

土壌環境の改善を通じた畑作物の安定生産栽培技術の開発

神山拓也 (宇都宮大学農学部)

わが国は化学肥料原料の大半を輸入に依存しており、近年の世界的な肥料価格の高などを受け、代替として微生物資材の利用が増加し、そのビジネス化が進展している。一方で、食糧生産基盤である水田を維持しつつ、実需者ニーズの高い畑作物を栽培する必要性から、水田転換畑での畑作物栽培で湿害が常態化している。

神山拓氏は一貫して、土壌環境因子の中で作物の生育を制限する要因を特定し、それに対する植物側の反応を解明を目指し、それらの基礎的知見を、作物の安定生産栽培技術の開発に活かす研究を推進してきた。具体的には、研究を進める上で有効な根系標本を採取するための装置とその利用法を開発した。また、地力増進法が定める土壌改良資材として唯一認められているアーバスキュラー菌根菌 (AM 菌) 資材を有効に活用するための土壌環境条件の解明に基づき、その接種方法を開発した。そして、ソバの湿害診断および対策技術を開発し、畑作物の安定生産に資する情報の集積に寄与した。得られた成果は以下のように要約される。

1. 根箱・ピンボード法に用いる根系採取装置の開発と利用法

化学肥料の施用量を減らし、かつ、豪雨などの気候変動に適応した作物の栽培技術改良と品種育成のために、異なる土壌環境における根系発育とその機能を調べるための手法確立の必要性を、神山氏は強く認識した。そこで、土壌中に発達した根系の構成根の配置や構造を破壊せずに根系全体を採取し、保存するために、従来の根箱・ピンボード法を応用した根系採取装置を開発した (業績 1)。この装置により根系採取にかかる時間は大幅に削減され、根箱内に伸張した形のまま根系標本を採取・保存できるようになった。この根系採取装置に関しては、全ての研究者が利用できるように、大起理化学工業株式会社と共同で商品化した (<https://www.daiki.co.jp/products/dik-7500/>)。また、根系標本全体をそのまま染色することで、局所的に感染した AM 菌による根系分枝応答や、根系の部位別の呼吸活性を視覚化できることを示し、根系標本の新たな利用法を提示してきた (業績 6)。

2. AM 菌資材をダイズ生産に有効活用するための栽培条件の解明

AM 菌は、重要な農作物を含む陸上植物の約 80% と共生関係を結び、宿主に養水分、特にリンを供給する。そして、AM 菌質材は地力増進法が定める土壌改良資材として唯一認められており、近年、持続可能な農業に向けた微生物資材として注目されている。しかし、これまでの膨大な研究成果を利用した複数のメタ解析においても、未だに、AM 菌資材による接種効果が発揮される環境条件は不明確である。そこで、神山氏は、まず、147 報の既報論文を精査し、接種した AM 菌の初期菌根形成、その定着と、接種効果と分離して考え、それぞれに関わる環境要因を絞り込んだ (業績 4)。接種効果を決定する要因としては、土着の AM 菌の感染源 (土壌中の胞子、菌根形成根や AM 菌の外生菌糸ネットワーク) の密度、リン、窒素、水分、pH、土壌の有機物含量が特定された。そこで、土着の AM 菌の感染源の密度を栽培前歴により、土壌中のリン酸量を施肥により変化させた圃場で、AM 菌の接種試験を実施した。AM 菌特異的な分子マーカーにより根の中の AM 菌叢を解析した結果、土着の AM 菌が少ない圃場で接種した AM 菌が定着し、増収に寄与することを明らかになった (業績 2)。また、接種した AM 菌の宿主植物への早期菌根形成・定着が、接種効果が発揮されるための必要条件であることを、しかし一方でそれだけでは十分条件ではないこともあわせて示した。さらに、同一圃場で、AM 菌の接種はせずに翌年もダイズを栽培した結果、前年に接種した AM 菌が圃場に残留し、翌年もダイズに定着し、生育改善に寄与していることが示唆された。これらの研究を通じて、世界に先駆けて、AM 菌特異的な分子マーカーによる圃場の接種菌の動態と、接種菌による収量増加効果との関係を明らかにした。

次に、AM 菌の宿主植物への早期菌根形成が重要であることがわかったため、接種方法の検討をした。接種した AM 菌の初期菌根形成を増加させる方法として、育苗時から AM 菌を接種する育苗接種がすでに開発されている。そこで、育苗接種したダイズ個体と圃場で種子直下に AM 菌を接種した個体の収量を比較した。その結果、ダイズの育苗期間は 10 日前後と短く、育苗期間内に接種菌がダイズにおいて十分に菌根形成しないため、育苗接種に比べ圃場接種の接種効果が高いことが明らかとなった (業績 3)。

3. ソバの湿害診断および対策技術の開発

ソバは栽培期間が 2 か月から 3 か月と短く、病虫害も少ないことから、全国の特に中山間地で栽培されてきた。しかし、ソバは他の植物と比較して、水田転換畑での長雨や排水不良による過湿条件により引き起こされる湿害に弱く、令和 3 年度の全国平均の 10a 当たり収量は 62 kg と、主要畑作物の中でも特に低い。近年ではこの湿害による低い生産性が国産ソバ価格高騰の主因となっており、湿害を軽減・回避できる技術の開発が産地から待望されている。

そこで、まず、最も収量低下が起る湿害の時期と期間を調べた。その結果、花芽が形成し始める 3 葉期の減収程度が顕著であり、時期に関わらず湛水期間が 6 日以上になると収量が著しく低下することがわかった (業績 5)。そして、ソバは栽培期間が短いことから、開花最盛期までに 1 次分枝上の花数を十分に確保することが、高い収量を得るのに不可欠であることを明らかにした。さらに、根箱法を用いて、湛水処理が土壌環境と根系発育に及ぼす影響について解析を進めた結果、酸化還元電位が約 300 mV まで低下すると根系の呼吸活性が失われ、根の生理活性が低下することで吸水能が低下し、生育が抑制されることがわかった。これらの研究を通じて、測定が容易である出液速度が、根系全体の呼吸活性と有意な相関関係を示したため、現地でのソバの湿害診断指標として有用であることを示した (業績 6)。

また、現地での湿害リスク診断をするために、現地圃場で、暗渠と畝たて同時播種の効果を調べた結果、降水量が 30 mm を超える日が続くときには、暗渠により収量が安定すること、暗渠が整備されていない圃場では畝たて同時播種により収量が増加することが示唆された (業績 7)。これらの成果は、湿害リスクに応じた効率的な湿害軽減技術の体系化につながり、畑作物の安定生産に資する。

本研究は、ダイズにおける AM 菌による接種効果の発現・菌根形成過程、ほ場における AM 菌動態、ならびに過湿土壌環境に対するソバの発育応答、根機能の役割、湿害発現機構に関する新たな学術的・基礎的知見を提供した。さらに、それらに基づく栽培

技術改良に資する提案を通じ、土壌環境の改善による畑作物の安定生産栽培技術の開発に寄与した。今後さらなる発展が期待されることから、作物学会研究奨励賞にふさわしい業績と言える。

研究業績

1. 神山拓也・吉留克彦・荒川祐介 2017. 根箱・ピンボード法に用いる根系採取装置の開発と利用法. 根の研究 26: 85-91.
2. Niwa, R.*, Koyama, T.*, Sato, T., Adachi, K., Tawaraya, K., Sato, S., Hirakawa, H., Yoshida, S., Ezawa, T. (* Contributed equally) 2018. Dissection of niche competition between introduced and indigenous arbuscular mycorrhizal fungi with respect to soybean yield responses. Scientific Reports 8: 1-11.
3. Koyama, T., Adachi, K., Suzuki, T. 2019. Response of soybean plants to two inoculation methods with arbuscular mycorrhizal fungus of *Glomus* sp. strain R-10 under field condition. Plant Production Science 22: 215-219.
4. 神山拓也・佐藤匠 2019. アーバスキュラー菌根菌の接種効果を決定する環境要因. 根の研究 28: 23-37.
5. Koyama, T., Suenaga, M., Takeshima, R. 2019. Growth and yield response of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) to waterlogging at different vegetative stages. Plant Production Science 22: 456-464.
6. Koyama, T., Murakami, S., Karasawa, T., Ejiri, M., Shiono, K. 2021. Complete root specimen of plants grown in soil-filled root box: sampling, measuring, and staining method. Plant Methods 17: 1-13.
7. Takeshima, R., Murakami, S., Fujiwara, Y., Nakano, K., Fuchiyama, R., Hara, T., Shima, T., Koyama, T. 2023. Subsurface drainage and raised-bed planting reduce excess water stress and increase yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Field Crops Research 297: 1-9.