

# 農業と科学

1987  
3

CHISSO-SASAHIFERTILIZERCO.LTD

## VA菌根菌と その農業利用の可能性(2)

農林水産省草地試験場 西尾道徳  
土壌微生物研究室長

前回(1987年1月号)でVA菌根菌の特徴と基本的性質を述べた。VA菌根菌は可給態リンが多少存在する畑状態土壌で、温度が少なくとも10℃以上のときに、多様な植物の可給態リンの吸収を助けて、植物生育を著しく促進する。根粒菌のようにVA菌根を試験管で大量培養できれば、人工接種を普及に移すことができる。しかし、人工大量培養ができないために、VA菌根菌の農業利用はまだ極限されている。そうした研究の現状と将来の可能性を紹介することにする。

### クローバの定着促進にみる菌根菌接種効果の実例

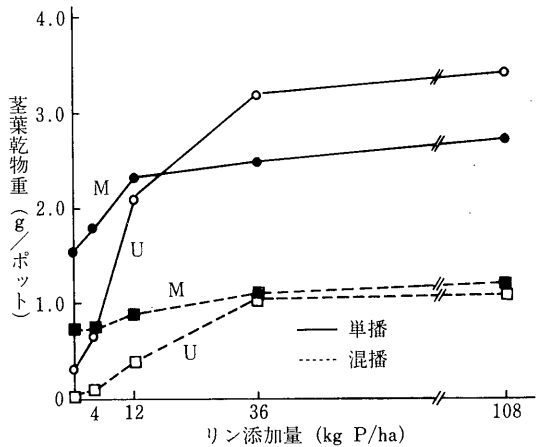
まず一つの例として、シロクロバでの例を紹介する。イネ科牧草とマメ科牧草の混播草地では、往々にしてイネ科牧草が優占してマメ科牧草が衰退しやすい。これを回避してマメ科牧草の定着促進を図るには、Nの施用を控え目にして、PやCaを充分施用することの必要性が古くから知られている。Nの施用を控えるのは、マメ科牧草の根粒による空中窒素固定が可給態Nの多い土壌条件では抑制されるからである。Pはイネ科にもマメ科牧草にも必要だが、マメ科牧草では空中窒素固定を増進するうえでもPは不可欠である。しかし、イネ科牧草の根の張り方がマメ科牧草に比べて密で量的に多いために、可給態Pの少ない土壌条件ではイネ科牧草がより活発にPを吸収してしまう。このことが、マメ科牧草の定着促進を図るために、Pを充分施用しなければならない理由の一つと考えられている。

こうしたことから、可給態Pの少ない土壌条件では、もしもマメ科牧草の根に多量のVA菌根菌を感染させられれば、マメ科牧草根のP吸収能力が著しく向上して、マメ科牧草の定着促進を図るのではないかと予想される。こうした予想は次の実験例からもうかがえる。

図4は、土着のVA菌根菌の存在する土壌と、それを

殺した消毒土壌とをポットに詰め、Pの施肥レベルを変えて、シロクロバ単播およびシロクロバとイネ科の

図4 単播および混播におけるVA菌根菌の感染(M)および無感染(U)のシロクロバの生育とリン添加量の関係 (Hall, 1978から作図)



単播：2個体/ポット、  
混播：クローバ2個体+ベレニアルライグラス2個体/ポット

### 本号の内容

- § VA菌根菌とその農業利用の可能性(2)……………(1)  
農林水産省草地試験場 西尾道徳  
土壌微生物研究室長
- § 鳥取県ナシ園土壌の物理性実態と  
土壌管理の問題点……………(6)  
鳥取県果樹試験場 浦木松寿

ペレニアルライグラスとの混播で、牧草を栽培したときの結果である。縦軸はシロクロバのみの茎葉乾物重を示している。混播では同時にペレニアルライグラスも生育しているので、単播のときに比べてシロクロバの茎葉重が低くなっている。この図で注目されるのは、P施用量と茎葉重の関係である。すなわち、①P施用量が低いときに、土着VA菌根菌の感染した個体に比べて、消毒土壌の無感染の個体の茎葉重が著しく低かった。この結果は、シロクロバ根のP吸収能があまり高くないために、可給態Pレベルの低い条件ではVA菌根菌の助けを必要とすることを示している。②単播に比べて混播では、無感染個体の茎葉重が感染個体のものに追いつくのに、より多量のP施用を必要とした。この結果は、可吸態Pの低い条件で混播するときに、VA菌根菌が充分感染していれば、シロクロバもイネ科牧草との競争に対抗できるが、無感染だと競争に負けやすいことを示している。そして、③P施用量を多くすると、感染個体と無感染個体の茎葉重の差はなくなるか、単播ではむしろ感染個体の茎葉重の方が低くなった。この結果は、可給態Pレベルの高い土壌ではシロクロバ根はVA菌根菌の助けを借りずに、自ら直接Pを充分吸収できるし、そうした状況下ではVA菌根菌が根から糖やアミノ酸等の光合成産物を収奪する一方なために、茎葉重がむしろ感染個体では低くなることを意味している。

こうした図4の結果から予想されるように、可給態Pレベルが低く、かつシロクロバに適したVA菌根菌のあまり多くない土壌では、優良なVA菌根菌株を人工接種すれば、シロクロバの生育と定着が促進される。

図5はウェルズの丘陵帯地にある泥炭土の自然原野でシロクロバを栽培したときのものである。土着のV

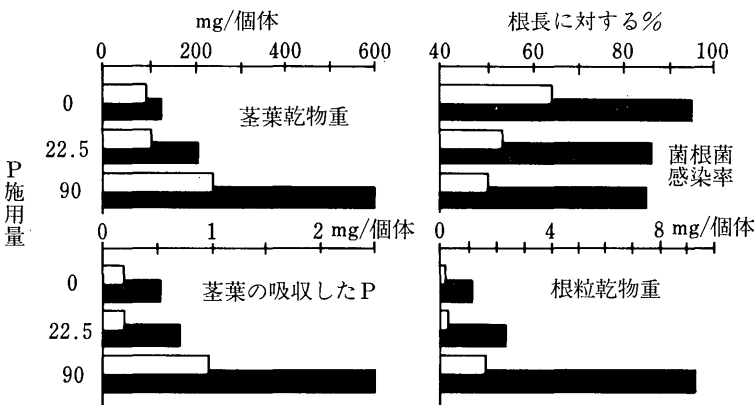
率が高まると同時に、シロクロバの茎葉重、P吸収量、根粒重も増加したことを示している。この場合、P無施用では土壌中の可給態Pが少なすぎて、VA菌根菌の感染率が高まっても、菌が集めてくるべき可給態Pがわずかしかないので、接種効果は小さい。従って、Pを施用した方が接種効果が大きい。なお、P施用によってVA菌根菌の感染率は低下しているが、同時に根の総延長が著しく増加しているため、個体当たりの感染総量はむしろ施肥の方が高まっていることに気をつけてもらいたい。ただし、P施用量を図5よりもさらに高めると、感染率が著しく低下して、個体当たりの感染総量も著しく低下するはずである。

**接種源の調整**

では人工培養のできないVA菌根菌の接種源をどうやって作るのだろうか。図5の実験では、事前にガラス室でVA菌根菌の胞子を種子の下に接種しない無接種して、シロクロバの苗を7週間栽培し、苗を移植したものである。このように宿主になる植物を栽培しつつ、菌を増殖させなければならない。一般にVA菌根菌の胞子形成は6週間後から始まると言われるので、少なくとも6週間以上の事前栽培が必要である。

移植ではなく直播の場合には、ガラス室でVA菌根菌を接種して事前に栽培した宿主植物の根及び周辺の土壌を切断やくだいたものを接種源にして、種子の3~8cm下に並べる。菌根菌の胞子だけを集めるのは大変なので、根や土壌ごと接種するわけである。こうした接種源を苗床では通常種子当たり1~10g、圃場での直播では多い場合に20~30t/ha (Powell, 1984)、少ない場合でも2~3t/ha (Hayman, Morris and Page, 1981) を接種する。この少ない場合であっても、仮りに1/5,000 a

図5 VA菌根菌接種に伴うシロクロバの茎葉乾物重、P吸収量、根粒重及び菌根菌感染率の増加 (Hayman and Mosse, 1979 より作図)



A菌根菌は存在するが、優良株] (*Glomus mosseae* と *Glomus fasciculatus*) を接種すると、VA菌根菌の感染

1,000tの接種源が確保できるので、500~2,000haの土地に接種可能になるという意見もある (Powell, 1984)。

ただし、一度VA菌根菌を増殖させた土壌は、やや乾燥気味にして低温保存すれば、2~3年はもつという。それゆえ、ニュージーランドでは1haの牧区を土壌消毒して、VA菌根菌の接種源とトウモロコシあるいはクロバの種子を粒状にしたものを播いて栽培すれば、1haの深さ10cmまでの表土で

しかし、日本でこうしたやり方が可能とは思えない。

圃場規模の人工接種は無理だとしても、苗作りに人工接種することは、規模が小さいので可能であろう。その場合には、特に病原菌の持ち込みが危険である。というのは、巨大なVA菌根菌の胞子の表面には色々なカビや細菌が附着しており、時には内部にも感染している。そのなかに病原菌がいる可能性もある。このため、アメリカの Menge (1984) は苗木用の接種源の製造行程として、①土壌からの胞子の収集、②スーダングラスに接種して胞子を増殖、③胞子を集めて表面殺菌、④消毒土壌のスーダングラスに表面殺菌胞子を接種、⑤3と4をくり返し、病気の有無を確認、⑥病原菌のいない胞子スーダングラスに接種して、接種源を製造する、という考えを提案している。苗とともに病原菌も広めては大変である。

胞子の表面殺菌は無菌設備さえあれば、薬品で比較的簡単に行なえる。表面殺菌した胞子は抗生物質の溶液に漬けて冷蔵庫に入れておけば、1年間ほもつという。

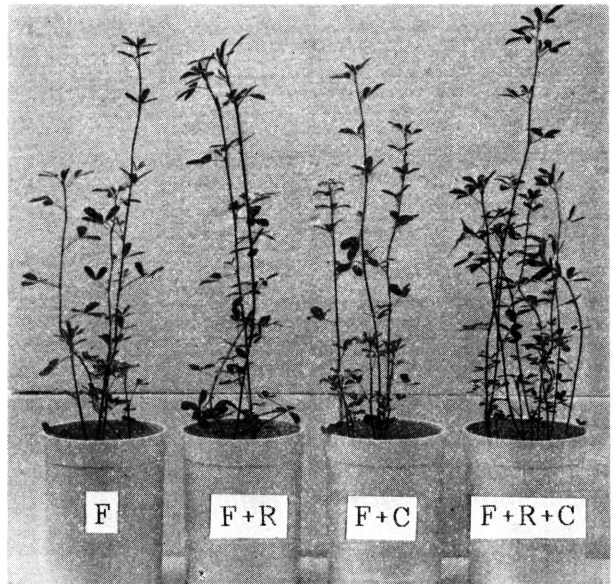
#### 木炭施用による土着VA菌根菌の活用

VA菌根菌の接種源を製造には多大の労力と時間を必要とする。これに対して、土着のVA菌根菌がいる土壌であれば、何らかの資材を混和して土壌条件を改善し、土着のVA菌根菌を増殖させることによって、人工接種をしたのと同様な効果を出させる方法がある。このときの資材として今注目を集めているのが木炭である。菌根菌に対する木炭の有効性は林業試験場の小川真氏らによって初めて認められた。

私も牧草で木炭の施用効果を検討している。使用している木炭は里山広葉樹の樹皮を炭化した粉炭で、土壌改良材として市販されているものである。粒径組成は1mm以下が約60%、1~2mmが約20%、2mm以上が20%強で、かなり細かいものである。ポット試験ではその施用適量は $1,000\text{g}/\text{m}^2$  (1t/10a)で、これよりもやや少ない量でも良い。炭カルは $100\sim 200\text{kg}/10\text{a}$ を施用するが、その数倍量である。

写真4は、生土に炭カルとともに化学肥料 ( $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  を  $2-10-10\text{g}/\text{m}^2$ ) を添加した土壌に、これのみ (F)、根粒菌接種 (F+R)、粉炭 ( $1\text{kg}/\text{m}^2$ ) 施用 (F+C)、根粒菌接種と粉炭施用 (F+R+C) をして、アルファルファを約2ヶ月栽培したときのものである。この時期には当初添加した肥料Nは吸収しつくさされているので、根粒菌無接種の区 (F, F+C) ではN欠となって葉が黄化して、生育が停止した。根粒菌接種区 (F+R)

写真4 木炭施用によるアルファルファの生育促進



F: 肥料のみ, F+R: 肥料+根粒菌,  
F+C: 肥料+木炭, F+R+C: 肥料+根粒菌+木炭

では空中窒素固定によってNが供給されるので、葉が緑色で生育が持続した。そして、根粒菌とともに粉炭を与えた区 (F+R+C) では、根へのVA菌根菌の感染率が高まって、P吸収量が増加し、図3(前号)に示すように、P吸収量の増加に比例して空中窒素固定も増進される結果、アルファルファの生育が他の区に比べて著しく高まった。このとき、播種後1ヶ月までの段階では当初施用した肥料Nが存在しているので、根粒菌無接種で粉炭を施用した区 (F+C) でも、菌根菌の感染促進に伴うP吸収量の増加によって、生育が明確に促進された。しかし、その後Nがなくなって生育が停止したわけである。

粉炭施用はマメ科牧草だけでなく、イネ科牧草でも有効である。写真5はアズマネザサ草でササを掘り起した後に、化学肥料 ( $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  を  $2-2-2\text{g}/\text{m}^2$ ) 施用してオーチャードグラスを栽培したときのものである。無肥料では可給態Pがほとんどない土壌なので、粉炭を施用してVA菌根菌の根への感染を高めても、生育は促進されなかった。しかし、少量の施肥をして粉炭を施用すると、VA菌根菌の感染の高まりとともに、写真5のようにオーチャードグラスの生育が明らかに促進された。

では木炭の生育促進の機構は何であろうか。木炭は酸性矯正や土壌の通気性、透水性、保水性等の改善効果を持つであろう。そうした物理性の改善が生育促進に有効な土壌も当然あるだろう。しかし、特に写真4のように膨大な黒ボク土で、炭カルで酸性矯正をして、施肥や灌

写真 5 木炭施用によるオーチャードグラスの生育促進



左側に木炭施用，右側は木炭無施用

水をしたポット栽培では、物理性の改善が生育促進の理由とは考えにくい。生土には多量の土着のVA菌根菌胞子が存在する。これをクロルピクリンで土壤消毒して殺すと、粉炭を施用しても生育促進効果が全く見られなくなった。生土に粉炭を施用すると、菌根菌の感染促進が生じたことから、粉炭がVA菌根菌の感染を何らかの理由で促進したことが、生育促進の理由であることが分る。

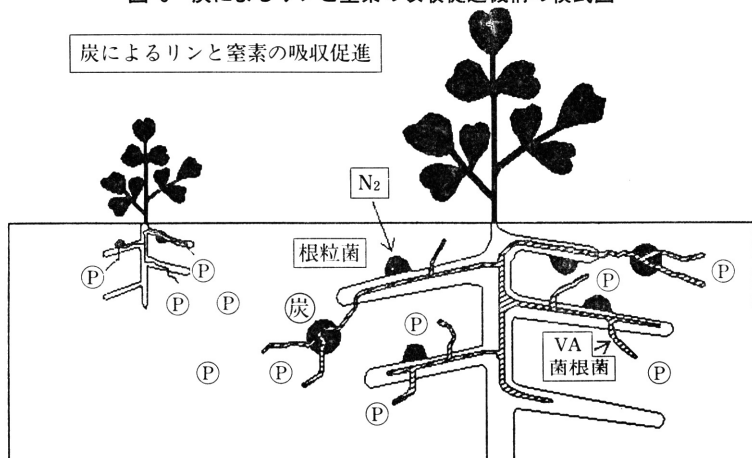
根の近くに存在した粉炭を顕微鏡で見ると、粉炭の中に菌根菌らしい菌糸が入りこんでいるのが見える。使用した粉炭にはもともと導管や篩管だった部分が直径数百ミクロンの長い孔隙になっている。この孔隙がVA菌根菌（菌糸の直径は10ミクロン前後）の新しい住み家になっていると、現段階では考えている。というのは、炭化したため雑菌の増殖に必要な糖などの有機物がないので、雑菌がほとんどいない。VA菌根菌は根から有機物

をもらうので、そうして孔隙の中へ侵入できるし、雑菌がいなければ、競争のない好都合な空間である。粉炭のpHは7強で、VA菌根菌の増殖に可能な範囲である。こうしたことから、木炭の孔隙がVA菌根菌の新しい生育の場となって、菌根菌は木炭を拠点にして、さらに遠くまで菌糸を伸ばして、根から離れた部位に散存する可給態Pをより多く集められるようになる。こうした考えを模式化したのが、図6である。実験結果では、土壤の0～5cmの根にはもともとVA菌根菌が多数感染しているが、粉炭を施用すると、5～10cm層の根への感染が著しく促進されたことから、5～10cm層で図6のようなことが生じていると考えられる。そして、菌糸の伸長距離は最大でも7～8cmと考えられることから、粉炭は土壤表面に散布したのでは効果なく、土壤に混和することが必要であると考えられる。

木炭による土着VA菌根菌の活用を図るには、他にも

注意すべき点があいくつもある。すなわち、①土着VA菌根菌のいない消毒土壤や非常に少ない下層土の露出した造成地や法面では、効果が期待できない。VA菌根菌の人工接種と同様に、②可給態Pがないか多すぎる土壤や③低温や短日条件の秋から早春には効果が期待できないであろう。そして、④粉炭を購入するよりは、リン肥料を増施した方が安価なので、粉炭は自給できないとペイしないと考えられる。⑤木炭は塊よりも粉状の方が菌との接触チャンスが高まるので、有効と考えられる。こ

図 6 炭によるリンと窒素の吸収促進機構の模式図



うした制約にもかかわらず、木炭は土着VA菌根菌の活用に新しいアイデアをもたらすものであり、より安価な代替資材の検索が望まれる。

### VA菌根菌の農業利用の可能性

発展途上国では高価なリン肥料を少しでも節約するために、VA菌根菌やリン溶解菌の利用が研究されている。しかし、我が国ではリン肥料を充分使っており、発展途上国と同じ視点で評価することはできないだろう。

VA菌根菌の人工培養が将来可能になれば、コスト評価も大きく変わるであろうが、現段階では夢である。夢の追究は今後の研究に待つとして、現状で人工接種するには宿主植物を栽培しつつVA菌根菌を増殖させて、接種源を製造する必要がある。この前提のもとで人工接種をすれば、適用場面は苗作りの場面に限定せざるをえない。

アメリカの Johnson and Mege (1981) が景観樹木の苗木作りでコスト計算をしている。病気が恐いので、苗木の土壌を消毒すると、VA菌根菌がいなくなるので、立派な苗を作るにはかなり多肥をせざるをえなくなる。

しかし、消毒土にVA菌根菌を接種すれば、VA菌根菌によってP吸収が促進される結果、Pが70%節約できるという。そして、P吸収促進に伴って根の伸長が増進される結果、根によるN、Kや微量元素の吸収も促進されて、NとKは30%、微量元素は40%節約できるという。1,000個のガロン(3.8ℓ)容ポットで消毒土壌を用いて苗木作りをするのに要する肥料代は79.84ドル(1981年当時)だが、VA菌根菌を接種すれば肥料代は53.17ド

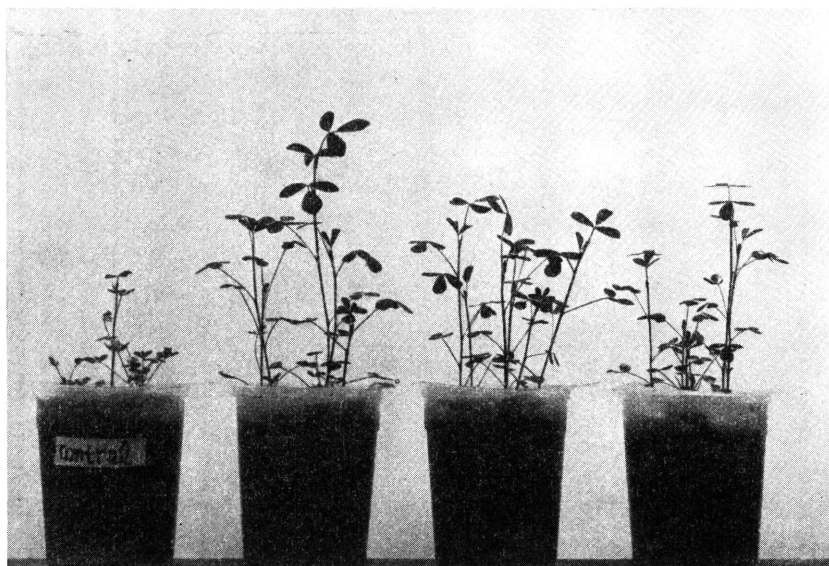
ルですむという。そして、1,000個のガロンポットに接種するVA菌根菌の接種源としては、4インチ(約10cm)ポットでスーダングラスに表面殺菌したVA菌根菌を接種して増殖させたもの20個を必要とするが、この接種源の製造コストは16.86ドルという。従って、 $79.84 - 53.17 - 16.86 = 9.81$ ドル、つまり、VA菌根菌無接種のときの肥料代79.84ドルに比べれば、その12%を節約できるという。

これは消毒土壌を用いたときの試算である。消毒土壌では施肥量が少ないと、VA菌根菌の助けがないので植物の生育が非常に悪い。写真6は消毒土壌に少ない肥料でアルファルファを栽培したときのものだが、VA菌根菌無接種だと左端のように生育が非常に悪い。しかし、VA菌根菌を接種すると、生育が著しく促進され、茎葉重で2~4倍になることも珍しくない。

では、我が国では多少の肥料代の節約をどれだけ評価するであろうか。肥料代の節約は経営規模の大きい場合に、スケールメリットとして重要であるが、経営規模の小さいときには、多少肥料代が節約できても手間が増えては歓迎されないであろう。我が国でVA菌根菌の農業利用が積極的に支持されるためには、肥料代の節約に加えて、初期生育の増進に伴って病気にかかりにくくなって、農業を節減できるとか、収穫物の品質や栄養価が高まって、より高く売れるといったリメリットが明確になる必要があろう。こうした視点からの研究が今後望まれる。

人工接種にせよ木炭施用にせよ、現段階では苗作りでの利用の可能性が最も高いであろう。特殊ケースとして

写真6 消毒土壌で栽培したアルファルファの生育に及ぼすVA菌根菌の接種効果



左から、無接種、*Gigaspora gregaria*、同、他の菌の接種

は、下層土の露出した切通しの法面の保全や景観のために植える草や樹木の苗作りでは、食品ほどの低価格を追究されないであろうから、人工接種あるいは人工接種と木炭施用の併用を実行しやすく、効果も大きいと期待される。また、草地でも造成時に全面的に接種するのは、接種源の確保の点で不可能だが、例えば数年後にマメ科牧草が衰退したときに追播する種子に接種することは将来考えられよう。