

学 位 論 文 題 名

Mechanisms of arbuscular mycorrhizal infection to host plants

（Arbuscular菌根菌の宿主植物への感染機構に関する研究）

学位論文内容の要旨

リン酸質肥料の原料であるリン鉱石資源の賦存量は有限であり、現在のような使用状態が続くと100年以内に枯渇する可能性がある」と試算されている。それゆえ作物生産におけるリン酸質肥料の効率的利用法の開発が要請されている。Arbuscular菌根菌と植物との間の共生関係の利用はこのための最も重要な方法のひとつである。菌根菌との共生によって宿主植物のリン吸収と生育を改善するためには、宿主植物に対するこの菌の感染率を高め、共生状態を十分発現させる必要がある。一方本菌の宿主植物根に対する感染は土壌および植物の各種要因によって影響を受けるが、その機構は十分明らかにされていない。本研究は(i)土壌のリン供給能と植物のリン栄養状態がArbuscular菌根菌の宿主植物根への感染に及ぼす影響を明らかにし、(ii)宿主植物根への感染機構を解明することを目的として実施した。得られた成果の概要は以下の通りである。

（１）山形県内の各種土壌に生育している植物の根における土着Arbuscular菌根菌の感染状態を調査したところ、土壌の可給態リン酸含量とArbuscular菌根菌感染率との間には負の相関関係が認められた。

（２）各種無機塩を含む培地でArbuscular菌根菌 *Gigaspora margarita* の胞子を27℃で14日間培養し、発芽率および外生菌糸の生長を測定した。胞子の発芽と外生菌糸の生長はpH4.0－9.0の範

囲で5 mM以下の濃度条件では培地のリン酸濃度の影響は受けず、外生菌糸の生長は3 dSm⁻¹以上の高い電気伝導度によって阻害された。畑土壌溶液のリン酸濃度は0.1 mM以下であるので、土壌リン酸濃度が孢子の発芽や菌糸生長に及ぼす直接的な影響はないと考えられた。

(3) Arbuscular菌根菌が感染したタマネギに対して1) リン酸溶液の葉内への注入、2) リン酸溶液の土壌施用と3) リン酸を含まない溶液の土壌施用を行ったところ、リン酸溶液の葉内への注入とリン酸溶液の土壌施用により感染率は低下した。一方、葉内への注入により地上部のリン含有率は上昇したが、土壌中の可給態リン酸含量は処理3)と差が無かった。したがって土壌への多量のリン酸施用による感染の低下は、植物体内のリン含有率の上昇に起因することが明らかになった。

(4) リン酸施用が感染の各過程に及ぼす影響を検討した。外生菌糸により根面に形成された付着器(appressorium)の数はリン酸施用により減少したが、1つの付着器から発達した内生菌糸の生長は植物体内のリン濃度の影響を受けなかった。内生菌糸の代謝活性(コハク酸脱水素酵素活性)も体内リン濃度の影響を受けなかった。個体あたりの付着器の数と感染根長との間には有意な正の相関関係が存在した。これらのことからArbuscular菌根菌の感染は付着器の形成過程で調節されていることが示された。

(5) 植物のリン栄養状態が根からの各種化合物の浸出に及ぼす影響を明らかにするため、水耕培養および土耕培養により各種植物根の浸出物を測定した。リン栄養状態が正常である植物に比べて、リン欠乏植物では根の浸出物中のアミノ酸および還元糖濃度が高かった。このことから、リン欠乏によって各種化合物の根からの浸出が増加し、根圏でこれらの濃度が高まっていることが示された。

(6) 水耕培養によりリン栄養状態が異なるタマネギ根の浸出液を調製し、感染に及ぼす影響を検討した。*G. margarita*の外生菌糸生長はリン欠乏(<1 g P kg⁻¹)の根の浸出物を含む水溶液中で、リン栄養状態が正常である根の浸出物を含む水溶液および蒸留水中より大きかった。根長あたりの付着器数と感染率も同様にリン欠乏の根からの浸

出物を含む水溶液の添加により増大した。XAD-4樹脂による根の浸出物の分画により、Arbuscular菌根菌の感染促進物質は疎水性化合物であることが示された。胞子の発芽はリン欠乏およびリンが十分にある根の浸出物処理間で差がなかった。これらのことから宿主植物のリン栄養状態は根の浸出物組成に影響を及ぼし、これにより外生菌糸の伸長と付着器の形成が調節されていることが示された。

(7) Arbuscular菌根菌種 *Glomus mosseae* または *G. margarita* の接種とリン酸質肥料施用がホワイトクローバとタマネギのリン吸収と生育に及ぼす影響を検討した。感染とリン酸施用により地上部のリン吸収と生育が増加した。感染による増加の度合は低～中土壌リンレベルで大きく、また菌種により異なり、ホワイトクローバでは *G. margarita* で大きく、タマネギでは *G. mosseae* で大きかった。したがって、植物のリン吸収と生育の改善のためにはリン酸質肥料の施用量とArbuscular菌根菌種の適切な組合せが必要である。

(8) 以上の結果から、Arbuscular菌根菌によるリン酸質肥料の有効利用法を開発するために以下の方策を提案した。i) 土壌への多量のリン酸質肥料施用はArbuscular菌根菌の感染を低下させ、共生によるリン吸収と生育の促進効果を小さくする。したがって各作物種がArbuscular菌根菌と共生するために最適な土壌リンレベルを維持する必要がある。タマネギでは土壌の可給態リン酸が $300-500\text{mgP kg}^{-1}$ 以下が望ましい。ii) Arbuscular菌根菌の感染による宿主植物のリン吸収と生育の改善効果は菌根菌種と宿主植物種の組合せにより異なることから、各作物種に対して有効なArbuscular菌根菌種を選択する必要がある。iii) Arbuscular菌根菌と効率的に共生する作物種または品種の選択、育種が望まれる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 但 野 利 秋
副 査 教 授 生 越 明
副 査 教 授 波多野 隆 介

学 位 論 文 題 名

Mechanisms of arbuscular mycorrhizal infection to host plants

(Arbuscular菌根菌の宿主植物への感染機構に関する研究)

本論文は、図34、表21、引用文献86を含み、8章からなる総頁数117の欧文論文である。別に参考文献16編が添えられている。

リン酸質肥料の原料であるリン鉱石資源の賦存量は有限であり、現在のような使用状況が続くと100年以内に枯渇する可能性がある」と試算されている。それゆえ作物生産におけるリン酸質肥料の効率的利用法の開発が要請されている。Arbuscular菌根菌と植物との間の共生関係の利用はこのための最も重要な方法のひとつである。菌根菌との共生によって宿主植物のリン吸収と生育を改善するためには、宿主植物に対するこの菌の感染率を高め、共生状態を十分発現させる必要がある。一方本菌の宿主植物根に対する感染は土壌および植物の各種要因によって影響を受けるが、その機構は十分明らかにされていない。本研究は(i)土壌のリン供給能と植物のリン栄養状態がArbuscular菌根菌の宿主植物根への感染に及ぼす影響を明らかにし、(ii)宿主植物根への感染機構を解明することを目的として実施したものである。

(1) 山形県内の各種土壌に生育している植物の根における土着Arbuscular菌根菌の感染状態を調査したところ、土壌の可給態リン酸含量とArbuscular菌根菌感染率との間には負の相関関係が認めら

れた。

(2) *Gigaspora margarita*の胞子の発芽と外生菌糸の生長はpH4.0－9.0の範囲で5 mM以下の濃度条件では培地のリン酸濃度の影響を受けず、外生菌糸の生長は3 dS m⁻¹以上の高い電気伝導度によって阻害された。畑土壌溶液のリン酸濃度は0.1 mM以下であるので、土壌溶液リン酸濃度が胞子の発芽や菌糸生長に及ぼす直接的な影響はないと考えられた。

(3) Arbuscular菌根菌が感染したタマネギに対して1) リン酸溶液の葉内への注入、2) リン酸溶液の土壌施用と3) リン酸を含まない溶液の土壌施用を行ったところ、処理1) と2) により感染率は低下した。一方、処理1) により地上部のリン含有率は上昇したが、土壌中の可給態リン酸含量は処理3) と差が無かった。したがって土壌への多量のリン酸施用による感染の低下は、植物体内のリン含有率の上昇に起因することが明らかになった。

(4) 根面に形成された付着器(appressorium)の数はリン酸施用により低下したが、1つの付着器から発達した内生菌糸の生長は植物体のリン濃度の影響を受けなかった。このことからArbuscular菌根菌の感染は付着器の形成過程で調節されていることが示された。

(5) リン栄養状態が正常である植物に比べて、リン欠乏植物で根の浸出液中のアミノ酸および還元糖濃度は高かった。このことから、リン欠乏によって各種化合物の根からの浸出量が増加し、その結果、根圏でこれらの濃度が高まると理解された。

(6) *G. margarita*の外生菌糸生長はリン欠乏のタマネギ根の浸出物中で、リン栄養状態が正常であるタマネギ根の浸出物および蒸留水中より大きかった。根長あたりの付着器数と感染率も同様にリン欠乏のタマネギ根からの浸出物添加により増加した。XAD-4樹脂による根の浸出物の分画により、Arbuscular菌根菌の感染促進物質は疎水性化合物であることが示された。胞子の発芽はリン欠乏およびリン栄養状態が正常であるタマネギ根の浸出物処理間で差がなかった。これらのことから宿主植物のリン栄養状態は根の浸出物組成に影響を及ぼし、これにより外生菌糸の伸長と付着器の形成が調節されて

いることが示された。

(7) Arbuscular菌根菌種 *Glomus mosseae* または *G. margarita* の感染とリン酸施用により、地上部のリン吸収と生育が増加した。感染による増加の度合は低～中土壌リンレベルで大きく、また菌種と植物種の組合せにより異なった。したがって、植物のリン吸収と生育の改善のためにはリン酸質肥料の施用量と Arbuscular 菌根菌種の適切な組合せが必要である。

(8) 以上の結果から、Arbuscular 菌根菌によるリン酸質肥料の効率的利用法を開発するために以下の方策を提案した。i) 多量のリン酸質肥料の施用は菌の感染を低下させ、共生によるリン吸収と生育の促進効果を小さくする。したがって、各作物種が菌と共生するために最適な土壌リンレベルを維持する必要がある。ii) Arbuscular 菌根菌の感染による宿主植物のリン吸収と生育の促進効果は菌根菌種と植物種の組合せにより異なることから、各作物種に対して有効な菌種を選択する必要がある。iii) Arbuscular 菌根菌と効率的に共生する作物種または品種の選択、育種が望まれる。

以上のように、本研究は Arbuscular 菌根菌の宿主植物根への感染機構を解明し、あわせて効率的なリン酸肥培管理法を提案しており、その成果は学術的に高く評価し得るばかりでなく、持続的作物肥培管理法の開発に対して貢献するところが極めて大きい。よって審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者俵谷圭太郎は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。