

緑肥の導入などによる有用微生物の増殖とリン酸施肥の削減

はじめに

リン酸は、資源の枯渇が危惧される肥料成分です。しかし、施肥したリン酸の作物による利用率が低いため、多くのリン酸が農耕地に施肥され続けています。その一方で、植物の中にはリン酸を獲得する優れた能力をもつものも知られています。また、土の中の微生物にも、作物のリン酸吸収を助ける働きをするものがあります。そこで、リン酸吸収能が高い植物や有用微生物の機能を活用してリン酸減肥を行うなど、貴重なリン酸資源を上手に使うことが大切です。

有用な微生物を利用するためには、畑に微生物をまく（接種する）という方法もありますが、もともと土壌中に生息している土着の有用微生物を増やして利用する方法もありま

す。これまでに、輪作順序の改善や緑肥の導入によって、土着の有用微生物を増やすことができる事例が示されてきました。そこで、作物のリン酸吸収の促進に役立つと考えられる3種類の微生物、①VA菌根菌、②ホスファターゼ産生菌、③リン溶解菌を活用するための輪作順序や緑肥の導入法について紹介します（図1）。

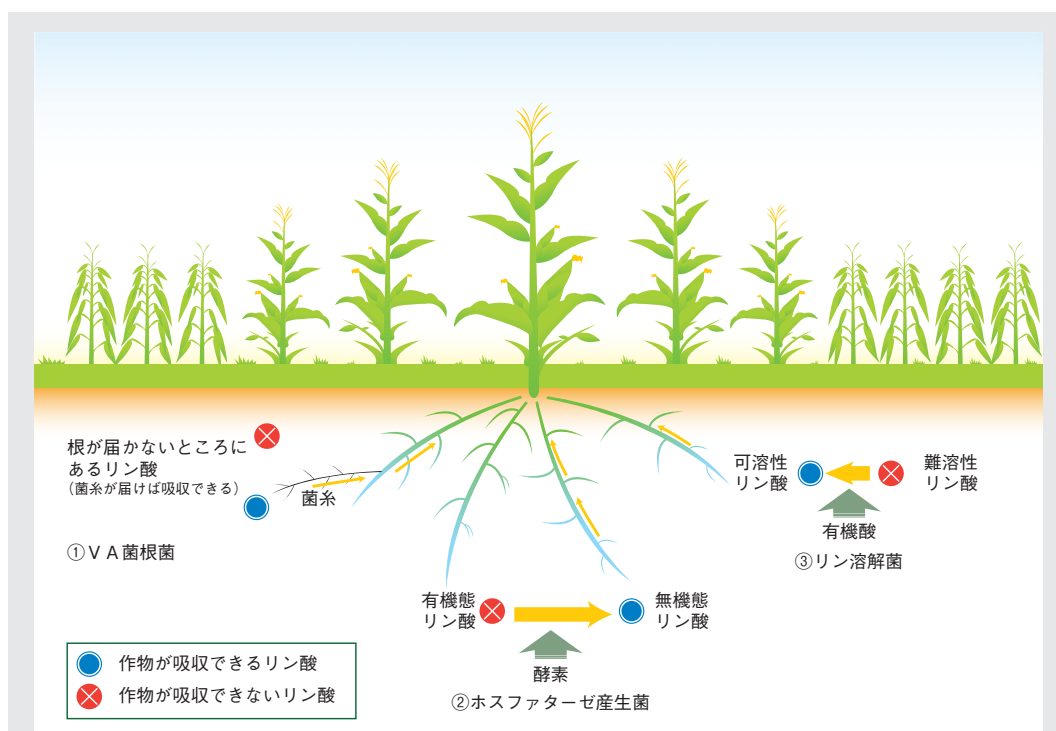


図1 作物のリン酸吸収の促進に役立つVA菌根菌、ホスファターゼ産生菌、リン溶解菌

第62巻第3号 (通巻657号)

牧草と園芸/平成26年(2014) 4月 初夏号 目次

- 府県版 春・夏まきロールベール用おすすめ品種 ……表 2
- 緑肥の導入などによる有用微生物の増殖とリン酸施肥の削減 ……[唐澤 敏彦]… 1
- ヘアリーベッチが農地にもたらしてくれるもの ……[和田美由紀]… 6
- サツマイモネコブセンチュウ増殖抑制エンバク:
スナイパー(系統名: A19)の育成とその利用について…[桂 真昭/立石 靖]…11
- 梅雨時期の土壌流出を抑制するカバークロップの効果(パレイシ栽培土壌での評価) ……[大井 義弘]…15
- チャガラシ「辛神」の現地試験紹介 ……[佐久間 太]…20
- 緑肥作物特性表(雪印種苗: 府県版) ……24
- 北海道向け「ハイオーツ」「辛神」のご紹介 ……表 3
- 府県向け「スノーデント夏空W」「スノーデント王夏」のご紹介 ……表 4



ヘアリーベッチのすき込み風景

1. 輪作順序の改善と緑肥の導入によるVA菌根菌の利用

1) VA菌根菌とは

リン酸は、土壤中で非常に動きにくい養分であり、作物は根のすぐ近くのリン酸しか吸収できないことが知られています。このため、根のリン酸吸収域を広げることが、作物のリン酸吸収を増やす上で重要になります。VA菌根菌は、作物の根に共生して（写真1）、菌糸を土壤中に（根の外にも）張り巡らせることにより、作物のリン酸吸収を増やすことができると考えられています（図1）。

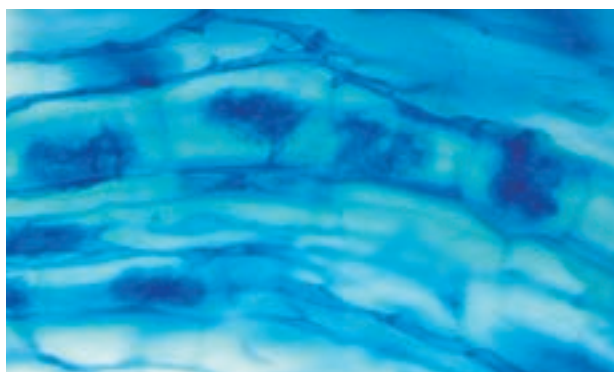


写真1 VA菌根菌 ダイズの根に共生しているところ

VA菌根菌は、多くの種類の植物と共生することができます。そして、様々な作物が、VA菌根菌に、リン酸吸収を助けてもらっていることが知られています。その一方で、VA菌根菌は、一部の植物とは共生することができません。VA菌根菌が共生しない作物を非宿主と呼び、アブラナ科（ナタネ、キャベツ、ダイコンなど）、アカザ科（ハウレンソウ、テンサイなど）、タデ科（ソバなど）等の作物がこれにあたります。VA菌根菌は生きている植物の根に共生しなければ、栄養を得て増殖することはできないという特徴を持つことも知られています。

2) 輪作順序の改善によるVA菌根菌の増殖とその効果

VA菌根菌は、共生相手から光合成産物をもらって生活しているため、その生存と増殖には共生相手（宿主）が必要です。このため、VA菌根菌は、共生相手を見つけられないと生存できません。ただ、本菌は、いろいろな植物と共生できるため、自然条件下では、共生相手を探すのは、それほど難しくないと考えられます。しかし、農耕地では、一種類の作物が栽培されることが多いことから、共生相手としない非宿主の作付けにより、VA菌根菌が共生

相手を見つけにくい状況になります。このため、非宿主作物の栽培後では、土着VA菌根菌が少なく、次の作物の感染率、リン酸吸収、生育・収量が低くなってしまうことがあります。一方で、宿主を栽培した跡地では、VA菌根菌が増えていますので、次に栽培する作物の根にはVA菌根菌がよく共生し、後作物のリン酸吸収、生育・収量が良くなります（図2）。

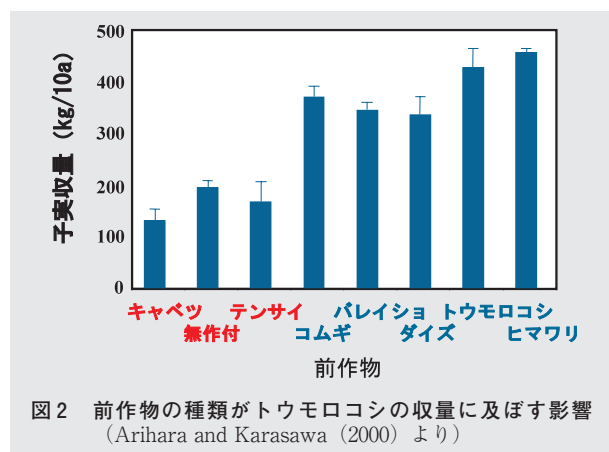


図2 前作物の種類がトウモロコシの収量に及ぼす影響（Arihara and Karasawa (2000) より）

Point

キャベツ、テンサイは、非宿主。無作付とともに、前年の圃場にVA菌根菌の共生相手がいない状態。これらの跡地では、トウモロコシのVA菌根菌感染率が低い。コムギ、パレイショ、ダイズ、トウモロコシ、ヒマワリは、VA菌根菌の宿主。これらの跡地では、トウモロコシのVA菌根菌感染率が高い。

後作物の種類を変えて、前作物が宿主（VA菌根菌を増やす）であるか、非宿主（VA菌根菌を減らす）であるかによる生育・収量の違いを調べてみると、作物の種類によって、前作物の影響、すなわち、VA菌根菌の効果の大きさが違うことが分かりました。試験した作物の中では、豆類やトウモロコシなどで、リン酸吸収をVA菌根菌に頼る割合が高いことが示されたことから（表1）、これらの作物を栽培する場合には、宿主作物の次に作付けることが有効であると考えられます。

3) 緑肥によるVA菌根菌の増殖とその効果

前述の通り、非宿主作物を栽培した場合、土壌中のVA菌根菌が減少し、次作物がリン酸を吸収しにくくなることがあります。そこでは、VA菌根菌にリン酸吸収を頼る割合が低い作物（表1の菌根菌の効果が小さな宿主作物や菌根菌の影響を受けない非宿主作物）を作付ければ良いのですが、例えば、非宿主のアブラナ科作物の後に、豆類やトウモロコシ

表1 宿主作物の栽培が各種後作物の収量に及ぼす効果（唐澤（2004）より）

後作物		宿主作物跡地における収量*	
菌根菌の効果が大きな宿主作物		菌根菌の効果が小さな宿主作物	
インゲン	131.7	コムギ	105.8
アズキ	127.4	バレイショ	105.8
ダイズ	120.3		
ヒマワリ	122.3		
トウモロコシ	111.5		
		菌根菌の影響を受けない非宿主作物	
		ダイコン	103.5
		キャベツ	102.8
		ソバ	101.6
		テンサイ	100.2

*前年に非宿主作物を栽培した跡地の収量を100とした場合の宿主作物跡地の収量（2～5年間の試験結果の平均値）。

前作物として用いた非宿主は、ダイコン、テンサイ、ソバ、シロガラシ、キャベツ、無作付のいずれか。前作物として用いた宿主は、ヒマワリ、トウモロコシ、ダイズ、アズキ、インゲン、バレイショ、コムギのいずれか。

Point

豆類、ヒマワリ、トウモロコシは、宿主作物跡地に作付けると、VA菌根菌増殖による増収効果が大きい。
ダイコン、キャベツ、ソバ、テンサイは、VA菌根菌と共生しないため、宿主栽培によって土着菌が増えることによる増収効果はみられない。
コムギ、バレイショは、VA菌根菌の宿主であるが、土着菌の効果は大きくない。

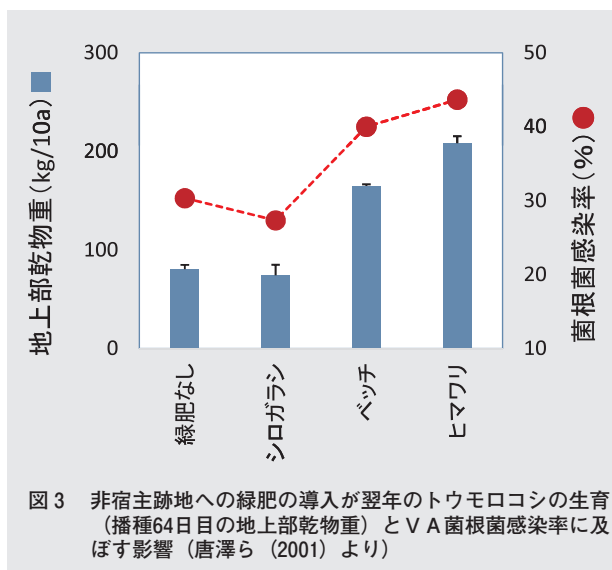
を栽培するような栽培体系が必要な場合も出てきます。そうした場合には、非宿主作物を収穫した後、次の作物を栽培するまでの圃場が空いている期間に、VA菌根菌と共生できる植物を緑肥として栽培し、一度、減った土着VA菌根菌を増やしてから、次の作物を作付けることが有効です。非宿主作物の跡地を裸地（緑肥なし）にして、翌年、トウモロコシを栽培するのに比べて、VA菌根菌を増やすベッチやヒマワリを緑肥として栽培した場合のほうが、翌年のトウモロコシの生育が優りました（図3）。この効果が、同じ緑肥であっても、VA菌根菌を増やすことのできないアブラナ科のシロガラシでは認

められなかったことから、ベッチやヒマワリといった緑肥の導入効果が、VA菌根菌の増殖によるものであると言えます。前節に示した輪作順序の改善とともに、緑肥も使って、土着VA菌根菌を利用したリン酸減肥を行うことが、リン酸の有効活用には重要であると考えられます。

2. 緑肥の導入による土壌酵素ホスファターゼの利用

1) ホスファターゼとは

施肥したリン酸の一部は、微生物の作用を受けて、有機態のリン酸に変化します。この有機態リン酸は、そのままでは、作物は吸収・利用することができません。土壌酵素の一種であるホスファターゼは、植物が利用しにくい有機態リン酸を無機化する働きがあります（図4）。ホスファターゼは、すき込んだ緑肥に含まれる有機態リン酸の分解に役立つほか、土壌中に蓄積している有機態リン酸を分解し、作物が利用できる形（無機態）に変えてくれます（図1）。



Point

シロガラシはVA菌根菌と共生しない緑肥。ベッチ、ヒマワリは、VA菌根菌と共生する緑肥。

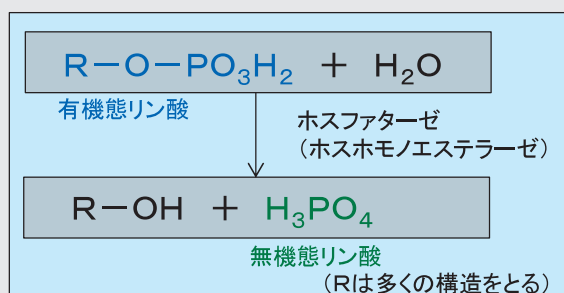


図4 ホスファターゼが触媒する反応

2) ホスファターゼ活性を高めるのに有効な緑肥

様々な夏作緑肥や冬作緑肥をすき込んだ跡地で、土壌のホスファターゼ活性を調べたところ、乾物すき込み量の多い緑肥をすき込むと活性が向上することが示されました（図5、写真2）。乾物すき込み量が多い緑肥は、そこに含まれるリン酸の量も多いことから、緑肥そのものが、次の作物のリン酸源としても重要な働きをすると考えられます（図6、写真3）。さらに、緑肥のすき込みによって高まったホスファターゼ活性は、緑肥に含まれる有機態リン酸を次の作物が利用しやすい無機態に変えてくれます。また、過去の施肥などに由来する土壌中のリン酸で、有機態として土壌に蓄積しているリン酸についても、ホスファターゼ活性が高まれば、無機化して作物に利用されやすくなることが期待されます。

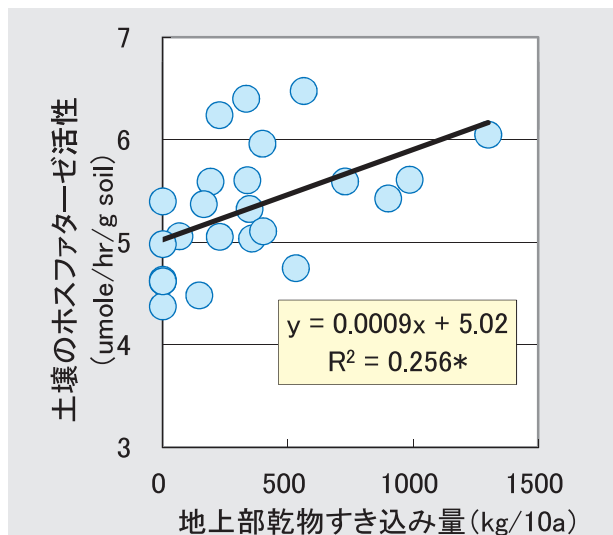


図5 緑肥の地上部乾物すき込み量と土壌のホスファターゼ活性との関係



写真2 乾物すき込み量が多いエンバク

3. 緑肥の導入によるリン溶解菌の利用

1) リン溶解菌とは

施肥したリン酸は、土壌中のアルミニウムや鉄、カルシウムと出会うと、水に溶けにくい難溶性のリン酸になります。この難溶性リン酸は、多くの作物にとって、吸収しにくい形態のリン酸です。リン溶解菌には、この難溶性リン酸を、有機酸などを放出することによって溶かす働きがあります。これを可溶化と呼びますが、可溶化されたリン酸は、作物が吸収しやすい形態であると言えます（図1）。

難溶性リン酸を溶かす働きのあるリン溶解菌の数を、難溶性のリン酸カルシウムの沈殿を広げた培地（写真4）で数えました。具体的には、培地に含まれる沈殿を溶かして、自分の周りを透明にするコロニーの数を数えて、リン溶解菌数としました。

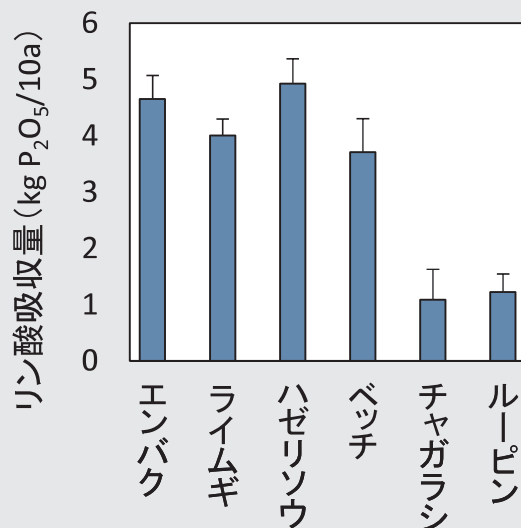


図6 冬作緑肥の地上部リン酸すき込み量

Point

緑肥は、左から乾物すき込み量が多い順に並べてある。エンバク、ライムギ、ハゼリソウ、ベッチでは、4～5 kg P₂O₅/10aのリン酸がすき込まれる。



写真3 リン酸すき込み量が多いベッチ

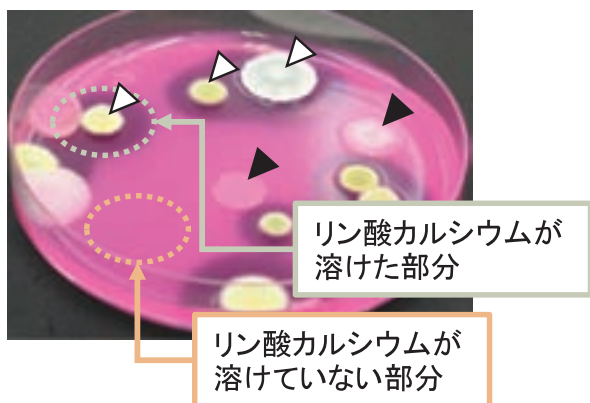


写真4 リン溶解糸状菌

Point

周りが透明な（黒い）コロニーがリン溶解菌（白矢印）
周りが透明にならないコロニーはリンを溶解しない糸状菌（黒矢印）

2) リン溶解菌を増やすのに有効な緑肥とその効果

リン溶解菌のうち糸状菌は、夏作緑肥の中では、ソルガム、ラッカセイ、クレオメをすき込んだところで増加していました。そこで、これら緑肥のすき込みで、土壌中の難溶性リン酸が溶けて次作物が利用できるようになることが期待されます。

リン溶解菌が増えたことによる効果を調べるために、各緑肥のすき込み跡地において、リン酸無施肥（-P）でコムギを栽培し、緑肥なし区と比較しました。コムギの生育は、緑肥なし+P（リン酸標準施肥、慣行）区を100とすると、緑肥なし-P区で

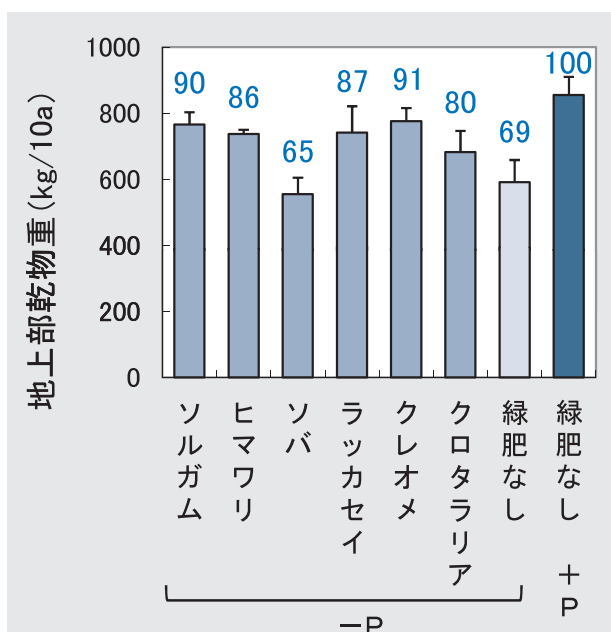


図7 緑肥のすき込みやリン酸施肥量がコムギの生育に及ぼす影響（出穂期）
図中の数字は、緑肥なし+P区を100とした値

劣る（69）一方で、ヒマワリ、ソルガム、ラッカセイ、クレオメのすき込み区（-P）では、リン酸無施肥にも関わらず+P区に近い生育（86～91）を示しました（図7）。この結果から、リン酸すき込み量が多く、ホスファターゼ活性も高まったソルガム、ヒマワリとともに、リン溶解糸状菌密度が高くなるソルガム、ラッカセイ、クレオメのすき込みにより、コムギのリン酸吸収、生育を改善できる可能性が考えられました。

おわりに

リン酸は、資源の枯渇が危惧される肥料成分ですが、作物による施肥リン酸の利用率が低いことから、作物が吸収する量よりもずっと多くのリン酸が農耕地に施肥され続けています。こうした中、輪作順序の改善や緑肥の導入により、土着の有用微生物などを活用し、作物へのリン酸供給を増やすことができることが分かってきました。また、緑肥の中には、リン酸吸収能が高く、土壌に蓄積するリン酸を、リン酸無施肥でも吸い上げることができるものもあり、それが、次の作物にとって貴重なリン酸源になることも期待できます。さらに、ルーピンのようなリン酸吸収能が高い作物の場合、混植などによって、その効果を他の作物に付与できる可能性も示唆されています。そこで、リン酸吸収能が高い植物の緑肥などとしての利用や有用微生物の機能の有効活用による減肥技術を開発させることが重要と考えられます。こうした取り組みによって、作物が施肥リン酸を効率よく吸収できるようにするとともに、過去に施肥して土壌に蓄積しているリン酸を有効活用することにより、限りあるリン酸資源を上手に使っていくことが大切です。

今回ご紹介した成果は、農林水産省委託プロジェクト「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクトB2系」、「生物機能を活用した環境負荷低減技術の開発」などで得られたものです。詳しい内容は、プロジェクトで作成した技術マニュアル（http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/narc/manual/051697.html の50～59p）などを参考にして下さい。