

## 形態

# アーバスキュラー菌根菌の感染がインゲンマメの根の形態に及ぼす影響

磯部勝孝\*・村上学・立石亮・野村和成・井上弘明・坪木良雄

(日本大学)

**要旨:**アーバスキュラー菌根菌 (以下 AM 菌) の感染によって宿主作物の生育が促進されるのは主に AM 菌の外生菌糸が吸収したミネラルを宿主作物に供給するからと考えられている。しかし、AM 菌の感染によって根系の形態が変化し、養水分の吸収が盛んな根端が増え、根の生理活性に変化が生じると仮定すると、必ずしも外生菌糸を通じて吸収された養水分だけが宿主の生育促進をする要因とは考えにくい。そこで本報ではインゲンマメに AM 菌が感染した際、根系の形態と生理がどのように変化するかを明らかにした。リンを施用したり AM 菌が感染するとインゲンマメの地上部乾物重、葉面積および地下部リン含有率が高まった。さらに、AM 菌が感染すると主根、一次根および二次根が短くなり、個体あたりの一次根数、二次根数が少なくなった。ただし、単位根長あたりの一次根数と二次根数は、AM 菌が感染しても変化しなかった。また、根系の形態変化はリンを施用した際には生じなかった。このことから AM 菌の感染による根の形態変化は AM 菌が根に感染することが影響していると推察された。さらに AM 菌が感染すると単位根量あたりの出液速度と TTC 還元力が高まった。しかし、AM 菌が感染すると全根長が短くなるため、個体当りの出液量は対照区と差がなかった。ただし、AM 菌の感染に伴う出液速度と TTC 還元力の上昇は根の生理活性の変化によるものか AM 菌の吸水や還元力によるものかは明らかにできなかった。以上のことから AM 菌の感染は根系の形態を変化させるが、根の生理にも影響を及ぼすかは今後の課題である。

**キーワード:**アーバスキュラー菌根菌、インゲンマメ、根数、根長、出液、根。

植物の根系は形態的、機能的および遺伝的に異なるさまざまな根から構成されている (Zobel 1991)。また、一本の根でも基部と先端では分化した時期は異なり、形態や機能が著しく異なると考えられる (St. Aubin ら 1986, Wenzel ら 1989, Galamay ら 1992)。したがって同じ植物でも根系の形態が異なれば個体としての生理反応は著しく異なると推察される。このようなことから、植物の根系の機能を明らかにする際、根系の形態を調査することは極めて重要と考えられる。過去の根系の機能に関する研究では根系の生体重、乾物重、全根長等を指標として根系の機能を評価することが多かったが、根系の機能をより詳細に評価するには個々の根を形態学的な観点から評価する必要がある (Berta ら 1993)。根系の形態は土壌のさまざまな環境要因によって変化し、アーバスキュラー菌根菌 (以下 AM 菌) の感染も根系の形態を変化させる要因のひとつである。実際、ピックブルーステム (Hetrick ら 1988) やラッカセイ (Yano ら 1996) において菌根菌が感染した個体と感染してない個体では根系の分枝パターンが異なることが明らかにされている。また、Berta ら (1990) はリーキにおいて菌根を形成した個体の根系は菌根が形成されていない個体と比べて短い根が多く発生することを示している。AM 菌の感染によって宿主作物の生育が促進されるのは主に AM 菌の外生菌糸が吸収したリンなどのミネラルを宿主作物に供給するからと考えられている (斎藤 2000)。しかし、AM 菌の感染によって根系の形態が変化すれば必ずしも AM 菌の外生菌糸を通じて吸収された養

水分だけが宿主の生育促進をする要因とは考えにくい。このようなことから本報では AM 菌の感染によって生育が著しく促進されるインゲンマメ (磯部・坪木 1998, 磯部・坪木 1999) に AM 菌が感染した際、根系の形態と生理がどのように変化するか明らかにした。

## 材料と方法

### 実験 1 AM 菌の感染が根の形態に及ぼす影響

#### 1. 供試した AM 菌

本実験で供試した AM 菌は株式会社出光興産より分譲を受けた未同定の *Glomus* 属菌 (以下、G. R 10) で、これを接種した滅菌土壌を 1/5000 a ポットに充填してシロクロバーを生育させることで増殖させたものである。

#### 2. AM 菌の接種とインゲンマメの栽培

インゲンマメを栽培するのに用いた土壌は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℃で 40 分) で滅菌し、土壌水分を 18.6% に調整したものである。この土壌を風乾させたもの 100 g に含まれる可給態リン (ブレイ第 2 法) は 7.7 mg であった。施肥はこの土壌 500 g に対して硫酸アンモニウム 0.5 g, 硫酸カリウム 0.5 g を施用した。それを 1/10000 a ポットに充填し、さらにその上から施肥を行っていない土壌を充填して土壌全体の重さが 1.0 kg となるようにした。試験区はポット当たりリン酸 ( $H_3PO_4$ ) を 10 倍に希釈した溶液 3.8 g を施用したリン区、G. R 10 の厚膜胞子 2800 個をインゲンマメの播種日に接種した

AM 菌区および無処理の対照区である。各区のポットへのインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L. 品種:セリーナ) の播種は1999年8月10日ですべての区も3粒播きし、初生葉展開時に間引きを行いポットあたり1個体とした。インゲンマメの育成は自然日長、自然温度下の網室内で行った。なお、実験は3反復で行った。

### 3. AM 菌感染率調査

インゲンマメの播種後17日目にインゲンマメの根をポットから採取して水道水で洗浄後約1cmの長さに切り、この中から100本の根の切片をランダムに選んだ。選んだ根の切片は10%のKOH溶液に入れ20分間煮沸し、漂白後、0.05%トリパンブルー・ラクトグリセロール溶液にて染色した。感染率の測定は染色した切片を格子付のシャーレに入れ、Gridline intersect method (Giovannetti and Mosse 1980) によりAM菌の感染率を求めた。本実験では根の皮層内にAM菌の菌糸、のう状体、樹枝状体または厚膜胞子が確認できた部位を感染と判断した。

### 4. 地上部の生育調査と根の形態ならびにリン含有率調査

インゲンマメの播種後17日目にインゲンマメを子葉節で切除し地上部については葉面積を葉面積計(林製作所製, AA-7)で測定した後、すべての地上部を80℃で48時間乾燥させ、乾物重を求めた。地下部は水道水で丁寧に洗って土壌を洗い流し、FAA(70%エタノール:酢酸:ホルマリン=18:1:1)につけて根系を調査するまで保存した。インゲンマメの根系の調査は水道水を張ったプラスチック容器(25cm×30cm)に各区の根を広げて行った。調査項目は主根長、一次根数、一次根長、二次根数および二次根長である。主根長とは最も地表に近い一次根の発生位置から主根の先端までとし、一次根数とは主根から発生しているすべての一次根数を数えた。一次根長と二次根数は主根の上部5cm部分から発生している一次根をランダムに3本採取し、採取した一次根の長さを測定し、さらにその一次根から発生している二次根数を数えた。採取した一次根からランダムに10本採取した二次根の長さを測定し、これを二次根長とした。形態調査に用いなかった地下部はリン含有率を求めるため80℃で48時間乾燥後、粉碎してそのうち0.2gを過塩素酸(60%)20mLで加熱分解し、分解液のリン濃度をバナドモリブデン・イエロー法(岡部 1975)で求めた。

### 実験2 AM菌の感染が出液速度とTTC還元力に及ぼす影響

#### 1. 供試したAM菌とインゲンマメの供試品種

実験1と同様のAM菌とインゲンマメを用いた。

#### 2. AM菌の接種とインゲンマメの栽培

インゲンマメの栽培に供した土壌や施肥ならびにAM菌の接種条件は実験1と同様である。インゲンマメの播種は1999年11月8日に行い、その後の育成は昼温(6—18

時)28℃、夜温(18—6時)20℃にセットした自然日長型の人工気象室で行った。実験は3反復で行った。

### 3. AM菌感染率調査

実験1と同様な方法でインゲンマメの播種後22日目に各区のAM菌感染率を測定した。

### 4. 出液速度とTTC還元力の測定

出液速度の測定は吸水測定法(石原・平沢 1985)に従って行った。すなわち、播種後22日目にあたる1999年11月30日に1/10000aポットで育成したインゲンマメを子葉節で切除し、その切り口にあらかじめ重さを測定しておいた脱脂綿を充填したポリエチレン袋を輪ゴムで固定した。出液の採取はインゲンマメを育成した人工気象室で行った。24時間後に脱脂綿を採取し重量増加量を測定して出液速度を求めた。出液速度測定後各区の根はポットから取り出し水道水で根を洗浄して、ライン交さ法(Newman 1966)で全根長を求め、個体当たりの出液量を全根長で除し、単位根長当たりの出液速度を算出した。

根のTTC(トリフェニルテトラゾリウムクロライド)還元力の測定は播種後22日目に行った。TTC還元力の測定のため水道水で根を丁寧に洗浄した後、根を約3cmの長さに切り、生体重で2g分の根の切片をランダムに選びこれを試験管に入れた。その後試験管には0.4%TTC溶液とM/10リン酸緩衝液(pH7.0)の等量混合液20mLを加え、根を十分に浸漬させた。パラフィルムで試験管の口を密閉し、暗黒化37℃の条件下でこれを3時間培養後、試験管に2N硫酸を2mL加えて反応を停止させた後、根を取り出し水分をふき取り乳鉢で15mLの酢酸エチルと少量の石英砂を加えて根を磨砕して、根で生成されたフォルマザンを抽出した。根の磨砕残渣には再度酢酸エチルを加え根で生成されたフォルマザンを完全に抽出した。フォルマザンを抽出した酢酸エチル液はすべて混合し波長485nmの吸光度を測定した。これとは別に濃度既知のTTC溶液に酢酸エチルとハイドロサルファイドソーダ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )を加えたもので標準曲線を作成しておき、これと各区の測定値を比較して生体重1gで1時間当たりに生成させるフォルマザン量(mg)を定量した(吉田 1966)。

## 結 果

### 実験1 AM菌の感染が根の形態に及ぼす影響

各区の播種後17日目におけるAM菌感染率、インゲンマメの地上部乾物重、葉面積および地下部リン含有率を第1表に示した。AM菌を接種していない対照区とリン区ではAM菌の感染は認められなかった。これに対し、AM菌区では根内にAM菌ののう状体、樹枝状体、菌糸が認められ、感染率は75.0%で根系全体の約4分の3にAM菌が感染していた。地上部乾物重や葉面積はリンを施用したリン区やAM菌を接種したAM菌区では対照区に比べ明らかに増大し、対照区とこれら二つの区の間には5%レ

第1表 インゲンマメの地上部乾物重、葉面積および地下部リン含有率に及ぼすリン酸およびAM菌感染の影響。

試験区	感染率 (%)	個体当たりの地上部乾物重 (g)	個体当たりの葉面積 (cm <sup>2</sup> )	地下部リン含有率 (mg/g)
対照	0.0b*	0.57c	115.0c	2.95b
リン	0.0b	0.95a	220.8a	3.97a
AM菌	75.0a	0.78b	176.7b	3.96a

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

第2表 インゲンマメの各次数根の長ささと数に及ぼすリン酸およびAM菌感染の影響。

試験区	主根長 (cm)	一次根長 (cm)	二次根長 (cm)	全一次根数 (本/個体)	主根 1cm 当たりの 一次根数 (本/cm)	一次根一本当たりの 二次根数 (本)	一次根 1cm 当たりの 二次根数 (本/cm)
対照	27.1a*	29.3a	7.50a	182.7a	6.74a	170.9a	5.83a
リン	33.3a	29.5a	6.10a	181.7a	5.46a	157.8a	5.35a
AM菌	19.4b	23.2b	3.36b	106.0b	5.46a	100.0b	4.31a

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

第3表 インゲンマメの出液速度と TTC 還元力に及ぼすリン酸およびAM菌感染の影響。

試験区	感染率 (%)	全根長 (m)	個体当たり の出液量 (g/day)	根 1cm 当たり の出液速度 (mg/day)	根 1g 当たりに生成さ れたフォルマザン量 (mg/g/h)
対照	0.0b*	54.2a	1.14b	0.21b	0.40b
リン	0.0b	43.2ab	1.73a	0.40ab	0.39b
AM菌	44.0a	23.3b	1.21b	0.52a	1.18a

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

ベルで有意差が認められた。また、リン区とAM菌区の間にも地上部乾物重や葉面積に差が認められ、いずれの調査項目もAM菌区よりリン区のほうが大きかった。各区の地下部リン含有率は対照区が乾物1gあたり2.95mgであったのに対し、リン区とAM菌区ではそれぞれ3.97mg, 3.96mgと増大し対照区との間には5%レベルで有意差が認められた。また、リン区とAM菌区の間には有意差は認められなかった。

播種後17日目における各区のインゲンマメの根系形態を第2表に示した。主根長、一次根長および二次根長は対照区とリン区の間には差がなかったが、AM菌区では主根長19.4cm、一次根長23.2cm、二次根長3.36cmと対照区やリン区に比べて明らかに短くなり、5%レベルで有意差が認められた。全一次根数や一次根一本あたりの二次根数は対照区とリン区の間には差がなかったが、AM菌区はそれぞれ106.0本、100.0本とこれら2つの区より明らかに根数が減少した。しかし、主根1cmあたりの一次根数や一次根1cmあたりの二次根数は対照区、リン区、AM菌区間に有意差はなかった。

を第3表に示した。AM菌の感染は対照区とリン区では認められず、AM菌区のみで感染が認められAM菌区のAM菌感染率は44.0%であった。全根長は対照区が54.2m、リン区が43.2m、AM菌区が23.3mとなりリン区と対照区の間には有意差が認められなかったが、AM菌区と対照区の間には5%レベルで有意差が認められた。個体当たりの出液量は対照区が1.14g/day、リン区が1.73g/day、AM菌区が1.21g/dayで、対照区とAM菌区の間には有意差は認められなかったが、リン区と対照区やAM菌区の間には5%レベルで有意差が認められた。対照区の根1cm当たりの出液速度は0.21mgであったのに対し、リン区では0.40mg、AM菌区では0.52mgであり、AM菌区の出液速度は対照区に比べ明らかに増大した。ただし、リン区の出液速度は対照区およびAM菌区と有意差がなかった。根1g当たりに生成されたフォルマザン量は対照区で0.40mg、リン区で0.39mgであったのに対し、AM菌区では1.18mgと他の2区に比べ明らかに生成量が多くなり、AM菌区と対照区やリン区との間には5%レベルで有意差が認められた。しかし、対照区とリン区の間にはフォルマザンの生成量に有意差は認められなかった。

## 実験2 AM菌の感染が出液速度とTTC還元力に及ぼす影響

播種後22日目における各区のAM菌感染率、全根長、個体当たりの出液量、1cmの根の1時間あたりの出液速度および根1gが1時間あたりに生成したフォルマザン量

## 考 察

本研究でAM菌区でAM菌が感染することによって地下部リン含有率が高まり地上部乾物重や葉面積が増大し、

同時に主根、一次根、二次根のいずれもが短くなった (第1, 2表). また、各次数根数は個体あたりでみるとAM菌の感染によって減少した (第2表) が、一次根数を主根1 cmあたりで、また二次根数を一次根1 cmあたりでみるといずれも対照区と差がなかった. このことは個体あたりの一次根数および二次根数が減少したのはそれぞれ主根と一次根の長さが減少したためと言える. 一方、リン区においてもインゲンマメの地下部リン含有率が高まり地上部乾物重や葉面積はAM菌区以上に増大したが、AM菌区で認められた根系の形態変化は生じなかった (第1, 2表). AM菌の感染によって根系の形態変化が生じる原因については様々な考え方があるが (Edrissら 1984, Trottaら 1991, Hookerら 1992), 仮に地下部のリン含有率が高まったことが根の形態変化を生じさせた原因であるとするAM菌区、リン区ともに根系の形態変化が生じると考えられる. しかし、今回の実験では根系の形態変化はリン区では生じず、AM菌区だけで根系の形態変化が生じた. 従ってAM菌区の根系の形態変化は植物体内でのリン含有率の増大によるものではなく、AM菌の感染そのものが原因であると考えられる. Hookerら (1992) はAM菌の感染率が高い個体ほど根系の形態変化が著しいことから、AM菌の感染による根系の形態変化は菌の感染の直接的な影響と考えており、このことは本研究の考え方を支持する. さらにHookerら (1992) はAM菌の一種である *Glomus mosseae* 中にサイトカイニン様物質が存在することから根系の形態変化にAM菌の植物ホルモンが関与していることを示唆している. 同様にBertaら (1993) はAM菌の感染による根の形態変化はAM菌から植物ホルモンがもたらされるためか植物体内での植物ホルモンの代謝が変化するために生じると考えている. また、Edrissら (1984) はダイダイ (*Citrus aurantium* L.) にリンを施用して体内のリンレベルをAM菌が感染したときと同じレベルにしても、体内のサイトカイニンレベルはAM菌が感染した個体には及ばなかったことから、AM菌が感染したときにサイトカイニンレベルが上がるのはAM菌の感染そのものが関与していると考えている. このようにAM菌の感染による根系の形態変化の原因にはサイトカイニンの影響を示唆するものが多い. サイトカイニンは主に根端で合成され、根端分裂組織の細胞分裂に重要な役割を果たしている. ただし、サイトカイニンを外部から与え、根のサイトカイニン濃度を高めると細胞分裂が抑制され根の生長が低下する. 実際、Bertaら (1990) はAM菌の感染に伴い根端において細胞分裂が抑制され、ネクロシスや離層形成が行われる根端の割合が多くなり、このことが根長の減少する原因であるとしている. このようなことから本研究で根長が短くなった原因を明らかにするにはAM菌の感染によって宿主インゲンマメの根におけるサイトカイニンの濃度に変化が生じるか調査し、さらに今回認められた主根や側根長の減少

にその植物ホルモンがどのように関与しているか明らかにする必要がある.

植物の根は基部から先端においてどの部位でも同じように養水分を吸収しているのではなく呼吸作用が活発な先端に近い部分で主に養水分を吸収している (Clarkson and Sanderson 1978, Sanderson 1983). このことは総根長が同じでも分枝根が増大して根の先端部が多くなれば一個体として吸収できる養水分量は増加することを示唆する. 本研究ではAM菌の感染により主根や側根が短くなり、それに伴い個体当たりの一次根や二次根数が減少した. この形態変化は養水分の吸収が盛んな根端数と土壤中における根域の減少を意味し、これはインゲンマメの養水分吸収にとって必ずしも有利な形態変化とは言えない. ただし、本研究の結果ではAM菌の感染によって単位根量当たりの出液速度やTTC還元力を高めた (第3表). 根の出液速度やTTC還元力は根の呼吸量や生理活性を推測するのに有効な手段であることから (平沢ら 1983, 山口ら 1995, 吉田 1966, 森田・阿部 1999), 単位根量当たりの出液速度やTTC還元力が増大したことは単位根量当たりの養水分の吸収量が増大したことを示唆する. このことはAM菌区で全根長が減少しても個体当たりの出液量は対照区と差がなかった要因とも考えられ (第3表), さらにAM菌区と対照区ではインゲンマメの個体当たりの能動的吸水量は変化しないことを意味する.

本研究ではAM菌の感染により単位根量当たりの出液速度やTTC還元力が高まった. ただし、AM菌が感染した根では根のTTC還元力とAM菌のTTC還元力を同時に測定していると考えられる (Macdonald and Lewis 1978). したがって、AM菌区で出液速度が高まったのは根の能動的吸水量の増大によるものとAM菌の外生菌糸を通じて吸収された水分が宿主インゲンマメに供給されたためと2つの要因が同時に、または一方が生じたために起こったと考えられる. このようなことから、本研究の結果のみではAM菌の感染によって根そのものの生理活性が変化をしたとは結論できず、AM菌の感染によって生じたインゲンマメの生育促進 (第1表) の原因は従来から言われているAM菌の外生菌糸が吸収したリンなどのミネラルが宿主インゲンマメに供給されたことのほかにAM菌の感染による根の生理活性の変化が関与しているかは不明である. 今後AM菌の感染によって単位根量当たりの出液速度やTTC還元力が何故高まったのかを明らかにするためには根とAM菌によって生成されたフォルマザン量や出液速度を別々に測定する必要がある.

謝辞: 本実験の遂行にあたり株式会社出光興産の協力を得た. ここに感謝の意を表する.

## 引用文献

- Berta, G., A. Fusconi, A. Trotta and S. Scannerini 1990. Morphogenetic modifications induced by the mycorrhizal fungus

- Glomus strain E3 in the root system of *Allium porrum* L. New Phytol. 114: 207–215.
- Berta, G., A. Fusconi, A. Trotta and S. Scannerini 1993. VA mycorrhizal infection and the morphology and function of root systems. Environ. Exp. Bot. 33: 159–173.
- Clarkson, D.T. and J. Sanderson 1978. Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Plant Physiol. 61: 731–736.
- Edriss, M.H., R.M. Davis and D.W. Burger 1984. Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 587–590.
- Galamay, T.O., A. Yamauchi, T. Nonoyama and Y. Kono 1992. Acropetal lignification in protective tissues of cereal nodal root axes as affected by different soil moisture condition. Jpn. J. Crop Sci. 61: 511–517.
- Giovannetti, M. and B. Mosse 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in root. New Phytol. 84: 489–500.
- Hetrick, B.A.D., J.F. Lesile, G.T. Wilson and D.G. Kitt 1988. Physical and topological assessment of effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on root architecture of big bluestem. New Phytol. 110: 85–96.
- 平沢正・荒木俊光・松田永一・石原邦 1983. 水稻葉身基部の出液速度について. 日作紀 52: 574–581.
- Hooker, J.E., M. Munro and D. Atkinson 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi induced alteration in poplar root system morphology. Plant Soil 145: 207–214.
- 石原邦・平沢正 1985. II-2 蒸散と吸水の測定. 北條良夫・石塚潤爾編, 最新作物生理実験法. 農業技術協会, 東京. 101–106.
- 磯部勝孝・坪木良雄 1998. イネ科・マメ科作物のアーバスキューラ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.
- 磯部勝孝・坪木良雄 1999. インゲンマメ栽培におけるアーバスキューラ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. 日作紀 68: 112–117.
- Macdonald, R.M. and M. Lewis 1978. The occurrence of some acid phosphatases and dehydrogenases in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. New Phytol. 80: 135–141.
- 森田茂紀・阿部淳 1999. 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8: 117–119.
- Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. App. Ecol. 3: 139–145.
- 岡部達雄 1975. 無機成分分析. 作物分析法委員会編, 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂, 東京. 52–226.
- 斎藤雅典 2000. VA 菌根菌の利用と資材化. 鈴井孝仁・岡田齊夫・国見裕久・牧野孝宏・斎藤雅典・宮下清貴編, 微生物の資材化: 研究の最前線. ソフトサイエンス社, 東京. 57–70.
- Sanderson, J. 1983. Water uptake by different regions of the barley root. Pathways of radial flow in relation to development of the endodermis. J. Exp. Bot. 34: 240–253.
- St. Aubin, G., M.J. Canny and M.E. McCully 1986. Living vessel elements in the late metaxylem of sheathed maize roots. Ann. Bot. 58: 577–588.
- Trotta, A., C. Carminati, L. Schellenbaum, S. Scannerini, A. Fusconi and G. Berta 1991. Correlation between root morphogenesis, VA mycorrhizal infection and phosphorus nutrition. In McMichael, B.L. and H. Persson eds., Plant Roots and Their Environment. Elsevier Science B.V., Amsterdam 333–339.
- Wenzel, C.L., M.E. McCully and M.J. Canny 1989. Development of water conducting capacity in the root systems of young plants of corn and other C4 grasses. Plant Physiol. 89: 1094–1101.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稻の茎基部からの出液速度に関する要因の解析. 日作紀 64: 703–708.
- Yano, K., A. Yamauchi and Y. Kono 1996. Modification of root system morphology in a peanut seedling inoculated with arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita* Becker & Hall. Jpn. J. Crop Sci. 65: 361–367.
- 吉田武彦 1966. 根の活力測定法. 土肥誌 37: 63–68.
- Zobel, R.W. 1991. Root growth and development. In Keister, D. L. and P.B. Cregan ed., The Rhizosphere and Plant Growth. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 61–71.

**Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Morphology of Kidney Bean Root:** Katsunori ISOBE, Satoru MURAKAMI, Akira TATEISHI, Kazunari NOMURA, Hiroaki INOUE and Yoshio TSUBOKI (*College of Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-8510, Japan*)

**Abstract:** The effects of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus* R10) on the root morphology and physiology of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) have been investigated. Infection with arbuscular mycorrhizal fungi reduced the length and the number of tap roots, and the 1st and 2nd order lateral roots. However, the number of the 1st order lateral roots per unit length of tap root and that of the 2nd order lateral roots per unit length of the 1st order lateral root were not affected by the infection. Application of phosphorus fertilizer did not change the morphology of the roots. These findings suggest that infection with arbuscular mycorrhizal fungi alters the morphology of the root system of kidney bean. The infection also promoted the bleeding rate and triphenyl-tetrazoliumchloride (TTC)-reducing power per unit length of roots, but did not affect the bleeding rate per plant. It was unclear whether the increase in bleeding rate and TTC-reducing power was due to the physiological changes in the roots, or whether the increase in TTC-reducing power and water absorption by the arbuscular mycorrhizal fungi. Our results show that infection with arbuscular mycorrhizal fungi affects the morphology of kidney bean root; however, the effect on the physiology of roots remains to be examined further.

**Key words:** Arbuscular mycorrhizal fungi, Bleeding, Kidney bean, Number of root, Root, Root length.