

養液栽培における有機物を活用した根部病害抑止技術

(独)野菜茶業研究所 篠原 信

はじめに

「青枯病に強い養液栽培の方法を考えてくれ」

そのような話が筆者のところに舞い込んだとき、正直、これは大変に難しいという思いがあった。微生物学の常識から考えれば、養液栽培は病原菌にとって極めて「都合のよい」、まん延しやすい環境だからである。

養液栽培では化学肥料しか使えないというのが、長い間常識とされてきたことであった。化学肥料しか養液に溶け込んでいないので、普通の菌が栄養源にできそうなものが養液の中に全くない。養液の中の有機成分といえは作物の根くらいのもので、病原菌だけが好んで栄養源にできるものがぶら下がっている状態である。普通の菌は生息が難しく、病原菌が好んで増殖できる環境。これでは、病原菌の侵入に弱いのも当然である。環境としては、病原菌を集積培養するために待ち受けているようなものである。化学肥料を前提とする養液栽培は、いわば、病原菌を培養するのに最適化された環境だといえる。

この意をさらに強くしたのは、筆者が土耕栽培用の拮抗菌を試したときである。筆者が独自に単離した、トマト青枯病用の拮抗菌を水耕栽培の条件で試してみると、青枯病を抑えるところかその逆に発生を助長するという結果となったのである。

この結果は、土での栽培とは異なり、拮抗菌の栄養源にできるものが作物の根しかないという過酷な環境になったために、拮抗菌自身がトマトの根にダメージを与えるのではないかと考えられた。このように、化学肥料しか用いない養液栽培では、本来有用なはずの微生物を、病原菌とはいわないまでも病気を助長する性質に変えてしまう、厄介な栽培方法だと思われたのである。

現在、様々な研究者や企業が、養液栽培の病原菌に対する脆さをカバーするための技術開発を進めている。養液を殺菌することが重要だという観点から、紫外線照射や光触媒、オゾン殺菌、加熱滅菌、銀イオン殺菌等、様々な殺菌技術が検討されている。しかし、それらの処理を施すと養液の組成に変化が出たりするなど、栽培に

悪影響を及ぼすことがあり、何より設置コストや運転コストが高いという問題が残されている。

さらにこの状況に追い打ちをかけているのが、環境問題である。近年は環境問題への意識の高まりから、肥料の残存する養液を廃棄することが問題視されるようになり、循環式養液栽培の導入が求められている。こうなれば、病原菌は養液の流れに乗って栽培槽全体に広がり、病気のまん延はさらに起きやすくなる。養液栽培は病原菌に対して、ますます脆くなることになる。ブレークスルーになる技術の登場が待たれているといえるだろう。

では、化学肥料を使った従来の養液栽培の何が問題なのだろうか。病原菌の侵入に弱くなるのは、養液内が「無機的」で「無菌的」だからだとまとめることができる。化学肥料しか使わないから「無機的」になり、普通の菌が繁殖できない。普通の菌がない「無菌的」な状態だから、病原菌がいったん侵入してもそれを抑える微生物がおらず、被害が拡大しやすいのである。

ならば、病原菌の侵入に強くするためには、養液内に豊かな微生物生態系を構築すればよいことになる。養液内に微生物生態系を形成するには、普通の菌の栄養源となる有機物が養液内に存在すればよい。そうすれば、養液内に多様な微生物が棲息し、それが病原菌の侵入を食い止めることにつながるはずである。

ところが、養液内に有機物を添加するということは、養液栽培で最もタブーとされていることである。主要な論文検索エンジンで“organic”と“hydroponics”の2語で検索すると、ほとんどが「養液から有機成分を除去する研究」であることがわかる。養液の中に有機成分が残存することは、栽培上大きな問題となるのだ。

その理由は単純である。日常生活の中でも経験するように、水の中に有機物があると腐った水になる。腐った水に作物を植えると根が傷み、うまく育たない。健全な生育を目指すには、養液内に有機成分が残存しないようにすることが大切なのである。養液栽培で使えるのは無機肥料（化学肥料）だけ、有機物を肥料に使うのはもってのほか、というのが常識とされてきたのはこのためである。

ここで、最初の問いに戻ることになる。青枯病などの根部病害に強い養液栽培技術を確立するには、大きく二つの選択肢があることになる。化学肥料で栽培するとい

Hydroponics using Organic Fertilizer and the Technique of Inhibition of Root Disease. By Makoto SHINGHARA

(キーワード: 有機物, 養液栽培, 無機化, 並行複式無機化法, 根部病害)

う従来の栽培法にこだわり、病原菌の侵入に脆い「無機的」で「無菌的」な条件を維持したまま、殺菌技術を駆使するなどして根部病害を抑える方法を見つけるアプローチが一つ。もう一つは、養液栽培で有機物を肥料に使えるようにし、養液内に微生物生態系を構築することである。果たして、どちらのアプローチの方が難しいのだろうか。これまでは、後者の実現が極めて困難と考えられてきたので、前者のアプローチをとる研究が多かった。だが筆者には、後者の方がむしろ容易ではないかと思われた。それは筆者がもともと、発酵生理学の分野出身であったことも関係している。

そもそも、土の栽培では有機肥料で問題なく栽培できるのに、なぜ土を使わない養液栽培では難しいのだろうか。それは、「腐る」と「無機化」の違いだということができる。この二つの現象の違いを、もう少し詳しく見てみよう。

I 「腐る」と無機化

水の中に実際にナタネ油粕などの有機物を入れてみると、数日で腐敗して強い悪臭が発生し、大量のアンモニアが検出されるようになる。これが「腐った水」の状態である。この水を使って養液栽培をすれば、ほとんどの作物で根が傷み、生育が極めて悪くなる。アンモニアも肥料成分として重要ではあるが、野菜などの多くの作物は好硝酸性植物であり、アンモニアが過剰に存在すると障害が出てしまうのである。腐った水では作物がうまく育たないのは、このためである。

では、有機肥料が使える土耕栽培では、有機物はどうなるのだろうか。有機態窒素がアンモニアに分解される場所までは同じ経過をたどり、土の中ではさらに硝化菌がアンモニアを硝酸に変えるという反応が進む。いわゆる、硝化反応と呼ばれる反応である。硝酸は作物の多くが問題なく吸収できる無機態窒素で、作物は正常な生育をすることができる。土耕で有機物を肥料にできるのは、有機物が硝酸にまで分解されるからである。

ならば、水の中で硝化菌を生息させることができれば、養液栽培でも有機物が問題なく無機化されるようになるはずである。ところが、水の中で硝化菌を活動させることが意外に難しい。それは、硝化菌は有機成分に極めて弱い菌だからである。大量の有機成分の曝露を受けると硝化菌は容易に死滅する。土の中では有機成分の被曝を回避できるが、水の中では逃れようがない。水の中では、有機物の分解がアンモニアまでしか進まなくなるのはこのためである。

これが大きな障害となって、養液栽培で有機肥料を利

用する研究がごとごとく失敗し、ほとんど論文化さえされていない。例外的な報告がケネディ宇宙センターの研究であるが、これも結論を言えば成功していない。宇宙ステーションでの長期滞在を実現するため、宇宙でも食糧を自給できる技術を確認しようというこの研究は7年も続けられた(ブレッドボードプロジェクト)(GARLAND et al., 1998)が、結局、有機成分の無機化がうまくいかないという問題を解決できずに終わった。このプロジェクトに参加した研究者たちは、その後、この研究を継続していない。それだけ、養液栽培で有機物を肥料に用いることは困難だと考えられたようである。

有機肥料で養液栽培するには、水の中でも有機態窒素を硝酸にまで無機化できなければならない。そのためには、硝化菌を水の中でも生息させることができなければならない。しかし、硝化菌は水の中に添加される有機成分で容易に死滅してしまう。この矛盾を解決しなくては、有機物を肥料にした養液栽培は確立できない。この矛盾を克服できる方法が、何かあるだろうか。

微生物学ではそれほど難しくない一つの方法が思い浮かぶ。それは、馴化培養と呼ばれる手法である。

II 水の中での硝化反応

馴化培養とは、微生物にとって毒性のある物質の添加量を抑え、徐々に慣れさせて耐性を獲得させる培養法である。この方法を使えば、多くの微生物が過酷な環境下でも生息できるようになる。硝化菌が有機成分の曝露に弱いならば、死滅しない程度の量の有機物を徐々に添加し、有機成分に慣れさせればよい。

その発想に基づいて実験すると、あっけなく成功した。方法は簡単である。無機化に必要な微生物を接種する目的で少量の土を水に加え、有機物の添加を少量ずつ毎日行い、その作業を2週間続ける。すると、2週間目には有機態窒素のほとんどが硝酸態窒素に無機化され、硝化菌を含む微生物生態系が水の中に構築される。このような極めて単純な方法でブレイクスルーできることが確かめられた(この方法は、日本酒の醸造法と共通点がある。他国の醸造法は糖を出発物質とするのに対し、日本酒はデンプンを出発物質とする。麹菌によるデンプンから糖への分解、酵母菌による糖からエタノールへの分解という二つの分解反応を同時に行う、世界的にも珍しい高度な技術である。二つの分解が同時に進むことから、日本酒の醸造法は並行複式発酵法と呼ばれる。本技術も、アンモニア化と硝酸化という二つの分解を同時に行うことから、並行複式無機化法と呼んでいる)。

硝酸にまで無機化した養液は、もはや作物の生育を阻

害せず、分解産物がスムーズに吸収されて良好に生育する。養液内に有機物を添加すれば、すぐに無機化が進み、作物に吸収される。養液栽培で有機物を肥料に用いることが、これで可能になったのである(篠原, 2006)。

サラダナやコマツナなどの葉物野菜、果菜ではトマトで有機肥料の養液栽培試験を行ったところ、収量、品質(糖度、ビタミンC、グルタミン酸濃度など)共に、化学肥料の栽培と差は認められなかった。葉物野菜では有機肥料の養液栽培の方が葉中の硝酸濃度が有意に低くなる。コーンステープリカー(デンプン製造工程の副産物)で栽培したコマツナでは化学肥料区(硝酸イオン濃度・約6,400 mg/l)の3分の1(同約2,000 mg/l)、鰹煮汁の栽培では8分の1(同約800 mg/l)、ナタネ油粕では600分の1以下と少なかった(同約10 mg/l)。これは、化学肥料が添加と同時に急速に吸収されて葉中に蓄積するのに対し、有機肥料区では有機成分が無機化して徐々に硝酸を生じるので、吸収された硝酸が同化されやすいためと考えられる。この点では有機肥料に分があるといえるだろう。

Ⅲ 根 の 特 徴

有機肥料で養液栽培すると、根に二つの特徴が現れる。根毛の発達と、バイオフィルムの形成である(口絵①)。

化学肥料による湛液式の養液栽培では、水中根といって、根毛のない根となる(中野ら, 2003)。しかし有機肥料で栽培すると、湛液状態の根にも根毛が密生する。

さらに、化学肥料の養液栽培では根が真っ白に裸出しているが、有機肥料を用いた栽培では根全体をうっすらとバイオフィルムが覆っている。バイオフィルムとは微生物が形成する群集構造のことで、これが根全体を覆う特徴的な構造となっている。

化学肥料の養液栽培では見られないこのような根の特徴が、根部病害の抵抗性にどのような効果を及ぼすのか。そこで次章のような実験を行った。

Ⅳ 青枯病の抑止効果

コーンステープリカーという有機肥料による養液栽培で、播種後2週間のトマト苗(品種‘ボンデローザ’)を定植し、3日後に青枯病菌を養液内へ灌注接種したところ、青枯病に発病する株が全く認められなかった(口絵②)。化学肥料の養液栽培では、青枯病の発病株が多数見られた。同様の試験を3回行ったが、いずれも有機肥料区では青枯病の発病株は認められなかった(篠原, 2006: 現在論文執筆中のため、データ省略)。

養液からの青枯病菌検出を試みた(原・小野選択培地

による希釈平板法)ところ、化学肥料区では少なくとも 10^6 cells/ml以上の青枯病菌が検出されたが、有機肥料区では全く検出されなかった。メカニズム解明を進めているところであるが、これは、有機肥料区には養液内に微生物生態系が構築されており、青枯病菌が生残しにくい環境を作っているためと考えられる。つまり、養液内を「有機的」で「微生物生態系」の形成された環境にすれば、病原菌の侵入に強くなる、という作業仮説が実証されたことになる。

また、その他の根部病害について検討しており、これまでに根腐れしたケースが見られず、根部病害の抑止効果はかなり安定しているように思われる。NFTシステム(養液栽培装置の一方式)でトマトやサラダナなどを栽培すると、化学肥料区では土ほこりの混入などにより根腐れの状態が生じやすいが、有機肥料区にその病変組織や養液を投入しても全く病気の発生がない。土で少々汚れた手で養液をかき回しても問題になることがなく、気楽に栽培管理ができるのが特徴である。清潔さの維持に気を配らなければならない化学肥料での栽培とは異なり、かなりラフな扱いが可能である。

Ⅴ 栽 培 の 手 順

実際の栽培手順をここで説明しよう。

この栽培では、栽培前に行う「水づくり期間」と栽培期間との二つに分けて考える。水づくりとは、水の中に有機成分を無機化する微生物生態系を構築することである。これがうまくいけば、栽培期間中に大きな問題はなくなるので、水づくりをうまく進めることがこの栽培方法の肝要な点である。

水づくりの最大のポイントは二つである。①有機物の添加を少しずつ行うこと、②添加作業は約2週間続けるということである。以下に、その手順を記述する。

1 水づくり期間

(1) 水に少量の土壌を添加(1l当たり5~10g)し、エアープンプなどで曝気する。

(2) 1日の有機物添加量を、水1l当たりナタネ油粕なら0.1g、鰹煮汁なら0.5g、コーンステープリカーなら1g以下で添加する(有機物の添加量は少ないほうが、硝化菌が死滅するなどの失敗が少なくなる)。この作業を2週間続ける(毎日でなく、隔日でも構わない)。

(3) アンモニア試験紙、硝酸試験紙でアンモニア濃度と硝酸濃度を測定し、変化を観察する。

(4) 水温が25度の場合、アンモニア濃度がピークを迎えたあたりから硝酸濃度が徐々に上昇し、約2週間で硝酸濃度がピークを迎えて水づくりが終了する。こう

なればいったん有機物の添加を止める*。さらに数日間曝気してアンモニア濃度を10 mg/l以下にし、硝酸濃度が安定したら栽培に適した養液となる。

水づくり期間を終了したら、そのままその養液を栽培に利用すればよい。

2 栽培期間

(1) 硝酸イオン濃度が100～400 mg/lの幅に収まるよう養液濃度を調整する。無機塩(カルシウム、マグネシウム等)の補強の目的で、カキ殻石灰(商品名:粒状セルカ)を1lの養液に10g程度加える。

(2) 作物を定植する。作物が養液になじんだ3日目あたりから、生育に応じた量の有機肥料を養液に直接添加する。有機肥料は養液内で随時無機化され、作物に吸収されていく。トマトの場合、第1花房が結実するまでは毎日、トマト1本当たり6～15 mgのNが供給されるよう、有機物を添加すればよい。サラダナなどの葉物野菜なら、1株で1.25 mg N、葉長が3 cmを超えたらその倍を加えればよい。カキ殻石灰は、可溶性の成分が失われ貝殻のような破片が目立つようになったら早めに追加する。

基本的にはこれだけの作業で作物の栽培が可能である。ただし、トマトの場合はカリウムの要求が大きいため、草木灰などを添加して補う必要がある。

VI 現在の病害抑制技術との対比

前章までに述べたように、養液栽培で根部病害を抑制するには二つのアプローチがある。従来通り化学肥料を用いた養液栽培を行い、紫外線照射などの殺菌技術と組み合わせる病害抑制を行う方法と、本技術が確立した、有機物を肥料とする養液栽培の方法である。この二つの方法は、それぞれどのような長所と欠点があるのだろうか。

前者の方法では、作物の生育に悪影響を与えない殺菌技術の開発が求められる。しかし最大の問題は、コストの問題であろう。殺菌装置は高額で、電気代などの運転コストもかかる。殺菌技術を実用化するには、このコストの問題を解決しなければならないだろう。これらの問題さえ解決できれば、これまでに築いたノウハウの蓄積を利用して収量の最大化を目指せる利点がある。

有機肥料を用いた養液栽培では、肥料を化学肥料から有機肥料に転換するだけなので低コストで済むのが大き

な利点である。養液栽培装置も従来利用されているものをそのまま利用することができるので、導入コストがかからない。問題点としては、まだ新しい技術であるため、ノウハウの蓄積をこれから行っていかなければならない点だろう。しかしこれは、今後研究を進めれば、解決できることである。

今後は、中間的なアプローチをとることも有効であろう。無理に肥料を有機物だけにこだわるのではなく、化学肥料で成分調整すれば、収量を安定にしながら根部病害を抑制することも可能になるだろう。

おわりに:本技術の今後

この技術を導入する際に、最も問題になるのが水づくりである。水づくりの際、有機物の添加量が多すぎると硝化菌が死滅してしまい微生物生態系が構築できない。添加量が少なすぎれば最終的な硝酸濃度が低くなり、栽培に用いるのに不適當になる。硝化菌を活かしながら、できるだけ高濃度の硝酸濃度に達するようにすることが必要である。筆者の試験では、硝酸イオン濃度を数千 mg/lにまで高めることができることがわかっている。ただし、有機物の種類によって添加可能な限界量に違いがあり、水温によって「水づくり」に必要な時間は変化する。これらの条件をすべて把握したうえで、どのような有機物を肥料に用いても問題なく水づくりが可能になるようにしなければならない。

現時点ではほぼ失敗なく栽培が可能と思われるのは、鰹煮汁やコーンステイプリカーなど液体の有機物である。ナタネ油粕などの固形の有機物で水づくりを行うには多少のノウハウが必要であり、今後、誰でも再現できる条件を明らかにする必要があるだろう。

また、現時点では青枯病菌の結果のみ言及したが、その他の根部病害についても詳しく検討し、その結果を報告していきたい。今後の発展を共に願っていただければ幸甚である。

引用文献

- 1) GARLAND, J. L. et al. (1998): Acta Hort. 469: 71～78.
- 2) 中野有加ら (2003): 園学雑 72(2): 148～155.
- 3) 篠原 信 (2006): 農及園 81(7): 753～764.

* 水づくりの終了後も有機物の添加を続けると逆に硝酸濃度が低下する。添加した有機物をエネルギー源として、脱窒菌が活動を始め硝酸を脱窒するためと思われる。硝酸濃度がピークを迎えた段階で、有機物の添加をいったん止めることが重要である。