

ISSN 2435-2314



Journal of Mycorrhizal Fungi

菌根菌 ジャーナル

2019

創刊号

No. 1



一般財団法人 日本菌根菌財団

目次

	頁
理事長挨拶 自然の恵み, 菌根菌とその仲間たち (石井理事長)	2
顧問挨拶 日本菌根菌財団への期待 (石川顧問)	4
来賓寄稿 機関誌「菌根菌ジャーナル」創刊号に寄せて (松井市長)	5
来賓寄稿 菌根菌が拓く世界と報徳思想 (鷺山社長)	6
寄稿 私の菌根菌の出会いと将来展望 (大林理事)	8
寄稿 農薬を使わない栽培法を目指して (松浦理事)	10
寄稿 食と農に係わる次代へ向けた問いかけと期待 (家政評議員)	12
寄稿 植物共生微生物「菌根菌」との出会いとこれから (徳山高専: 天内教授)	14
総説 野菜における菌根菌共生機能利用と環境ストレス耐性 (岐阜大: 松原准教授)	16
短報 アーバスキュラー菌根菌がクズの生長に及ぼす影響 (日本菌根菌財団)	25
資料 菌根菌, 特にアーバスキュラー菌根菌接種源の使い方 (石井理事長)	27
資料 菌根菌のための超簡単解説 (社納氏)	29
資料 安心・安全で持続可能な (3S) 作物生産 (Safe, secure and sustainable crop production) -真の緑の革命を目指して- (石井理事長)	31
活動宣言・財団役員等名簿	32, 33
総会報告	34
投稿規定・執筆要領	35
編集後記 (廣畑事務局長)	37
コラム(1)～(6) (石井理事長)	3, 7, 11, 13, 30, 33

自然の恵み、菌根菌とその仲間たち

一般財団法人 日本菌根菌財団理事長 石井 孝昭

皆様は、菌根菌という変わった名前の微生物がいるのに驚かれていますことと思います。この菌根菌という微生物は、カビ（糸状菌）の一つであり、4億6千万年前から植物の根に感染し、植物から光合成産物を得る見返りとして、植物の養水分吸収を促進させて、植物の生育を旺盛にするという「持ちつ持たれつ」の関係、つまり植物と「共生」関係を築いている微生物なのです。また、菌根菌には、この菌の中や、その周辺に生息しているパートナー細菌という仲間がいて、菌根菌と共働して、植物に病害虫抵抗性や環境ストレス耐性を付与しています。なお、このパートナー細菌は私たちの健康維持に貢献したり、公衆衛生にも効果があるのです。

このように、菌根菌とそのパートナー細菌は、安心・安全で持続可能な作物生産や環境保全などに役立つことから、新しい産業の構築や発展において極めて重要な微生物なのです。

さて、私が菌根菌の調査・研究をし始めたのは農薬会社を辞め、愛媛大学に赴任してからです。で、今から40年前になりますが、ちょうどこの頃、カルフォルニア大学のバークレー校の J. A. Menge のグループがアーバスキュラー菌根菌という菌根菌の実用研究をし始めたばかりでした。Menge らの論文を読み、独自に菌根菌を調査研究してデータを収集していたのですが、私の周りには誰もアーバスキュラー菌根菌を研究する人がいなくて、6-7年間、菌根菌の論文は報告せずに眠らしていました。しかし、Menge のところでアーバスキュラー菌根菌の勉強をされてきた元林野庁の小川眞さんに会うことができ、これまで私が集めてきた菌の全てがアーバスキュラー菌根菌であることから、自信をもって発表することができるようになりました。

その後、小川眞さんとは、一緒に、「VA 菌根菌（現在ではアーバスキュラー菌根菌と呼ばれています）」を地力増進法の中の政令指定土壌改良資材として認可が得られるように動き、今から約25年前の1996年10月、わが国で初めて微生物資材の中で、国のお墨付きがついたのです。

菌根菌やそのパートナー細菌を利活用した農業生産技術は、わが国だけでなく、すでに世界にも広く認知されてきています。しかし、わが国での拡がりはまだ遅々としたものでしかありません。このような状況を打破し、菌根菌とそのパートナー細菌を活用した作物生産技術や環境保全技術を普及させるための財団を発足させたいと思っていたところ、本財団の役員の皆様から賛同と支援を得ることができ、世界初の菌根菌財団、日本菌根菌財団を設立できたことを大変うれしく、かつ誇らしく思っています。

また、本年8月23日、本財団の祝賀会が開催された公益社団法人大日本報徳社の講堂は、二宮尊徳の報徳思想を心の支えとされた方たちによって建てられたとのことです。報徳思想は個の生き方を問うていると考えますが、二宮尊徳は「共生」という自然のメカニズムを心で感じ、「推譲」という考えを芽生えさせたのではないかと推察しているところです。報徳思想には、共生が息づいていると思うのです。日本菌根菌財団がわずか3か月という短期間で立ち上げられたのは、報徳思想が息づいている掛川の地であったからと思われてなりません。ありがとうございます。

ところで、本財団の発足は絶好のタイミングと言えます。例えば、1) 本年4月からの普通高校の新しい生物の教科書において、菌根菌の指導が入ってきたこととともに、2) 東京オリンピック・パラリンピックに向けて、選手村における食材が有機食材か、グローバル GAP 認証の食材でなくてはな

らないこと、さらに、3) EUや東京都は2020年から街路樹や公園での化学合成農薬の使用禁止を決議したことなど、菌根菌とそのパートナー細菌などを利活用しなければ、持続的な有機・自然栽培を実現できないということがあるからです。

本財団の活動として、1) 菌根菌の見える化技術を定着させて、菌根菌の働き方と使い方の普及・啓発活動を行うこと、2) 菌根菌とパートナー細菌を提供し、安心・安全で持続可能な作物生産技術や環境保全技術の確立や、バイオマスを用いた持続的な自然エネルギー生産、3) 未来を担う子供達や新たな研究者への支援などを行って参ります。

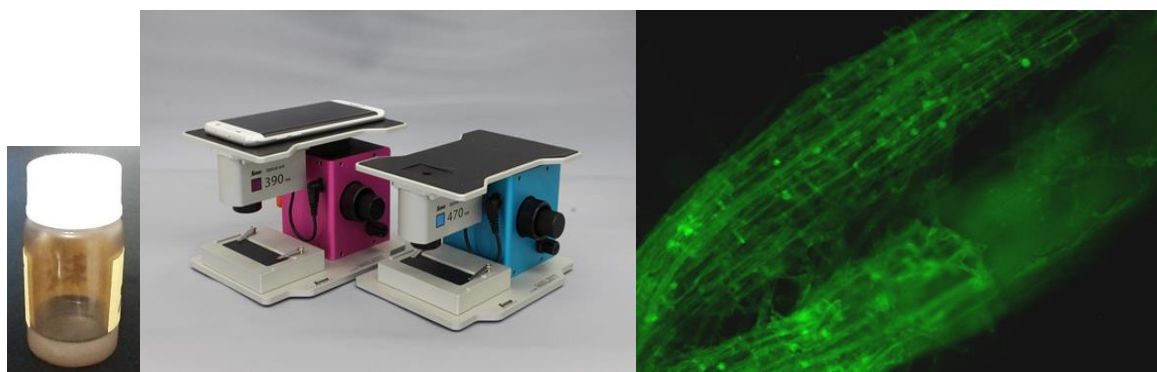
本財団の趣旨をご理解いただき、是非ともご協力をお願いいたします。

コラム(1): 菌根菌見える化技術

マツタケ、トリュフなどの外生菌根菌は肉眼で容易に観察できますが、全ての植物と共生関係を築き、作物生産の改善や環境緑化の推進などにおいて非常に重要なアーバスキュラー菌根菌(AMF)などの菌糸は透明で肉眼では見えないため、観察には時間がかかりました。

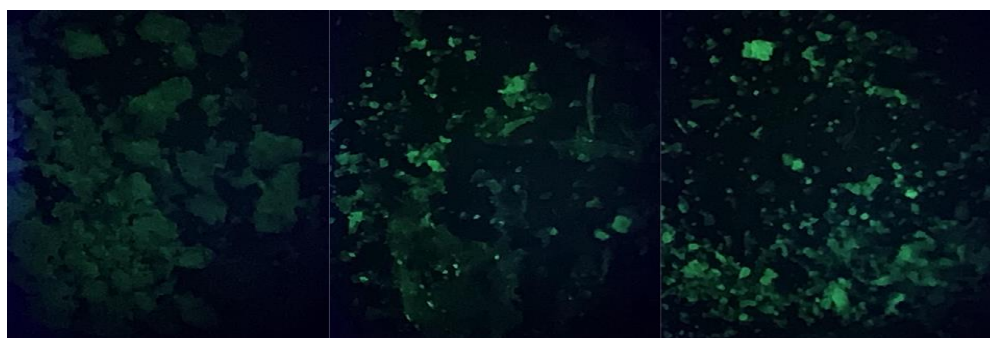
そこで、私たちは菌根菌しか持っていないタンパク質を発見し、このタンパク質の抗体にフルオレセインという蛍光物質を取り付けた菌根菌検査薬(第1図左)を作製しました。また同時に、携帯電話などで撮影できるハンディー蛍光顕微鏡(第1図右)も開発しました。これらを用いて、根の菌根菌共生状況(第2図)や土壌中の菌根菌の有無(第3図)を瞬時に観察できる画期的な手法を世界で初めて作り上げました。

本財団では、この菌根菌見える化技術を活用して、菌根菌の普及を図っていく予定です。



第1図 菌根菌検査薬と新開発の蛍光顕微鏡

第2図 キクの AMF 共生



第3図 土壌中の菌根菌の有無

左: 化学肥料・農薬使用の慣行栽培茶園, 中: 放任茶園, 右: 有機栽培茶園

日本菌根菌財団への期待

一般財団法人 日本菌根菌財団顧問 石川 嘉延

今年の五月初め、掛川市の小崎葛布工芸(株)社長の小崎隆志さんから「菌根菌の世界的研究者である石井孝昭先生が近く掛川に来られる。是非、会って話を聞いてほしい。菌根菌は、いつもの掛川特産の葛布産業の振興といった小さな話ではなく、人類のこれからの食糧確保に関わる重要な事柄ですから。」と強い要請を受けました。

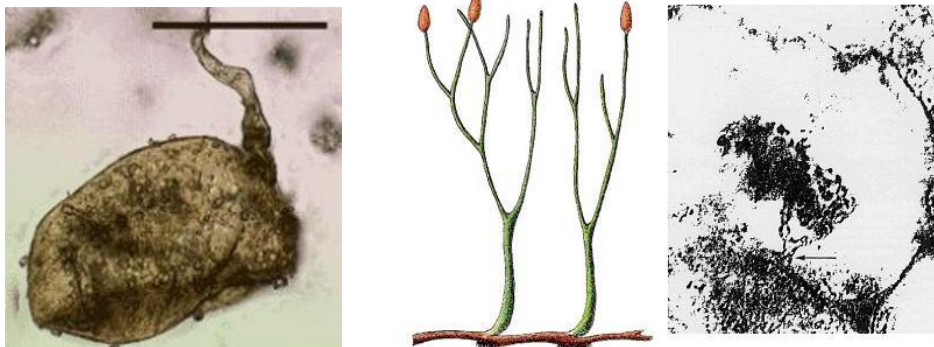
「キンコンカンならぬ菌根菌とはそんなに凄いものなのか」と半信半疑で石井先生にお会いし、お話を伺って初めて事の重要性を認識し、その場で私にできる範囲でのご協力をお約束いたしました。それを切掛けに菌根菌の研究、利用技術の開発と啓発普及促進のための財団設立の準備が始まりました。気宇壮大な組織の設立なので、実現までには時間がかかるものと思っていたところ、石井先生を筆頭に関係者の奮闘により、なんと驚くことに、わずか3か月も経たないうちに財団設立の認証を得て8月23日に発会式を迎えるという超スピード展開でした。さらに驚いたことは、発会式の参加者が掛川市内はもとより県内外多方面にわたっていたことで感動を覚えるとともに、改めて化学農薬・化学肥料万能ともいえる現代農業の弊害への危機意識の広がりを痛感したところです。

二十一世紀の世界的課題として、人口の爆発的增加問題があります。国連の今年のレポートによると、現在、77億人の世界人口は2050年には97億人、さらに今世紀末には110億人になると推計されています。これに関連して、食糧の量的質的確保に心配はないのでしょうか。

これまでの世界農業の生産性向上の動向と今後の技術開発などから量的には十分な供給が可能だという見解があります。しかし、化学肥料・化学農薬、遺伝子組換え依存の継続による量の確保の追及でよいのかといえ、地球環境の持続可能な発展や食の安全確保の観点から大いに問題あると言わざるを得ません。

ここに、太古の昔から植物と共生し、その生育を助けてきた菌根菌の機能に着目し、その利活用による農業の展開の緊急性・重要性はいくら強調しても強調しすぎることはありません。

今後多くの方々の賛同と協力のもと日本菌根菌財団を中心にしてその活動の輪が国内外に広がっていくことを切に期待するものであります。



化石調査から発見された太古のアーバスキュラー菌根菌 (AMF)

左：4億6千万年前の AMF 胞子の化石（横棒：50 μm）(Redecker et al., 2000) ,

中： *Aglaophyton major* という 4 億年前の植物 (<http://www.palaeos.com/>) ,

右： *A. major* の根内に形成された AMF の樹枝状体 (Remy et al., 1994)

一般財団法人日本菌根菌財団 機関誌「菌根菌ジャーナル」創刊号に寄せて



掛川市長 松井 三郎

日頃から、掛川市政につきまして多大なるご理解とご協力を賜り、厚くお礼申し上げます。

令和の新しい時代がスタートしたこの年に、貴財団が設立され、活動を開始されますことは、記念すべきことであります。新しい時代に相応しい潮流が生み出されることを、大変期待しております。

少子高齢化が進行する日本とは対照的に、世界全体では人口が増え続けており、その数は今後 100 億人を超えると言われています。これだけ多くの人の食を支えるために、食糧生産地の拡大や生産効率の向上、新たな品種の開発など、様々な取組が続けられています。途上国を中心として、耕作地の拡大のために、森林や手つかずの自然が失われ、地球規模での砂漠化や温暖化が進行している問題もあります。さらに、大量に使用される化学肥料や農薬は、環境汚染や耐性をもった病害虫による被害を引き起こすなど、科学技術の進歩がマイナスの面を作り出している点も受け止めなければならない状況となっています。

安定して食糧を生産し、限りある自然環境を次世代に引き継いでいくためには、環境負荷を減らした循環型農業を推進するなど、持続可能な社会を築いていく必要があることは多くの方が認識されていることであります。

このような状況において、菌根菌研究の第一人者である石井先生のような研究は、これからの持続可能な農業、林業へ大きな力となり得るものと感じております。

菌根菌により、土壌の改善や効率的な土中の栄養吸収などが行われ、環境改善につながり、ひいては有機栽培、無農薬栽培の一助となり、農産物の付加価値が上がることも期待できます。

これまで菌根菌は、リン酸吸収を促進する土壌改良材として政令に指定され生産されてきましたが、資材価格が高いことから、生産が伸び悩んでいる現状もあります。今後、貴財団の取り組みにより、資材価格が抑えられ、普及し、利用が促進されることを併せて期待いたします。

掛川市は、お茶が主要な農産物であります。国内の需要は伸び悩んでおり、お茶農家の経営にも影響が出ている状況です。しかし、海外に目を移しますと日本茶需要は輸出金額ベースで約 4 倍（2007 年～2017 年）の伸びとなっており、いかに海外へ売り込んでいくかが今後の課題となります。そして、海外の需要に対応するためには、無農薬や有機栽培といった「オーガニック」であることが条件といっても過言ではありません。この需要に答えるためにも、菌根菌は大きな役割を果たすのではないかと考えています。これは、海外需要に対応するだけでなく、先に述べたように、付加価値を上げることにもつながりますので、栽培に活かしていければ、掛川市の農業の活性化につながり、耕作放棄地、後継者問題など多くの課題解決につながるものと期待いたします。

結びに、菌根菌が農業、林業だけでなく、地球全体の環境保全につながることを願い、協働のまちづくりを進めている掛川市としても菌根菌の普及啓発などに力を合わせていきたいと思っております。

菌根菌が拓く世界と報徳思想

大日本報徳社社長 鷺山 恭彦

共生の大いなる力

野山の草木は、なぜ元気なのか。それは、菌根菌の活動によっているからだという。マツタケなどのキノコ類も菌根菌だが、4億6千万年前からのアーバスキュラー菌根菌は、どの植物とも共生して、植物から光合成の産物を得る見返りに、土の中に大きな菌糸ネットワークを形成し、効果的に土中の養水分を植物に供給している。更に、菌根菌は周辺や内部にパートナー細菌を持ち、この有益菌は、菌根菌の生長を助け、植物の病虫害防除、窒素固定、リン溶解の力をもっていて、植物の生長に大きく関係しているという。

石井孝昭教授は、土壌を徹底的に研究され、菌根菌のこの潜在能力を発見検証された。菌根菌は、病害虫への抵抗力をつけるだけでなく、植物に加わる環境ストレスに対して、耐性までも育むという。こんな魔法のような力を共生菌根菌は持っているのだ。あらためて自然がもつ不思議な力に驚かされる。しかし農薬と化学肥料は、菌根菌を絶滅させているという。

レイチェル・カーソン『沈黙の春』の警告

農業に農薬や化学肥料が使われるようになって久しい。レイチェル・カーソンは『沈黙の春』（1962年）で、「化学薬品を至る所にばらまいていながら、なぜ平気なのだろう。放射能に劣らぬ作用を遺伝子にくわえているのに」と警告した。

穀物畑がつづく丘の斜面には果樹がしげり、鳥がさえずり、四季折々野の花が咲く。川で釣り人が糸をたれ、鶏が土をついばみ、豚や牛が草をはむ。しかし、町の周りのこの豊かな営みに、ある時から異変が生ずる。鶏は変な行動をとり、牛や豚や羊も奇病で死ぬ。気候変動が起こり、渡り鳥も来なくなり、ミツバチの羽音もしない。人間も難しい病気にかかり、子供にも異常が起きる。生命の躍動する春は、沈黙したままだ——カーソンのこの警告は、今日ますますリアリティーを持とう。

「地球に生命誕生以来、生命と環境が互いに力を及ぼしあいながら生命の歴史を織りなしてきた」。大気、水、土、植物、動物、人間は、どれも有機的につながって、生命を享受し合ってきた。しかし「人間という一族が恐るべき力を手に入れ、自然を改変している」。この改変の仕方は、本当に正しいのだろうか、と。

荒地は荒地の力によって興る

二宮尊徳は「荒地は荒地の力によって興る」という。荒地の持つ根源力を人間がいかに掘り起こして活用するか。環境と生命の織りなす壮大なドラマへの参入の呼びかけでもある。こうして生まれた人間化された自然は、しかし、自然と絶妙に交歓している。里山の自然と文化はその典型だろう。

小学生の頃、近所に住む篤農家の方が、繋がった10キロものサツマイモを持ってこられたのを見て驚いたことがある。一本のツルから取れた見事なイモの連なりだった。丸山方作が苦労して編み出した「生理応用甘藷増収法」によって収穫したという。丸山式は「従来の密生の細いツルはだめ、太い大きな苗をつくり、倍の高さの畔にし、挿し方も斜め挿しをやめて水平挿しに、苗も採って3-4日貯蔵して発根を促し定植する」というもので、通常の何倍もの増収となった。

大日本報徳社では、戦中から戦後の食糧難の時、河合弥八社長の音頭の下、丸山式甘藷栽培法を広く勧めて、食料増産に取り組んだ。甘藷だけでなく、稲、麦の増収法が報徳実践家の間で競って研究さ

れ、実績をあげた。

やがて、1950 年代、化学肥料と農薬が登場し、即効性と病虫害の駆除に劇的な効果を上げる。収穫増と品質のよい作物を多く収穫できるようになったのだが、そこには農薬と化学肥料の持つ深刻な問題が孕まれていた。

こうした歴史をたどると、石井教授の菌根菌の活用提案は、丸山式生理応用甘藷増収法と同じく、植物本来の自然力を源とし、遺伝子組み換えなどと違った「天道と人道」の良き結合といえる。大自然に依拠する農の原点、環境と生命が行き交う人間本来の営みへの回帰である。

土への驚きと感激

菌根菌は私たちを驚異の世界に導く。土の持っている神秘と偉大さを思う。土は汚いものではない。そう思う私たちは、根源的なものへの感覚と感激を失っているのではないか。土の持つ神秘とその拓く世界を、私たちは子供たちも含めて、もっと共有すべきだろう。

財団の創立記念講演で石井教授は、「世界の農業は安心安全で持続可能な有機農・自然農へ——この大きな波がわが国の農業を変革する——」と展望を語られた。自然の神秘への驚きと感激は、真の社会進歩に直結する。「天つ日の 恵み積みおく無尽蔵 鋤で掘り出せ 鎌で刈り取れ」—菌根菌財団の活動が大きく発展していくことを期待している。

コラム（２）： 水稻においてもアーバスキュラー菌根菌（AMF）は水稻の生育を助け、生産性の向上に貢献する

「菌根菌は水中では生息できない、あるいは水生植物などでは菌根菌が感染しないし、菌根菌の効果が期待されない。」という情報が書籍やインターネット上で現在も流されていますが、これは明らかに間違っています。いろいろと野外に出て、しっかりと観察するべきです。石井ら（1996）はマングローブ内の植物、海草にも AMF が共生することを発見しています。水稻においても AMF 共生がみられ、AMF は無機養分不足の土壌などの劣悪な土壌条件下でさえも水稻の生育（例えば、分けつ数が増加するなど）を助け、生産性向上に貢献しているのです（第 1 図）。



第 1 図 水稻における AMF の効果

左：水稻（日本晴）（接種 45 日後）（施肥量は慣行栽培の 1/3），

中および右：水稻（コシヒカリ）（AMF 接種有機栽培水田）（2012 年 6 月下旬）

私の菌根菌の出会いと将来展望

一般財団法人 日本菌根菌財団理事
株式会社プラネット代表取締役 大林 修一

私は施設園芸農家の4代目として生まれ、30歳までは観葉植物生産をする父親の経営する農場で勤務していました。新しい品種の作出を父親が行い、私が組織培養という植物の細胞を無菌試験管内の寒天養液培地を使って室内照明下で植物を増殖することをしていました。1985年に筑波で国際科学技術博覧会が開催され、バイオテクノロジーのパビリオンのみどり館（三和銀行系のグループ会社）に細胞から植物が生長する過程の組織培養展示を請け負いました。そのような関係でこのパビリオンの出展企業グループの中から資本参加して日立造船さんが広島県因島に環境緑化資源開発センターを設立し、室内では生育がし難い和木を使ってハイドロカルチャーによる生産研究をされていました。私はハイドロカルチャー（礫耕栽培）での観葉植物の生産は25歳頃から行っており、そのような関係で時々訪問することもあり交流をしていました。そこでこの会社が、当時VA菌根菌（現在はアーバスキュラー菌根菌と呼ばれている）が根に感染すると耐陰性が増すという研究をされてこの名前を始めて知りました。また菌根菌は植物の空気浄化を旺盛にするということも聞きました。

その後、菌根菌を使うこともなく20年を過ぎ忘れていましたが、数年ほど前に照明を使った栽培である植物工場事業を始めていた頃に、アーバスキュラー菌根菌を使った水耕栽培を研究され修士論文を出したと言う内容を履歴書に書かれている人の採用を決め石井孝昭先生との出会いがありました。弊社は室内緑化事業が中心の会社ですが、屋上菜園や植物工場まで都市緑化、都市農業をグリーンサービス事業の領域で進めていましたので、自然界の菌根菌を利用してハイドロカルチャー分野でもオーガニック栽培ができることを知った時から現在まで夢が広がっています。

アメリカは有機オーガニック栽培が進んでいますが、畜産大国アメリカの糞尿処理としてのオーガニック栽培が推し進められているということを知りました。畜産に使う動物の餌は抗生物質やホルモン剤が多用されている話は良く聞きます。そうなれば糞尿にもこれら成分は出てしまい、それを使ったオーガニック野菜は、この成分が入ったものになってしまいます。これでは安心安全の野菜にはならないわけですので我々が使う肥料は、植物を使った液肥にしていこうということで、石井先生の指導を仰ぎ各種植物を使って、石井先生オリジナルのパートナー細菌（納豆菌であるバチラス菌が主体）を使い高温醸成させて有機液肥の製造をしています。昨年12月には製造特許を取得できました。現在は弊社の本社がある豊橋市はトマトの生産が盛んで不要な枝が多く出ますのでこれを主体に、マメ科植物などを混ぜて行っていますが、より良い有機液肥を作るための試験は続けて進化させていきたいと思っています。



第1図 菌根菌を利用した空気浄化植栽

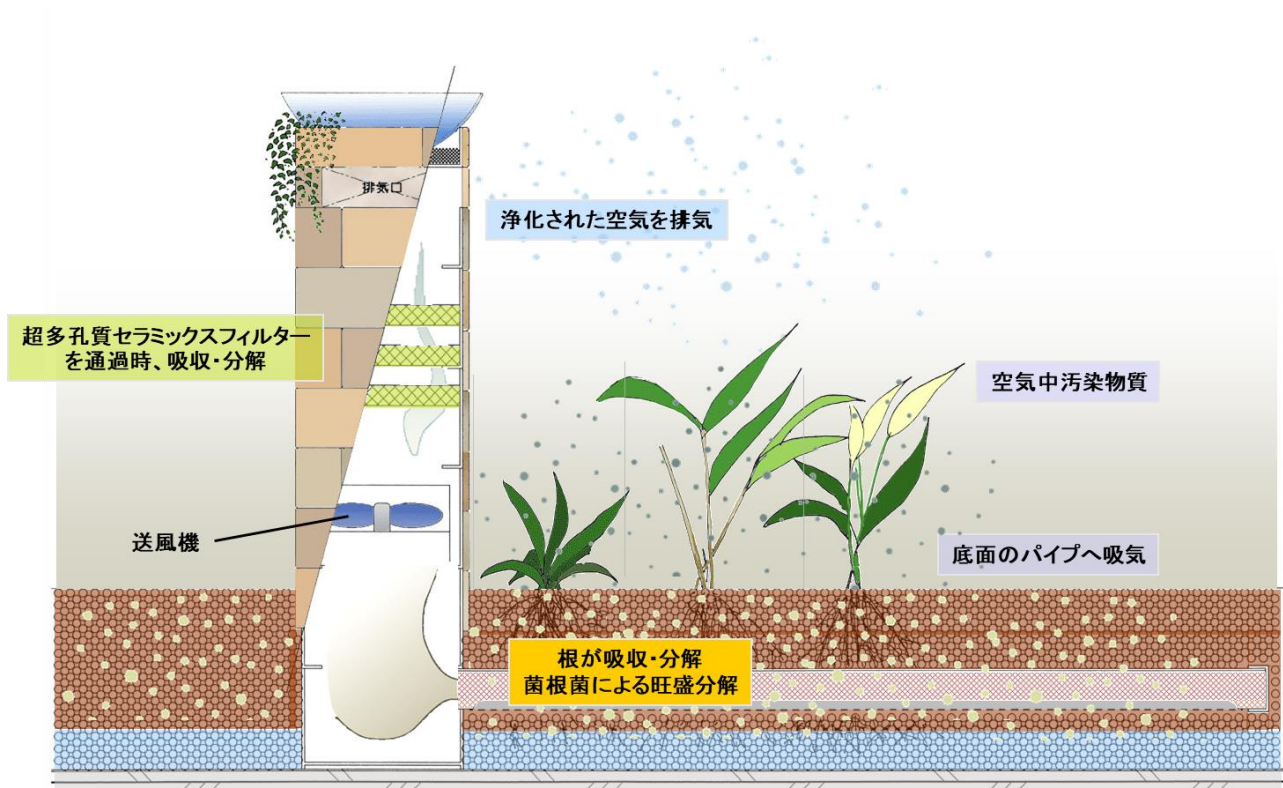
この植物性液肥が特徴ですので、商品ブランドとしては、「ナチュラルオーガニック」シリーズで、ナチュラルオーガニックハイドロカルチャー、ハイドロポニックス（水耕栽培）、ソイルカルチャー（土耕栽培）、ガーデン（庭）などの商標は取得しました。幅広く菌根菌を使った植物を広めて行きたいと

思っています。

現在、バイオフィリックデザインという、自然をビル内に取り入れて人の過ごす環境改善、健康増進をして行こうという取組が、WELL（健康ビル）認証を世界に広めているアメリカから広がっています。自然を取り入れるには多くの植物をビル内に入れる緑化が中心になりますが、農薬は絶対に使ってはならないというのも定義です。このような時代の流れの中で、自然界に生息する菌根菌付きの植物であるナチュラルオーガニックハイドロカルチャーは室内の空気浄化を図ることができるなど、室内緑化の分野で多くの指示を得られると確信しています。室内緑化は観葉植物だけでなく、LED 照明を使うことによって、花、野菜、ハーブなども室内装飾であり室内生産緑化としての利用も可能になってきます（第1図）。ここで菌根菌は力を発揮してくれます。

ビルの屋内は熱帯地でも寒帯地でも人の快適環境を調整しますので同じ環境です。したがって、屋内オーガニック緑化を確立すれば、世界に広められることになります。日本全国だけでなく世界に広められる菌根菌を使ったナチュラルオーガニック事業にしていきたいと思っております（第2図）。

日本菌根菌財団が人々に菌根菌の理解を広め健康社会を作る役割、意義は大変大きいと思っております。自然志向、健康意識の高まりが益々広がってきている時代になりましたので、着実に成功事例を広めてゆきたいと思っております。



第2図 菌根菌を利用したハイドロカルチャー空気浄化システム

空気中の汚染物質を植物の根が吸収し浄化された空気を供給します。

農薬を使わない栽培法を目指して

一般財団法人 日本菌根菌財団理事
室内緑化サービス代表 松浦 孝裕

筆者は、室内に 24 時間 365 日、一年中植物を育成できる空間を作っています。一般に、温室は加温するため、暑い場所と考えられがちですが、日本で周年植物を育てる、特に花のある植物を育てるためには、室内温度を調整する工夫をしなければなりません。したがって、夏は温度を下げるため、冬は加温のため、空調などの設備が必ず必要になってきます。ですから、温室というよりも光の入る空調された空間といった方が正しいかもしれません。

この空間は植物に合わせて温度をコントロールしていますが、実は人間にとっても快適な空間であり、高原の花畑をイメージしていただければよいのかと思います。



第 1 図 三島スカイウォーク スカイガーデン内の様子

花園の中では食事をしたり、買い物をしたりゆっくりくつろぐことができます。すべての植物はハンギングプランツで、高さ 5 メートルくらいのところから吊り下げられています（第 1 図および第 2 図）。テーブルは移動可能なのでコンサート、結婚式、ワーキングスペースなど様々な催事を行うことができます。植物は全て無機液体肥料で栽培されており、それぞれの鉢に自動供給されています。植物用の LED 照明を設置していますので遮光カーテンなどによって自然光が入ってこなくても、植物が育成できるシステムになっています。

昨年、宿泊施設などに利用できないかという問い合わせがあり設計をすることになりました。今までの栽培法では月に一回程度の薬剤散布をしていました。植物の病気に対しての殺菌と殺虫剤を利用するのですが、できるだけ農薬を使わないよう、微生物を使った防除を心がけるというやり方でした。いままでの施設は夜間営業があるものの 24 時間営業の施設ではありません。したがって、人がいないときに農薬などを撒くことができたのです。しかしながら、宿泊施設では人が途切れることがないので、農薬を使うことはできず従来型の方法ではできないという事になってしまいます。

そこで、石井先生にご相談し協力を仰ぐことになったのです。先生との交流は、10 年ほど前、京都府立大学大学院生命環境科学研究科に教授として在籍中、忌地現象でセンチュウなどが増殖した花菖蒲園の解決策としてアーバスキュラー菌根菌（AMF）が利用できないかを相談にお伺いしたのが始まりでした。先生は、大学敷地内の温室で有機水耕栽培の実験をされており、私はそこではじめて液肥で

も有機栽培ができることに気づいたのです。

植物園型の温室を利用した施設では、多かれ少なかれ消毒を行うのが通常です。農薬か農薬でないかは別にしても、何もしていないというところは、おそらく世界中にないのではないかと思います。温室は、自然界のように雨、寒さで病中害がなくなることがないからです。外からの空気をフィルターにかけ、人も含め出入り遮断をし、無機の溶液栽培をする植物工場型施設であれば無農薬栽培は可能かと思っています。



第2図 福島県飯館村道の駅「までい館」内の様子

筆者が作りたいのは、植物と動物（ヒト）が共存できる室内の世界です。同じ空間で植物・動物が寄り添いながら暮らせる持続性のある共生型の世界です。菌根菌とその周辺を学ぶことで、地面の中にいる菌根菌とパートナー細菌など 微生物との共存共栄関係も一緒に考えなければ、植物と動物の共存関係ができない事に気づきました。

今後は、菌根菌を利用した、世界初の有機液肥無農薬栽培をする室内型の施設として、世界に発信できる場所を花の世界だけではなく、お茶、イチゴ、メロンなどの作物でも作っていきたいと思っています。

コラム（3）：地力増進法で定められた菌根菌資材

1984年5月18日制定された地力増進法において、第11条第1項の政令で定める12種類の土壌改良資材の中に有益な資材として、VA菌根菌（現在、アーバスキュラー菌根菌と呼ばれています）資材が認められました。そのため、地力増進法で定められた土壌改良資材については、原料・用途・使用方法などを同法に定められたルールに従って、適切に表示する必要があります。しかし、一部の心無い会社・輸入業者がこの法に定められたルールを守らずに製造・販売していたり、海外から不正に輸入したりしています。これらの菌根菌資材は、わが国の土壌汚染を引き起こしますので、絶対使用しないでください。

食と農の係わる次代へ向けた問いかけと期待

一般財団法人 日本菌根菌財団評議員
(株)電通ライブ クリエイティブユニット次長 家政 寛

人類の持続可能性を問い、自然の叡智に習い、次世代への展望を広げる

「食と農」というテーマは単に産業領域に留まらず、日本の文化、風土、地域、習慣、生活、経済、技術、教育など様々な領域に連なる社会の根源を成すものと言えます。

1980年代後半から、「食と農」は人類の生存にとって、または地球にとって新しいテーマであるという認識が人々の間に急速に浸透したと思われます。英国では、「アースセンター」などのアグリテーマパークが生まれてきました。他にも関連する多くの実験的なプロジェクトが世界で始まりました。国内では、近年、アグリツーリズムやエコツーリズムが人気を集め、都市の中でも家庭菜園やガーデニングブームの広がりを見せています。また、有機栽培の重要性や遺伝子組み換え問題を背景に食の安心・安全性に対する意識が高まるなど、「食」や「農」を取り巻く様々な課題に対して人々の関心が注がれています。そして、近年、世界的な人口増大の中で食糧問題を背景にした世界的に広がるグローバルなテーマとしても「食と農」が捉えられています。

「食と農」というテーマに係る現代的意味、広がりなど踏まえ、教育的な側面も問われているものと考えられます。また、このテーマ領域に関しては、日本固有の様々な課題も含まれています。

日本ならではの価値と地域文化の発信へ

日本は世界で有数の多様な自然と協調した多様な農作物の栽培技術を持ち、次代の農業、食糧調達の具体的手法を世界に教え得る美質とノウハウを持つと言えます。かつ、日本は世界で有数の水資源、土壌資源に恵まれた国であり、農業生産に直結する資源のモニタリング技術、多様な食文化、食卓文化を持ち、自然界の恵みを喜びに変える知恵を有しています。

地域経済の活性化における農業の役割の重要性

戦後経済は基本的には競争社会であり、その結果、一極集中が加速されたといえます。21世紀は均衡ある経済社会の発展を目指し、地域経済をベースにした取り組みが必要です。農業のしっかりとした役割が位置づけられるべきであり、それは地域経済の活性化を促すものとなり得ます。

「地産地消」のこれから・・・

昨今、地域で生産したものを地域で消費する地産地消が至るところで進められています。「地産地消」は、農家だけでなく高齢者や子どもを始めとした地域の人々も農業に参加したり、学校給食で地域の食材を使ってもらったりすることで、新鮮で安心・安全なものを手に入れることができたり、自分たちが作ることに携わるので、モノを大切に作る心を養えるなど、人々の意識が変わっていくことも期待できます。さらにゆとりができれば、都市住民にグリーンツーリズムに参加してもらうなど、教育面での効果も考えられます。

認証活動などによるオンリーワンの地域創造をカタチに

人類の持続可能性を問い、自然の叡智に習い、今後、地球社会に対して何を成せるのか、その姿勢や理が問われている。食や農の分野においても様々な実験事業が行われ、それらを通して具体的な行動を起こす人材のネットワークにも発展しています。まさに「地域オンリーワン」の製品やサービスを開発し、それを積極的に地元のみならず他地域に受容させようと地域の自然資源、人的資源を高度に利

用し、知的に組み合わせたオンリーワンの地域創造をカタチにするのが次世代への課題でもあると考えられます。

まとめ：食と農の哲学「地産地消」と価値づくりの発展を

食と農の可能性を要約すれば、それは美味しいこと、安心・安全なこと、健康に貢献することであり、この三つの可能性の高度化を図ろうとしたとき、「地域で産したものを地域で消費する」という生産流通形態があり、改めて意味を持ててきます。

また、良質な森づくり、水づくり、土づくりが前提となる農業は、その取り組みそのものが、国土の安全保障に発展する良質な「農」と「食」の開発が、いかに持続可能な自然環境創造に寄与するかを、改めて広く発信すべきと考えます。

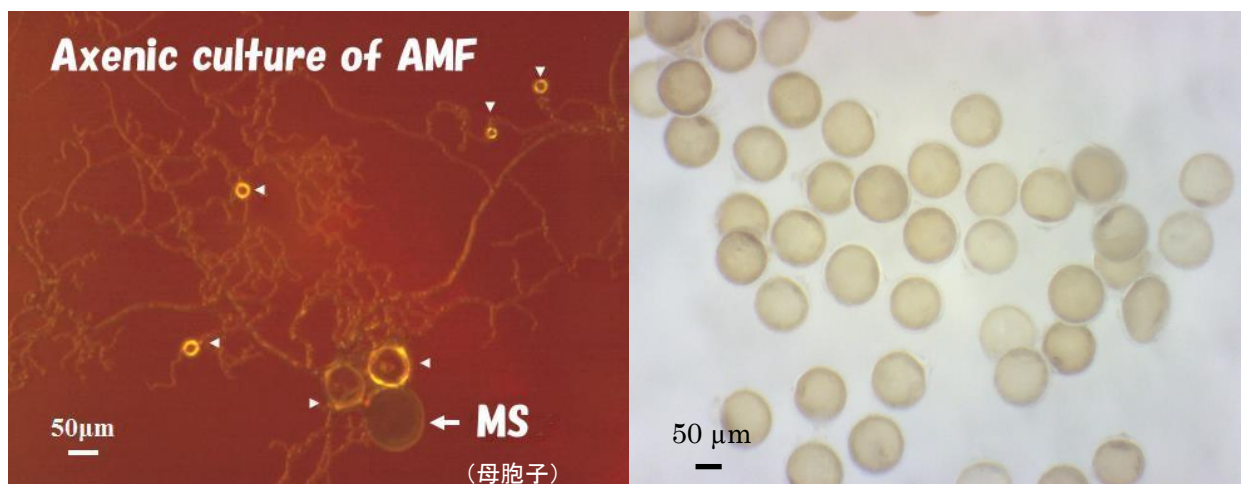
そのキーワードとしては、「みそぎ、匠、祭り」機能の再考と復権ではないでしょうか。みそぎは、自然の触れ直し、その恐れや力を知り直す機能。匠は、自然界の利子を有効活用し、有価物に変える機能です。祭りは、人間もまた自然の一部であることを再認識、集いあう喜びを交響させる機能でもあります。

地産地消の哲学をさらに発展させ、一次産業や新しい産業創出の可能性を地域や日本だからできることを発信し、グローバリズムと異なる価値創造の可能性を広げることを大いに期待をしています。

コラム（４）：世界初のアーバスキュラー菌根菌の純粋培養技術と菌根菌ジープバンク

菌根菌の純粋培養は不可能と言われてきましたが、私たちは今から 10 数年前に宿主の根を全く用いない人工培養基内で、数種類の AMF の純粋培養を世界に先駆けて成功しました（特許第 4979551 号, 2007; 特許第 6030908 号, 2012）。ただ、わが国の科学技術を振興する機関(JST) から今も「AMF (*R. irregularis* を使用) の純粋培養に世界で初めて成功」という記事が配信されています(11 月 25 日現在)。私たちの世界初の純粋培養技術を故意に隠蔽し、敬意も表さないことがあってはならないことです。

本財団は、*R. irregularis* (コラム 5 参照) や遺伝子組換え作物による汚染から正常な菌根菌を守るため、私たちの純粋培養技術を菌根菌ジープバンクの設立に役立てたいと思っています。また、この技術によってピュアな AMF 胞子を大量に生産できる方法もすでに確立しています。この胞子生産をさらに安価にできるよう、新技術の開発に取り組んでいるところです。



AMF (*Glomus clarum*) の純粋培養(左)と純粋培養によって生産されたピュアな *G. clarum* 胞子(右)

植物共生微生物「菌根菌」との出会いとこれから

徳山工業高等専門学校教授 天内 和人

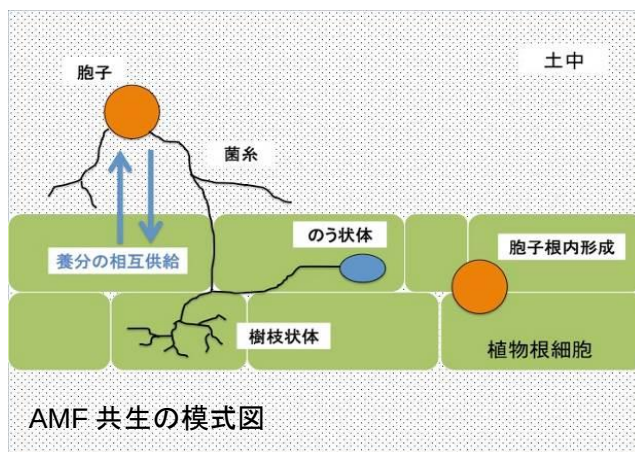
私は、北海道の小樽に生まれ、雄大な自然が残る大雪山の麓の街、旭川で育ちました。子供の頃、好きだったのは石狩川の支流牛朱別川から取ってきたカエルの卵を観察することでした。毎年たくさんのカエルの卵を集め、オタマジャクシをバケツの中で育てて、それがカエルになっていくのを観察していました。振り返ると奇妙な子供だったと思います。生き物に対する興味はさらに嵩じ、大学の理学部生物学科に進学し、昆虫の変態に関する研究で博士号を取得しました。私が大学院生であった1980年代は、分子生物学が著しく発展した時代で、私自身を含めた生物学の研究者達は分子生物学第2世代と言われています。この時代には、生き物を分子のレベルで解明しようという機運が高まり、遺伝子が全て解明されたら多くの生命の秘密が理解されるに違いないと信じられていた時代です。そこで私は1993年に生命科学分野では、日本の遙か先を進んでいた米国に留学し、ここで9年間にわたる研究生活を過ごし、分子生物学の最先端分野で研究を行っていました。その間にヒトを始めとした、様々な生物のゲノムが解明されるとともに、神経生物学も劇的に進歩して様々な謎が解明されていきました。

しかし、様々な謎が解明されると同時に、新たな謎がますます増加し、我々の予想に反し遺伝子配列の解明により分かったことは、遺伝子情報だけでは生物の仕組みはよくわからないという、ある意味で非常に皮肉な結論でした。もちろん、その後の遺伝子情報の解析技術の進歩により多くの事が解明されてきましたが、「生き物ってなんだ？」という本質的な疑問に迫るには、まだまだ情報が不足しています。

2002年に帰国し、ある大学で勤務したのち、山口県の高等専門学校に赴任して研究室を主催する立場となりました。そこで、今後どのような研究を行うかを考えましたが、それまでの研究も継続しながら、子供の頃の本質的な興味に立ち戻って「生き物」そのものを考える研究を始めたいと考えるようになりました。試行錯誤を繰り返している時に出会ったのが菌根菌です。

菌根菌は植物が陸上に進出する段階から植物根と共生しており、現在でも種子植物の大部分の陸上植物が菌根菌と共生していると言われています。

菌根菌は、適切な温度、水分条件下で発芽し、菌糸を伸ばし、菌糸が植物根と遭遇すると、付着器を形成して植物根内に侵入します。その後、菌糸は細胞間隙を伸張し、樹枝状体という植物と物質交換をするための器官を形成し、土中に菌糸を伸ばして、そこから吸収した養水分を植物に提供するので、そこから吸収した養水分を植物に提供するので、土中の菌糸は植物根よりも広い範囲に伸びるので、植物根だけでは届かない場所にある養分を獲得することを可能にします。また、植物に養水分を提供する代わりに菌根菌も植物から養分を受け取る、いわゆる相利共生微生物です。さらに、養分を貯蔵するための、のう状体という器官を持つ菌根菌も存在しています（図参照）。



最近、SDGsという言葉をよく聞きます。SDGsとは、2015年9月に国連のサミットで採択されたもので「Sustainable Development Goals（持続可能な開発目標）」の略です。SDGsは17の大きな目標と、それらを達成するための169のターゲットにより構成されています。その15番目の大きな目標として「陸の豊かさを守ろう」という事が謳われています。この目標は、持続可能な形で森林の管理、農業などによる乱開発により劣化した土地の回復、砂漠化対策、生物多様性の維持などを目的としています。

例えば、土木工事では、切土や盛土によって露出した地盤に緑化工を行う場面が多く存在します。この緑化工は、環境面への配慮というだけでなく、土粒子の結合、拘束による土砂の流失の防止、地表被覆による雨滴侵食の防止など、地盤を安定させるための重要な役割を持っています。ただ、緑化を行うべき露出した地盤は、乾燥が激しい、土壌が硬い、土壌の養分供給能力が低い、酸性やアルカリ性に傾いているといった問題を抱えている場合があります。このような問題を抱えている地盤で緑化工を行う際、植物を安定的に生育させるため、植物と微生物の安定的な共生による持続性のある生態的な緑化が用いられる場合があります。その具体的な方法として、政令指定土壌改良材であるアーバスキュラー菌根菌（AMF）による植生効果の向上が注目されています。AMFは植物根に感染し、土中のリン酸などの養分がより多く植物に取り込まれるようにする働きを持ちます。そのため養分が少ない土地での植物の定着生育を促進する事ができます。また水分の吸収も増進されるため、乾燥地盤に対する耐性も生まれます。さらにAMF共生による病虫害に対する抵抗性の増加も確認されており、他にも耐酸性、耐塩基性を増加させると推測されている種も発見されています。AMFがもたらすメリットは植物に対してだけではなく、土壌の団粒化が促進される、菌糸伸長によって根域土壌が安定し土壌浸食が防止されるといった地盤に対する効果もあるとされており、前述のSDGs No. 17を達成するため、劣化した土地の回復や砂漠化対策などに大きく貢献する事が可能です。

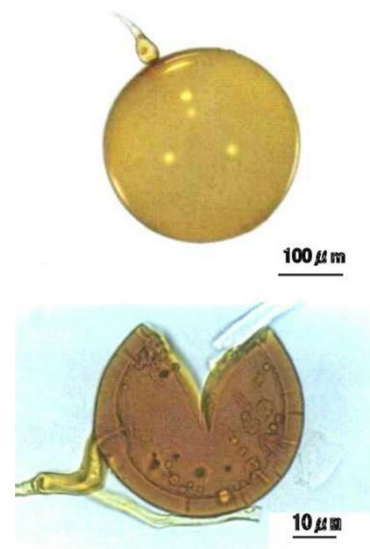
我々は、進化の過程で形成された土壌微生物と植物の共生関係を包括的に理解し、それがもたらすメリットを最大限に活用して、次世代に持続可能な社会を作っていく責務があると信じています。そのための最も有効な資源の一つが菌根菌であり、その活用技術の開発と利用の普及は喫緊の課題であることを信じ、今後も研究活動のみではなく、その活用の普及活動を展開して行こうと思います。この技術の一層の発展を願ってやみません。

AMF 胞子

上 : *Gigaspora margarita*

下 : *Glomus fasciculatum*

注)「のう状体」という器官を形成するAMFは、*Glomus* 属などの小さい胞子を作るAMFですが、*Gigaspora* 属などの大きい胞子を作るAMFでは菌糸が太いので、この菌糸内に養分をためることができるためか、のう状体を形成しません。



野菜における菌根菌共生機能利用と環境ストレス耐性

岐阜大学応用生物科学部 松原 陽一

アーバスキュラー菌根菌は植物の根に感染して共生生活を営む共生菌であり、土壌中の外生菌糸から吸収したリンを主とする無機養分を宿主に供給し、共生関係が成立した宿主生長を促進する。菌根菌は地力増進法により土壌改良資材として政令指定され、リン資源の有限性も背景としてその栽培利用が推奨されている。筆者はこれまでに、主に野菜栽培における菌根菌共生機能の利用と菌根菌と野菜の相互作用に関する検討を行ってきた。その中で、菌根菌共生野菜では、数種環境ストレス耐性（耐病性、耐塩性、高温ストレス耐性）が誘導されることが見出されている。本論では、主に野菜における菌根菌の接種効果について、環境ストレス耐性誘導を含めた検討事例を紹介する。

1. 植物体生長促進効果

分類学上の8科17種の野菜実生への菌根菌（*Glomus* sp., *Gigaspora* sp.）接種検定を行った結果、菌根菌感染は大部分の野菜で認められ、共生個体の多くで葉数、茎数、葉面積、根数の増加などを伴う乾物重増大といった植物体生長促進効果が確認された（引用文献1, 第1, 2図）。これらの接種効果は特にユリ科野菜において顕著であり、ユリ科野菜では他野菜に比べ側根数が少なく根系分布範囲が狭いので、養分吸収が制限されやすい場合に効果が大きく発現されることが示唆された。また、菌根菌の感染部位は側根に限られており、これには根の組織化学的形質の関連が示唆されている（2）。一方、感染率・生長促進効果には宿主・菌種の組合せによる差異が生じ、感染率と生長促進程度に相関性はみられなかった。また、野菜以外への菌根菌接種効果については、果樹ではリンゴ実生（3）・カキ実生（4）、花卉ではシクラメン（5）・サンダーソニア（6）、その他、チャ（7）、薬用植物（オタネニンジン）において同様に確認している。このように、菌根菌共生による生長促進効果は、育苗に長期間を要する作物の期間短縮、収量性の高い健苗の育成、肥培管理の効率化（リン肥料削減など）を図る上で有効となることが基本的効果として考えられる。

収量性における菌根菌接種効果の事例として、促成栽培イチゴのポット耕による高設栽培において、菌根菌をランナー採苗時に接種し、高設ベンチへ移植後の収量性評価を行った（8）。イチゴでは、菌根菌接種区で無接種区より生長が促進され、総収量についても果実重・果実数ともに菌根菌区で増大する結果が得られている（第3, 4図）。この場合、接種区では、特に促成栽培における果実単価の高い11月下旬～12月における大果収量が増大しており、接種区における果実単価の高い初期収量性の向上が収益性増加に貢献していると評価された。

菌根菌による接種効果の増強法について検討した結果、床土への炭化剤添加により、ネギでは菌根菌単独接種区よりも生長促進効果が増強され、根系における菌根菌感染部位の増加および感染域の拡大が確認されている（9）。一般に炭化剤粒子は多孔質であり、通気性・保水性といった物理性、塩基の放出といった化学性、微生物の増殖・活性を高めるといった生物性が総合的に効果へ関連することが知られている（10）。近年、間伐材を利用したバイオ炭の農業利用も温暖化対策として検討され始めていることから、それら炭化剤と菌根菌との併用も有効であると考えられる。一方、炭化剤以外にも、コーヒー粕堆肥が菌根菌による効果を向上させることも示唆されていることから（11）、産業廃棄物性資材の併用による菌根菌効果増強も有効と考えられる。



Glomus sp.

Gigaspora sp.

感染状態

第1図 菌根菌胞子と感染状態



アスパラガス



茶



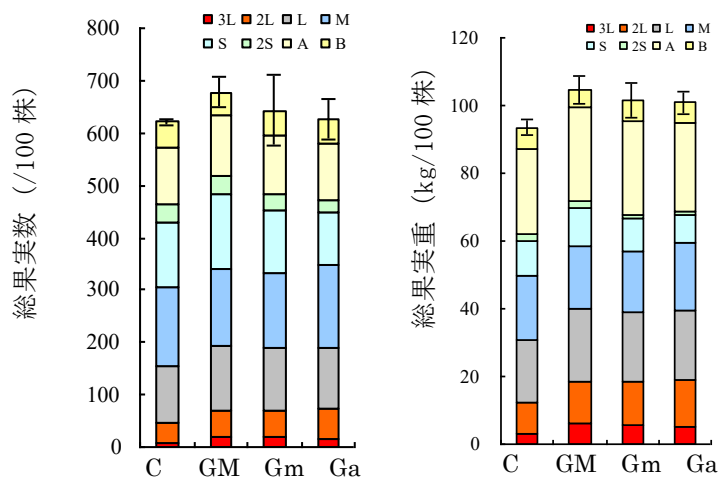
オタネニンジン

第2図 菌根菌による植物体生長促進

左：無接種区，右：菌根菌接種区



第3図 ポット耕によるイチゴの高設栽培および菌根菌による植物体生長促進
左：無接種区，右：菌根菌接種区



第4図 菌根菌共生イチゴのポット耕による高設栽培での収量性

C: 無接種区, GM: *Gigaspora margarita*, Gm: *Glomus mosseae*, Ga: *Glomus aggregatum*

2. 内生成分変動

菌根菌共生野菜では、植物体における無機成分含量の増大がみられ(12)、その他、遊離糖の増大(13)、遊離アミノ酸の増大(7,14,15)、薬効成分増大(オタネニンジン)などが確認されている。茶では、菌根菌接種により発根率や機能性アミノ酸(GABA)含量増大が確認されており(7)、成園化に長期間を要する作物の苗養成期間短縮・機能性成分増大が期待できると考えられている。このように、菌根菌による植物体生長促進といった量的効果とともに、内生成分変化による質的効果も付加価値化・高機能化といった側面で期待できることが示唆されている。

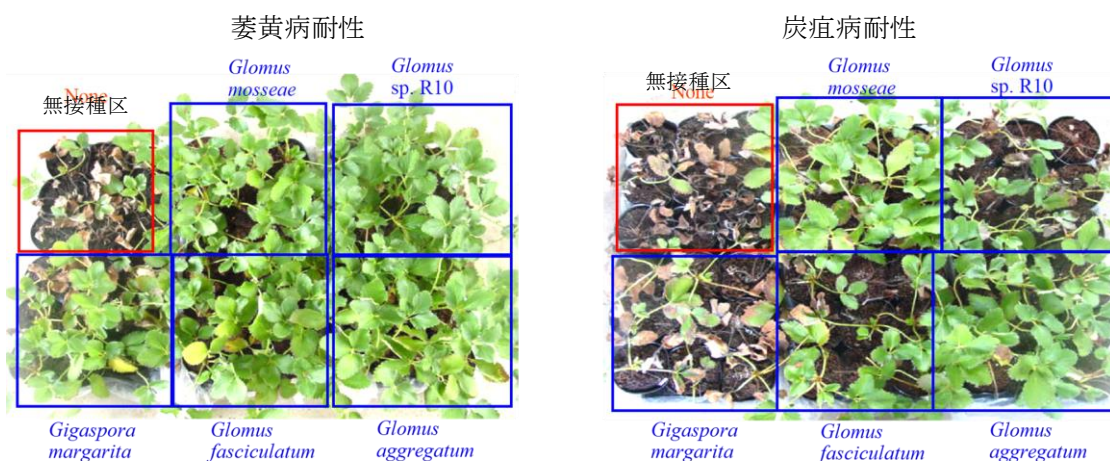
3. 環境ストレス耐性誘導

(1) 耐病性

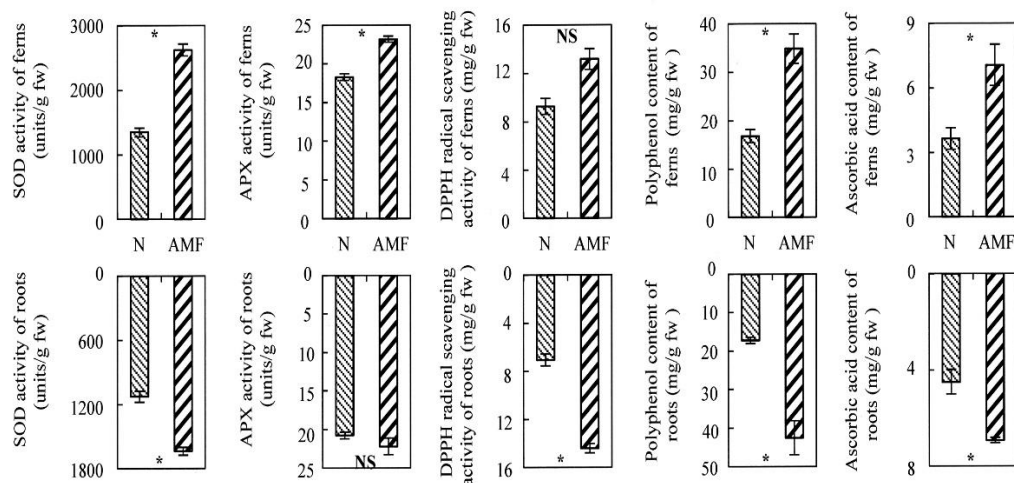
忌地現象・連作障害は、園芸植物生産において定植・改植後に生育不良、収量減少が発生する症状であり、野菜・薬用植物栽培では国内外産地において深刻化している(16)。忌地現象発生因子としては病害、アレロパシーといった生物的・化学的因子が主に示唆されているが、病害防除・植物生育改善を軸とした忌地現象軽減対策についての研究事例は少ない。菌根菌による作物病害の生物防除について国内では耐病性機構も含め知見が少ないが、ここでは、忌地現象・連作障害を背景とした筆者らの園芸植物における検討事例について紹介する。イチゴでは、菌根菌共生体で萎黄病菌増殖抑制効果を有する共生特異的数種遊離アミノ酸増大(GABA: γ -aminobutyric acid およびアルギニン)により、誘導抵抗性を伴う萎黄病・炭疽病耐性がみられている(17~19, 第5図)。同様の現象が菌根菌共生アスパラガスにおける立枯病耐性においても確認されている(20)。また、菌根菌共生による耐病性誘導と抗酸化機能(抗酸化酵素SOD・APX活性、抗酸化物質、DPPHラジカル捕捉能)増大との関連がイチゴ炭疽病(21)、アスパラガス立枯病(22, 23, 第6図)、シクラメン炭疽病・萎ちょう病(24)において報告されている。また、アスパラガスでは、菌根菌共生により病原菌接種下での数種SODアイソザイムの活性化も確認されている(25)。一方、組織学的側面として、アスパラガス根では菌根菌菌糸およびフザリウム菌は複相外皮(表皮直下の組織)の短細胞(passage cell)のみへ侵入する。これにより、菌根菌先接種による短細胞の優占化がフザリウム菌感染を抑制し、耐病性因子に関与することが示唆されている(26)。また、長細胞では短細胞より早期にスベリン化が進行して細胞壁が強固になり、菌根菌などの菌糸侵入が短細胞に制限されることが明らかになっている(27, 第7図)。一方、圃場試験に

よる実証試験では、菌根菌接種によりナス半身萎凋病防除効果、収量増、奇形果発生率低下、リグニン化促進(28)、多年生作物のアスパラガスにおける忌地現象・改植障害改善効果が確認されている(29)。アスパラガスの改植障害圃試験においては、ポット苗に菌根菌接種して養成後、改植障害圃(改植歴5回)に定植した。定植12週間後、対照区では発病・枯死による欠株率が60%程度と重度であったが、菌根菌接種区では対照区より低下した(第8図)。また、草丈および茎数は菌根菌処理区で対照区より増加する場合が多かった。一方、アスパラガスでは菌根菌とNaCl処理との併用により、耐病性誘導・植物体生長促進効果が増強される結果も得られている(23)。これらのことから、アスパラガス改植障害圃での菌根菌による病害防除法の有効性が示され、植物体初期生育促進面も含め、総合的植物生育改善効果が期待できると考えられている。

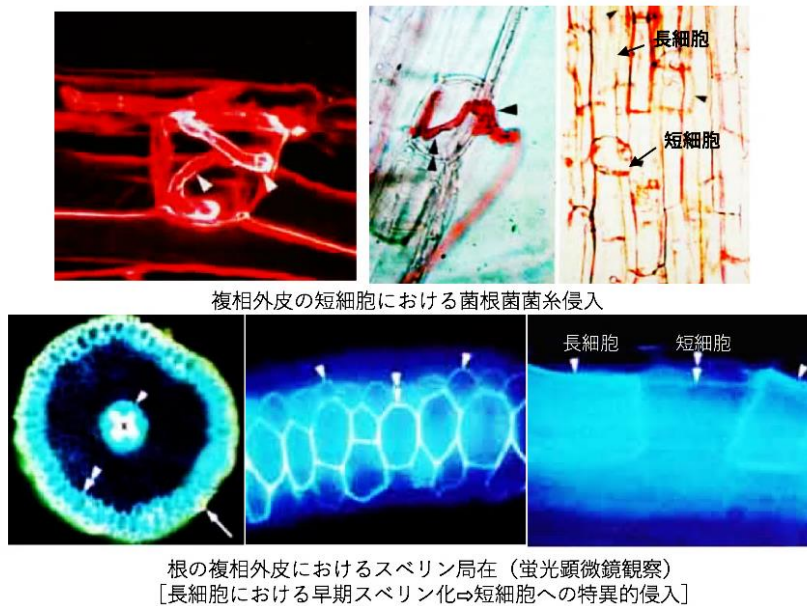
以上のように、数種園芸作物における菌根菌共生による耐病性誘導が確認されており、酸化ストレス応答に関わる抗酸化機能および遊離アミノ酸といった生理学的共通因子や、感染に関与する組織学的因子が耐病性誘導に関与することが示唆されている。



第5図 菌根菌共生イチゴにおける萎黄病・炭疽病耐性



第6図 立枯病菌接種8週間後におけるアスパラガスの抗酸化機能(SOD・APX活性, DPPHラジカル捕捉能, 総ポリフェノール・アスコルビン酸含量)に及ぼす菌根菌共生の影響 N: 無接種区, AMF: 菌根菌接種区



第 7 図 アスパラガス根外皮の短細胞における菌根菌感染およびスベリン局在



第 8 図 アスパラガス改植障害圃での菌根菌共生苗における植物生育改善
左：無接種区，右：菌根菌接種区

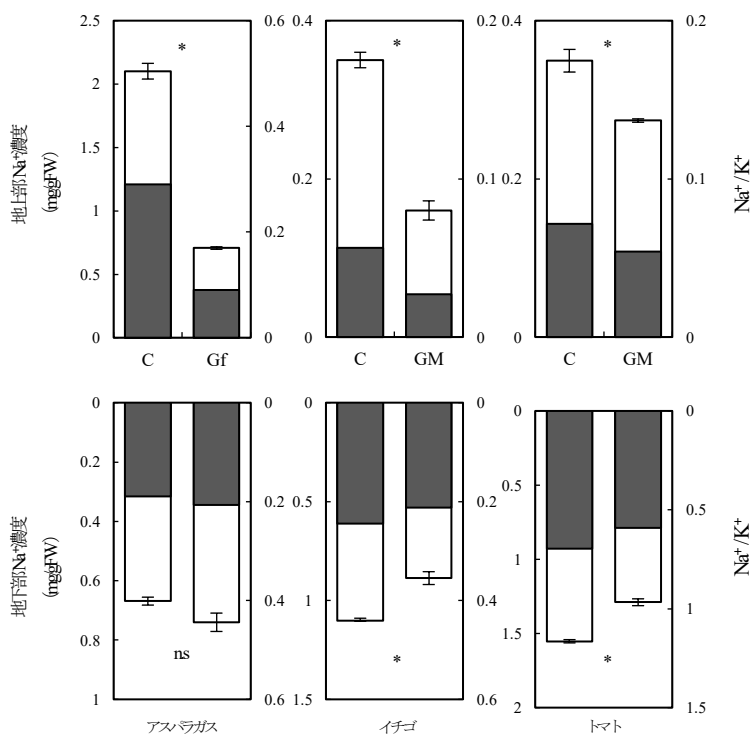
(2)耐塩性

塩害土壌における野菜栽培では、耕地の除塩に長期間・コストを要することから、耐塩性野菜の選抜・導入が検討されている。しかし、耐塩性を有する野菜の実用種は限定されることから、野菜の種類に制限されない野菜種低依存型の耐塩性付与技術開発が急務となっている。そこで、塩害土壌における野菜栽培法として、菌根菌による耐塩性誘導、植物体生長促進、収穫物高機能化を視野に入れた耐塩性野菜栽培技術についての知見を得るための検討を行った。一般に、土壌中塩類濃度の増大により植物体では塩ストレスによる生育不良などの塩害が発生する。Na⁺関連型塩ストレスは、主に高浸透圧ストレスとイオンストレス（Na⁺毒性、無機イオンバランス攪乱）に起因し、耐塩性にはこれらのストレス軽減が重要となる（30）。本研究では、塩処理下における数種菌根菌共生野菜での耐塩性誘導並びに器官・組織内での Na⁺分布を調査した。耐塩性が異なるとされる 3 種野菜（イチゴ、トマト、アスパラガス）に菌根菌接種し、塩ストレスとして NaCl 200 mM 処理を行った。その結果、処理下の無接種区では乾物重減少または茎葉部の黄化・褐変といった塩ストレスに起因する障害が確認された（第 9 図）。一方、菌根菌接種区では NaCl 処理下において乾物重増大または黄化・褐変の抑制といった生育改善がみられ、耐塩性強度における作物間差は特にみられなかった。植物体内の Na⁺含量は菌根菌区ではイチゴおよびトマトの葉・根、アスパラガスの地上部で無接種区より低下した（30～32、第 10 図）。

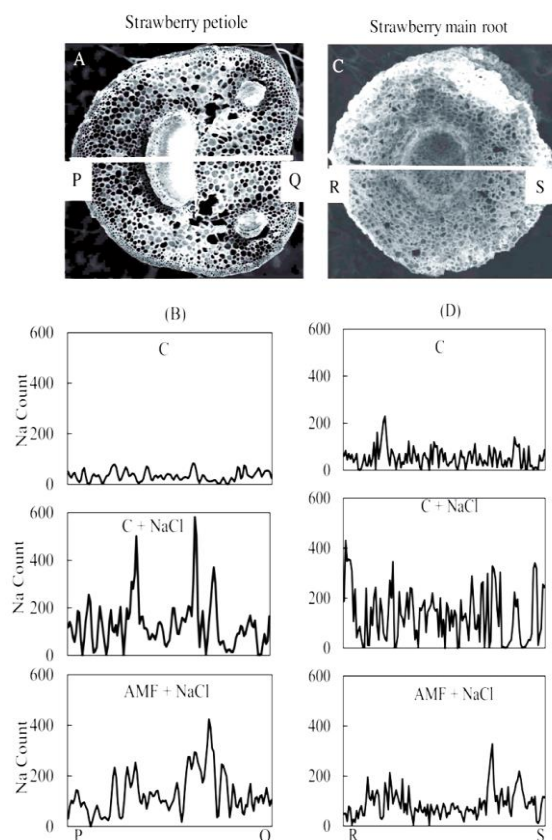
また、塩ストレス下の菌根菌区では、 Na^+ イオンストレスに対する抗酸化機能増大 (30)、浸透圧調整に関わる遊離アミノ酸などの適合溶質蓄積促進 (31) がみられている。一方、SEM-EDX 解析 (電子顕微鏡による組織内元素分布観察) の結果、菌根菌区では塩ストレス下の組織における Na^+ イオン含量低下が確認されている (第 11 図)。よって、菌根菌共生野菜における Na^+ 含量低下の主な因子は、体内での根から地上部への Na^+ 移行抑制よりも、根における Na^+ 吸収抑制にある可能性が高いことが明らかになっている (32)。以上の検討により、被災塩害地域・塩類集積した施設園芸土壌などの野菜の重要産地において、菌根菌利用により耐塩性誘導、植物体生長促進、収穫物高機能化を視野に入れた耐塩性野菜栽培技術の開発を図り、塩害地域での速効性のある技術としての普及が期待される。



第 9 図 菌根菌共生アスパラガス (A) およびイチゴ (B) における耐塩性 (NaCl 200 mM 処理)
左：無接種区、右：菌根菌接種区



第 10 図 NaCl 200 mM 処理後の植物体における Na^+ 濃度および Na^+/K^+ 比
□: Na^+ 濃度, ■: Na^+/K^+ 比,
C: 無接種区, Gf: *Glomus fasciculatum*, GM: *Gigaspora margarita* t-検定 (5% level)



第 11 図 NaCl 200 mM 処理後のイチゴ葉柄・根における SEM-EDX による Na 局在解析
C:無接種区, AMF: 菌根菌接種区

(3) 温度ストレス耐性

温度ストレスに対する反応性として、アスパラガスでは恒温・変温下での植物体生長安定・促進に菌根菌共生が有効であること (33)、シクラメンでは菌根菌共生により高温ストレス耐性が誘導され、同時に炭疽病への交差耐性も発現されることが見出されている (5, 24)。また、菌根菌共生イチゴにおいても高温障害軽減効果がみられ、これらには共生による抗酸化機能増大が酸化ストレス低減に作用して耐性誘導されていることが一因とみられている (34, 第 12 図)。また、シクラメン・イチゴではプロテオーム解析により、高温ストレス下において共生特異的タンパク質が菌根菌共生下で発現することが確認されており、これらがヒートショックプロテインとして作用する可能性も示唆されている (35)。



第 12 図 夏期高温下におけるイチゴの高温障害軽減
各図：左，無接種区；右，菌根菌接種区

おわりに

本論では、主に野菜栽培における菌根菌の接種効果について、特に環境ストレス耐性を主体とした筆者の研究紹介を行った。植物体の環境ストレス耐性の生物的制御については不明な点が多く、筆者

のこれまでの研究により、菌根菌による環境ストレス耐性（耐病性、耐塩性、高温障害軽減）誘導や誘導機構について明らかになりつつある。これらのことを含め、菌根菌の利用は減農薬・減化学肥料に基づいた安全性の高い持続的植物生産技術として、複合環境ストレス下における作物生産の安定・向上化、収穫物高機能化に寄与できると考えられる。

引用文献

1. 松原陽一, 原田 隆, 八楯利郎. 1994. 各種野菜実生の生長に及ぼす VA 菌根菌接種の影響. 園学雑. 63: 619-628.
2. Matsubara, Y. and Harada, T. 1998. Relation between pectic substances and arbuscular mycorrhizal fungus infection in three vegetable crops. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 180-184.
3. Matsubara, Y., Karikomi, T., Ikuta, M., Hori, H., Ishikawa, S. and Harada, T. 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on growth of apple (*Malus* ssp.) seedlings. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65: 297-303.
4. Matsubara, Y. and Hosokawa, A. 1999. Symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi in Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) seedlings raised in a greenhouse. J. Soc. High Tech. Agr. 11: 281-287.
5. Maya, M.A. and Matsubara, Y. 2013. Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and the changes of antioxidative activity in cyclamen under heat stress. Mycorrhiza 23: 381-390.
6. Matsubara, Y. and Sakurai, S. 2000. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on growth of sandersonia. J. Soc. High Tech. Agri. 12: 47-52.
7. Liu, Y., Matsubara, Y., Li, Y., Inagaki, M. and Sugiyama, M. 2007. Promotion of rooting and the increase in leaf GABA content of mycorrhizal tea plants. Acta Hort. 761: 267-270.
8. 李 又紅, 佐々大輔, 松原陽一, 越川兼行. 2009. 不織布ポットを利用した高設栽培における菌根菌共生イチゴの収量性. 園学研. 8: 215-219.
9. 松原陽一, 原田 隆, 八楯利郎. 1995. ネギ実生の生長に及ぼす VA 菌根菌胞子接種濃度ならびに床土への炭化材添加の影響. 園学雑. 64: 549-554.
10. 小川 眞. 1986. 共生微生物の機能と作物の生育. 微生物と農業. 全国農村教育協会. 東京.
11. Matsubara, Y., Hasegawa, N. 2002. Incidence of fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71: 370-374.
12. 松原陽一, 原田 隆. 1996. アスパラガス実生の生長および無機養分含量に及ぼす arbuscular 菌根菌感染の影響. 園学雑. 65: 303-309.
13. Matsubara, Y. and Hasuo, K. 1999. Changes in free sugar contents through arbuscular mycorrhizal fungus symbiosis in tomato seedlings raised in a greenhouse. J. Soc. High Tech. Agr. 11: 254-258.
14. Matsubara, Y., Okada, T. and Liu, J. 2014. Suppression of Fusarium crown rot and increase in several free amino acids in mycorrhizal asparagus. Am. J. Plant Sci. 5: 235-240.
15. Matsubara, Y., Ishigaki, T. and Koshikawa, K. 2009. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. Sci. Hort. 119: 392-396.
16. Nahiyani, A.S.M., Matsubara, Y., Boyer, L. R. and Jeffries, P. 2011. PCR-SSCP analysis of Fusarium diversity in asparagus decline in Japan. Eur. J. Plant Pathol. 130: 197-203.
17. Matsubara, Y., Hirano, I., Sassa, D. and Koshikawa, K. 2004. Increased tolerance to fusarium wilt in mycorrhizal strawberry plants raised by capillary watering methods. Environ. Cont. Biol. 42: 185-191.
18. Matsubara, Y. 2011. Tolerance to fusarium wilt and changes in antioxidative ability and free amino acid content in mycorrhizal

- strawberry plants. In: Genomics, Transgenics, Molecular Breeding and Biotechnology of Strawberry. Husaini, A. M. and Mercado, J.A. eds. Global Science Books, United Kingdom, pp. 126-131. ISBN: 1749-0383.
19. Matsubara, Y., Li, Y., Sassa, D., Kubota, M., Hyakumachi, M., Liu, Y. and Koshikawa, K. 2008. Induced resistance to anthracnose and changes in free amino acid content in mycorrhizal strawberry plants. *Acta Hort.* 774: 431-436.
20. Okada, T. and Matsubara, Y. 2012. Tolerance to Fusarium root rot and the changes in free amino acid contents in mycorrhizal asparagus plants. *HortSci.* 47: 751-754.
21. Li, Y., Yanagi, A., Miyawaki, Y., Okada, T. and Matsubara, Y. 2010. Disease tolerance and changes in antioxidative abilities in mycorrhizal strawberry plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79: 174-178.
22. Nahiyani, A.S.M. and Matsubara, Y. 2012. Tolerance to Fusarium root rot and changes in antioxidative ability in mycorrhizal asparagus plants. *HortSci.* 47: 356-360. .
23. Okada, T. and Matsubara, Y. 2012. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and sodium chloride on tolerance to Fusarium root rot and antioxidative abilities in asparagus plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 81: 257-262.
24. Maya, M.A. and Matsubara, Y. 2013. Tolerance to Fusarium wilt and anthracnose diseases and changes of antioxidative activity in mycorrhizal cyclamen. *Crop protec.* 47: 41-48.
25. Liu, J. and Matsubara, Y. 2016. Changes in SOD isozyme in mycorrhizal asparagus inoculated with *Fusarium oxysporum*. *Plant Root* 10:26-33.
26. Matsubara, Y. 1999. Characteristics of arbuscular mycorrhizal fungal infection in dimorphic exodermis of feeder roots in asparagus seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68: 1149-1151.
27. Matsubara, Y., Uetake, Y. and Peterson, R. L. 1999. Entry and colonization of *Asparagus officinalis* roots by arbuscular mycorrhizal fungi with emphasis on changes in host microtubules. *Can. J. Bot.* 77: 1159-1167.
28. Matsubara, Y., Tamura, H. and Harada, T. 1995. Growth enhancement and verticillium control by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus inoculation in eggplant. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64:555-561.
29. Liu, J., Taniguchi, A., Matsubara, Y., Kojima, T. and Takahashi, K. PCR-SSCP analysis and disease control by the application of biological and chemical agents in asparagus decline. *Acta Hort.* (In press)
30. Shiam, I. H. and Matsubara, Y. 2018. Cross-protection to salt stress and Fusarium wilt with the alleviation of oxidative stress in mycorrhizal strawberry plants. *Environ. Cont. Biol.* 56:187-192.
31. Shiam, I. H. and Matsubara, Y. 2018. Relationship between salt tolerance and free amino acid content in mycorrhizal strawberry plants. *J. JSATM.* 25:43-508.
32. Shiam, I. H. and Matsubara, Y. 2018. Salinity tolerance and sodium localization in mycorrhizal strawberry plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. DOI: 10.1080/00103624.2018.1538376: 1-11.
33. Matsubara, Y. and Harada, T. 1996. Effect of constant and diurnally fluctuating temperatures on arbuscular mycorrhizal fungus infection and the growth of infected asparagus (*Asparagus officinalis* L.) seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65: 565-570.
34. Matsubara, Y., Hirano, I., Sassa, D. and Koshikawa, K. 2004. Alleviation of high temperature stress in strawberry plants infected with arbuscular mycorrhizal fungi. *Environ. Cont. Biol.* 42: 105-111.
35. Watanabe, S. and Matsubara, Y. 2014. Cross-protection against anthracnose with heat stress, antioxidative changes and proteomic analysis in mycorrhizal cyclamen. *Adv. Hort. Sci.* 28:195-201.

アーバスキュラー菌根菌がクズの生長に及ぼす影響

廣畑 雅己・松浦 孝裕・小崎 隆志・石井 孝昭

(一財) 日本菌根菌財団 436-0045 静岡県掛川市小鷹町 194

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata*)

M. Hirohata *, T. Matsuura, T. Ozaki and T. Ishii

Japan Mycorrhizal Fungus Foundation, 194 Odaka, Kakegawa, Shizuoka 436-0045, Japan

Abstract

When the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth of kudzu was investigated, root colonization was better in the AMF plots, and the stem length of AMF-inoculated plants was about twice as long as that in the non-inoculated ones. These results show that the utilization of AMF is very effective even in kudzu cultivation.

*mycorrhiza-office@jmff.jp

緒言

わが国では古くからクズの根は食用や薬用に用いられ(3)、茎は天然繊維素材として葛布に利用されている(4)。また葉は有益な有機肥料の原料としても活用できる。一方、クズの生長やリンの吸収における AMF の効果(2)は知られているが、クズへの AMF の積極的な活用に関する報告は見当たらない。そこで、AMF によるクズの生産性を向上させるための基礎資料を得るため、以下の調査を行った。

材料および方法

本実験には、2019 年 3 月 30 日に菊川市神尾地内から採取したクズ（品種：トキイロクズ）を供試した。5 月 17 日、クズ挿し木苗に AMF 孢子約 20 個（合同会社アグアイッシュ製）を接種し、6 月 9 日、圃場（掛川市上垂木地内）に定植した。栽培期間中、施肥は行わなかった。10 月 17 日、クズの生長および根の菌根感染率(1)を調査した。なお、反復数は 4 反復とした。

結果および考察

表 1 に示すように、AMF 接種区における菌根感染率は良好であり（第 1 図）、クズの生長も旺盛であった（第 2 図）。特に、AMF 区の茎長は対照（AMF 無接種）区の 2.3 倍も長くなった。このように、クズの栽培においても AMF の接種は極めて有効であることが明らかとなった。

要約

クズの生長に及ぼす AMF の効果を調査したところ、AMF 接種区では菌根形成が良好となり、接種区のクズの茎長は無接種区のおよそ 2 倍長くなった。この結果からクズの栽培においても AMF の活用は非常に有効と考えられた。

引用文献

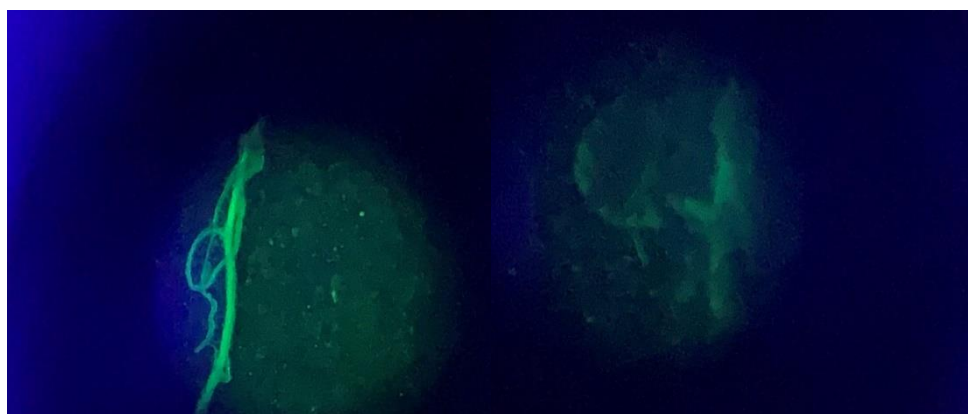
1. Ishii, T. and Amanai, K. New technique for observing mycorrhizal fungi. Acta Horticulturae. (In press)
2. Musandu, A.A.O. and Giller, K.E. 1994. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on kudzu (*Pueraria phaseoloides*) growth in phosphate fixing Kenya soils. Afri. Crop Sci. J. 2: 79-85.
3. Wikipedia.クズ. <https://ja.wikipedia.org/wiki/クズ>
4. 山辺知行. 1993. 葛布. 日本史大事典 2. 平凡社 東京.

第1表 AMF 接種がクズの菌根感染率および茎長に及ぼす影響

処理区	菌根感染率 (%)	茎長 (cm)
対照	1 ± 0	52 ± 9
AMF	4 ± 0	123 ± 5

x) 平均値±標準誤差[n=2 (AMF), n=4 (茎長)]

y) 菌根感染率: 0=0%, 1=1-10%, 2=11-25%, 3=26-50%, 4=51-100%



AMF 接種区

対照区

第1図 AMF がクズ根の菌根形成に及ぼす影響（蛍光部は AMF の感染を示す。）



AMF 接種区

対照区

第2図 AMF がクズの生長に及ぼす影響

菌根菌，特にアーバスキュラー菌根菌接種源の使い方

一般財団法人 日本菌根菌財団理事長 石井 孝昭

現在，アーバスキュラー菌根菌（AMF）接種源が市販されています。正常で，安心・安全な AMF 接種源（政令指定 活性 VA 菌根菌土壌改良資材では，第 1 表に示す表示をしなければならない）として，出光興産（株）の「Dr キンコン」，セントラル化成（株）の「セラキンコン」，（同）アグアイッシュの「菌根菌とその仲間たち」などがあります。特に，最後尾の AMF 接種源には，菌根菌の胞子とその胞子周辺や胞子内に生息する有益なパートナー細菌が含まれています。これらの微生物を用いることによって，植物の養水分吸収が良好となり，植物の生長が旺盛になるとともに，病害虫抵抗性や環境ストレス耐性の付与などの効果が期待されます。それゆえ，菌根菌は「生物肥料」，パートナー細菌は「生物農薬」とも言われています。そして，これらの微生物を積極的に活用することによって，化学肥料や化学合成農薬を削減あるいは不要にすること，つまり，安心・安全で持続可能な作物栽培が可能となります。

しかし，これらの AMF 接種源は生きた微生物を含む資材ですので，使い方や保管法に注意を払わなければ，折角の効能を得られなくなります。ここでは，「菌根菌とその仲間たち」についての注意点を述べます。

1. 有効態リン酸の含有率の高い土壌での使用や，リン酸含量の多い化学肥料や有機肥料の大量施用は，効果の発現が期待できないことがあります。

そこで，有効態リン酸の含有率の高い土壌では，本資材の使用前に石灰質肥料をあらかじめ施用し，く溶性のリン（2%クエン酸水で溶けるリン酸カルシウムなど）にさせて，土壌水でリンが溶けにくい状態にしてください。作物栽培では，古くから播種前や定植前に石灰質肥料による土壌 pH の矯正が行われますが，石灰施用の他の効能として，菌根菌やそのパートナー細菌が活動しやすい環境を作り出しているのです。なお，このく溶性のリンは，菌根菌とそのパートナー細菌によって徐々に溶かされて，植物に供給されます。

このように，菌根菌やそのパートナー細菌は，有効態リン酸などの肥料成分の多い土壌では植物は困っていないと判断して活動しない傾向がありますので，これらの微生物を使用するときは肥料成分を削減した土壌環境の方が好ましいです。

2. ダイコンなどのアブラナ科，ホウレンソウなどのアカザ科の作物の根には菌根菌が共生しにくいことがあり，効果が発現しないことがあります。

これは，これらの植物が「共生」という，いくらかの負担を嫌い，生育に問題がないときは菌根菌とそのパートナー細菌の力を必要としないからです。しかし，自然環境下ではこれらの作物もさまざまなストレスを受けますので，ストレス下ではちゃっかりと根に菌根菌共生を築きます。

3. 化学合成農薬は使用しない，あるいは可能な限り削減して下さい。

農薬の中で，特に殺菌剤には弱い傾向にあります。また，除草剤は菌根菌を良く増殖してくれるイネ科植物などの草までも殺草しますので，次第に土壌中の菌根菌が減少してきます。

4. 本資材の使用にあたっては，1 苗あるいは 1 種子に対して，胞子 2-3 個が目安ですが，胞子数に余裕があるときは 5 個以上使用すると，より安定した接種効果が現れます。また菌根菌無接種の苗をすでに植え付けられている鉢などでは胞子 20 個程度／鉢を接種すると良いです。詳細については，

第1図を参照してください。

本資材 100 g には約 1 万個という多数の胞子が含まれています（約 100 個/g）。それゆえ、このままの状態で使用しても構いませんが、できればくん炭，コーヒーかす，油かすなどを用いて，前述した胞子数になるように適切に希釈して用いてください。

5. 本資材は，水がかからない冷暗所（20℃以下）で保管しますが，4℃の冷蔵庫でも可能であり，長期間の保管ができます。しかし，冷凍庫には保管しないでください。

冷蔵庫内で菌根菌胞子を保管した場合には，胞子が休眠していますので，使用前にあたっては，休眠打破のため，あらかじめ室温（25℃前後）下で数日間置いてから使用してください。

6. 本資材が乾いていた場合，わずかに湿りを感じる程度に水（水道水も使えますが，雑菌の混入を可能な限り防ぐためには蒸留水あるいは滅菌水の方が良いです）を加えてください。

そして，使用後は必ず密閉してください。



第1図 菌根菌（AMF）の接種方法

左：水稻育苗箱への接種（例えば，AMF 胞子約 1000 個／育苗箱）

右：野菜，花，果樹などの育苗鉢への接種（例えば，AMF 胞子約 20 個／5 号鉢）

第1表 地力増進法に基づく表示方法（例）

地力増進法に基づく表示	
土壌改良資材の名称	菌根菌とその仲間たち
土壌改良資材の種類	VA菌根菌資材
表示者の名称 および住所	合同会社 アグアイッシュ 〒739-1101広島県安芸高田市甲田町高田原1130-1
正味量	0.1キログラム
原料	VA菌根菌胞子をコーヒーかすと混合させた物
共生率	10パーセント（バヒアグラス）
用途（主たる効果）	土壌のりん酸供給能の改善
施用方法	0.2グラム／リットル
	この土壌改良資材は，有効態りん酸の含有率の高い土壌に施用しても，効果の発現が期待できないことがあります。また，アブラナ科，アカザ科の作物には効果が発現しないことがあります。
保管条件	密閉して，水がかからない冷暗所（20℃以下）で保管
保管期限	最終有効年月として底面下部に記載

菌根菌のための超簡単解説 「なぜ菌根菌が必要なのか？」

社納 葵

今、農業の在り方が変化している。

- 環境汚染・資源枯渇・価格高騰により、世界は有機栽培にシフトしている（例：EU諸国は道路、森林、公園などで化学合成農薬を使わないようにした）。
- 2020 東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて、選手村で使用する食材は有機・自然栽培の農産物でなければならない（栗原, 2017）。一方で、わが国の農業総生産量に占める有機・自然農産物の割合は 0.4% しかなく、選手村で使われる食材をまかなえるだけの量に程遠い（wedge report, 2017）。
- 消費者の多くは有機農産物への購入意向がある（農水省, 2017）。
現在、購入している：18% 購入したいと思う：65% 購入したいとは思わない：17%
- しかし、日本の有機栽培市場の大きさは微増か、変化していない。

なぜ？

- オーガニック・エコ農業への新規参入は、高い技術が必要な上、販路確保が難しく定着が進まない（農水省, 2017）。
- 販路確保は東京オリンピックでまだなんとかなるだろう。問題は、栽培技術だ！
- 一般財団法人 日本菌根菌財団は、続けられる有機栽培を提案します。
植物と共に生きる微生物、菌根菌とその仲間であるパートナー細菌の働きを活かす！

菌根菌とは？

- 植物が陸上に進出した 4 億 6000 万年前に、植物と共に陸へあがったカビの一種。友達。
植物の生える場所ならどこにでもいるが、現代農業による化学合成農薬・化学肥料によって畑から追い出された。最近、菌根菌は生物肥料になったり、高校「生物」の教科書に載ったりした。
- 主に透明感のある茶色の丸い胞子と、無色透明・仕切りのない菌糸でできている。
- 胞子は乾燥・海水に耐えられる強度があり、桃太郎の桃よろしく海を越えてやってくる事も。
- よく働いているときは植物の根の外まで伸びていることもあるが、基本的に根の中で働いているので、人間の目には見えない。
- 植物から住まいと合鍵とごはんを貰って働く。それぞれの例えは以下に対応している。
住まい：根の先端部の細胞と細胞の間、合鍵：植物の細胞核 1 つ、ごはん：光合成産物
- 仕事内容：細菌や土、植物の他個体との仲立ち。植物に微量の刺激物質を与えること。
胞子の中や表面に住まわせている細菌を働かせること（パートナー細菌）。
- 効能：仲立ちによる必須栄養素の吸収効率上昇。刺激物質による生育促進。
植物の各個体を菌糸で繋ぎ、生育を揃える。パートナー細菌の労働結果を植物に与える。
※パートナー細菌の効能：病害虫をやっつける（病害虫耐性獲得）、窒素肥料を作る（窒素固定能）、水に溶けない形をしたリン（不溶性リン）を溶かし、植物に利用できる形にする（リン溶解能）、菌根菌の生長を助ける（菌根菌生長促進効果）

- 化学合成農薬があると死に、化学肥料があるとサボリ、遺伝子組換え（ゲノム編集）作物には感染しにくい上に、合鍵として危険な情報を蓄積するので、未知の異常が発生すると予想されている。（菌根菌の働きを役立てない農法とゲノム編集による菌根菌の改変の危険性）
- 菌根菌しか持っていないタンパク質があり、これで菌根菌がその場に居るかどうかを確認できる（感染強度の確認－菌根菌見える化技術の開発）。
- 本財団では菌根菌を純粋培養で殖やすことができる技術を世界で初めて開発した。ただ、現時点では植物と一緒に育てて孢子生産した方がはるかに効率的。
- 山の植物が人の手無しに育っていく理由。つまり、有機栽培・自然栽培の必須アイテムと言える。

まとめ

- 有機栽培は需要があるが、農薬・化学肥料を用いた栽培よりも難易度が高いと言われている。
- しかし、有機栽培の難易度を下げ、有機栽培や自然栽培（無農薬・無肥料）を実現するためには、菌根菌とそのパートナー細菌は必需品。
- 菌根菌は植物に役立つカビ。目には見えないアーバスキュラー菌根菌は独自のタンパク質から検出する（菌根菌見える化技術の開発）。

コラム（５）：*Rhizophagus irregularis* という AMF の危険性と環境汚染の問題

R. irregularis という AMF は、生態系に深刻な問題を引き起こす遺伝子組み換えエンジンなどの毛状根（根だけで増殖する異常な根で、*Agrobacterium rhizogenes* を感染させることで得ることができる。）（第１図）で増殖させたものです。一方、AMF は宿主の根に侵入し、細胞内に樹枝状体を形成するとその宿主の細胞核を奪っています。それゆえ、この *R. irregularis* は遺伝子組み換えの宿主から変異の起こった細胞核を奪って孢子内に保持しているのです。また同時に、この *R. irregularis* にも変異が起こって、「irregularis」という種名が示すように、イレギュラーな AMF になったのです。かつて、この *R. irregularis* は *Glomus intraradices* と呼ばれていました。

さらに深刻なこととして、この AMF は異常に増殖しやすい傾向があり、この AMF を圃場で使用してしまうと組換え遺伝子が一気に拡散し、この菌が感染した作物は変異を引き起こしやすくなるだけでなく、この作物を食べる人畜にも多大な悪影響を及ぼすと考えられます。

このように、この *R. irregularis* は非常に危険な AMF ですので、農地などで用いることは絶対阻止しなければなりません。地球環境、特に土壌の深刻な汚染を引き起こす *R. irregularis* を用いて隔離もせずして実験に取り組んでいる教官や研究者のモラルを問いたいところです。

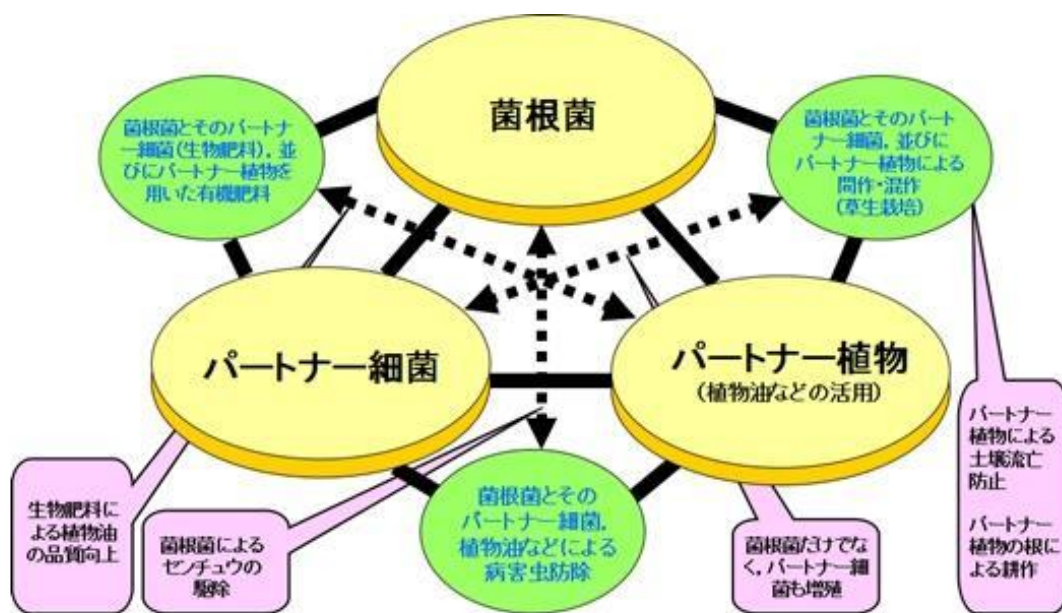


第１図 毛状根（Sudha, C. G et al. 2013 より）

安心・安全で持続可能な(3S)作物生産(Safe, secure and sustainable crop production) —真の緑の革命を目指して—

菌根菌とそのパートナー細菌, 並びにパートナー植物(植物油などの活用)を活用した, 安心・安全で持続可能な(3S)作物生産のための重要な構成要素を第1図に示します。

菌根菌とそのパートナー細菌を活かす重要なポイントは, 図中の①菌根菌(生物肥料)とそのパートナー細菌(生物肥料 - 窒素固定能を持つ), 並びにパートナー植物を用いた有機肥料, ②菌根菌とそのパートナー細菌を活かしたパートナー植物による間作・混作(草生栽培)および③菌根菌(生物農薬 - センチュウの捕食)とそのパートナー細菌(生物農薬), 植物油(害虫忌避・殺虫効果・抗菌作用)などによる病虫害防除に示すように, 作物と相性の良いパートナー植物を探索し, その利用法を確立していくことです。人間も一人では生きていられないように, 作物の栽培にあたっては作物のみの栽培(単作)は持続的な食糧増産には適さないことが明らかになってきています。



第1図 菌根菌とそのパートナー細菌, 並びにパートナー植物(植物油などの活用)を活かす食糧増産技術のための構成要素

菌根菌, パートナー細菌および植物保護剤(植物オイル粉末)の購入について

- 1) 「菌根菌とその仲間たち」 100 g
- 2) 「パートナー細菌」 1 L あるいは 20 L

パートナー細菌については, 「微生物の取扱い契約書」を結ぶ必要があります。

- 3) 「植物保護剤」 100 g

上記の資材の購入をご希望の方は, 下記のメールアドレスにご連絡ください。

mycorrhiza-office@jmf.jp



菌根菌財団活動宣言

地球環境の保全および健康で豊かな食生活の実現は、全ての人々の根源的な願いであります。

そこで、本財団は、菌根菌が4億6千万年前から植物と共生関係を築いて、植物から光合成産物を得る見返りに、植物の養水分吸収を促進させて生育を旺盛にし、環境ストレス耐性や病虫害抵抗性も付与していることに着目して、この菌の積極的な活用によって、化学合成農薬や化学肥料を削減あるいは不使用にし、安心・安全で持続可能な作物生産や環境保全を実現できるよう活動します。

人々の役に立ち、社会を真に豊かにすることを目指して、本財団は、次のことに取り組めます。

- 1 菌根菌の見える化技術を活用して、その存在を広く人々に認知して頂くとともに、植物と微生物との「共生」という自然のメカニズムを探究し続けます。
- 1 大学や高等学校、各種研究機関と連携・交流して菌根菌の効能を最大限に引き出す技術の確立に取り組むとともに、各層の研究を支援して人と環境に優しい農業技術の一層の深化と蓄積を進めます。
- 1 地域ごとの地理的条件、気象条件、土壌条件などを踏まえて、その地域に合う菌根菌を活用した農業技術と環境保全・修復技術の確立を目指します。
- 1 菌根菌の活用などで必要な資機材の供給体制を確立するとともに、賛同者・支援者を増加させて、農業生産や環境保全・修復における菌根菌に係る各種改革につなげます。
- 1 安心で安全な食糧を求めることは消費者の願いとの認識の元、菌根菌を活用した自然・有機栽培によって生産された食糧を通して、健康増進を推進するとともに、地域の特産品の事業拡大を図り、真の地産地消を支援します。
- 1 地球温暖化や環境汚染など、人類が発生させている生存に関わる問題に対しても、菌根菌の活動を通して「真の緑の革命」を実現する一翼を担うことで社会貢献できるように、財団の総力を挙げて取り組みます。

以上、生涯学習と報徳のまち掛川市において宣言します。

2019年8月23日

一般財団法人 日本菌根菌財団

理事長

石井孝昭

財団役員等名簿

区 分	役 職	氏 名	所 属 等
顧 問		石川 嘉延	前静岡県知事
理 事 (設立者)	理事長	石井 孝昭	会社代表, 元愛媛大学教授, 元京都府立大学教授
	副理事長	伊村 義孝	会社代表, 前掛川市副市長
		松浦 孝裕	会社代表
		小崎 隆志	会社代表
		大林 修一	会社代表
		橋本 健二	法人役員
評議員 (他1名)		天内 和人	徳山高等工業専門学校副校長, 教授
		松原 陽一	岐阜大学応用生物科学部准教授
		野澤 汎雄	会社代表
		加藤 百合子	会社代表
		家政 覚	会社重役
監 事		森川 肇	元会社員
事務局長		廣畑 雅己	元地方公務員

コラム（6）：ゲノム編集作物の危険性とタンパク質の分取技法の必要性

最近、ゲノム編集という遺伝子技術が話題になっています。この手法には、① 機能停止、② 機能変更、③ 機能付加があり、③ は従来の遺伝子組み換え技術なのです。① および② は遺伝子切断技術であり、① は不必要な遺伝子をただ単に切除するという手法ですが、② は切除した遺伝子のところに同一の生物の遺伝子を導入するという手法です。現在のところ、①および②のゲノム編集は問題がないという判断がなされつつあります。しかし、これらのゲノム編集でも大きな危険性が潜んでいることを理解しなければならないと考えます。筆者はかつて遺伝子組み換え作物が菌根菌に及ぼす影響を調査していました。その過程で菌根菌共生に関与するタンパク質を初めて見いしましたが、不安なこととして、遺伝子組み換え作物では、非遺伝子組み換え作物（遺伝子導入前の供試作物）で検出されなかったタンパク質が数多くみられ、その中にはウサギを致死させるほどの毒性を持ったタンパク質が異常に増えていたり、他方では非遺伝子組み換え作物では検出されていた有益なタンパク質が遺伝子組み換え作物では消失するという現象にも気づきました。

このように、ゲノム編集で遺伝子を切除したり、同一の遺伝子を導入することによって、予想されるタンパク質の削除や合成だけでなく、干渉作用のように、他のタンパク質の合成や分解にまで大きな影響を及ぼします。切除で残った遺伝子からのタンパク質や、導入によって新たに合成されたタンパク質が異常なのか、正常なのかを確認するためには、これらのタンパク質を大量に得る分取技法を開発する必要があります。筆者らは目的のタンパク質を大量に分取できる比較的簡便な分取技法を報告しています（Matsubara and Ishii. 2015. Adv. Biol. Chem. 5: 16-23.）ので、ゲノム編集の問題を探る技として活用されることを望んでいます。

総会報告

2019年8月23日設立総会と設立パーティーが開催されました。総会には、スタッフ含め約140人の方がご出席くださり会場を埋め尽くしました。

ご来賓として、公務の合間を縫って松井掛川市長がご祝辞をくださり、石井理事長挨拶、石川顧問（元静岡県知事）挨拶の後、会場をお貸しくださり、我々の活動にもご賛同くださっている鷺山大日本報徳社社長もご祝辞をくださいました。

財団の役員などの紹介の後、理事長による祝賀講演「世界の農業は安心・安全で持続可能な有機・自然農へーこの大きな波がわが国の農業を変革するー」、堀井幸江農研機構果樹茶業研究部門主任研究員による研究者講演「アーバスキュラー菌根菌とパートナー細菌に関する研究紹介」がなされました。

両講演を踏まえての質疑応答の後、伊村副理事長による「菌根菌財団活動宣言」が発表され総会は閉幕となりました。

総会後には、会場を移し掛川グランドホテルにおいて、設立パーティーが開催されました。パーティーには、約90人の方がご出席くださり、それぞれ初対面の方々、旧知の方々が懇親を深める中「ストロベリーエンジェル」の皆様が素敵な歌声を響かせ会場を盛り上げてくださいました。



石井理事長挨拶

会場の様子



（文責：事務局）

投稿規定

(2019 年 11 月制定)

1. 筆頭著者および責任著者（重複可）は、日本菌根菌財団会員に限る。ただし、本誌編集委員会（以下、委員会）において必要と認めたときは、会員外から寄稿を受けることができる。
2. 投稿原稿の内容は菌根菌に関連ある未発表のものとする。原稿の区分は、①論文（論説および総説を含む）、②研究ノート・短報、③資料の3種類とする。なお、投稿原稿は和文か英文に限る。
 - (1) 論文の内容は、新しい結果と結論あるいは事実を含むと認められるものとする。
 - (2) 研究ノート・短報とは、論文として十分な結論を得るに至らないが、限定された部分の知見や速報的なものである。その区分は委員会が決定する。
 - (3) 資料とは、文献抄録、実用記事などを指し、委員会が寄稿を依頼することがある。
3. 投稿の手続きは、次のようにする。

投稿原稿（図・表のファイルを含む）は Word 形式の電子ファイルとして編集事務局（mycorrhiza-office@jmff.jp）までメール添付で送信する。なお、送信時の件名は「JMF 投稿（著者名）」とする。

編集事務局は、投稿メールの受信後、原則として 3 日以内に受信確認メールを返信する。この受信確認メールの送信をもって、投稿受付完了とみなす。投稿原稿が編集事務局に到着した日を受付日、審査が終了して掲載が決定した日を受理日とする。
4. 投稿原稿は、次の手続きを経て、採否、区分を決定する。
 - (1) 論文、研究ノート・短報は、審査（査読者 2 名制により査読付論文としての採否の判定を行う）に回し、その意見を基にして採否、区分を決める。
 - (2) 委員会は、原稿の内容などについて投稿者に訂正を求めることがある。
 - (3) 受理された原稿は、委員会が訂正を求めた箇所以外に、委員会の承諾なしに変更を加えてはならない。やむを得ず変更する必要がある場合は委員会の承諾の下、修正原稿においてその変更箇所がわかるように明示する。
5. 論文の掲載は、審査終了の順によることを原則とする。
6. 校正は、原則として初校だけ著者が行う。校正中の原稿改変は原則として認めない。委員会の了解による改変であっても、要する経費は著者の負担とする。校正ゲラは指定の期日以内に、手許に保管の原稿によって校正して返送する。期日に遅れた場合は、委員会の校正をもって校了とすることがある。
7. 掲載論文、研究ノート・短報については、著者の希望があれば PDF ファイルを進呈する。
8. 本誌に掲載された記事の著作権は一般財団法人日本菌根菌財団に帰属する。
9. その他必要な事項は、委員会が決める。

執筆要領

(2019 年 11 月制定)

1. 投稿原稿は、Word 形式の電子ファイルにより作成する。その際、A4 用紙（縦長）印刷とし、上 2.4 cm、下 2 cm、左 2 cm、右 2 cm のマージンを空けて、1 行 40 字で 35 行とする。その際、頁

ごとに下部中央の余白部分に頁番号を記しておく。

2. 原稿の第 1 頁には表題、著者名、所属・所在地、第 2 頁に要約を記す。

(1) 第 1 頁上部に以下を書く。

論文種別：論文、研究ノート・短報、資料のうち希望する区分刷り上がり時の奇数頁ヘッダー：著者姓（共著者は・でつなぐ）：略表題（25 字以内）

(2) 和文の表題、著者名、所属・所在地の次に、英文でそれぞれ記す。英単語の頭文字は大文字にするが、文頭以外の冠詞や前置詞、接続詞は小文字とする。

(3) 表題は、簡潔で内容を具体的にあらわすものとする。

(4) 共著の場合、著者名を・（中ポツ）でつなぎ並べる。責任著者には、氏名の右肩に＊（アスタリスク）を付ける。また、脚注に責任著者名とメールアドレスを記載する。共著者間で所属が異なる場合、所属ごとで氏名の右肩に 1 から順に数字を付ける。所属と所在地は左肩に該当する数字をつけて改行して並べる。なお、研究実施時からあと移動があった場合は右肩に＊＊を付し、現所属を脚注に記す。

(5) 論文、研究ノート・短報では、150 語以内で要約を入れる。

3. 論文、研究ノート・短報の本文は、原則として、要約、緒言、材料および方法、結果、考察（結果および考察としてもよい）、謝辞（記載する場合）、引用文献の順に記載する。英文原稿も和文原稿と同様に記載すること。

4. 文中の単位、数字、式などは次のようにする。

(1) 単位は原則として国際単位系（SI）とする。

(2) 数字は、原則としてアラビア数字を用い、千単位のコマは付けない。

(3) 文章中の式は、 $(a+b) / (c+d)$ のようにする。

5. 図表は次のようにする。

(1) 分かりやすい図表にすること。画像は高解像度の鮮明なものを用いること。

(2) 図表は、第 1 図、第 1 表のように通し番号を付す。

(3) 図の説明文は図の下に、表の説明文は表の上に書く。

6. 注および文献は次のようにする。

(1) 注は出現順に、文献は著者名の ABC 順に並べ、番号を付けて記載する。

(2) 文献は、以下のとおりとする。

（和文のとき）

1. 松原陽一，原田 隆，八鍬利郎. 1994. 各種野菜実生の生長に及ぼす VA 菌根菌接種の影響. 園学雑誌 63: 619-628.

2. 小川 眞. 1986. 共生微生物の機能と作物の生育. 微生物と農業. 全国農村教育協会. 東京.
（英文のとき）

3. Matsubara, Y. and Harada, T. 1998. Relation between pectic substances and arbuscular mycorrhizal fungus infection in three vegetable crops. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 180-184.

編集後記

4月26日、静岡県牧之原市のある企業で石井理事長とお会いしたのが、私にとっての財団への関わりのスタートでしょうか。奇しくもこの前日には、日本において最初期に「エコロジー」の語を用い、神社合祀反対運動の先頭に立って行動した南方熊楠の記念館を訪れました。南方熊楠は、神社の森が伐採されることにより、菌類、草、木、虫、鳥、動物などの自然生態系のみならず、神社を中心に成り立っていた地域住民の社会生態系の問題にも通ずると問題提起をされました。理事長の「神社の大木が伐採されると周りの木々にも影響がある、それは菌根菌によりネットワークが構築されているから」という言葉と私の中で繋がり、ちょっとした感動を覚えました。

私は、昨年度は地元の自治会長や関連する役職を務め、「今年のはのんびり過ごすぞ」と思っていたところの事務局の依頼でした。その後まもなく、「Xデー」設立総会の日程が決定され、それへ向けての法手続きなどを進めなければならなくなりました。

財団設立の手続きなど全く訳がわからず、理事長や副理事長からのアドバイスをいただきながら7月26日の設立登記を終え、設立総会、記念パーティーと、この4か月間は息つく暇無く過ぎてしまった感があります。

私は事務局長の職をいただいておりますが、何分事務局は私一人ですので、財団関係者の皆様には様々ご迷惑をおかけしたり、至らないところもあろうかと存じますが、財団運営が軌道に乗るまで大目に見ていただきたいと存じます。

この「菌根菌ジャーナル」は、会員の皆様や財団役員などの情報提供・情報交換の場として発行をしております。今号は、設立総会時にご祝辞をいただいた方々からご寄稿いただくとともに顧問、評議員、理事、会員からの寄稿を掲載させていただきました。今後、会員を含めそれぞれの皆様から情報提供のお申し出があれば、検討をして参りますのでご連絡をお願いしたいと存じます。

なお、本財団の事務所には電話がありません。末尾に記載してありますメールアドレスにメールをいただければ、必ず折り返しご連絡いたしますのでご利用いただければと思います。

皆様方におかれましては、今後とも本財団に熱いエールと厳しいご意見などをいただければと存じます。よろしくお願いします。

事務局長 廣畑 雅己

ISSN 2435-2314

菌根菌ジャーナル

第1巻 第1号

2019年11月25日印刷 2019年12月3日発行



一般財団法人

日本菌根菌財団



〒436-0045 静岡県掛川市小鷹町194番地 MTビル202号

E-mail: mycorrhiza-office@jmff.jp HP: <https://www.jmff.jp>

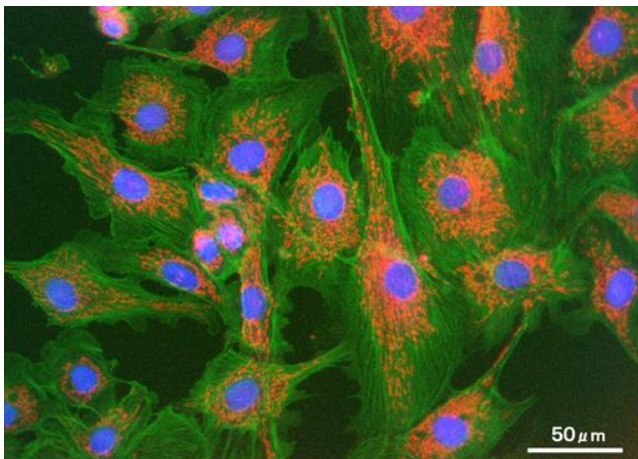
標準構成

■ ハンディ蛍光顕微鏡本光学ユニット ■ 対物レンズ:10 倍 ■ 光学ユニット:Type 470

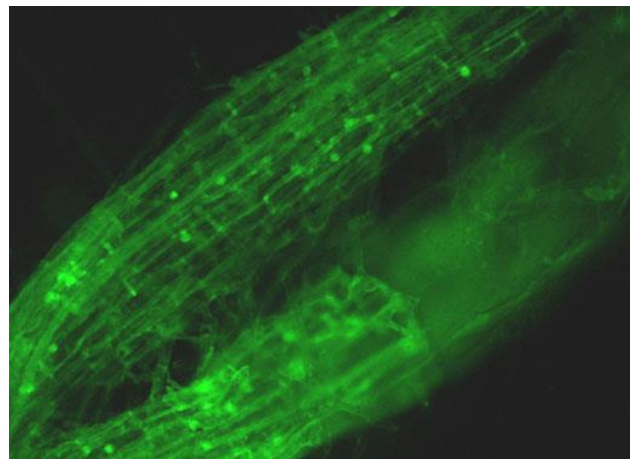
主な仕様

形 式 / 名 称	S-3380B (ブルー),S-3380P (ピンク)/ ハンディ蛍光顕微鏡
装 置 本 体	ハンディ蛍光顕微鏡本体(ブルー又はピンクを選択)
光学ユニット (高輝度 LED 搭載) 3 種の光学ユニットから選択 (複数選択可)	・Type 390: 3W 紫色 LED, 励起波長 390nm, 蛍光波長 443 ~ 489nm ・Type 470: 3W 青色 LED, 励起波長 470nm, 蛍光波長 500 ~ 550nm ・Type 560: 3W 黄緑色 LED, 励起波長 560nm, 蛍光波長 600 ~ 681nm * 各ユニットには、LED、ダイクロイックミラー、バンドパスフィルタ、吸収フィルタが組み込まれております。 * ユニットの分解はできません。 * 光学ユニットの励起波長、蛍光波長はご要望に応じて製作します。詳しくはお問い合わせ下さい。
対物レンズ (複数選択可)	アクロマート対物レンズ ※1 4倍, 10倍, 20倍, 40倍 ※1 RMS 規格、口径 20.32mm (0.8 インチ)、ネジピッチ 0.706mm (36 山/1 インチ)
本体電源	電池駆動: 単三電池 × 3 本 (4.5V) 励起照射光量5段階調整 * テスト用電池付属 * ニッケル水素電池対応
本体形状 / 重量	162(W)×123(D)×91~123(H) mm / 約 1.5 kg (電池含まず)
オプション	・ 蛍光画像観察用 CCD カメラ (パソコン用) (専用 CCD カメラ、専用ソフトウェア、結像レンズ、カメラ取付用アダプタ) * その他: 光学ユニットの励起波長、蛍光波長はご要望に応じて製作します。詳しくはお問い合わせ下さい。

参考画像



ウシ肺動脈・内皮細胞(BPAEcells)
(撮影:オプション CCD カメラ/40 倍対物レンズ)



菌根菌 (撮影:光学ユニット Type470,10 倍対物レンズ,スマホ)
バヒアグラス(イネ科多年草)における AMF 共生
画像提供:(一財)日本菌根菌財団 石井孝昭様

● 本仕様、外観は改良のため予告なく変更することがあります。 ● カタログと実際の商品の色は、撮影・印刷の関係で多少異なる場合があります。

● お問い合わせは下記まで

[販売代理店]



株式会社 相馬光学

〒190-0182
東京都西多摩郡日の出町平井 23-6
TEL : 042(597)3256 FAX : 042(597)3208
E-mail : sales@somaopt.co.jp
URL : http://www.somaopt.co.jp

Cat No,19-05-3380-003

Soma

ハンディ蛍光顕微鏡

Portable fluorescence microscope

スマートフォン対応の蛍光顕微鏡

製品番号

S-3380

- 片手で持てるコンパクト設計
- 何処でも使用可能なバッテリー駆動（単三電池×3本）
- 励起波長・蛍光波長・対物レンズ、選択交換可能



[写真]

上右側 / S-3380B

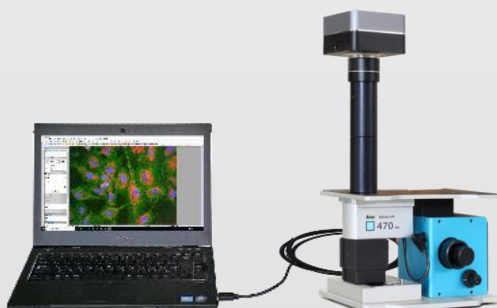
光学 LED ユニット : Type 470、対物レンズ : 10 倍 装着
※スマートフォンは付属しません

上左側 / S-3380P

光学 LED ユニット : Type 390、対物レンズ : 10 倍 装着

左側

オプションの CCD カメラによるパソコンでの観察



- お手持ちのスマートフォンを用いて、フィールドでの簡単な蛍光画像の取得を目的に設計されたハンディ蛍光顕微鏡です。活性染色された菌根菌の簡易蛍光観察が可能です。
- バッテリー駆動の高輝度 LED を用いており、AC 電源を必要としません。
- 電源事情の不安定な場所においても確実に画像取得が可能です。
取得画像は、専用のソフトウェア（オプション、パソコン用）をご利用いただけます。