

환경변화에 따른 내생균근 포자증식의 변화

이석구 · 엄안흠 · 이상선

한국교원대학교 생물학과

Population Changes of Arbuscular Mycorrhizal Spores in the Different Soil Environments

Seok-Koo Lee, An-Heum Eum and Sang-Sun Lee

Department of Biology, Korea National University of Education Chungbuk 363-890, Korea

ABSTRACT: The association of soil environments and sporulation of arbuscular mycorrhizae was investigated using pot cultures. Increased arbuscular mycorrhizal spores as well as the better growth of the host plants were observed when sorghum (*Sorghum bicolor*) was treated with different soil conditions using several fertilizers with different concentrations. For to five fold increase of sporulation of arbuscular mycorrhizae was noticed depending on the mycorrhizal species. Although there were some differences between the four arbuscular mycorrhizae species and the conditions of soil environments, maximum populations of spores were reached at about 30-40 days after cultivation. The populations of four arbuscular mycorrhizal species was individually fluctuated. Also, the growth rate of host plants were different from the fertilizers over 2-3 times, but the increase of spores were not influenced by it.

KEYWORDS: Pot culture, arbuscular mycorrhizae, enhancement, growth rate, fertilizer

내생균근에 관한 연구는 Thaxter (1922)가 Endogonaceae과에 4 속을 제안하고, 이어 Peyronel(1923)이 처음으로 Zygomycetes강, Endogonales목을 설정하여 이를 포함시킴으로 연구가 시도되었다. 조사결과 균근은 자연계에 일반적인 분포를 하고 있으며 식물에게 다양한 잇점을 주는 공생체로 알려져 있다 (Lindermann, 1988). Gerdemann (1964)의 보고에 의하면 옥수수에서 비균근식물보다 균근식물의 지상부위 건량이 약 4배의 증가를 보였으며, Gupta와 Janardhanan (1991)는 Palmarosa (*Cymbopogon martinii* var. *motia*)의 생체량이 3배 증가하였다고 보고한 바 있다. 이러한 균근식물의 성장도가 비균근식물에 비하여 뛰어난 이유는 균사를 통한 뿌리의 확장이 식물의 무기양분 흡수 능력증대 (Elmes and Mosse, 1984 ; Jenson, 1982 ; Jones and Hutchinson, 1985)와 뿌리 주변의 병원성 미생물에 대한 조절 (Schenck, 1981 ; Dehne, 1982) 등에 영향을 준다고 생각하였다. 내생균근 (Arbus-

cular mycorrhizae)은 농업적 잠재력이 매우 큰 유용한 접합균이라 할 수 있는 바 (Lindermann, 1988), 이에 대한 연구는 광범위한 분야의 학자들에 의해 분류 생태 및 생리적 측면에서 연구되어, 외국에서는 현재 이를 농경작에 응용하는 단계에까지 이르고 있다.

내생균근의 포자 증식에 관한 노력은 꾸준히 진행되어 왔는데, Schenck와 Kinloch (1980)는 목화, 대두, 땅콩, 옥수수, 수수, Bahiagrass 등을 7년간에 걸친 단일재배에서 얻은 결과, *Gigaspora*와 *Acaulospora*는 쌍자엽식물에서 비교적 높은 포자의 증가를 보인다고 보고하였다. 또한, 그들은 대부분의 *Glo-mus* 종은 단자엽식물에서 높은 포자증가가 이루어졌다고 하였다. 이러한 포자의 증식은 토양의 물리적 성질 (Sreenivasa and Bagyaraj, 1988), 온도 (Schenck and Schroder, 1974), 계절 변화 (Gemma and Koske, 1988 ; Louis and Lim, 1987), pH 등의 화학적요인 (Hayman and Tavares, 1985) 등에 의하여

영향을 받는다. 이처럼 내생균근의 포자 증식에 관여하는 요인은 여러가지가 있는데, 이에 대한 지식은 연구의 기초자료가 되는 동시에 농업적 응용을 위한 첫 단계인 것이다. 따라서 본 연구는 포자 증식의 적정조건을 찾고자 하는 목적의 하나로 비료의 종류와 농도를 달리하여 토양내 환경 변화를 주었을 때, 내생균근의 종별 포자증식에 어떠한 차이가 있는가를 관찰하여 그 결과를 보고하고자 한다.

材料 및 方法

토양의 채취 : Pots 구성을 위한 토양채취는 1 차 1991년 4월 30일과, 2차 1991년 9월 1일의 2회에 걸쳐 실시하였으며, 모두 충북 청원군 강내면 한국교원대학교 주변의 토양을 이용하였다. 이의 토양은 이미 본 실험실의 조사 관찰에 의하여 내생균근의 flora가 알려진 것을 채취하여 이용하였다 (가, 1991; 이등, 1991; 엄등, 1990). 일차 채취한 토양은 토양내 환경 변화의 요인자로 인산 즉, 시약용의 KH_2PO_4 (Junsei Chemical Co.)를 사용하는 실험으로 인산에 따른 내생균근의 포자들의 증식을 관찰하였다. 이차 채취토양은 토양내 환경변화의 요인자로 농협을 통하여 농가에 보급되는 비료 (동상실업에서 제조한 수도이삭 거름용, 남해화학에서 제조한 수도 이모작용과 밀,웃 거름용의 세 종류 비료를 구입)를 이용하는 실험의 Pots 구성용으로 이용하였다.

Pots의 구성 : 높이가 8.5 Cm, 입구 구경이 9 Cm, 하면의 지름이 6 Cm의 비닐 Pots를 이용하였다. 위와 같이 채취한 토양을 0.5 Cm의 채를 이용하여 거친 자갈을 포함한 기타 잡다한 이물질을 제거한 다음 400 g을 달아 넣고 식물을 심었다. 채집된 토양은 암소에 보관하였으며, 대부분의 경우는 짧은 시간 (채취후 3일 이내) 내에 Pots를 구성하고 포자의 분포상태를 조사하였다.

숙주식물 및 재배 : 숙주식물로는 충남 태안군의 농가에서 재배하는 수수 (*Sorghum bicolor* Moench) 씨앗을 구입하여 이용하였다. 씨앗의 발아는 Petri dish에서 실시하였는데, 지름 8.5 Cm, 높이 1.5 Cm의 Petri dish에 거름종이를 깔고, 씨앗을 Petri dish당 30-40개를 배치하고 각 씨앗의 1/3 정도가 잠길 정도로 증류수를 채워 넣었다. 이를 Incubator에 옮겨 25°C 를 유지하여 발아 시킨 다음, Pot당

3개씩 이식하였다. 이식 당시의 식물은 발아 3일 이내의 것을 이용하였다. 이상과 같이 준비된 Pots는 온실에 옮겨져 1 차의 인산을 이용한 실험은 1991년 5월 15일부터 1991년 8월3일까지, 2차의 비료를 이용한 실험은 1991년 9월 9일부터 1991년 1월 12일까지 각각 80일과 64일간에 걸쳐 Pot Culture 하였으며, 이들에 한번씩 충분한 수분을 공급하였다.

환경변화요소 : 1차 인산실험의 재료원은 KH_2PO_4 (Junsei Chemical Co.)를 이용하였고, 2차 비료실험의 재료원은 농협협동조합을 통하여 농가에 보급되는 비료로 N-P-K의 포함 비율이 N=18%, K=18%인 18-0-18 (동상실업에서 제조한 수도이삭 거름용)과 N=21%, P=17%, K=17%인 21-17-17 (남해화학주식회사에서 제조한 수도 이모작용) 그리고 K=60%인 0-0-60 (남해화학주식회사에서 제조한 결실을 좋게하는 밀·웃거름용)의 세 종류를 이용하였다. 일차실험에서는 인산의 농도가 토양 g 당 50 μg 과 200 μg 으로 식물이식 전에 공급하였다. 이차의 비료실험에서는 비료의 종류별로 400 g Pot 당 각각 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g, 0.5 g의 다섯으로 구분하여 실시하였으며, 인산을 이용한 실험과 마찬가지로 Pot 구성 초기에 물에 용해시켜 1회 시비하였다.

조사내용 및 방법 : 내생균근 포자의 populational fluctuation이 토양내 환경 조건에 따라 어떻게 변화하며 숙주식물의 생장률과는 어떠한 관련성이 있는가를 알아보기 위하여 다음과 같이 조사하였다. 인산 (KH_2PO_4)을 재료원으로 한 실험에서는 80일간 Pot culture 하면서 10일간격으로 나누어 포자의 종류별 변화상태를 조사하였으며, 비료를 재료원으로 한 실험에서는 30일, 47일, 64일의 3회에 걸쳐 포자 종별 변화상태 및 숙주식물의 생체량을 측정하였다. 포자의 변화 상태는 50% Sugar solution을 이용한 Centrifuge 방법 (가, 1991)을 이용하여 토양 10 g 속에 포함된 포자의 수를 헤아려 계산하였으며 각각 2회 반복한 평균 값으로 나타내었다. 또한 숙주식물의 생체량은 전자저울을 이용하여 뿌리와 줄기를 합쳐 계산하였으며, 물을 이용하여 뿌리의 흙을 씻어낸 다음 휴지로 물기를 흡수 시키는 방법으로 물기를 제거한 다음 한시간 이내에 측정하였다.

結 果

채집토양의 관찰 : 교원대학주변에 있는 이미 알려진 토양에 대한 내생균근의 프로라 파악은 본 실험실 선행연구를 통하여 이루어졌다 (가, 1991). 이때 내생균근의 포자는 다른 많은 포자들 즉 본 실험에서 썬하지 않은 포자들도 있었으나, 해부현미경상의 구별이 어려워 사용치 않았다. 각 포자의 특징에 있어서는 *Scutellospora heterogama*와 *Sc. verucosa*는 모양이 비슷한 구형을 이루고 있지만 그 크기면이나 해부현미경상에서의 포자의 색깔에서 쉽게 구분되었다. 대개 밝은 선홍색을 띠는 것이 *Sc. heterogama* 이며 *Sc. verucosa*는 검은색을 띠며 크기도 컸다 (Table 2와 Fig. 1). *Sc. calospora*와 *Gigaspora magarita*는 다 같이 구형 또는 타원형으로 해부현미경상에서 흰색계통을 나타내지만, 그 크기에 있어서 그리고 포자를 깨었을 때 Wall group의 수

등으로 쉽게 구분이된다 (Table 2). 특히, 발아방패 (Germination shield)가 *Sc. calospora*에서 포자를 깨지 않고도 현미경상에서 아주 선명하게 나타나 구별이 용이하였다 (Fig. 1). 이차에 걸쳐 채취한 토양에는 모두 2속 4종 (*Scutellospora heterogama*, *Sc. verucosa*, *Sc. calospora*, *Gigaspora magarita*)의 포자들이 서로 다른 빈도를 가지고 분포하였다 (Table 1). 채집된 토양에는 두 토양 모두 *Sc. heterogama*의 빈도가 비교적 높게 분포하고 있었으며, *Gi. magarita*는 2회 반복된 포자관찰에서 거의 발견되지 않았다 (Table 1). 또한, 이차 채집된 토양에서는 *Sc. calospora*의 빈도 역시 2회 반복의 포자관찰에서 발견되지 않았다 (Table 1).

인산농도에 따른 포자 증식의 변화 : 환경의 변화 요인자로 인산 (KH_2PO_4)을 이용한 실험에서 토양 g 당 인산의 처리량을 50 μg 과 200 μg 의 둘로 나누어, 발아된 수수 (*Sorghum bicolor*)를 이식하여

Table 1. Arbuscular mycorrhizal flora in the soil collected^a.

Date ^b	Arbuscular mycorrhizal flora				
	Sc. he ^c	Sc. ve	Sc. ca	Gi. ma	Total
1991. 4. 30	1.5	0.5	1.0	0.0	3.0
1991. 9. 1	2.0	0.5	0.0	0.0	2.5

^aThe number of Arbuscular mycorrhizal spores counted in the 10 gram of soils collected around Korea National University of Education.

^bThe date of soil collection from the known soils.

^c*Scutellospora heterogama*, *Sc. verucosa*, *Sc. calospora*, and *Gigaspora magarita*, individual spores, respectively.

Table 2. Characteristics of the four arbuscular mycorrhizal spores employed in this experiment^a.

Species ^b	Size ^c	Shape ^c	Color	Subtending hyphae/size ^c	Wall group ^c	Germ sheild ^{c,d}	Melzer's reaction ^e
Sc. he	157-300 μm	Globose	Red	bulbose/37-45 m	2	+	No
Sc. ve	310-490 μm	Globose	Dark	bulbose/60-70 m	2	+	No
Sc. ca	(200-) 230-290 μm	Mostly globose	Transpar- ent white	bulbose/25-45 m	2	+	Yes, red
Gi. ma	255-510 \times 340-410 μm	Globose/ Ellipsoide	White	bulbose/45-55 m	1	-	Yes, red

^aFour species of arbuscular mycorrhizae collected from the soils around the Korea National University of Education and identified by Ka (1991).

^b*Scutellospora heterogama*, *Sc. verucosa*, *Sc. calospora*, and *Gigaspora magarita* marked, respectively.

^cMicroscopic Observations under 50, 128, 200, 320, 800 x.

^dObservations of the germ sheild: "+", present and "-", absent.

^eReactions with Melzer's reagent: "No" indicated not reacted, and "Yes, red" reacted and turn to the color the red.

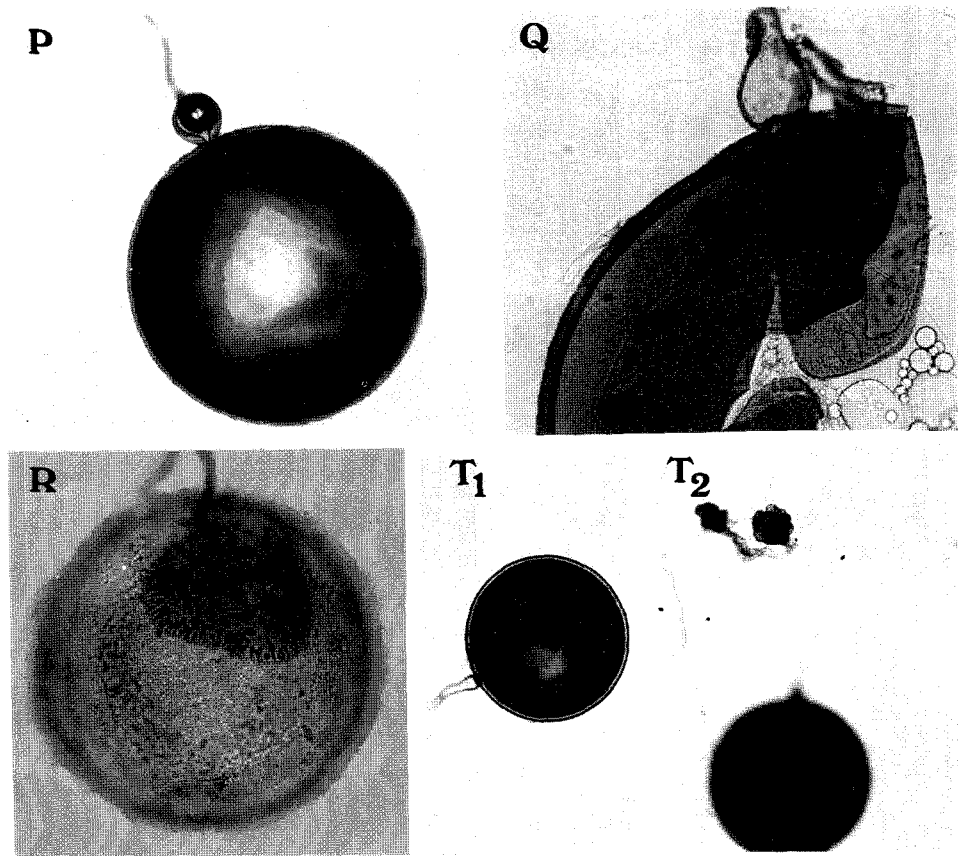


Fig. 1. Azygospores of four arbuscular mycorrhizal spores employed in this experiments; *Scutellispora heterogama*, Q: *Scutellispora verucosa*, R: *Scutellispora calospora* and T: *Gigaspora margarita* spores(T₁) and spore and auxillary cells (T₂) observed under microscope 400 x.

포자 및 생체증가를 관찰하였다. 이를 각각 80일간에 걸쳐 온실에서 푼트배양하면서 10일 간격으로 포자의 변화 상태를 조사한 결과 그 증가에 있어서 어떤 규칙성을 갖음을 관찰 할 수 있었다 (Fig. 2). 내생 균근의 포자는 처음 토양속에 있었던 값의 상대적인 숫자로 표현하였다. 즉, 처음 발견된 포자의 수 (Table 1)에 여기에 나타난 수를 곱하면 실제 관찰한 값이 나온다.

50 µg P/g soil의 경우 총 포자의 수에 있어서 30일째를 중심으로 포자가 증가 되었다가 줄어드는 뚜렷한 변화를 볼 수가 있었으며 60일째에 포자의 수가 최소로 줄었다가 80일째 다시 그 증가가 높게 나타남을 볼 수 있었다 (Fig. 2-R). 처음 토양내 포자의 분포와 비교해 볼 때 60일째 경우에는 1/3 정도로 줄어든 것으로 나타났지만, 대부분 증가된

양상을 띠었고 약 2배 이상의 증가를 보인 경우가 많았다 (Fig. 2). 이를 각 포자 별로 보았을 때 *Sc. heterogama*는 30, 40, 50일째에 비교적 높은 포자의 증가상태를 보여주었으며, 60일째는 포자의 증가가 낮게 나타나 총 포자의 변화 상태와 거의 일치하고 있음을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2-S). 그러나, 80일째의 포자 상태가 총 포자의 변화에서 높게 나타났는데 비하여 낮게 나타나 차이가 있었다 (Fig. 2-S). *Sc. verucosa*의 경우 최고 증가 시기가 40일째에 나타났으며 80일째 또다시 그 증가가 높게 나타남을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2-T). 날짜에 따른 전체적인 변화상태에 있어서 총 포자의 변화 상태와 유사한 모형을 보이고 있으나 총 포자의 증가가 30일째 높게 나타남에 따라, 40일째 나타남이 큰 차이를 보였다 (Fig. 2-R,T). 처음 포자 분포와 비교해 볼 때, 높게는

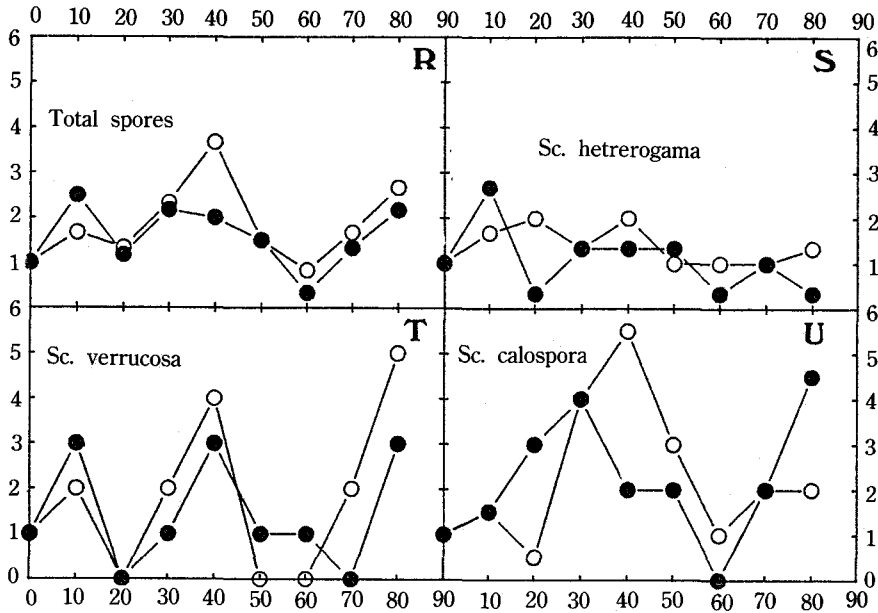


Fig. 2. The fluctuations of arbuscular mycorrhizal spore populations on the different concentrations of PO₄ artificially provided under pot cultivations; The curves of the dark circle filled indicated the relative population of arbuscular mycorrhizal spores counted from the sorghum pots under phosphate given at the level of 50 mg /g and the curves of the circle indicated the relative population of arbuscular mycorrhizal spores counted from the sorghum pots under phosphate given at the level of 200 mg /g.

약 3배의 증가를 보이기도 하였다 (Fig. 2). *Sc. calospora*의 경우 포자의 증가가 30일째 높게 나타났으며, 그것이 80일째 다시 반복됨을 관찰 할 수 있었다 (Fig. 2-U). 60일째의 포자상태는 처음 토양내의 분포와 비교해 볼 때 줄어든 경향을 보여 주었으며 최대는 4.5배까지도 포자가 증가됨을 관찰 할 수가 있었다 (Fig. 2). 이상을 종합하여 볼 때, 50 µg P/g soil의 인산 실험에서 총 포자의 변화 상태와 각 포자의 변화 상태의 비교에서는 거의 같은 규칙성을 보이고 있으며 그중에서도 *Sc. calospora*가 가장 접근된 모습을 보이고 있음이 관찰되었다 (Fig. 2).

200 µg P/g soil의 경우 총 포자의 변화 상태를 보면 40일째를 중심으로 증가하였다가 감소하는 경향을 보였으며 80일째 또다시 높게 나타나는 경향을 띠었다 (Fig. 2). 역시 포자의 변화가 가장 낮게 나타나는 시기는 60일째임을 알 수 있었다 (Fig. 2). 처음의 총 포자수와 비교 해 볼 때 60일째는 오히려 감소한 경향을 보이고 있지만, 그 외의 모든 시기에 증가된 상태로 나타났으며 높게는 4배 가까이 총 포자수 증가를 나타내었다 (Fig. 2). 이를 포자의 중

별로 세분하여 살펴보면 그 경향성에 있어서 거의 유사함을 관찰할 수 있었다. 우선 *Sc. heterogama*를 살펴보면 전체적으로 볼 때 변화의 폭이 좁게 나타났지만 총 포자수 변화의 어떤 (?) 규칙성에서 크게 벗어나지는 않았다 (Fig. 2-R,S). 처음의 포자수와 비교해 볼 때 약 2배정도의 증가를 보이고 있어, 총 포자의 경우 4배와 비교 해 볼 때 상당히 낮은 수준임이 관찰되었다 (Fig. 2). *Sc. verrucosa*의 경우 40일째와 80일째에 포자의 증가 상태가 가장 높게 나타났으며 변화의 폭이 다른 포자들에 비하여 상당히 크게 나타났다 (Fig. 2-T). 처음 토양내의 포자수와 비교해 볼 때 5배까지도 증가되었음을 관찰 할 수 있었다 (Fig. 2). *Sc. calospora*의 경우 40일째 포자의 증가 폭이 가장 높게 나타나, 처음 포자의 분포수와 비교해 볼 때 5.5배의 증가치를 기록했다 (Fig. 2-U). 따라서 200 µg P/g soil의 경우 총 포자수의 변화 상태와 각 포자의 변화 상태는 포자간에 약간의 차이는 보이고 있으나 거의 일치함을 볼 수 있었다 (Fig. 2).

이상을 종합해 볼 때 50 µg P/g soil의 경우와

Table 3. Arbuscular mycorrhizal spores counted after 30 days' cultivation of sorghum in the small pots^a.

Species ^c	C ^d	18-0-18 ^b					21-17-17					0-0-60					N:F ^f
		0.1 ^e	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
Sc. he	2.0	1.5	2.5	1.0	2.5	3.5	2.0	1.5	4.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.5	3.0	2.0
Sc. ve	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	2.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5
Sc. ca	0.0	2.5	3.0	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	4.5	1.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0
Total ^g	2.5	5.5	7.0	5.5	6.0	7.0	6.0	6.0	10.5	4.0	3.5	4.5	6.5	5.5	4.5	6.0	5.5
Biomass ^h	-	0.59	0.71	0.68	0.47	0.66	1.11	1.82	1.21	2.30	0.58	0.68	0.99	0.95	0.71	0.85	0.54

^aThe relative populations of arbuscular mycorrhizal spores per 10 gram of soil. The actual value was the values multiplied by the values of control. Each value resulted from the average value of triple replications.

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

^cThe arbuscular mycorrhizal spores of *Scutelospora heterogama*, *Sc. verucosa*, and *Sc. calospora* counted. The arbuscular mycorrhizal spores of *Gi. margarita* was not counted because of less than one as the actual populations.

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

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

^fNo fertilizer treatments.

^gThe populations of *Gigaspora margarita* spores included.

^hThe grams per individual host plants.

200 µg P/g soil의 경우 모두에서 포자의 변화 상태에 어떤 규칙성이 있음을 발견 할 수 있었으며 전자는 30일 경에 포자의 증가가 높게 나타났고, 후자의 경우 그 시기가 40일째로 약간 늦추어진 경향을 보이고 있었다 (Fig. 2). 또한 두 경우 모두 80일째로 접근되면서 다시 포자의 증가가 높게 나타나기 시작한다는 규칙성을 보이고 있었다(Fig. 2).

비료에 따른 포자 증식의 변화 : 환경 변화의 요인자로 비료를 이용한 경우 질소 (N), 인산 (P), 가리 (K)의 비율이 서로 다른 세 종류의 비료를 이용하였으며, 그 각 비료에 따라 다시 농도별로 5 등분하여 실험을 실시하였다. 이를 30일, 45일, 64 일의 세 시기에 걸쳐 포자의 변화 상태와 숙주식물의 성장 상태를 비교 관찰 하였다. 30일째의 관찰 결과인 Table-3를 보면 18-0-18 비료의 모든 농도에서 총 포자의 수가 처음 토양내 내생균근 분포수에 비하여 증가된 상태로 관찰 되었으며 낮게는 약 2 배에서 높게는 3배까지 증가됨을 보여 주었다. 그러나 농도에 따른 총 포자수의 변화에 있어서 큰 차이는 발견할 수가 없었다. 각 농도별 총 포자의 증가 상태에 주로 영향을 미친 포자는 *Sc. calospora*로 관찰되었으며 *Sc. verucosa*는 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 21-17-17의 비료에서는 농도에 따라 처음 토양내 총 포자의 수와 비교하여 볼

때 큰 변동을 보여주고 있음을 관찰 할 수 있었다. 즉, 400 g 토양에 0.5 g의 비료를 첨가한 경우에 처음 2.5개에서 3.5개로 1.4배 정도의 포자 증가를 보였 음에 비하여 0.3 g 이 첨가된 토양에서는 2.5개에서 10.5개로 무려 4배 이상의 총 포자 증가를 보이고 있음이 관찰되었다. 이때 총 포자수의 증가에 있어서 주로 역할을 한 것은 *Sc. heterogama*와 *Sc. calospora*로 관찰되었다. 또한 숙주식물의 생체량에 있어서는 0.4 g 이 첨가된 토양에서 가장 높게 나타 났음에도 불구하고 포자의 증가는 비교적 낮은 4.0 개로 나타났다. N-P-K의 비율이 0-0- 60의 비료에서 총 포자의 증가에 있어서 처음 토양내의 분포에 비하여 높게는 2.5배 정도의 증가를 보이고는 있었 으나 농도간의 증가 폭에 있어서의 차이는 별로 없는 것으로 나타났다. 이러한 비료의 종류별 총 포자수를 합쳐 보았을 때 18-0-18에서는 31개, 21-17-17에서는 30개, 그리고 0-0-60에서는 27개로 관찰되어 평균 적으로 볼 때 비료의 종류별 포자 증식의 특이적 효과는 없는 것으로 나타났다. 이는 비료를 첨가하지 않은 경우의 총 포자수 5.5개와 비교해 볼 때도 특별한 차이를 보이지 않는 것으로 관찰되었다. 또한 세 종류의 비료중에서 숙주식물의 성장도가 가장 높은 것은 비료의 3 요소가 잘 갖추어진 21-17-17로 나타났으며, 다른 비료에 비하여 생체량에 있어서

Table 4. Arbuscular mycorrhizal spores counted after 47 days' cultivation of sorghum in the small pots^a.

Species ^c	C ^d	18-0-18b					21-17-17					0-0-60					N:F ^e
		0.1 ^e	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
Sc.He	2.0	2.0	2.0	1.0	2.5	1.5	1.5	0.0	0.5	1.5	2.5	0.5	0.5	1.5	0.0	1.0	1.5
Sc.Ve	0.5	0.5	0.5	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	0.5
Sc.Ca	0.0	1.0	1.0	1.5	1.5	3.0	2.5	0.5	3.0	2.0	1.0	0.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.0
Total ^f	2.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.5	5.5	0.5	4.0	5.5	3.5	1.5	5.0	4.0	4.0	4.5	4.5
Biomass ^h	0.74	1.63	0.74	1.81	0.79	1.22	2.98	2.85	3.71	2.16	0.95	1.39	0.56	1.48	0.69	0.64	

^aThe relative populations of arbuscular mycorrhizal spores per 10 gram of soil. The actual value was the values multiplied by the values of control. Each value resulted from the average value of triple replications.

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

^cThe arbuscular mycorrhizal spores of *Scutelospora heterogama*, *Sc. verucosa*, and *Sc. calospora* counted. The arbuscular mycorrhizal spores of *Gi. margarita* was not counted because of less than one as the actual populations.

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

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

^fNo fertilizer treatments.

^gThe populations of *Gigaspora margarita* spores included.

^hThe grams per individual host plants.

평균 2배 정도의 성장을 보였다. 그러나 내생균근의 총 포자수 증가에 있어서는 차이가 없었으며 21-17-17의 0.3 g이 첨가된 경우를 제외하고는 오히려 줄어든 경향을 보이고 있었다. 18-0-18과 0-0-60의 비료간에는 숙주식물의 생체량이나 포자 증가에 있어서 별 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 또한 비료를 첨가하지 않은 경우와 비교 할 때도, 18-0-18과 0-0-60의 경우는 숙주식물 생체량에 있어서 약간 높게 나타났음에 비하여 포자의 증가는 차이가 없었다. 이상 30일째의 관찰 결과로 볼 때 21-17-17의 농도 0.3 g에서 10.5개의 포자수를 나타내 상당히 높은 비율의 포자 증가를 나타내고 있지만 전체적으로 볼 때 비료의 종류별 내생균근의 총 포자 증가상태, 숙주식물의 성장도에 따른 총 포자의 변화 상태등에는 별 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 다음 47일째의 관찰 결과인 Table-4를 보면, 18-0-18의 경우 처음 토양내에 분포한 내생균근의 총 포자수에 비하여 모든 농도에서 증가된 상태를 보였지만 모두 2배에도 못미치는 비교적 낮은 증가 상태를 나타냈다. 또한 농도를 달리한 토양의 총 포자수가 4.0 개에서 4.5개로 고른 분포를 하고 있어 이용된 비료의 농도가 내생균근 포자수 증가에 어떤 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. 0-0-60의 경우 역시 농도 0.1 g을 제외하고는 농도에 관계없이

고른 포자의 분포를 나타내었다. 이외는 달리 21-17-17 비료의 경우 특이하리 만큼 농도 0.2 g에서 낮은 포자의 분포를 나타내고 있었으며, 다른 두 비료에 비하여 농도가 다른 경우에 비교적 포자의 분포상태에 높은 차이가 있음이 관찰되었다. 각 비료의 종류별 생체량을 비교 해보면 18-0-18과 0-0-60간에는 별 차이를 보이고 있지 않았으나, 21-17-17은 이들에 비하여 2배 이상의 성장도를 나타냈다. 그러나 각 비료의 농도별 총 포자수를 더한 수치가 18-0-18은 21개, 21-17-17은 19개, 0-0-60은 19개로 생체량과 포자의 증가는 상관이 없는 것으로 나타났다. 또한 비료를 첨가하지 않은 경우와 비교해 보았을 때 숙주 식물의 생체량에 있어서는 세 비료 모두에서 높게 나타나고 있음에도 불구하고 포자의 분포에는 차이가 별로 없었다. 64일째의 관찰 결과인 Table-5에서 숙주 식물의 생체량에 있어서 18-0-18과 0-0-60의 두 경우에서는 같게 나타났으나 21-17-17의 경우에는 앞의 두 비료에 비하여 3배 이상의 성장도를 보여주었다. 그러나 각 비료의 농도별 총 포자수를 합쳐보면 18-0-18의 경우는 22개, 21-17-17의 경우는 15.5개, 0-0-60의 경우는 26.5개로 나타나 생체량이 증가된 21-17-17의 비료에서 오히려 평균적으로 감소된 포자수가 관찰되었다. 이는 비료를 첨가하지 않은 상태에서의 포자수 증가에도

Table 5. Arbuscular mycorrhizal spores counted after 64 days' cultivation of sorghum in the small pots^a.

Species ^c	C ^d	18-0-18 ^b					21-17-17					0-0-60					N.F ^f
		0.1 ^e	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
Sc.He	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	0.0	1.5	1.0	3.0	1.5	1.5	3.0	1.5
Sc.Ve	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	1.5	0.0	1.0	0.5	1.5	0.0	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	0.5
Sc.Ca	0.0	0.0	2.0	2.0	3.0	1.5	1.5	0.0	2.0	0.5	1.5	2.5	1.0	1.5	2.5	1.5	1.5
Total ^g	2.5	3.0	6.0	4.0	4.5	4.5	2.5	3.5	4.0	2.0	3.5	4.0	6.0	4.5	6.5	5.5	4.5
Biomass ^h	1.20	1.18	1.29	1.49	0.39	2.66	2.13	3.01	5.42	6.16	1.01	1.28	1.48	1.45	0.34	0.79	

^aThe relative populations of arbuscular mycorrhizal spores per 10 gram of soil. The actual value was the values multiplied by the values of control. Each value resulted from the average value of triple replications.

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

^cThe arbuscular mycorrhizal spores of *Scutelospora heterogama*, *Sc. verrucosa*, and *Sc. calospora* counted. The arbuscular mycorrhizal spores of *Gi. margarita* was not counted because of less than one as the actual populations.

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

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

^fNo fertilizer treatments.

^gThe populations of *Gigaspora margarita* spores included.

^hThe grams per individual host plants.

적은 숫자를 나타냈다. 여기서 가장 특이한 것은 수수의 생체량 증가와 내생균근의 포자수 증가는 일치하지 않고 반비례하는 경향이 있다.

考 察

일차의 인산 실험과 이차의 비료 실험을 통하여 볼 때 몇가지의 특성을 찾아 볼 수가 있었다. 우선 일차의 인산실험의 결과로 볼 때 인산의 농도가 다른 경우 내생균근 포자의 증가가 높게 나타나는 시기에 있어서 약간의 차이가 있음을 알 수가 있었다. 즉, 내생균근 총 포자수로 볼 때 50 µg P/g soil의 경우 30일째 높은 증가치를 보였지만, 200 µg P/g soil의 경우는 그 시기가 40일째로 늦추어져 나타남을 볼 수 있었다 (Fig. 2). 이는 토양내 인산의 농도가 높은 경우에 포자의 증가가 비교적 시기적으로 더 늦게 나타났으며 동시에 더 높은 포자수를 유도하고 이러한 증가의 주기적 경향이 더 긴 시간을 두고 진행됨을 나타냈다. 또한 종에 따라 다소 차이는 있지만 평균적으로 볼 때 인산의 농도가 높은 경우에 포자의 변동폭이 높게 나타났으므로 (Fig. 2), 인산은 내생균근의 포자 증식이 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

이차 비료 실험에서 30일, 47일, 64일의 세 시기에

나누어 수확한 경우의 포자 증가 경향도 일차 인산 실험의 결과와 비교 하여 볼 때 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 즉, 세 시기중 30일째의 총 포자수가 다른 시기에 비하여 상당히 높은 수로 관찰이 됨을 볼 수 있었다. 또한 포자의 증가 상태와 생체량을 비교해 볼 때 관련성이 없었다 (Tables 3,4,5). 이는 비료의 3 요소가 고루 갖추어져 있어 숙주식물의 성장도를 높게 나타낸 21-17-17 비료나 다른 두 비료에 의해 얻어진 내생균근의 총 포자수면에서 별 차이가 없음에서 잘 알 수 있었다 (Table 6). 그러나 각 시기별로 볼 때 주목해야할 점이 두가지 있었다. 즉, 그 첫째는 세 종류 각각의 비료마다 농도를 달리 하였을 때 나타나는 내생균근 포자수의 변동폭이다. 30 일째의 경우 18-0-18과 0-0-60의 비료에서 각 농도에 따른 총 포자수를 비교해 볼 때 그 변동폭이 21-17-17 비료의 각 농도에 따른 총 포자수의 변동폭에 비하여 상당히 낮음을 알 수 있었다 (Table 3). 이러한 경향은 47일째와 64일째에서도 마찬가지로 나타났다 (Table 4,5). 두번째 점은 비료의 종류에 따라 나타나는 각 시기간의 포자수 변동이다. 세 시기간의 포자수 변동이 가장 큰 것은 21-17-17 비료에서 였다. 즉, 21-17-17 비료에서 30일째의 각 농도별 포자의 총합을 구해 보면 30개였는데 47일째에는 19개, 64일째에는 15.5개로 무려 1/2로 감

Table 6. Comparison with total VA spores and biomass.

	18-0-18 ^a							21-17-17					0-0-60				
Spore ^b	7.5	13.0	17.0	13.5	14.5	16.0	14.0	10.0	18.5	11.5	10.5	10.0	17.5	14.0	15.0	16.0	14.5
Biomass ^c	—	2.53	3.52	2.71	3.77	1.84	4.99	6.93	7.07	11.43	8.90	2.64	3.66	2.99	3.64	1.88	1.97

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

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

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

^dNo fertilizer treatments.

^eSum of the arbuscular mycorrhizal spores counted at 30, 47 and 64 days' pot cultures.

^fSum of the individual plant biomasses grown at 30, 47 and 64 days' cultures.

소된 결과를 보여주고 있는 것이다 (Table 3,4,5). 이상의 두가지 특징적인 현상으로 볼 때, 내생균근 포자와 인은 관련성이 있음을 나타내고 있었다. 비료의 성분조성으로 볼 때, 21-17-17 비료는 다른 두 비료에 첨가되지 않은 P 이 들어 있는 것이다. 이는 내생균근이 숙주식물에게 주는 잇점에 관한 연구에서 P (Sanders and Tinker, 1971; Rhodes and Gerdemann, 1975), Zn (Gerdemann, 1964; Brown et al., 1974;), Cu (Gerdemann, 1964; Brown et al., 1974), N과 K (Possingham and Groot-obink, 1971) 등의 무기 영양소를 이동시켜 식물의 흡수를 촉진시키는 것이 그 중요 잇점이라고 보고 하였는 데, 그중에서도 가장 현저한 것이 P 으로 다른 영양소에 비하여 그 결핍을 개선하는 데 효과적이라는 (Koske and Polson, 1984; Kothari et al., 1991) 연구 결과로 미루어 볼 때 충분히 이를 뒷받침 한다 하겠다. 21-17-17 비료에서 얻은 포자의 시기별 변화 추세는 일차 인산 실험의 결과와도 다른 두 비료에서 얻은 결과에 비하여 상당히 접근된 모습을 보여주고 있었다.

또한 본 실험의 결과에서 포자증식이 많이 된 토양내 환경 조건과 시기를 보면 *Sc. heterogama*는 토양 g 당 200 μ g의 P를 첨가하여 40일이 지났을 때 (2배)와 21-17-17 비료를 400 g 토양에 0.3 g을 첨가하여 30일이 지났을 때 (약 2배) 각각 나타났다 (Fig. 2, Table 3). *Sc. verucosa*는 토양 g 당 200 μ g의 P이 첨가되어 40일이 지났을 때 (4배)와 80일이 지났을 때 (5배) 나타났으며, 400 g 토양에 21-17-17 비료 0.2 g을 첨가하여 Pot culture 한 30일째 (4배)와 0-0-60 비료 0.4 g을 첨가하여 64일째 (4배)가 되었을 때 나타났다 (Fig. 2, Table 3,5). 또한 *Sc. calospora*는 토양 g 당 50 μ g의 P이 첨가된 30일째(4배)

와 200 μ g의 P이 첨가된 40일째 (5.5배)에 그 증가가 높게 나타났으며, 21-17-17의 비료를 400 g 토양에 0.3 g을 첨가하여 30일이 되었을 때 (4.5배 이상) 아주 높은 증가를 보이고 있음이 관찰되었다 (Fig. 2, Table 3). 총 포자수의 관점에서 볼 때 가장 증가된 시기는 토양 g 당 200 μ g의 P를 첨가하여 40일이 경과한 시기 (3.67배)와 21-17-17의 비료를 토양 400 g에 0.3 g을 첨가하여 30일이 되었을 때 (4배 이상) 나타났다 (Fig. 2, Table 3). 이상으로 볼 때 토양 g 당 50 μ g의 P이 첨가된 10일째의 포자 수치와 같은 난해한 문제점도 있었으나 대개 Pot culture 후 30-40일 아니면 그의 배수가 되는 시기에 높은 포자 증가를 예상할 수 있다. 또한 포자 증식을 목적으로 할 경우 토양내에서의 P의 중요성을 충분히 고려해야만 하겠다.

摘 要

내생균근 2속 4종 (*Scutellospora heterogama*, *Sc. verucosa*, *Sc. calospora*, *Gigaspora margarita*)의 포자가 분포한 토양을 채집하여 Pots를 구성하고 그 토양내 환경(거름의 종류와 농도)을 달리하여 숙주 식물(수수)을 키우면서 시간별 포자수 증가 상태와 식물 성장도를 조사하였다. 그 결과 포자수 증가면에 있어서 최고 4배이상의 증가치를 관찰하였고 포자 종에 따라서는 5배 이상의 포자수 증가를 볼 수 있었다. 그리고 포자증가치가 가장높게 나타나는 시기는 중간,인산의 농도간에 약간의 차이는 있었으나 대개 30-40일경에 나타났고 이러한 높은 포자 증식 상태가 주기적 경향을 띠을 볼 수 있었다. 또한 숙주식물의 생체량은 거름의 종류에 따라 2-3배 이상의 성장도 차이를 나타내는 경우가 있었으나 전체

포자수 증가에 있어서는 별차이가 없었으며 오히려 감소된 경향을 관찰할 수 있었다.

参考文献

- Brown, R. T. and Mikola, P. 1974. The influence of fructicose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. *Acta. for. fenn.* 141. 23p.
- Dehne, H. W. 1982. Intraction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* 72: 1115-1119.
- Elmes, R. P. and Mosse, B. 1984. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal inoculum production. . Experiments with maize(*Zea mays*) and other hosts in nutrient flow culture. *Can. J. Bot.* 62: 1531-1536.
- Frank, A. B. 1885. Über die auf Wurzel symbiose beruhende Ern hrung gewisser Bäume durch unter erdische Pilze. *Ber. dt. bot. Ges.* 3: 128-145.
- Frank, A. B. 1887. ber neue Mykorrhiza-formen. *Ber. dt. bot. Ges.* 5: 395.
- Gemma, J. N. and Koske, R. E. 1988. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. *Mycologia* 80(2): 211-216.
- Gerdemann, J. W. 1964. The effect of mycorrhizas on the growth of Maize. *Mycologia* 56: 342-349.
- Gupta, M. L and Janardhanan, K. K. 1991. Mycorrhizal association of *Glomus aggregatum* with palmarosa enhances growth and biomass. *Plant and Soil* 131: 261-263.
- Hayman, D. S. and Tavares. M. 1985. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. . Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* 100: 367-377.
- Jenson, A. 1982. Influence of four vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth in Barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytol.* 90: 45-50.
- Jones, N. D. and Hutchinson, T. C. 1985. The effect of mycorrhizal infection on the response of *Betula paryrifera* to Nickel and Copper. *New Phytol.* 102: 429-442.
- Koske, R. E. and Polson, W. R. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization. *BioScience* 34(7): 420-424.
- Kothari, S. K., Marschner H. and Romheld, V. 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.
- Lindermann, R. G. 1988. VA (Vesicular-Arbuscular) mycorrhizal symbiosis. *Plants & Animals* 1: 183-188.
- Lindermann, R. G. 1988. Mycorrhizal interactions with the Rhizosphere Microflora : The Mycorrhizosphere Effect. *The American Phytopathological Society* 78(3): 366-371.
- Louis, I. and Lim, G. 1987. Spore density and root colonization of vesicular-arbuscular mycorrhizas in tropical soil. *Trans. Br. mycol. Soc.* 88(2): 207-212.
- Peyronel, B. 1923. Fructification de I. endophyte a arbuscular et a vesicles des mycorrhizes endotrophes. *Bull. Soc. Mycol., France* 39: 119-126.
- Possingham, J. V. and Groot-Obbink, J. 1971. Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis.* 10: 120-130.
- Reiscek, S. 1847. Endophyten der pflanzenzelle. *Naturw. Abh.* (Ed. W. Haidinger). 1: 31 only.
- Rhodes, L. H. and Gerdemann, J. W. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytol.* 75: 555-561.
- Sanders, F. E. and Tinker, P. B. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by *Endogone* mycorrhizas. *Nature.* 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.* 37p.
- Schenck, N.C. and Kinloch, R. A. 1980. Incidence of mycorrhizal fungi on six field crops in monoculture on a newly cleared woodland site. *Mycologia* 72: 445-456.
- Schenck, N. C. and Schroder, V. N. 1974. Temperature response of *Endogone* mycorrhiza on soybean roots. *Mycologia* 66: 600-605.
- Sreenivasa, M. N. and Bagyaraj, D. J. 1988. Selection of a suitable substrate for mass multiplication of *Glomus fasciculatum*. *Plant and Soil.* 109: 125-127.
- Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogoneae. *Proc. Amer. Acad. Arts Sci.* 57: 291-350.
- 가강현. 1991. 식물과 VA-mycorrhizae간의 숙주 특이성. 한국교원대학교 대학원, 석사학위논문. 70p.
- 엄안흠, 이상선. 1990. 고마리 군락의 토양에서 발견된 내생균근. 한국균학회지. 18: 26-42.
- 이상선, 가강현, 이석구, 백기엽. 1991. 원예식물 및 재배식물에서 발견된 내생균근. 한국균학회지. 19: 186-202.