

## 水耕栽培における大きな脅威 —水媒伝染性植物病原菌—

景山 幸二\*

〔キーワード〕：水耕栽培，病原菌，水媒伝染性，PCR，LAMP 法，病害診断

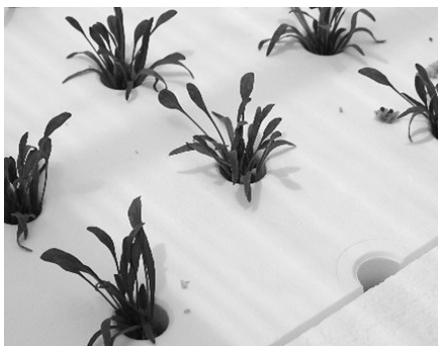
水耕栽培は広くは養液栽培と言い、土の代わりに水を使って野菜や花を栽培する技術です。栽培方式には色々な種類がありますが、基本は根から水に溶けた肥料を吸収させます。例えば DFT 方式といって発泡スチロールのパネルにウレタンなどで作った苗を差し込んで養液に浮かべる方法があります。究極は植物工場のように太陽の光さえ使わず室内で完全な環境制御をして栽培する方式です。自動環境制御が可能になり、これまでの土を使った栽培（土耕栽培）では考えられないくらい省力化が可能となります。また、これまでの土耕栽培では高温多雨、洪水、乾燥など最近頻出する自然災害にも左右されない栽培方法として注目されています。このような利点から長年の経験も必要とせず、脱サラして始める方もおられます。

水耕栽培のもう一つの利点は連作障害を回避できることです。同じ作物を連続して栽培し続けると障害が生じ品質や収量が悪くなる現象が連作障害として知られています。原因は微量養分欠乏や忌避物質の蓄積ともいわれていますが、多くが土の中にある根の病原菌（土壌伝染性植物病原菌）によるも

のです。土の代わりに水を使うことによりこれを回避し、いつも高品質のものを提供することが可能になります。ところが、土壌中では優占種となれなかった水で伝染する根の病原菌（水媒伝染性植物病原菌）が大発生して水耕栽培における大きな生産リスクになっています。

### 2. 水媒伝染性病害

水耕栽培での病気は一度発病すると同じ養液が循環しているラインで 1~2 週間で全体に広がり、大きな収穫の減少をもたらすため生産者にとっては大きな損失となります。水耕栽培での病原菌は土耕栽培でも発病を起こしますが、過湿状態であったり、植物が苗の段階であったり限られて時にしか病気を起こしません。しかし、水耕栽培では水の中で根が使った状態ですので病原菌が根全体に容易にとりつくことができることが原因の一つです。もう一つは、水媒伝染性病原菌は水中を遊泳する能力を持つ胞子（遊走子）を形成して拡散することができることです。土の中では遊離している水は少なく、この能力を生かすことができません。また、土 1g 当たり 10 億個以上生息している微生物には病原菌の生育を抑制する微生物も多く生息して病原菌の活動を抑制しており、管理された養液中ではそれら



ホウレンソウ

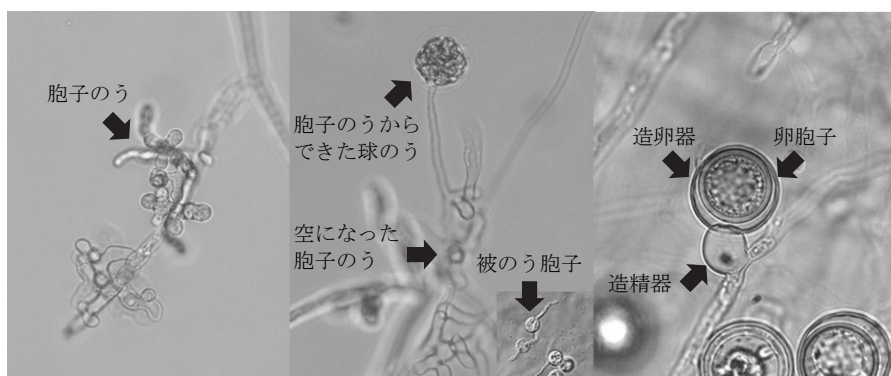


ホウレンソウ



ホウレンソウ (立枯病)

トルコギキョウ (根腐病)

図1 植物病原菌 *Pythium aphanidermatum*

を回避できます。

水耕では生産コストがかかるため栽培される作物はサラダ菜、ホウレンソウ、ミツバなどの集約的作物やトマト、イチゴ、花き類のように一株の単価の高い作物が周年栽培されています。夏期は高温によるストレスが大きく、一方病原菌には好高温性のものがあり、宿主植物の状態、水環境、高活性の病原菌という発病に必須な3要因がそろった条件になり発病が激化します。こうしてみると水耕栽培における病害は私たちが作っていると行って過言ではありません。

### 3. 水媒伝染性病原菌の生態

病害の対策を考える上では病原菌を十分に知らないといけません。水耕栽培における主要な植物病原菌は *Pythium* 属菌です。 *Pythium* 属は 200 種以上の多くの種を含む属で菌糸体を形成しますが、いわゆるカビと言われる真菌とは系統的に異なるストラメノパイル生物群の卵菌類に属しています。特徴

としては先に述べたように遊走子を形成します。遊走子は胞子のうからできた球のう内に形成され、水中を遊泳後、被のう胞子となり、被のう胞子は発芽して植物に取り付きます。また、有性器官として造卵器、造精子さらにこれらが受精して卵胞子を形成します。植物の雌しべと雄しべが受精して種子ができるのと同じです (図1)。

植物がいるときの菌の一生 (生活環) を見てみると (図2)、遊走子には2本の鞭毛があり前の鞭毛でかじ取り、後ろの鞭毛で前進している。根の表面につくと被のう化、発芽して根に感染します。感染すると根全体に菌糸が生育し、根が腐敗します。水が豊富にあると根の表面に胞子のうを形成し、胞子のうから球のうができ、球のうの中に遊走子ができ、水の中に放出されます。一方、根の栄養を取りすぎて吸収する栄養がなくなる (根が腐敗) と根の中で造卵器、造精子が形成され受精して卵胞子ができます。卵胞子は細胞壁が厚く外部環境や微生物に対して耐性があり、植物がなくても (根が腐敗して土の

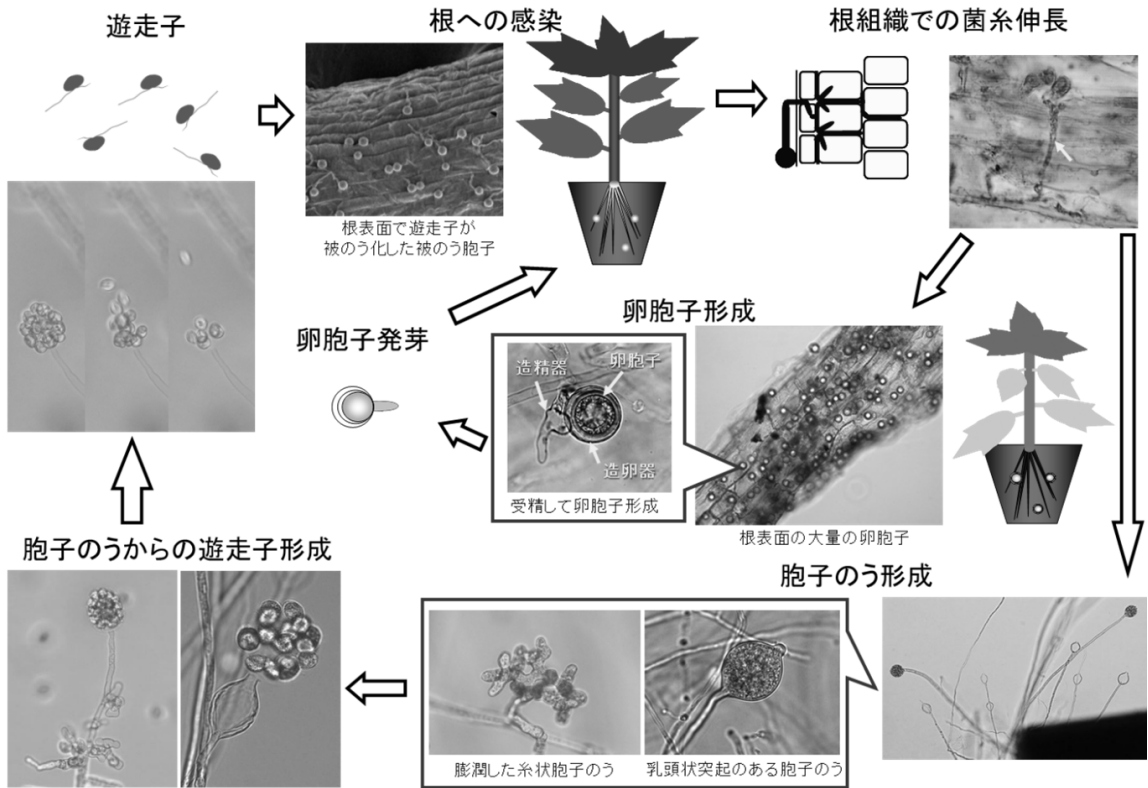


図2 水媒伝染性病原菌の生活環

中で分解しても) 長く生存します。10年生存していたという報告がある種もあります。そして次の機会、すなわち自分が病気を起こすことができる植物の根が来るまでじっと待っています。この卵胞子の生存能力が病害防除を厄介にしています。活発な時には遊走子で拡散、条件が悪くなると殻にこもってじっとしているということになります。

この生活環を見ると水耕栽培での病気は、栽培中の発病だけに注視すればいいということではないことを示しています。発病していない時にどこに潜んでいるかを考えてみるのが重要です。発病している時だけが病原菌の姿だったら、発病株を処理し(人間や動物と違い植物の病気は激発してしまった場合、一つ一つを治療することはありません。悪い言葉で言えば植物ごと殺処分です。), 栽培資材を消毒すれば済みます。ところが、環境に耐性のある卵胞子は栽培施設の周りに生存し施設内への侵入の機会をうかがっています。施設の出入り口や育苗施設の前の土から植物病原性 *Pythium* 属菌が検出さ

れています。また、異常気象による河川の氾濫により河川からの施設や灌漑用水が病原菌に汚染する可能性があります。実際に河川敷の土や河川水中には植物病原性 *Pythium* 属菌が検出されています。

#### 4. 病害対策

水耕栽培での病害対策では化学薬剤は使うことはできなく防除は大変困難です。さらに、病原菌の伝染能力は極めて高く瞬間に拡散するので、これまでの発病を確認してからの対処療法では被害を食い止めることはできません。今の新型コロナウイルスと同じように伝染経路を遮断することが対策のキーポイントです。専門用語で施設に侵入する元凶を第一次伝染源、侵入後に拡大するものを第二次伝染源と言います。まずは施設内に第一次伝染源を持たないこと、持込んでしまったら第二次伝染源の拡散を防ぐことが重要です(図3)。新型コロナウイルスも同様に外国から日本国内に持ち込まないこと(検疫)、持込んでしまった場合は封じ込め(ク

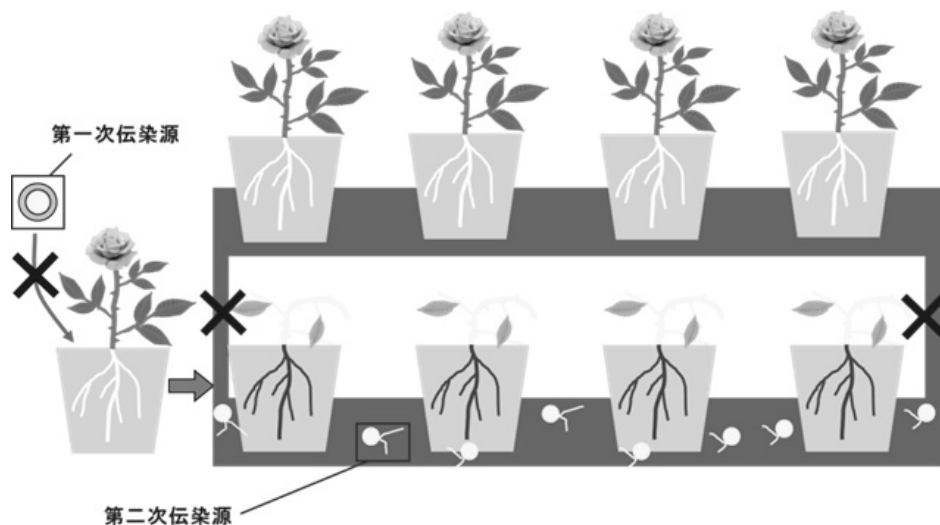


図3 病原菌の伝染経路の遮断

ラスト対策)を行うことになっています。

伝染源の遮断をするには病原菌の見える化技術が必要になってきます。*Pythium* 菌はウイルスよりもかなり大きいですが、肉眼で見えるものではありません。新型コロナウイルス検出で一躍有名になったPCRによる検出技術は*Pythium* 菌においても開発されています。近年は、PCR法よりもより簡便・迅速な方法としてLAMP法も開発されています。当研究室では水耕栽培で問題となっている*Pythium* 菌のPCRやLAMPによる検出法を開発しています。開発した技術を使って施設周辺の土の検査、水耕養液中の病原菌のモニタリングなどを行って、伝染源の特定を行うことで対策の大きな情報を提供することができています。

## 5. 研究事例

事例として最初の病害のところで写真を掲載したトルコギキョウの水耕栽培について、萎れの原因病原菌 *Pythium irregulare* による根腐病について、行動様式明らかにし、防除の視点が見えてきました。これまで、清潔に保たれている施設の中にいつどのようにして病原菌が侵入してくるか、発病はトルコギキョウの生育後期の開花期に発生しますが病原菌はいつから感染しているかは分かっていませんでした。そこで、侵入経路として施設内外のどこに病原菌がいるかを *P. irregulare* 種特異的 LAMP 検出法を確立して調べました。その結果、施設内外の土

中に生息しており、栽培施設の外にある苗を生産する育苗施設の前の土にも生息していることが明らかになりました。また、菌はいつ水耕栽培ベッドに侵入するのかを調べるため LAMP 法により水耕養液中のモニタリングを行ったところ、トルコギキョウを栽培終了ごとに栽培ベッドや栽培パネルを消毒しているのですが、次の栽培で発病が見られない生育初期から *P. irregulare* が検出されました。また、同じ定植時期の栽培ブロックで本菌が検出されました。前者は、消毒が不十分で菌が残存していること示しており、後者は、苗テラスから栽培温室への苗の移動作業に伴い病原菌が持ち込まれる可能性を示しています。この結果を踏まえ、温室周辺の作業の動線にある通路のコンクリート張りや土壌の飛散を抑制するための防草シート張り、栽培後の消毒の徹底を行うことにより発病を抑制できるようになりました。このように伝染経路を明らかにすることにより効果的な防除法を見つけることができました。

## 6. おわりに

新しい農業の一つの方向性として注目を集めている水耕栽培において導入の制限要因である水媒伝染性病害の対策には農業の原点に返った圃場衛生が最も効率的な対策であることが理解いただけたいと思います。これは、私たちの生活における感染症対策と全く同じです。新型コロナウイルスに

よる感染予防において衛生管理の重要性が広く認識されてきています。圃場衛生をより効率的に的確に実現するためには病原菌の検出が必須です。病原菌の検出に PCR や LAMP 法が開発されることによりこれまで困難であったことが可能になってきています。病害が発生した時の病原診断より一歩進んだ発病前診断による施設の安全性評価、発病後診断による病原菌のモニタリングといった総合的な病害診断が必要です。これにより、施設への侵入回避、侵入してしまった時の拡散回避といった防除法の確立が可能になり、過剰な化学薬剤の投与の抑制、防除費用の節約、安全・安心な持続型農業の推進に大きな役割を果たすことができます。また、この発展型の病害診断は、サービスを越えた新しいビジネスの可能性をも含んでいます。

## 7. 参考文献

- 1) Feng, M. et al. (2015) Simple detection of *Pythium irregulare* using loop-mediated isothermal amplification assay. FEMS Microbiol Lett 362: DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/femsle/fnv174>.
- 2) Feng, M. et al. (2018) Use of LAMP detection to identify potential contamination sources of plant pathogenic *Pythium* species in hydroponic culture systems of tomato and eustoma. Plant Disease 102:1357-1364.
- 3) Fukuta, S. et al. (2013) Detection of *Pythium aphanidermatum* in tomato using loop-mediated isothermal amplification (LAMP) with species-specific primers. Eur. J. Plant Pathol. 136:689-701.
- 4) Fukuta, S. et al. (2014) Development of loop-mediated isothermal amplification assay for the detection of *Pythium myriotylum*. Lett Appl Microbiol 59:49-57.
- 5) Ishiguro, Y. et al. (2013) Simultaneous detection by multiplex PCR of the high-temperature-growing *Pythium* species: *P. aphanidermatum*, *P. helicoides* and *P. myriotylum*. J. Gen. Plant Pathol. 79:350-358.
- 6) Kageyama, K. (2014) Molecular taxonomy and its application to ecological studies of *Pythium* species. J Gen Plant Path, 80:314-326.
- 7) Kageyama, K. (2015) Studies on the taxonomy and ecology of oomycete pathogens. J. Gen. Plant. Path. 81:461-465.
- 8) Li, M. et al. (2014) Monitoring by real-time PCR of three water-borne zoosporic *Pythium* species in potted flower and tomato greenhouses under hydroponic culture systems. Eur J Plant Pathol, 140:229-242.
- 9) Takahashi, R. et al. (2014) Development and application of a loop-mediated isothermal amplification assay for rapid detection of *Pythium helicoides*. FEMS Microbiol Lett 355:28-35.