:本稿をまとめるにあたり,佐賀大学農学部の鈴木章弘博士,農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センターの田中福代博士からたいへん貴重なご助言をいただいた。この場を借りて深甚の感謝の意を表します。本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」,科研費基盤研究 A「植物共生微生物のメタゲノム解析による物質循環機能の解明」(23248052),科研費基盤研究C「根粒根圏土壌微生物の群集構造解析によるマメ科作物の連作障害発生機構の解明」(22580074),および科研費挑戦的萌芽研究「植物共生微生物群集構造解析のための光センシング技術の開発」(25660207)の成果である。

文献

- 1) D. M. Wilkinson: *Nature*, **412**, 485 (2001).
- N. C. Johnson, J. H. Graham & F. A. Smith: New Phytol., 135, 575 (1997).
- A. O. Adesemoye & J. W. Klopper: Appl. Microbiol. Biotechnol., 85, 1 (2009).
- 4) G. Berg: Appl. Microbiol. Biotechnol., 84, 11 (2009).
- 5) A. A. Leslie Gunatilaka: *J. Nat. Prod.*, **69**, 509 (2006).
- T. Macek, O. Uhlik, K. Jecna, M. Novakova, P. Lovecka, J. Rezek, V. Dudkova, P. Stursa, B. Vrchotova, D. Pavlikova et al.: Advances in Applied Biotechnology, 17, 257 (2009).
- K. Carstens, J. Anderson, P. Bachman, A. De Schrijver, G. Dively, B. Federici, M. Hamer, M. Gielkens, P. Jensen, W. Lamp et al.: Transgenic Res., 21, 813 (2012).
- 8) K. Warriner & A. Namvar: Curr. Opin. Biotechnol., 20, 166 (2009).
- 9) 内海俊樹:化学と生物, 49,79 (2011).
- 10) 秋山康紀, 林 英雄:化学と生物, 44, 284 (2006).
- 11) 染谷信孝, 阿久津克己:化学と生物, 43, 321 (2005).
- 12) L. M. Proctor: Cell Host & Microbe, 10, 287 (2011).
- D. Redecker, R. Kodner & L. E. Graham: Science, 289, 1920 (2000).
- 14) Y. C. Kim, J. Leveau, B. B. McSpadden Gardener, E. A. Pierson, L. S. Person, III & C.-M. Ryu: Appl. Environ. Microbiol., 77, 1548 (2011).
- F. Şahin, R. Çakmakçi & F. Kantar: Plant Soil, 265, 123 (2004).
- Y. Bashan & L. E. de-Bashan: Adv. Agron., 108, 77 (2010).
- 17) M. C. Quecine, W. L. Araújo, P. B. Rossetto, A. Ferreira, S. Tsui, P. T. Lacava, M. Mondin, J.L. Azevedo & A. A. Pizzirani-Kleiner: Appl. Environ. Microbiol., 78, 7511 (2012).
- 18) M. A. Kertesz, E. Fellows & A. Schmalenberger: Adv. Appl. Microbiol., 62, 235 (2007).
- S. Saïdi, S. Chebil, M. Gtari & R. Mhamdi: World J. Microb. Biot., (2013), doi:10.1007/s11274-013-1278-4
- L. Chen, I. C. Dodd, J. C. Theobald, A. A. Belimov & W. J. Davies: J. Exp. Bot., (2013), doi:10.1093/jxb/ert031
- J. M. González & M. A. Moran: Appl. Environ. Microbiol., 63, 4237 (1997).
- T. Okubo, S. Ikeda, T. Kaneko, S. Shima, H. Mitsui, S. Sato, S. Tabata & K. Minamisawa: *Microbes Environ.*,
 24 253 (2009).
- 23) T. Okubo, T. Tsukui, H. Maita, S. Okamoto, K. Oshima, T. Fujisawa, A. Saito, H. Futamata, R. Hattori, Y. Shimomura et al.: Microbes Environ., 27, 306 (2012).
- S. J. Davis, A. V. Vener & R. D. Vierstra: Science, 286, 2517 (1999).

- 25) M. Itakura, K. Saeki, H. Omori, T. Yokoyama, T. Kaneko, S. Tabata, T. Ohwada, S. Tajima, T. Uchiumi, K. Honnma et al.: ISME J., 3, 326 (2009).
- M. Kawaguchi & K. Minamisawa: Plant Cell Physiol., 51, 1377 (2010).
- E. Oka-Kira & M. Kawaguchi; Curr. Opin. Plant Biol., 9, 496 (2006).
- 28) C. Gutjahr, M. Banba, V. Croset, K. An, A. Miyao, G. An, H. Hirochika, H. Imaizumi-Anraku & U. Paszkowskia: The Plant Cell, 20, 2989 (2008).
- S. Ikeda, T. Okubo, N. Takeda, M. Banba, K. Sasaki, H. Imaizumi-Anraku, S. Fujihara, Y. Ohwaki, K. Ohshima, Y. Fukuta et al.: Appl. Environ. Microbiol., 77, 4399 (2011).
- 30) J. A. Vorholt: Nat. Rev. Microbiol., 10, 828 (2012).
- S. Ikeda, T. Kaneko, T. Okubo, L. E. E. Rallos, S. Eda, H. Mitsui, S. Sato, Y. Nakamura, S. Tabata & K. Minamisawa: *Microb. Ecol.*, 58, 703 (2009).
- 32) S. Ikeda, T. Okubo, T. Kaneko, S. Inaba, T. Maekawa, S. Eda, S. Sato, S. Tabata, H. Mitsui & K. Minamisawa: ISME J., 4, 315 (2010).
- 33) M. Rosenblueth & E. Martínez-Romero: Mol. Plant Microbe Interact., 19, 827 (2006).
- 34) A. Suzuki, L. Suriyagoda, T. Shigeyama, A. Tominaga, M. Sasaki, Y. Hiratsuka, A. Yoshinaga, S. Arima, S. Agarie, T. Sakai et al.: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 108, 16837 (2011).
- 35) C. L. Ballaré: Trends Plant Sci., 16, 249 (2010).
- Y. C. Kim, J. Leveau, B. B. McSpadden Graner, E. A. Pierson, L. S. Person, III & C.-M. Ryu: Appl. Environ., 77, 1548 (2011).
- 37) 秋草 文, 土屋広司, 永田照喜治:特開2007-282544
- 38) D. R. Fravel: Annu. Rev. Phytopathol., 43, 337 (2005).
- 39) J. J. Oertli: Fert. Res., 1, 103 (1980).
- M. Verginer, E. Leitner & G. Berg: J. Agric. Food Chem., 58, 8344 (2010).
- 41) I. Zabetakis: Plant Cell Tissue Organ. Cult., 50, 179
- G. Lopez-Velasco, G. E. Welbaum, R. R. Boyer, S. P. Mane
 M. A. Ponder: J. Appl Microbiol., 110, 1203 (2011).
- N. Delmotte, C. Knief, S. Chaffron, G. Innerebner, B. Roschizki, R. Schlapbach, C. von Mering & J. A. Vorholt: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 36, 16428 (2009).

プロフィル



池田 成志(Seishi IKEDA)

<略歴>1995年近畿大学大学院農学研究科博士後期課程修了/その後、コーネル大学, 筑波大学, 東北大学等での博士研究員/2009年農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター, 現在に至る<研究テーマと抱負>植物共生微生物の分子生態学と農業微生物学<趣味>ナショジオ系の名所へのドライブと洋画観賞



鶴丸 博人 (Hirohito TSURUMARU)

<略歴>2006年九州大学大学院生物資源環境科学府修了,博士(農学)/製品評価技術基盤機構,農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所のポスドクを経て,2012年東北大学大学院生命科学科産学官連携研究員<研究テーマと抱負>植物生育促進微生物の分離と性状解析<趣味>早期リタイアを目指した株の売買



大久保 卓(Takashi OKOBO)

<略歴>2013年東北大学生命科学研究科博士課程修了/同年日本学術振興会特別研究員,現在に至る<研究テーマと抱負>イネ共生細菌やマメ科クサネム根粒菌の共生機構の研究を通して,植物共生細菌の進化に迫りたい<趣味>読書,水泳



岡崎 和之(Kazuyuki OKAZAKI)

<略 医>1998年東北大学農学部卒業/2000年同大学大学院農学研究科応用生命科学専攻博士前期課程修了/同年農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター、現在に至る<研究テーマ>テンサイの品種育成を行っています。また、テンサイPGPRの選抜を目的にテンサイ共生細菌の網羅的な単離を行っています<趣味>冬の雪上サッカーと夏の午前3時から始める朝野球



南澤 究 (Kiwamu MINAMISAWA)

<略歴>1983年東京大学大学院農学系研究科農芸化学専攻修士課程修了/同年茨城大学農学部助手/1996年東北大学遺伝生態研究センター教授/2001年同大学大学院生命科学研究科教授<研究テーマと抱負>根粒菌などの植物共生細菌の物質循環相互作用と共進化に興味があります.特に,植物根圏の温室効果ガス(N2OやCH4)発生を担っている植物共生細菌の犯人探しに凝っています<趣味>ホームベーカリー

事例発表とパネルディスカッション

事例発表者・パネラー

田中 久一氏(長野県中野市、リンゴ・モモを栽培)

白井 則夫氏(福島県会津美里町、カキを栽培)

菅井 誠吾氏(山形県朝日町、サクランボ・リンゴを栽培)

遠藤 五一氏(山形県高畠町、ブドウを栽培)

福田 秀貞氏(青森県藤崎町、リンゴを栽培)

佐藤 善博氏(山形県天童市、サクランボを栽培)

コーディネーター

鶴田 志郎(有機農業参入促進協議会)

事例発表では、青森県、長野県および地元山形県、福島県より 6 名の実施農家の方々に、リンゴ、ブドウ、サクランボ、カキの有機栽培、減農薬栽培の事例を紹介していただきます。

パネルディスカッションでは、事例発表者をパネラーに、 病害虫、雑草、土づくりなどの技術的対策や考え方、 加工や販売、 農業経営などについて、参加者の疑問に答えながら、減農薬栽培や有機栽培に取り組む場合の最新技術(考え方を含む)を紹介していただき、有機栽培の可能性を共に考え、成功または失敗の少ない実践、普及に繋げたいと考えています。

有機農業での栽培を検討されておられる方、指導的立場にある方、流通・加工 事業者など、皆様の参考となることを期待しています。

長野県中野市における減農薬モモ、リンゴ栽培

のろまん農場 田中 久一

1. 産地の概要

中野市は長野県北部に位置し、世帯数15,000、総人口44,000人です。農家戸数は3,300戸、農家就業者数4,500人であり、農業地帯として成り立っています。経営耕地面積は2,000haで、果樹園1,100ha、水田500ha、普通畑400haとなっています。農業面では、エノキタケを中心としたキノコ産業が盛んであり、果樹ではブドウ、サクランボ等のハウス栽培が多く、後継者も多くいます。

2. 我が家の経営概要

モモ 130a、リンゴ 30a、ナシ 5a、普通畑 5a、 水田 30a の計 200a。労働力は本人(54歳) 妻(50歳)の2人。



左から、山中武彦氏(農業環境技術研究 所) 本人、妻、長男

モモは現在 60 品種を栽培しており、7 月中旬から 10 月末まで、一日も切らさずにリレー出荷をしています。なぜ、こんなに品種が多くなったかというと、切れ間なく味の良いモモが収穫できるようにするためです。モモの木は、上段、中段、下段の順に食味が下がっていく。1 品種をたくさん栽培していると、下段のモモの出荷時期には食味が下がるため出荷できません。いつ注文が入っても品質(食味)のよいモモを出荷するためには多品種の栽培が欠かせません。ただし、あまりにも品種の数が多くなり、整理する必要も感じています。

近年の傾向として、宅配で喜ばれる見た目は悪くても食味のよい品種と、市場で求められる見た目重視の品種との差がはっきりとしてきています。生産者としてどのような品種を栽培すべきか検討すべき課題も多くあります。

経営の中で特筆すべきは、モモの収穫期に訪れる援農ボランティアの力が大きいことです。朝どりのモモをその日のうちに発送できるのは、彼らの存在があるからです。今年度も 40 人前後の学生たちが、8~9 月の 2 か月間に、ほぼ 1 週間交代で収穫作業を手伝ってくれました。また、つくば市にある農業環境技術研究所の研究員さんたちも手伝ってくれました。

3. 主な販売先や販売方法

モモは個人宅配と、JA タウンを利用したネット販売をしています。他に名古屋の仲卸への直接販売と、築地市場へ出荷しています。リンゴはすべて個人宅配で、加工向けはリンゴシュースにしています。他の品目についても個人宅配を行っています。

4. モモ、リンゴ栽培の概要

モモについては、元肥として市販の有機質肥料(バイオノ有機)を使用し、堆肥として近

所のエノキタケ農家の栽培残渣(コーンコブ、米ヌカ、フスマ、カキガラ等)をハウスの中で半年以上寝かせて、雪の降る前に散布しています。このハウス内には土着菌がいるため、毎年均一な堆肥となっています(バイオ酵素を販売している担当者の話)。

リンゴは、10年間、自家性堆肥 10a あたりを 2t 入れるだけで栽培しています。

モモの農薬は、バイオ酵素を使用して通常の 70%まで濃度を薄めて使用しています。さらに今年度は、6 月以降はバイオ酵素から pH3.0 の強酸性液、アリンサンデス 2 号を使用し、殺菌効果を高めました。次年度は、アリンサンデス 2 号を主に使用する予定です。

また以前には、クエン酸やストチュウを混ぜて、通常の 50%の濃度で使用していました。しかし、せんこう病がひどくなりすぎたので、現在の 70%の濃度で行なうようにしました。リンゴの農薬散布は、年 9 回 (黒木消毒を入れて)です。もう 1 回減らそうとすると、散布間隔が 1 か月以上になるため、思いきれないでいます。

5. シナノスィートの無農薬・無肥料栽培

平成 21 年春に 10a の畑に自家性堆肥 1t を入れ苗木を 12 本植えつけてから 6 年目になります。3 年前より収穫を開始し、平成 27 年産の収穫量は 10a あたり 300kg でした。販売は、名古屋市の東研に依頼しています。この栽培方法では、隔年結果が見られるようなので、来年の実りを今から案じています。なお、平成 25 年産の 10a あたり収量は 200kg で、26 年産は 100kg でした。

今年もヘルスパワー(醸造酢+アミノ酸)を、 生育段階で200~300倍に薄めて9回散布しま した。シンクイムシ類は、モモの2重袋(防虫



草刈り前の無農薬栽培園(平成 26 年 9 月 9 日撮影)

した。シンクイムシ類は、モモの 2 重袋 (防虫・防菌加工が施されていない)を果実にかけて、その被害を最小限に抑えています。

カイガラムシ類は年々増えてきており、今年はカタタマカイガラムシが発生してしまいました。寄生蜂などの天敵が出てきてくれることを待ち望んでいますが、現状ではそれまで樹が耐えられるかが心配です。

園内は雑草の草生栽培で、温度変化を与えるために9月に1度だけ草を刈ります。

リンゴの大敵、腐らん病がが未だに発生していないことは、嬉しい誤算です。しかし、樹が生長して剪定による枝の切り口が大きくなり腐らん病が発生しやすくなってきたため、何らかの対策が必要と思っています。



6年目のシナノスイーツ



無農薬栽培の果実

これからも試行錯誤を繰り返しながら、自然の力を信じ栽培を継続していきます。シナノスィートで学んだ技術や知恵をもって、他品種や他品目の栽培にも応用していきたいと思っています。そうすることで、新たに発見されたことをシナノスィートの栽培に活かし、より品質の高い果実を多収できる栽培技術を確立していきたいと思っています。

無農薬・無肥料栽培を通して、自然と素直に向き合い、折り合いをつける力が私自身に養われていることを実感します。より自然の力を大切にした栽培、そしてそれが軸となる経営や暮らしを通して、多くの人と交わり、人生を楽しみたいと思っております。

福島県会津美里町における有機 JAS 認証カキ栽培

白井 則夫

1. 地域の概要

会津美里町は、福島県西部に位置し、東は会津若松市、西は柳津町、北は会津坂下町、南は会津下郷町・昭和村に接しています。北部に広がる平野部と南部を覆う山間地からなり、肥沃な土壌の平野部は主として水田として利用されています。

気候は、内陸型特有の複雑な気候を示し、冬期は日本海式の気候のため好天が少なく積雪量も多く、夏期は蒸し暑く、春秋には日中と夜間の気温差が大きい盆地特有の気象条件です。高田梅や朝鮮人参など特徴的な農産物もあります。



2. 経営の概要

主な作物は、キュウリ 20a。他にカキ 80a (身知不柿、有機 JAS 認証) 野菜一般 80a、水稲 30a を栽培。

出荷先は、JA、生協の産直コーナーが主です。また、仲間とグループで宅配便や企画販売をしています。

労働力は、本人および妻、本人兄(繁忙期)の3人。

3. 有機農業を始めるきかっけ

第2子が、生後すぐアトピー性皮膚炎になりました。子どもが口に入れることができる水や 食べ物に向き合わざるを得なくなったのがきっかけで、友人の有機農業実施者を通して有機農 業のことを知りました。

そのころまで約 20 年間、機械設計の会社に勤めていましたが、実家の会津美里町に移住し家業の農業を継ぐことにしました。

現在、家族が食べるのと同じ食べものを消費者に届けたいとの思いで、日々精進しております。

4. カキ栽培の特徴

会津地方を代表する果物、「身不知柿」(みしらずがき)を栽培しています。

栽培は草生栽培を行っています。主な年間作業は、2~3月に剪定作業、7月初旬に摘果作業 と適宜下草刈りを行い、10月下旬頃から収穫となります。

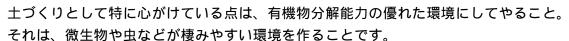
「身不知柿」は、大玉品種のため摘果作業は欠かせません。

また、剪定では玉の色づきを考え、樹形は、 北側の枝をやや高く、南側の枝は低く広く配置 する樹形となるよう心がけています。

有機栽培技術については、公益財団法人自然 農法国際研究開発センターの講習会などに参 加して、有機農業の考え方や技術を学んでいま す。

1) 土づくり

有機 JAS 認証を受けている面積は 67a で、約 120 本を無施肥で栽培しています。



植物は、人間のような消化器官を持っていませんので、食事(肥料)を与える時は、幼子に食事を与えるよう、充分調理して(有機物をボカシ)から圃場にすき込んでいます。

2) 雑草対策

雑草による草生栽培をしています。年間 3~4 回、ハンマーモアを使って草刈りを行い、夏季は雑草を充分伸ばし、9 月彼岸のころに最後の草刈を行います。

3) 病害虫対策

苦土石灰を竹酢で中和した液を 300 倍に薄め、展着剤とともに、7 月中旬頃に 1 度散布します。雨が多い場合は、EM 拡大液を加えることもあります。

4) 渋抜きの工夫

「身不知柿」は渋柿ですので、糖度が高くても渋抜きに失敗すれば食べられません。また、 渋抜きの度が過ぎると甘味のない熟し柿になって美味しくありません。赤みが出るまで樹上に 置き、色づいた柿から収穫するのも手間がかかり、霜害にも合いやすくなります。

そこで、アルコールを完全に浸透させるため、ビニール袋に 2 昼夜密閉してから、取り出した後一旦乾かし、自作の紙袋に詰め直し、1 週間から 10 日間ほど追熟させています。

従来から伝わる「樽ぬき法」からヒントを得たこの方法は、渋抜きの3条件である調湿、保温、嫌気を同時に満たすことが出来き、このような工夫することで、味にうるさい地元の消費者より「美味しい」と言われるようになりました。

5. これから農業をはじめる方に

幸せに生きる手だてとして、農業は優れていると思います。しかし、農業は長年にわたり続けられてきたため、その技術は極めて混乱しているように思います。それを解きほぐすために、自然に耳を傾けることの大切さを徐々にですが感じています。

新規就農希望者に、私のように実施すれば「安泰」と胸を張って言えないのが現状です。しかし、私の家にはお金はありませんが、人の夢を喰う架空の動物「獏」の餌は、山のようにあります。ぜひ、訪ねてください。



山形県朝日町における減農薬リンゴ栽培

ナイスガイ農園 菅井 誠吾

1. 産地の概要

山形県朝日町は、県中央部村山盆地に位置し、最上川が町域の南北を約 21km にわたって蛇行北流し、磐梯朝日国立公園をはじめとする原生林野が町の面積の 73%ほどを占めています。人口は約 7,800 人。

最上川の両岸に沿った河岸段丘は、特産のリンゴをはじめとする果樹・作物の栽培に適した肥沃な土地です。

私の園地の標高は約170m前後で、盆地特有の朝と夜の寒暖の差があります。夏の高温・湿度の高さなど厳しい環境にありますが、実の引き締まったメリハリのある酸度・糖度ともに高く食感の良い果物が生産されます。とくに私の住む和合地区はリンゴ栽培の中心地区であり、当地で栽培が始まってから130年以上という、歴史ある地区でもあります。

2. 経営の概要

家族経営で、主な労働力は、私と妻、長男、 祖父と農繁期時のパート雇用です。

リンゴ 210a (うち特別栽培面積 75a) サクランボ 30a、モモ 30a、ラ・フランス 30a (うち特別栽培面積 15a)を栽培。我が家が





ナイスガイ農園のロゴマーク

リンゴ栽培を始めて、私が2代目で、現在は後継者の長男を含め3世代で、リンゴを中心とした経営を行っています。

このほか長男が担当し、約70坪のビニールハウス2棟で、コマツナを通年で契約栽培しています。

3. 有機農業へのきっかけ

平成 14 年、山形県をはじめ多くの都道府県で無登録農薬(ダイホルタン及びプリクトラン)が販売、購入された問題がきっかけで、安心・安全な農作物の大切さを認識しました。平成 16 年度に山形有機マルタ会を結成して特別栽培に挑戦。当初は 18 名で始めましたが、現在は志しを同じくする 12 名がお互い研鑽しながら続けています。

また、農業を取り巻く環境から各種果樹栽培の技術をはじめとした情報を、山形有機マルタ会の母体である農業技術研究グループ「全国エンドー会」がバックボーンとなり得ています。 他県の会員仲間との横の繋がりも強く、情報収集がいつでも出来る状態にあります。

4. 果樹栽培の概要

特別栽培を始めた当初、減化学肥料、減農薬に気を取られ減らすことだけを考えて栽培していました。その結果、まず土の状態が崩れ、加えてただ農薬を減らすだけの栽培のため、病害虫が発生し安定した農作物が出来なくなりました。こんな状態から普通の状態に戻すのに3年程度かかりました。

そこで考え方を一新し、果樹の状態を観察 し、徐々に修正しながら今では下記の方法 を行っています。

1) 土づくり

栽培圃場はすべて特別栽培に準じて栽培 し、化学肥料(窒素成分)を 5 割以上削減 しています。



リンゴ(サンふじ)の収穫期

通常、元肥は秋肥と春肥に分けて行っていますが、当園では収穫終了後の施肥が出来ずに、4 月に行っています。

表1 4月の施肥肥料とその量

肥料の種類	施用量(10a あたり)と留意点				
配合肥料	40 kg (化学肥料由来窒素 2.48 / kg)				
有機発酵肥料	60 kg(魚粕を主にした有機 100%肥料)				
苦土・微量要素肥料	30 kg (農薬防除時に液肥を混合し数回の散布の実施)				

2) 雑草対策

特別栽培園地は草生栽培を実施し、乗用草刈り機で年 5 回程度の草刈りを行い、除草剤は使っていません。ダニ発生を抑えるために、木の幹のまわり半径 2 メートルくらいは草を残すようにしています。

3) 病害虫対策

栽培圃場はすべて特別栽培に準じて栽培しています。防除は、スケジュールに沿った防除ではなく、日頃より病害虫の発生予察を徹底し、散布死角を無くすことを心がけています。使用農薬の回数を減らすためには、農薬で100パーセント防除するという先入観を無くし、収入減にならない程度の我慢も必要です。

リンゴ(サンふじ)の防除暦を表2に示します。

4) 品種および販売方法

サクランボは主に佐藤錦と紅秀峰で、すべてギフト対応で出荷しています。

モモは多品種を栽培し、8月初旬から9月下旬まで、継続してギフト対応し、ラ・フランスは9割がギフト対応です。

リンゴは、極早生8月上旬から11月収穫のふじまで約40種以上を栽培。そのうち、ふじの栽培面積は約7割を占め、その8割がギフト対応で、2月中旬まで販売しています。また、2015年国道沿いにオープンした道の駅あさひまちの産直コーナーに会員登録し、販売しています。このはか、山形有機マルタ会として、株式会社マルタを通じて生協および百貨店などで販売

しています。

表 2 平成 27年のリンゴ(サンふじ)の防除暦

時 期	種類
4月下旬(開花前)	サンリット水和剤、ハーベストオイル、バイオマックスDF
5月上旬(落花後)	オンリーワンF
5月上旬	ミクロデナポン水和剤
5月下旬	アントラコール顆粒水和剤、ポリオキシンAL水和剤
6月上旬	ロブラール水和剤、ロディー水和剤
6月下旬	フリントF25、サイアノックス水和剤、ダニサラバF
7月上旬	オキシンドー水和剤 80、ダントツ水溶剤
7月下旬	オキシンドー水和剤 80
8月上旬	ベルクート水和剤、サムコルF、ダニゲッターF
8月下旬	オーソサイド水和剤、モスピラン水溶剤
9月中旬	トップジンM水和剤
10 月上旬	ストライド顆粒水和剤

F:フロアブル、DF:ドライフロアブル

5. 今後の抱負

特別栽培に挑戦し、実践していくなかで、これまで良かれと思ってやってきた技術や方法が、 逆に悪い方向へ行っていたのだと気づくことも多々ありました。経営の全責任が自分にあるの で、収量・収入が落ちた時にはとても落ち込んだこともありました。しかし、辞めないで継続 したことが、今に生きてきています。

有機栽培には、まだまだ程遠いです状態で、いつまでに目標に到達するかは解りません。しかし、特別栽培に取り組むなかで、いつしかお客様が多くなり、ギフトを中心に経営出来るようになったこと、全国エンドー会・山形有機マルタ会を通じて多くの方々と知り合いになれたこと、いつでも欲しい情報が聞ける先輩や仲間がいることは、非常にありがたいことです。

その上、消費者であるお客様に、「あなたのところでしか買えない」「こんなに美味しいリンゴを初めて知った」と言葉をかけられるようになりました。やっていることが楽しいだけに間違っているとは思っていません。これからも遠回りしながら、地道にやっていきたいと思います。

6. これから有機農業を始める方へ

「より美味しい農産物を生産したい。消費者に選ばれ、喜ばれる農産物を生産したい」と意識したときからが、有機農業や特別栽培の入り口です。最初は無理をせず 10 年先を目標に、焦らず取り組んでください。

慣行栽培の数字やスケジュールに合わせた施肥や農薬の使用方法を改めて、少しずつ化学肥料・農薬を減らして行く努力が必要です。情報は与えてもらうだけでなく自らも開示し、お互いに情報を交換できるようにしたいものです。

「聞くは一時の恥、聞かぬは一生の恥」をモットーに、自己満足だけの栽培方法ではなく、 お互いに相談し合える仲間づくりが、人間としての器を大きくするものだと思います。

山形県高畠町における減農薬ブドウ栽培

遠藤農園 遠藤 五一

1. 地域の概要

高畠町は、山形県の南東部に位置し、人口は 24,000 人。 高度経済成長の中で若者が離農し、都市に人材が流出してい く危機感から、農村・農業者の自主独立を目指した青年団活 動や多くの勉強会を経て、1973 年に高畠町有機農業研究会 が発足。1975 年ごろより首都圏の消費者グループとの提携 が始まりました。

高畠町の有機栽培実施面積は 102ha、特別栽培実施面積は 705ha (2014 年 8 月現在)。有機栽培比率は 5.2%で、国内全体の有機農業実施面積割合に比べれば 10 倍の水準にあります。

2. 経営の概要

600a の水田で、有機 JAS 認証米、特栽米(農薬、化学肥料不使用)、特栽米(7割減農薬、9割減化学肥料)を栽培。他に、デラウェア 40a(ハウス、減農薬栽培)、カボチャ 12a (無農薬栽培)。



労働力は、本人および息子。上和田有機米生産組合の組合長を担っています。

3. 有機農業を始めるきかっけ

就農した約30年前は、農家を継ぐ若者は激減し、農薬による農家の健康被害も深刻化していました。さらに、1970年から米の減反政策が始まり、化学肥料を多用して収量を上げれば減反が増えていくという結果を招き、農薬や化学肥料が農家にとって良いものとは思えなくなりました。そこで、土づくりを通して、自らの技術をもとに収量を上げていく本来の農業の姿に立ち返り、家族に安全な農産物を提供することを心がけました。

「農業は自分だけで完結するものではなく、次の世代にどのような環境を残していくかを考えなくてはならない。病気になった身体を治すのは医療だが、病気にならない身体を作るのは 食べ物」との考えで、日々農業を続けています。

4. 栽培の特徴

水稲とブドウを軸に栽培しています。エコファーマーを取得し、認定農業者でもあります。 田畑への投入資材は、すべて有機 JAS 認証資材を使用し、病害虫防除はできるだけ農薬を少なくして栽培しています。

1986年より、生産者自身と消費者の健康を考え、自然との共生を基軸に持続可能な農業を求めて、水稲から有機農業を始めました。

5. ブドウ栽培の特徴

当初は化学肥料を使用していましたが、現在では、有機 JAS 認証資材を使用しています。有機質資材を利用して、ブドウが割れにくくなり、渋みもなくなりました。

収穫は、7月下旬から 8 月中旬で、10a あたりの収量は、慣行栽培の $1200 \sim 1400 \text{kg}$ に対して、 $2000 \sim 2400 \text{kg}$ と 1.7 倍です。

園地に光が入るように、また副梢を大きくしないように工夫し、ミネラル資材を施用し、ブ ドウの品質の向上に努め、粒の劣化を遅くするようにしています。

収穫後、すぐにビニールをはがし、有機質肥料を 9 月に樹幹から離れた雨水が入りやすいハウスの谷間に施用しています。また、4 月の芽ふきの頃にも施用します。

全量を JA 山形おきたまに出荷。2012 年より 14 年まで 3 年続けて品評会で受賞しています。 なお、JA 山形おきたま管内のデラウェア生産者数は約 400 人、作付面積は約 270ha で、デラウェアの栽培面積は全国一です。

表 1 平成 27 年ブドウの施肥・防除暦など

時 期	内 容
3月31日~4月1日	ブドウ園に雨よけビニールの設置
4月15日	トラサイド 300 倍、ベシレート 500 倍
5月2日(夕方)	ペンコゼブフロアブル 1000 倍、モスピラン 2000 倍、マイトコ
	ウネフロアブル 1000 倍、ピタリ G1 1000 倍
5月7日	ジベレリン処理(1回目)
5月12日	ゲッター1500 倍、スターマイトフロアブル 2000 倍、ピタリ G1
	1000 倍
6月8日	ジベレリン処理(2回目)
6月24日	コテツフロアブル 2000 倍
8月20日	雨よけビニールの撤去
9月	ミネラル宝素などを施肥

散布量は 10a あたり 200L。

表 2 ブドウの施肥量

使用資材	施肥量(10a あたり)
ミネラル宝素	80kg
グアノ	80kg
薬元(8・5・3)	80 ~ 100kg
エッグ	40kg

施用時期は9月。使用資材はすべて有機 JAS 認証資材。

6. これから農業をはじめる方に

農業を続けることは、田畑を持った専業農家でも大変な現状で、新規就農者が有機農業で自立するには相当な覚悟が必要です。10年、20年のスパンで自分の人生設計を立て、その中に有機農業を組み込むことが大切です。

経済的に苦しい時期を乗り切るには、「気力、体力、資力」が必須。さらに、楽しむことです。 どんな仕事も楽しくないと続きません。そして、消費者があっての農産物。農業で自立できる のは、農産物を買ってくれる人がいるからで、消費者を無視して自己満足で生産していても成 り立ちません。

青森県藤崎町における有機 JAS リンゴ栽培

マルフク晴香園 福田 秀貞

1. 経営概要

リンゴ 423a (マルバカイドウ台木の普通栽培 170a、わい化栽培 180a、平成 22 年よりわい化栽培 73a)。

内、有機 JAS 認証 423a。併せて、青森県特別 栽培農産物認証(節減対象農薬不使用・化学肥料 不使用)も取得。

有機 JAS 認定機関は、(公財)自然農法国際研究 開発センター(静岡県熱海市)です。



2. 有機栽培への取組経緯

昭和 40 年に就農しリンゴ栽培を開始しました。元々自分自身が「安全・安心」な栽培に関心があり、また周囲の要望もあったことから、平成 6 年から農薬を極力使用しない栽培に取り組み始めました。

当初 E M菌の使用から始まり失敗もしましたが試行錯誤を繰り返した結果、平成 16 年に有機農業によるリンゴ栽培を確立しました。

平成 11 年から青森県特別栽培農産物認証を取得し、平成 17 年から有機 JAS 認証を取得しました。

3. 栽培内容

1) 土づくり

自然に近い栽培環境を心がけています。 数年に一度、米ぬかを主体としたぼかし 肥料を投入していましたが、現在では有 機質肥料を使用せず、光合成細菌を 4~5 回散布しています。

2) 病害虫防除のポイント

何よりも健康な樹体づくりに努め、有機 JAS 認証で使用可能な農薬を必要最小限 で使用しています。また、病害虫予防対策 として、自家製のアップル・ビネガーを 200 倍に希釈して 1 週間に 1 回程度散布 しています。



有機 JAS 認証リンゴ園

問題となる病害は黒星病やモリニア病ですが、石灰硫黄合剤の散布により対応しています。また、ダニ対策では、以前はマシン油を利用していましたが、現在では、醤油の粉と大豆を原料とした散布の友(有機 JAS 認定資材)を使用しています。

3)除草

年に6~7回、草刈り機による機械除草を行っており、除草剤は使用していません。

平成 27 年度の農薬など散布状況

時期	使用農薬など	備考				
4月22日	石灰硫黄合剤 55 倍	モリニア病、黒星病				
5月2日	アップル・ビネガー 200 倍					
5月11日	コロナ・フロアブル(水和硫黄剤) 500 倍	うどんこ病				
	ファイブスター 2000 倍					
5月18日	アップル・ビネガー 200 倍					
	EM セラミックス 1000 倍					
5月28日	コロナ・フロアブル(水和硫黄剤) 500 倍	うどんこ病				
	ファイブスター 2000 倍	ハマキムシ類				
	光合成細菌 300ml					
6月8日	アップル・ビネガー 200 倍					
	光合成細菌 300ml					
6月16日	コロナ・フロアブル(水和硫黄剤) 500 倍	うどんこ病				
	ファイブスター 2000 倍	ハマキムシ類				
	EM セラミックス 1000 倍					
6月26日	アップル・ビネガー 200 倍					
	光合成細菌 300ml					
	EM セラミックス 1000 倍					
7月6日	アップル・ビネガー 200 倍					
	散布の友 1000 倍	ハダニ				
	EM セラミックス 1000 倍					
7月11日	銅水和剤 (IC ボルドー412)	輪紋病				
7月16日	アップル・ビネガー 200 倍					
	EM3 300m1					
	EM セラミックス 1000 倍					
7月24日	アップル・ビネガー 200 倍					
8月3日	銅水和剤 (IC ボルドー412)					
	ファイブスター 2000 倍	ハマキムシ類				
8月11日	アップル・ビネガー 200 倍					
	光合成細菌 300ml					
	EM セラミックス 1000 倍					
8月20日	アップル・ビネガー 200 倍					
	光合成細菌 300ml					
	EM セラミックス 1000 倍					
8月29日	アップル・ビネガー 100 倍	pH4.6 のため倍率を 100 倍に				
	散布の友 1000 倍	ハダニ				
	EM セラミックス 1000 倍					
9月14日	アップル・ビネガー 100 倍	pH4.6 のため倍率を 100 倍に				
	EM セラミックス 1000 倍					
	EM7 10000 倍					

4. 販売状況等

生果での販売が8割で、加工(ジュース)販売が2割です。販売先は契約販売やネットによる個人宅配販売(メディアフロント:自然食ネットコーナー)主体です。特にネット販売は3年前から始めましたが、リンゴの有機JAS栽培は希少なため、全国北海道から沖縄まであらゆる地域から注文が入ります。通常の農薬を使用した農産物を摂ることができない化学物質過敏症の方々などには絶大な支持があり、注文とともに感謝の手紙が送られてくることも多く、逆にそれは有機JAS栽培の励みにもなっています。

収量は慣行栽培の3分の1から半分程度で、サイズは中玉が主体です。しかし、単価は慣行栽培の2倍~4倍で取引されています。また「家庭用」としてやや外観が落ちる規格でも喜んで買ってもらえる顧客層にも恵まれています。将来は法人化し、加工施設を建設したいと考えています。



有機 JAS 認証リンゴ(赤ふじ)

山形県天童市における減農薬サクランボ栽培

佐藤善博農園 佐藤 善博

1. 地域の概要

天童市は、山形県の東部に位置し、人口は 62,000 人。市全体が山形盆地の中央付近に位置するため、全般的に平坦な地形です。市東部は奥羽山脈に近いため丘陵部や山地で占められ、西部は水田が占めていましたが、最近は新興住宅地が増えています。乱川と立谷川により東根市・山形市と接し、西部は最上川を境に寒河江市に接しています。年間を通じて温暖で、冬の降雪量も少ない気候です。

2. 経営の概要

サクランボ 17a、モモ 30a、ブドウ 30a、そのほか、リンゴ、カキを栽培。 労働力は、本人および妻。

3. 農業への思い

大井上理農学研究所、日本ブドウ研究所で「巨峰」を中心とした植物の生理・生態を学び、 菊池堅治郎氏より、サクランボの摘蕾について学びました。また、佐藤徳氏には個々の作物で はなく、圃場全体の生育を見ながら施肥時期を判断する方法を学びました。

学んだことを活かし、他産業の仕事はせず、また大規模化せず、妻と 2 人、農業収入のみで暮らしてきました。生産した農産物は、自ら決めた価格で出荷し、借金はぜずに、若いときに2 人で思い描いた農業経営を続けています。

4. 観察の大切さ

「半夏生」(はんげしょう)は七十二候の1つで、かつては夏至から数えて11日目とされていましたが、現在では天球上の黄経100度の点を太陽が通過する日、毎年7月2日頃にあたります。

この頃に葉の先端が白くなり始めるハンゲショウ(半夏生、カタシログサ)という名の植物が好きで、庭に1か所、畑に2か所(各16㎡)植えています。きっかけは、ブドウ「巨峰」を日本中に広めた日本ブドウ研究所の恩師 恒屋棟介氏が「講義のなかで農業をやる人は植えるように」と言われたことです。



年々の季節のすすみ具合は、ハンゲショウの 葉の先端が白くなり始めるころを参考にし、 農作業の目安にしている。

この植物の生長を観察すると、その年の季節

のすすみ具合がわかります。江戸時代に書かれた農書が主に収録された『日本農書全集』(農文協)に収録されている農書には、農作業の説明に「半夏」「半夏生」が 200 か所以上も出てくるように、この植物がいかに参考にされたかを知ることができます。

5. 栽培の考え方

「巨峰」の生みの親、大井上理農学研究所の大井上康氏が提唱した「栄養週期理論」の原則

を守り、種まき時は無肥料で始め、収穫時には体が成熟し果実が実るまで仕上げることをモットーにしています。

栽培しているすべての樹を思い浮かべることができる規模で栽培しています。思い浮かばないところが出てきたら、その部分の樹は倒すことにしています。

目標をはっきりと持って、一つひとつ確実に責任をもって手入れをしていくと、植物は必ず答えてくれます。

6. サクランボ栽培の特徴

品種は、佐藤錦が6割、そのほか、紅てまり、紅秀峰、ナポレオン、南陽、大将錦。

結実までは、知っている技術をすべて投入することを心がけています。そして結実が決まったら、いかに早く摘果するかがポイント。サクランボなら1かそうに2個です。このように管理できたサクランボの味は格別です。

リン酸または消石灰の効果を出したいときは、早朝に施肥し、その後集中的に灌水します。溶けた肥料水(1%の濃度)が土中70cmまで届くようにすることが大切です。なお、畑には土中70~100cmに暗渠が入っています。リン酸の施用効果は、雄花が元気になるため、その後の発育が楽しみになります。

サクランボの園内には、マメコバチの巣を設置し、その両脇に啓翁桜(けいおうざくら)を植えています。ハチの活動開始時期(4月中旬)と啓翁桜の開花時期が重なるためです。啓翁桜が咲いていることで、サクランボが開花する4月下旬まで、ハチが園内に留まってくれます。



マメコバチの巣(中央)と満開の啓翁桜。サクランボが開花する4月下旬まで、ハチを園内に留めるため、ハチの活動開始時期(4月中旬)に開花する啓翁桜を植えている。

年 $3 \sim 4$ 回、草刈りをし、途中 1 回は除草剤を使用します。サクランボの場合、マメコバチが草花からサクランボの花に一斉に向くようにするため、 $2 \sim 3$ 分咲きのときに草刈りか、除草剤を散布します。

肥料の施用量は、樹 1 本ごとに状態を見ながら決めています。その目安は、摘蕾がすべての樹でできることです。摘蕾を始めて 33 年ほどになりますが、摘蕾の有無で、花の充実度、葉(樹)の勢いも違うので、病害虫の心配をするよりも、まず、すべての樹で摘蕾することが大切と考えています。できないところがあるようだったら、栽培面積が多すぎると考えるべきです。

このように管理することで、サクランボの農薬散布回数は、慣行栽培の3分の2程度に、また、濃度も薄くすることが可能です。

33年前、冬にサクランボの摘蕾をし、結実後に摘果(粒)していたら、「なんと馬鹿なことをしている」と近所の笑の種になりました。大きな声で、聞こえるように馬鹿にされたこともありました。それが、4~5年前から、近所の人たち皆がやり始めました。周りにどう思われようと、植物の生理をもとに理にかなった方法であれば、やり抜くことが大切と思います。

肥料は 1%の濃度でないと吸収しないので、1 分間に 500 リットル灌水できるように畑中に 2 インチのパイプを付設しています。2 時間程度灌水したら、箸が持てないくらい疲れますが、

翌日の早朝に肥料水を灌水した効果を見るのが楽しみです。リン酸と仕上げの消石灰の施肥は必ずこの方法でやっています。

7. これから農業をはじめる方に

植物の肥料(養分)の吸収は、日の出とともに始まり、午前中で終わります。日の出から午前8時ごろまでが、養分吸収の速度が速く、無駄のない発育をするなど、植物の生理を知ることが、栽培をする上で欠かせないと思います。

【参考】栄養週期理論

民間農学者大井上康氏が提唱し、恒屋棟介氏を中心とした後継者たちが普及に努めた作物栽培技術の理論体系です。

栄養週期理論を簡単に定義すると、「作物の発育の時期・段階に応じた生理・生態、それぞれの作物の経歴および作物と環境との関係を踏まえる。その上で、作物に必要となる栄養を施し、作物の持つ潜在的な能力を引き出そうとする作物栽培技術の理論体系」と言えます。

(株式会社日本巨峰協会 HP より)

山形県東根市における減農薬サクランボ栽培

山庄果樹園 遠藤 秀一

1. 地域の概要

山形県の中央部、村山盆地に位置し、東は仙台市、南は山形市・天童市に隣接した温泉のある田園都市です。人口約47,000人。サクランボやリンゴをはじめとする果樹の栽培が盛んで、サクランボの生産量は全国の市町村で1位。サクランボの主要品種である「佐藤錦(さとうにしき)」は東根市で作出されました。



2. 経営の概要

リンゴ 50a、サクランボ 300a、サクランボ (加温栽培) 20a、モモ 20a を栽培。 労働力は、本人および両親。

3. 減農薬栽培を始めるきかっけ

当初より、有機農業を目指していたわけではなく、父の代より試行錯誤を繰り返しながら、 どうしたら美味しい果実が生産できるかを追求するなかで、結果として減農薬で栽培をすることになりました。

4. 栽培の特徴

食べものの生産に携わる農家として、常にお客様を裏切らない心と信頼を得る商品の提供に 心がけています。そのために、果物の生産履歴を提供し、生産者、消費者、流通・販売に携わ る方々が、共に安心できる情報の共有を図っています。

5. サクランボ栽培の特徴

1) 土づくり

熟成した有機発酵肥料を主に用いることで、さまざまなミネラルを樹が吸収できるように心がけています(表 1)。

2) 除草

乗用除草機で、年3回除草しています。除草剤 は、使用しません。

3) 病害虫防除

樹の健全な生育に心がけ、気象の変化に応じた 適期散布を心がけています(表1)。また、フェ ロモンを使用して、薬剤の使用回数の抑制に努 めています。



剪定をする父・庄太

表 1 平成 25~26 年加温サクランボ (佐藤錦)の栽培暦 (施肥量は 10a あたり)

時 期	内 容	備考		
5月25日	収穫完了			
8月10日	除草	乗用除草機		
8月20日	Z ボルドー 500 倍	炭そ病、穿孔病		
	コロマイド乳剤 1000 倍			
8月30日	くみあい神町果樹有機 75 60kg	化学肥料由来窒素 3.12kg		
10月10日	ビニール撤去・収納			
12月5日	除草	乗用除草機		
12月7日	お魚燐さん 40kg			
2月15日	整枝・選定	剪定傷口癒合(木工ボンド+		
		炭)		
1月13日	ビニール被膜			
1月20日	剪定			
1月25日	アプロードフロアブル 1000 倍	カイガラムシ		
	オーソサイド水和剤 800 倍	殺菌		
2月20日	フルーツセイバー水和剤 1500 倍	灰星病、炭そ病、幼果菌核病		
(開花直前)	バイオマックス DF 2000 倍			
2月27日(開花直後)	トップジン M 水和剤 1500 倍	灰星病、炭そ病		
3月5日	スコア顆粒 2000 倍	灰星病		
(落花 15 日後)				
4月22日	ロブラール 500 倍	灰星病		
(収穫直前)	アクアフロアブル 1500 倍			
5月1日(収穫期)	インダーフロアブル 5000 倍			
5月8日	収穫開始			
5月26日	収穫終了(収穫量は、10a あたり			
	600kg)			

殺虫殺菌剤 10 成分(当地の慣行栽培では23 成分)。

6. これから農業をはじめる方に

慣行栽培と違い、使用できる農薬、肥料に制約があります。栽培方法においても試行錯誤の 連続です。しかも、果物においては栽培方法が単価に反映されないのが現状です。しかし、お 客様に安心して食べていただきたいとの思いと、自然が育てた美味しさを届けたいとの考えが あるなら、有機農業に挑戦できると思います。

参考資料

耕地生態系を支える構成要素と機能 耕地生態系の機能を高める有機栽培技術の基本 果樹の有機栽培実施上の課題と対応策 有機農業の研修受入先をご紹介ください 有機農業の経営指標をご提供ください 有機農業に関する相談の問い合わせ先 有機農業果樹・茶講座 開催一覧

耕地生態系を支える構成要素と機能

1. 有機栽培と慣行栽培の違い

自然生態系において土壌生成の原動力であり、主体となっているのは、植物や土壌生物である。これら生物量の豊否が土壌の化学的・物理的機能の発現量に大きく関わっていることは、土壌学、生態学、生物学、地球科学等の各学問分野における広範な研究によって、明らかにされてきている。従って、地上部と地下部の生物量を高めることにより、ある一定レベルまで土壌の「植物生産機能」を高めることが可能である。

しかし、農業という経済活動においては効率性、作業性が重視されることから、単位面積当たりの収穫量を短期間に増加させ、大きさや外観品質、食味を向上させるための栽培技術が発達し、育種もそれを前提に行われてきた。すなわち、養分が不足すれば化学肥料を与え、土壌が固くなれば耕起を行い、病害虫が発生すれば殺虫剤や殺菌剤を散布し、雑草が養分や日光を競合すれば除草剤を散布するという技術である。これらは「速効性が高く」、栽培上の「問題点をピンポイントで解決」でき、さらに農家にとって特に「高い技術は必要としない」ため、すぐに普及拡大し、近代的な栽培技術として次々に採用されてきた。これにより20世紀後半から、作物を高収量で安定的に生産できるようになってきた。

このため、現在のほとんどの農家には、土壌の機能が、「土壌養水分を蓄える培地」か「植物を支える支持体」程度にしか認識されていないのではないかとさえ危惧されるほど、「本来の土づくり」がおろそかにされているように見られる。各都道府県の土壌改良目標においても、土壌の化学性、物理性に重きが置かれ、土壌生物に端を発する土壌機能についての指標は僅少である。

一方、有機農業は、「土壌が本来有する機能を発現させる」ことが基本となっており、 慣行栽培に取り入れられてきた上記技術は基本的に行えない。そのため、有機栽培農 家は「緩効的あるいは遅効的」であり、「総合的に問題点を解決」し、「農家の技量や知 識に依存する」農業技術の修得が必要となってくる。従って、慣行栽培に慣れ親しんで きた農家が有機栽培を行うに当たっては、初めて直面することが多く、迷いが多いこ とは容易に推測される。

そのため、有機農業を理解するにはまず、耕地生態系や土壌機能の複雑な関わり合いについての知識を学び、理解することが肝要である。現在、有機栽培を実践している農家は、栽培を通して土壌の変化、作物の反応(生育、収量、品質、病害虫など)等を観察・記録し、その土地に最も適した有機栽培体系を模索しながら構築してきている。また新しい有機農業技術の導入を試行錯誤しながら取り入れて適用性について検討を行っている。

現在の有機農業技術レベルは、化学肥料や化学合成農薬を施用しなかった昭和初期の栽培方法に戻っているわけではなく、分子生物学、生化学、物理学、植物学、動物学、昆虫学、微生物学、土壌学、作物学、園芸学、生態学などの各学問分野において、分子、組織、個体、個体群、生態系の各レベルで長年研究が行われ、「自然の本質」を追求することによって得られた研究成果によって、有機農業技術のメカニズム、適応性や有効性の範囲が明確になりつつある。

以下本項では、有機農業の可能性について理解を深めることを目的として、有機農業技術の基礎をなす自然生態系機能のうち、主として有機栽培の土壌管理技術を支える研究情報を中心に紹介する。

2. 土壌動物の機能

土壌中には種々の生物が存在しており、大きく土壌動物と土壌微生物に分かれる。土壌動物のバイオマスは、土壌微生物より少ないが、土壌の物理性の向上と維持という面では、なくてはならない存在である。金子(2007)は、既存の土壌動物生態研究を引用し、自然土壌、いわゆる「発達した土壌」は、生物によって作り出される様々な機能的な場(Domain)を構成していることを説明している。

デトリタス圏(落葉層で細菌やカビによる有機物が進行する。土壌動物の餌となる。)

根圏(根から糖類やアミノ酸などの形で微生物に利用しやすい炭素、窒素源が供給され、微生物が増加する。また根や根に共生する菌根菌が土壌から水分と栄養塩類を植物に運ぶ。)

土壌孔隙圏(土壌の隙間は土壌生物のすみかとして重要な意味を持つ。)

団粒圏(保水と排水の両方の機能を持つ。)

ミミズ生活圏(土壌に穴をあけるだけでなく、様々な作用を引き起こし、土壌を改変する。)

シロアリ圏(集団で巣を作り、土壌に孔隙をあけ、多量の有機物を移動させる。巣の周辺では栄養塩類の集積が起こったり、他の土壌動物の生息が変化したりする。)アリ圏(同上)

図 - 1 は、上記 ~ のドメインを示している。このように土壌を巨視的から微視的まで階層的に見ると、多種多様な生物が、それぞれの生活空間を確保し、物質循環と

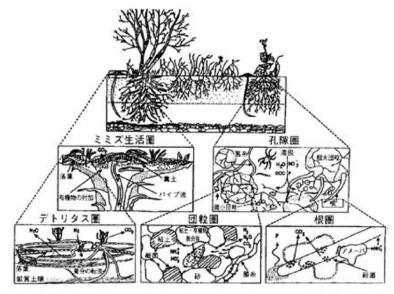


図 I - 1 土壌の生物多様性が生態系の構造と機能に階層的に影響する因子 (金子 2007) 各ドメインは、ミミズ生活圏 (Drilosphere)、土壌孔隙圏 (Prosphere)、デトリタス圏 (Detritusphere)、 団粒圏 (Aggregatusphrere)、根圏 (Rhizosphere)。

複雑な生物相互作用を行っていることが分かる。金子(2007)は、土壌が土壌として存在・維持されるには土壌生物の働きが必須であり、土壌動物の機能は特に重要であると述べている。

このような多種多様で豊富な土壌動物を増加させるためにはどうしたらよいかであるが、中村(2005)は、不耕起、無農薬、前作残渣被覆、雑草刈取り放置でダイズとオオムギを9年間栽培し、土壌中の大型動物の数と種類を詳細に追跡している。その結果、不耕起無農薬栽培区のヒメミミズとササラダニの種数は、実験開始1年目から慣行栽培区に比べて高く、その後も経過年とともに増加する傾向が見られた(図 -2)。ミミズの数は4年目から増加し、9年目には1㎡当たり200個体以上になっていた。

農耕地土壌にミミズ(大型ミミズ)が出現すると、その他のヒメミミズ、トビムシ、ササラダニ及び他のダニの個体数を増加させる(図 -3)。これはミミズが土壌中に作るミミズ孔が重要な役割を果たしているとされている。ミミズ孔の壁にはつやつやした層(厚さ1~2mm)が形成される(写真 -1)。この層にはミミズの粘液が

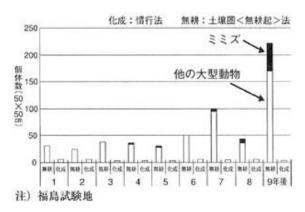


図 I -2 不耕起・無農薬・前作残渣被覆・雑草 刈り取り放置処理(無耕区)と慣行栽培 処理(化成区)が土壌中の大型土壌動 物個体数の年次変動に与える影響(中村 2005)

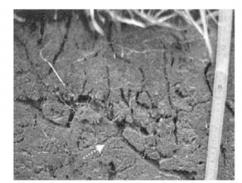


写真 I -1 ミミズが地中で動き回ることによってできるミミズ孔 (中村 2005)

しみ込んでおり、微生物が繁殖し、微生物食性のトビムシやセンチュウが多く、中村 (2005)は、ミミズ孔が土壌生物の世界を創っていると説明している。

有機物とともにミミズを入れて作物を栽培すると、ミミズ無投入区に比べて収量が高

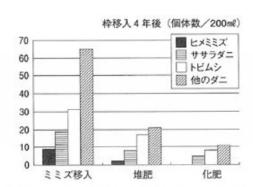


図 I -3 ミミズ移入による土壌動物数の効果 (中村 2005)

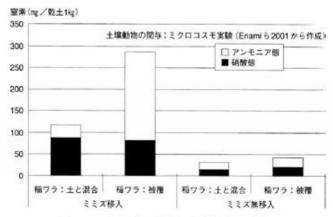


図 I -4 ミミズの移入による窒素の変化 (中村 2005)

表 I -1 センチュウの食性による分類と生態(岡田 2002 より作表)

肉食性	大型で口腔に歯を持ち、他の線虫や微小動物を食べる。
雑食性	太い口針を持ち、有機物粒子や単細胞藻類等を飲み込む。
細菌食性	口針がなく、土壌水分中の細菌を飲み込む。3日で1世代を経過するなど増殖が速い。
	土壌の他、有機質堆肥中にも生息する。
糸状菌食性	口針を菌糸に突き刺して養分を吸収する。細菌食性に次いで増殖が速い。有機質堆肥
	にも生息する。一部の種は、植物病原菌に対する防除資材として利用されつつある。
植物食性	口針を植物根に突き刺して養分を吸収する。根の内部に進入して植物体全体の生育を
	阻害するネコブセンチュウ、シストセンチュウ、ネグサレセンチュウなどから、根の周辺に
	とどまり、根毛を摂食する程度のものまで程度も様々である。

くなる(中村2005)。これはミミズ孔による巨大な通気孔や透水孔を形成すると共に、 ミミズ糞が団粒構造を発達させるなど、土壌物理性を向上させたことに加えて、土壌 養分供給能力を向上させる化学的効果があることも認められている。土に稲わらを表 面施用と鋤込み施用を行い、それぞれにヒトツモンミミズを入れたところ、ミミズを 入れた処理区で土壌中の無機態窒素量が増加していた(図 - 4)。またミミズを投入 した場合であっても、稲わらを土壌中に鋤込むよりも被覆した方が、効果が高く現れ ていた。これは、ミミズを介した有機物分解は、ミミズの生態特性によるものが大き く、自然状態と同様に粗大有機物は土壌表面に施用した方が、効率が高いためと考え られる。ミミズは地表の有機物を孔の中に引き込み、摂食、消化し、廃棄物により低分 子化された窒素化合物が土壌中に放出している。すなわち果樹及び茶の有機栽培にお いて、施用した有機物の肥効を高めるためには、土壌動物のすみかと餌となる植物残 | 渣を土壌表面に施用し、さらにその地域に生息するミミズを積極的に投入することが 一つの肥培管理技術として有用と考えられる。ミミズはいわゆるデトリタス連鎖の中 では、有機物分解の最初の段階に位置する動物であるため、ミミズの積極投入により、 たとえ C/N 比が高く、分解性の低い有機物であっても比較的早期に無機化を促進させ ることが可能である。

土壌動物の中でセンチュウ類は、ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウ、シストセンチュウなどの植物寄生性のものが作物に加害するので、悪いイメージを持たれている。しかし、センチュウの種類は、調べられているだけで 2 万種に上り、その生態や生活環も多種多様であるが、その実態について多くは知られていない。岡田(2002)は、センチュウを食性から 5 つに分けている (表 -1)。

このように作物に加害するのは植物食性のみであり、自然土壌では、雑食性、細菌食性、糸状菌食性センチュウが 90%以上を占めるとされている。また肉食性、雑食性、細菌食性、糸状菌食性のセンチュウは、土壌中の有機物分解に大きな役割を果たしている。さらに病原糸状菌を食べるセンチュウも存在している。細菌食性と糸状菌食性センチュウは、窒素の無機化に大きく貢献していることが分かっており、種々の C/N 比をもつ有機物を施用し、センチュウを投入すると無機態窒素濃度が高くなり、しかも C/N 比が高くなっても、窒素無機化速度があまり低下しないので、ミミズ同様、土壌肥沃度の向上に貢献していると言える。

岩切(1986)は、花崗岩、三紀層、玄武岩の母材の異なる3地点のミカン園において、除草剤(ブロマシルとパラコート)を連用している園と除草剤無使用園のセンチュウ

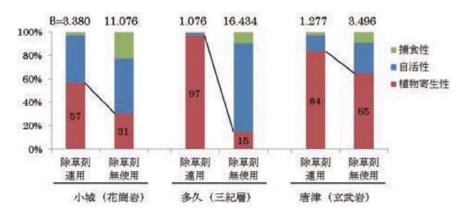


図 I -5 センチュウの食性割合(0~10cm 土壌 100mL 当たり、1974 年 10 月 28 日) (岩切 1986より作図)

多様性指数 $\beta = \frac{N_1(N_1-1)}{\Sigma n_i(n-1)}$ ただし、 N_1 は総個体数、 n_i は第 i 番目の個体数とする。

を調査している。その結果、全ての除 草剤連用園では、植物寄生性センチ ュウの割合が高く、中でもミカンネ センチュウが圧倒的に優先していた (図 - 5)。一方、除草剤無使用園で は、植物寄生性センチュウの割合は3 地点の全てにおいて減少しており、 その代わりに植物に無害で土壌生成 や養分循環に寄与する自活性センチ ュウ(雑食性、細菌食性及び糸状菌食 性)と捕食性センチュウの割合が増 加していた。またセンチュウの多様 性指数が高いほど、植物寄生性セン チュウの割合が低下していた(図 - 6)。このことから、除草剤を使用せ ず、ミカン園を雑草草生管理するこ とが、土壌中の生態系を量、質ともに 豊かにし、センチュウの多様性を高 めたために、植物寄生性センチュウ 割合が減少したものと考えられる。

土壌中には肉食性センチュウだけでなく、原生動物、ミミズ、クマムシ、ダニ、甲虫等多種多様な動物が生息しており、これらの一部はセンチュウを捕食して生活している(写真-2)。センチュウは土壌中の個体数

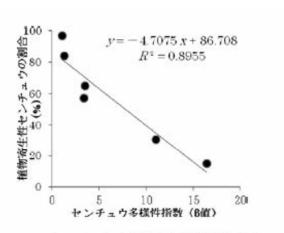


図 I -6 センチュウの多様性と植物寄生性セン チュウの割合(岩切 1986 より作図)



写真 I -2 センチュウ (左) を食べるクマムシ (右) (中村 2005)

が多いことから、多くの土壌動物の餌と もなっており、有機栽培の果樹園におけ る土壌養分動態に対する影響も大きい。

土壌動物の中で、トビムシは中型乾性動物類の中で、サララダニと共に密度が高いため、「土のプランクトン」と言われており、様々な動物の餌となっている。一方、トビムシは病原性糸状菌を摂食することにより、病害を抑制する機能を有している。中村(2005)によれば、寒天培地上に病原糸状菌を繁殖させ、トビムシをその容器に入れると、表面の菌糸を移動しながら摂食し、その行動様式はト

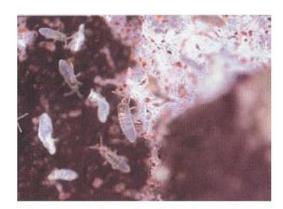


写真 I -3 アズキ白紋羽病菌を食べ、病害発生 を防ぐアイイロハゴロモトビムシ (中村 2005)

ビムシの種類や病原糸状菌の種類によって異なったという。例えばアイイロハゴロモトビムシは、白紋羽病菌を培地表面がツルツルになるほどに食べるが、培地は食べなかった(写真 -3)。ヒダカホルソムトビムシでは、菌糸を食べ終わった後に、菌糸の増殖により変色した培地を食べた。土壌中において、菌で育ったトビムシは根の周囲を徘徊し、菌糸を食べるが根は食べない。これを応用してトビムシ移入実験をしたところ、キュウリつる割れ病(開花まで)、ダイコン萎黄病(発芽から3週)、キャベツ苗立枯病(発芽から3週)、アズキ白紋羽病(発芽から3週)の感染抑制が確認されている(中村2005)。

3. 土壌微生物

土壌中に最も多量に存在している生物は、微生物である。土壌中に生息する微生物の種類は、分類学上も進化過程においてもかなり広範にわたっている。原核生物では真正細菌と古細菌、真核生物では菌類と原生動物に大きく分類される。細胞の大きさは $0.2 \sim 10 \, \mu \, m \, (1 \, \mu \, m = 0.001 \, mm)$ と小さく、代謝活性は非常に高く、栄養やエネルギーの獲得方式も多岐にわたるため、土壌中の化学変化の中心を担っている。繁殖力が旺盛で、例えばブナの葉 1 枚を分解する糸状菌の菌糸長は $5000 \, m$ とも言われる。土壌微生物の作物生育との関わりに関する一般的な機能については、次節で解説するので、ここでは有機栽培に特徴的なことを紹介する。

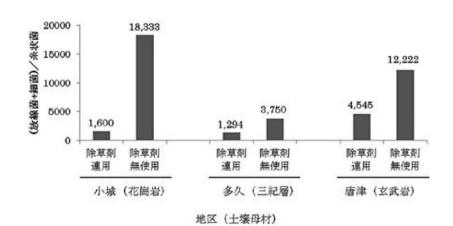


図 I -7 糸状菌に対する放線菌と細菌の比(岩切 1986 より作図)

た。さらに糸状菌フロラはペニシリウムやアスペルギウス属などが減り、土壌病害菌種が多いフザリウム属の比率が増加している。これは、除草剤使用による園地への有機物還元量の低下、表層土壌団粒の崩壊、土壌 pH の低下、地温や土壌水分の変化による土壌性状の悪化が主因と考えられている。一方、除草剤未使用の園では(放線菌+細菌)/糸状菌の指数が高く、病害発生が少ない、健全な土壌微生物相を形成しているとみられる。

このように、除草剤の使用は土壌生物の減退を導き、土壌微生物相を病害に侵されやすい環境に導くことがある。一方、有機栽培では除草剤が使用されないため、植生が存在し土壌に有機物が蓄えられ、土壌生物が豊かになり、土壌微生物相もカビ型になりにくいと考えられる。

4. 菌根菌

糸状菌には、植物の根に共生して土壌から リンなどの養分を吸収し、宿主植物に供給す ると共に、植物からは光合成産物などを獲得 しているものがある。一般に菌根菌と呼ば れ、植物に感染することにより、養分吸収能 力が飛躍的に向上するほかに、耐乾性、耐塩 性、耐病性などのストレスにも強くなると言 われる。宿主、菌種、形態から、アーバスキ ュラー菌根、外生菌根、内外性菌根、エリコ イド菌根、アーブトイド菌根、モノトロポイ ド菌根、ラン菌根の7つに分類されており、 陸上植物の約8割は、いずれかのタイプの菌 根を形成していると言われている(日本生態 学会 2011)。菌根菌と植物の関係について は、すでにデボン紀から植物と菌根菌の共進 化が始まっていることが、分子系統樹を照合 することにより明らかになっており、植物が 過酷な環境下でも生育を可能にしてきた鍵



写真 I -4 クリの菌根 (石井 2007) 上:アーバスキュラー菌根 (60 倍拡大) 下:外生菌根 (20 倍拡大)

となっている。果樹においてもほとんどの樹種で菌根菌が感染することが知られている(写真 -4)。有機栽培では、肥料が有機態であるため、一旦、土壌微生物による分解を受けてから植物に供給されるために、肥効が遅いことが問題となる。しかし、菌根菌の感染によって、吸収しにくい有機態養分を効率よく吸収できると考えられる。

菌根菌の興味深い特長として、「菌根ネットワーク」が挙げられる。菌根菌は、宿主範囲が広いために、近隣に2つの植物が存在すると、両方に感染してしまい、2つの植物がつながる状態が生じる。これが「菌根ネットワーク」である。その場合も、それぞれの宿主植物から光合成産物を受け取り、土壌から必要な養分を菌根を介して宿主に供給するが、例えば宿主 A が窒素不足の場合は、マメ科植物の根から窒素化合物を受け取り、宿主 A に供給したり逆に宿主 A の近くに存在するリンをマメ科植物に供給していることが明らかになっている。光合成産物も同様に他の宿主に供給されるという。このような互助システムは、植物の安定的な養分吸収に大きく貢献していると考えられている。

このような機能性の高い菌根菌ではあるが、菌根菌が宿主に感染しにくかったり、機能が低下する場合がある。その原因の 1 つは土壌への殺菌剤散布であり、感染率が半分以下になる例もある。2 つ目は、土壌中の可給態リン酸濃度が 50ppm を超える場合には、感染率が大きく低下する。これについては現在、植物ホルモンであるストリゴラクトンの根からの分泌量が減少して、菌根菌の感染誘導を行わないためと説明されている。以上、2 つの菌根菌の感染抑制因子については、有機果樹作では生じにくい状況であると考えられ、菌根菌は有効に機能しているとみられる。菌根菌は、政令指定の土壌改良材として登録され、有効性が確認されており、育苗時に優良菌株を接種することが効果的である。またナギナタガヤなど草生栽培は、土壌中の菌根菌密度を高め、果樹根への感染率を高めることが明らかとなっている。

5. 病害拮抗微生物

土壌微生物は、他の生物と同様に土壌中で生存するための戦略を持っている。土壌中では、栄養や生息空間の競合が生じており、特定の微生物は抗菌物質を生産していると考えられている。最もよく知られたものは抗生物質であり、産業的に多量に生産されているが、土壌中における生産量についての知見は、根圏などの限られた範囲でしか得られていない。しかし、植物病害を抑制する働きのある多くの微生物が単離されている。石井(2007)は、ナギナタガヤとバヒアグラスが果樹の重要病害である白紋羽病菌の生育を阻害したことを報告している。メカニズムについては、それぞれの草種組織から分泌・揮発する物質などを検討する必要はあるとしているが、これらの草種には拮抗菌が生存していたことを明らかにした。拮抗菌と白紋羽病菌を対峙培養すると明らかに阻害効果が見られる(写真 -5)。なお、実際の発病抑制効果については、今後明らかにしていく必要がある。



写真 I - 5 ナギナタガヤ及びバヒアグラスから分離した白紋羽病菌にたいする拮抗微生物(石井 2007) 中央に白紋羽病菌を、その左右に拮抗微生物を置床した(培養4日後)。

6. 窒素固定

窒素養分は植物にとって必須であり、植物が生育する上では最も欠乏しやすい元素である。特に農業において窒素養分は、収量や品質に大きな影響を及ぼすため、農業者による肥培管理の中心となっている。

自然界では窒素施肥は行われていないが、植物は土壌等から窒素養分を吸収し、生育しており、その給源のほとんどは窒素固定であると考えられる。窒素固定は、微生物がATP を用いて大気中の N_2 ガスをアンモニアまで還元して体内で同化するものである。植物は微生物が同化した窒素を吸収したり、共生関係にある場合はアミノ酸やウレイドなどの形態で直接、微生物から供給されていることが明らかにされている。

室素固定は、土壌中の窒素濃度が高い時には行われない。これは窒素固定での主体であるニトロゲナーゼ酵素の活性阻害レベルやニトロゲナーゼ遺伝子の発現レベルなど、各段階において制御のである。つまり土壌中の部と微生物は窒素固定を無理に行わず、土壌中の無機態であっても脱窒を流に、土壌中の無機態窒素濃度が高い時に、土壌中の無機態窒素濃度レベルをものまで存在する。

サトウキビは窒素固定菌をエンドファイト(内生菌)としていることが知られ

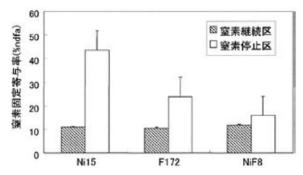


図 I -8 サトウキビ3品種において硝酸態窒素の 添加が窒素固定寄与率に与える影響 (西口ら2005)

窒素継続区: 0.5mM $KN^{15}O_3$ を 90 日間継続施用 窒素停止区: 後半の 45 日間を無窒素で培養垂線: 標準

偏差

ており、植物体内で窒素固定が行われている。図 -8 はサトウキビ3品種を用い、硝酸態窒素の添加を途中で中止した時に窒素固定が回復し、窒素固定寄与率(固定された窒素が全窒素中に占める割合)にどの程度影響を与えるかを調べた結果である(西口ら 2005)。硝酸態窒素を 90 日間与え続けると窒素固定由来の窒素は、3 品種とも10%程度であるが、栽培途中で硝酸態窒素の供給を停止すると品種間差は見られたが、窒素固定の抑制要因がなくなり、大幅に窒素固定量が高まった。このように窒素固定は無機態窒素濃度により鋭敏に反応し、コントロールされている。

慣行栽培においては、アンモニア態窒素を中心とした施肥が行われており、土壌中の無機態窒素濃度が比較的高いため、窒素固定は行われにくいと考えられている。窒素固定が効率的に行われるのは、マメ科植物と根粒菌の関係であるが、ダイズ慣行栽培においても、根粒着生を促進するために、優良な根粒菌の接種と窒素肥料の減肥はセットで考えられている。

有機栽培においては、有機物が分解してアンモニア化成が行われ、さらに硝化によって硝酸が生成するため、土壌中の無機態窒素濃度は比較的低く安定して推移していると考えられる。このため、窒素固定を阻害及び抑制する要因は低く、窒素固定菌の基質は多く供給されるので、窒素固定活性は高いと考えられる。しかし、高温時に易分解性有機物を多量に施用した場合は、化学肥料を施用した場合と同じ状況になるため、窒素固定が阻害されることはあり得る。

7. リン溶解菌

リンは石油と同じように有限資源であり、資源枯渇が叫ばれている。リン資源国であるアメリカや中国の輸出制限や生産コストの増加、それに伴う価格上昇は、リン資源を 100%輸入に依存している我が国にとっては喫緊に解決すべき大きな問題であり、リン資源の有効活用とリサイクルは将来にわたる必須課題である。

リンは、土壌に施用されるとその多くがカルシウムやアルミニウム、鉄などと結合して不可給態化する。また植物に一度取り込まれたリンもフィチン酸の形態となり、難分解であるため肥効を期待しにくい。さらにリンは過剰障害が出にくい元素であり、 農家は毎年多量に施用するので、日本の農耕地土壌には多くのリンが蓄積していると 言われる。このような難溶性リンを土壌微生物が溶解し、植物に供給していることが明らかになっている。リン溶解菌には硫黄酸化細菌、硫酸還元菌、有機酸生成菌が含まれるが、果樹栽培では有機酸生成菌が働くものと考えられる。

西尾・木村(1986)は、有機酸生成型のリン溶解菌を利用したリンの溶解・供給技術を開発した。土壌にはすでにリン溶解菌が多く存在している。そこに易分解性有機物を施用すると、リン溶解菌が急速に増殖して有機酸を生成し、土壌中の不可給態化したリン酸塩を溶解する。溶解したリン酸はその近隣の通常微生物にも吸収されてバイオマスリンに変換される。やがて微生物が死滅すると、自己溶解が生じ、核酸やリン脂質などの比較的吸収性の高い化合物が細胞外へ放出される。菌根菌菌糸が近くにあれば、それらのリン化合物を効率的に吸収できるということになる。有機栽培では、易分解性有機物を施用することも多いので、この技術は利用しやすく有用と考えられる。

有機態リンのほとんどはフィチン酸の形態をとるが、土壌に生息する糸状菌の多くが強いフィターゼ産生能をもっている。フィターゼはフィチン酸を分解する酵素であり、フィターゼ高生産菌分離株と作物残渣や緑肥作物、雑草などの植物資材を組み合わせて施用することで、フィチン酸分解菌の密度を高め、有機リン分解活性を向上させることが可能である。

8. 土壌酵素

これまで土壌中の生物が耕地生態系を形成すると共にお互いにバランてを保ち、土壌中の物質循環を担っていることを解説してきた。しかし、生物でないものも物質循環に関わって生物は植物根を含めて、死滅すると自己とは微生物分解により細胞中に放出される。それが土壌酵素が含まれている。は各種の土壌酵素が含まれている。とは、大土壌微生物が菌体外酵素としている。

代表的なものはタンパク質を分解するプロテアーゼ、糖類の加水分解を行

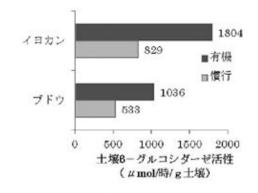


図 I -9 有機及び慣行栽培におけるイヨカン及び ブドウ園の土壌 β-グルコシダーゼ活 性比較

(愛媛大学農学部附属農場の実証調査結果)

う ·グルコシダーゼ、リン酸エステルから無機リンを放出するフォスファターゼなどである。これらの酵素は粘土化合物や有機物等に結合して安定化し、活性を呈すると考えられている。

図 - 9 に伊予柑及びブドウ園の土壌 -グルコシダーゼ活性の比較を示した。イヨカン及びブドウ園とも有機栽培区の活性が高く、慣行栽培で低下していた。これは有機栽培区の土壌微生物が植物残渣や有機質肥料を分解するために、菌体外酵素を多量に分泌していることを示していると考察される。各土壌酵素活性と土壌肥沃度との関係を解明する研究も行われており、 -グルコシダーゼ活性は、比較的相関係数が高いとされている。

9. 耕地生態系を活かす有機栽培への期待

土壌微生物の機能は、土壌肥沃度を左右する重要な因子であるため、長年、土壌微生物研究が進められ、その中で種々の有用な微生物の特性が明らかになり、農業技術として利用されてきた。しかし、研究が進むにつれて、低栄養微生物や培養ができない微生物の存在が明らかとなり、さらにそれらの微生物が土壌微生物の多くを占めることが分かってきた。

一方、遺伝子解析を基礎とする分子生物学の技術革新が急速に進み、生物のポテンシャルを遺伝子で解析できるようになってきた。今までブラックボックスであった土壌微生物の世界に新たな光が差し込み始めている。例えば、FISH 法は細胞の形態や分布などの位置情報を残したまま、特定の機能(遺伝子)を持っている微生物だけを光らせることができるため、微生物機能と生態の両方の情報を手に入れることが可能となった。また DNA-SIP 法は、安定同位体元素でラベルした物質(基質)を用いることにより、その物質を分解できる微生物だけを選択的に検出することが可能である。さらに土壌微生物全てを検出するメタゲノム解析まで可能な時代になってきた。しかしながら、土壌微生物生態の全体像を解明するには、さらなる研究が必要である。これらの研究成果が有機農業の技術として活用できるようにするためには、官民を挙げた応用研究が不可欠であり、これら基礎・応用研究が加速されることを期待したい。

生物には恒常性を保とうとする能力(ホメオスタシス)があり、免疫機能など、健康な状態に保とうとする機能を備えていることが知られている。一方、自然生態系には、多様な植物、動物、微生物の各生物個体や個体群が、ちょうど細胞組織や器官のように機能を発揮し、バランスを取ることにより、ある一定の平衡状態に保つ働きがあることが示されてきている。安定した生態系の中で果樹や茶の栽培を行うことは、作物にとっても好適条件であると言える。永年性作物の有機栽培は、基本的に不耕起であり、土壌表面には有機物が施用され、土壌生物が多量に繁殖・生息するため、野菜や穀物栽培よりも農耕地生態系レベルが高く維持される。しかしながら、病虫害が多量に発生した場合には、生態系のバランスの崩れがないかをチェックし、原因を取り除いたり、管理法を改善する必要がある。また有機栽培農家は、害虫のみならず、多量に存在する土壌動物にも注意し、「農家は土を育て、土が作物を育てる」という意識を持つことが肝要である。

また肥培管理については、土壌が本来有している養分供給能力、作物が本来有している養分吸収能力を最大限に生かすことが、有機栽培を成功させる鍵になるので、長期的な見通しに立った土づくりを行うことが必要である。

引用文献

- 1) 石井孝昭(2007)草生栽培と土壌微生物相.農業技術体系 果樹編 第8巻 共通技術(草生管理 草生栽培をめぐる新研究)草生管理 3~6-1-8
- 2) 岩切 徹(1986)土壌生物相の変化(樹園地). 農業技術体系 土壌施肥編 第 5-2 巻 樹園地の土壌管理(土壌変化の動態と要因)樹園地 7-12
- 3) 岡田浩明 (2002) 土壌生態系における線虫の働き:特に無機態窒素の動態への関わり、根の研究 11 (1): 3-6
- 4) 金子信博(2007)『土壌生態学入門・土壌動物の多様性と機能・』. 東海大学出版会
- 5) 中村好男(2005)『土の生きものと農業』. 創森社

- 6) 西尾道徳・木村龍介(1986)リン溶解菌とその農業利用の可能性 .土と微生物 .28: 31-40
- 7) 西口友広・清水友・大田守也・佐伯雄一・赤尾勝一郎(2005)¹⁵N 同位体希釈法によるサトウキビの固定窒素量の推定、宮崎大学農学部研究報告, 51:53-62
- 8) 日本生態学会(2011)シリーズ 現代の生態学 11 微生物の生態学.共立出版

(本文は、2013年3月発行『有機栽培技術の手引〔果樹・茶編〕』12~21ページに掲載された ものを、一般財団法人日本土壌協会の了解を得て、転載したものである)

耕地生態系の機能を高める有機栽培技術の基本

1. 土づくりと施肥管理が有機栽培を安定化させるメカニズム

有機 JAS 規格の原則の一つとして、「土壌の性質に由来する農地の生産力を発揮させること」が明記されている。永年性作物の有機栽培においても、土づくりを計画的に行い、チェックし、改良を行うことで、土壌の総合的な生産力が向上し、高品質な作物を安定して生産させることが可能になる。

永年性作物の植物栄養学的特徴は、単年性作物と違い作物体(樹体)の葉、茎、根部に養分をある程度蓄積することができる点である。中でも果樹は樹体が大きく養分蓄積量(リザーバー)が大きいため、供給源(ソース)である土壌養分や施肥管理が多少変化しても、単年性の作物ほどには生育や収穫物(シンク)に影響は現れにくい。そのため施肥の省力化を図ることから、一般に施肥回数は単年性作物より少なく、1回の施肥量は多い。しかし相対的に影響が出にくいということは、樹体の養分状態が欠乏状態であったり、アンバランスであったりする場合は、回復や矯正のために、ある程度の長い時間が必要になることも意味する。そこで、安定的に高品質の農産物の生産を行うためには、定期的に樹勢の観察を行い、リアルタイム診断等で養分状態を把握することが必要である。

1) 作物による有機熊養分吸収

慣行栽培では化学窒素肥料が施用さ れると、土壌中で溶解し、アンモニア態 窒素が放出され、一部は作物に吸収され るが、多くは土壌微生物により硝化作用 を受けて硝酸に酸化され、作物に吸収さ れる(図 - 1)。化学肥料由来の窒素は、 土壌中で交換性アンモニアとして一時 的な固定、土壌生物による有機化、溶脱 や脱窒・揮散にも分配されるが、肥料の 溶解から硝化、吸収に至る経路は比較的 単純である。このため、速効性肥料であ れば、施用後、速やかに作物へ吸収され る。このことから生育ステージに合わせ て肥効調整を短期間で簡単に行えると 言える。また短期的な窒素吸収量が予測 しやすいので施肥量も確定しやすい。こ

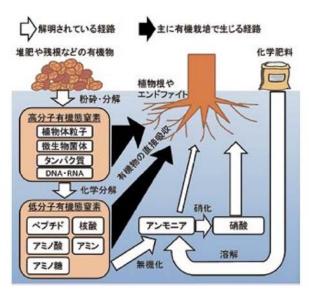


図 II - 1 土壌中における有機物及び化学肥料由来 窒素の動態(模式図)

のことから、化学窒素肥料施用は土壌中の窒素回転を速めるとともに、作物の収量や 品質、窒素利用効率、環境保全等に大きく関わるため、数多くの土壌や作付体系で研究 が行われ、詳細な解明が行われて知見が蓄積し、施肥の最適化が進められてきた。

一方、有機栽培においては、施用窒素のほとんどが有機態であるため、複雑な経路を 辿ることになる。まず施用される有機質肥料は、種々の堆肥、食品残渣、植物残渣や草 生栽培における残根等であり多様である。施用された有機物は、土壌微生物によって 化学的に分解されると共に、ミミズ、トビムシ、ダンゴムシや甲虫の幼虫等の土壌生物 によって物理的に粉砕される。この段階は多くの食物網が関わり、代謝回転しているので大変複雑ではあるが、ここでの生産物を便宜上、植物体粒子、微生物菌体、タンパク質、DNA・RNA などの「高分子有機態窒素」と、ペプチド、核酸、アミノ酸、アミノ糖、アミンなどの「低分子有機態窒素」に分ける。

大きな流れとしては、有機質肥料が高分子有機態窒素に粉砕・化学分解して低分子有機態窒素になり、低分子有機態窒素が化学分解や脱アミノ化によって無機態のアンモニアを生成することが解明されており、あとは化学肥料由来のアンモニアと同様な経路で作物に吸収されると考えられている。

このように有機栽培では、肥料施用からアンモニアに至るまでの経路が複雑であり、多くの生物が関与するため、一般に肥効発現が遅いこと、生物種、気温、地温、水分、酸素濃度などの環境要因によって肥効が大きく変動することから、施用量を確定しにくいと言える。特に開園当初で土壌生態系が確立していない場合は、これらの環境変動が大きく、作物による吸収量を予想しにくい。これが有機栽培導入における一つのハードルになっていると考えられる。

しかし、植物吸収には、すでに解明されている無機化してからの吸収経路に加えて、 有機物を直接吸収する経路の存在も明らかになりつつある。現時点ではまだ研究例は 限られており、知見は断片的であるが、この有機栽培特有の養分吸収経路の全容が解 明されれば、有機農業の植物栄養学的な利点に位置づけられる。

植物根による有機物の直接吸収現象について、1960年に McLaren らは、オオムギがタンパク質であるリゾチウム、リボヌクレアーゼ、ヘモグロビンを植物根が直接吸収したことを報告した。我が国では Nishizawa and Mori (1977)が、水稲根による巨大有機物の直接吸収を報告し、その後一連の研究の中で電子顕微鏡による観察等により、細胞が巨大分子を飲み込むエンドサイトーシス (endocytosis、食作用と飲作用)過程

を詳細に示した(図 - 2)。まず、ヘモグロビン粒子が細胞膜の外側に付着すると、それを包み込むように細胞膜が内側に陥入する。そしてヘモグロビンを内包する球体が形成される。さらにその球体が液胞(タイプ) や小胞体(タイプ

)に取り込まれ、溶解酵素によって消化され、植物に利用される。Yamagata and Ae(1996)は、有機質肥料を与えると窒素吸収量が高くなる作物種が存在することを示し、その後 Matsumoto et al.(2000)が、チンゲンサイとニンジンはタンパク様物質の PEON(1/15M リン酸緩衝液で土壌から抽出される有機態窒素)を直接吸収していることを明らかにした。阿江・松本(2012)によれば、PEON 抗体を用いた実験で、PEON がホウレンソウの根から吸収され、地上部導管部まで達していることを示してお



図Ⅱ-2 水稲根の皮層細胞によるヘモグロビン 取り込み機構(食作用)の模式図 (西沢1992)

タイプ I: ヘモグロビンが細胞膜上に結合すると、細胞膜が陥入して食細胞を形成し、液胞へ入り込み、そこで酵素分解を受ける。

タイプⅡ: ヘモグロビンを持った食液胞が、食作用によって誘導された小胞に囲まれ、そこで分解酵素の作用を受ける。その後、新しい異食作用液胞ができる。

り、特定の植物には吸収だけでなく移動経路も存在する可能性が明らかになっている。アメリカでも、土壌中にグロマリン(glomalin)という高分子糖タンパク質の存在が明らかになっており(Wright and Upadhyaya 1996)、1/10M ピロリン酸ナトリウムや50mM クエン酸ナトリウムで抽出されている。菌根菌が水分や栄養などの生育条件を安定化させるために土壌中に生成していると考えられている。抽出方法、組成、分子量、難溶性、難分解性の点から PEON と同じか近縁の物質である可能性が高い。グロマリンは土壌肥沃度の原動力になっていると評価されているが、グロマリンの植物根による直接吸収についての研究は行われていない。

作物による有機態窒素の直接吸収に関する量的解明においては、Yamamuro et al. (2002)が安定同位体である ¹³C と ¹⁵N で同時ラベルした牛糞堆肥を施用して、牛糞由来炭素と窒素の吸収量を測定している。その結果、有機稲作では施用初年度に堆肥由来の炭素と窒素をそれぞれ施用量の 2.16%と 17.2%を吸収していた。トウモロコシはさらに高く、13%と 10%であった。さらに吸収した堆肥由来炭素は主に根部に蓄積しており、エンドサイトーシスによる吸収を支持するものであった。松山ら (2003)は、水田に有機物を 5 年間連用した時の水稲による有機物由来窒素の吸収量について ¹⁵N 実験データを元に推測し、有機物を連用することにより有機物由来窒素の吸収量が年々増加することを示している。さらに、植物根の有機養分吸収には、菌根菌やエンドファイト(おもに細菌、菌類などの内生菌)が大きな役割を果たすことが明らかになっている。エンドファイトがハクサイに感染した場合は、牛血清アルブミンタンパク質の他に、ハクサイ単独では吸収しにくいバリン、ロイシン等のアミノ酸の吸収が増加していた。低分子有機態窒素の吸収において、菌根菌やエンドファイトは大きな役割を果たすと考えられる。

さらに興味深いことに、ハクサイ自身が吸収しやすい硝酸やアスパラギン、グルタミンなどを単独施用すると、菌の感染がハクサイの生育や窒素吸収量を逆に低下させることが明らかになっている(成澤 2011)。すなわち化学肥料を多用する土壌では、菌根菌やエンドファイトが感染しにくいので、有機態窒素が存在しても吸収能力が低いが、硝酸態窒素を効率よく吸収することができる。逆に有機栽培を行うと、菌が根に感染して、積極的に有機態養分の吸収能力を高めることができる。さらに病原菌の感染を抑制させる効果も高くなる。施用する肥料の種類が異なることで、植物の養分吸収過程が大きくシフトすることを意味するものである。

以上のように、有機栽培圃場において施用された有機物が無機化過程を経ないで、直接作物に吸収されるメカニズムが明らかにされつつある。直接、有機物が吸収されるということは、吸収や代謝時に行われる硝酸の積極吸収や転流、硝酸還元、窒素同化、アミノ基転移などの ATP を必要とする数多くの反応を省略でき、また呼吸により消耗する光合成産物量が節約できるので、植物にとって大変有利と言える。冷害で日照不足の時に有機栽培の作物は収穫量があまり減少しないのは、このことが理由の一つと考えられているが、さらなる学術的な証明が待たれるところである。

果樹での有機物の直接吸収に関しても、上記のメカニズムが働いていると推察される。特に菌根菌やエンドファイトは果樹への感染が認められており、主要な養分吸収経路であると考えられる。しかし、果樹における研究例はほとんど見当たらない。これは、果樹は永年性作物でありサンプル調製に時間が掛かる、1 サンプル当たり重量が大きい、大きさや形状が揃ったサンプルを作るのが難しいなどの研究上の理由によるもの

が大きいとみられる。今後、有機質肥料の重要性や有効性が明らかとなり、この方面の研究がさらに拡大深化することにより、永年性作物における有機物の直接吸収機構の研究知見が蓄積されることが期待される。

2) 安定した土壌養分の供給

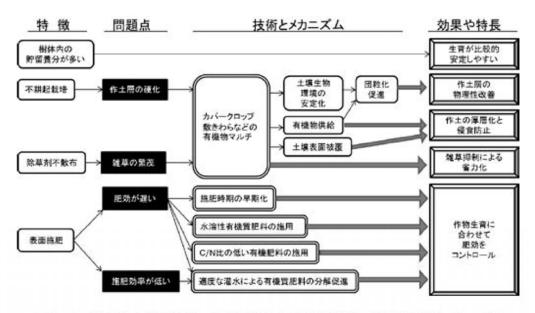
有機栽培においては、施肥として有機質資材を施用することにより、土壌動物による粉砕、土壌微生物による化学的分解が行われ、緩効的に養分供給が行われるが、それと共に植物体の一部は微生物作用や化学的重縮合により腐植物質へと化学変化を受ける。腐植物質の官能基であるカルボキシル基は陽イオン量を保持する能力(陽イオン交換容量または塩基置換容量:CEC)があり、土壌中のCECは増大する。このことは土壌の基本機能である養分供給機能を増強することにもなるため、安定した果樹生産のための大きな柱と言える。

慣行栽培においても土壌機能の向上は重要であり、有機物施用は必要な土壌管理技術の一つともなっている。しかし腐植の生成には長期間が必要であり、施用有機物が分解・化合を受けて最終的に腐植として残存するのは、施用量の数%と考えられていることから、長期的な視野で土壌改良(地力向上)を目的とした有機質資材の投入を行う必要がある。

3) 根域の増加と土壌生物の活性化

果樹は永年性作物であることから、周年、有効土層に根系が広がっているため、基本的に耕起を行えない。いわゆる不耕起栽培であるため、人や作業機等の踏圧により根域が硬化(圧密)してもそれを短時間で回復することは容易ではない。有機栽培では、施肥としての成分の高い有機物の他に、敷きわらなどの有機物マルチや雑草を含むカバークロップを利用することが多い。地表面にある程度の厚さで有機物が存在すると、地表への直射日光の遮断、通気の制限、蒸発の抑制が生じるため、土壌の表層は比較的湿潤で安定した温度環境が維持される。

また、豊富な有機物も存在するため土壌微生物が繁殖する。さらに、植物遺体や微生物を餌とする土壌動物(ミミズ、トビムシ、ダンゴムシ、ダニ類、甲虫の幼虫等)



図Ⅱ-3 樹園地土壌の特徴、有機栽培における問題点及び解決技術とメカニズム

が高い密度で繁殖し、活動を活発化させることにより、土壌中に無数の巨大孔隙(マクロポア)や土壌団粒ができ、いわゆる土壌生物による耕起が行われる。これにより、土壌の物理性(通気性、透水性、保水性、植物根の伸張)が大きく改善される。また土壌生物による耕起はマイルドであり、物理的に作物根を痛める心配はない。しかしこの土壌生物による耕起もやはり養分供給と同様に、長期的な視点からその効果を期待せざるを得ない。そのため既に硬盤層が形成されていて早急な解決が必要な場合には、積極的な土壌物理性の改善方策をとる必要がある。

有機物の土壌表面施用により、上記のプロセスで腐植物質が増加し、団粒化が促進された土壌は、仮比重が低くなることから、体積が増加し健全な主要根群域が上方に形成される。主要根群域は果樹が細根を張り巡らし、養水分を吸収する重要な土壌層位である。さらに細根は代謝活性が高いため呼吸量も多く、通気性が高い健全な主要根群域を作る。このため、健全な主要根群域を深くさせる土づくりが永年性作物の有機栽培での最も重要なポイントの一つとなる。

4) 雑草管理

果樹園における雑草管理については、上述の主要根群域形成や土壌被覆の機能増強を図るために草生に着目した試験研究が行われて高い効果が認められてきた。しかし、慣行栽培においては、単年性作物と同様に養分や水分との競合及び景観の悪化を避けるため、下草や樹冠の雑草管理のために除草剤を使うことが多い。

特に傾斜地では、除草機や草刈機での除草作業が難しいこと、農業従事者の高齢化による労働軽減、省力化等のために薬剤による除草が行われている。除草剤は非選択性の茎葉処理剤が使われることがほとんどで、果樹の葉に飛散しないように散布処理される。薬剤の種類にもよるが接触吸収した雑草は、体内で浸透移行して地上部、根部とも枯死する。そのため土壌表層は露出し、直射日光と乾燥のために土壌生物は減少する。降雨時には、雨滴が団粒を破壊し、粘土が溶解して地下へ溶脱する。この溶脱した粘土は孔隙を埋めたり、層状に蓄積して硬盤層形成の一因になるなど、通気性、透水性を悪化させる原因ともなる。

一方、土壌表層へ分散した粘土は乾燥すると、クラストと呼ばれる土壌皮膜を土壌表面に形成するため、通気性を著しく低下させ、細根の活性を低下させる。また降雨時に水分を地下浸透させず、土壌への水分供給を抑制する。さらに傾斜地では、土壌浸食ポテンシャルが高いため、まとまった降雨があると土壌を保持する植生被覆がないため、初成的なリル浸食、場合によってはガリ浸食に至り、大切な主要根群域土壌を消耗させる危険性が高い。このため慣行栽培であっても、梅雨前の除草剤散布を控える取組もされている。この点、有機栽培では除草剤は使用しないので、必然的に除草対策は機械除草、カバークロップ草生栽培、雑草草生などを行うことになり、程度の差はあるが土壌被覆が存在することになる。従って、多雨時の表層土壌の浸食量は極めて低く、地下への水分浸透量は多くなる。団粒の表面に糸状菌が繁殖し、疎水性を呈する耐水性団粒が形成されているとさらに土壌浸食のリスクは低下する。雑草利用を含めた草生栽培は、雑草による土壌の乾燥や過剰養分の吸収にも利用できるので、特に登熟期に養水分の供給を制限したい温州ミカンのような果実の場合には、あえて除草作業を行わないことで品質向上を図ることができる。

5) 肥効コントロール

化学肥料には成分、肥効特性(溶解特性)、肥効期間、特殊機能、製法や形状等が工夫されたものがあるが、果樹園で通常使用されている化学肥料はシンプルなものが多い。特性として、 水溶性成分が多く(リン酸はク溶性が多く)速効性である、 成分含有量が比較的高い、 複合肥料であっても含有成分数が限られているなどの点が挙げられる。慣行栽培では、これらの化学肥料を使用することを前提にして、果樹の生育が増進し、収量や品質の向上に最も効果的な施肥時期と施肥量を検討し、その地域に適した栽培指針が策定されている。なお、窒素を中心とした養分を多量に施用すると、新鞘や新葉の生育量が多く、それに応じて光合成量が増大し、高い収量を得ることができるが、窒素養分過多では登熟が遅く、糖度が低くなるため、品質低下を招く恐れがある。

最近は、果樹の品質向上が至上の課題となっており、出荷時の近赤外線検出器を用いた非破壊品質検査が広がっているため、産地の篤農家は肥料施用時期や量を作物の生長に合わせて慎重に考慮し、ピンポイントで施用している。また生産組合毎に独自の肥料配合のものを用意し、量や時期を研究して設定し、それらの情報を公開していないところも多い。

一方、有機栽培では、有機質肥料を施用するため、その肥効に関しては化学肥料と比較して以下の違いがあるので留意する必要がある。

基本的に土壌動物や微生物作用による粉砕・分解作用を受けて肥効を発現するので 緩効性、遅効性である。

土壌動物、微生物作用は、温度や水分状態に大きく左右される。

有効成分含量が低い。

含まれる成分数は動植物の必須成分数以上であり、植物由来のものであればバランスがとれているものが多い。

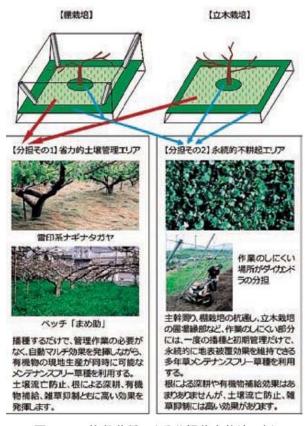
以上のように、有機栽培では肥料特性が慣行栽培と大きな違いがある。 の成分やバランスについては有機肥料の方が優れていると言えるが、 と は大きく異なるため、速効性の化学肥料施用を前提に組み立てられた栽培指針に沿って肥培管理を行うと、必要な時に必要な量を供給できない可能性が高い。有機質肥料は種類が多く、分解特性の異なる有機物が混合されている場合もある。厳密なことを言えば材料やロットによっても肥効特性が異なることさえある。このため、肥料自体の情報収集や資材選び、現地での小面積栽培試験によるデータ蓄積も必要である。

有機質肥料は程度に差はあるが、一般的に遅効性であるため、施肥時期は早めが良い。しかし晩秋~早春にかけては有機質肥料の分解速度が低いため、C/N 比の低い資材や液肥を施用しなければ効果は期待できない。さらに微生物分解と植物体への吸収を促進させるためには、施肥後の適度な灌水も必要となる。気温が高い時期であれば、化学肥料ほど速効性は期待できないが、1~3 週間程度施用を早めることで肥効を合わせることができる。しかしこの場合も、土壌表面がある程度湿っていることが必要であり、乾燥している状態での肥効は期待できない。灌水などで有機質肥料の分解を促進させる必要がある。

6) 草生栽培・カバークロップ・土壌被覆

有機農業技術の1つである敷きわらは、上述のように 有機物投入による化学的土壌 特性の向上、 土壌水分の安定化、 夏季の地温上昇の緩和効果をもたらすと考えら れる。草生栽培やカバークロップも同様に土壌を有機物で被覆することから、上記と同様の効果が期待できるが、さらに、 草生植物根による物理的・生物的土壌特性の向上、 表層土壌の保持による土壌流失の防止、 雑草抑制等についても、高い効果が期待できる。

草生栽培に用いる草種として、雑草草 生やイネ科牧草(イタリアンライグラ ス、ケンタッキーブルーグラス、ライム ギ、エンバク等)が用いられてきたが、 近年は、自然枯死等により下草刈りが 不要で省力的なものが注目されてい る。すなわち、これらの草種は作物にと って養水分が必要な時に枯れて、養分 競合を生じさせないという利点を持つ ほか、独特の有効特性を持つ。例えばナ ギナタガヤは、菌根菌の宿主となり養 水分ストレスを緩和し、ベッチ類は窒 素固定による養分供給を行い、ダイカ ンドラは雑草抑制力が強く草高が低い ので、それぞれの草種ごとに有効な使 い分けが推奨されている (辻 2000)(図



図II-4 複数草種による分担草生栽培の例 (辻 2000)

2. 生物多様性を高める土づくり

地球上には数千万から 1 億種の生物が生息しているとされており、その多くが陸域、すなわち土壌圏に生息している。生物は進化を繰り返して環境に適応するとともに、生物間の相互作用をうまく利用し、生物多様性を構築してきた。生物多様性には「遺伝的多様性」、「種多様性」、「生態系多様性」の 3 つのレベルがあり、それらの重要性と保護が世界的な課題となってきている。地球サミット等の国際会議では、生物種の多

- 4)

い熱帯雨林に目を奪われがちであるが、農耕地においても生物多様性を高めることで土壌の機能が向上することが明らかとなってきた(Hector and Bagchi 2007)。

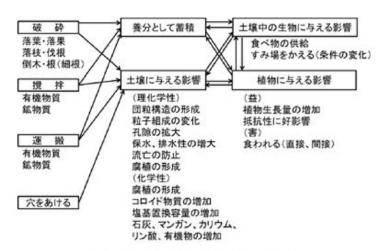
我が国の樹園地においても有機栽培を行うことで、各地域に潜在する貴重な生物多様性を維持し、その機能を拡大することが可能である。特に有機栽培では「土壌が本来有する機能を発現させる」ことが基本となっており、単に有機質肥料による肥培管理に留まらず、作物を初めとした生物本来の



写真Ⅱ-1 茶草場等多様な植生環境の中の茶園 (静岡県掛川市)(提供:稲垣栄洋氏)

機能を最大限に発揮させるための生物多様性を高める土づくりが重要である。最近では、我が国の茶園と一体になった畦畔や草地、山林などからなる茶草場が天敵保護の役割など生物多様性を高める農業技術として世界的にも注目されている(写真 -1)。生物の中には、作物に加害するものも存在し、有機栽培ではそれらを完全に制御することは難しいが、前述のように生物多様性が高まれば天敵などの生物相互作用を受け、被害は比較的低く抑えられる。さらに有機農業技術であるバンカープランツなどを植栽し、天敵密度を高めるよう意図的に好ましい生態系を誘導すれば、発生頻度の高い病害虫であっても抑制効果は高い。

1) 土壌生物の役割と土づくり対策



図Ⅱ-5 土壌動物の役割(青木1973)

土壌動物の役割を図 - 5 に示した。土壌動物は動植物遺体の物理的分解(破砕)と化学的分解(低分子化)を行い、土壌中へ植物が利用しやすい形態の養分や腐植物質原料を供給する。一方、土壌中を移動するため、土壌を攪拌したり、運んだりする。これらの作用により団粒構造が発達し、土壌の理化学性を高めることになる。またミミズなどは土壌中に管状の穴をあけるため、これが大間隙(マクロポア)として働き、土壌の通気性や透水性を大きく高める。このことにより土壌動物は、樹体に対しプラスの効果をもたらしているが、樹木を直接的あるいは間接的に食害するものも存在する。このように土壌動物の機能は複雑であり、土壌毎に生息する生物の種類や量が異なるため、機能も拡大・縮小することになる。

有機栽培においては、強力な殺虫剤の使用は行われず、土壌動物に対する薬剤施用はほとんど行われないこと、土壌動物の餌となる有機物が多量に施用されることから、土壌動物が活性化し、土壌生成機能も慣行栽培に比べて非常に高いと考えられる。

一方、土壌微生物の機能は、土壌動物に比べてさらに多種多様であると共に、土壌中の物質循環機能の主体を担っている。表 - 1 に土壌微生物の主な機能を示したが、主に化学・生化学的な機能がほとんどである。病害や窒素飢餓以外は、植物生育や土壌機能の向上に大きく貢献するので、土壌微生物機能を高めることは生産力を高めることにつながる。特に有機栽培では、有機物が多く施用され、殺菌剤の使用も限られるため、土壌微生物の量や多様性が高く、機能も高いと考えられる。土壌微生物の機能については、まだ分かっていないことが多いため、今後の土壌微生物研究の深化、拡大が期待される。

2) 土壌微生物性の向上対策

(1) 微生物の種類と働き

土壌中には様々な微生物が生息してお り、農業分野では一般に糸状菌、放線菌、 細菌といった分類をよく聞く。微生物の 機能も除々に解明されつつあり、その分 類も、例えば活動の場による分類(根圏 微生物、根面微生物、根内部微生物、表 面微生物)、微生物の分解活性による分 類(タンパク分解菌、セルロース分解菌、 デンプン分解菌、リグニン分解菌)、ま た、エネルギー獲得の方法による分類 (無機栄養微生物(光合成微生物や化学 合成微生物) 及び有機栄養微生物(寄生 菌、共生菌、腐生菌)や酸素要求性によ る分類(好気性菌、絶対嫌気性菌、通性 嫌気性菌)など、その働きなどとの関連 でいろいろ行われるようになっている。 微生物は多くの有用な働きをする反面、 種類によっては病害や腐敗を誘発する ものも多く、また環境条件によって種類 や数や働きが大きく変わる。

表Ⅱ-1 土壌微生物の主な機能

	有機物の分解・代謝・無機化				
分解•溶解	有害物質・人工化学物質の分解				
•運搬	キレート物質等による金属元素溶解				
	根圏における養分の短距離運搬				
	易分解性有機物の合成				
	腐植物質・団粒化材料の合成				
合成	植物ホルモンの合成				
	抗生物質や病害抑制物質の産生				
	土壌酵素の放出				
	硝化				
変換	窒素固定·脱窒				
変換	呼吸・光合成・メタン生成・メタン酸化				
	その他元素の酸化還元				
業八伊 株	バイオマスによる可給態養分の保持				
養分保持	難溶性有機化合物の生成による長期				
	的な養分保持				
	養分吸収の効率化				
動植物との	窒素固定				
共生·寄生	病害虫抑制·病害				
	窒素飢餓				
All L. He HH	棲み分け				
微生物間 の関係	溶菌作用·抗菌作用				
	養分競合				

有機物の分解など土づくりという側面に着目すると、軟弱で炭素率が低い有機物は、 最も微生物が利用しやすいデンプン、糖、タンパク質を好んで食べる細菌や糸状菌が まず増殖し、次いでセルロース分解菌が増殖し、最後に難分解性のリグニン分解菌が 増殖してくる。樹木など細胞組織にリグニンが多く含まれるものは、まずリグニン分 解菌が増殖し、リグニンの壁を壊し、次に易分解性物質を分解する細菌や糸状菌が増 殖し、セルロース分解菌と続く。放線菌は有機物分解の後半に働く。分解し増殖した菌 体は、基質(エサ)がなくなると一部胞子や菌核で休眠状態になるが、死菌体は他の微 生物により分解され植物の養分となる。微生物は有機物の分解者であり、養分の保持・ 供給源であると共に分解残渣としての腐植を供給するとされる(野口 2011)。

表 - 2 は、土壌の種類別微生物数の分析結果と健全土壌と生育不良・病害土壌との 対比を見たものである。

一般に微生物数と活性に影響を与えるものは、水分と有機物含量であり、微生物活性 の制限元素は有機炭素>窒素>リン>イオウの順に大きいとされている。土壌中の微

N1 N2					200	v.
	糸状菌	色素耐性菌	放線菌	細菌	放線菌/糸状菌 A/F	細菌/糸状菌 B/F
健全土	398×10^{3}	1313×10^{3}	17×10^{6}	83×10^{6}	267	2131
不良病害土	283×10^{3}	2158×10^{3}	19×10^{6}	85×10^{6}	187	910

表 II - 2 土壌微生物数 (CFU/g) (野口 2003)

生物の数、働きを高める要因は、良質の有機物、有機質肥料の施用とされ、有機物の施用後に微生物数の増加が起こるので、施用物の内容、量により土壌微生物相のある程度のコントロールが可能であるとされる。

作物の根圏・根面・根内部に生育促進微生物や拮抗菌など有効な微生物を定着させることは重要である。作物の根の活性が低下すると根面微生物数が増加し、活性が高い根の表面には糸状菌よりも細菌が多く生存する。一般に、地上部の生育が良好な場合には、根面微生物は細菌型になり、著しく不良な場合は糸状菌型となる。

土壌の微生物性を健全に保つことは作物生産に重要なことである。微生物の健全性を評価する指標は、未だ明確な指標も微生物性の基準も明らかにされていない。従来、土壌微生物の性質の指標として細菌数 / 糸状菌数 (B/F) 値が提案されているが、健全土と生育不良・病害土壌との放線菌数 / 糸状菌数 (A/F) 値と細菌数 / 糸状菌数 (B/F) 値をみると(表 -2)、健全土壌の方が生育不良・病害土壌よりかなり高い傾向にある。

土壌の健全性を担う微生物性については、B/F 値のほかに多様性指数など様々検討がされているが、今回、一部地域において、土 1g 当たりの微生物量とその端的な活性を示すと見られる指標について、有機栽培園と慣行栽培園を対比する形で計測を行った。要因は必ずしも明らかではなく、今後種々の側面からのデータの集積による分析は必要であるが興味深い結果が示されている。すなわち、有機栽培区の腐植含量が隣接した慣行栽培区に比べ著しく高かったことも反映してか、有機栽培区の微生物量が多いこと、その中で分解しやすい有機物が多い土壌で多い傾向のある酵母やグラム陰性菌の仲間が多い赤色素耐性菌が特に多かったこと、微生物の活性を現すとみられる酵素活性や熱量が著しく高いことが伺われた(表 -3)。

表 II - 3 有機栽培と慣行栽培を対比した微生物量及び活動活性(2012年12月:実証調査)

作物場所		栽培	数培 腐植	土壌の微生物量(CFU/g 土壌)				酵素活性	積算熱量	
TF 420	区分	区分	含量 (%)	糸状菌	赤色素耐性菌	放線菌	細菌	フザリウム菌	PNF 生成量	(pJ/10g 上壤)
伊予柑	愛媛大農場①	有機	7.1	3.4×10^4	1.2×10^6	3.4×10^{6}	6.3×10^7	1.6×10^4	1804	7.3
同上	同 上 ②	慣行	2.7	5.4×10^4	2.2×10^{5}	2.7×10^{6}	2.2×10^7	1.9×10^{3}	829	3.7
ブドウ	山梨県S農家③	有機	16.7	2.2×10^{5}	1.0×10^{5}	1.6×10^7	3.3×10^7	1.3×10^3	7008	8.7
同上	同上 S農家④	有機	19.1	3.5×10^{5}	8.0×10 ⁴	1.4×10^{7}	6.2×10^7	1.4×10^{3}	6147	9.9
同上	同上 〇農家⑤	慣行	9.2	4.9×10^{4}	6.0×10^3	9.0×10^{6}	4.2×10^7	1.1×10^{3}	3589	8.7

注1:栽培条件:①マサ上(花崗岩母材)。樹齢32 年生、5 年間無農薬栽培継続中。雑草草生で年4回雑草を刈り敷く。施肥は菜種油粕、魚粉、草木灰を春1回、夏1回、秋2回施用

②マサ土(花崗岩母材)。 樹齢 32 年生、除草剤により雑草を管理。 施肥は秋肥一発型(14-9-9)年 1 回、春肥一発型(14-7-7)年 1 lot 施田

③火山灰土。41年間の有機栽培園地、醸造用品種、サイドレスハウス栽培、雑草草生不耕起栽培、点滴灌漑

④火山灰土。41 年間の有機栽培園地、大房系品種、サイドレスハウス栽培、雑草草生不耕起栽培、点滴灌漑

⑤火山灰土。③と同一地域、慣行栽培、大房系品種、中耕・培土・施肥後に緑肥播種草生栽培

注2: PNF生成量はp-ニトロフェノール生成量である。

(2) 土壌微生物性を高める土づくり

通常の樹園地において土壌微生物の量や活性を高めるためには、基質となる有機物の供給、適度な水分、温度、土壌養分、pHやEC、酸素供給あるいはガス交換、生息場所の確保等が必要である。有機栽培では有機質肥料が多用されるため、基質は十分に

供給される。また除草剤が散布されないので、土壌表層には草生草種か雑草が繁茂するため、水分や温度は比較的安定している。適切に作物に必要な有機物を計画的に施用されていれば、慣行栽培に比べて土壌養分バランスは保たれやすい。さらに土壌有機物のカルボキシル基に起因する陽イオン交換容量が増大するため、化学肥料と比べて pH や EC の極端な変化も生じにくい。以上のことから、有機栽培を行う園地では化学的要因は大幅に改善され、作物はもちろんのこと、土壌微生物に対しても良好な状態に保たれると考えられる。

物理的要因であるガス交換(通気性)や生息場所については、有機栽培を長期間行うことにより、土壌動物が攪拌、運搬、穴あけをするので、十分な環境が供給されると考えられる。しかし、短期間で改善する場合は、完熟バーク堆肥や炭の施用などが効果的である。

土壌微生物自体は、通常多種多様な土着のものが生息・活動しているが、堆肥を施用すると特定の有機物分解微生物も一緒に接種されることになり、多様性が高まる。土壌微生物の多様性については様々な考え方があり、研究途上の感は否めないが、多様性が高いほど微生物コミュニティが安定し、病害微生物が侵入しても容易に増殖させなかったり、難分解性有機物が投入されても比較的早く分解が進行すると考えられる。土壌微生物の養分要求性はかなり複雑であり、数多くの異なる微生物がクラスターを形成して共同生活を行い、分担して有機物を分解し、必要な代謝産物をお互いに融通し合っていることも報告されており、微生物の多様性は、土壌微生物機能の安定化につながると考えられる。

有機栽培では、化学合成農薬や化学肥料を用いず有機物を施用するため、慣行栽培圃場に比べて土壌微生物の多様性・活性が高いとされている。これが生態系と調和した形で有機栽培が営める一つの要因になっている。このような状態を評価するための1つのツールとして、(独)中央農業研究センターが開発した炭素資化量連続測定装置で、土壌の微生物多様性や活性値の測定を行いデータの蓄積が行われている。微生物活性値は土壌や堆肥の有機物分解反応の立ち上がりの早さ、分解速度、分解量を総合的に数値化したもので、微生物の炭素源資化反応の多様性と鋭敏性を評価したものである。

この測定結果によると、有機栽培圃場の微生物活性値は、慣行栽培圃場や転換中の圃場と比較して高い傾向が見られている((財)日本土壌協会 2010)。例えば、茶での測定結果は表 - 4 のようになっており、圃場管理の状態にもよるが、一般に有機栽培暦が長いほど微生物活性値が高いとされている。

土壌微生物の特定機能を期待して、微生物資材も投入されることも多い。使用目的は 有機物の分解促進、悪臭抑制、連作障害抑止、団粒形成促進、窒素固定・硝化促進、植 物ホルモン生成、リン酸の可溶化、病害虫の抑制、全身抵抗性の誘導、植物根の健全生

場所	栽培方式	堆肥等施用状況	微生物活性値
埼玉県M茶園	有機栽培暦 30 年茶園	堆肥 30 年施用	1, 363, 414
	有機栽培暦5年茶園	堆肥5年施用	1, 108, 226
	慣行栽培茶園	農薬使用	946, 853
鹿児島県Y茶園	有機栽培暦20年茶園	かや、稲わら施用、ぼかし肥料施用	1, 143, 933
	慣行栽培茶園	農薬使用	505, 739

表Ⅱ-4 茶園土壌の微生物活性値

注:(独)生研機構中央農業研究センターで測定

育促進、作物品質の向上などである。果樹栽培においては、政令指定の土壌改良材として菌根菌資材が市販されており、効果が確認されている。

生物因子としては、草生栽培が土壌微生物相に大きな効果を与えることが明らかとなっている(石井 2007)。ナギナタガヤは菌根菌の好適な宿主植物であり、果樹園において菌根菌が安定して土壌中に定着することを助けている。そのほかに白紋羽病菌、 $Fusarium\ oxysporum\ や\ Pythium\ ultimum\ のような土壌病原菌に対する拮抗微生物、リン溶解菌の生息環境を提供していることも明らかにされている。$

3) 天敵等の活動力を増強する対策

(1) 害虫天敵

有機栽培を継続している果樹園では雑草草生が行われていることもあり、昆虫の多様性が高まることが知られ、これが害虫の防除にも有効な働きをしているとされる。愛媛大学附属農場で 2012 年 9 月に行った地上徘徊性昆虫の観察調査結果では、7 目 18 科 46 種の昆虫が捕獲でき、それを区分した結果、害虫は 17%、天敵が 26%を占め、ただの虫が 57%で大半を占めていた。

生態学では数多くの生物多様性に関する研究が行われており、最近、生態系の安定には、「キーストーン種(中枢種)」が大きく貢献することが明らかになっている。特に一次捕食者である天敵がキーストーン種になる場合が多いとされ、耕地生態系の健全性を評価する指標生物として扱われ始めている。

天敵を含めた生物多様性を高めるには、草生管理が適している。足立・三代(2012)は、土着天敵を増加させる植物導入法とメカニズム等について下記のように紹介している。

インセクタリープランツ:天敵を誘引し、蜜・花粉・シェルター等を提供して天敵 を温存する。

グランドカバープランツ:下草であるが、重要害虫や広食性食植者を定着させず、 作物と栄養競合を起こさないで、天敵を増殖させる必要がある。

バンカープランツ: 作物を加害しない寄主を定着させ、作物の害虫と共通な天敵を 増殖させる。

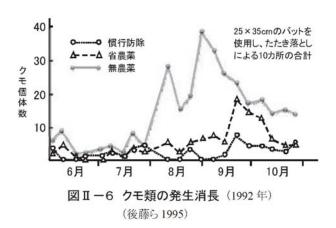
コンパニオンプランツ: 作物の近くに植えて作物の生育や品質を高めるもので、害虫に対する忌避作用等を持つ。

トラッププランツ: 害虫を強く誘引して定着や産卵を促すと共に、害虫が作物に移動する前に処分して被害の発生を防ぐ。

グランドカバープランツの研究事例として、足立・三代(2012)は、ナシ園においてシロクローバーとヒメイワダレソウを下草として使用したところ、土着天敵類であるオサムシ科成虫(マルガタゴミムシ、セアカヒラタゴミムシ、ナガヒョウタンゴミムシ)、寄生蜂、ハナカメムシ科、ヒラタアブ亜科、ハダニアザミウマ、クモ目は、シロクローバー草生で密度が高くなったと報告している。またヒメイワダレソウはシロクローバーには劣るものの、防草シートマルチよりは高い傾向が見られており、効果の高い草生を行うことにより天敵密度を高めることが明らかになっている。

また、有機茶園と慣行茶園では昆虫相が大きく異なることが知られており(後藤ら 1995)、害虫を捕獲するクモやアリなどの益虫は両栽培方式間で大差があることは栽培現場ではよく知られている(図 - 6)。

柑橘類の有機栽培が天敵を増殖させる事例を表 - 5 に示す。年間約 18 種類の化学合成農薬成分を散布している慣行栽培区に比べて、化学合成農薬を使用しないかそれに準ずる防除を



行っている有機栽培区では、全体的に天敵の数が多い。また減農薬区(約 1/2 の化学農薬成分)はその中間的な数値を示している。このように農薬散布は天敵に大きなダメージを与えていることが明らかである。また、クモ類は広食性であり有効性が高い天敵であるにもかかわらず、農薬散布で急激に数を減らしており、農薬に対する抵抗性が特に低いと言える。有機栽培では化学合成農薬は散布されないので、天敵の減少はないと考えられるが、有機栽培への移行期間は天敵密度を早く高めるために、天敵導入や草生などの積極的な環境作りが重要である。

農林水産省は、平成19年7月に「生物多様性戦略」を策定し、生物多様性の保全を重視した農林水産業を推進するための施策を実施している。そしてプロジェクト受託先の(独)農業環境技術研究所、(独)農業生物資源研究所が、その成果として、『農業に有用な生物多様性の指標生物 調査・評価マニュアル』を作成した。その内容はURL(http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/shihyo/index.html)でダウンロードすることができる。

本書は、「調査法・評価法」と「資料」の2部構成になっており、調査法に従って指標生物を採取してスコアを記録することにより、生物多様性の高さを4段階に評価することができる。また資料を照らし合わせて読むことにより、指標種の生態系における機能や役割を理解することができる。有機栽培園地の生物多様性をチェックするためには有用なツールである。

(2) 病害の生物防除

土壌微生物は、土壌中の栄養の質と量、生息場所、酸素、水分、pH、温度などの微細環境において棲み分けを行ったり、逆に代謝産物を共有するために共存したりして、相互作用を及ぼしながら生息している。そして病害は、作物の抵抗性が低下すると共に、病原菌が一定以上の密度に増殖した時に発生すると考えられている。一般に、連作障害は同種の作物を栽培することにより、土壌微生物相が単純になり、病原菌が繁殖しやすい条件となって発病するとされているが、有機物を施用している栽培では連作障害を完全に回避している事例も多く見られる。機作についてはさらなる科学的解明が必要であるが、有機栽培による安定した土壌微生物相の形成がキーになっているものとみられる。

病原菌の生育を抑制する微生物は、拮抗微生物と呼ばれ、拮抗微生物を接種したり、 定着場所や養分を与えて積極的に増殖させるなどの技術開発が長年行われてきた。拮 抗メカニズムについて、本間(1991)は、以下のようにまとめている。 寄生: 糸状菌間で起こり、病原菌菌糸や菌核に寄生して活性を抑制し密度を低下させる。

抗生:抗生物質を生産して、病原菌の代謝を阻害する。

競合:微生物間で生息場所と餌(鉄などの金属元素も含む)を取り合う。

捕食:大きな生物が小さい生物を搾取するもので、食菌性とも呼ばれる。

溶菌:微生物の細胞壁が内的・外的要因によって、分解・消失する現象である。

その他:微生物の代謝産物が、根の病原菌感受性や抵抗性反応を誘導するなど。

実際の土壌では、上記メカニズムが単一あるいは複合的に働くことで実用化技術として普及されている。

農研機構果樹研究所では、果樹の重要土壌病害の一つである白紋羽病については、非病原性白紋羽病を接種すると病原菌が駆逐され、病害の進行が抑制されることを明らかにしている。また、白紋羽病は熱に弱いことから、樹木に影響がない程度の温水を土壌に処理することで、治療が可能になった(中村 2010)。治療効果のメカニズムとして熱の他に、トリコデルマ属糸状菌などの拮抗菌の存在も重要な役割を果たしている可能性があるとしている。

核果類果樹の根頭がんしゅ病に対しては、 $Agrobacterium\ radiobacter\ strains\ K84/Kerr-84$ 株や K1026 株を予防的に接種することにより、ペプチドの一種であるバクテリオシンが生産され、当病原菌の生育を抑制することが明らかとなっており、世界的に広く利用されている。溶菌作用をもつ微生物活性を高める有機質資材の利用例として、エビ殻やカニ殻を施用することにより、その成分であるキチンを分解する放線菌を大量増殖させて、病原糸状菌を溶菌させる技術がある。放線菌には抗生物質生産も期待される。

果樹有機栽培において土壌病害を抑制するには、適切な有機質資材の施用や水はけなどの土壌物理性の改善、草生などの下草管理などを総合的に進めることにより、土壌微生物の多様性拡大と微生物相の安定化を図ることが基本となる。また土壌管理の他にも、間伐・縮伐・整枝・剪定・誘引による通風や採光の改善、新梢管理と夏季剪定による樹勢管理、防風、発生予察と対策も重要である。その上で発生する特定の病害については、発生状態に応じ、拮抗微生物や有機 JAS 規格で許容されている農薬を散布することになる。

引用文献

- 1) 青木淳一(1973) 「土壌動物学」 北隆館
- 2) 阿江教治・松本真悟(2012) 作物はなぜ有機物・難溶解成分を吸収できるのか 根の作用と腐植蓄積の仕組み 農産漁村文化協会
- 3) 足立 礎・三代浩二(2012) 果樹・茶園における土着天敵保全による生物的防除. 植物防疫.66:488-493
- 4) 石井孝昭(2007) 草生栽培と土壌微生物相 農業技術体系果樹編 第 8 巻 共通技術 (草生管理 草生栽培をめぐる新研究) 草生管理 3~6-1-8
- 5) 辻 剛宏(2000) 新しい時代の果樹草生栽培 牧草と園芸 48:1-4
- 6) 中村 仁(2010) 白紋羽病温水治療マニュアル(独法)農研機構果樹研究所
- 7) 成澤才彦(2011) 作物を守る共生微生物 エンドファイトの働きと使い方 農産漁村文化協会

- 8) 西沢直子(1992) 栄養ストレスと植物根の超微細構造に関する研究 土壌肥料学 雑誌 63:263-266
- 9) (財)日本農業研究所、(財)日本土壌協会(2010)有機農業技術の現状と適用条 件に関する調査結果
- 10) 野口勝憲(2003) 土壌改良と資材 日本土壌協会 微生物資材 270-273
- 11) 野口勝憲(2011) 環境保全型農業における微生物の働きと利用 1-10 全国土壌改良資材協議会微生物部会研究会資料 1-10
- 12) 本間善久(1991) 拮抗微生物による土壌病害の生物的防除 . 化学と生物 29:503-509.
- 13) 松山 稔・牛尾昭浩・桑名健夫・吉倉惇一郎(2003) 施用有機物由来窒素の5年間にわたる水稲への吸収利用と施肥窒素の削減 日本土壌肥料學雑誌74:533-537
- 14) Hector A, Bagchi R (2007) Biodiversity and ecosystem multifunctionality. Nature, 448: 188-190.
- 15) Matsumoto S, Ae N, Yamagata M 2000: Possible direct uptake of organic nitrogen from soil by chingensai (*Brassicaca mpestris* L.) and carrot (*Daucus carota* L.). Soil Biol. Biochem.,32: 1301-1310.
- 16) McLaren AD, Jensen WA, Jacobson L 1960: Absorption of enzymes and other proteins by barley roots. Plant Physiol., 35: 549-556.
- 17) Nishizawa N, Mori S 1977: Invagination of plasmalemma: Its role in the absorption of macromolecules in rice roots. Plant Cell Physiol., 18: 767-782.
- 18) Wright SF, Upadhyaya A 1996: Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci. 161: 575-586.
- 19) Yamagata M, Ae N 1996: Nitrogen uptake response of crops to organic nitrogen. Soil Sci. Plant Nutr., 42: 389-394.
- 20) Yamamuro S, Ueno H, Yamada H, Takahashi Y, Shiga Y, Murase J, Yanai J, Nishida M 2002: Uptake of carbon and nitrogen through roots of rice and corn plants, grown in soils treated with ¹³C and ¹⁵N dual-labeled cattle manure compost. Soil Sci. Plant Nutr., 48: 787-795.

(本文は、2013年3月発行『有機栽培技術の手引〔果樹・茶編〕』22~34ページに掲載された ものを、一般財団法人日本土壌協会の了解を得て、転載したものである)

果樹の有機栽培実施上の課題と対応策

果樹の有機栽培は難しく、解決すべき問題が山積しているが、それを解決するためには、果樹が有する特性をよく理解し、それに適応した対応策を講じていく必要がある。

- 1. 果樹の栽培特性と有機栽培上の課題
 - 1) 果樹は永年性作物、適地適作・適品種が不可欠

永年性作物である果樹は、一度植えられると、そこで長い年月にわたり、同じ樹が育つことになる。そのため、もしその場所がその果樹に適していない場合には、その悪条件が年々累積して影響することになり、栽培上きわめて不利となる。また、苗を植えてから果実を収穫するまでに相当の年月を必要とする。そのため、果実がなり始めてから、不適地であると気づいたのでは、経営上取り返しがつかない。そのため、野菜や水稲などの1、2年生作物以上に、適地適作・適品種が重要となる。

有機栽培では、慣行栽培のように病気や害虫が多発した際に、強力かつ薬効が持続する化学合成農薬を使用することができないため、樹勢の低下だけに留まらず、樹を枯らしてしまうことや収穫皆無になることがある。そのために、果樹の有機栽培においては、慣行栽培以上に栽培地の自然環境条件等が、その果樹の栽培に適しているかどうか、その品種の栽培しやすさ(耐病・耐害虫性、耐ストレス性などを有しているか)を厳密に検討することが重要となる。

2) 温帯湿潤気候に適した果樹の種類は少ない

世界における主な温帯果樹類(ブドウ、柑橘類、リンゴ、ナシ、モモ)の主産国(アメリカ、イタリア、ソ連、フランス及びスペイン)の風土と我が国の風土を比較した小林(1985)は、その結果を「乾燥気候である地中海沿岸諸国や北アメリカの西部沿岸地域では、『果実が自然になる果樹園芸』であるのに対し、湿潤気候である我が国では『果実を人力でならせる果樹園芸』である。」と記し、「我が国における果実の生産は特殊な風土の下での果樹園芸であり、我が国の風土の特徴をよく理解した上で適地適作することが必要」としている。一方で、我が国で古くから栽培されている柑橘類や、近年、世界中で栽培されるようになったキウイフルーツは、温帯湿潤気候原生で、我が国においても「果実が自然になる」可能性が高い果樹もある。

さらに、我が国は風土的には、温帯湿潤気候に属しているが、南北にきわめて細長いことから、緯度によって気温が大きく異なる。また同時に、国土の大半が山地であり、その斜面を利用して果樹園を設置することから、標高差による気温の変化も大きい。そのため、果樹の有機栽培を行う場合は、園地の自然条件や環境条件、地形等を良く理解し、そこに適した樹種を選択することが重要になる。

3) 果樹は水稲・野菜に比べ栽培歴が浅く、有機栽培に関する研究蓄積は皆無に等しい現在、日本で栽培されている果樹は、古くから栽培されてきた柑橘、カキやウメなど一部を除き、明治以降の欧米化の波の中で急速に導入された種類や品種が多い。既にそれから 100 年以上の年月が経過していることから、今日主産地として栄えている地域は、この間の自然淘汰の結果、あるいはそれらの貴重な栽培実績を基礎にして形成されてきたものと言えよう。しかし、これらの果実の海外における主要生産地は乾燥気候地帯にあり、日本より降水量がはるかに少ない地域にその原生地を有するものが多い。さらに、近年進行している温暖化は、気温が果実の品質や収量に深刻な影響(例

えば、着色不良や冬季の低温不足による花芽分化不良等)を及ぼしており、栽培適地がこれまでより北に移動していると考えられる樹種も出てきている。このように、主要果樹の多くは日本における栽培歴が浅い上に、乾燥地原生のものが多いため、栽培技術体系が十分に確立しているとは言い難く、特に果樹の有機栽培に関する公的試験研究機関における研究蓄積は柑橘など一部を除き皆無に等しい。

4) 化学肥料・化学合成農薬の使用を前提に構築されてきた果樹の標準栽培体系

戦後、果樹園芸が農業の分野で独立部門として地位を獲得し、果樹産業と呼ばれるようになったのは 1965 年以降のことである。今日標準的に用いられている果樹の栽培技術の確立は、この時期以降、まさに化学肥料・化学合成農薬の開発と共に進められてきた。戦後の果樹作ブームの波に乗って、所構わず山地を拓き、増殖を図ってきた温州ミカンに代表されるように、この過程においては、「果実が自然になる」地を厳選して栽培する(=適地適作)ではなく、生産効率性や経済的優位性を最優先して「人力で強引にならせる」栽培技術、すなわち化学肥料・化学合成農薬の使用を前提とした栽培技術体系の開発が主に行われてきたといえる。近年、減農薬や化学肥料の投入量低減など、環境負荷低減技術が現場でも実用化されるようになってきたが、今もって、このような経過の中で、選抜・構築されてきた作目や品種、あるいは技術体系を、有機栽培にそのまま適応することは難しい状況にある。

5) 栄養生長と生殖生長の調和を図るための技術開発の方向性と考え方の違い

果実生産においては、樹体の生長及び維持のための栄養生長と、花芽分化に始まる生殖生長との調和を図ることが重要である。従来から、整枝・剪定、摘(花)果、芽かき、肥培管理(施肥の時期、内容、量)などを様々な栽培・結実管理を組み合わせることによって果実の安定生産が図られてきたが、有機栽培でもそれが基本となる。しかし、近年、公的試験研究機関では、これらのバランスを植物生長調整剤によって図ろうという技術の実用化が急速に進んでいる。すなわち、摘花・摘果、新梢伸長制御、果実の肥大促進、着色促進などのために、植物生長調整剤の利用を前提とした栽培技術体系の確立が進められているのである。この技術は、農作物の生育そのものを植物生長調整剤という農薬によって人工的に制御して、収量や品質を高め、作業時間を短縮しようとするものであり、有機果樹作において適用できるものではない。品種改良においても植物生長調整剤の使用を前提とした育種も行われていることから、品種選択の際に注意が必要となる。

一方、有機果樹栽培技術の普及のために必要なこれらに関わる技術に関する研究開発 や実証展示調査圃の設置は、柑橘類など一部の果樹で始まったばかりであり、大きく 立ち遅れている。

6) 用途により品質評価が異なり、外観品質が重視される傾向が強い果実

野菜と米と果実の大きな違いは、果実は日常生活における主食ではなく嗜好品・贅沢品的な傾向が強いことから、品質評価が、その用途(例えば、贈答用か家庭用か)や食生活習慣などの相違(例えば、野菜的に食べるのか、嗜好品・贅沢品として食べるのか、生食用か加工用か等)によって大きく異なることである。特に我が国においては、諸外国以上に、果実の外観、大きさ、食味などの果実品質が価格に大きく影響している。中でも、果実の外観と大きさが一定以上でないと販売は困難であり、場合よっては食味より外観品質が優先されることもある。

果樹の有機栽培では、化学合成農薬の使用ができないため、病害虫によって果実の外

観に問題が生じた場合には、商品価値を著しく低下させることがある。しかし、その一方で、消費者が果実に求めるニーズは、食味、外観、旬、銘柄、加工品、栄養、健康など多様であり、品質評価の基準は販売先によって異なることから、誰を相手に、どのように販売するかといった点を生産者自身が考え、販売先を開拓することができれば、有利に販売を行うことも可能となる。

7) 鳥獣害を受けることが多い

有機栽培特有の問題ではないが、果樹園は山間傾斜地に立地している場合が多く、イノシシやヒヨドリなど、鳥獣害を受けることが多くなっている。イノシシの場合は、有機栽培の圃場には多く生息しているミミズを狙って、圃場や刈り草などの堆積地を掘り起こして、問題になることもある。

2. 果樹の有機栽培を成功させるポイント

1) 基本は健全な樹を育てるための土づくり、雑草を活用した土づくり

有機栽培では土づくりが全ての基本となる。果樹栽培では、不耕起・草生栽培、それも雑草を活用した雑草草生栽培を行うことで、有機物の土中への補給、土壌の団粒構造の発達による土壌の膨軟化、通気性や保水性の向上、あるいは干ばつ防止、天敵や土壌動物の保護など、多くの効用が得られる。一方、健全な植物の特徴は、根張りのよい育ち方と言われており、団粒構造の発達した土壌では、果樹の根張りもよくなる。有機栽培では、土づくりによって土壌の物理性、化学性と共に生物性を向上させることにも重点が置かれている。また、施肥についても外部投入に依存し続けるのではなく、土づくりによって、作物の生育に必要な養分や水分を各生育時期の必要量に応じて供給できる健全な土壌になる。健全な土壌では、健全な作物が育まれるという考え方が基本となる。

先進的な有機栽培実践者に共通しているのは、低栄養、低投入、内部循環を活かした 土づくりであり、一度に大量の堆肥を畑に入れて短期間で土を整えようとするのでは なく、堆肥以外の有機物(作物残渣、雑草等)を与えながらじっくり土を育て、土壌中 の小動物や微生物などの生きものの活性を高めている点である。堆肥といえども、動 物質のものを大量に施用すれば窒素過多となり、そのような園地では、生長が徒長気 味となり、病害虫の発生も多くなる。堆肥などを投入する場合には、堆肥の種類、施用 量、施用法、施用時期などに留意が必要である。

永年性作物である果樹では、定植後に土壌改良を行うことが難しいため、土壌の排水性、保水性、保肥力などの物理性が劣っている場合は、あらかじめ整備しておく必要がある。

雑草草生の実践に当たっては、適切な管理が行われないと病害虫や害獣の発生、作業環境の悪化等の欠点が大きくなるため、通常は年間 4~5 回の草刈りを行う必要がある。有機栽培では、雑草を敵視するのではなく、如何に土づくり等に生かしていくのかという視点が重要になる。

2) 有機栽培に適した品種、有機栽培が可能な品種の選定と組合せ

有機栽培で土づくりとともに非常に重要になるのが品種の選定である。「品種に勝る技術なし」という言葉があるように、病害虫対策を化学合成農薬に依存しない有機栽培では、品種選択がその可否を決めることになる。日本で古くから栽培されている品種の中に、あるいは民間育種家が育成した品種の中に、耐病性に優れ、栽培しやすい、有機栽培が可能な品種を見出すことができる。残念ながら、日本の公的機関で行われ

てきた果樹の育種は、その主目的を主として果実の品質改良におき、耐病性等の有用 形質を持つ個体でも品質が劣っていれば、淘汰してきたこと、また、果樹の育種には長 い時間を要するため、有機栽培のために育成された品種は未だ無い。

公的機関による栽培技術指針にも、品種別の特性は紹介されているが、有機栽培の視点からの情報(病害抵抗性等)は非常に少ないので、先進的な有機栽培者の情報や、自らの試作によって確認する必要がある。

さらに、病害虫、気象災害による被害のリスク軽減や労力配分を考慮して、単一品種の栽培ではなく、耐病・耐害虫性、早晩性、収量性や品質特性などが異なる複数品種を組み合せて栽培することも必要である。

3) 生理・生態、園地の条件を知り「樹と会話できるようになる」

有機栽培に限らず先進的な生産者に共通しているのは、自分の園地がどのような条件にあり、その樹がどのような特性(生理・生態)を有しているか熟知しており、それは園地における鋭い観察眼から得られたものである。慣行栽培では、果樹栽培で最も問題になる病害虫や雑草に対して化学合成農薬で簡単に対処することが可能であるし、樹勢管理も化学合成肥料や植物生長調整物質を用いれば比較的容易である。しかし、有機栽培では、作物の生理・生態や園地の条件に応じた対応や日常的な管理、すなわち「場の技術」が求められ、その基本となるのは、日常的に園地で栽培環境や樹の状態を把握できるようになること、つまり「樹と会話できるようになる」ことである。

4) 有機栽培が可能な園地の選択

既存の園地を有機栽培に転換する場合でも、新たに有機栽培を始める場合でも、その園地において、対象となる樹種が健全に育つための条件が整っているか、最初に検討する必要がある。いずれの場合も、適地適作が大前提であるが、加えて、地形的な条件も非常に重要になる。すなわち、同じ地域であっても、山間地と平坦地、斜面の方向や、周辺部の状況で、生物多様性や生育条件が大きく異なるからである。例えば、傾斜地と平坦地では、風の流れが異なり、霜の降り方も異なる。傾斜地では、標高が低い園地の方が冷気は貯留しやすく、霜の害を受けやすいこともある。また、日照時間が短く、風通しが悪い場所では、病気の発生が多くなりがちである。

また、周辺に山林や雑木林などがある場所では、多様な生きものが生息することができるため、天敵類も豊富となるが、慣行栽培の園地に囲まれた場所や、市街地の中にある園地では、生きものの多様性が低く、土着天敵の供給量が低くなることから、草刈りをする時に、一度に全てを刈り取らずに天敵の居場所を確保する等、何らかの対策が必要となる。

5) 有機栽培に適した開園準備と初期生育の確保

果樹の有機栽培では、成園を慣行栽培から有機栽培に転換することは非常に難しく、苗木の育成と土づくりから始めなければ無理であるという意見もある。その理由は、果樹にも「苗半作」が当てはまり、生育初期における育ち方、すなわち徒長気味に生育したのか、病害虫などによりストレスがかかったのか、あるいは健全に生育したかが、その後の生育特性に大きく影響するからである。低栄養、低投入の土壌で植物自身が有する自然と共生する能力が十分に発揮できるような、根張りの良い健全な苗を育てることが有機栽培を成功させるポイントとなる。

定植後、苗木の育成期間中は、害虫への抵抗性が低く害虫の大発生や雑草の繁茂が著しくなりがちである。葉が食害され、苗の生長が著しく劣ると、着果時期が遅れるだけ

でなく、後々まで樹勢が回復せず病害虫への抵抗性が低くなることが観察されている。 この時期における雑草管理や害虫防除には特に注意が必要である。 苗木の健全な生育 を確保するために、育苗期を長めにとり、苗圃でしっかり管理して健全な苗木を育て た後、定植する方が望ましい。

6) 病害虫には有機 JAS 許容農薬も利用して防除効果を高める

果樹の有機栽培では、耕種的な方法だけでは、防除が困難な病害虫が存在する。有機農業に適した品種が非常に少ない現状においては、健康な樹を維持するために有機 JAS 許容農薬の最低限の使用も考慮する必要がある。但し、農薬の使用は園地の生態系に大きな影響を及ぼし、天敵密度を大きく低下させることが多いので注意が必要である。農薬散布の時期や使用農薬の種類は、園地観察に基づいて判断する必要があり、先進的な有機農業者から情報を得ることが重要となる。

7) 品質基準と販売方法の転換、生食と加工の組合せで販売先を確保

有機栽培の特質を理解して、生産者の想いを理解してくれる消費者や販売先を確保すること、消費者との間に信頼関係を築くことが最も重要になる。それにより、病害虫や気象災害により、例年よりも外観品質が劣る場合にも、食味や栄養価が大きく劣るのでなければ、安定的に購入してもらうことが可能となる。また、宅配や贈答品については、単一品目だけでなく多品目の詰合せも用意するなど、消費者に多様な選択肢を提供することも重要となる。

外観品質が劣るなどの理由で生食用に販売することが難しいものについては、加工用として消費者に販売したり、加工して付加価値を高めて販売する。加工品の開発に当たっては、有機果実であることが生かされることが重要となる。生食と加工を組み合わせていくことで、廃棄率を最小限にし、経営を安定させることが可能となる。

(本文は、2013年3月発行『有機栽培技術の手引〔果樹・茶編〕』36~40ページに掲載されたものを、一般財団法人日本土壌協会の了解を得て、転載したものである)

有機農業の研修受入先をご紹介ください

NPO 法人有機農業参入促進協議会(有参協)は、有機農業の参入促進を担っている団体が構成員となり、「公的機関及び民間団体と協働して、有機農業への新規及び転換参入希望者を支援すること」を目的として設立いたしました。構成団体のさまざまな活動情報を紹介するとともに有参協独自の活動を通して、参入支援情報の発信拠点としての役割を担っている団体です。

有参協では、有機農業の実施者を増加させるための事業を進めています。この事業の一環として、有機農業研修受入先の情報整備を行い、これから有機農業の研修を希望する方に、ウェブサイト「有機農業をはじめよう!」(yuki-hajimeru.net)を通じて、希望者に適切な情報を提供しています。

有機農業の研修をされたり、受けられたりしている皆様に、有機農業の研修受入先をご紹介していただきたく、よろしくお願い申し上げます。

ご紹介いただいた研修受入先には、当方より「有機農業研修受入先データベース作成のための調査」用紙をお送りして、研修内容や施設などについてお尋ねします。ご返送いただいた情報については、研修受入先の皆様にご迷惑をおかけしないように最善の注意を払いながら、ウェブサイトにて、研修を希望される方に情報を提供していきます。なお、ウェブサイトでの登録も可能です。

研修受入先と連絡の取れる情報 < 個人(団体)名、連絡先(住所)、TEL、FAX、E-mail など > を下記の「有機農業参入促進協議会有機研修先調査室」までご連絡ください。

皆様のご協力をお願いいたします。

NPO法人有機農業参入促進協議会 有機研修先調査室 〒518-0221 三重県伊賀市別府690-1 公益社団法人全国愛農会内 Tel: 0595-52-0108 FAX: 0595-52-0109

E-mail:kensyu@yuki-hajimeru.net

「有機農業をはじめよう!」に掲載されている研修受入先

都道府県		都道府県					
	無何有の郷農園		福津農園				
北海道	大塚ファーム	愛知県	矢作川自給村 稲穂の里				
北海坦	(有)当麻グリーンライフ 有機農園おやじの村		松本自然農園				
	竹俵辰国のでしの刊 ハーベストガーデン福山		なのはな畑 鬱蒼農園				
岩手県	グリズファーム		伊賀有機農産供給センター				
宮城県	ボンディファーム		有限会社 この指とまれ				
秋田県	(公財)農業・環境・健康研究所秋田農場		七栗ファーム				
山形県	浦田農園	三重県	(有)めぐみの里				
福島県	チャルジョウ農場		村山農場				
	アズちゃん農苑 NPO法人あしたを拓く有機農業塾		鷲野農産 ゆうき伊賀の里				
	自生農場		山本農園				
	農業生産法人 株式会社 ヴァレンチア	滋賀県	晴れやかファーム				
茨城県	森の農園 宇治田農場		てんとうむし畑のオーガニックおやさい梅本農場				
	(株)照沼勝一商店	京都府	オーガニックnico				
	木の里農園 有機農業ネットワーク野良の会		霜尾共造農園				
	久松農園	大阪府	べじたぶる・は一つ				
	帰農志塾	7 (12/11)	堀田農場				
	株式会社ベジファーム 旬の野菜 爽菜農園		ナチュラリズムファーム 牛尾農場				
栃木県	町の野来 爽来辰園 コバちゃん農場	兵庫県	千毛長場 稲谷農園				
100771701	大輪キリスト教会・大輪養鶏場		藤原農園				
	ウインドファミリー農場		有限会社類農園				
	関塚農場		セレクトファーム				
群馬県	滝の里農場	奈良県	ハンサムガーデン株式会社				
#1 mg 21K	高崎市倉渕支所産業課	<i>***</i>	(株)陽光ファーム21				
	横田農場 農業生産法人 株式会社 風の丘ファーム		(有)山口農園 月ヶ瀬健康茶園				
埼玉県	長来生産法人 株式去社 風の丘ファーム やさいかん		田辺印の会				
76J - 12 / N	ふかや農場	和歌山県	農業生産法人(株)ビオランド				
	菜園「野の扉」		橋本自然農苑				
	株)くりもと地球村		有限会社やさか共同農場				
	さいのね畑	島根県	みずすまし				
	有限会社グリーンポート・アグリ		木次乳業有限会社グループ				
	農事組合法人 さんぶ野菜ネットワーク 株式会社生産者連合デコポン	岡山県	<u>住地区無農薬研究会 山崎農園</u> 里山農場				
千葉県	東澄農園	шшж	飯山農園				
1 200	有北総ベジタブル		安芸の山里農園 はなあふ				
	林農園		渡辺農場				
	こめ吉農園	瓜岡木	坂本農場				
	(農)大松農場		こだわり農場				
	南房総オーガニック NO-RA 〜農楽〜	山口県	天神自然農園 小松島有機農業サポートセンター				
神奈川県	農業生産法人なないろ畑株式会社	徳島県	小仏島有城長来リルードセンター (有)若葉農園				
富山県	土合農園	香川県	よしむら農園				
石川県	ユウキファーム山岸		株式会社 いけちゃん農園				
福井県	(有)かみなか農楽舎		㈱雲の上ガーデン だっぱんや				
	でんぷく農場	古か旧	農業生産法人㈱ロカヴォ				
	(公財)自然農法国際研究開発センター やさいの森	高知県	有機のがっこう「土佐自然塾」 山下農園				
	株式会社mama		山下辰風 はざま農園				
	くろやなぎ農園	福岡県	合鴨家族 古野農場				
長野県	高坂農園	11417 1711	農業生産法人(株)サガンベジ				
	あさひや農場	佐賀県	佐藤農場株式会社				
	まいん農園		肥前青農舎				
	ゆい自然農園	長崎県	(株)長有研				
	柴本無農薬菜園 (株)あずみ野エコファーム		株)うきうき森田農場 NPO法人 熊本県有機農業研究会・養成塾				
	中津川・七ツ平高原	65 L 10	農業生産法人(有)緑商				
社色坦	本学	熊本県	健幸一番楽らく農園				
岐阜県	こころ野農園		高丸愛鶏園				
	GOEN農場		嶋津農園				
	公益財団法人 農業・環境・健康研究所 農業大学校		久保田農園				
静岡県	なごみ農園	大分県	有機農業体験研修農園さいたえんHappy村				
	葉っピイ向島園株式会社 しずか村		佐藤農園 ウジャマー農場				
	石川農園		リンヤマー長場 農業生産法人 (株エコ・スマイル				
	太田農園	鹿児島県	展示工度公グ (株子コ・スマイル) かごしま有機生産組合				
愛知県	野菜の城		(有)大野原有機農業研究会				
	農業生産法人株式会社そら	沖縄県	宮古島亜熱帯有機農業生産組合 宮古島愛育農園				
	高山農園]					

[※] 詳しい情報はポータルサイト「有機農業をはじめよう!」に掲載しています。

有機農業の経営指標をご提供ください

新規就農時に営農計画を作成しようとしたとき、認定農業者になろうとしたとき、また、 自らの農業経営を診断しようとしたとき、基礎となる有機農業のデータがなく、困ったこ とはありませんか。

いっぽう、都道府県の普及指導員からは、有機農業での経営指標がないため、新規就農者の相談に応じられず、慣行栽培の事例をもとに対応しているとも聞きます。

そこで当協議会では、国の「平成 27 年度有機農業拡大全国推進事業」の一環として、営農計画を作成するときの心臓部にあたる「経営指標データベース」を作成し、公表することにしました。

まずは、手持ちの経営指標データの記入例をウェブサイト「有機農業をはじめよう!」 に紹介します。ぜひ、活用いただくとともに、皆さまの経営指標をご提供いただきますよ う、お願いいたします。ご提供いただいた方には、謝礼をさせていただきます。

公表した経営指標データをもとに、無料で公開されている「営農計画策定支援システム Z-BFM」(平成 25 年 1 月、JA 全農営農販売企画部、農研機構経営管理プロジェクト)を用いることで、有機農業での営農計画の作成に役立てることができます。

ここで提供した経営指標を使った方は、ぜひ、自らの経営指標をご提供ください。使った方が提供者となり、みんなで、経営指標のデータベースを作り上げていきましょう。

経営指標の記入用紙は、ウェブサイト「有機農業をはじめよう!」からダウンロードできます。

ご提供いただく経営指標は、当協議会事務局まで、お送りいただきますようお願いいた します。

なお、ご提供いただいた個人情報は個人情報保護方針に沿って、本事業の範囲内でのみ利用させていただきます。なお、個人情報を当協議会より第三者に提供することはございません。

経営指標の利用および提供に関するお問い合わせは、下記の「有機農業参入促進協議会事務局」までご連絡ください。

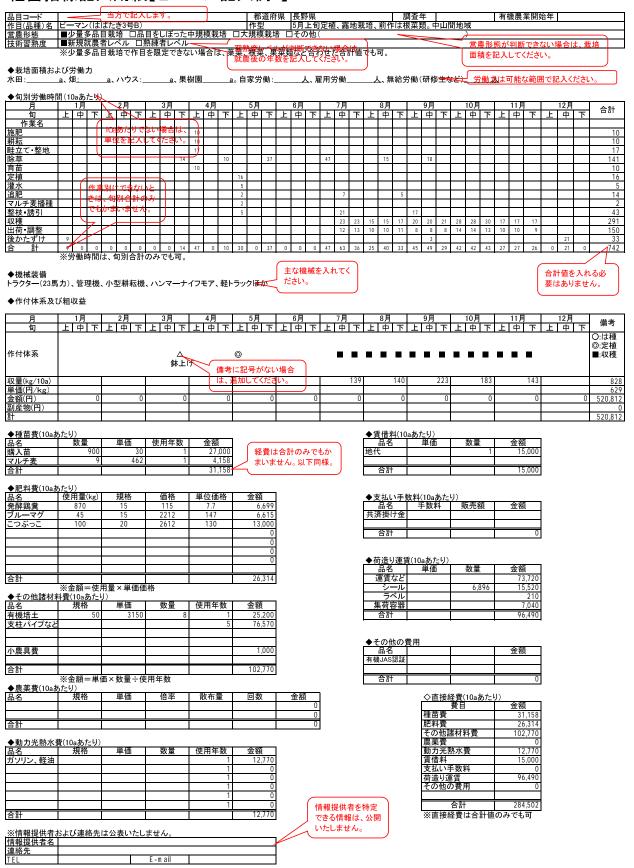
皆様のご理解、ご協力をお願いいたします。

NPO法人有機農業参入促進協議会事務局 〒390-1401 長野県松本市波田5632-1 Tel/FAX: 0263-92-6622

E-mail:office@yuki-hajimeru.net

経営指	標記	入用紙	【水稲	記入	列1】							(`	
品目コード		当方で記入	します。	\neg	都道府	県 長野県				- 1	周査を	ΕI		方法に Cくださ						
作目(品種)名					作型	6月上旬	月田植え	、機械	除草			\leq	۸	V-2	ין ין.	INCIDE.	A 17117	тн		
<u>営農形態</u> 技術習熟度	□少量多品目 □新規就農業		目をしぼった [。] 熟練者レベル		□大規模栽培	音 □その他	(,)						
ZIII B III Z			を限定できな	い場合は、奪				計値	でも可	。法人	経営に	はその	他に明	月記して	こくだる	だい。				
◆栽培面積お。 水田:	よび労働力 a、畑:	a、ハウス:	a、果樁	就農後(ンベルが判断 の年数を記入 。自家労働:	してください	間労働		人、	無給労	働(码	肝修生	ال الة (الم	労働	力は「	可能な	節囲	で記	こ入くだ	さい。
◆旬別労働時間								_		_		• -		10.0					10.0	_
<u>月</u> 旬	1月	上中下	3月	4月	5月 上 中 下	6月 上 中 下	上 中			月 打下	ΕI	9月 中 一	下上	10月	下上	11月		Ł	12月	合計
作業名		10267-1179	SI \相合(i)													Ė				1.0
育苗 耕起、砕土		単位を記入し	てください。	0.5	0.6 0.3 0.3									-	0.3				0.2	4.9 1.0
元肥 代かき				$\mathcal{J} + \mathcal{J}$	1.3 3.3 0.5 0.6		\vdash			_			_	\vdash	_				-	4.6
田植え					0.5 0.0	1.9														1.9
除草 追肥	(L *#)	2112				0.9 2.7 1.4 1.3	++	-	\vdash	-	1.9			\vdash	-	-				5.5 2.7
水管理	きは、	別にできない 旬別合計の	*		0.1	0.4 0.5 0.5				0.3	0.2	0.2 0	.1							4.0
畦管理 収穫	じもな	まいません。	<u> </u>	2.0 1.0	2.2	1.0	1.	0	1.0	-			2.2	2.1	-	-			-+	8.2 4.3
出荷調整							++			_			3.1	3.1						6.2 0.0
																				0.0
合 計		0.0 0.0 0.0 よ、旬別合計	0.0 0.0 0.0	2.5 1.0 3.7	1.1 4.4 3.7	3.7 2.7 4.2	0.5 1.	3 0.3	1.3 0	1.3 0.3	2.1	0.2 0	.1 5.3	5.2	0.3 0.	0.0	0.0	0.0	0.2 0.	44.4
◆機械装備 トラクター(30馬				、乾燥機l s s	والمحافظ أأسا	械を入れてく													ーーー 値を入れ 5りませ	
◆作付体系及で																				, <u>)</u>
月 旬	1月 上 中 下	2月 上 中 下	3月	4月 上 中 下	5月	6月 上 中 下	上 中			月 打下		<u>9月</u> 中 -	下上	10月	下 上	11月 : 中			12月	備考
作付体系				0		0														○:は種 ◎:定植 ■:収穫
収量(kg/10a)															40					540
単価(円/kg) 金額(円)	0	0	0	0	0	(1	0		0			0	229,5	25 00		0			425 0 229,500
副産物(円) 計																				229,500
							1				<u>. </u>									229,300
◆種苗費(10aあ 品名	うたり) I 数量 I	単価	使用年数	金額						<u>昔料(10</u> 名		<u><り)</u> 単価		数量	-1	金額	Í.	ı		
種子	2	550	1	1,100		た合計のみて			地代			16,00	00		1		,000			
合計				1,100-	< まいま	せん。以下	引様。		合	計					+	16	,000			
◆肥料費(10aあ	5 <i>た</i> (1)																			
品名	使用量(kg)	規格	価格	単位価格	金額					ムい手						A #	,			
<u>米糠</u> 油粕	60 30	15 20	400 1,500	27 75	1,600 2,250				ÄĒ	1名	7	数料	,	販売額		金額	Į			
魚粉 ゼオライト	20 10	20 20	2,200 2,500	110 125	2,200 1,250					計					_					
バーミュキュライト	5	20	2,000	100	500					101	<u> </u>									
米糠ペレット ソリブル(L)	120 0.3	20	980 278	49 278	5,880 83				◆荷油	きり運1	雪(10a	あたし	J)							
									뮤	名	j	単価		数量	20	金額				
合計	※金額=使用	用量×単価価	i格		13,763				運賃	(円/袋)			4		20		08			
◆その他諸材料 品名	料費(10aあたり 規格	リ) 単価	数量	使用年数	金額	Ī									1					
育苗資材	/シレコロ	4,500	1	1	4,500				台	計							80			
もみ袋		320	70	10	2,240															
										<u>り他の</u>	費用		,		-,	Δ.	5	i		
										·名 AS認証	L		\pm		_	金額	Ħ.			
合計	W & 67 1/1	T. # P . #	· 四 左 半·		6,740					. T.L					_					
◆農薬費(10aあ	あたり)	面×数量÷使								計	<u> </u>							l		
品名	規格	単価	倍率	散布量	回数	金額	1				г	◇ 直持	8経費 費目	(10aあ	<u>たり)</u>	金額	á	ì		
						(種苗	ŧ	1		1	,100			
合計						(Ц					肥料費	と ・諸材:	料書	+		,763			
◆動力光熱水			gu =	### *****	A 55*	Ī					Ī	農薬	ŧ		\dagger		0			
品名 軽油	規格	単価 580	数量 1	使用年数	金額 580							動力> 賃借料	±熱水 ↓	賁	+		,523			
ガソリン		580	1	1	580							支払し	\手数	料	1		0			
混合ガソリン 電気		600 100	1	1	600 100						ŀ	<u>荷造り</u> その(f	運賃	用	_		08			
水道		660	1	1	660		±0+0 /4 ·	tz + a+			ļ				4	40	204			
ガス 合計		3	1	1	2,523		報提供す きる情報				Ļ	※直キ	合言 接経費	t は合計	値の		,206 可	l		
※情報提供者:	セトバ市幼生	けみまいた	±++ / .				たしませ													

経営指標記入用紙【ピーマン記入例1】



有機農業相談窓口一覧

都道府県	団体名	電話番号
全国	有機農業参入全国相談窓口	0558-79-1133
北海道	津別町有機農業推進協議会	0152-76-3322
北海道	北海道有機農業生産者懇話会	011-385-2151
北海道	(公財)農業·環境·健康研究所 名寄研究農場	01654-8-2722
岩手県	一関地方有機農業推進協議会	0191-75-2922
岩手県	岩手県農林水産部農業普及技術課	019-629-5652
宮城県	宮城県農林水産部農産園芸環境課	022-211-2846
秋田県	NPO 法人永続農業秋田県文化事業団	018-870-2661
秋田県	公益社団法人秋田県農業公社	018-893-6212
山形県	遊佐町有機農業推進協議会	0234-72-3234
山形県	山形県農林水産部農業技術環境課	023-630-2481
福島県	(公財)福島県農業振興公社 青年農業者等育成センター	024-521-9835
福島県	福島県農業総合センター有機農業推進室	024-958-1711
福島県	NPO 法人ゆうきの里東和ふるさとづくり協議会	0243-46-2116
茨城県	NPO 法人アグリやさと	0299-51-3117
茨城県	茨城県農林水産部産地振興課エコ農業推進室	029-301-3931
茨城県	NPO 法人あしたを拓く有機農業塾	090-2426-4612
栃木県	NPO 法人民間稲作研究所	0285-53-1133
栃木県	栃木県農政部経営技術課環境保全型農業担当	028-623-2286
群馬県	高崎市倉渕町有機農業推進協議会	027-378-3111
埼玉県	小川町有機農業推進協議会	0493-72-1221
千葉県	有機ネットちば	043-498-0389
千葉県	山武市有機農業推進協議会	0475-89-0590
東京都	東京都産業労働局農林水産部食料安全課	03-5320-4834
東京都	NPO 法人日本有機農業研究会	03-3818-3078
新潟県	三条市有機農業推進協議会	0256-45-2888
新潟県	にいがた有機農業推進ネットワーク	025-269-5833
新潟県	NPO 法人雪割草の郷	0256-78-7234
富山県	富山県農林水産部農業技術課	076-444-8292
石川県	金沢市有機農業推進協議会	076-257-8818
山梨県	山梨県農政部農業技術課	055-223-1618

団体名	電話番号
(公財)自然農法国際研究開発センター	0263-92-6800
一般社団法人 MOA 自然農法文化事業団	0558-79-1113
オアシス 21 オーガニックファーマーズ朝市村	052-265-8371
社団法人全国愛農会	0595-52-0108
NPO 法人秀明自然農法ネットワーク	0748-82-7855
京都府農林水産部農産課環境にやさしい農業推進担当	075-414-4959
京都乙訓農業改良普及センター	075-315-2906
山城北農業改良普及センター	0774-62-8686
山城南農業改良普及センター	0774-72-0237
南丹農業改良普及センター	0771-62-0665
中丹東農業改良普及センター	0773-42-2255
中丹西農業改良普及センター	0773-22-4901
丹後農業改良普及センター	0772-62-4308
兵庫県農政環境部農林水産局農業改良課	078-362-9210
有限会社山口農園~オーガニックアグリスクール NARA	0745-82-2589
和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課農業環境・	070 441 0005
鳥獣害対策室	073-441-2905
NPO 法人和歌山有機認証協会	073-499-4736
島根県農林水産部農産園芸課	0852-22-6704
岡山商科大学経営学部岸田研究室	080-1947-6139
食と農・広島県協議会	090-3177-0438
山口県有機農業推進団体協議会	090-4691-9223
NPO 法人とくしま有機農業サポートセンター	0885-37-2038
香川県農政水産部農業経営課	087-832-3411
今治市有機農業推進協議会	0898-36-1542
有機のがっこう「土佐自然塾」	0887-82-1700
くまもと有機農業推進ネットワーク	096-384-9714
NPO 法人熊本県有機農業研究会	096-223-6771
NPO 法人おおいた有機農業研究会	097-567-2613
鹿児島有機農業技術支援センター	0995-73-3511
(公財)農業·環境·健康研究所 大宜味農場	0980-43-2641
	(公財)自然農法国際研究開発センター 一般社団法人 MOA 自然農法文化事業団 オアシス 21 オーガニックファーマーズ朝市村 社団法人全国愛農会 NPO 法人秀明自然農法ネットワーク 京都府農林水産部農産課環境にやさしい農業推進担当 京都乙訓農業改良普及センター 山城北農業改良普及センター 山城南農業改良普及センター 中丹東農業改良普及センター 中丹東農業改良普及センター 中丹西農業改良普及センター 中丹西農業改良普及センター 兵庫県農政環境部農林水産局農業改良課 有限会社山口農園~オーガニックアグリスクール NARA 和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課農業環境・鳥獣害対策室 NPO 法人和歌山有機認証協会 島根県農林水産部農産園芸課 岡山商科大学経営学部岸田研究室 食と農・広島県協議会 山口県有機農業推進団体協議会 NPO 法人としま有機農業サポートセンター 香川県農政水産部農業経営課 今治市有機農業推進協議会 有機のがつこう「土佐自然塾」 くまもと有機農業推進ネットワーク NPO 法人統おいた有機農業研究会 取PO 法人おおいた有機農業研究会

詳しい情報はウェブサイト「有機農業をはじめよう!」に掲載しています。

有機農業果樹・茶講座 開催一覧

講座名	開催 年月	開催地	テーマ	主催	共催	後援
柑橘	2012年 9月	佐賀県鹿島市	佐賀・佐藤農場株式 会社の実践に学ぶ	有機農業 参入促進 協議会		九州農政局、 佐賀県、長崎 県、熊本県、 宮崎県、鹿島 市
柑橘	2013年 9月	愛媛県 八幡浜市	愛媛・菊池農園の実 践に学ぶ	有機農業 参入促進 協議会		愛媛県、八 幡浜市
落葉	2014年 1月	長野県 松川町	有機栽培はどこまで 可能か	有機農業 参入促進 協議会	松川有機農業 研究会	長野県、松川 町、長野県有 機農業研究 会
柑橘	2014年 9月	和歌山県有田市		有機農業 参入促進 協議会	有田地方環境 保全型農業研 究会	和歌山県、有 田市、有田川 町、湯浅町、 広川町、JA ありだ
落葉	2015年 1月	山梨県甲州市	有機栽培はどこまで 可能か	有機農業 参入促進 協議会	東仲倶楽部	山梨県、甲州 市、やましな 有機農業連 絡会議
柑橘・茶	2015年 9月	静岡県静岡市		有機農業 参入促進 協議会		静岡県、静岡 市
落葉	2016年 1月	山形県天童市	有機栽培はどこまで 可能か	有機農業 参入促進 協議会		山形県、福島 県、天童市

Memo

本資料の複製、転載および引用は、必ず原著者の了承を得た上で行ってください。

2016年1月15日発行 有機農業実践講座 落葉果樹 資料集 NPO法人有機農業参入促進協議会事務局 〒390-1401 長野県松本市波田5632-1

Tel/FAX: 0263-92-6622
Email: office@yuki-hajimeru.net
Website: yuki-hajimeru.net

有機農業実践講座 ~ 堆肥づくり・土づくり~

私たち人間は、多種多様な食材を食べることで免疫向上や健康増進の食文化を育ててきま した。土づくりも同様に考えることが大切です。

本講座では、土壌の特性や作物に合わせた堆肥のつくり方や使い方を学び、「育土」について理解を深めていただきます。皆様のご参加をお待ちしております。

詳しくは、ウェブサイトをご覧ください。

開催日時 平成28年年2月7日(日)~9日(火)

場所 堆肥•育土研究所(三重県津市白山町川口 6583-1)

講師 西村和雄(NPO 法人京の農ネットワーク 21 理事長)

橋本力男(堆肥・育土研究所代表)

内容 土壌と作物の関係、堆肥づくり・土づくりについて講義と実習

参加定員 15名

受講料 25,000 円

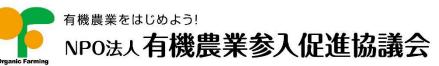
宿泊・食事代 20,000円(2泊5食、情報交換会代を含む)

宿泊先 ホテルアザリア(〒515-2603 三重県津市白山町川口 6262

TEL.059-262-4011)

集合・解散 近鉄大阪線 榊原温泉□駅(最寄駅) 主 催 NPO 法人有機農業参入促進協議会

共 催 堆肥•育土研究所



yuki-hajimeru.net



NPO 法人有機農業参入促進協議会(有参協)では、有機農業をはじめたい方を応援しています。全国の有機農業者、有機農業推進団体と連携して、研修先、相談窓口などの情報発信や相談会、実践講座、公開セミナーの開催など、さまざまな活動を行っています。