

## 식물뿌리에 내생균근의 공생

이상선 · 류창년\*

한국교원대학교 생물학과

\*경남 울산시 명덕여자중학교

## Symbiosis of Arbuscular Mycorrhizae on the Plant Roots

Sang-Sun Lee and Chang-Neyon Ryu\*

Department of Biology, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

\*Myeong Duk Girl's Middle School, Ulsan, Kyoung Nam 682-050, Korea

**ABSTRACT:** Using the soils containing several arbuscular mycorrhizae, the degrees of infection on the plant roots were measured with the different level of phosphate added on pot cultures. Infection on the plant roots was independent of the phosphate level for the roots of sorghum, but formation of arbuscular mycorrhizae in the roots was inversely related to the growth of soybean roots. It was concluded that infection of arbuscular mycorrhizae would be related to the phosphate level in the soils. Plants, themselves, were considered to control the infection of arbuscular mycorrhizae under the environments of soils, especially amount of phosphate.

**KEYWORDS:** phosphate, arbuscular mycorrhizae, plant growth, infection

균근 (mycorrhizae)은 식물의 뿌리에 침입하여 식물의 성장을 도와주는 것으로 알려져 있다. 이는 외생균근 (ectomycorrhizae)과 내생균근 (endomycorrhizae)으로 나누어 지며, 특히 내생균근에서 무기인산 영양소와 관련되어 연구가 진행되어 왔다 (James *et al.*, 1981 ; Jensen, 1982). 내생균근은 뿌리의 피층에 주로 소포 (vesicle)를 생성하는 Glomaceae와 침입균사망 (Arbuscule)을 형성하는 Gigasporaceae에 의하여 나타내는 특징이어서 Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae (VAM)이라고 불리어졌고, 이것이 식물의 성장에 관련된다고 보고하였다 (Powell and Bagyarat, 1984).

내생균근의 포자는 발아하여 식물의 뿌리와 결합하여 공생을 이루고 있다. 콩과식물 (legume plants)에서는 질소원 공급이 원활하게되므로, 다량의 인산이 필요하여 내생균근 형성이 필수적이라는 것이 야외관찰에서 보고되고 있다 (Knight *et al.*, 1988). 많은 내생균근이 콩과식물에서 발견 되었다 (Ka *et al.*, 1990). 식물에 대한 인산원공급은 다른 금속영양원과 관련이 있다고 보고 하였으며 (Ojala *et al.*,

1983), 내생균근은 식물에 있어 무기금속영양원과 관련되어 중요하게 인식되고있다.

최근 내생균근의 연구의 동향은 아직까지 분류학 분야의 연구에 국한되었으며 (Hall, 1984 ; Schenck, N. C. 1982 ; Trappe, 1982), 식물 생태학 및 생리학등과 관련된 내생균근의 연구 분야에서는 논문이 드물게 수록되고 있다. 최근 농업에 혹은 식물생태에서 내생균근에 대한 응용은 아주 많이 진행되고 있으나, 기본적인 공생에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 내생균근의 포자가 동정된 토양을 이용하여 내생균근의 성장과 관련된 뿌리의 내생균근 형성 (VA formation)을 관찰하고자 하였다. 이를 기초로 한 VA formation 과 인산량의 조절을 통한 뿌리의 내생균근의 형성 및 식물성장에 미치는 영향을 알아보려 하였다. 그 결과 사용된 식물들은 토양에 잔존하는 인산함량과 내생균근의 형성은 관련이 있는 것으로 나타났다.

### 재료 및 방법

**토양의 채취 및 방법:** 본 실험을 위한 토양의

선정은 충남 태안군 태안읍 도내리의 차풀 (*Cassia mimosoides* var. *nomame*), 짜리 (*Lespedeza bicolor*) 및 솔새 (*Themeda triandra* var. *japonica*)의 균락의 토양을 채취하였으며 (Ka et al., 1990), 내생균근 포자가 포함된 토양에서 균근포자를 회석하기 위하여 모래를 사용하였다. 사용된 모래는 청원군 강내면 본교 주변의 식물이 자라지 않는 모래를 채취하여 건조기에서 150°C로 1시간 멸균한 다음 완전히 말린 후 사용하였다. 윗 실험을 위한 토양 채취는 식물의 뿌리 가까이 있는 흙으로 깊이 15 cm, 너비 30 cm 이내의 흙을 모두 파서 polyethylene bag에 옮겨 담았다. 이를 실험하기 전까지는 상온의 암소에 보관하였다.

**포자의 추출 및 동정**: 포자를 추출하기 위해서 Gerdermann and Trappe (1974)에 의한 wet-sieving method를 사용하였다. 이는 Sodium hexametaphosphate 0.0818 M 용액, 혹은 tap water에 흙을 넣어 메스실린더를 사용하여 흙과 포자의 비중차를 이용하여 포자를 추출하는 방법이다 (McRenney and Lindsey, 1987). Sieve에 사용된 눈금의 크기는 38, 90, 150, 212, 300, 및 600  $\mu\text{m}$  였으며, 이를 통해 포자를 크기에 따라 수확하였다. 수확된 포자는 8 cm 지름의 petri dish에 보관하여 100  $\mu\text{l}$  micropipet로 직접 분리 하였다. 분리된 포자들은 PVL (polyvinyl alcohol-lactophenol) mounting solution을 이용하여, 영구 slide를 제작하여 광학 현미경으로 관찰하였다. 포자의 동정은 Schenck and Perez (1988)의 기재와 Trappe (1982) 및 Hall and Fish (1979)의 동정 검색표를 이용하여 이루어졌다. 최근에 Walker (1983)의 포자막층 (spore wall layers) 방법을 *Gigaspora* 및 *Scutellospora*에 적용하였으며, 필요에 따라 Melzer's reagent solution 으로 포자벽을 염색하여 관찰하기도 하였다.

**꽃배양**: 내생균근이 포함된 토양과 멸균된 모래를 각각 1 : 1로 섞은 다음 원추형 비닐 pot 9 (high dia.) $\times$ 6 (lower dia.) $\times$ 8 (height) cm에 400g씩 담았다. 여기서 실험에 사용된 인산은  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (Chemical reagent)를 50 ml의 증류수에 넣어 대두와 수수를 심은 다음에 첨가 하였다. 인산량은 각 1g의 pot 토양당 0, 25, 50 그리고 100  $\mu\text{g}$ 을 주입 하였으며, 이들을 0, 25, 50 및 100 으로 표시하였

으며, 6주 동안 관찰하였다.

**사용된 식물**: 본 실험에서 사용된 식물은 수수 (*Sorghum bicolor*)와 대두 (*Glycine max*)를 종묘상에서 구입하였다. 씨에서 오는 외부 균근포자의 침입을 막기위하여 수수와 대두 씨는 70% 알콜에 표면 소독하였다. 발아된 식물들은 위에서 만들어진 pot에 수수는 pot 당 2개체, 대두는 1개체를 심었다. 실험기간은 1990 년 6 월 24 일 부터 8 월 10 일 까지 실험하였다. 이때 식물성장온 낮에는 노천에 두었고, 밤에는 실험실로 옮겼으며 필요할 때마다 증류수로 수분 공급하였다.

**성장곡선 및 BIOMASS의 측정**: 식물체의 키는 대두는 pot의 표면 흙을 기준으로 정아까지 측정하였고, 수수는 잎을 편 다음 가장 높은 위치를 측정하였다. 생체량의 측정은 마지막 6주째 pot에서 캐낸 뒤에, 60°C에서 5일동안 건조 시킨후의 무게를 측정하였다 (Boerner, 1990). 대두와 수수의 높이 측정을 위한 개체는 씨앗을 심은 후 즉시 무작위로 골라서 표시를 한 다음 계속 관찰하였다.

**포자밀도의 측정**: 포자의 밀도 측정은 발아 후, 3주부터 식물뿌리를 수집한 뒤 남은 흙을 모두 말려서 각 pot에 다시 담은 후 암실에 두었다가 조사하였다. 풋트당 10.0g의 토양시료를 정량한 뒤 Density gradient centrifuge 방법 (Ohms, 1957)을 이용하였다. 먼저 흙을 시험관에 넣은 뒤, 설탕용액을 첨가하여 3000 rpm에서 4°C, 10분간 원심분리하였다. 여기서 상등액을 뽑아 그 속에 있는 포자를 해부현미경으로 검경하면서 포자수를 세는 동시에 micropipet으로 수집하여 동정에 사용하였다.

**균근의 뿌리 침입 상태의 조사**: 식물의 뿌리는 발아후, 첫째주부터 1주일 주기로 계속 수집하여 FAA 용액에 담가서 액침포본병에 저장하여 필요시 관찰에 임하였다. 뿌리의 염색은 Phillips and Hayman (1970)의 방법을 따랐다. 무작위로 뽑은 식물 뿌리는 1 cm 길이로 잘라서 FAA에 고정시켰다. 그 후에 10 % KOH, 90°C에서 1시간 처리한 후에 다시 10 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ 로 3분 탈색시켰다. 처리된 식물 뿌리는 5 % HCl에 3분 처리한 후, 0.05% Lactophenol trypan blue에 85°C에서 20분간 염색하였다. 그후 염색식물조직에 trypan blue을 제거하기 위하여, Lactophenol로 하루동안 탈색하였다. 이렇게 염색한

뿌리를 단위 pot 당 10개의 시료를 무작위로 뽑아서 5개의 프레파라아트에 옮겨 담아 PVL (poliviny alcohol lactophenol)로 mounting 하여 영구 slide를 만들었다.

## 결 과

**토양:** 충남 태안군 태안을 도내리에서 채집한 토양을 wet-sieving method 와 centrifuge method를 이용하여 포자를 수집한뒤 동정한 결과 3속 5종이 관찰되었다 (Table 1). 이들은 포자의 모양, 색깔, 포자막층 및 Melzer's reagent 반응의 특징에 따라, *Acaulospora scrobiculata* (Trappe, 1977), *Gigaspora margarita* (Becker and Hall, 1976), *Sc. corallodiae* (Gerdermann and Trappe, 1974) 및 *Sc. heterogama* (Nicolson and Gerdemann, 1968)로 분류 되었으며, 나머지 한종은 *Scutellospora* sp. 로서 아직 분류 중에 있다 (Schenck and Perez, 1988). 토양 10g 당 포자의 밀도는 Table 1과 같이 24 내지 25개 였다. 그런데, 광학현미경하에서 *Sc. corallodiae*와 구별되어지는 *Scutellospora* sp. 가 발견되었으나, 50 x 현미경하에서는 두 포자가 동일하게 보여, 구별하기가 어려웠다. *Scutellospora* sp.는 다른 포자로 counting 하지 않고 *Sc. corallodiae*로 셈하였다.

**뿌리에 내생균근형성 관찰:** 식물뿌리 성장을 관찰하였는데, 수수의 뿌리는 대두의 뿌리와 많은 차이점이 있다. 외부적으로 뿌리의 성장의 형태가 수수는 수염뿌리로서 가는 잔 뿌리가 많은 반면, 대두는 짧고 굵은 뿌리가 있었다. 현미경 관찰하에서는 수수의 뿌리는 cortex 층이 얇고, 염색시 뿌리의 원형을 그대로 유지하는 반면, 대두는 cortex 층이 두꺼워서 다양한 형태를 가졌다.

내생균근이 수수와 대두의 뿌리내에 얼마나 침입하였는가를 조사하기 위하여, 채취된 뿌리를 염색하여 관찰하였으며, 내생균근에 의한 식물뿌리의 변화 (즉 VA formation)는 아래와 같이 5 단계로 그 등급을 나눌수 있었다. 또한 이는 VA-formation을 위하여 직접 colonization 과정 및 침입유무 정도로 사용하였다.

0 단계 : 뿌리 표본에서 어떤 VA 형성도 관찰되지 않은 상태

1 단계 : 균사체가 균사와 뿌리와의 결합이 있거

**Table 1.** Species of azygospores or chlamyospores composed in the soil employed<sup>a</sup>.

Species	Numbers of spores found <sup>b</sup>
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	22.5
<i>Gigaspora margarita</i>	1.05
<i>Scutellospora corallodiae</i> <sup>c</sup>	0.95
<i>Scutellospora heterogama</i>	0.25
<i>Total</i>	24.75

<sup>a</sup>The soils were collected from the hill of Do Nae Ri, Tae An Eub, Tae An Kun, Chung Nam.

<sup>b</sup>Numbers of spores found from 10gm of the above soils and averaged from ten replicates.

<sup>c</sup>Not distinguished with unidentified azygospores of *Scutellospora* spp. under 50 x dissection microscope.

나 약간의 균사체가 관찰되는것 (Fig. 1A and 2A)

2 단계 : 균사체가 밀집된 상태로 관찰되는것으로 Arbuscles가 식물뿌리 세포에 나타나는 것 (Fig. 1B and 2B)

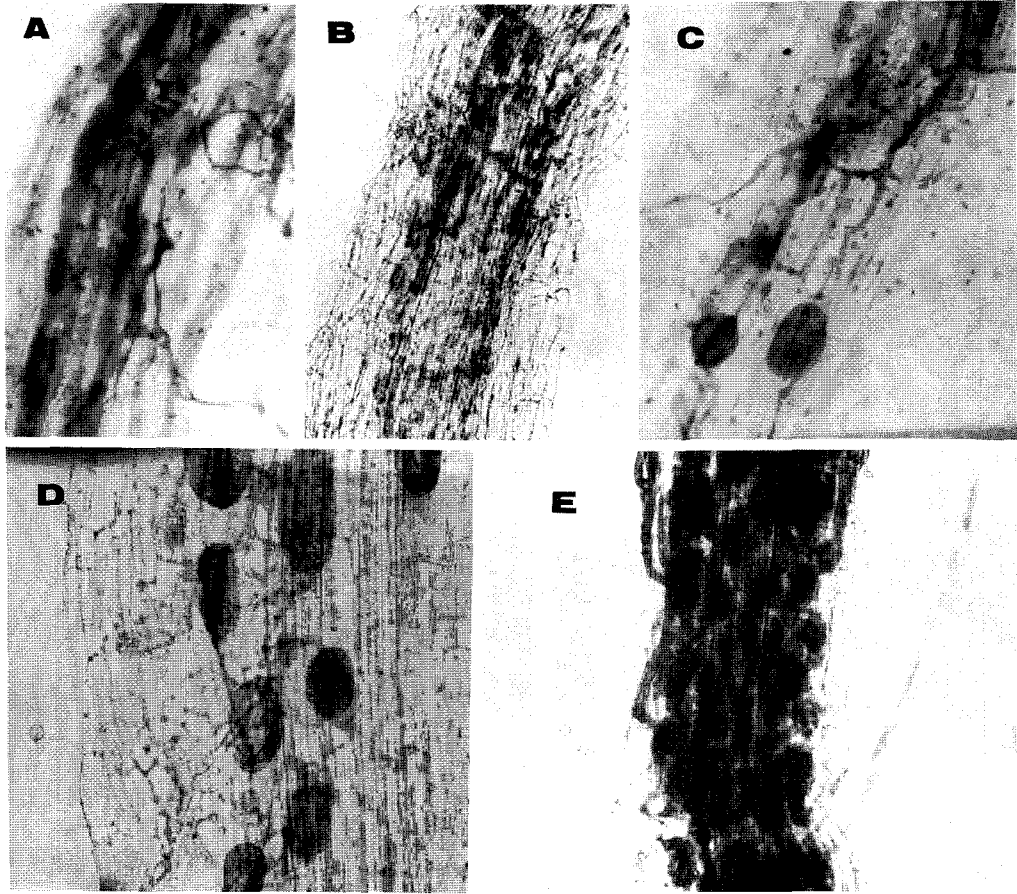
3 단계 : vesicle 수가 100  $\mu$ m내에서 2-3개이하로 관찰되는것 (Fig. 1C and 2C)

4 단계 : vesicle 수가 100  $\mu$ m 내에서 4-10개로 관찰되는것 (Fig. 1D and 2D)

5 단계 : vesicle 수가 100  $\mu$ m 내에서 10개 이상 관찰되는것 (Fig. 1E)

이렇게 나누어진 각 등급에 표준이 되는 시료를 뽑아, 그것을 기준으로 모든 뿌리에 내생균근 형성 혹은 내생균근의 공생 여부를 관찰하였다.

**VA 형성 관찰:** 내생균근의 침입유무 혹은 식물 뿌리에 colonization을 관찰하기 위한 것으로 식물이 사용할 수 있는 인산량을 조절하여 실험하였다. 인산량에 따른 6주일째의 뿌리의 성장은 크게 다르게 나타났다. 즉 외부적인 모양으로 두 식물의 뿌리 성장은 인산량이 없는 0에서 가장 좋았으며 인산 함량이 높을 수록 적었다. 또한 내생균근의 침입유무에 따른 시간별 변이를 본것은 Fig. 3과 Fig. 4이었다. 여기서 VA 형성 (내생균근의 침입유무)는 앞의 실험단계인 Fig. 1의 기준으로 Vesicles 및 Arbuscles 형성을 현미경 관찰 하에서 표기하였다. 먼저, 수수에서는 2주째부터 내생균근의 균사와 뿌리와의 관계가 1 단계적 수준에 있었으며, 그 후 짧은 기간 동안 (1주일)에 갑작스럽게 그 침입율이 높아지는



**Fig. 1.** Colonizations of VA-mycorrhizae in the root of *Sorghum bicolor* plants. The dark area in the root indicated the stained area of mycorrhizal colonization. The ellipsoid dark area the vesicle; A) Infections of arbuscular mycorrhizae after a or two weeks, B) Arbuscular formations after three or four weeks, C) several vesicle formations after four or five weeks, D) vesicle formations after five or six weeks, and E) great colonizations of arbuscular mycorrhizae.

것을 알 수 있었다 (Fig. 3). 이와 반면 대두는 3주째 내생균근이 침입하여 점차적으로 성장하는 것이 관찰되었다.

수수의 VA formation에서 VA 성장은 식물의 성장과 함께 전형적인 sigmoid colonization를 나타내고 있으며 4주째부터는 거의 일정한 균근의 침입 상태를 유지하고 있음을 관찰하였다. 각 pot에 사용한 인산의 주입에 따른 균근의 formation 상태를 보면 수수를 사용한 실험에서는, 25  $\mu\text{g/g}$  soil의 인산을 주입한 pot에서 침입율이 가장 높았으며, 다음으로 0, 50이었고 제일 침입율이 낮은 것은 100  $\mu\text{g/g}$ 의 인산을 주입한 pot에서 었다 (Fig. 3). 대두는

각 인산의 양에 반비례하게 침입의 정도가 관찰되었다. 즉 0에서 가장 많이 균근이 존재하였고, 100  $\mu\text{g/g}$ 의 인산을 주입한 pot에서 균근의 침입정도가 낮게 측정 되었다 (Fig. 4). 대두의 pot에 100  $\mu\text{g/g}$ 의 인산을 주입했을때, 실험 마지막 6주째 관찰하기 까지는 대두의 뿌리와 균근 사이에 단계 1 상태에서 머물고 있음을 알 수 있다. 대두의 VA formation은 주입된 인산량에 반비례하게 나타났다. 그와 반면에 수수의 VA formation은 대두의 것과는 다르게 나타났다.

**VA formation 과 식물 성장의 관계 :** VA formation 과 첨가된 인산의 양 및 식물 성장과의 관계

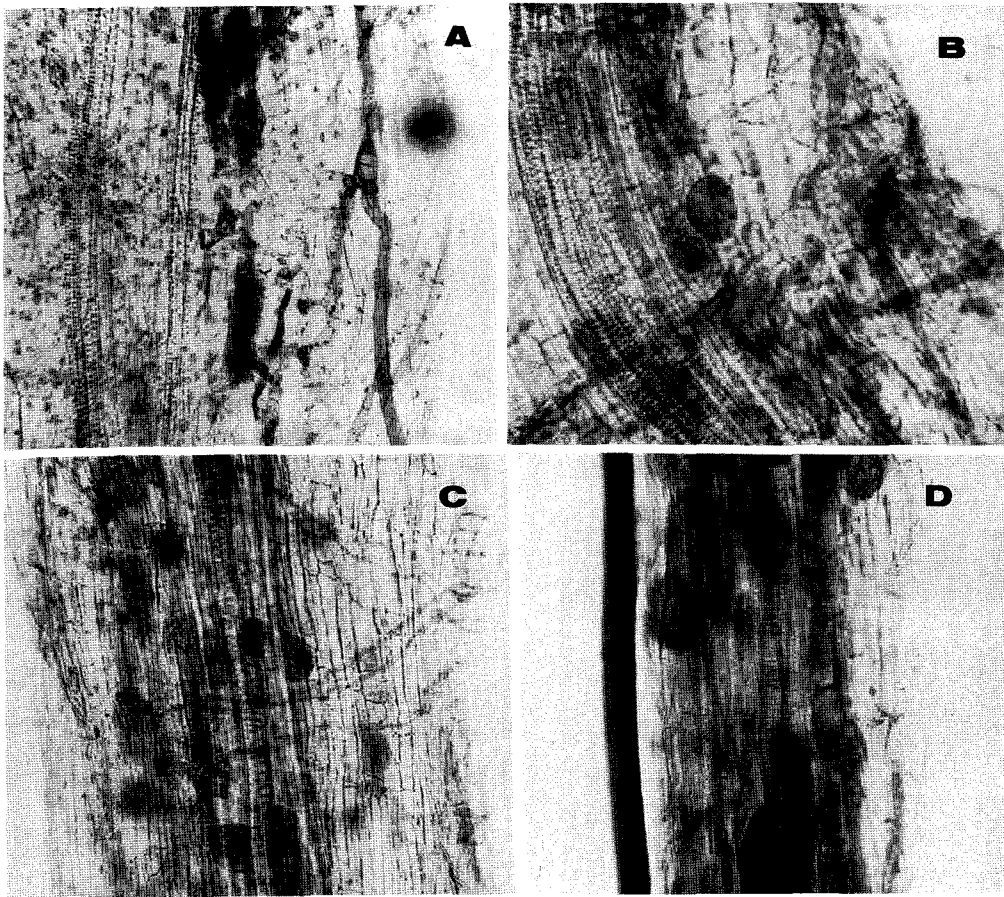


Fig. 2. Colonization of VA-mycorrhizae in the root of *Glycine max* plants. The dark area in the root indicated the stained area of mycorrhizal colonization. The ellipsoid dark area the vesicle; A) infections of arbuscular mycorrhizae after three weeks, B) After four weeks C) After five weeks and D) After six weeks.

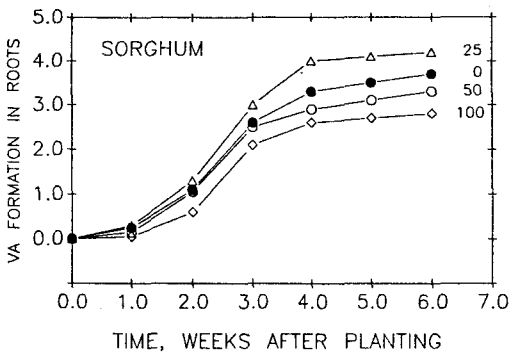


Fig. 3. The mycorrhizal development in the roots of *Sorghum bicolor* with the interval of weeks. The numbers represented in the figure indicated the phosphate ( $\mu\text{g}$ ) added to the soil (1g) in each pot.

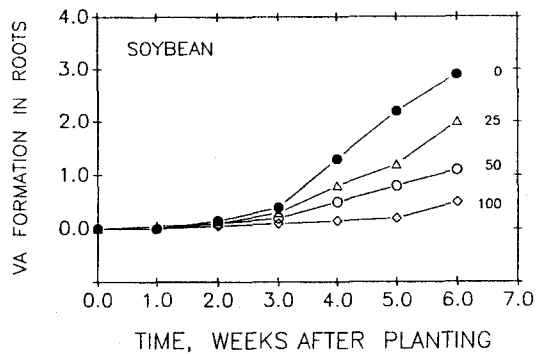


Fig. 4. The mycorrhizal development in the root of *Glycine max* with the intervals of week. The numbers represented in the figure indicated the phosphate ( $\mu\text{g}$ ) added to the soil (1g) in each pot.

**Table 2.** Plant growths treated with VA-mycorrhizal spores after six weeks<sup>a</sup>.

Plants <sup>b</sup>	Treatments <sup>c</sup>	Dry weight	Shoot height
		mg per pot <sup>d</sup>	cm per plant <sup>e</sup>
Sorghum	0	710	30.6
	25	770	33.4
	50	670	31.9
	100	540	33.5
Soybean	0	1510	30.0
	25	1470	32.0
	50	1620	32.8
	100	1590	35.0

<sup>a</sup>Observations of each plant growth were done for six weeks and the plants grown on the 400gm of soils per pot.

<sup>b</sup>Sorghum and soybean collected from general agricultural seed seller (Jo Chi Wom, Chung Nam)

<sup>c</sup>Phosphate ( $K_2HPO_4$ , a chemical reagent), 0, 25, 50, and 100 mg per kg of soil were applied at this experiment.

<sup>d</sup>Two plants grown on a pot for six weeks was weighed in sorghum and One plant in soybean, twice replicates.

<sup>e</sup>Shoot height or length (cm) were measured at six weeks and averaged from four replicates.

(Table 2)를 보면 수수에는 25  $\mu$ g/g pot에서 자란 개체가 건조량이 770 mg/pot로 제일 많았고, 키도 거의 최대치와 같게 나타났다. 이와 아울러 VA formation 도 동일한 pot에서 가장 많이 뿌리에 침투했음을 보여 주었다 (Table 2과 Fig. 3). 그 다음으로 0, 50, 100  $\mu$ g/g pot의 수수 순으로 건조량이 710, 670, 540 mg/pot로 줄어 들었고 키가 30.6, 31.9, 33.5 cm로 증가되었다.

대두에서는 수수와 조금 다르게 나타났다. VA formation이 앞에서 서술했듯이 0  $\mu$ g/g pot의 대두에서 제일 높은 반면 dry weight는 50, 100, 0, 25 0  $\mu$ g/g pot의 대두순이었다. 대두의 키는 인산의 양과 비례하여 점차적으로 더 많이 자랐음을 알 수 있다. 내생균근과 직접적으로 관계되는 실제 뿌리의 양을 보면 (Fig. 5) 수수에서는 25, 0, 50, 100 0  $\mu$ g/g pot이나, 대두에서는 0, 25, 50, 100 0  $\mu$ g/g pot의 대두 순으로 그 성장 상태의 차이를 나타내고 있는 것을 관찰하였다.

**포자계수 :** 각 주일마다 식물을 채취한 뒤 남아

**Table 3.** Numbers of azygospores found at the different weeks<sup>a</sup>

Plants	Treatments	Numbers of spores per 40 gm (after week)			
		3	4	5	6
Sorghum	0	7 <sup>c</sup>	15	14	12
	25	4	14	18	12
	50	3	11	19	11
	100	10	16	37	25
Soybean	0	10	15	10	14
	25	10	17	12	18
	50	17	23	13	11
	100	12	11	10	12

<sup>a</sup>Numbers of VA-mycorrhizal azygospores found in the 40gm of pot soils.

<sup>b</sup>After plant growth period (weeks).

<sup>c</sup>The 90% of azygospores found were identified as *Ac. scrobiculata*, and several of them as *Sc. heterogama*, *Sc. coalloridea*, or *Gi. margarita*.

있는 토양에 대한 VA mycorrhizal spore를 관찰한 결과는 Table 3이다. 이때 사용된 토양은 Table 1에 나타난 것에 비해 2 배나 많은 양을 사용하였다. Table 3에 나타난 포자 숫자는 원래 사용한 포자 숫자보다는 상당히 낮았다. 그리고 각 식물 성장에 대한 포자의 증가는 뚜렷하게 찾아볼 수 없었으며, 식물에 따른 포자의 종류도 차이가 없었다. 대두실험에서 흙 속의 VAM의 포자는 어떤 차이점도 나타나지 않았으나, 수수실험에서는 인산량이 100에서 가장 많이 나타났으나 통계처리는 하지 못 하였다.

## 토 론

**내생균근의 성장 :** 식물뿌리의 관찰을 통해서 나는 각 5 단계의 등급은 바로 VAM의 뿌리침투에서 각 성장 stage로 간주 되었다. 특히 단계 2의 균사체로 관찰된 것은 arbuscle로 생각되며 자세한 관찰을 하려고 했었지만 Fig. 1B and 2B 정도 밖에 관찰 할 수 없었다. 시간이 지남에 따라 vesicle 이 식물 cortex 조직에 나타났다. 즉 Fig. 1 and 2는 식물 성장과 함께 내생균근이 식물 뿌리에서 성장하는 것으로 생각될 수 가 있다. 이는 내생균근의 성장은 식물뿌리 성장에 관련되어 상대적으로 자라

는 것으로 볼 수 있다. 본 실험의 결과는 또한 본 실험에 사용한 재료 물질로써는 내생균근은 식물의 뿌리에 침입하여 arbuscule을 형성한 뒤에 vesicle을 형성하는 것으로 나타났다.

각 인산량의 처리에 따른 내생균근의 침입을 대두와 수수에서 보면, 수수에서는 0  $\mu\text{g/g}$  pot 수수뿌리에서 VA 침입율이 가장 높게 나타나지 않고, 25  $\mu\text{g/g}$  pot 수수뿌리에서 가장 높게 나타난 것을 보았다. 다른 내생균근과 인산량에 관한 연구 논문에서는 VA의 성장이 인산의 양에 따라 반비례적으로 나타난다고 했는데, 우리의 실험에서는 인산의 양이 0  $\mu\text{g/g}$  pot 수수뿌리에서는 내생균근의 침입이 줄어들었음을 보았다. 이로써 유추할 수 있는 결론은 VA와 식물이 성장함에 있어 어느 정도 빠른 뿌리 성장이 필요하다는 것을 나타내고 있다 (이는 내생균근이 식물 뿌리에 colonization하기 때문에). 그리고 인산이 필요이상으로 많고 적어도 VA의 성장에 저해요인이 된다는 것도 나타났다. 이러한 현상은 다른 연구 실험보고와 동일하였다 (James *et al.*, 1981).

대두에서는 인산의 농도와 내생균근의 침입이 비례적으로 나타났으며, 수수의 내생균근의 침입에 비해 초기 단계에 불과하였다. 이로 대두 실험 관찰은 아직 몇 주 이른 상태로 생각된다. 그러나 대두의 내생균근 침입은 수수와는 달리 0  $\mu\text{g/g}$  pot 대두뿌리에서 VA formation 이 가장 많이 일어났으며, 3주째 내생균근 침입이 나타난 것은 *Rhizobium*의 뿌리혹 Bacteria와 동일하게 나타났다. 이로써 뿌리에서 내생균근의 침입 혹은 형성은 무기영양원인 인산의 양에 관계가 있다는 것이 나타났다. 이는 다른 내생균근의 연구와 일치하는 것으로 우리에게 중요한 의미를 주고 있다. 즉 본 실험에 사용한 식물 (수수 및 대두)과 또 다른 실험에서 사용한 식물 (*Geranium*, Boerner, 1990; 보리, Jensen, 1982; Wheatgrass, Knight *et al.*, 1988)들은 인산량에 따라 내생균근을 조절하여 식물 뿌리속에 배양시킨다는 것을 유추할 수가 있다. 이는 식물의 공생관계로 잘 알려진 뿌리혹 Bacteria와 동일하게 식물에 작용하는 것으로 앞으로 많은 연구가 필요하다고 고려된다.

**식물 성장과 내생균근 형성:** 일반적으로 생각하면 최대 필요치 이하의 인산의 농도에 따른 성장은 건물량에서 비례관계로 나타나는 것이 예상된다.

하지만 우리의 실험에서 수수에서는 25  $\mu\text{g/g}$  pot 뿌리에서 가장 많았고, 나머지는 예상과 다르게 반비례한 결과들이 나타났다. 이것은 식물이 성장함에 따라 인산이 필요하게 된다는 것을 의미하며, 인산의 농도와 내생균근의 형성은 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 실험의 결과는 내생균근의 형성과 식물의 성장은 반비례한 것으로, 내생균근의 중요성을 입증한 결과이다.

대두에서는 50  $\mu\text{g/g}$  pot 뿌리에서 가장 많은 생체량이 나왔고, 그 다음 100, 0, 25  $\mu\text{g/g}$  pot 뿌리 순으로 줄어든 값이 나타났으며, 이는 수수보다는 좀더 복잡한 mechanisms에 의해 대두의 성장이 나타난 것으로 판단된다. 그러나 0와 50  $\mu\text{g/g}$  pot 대두뿌리를 비교하였을 때는 수수와 유사한 결과가 나타난 것으로 고려된다. 본 실험의 결과로 본다면 내생균근의 침입은 토양속에 인산 함량과 관련이 있으며, 인산의 부족에 따른 내생균근의 형성이 반비례한다고 고려된다. 만약 우리의 실험에서 나온 결과와 본 추론이 옳다면, 식물 뿌리에 관련된 무기영양에서 내생균근은 중요하다. 즉 본 실험 및 다른 실험에서 사용 식물에게는 뿌리에서 내생균근이 침입과 성숙을 조절할 수 있는 system 이 있는 것으로 유추된다. 내생균근은 식물뿌리에 어떻게 침입하며, 침입된 내생균근은 어떻게 하여 식물 뿌리에서 성숙하며, 조절을 받는가 하는 의문점을 갖는다. 그러면 어느 정도의 인산량이 식물 뿌리내에 내생균근의 성숙을 조절하고 있는지 질문이 생긴다.

## 적 요

내생균근 포자를 많이 포함하는 토양을 이용하여, 내생균근과 식물의 성장 및 인산함량에 따른 내생균근의 뿌리 침입의 관계를 살펴 보았다. 사용된 수수의 경우 인산함량과 내생균근의 형성은 인산함량에 따라 이루어지지 않았으나, 내생균근 형성과 식물의 성장은 서로 비례하는 것으로 나타났다. 대두에서 내생균근의 침입은 첨가한 인산함량에 반비례하게 나타났다. 이러한 결과로 인산함량은 식물 뿌리에 내생균근의 침입 여부와 지대한 관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 식물 자체는 주변 환경에 따른 내생균근의 침입과 성장을 조절하는 것으로 고려되고 있다.

## 참고문헌

- Becker, W. N. and Hall, I. R., 1976. *Gigaspora margarita*, a new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* **4**: 155-160.
- Boerner, R. E. J. 1990. Role of Mycorrhizal fungus origin in growth and nutrient uptake by *Geranium robertianum*. *Amer. J. Bot.* **77**(4): 483-489.
- Gerdermann, J. W. and Nicolson, T. H., 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc* **46**: 235-244.
- Gerdermann, J. W. and Trappe, J. M., 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* No.5, p 76.
- Hall, I. R. and Fish, B. J., 1979. A Key to the endogonaceae. *Trans. Br. Mycol. Soc* **73**: 261-270.
- Hall, I. R. 1984. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi in pg 57-94: Powell, C. L. and D. J. Bagyoaray. Eds. *VA Mycorrhiza*. CRC. Boca Raton, Fl. p 334.
- James, H. Robert, G., Leonard, T. and Menge, J. A., 1981. Membrane mediated decrease in root exudation responsible for phorphous inhibition of VA Mycorrhiza Formation. *Plant Physiol* **68**: 54-64.
- Jensen, A. 1982. Influence of four vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth in Barley (*Hordeum vulgre*). *New Phytology* **90**: 45-50.
- Ka, K. H., Ryu, C. N. and Lee, S. S., 1990. Identification of several endomycorrhiazal fungi from the communities of *Cassia mimosoides* var. *nomame* Makino. *Korean. J. Plant Pathol.* **6**(1): 1-7.
- Knight, W. G., Allen, M. F., Jurinak, J. J. and Dudley, L. M., 1988. Elevated carbon dioxide and solution Phosphorus in soil with versicular arbuscular mycorrhizal Western Wheatgrass. *Soil. Sci. Am.* **53**: 1075-1082.
- McRenney, M. C. and Lindsey, D. L., 1987. Improved method for quantifying endomycorrhizal fungi spores from soil. *Mycologia* **79**: 779-782.
- Nicolson, T. H. and Gerdemann, J. W., 1968. Mycorrhizal *Endogone* species. *Mycologia* **60**: 313-325.
- Ohms, R. E. 1957. A flotation Method for collecting spores of a P hycomycetous mycorrhizal parasite from soil. *Phytopathology* **47**: 751-752.
- Ojala, J. C., Jarrel, W. M., Mange, J. M. and Johnson, E. L. V., 1983. Influence of mycorrhizal fungi on the mineral nutrition and yield of onion in saline soil. *Agronomy* **75**: 255-259.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S., 1970. Improved procedures for clearing roots and stuning parasitic and vesicular arbuscular Mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **55**: 158-161.
- Powell, C. L. and Bagyarat, D. J., 1984. VA Mycorrhizae. International Standard Book Number 0-8493-5694-6, pp. 6-29. Powell, C. L. and D. J. Bagyoaray. Eds. *VA Mycorrhiza*. CRC. Boca Raton, Fl. p 334.
- Schenck, N. C. 1982. *Method and Principles of Mycorrhizal Research*. The American Phytopathological Society 3340 Pilot Know Rd. St. Paul. MN 55121 p 200. p 244.
- Schenck, N. C. and Perez, Y., 1988. *Manual for the identification of VA-Mycorrhizal fungi*. 2nd. INVAM. Plant Pathology Department Univ. of Florida. p 241.
- Trappe, J. M. 1977. Three new endogonaceae: *Glomus constrictum*, *Sclerocystis clavispورا*, and *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon* **6**: 359-366.
- Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of Zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopathology* **72**: 1102-1109.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: Spore wall characteristics in species discriptions. *Mycotaxon* **18**: 443-455.

Accepted for Publication on June 9, 1992