ダイズ栽培における VA 菌根菌の動態に関する研究*

磯部 勝孝・藤井 秀昭・坪木 良雄

(日本大学農獣医学部)

1992 年 5 月 14 日受理

要 旨: ダイズ (品種: エンレイ) における VA 菌根菌の生態について調査し、ダイズ栽培における VA 菌根菌利用について検討した。

VA 菌根菌の感染は出芽後 50 日目に植物体のリン酸含量を増加させた。さらに、感染によるダイズの生育や収量の向上には環境等の条件を満たすことが重要である。また、過リン酸石灰の施用量に伴う有効態リン酸の増加によって感染率が低下するとともに孢子形成も抑制された。その結果、今後もダイズ栽培においてリン酸肥料の施用を続けていく限り VA 菌根菌による土壌中のリン酸の利用は容易ではなさそうである。

キーワード: 感染率, ダイズ, VA 菌根菌, 孢子形成, リン酸。

Studies on Behavior of VA-mycorrhizal Fungi in Soybean Culture: Katsunori ISOBE, Hideaki FUJII and Yoshio TSUBOKI (*College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University, Fujisawa, Kanagawa 252, Japan*)

Abstract: We investigated the ecology and utilization of VA-mycorrhizal fungi in raising soybean plants (*Glycine max* (L.) Merrill, cv. Enrei).

VA-mycorrhizal infection increased the accumulation of phosphoric acid contents at the 50th day after emergence. It was important to satisfy the environmental condition for improvement of the growth and yield by infection of VA-mycorrhizal fungi. Application of superphosphate and ensuing increase of available phosphoric acid decreased mycorrhizal infection rate and spore numbers. It will be difficult to use of soil phosphoric acid by application of fertilizer of phosphoric acid in soybean culture.

Key words: Infection rate, Phosphate, Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), Spore formation, VA-mycorrhizal fungi.

わが国の耕地に広く分布する火山灰土壌や酸性土壌はリン酸を固定して、く溶性または酸不溶性にし易い。したがってこれらの土壌で作物を栽培する際にはリン酸肥料を多量に投入せざるを得ない。その結果、わが国の耕地の大部分でリン酸の蓄積が進行しつつあり、吉池²³⁾によると普通畑における有効態リン酸 (P_2O_5) 含量の平均値は土壌 100 g 当り 36.9 mg にも達すると言う。一方、リン酸肥料の原料はそのほとんどがリン鉱石であり、わが国ではほぼ 100% を輸入に頼っている。しかし、近年リン資源の有限性が問題となり、近い将来現在のような形のリン酸肥料の供給は難しくなるものと考えられている。安藤²⁾ は今後わが国並みのリン酸施用を全世界的な規模で行った場合、40~50 年後にはリン鉱石の可採埋蔵量はなくなると報告している。このようなことから、今後の作物栽培においては新しい形のリン資源の確保が必要とされている。その一例として、土壌中に蓄積されているリン酸の活用があげられ、中でも VA 菌根菌などの有用微生物をつかった土壌中のリン酸の利用は特に注目されている。

VA 菌根菌は陸上で生活する植物のうち、アブラナ科、アカザ科などを除く 80% 以上の植物に感染す

ると言われており、特に、マメ科作物はイネ科作物に比べて細根や根毛が少なく感染し易いため¹⁹⁾、依存性が高いと考えられている。しかし、わが国における VA 菌根菌の本格的な研究はまだ始められたばかりであり、生態やその利用性についてはほとんど解明されていない。そこで、本報ではダイズにおける VA 菌根菌の生態について調査し、ダイズ栽培における VA 菌根菌利用の実用化に向けて検討したので報告する。

材料と方法

実験は 1991 年に本学部内の実験圃場 (黒ボク土) で行った。土壌の pH (1:2.5 浸出), EC (1:5 浸出), CEC, 有効態リン酸含量, 全リン酸量, リン酸吸収係数は常法 (それぞれ, ガラス電極法, 電気伝導度法, ショーレンベルガー法, トルオーグ法, バナドモリブデン酸比色法, モリブデン酸比色法) で計測した。また, VA 菌根菌の孢子数は圃場内の土をウェットシービングした後, ショ糖遠心法により孢子を回収し実体顕微鏡下で孢子数を数えた⁵⁾。

第 1 実験 リン酸吸収と生育におよぼす VA 菌根菌の貢献度

ダイズ (供試品種: エンレイ) を, リン酸無施用の無殺菌土 (以下, 無殺菌区とする) またはクロルピ

*大要は, 第 193 回講演会 (1992 年 4 月) において発表。

クリンで殺菌した殺菌土（以下殺菌区とする）で栽培した。すなわち、無殺菌区または殺菌区の土壌 2.8 kg に硫酸アンモニウム（以下硫安とする）0.8 g, 塩化カリウム（以下塩加とする）0.32 g を、全量基肥として施した後、1/5000 a ポットに充鎮した。さらに、殺菌区には VA 菌根菌以外の土壌微生物源として No.2 のろ紙で濾過した無殺菌区の土壌ろ液 300 ml を加えた。播種は 6 月 5 日にポット当り 4 粒播き、14 日後に 2 本立てとした。その後ポットを畦間 70 cm, 株間 20 cm の間隔にして 2 反復とした。調査は出芽後 32 日目以降ほぼ 25 日おきに VA 菌根菌の感染率を測定した。また、出芽後 50 および 100 日目には地上部乾物重と葉面積を調査し、その後植物体内のリン酸含量を調べた。VA 菌根菌の感染率は各区の生育良好な 4 ポット 8 個体の根を軽く水洗いした後、約 1 cm の長さに切り、0.05% トリパンプル・ラクトフェノール液で染色し²²⁾、Gridlineintersect method で測定した⁷⁾。植物体のリン酸含量は植物体を部位別に分け、始めに 80°C で 24 時間、その後 60°C で 24 時間乾燥させ粉碎し、硝酸-硫酸-過塩素酸液で分解、バナドモリブデン酸比色法で定量した。収量調査は材料を 10 月 18 日に 1 反復につき 10 個体採取して行った。

第2実験 リン酸肥料の施用の影響

土壌中の有効態リン酸含量の違いによる VA 菌根菌の生態変化をみるために、エンレイを用いてリン酸の施用量を変えて検討した。すなわち、1/5000 a ポット当り、土壌 2.8 kg に対し硫安 0.4 g, 塩加 0.16 g を施用混和し、さらにリン酸肥料として過リン酸石灰（以下過石とする）をポット当り 0.2 g 施用（以下 100% 区とする）し、これを基準としてその 1/4 量（以下 25% 区とする）、1/2 量（以下 50% 区とする）、2 倍量（以下 200% 区とする）および無施用（以下 0% 区とする）の 5 区を設けた。播種は 5 月 21 日にポット当り 2 粒播き、14 日後に 1 本立てとした。その後ポットを畦間 70 cm, 株間 20 cm 間隔にして 3 反復とした。調査は出芽後約 25 日おきに VA 菌根菌の感染率を各区 6 個体測定すると共に、ポット内

の土壌の有効態リン酸含量をトルオーグ法によって測定した。また、出芽後 46 日目と 100 日目には 1 反復 4 個体の生育調査を行い、総節数、茎の太さ（子葉節と初生葉節のほぼ中間地点の最大径）、全乾物重および葉面積を調べ、その後、器官別にリン酸含量を定量した。さらに、10 月 17 日には 1 反復につき 7 個体の収量調査を行ったほか、表層 0~5 cm の土を採取しウェットシービングした後、ショ糖遠心法により VA-菌根菌の胞子を回収し実体顕微鏡下でその数を数え孢子密度を測定した⁵⁾。なお、VA 菌根菌の感染率と植物体のリン酸含量の測定法は第 1 実験と同様である。

結 果

実験圃場の土壌の pH は無殺菌区で 6.37, 殺菌区で 6.21 といずれも弱酸性であった。また、EC は 0.23 mS/cm と若干低いが CEC は無殺菌区で 40.7 me/100 g, 殺菌区で 41.2 me/100 g といずれもかなり高かった。さらに、全リン酸 (P_2O_5) は 490 mg P_2O_5 /100 g 前後と多量のリン酸が固定されているが、有効態リン酸 (P_2O_5 ; トルオーグ法) は両区とも約 2.00 mg P_2O_5 /100 g 前後と極めて低かった。なお、同圃場から確認できた VA 菌根菌胞子（厚膜胞子および偽接合胞子）の種類は *Glomus* 属, *Gigaspora* 属, *Scutellispora* 属および *Acaulospora* 属の胞子であり、うち *Glomus* 属が 95% 以上を含め、実験開始時における風乾土 1 g 当り全孢子密度は 1.1 個で、これをポット当りに換算すると約 2200 個となる（第 1 表）。

第1実験 リン酸吸収と生育におよぼす VA 菌根菌の貢献度

無殺菌区の VA 菌根菌感染率は第 1 図のように出芽後 32 日目までは緩慢であったが 32~50 日目で急激に高まり、50 日目の感染率は 25.3% となった。その後、感染率は生育の後期までほぼ横ばいの状態で推移した。これに対し、殺菌区ではいずれの調査日とも感染はまったく認められなかった。また、各器官のリン酸含量は第 2 表のように、無殺菌区では

第 1 表 実験開始時の土壌調査。

試験区	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	有効態リン酸 (mg/100g)	全リン酸 (mg/100g)	リン酸吸収 収係数	VA菌根菌 孢子数(/g)
無殺菌	6.37	0.23	40.7	2.30	486.1	2616.2	1.1
殺菌	6.21ns	0.23ns	41.2ns	2.00ns	491.9ns	2574.3ns	0.0**

**は 1% レベルで有意差あり, ns は有意差なし。

50 日目では全ての部位で殺菌区より約 20%高まったが、100 日目では分枝を除いて殺菌区との差は認められなかった。また、生育および収量は第 3, 4 表に示すように、無殺菌区と殺菌区のリン酸含量に差が認められた 50 日目でも生育に差が認められず、VA 菌根菌の感染による生育および収量の増大は認められなかった。

第 2 実験 リン酸肥料の施用の影響

VA 菌根菌の感染率は第 2 図のように、ダイズの生育に伴って上昇した。また、全般的にリン酸肥料の施用量が多くなるほど感染が抑制される傾向があった。すなわち、0%区と 25%区はほぼ同じ推移を示し両区とも出芽後 25 日までは感染が緩慢であるが、25 日目から 76 日目にかけて急激に感染率が上昇し、76 日目の感染率は 0%区で 58.2%、25%区では 55.3%となり、その後は 50~60%の感染率でほぼ横ばい状態で推移した。また、50%区では生育の初期から中期にかけては穏やかに上昇し、100 日目以降急激な感染率の上昇が認められ、125 日目には 47.9%と 25%区とほぼ同じ感染率となった。さらに、100%区と 200%区は 46 日目までは感染が認められなかったが、76 日目で始めて認められた。その後、穏やかに感染率は上昇したが 125 日目になっても他区のレベルには達せず、100%区で 23.3%、200%区では 24.7%と 0%区の 5 割以下の感染率にとどまった。

各区の土壤中の有効態リン酸含量は、第 3 図にみられるように感染率とは対照的にダイズの生育経過に伴って低下した。そして、25%区では 76 日目で、50%区でも 100 日目には 0%区とほぼ同じ含量にまで低下したが、100%区と 200%区は収量調査を行っ

第 1 図 VA 菌根菌感染率の推移。

●: 無殺菌区, ▲: 殺菌区,

た 146 日目でも 22.2, 26.4 mg/100 g とかなり多くの有効態リン酸が利用されずに土壤中に残っていた。次に、植物体各器官別のリン酸含量を調べたところ、第 5 表のように、46 日目の 0%区のリン酸含量は、葉身 5.56 mg/g、茎 2.93 mg/g および根 8.12 mg/g と 50%区と同様かまたはそれ以上であった。しかし、100 日目の 0%区のリン酸含量は、子実を除いて 50%区より低く、50%以上の施用区ではリン酸肥料の施用量に応じて各器官のリン酸含量も高まっていた。これに対して、子実のリン酸含量は 200%区の 12.37 mg/g が最も高く、最も低かったのは 100%区の 9.92 mg/g であり 0%、25%および 50%の各区は、それぞれ 10.79, 10.23 および 11.66 mg/g と 100%区より高かった。以上の結果をもとにして感染率と各器官のリン酸含量および土壤中の有効態リン

第 2 表 器官別リン酸含量。

器 官	出 芽 後 日 数			
	50		100	
	無殺菌区	殺菌区	無殺菌区	殺菌区
葉 身	3.27	2.66**	2.81	2.70ns
主 茎	1.55	1.19**	1.20	1.10ns
分 枝	2.42	1.81*	1.40	1.25*
根	3.45	2.70*	3.22	3.27ns
莢	8.10	6.84*	1.82	1.82ns
子 実	—	—	8.85	8.96ns

単位は $\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{g}$ 。

ns, *, ** はそれぞれ有意差なし, 5%, 1%レベルで有意差あり。— は調査個体なし。

第 3 表 生育調査。

	出 芽 後 日 数			
	50		100	
	無殺菌区	殺菌区	無殺菌区	殺菌区
地上部乾物重 (g/m^2)	158.4	168.0ns	321.0	355.1ns
LAI (m^2/m^2)	1.79	1.88ns	1.52	1.59ns

ns は有意差なし。

第 4 表 収量調査。

試験区	莢 数 (g/m^2)	一莢粒数	百粒重 (g)	収 量 (g/m^2)
無殺菌	318.6	1.64	27.4	143.3
殺 菌	372.9ns	1.53ns	27.8ns	158.9ns

ns は有意差なし。

酸含量との関係を調べたところ、第6表のように、いずれも両者の間には負の相関関係があり、各器官の中では主茎のリン酸含量との間で最も相関係数が高く、5%レベルで有意であった。また、土壌中の有効態リン酸含量との相関係数は46日目では5%レベルで有意であったが、100日目では有意性は認め

第2図 過石施用量を変えた場合の感染率の推移。
●●0%区, ○○25%区, ■■50%区,
▲▲100%区, ◆◆200%区。
100%区はポット当たり0.2gの過石を施用。

第3図 土壌中の有効態リン酸含有量の推移。
●●0%区, ○○25%区, ■■50%区,
▲▲100%区, ◆◆200%区。
100%区はポット当たり0.2gの過石を施用。

られなかった。各区の生育の指標を総節数、茎の太さ、全乾物重および葉面積指数(以下 LAI とする)でみたところ、第7表のように、46日目では総節数を除いて0%区の生育はリン酸肥料を施用した各区とほぼ同じか、またはやや優っていた。また、100日目では0%区の総節数、茎の太さおよび LAI は25%および50%区とほぼ同様であるが、全乾物重では25%および50%区より重く、100%および200%区とほぼ等しかった。10月17日に行った収量調査の結果では第8表のように、莢数は100日目の生育調査の総節数とほぼ同様な傾向があり、100%区が最も多く509.6個/m²、以下50%区、200%区および0%区の順で最低は25%区の389.3個/m²であった。これに対して、一莢粒数ではほぼ逆の傾向を示し、莢数の最も多かった100%区が最も少なく1.32、50%、100%および200%区ではいずれも0%区より少なかった。また、百粒重には一定の傾向は認められなかった。さらに、単位面積あたりの収量は100%区でやや低かったものの明確な区間の差は認められなかった。

収穫時における土壌中の全孢子数は、第4図に示すように、100%区と200%区では風乾土1gあたりでそれぞれ6.8および13.6個と他区に比べて著し

第5表 器官別リン酸含有量。

採取	試験区	主 茎	葉 身	根	子 実
出芽後 46日	0	2.93b	5.56c	8.12c	—
	25	2.24c	4.41e	7.02e	—
	50	2.69b	5.05d	7.21d	—
	100	4.52a	5.83b	10.55a	—
	200	4.60a	7.14a	9.87b	—
出芽後 100日	0	3.20d	3.88d	7.69d	10.97c
	25	1.79e	3.08e	6.50e	10.23d
	50	4.43c	4.47c	8.00c	11.66b
	100	6.86b	5.79b	9.88b	9.92e
	200	8.73a	6.02a	10.88a	12.37a

単位は mgP₂O₅/g。

アルファベットはダンカン法(1%レベル)による有意差を示す。

第6表 感染率と各形質間の相関係数。

出芽後 日数	リ ン 酸 含 量			土壌中の 有効態リ ン酸含量
	主 茎	葉 身	根	
46	-0.890*	-0.884 ^{ns}	-0.778 ^{ns}	-0.942*
100	-0.916*	-0.872 ^{ns}	-0.870 ^{ns}	-0.833 ^{ns}

* は5%レベルで有意差あり、ns は有意差なし。

第7表 過石施用量を変えた場合の各区の生育のちがい。

採 取	試験区	総節数 (/pl.)	茎 太 (mm)	全乾物重 (g/m ²)	LAI (m ² /m ²)
出芽後 46日	0	21.3c	8.03a	142.8a	1.49a
	25	21.4c	6.66b	121.9b	1.17c
	50	23.3b	7.61a	132.4b	1.39ab
	100	26.3a	7.38a	147.3a	1.55a
	200	23.0b	8.10a	150.2a	1.31b
出芽後100日	0	30.9b	8.24b	522.7a	1.94b
	25	30.3b	8.04b	468.5b	1.64c
	50	31.3b	8.51ab	481.4b	1.95b
	100	36.8a	9.01a	538.4a	2.22a
	200	33.3b	9.26a	523.6a	2.15a

アルファベットはダンカン法(1%レベル)による有意差を示す。

第8表 過石施用量を変えた場合の各区の収量のちがい。

試験区	莢 数 (/m ²)	一莢 粒数	百粒重 (g)	収 量 (g/m ²)
0	421.8b	1.59a	29.7a	198.9a
25	389.3c	1.56a	32.5a	196.7a
50	47.25ab	1.43b	29.5a	198.7a
100	509.6a	1.32b	28.2a	190.2a
200	453.6ab	1.41b	31.3a	199.5a

アルファベットはダンカン法(5%レベル)による有意差を示す。

く少なかった。また、0～50%区の間では20%区が最も多く159.8個、0%区と50%区はそれぞれ94.9および88.3個とほぼ同数の胞子が形成された。以上の結果から、収穫時の各区の胞子数と各形質との関係を調べたところ、第9表のように、125日目の感染率との間には高い正の相関関係が、また収穫時の有効態リン酸含量や根のリン酸含量との間には高い負の相関関係があり、それぞれの相関係数は0.938*、-0.982** および-0.991** であった。

考 察

VA菌根菌は現在約150種が同定されているが¹⁸⁾、必ずしも全ての種が種々の作物に同様に影響を与えているとは限らず、菌の種類によっては作物への影響が異なると考えられている。このようなことから作物栽培においてVA菌根菌を利用するには菌の種類と作物の適合性を見いだすことが重要と考えられている。そこで、ダイズに対する菌の適合性という観点から結果を見ると、第1実験で出芽50日目に感染が認められた無殺菌区の各器官における

リン酸含量は、殺菌区に比べ明らかに増大していたことから(第2表)、当圃場にはダイズに有益なVA菌根菌が存在している可能性があると思われる。しかし、感染によるリン酸含量の増大が認められたものの生育・収量での増大は認められなかった(第3, 4表)。また、第2実験では0%区と25%区は他の区と明らかに異なる感染の推移を示したが、各器官のリン酸含量は100%区や200%区にはおよばなかった(第5表)。この原因は当圃場のVA菌根菌がダイズに有益ではあるが生育や収量を増大するまでには至らない種であることや、もし生育や収量を向上させる種であったとしても土壤中の密度や根への感染が悪いためにその効果が十分に発揮されなかったことなどが考えられる。過去の報告でVA菌根菌の感染によりダイズの生育が良好となった菌の種類には*Glomus fasciculatum*⁴⁾、*Scutellispora gregaria*¹²⁾などがあり、このうち*Sc. gregaria*は当圃場からも風乾土100g当り4.0個の割合で確認され、これをポット当りに換算すると約80個となる。この数値は益永¹²⁾の報告より約3割多い。しかし、本実験での同菌の胞子は独自に培養したものではなく自然条件下のものである。このことから同菌の胞子は全てが同じ状態、すなわち発芽・感染可能な状態であったとは思われず、実際に感染に関与したのは極わずかであったのではないかとと思われる。また、当圃場から確認された胞子の9割以上は*Glomus*属であり、これらはいずれも未同定ではあるが、そのうち約7割が直径100μm前後の白色球形のもの、約1割がほぼ同じ大きさの黄褐色球形のもので占められていた。従って、今回はこの白色球形の種の効果による割合が高かったと思われる。そこで、感染の有無に

かかわらずダイズの生育に差が生じなかった原因 (第1実験) および0%区と25%区が他の区より高い水準で感染が推移したにもかかわらず、各器官のリン酸含量が100%区や200%区におよばなかった原因 (第2実験) などを明らかにするためには、当圃場で確認された前述の *Glomus* 属の孢子がダイズに有益な種であるか否か、また、有益な種であったとしてもダイズの生育を良好にさせるために孢子数がどれ位必要であるかを明らかにする必要がある。もし仮に、有益な種であり、かつ、必要な孢子数が満たされていたにもかかわらず生育が悪い場合は、菌以外に原因があるのではないと思われる。

ダイズは本来比較的リン酸要求量の高い作物であり⁹⁾、十分な収量を得るには多量のリン酸肥料を施

用しなければならない。特に火山灰土壌などではその必要性が大きい作物である。しかし、当圃場の実験開始時の土壌中の有効態リン酸 (P_2O_5) 含量 (トルオーグ法) は風乾土 100 g 当り無殺菌区で 2.30 mg, 殺菌区で 2.00 mg (第1表) といずれもわが国の普通畑土壌の平均値と比較して低かった²³⁾。このようなことから、当圃場でダイズを無リン酸肥料条件下で栽培した場合には生育不良や低収を示すことが予想される。ところが、実際には無リン酸肥料条件下で栽培した第1実験の殺菌区の収量は m^2 当り 158.9 g であり (第4表)、1986~1990 年の5年間の神奈川県下のダイズの平均収量 ($160.6 g/m^2$)¹⁶⁾ とほとんど変わらない。さらに、第2実験の各器官のリン酸含量は、各区の間に顕著な差が認められたが生育や収量には明らかな相違はみられなかった (第5, 7, 8表) ことから、当圃場ではリン酸肥料を施用しなくても生育に必要なリン酸量が既に土壌から十分に供給されていたのではないかと考えられる。すなわち、当圃場では土壌中に固定化されていた多量のリン酸が何らかの形で植物体に供給され、第1実験での殺菌区および第2実験の0%区と25%区では極端なリン酸不足状態ではなかったために生育や収量に差が生じなかったとも考えられる。以上のことから、VA菌根菌はダイズの根に感染することにより生育や収量を良好にするが、菌の種類やその密度および環境条件等が満たされない場合には効果が発現されないことも有り得ると言える。

第2実験では過石を用いて有効態リン酸の増加に伴うVA菌根菌の生態変化を調べた。その結果、従来から言われているように有効態リン酸が増加することによって感染率が低下した。すなわち、25%区と0%区ではほぼ同じ感染率の推移を示したが、50%区では76日目まで感染率の増加が緩慢で0%区に比べ感染率は低かった。また、100%区と200%区では生育の初期から0%区や25%区とは明らかに異なった推移を示した (第2, 3図)。従って、今回の実験からは、ダイズへの感染を抑制しはじめた有効態リン酸含量は50%区の播種から76日目までに示された $7.0 \sim 4.0 mg P_2O_5/100 g$ 付近にあることが推察される。過去の同様な報告をみると、野中と吉田¹⁵⁾ はトウモロコシにおいて感染率を増加させる有効態リン含量 (OLSEN法) は $10 \sim 30 mg P/kg$ 以下であるとしている。さらに、Ojalaら¹⁷⁾ は、*Glomus* 属のVA菌根菌感染による植物体の重量増加を期待するには各種有効態リン (BRAY法、

第4図 収穫時におけるポット内の全孢子数。
アルファベットはダンカン法 (1%レベル) による有意差を示す。

第9表 孢子数と各形質間の相関係数。

	有効態リン酸	感染率	根のリン酸含量
孢子数	-0.982**	0.938*	-0.991**

有効態リン酸と根のリン酸含量は、収穫時の結果との関係、感染率は出芽後125日目の結果との関係を示した。

*, ** はそれぞれ5%, 1%レベルで有意差あり。

OLSEN 法、陰イオン交換法) 含量は 20~50 mgP/kg 以下であると結論している。これらの事実および第 2 実験の結果から、作物への VA 菌根菌の感染に有効態リン酸含量が大きな影響をおよぼしていることが示唆された。一方、俵谷ら²⁰⁾は、北海道各地の作物の VA 菌根菌感染率と土壌の有効態リン含量との関係を調べ、両者の間に一定の関係が認められなかったことから VA 菌根菌の感染には有効態リン含量以外の土壌条件もおよぼすとしており、また、作物の種類やリン酸の形態によっても感染を抑制する有効態リン酸含量が異なることが考えられることから、今回の結果が常に適用されるとは考えにくい。しかしながら、多量のリン酸肥料を施用することによって VA 菌根菌の感染は、低量または無リン酸施用栽培より抑制される傾向があり、リン酸施用栽培の場合には VA 菌根菌の感染に伴う種々の利点^{1,3,6,8,11,21)}を受けにくくなることが推察される。

全世界的にわが国並にリン酸肥料を施用し続けた場合、40~50 年後にはリン鉱石の可採埋蔵量がなくなると言われており²⁾、今後の作物栽培では新しい形でのリン資源の確保が必要とされている。このような状況の中で我が国では長年にわたって多肥栽培してきた結果、多量のリン酸が土壌中に蓄積されており、現在では普通畑における有効態リン酸(P_2O_5)の平均含量は土壌 100 g 当りで 36.9 mg にも達していると言われている²³⁾。従って、この耕地に蓄積されている多量のリン酸を有効に利用する技術の確立が今後の農業の安定化と資源確保という点からも必要と思われる。その一例として現在 VA 菌根菌の利用が注目されつつあるが、作物栽培に VA 菌根菌を利用するには作物根への VA 菌根菌の感染率を高めることが重要であると同時に、耕地の VA 菌根菌孢子密度を高めることが必要と思われる。しかし、VA 菌根菌は現段階では純粹培養ができず、孢子などの接種源を人工的に多量に作り出すことはコストの面から考えても非常に困難である。一方、収穫後の土壌耕起により冬場の孢子数の減少抑制が可能であったり¹⁰⁾、リン酸の施用と同時に有機性廃棄物を施用することによりリン酸による孢子形成の抑制を防ぐことができたという報告もある¹⁴⁾。さらに、土壌中のリン酸濃度が高くてもリン酸の形態によっては孢子形成が抑制されないものもあるということから¹⁵⁾、当面上記のような事実をふまえた上で、実際栽培の中で耕地の孢子密度を高める技術を確認していくことが必要である。また、第 2 実験では過石の施用量

を多くするほど形成孢子数が低下し(第 4 図、第 6、9 表)、同様なことが Menge¹³⁾ によっても報告されていることから、今後の作物栽培において現在一般的に行われているリン酸肥料の施用を続けていくことは、リン資源の枯渇を早めるだけではなく、耕地の孢子密度の増加をも抑制し、VA 菌根菌を利用した土壌中のリン酸の有効利用をも難しくするのではないかと思われる。

謝辞: 本研究の取りまとめにあたり有益な助言をいただいた東京農工大学平田 熙教授に対し、深く感謝の意を表す。

引用文献

1. Allen, M.F., T.S. Moore, Jr. and M. Christensen 1980. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: I. Cytokinin increases in the host plant. *Can. J. Bot.* 58: 371-374.
2. 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.
3. Baltruschat, H. and F. Schonbeck 1972. Untersuchungen über den Einfluss der endotrophen Mycorrhiza auf die Chlamydosporenbildung von *Thielaviopsis basicola* in Tabakwurzeln. *Phytopath. Z.* 74: 358-361.
4. Bethlenfalvay, G.J., R.S. Pacovsky, M.S. Brown and G. Fuller 1982. Mycotrophic growth and mutualistic development of host plant and fungal endophyte in an endomycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 68: 43-54.
5. Daniels, B.A. and H.D. Skipper 1982. In *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. ed. by N. C. Schenck. American Phytopathological Society. 29-35.
6. Gilmore, A.E. 1971. The influence of endotrophic mycorrhizae on the growth of peach seedlings. *J. Am. Soc. Sci.* 96: 35-37.
7. Giovannetti, M. and B. Mosse 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500.
8. Hardie, K. and L. Leyton 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. *New Phytol.* 89: 599-608.
9. 橋本鋼二 1980. II 生育の基本. 斎藤正隆・大久保隆弘編, 大豆の生態と栽培技術. 農文協, 東京. 63-93.
10. Hayman, D.S. 1970. Endogone spore numbers in soil and vesicular-arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 54: 53-63.
11. 小林紀彦 1988. VA 菌根菌と病害防除への利用. *植物防疫* 42: 259-266.

12. 益永利久・有馬泰紘・平田 熙 1987. ダイズの生育に及ぼす炭施用の影響—根粒と VA ミコリザに着目して—. 土肥要旨集 33:54.
13. Menge, J.A., C.K. Labanauskas, E.L.V. Johnson and R.G. Platt 1978. Partial substitution of mycorrhizal fungi for phosphorus fertilization in the greenhouse culture of citrus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:926—930.
14. 中野昌法・松田玲子・吉田富男 1987. 各種作物栽培と有機性廃棄物施用が VA 菌根菌の増殖に及ぼす影響. 土肥要旨集 33:53.
15. ———・吉田富男 1987. VA 菌根菌の増殖に及ぼす各種リン酸塩の影響. 土肥誌 58:561—565.
16. 農林水産省経済統計情報部 1992. 平成2年産作物統計. 農林統計協会, 東京. 374—404.
17. Ojala, J.C., W.M. Jarrell, J.A. Menge and E.V. Johoson 1983. Comparison of soil phosphorus extractions as predictors of mycorrhizal dependency. *Soil Sci Soc. Am. J.* 47:958—962.
18. Schenck, N.C. and Y. Perez 1990. *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi* 3rd Edition. Synergistic Publications, Gainesville. 1—258.
19. 鈴木達彦 1986. VA 菌根に関する諸問題 [1]. 農及園 61:1023—1028.
20. 俵谷圭太郎・但野利秋・田中 明 1985. 北海道における作物の VA 菌根菌感染状態. 土肥誌 56:141—146.
21. Timmer, L.W. and R.F. Leyden 1978. Stunting of citrus seedlings in fumigated soils in Tezas and its correction by phosphorus fertilization and inoculation with mycorrhizal fungi. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 103:533—537.
22. 山家義人 1978. 内生菌根の簡易な観察法とスギ, ヒノキについての観察結果. 第89回林大会要旨:121—122.
23. 吉池昭夫 1983. 農耕地における施用リン酸の蓄積について. 土肥誌 54:255—261.