

目次

日本語訳出版に当たって	iii
著者について	vi
SARE について	vii
序文	ix
はじめに	xi
第 1 部 有機物ー健全な土壌へのかなめ	
1 健全な土壌	3
2 有機物とは何であり、なぜそれが重要なのか	13
3 土壌中の有機物含量	31
4 生きている土壌	49
第 2 部 土壌の物理的性質と養分の循環とフロー	
5 土壌粒子と水、空気	65
6 土壌の劣化:浸食、圧縮、汚染	75
7 炭素と養分の循環とフロー	89
第 3 部 生態学的土壌管理	
8 土壌の健全性、植物の健康と病害虫	105
9 良質な土壌のための管理:有機物管理を中心に	117
事例紹介 Bob Muth (ボブ・ムース) ニュージャージー州グロースター郡	133
10 カバークロップ	137
事例紹介 Gabe Brown (ゲイブ・ブラウン) ノースダコタ州、ピスマーク	157
11 多様化する作付体系	159
事例紹介 Celia Barss (セリア・バース) ジョージア州アーセンズ	177
12 作物と家畜の統合	181
事例紹介 Darrell Parks (ダレル・パークス) カンザス州マンハッタン	199
13 堆肥の製造と使用	201
事例紹介 Cam Tabb (カム・タブ) ウェストバージニア州カーニーズビル	213
14 流出と浸食の低減	215
15 圧縮への対応	225
16 耕起の最小化	237
事例紹介 Steve Groff (スティーブ・グロフ) ペンシルバニア州ランカスター郡	253
17 水の管理。灌漑と排水	255
18 養分管理:序章	275
19 窒素とリンの管理	289
20 その他の肥沃度に関する問題:養分、CEC、酸性度、アルカリ度	307
21 土壌と作物の分析を最大限に活用するために	317
22 都市農園、家庭菜園、緑地のための土壌	341
事例紹介 City Slicker Farms (シティスリッカーファーム) カリフォルニア州オークランド	353
第 4 部 まとめ	
23 あなたの土壌はどれくらい健全ですか。土壌の健全性を圃場と実験室で評価する	359
24 すべてをまとめる	371
索引	381

第 3 部

生態學的土壤管理



Photo by Francesco Ridolfi

SAMPLE

第8章

土壌の健全性、植物の健康と病害虫



この国であれ、どの国であれ、大きな改善ができない農場はほとんどありません。

—ルシウス・D・デイビス(Lucius D. Davis)、1830年

土壌の性質とその相互関係

健全な土壌とは、生物学的、化学的、物理的条件がすべて最適な状態であり(図 8.1)、作物の高収量やその他の重要な土壌機能を可能にするものです。このとき、根は容易に伸びることができ、豊富な水が土壌に浸透し、蓄えられ、植物に十分な養分が供給され、土壌中に有害な化学物質がなく、有益な生物が活発に活動して、有害な生物を抑制し、植物の生長を促すことができます。

土壌のさまざまな特性は、互いに関連していることが多く、その相互関係を念頭に置く必要があります。例えば、土が圧縮されると、大きな孔隙が失われ、大型の土壌生物が動きにくくなり、生存することさえ不可能になります。(圧縮された土壌にはミミズがないことが多い。)さらに、圧縮によって土壌が湛水状態となり、硝酸塩(NO_3^-)が脱窒されて窒素ガス(N_2)や温室効果ガス(N_2O)として大気中に放出されるなどの化学変化が起こる可能性があります。乾燥地や半乾燥地でよく見られるように、土壌にナトリウムが多く含まれると、団粒がばらばらになり、土壌の孔隙が少なくなり、空気交換や下

層への排水ができなくなることがあります。植物の生育は、有機物の含有量が少なく、構造が劣化した土壌では、たとえ最適な量の養分が含まれていても悪くなります。したがって、トラブルを防ぎ、植物にとって最適な土壌環境を整備するためには、土壌の一面だけに注目するのではなく、総合的な観点から作物と土壌の管理に取り組む必要があるのです。

農業のための生態学的原則

生態学的な観点から農業と土壌管理に取り組むには、まず、回復力があり比較的安定している自然界のシステムを構成する特徴を最初に理解することが必要です。次に、作物、家畜、農場の回復力と健全性を高めるための全体的な戦略について見ていきます。最後に、生命力のある強い農業システムの構築に貢献する実践方法について簡単に説明します(この後の章で詳しく説明します)。

生態学的な作物および土壌管理の実践は、以下の3つの戦略のうちの、どれか1つ以上に分類することができます。

- ・ 強い防衛力を持った健全な作物を育てる



図 8.1. 最適な化学的、生物学的、物理的特性は土壌の健全化を促進する。

- ・ 病害虫を抑制する
- ・ 有益な生物を増やす

これらの総合的な戦略は、地上と地下の両方で生息環境を維持・向上させる実践によって達成されます。そして、圃場の生息環境が改善されれば、環境全体も改善されます。地下水や地表水の汚染は減り、圃場の中や周辺に生息する野生生物が増えるのです。

生態学的アプローチでは、自然のシステムが本来持っている強みを生かすように圃場や農場を設計することが求められます。そのほとんどは作付前や作付中に行われ、3つの全体戦略のうちの1つ以上に貢献することで、問題の発生を防ぐことを目的としています。言い換えれば、見通しを立てることと優れた計画が必要なのです。

多くの、比較的乱されていない自然のシステムは一般的に安定しており、火災、強風、過剰な雨などの自然の力によって乱された場合でも、かなり迅速に立ち直ることができます。つまり、回復力があるのです。このような回復力のある

システムは、一般的に似たような特性を持っていることが知られています。

効率性: 自然のシステムには、資源を効率的に利用するエネルギーの流れがあります。緑色植物が取り込んだ太陽エネルギーは、多くの生物に利用され、真菌類や細菌は有機残留物を分解し、それを他の生物が食べ、さらにその生物が食物網の上位にいる他の生物によって食べられます。また、自然生態系は、降雨の捕捉と利用、養分の移動と循環が効率的に行われます。これは、養分の過度の損失による「枯渇」を防ぐと同時に、地下水や地表水の水質を維持するのに役立ちます。降った雨は流れ出るのではなく、多孔質の土壌に浸み込む傾向があり、植物に水を供給するだけでなく、地下水を涵養し、ゆっくりと小川や河川に水を放出しています。

多様性: 温帯や熱帯地域では、地上と土壌の両方で生物多様性が高く、回復力のある自然生態系が多く存在するのが特徴です。このことは

病害虫の問題を最小限に抑えるための土壌と作物の管理

輪作によって多くの病気、昆虫、線虫、雑草の圧力を減らすことができることは、ほとんどの農家が知っていることで、十分に確立されています。そのほか、農作物の損失を減らす管理作業のいくつかを挙げてみます。

- ・ 昆虫の被害は、精密な窒素管理によって土壌中の無機窒素レベルが過剰にならないようにすることで、減らすことができます。
- ・ 適切な栄養レベルは、病気の発生を抑えることができます。例えば、カルシウムの散布は小麦、ピーナッツ、大豆、ピーマンなどの作物の病気を減らし、カリウムの添加は綿、トマト、トウモロコシなどの作物の真菌性疾患の発生を減らす。
- ・ 昆虫や病気(根の真菌性疾患など)の被害は、土壌の圧縮を軽減することで減らすことができます。
- ・ 根腐れや葉の病気は、窒素レベルが低くても活性のある有機物を含む堆肥で軽減することができます。
- ・ 多くの害虫は、資源を奪いあつたり、他の昆虫(害虫を食べる益虫を含む)と直接拮抗したりすることで抑制される。様々な有機物を大量に含むことで、多様な土壌生物が維持される。
- ・ 根の表面は、有益な菌根菌によって真菌や線虫の感染から保護されている。ほとんどのカバークロップ、特に減耕起栽培システムでは、菌根菌の胞子数を高く保ち、次の作物の有益な菌によるコロニー形成率を促進するのに役立つ。
- ・ 寄生性真菌や線虫の感染も、特定のカバークロップによって抑制することができます。
- ・ 雑草の種子の数は、生物学的活性が高い土壌では減少し、微生物と昆虫の両方がそのプロセスを助けている。
- ・ 耕起を減らし、表面の残渣を維持することで、オサムシによる雑草の種の捕食が促進される。また、耕起を減らすと、雑草の種子が土壌表面にとどまり、ネズミやアリ、コオロギなど他の生物に捕食されやすくなる。
- ・ シリアルライなど一部のカバークロップの残渣は、雑草の種子の発芽を抑える化学物質を生成する。

植物に栄養分を供給し、病気の発生を抑制することができるのです。例えば、樹木と下草、イネ科植物と豆類など、多様な植物が異なる資源を捕獲し、供給しています。また、多くの土壌生物が資源をめぐる競争や特定の拮抗作用(抗生物質の生産など)を発揮するため、自然の草地や森林では通常、土壌由来の植物病原菌が病気を引き起こすのを防ぎます。

自給自足: 自然の陸上生態系は、効率性と多様性の結果、太陽光と降雨のみを必要とする自給自足の生態系となります。

自己制御性: 生物の多様性は、植物や動物に

深刻な被害を与える病原体や昆虫の発生(または個体数の激増)のリスクを減少させます。また、植物には、攻撃から身を守るためのさまざまな防御メカニズムが備わっています。

これらの生態学的特性は、圃場や農場を持続的に管理するための良い枠組みを提供してくれますが、作物生産(さらに言えば都市景観造園も含めて)は、他の生物と競合する利益よりも、一つまたはいくつかの生物(作物としての植物)を優先するために、自然の生態系を大きく攪乱するプロセスであることも認識しなければなりません。また、作物を生産するた

めに、生態系は別の意味でも攪乱されます。シーズン中に行われる日常的な管理作業は、たとえ予防的管理に多大な投資をしていたとしても攪乱を引き起こします。例えば、新鮮な市場野菜などの高価値作物には、湿潤な地域であっても頻繁な灌漑を必要とします。また、シーズン中に害虫や益虫の観察を行うなど、直接的な障害がほとんどない作業もあります。害虫の発生など予期せぬ問題が生じた場合、作物の損害を減らすために、最も生態学的に適切な農薬を散布したり、購入した益虫を圃場に放したりするなどの改善措置が必要になることがあります。

現在使用されている農薬では、土壌燻蒸剤やグリホサートなどの広域スペクトル除草剤によって、単純に競争相手を一掃したいという誘惑がありますが、これは農場外からの購入材料に頼ることになり、土壌や作物システム全体の回復力を弱めることとなります。また、これらの化学薬品に対する遺伝的耐性を促進し、長期的には効果が低くなってしまいうこともありません。生態学的な作物・土壌管理の目標は、健康な植物の生育を助け、益虫を促進し、害虫を抑制する条件を作り出すことによって、予防的かつ先手を打つことであり、それによって対処療法的管理(予期せぬ事態への対応)の範囲を最小限に抑えることです。以下の議論とこの本の残りの部分では、上記3つの戦略のうちの1つ以上を促進するために、土壌の健全性を維持し、生息環境を向上させる方法に焦点を当てて解説しています。

生態学的な作物・土壌管理

ここでは、一般的な枠組み(図 8.2)の一部として、生態学的な作物と土壌の管理方法について説明します。問題の核心は、地上部と土壌の両方で生息環境を改善することで、システムの強度を高めることにあるということです。地上部と土壌の生息環境を分けて考える

のはいささか不自然ではありますが、多くの実践が同時に両者を助けるので、数多くの問題を明確にすることができます。地上部の議論のすべてが土壌の管理に直接関係するわけではありませんが、ほとんどの場合、土壌の管理に関係します。また、これから説明する方法は、(1)健全な土壌で、強い防御力を持つ健康な植物を育てる、(2)害虫を抑制する、(3)有益な生物を増やす、という1つ以上の総合的な戦略に貢献するものです。

地上部の生息地管理

地上部の生息環境を改善する方法は、次の様にたくさんあります。

- ・ 地元の害虫に強い作物や品種を選ぶ(もちろん収量や味など、他の性質も考慮する)。
- ・ 適切な栽植密度(およびコンパニオン作物)を利用して、作物が活発に生長し、雑草を覆い隠し、(コンパニオン作物とともに)害虫からある程度保護できるようにする。場合によっては、同じ作物の2つ以上の品種(カルチバー)をブレンドして使用する。例えば、害虫や干ばつに弱いが見込み品種と、抵抗力や回復力のある品種の組み合わせにより、小麦や米の総収量が増える可能性があることが知られている。同じ作物を栽培していても、異なる品種を使うことで遺伝子の多様性が高まり、ある程度の防御になるようである。多分、ひまわりと大豆やエンドウ豆など、異なる種類の作物の列で間作する可能性があるかもしれない。
- ・ 圃場の真ん中にある経済作物よりも、特定の害虫にとって魅力的で、入ってくる虫を阻止できる周辺作物(トラップ)を植える。これは、夏カボチャの圃場の周辺にブルー Hubbard squash)を植えて、縞キュウリ甲虫

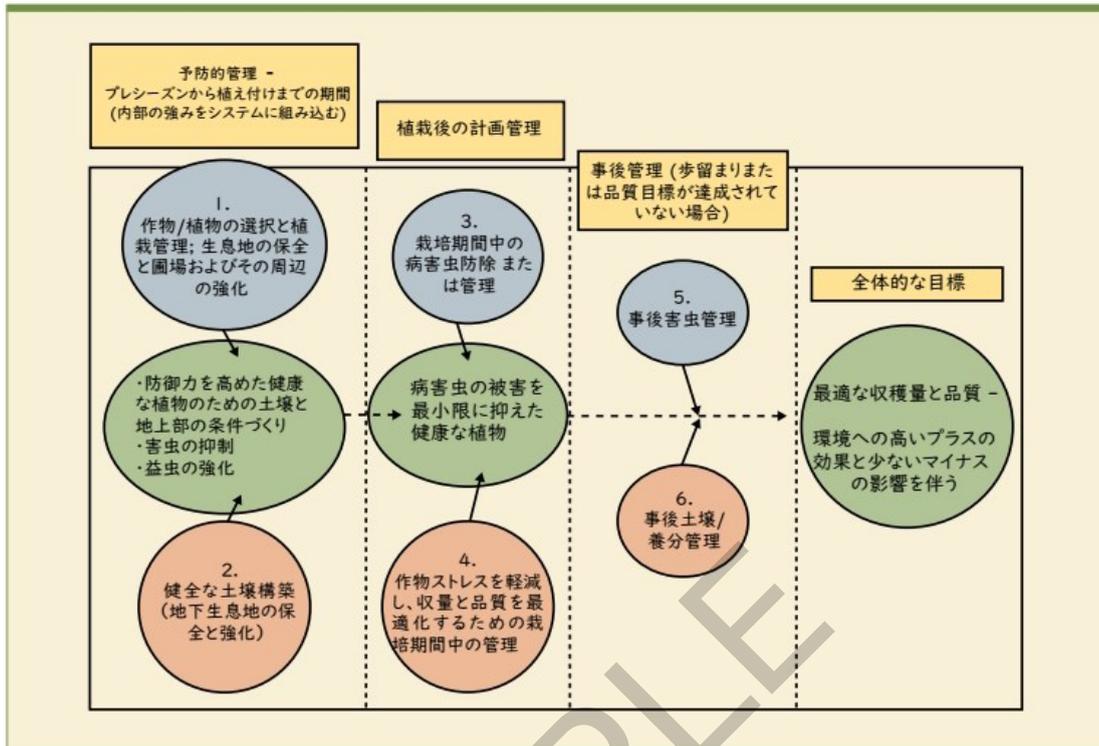


図 8.2. 圃場レベルでの土壌と作物の管理に対するシステム全体のアプローチ。Magdoff(2007)より改変。

(striped cucumber beetle)を阻止することに成功している。東アフリカで行われているプッシュ・プルシステムは、さらに一歩進んで、トウモロコシの畝の間に茎を穿孔する害虫の忌避植物として低生長のマメ科植物デスマディウム(Desmodium)を植え(プッシュ)、圃場の周囲にイネ科植物を生やして成虫の蛾を誘引(プル)するとともに、マメ科植物による窒素供給と雑草抑制にもなっている。

- ・ 益虫にとって魅力的な圃場境界や圃場内ゾーンを作る。これは通常、益虫に避難場所と餌を提供するために、花の咲く植物を圃場の周囲または内部に帯状に混植することである。
- ・ 益虫の生息地を提供し、土壌に窒素と有機物を加え、浸食を減らし、土壌への水の浸透を促進し、土壌に養分を保持するなど、さまざまな利点があるため、日常的にカバークロップを使用する。アメリカ南部ではク

リムゾクローバー、北部ではヘアリーベッチなど、生命力の強い冬のマメ科作物を栽培すれば、後続の作物にすべての窒素を供給することが可能である。

- ・ 輪作は複雑で、異なる科の植物が関与し、可能であれば、何年も土壌を攪乱することなく残る草地作物であるイネ科作物/クローバー・干し草などの牧草作物を含むものを使用する。
- ・ 耕起を減らす。これは農業に対する生態学的アプローチの重要な部分である。耕起は残渣を埋め、土をむき出しにし、降雨による浸食の影響を受けやすくし、また自然の土壌団粒を破壊することになる(土壌の生産性維持には、浸食を軽減するような農法を用いることが重要)。カバークロップやより複雑な輪作の使用、耕起の削減など、これらの実践方法の一部については、以下の「土壌の生息環境の向上」の項でも触れ、後の章で詳しく説明します。

地面の下の生息地管理

作物の根や有益な生物が生息する場所としての土壌を改善する一般的な方法は、どの圃場でも同じであり、次の章での議論の焦点となるものです。本当の疑問は、どれをどのように実施するのが一番良いのか、また、特定の状況（農場など）でどのように実施するのか、ということです。そのアプローチと実践方法については、本書の第3部で詳しく説明しますが、表 8.1 にこれらの管理アプローチをまとめ、読者に適切な章を紹介します。最終章(24 章)では、これらすべての検討事項をどのようにまとめて、統合的な土壌健全管理アプローチとするかを論じています。

植物の防御力、管理方法および病害虫

土壌管理の生態学的原則とアプローチについて説明した後、さらに深く掘り下げて、植物が本当にどれほど素晴らしいかを見てみましょう。植物は、昆虫や病気の原因となる病原体の攻撃から身を守るために、さまざまなシステムを利用しています。小さな害虫の問題であれば、新しい根や芽を出すことで乗り切ることもあります。また、多くの植物は、昆虫の摂食を遅らせる化学物質を生産しています。昆虫を殺すことはできませんが、少なくとも被害を限定することができます。害虫を攻撃し殺す有益な生物は、さまざまな栄養源を必要とし、通常は圃場やその周辺の花木から得ています。しかし、例えばイモムシに食べられた場合、多くの植物は傷口から「花外蜜」と呼ばれる粘

表 8.1
土壌の健全性に関する管理目標、アプローチ、実施事項

全体的な目標 健康な植物を育て、害虫を抑制し、有益な生物を増やし、同時に周囲の環境を改善する。	
議論されている管理手法と実践方法	議論されている場所
減耕起、輪作の改善、畑の走行規制、湿った土壌への立ち入り禁止、圧縮の改善などを用いて土壌の攪乱を最小限に抑え、圧縮を減らす。	11 章(輪作)、14 章(流出と浸食の低減)、15 章(圧縮への対処)、16 章(減耕起)、22 章(都市部の土壌)。
土壌を作物残渣で覆ったり、多年生飼料を輪作したり、カバークロープを栽培したりして、土壌に生きた根の存在を継続的に維持する。	第 10 章(カバークロープ)、第 11 章(輪作)、第 12 章(家畜と作物の統合)、第 13 章(堆肥の作成と使用)。
より複雑な輪作、頻繁なカバークロープ、家畜と作物の複合農業、家畜糞や堆肥など様々な種類の有機物改良材の適用により、土壌と地上部の生物多様性を最大にする。	第 10 章(カバークロープ)、第 11 章(輪作)、第 12 章(家畜と作物の統合)、第 13 章(堆肥の作成と使用)。
適時の圃場作業と作物が必要とする水に関する水管理。	14 章(流出と浸食を減らす)、15 章(圧縮の防止と軽減)、17 章(灌漑と排水)。
土壌を定期的に検査し、その結果に基づいて養分、石灰、その他の改良剤を施し、カバークロープを頻繁に使用し、塩害に対処し、畜産と作物を統合して、pH を望ましい範囲内に維持し、養分を植物に十分供給しつつ環境への過剰な損失がないレベルに維持すること。	18 章(栄養管理)、19 章(窒素とリンの管理)、20 章(栄養素、CEC、アルカリ性、酸性度)、21 章(土壌検査とその解釈)、23 章(土壌健康診断を利用する)。

難防除害虫:シンフィラン(Symphylans)

本書では、土壌の健全性にとって、有機物や生物多様性、そして良好な土壌構造の形成と維持が重要であることを強調しています。しかし、有機物を多く含む土壌で繁殖し、さまざまな作物に大きな被害をもたらす土壌中節足動物がいます。シンフィランは白色でムカデのような形をしており、主に根毛や根粒を食害します。土壌の構造が良好で、古い根の溝や連結孔がたくさんあると、簡単に動き回ることができます。通常、圃場の特定の場所に点々と円形に分布して発生し、特定の地理的条件でより問題となります。ジャガイモと豆類はこの害虫による被害が少ないようで、シンフィランが存在する場合、移植したトマトの方が直接播種したものよりもうまくいくことが分かっています。他のカバークロップが侵入を減らすのに役立つということは確立されていませんが、春のオーツ麦のカバークロップは後続作物への被害を少なくする可能性があります。カボチャ(squash)の栽植密度を上げると、害虫の存在下でも収量を維持できることが示されていますが、多少の間引きは必要かもしれません。合成化学物質による防除も可能ですが、この害虫を生態学的に健全な方法で管理する方法については、さらに多くのことが解明されなければなりません。有機肥料を持ち込む際には、注意が必要です。誤ってこの害虫を持ち込まないようにしたいものです。また、甲虫、捕食性のダニ、ムカデなどの生物や、シンフィランを餌とする病原菌も存在しますが、生物学的に活性な土壌は、作物に害を与えるこの生物に対する十分な防御策にはならないと考えられています。

り気のある甘い物質を出し、これが益虫を惹きつけ、餌となるのです。また、昆虫に襲われた植物は、空気中に化学物質(揮発性)を分泌し、益虫に自分が必要としている特定の宿主が植物にいることを知らせています。益虫(多くの場合、小型のスズメバチ)は、この化学物質のシグナルに注目し、イモムシを見つけてその中に卵を産み付けます(図 8.3)。卵が生長すると、イモムシを殺します。このシステムがいかに高度なものかを示す一例として、トマトのイモムシに卵を産み付けるスズメバチは、卵と一緒にイモムシの免疫系を不活性化するウイルスも注入します。このウイルスがなければ、卵は発育できず、イモムシは死にません。また、食害を受けた植物の近くにある植物は、攻撃される前から、傷ついた葉から放出される化学物質を感知して、自らを守るための化学物質を作り始めている証拠もあります。

植物が攻撃されたとき、有益な生物を呼び寄せる信号を送ることができるのは、葉だけでは

ありません。主要害虫であるウェスタンコーンネキリムシに襲われたとき、いくつかの品種のトウモロコシの根は化学物質を放出し、ネキリムシの幼虫に感染して殺す線虫を引き寄せることが分かっています。米国でトウモロコシが品種改良される過程で、この有益な線虫を呼び寄せる能力は明らかに失われました。しかし、この能力は野生の近縁種やヨーロッパのトウモロコシ品種に存在するため、米国のトウモロコシ品種に再導入することが可能です。

植物はまた、広範なウイルス、真菌類、細菌の病原体から身を守るための防御システムを持っています。植物には、植物が害虫にさらされているか否かにかかわらず、病害の発生を抑制する物質を含んでいることがよくあります。また、根の周辺(根圏)や葉の感染部位からのシグナルによって、植物内の遺伝子がさまざまな化合物や生物、害虫によって活性化され、抗菌物質が産生されます。この現象を「誘導抵抗性」といいます。

病害管理の相反するアドバイス

本書では、耕起を減らし、作物残渣を土壌表面に保持することを推進しています。しかし、農家はしばしば、作物残渣には病害菌が潜んでいる可能性があるため、作物残渣を土壌混和するよう勧めています。なぜ相反するアドバイスがあるのでしょうか。その大きな違いは、土壌と作物の管理に対する全体的なアプローチにあります。良い輪作、保全耕起、カバークロップ、その他の有機物添加などを含むシステムでは、土壌生物の多様性が高まり、有益な生物が促進され、作物ストレスが軽減されるため、病害圧力は減少します。一方、伝統的なシステムでは、病原菌に対する感受性の強さが異なり、病原菌が優勢になる可能性が高いため、対処療法的なアプローチが必要となります。土壌と植物の健全性を高める長期的な戦略を採用することにより、短期的な治療法を用いる必要性は低くなるはずです。

これにより、植物はさまざまなホルモンやタンパク質を形成し、植物の防御システムを強化します。感染部位から遠く離れた場所でも、植物全体が病原菌に対して抵抗力を持つようになるため、この抵抗力をシステミック(全身性)と呼びます。

植物は病気から身を守るために、様々な防御システムを持っています。根を取り巻く土壌(根圏域)に存在する有益な細菌は、競争や拮抗によって、土壌由来の病気に対する第一線の防御を担っています。もし、病原菌(小麦、米、ジャガイモ、トマト、テンサイなどさまざまな作物の苗に根の病気を引き起こすリゾクトニア・ソラニなどの菌)が根圏を通過して根の表面に接触すると、根の中に住む有益な生物が、菌に付着する化学物質を作り出してもう一段階の防御を行います。そして、植物自身も化学物質を生産し、攻撃に抵抗することができます。微生物からのシグナルに反応して誘導される抵抗性には、大きく分けて全身獲得抵抗性(SAR)と全身誘導抵抗性(ISR)の2種類があります(図 8.4)。SAR は、植物が病原菌にさらされたとき、あるいは病気を作らない一部の生物にさらされたときに誘導されます。植物がその生物にさらされると、サリチル酸というホルモンと防御タンパク質が生成され、さまざまな病原体から植物を守るようになります。

ISR は、植物の根が土壌中の特定の植物生長促進根粒菌(PGPR)にさらされると誘導されます。植物がこれらに触れると、さまざまな害虫から植物を守るホルモン(ジャスモン酸やエチレン)が産生されます。

有機質改良資材の中には、植物の抵抗力を誘導するものがあることが分かっており、有

植物の病害虫

ウイルス、細菌、真菌などの病原体、線虫、昆虫、雑草など、さまざまな生物が農作物に危害を加える可能性があります。シカ(アフリカではゾウ)のような大型の動物でも、農作物に大きな被害を与えることがあります。私たちが一般的に病害虫と呼ぶこれらの生物は、本来は何も悪いものではありません。彼らは生き残り、繁殖するために、自然に振舞っているだけなのです。しかし、農作物を育てる上では、このような生物による被害を最小限に抑えることが必要です。重要なのは、健全な土壌を作り、自然な抵抗力を持つ作物品種を使用し、病害虫を抑制しながら他の多くの利点ももたらず輪作やカバークロップを使用するなど、環境に配慮した方法で行うことです。



図 8.3. 食害昆虫の被害を受けて、植物は様々な防御戦略をとる。出典:W.J. Lewis の未発表のスライドから改変。イラスト:Vic Kulihin.

機物を多く含む非常に生物学的に活性な土壌を持っている農家では、すでにそのような土壌で害虫を制御する他の方法と同様に活用している可能性があります。しかし、土壌改良資材や土壌が植物の防御システムを高めているかどうかを判断するための、信頼性が高く、費用対効果の高い指標は今のところありません。誘導抵抗性が農場で信頼できる害虫管理の一形態となるには、さらに研究を進める必要があります。人間の免疫システムとは仕組みが大きく異なりますが、一度刺激されると様々な病原体や昆虫の攻撃から身を守ることができるという点では効果は似ています。

植物が健全に生育しているときは、攻撃から身を守る能力が高く、病害虫にやられることも少なくなります。乾燥、栄養制限、土壌圧縮などのストレスがかかると、植物は「無意識のうちに」病害虫に対し「弱った私を捕まえて」とシグナルを送ってしまうことがあります。また、

草丈が高く、根系が発達している元気な植物は、雑草を日陰にしたり、水や養分を求めて競争したりすることができるため、雑草との競争相手として優れています。

この章や第3部の他の章で説明する多くの土壌管理方法は、作物病害虫の発生を抑えるのに役立ちます。生物学的多様性に富んだ土壌で育つ健康な植物は、多くの病害虫に対して強力な防御を行うことができます(粹記事参照)。生態学的な土壌と植物の管理は、害虫の個体数を抑えるだけでなく、先ほど見たように、植物の病害虫に対する抵抗力にも影響するため、植物の健康にとって非常に重要です。したがって、土壌の健全性を最適に保つことは、農作物の病害虫管理の基本であり、農作物の総合的病害虫管理(IPM)プログラムの根幹をなす中心的な目標であるべきです。

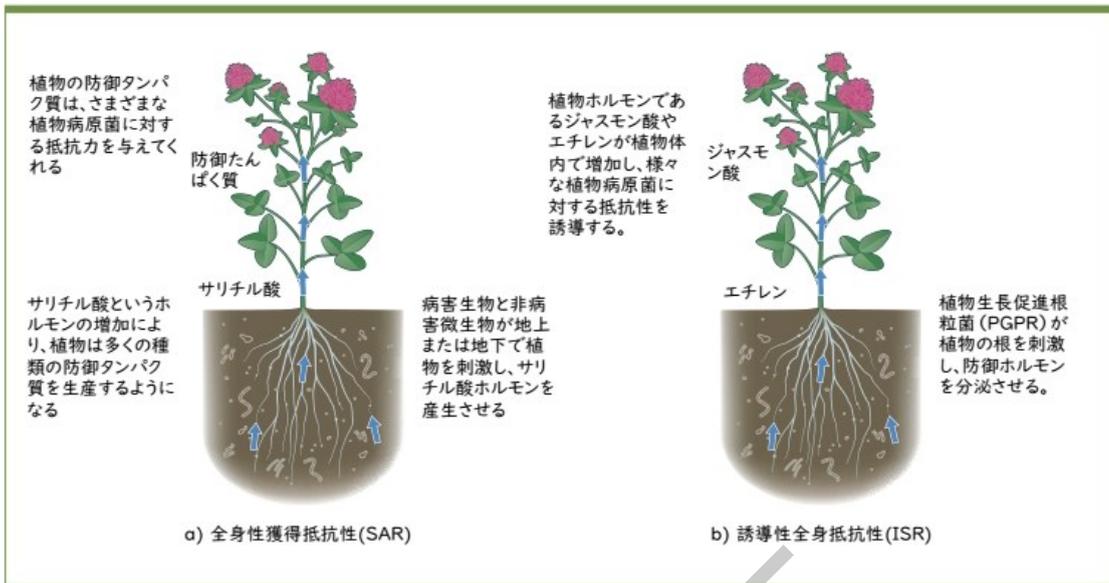


図 8.4. 植物病害に対する誘導抵抗性の種類。出典: Vallad and Goodman (2004) を Amanda Gervais が改変したもの。イラスト: Vic Kulihin.

有益な生物を接種しますか。

本書で後述する、カバークロップの使用、輪作の改善、動物や家畜との共存、堆肥やその他の有機物の使用、減耕起、圧縮の減少などの実践は、すべて土壌の生物的、化学的、物理的健全性を向上させることを目的としたものです。これらの多くは、「生物学的土壌管理」や「生物学的肥沃度管理」と呼ばれる手法と同じものです。これらの実践の結果としては、生物学的多様性に富み、非常に活発な生物が生息する土壌となるはずですが、このような土壌条件では、通常、種子や移植苗の根に有益な生物を施用するメリットはほとんどありません。ただし、生物多様性が高く、活性の高い微生物がいる場合でも、マメ科植物の種子に適切な窒素固定根粒菌を接種することは推奨されます。しかし、ホルモンに似た化学物質を生産して植物の生長を促進したり、植物が病気や昆虫から身を守るのを助けたり、植物が水や養分へのアクセスを良くしたり、乾燥や湿気などのストレスから植物を助けたりする、他の微生物の利用可能性に関心が高まっていま

す。生長を促進する多彩な有益な細菌と真菌類が研究されていますが、それらの使用に関する一般的な推奨事項はありませんが、有機物の少ない土壌、乾燥しがちな土壌、塩分濃度が中程度から高い土壌、新しく農業に使用する圃場や区画、特に都市部の土壌など、植物がストレスを受けているような状況では、この種の菌の接種が特に有効であると考えられます。また、野菜を移植する際、その年にカバークロップを栽培していない土壌や、特にアブラナ科(菌根菌の仲間を作らない)を植える場合は、菌根菌を含む溶液に浸すことが有効な場合があります。

第8章 まとめ

生態学的に健全な作物と土壌の管理は、植物の生長を制限する可能性のある要因のほとんどを予防し、残った問題が発生したときに対処するために、予防的管理と事後的管理を組み合わせることに重点を置いています。予防的管理の目標としては、防御能力を高めた健康な植物を育てること、病害虫を抑制すること、有益な生物

植物生体防御機構

植物は、昆虫や線虫、真菌類や細菌による病気などの攻撃を受けても、受け身ではありません。植物が攻撃されたり、生物に刺激されたりしたときに活性化される遺伝子は、以下のような働きをする化学物質を作り出します。

- ・ 虫の食害を遅らせる
- ・ 有益な生物を引き寄せる
- ・ 近くの病原体から感染していない部位を保護する構造を作り出す
- ・ 病原性細菌、真菌類、ウイルスにある程度の抵抗力を示す化学物質を生産する
- ・ 根の宿主生物が病原体から身を守る

を増やすこと、の3つを挙げることができます。これらの全体的な目標に貢献する様々な実践方法があり、本章では地上部の生息環境と土壌中の生息環境の両方を向上させるものとして取り上げてきました。カバークropp、輪作、耕起は地上部と地下部の両方に効果があるため、重複している部分もあります。土壌の生息環境を改善・維持する様々な管理方法については、第3部の次の章で詳しく説明します。これらは、土壌の有機物、団粒化、保水力、生物多様性を高め、維持することで、土壌の健全性を維持し、土壌の構築に貢献しています。

図 8.2 に示すように、予防の作業(主に植え付け前と植え付け中に達成される)に加えて、シーズン中に実施される日常の管理作業があります。作物に対する潜在的な脅威に対処するために、予防の作業で不十分な場合は、治療または対処的なアプローチを必要とする場合があります。しかし、私たち自身の健康と同じように、予防することで、避けられない健康問題にうまく対処することができます。なぜなら、健康問題が発生してからでは、必ずしも治療法に頼ることができないからです。このため、本書のこの後の章は、植物の生長や品質を制限したり、周囲の環境に害を及ぼすような問題が発生したりしないようにするため、より全体的なアプローチに向けられています。

第8章 参考文献

- Borrero, C., J. Ordovs, M.I. Trillas and M. Aviles. 2006. Tomato Fusarium wilt suppressiveness. The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog(トマトのフザリウム萎凋病抑制効果:有機植物生育培地とその微生物群集の関係). *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1631–1637.
- Dixon, R. 2001. Natural products and plant disease resistance(天然物と植物病害抵抗性). *Nature*. 411: 843–847.
- Gurr, G.M., S.D. Wratten and M.A. Altieri, eds. 2004. *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Management for Arthropods*(病害虫管理のための生態工学:節足動物の生息地管理の進歩). Comstock Publishing Association, Cornell University Press: Ithaca, NY.
- Magdoff, F. 2007. Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints(生態系農業:原理、実践、制約). *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(2): 109–117.
- Magdoff, F. and R. Weil. 2004. Soil organic matter management strategies(土壌有機物の管理戦略). In *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* ed. F. Magdoff and R.R. Weil, pp. 45–65. CRC Press: Boca Raton, FL.
- Park, S-W., E. Kaimoyo, D. Kumar, S. Mosher and D.F. Klessig. 2007. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance(サリチル酸メチルは植物の全身性獲得抵抗性に重要な移動性シグナル). *Science* 318: 313–318.
- Rasmann, S., T.G. Kollner, J. Degenhardt, I. Hiltbold, S. Toepfer, U. Kuhlmann, J. Gershenzon and T.C.J. Turlings. 2005. Recruitment of entomopathic nematodes by

- insect damaged maize roots(昆虫に損傷を受けたトウモロコシの根による寄生性線虫の誘引). *Nature* 434: 732–737.
- Sullivan, P. 2004. Sustainable management of soil-borne plant diseases(土壌伝染性植物病害の持続可能な管理). ATTRA.
<http://www.attra.org/attra-pub/PDF/soilborne.pdf>.
- Tringe, S. 2019. A layered defense against plant pathogens(植物病原菌に対する重層的な防御). *Science* 366 (Nov. 1, 2019, Issue 6465): 568–569.
- Vallad, G.E. and R.M. Goodman. 2004. Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture(慣行農業における全身獲得抵抗性および誘導全身抵抗性). *Crop Science* 44: 1920–1934.

SAMPLE