

식물뿌리에서 Arbuscular 내생균근 균의 성장에 작용하는 요인들

이상선* · 엄안흠 · 이석구¹

한국교원대학교 대학원 생물학과

¹충남 당진합덕여자중학교

Factors related to the growth of arbuscular mycorrhizal fungi in the plant roots

Sang-Sun Lee*, Ahn-Heum Eom and Seok-Koo Lee¹

Graduate School, Korea National University of Education,

Chung Won Kun, Chung Puk, 363-791, and

¹Hab Duk Girls' Middle School, Chung-Nam 343-900,

Republic of Korea

ABSTRACT: Microscopic observations of arbuscular mycorrhizae (AM) were done with the colonizations of AM and the determinations of chitin in the plant roots of *Sorghum bicolor*, *Cassia mimosoides*, *Capsicum annuum* and *Allium fistulosum*. The intercellular and intracellular hyphae, arbuscules and vesicles were microscopically observed, according to increases of colonization of AM in the roots of four plants. The growth of AM fungi appeared sigmoid with the cultivation days after inoculation. The growth of AM fungi were inversely influenced by the additions of commercial fertilizers, P<N<K, respectively. This growth of AM fungi was speculated to be related to the plant metabolites, but not by the phosphate in the soils. The effects of inoculum of AM fungi were similar to or slightly less than those of additions of commercial fertilizers for plant growths of *Capsicum annuum* and *Allium fistulosum*. The effects of AM fungi were, especially, greater in the plants of *Allium fistulosum* and *Cassia mimosoides*. This works indicated that the inoculations of AM fungi were better than additions of commercial fertilizers for the plant of *Allium fistulosum*.

KEYWORDS: Pot cultures, AM, Arbuscular mycorrhizae, chitin, colonizations, growth, plant roots.

식물뿌리의 연구에 의하면 세계 식물의 약 95%가 균근을 형성하고 있으며, 그 중 대다수가 Arbuscular Mycorrhiza(AM)를 형성하고 있다고 보고하였다 (Trappe, 1981). 우리나라에서 생태학 연구에서도 대부분의 육상식물들이 AM를 형성하고 있고(김과 이, 1984; 김과 구, 1986), 다른 연구에서도 63종의 초본식물과 47종의 목본식물을 조사한 결과 각각 70%와 85%가 AM균(AMF)에 의해 감염되어 있다(김과 이, 1984)고 보고하였다. 이러한 연구는 AMF의 존재가 야생 및 재배식물에서는 중요하다는 것을 의미하고 있으나, 실제 AMF가 식물뿌리에서

어떤 성장을 하고 있는지는 알려져 있지 않다.

자연계에 일반적인 분포를 하고 있는 이러한 AMF는 생존을 위해 숙주 식물로부터 영양을 공급 받게 되며(Nicolson, 1967), 양분교환은 살아 있는 세포의 원형질막을 통하여 일어나는 것으로 생각하고 있다(Cox and Tinker, 1976). 이러한 양분의 교환과정이 식물에게 있어 에너지를 소모하는 것이고, 이것으로 볼 때, AM이 식물에게는 필요한 공생관계라는 것을 설명하고 있다(Pearson and Tinker, 1975). 숙주식물로부터 AMF로 이동되는 물질들은 아직 알려져 있지 않지만 에너지원이 대부분으로, AMF가 소모하는 양은 순광합성 산물의 4-60%로 보고되고 있다(Koske and Polson, 1984). 이러한

*Corresponding author

면에서 볼 때, 식물뿌리 속에서의 AMF 성장은 다른 생물의 성장보다 복잡하며, 이에 대한 기본 요인들의 파악은 AM 공생연구에 중요하다고 하겠다.

우선, 생태학적인 혹은 식물의 환경적인 측면에서의 연구들에서는 환경에 대한 식물의 스트레스로 중금속, 염분토양, 수분압력 등에 대한 저항성에 대한 연구가 진행되었다. *Glomus mosse*에 감염된 토끼풀이 아연(Zn^{2+})이나 카드뮴(Cd^{2+}) 같은 중금속의 높은 토양 농도에 저항성을 나타냄을 보고하였다 (Gildon and Tinker, 1981; 1983). 염분토양에서 토마토의 성장을 비교한 실험에서 AMF가 있는 식물이 비공생식물보다 생장이 개선됨을 보고하였고 (Pond *et al.*, 1984), AM의 식물로 하여금 수분압력에 견딜수 있는 저항성을 키워줌을 보고하였다 (Busse and Ellis, 1985; Safir *et al.*, 1971). AMF는 식물과 공생에서 식물병원균과 선충의 번식을 억제하는 것으로 나타났다 (Schenck, 1981; Dehne, 1982). 이는 식물뿌리 주변인 “균근권(菌根圈, Mycorrhizosphere)”에 미생물 프로라의 변화에 기인한 것으로 생태적인 기작으로 설명되고 있다 (Foster and Marks, 1967; Katznelson *et al.*, 1962; 이등, 1983). 그러나, 이러한 생태 연구에서는 식물과 AMF의 상호작용에서 AM의 장점을 서술한 것으로 AMF의 직접적인 생리적인 장점을 설명한 것은 없었다.

이들의 공생으로 식물은 무기양분의 공급을 통한 숙주식물의 성장개선으로 생각하고 있다. AMF는 식물의 뿌리에서, 식물에게 무기물 공급을 하는 것으로 보고하고 있다. PO_4 (Sanders and Tinker, 1971; Rhodes and Gerdemann, 1975), Zn^{2+} (Gerdemann, 1964; Swaminathan and Verma, 1979), Cu^{2+} (Gerdemann, 1964; Gildon and Tinker, 1983), NO_3 및 K^+ (Possingham and Groot Obbink, 1971). 그 중에서도 가장 뚜렷한 효과를 주는 것은 인산 무기영양원의 공급으로 알려졌다 (Mosse, 1957; Lambert *et al.*, 1979), 이에 대한 생리적인 실험도 진행되었다 (Abbott and Robson, 1991; Cox and Tinker, 1976; Kothari *et al.*, 1991). AMF의 역할에서 식물체에 흡수되는 금속 영양의 흡수 및 기작에서, 비균근식물보다 균근식물이 PO_4 , Zn^{2+} , Cu^{2+} 등의 농도가 더 높게 나타났지만, Mn^{2+} 은

오히려 낮게 나타났음을 보고했다 (Kothari *et al.*, 1991). 이러한 것은 AMF 공생은 식물에게 무기영양의 공급인 것으로 표현되고 있으나, 식물뿌리 속에서 AMF 성장에 대한 자료는 아직 없다.

따라서, 본 실험은 이러한 내생균근을 직접 식물뿌리에 접종시켜, 식물의 성장 및 AM의 성장을 관찰하였다. 선택된 식물은 본 실험실에서 많이 사용하는 식물로서, 고추, 참깨, 파, 수수, 차풀을 이용하여, 토양의 환경을 화학비료를 줌으로 변화시켜 관찰하였다. 그 결과, 대부분의 식물뿌리에서, AMF 성장은 인산비료와 관련이 있는 것으로 나타났으며, 질소원과 가리원 비료는 AMF 성장을 촉진시켰다.

材料 및 方法

숙주식물 및 배양

AMF 성장 실험에서 수수(*Sorghum bicolor*), 차풀(*Cassia mimosoides*), 고추(*Capsicum annuum*) 및 파(*Allium fistulosum*) 식물이 사용되었다. 수수의 씨앗은 1990년도에 충남 태안군의 농가에서 재배하여 수확한 것을 구입하여 이용하였고, 파와 고추는 충남 연기군 조치원의 종묘상에서 구입하여 이용하였으며, 차풀은 충북 청원군 한국교원대학교 주변에서 1990년 가을에 본 실험실에서 채집하여 보관하던 것을 이용하였다. 모든 식물은 인위적으로 발아시킨 후에 포트에 접종하였다. 각 포트는 온실에 옮겨져서 1991. 5. 15부터 1991. 8. 3까지 관찰하였으며, 화학비료를 이용한 실험은 1992. 7. 29부터 1992. 9. 9까지 관찰하였다. 각각의 식물은 온실에서 80일과 42일간에 걸쳐 포트배양하였으며, 배양 기간동안 일체의 다른 양분의 공급은 없었으며, 이들에 한번씩 지하수로 충분한 수분을 공급하였다.

토양채취

포트의 구성을 위한 토양채취는 1차 1991. 4. 30, 및 2차 1992. 7. 20의 2회에 걸쳐 실시하였다. 토양채취 장소는 모두 충북 청원군 강내면 한국교원대학교 주변의 토양으로 이미 본 실험실의 선행 연구에 의하여 AMF 포자가 조사 관찰되어 있는 것 (가, 1991; 이등, 1991; 업과 이, 1990)으로 토양 표면으로부터 약 40 cm 깊이까지의 토양을 채취하

였다.

포트구성

적은 포트(높이 8.5, 윗구경 9, 하면의 지름 6 cm의 비닐 포트)를 이용하였으며, 두번에 걸쳐 채취한 각 토양은 5×5 cm의 채를 이용하여 거친 자갈을 포함한 기타 이물질을 제거한 후에 모래와 섞어서 넣었다. 채집된 토양은 암소에 보관하였으며 가급적 짧은 시간(채취 후 3일 이내) 내에 포트를 구성하였다. 포트내 토양의 구성은 채집된 모토양과 모래 및 부엽토를 48.5 : 48.5 : 3(w/w/w)으로 섞어 사용하였다. 포트당 토양은 400 g 씩으로 구성하였고, 그 토양내에 분포하고 있는 AMF 포자를 조사하였다.

토양내 환경변화의 요소

400 g 씩의 토양을 달아 구성한 각 포트들의 토양내 환경 변화의 요소로는 어떤 첨가없이 모토양과 모래를 이용하였고, 비료실험에서는 농업협동조합을 통하여 농가에 보급되는 비료로 황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 황산칼륨(K_2SO_4)을 주원료로 하여 배합된 N-P-K의 포함 비율이 N=18% K=18%(18-0-18) 비료, 황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) 과인산(P_2O_5) 및 황산칼륨(K_2SO_4)을 주원료로 하여 배합된 N=21% P=17% K=17%(21-17-17)인 비료, 그리고 염화칼륨(KCl)을 주원료로 한 K=60%(0-0-60)인 비료들을 이용하였다. 이때 각각의 비료의 량은 0.1 g, 0.2 g 및 0.4 g의 다른 농도로 구분 시비하였으며, 0-0-60 비료의 경우에는 400 g 포트당 0.1 g과 0.2 g의 두가지 농도로 구분하여 시비하였다. 시비의 시기와 방법에 있어서 식물을 포트에 심어 발아 후 7일이 경과되었을 때 1회로 실시하였으며, 비료의 0.4 g 첨가에는 연속적으로 7일 경과시마다 0.1 g을 시비하여 4 차례로 나누어 시비하였다.

감염도 조사

숙주식물에 대한 AMF에 대한 실험은 뿌리염색법으로 실시하였고(Philips and Hayman, 1970 ; Koske and Gemma, 1989), 비료실험에서는 뿌리염색법과 chitin 분석을 병행하여 실시하였다(Ride and Drysdale, 1972 ; Hepper, 1977). 뿌리염색은 한개의 표본 당 10개의 뿌리를 무작위 추출하였으며, 각 부분은 0에서 10단계까지 차등을 두어 감염도를

계산하였다. 뿌리염색에서는 10개의 값을 평균하였으며, chitin 분석은 세번한 것의 평균값을 구하였다.

結 果

AMF 감염형태 관찰

본 실험에 사용된 토양속에 포함된 AMF 포자는 *Sc. heterogama*, *Sc. verrucosa*, *Sc. calospora*, *Gi. margarita*, *Ac. spinosa* 등의 3속 5종으로 관찰되었으며, *Glomus* 속에 포함되는 AMF은 발견되지 않았다. 뿌리를 염색하여 현미경 관찰을 한 결과 AMF 균사가 식물체 내부로 침투하는 감염부위가 다수 관찰되었다. 식물체 내부에 침투한 균사는 10-20일째 관찰되었으며, 그 균사의 퍼짐 정도나 형태도 단순하였다. 시간이 지날수록 뿌리세포의 균사는 더 복잡하게 식물 뿌리세포에 분포되었으며, 세포내로 침투하여 뿌리세포 내의 균사들의 형태를 갖춘 특징들이 나타났다. 그 하나가 세포내로 침투한 균사가 꼬여서 형성되는 코일링 균사(coiling hyphae)들인데, 이러한 코일링 균사들은 여러 곳에서 발견되었으며, 수수에서 많이 관찰되었다. 세포의 내부로 침투하여 나뭇가지 모양을 이루는 균사들도 본 실험에 사용된 모든 숙주식물의 뿌리로부터 관찰되었으며, 이와 비슷한 균사형이 집단을 이루고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과에 대한 사진은 여기서 그림으로 나타내지 않았으며 이는 이미 전보에서 보고한 바가 있다.

뿌리감염도

고추, 차풀, 수수의 식물이 제1차 실험으로 이용되었으며, 그 뿌리를 염색하여 AMF 감염도가 기간별로 측정되었다. 일차적으로 사용된 식물은 수수(*Sorghum bicolor*), 차풀(*Cassia mimosoides*), 및 고추(*Capsicum annuum*) 식물로서, 80일간 식물의 뿌리에 AMF 감염도를 관찰하였다. AMF의 감염도는 Fig. 1과 같이 식물에 따라 다르게 나타났으며, 그 성숙형태는 시그모이드(Sigmoid) 곡선으로 40-60일째 성장이 멈추어지는 것이 관찰되었다. 사용된 세종의 식물에서 10일내에서는 적응기로 천천히 성장하는 반면에, 20-30일 사이에서는 갑자기 성숙이 높아지는 것을 관찰하였다. 옮겨 심은 40일 이후로는 감염도가 서서히 증가하거나, 50일 이후에는 떨어

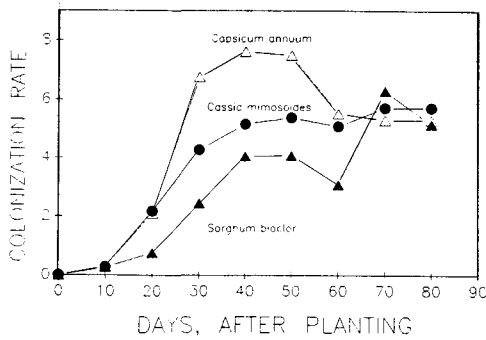


Fig. 1. Colonization rates of Arbuscular mycorrhizal fungi at the concentrations of 200 µg K₂HPO₄ on three different plant roots of *Sorghum bicolor* (filled triangles), *Cassia mimosoides* (filled circles), and *Capsicum annuum* (opened triangles), respectively.

Table 1. Correlations between the chitin assays and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi on the plant roots. Y (chitin assays, µg of chitin per mg of plant roots)=a X (colonization rate on the roots)+b

Plants	a	b	n	R ²
<i>Capsicum annuum</i>	1.035	0.4503	26	0.8825 ^a
<i>Cassia mimosoides</i>	1.166	-0.1630	21	0.6990 ^a
<i>Sorghum bicolor</i>	0.860	0.670	14	0.6000 ^b
<i>Allium fistulosum</i>	1.065	0.6080	23	0.6910 ^a

Significances for linear analyses, P<0.05 (b) or P<0.01 (a).

지는 것이 관찰되었다. 이때 사용된 AMF는 모두 동일한 것으로 다른 연구에서 밝혀진 모양이다. 각각의 식물에 따른 AMF의 감염도는 다르게 나타났으나, 식물의 뿌리 속에 AMF 성장의 형태는 비슷한 경향을 띠고 있었다. 여기서, 비료의 영향을 보기 위하여, 이 자료를 기초로 하여 AMF 성숙단계를 2, 4 및 6주 단위로 관찰하였다.

비료를 이용한 실험에 이용한 숙주식물(수수, 차풀, 파, 고추)들은 뿌리염색으로 감염도와 Chitin 정량을 동시에 실시하였다(Table 1). 이 결과 AMF가 식물뿌리에서 일어나는 감염도는 식물뿌리의 chitin 량과 상관관계를 가졌다. 회귀분석 결과 나타난 내용은 모든 값의 일치점은 없었으나, 상관계수가 높게 나왔으며 통계적으로 유의성이 관찰되었다. 감염도

와 키틴량에 대한 계수로 a는 서로 다른 값을 보여 주고 있으며, 또한 b도 다른 값을 나타내고 있다(Table 1). 이러한 결과로 식물에 따른 상관계수는 달라도, 식물뿌리 내에 키틴량과 감염도는 일치하는 것으로 나타났다.

식물성장

수수(*Sorghum bicolor*), 차풀(*Cassia mimosoides*), 고추(*Capsicum annuum*) 및 파(*Allium fistulosum*) 식물들과 다른 종류의 비료를 사용한 결과 서로 상이한 결과가 나타났다. 우선, 세가지의 무기영양 원이 포함된 비료에서는 비료의 농도에 따라, 모든 식물이 잘 자람을 관찰할 수가 있었다. 그러나 차풀의 경우는 다른 식물과 달리 비료 18-0-18 처리에서 잘 성숙하였다(Fig. 3). 가리만 공급된 비료 0-0-60 처리에서는 모든 식물들이 비료를 첨가하지 않은 것과 같은 수준으로 성숙하였으나, 콩과식물인 차풀에서는 비료를 첨가하지 않은 것보다 많이 성숙하였다(Fig. 3). 전체적으로 콩과식물인 차풀을 제외하고는 수수, 고추, 및 파의 경우는 세가지 비료가 포함된 비료 21-17-17의 처리에 좋은 효과가 있었으며, 그 다음으로는 두 가지가 첨가되고 인산이 빠진 비료 18-0-18 처리에 잘 자랐다(Fig. 2, 4, 5). 그러나 콩과식물인 차풀의 경우는 다른 식물에 비해, 비료 18-0-18 처리에서 가장 잘 자라고, 비료 0-0-60 처리에서는 어느 정도 성숙하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

고추에서는 비료의 효과로 식물체 성장이 뚜렷하였으며, 인산이 없는 비료에서도 어느 정도 식물체의 성장이 일어나고 있었다. 야생식물인 차풀의 경우는 생체량 성장에서 인산 및 질소원의 비료첨가보다는 인산처리 대신 AMF의 첨가가 더욱 효과적이며, 인산 및 질소원의 첨가없이도 잘 자라고 있었다. 수수의 경우는 비료첨가 및 비료의 종류의 양 효과가 뚜렷하게 나타났다. 그러나 파의 생체성장에서는 인산원비료 대신에 AMF 효과와 거의 일치하게 나타났다으며, 인산원 비료 대신 AMF 효과가 가장 뚜렷하게 나타났다(Fig. 5).

AMF 성장

수수, 차풀, 고추 및 파 식물들의 성장과 그 뿌리 속에 AMF 성장을 동시에 측정하였다. 본 실험에

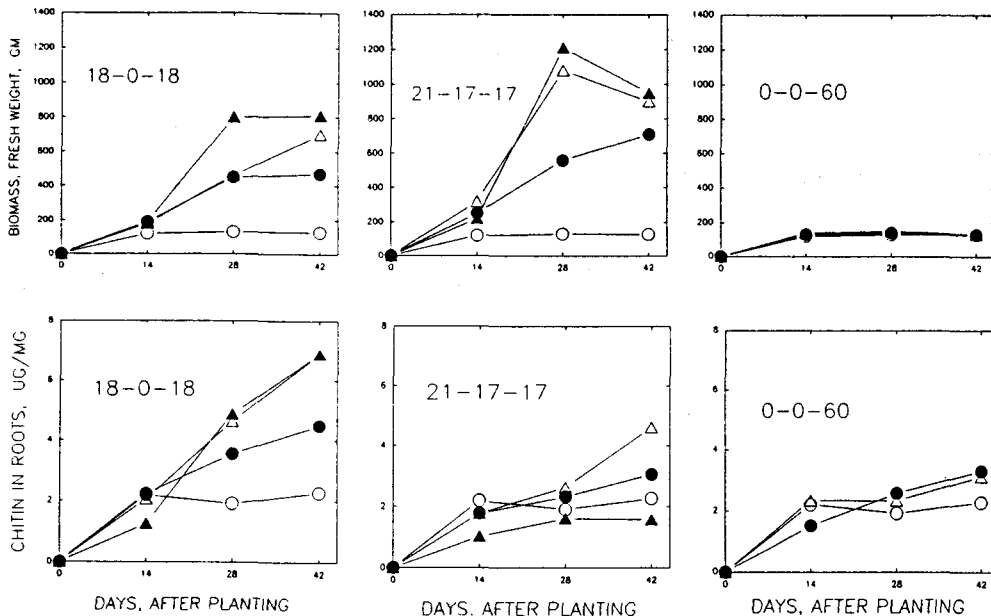


Fig. 2. Fresh weight (gram per plant) and Chitin amount ($\mu\text{g}/\text{mg}$ of dry root weight) of *Capsicum annuum* on the pots provided by the three different concentrations of the commercial fertilizers; Control (open circles), 0.1 (closed circles), 0.2 (open triangles) and 0.4 (closed triangles) g of the commercial fertilizers were added per pot.

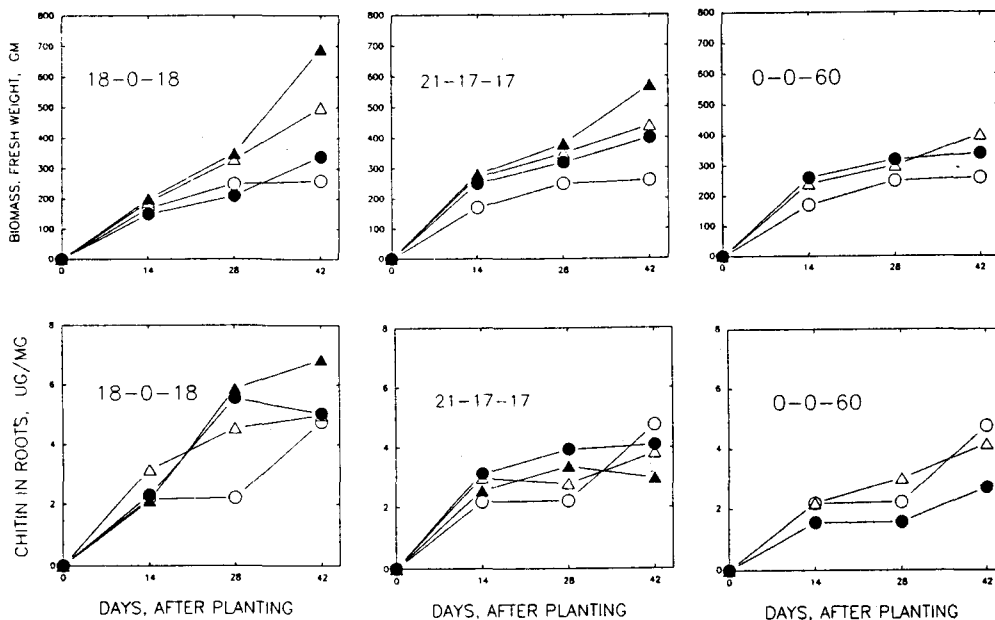


Fig. 3. Fresh weight (gram per plant) and Chitin amount ($\mu\text{g}/\text{mg}$ of dry root weight) of *Cassia mimosides* on the pots provided by the three different concentrations of the commercial fertilizers; Control (open circles), 0.1 (closed circles), 0.2 (open triangles) and 0.4 (closed triangles) g of the commercial fertilizers were added per pot.

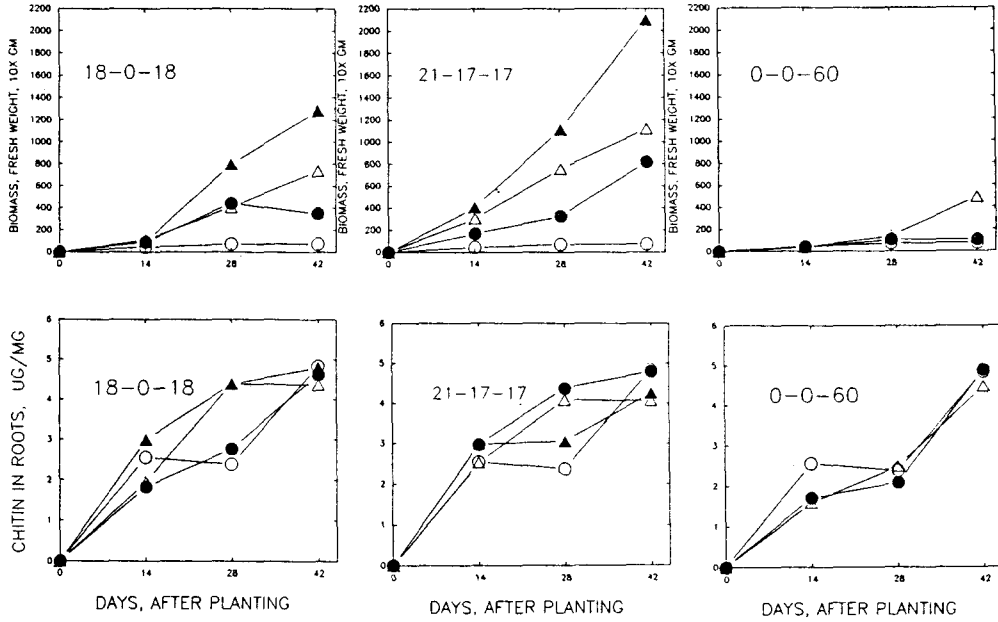


Fig. 4. Fresh weight (gram per plant) and Chitin amount ($\mu\text{g}/\text{mg}$ of dry root weight) of *Sorghum bicolor* on the pots provided by the three different concentrations of the commercial fertilizers; Control (open circles), 0.1 (closed circles), 0.2 (open triangles) and 0.4 (closed triangles) g of the commercial fertilizers were added per pot.

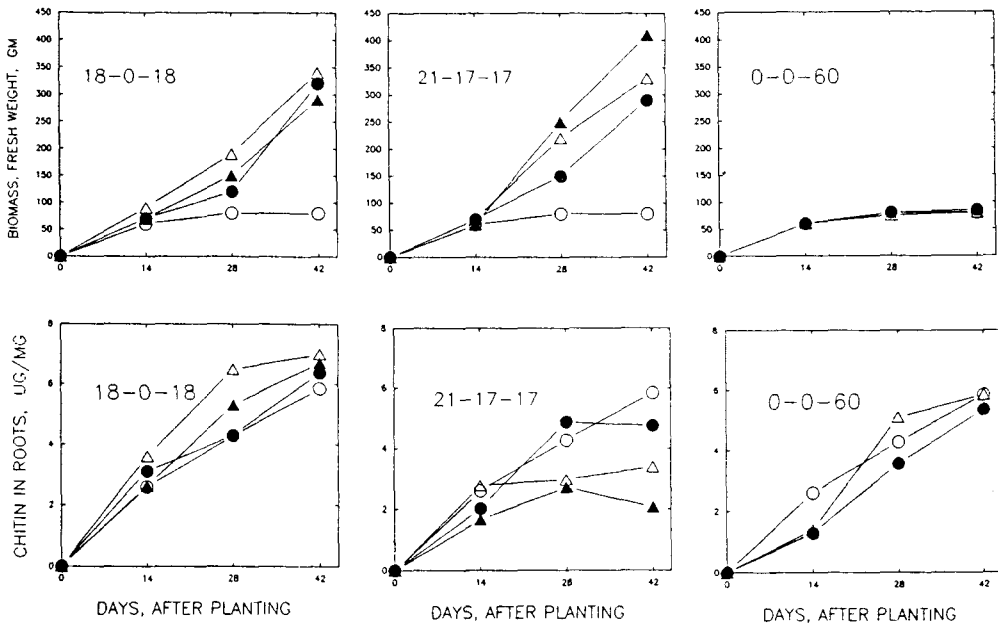


Fig. 5. Fresh weight (gram per plant) and Chitin amount ($\mu\text{g}/\text{mg}$ of dry root weight) of *Allium fistulosum* on the pots provided by the three different concentrations of the commercial fertilizers; Control (open circles), 0.1 (closed circles), 0.2 (open triangles) and 0.4 (closed triangles) g of the commercial fertilizers were added per pot.

서는 AMF 성장을 AMF 감염도와 chitin 정량을 통하여 수행하였으나, 여기서는 키틴의 량으로 AMF 성장을 표현하였으며, 성장기간은 위의 실험 결과에서 얻은 자료인 2, 4 및 6 주단위로 측정하였다. 여기서 나타난 AMF의 성장경향은 수수를 제외한 다른 식물에서 크게 나타나서 비료 18-0-18 처리에서 많이 관찰되었으며, 비료 21-17-17 처리에서 AMF 성숙이 대조구와 비슷하거나 낮았으나, 수수는 비료 18-0-18 처리와 비슷하게 나타났다. 그러나, 비료 0-0-60 처리에서는 AMF 성장이 일반적으로 낮게 나타났다, 식물의 성장에 비하면 높게 측정되었다. 여기서 비교적 인산의 공급이 없는 비료처리에서 AMF 성장이 대체적으로 좋았으며, 인산의 첨가처리에서도 어느 정도 적은 량의 비료처리에서는 AMF 성장에 도움을 주고 있는 것이 관찰되었다. 또한, 콩과식물에서는 질소 및 인산원 공급이 포함된 비료처리에 대한 AMF 성장은 다른 두 공생균의 효과보다는 못 하였으며, 특히 질소 및 인산원 공급이 없는 비료처리에서 AMF의 성장이 일정하게 나음을 관찰하였다(Fig. 3).

비료 18-0-18 처리에서는 대부분의 식물에서 AMF의 성숙이 비료에 의해 효과가 있게 나타남을 관찰할 수가 있다. 그러나 비료의 첨가량은 그 식물에 따라 약간씩 차이점이 있었다. 대체로 수수를

제외하고 어느 정도의 비료의 첨가에 따른 AMF 성숙이 발견됨에 따라, 식물의 공생에 대한 의미를 잘 표현한 것으로 생각된다. 특히, 고추와 파의 경우는 비료의 농도 대로 AMF 성숙이 일어나고, 이에 대한 식물의 성장과도 일치되었다. 차풀의 경우는 AMF 성숙이 비료 처리에 의한 효과는 뚜렷하나, 농도 0.2 g와 0.4 g의 농도에서는 어떤 차이를 나타내지 않았다(Fig. 2, 5). 수수는 비료의 첨가와 관계 없이 대조구와 비슷한 AMF의 성장이 일어나고 있다 (Fig. 4). 비료 21-17-17 처리에서는 수수를 제외한 모든 식물들에서 이 비료의 첨가에 따른 AMF 설숙이 비료 18-0-18 처리에 비해 낮게 나타났다. 대부분의 AMF 성장이 대조구와 비교되었을 때, 대조구의 AMF 성장과 동일하거나 낮게 나타났다. AMF 성장은 비료의 농도에 따라, 큰 차이점을 찾아볼 수가 없었다. 다만, 고추와 파에서는 고농도의 비료처리(0.4 g)에서는 오히려 AMF의 성장이 저하되고 있는 것을 관찰할 수가 있었다(Fig. 2 and 5). 차풀에서는 0.1 g의 농도에서 AMF 성장이 가장 잘 되고 있었다. 이 비료의 첨가에서 식물성장 경향과 뿌리속의 AMF 성장 경향은 일치하지 않는 것이 그 특징이었다(Fig. 3). 비료 0-0-60 처리에서는 모든 식물에서 AMF 성숙은 저조하며, 대조구의 AMF 성숙보다 못하거나 비슷하였다. 식물의 성장과 관

Table 2. Measurements of Plant fresh biomass (mg/individual), amount of chitin ($\mu\text{g}/\text{mg}$), and total chitin amount (mg/individual) in the interactions of plants and arbuscular mycorrhizal fungal spores after 42 days' cultivations in the small pots

Species ^a	Commercial fertilizers used for this works (Amount g/pot added)								
	18 - 0 - 18 ^c			21 - 17 - 17			0 - 0 - 60		N.F ^d
	0.1 ^e	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	
<i>Sorghum bicolor</i>									
AMF spores ^b	13.5	32.0	9.0	23.0	9.0	6.0	15.5	12.5	17.0
Biomass ^f	2.16	7.38	12.8	8.20	11.17	20.96	1.04	0.49	0.71
Chitin ^g	5.00	4.63	4.37	4.80	4.07	4.26	4.88	4.47	4.84
Tchitin ^h	10.8	34.0	56.0	39.3	47.5	89.2	5.08	2.19	3.44
<i>Cassia mimosoides</i>									
AMF spores	3.0	3.5	3.0	8.5	4.0	3.5	11.0	3.0	6.0
Biomass	0.34	0.50	0.69	0.40	0.42	0.57	0.34	0.40	0.28
Chitin	5.04	4.62	6.84	3.09	3.83	2.97	2.68	4.15	4.76
Tchitin	1.71	2.31	4.72	1.64	1.61	1.69	0.913	1.66	1.33

Table 2. Continued

Species ^a	Commercial fertilizers used for this works (Amount g/pot added)								N.F ^d
	18 - 0 - 18 ^c			21 - 17 - 17			0 - 0 - 60		
	0.1 ^e	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	
<i>Allium fistulosum</i>									
AMf spores	12.5	7.0	7.5	11.5	7.0	3.5	7.0	7.5	15.5
Biomass	0.35	0.28	0.34	0.29	0.33	0.41	0.08	0.08	0.08
Chitin	6.37	7.00	6.76	4.76	3.40	2.07	5.35	5.85	5.85
Tchitin	2.23	1.96	2.28	1.38	1.12	0.85	0.43	0.47	0.47
<i>Capsicum annuum</i>									
AMF spores	12.0	10.5	8.0	16.0	3.5	5.0	9.5	8.5	5.0
Biomass	0.57	0.70	0.80	0.71	0.89	0.93	0.09	0.10	0.12
Chitin	4.48	6.89	6.87	3.07	4.61	1.58	3.30	3.10	2.27
Tchitin	2.11	4.82	5.51	2.18	4.11	1.47	0.30	0.31	0.27

^a*Scutellispora heterogama*, *Sc. calospora*, and *Acaulospora spinosa* marked respectively.

^bThe populations of arbuscular mycorrhizal spores first counted before planting.

^cThe kind of fertilizers commercially used by "N-P-K" and see the Materials and Methods in detail.

^dNo fertilizer treatments.

^eThe grams of fertilizer per 400 g soil sprayed by the water containing the fertilizer.

^fThe grams of fresh wight of whole plant per individual host plants.

^gAmounts of chitin (μg/mg of plant roots) per individual plant.

^hThe values of Tchitin were the total relative amounts of chitin, biomass multiplied by the amount of chitin in the plant roots.

련하여 그 경향의 일치점이 많이 관찰된다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때, 인산의 첨가에 따른 AMF의 성장은 관계가 있는 것으로 나타났으며, 그 유형은 식물에 따라 다르게 나타났다. 가장 AMF의 성장과 관련되어, 뚜렷한 효과를 보이는 식물은 고추와 파로 나타났다. 그와 반면에 콩과식물인 차풀에서는 비료의 첨가 효과가 다른 식물에 비해 적은 편이며, 비료 0-0-60 처리에서도 비교적 AMF 성숙이 좋게 나타났다. 이로써 AMF와 식물간의 비교에서 식물에 필요한 무기물 영양원의 공급은 AMF 성장에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 특히 인산 무기영양원이 AMF 성장에 가장 크게, 그 다음은 질소 영양원의 순으로 AMF 성장에 영향을 주고 있었다.

상업용 비료처리에 의한 6주간 식물재배에서 나온 결과로 식물의 생체량, 포자증식, 감염도를 나타낸 것이 Table 2이다. 여기서 전체 AMF 성장은 상대적 인 값으로 키틴량에 생체량을 곱한 것으로 표현하였다. 수수에 비료 18-0-18 처리에서 상대적 인 AMF의 성장이 많이 일어났으며, 비료처리 량에

따라서 상대적 인 AMF의 성장이 바래하였다(Fig. 3). AMF 성숙과 포자증식은 서로 일치하지 않았으며, 오히려 AMF 성숙이 적은 곳에서 많이 일어났다. 즉 수수식물은 비료 18-0-18 처리에 0.2 g 첨가에서 많이 생성되는 것을 관찰하였으며, 차풀에서는 비료 0-0-60 처리에 0.1 g 첨가에서, 파에서는 대조구에 및 고추에서는 비료 21-17-17 처리에 0.1 g과 비료 18-0-18 처리구에서 많은 량의 포자가 단위시간 당 생산되었다. 또한, 식물의 생체량과의 비교에서 식물의 성장과 무관하게 포자증식이 나타났으며, 비료의 처리도 전혀 무관하며, 오히려 식물 생체량이 적은 곳에서 포자의 증식이 일어났다. 이로써 AMF 포자의 증식은 식물의 생체량과도 무관하고, AMF 성장과도 무관하게 관찰되었다.

考 察

AMF에 대한 실험은 대부분이 농업 응용에 대한 포자실험이 많이 진행되었으나 포자생산, 식물성장,

및 AMF의 성장과 관련된 실험은 없었다. 본 실험에서 식물뿌리 속에서 전형적인 arbuscle 및 vesicle이 발견되었으며, 뿌리에 AM의 특징들이 관찰되었고, 뿌리의 감염도도 관찰되었다. AMF 균의 접종 후, 식물 뿌리 내에서 일어나는 뿌리 감염도와 현미경관찰은 일치되고 있다. 즉 뿌리 감염도가 높아질수록, AMF는 뿌리의 균사에서 뿌리세포내 균사로 바뀌면서 AM의 특이한 현미경 구조를 보였다. 또한, 현미경 관찰결과 나타난 뿌리감염도와 키틴정량도 통계적으로 동일하게 나타나서, 본 실험의 결과 AM 형성이 잘 된 것으로 생각되었다. 현미경 관찰결과 각종의 식물뿌리에서 나타나는 감염도와 키틴의 정량이 서로 상관관계를 갖는 것으로 보아, 본 실험에서 사용된 식물들은 AMF에 대하여 좋은 식물 재료이며, AMF 침입이 잘 이루어져 AM 공생실험에 좋은 결과를 얻을 수가 있었다.

식물성장의 경우 AMF 접종으로 파, 고추 및 차풀에서는 식물성장 효과가 뚜렷하게 나타났으나, 비료의 효과보다는 못하였다. 그러나 AMF 접종의 효과가 파에서는 뚜렷하였다. 수수에서 다른 식물에 비해 뚜렷한 효과가 없는 것은 본 실험의 조건이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 특히, 수수에서 그 성숙이 계속적으로 일어나는 것으로 볼 때(Fig. 1), 수수는 본 실험기간에서 계속적으로 다른 식물에 비해 크기가 크고, 더 많은 영양분이 필요하기 때문인 것으로 사료된다. 혹은, 수수의 성장하는 기간, 즉 본 실험에서 사용한 42일이 너무 짧은 것으로 사료된다. AMF에서 식물의 성장의 역할에서 파, 야생콩과식물인 차풀은 인산비료 첨가없는 비료 18-0-18 처리에서 AMF 접종의 역할이 뚜렷하여 산업이용에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 수수, 고추에서는 AMF 접종의 효과보다는 비료 21-17-17 처리 효과가 뚜렷하였으며, 대치되는 정도의 AMF 접종의 효과를 보이고 있다. 이러한 것은 야생성이 강한 식물인 차풀에서 AMF 효과가 뚜렷이 나타났다.

본 실험 결과에서 식물 뿌리 속에서 AMF 성장에 비료인 $P < N < K$ 순으로 영향이 있는 것이 관찰되었다. 이는 AMF가 인산 무기영양원과 관련되는 것으로, 다른 실험들의 결과와도 일치가 되었다(Mosse, 1957; Lambert *et al.*, 1979). 식물 뿌리의 AM 형성에 대한 실험에서 동일 량의 인산 공급에서

질소원 영향에서는 다른 연구자의 결과와 일치되었다(Abbott and Robson, 1991; Cox and Tinker, 1976; Kothari *et al.*, 1991). 여기서 AMF 성장에서 비료의 영향이 큰 것으로 나타났으며, 전체적인 경향으로 인산량에 따라 관련이 되고 있었다. 식물이 환경의 조건(영양분)에 따라 AMF의 성장을 조절하는 것으로 관찰되었다. 즉, 인산원의 비료에서 AMF 성숙이 크게 관련되는 것으로 보아, 식물뿌리 속에 AMF 성숙은 저하되는 것으로 다른 실험과 일치를 보이기도 있다(Mosse, 1957; Lambert *et al.*, 1979; Abbott and Robson, 1991; Cox and Tinker, 1976; Kothari *et al.*, 1991). 여기서 혼합된 AMF 포자를 사용했기 때문에, AMF 성숙에서는 어떤 숙주 식물에 대한 특이성은 관찰할 수가 없었다.

AMF 성장과 식물뿌리의 상호관계에서 식물의 뿌리는 중요하며, AMF 성장을 촉진시킨다고 하였다(Hepper and Mosse, 1975; Mosse, 1957; Bécard and Piché, 1989). 여기서는 식물의 호흡산물인 CO_2 에 대하여 AMF 성숙이 촉진된다고 설명하였다(Bécard and Piché, 1989). 토양 속의 인산부족은 식물에게 뿌리막 삼투압(root membrane permeability)에 관련되어 식물대사물질을 손실로 root exudates가 토양속에 증가함으로 AMF의 성장이 증가한다고 하였다(Graham *et al.*, 1981). 여기서 나타난 결과로 볼 때, 인산에 AMF 성숙을 저해시키는 것으로 나타나 일치되는 결과를 얻었다. 식물 뿌리에 AMF 성장을 촉진시키는 물질로 flavoid compound가 보고됨에 따라서(Nair, *et al.*, 1991; Tsai and Phillips, 1991), AMF 성장이 식물뿌리에 대사물질에 의해 조절되는 것으로 고려된다. 그러나 식물뿌리 내에서 AMF 성장에 대한 저해에 관련되는 조절에 대한 정확한 해답은 아직 없다. 여기서 본 실험의 분석 자료에서 토양 영양분과 관련되어 인산이 많은 토양에서 인산을 이용한 식물뿌리가 AMF 성장과 관련된 분명하다. 이는 식물의 뿌리에서 AMF 성장을 촉진 혹은 저해시키는 것으로, 앞의 연구에서 식물뿌리가 저해하는 기작은 밝혀져야 할 것이다.

식물 뿌리에서 AM 형성을 위해서는 무엇보다도 숙주식물의 선정이 중요하다(Powell and Bagyaraj, 1984; Daniels-Hetrick and Bloom, 1986). 다른 연구에서 AMF가 숙주식물에 따라 다소간 차이가 있

음을 지적하였는데, 벼과식물인 옥수수가 AM 형성을 많이 유도함을 보고하였다(Struble and Skipper, 1988). 또한, 비경작지인 두 지역 토양간의 AMF 종을 동정하고 식물과 AMF 간의 숙주 특이성을 조사한 연구에서 수수, 고추, 참깨의 세 식물간에 전체 포자수 변동은 뚜렷한 차이가 없었으나 각 포자마다 식물에 따른 AMF 포자의 증식을 보고하고, 증식의 변이가 있음을 보고하여, 어떤 친화성(affinity)의 가능성을 암시한 바 있다(가, 1991). 본 실험에서는 숙주식물로 4과(Family), 네 종류의 식물(벼과의 수수, 콩과의 차풀, 가지과의 고추, 백합과의 파 등)을 이용하여, AM 형성도 잘 이루어져 AMF 포자증식도 이루어졌다. 그 결과로 본 실험에 사용한 식물인 수수, 차풀, 파, 및 고추 등에서 포자증식용 혹은 AM 실험용 식물로 사용할 수 있는 것으로 생각된다. 본 실험에서 이용한 네 종류의 숙주식물에서 총 AMF 성장의 수로 볼 때, 수수에서 가장 높은 AMF의 포자 증가를 나타냈으며 그 다음에 고추, 파, 차풀의 순으로 나타났다. 이는 주어지는 비료의 양과 숙주식물의 생체량을 무시한 결과이기는 하지만 AMF 포자 증식을 위한 좋은 숙주식물로 수수를 들 수 있으며, 단기간 실험으로 차풀, 고추 및 파도 AM 형성의 좋은 실험 재료 식물로 고려할 수가 있다.

摘 要

접종된 식물뿌리 속에서 AM의 특징들이 관찰되었으며, 뿌리의 감염도와 키틴의 량을 측정하였다. 현미경 관찰결과 각종의 식물뿌리에서 나타나는 감염도와 키틴의 정량이 서로 상관관계를 갖으며, 뿌리 감염도가 높아질 수록, AMF는 뿌리외 균사에서 뿌리세포내 균사로 바뀌면서 AM 균근의 특이한 현미경 구조를 보였다. 식물뿌리에서 AMF 성장은 sigmoid curve를 나타냈으며, 다른 생물의 성장과 동일하였다. 식물뿌리 속에서 AMF의 성장에 비료인 $P < N < K$ 순으로 영향이 있는 것이 관찰되었으며, 이는 AMF가 인산 무기영양원과 관련되는 것으로 추론되었다. 식물성장에서는 AMF 접종으로 파, 고추 및 차풀에서는 식물성장 효과가 뚜렷하게 나타났으나, 비료의 효과보다는 못하였으나, AMF 접종에서 파에서는 그 효과가 뚜렷하였다.

參考文獻

- Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1989. Factors affecting the occurrence of Vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosystems Environ.* (In Press).
- Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1991. Factors influenced the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **35**: 121-150.
- Bécard, G. and Y. Piché. 1989. Fungal growth stimulation by CO₂ and root exudates in vesicular-arbuscular Mycorrhizal symbiosis. *Applied and Environmental Microbiology* **55**: 2320-2325.
- Brundrett, M. C., Y. Piche, and R. L. Peterson. 1984. A developmental study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Can. J. Bot.* **63**: 184-194.
- Busse, M. D. and J. R. Ellis. 1985. Vesicular-arbuscular mycorrhizal(*Glomus fasciculatum*) influence on soybean drought tolerance in high phosphorus soil. *Can. J. Bot.* **63**: 2290-2294.
- Cox, G. and P. B. Tinker. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscle and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytol.* **77**: 371-378.
- Daniels-Hetrick, B. A. and J. Bloom. 1986. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. *Mycologia*. **78**: 32-36.
- Dehne, H. W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* **72**: 1115-1119.
- Foster, R. C. and G. C. Marks. 1967. Observations on the mycorrhizas of forest trees. II. The rhizomorphs of *Pinus radiata* D. Don. *Aust. J. Biol. Sci.* **20**: 915-926.
- Furlan, V. and J. A. Fortin. 1973. Formation of endomycorrhizae by *Endogone calospora* on *Allium cepa* under three temperature regimes. *Naturaliste can.* **100**: 467-477.
- Gerdmann, J. W. 1955. Relation of a large soil-borne spore to phycomycetous mycorrhizal infections. *Mycologia* **47**: 619-632.
- Gerdmann, J. W. 1964. The effect of mycorrhizas on the growth of Maize. *Mycologia* **56**: 342-349.
- Gildon, A. and P. B. Tinker. 1981. A heavy metal-tolerant strain of a mycorrhizal fungus. *Trans. Br. mycol. Soc.* **77**: 648-649.

- Gildon, A. and P. B. Tinker. 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. *New Phytol.* **95**: 247-261.
- Graham, J. H., R. T. Leonard, and J. A. Menge. 1981. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular mycorrhiza formation. *Plant Physiol.* **68**: 548-552.
- Hayman, D. S. and M. Tavares. 1985. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. x v. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* **100**: 367-377.
- Hepper, C. M., and B. Mosse. 1975. Techniques used to study the interactions between Endogone and Plant roots, p. 65-75. In E. Sanders, B. Mosse, and P. B. Tinker (eds.) *Endomycorrhizas*. Academic Press, Inc. (London), Ltd. London.
- Hepper, C. M. 1977. A colorimetric method for estimating vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *Soil Biol. Biochem.* **9**: 15-18.
- Katznelson, H., J. W. Rouatt, and E. A. Peterson. 1962. The rhizosphere effect of mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of yellow birch seedlings. *Can. J. Bot.* **40**: 377-382.
- Koske, R. E. and J. N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* **92**: 486-505.
- Koske, R. E. and W. R. Polson. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization? *BioScience* **34**: 420-424.
- Kothari, S. K., H. Marschner and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil* **131**: 177-185.
- Lambert, D. H., D. F. Baker, and H. Cole. 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. *Soil Science, Society of America, J.* **43**: 976-980.
- Morton, J. B. 1988. Taxonomy of VA-mycorrhizal fungi: Classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* **32**: 267-324.
- Mosse, B. 1957. Growth and chemical composition of mycorrhizal and nonmycorrhizal apples. *Nature, Lond.* **179**: 922-924.
- Nair, M. G., G. R. Safir, and J. O. Siqueira. 1991. Isolation and identification of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza-stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. *Applied and Environmental Microbiology* **57**: 434-439.
- Nicolson, T. H. 1967. Vesicular-arbuscular mycorrhiza-a universal plant symbiosis. *Sci. Prog., Oxford* **55**: 561-581.
- Pearson, V. and P. B. Tinker. 1975. Measurement of phosphorus fluxes in the external hyphae of endomycorrhizas. In *Endomycorrhizas*. Edited by Sanders, F.E., B. Mosse, and P.B. Tinker. Academic Press, London and New York. pp 277-287.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. mycol. Soc.* **55**: 158-160.
- Pond, E. C., J. A. Menge, and W. M. Jarrell. 1984. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. *Mycologia* **76**: 74-84.
- Possingham, J. V. and J. GrootObbink. 1971. Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis*. **10**: 120-130.
- Powell, C. L. and D. J. Bagyaraj. 1984. VA Mycorrhiza. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp. 35-234.
- Rhodes, L. H. and J. W. Gerdemann. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytol.* **75**: 555-561.
- Ride, J. P. and R. B. Drysdale. 1972. A rapid method for the chemical estimation of filamentous fungi in plant tissue. *Phys. Plant Path.* **2**: 7-15.
- Safir, G. R., J. S. Boyer, and J. E. Gerdemann. 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science* **172**: 581-583.
- Sanders, F. E. and P. B. Tinker. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by Endogone mycorrhizas. *Nature. Lond.* **33**: 278-279.
- Schenck, N. C. 1981. Relationship of mycorrhizal fungi to other microorganisms in the root and rhizosphere. New Jersey, *Agri. Exp. St. Res. Rep.* No. R 04400-01-81. p. 37.
- Smith, G. S. and R. W. Roncadori. 1986. Responses of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi at four soil temperatures and their effects on cotton growth. *New Phytol.* **104**: 89-95.
- Struble, J. E. and H. D. Skipper. 1988. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal spore production as influenced by plant species. *Plant and Soil* **109**: 277-280.
- Swaminathan, K. and B. C. Verma. 1979. Responses of three crop species to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on zinc deficient Indian soils. *New Phytologist* **82**: 481-487.

- Trappe, J. M. 1981. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands. In: *Advance in food producing systems for arid and semiarid lands*. Acad. Press, Inc. 581-599.
- Tsai, S. M., and D. A. Phillips. 1991. Flavonoids released naturally from alfalfa promote development of symbiotic Glomus spores in vitro. *Applied and Environmental Microbiology* **57**: 1485-1488.
- 가강현. 1991. 식물과 VA-mycorrhizae 간의 숙주 특이성. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문 p. 70.
- 김종균, 구순화. 1986. 몇가지 식물중의 Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae에 관하여(제3보). 공주대학 논문집 **18**: 129-138.
- 김종균, 이철주. 1984. 몇가지 식물중의 Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae에 관하여(제1보). 공주사대 논문집 **22**: 101-110.
- 엄안흠, 이상선. 1990. 고마리 군락의 토양에서 발견된 내생균근. 한국균학회지 **181**: 26-42.
- 엄안흠, 이석구, 이상선. 1992. 한국에서 발견된 Glomus의 포자과를 형성하는 종. 한국균학회지 **202**: 85-94.
- 이상선, 가강현, 이석구, 백기엽. 1991. 원예식물 및 재배식물에서 발견된 내생균근. 한국균학회지 **19**: 186-202.