

インゲンマメ栽培におけるアーバスキュラー菌根菌の利用に関する研究

—接種菌種間でのインゲンマメの生育の違い—

磯部勝孝*・坪木良雄

(日本大学)

要旨 : 土壌中の有効態リン含有量が低く生育が阻害される条件下でインゲンマメに種々のアーバスキュラー菌根菌を接種して宿主の生育の違いから、インゲンマメ栽培に有効なアーバスキュラー菌根菌を検索した。実験に用いたアーバスキュラー菌根菌は *Gigaspora ramisporophora*, *Gigaspora margarita*, *Glomus caledonium*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae* および未同定の *Glomus* 属の菌である。1/5000 a ポットにアーバスキュラー菌根菌の胞子 (厚膜胞子または偽接合胞子) を 1000 個接種した場合、接種した菌種により感染率は異なり、*Glomus caledonium*, *Glomus mosseae* を接種した区で高かった。また、インゲンマメの生育・子実収量は菌を接種した全ての区で良好となったが、接種種間で差があり、*Glomus caledonium*, *Glomus mosseae* を接種した区が特に良好であった。さらに、インゲンマメ一個体に *Glomus mosseae* の厚膜胞子 5000 個を接種するとインゲンマメの子実収量はリンを施用して栽培したインゲンマメの子実収量と差がなかった。これらのことから、インゲンマメ栽培には土壌中のリン含有量が低く生育が阻害される条件下でのアーバスキュラー菌根菌の接種は生育促進に有効で、特に *Glomus mosseae* を接種するとリンを施用して栽培したインゲンマメと同様の子実収量が得られる可能性が示唆された。

キーワード : アーバスキュラー菌根菌, インゲンマメ, *Glomus mosseae*.

リンは土壌中で移動しにくい元素の一つで、根の表面から離れたリンは植物が吸収することができない (藤原・岸本 1988)。植物はリン吸収量を高めるために根の表面に根毛を発達させたり根を長くして土壌中のリンと接触する範囲を広げている。根毛は科の異なる植物間では数や長さが著しく異なるが、同じ科に属する植物間には大きな違いがないと言われている (Dittmer 1949)。一般に、マメ科やユリ科に属する植物は根毛の発達が乏しくリン吸収に不利な根系を有しているため、他の植物に比べ多くのリン施肥量を必要とする。特に、インゲンマメはマメ科作物の中でも根毛の発達が乏しく、根長も短いためリン吸収能が低く、多くのリン施肥を必要とする (磯部・坪木 1998)。

リン肥料の生産は原料であるリン鉱石の枯渇から近い将来供給が不安定になると予想されている (安藤 1983, 早瀬 1981, 小田部 1982)。そのため、今日の作物栽培においてはリン肥料にかわるリンの供給法を確立させることが重要な課題の一つである。特に、インゲンマメのようにリン吸収に不利な根系を有する作物については、新たなリンの供給法の確立が今後の生産性の安定化のためには必要と思われる。

アーバスキュラー菌根菌は、作物の根に感染すると土壌中に菌糸を伸ばして作物の根では吸収できない範囲からリンや水分を吸収して宿主作物に供給し、宿主の生育を促進させる (Sanders and Tinker 1971) ため、リン肥料にかわるリンの供給法として期待されている。しかし、現在約 150 種の存在が確認されている (Schenck and Perez 1990) アーバスキュラー菌根菌は、種によって宿主作物の生育に与える影響が異なる (Allen and Boosalis 1983, 江沢ら 1995, Hepper ら 1988, Jakobsen ら 1992, Nuf-

felen and Schenck 1984, Sanders ら 1977, Schenck and Tucker 1974, Simpson and Daft 1990, 俵谷ら 1995)。したがって、作物栽培に本菌を利用するには個々の作物に最も有効な種を明らかにすることが重要である。

そこで本報では、低リン土壌下において種々のアーバスキュラー菌根菌をインゲンマメに接種して、接種した菌種間でのインゲンマメの生育や子実収量の違いを比較するとともに、リンの施用に代替しうる菌種を調査検索し、インゲンマメ栽培における本菌利用の可能性について検討した。

材料と方法

実験 1 : 接種菌種間でのインゲンマメの生育の違い

1. 栽培概要

日本大学生物資源科学部附属農場 (神奈川県藤沢市) の黒ボク土壌をオートクレーブ (120°C で 1 時間) 滅菌したもの 2.8 kg に対し、硫酸アンモニウム 2.0 g, 塩化カリウム 1.0 g を施用し、これを 1/5000 a ワグネルポットに充填した。この土壌の有効態リン含有量 (ブレイ第 2 法) は風乾土 100 g 当たりで 1.02 mg であった。1996 年 4 月 26 日にインゲンマメ (品種: セリーナ) の種子をポット当たり 9 粒播きし、初生葉展開時に 3 本立てとした。インゲンマメの栽培は自然条件下で行った。

2. 供試したアーバスキュラー菌根菌ならびに試験区の構成

実験 1 に供試したアーバスキュラー菌根菌は *Gigaspora ramisporophora* (以下, Gi. ram), *Gi. margarita* (以下, Gi. mar), *Glomus caledonium* (以下, Gl. cal),

1998 年 8 月 28 日受理。* 連絡責任者 (〒 252-0813 藤沢市日本大学生物資源科学部, isobe 64@brs.nihon-u.ac.jp)。

Gl. fasciculatum (以下, *Gl. fas*), *Gl. mosseae* (以下, *Gl. mos*) および未同定の *Glomus* 属の菌 (以下, *Gl. sp.*) である。6種の菌のうち, *Gi. margarita* は日本大学生物資源科学部附属農場で採取し, その他は出光興産中央研究所より分譲された。試験区は, 孢子 (偽接合孢子または厚膜孢子) をそれぞれ1000個接種した菌接種区 (*Gi. ram* 区, *Gi. mar* 区, *Gl. cal* 区, *Gl. fas* 区, *Gl. mos* 区, *Gl. sp.* 区) と菌を接種しなかった無接種区を設けた。菌は播種時にポットの土壌の表面から5cmの位置に接種した。ポットはラテン方格法により配置した。

3. 調査項目および調査方法

アーバスキュラー菌根菌感染率は播種後65日目に調査した。根は各区のポットから採取し軽く水洗いした後, 長さ約1cmの切片に切り, この中から100個の切片をランダムに選び, 10%KOH液に浸し1時間加熱して加水分解し, 蒸留水で水洗後10倍希釈 H_2O_2 液で2時間漂白し, その後0.05%トリパンブルー液で染色した。感染率は染色した根の切片を格子付きのシャーレに入れ, 格子交点法 (Giovannetti and Mosse 1980) により測定した。本実験では根内にアーバスキュラー菌根菌の菌糸, のう状体, 樹枝状体または孢子が認められたものを感染とした。

生育調査は播種後65日目に行った。調査項目は葉面積, 地上部・地下部乾物重である。本実験では子葉節より上を地上部とした。

地上部と地下部は80℃で48時間乾燥後, 粉碎し体内リン濃度の測定のための分析試料とした。試料は過塩素酸で分解し, リンの定量はモリブデンイエロー比色法で行った。地上部と地下部のリン濃度はそれぞれ乾物重と乗じ, 合計を個体のリン吸収量とした。

子実重の調査は各区とも成熟期 (播種後90—115日) に乾燥子実を採取し, 子実重を測定した。

実験2: アーバスキュラー菌根菌を接種して栽培したインゲンマメとリンを施用して栽培したインゲンマメの生育の比較

1. 栽培概要

実験1で用いた黒ボク土壌をオートクレーブ (120℃で1時間) 滅菌したもの650gに硫酸アンモニウム0.6g, 塩化カリウム0.3gを施用し, これを900mL容ガラスポット (直径9cm, 高さ17cm) に充填した。1997年10月28日にインゲンマメ (品種: セリーナ) の種子をポット当たり3粒播きし, 初生葉展開時に1本立てとした。インゲンマメの栽培は昼温 (6:00—18:00) 28℃, 夜温 (18:00—6:00) 20℃にセットした自然日長型の人工気象室内で行った。

2. 供試したアーバスキュラー菌根菌ならびに試験区の構成

実験2に供試したアーバスキュラー菌根菌は, *Glomus caledonium* (以下, *Gl. cal*) と *Gl. mosseae* (以下, *Gl. mos*) である。試験区は, 厚膜孢子をそれぞれ1000個接種した区 (*Gl. cal*-1000区, *Gl. mos*-1000区) と5000個接種した区 (*Gl. cal*-5000区, *Gl. mos*-5000区) と菌を接種しなかった無接種区およびリン施用区を設けた。菌は播種時にポットの土壌の表面から3cmのところに接種した。また, リン施用区はリン酸液を施用して土壌の有効態リン含有量 (ブレイ第2法で測定) を風乾土100g当たりで5.62mgとした。予備試験の結果, 実験に用いた容器でインゲンマメを栽培した場合, 有効態リン含有量が風乾土100g当たりで5.62mgのとき最も生育が良かった。ポットはラテン方格法により配置した。

3. 調査項目および調査方法

各区のアーバスキュラー菌根菌感染率とインゲンマメの生育の調査は播種後37日目に行った。調査方法は実験1と同様である。

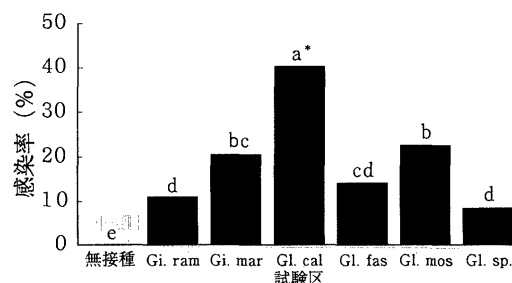
子実重の調査は各区とも成熟期 (播種後79—102日) に乾燥子実を採取し, 子実重を測定した。

結 果

1. 接種菌種間でのインゲンマメの生育の違い (実験1)

アーバスキュラー菌根菌の感染率を第1図に示した。無接種区ではアーバスキュラー菌根菌の感染は認められず, 菌接種区のみで感染が認められた。菌接種区の感染率は, 接種した種によって異なり, *Gl. cal* 区が最も高く40.5%となった。

インゲンマメの葉面積と乾物重を第1表に示した。いずれの菌接種区も無接種区に比べ葉面積が大きくなった。菌接種区では葉面積に区間で差が認められ, *Gl. cal* 区, *Gl. mos* 区が大きく, *Gi. ram* 区が最も小さかった。地上部乾物重は, *Gi. ram* 区, *Gi. mar* 区, *Gl. sp.* 区では



第1図 6種類のアーバスキュラー菌根菌を接種したときのインゲンマメにおけるアーバスキュラー菌根菌感染状況。

* 同一アルファベット間では, Newman-Keuls法 (5%レベル) における有意差がないことを示す。

第1表 アーバスキュラー菌根菌の接種種間でのインゲンマメの生育の違い。

試験区	葉面積	乾物重	
	(cm ² ポット ⁻¹)	地上部 (g ポット ⁻¹)	地下部 (g ポット ⁻¹)
無接種	75.9 d*	1.02 c	1.20 c
Gi. ram	99.6 c	1.02 c	1.20 c
Gi. mar	120.9 b	1.38 bc	1.53 b
Gl. cal	212.4 a	2.34 a	1.77 a
Gl. fas	135.6 b	1.65 b	1.47 b
Gl. mos	212.7 a	2.43 a	1.47 b
Gl. sp.	123.0 b	1.32 bc	1.41 b

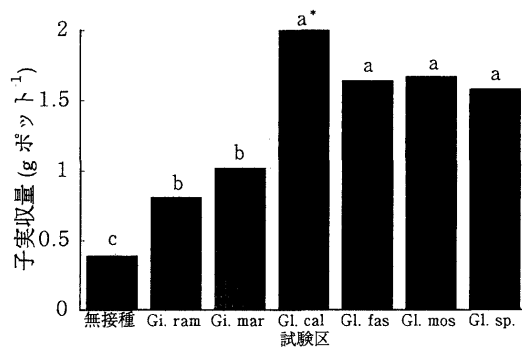
* 同一アルファベット間には、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。

無接種区と差がなかったが、Gl. cal 区、Gl. fas 区、Gl. mos 区では無接種区に比べ明らかに増大し、このうち Gl. cal 区、Gl. mos 区での増大が著しかった。地下部乾物重は、Gi. ram 区を除く、菌接種区で無接種区より増大し、Gl. cal 区の増大が著しかった。

インゲンマメの地上部・地下部リン濃度とリン吸収量を第2表に示した。地上部・地下部リン濃度はいずれの菌接種区も無接種区より高かった。また、区間に差が認められ、地上部では Gl. cal 区で、地下部では Gl. cal 区、Gl. fas 区での増加が著しかった。リン吸収量は、Gi. ram 区を除く菌接種区で無接種区より多くなった。最も吸収量が多かったのは Gl. cal 区で無接種区に比べ、4 倍以上の吸収量となった。

子実収量を第2図に示した。無接種区に比べていずれの菌接種区も子実収量は増大した。菌の接種による子実収量の増大は Gi. ram 区と Gi. mar 区より Gl. cal 区、Gl. fas 区、Gl. mos 区、Gl. sp. 区で著しかった。

2. アーバスキュラー菌根菌を接種して栽培したインゲンマメとリンを施用して栽培したインゲンマメの生育の比較 (実験2)



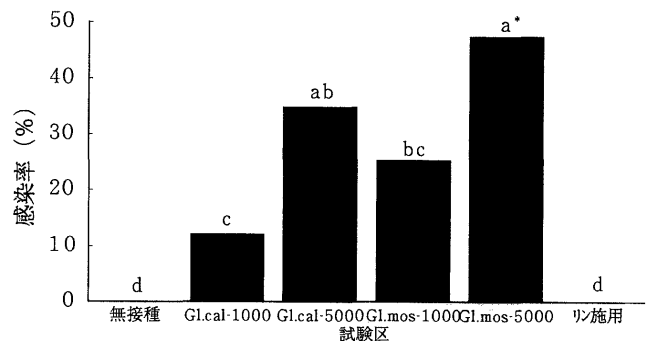
第2図 アーバスキュラー菌根菌の種違いがインゲンマメ子実収量におよぼす影響。

* 同一アルファベット間には、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。

第2表 アーバスキュラー菌根菌の接種種間でのインゲンマメのリン吸収の違い。

試験区	地上部リン濃度 (mg g ⁻¹)	地下部リン濃度 (mg g ⁻¹)	リン吸収量 (mg ポット ⁻¹)
無接種	2.09 e*	2.39 d	5.00 d
Gi. ram	4.05 cd	2.93 c	7.65 d
Gi. mar	3.81 d	3.49 b	10.60 c
Gl. cal	5.89 a	4.25 a	21.31 a
Gl. fas	5.39 b	4.05 a	14.85 b
Gl. mos	5.45 b	2.93 c	17.55 b
Gl. sp.	4.27 c	3.35 b	10.36 c

* 同一アルファベット間には、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。



第3図 アーバスキュラー菌根菌の種および接種胞子数の違いがインゲンマメにおける感染率におよぼす影響。

* 同一アルファベット間には、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。

アーバスキュラー菌根菌の感染率を第3図に示した。アーバスキュラー菌根菌の感染は無接種区とリン施用区では認められず、菌接種区のみで認められた。いずれの菌種も接種胞子数 5000 個区で感染率が高かった。しかし、接種胞子数が同じ区間では感染率に差はなかった。

インゲンマメの葉面積と地上部・地下部乾物重を第3表に示した。全ての菌接種区で無接種区に比べ葉面積が増大した。菌接種区の中で最も葉面積が大きくなったのは

第3表 アーバスキュラー菌根菌の種および接種胞子数の違いがインゲンマメの生育におよぼす影響。

試験区	葉面積	乾物重	
	(cm ² ポット ⁻¹)	地上部 (g ポット ⁻¹)	地下部 (g ポット ⁻¹)
無接種	105.7 d*	0.43 c	0.22 a
Gl. cal-1000	124.9 c	0.76 b	0.28 a
Gl. cal-5000	207.6 b	0.78 b	0.30 a
Gl. mos-1000	131.8 c	0.78 b	0.26 a
Gl. mos-5000	319.0 a	1.10 a	0.28 a
リン施用	315.1 a	1.07 a	0.29 a

* 同一アルファベット間には、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。

Gl. mos-5000 区で無接種区の約 3 倍となり、リン施用区と差がなかった。地上部乾物重はすべての菌接種区が無接種区より増大した。なかでも、Gl. mos-5000 区はリン施用区と差がなかった。地下部乾物重は、菌の接種、リンの施用にかかわらず無接種区と差がなかった。

インゲンマメの地上部・地下部リン濃度およびリン吸収量を第 4 表に示した。菌の接種、リンの施用によって地上部・地下部リン濃度およびリン吸収量は増大した。Gl. mos-5000 区はいずれの項目もリン施用区と差がなかった。

子実収量を第 4 図に示した。いずれの菌接種区、リン施用区も無接種区に比べ子実収量が増大した。Gl. cal 区は接種胞子数が増加しても子実収量は増大しなかったが、Gl. mos 区は接種胞子数が 1000 個から 5000 個に増えると子実収量も増加した。菌接種区のうち最も子実収量が大きかったのは Gl. mos-5000 区で、この区の子実収量はリン施用区と差がなかった。

考 察

実験 1 でインゲンマメに 6 種のアーバスキュラー菌根菌を接種したところ、いずれの菌種もインゲンマメの体内リン濃度を高め、生育・収量を増大させた（第 2 図、第 1, 2 表）。しかし、菌種によって宿主のリン濃度と生育・収量は異なり、*Glomus caledonium*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae* は宿主のリン濃度を高め、生育を良好とした。このうち *Glomus caledonium*, *Glomus mosseae* は感染率も高かったことから、これらの菌が感染したことが宿主に著しい生育促進をもたらしたと考えられる（第 1 図）。しかし、*Glomus fasciculatum* は感染率が供試した 6 種の菌の中では必ずしも高くなかった。逆に、*Gigaspora margarita* は感染率が比較的高かったが、宿主のリン吸収量や子実収量を必ずしも高めなかった。また、*Glomus* sp. は感染率が低いにもかかわらず子実収量を高めた（第 1, 2 図、第 2 表）。これらのことは、本研究で示された接種菌種間における宿主の生育の違いに感染率以外の要因も関与していることを示唆している。また、アーバスキュ

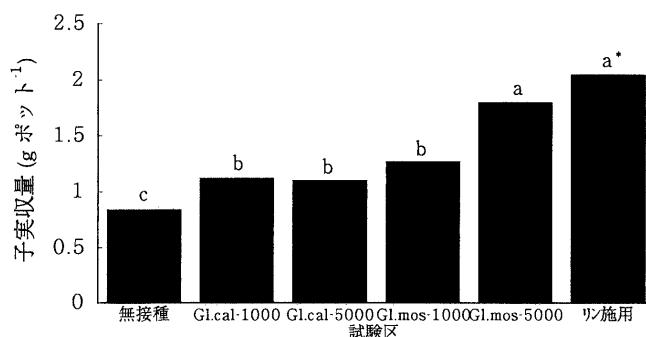
ー菌根菌の感染による宿主の生育促進は菌が作物によく感染するほど著しくなる（Sanders ら 1977）が、アーバスキュラー菌根菌が感染してもリンの吸収や輸送を行っていない菌系が多ければ生育促進効果は小さいと考えられる（Sylvia 1988）。さらに、長い外生菌糸を持つ種ほどリンの吸収範囲が広がるとことから宿主の生育促進には外生菌糸の長さも重要であると考えられる（Abbott and Robson 1985, Jakobsen ら 1992）。これらのことから、アーバスキュラー菌根菌の宿主の生育におよぼす影響をより正確に捕えるには、感染率を測定するとともに菌糸のリン輸送量や外生菌糸の長さも同時に明らかにする必要があると推察される。

実験 2 ではインゲンマメ一個体に *Glomus caledonium*, *Glomus mosseae* の厚膜胞子を 1000 または 5000 個接種したところ *Glomus mosseae* の厚膜胞子を 5000 個接種した区の子実収量はリンを施用して栽培したインゲンマメの子実収量と差がなかった（第 4 図）。このことからインゲンマメ栽培には *Glomus mosseae* の接種が有効で、リン欠乏により生育が阻害されるような条件下でもリンを施用して栽培した個体と同様の子実収量を得る可能性が示唆された。ただし、アーバスキュラー菌根菌は約 150 種が存在する（Shenck and Perez 1990）ことから、本研究で供試した *Glomus mosseae* 以上に生育を促進させる種が存在する可能性もある。一方、アーバスキュラー菌根菌の発芽や感染は植物の根から浸出されるフラボノイド類やアミノ酸および糖の量や組成の影響を受け（Becard ら 1992, Dixon ら 1988, Elias and Safir 1987, Isobe and Tsuboki 1998, Graham ら 1981, Tsai and Phillips 1991）、これらの物質に対する反応は種によって異なる（Kape ら 1992）。したがって、本研究で用いた種よりインゲンマメに有用な種を見い出すためにはインゲンマメの根から浸出しているフラボノイド類やアミノ酸・糖によって菌糸の伸長や感染が最も促進される種を明らかにするとともにそれぞれの種の外生菌糸長や菌糸のリン輸送量を明らかにする必要がある。

第 4 表 アーバスキュラー菌根菌の種および接種胞子数の違いがインゲンマメのリン吸収におよぼす影響。

試験区	地上部リン濃度 (mg g ⁻¹)	地下部リン濃度 (mg g ⁻¹)	リン吸収量 (mg ポット ⁻¹)
無接種	2.59 d*	2.13 c	1.58 d
Gl. cal-1000	3.35 c	2.79 b	3.33 c
Gl. cal-5000	4.19 b	3.49 a	4.32 b
Gl. mos-1000	4.14 b	3.79 a	4.06 b
Gl. mos-5000	5.51 a	3.53 a	7.05 a
リン施用	5.39 a	3.39 a	6.75 a

* 同一アルファベット間は、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。



第 4 図 アーバスキュラー菌根菌の種および接種胞子数の違いがインゲンマメの子実収量におよぼす影響。

* 同一アルファベット間は、Newman-Keuls 法 (5% レベル) における有意差がないことを示す。

本研究ではアーバスキュラー菌根菌の接種は個々の種を単独で接種した。しかし、アーバスキュラー菌根菌はいくつかの種を混合接種すると個々の種を単独で接種した場合より宿主の生育がより著しくなることが報告されている (Daft and Hogarth 1983, Wilson 1984)。このことから本研究で用いた種でもいくつかの種を混合接種することによってより大きな生育促進効果が得られる可能性がある。さらに、アーバスキュラー菌根菌を木炭や多孔質の資材と混合接種すると感染率が高まり、より大きな生育促進効果が得られるという報告もある (Dehne and Backhaus 1986, 斎藤 1989)。したがってアーバスキュラー菌根菌を利用したインゲンマメ栽培を確立させるためには有用な種を見い出すとともにより効率的な菌の接種法についても検討する必要がある。

謝辞: 本研究の実施にあたりアーバスキュラー菌根菌を分譲していただいた出光興産中央研究所に感謝の意を表す。

引用文献

- Abbott, L.K. and A.D. Robson 1985. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 99: 245–255.
- Allen, M.F. and M.G. Boosalis 1983. Effects of two species of VA mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. *New Phytol.* 93: 67–76.
- 安藤淳平 1983. リン資源の将来とわが国の進むべき方向. *土肥誌* 54: 164–169.
- Becard, G., D.D. Douds and P.E. Pfeffer 1992. Extensive in vitro hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO₂ and flavonols. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 821–825.
- Daft, M.J. and B.G. Hogarth 1983. Competitive interactions among four species of *Glomus* on maize and onion. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 80: 339–345.
- Dehne, H.W. and G.F. Backhaus 1986. The use of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in plant production. 1. Inoculum production. *Z. PflKrankh.* 93: 415–424.
- Dittmer, H.J. 1949. Root hair variations in plant species. *American J. Botany* 36: 152–155.
- Dixon, R.K., H.E. Garrett and G.S. Cox 1988. Carbohydrate relationships of *Citrus jambhiri* inoculated with *Glomus fasciculatum*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 239–242.
- Elias, K.S. and G.R. Safir 1987. Hyphal elongation of *Glomus fasciculatus* in response to root exudates. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 1928–1933.
- 江沢辰広・桑原慎也・吉田富男 1995. Arbuscular 菌根菌と宿主植物の親和性、および宿主植物の違いが菌株間競争に及ぼす影響. *土と微生物* 45: 9–19.
- 藤原彰夫・岸本菊男 1988. リンと植物 (I) 磷の農学と農業技術. 博友社, 東京. 69–139.
- Giovannetti, M. and B. Mosse 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in root. *New Phytol.* 84: 489–500.
- Graham, J.H., R.T. Leonard and J.A. Menge 1981. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiol.* 68: 548–552.
- 早瀬達郎 1981. 日本におけるリンの収支といわゆるリン酸危機. *研究ジャーナル* 4: 6–11.
- Hepper, C.M., C. Azcon-Aguilar, S. Rosendahl and R. Sen 1988. Competition between three species of *Glomus* used as spatially separated introduced and indigenous mycorrhizal inocula for leek (*Allium porrum* L.). *New Phytol.* 110: 207–215.
- Isobe, K. and Y. Tsuboki 1998. Relationship between the amount of root exudate and the infection rate of arbuscular mycorrhizal fungi in gramineous and leguminous crops. *Plant Prod. Sci.* 1: 37–38.
- 磯部勝孝・坪木良雄 1998. イネ科・マメ科作物のアーバスキュラー菌根菌感染による生育促進効果と根の形態、リン吸収の関係. *日作紀* 67: 347–352.
- Jakobsen, L., L.K. Abbott and A.D. Robson 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. *New Phytol.* 120: 371–380.
- Kape, R., K. Wex, M. Parniske, E. Gorge, A. Wetzal and D. Werner 1992. Legume root metabolites and VA-mycorrhiza development. *J. Plant Physiol.* 141: 54–60.
- 小田部廣男 1982. 世界のリン資源とわが国の農業. *農及園* 57: 126–132.
- Nuffelen, M.V. and N.C. Schenck 1984. Spore germination, penetration, and root colonization of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean. *Can. J. Bot.* 62: 624–628.
- 斎藤雅典 1989. VA 菌根菌接種団体としての炭の可能性. *土と微生物* 34: 65–68.
- Sanders, F.E. and P.B. Tinker 1971. Mechanism of absorption of phosphorus from soil by Endogone mycorrhizas. *Nature* 233: 278–279.
- Sanders, F.E., P.B. Tinker, R.L.B. Black and S.M. Palmerley 1977. The development of endomycorrhizal root system: I. spread of infection and growth-promoting effects with four species of vesicular-arbuscular endophyte. *New Phytol.* 78: 257–268.
- Schenck, N.C. and D.P.H. Tucker 1974. Endomycorrhizal fungi and the development of citrus seedlings in florida fumigated soils. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 284–287.
- Schenck, N.C. and Y. Perez 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville. 1–286.
- Simpson, D. and M.J. Daft 1990. Interactions between water-stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. *Plant Soil* 121: 179–186.
- Sylvia, D.M. 1988. Activity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 20: 39–43.
- 俵谷圭太郎・国井芳彦・我妻忠雄 1995. Arbuscular 菌根菌の接種とリン酸施与が黒ボク土における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. *土肥誌* 66: 48–53.

- Tsai, S.M. and D.A. Phillips 1991. Flavonoids released naturally from alfalfa promote development of symbiotic *Glomus* spores in vitro. Appl. Environ. Microbiol. 57 : 1485—1488.
- Wilson, J.M. 1984. Competition for infection between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 97 : 427—435.

Study on the Utilization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Kidney Bean Cultivation —Differences in kidney bean growth resulting from the infection of six species of arbuscular mycorrhizal fungi— : Katsunori ISOBE* and Yoshio TSUBOKI (College of Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-0813, Japan)

Abstract : Six species of arbuscular mycorrhizal fungi were inoculated into kidney bean in low available phosphorus soil to clarify useful species in the cultivation of kidney bean. The arbuscular mycorrhizal fungi used in the experiment were *Gigaspora ramisporophora*, *Gigaspora margarita*, *Glomus caledonium*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae* and *Glomus* sp. When 1000 spores of arbuscular mycorrhizal fungi were inoculated in 1/5000a pot, the infection rate was greater in plots with *Glomus caledonium* and *Glomus mosseae* in comparison with the other plots. The growth and grain yield of kidney bean were improved in all inoculated plots. The plots inoculated with *Glomus caledonium* and *Glomus mosseae* were enhanced in growth and grain yield more than the other inoculated plots were. The grain yields of the plots inoculated with 5000 spores of *Glomus mosseae* and the plot to which phosphorus was applied were not as much. From these facts, it was determined that, inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi was useful for kidney bean cultivation in a low available phosphorus condition. Particularly, *Glomus mosseae* was the most useful species among the six species used.

Key words : Arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae*, Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.).