

選択的な有用微生物の増殖と有害微生物の抑制

(1) 有機物、微生物による土壌病害防除

近年、指定産地など産地形成に伴って、農耕地では連作や短期連作が行なわれ、その結果、連作障害、土壌病害の発生が恒常化している。このため、農業や化学肥料の多投が行なわれ、土壌汚染、大気汚染、地下水汚染さらには農業者の健康被害が生じている。

また、農業が耕種部門や畜産部門などに専門化し、さらに農業者の高齢化に伴い、耕地への堆肥など有機物の施用が減少し、その結果として地力の低下が指摘されている。

その一方、消費者サイドでは、農作物の安全という点から無農薬有機栽培農作物の人気の高まっている。行政的にも低投入持続型農業、生態系活用型農業、環境保全型農業など化学農薬、化学肥料の使用を抑制し、堆肥など有機物を活

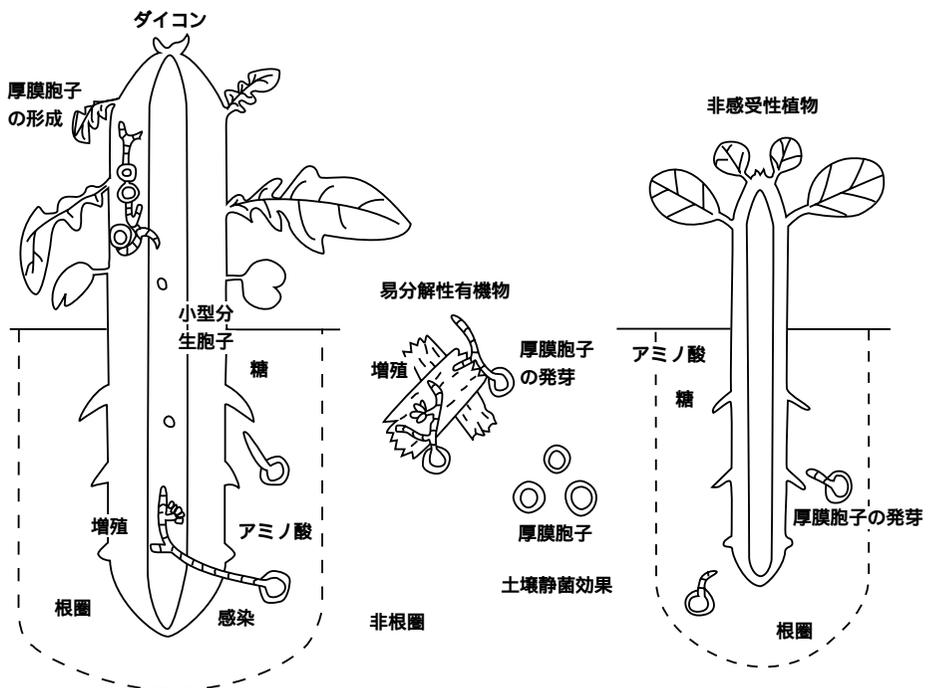
用する農業の確立が望まれている。こういった背景から有機物や土壌微生物を応用した土壌病害の防除法の確立が強く求められている。

しかし現状を見ると、拮抗菌など微生物による土壌病害防除法の開発は、土壌への拮抗菌の定着や効果という点で困難な壁にぶつかっている。微生物資材が数多く出回っているのに対し、その効果はいまひとつである。また、有機物の施用の効果も土壌や作物、病害の種類により異なるなど解明すべき課題が多い。

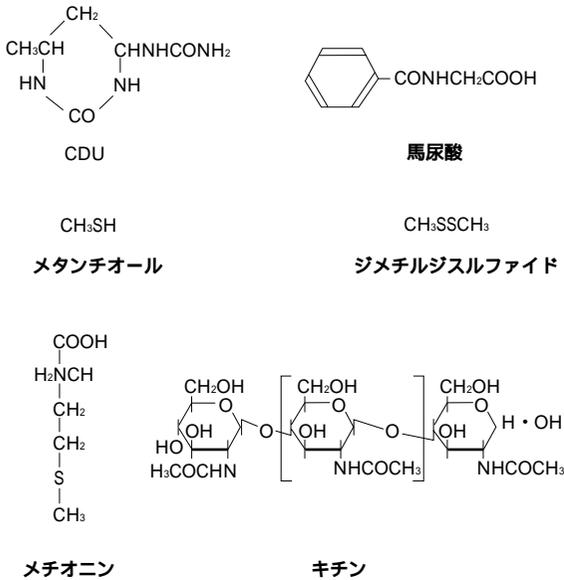
ここでは、主にダイコン萎黄病を例に、各種有機物による拮抗菌および病原菌の制御に関して得られた、いくつかの知見を紹介する。

(2) ダイコン萎黄病菌の生態

ダイコン萎黄病菌はフザリウム属オキシスポラム菌に分類され、その一分化型(ラファニ)である。フザリウム・オキシスポラムの仲間による病害はトマトの萎ちょう病、イチゴの萎黄病など数多くあり、同じく導管病であり、生態的にもダイコン萎黄病とほとんど同じと考えら



第1図 ダイコン萎黄病菌の生活環



第2図 有機物の構造式

れている。

ダイコン萎黄病菌は主に宿主であるダイコンの導管や罹病末期の根部の皮層で増殖し、ダイコンの組織崩壊とともに土壌に厚膜胞子として還元される。厚膜胞子は菌糸や分生胞子と異なり、他の土壌微生物の攻撃に耐え、土壌中に長い期間生存することができる。本病の発病枯死株跡土壌には、土壌1g当たり数万～数十万以上の病原菌が生存する。生存期間は、土壌条件によって異なるが、その半減期は数か月と推定される。しかし、厚膜胞子は土壌1g当たり10個もあればダイコンを十分発病させることができるので、10年近く生存できると考えてよい。

ふだんは土壌静菌効果のため発芽せずじっとしているが、ダイコンの根が伸びてくると、根から分泌される糖、アミノ酸などに反応し、発芽し、これらを利用しながら伸長し、根の先端部分から導管に侵入する。このときに宿主の特異的な抵抗にあうが、これを打ち破り（あるいは回避し）、導管内で菌糸、分生胞子として増殖し、宿主を発病させる。発病末期には抵抗力の失った宿主の皮層組織にも侵入・増殖する。抵抗力を失った宿主は、土壌微生物の進攻にさら

され、腐敗・崩壊する。この中でダイコン萎黄病菌は再び元の厚膜胞子となり、土壌に還元される。以上が基本的なダイコン萎黄病菌の生活環である。

これ以外に、腐生的な生活がある。病原菌が生存する土壌にグルコースなどの易分解性の有機物が添加されると、厚膜胞子は発芽し、他の土壌微生物とともに、この有機物を吸収・利用しながら増殖する。また、宿主以外の植物の根圏においても、その分泌する栄養物を利用して発芽管を伸長させるが、その栄養物は限られ、顕著な増殖までは至らないと推察される。しかし、病原菌の長期生存の原因となる可能性は否定できない。

(3) 病原菌の選択的な抑制

土壌病害の防除法の一つとして薬剤による土壌くん蒸がある。土壌くん蒸では、殺菌剤が土壌中でガス化し、微生物を無差別に殺してしまう結果、土壌が一時的に無菌状態になり、病原菌にとって栄養豊富な培地と化す。この結果、下層土などに潜む残存病原菌の異常増殖、あるいは土壌の持つ発病抑止能が失われることによる発病の助長が起こり、期待したほどの効果が得られない場合もある。

薬剤による選択的な抑制法としては、ピシウムなど藻菌類に対するメタラキシル、根こぶ病に対するPCNB、フルスルファミド、立枯病などリゾクトニアに対するメプロニルなどがある。しかし、これらはダイコン萎黄病などフザリウム病にはほとんど効果が無い。また、これら薬剤による防除は、病原菌の耐性菌化、農薬の土壌残留を起こす危険を有している。

筆者らは、化学薬剤ではなく、糖やアミノ酸、核酸、脂肪酸など自然物による、ダイコン萎黄病菌など有害微生物抑制の可能性を検討した。その結果、

糖やアミノ酸など易分解性の有機物はそのほとんどがダイコン萎黄病の発病を著しく助長した。そして、その原因はこれらが病原菌のエサになり、病原菌の密度を著しく高めることに

第1表 キチン添加による各種微生物数の変化(駒田)

処理後 (週)	全糸状菌 × 10 ⁴		<i>F.oxo.</i> × 10 ³		全放線菌 × 10 ⁵		拮抗性放線菌 × 10 ⁴	
	無添加	添加	無添加	添加	無添加	添加	無添加	添加
0	23.6	23.6	8.6	8.6	23.5	23.5	9.7	9.7
1	13.1	1,518	5.8	0.8	21.8	8,500	7.4	1,980
2	31.7	7,447	4.1	0	17.1	200,000	9.7	490
5	14.5	5,340	3.2	0	12.3	11,700	8.9	117

注 単位：土壌1cc中の菌数

F.oxo.：フザリウム・オキシスポラム菌

よるものと推察された。

しかし、アミノ酸の一種であるメチオニン
を土壌100g当たり50mg施用し、ダイコン萎黄
病の発生を検討したところ、本病の発生を顕著
に抑制した。メチオニンはタンパク質の構成成
分で硫黄を含む含硫アミノ酸の一種である。人
間にとっても重要な必須アミノ酸として知られ
ている。

メチオニンを施用した土壌からは、有機硫黄
化合物様の臭気が認められ、ガスクロマトグラ
フィーによる分析の結果、ジメチルジスルファ
イド、メタンチオールが検出された。メチオニ
ンを施用した土壌の微生物相を希釈平板法によ
って調査したところ、ダイコン萎黄病菌を含む
フザリウム・オキシスポラム菌の密度が特異的
かつ顕著に低下していた。しかし、他の微生物
の密度はあまり変わらなかった。メチオニンに
代えて、メタンチオールやジメチルジスルファ
イドを土壌に等量添加し微生物相を調べた結果、
メチオニンと同様にフザリウム・オキシスポラ
ム菌密度の特異的かつ顕著な低下が認められた。

以上から、メチオニンの効果は、メチオニン
の微生物分解に伴うジメチルジスルファイドや
メタンチオールの発生、さらにこれらの物質に
よるダイコン萎黄病菌を含むフザリウム・オキ
シスポラム菌密度の低下によるものと考えられ
た。

このメチオニンによるダイコン萎黄病の発病
抑制効果は圃場試験でも認められ、またホウレ
ンソウの萎ちょう病(病原菌は同じフザリウ
ム・オキシスポラム菌の異なる分化型)にも効
果があることも明らかになった。

第2表 キチン添加によるダイコン萎黄病防除効果
(駒田)

処 理	処理時 の菌数	7週間後 の菌数	罹病個体率 (%)	罹病 指数
キチン添加	8,659	46	0	0
無 添 加	8,577	8,855	100	7.9

注 単位：風乾土1g中フザリウム・オキシスポラムの数

(4) 有用微生物の選択的な増殖

土壌中の微生物は、環境条件やエサとなる栄
養源の種類・量によって、その主体となる微生
物の種類・量が変わってくる。たとえば、好気
的な環境下では好気性微生物、嫌気的な環境下
においては嫌気性微生物、酸性土壌では糸状菌、
中性では細菌、放線菌、腐植など難分解性有機
物の多いところでは放線菌など一定の傾向があ
る。しかし、特定の有用菌のみを選択的増殖さ
せるという微生物の制御に関する報告は今のと
ころ少ない。

キチンによる放線菌の増殖

キチンやラミナリンを土壌に施用するとイン
ゲンの根腐病、キャベツの萎黄病の発生が減少
する。ミッチェルらによれば、これは土壌にキ
チンを添加すると、土壌中の放線菌が顕著に増
加し、土壌のキチナーゼ活性も高まり、病原菌
であるフザリウム菌を溶解するためとされてい
る。駒田らも土壌へのキチンの施用が放線菌や
拮抗性放線菌を増殖させ、その結果、フザリウ
ム・オキシスポラム菌を減少させ、ダイコン萎
黄病を抑制するという報告をしている。

ただし、キチンはカニ殻やエビ殻など含まれ
ているので、圃場には一般的に、これらを施用
することになる。これらにはキチンのほか、タ
ンパク質など易分解性の成分が含まれている。
すでに病原菌が生存している圃場に施用すると、

第3表 メチオニン等添加(0.05%)土壤の微生物相

処 理	<i>F.oxo.</i> ($\times 10^3$)	糸状菌 ($\times 10^6$)	放線菌 ($\times 10^6$)	細菌 ($\times 10^7$)
DL-メチオニン	1.1	1.6	8.3	4.6
ジメチルジスルファイド	1.2	2.4	10.0	4.1
メタンチオール	0.8	1.7	2.2	3.4
ジメチルジスルファイド	4.8	2.4	7.2	2.3
二硫化炭素	6.1	2.6	4.4	2.3
無処理	8.3	3.0	11.9	2.8

注 室内実験による。単位：cfu/g乾土

第4表 ポット試験によるメチオニン施用のダイコン萎黄病に対する発病抑制効果

処 理	供試株数	発病株率 (%)
L-メチオニン	50	2
D-メチオニン	50	10
DL-メチオニン	50	2
無処理	100	51

注 メチオニンは乾土当たり0.05%添加
ポット試験は透明かつ二重底を有するガラス容器に
土壤を詰め、恒温水槽に設置して行なった
ダイコン品種：耐病総太り，水温27℃，播種後30日
で調査

この易分解性の成分が病原菌のエサになり，発病を助長したり，期待した防除効果が得られないことがある。

CDUによる細菌，放線菌の増殖

緩効性肥料のCDU(クロトニリデンディウレア)は土壤病害に対し抑制効果を示すことが見出されている。CDUの施用に伴ってCDU分解菌が増殖し，この菌が病原菌の拮抗菌となって病害を抑制すると考えられている。現在までアブラナ科の根こぶ病，キュウリつる割病(フザリウム・オキスピラム)，イチゴ萎黄病(フザリウム・オキスピラム)への効果が報告されている。

SYCによる放線菌の増殖

SYC(林化学)はセルロースを主原料にこれに窒素を付加した化合物である。したがって，化学構造的には，N アセチルグルコサミンのポリマーであるキチンに類似し，合成キチンと呼ばれている。外観は灰色がかった粉状でややアンモニア臭が感じられる。この資材を土壤に添加し，適当な水分，温度条件に保つと，放線

菌が爆発的に増殖する。この結果，土壤微生物活性(グルコース消失率)が高まり，同時に土壤中のフザリウム菌は減少する。

ダイコン萎黄病の病土にSYCを添加・混合後ダイコンを播種，発病に適した環境下で栽培し，無添加区と発病を比較すると，SYCを添加した区で発病が顕著に低くなった。この防除効果のメカニズムの一つとしては，SYCの添加が放線菌を増加させ，これが土壤のキチナーゼ活性を高め，ダイコン萎黄病菌を溶菌するということが考えられ，二つ目として，SYCの添加が根圏土壤の微生物活性(グルコース消失率)を高め，ダイコン萎黄病菌による感染率を低下させるということも考えられる。

このSYCの効果はダイコン萎黄病の圃場試験においても確認されたばかりでなく，ホウレンソウの萎ちょう病の発病抑制にも効果があることが確認されている。

馬尿酸による蛍光性シュードモナスの増殖

蛍光性シュードモナスは土壤病害の抑制，作物生育促進など有用菌として注目されている。

堀らによれば，蛍光性シュードモナス属細菌の選択培地の基質として用いられている馬尿酸ナトリウム(芳香族化合物)を土壤に施用すると，蛍光性シュードモナス細菌は1週間で顕著に増加し，2~4週間後でも菌数が維持された。蛍光性シュードモナス属細菌の全細菌に占める割合は馬尿酸ナトリウム施用で高くなり，蛍光性シュードモナス属細菌が選択的に増殖したことを示した。

また，コムギ根面の全細菌数に占める蛍光性シュードモナス属細菌の割合は馬尿酸ナトリウム施用により約1%~約10%に高まった。このように，蛍光性シュードモナスはエサにより制御されることが明らかとなった。

なお，馬尿酸は草食動物の尿に多量に含まれ，人の尿中にも少量含まれる物質である。

(5) メチオニンおよびSYC施用の実際および問題点

メチオニン

現在，メチオニンは家畜用エサの添加物(必

須アミノ酸)として生産販売されている。形状は粉状で弱い特有の香りがあり、25kg詰袋(価格:1995年11月現在1.9万円/25kg)として市販されている。

メチオニンには異性体としてD, Lの区別があるが、家畜体内ではいずれも代謝され、栄養的に差はない。土壌中での病原菌に対する効果もD, Lで差は認められない。

圃場では10a当たり20~40kg施用し、土壌と十分混和する。効果を高めるためには施用後、ポリエチレンフィルムで覆うことが望ましいが、必ずしも必要ではない。メチオニンを土壌に施用するとメチオニンが分解し、硫黄化合物独特の臭気が発生する。播種はその臭気が弱まってからが望ましいが、メチオニン施用直後でも播種は可能である。この場合、発芽とその後の初期伸長がやや遅れるときがある。したがって、播種は施用してから2日ぐらい後が適当である。収穫時の品質は良好で無施用と変わらない(ダイコン、ホウレンソウ)。

問題点としては、クロールピクリンなどと比べて効果が若干劣る。

SYC

圃場ではSYCを10a当たり100~500kg施用、直ちに土壌と十分混和する。放線菌はSYCをエサにして増殖し、その近傍のみに作用することが考えられるので、できるだけSYCの存在しない空白をつくらないことが重要と考えられる。またSYCには窒素が含まれるので、その微生物分解の過程で無機化される可能性があるが、その量はあまり多くない。

SYC施用直後でも播種は可能であり、収穫後の品質も良好で無施用と変わらない(ダイコン、ホウレンソウ)。

SYCはカニ殻のように易分解性の成分が混在していないので、防除効果は安定しているが、問題点としては、クロールピクリンなどと比較して効果が持続しないことや、価格がやや高いので、今後の企業努力に期待したい。

しかしながら、SYCは放線菌など有用微生物を選択的に増殖させる効果、病原菌を抑制する効果、有機物として土壌の物理性、化学性を改

第5表 現地圃場におけるメチオニンおよびSYCのダイコン萎黄病に対する発病抑制効果

処 理	発病株率(%)		
	調査月日	8月1日	9月7日
メチオニン(3kg/a)		3.5	46
SYC(50kg/a)		3.0	45
クロールピクリン(2l/a)		2.5	21
無処理		17.5	55

注 播種7月14日、調査株数は200株(8月1日)および150株(9月7日)

第6表 現地圃場におけるメチオニンおよびSYCのホウレンソウ萎ちょう病に対する発病抑制効果

処 理	発病株率(%)
メチオニン(4kg/a)	14.5
SYC(50kg/a)	23.0
無処理	36.5

注 播種7月20日、調査8月17日、調査株数は200株

善する効果、緩効性窒素肥料としての効果など多くの可能性を有している。さらには有機物中の+に荷電した窒素を利用して、陰イオン交換能を付与させることも原理的には可能である。この場合、硝酸イオンの溶脱を防ぐ有力な資材として期待できる。この多機能な資材として、SYCの将来性を期待したい。

(6) 今後の課題

土壌病原菌の抑制、農薬等有害物質の分解、生ワラなど有機物の分解、作物の生育促進など土壌微生物に期待することは多い。そのため「土壌微生物の制御」という研究課題が生じる。その研究の大きな一つの流れは“有用菌の探索・選抜とその増殖 土壌への還元”である。この方法は“抗生物質など有用物質の培養による生産”には大きな貢献をした。しかし、自然の土壌を利用する農業では必ずしも成功していない。これは一つには“探索・選抜した有用菌”が土壌や根圏に期待するほど定着しないことである。なぜ定着が困難かということ、土壌にはすでに微生物が定着していて、“よそもの”が入り込む余地“ニッチェ=生態的地位”がないからである。むりやり入るには“その環境において特に有利な能力”を持たなければならない。しかし、どんな能力をどのようにして有用菌に持

たせるかはなかなか困難な課題である。しかし、どうするか。それは“有用菌に有利な環境”をつくれればよい。“有利な環境”の一つが“エサ”である。“エサ”すなわち有機物の制御を通して有用微生物の制御を行なうことが本課題の目的である。

今後，土壤病害の有機物・微生物による制御技術を確立させるためには，以下のような課題の解決が必要と考えている。

- 1) 作物の根から分泌される栄養源の種類・量を明らかにする。
- 2) 作物の品種，生育ステージ，各種ストレスと根から分泌される栄養源の種類・量との関係を明らかにする。
- 3) 土壤溶液および土壤粒子表面のキチナーゼ活性，抗菌物質活性を定量的（バイオアッセイにより）に明らかにする。
- 4) 有機物の種類と増殖する微生物の関係を明らかにする。

5) 微生物生態系を有機物 = エサ，抗生物質（生育阻害物質など），各種酵素など物質を通して解明すること。

執筆 武地誠一（福島県農業試験場）

参考文献

- 大木道則ら編集．1994．化学辞典．東京化学同人．
駒田旦ら．1965．土と微生物．7，41-48．
滝下勤．生物防除と土壤病害．季刊肥料時報．350，44-49．
武地誠一．1991．有機物の施用とダイコン萎黄病の発病．平成3年度土壤微生物研究会講演要旨集．18．
堀ら．1994．馬尿酸ナトリウムの土壤施用による蛍光性シュードモナス属細菌の小麦根圏での増殖促進．平成5年度研究成果情報（関東東海農業）．121-122．
松尾卓見ら．1980．作物のフザリウム病．全国農村教育協会．