学位論文題名

Mechanisms of Tropical Plants to Tolerate to Low Available Phosphorus Soils

(低リン土壤における熱帯植物の耐性機構)

学位論文内容の要旨

作物の生育には窒素、リン、カリが多量要素として必須である。リン資源はこのままの使用で行くと約 50~200 年で枯渇すると試算されており、世界的にリンの有効利用は重要な研究課題となっている。

熱帯には酸性土壤が広く分布し、とくにアルミニウム過剰毒性により、多くの作物は正常に生育することができない。また、酸性土壤では、リンを施与してもアルミニウムや鉄と結合して不溶化するため、多くの作物でこれら難溶性リンの可溶化が重要な課題となっている。一方、このような酸性土壤においても多くの植物が自生しており、これらの植物種はなんらかの適応機構を獲得していると考えられる。そこで本研究では、熱帯の酸性土壤、とくに低リン土壤において、熱帯の植物が難溶性リンを可溶化している機構について解明した。得られた結果の概要は以下のとおりである。

1. 土壤の特性

1) 使用した Kohong (Kh)、 Hat Yai (Hy)、 Ban Thon (Bh)土壤は有効態リンが 2~4 mg kg⁻¹と極めて低かった。不可給態リンの内、有機態リンが 48-71%と多く、ついで Al 態リン(Al-P)、Fe 態リン(Fe-P)が 1-14%と多く、Ca 態リン(Ca-P)は 0-5%と少なかった。

2) Hy の表層土と Bh の下層土に、クエン酸とシュウ酸を添加したところ、難溶性の無機態および有機態リンが可溶化された。したがって、根から有機酸が分泌されると、難溶性リンが可溶化されることが分かった。

2. リン欠除およびアルミニウム施与による根からの分泌物の誘導

各種熱帯植物を、完全培養液、リン欠除培養液、アルミニウム施与培養液、リン欠除・アルミニウム施与培養液で生育させ、根からの各種分泌物について調査した。

1) リン欠乏処理で、根/地上部比が大きくなり、リン利用効率が *Acacia mangium*, *Brachiaria ruziziensis*, *Melaleuca cajuputi*, *Panicum maximum*, *Panicum repens*, *Stylosanthe hamata* で 5-10 倍に高まった。これらの植物は低リン耐性が強く、リンのリサイクル機能に優れていた。

2) 酸性フォスファターゼは土壌中の有機態リンを無機化する。根からの酸性フォスファターゼの分泌はリン欠除により *S. hamata* で著しく促進され、またリン欠除およびアルミニウム施与処理にかかわらず *B. ruziziensis*, *P. maximum*, *P. repens*, *Pueraria phaseoloides*, *A. mangium*, *Anacardium occidentale*, *Hevea brasiliensis*, *M. cajuputi* で多かった。

3) シュウ酸の分泌は、リン欠除で *A. occidentale* で著しく促進され、リン栄養にかかわらず *A. mangium*, *M. cajuputi* で多かった。クエン酸+リンゴ酸は、リン栄養にかかわらず *A. mangium* で恒常的に分泌していた。

4) 酸性土壌ではアルミニウムが可溶化する結果、リンと結合して難溶性リン酸アルミニウムとなり、リンが不可給化するため、アルミニウムもリン欠乏のシグナルとなる可能性が考えられる。しかし、アルミニウム処理で、根からの有機酸分泌が促進されたのは *Arachis pintoi* のクエン酸+リンゴ酸と、*H. brasiliensis* のシュウ酸のみで、リン欠除との相互関係も認められなかった。

3. 根圏での難溶性リンの可溶化機構

植物根と土壌を遮根布（根を通さないが水は移動する）で分離し、根からの分泌物が根圏土壌（根に接した土壌）にどのような影響をおよぼすかについて検討した。

1) *A. mangium*, *M. cajuputi* では可給態リンの多い Hy 土壌で可給態リンの少ない Bh 土壌より生育が良く、*A. occidentale* では種子のリン含有率が高いために、Bh 土壌でもよく生育した。また、根圏土壌を酸性化させたが、酸性化によるリンの可溶化はほとんど認められなかった。

2) *A. occidentale* はシュウ酸を多量に分泌し、Al-P や有機態リンが可溶化された。しかし、この植物は種子のリン含有率が高いために幼植物の生育には貯蔵リンのみで十分であり、土壌 P の吸収はあまり多くなかった。したがって、いったん可溶化した根圏域におけるリンは、再度 Al-P (Bh 土壌)、Fe-P (Hy 土壌) として不溶化し、この画分のリンが高まった。

3) *A. mangium* は多量のクエン酸+リンゴ酸と少量のシュウ酸を分泌し、おもに Fe-P を可溶化した。

4) *M. cajuputi* は少量のシュウ酸を分泌し、Al-P をわずかに可溶化した。

4. 結論

熱帯の低リン土壌において、熱帯の植物は根から有機酸を分泌して難溶性リンを可溶化して利用（吸収）する機構を持つことが明らかとなった。とくに、有機酸の種類と分泌量により、いずれの形態のリンが可溶化されるかについて解明した。これらの知見は、熱帯の植物を改良し、熱帯土壌において生産性を向上させる方策を確定するのに貢献すると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 口 淳 一
副 査 教 授 波 多 野 隆 介
副 査 助 教 授 大 崎 満
副 査 助 教 授 中 原 治

学 位 論 文 題 名

Mechanisms of Tropical Plants to Tolerate to Low Available Phosphorus Soils

(低リン土壌における熱帯植物の耐性機構)

本論文は、図 12、表 13、引用文献 82 を含む総頁数 106 の英文論文であり、別に参考論文 1 編が添えられている。

本研究は、熱帯の植物が土壌中の難溶性リンを可溶化する機構について解明することを目標として実施したものである。得られた結果の概要は以下のとおりである。

1. 土壌の特性と有機酸によるリンの可給化

1) 使用した Kohong (Kh)、 Hat Yai (Hy)、 Ban Thon (Bh)土壌は有効態リンが 2～4 mg kg⁻¹ と極めて低かった。不可給態リンのうち、有機態リンが 48–71% と多く、ついで Al 態リン、Fe 態リンが 1–14% と多く、Ca 態リンは 0-5% と少なかった。

2) Hy の表層土と Bh の下層土に、クエン酸とシュウ酸を添加したところ、難溶性の無機態および有機態リンが可溶化された。したがって、根から有機酸が分泌されると、難溶性リンが可溶化される。

2. リン欠除およびアルミニウム添加による根からの分泌物の誘導

各種熱帯植物を、完全培養液、リン欠除培養液、アルミニウム添加培養液、リン欠除・アルミニウム添加培養液で生育させ、根からの各種分泌物について調査した。

1) リン欠乏処理で、根/地上部比が大きくなり、リン利用効率が *Acacia mangium*, *Brachiaria ruziziensis*, *Melaleuca cajuputi*, *Panicum maximum*, *Panicum repens*, *Stylosanthes hamata* で 5-10 倍に高まった。これらの植物は低リン耐性が強く、リンのリサイクル機能に優れていた。

2) 酸性フォスファターゼは土壌中の有機態リンを無機化する。根からの酸性フォスファターゼの分泌はリン欠除により *S. hamata* で著しく促進され、またリン欠除およびアルミニウム添加処理にかかわらず *B. ruziziensis*, *P. maximum*, *P. repens*, *Pueraria phaseoloides*, *A. mangium*, *Anacardium occidentale*, *Hevea brasiliensis*, *M. cajuputi* で多かった。

3) シュウ酸の分泌は、リン欠除により *A. occidentale* で著しく促進され、リン栄養にかかわらず *A. mangium*、*M. cajuputi* で多かった。*A. mangium* はリン栄養にかかわらずクエン酸+リンゴ酸を恒常的に分泌していた。

4) 酸性土壌ではアルミニウムが可溶化する結果、リンと結合して難溶性リン酸アルミニウムとなり、リンが不可給化するため、アルミニウムもリン欠乏のシグナルとなる可能性が考えられる。しかし、アルミニウム処理で、根からの有機酸分泌が促進されたのは *Arachis pintoi* によるクエン酸+リンゴ酸と、*H. brasiliensis* によるシュウ酸のみで、リン欠除との相互関係も認められなかった。

3. 根圏での難溶性リンの可溶化機構

植物根と土壌を遮根布（根を通さないが水は移動する）で分離し、根からの分泌物が根圏土壌（根に接した土壌）にどのような影響をおよぼすかについて検討した。

1) *A. mangium*、*M. cajuputi* では可給態リンの多い Hy 土壌で可給態リンの少ない Bh 土壌より生育が良く、*A. occidentale* では種子のリン含有率が高いために、Bh 土壌でもよく生育した。また、根圏土壌を酸性化させたが、酸性化によるリンの可溶化はほとんど認められなかった。

2) *A. occidentale* は Al-P や有機態リンを可溶化した。しかし、この植物は種子のリン含有率が高いために幼植物の生育には貯蔵リンのみで十分であり、土壌 P の吸収はあまり多くなかった。したがって、いったん可溶化した根圏域におけるリンは、再度 Al-P (Bh 土壌)、Fe-P (Hy 土壌) として不溶化し、この画分のリンが高まった。

3) *A. mangium* はおもに Fe-P を可溶化した。

4) *M. cajuputi* は Al-P をわずかに可溶化した。

以上のように、本研究は、熱帯の低リン土壌に適応した熱帯植物は根から酸性フォスファターゼや有機酸を分泌して難溶性リンを可溶化する機構を持つことを明らかにした。これらの知見は学術的に高く評価されると同時に、熱帯の酸性化した低リン土壌に適応するように植物を改良し、かつ熱帯土壌を持続的に維持するのに貢献するものである。よって審査員一同は、Jumpen Onthong が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。