

## *Glomus mosseae*와 *Rhizobium meliloti*의 동시접종이 알팔파의 성장 및 질소고정활성에 미치는 영향

유익동\* · 서현창<sup>1</sup> · 김원곤 · 박동진 · 조갑연<sup>2</sup> · 김창진

한국과학기술연구원 유전공학연구소, <sup>1</sup>신구전문대학 식품영양과, <sup>2</sup>중경공업전문대학 식품공업과

### Effect of Dual Inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti* on Growth and Nitrogenase Activity of *Medicago sativa* L.

Yoo, Ick-Dong\*, Hyun-Chang Seo<sup>1</sup>, Won-Gon Kim,  
Dong-Jin Park, Kab-Yeon Jo<sup>2</sup> and Chang-Jin Kim

Genetic Engineering Research Institute, Korea Institute of Science and  
Technology, P.O. Box 17, Dae Duk Science Town, Daejeon 305-606, Korea

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Shingu Junior College, Sungham 462-743, Kyonggi-do, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Technology, Joong Kyoung Technical Junior College, Daejeon 300-100, Korea

**Abstract** — Effect of dual inoculation with vesicular-arbuscular (VA) mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae*, and *Rhizobium meliloti* R445 on growth, nodulation, and nitrogenase activity of alfalfa (*Medicago sativa* L. cv. Vernal) were examined in pot experiment. After 63 days growth, shoot length, number of leaf, and leaf size of alfalfa were increased as a result of dual inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti*. Total dry weight of alfalfa plant was increased 1.4 times compared to single inoculation with *Rhizobium meliloti*. Nodule number and mean fresh weight of nodule per plant were also increased due to the mycorrhizal infection. The mean fresh weight of nodule per plant was 60.3 mg in treatment with the dual inoculation, which was comparable to the 1.7 times increase compared to single inoculation with *Rhizobium meliloti*. As a result of the dual inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti* on alfalfa, nitrogenase activity was increased by 1.5 times compared to single inoculation with *Rhizobium meliloti*. These results showed that the effect of growth stimulation on alfalfa was caused by the enhancement of nutrient absorption and increase in nitrogen fixing ability through the inoculation with VA mycorrhizal fungi.

Mycorrhizae(菌根菌)는 다양한 종류의 식물 뿌리에 서식하며 무기양분들을 숙주식물에 공급하고 동시에 숙주식물로부터는 생활장소와 대사에 필요한 에너지를 공급받는 mycorrhizae-식물체간의 독특한 공생계를 유지한다(1). 이들 mycorrhizae는 크게 나누어 외생균근(ectomycorrhizae), 내생균근(endomycorrhizae) 및 내외생균근(ectendomycorrhizae)으로 분류되는데, 토양중에 널리 분포하며 광범위한 숙주친화성을 갖는 내생균근, 특히 vesicular-arbuscular(VA) myco-

rrhizae는 농업분야에서 중요한 연구의 대상이 되고 있다. 그 이유는 mycorrhizal plant가 non-mycorrhizal plant보다 생육이 왕성하다는 사실과 VA-mycorrhizae는 다른 내생균근보다 숙주 친화성의 범위가 아주 넓어 육상식물의 95% 이상과 공생관계를 유지한다고 알려져 있기 때문이다(2-4). 또 VA-mycorrhizae는 external hyphae를 갖고 있어 식물뿌리가 뺄 수 없는 토양의 작은공극까지도 hyphae를 뺄 수 있어 식물뿌리털 보다 양분흡수 면적을 넓혀 준다고 알려져 있다(5). 한편 mycorrhizae는 토양내에 미량으로 존재하거나 비교적 이동이 잘 안되는 인산, 구리, 아연 등의 원소를 잘 흡수하며 더 나아가서 식물이 흡수할

**Key words:** *Glomus mosseae*, *Rhizobium meliloti*, nitrogen fixation, nodulation, *Medicago sativa* L., alfalfa.

\*Corresponding author

수 없는 형태의 양분도 흡수가 가능하여 식물의 생장을 촉진하는 것으로 보고되었다(6-9).

한편 콩과 작물에도 *Rhizobium* 뿐만 아니라 균근균의 균사가 뿌리의 피층으로 침입한 후 토양속으로 많은 external hyphae를 뻗어 생장에 영향을 주고 있다고 알려졌다(10, 11). 그와 관련된 연구보고로는 Ross와 Harper(12)의 대두와 *Glomus mosseae*와의 공생관계, Moss(13)의 VA 내생 균근균과 *Rhizobium*의 동시접종에 의한 인산의 흡수효과, Bagyaraj(14)의 포장시험 및 Crush(15) 등의 인산결핍 토양에서의 균근균의 접종효과, 서(16) 등의 VA 내생 균근균인 *Glomus mosseae*와 근류균인 *Bradyrhizobium* 균주의 동시접종에 의한 땅콩의 질소고정력 증진 효과 등의 연구가 보고되었다.

본 연구에서는 이와같은 mycorrhizae를 미생물 비료로 실제 농업에 응용하기 위한 기초실험으로 VA 내생 균근균의 일종인 *Glomus mosseae*와 알팔파 근류균인 *Rhizobium meliloti*와의 동시접종이 알팔파의 생장, 근류형성 및 질소고정활성에 미치는 영향 등을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 공시토양 및 사용균주

공시토양은 버미큘라이트와 모래를 1:1로 혼합한 후 121°C에서 1시간 멸균하여 사용하였다. 접종에 사용한 균근균으로는 미국 Florida 주립대학의 International Culture Collection of VA Mycorrhizal Fungi(INVAM)의 Schenck로부터 분양받은 VA 내생 균근균의 일종인 *Glomus mosseae*(17)를 사용하였다. 한편 알팔파 근류균은 본 실험실에서 국내 토양으로부터 분리하여 질소고정활성이 우수하다고 인정된 *Rhizobium meliloti* R445 균주(18)를 사용하였다.

### VA 내생균근 접종원의 생산

접종원의 생산을 위한 숙주 식물로는 수단그라스(*Sorghum vulgare* var. Sudanese)를 사용하였는데 먼저 종자를 0.1% HgCl<sub>2</sub> 용액에 3분, 70% ethanol 용액에 5분간 침지하여 표면살균 후 증류수로 수회 세척하여 사용하였다. 접종원의 생산을 위해 Fig. 1과 같이 *Glomus mosseae*를 접종한 후 수단그라스를 파종하고 25±2°C의 온실내에서 멸균된 식물배양액을 사용하여 150일간 생장시켰다. 생장 후 지상부는 제거하고 지하부인 뿌리와 토양을 함께 채취하여 프라

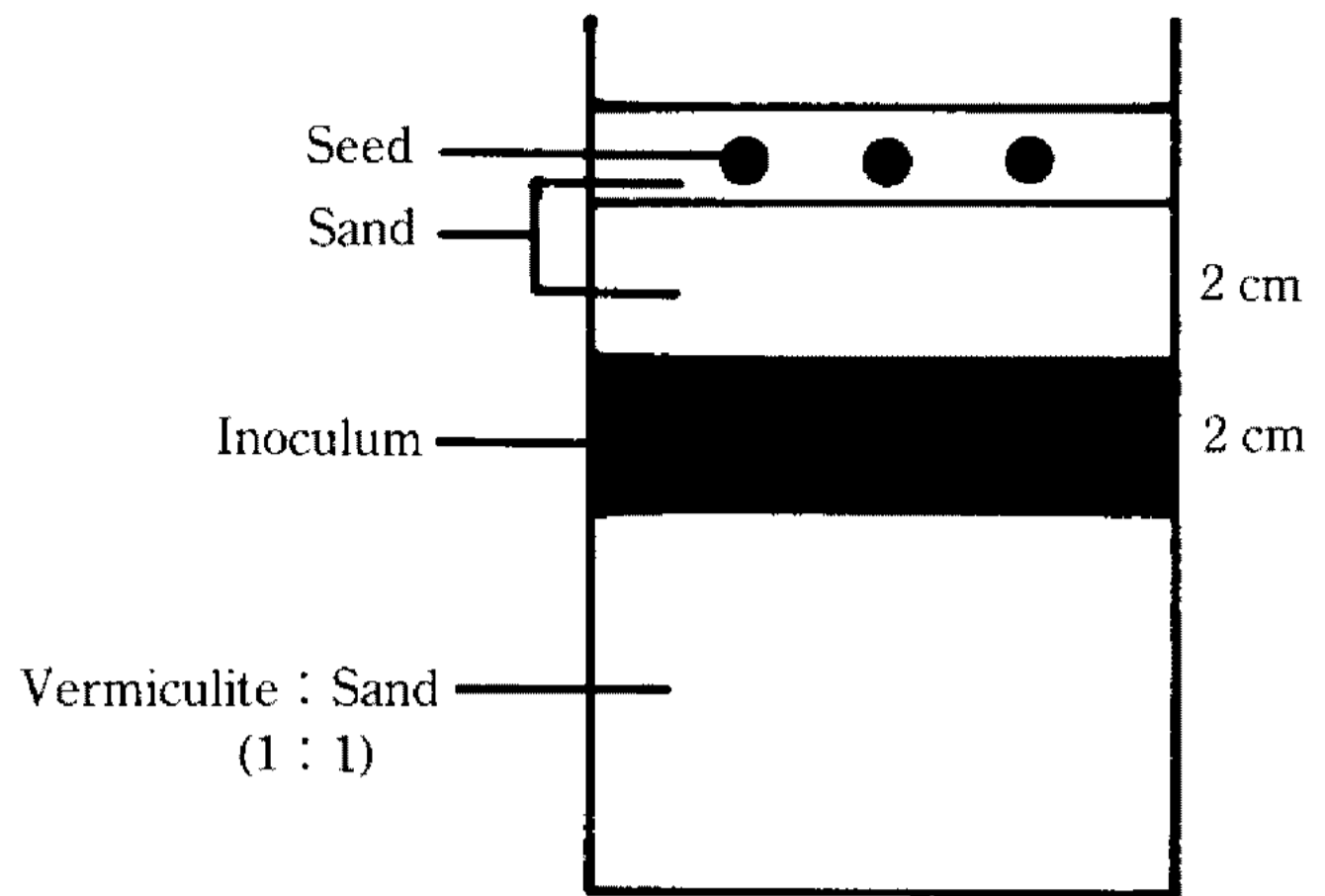


Fig. 1. Inoculation technique of plant seeds with mycorrhizal fungi.

After the seeds germinate, roots are forced to grow into the area where inoculum is present.

스틱 봉지에 밀봉 보관한 후 접종원으로 공시하였다.

### 처리내용 및 방법

처리구로는 1) 대조구(무접종구), 2) *Glomus mosseae* 단일접종구, 3) *Rhizobium meliloti* 단일 접종구, 4) *Rhizobium meliloti*+*Glomus mosseae* 동시 접종구를 두었으며 무질소 조건 5 반복으로 실험하였다. *Glomus mosseae*의 접종은 전향에서 제조된 접종원을 사용하였는데 이 접종원의 상태는 복합된 것으로 포자 뿐만 아니라 균사, 감염된 mycorrhizae 뿌리 등이 함께 들어있었다. 접종방법은 mycorrhizae의 일반적인 접종방법인 funnel technique(19)을 응용하여 Fig. 1과 같이 하였다. 또한 *Rhizobium meliloti* 균주는 yeast extract-mannitol(YM) 배지에서  $5 \times 10^8$  cells/ml까지 배양한 후 배양액 5 ml/씩을 3), 4) 처리구에 각각 접종하였다. 알팔파는 Vernal 품종을 공시하였는데 petridish에서 발아시킨 후 식물배양기내에서 식물배양액을 주며 4주 동안 무균적으로 생장시킨 후 포트에 이식하였다.

### 질소고정활성의 측정 및 식물체 생장조사

생장 9주 후 알팔파를 회수하여 근류수, 근류무게 및 질소고정활성을 측정하고 식물체의 생장정도를 조사하였다. 질소고정활성 측정은 근류가 형성된 알팔파 뿌리를 25 ml serum stoppered vial에 넣고 이중마개를 하여 10%의 공기를 acetylene으로 치환한 후 28°C에서 3시간 배양한 뒤 생성된 ethylene을 gas chromatograph(Porapak R150 column)를 이용하여

측정하였다(20). 식물체의 성장조사를 위해 경장, 잎의 크기, 잎의 수와 색상을 조사하였고 잎, 줄기, 뿌리를 각각 분리하여 생체중을 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 접종원의 생산

Mycorrhizae의 접종원을 대량으로 생산하기 위하여 *Glomus mosseae*를 수단그래스에 접종한 후 90일간 성장시킨 결과, 공사한 수단그래스의 뿌리 생장이 아주 양호하였을 뿐만 아니라 mycorrhizae의 포자 및 균사 등이 왕성히 증식되어 수단그래스는 접종원 생산을 위한 숙주식물로서 적당한 것으로 생각되었다. 특히 수단그래스 뿌리에 감염된 *Glomus mosseae*는 internal hyphae, arbuscule 등이 잘 형성되었으며 뿌리 주위의 external hyphae와 함께 chlamyospore 등도 관찰되는 등 수단그래스를 이용함으로써 양호한 접종원의 생산이 가능하였다. 본 실험에서 생산된 접종원 중의 포자 농도는 토양 1g당 1포자 이상이 증식된 것으로 보아 접종원으로 사용하기에는 충분한 것으로 판단되었다. Hall 등(21)은 funnel inoculation technique에 의해 mycorrhizae를 접종시킨 후 40일이 경과되면 접종원으로 이용할 수 있는데 이때의 상태는 감염된 mycorrhizae 뿌리, 균사 등이 섞여 있는 복합적인 접종원이라고 하였으며 이와같이 감염된 뿌리, 포자, 균사 등으로 구성된 복합적인 접종원은 포자 단일 혹은 뿌리 부분만의 접종원 보다 훨씬 쉽게 생산할 수 있으며 그 효과면에서도 오히려 좋았고 2g의 복합적인 접종원을 접종한 효과는 *Glomus* 균주의 포자 50개를 접종한 것과 동일한 효과를 나타낸다고 하였다. 한편 접종밀도는 토양 1g당 0.6~1 포자의 농도가 적당한 것으로 알려져 *Rhizobium meliloti*와 균근균의 동시 접종효과를 규명하기 위하여는 본 실험과 같은 *Glomus mosseae*의 복합적인 접종으로도 충분한 것으로 생각되었다.

### 감염된 *Glomus mosseae*의 형태적 특성 관찰

감염된 mycorrhizae의 형태적 특성을 Kormanik 염색방법(22)으로 관찰한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 알팔파의 뿌리에 감염된 mycorrhizae는 뿌리로부터 rhizosphere로 external hyphae가 나오는데 그 형태는 Fig. 2(a)와 같았으며 화살표에서 보는 바와 같이 두꺼운 permanent hyphae와 주위에 분화된 가는 hyphae로 구성되었다. 이와같은 external hyphae는 주

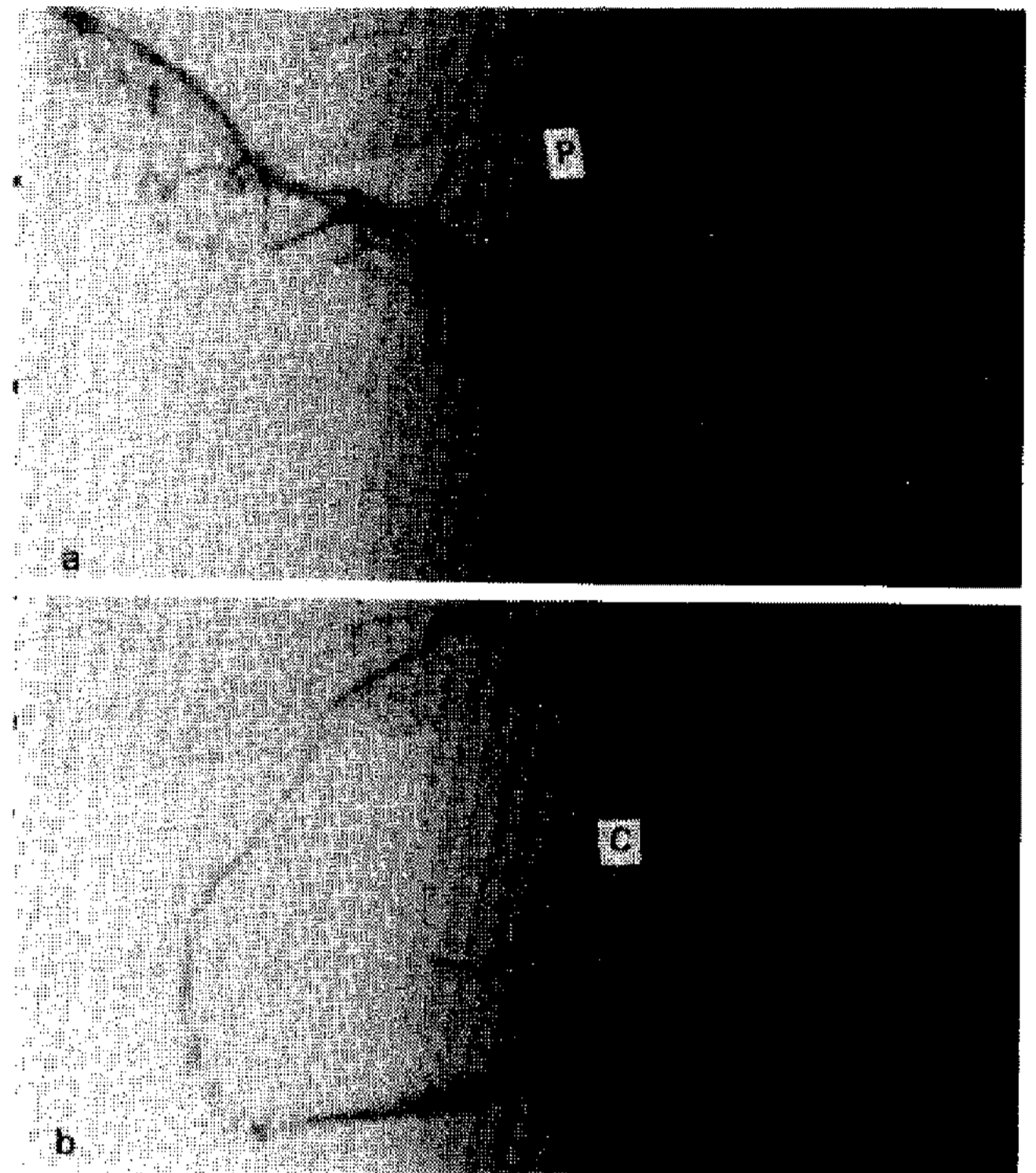


Fig. 2. Light micrographs of external hyphae of *Glomus mosseae* ( $\times 125$ ).

(a) Coarse, permanent hyphae (P, arrow) and surrounding finely branched hyphae are major portion of external hyphae of *Glomus mosseae*. (b) Chlamyospore (c, arrow) of *Glomus mosseae* is attached to the branched lateral hyphae.

변의 또 다른 뿌리로의 감염이 가능하여 감염과 침입이 계속됨을 시사하고 있다. Fig. 2(b)에서는 chlamyospore가 관찰되었는데 chlamyospore는 mycorrhizae 뿌리로부터 밖으로 나온 external hyphae 끝에 생성되고 있음을 확인하였다. 이상의 결과로부터 mycorrhizae는 양분의 흡수면적을 넓혀줌으로써 영양분의 흡수를 확대시키고 따라서 작물의 생장이 촉진되는 것으로 생각되었다.

### 알팔파의 성장촉진효과

*Glomus mosseae* 및 *Rhizobium meliloti* 접종 후 9주째에 알팔파 식물체를 회수하여 각 처리별 성장장도를 조사한 결과는 Table 1과 같았다. 먼저 *Rhizobium meliloti* 및 *Glomus mosseae*의 접종이 알팔파의 경장에 미친 영향을 보면 대조구의 5.1 cm에 비하여 *Glomus mosseae* 단일접종구 14.0 cm, *Rhizobium meliloti* 단일접종구 14.2 cm, *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti* 동시접종구 17.8 cm로 대조구에 비하여 *Glomus mosseae* 및 *Rhizobium meliloti* 단일접종만

으로도 현저한 생장촉진 효과를 보였고 그와 같은 효과는 *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti*의 동시 접종에 의해 더욱 뚜렷하였다. 또한 경장 뿐만 아니라 알팔파 잎의 수, 잎의 크기 및 색상에도 영향을 미쳐 대조구에 비하여 *Glomus mosseae* 및 *Rhizobium meliloti*의 단일접종구에서 잎의 수와 잎의 크기가 크게 증가하였으며 색상이도 진한 녹색을 나타내었고 그와 같은 효과는 *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti* 동시 접종에 의해서 더욱 뚜렷한 결과를 나타냈다. 알팔파 잎의 크기가 증가한 현상은 인산의 직접적인 영향(23)이라고 볼 수 있는데, mycorrhizae는 external hyphae를 갖고 있어 뿌리가 뻗을 수 없는 작은 토양 공극까지 균사를 뻗어 양분의 흡수 면적을 확대한다는

**Table 1. Effect of *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti* on growth of *Medicago sativa* L.**

Treatment	Leaf			Shoot length (cm)
	size	number	color	
Control	small	18	light green	5.1
<i>Glomus mosseae</i>	medium	23	green	14.0
<i>Rhizobium meliloti</i>	large	28	dark green	14.2
<i>Glomus mosseae</i> + <i>Rhizobium meliloti</i>	large	30	dark green	17.8

보고(5)와 함께 특히 인산 등을 잘 흡수 한다는 사실을 미루어 볼 때 *Glomus mosseae*의 접종에 의해 잎의 크기가 증가한다는 결과는 이상과 같은 사실의 간접적인 증거라 하겠다.

한편 *Glomus mosseae* 및 *Rhizobium meliloti* 균주의 접종이 지상부 식물체와 뿌리 등의 생체중(fresh weight)과 건물중(dry weight)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2와 Table 3과 같았다. 대조구 알팔파의 잎과 줄기의 생체중 (Table 2)은 각각 115 mg, 70 mg으로 총 생체중이 185 mg/plant인데 비하여, *Glomus mosseae* 단일접종구에서는 각각 160 mg, 150 mg으로 총 310 mg/plant, *Rhizobium meliloti* 단일접종구에서는 각각 170 mg, 205 mg으로 총 380 mg/plant를 나타내 큰 증가 효과를 보였고, *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti* 동시접종구에서는 각각 300 mg, 260 mg으로 총 생체중 560 mg/plant를 나타내 *Glomus mosseae* 및 *Rhizobium meliloti*의 단일접종구보다 월등한 증가 효과를 나타냈다. 한편, 뿌리의 생체중에서도 동일한 경향을 나타냈다. 따라서, 지상부와 지하부의 총 생체중은 대조구 465 mg에 비하여 *Glomus mosseae* 단일접종구 656 mg, *Rhizobium meliloti* 단일접종구 820 mg, *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti* 동시접종구 1,260 mg/plant의 생장촉진

**Table 2. Fresh weight of root, stem, and leaf of *Medicago sativa* L. as influenced by inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti* (mg/plant)**

Treatment	shoot fresh weight			root fresh weight	total fresh weight	shoot/root ratio
	leaf	stem	total			
Control	115	70	185	180	465	1.03
<i>Glomus mosseae</i>	160	150	310	348	656	0.89
<i>Rhizobium meliloti</i>	170	205	380	440	820	0.86
<i>Glomus mosseae</i> + <i>Rhizobium meliloti</i>	300	260	560	700	1,260	0.80

**Table 3. Dry weight of root, stem, and leaf of *Medicago sativa* L. as influenced by inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti* (mg/plant)**

Treatment	shoot dry weight			root dry weight	total dry weight	shoot/root ratio
	leaf	stem	total			
Control	14.6	12.9	27.5	19.9	47.5	1.38
<i>Glomus mosseae</i>	30.1	31.1	61.2	36.3	97.4	1.69
<i>Rhizobium meliloti</i>	30.1	45.9	76.0	54.6	130.6	1.39
<i>Glomus mosseae</i> + <i>Rhizobium meliloti</i>	55.7	60.7	116.4	66.2	182.5	1.76

**Table 4. Number, fresh weight, and acetylene reduction activity of alfalfa root nodules as influenced by inoculation with *Glomus mosseae* and *Rhizobium meliloti***

Treatment	nodule number	nodule fresh weight (mg/plant)	Acetylene reduction activity	
			C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> nmol/h/plant	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> nmol/h/g nodule
Control	0	0	0	0
<i>Glomus mosseae</i>	0	0	0	0
<i>Rhizobium meliloti</i>	72	35.4	143	4,032
<i>Glomus mosseae</i> + <i>Rhizobium meliloti</i>	154	60.3	353	5,852

효과가 인정되었다. 이상과 같은 결과는 Table 3에서 보인 건물중 결과에서도 확인할 수 있었다.

#### 근류수, 근류무게 및 질소고정활성의 측정

이상과 같은 알팔파의 생장촉진효과를 밝히기 위하여 알팔파 뿌리의 근류(nodule)수, 근류무게 및 질소고정활성을 조사하여 Table 4에 나타냈다. *Rhizobium meliloti* 단일접종구에서는 근류수 72개, 근류의 무게 35.4 mg, 질소고정활성은 143 nmol/hr/plant(4,034 nmol/hr/g nodules)이었던 반면에, *Glomus mosseae* + *Rhizobium meliloti* 동시접종구에서는 근류수 154개, 근류의 무게 60.3 mg, 질소고정활성 353 nmol/hr/plant(5,852 nmol/hr/g nodule)의 결과를 얻어 *Glomus mosseae*와 *Rhizobium meliloti* R445의 동시접종이 알팔파의 근류 형성과 질소고정력 증진에 큰 효과가 있었음을 알 수 있었다. 한편, 대조구 및 *Glomus mosseae* 단일접종구에서는 예상대로 전혀 근류가 형성되지 않았음에도 불구하고 생장촉진 효과가 나타난 것은 *Glomus mosseae*에 의해 인산 등 무기양분의 흡수가 촉진되었기 때문이라고 생각된다. 따라서, *Glomus mosseae*와 *Rhizobium meliloti*를 동시에 접종함으로써 현저한 생육 촉진의 결과를 얻은 것은 인산의 흡수 촉진, 근류의 형성 촉진과 질소고정력 증진 및 이들에 의한 복합적인 상승효과에 기인한다고 생각된다. 필자들(16)은 전보에서 *Glomus mosseae* 균주와 땅콩 근류균인 *Bradyrhizobium* sp. R938을 동시에 접종함으로써 땅콩의 근류크기 및 질소고정활성이 크게 증가하였음을 보였으며, VA-mycorrhizae가 생산하는 호르몬류의 생리활성물질에 의한 효과의 가능성을 제시하였다. 또한 Mosse 등(9)은 근류형성과 관련하여 인산흡수 뿐만 아니라 호르몬류가 깊은 관련이 있음을 시사하였다. Barea 등(24)도 균근균의 효과와 관련하여 호르몬류가 관계됨을

시사하였는데 이상의 고찰들은 금후의 중요한 연구 과제가 될 것으로 생각된다.

#### 요 약

*Rhizobium meliloti* R445와 VA 내생 균근균인 *Glomus mosseae*의 동시접종이 알팔파의 생장, 근류형성, 질소고정력에 미치는 효과를 포트 실험을 통해 조사하였다. 63일 동안 생장시킨 후 알팔파의 경장, 잎의 수, 잎의 크기가 *Glomus mosseae*와 *Rhizobium meliloti*를 동시 접종한 결과 증가되었다. 한편, *Rhizobium meliloti*만을 접종한 것보다 1.4배의 건물중의 증가가 확인되었다. 근류의 수와 식물체당 근류의 평균중량도 내생균근균의 접종으로 인해 증가되었다. 동시 접종 처리구에서 식물체당 근류의 평균 중량은 60.3 밀리그램으로, *Rhizobium meliloti*만을 접종한 것보다 1.7배 증가되는 결과를 보였다. 한편, 알팔파에 *Glomus mosseae*와 *Rhizobium meliloti*를 동시 접종한 처리에서 질소고정력이 *Rhizobium meliloti*만을 접종한 것보다 1.5배 증가되는 결과를 얻었다. 이상의 결과로 볼 때 알팔파의 생육촉진 효과는 VA 내생 균근균의 감염을 통한 양분 흡수의 증가와 질소고정활성 증가의 결과에 기인한 것으로 생각되었다.

#### 참고문헌

1. Abbott, L.K. and A.D. Robson. 1984. The effect of mycorrhizae on plant growth, p. 113-130. In C.L. Powell (ed.), *VA Mycorrhiza*, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
2. Hayman, D.S. 1987. VA mycorrhizas in field crop systems, p. 171-192. In G.R. Safir (ed.), *Ecophysiology of VA mycorrhizal plant*, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

3. Menge, J.A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Can. J. Bot.* **61**: 1015-1024.
4. Hayman, D.S. 1980. Mycorrhiza and crop production. *Nature.* **287**: 487-488.
5. Trappe, J.M. 1981. Mycorrhizae and Productivity of arid and semiarid range lands, p. 581-599. In J.M. Trappe (ed.), *Advances in food producing systems for arid and semiarid lands*, Academic Press, New York.
6. Bagyaraj, D.J. and R. Sreeramulu . 1982. Preinoculation with VA mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer. *Plant and Soil.* **69**: 375-381.
7. Capaccio, L.C.M. and J.A. Callow. 1982. The enzymes of polyphosphate metabolism in vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* **91**: 81-91.
8. Lambert, D.H., D.E. Baker, and H. Cole, Jr. 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorous with zinc, copper, and other elements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **43**: 976-980.
9. Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. Rev. Phytopathol.* **11**: 171-196.
10. Asimi, S., V. Gianinazzi-Pearson, and S. Gianinazzi. 1980. Influence of increasing soil phosphorous levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* in soybeans. *Can. J. Bot.* **58**: 2200-2205.
11. Ganry, F., H.G. Diem, and Y.R. Dommergues. 1982. Effect of inoculation with *Glomus mosseae* on nitrogen fixation by field grown soybeans. *Plant and Soil.* **68**: 321-329.
12. Ross, J.P. and J.A. Harper. 1980. Effect of *Endogone mycorrhizae* on soybean yields. *Phytopathol.* **70**: 1522-1527.
13. Mosse, B. 1977. Plant growth responses to VA mycorrhizae. *New Phytol.* **78**: 277-280.
14. Bagyaraj, D.J., A. Manjunath and R.B. Patil. 1979. Interaction between a VA mycorrhizae and *Rhizobium* and their effects on soybean in the field. *New Phytol.* **82**: 141-145.
15. Crush, J.R. 1974. Plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *New Phytol.* **73**: 743-749.
16. 서현창, 김창진, 김신덕, 유익동, 1991. *Glomus mosseae*와 *Bradyrhizobium* sp. R930의 동시접종에 의한 땅콩의 질소고정력 증진효과. *산업미생물학회지* **19**: 548-552.
17. Bethlenfalvey, G.J., S. Dakessian, and R.S. Pacovsky. 1984. Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implications. *Can. J. Bot.* **62**: 519-524.
18. 유익동, 민태익, 김창진, 김신덕 외, 1988. 생물질소 고정에 관한 분자유전학적 연구, 사료 및 특용작물 근류균 접종제 개발(II). *과학기술처 보고서 BSN 7042-91-3*, 과학기술처.
19. Menge, J.A. and L.W. Timmer. 1982. Procedures for inoculation of plants with vesicular-arbuscular mycorrhizae in the laboratory, green house, and field, p. 59-68. In N.C. Schenck (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
20. Brown, M.S. and G.J. Bethlenfalvay. 1986. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis III. Endophyte effects on leaf carbon, nitrogen and phosphorus nutrition. *J. Plant. Nutr.* **9**: 1199-1212.
21. Hall, I.R. 1976. Response of *Coprosma robusta* to different forms of endomycorrhizal inoculum. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **40**: 203-210.
22. Kormanik, P.P. and H.D. Skipper. 1982. Quantification of VA mycorrhizae in plant roots, p. 39-40. In N.C. Schenck (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
23. Brown, M.S. and G.J. Bethlenfalvay. 1987. *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis. *Plant Physiol.* **85**: 120-123.
24. Barea, J.M. and C. Azcon-Aguilar. 1982. Production of plant growth-regulating substances by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**: 810-813.

(Received February 3, 1993)