

輪作におけるアーバスキュラー菌根菌の動態と作物の生育に関する研究

唐澤敏彦（北海道農業研究センター 生産環境部 養分動態研究室）

tkarasaw@affrc.go.jp

前年に栽培した作物の種類によって土壌中のアーバスキュラー菌根菌密度が異なり、それにより翌年の作物の生育にも差が生ずることを明らかにした。この前作物の影響は、環境条件によって現れ方が異なり、土壌水分が低く、リン肥沃度が低い条件などで顕著であった。また、アーバスキュラー菌根菌を増やす働きをもつ緑肥作物の導入などにより、効果的な輪作の構築が可能であると考えられた。

はじめに

畑作物は、各種作物を組み合わせた輪作の中で栽培される。輪作では、前作物の種類により後作物の生育が異なるため、適切な前作物と後作物を組み合わせて栽培することが重要となる。これまでに、この前作物の違いによる後作物の生育差（前作効果）を生む要因として、異なる前作物の栽培による養分の有効性や病害虫密度の違いなどが報告された。しかし、これら要因では説明できない事象も多く、年次や場所により前作効果の現れ方も異なるため、適切な輪作順序を決めることは困難であった。そこで、前作効果の未解明の要因と年次や場所による変動の原因を解明することが求められてきた。

アーバスキュラー菌根菌（AM菌）は植物に共生してリン吸収を促進する糸状菌で、多くの作物がその宿主とされる。しかし、一部の作物は非宿主であることが知られ、その作付けでAM菌が減少することから、非宿主作物の栽培が後作物の生育を低下させる可能性も考えられた。実際、半乾燥地帯の輪作では、AM菌の密度変化が前作効果の一因とされていた。しかし、湿潤地帯の輪作では、AM菌の増減を介して後作物の生育が影響を受けることは証明されていなかった。

本研究では、前作物の種類が後作物の生育に及ぼす影響とその原因をAM菌動態の面から解析し、湿潤地帯の輪作においても前作効果の一因がAM菌密度の差であることを解明した。また、環境条件を変えて前作効果を比較し、年次や場所で前作効果が異なる原因の一端を究明した。さらに、緑肥を用いた土着AM菌の増殖法を検討し、非宿主作物の栽培によってAM菌密度が低下した圃場で、後作物の生育を改善するための一方策を提案した。

前作物の種類が後作物の生育に及ぼす影響

各種作物の栽培が、後作トウモロコシの生育に及ぼす影響を調べた。トウモロコシの生育は、AM菌宿主のヒマワリ、トウモロコシ、ダイズ、コムギ、バレイシヨの跡地で優れ、非宿主のソバ、テンサイと無作付の跡地で劣った（図1）。また、トウモロコシのAM菌感染率も宿主作物後で高く、生育と高く相関していたことから、この前作効果はAM菌密度の差に起因することが示唆された¹⁾²⁾。しかし、異なる前作物の栽培により、土壌の理化学性やAM菌以外の生物性にも差が生じている可能性もある。

そこで、非宿主作物の栽培による後作トウモロコシの生育低下が、主にAM菌の減少に起因することを証明するため、非宿主作物跡地へのAM菌接種試験を行った。シロガラシ（非宿主）後のトウモ

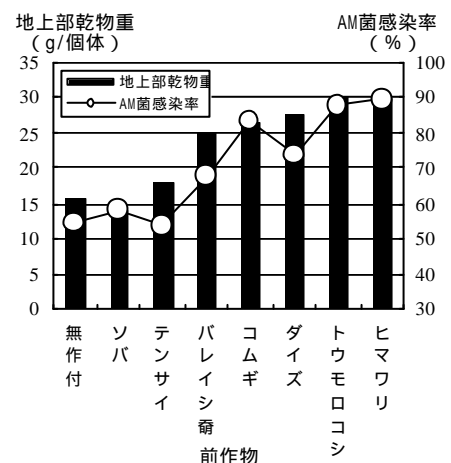


図1 前作物がトウモロコシの生育とAM菌感染率に及ぼす影響

ロコシの生育 (A) は、ヒマワリ (宿主) 後 (C) に比べて劣った。しかし、ヒマワリ跡地から単離した AM 菌をシロガラシ跡地土壌に加えたところ (B)、トウモロコシの生育、リン吸収と AM 菌感染が向上し、ヒマワリ跡地とシロガラシ跡地の差が縮小した (図 2)。以上より、トウモロコシで認められた前作効果は、主に前作物の違いによる土壌中の AM 菌密度の差で説明できることが示された³⁾。

次に、後作トウモロコシで認められた前作効果が、他の作物にもみられるか否かを明らかにするため、各種の後作物を用いて前後作の組合せ試験を行った。AM 菌の非宿主であるキャベツ、ダイコン、ソバ、テンサイの生育・収量には、前作物の影響が現れなかった。これは、非宿主作物の AM 菌感染率に前作物の影響が現れない (感染が起きない) ためと判断した。一方、多くの宿主作物には、トウモロコシと同様に AM 菌が関与する前作効果が認められた。ただし、その程度には作物間差があり、インゲンマメ、アズキなどへの影響が大きく、コムギとバレイショでは前年の宿主作物栽培による増収効果はやや小さかった^{4) 5)}。

前作効果に影響を及ぼす環境要因の解明

前作効果に対する環境要因の影響を明らかにすることは、AM 菌動態を考慮した作付順序の導入が有効な場面を知る上で重要である。まず、土壌水分の影響を明らかにするため、土壌水分を調節した各種作物の跡地土壌でトウモロコシの生育と AM 菌感染を調査した。トウモロコシの生育は、宿主作物 (ヒマワリ、トウモロコシ、アズキなど) 跡地で優り、非宿主作物 (ダイコン、シロガラシ、テンサイ、ソバ) と無作付の跡地で劣った。この前作効果は乾燥条件では顕著であったが、土壌水分の増加に伴い縮小した (図 3)。また、AM 菌密度が低い非宿主作物跡地土壌でも、土壌水分の増加とともに AM 菌感染が高まり宿主作物跡地との差が縮小した。以上の結果から、土壌水分の増加に伴う AM 菌感染率の差の縮小が湿潤条件で前作効果が小さくなる原因の一つと判断した^{6) 7)}。

次に、地温が前作効果に及ぼす影響を明らかにするため、地温を 15、20、25 の 3 段階に調節したヒマワリ (宿主) とシロガラシ (非宿主) の跡地土壌にトウモロコシを栽培した。トウモロコシの生育と AM 菌感染は地温が下がるにつれて低下したが、いずれの地温でもヒマワリ後で高かった。各地温で前作物の種類がトウモロコシの AM 菌感染と生育に影響したことから、少なくとも地温 15 以上では前作効果が現れ、宿主作物跡地では AM 菌によるリン吸収促進効果が発現すると判断した⁸⁾。

また、リン肥沃度を変えて前後作試験を行い、AM 菌がかかわる前作効果を期待できる有効態リンレベルを調べた。200 mg kg⁻¹ (トルオーグ法) までの各リン肥沃度において、トウモロコシの初期生育と AM 菌感染率は宿主作物後で優れたが、生育の差はリン肥沃度が低いほど大きかった。収穫期には前作物の影響は小さくなったが、有効態リンが約 110 mg kg⁻¹ までは収量差がみられた。以上より、

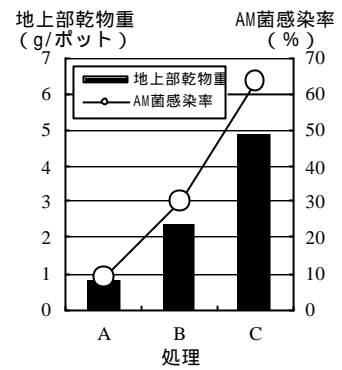


図 2 シロガラシ跡地土壌への AM 菌接種効果

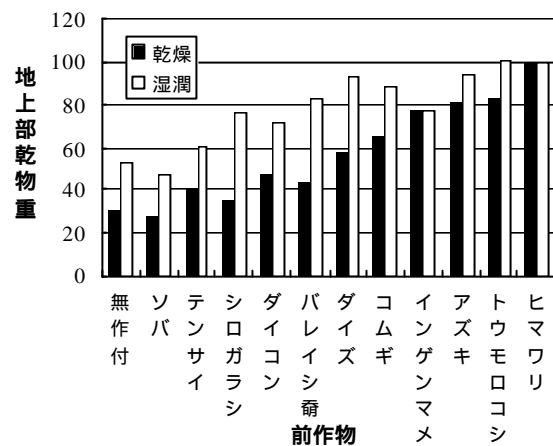


図 3 前作物がトウモロコシの生育に及ぼす影響と土壌水分の関係

トウモロコシの地上部乾物重は、各土壌水分条件におけるヒマワリ後の地上部乾物重を 100 とした値。

この前作効果はリン肥沃度が低いほど顕著であるとともに、北海道の土壤診断基準値（有効態リン 44 ? 131 mg kg⁻¹）内の土壤でも発現した⁹⁾。

さらに、前作効果の土壤間差を調べるため、前作物の種類（ヒマワリとシロガラシ）が、土壤中のAM菌密度と後作トウモロコシのAM菌感染および生育に及ぼす影響を17種類の土壤で検定した。試験に用いた17土壤のうち14土壤でシロガラシ後よりもヒマワリ後でトウモロコシのリン吸収量が多く、生育も優れた（図4）。トウモロコシのAM菌感染率もヒマワリ後の方が高かったことから、これらの土壤におけるトウモロコシの生育差も、AM菌感染の違いに起因すると考えられた。前作効果と土壤の性質との相関分析の結果、トウモロコシへの前作効果の違いは土壤の理化学性では説明できないことが明らかになったが、前作ヒマワリのAM菌感染率から予測が可能と考えられた¹⁰⁾。

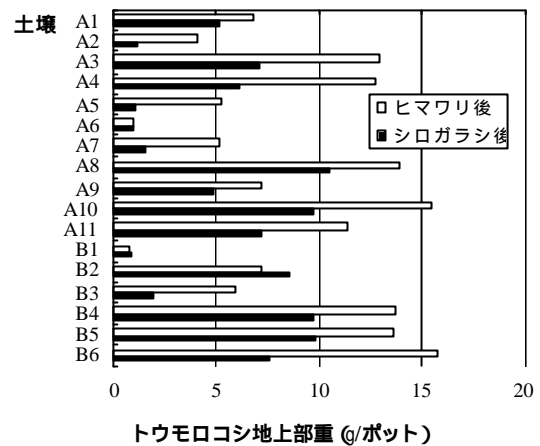


図4 トウモロコシへの前作効果の土壤間差
A6、B1、B2を除く全ての土壤で、ヒマワリ後のトウモロコシの地上部重が有意に大きかった。

緑肥導入による後作物のAM菌感染と生育の改善

AM菌との共生程度が低い作物の跡地では、後作物のAM菌感染と生育が劣る。そこで、翌春まで裸地になるこれら作物の収穫跡地に宿主作物を緑肥として導入し、翌年の作物生育への効果を調べた。

トウモロコシのAM菌感染と生育は、AM菌との共生程度が低いエンバク跡地を春まで裸地にした区や非宿主作物（シロガラシ）を緑肥として導入した区に比べて、宿主作物（ヒマワリ、ベッチ）を導入した区で著しく優れた。また、トウモロコシの生育、リン吸収、AM菌感染は、緑肥作物のすき込みの有無に影響されなかった。以上より、ヒマワリ、ベッチの導入効果は、有機物の還元由来のものではなく、トウモロコシのAM菌感染率の向上によるものと判断した（図5）。なお、緑肥を9月以降に播種しても効果がなかったことから、非宿主作物等を栽培してAM菌が減少した土壤では、宿主作物を8月中旬に緑肥として導入することによって、翌年の作物生育を改善できると考えられた¹¹⁾。

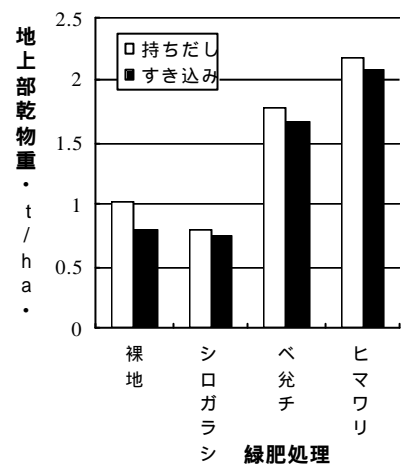


図5 翌年のトウモロコシへの緑肥作物の導入効果

結論

輪作では、前作効果の原因を理解し、適切な組合せで前作物と後作物を栽培することが望ましい。しかし、前作効果には原因不明の事象も多く、実際に栽培するまで後作物への影響が分からないことが多い。本研究では、前作効果の要因がAM菌密度の差であることを解明した。これより、作物とAM菌の共生程度が前後作の最適組合せを決めるための有効な判断基準の一つとなることが示された。

このAM菌が関与する前作効果は、リン肥沃度が低く、乾燥した土壤で顕著であり、低地温でも認められた。また、本効果は多くの土壤でみられたものの、前作効果の現れない土壤も存在した。これらは、AM菌動態に起因する前作効果が現れやすい環境条件に関する有用な知見である。今後、AM

菌動態による前作効果と養分や病害虫など既知の要因による前作効果を環境条件ごとに解析することにより、より効果的な作付順序の決定が可能になると考えられる。

本研究では、非宿主等の栽培で AM 菌が減少した場合、宿主作物を緑肥として導入することにより、後作物の AM 菌感染と生育を改善できることが示された。今後、作付順序の適正化や緑肥の利用により AM 菌を生かせる輪作を構築できれば、畑作物の多収技術に貢献できるものと期待される。

謝辞 本研究は北海道農業試験場（現北海道農業研究センター）生産環境部養分動態研究室で行われたものです。本研究の遂行にあたり北海道農業試験場の有原文二博士（現作物研）、建部雅子博士、笠原賢明氏（現近中四農研）、草地試験場の齋藤雅典博士（現農環研）には多大なご援助とご指導をいただきました。研究のとりまとめにあたり東北大学大学院農学研究科の前忠彦博士、山谷知行博士、三枝正彦博士、牧野周博士には暖かいご指導をいただきました。また、北海道農研の桑原眞人所長、高橋賢司部長、生産環境部の皆さまをはじめ所内外の多くの方々には多大なご助言とご支援をいただきました。皆さまに心より感謝し厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Arihara, J. and Karasawa, T.: Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 43? 51 (2000)
- 2) 唐澤敏彦：アーバスキュラー菌根菌からみた輪作，*化学と生物*，**40**，640? 642 (2002)
- 3) Karasawa, T., Kasahara, Y. and Takebe, M.: Differences in growth responses of maize to preceding cropping caused by fluctuation in the population of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.*, **34**, 851? 857 (2002)
- 4) 唐澤敏彦：輪作におけるアーバスキュラー菌根菌の動態と作物の生育に関する研究，*土肥誌*，**73**，257? 258 (2002)
- 5) Arihara, J. and Karasawa, T.: Phosphorus nutrition in cropping systems through arbuscular mycorrhizal management. In N. Ae et al. (Eds.) *Plant Nutrient Acquisition*, Springer, Tokyo, pp. 319? 337 (2001)
- 6) Karasawa, T., Arihara, J. and Kasahara, Y.: Effects of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of maize under various soil moisture conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 53? 60 (2000)
- 7) Karasawa, T., Takebe, M. and Kasahara, Y.: Arbuscular mycorrhizal (AM) effects on maize growth and AM colonization of roots under various soil moisture conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 61? 67 (2000)
- 8) 唐澤敏彦：前後作の組合せとアーバスキュラー菌根菌の効果，*農業技術*，**57**，241? 246 (2002)
- 9) 唐澤敏彦・有原文二・笠原賢明・建部雅子：アーバスキュラー菌根菌からみた前後作の最適組合せ，*北農*，**69**，127? 133 (2002)
- 10) Karasawa, T., Kasahara, Y. and Takebe, M.: Variable response of growth and arbuscular mycorrhizal colonization of maize plants to preceding crops in various types of soils. *Biol. Fertil. Soils*, **33**, 286? 687 (2001)
- 11) 唐澤敏彦・笠原賢明・建部雅子：緑肥作物の導入によるアーバスキュラー菌根菌の増殖とトウモロコシ栽培への利用，*土肥誌*，**72**，357? 364 (2001)

Arbuscular mycorrhizal associations and interactions in temperate cropping systems

Toshihiko Karasawa (Natl. Agric. Res. Ctr. Hokkaido Region, Dept. of Agro-environment Sci.)

tkarasaw@affrc.go.jp