

第2部 有機栽培を理解するための基礎知識

— 耕地生態系の構成要素と活かし方の基本 —

目 次

I. 耕地生態系を支える構成要素と機能	12
1. 有機栽培と慣行栽培の違い	12
2. 土壤動物の機能	12
3. 土壤微生物	16
4. 菌根菌	17
5. 病害拮抗微生物	18
6. 窒素固定	19
7. リン溶解菌	19
8. 土壤酵素	20
9. 耕地生態系を活かす有機栽培への期待	21
引用文献	21
II. 耕地生態系の機能を高める有機栽培技術の基本	22
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	22
1) 作物による有機態養分吸収	22
2) 安定した土壤養分の供給	24
3) 根域の増加と土壤生物の活性化	36
4) 雑草管理	25
5) 肥効コントロール	26
6) 草生栽培・カバークロープ・土壤被覆	27
2. 生物多様性を高める土づくり	27
1) 土壤生物の役割と土づくり対策	28
2) 土壤微生物性の向上対策	29
(1) 微生物の種類と働き	29
(2) 土壤微生物性を高める土づくり	30
3) 天敵等の活動力を増強する対策	32
(1) 害虫天敵	32
(2) 病害の生物防除	33
引用文献	34

I. 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、既存の土壤動物生態研究を引用し、自然土壤、いわゆる「発達した土壤」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。

- ①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。土壤動物の餌となる）
- ②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壤から水分と栄養塩類を植物に運ぶ。）
- ③土壤孔隙圏（土壤の隙間は土壤生物のすみかとして重要な意味を持つ。）
- ④団粒圏（保水と排水の両方の機能を持つ。）
- ⑤ミミズ生活圏（土壤に穴をあけるだけでなく、様々な作用を引き起こし、土壤を改変する。）
- ⑥シロアリ圏（集団で巣を作り、土壤に孔隙をあけ、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、他の土壤動物の生息が変化したりする。）
- ⑦アリ圏（同上）

図 I - 1 は、上記①～⑤のドメインを示している。

このように土壤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、土壤が土壤として存在・維持されるには土壤生物の働きが必須であり、土壤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壤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、雑草刈り放置でダイズとオオムギを9年間栽培し、土壤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ズとササラダニの種数と個体数は、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 I - 2）。ミミズの数も4年目から増加し、9年目には1m² 当たり200個体以上になっていた。

農耕地土壤にミミズ（大型ミミズ）が出現すると、その他のヒメミズ、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 I - 3）。これはミミズが土壤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

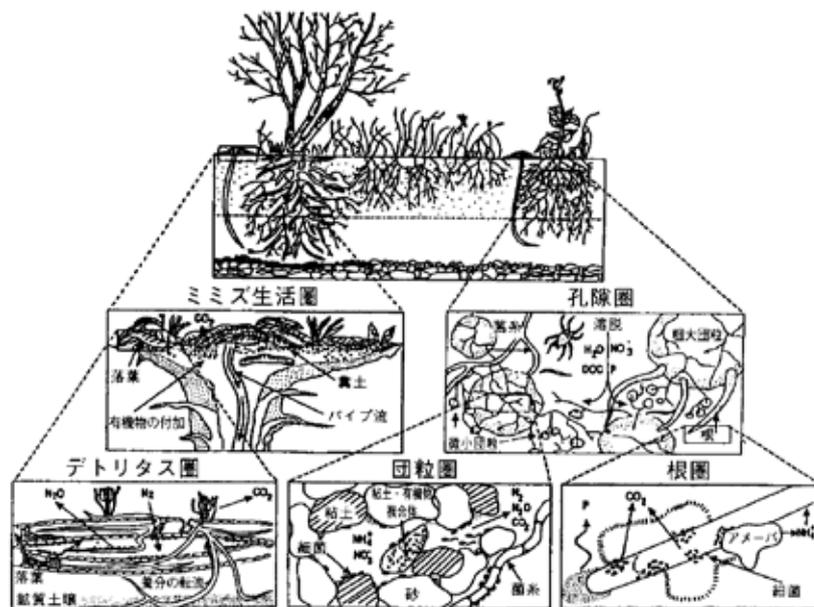


図 I - 1 土壤の生物多様性が生態系の構造と機能に階層的に影響する因子（金子 2007）
各ドメインは、ミミズ生活圏（Drilosphere）、土壤孔隙圏（Prosphere）、デトリタス圏（Detritusphere）、
団粒圏（Aggregatosphere）、根圏（Rhizosphere）。

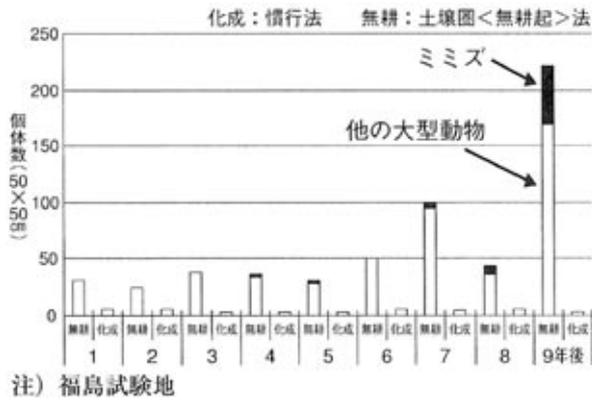


図 I - 2 不耕起・無農薬・前作残渣被覆・雑草刈り取り放置処理（無耕区）と慣行栽培処理（化成区）が土壌中の大型土壌動物個体数の年次変動に与える影響（中村 2005）

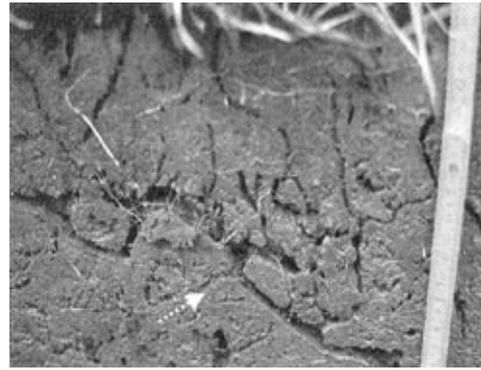


写真 I - 1 ミミズが地中で動き回ることによってできるミミズ孔（中村 2005）

た層（厚さ1~2mm）が形成される（写真 I - 1）。この層にはミミズの粘液がしみ込んでおり、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 I - 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

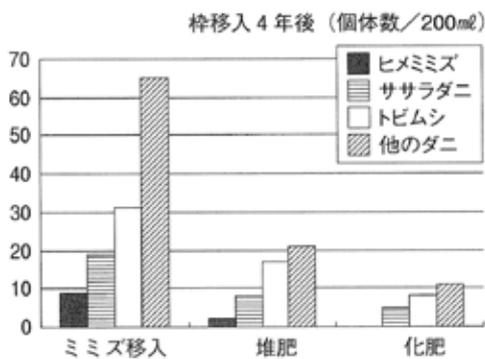


図 I - 3 ミミズ移入による土壌動物数の効果（中村 2005）

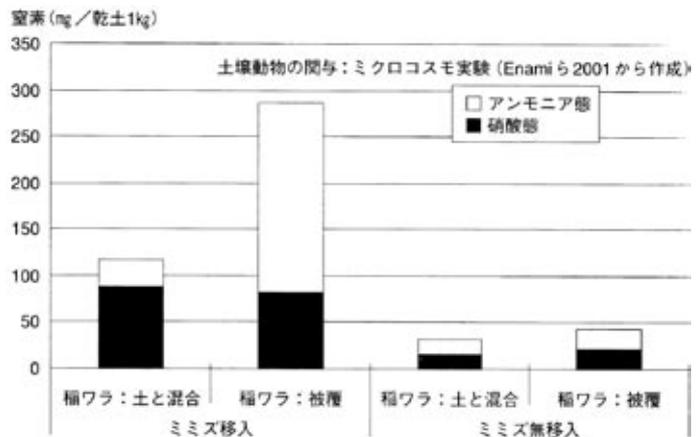


図 I - 4 ミミズの移入による窒素の変化（中村 2005）

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で程度も様々である。

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 I-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 (プ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 I-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

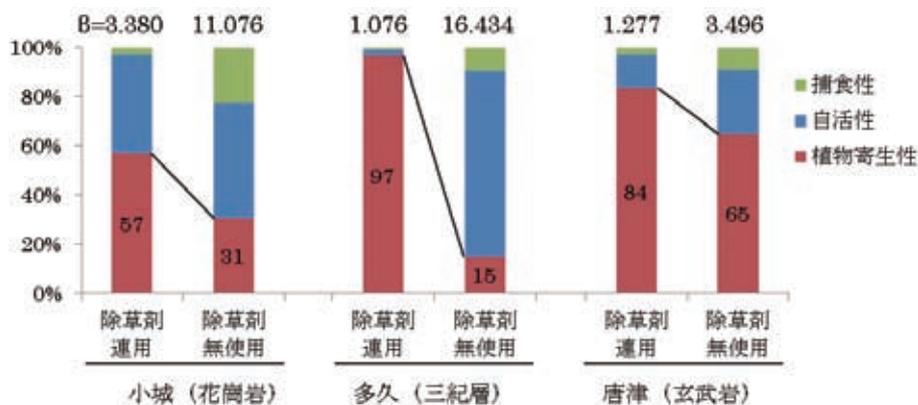


図 I-5 センチュウの食性割合 (0~10cm 土壌 100mL 当たり、1974 年 10 月 28 日) (岩切 1986 より作図)

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

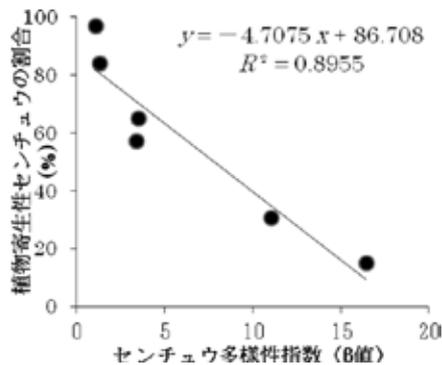


図 I-6 センチュウの多様性と植物寄生性センチウの割合 (岩切 1986 より作図)

食性)と捕食性センチウの割合が増加していた。またセンチウの多様性指数が高いほど、植物寄生性センチウの割合が低下していた(図 I-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、土壤中の生態系を量、質ともに豊かにし、センチウの多様性を高めたために、植物寄生性センチウ割合が減少したものと考えられる。

土壤中には肉食性センチウだけでなく、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ウを捕食して生活している(写真 I-2)。センチウは土壤中の個体数が多いことから、多くの土壤動物の餌ともなっており、有機栽培の果樹園における土壤養分動態に対する影響も大きい。

土壤動物の中で、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



写真 I-2 センチュウ(左)を食べるクマムシ(右) (中村 2005)

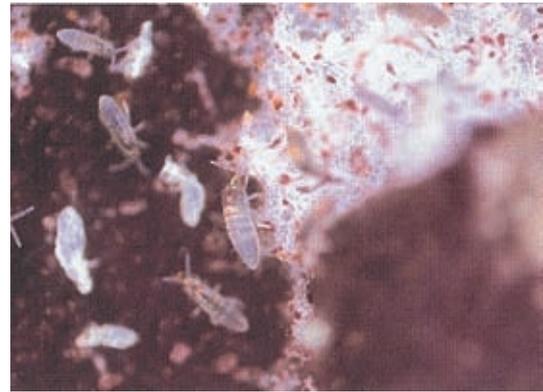


写真 I-3 アズキ白紋羽病菌を食べ、病害発生を防ぐアイロハゴロトビムシ (中村 2005)

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。例えばアイロハゴロトビムシは、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 I-3)。ヒダカホルソトビムシでは、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。土壤中において、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. 土壤微生物

土壤中に最も多量に存在している生物は、微生物である。土壤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 $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 0.001\text{mm}$) と小さく、代謝活性は非常に高く、栄養やエネルギー

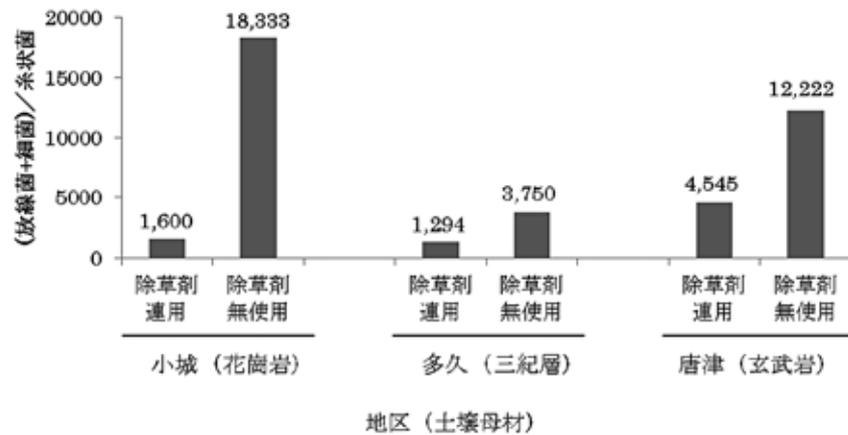


図 I-7 糸状菌に対する放線菌と細菌の比 (岩切 1986 より作図)

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 5000m 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。

岩切 (1986) はミカン園での除草剤影響試験において微生物相の検討を行ったが (図 I-7)、除草剤を使用すると微生物相からみると好ましくないカビ型土壌になり、(放線菌 + 細菌) / 糸状菌で計算される指数が低くなった。さらに糸状菌フロア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、アープトイド菌根、モントロポイド菌根、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 I-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



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)

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があるとしているが、これらの草種に

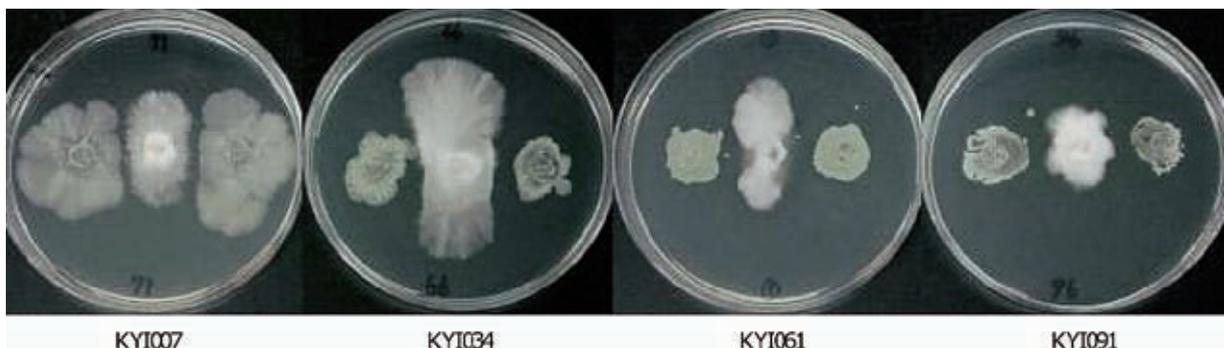


写真 I-5 ナギナタガヤ及びバヒアグラスから分離した白紋羽病菌にたいする拮抗微生物 (石井 2007)
 中央に白紋羽病菌を、その左右に拮抗微生物を置床した (培養4日後)。

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 I-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。

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。

窒素固定は、土壌中の窒素濃度が高い時には行われぬ。これは窒素固定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されているためである。つまり土壌中の硝酸態窒素

やアンモニア態窒素濃度が高いと微生物は窒素固定を無理に行わず、土壌中の無機態イオンを吸収するのである。さらに無機態窒素濃度が高い時には、窒素固定菌であっても脱窒を行い、土壌中の無機態窒素濃度レベルを下げるものまで存在する。

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ており、植物体内で窒素固定が行われている。図 I-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 low 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。

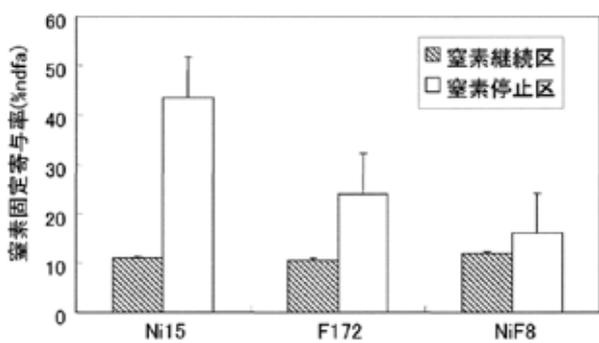


図 I-8 サトウキビ3品種において硝酸態窒素の添加が窒素固定寄与率に与える影響 (西口ら 2005)

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

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

渴が叫ばれている。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、土壤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、日本の農耕地土壤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壤微生物が溶解し、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。土壤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、土壤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。

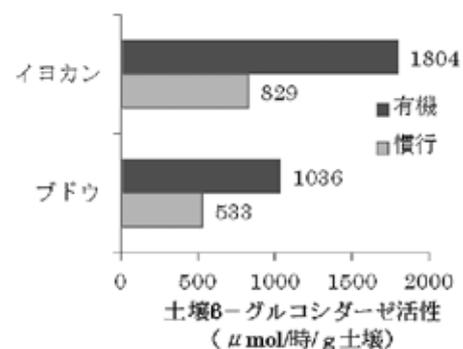
有機態リンのほとんどはフィチン酸の形態をとるが、土壤に生息する糸状菌の多くが強いフィターゼ産生能をもっている。フィターゼはフィチン酸を分解する酵素であり、フィターゼ高生産菌分離株と作物残渣や緑肥作物、雑草などの植物資材を組み合わせて施用することで、フィチン酸分解菌の密度を高め、有機リン分解活性を向上させることが可能である。

8. 土壤酵素

これまで土壤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スを保ち、土壤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いる。それが土壤酵素である。土壤生物は植物根を含めて、死滅すると自己消化あるいは微生物分解により細胞内容物が土壤中に放出される。その中には各種の土壤酵素が含まれている。また土壤微生物が菌体外酵素として生産している。

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うβ-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I-9に伊予柑及びブドウ園の土壤β-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壤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。各土壤酵素活性と土壤肥沃度との関係を解明する研究も行われており、β-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。



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壤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)

9. 耕地生態系を活かす有機栽培への期待

土壤微生物の機能は、土壤肥沃度を左右する重要な因子であるため、長年、土壤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壤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壤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。さらに土壤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、土壤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、土壤表面には有機物が施用され、土壤生物が多量に繁殖・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、多量に存在する土壤動物にも注意し、「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、土壤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) 草生栽培と土壤微生物相. 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) 土壤生物相の変化 (樹園地). 農業技術体系 土壤施肥編 第5-2巻 樹園地の土壤管理 (土壤変化の動態と要因) 樹園地 7-12
- 3) 岡田浩明 (2002) 土壤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) 『土壤生態学入門－土壤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

II. 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）が大きいので、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) 作物による有機態養分吸収

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 II - 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

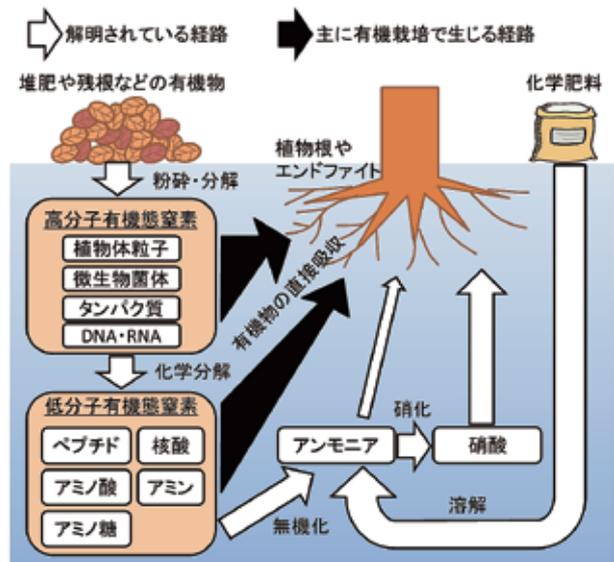


図 II - 1 土壌中における有機物及び化学肥料由来窒素の動態 (模式図)

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、数多くの土壌や作物体系で研究が行われ、詳細な説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。特に開園当初で土壤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、水稻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 II-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 I) や小胞体 (タイプ II) 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にタンパク様物質の 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 がハ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。



図 II-2 水稻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。

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 ^{13}C と ^{15}N 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 ^{15}N 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壤では、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、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

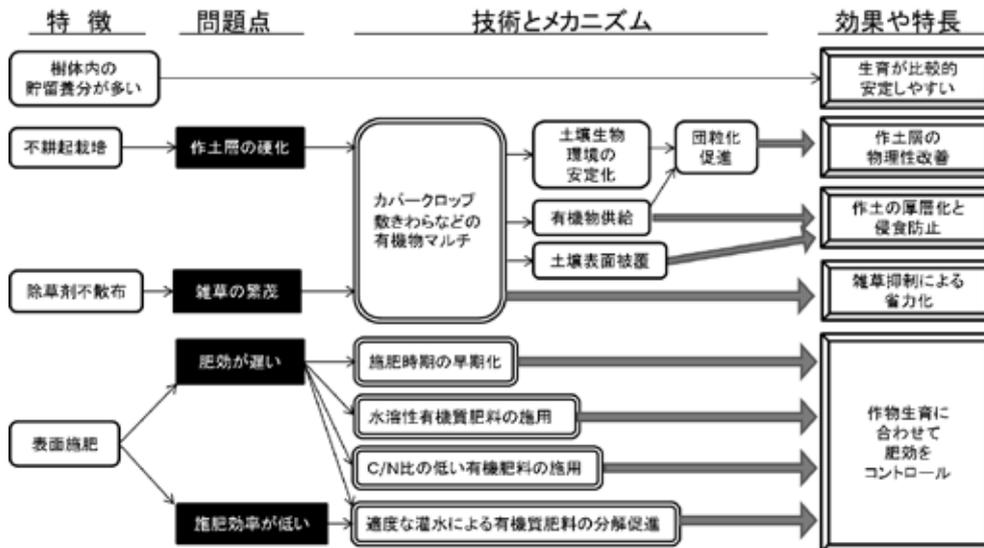
接、有機物が吸収されるということは、吸収や代謝時に行われる硝酸の積極吸収や転流、硝酸還元、窒素同化、アミノ基転移などの ATP を必要とする数多くの反応を省略でき、また呼吸により消耗する光合成産物量が節約できるので、植物にとって大変有利と言える。冷害で日照不足の時に有機栽培の作物は収穫量があまり減少しないのは、このことが理由の一つと考えられているが、さらなる学術的な証明が待たれるところである。

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) 安定した土壤養分の供給

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、土壤動物による粉砕、土壤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、土壤中の CEC は増大する。このことは土壤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壤機能の向上は重要であり、有機物施用は必要な土壤管理技術の一つもなっている。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



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

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）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、カバークロープ草生栽培、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ため、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、①水溶性成分が多く（リン酸は水溶性が多く）速効性である、②成分含有量が比較的高い、③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、新梢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。

最近では、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。

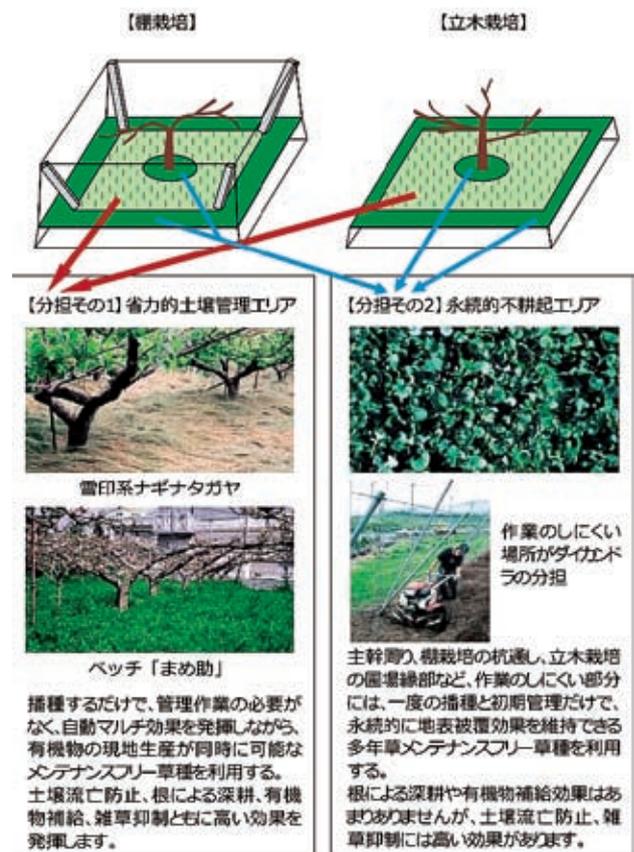
一方、有機栽培では、有機質肥料を施用するため、その肥効に関しては化学肥料と比較して以下の違いがあるので留意する必要がある。

- ①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。
- ②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。
- ③有効成分含量が低い。
- ④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。③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、①と②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。



図Ⅱ-4 複数草種による分担草生栽培の例 (辻 2000)

6) 草生栽培・カバークロープ・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①有機物投入による化学的土壌特性の向上、②土壌水分の安定化、③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ー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、④草生植物根による物理的・生物的土壌特性の向上、⑤表層土壌の保持による土壌流失の防止、⑥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Ⅱ-4）。

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、



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)

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Ⅱ-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、被害は比較的強く抑えられる。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

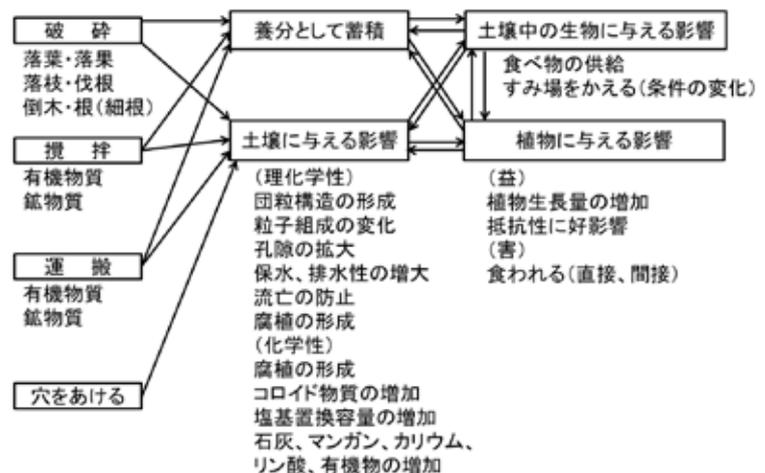
土壌の生成因子は、母材、気候、生物、地形、時間であり、樹園地土壌において最も人為的な変動が大きいのは、生物因子である。土壌生物は、土壌動物と土壌微生物に大別され、

一般にバイオマスは、土壌微生物の方が圧倒的に多い。しかし、土壌動物と土壌微生物は土壌生態系の中で役割分担をしており、土壌生成において独自の機能を有している。

土壌動物の役割を図Ⅱ-5に示した。土壌動物は動植物遺体の物理的分解(破碎)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Ⅱ-1に土壌微生物



図Ⅱ-5 土壌動物の役割 (青木 1973)

表Ⅱ-1 土壤微生物の主な機能

分解・溶解 ・運搬	有機物の分解・代謝・無機化
	有害物質・人工化学物質の分解
	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
合成	易分解性有機物の合成
	腐植物質・団粒化材料の合成
	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
変換	硝化
	窒素固定・脱窒
	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
養分保持	バイオマスによる可給態養分の保持
	難溶性有機化合物の生成による長期的な養分保持
動植物との 共生・寄生	養分吸収の効率化
	窒素固定
	病害虫抑制・病害
	窒素飢餓
微生物間の 関係	棲み分け
	溶菌作用・抗菌作用
	養分競合

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。

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）がなくなると一部孢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Ⅱ-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、

表Ⅱ-2 土壌微生物数 (CFU/g) (野口 2003)

	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

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。土壤中の微生物の数、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、量により土壤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。

土壤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、土壤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 II-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。

土壤の健全性を担う微生物性については、B/F 値のほかにも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 II-3)。

(2) 土壤微生物性を高める土づくり

通常の樹園地において土壤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、土壤養分、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、土壤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

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	栽培区分	腐植含量 (%)	土壤の微生物量 (CFU/g 土壌)					酵素活性 PNF 生成量	積算熱量 (μ J/10g 土壌)
				糸状菌	赤色素耐性菌	放線菌	細菌	フザリウム菌		
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 O 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マサ土(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回施用

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。

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 II - 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*

表 II - 4 茶園土壌の微生物活性値

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

注：(独)生研機構中央農業研究センターで測定

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

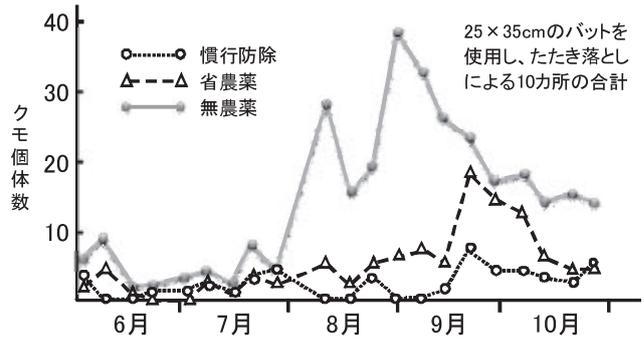
有機栽培を継続している果樹園では雑草草生が行われていることもあり、昆虫の多様性が高まることが知られ、これが害虫の防除にも有効な働きをしているとされる。愛媛大学附属農場で2012年9月に行った地上徘徊性昆虫の観察調査結果では、7日18科46種の昆虫が捕獲でき、それを区分した結果、害虫は17%、天敵が26%を占め、ただの虫が57%で大半を占めていた。

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。

- ①インセクタリアープランツ：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。
- ②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、作物と栄養競争を起こさずに、天敵を増殖させる必要がある。
- ③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。
- ④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。
- ⑤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



図Ⅱ-6 クモ類の発生消長（1992年）
（後藤ら1995）

とヒメ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Ⅱ-6）。

柑橘類の有機栽培が天敵を増殖させる事例を表Ⅱ-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ため、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

表Ⅱ-5 柑橘園における農業に有用な生物多様性指標候補生物（愛媛県農水研 2009）

生物種	調査方法	捕獲数(確認)数						
		愛媛県西予市明浜町			愛媛県松山市			
		慣行	減農薬	有機	慣行①	慣行②	減農薬	有機
クモ類	見取り(樹上)	51	40	467	40	287	419	1808
テントウムシ類	黄色粘着	9	3	19	1	5	13	16
コバチ類	黄色粘着	86	129	201	230	215	309	295
ハネカクシ類	ピットフォール	9	196	39	18	15	24	36
シテムシ類	ピットフォール	0	17	2	3	0	12	4
クモ類	ピットフォール	77	88	286	34	76	64	97
ダンゴムシ類	ピットフォール	12	1388	6981	182	15	474	426

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、「Ⅰ 調査法・評価法」と「Ⅱ 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。

- ①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。
- ②抗生：抗生物質を生産して、病原菌の代謝を阻害する。
- ③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。
- ④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。
- ⑤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。
- ⑥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ンンが生産され、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壤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壤物理性の改善、草生などの下草管理などを総合的に進めることにより、土壤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。また土壤管理の他にも、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) 「土壤動物学」 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) 草生栽培と土壤微生物相 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 土壤肥科学雑誌 63 : 263-266
- 9) (財)日本農業研究所、(財)日本土壤協会 (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) 土壤改良と資材 日本土壤協会 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 全国土壤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壤病害の生物的防除. 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年間にわたる水稻への吸収利用と施肥窒素の削減 日本土壤肥料学雑誌 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 (*Brassica campestris* 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