THE KOREAN JOURNAL OF MYCOLOGY
Vol. 21, No 1, p 38-50, March 1993
Copyright © 1993 by The Korean Society of Mycology
Printed in S. KOREA

Arbuscular 내생균근 균의 포트배양에 관한 연구

이상선* · 엄안흠 · 이운학[1] · 김명곤[2]
한국교원대학교대학원 생물학과,
[1]경북 점촌중학교, 및
[2]전북 남원여자상업고등학교

A study on the pot cultures of arbuscular mycorrhizal fungi in Korea

Sang-Sun Lee,* Ahn-Heum Eom, Oun-Hack Lee[1] and Myoung-Kon Kim[2]
Department of Biology, Graduate School, Korea National University of Education,
[1]Jeom Chon middle school in Kyoung Buk, and
[2]Nam Won Girls' high school of Bussiness in Jeon Buk
Republic of Korea

ABSTRACT: Four plants (*Sorghum bicolor*, *Cassia mimosoides* var. *nomame*, *Sesamum indicum* and *Glycine soja*) were cultivated at the pots including the soils containing arbuscular mycorrhizal fungi and were also investigated with the colonizations and productions of arbuscular mycorrhizal fungi. Whereas the colonizations of arbuscular mycorrhizal fungi continuously increased on the roots until 50 days, the productions of arbuscular mycorrhizal fungal spores were fluctuated with the terms of 30 days after inoculated. This indicated that the colonizations on the roots were not correlated with productions of arbuscular mycorrhizal fungal spores. Also, the various soils collected were applied to this technique by using pot cultures. Out of 82 various soils collected, the spore productions of arbuscular mycorrhiaze were observed only from the 42 soils. The spores cultured under artificial conditions were identified to 15 species with four genera. The spore productions of arbuscular mycorrhizal fungi using this technique would be considered to be related to the soil pH: The spore productions were found in the low pH for the species of *Acaulospora* and *Glomus*, the those near pH 7.6 for the species of some *Glomus*, *Scutellospora* and *Gigaspora*.

KEYWORDS: Pot cultures, AM, arbuscular mycorrhizae, host plants, colonizations, spore productions.

序 論

균근 (Mycorrhizae)은 식물뿌리와 균의 공생체를 의미하며, 크게 내생 및 외생균근으로 나누어진다. 지구상의 식물 중 쌍자엽식물의 83%와, 단자엽식물의 79%의 식물뿌리가 균과 함께 균근의 관계를 갖고 있는 것으로 추정되고 있다 (Trappe, 1987). 이러한 균근의 관계는 토양 내의 무기양분 흡수에 관계하여, 어려운 근권환경 속에서 식물이 생존해 나가는데 중요한 요인으로서 받아들여지고 있다 (Gupta and Janardhanan, 1991).

AM균은 인공배지에서 순수분리하거나 배양될 수 없다고 알려져 왔다 (Lewis, 1973). Mosse (1953)에 의해 처음으로 포트에서 식물뿌리와 함께 배양되었고, Gerdemann (1955)은 wet sieving으로 포자를 분리하였다. 이후 많은 실험으로 부터 인공배지에서 포자 발아와 제한적인 균사성장 및 포자형성이 관찰되었다 (Chabot *et al.*, 1992). 그러나, 다양한 종류에 대한 실험에도 불구하고, 뿌리와의 관계없이는 배양할 수 없다는 점을 극복하지 못하고 있다. 이

*Corresponding author

러한 점은 현재까지 대부분 AM균의 배양은 식물에 의한 포트배양에 의해 이루어지고 있어, 응용학문 및 순수학문의 발전을 저해하고 있는 것으로 생각된다.

생태적인 연구에서 포자형성은 일년생 식물의 경우 시기적으로 식물의 성장이 끝나는 계절에 많이 이루어진다고 알려져 있다 (Hayman, 1970; Sutton and Barron, 1972; Saif and Khan, 1975). 다년생 식물의 경우에는 다양하게 나타날 수도 있으며 (Sylvia, 1986; Gemma *et al.*, 1989; Saif, 1981), 식물의 종류 및 환경에 따라 다양한 것으로 생각되어지고 있다. 그 밖에 AM균의 포자증식에 관여하는 요인은 여러가지가 있을 수 있다; 토양의 성질 등 물리적 요인 (Sreenivase and Bagyaraj, 1988), 토양온도 (Schenck and Schroder, 1978), 화학적 요인 (Hayman and Tavares, 1985), 염분의 농도 (Kim and Weber, 1985), 숙주식물 (Struble and Skipper, 1988) 등이 토양내 포자의 빈도에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 그러나 대부분의 연구에서는 토양의 종류가 내생균근의 포자 증식에 중요한 것으로 보고되고 있으나, 아직 일률적인 방법은 없는 것으로 생각된다.

우리나라에서의 내생균근 연구는 1980년대에 들어서면서 시작되었다. 초기에는 외생균근을 위주로 한 목본식물 주변의 균근에 관한 연구가 이루어졌다 (Lee *et al.*, 1981; 1982; 1983; Lee and Kim, 1985; Lee and Koo, 1983; Lee, 1984; Koo *et al.*, 1982). AM균에 관한 연구로는 Koh와 Lee (1984)의 간척지 식물에서의 내생균근의 조사를 비롯하여, 생리적 효과에 관한 연구 (Ka, 1991; Kim and Lee, 1984; Mun *et al.*, 1990; Lee and Ryu, 1992; Lee *et al.*, 1991; 1992)와 우리나라의 몇몇 지역 및 특정 식물 주변에 분포하는 AMF의 분포조사 및 동정 (Ahn *et al.*, 1992; Eom and Lee, 1989, 1990; Eom *et al.*, 1992; Ka *et al.*, 1990a, 1990b; Kim and Kim, 1992; Lee *et al.*, 1991; Koo *et al.*, 1992; Kim and Lee, 1984; Kim *et al.*, 1989; Shon and Kim, 1991) 및 생태적 분석 (Ahn *et al.*, 1992)에 관한 연구들이 수행되어 왔다. 이러한 연구는 대부분이 우리나라에 있는 내생균근균의 발견과 생태적인 연구에 제한되어져 있다.

AMF의 동정은 야외의 토양을 직접 이용하기에는 포자의 상태와 기본적인 포자발생단계의 관찰이 없기 때문에 어려운 실정이다. 야외에서 직접 채취한 토양의 경우는 특수한 경우를 제외하고는 관찰하기 힘들다. 대부분의 다년생 식물의 경우는 뿌리 속에 내생균근이 확인되나, 포자형성이 되지 않아, 포자의 분리 및 동정이 힘들다. 산림토양의 경우는 포자가 적은 비율로 존재하기 때문에 분리 동정하기가 어렵다. 이러한 결점을 해결하기 위하여 야외채취토양에 대한 포자증식이 필요한 실정이다. 또한, 과거의 내생균근의 분류는 토양에서 채취된 포자를 현미경 슬라이드 표본으로 가능하였으며, 현재도 이러한 방법으로 동정 및 기재를 하고 있다 (Morton, 1985; 1986; 1988). 그러나, 최근에 내생균근의 농업에 대한 이용과 함께, 내생균근의 포자의 응용성과 함께 포자의 배양이 필요하게 되었다. 현재는 토양으로 부터 분리된 내생균근 균을 이용하여, 식물과 공생관계를 통한 포트배양으로써 식물의 증식을 확인함과 동시에, 증식된 포자를 분리하여 보관하고 있다. 이러한 방법을 통하여 과거에 분리 동정되었던 내생균근이 새로이 정리되고 있는 실정에 있다 (Moron and Benny, 1990). 이러한 의미에서 우리나라의 야생식물과 재배식물을 이용한 포자증식은 내생균근의 공생관계 확인 뿐만아니라, 포자 동정 및 관리에도 도움이 될 것이다.

본 연구는 포트배양을 통하여 식물뿌리에서의 균근균의 감염정도와 포자형성을 시기별로 파악함으로써 포자증식에 필요한 기본적인 자료를 얻고, 적절한 시기를 파악하고자 하였다. 또한 이를 통하여 우리나라 여러지역의 토양을 채취하여 위의 자료를 통하여 포트배양하여 포자를 증식하고자 한다. 또한 우리나라에 분포하는 AM균의 분포를 파악하기 위해서 포트배양에 의한 포자증식을 이용하여 동정하였다.

材料 및 方法

토양채취 : 내생균근 감염상태 조사를 위해 내생균근 균의 접종원으로 사용된 토양은 충북 청원군 한국교원대학교 주변의 억새가 군락을 이루고 있는 지역의 토양이었으며, 채취는 1992년 5월에 하였다. 지표면으로 부터 약 30 cm이내 식물의 뿌리주변 토양이 채취되었으며 채취된 토양은 polyethylene

Table 1. The lists of the various soils collected for pot cultures.

Soil No..	Sites[a]	Host plats		Soil No.	Sites	Host plats	
		Sientific Name	Korean Name			Sientific Name	Korean Name
1	A	*Lespedeza bicolor*	싸리	42	F	*Compositae*	국화과
2	A	*Chrysanthenum morifolium*	국화	43	F	*Sonchus brachyotus*	방가지똥
3	A	*Morus alba*	뽕나무	44	D	*Robinia pseudacacia*	아까시나무
4	A	*Oenothera odorata*	달맞이꽃	45	D	*Wistaria floribunda*	등
5	A	*Arbemisia capillaris*	사철쑥	46	G	*Cyperaceae (1)*	사초과
6	A	*unkown*		47	G	*Cyperaceae(2)*	사초과
7	B	*Lespedeza bicolor*	싸리	48	G	*Lepedeza bicolor*	싸리
8	B	*Zea mays*	옥수수	49	G	*Liliaseae*	백합과
9	B	*Carpinus laxiflora*	서어나무	50	G	*Polygonatum odoratum*	둥글레
10	B	*Imperata cylindrica*		51	H	*Lespedeza bicolor*	싸리
		var. koenigii	띠	52	H	*Erigeron canadensis*	망초
11	B	*Phragmites communis(1)*	갈대	53	H	*Trifolium repens*	토끼풀
12	B	*Phragmites communis(2)*	갈대	54	H	*Polyganatum odoratum*	둥글레
13	D	*Robinia pseudoacacia*	아까시나무	55	H	*Gilium spurium*	갈퀴덩굴
14	A	*Trifolium repens*	토끼풀	56	I	*disporum sessile*	윤판나물
15	A	*Setaria viridis*	강아지풀	57	I	*Senecio integrifolius*	
16	A	*Viola mandshurica*	제비꽃			*var. spathulatus*	솜방망이
17	E	*Artemisia princeps*		58	I	*Hepatica asiatica*	노루귀
		var. orientalis(1)	쑥	59	G	*Disporum smilacinum*	애기나리
18	E	*Artemisia princeps*		60	G	*Polyganatum odoratum*	둥굴레
		var. orientalis(2)	쑥	61	G	*Erygeron annuus*	개망초
19	E	*Artemisia princeps*		62	G	*Lespedeza bicolor*	싸리
		var. orientalis(3)	쑥	63	B	*Iris nertschinskia*	붓꽃
20	E	*Allium tuberosum*	부추	64	B	*Anthaes rosea*	접시꽃
21	E	*Capsicum annuum*	고추	65	B	*Desmodium oxyphyllum*	도둑놈의갈고리
22	E	*Poncirus trifliata*	탱자나무	66	B	not identified	
23	E	*Zea mays*	옥수수	67	B	*Sonchus asper*	큰방가지똥
24	E	*Lespedeza bicolor(1)*	싸리	68	B	*Stachys riederi*	
25	E	*Lespedeza bicolor(2)*	싸리			*var. japonica*	석잠풀
26	E	*Phragmites comunis*	갈대	69	B	*Capsella bursa-pastoris*	냉이
27	E	*Zoysia japonica*	잔디	70	B	*Lindernia micratha*	외풀
28	E	*Dryopteria pacifica*	족제비싸리	71	B	*Glycine soja*	돌콩
29	E	*Elaeagnus umbellata*	보리수나무	72	B	*Cirsium setidens*	고려엉겅퀴
30	F	*Sedum oryzifolium*	땅채송화	73	B	*Robinia pseudoacacia*	아까시나무
31	F	*Lepidium runderale*	미룩냉이	74	B	*Crysanthemum linease*	키큰산국
32	F	*Zoysia japonica*	잔디	75	B	*Trifolium repens*	토끼풀
33	F	*Agropyron tsukushiense(1)*	개밀	76	B	*Cosmos bipinnatus*	코스모스
34	F	*Agropyron tsukushiense(2)*	개밀	77	B	*Kummerowia striata*	매듭풀
35	F	*Gramineae*	벼과	78	B	*Filifolium sibiricum*	실쑥
36	F	*Cyperaceae(1)*	사초과	79	B	*Lespedeza bicolor*	싸리
37	F	*Cyperaceae(2)*	사초과	80	B	*Cenothera odorats*	달맞이꽃
38	F	*Cyperaceae(3)*	사초과	81	B	*Artemisia princeps*	
39	F	*Commelina communis*	달개비			*var. orientals*	쑥
40	F	*Ixeris dentata*	씀바귀	82	B	*Smilax china*	청미래덩굴
41	F	*Sedum sarmentosum*	돌나물				

[a]The sites were indicated at Fig. 1.

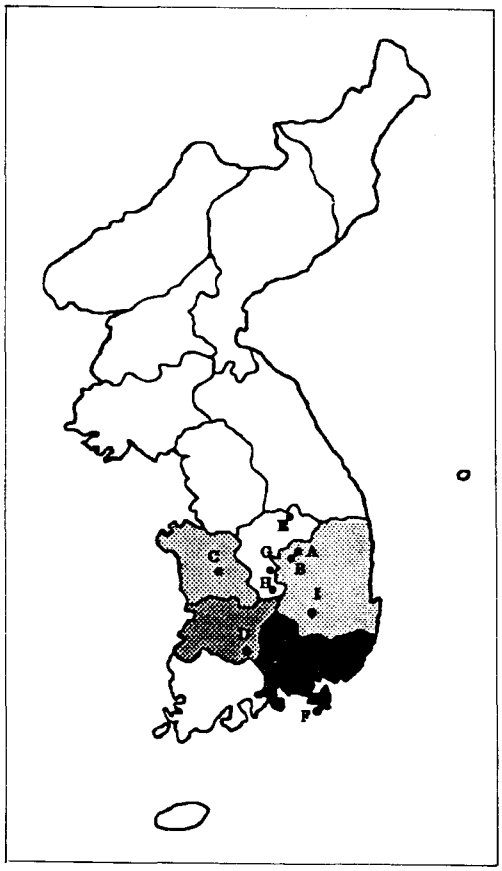

Fig. 1. Soil sampling sites for pot culture of arbuscular mycorrhizae: A; Munkyeong, Kyeongbuk, B; Jeomchon, Kyeongbuk, C; Kongju, Chungnam, D; Namwon, Cheonbuk, E; Jecheon, Chungbuk, F; Hongdo, Kyeongnam, G; Mt. Sokri, Chunbuk, H; Mt. Minjuji, Chungbuk, I; Chilgok, Kyeongbuk, Seoul.

bag에 넣어 4℃ 의 저온실에 보관한 후 필요시 실험에 사용하였다. 채취된 토양에 분포하는 내생균근균은 *Acaulospora laevis, Ac. spinosa, Scutellospora heterogama, Acaulospora* spp. (동정되지 않은 AM 균임) 등 4종으로서 각각의 토양내 빈도는 Table 1 (original)과 같다. 포트배양 방법을 이용하여 내생균근 균의 포자증식을 위해 사용된 토양은 1992년 2월 부터 1992년 9월 사이에 채취되었다 (Fig. 1). 채취지역으로는 경북 문경군 탄광지역 (A), 경북 점촌시 점촌중학교 주변 야산 (B), 충남 공주시 마곡사 주변 야산 (C), 전북 남원시 지리산 주변 (D), 제천 구인사 주변 및 일대 야산 (E), 경남 충무시 홍도 일대 (F), 충북 속리산 주변 (G), 충북 영동 민주지산 (H), 경북 칠곡군 금곡사 주변 야산 (I) 등 9개 지역으로 부터 채취되었다 (Fig. 1). 각각의 지역으로 부터 직접 내생균근 균의 포자를 추출하기 힘든 산림이나 탄광지역과 같은 부엽토나 석탄이 많은 토양을 선정하여 식물뿌리 주변의 토양을 채취하였으며 식물의 동정은 대한식물도감 (이창복, 1980)과 한국동식물도감 목초본편 (문교부, 1982)을 이용하였다 (Table 3).

포트배양 : 포자증식을 위해 사용된 포트는 9×8.5×6 (cm)의 비닐 포트를 이용하였다. 각각의 토양은 접종원 토양과 모래토양을 1 : 1 (W/W)로 혼합하여, 포트당 400 g 으로 만들어 사용하였다. 포트배양과 각 지역에서 채취된 토양은 접종원 토양과 모래토양을 1 : 5-7 (W/W) 의 비율로 혼합하여, 포트당 400 g 을 만들었다. 여기서, 사용된 모래는 충북 청원군 미호천 주변의 토양으로 121℃ 에서 2 시간 동안 습열멸균하여 사용하였다 (Ka, 1991). 본 실험에 사용한 식물은 수수 (*Sorghum bicolor*), 돌콩 (*Glycine soja*), 차풀 (*Cassia minosoides*), 참깨 (*Seasamum indicum*), 파 (*Allium fistulosum*), 고추 (*Capsicum annuum*)를 숙주식물로 사용하였다. 수수와 참깨의 씨앗은 1990년 충남 태안군 태안면 가씨 (賈氏) 농가에서 수확한 것을 구입하였으며, 돌콩과 차풀의 씨앗은 1990년 충북 청원군 한국교원대학교 주변에서 자연상태에서 자라는 식물에서 채취하여, 보관하였던 것을 이용하였다 (Ka, 1991). 각각의 씨앗은 증류수가 담긴 petri-dish에 넣고 배양기에서 24℃ 를 유지하여 발아시켰다. 발아된 씨앗들은 3일 후 준비된 포트에 식물당 40개체씩 이식하였으며, 이식한 날짜로 부터 배양기간을 계산하였다. 식물 배양기간은 1992년 5월 5일 부터 6월 24일까지, 50일간 온실에서 배양하였다. 수분공급은 일반적인 수돗물로 매일 일정하게 공급하였다.

뿌리염색 및 감염도조사 : 식물 뿌리염색은 Koske *et al.*, (1992), Schenck and Trappe (1982) 및 Schneck and Pérez (1988) 의 방법을 이용하였다. 50% 알코올에 보관되었던 식물뿌리를 채취하여 물로 씻은 후 1 cm 정도의 길이로 잘라, 물에서 고르게 섞은 후, 2.5%의 KOH 용액에 넣어, 121℃ 의 습열멸균기에서 3분간 끓인 후, 3% H_2O_2로 30분 정도로 탈색시켰다. 무작위로 잘린 뿌리조각을 1% HCl에서 24 시간 처리한 후, 0.05%의 Tryphan blue가 포함된

acidic glycerol 용액에서 3분간 염색 (121℃)하였다. 염색된 뿌리는 acidic glycerol 용액에서 탈색 및 감염도 조사를 위해 보관되었다. 염색된 뿌리 조각들을 고르게 섞은 후, 무작위로 뿌리를 선택하여 광학현미경 (×200) 상에서 관찰하였다. 선택된 뿌리조각 중 현미경 시야에서 관찰되는 0.5 mm만이 관찰되었으며, 감염단계는 5 단계로 나누어 100 개의 뿌리조각을 관찰하여 각 값들의 평균값은 감염도로 하였다. 각 단계는 현미경 시야에 보이는 뿌리에서 균사가 차지하는 넓이를 %로 측정하여 0-20%는 1, 20-40%는 2, 40-60%는 3, 60-80%는 4, 80-100%는 5로 감염도를 표시하였다.

포자분리 및 빈도조사 : 토양으로 부터 내생균근균의 포자 분리는 wet sieving and decanting 방법 (Gerdemann and Trappe, 1974)과 50% sucrose를 이용한 원심분리법 (Ka, 1990)을 사용하였다. 배양된 토양내의 포자빈도는 50% sucrose를 이용한 원심분리법을 사용하여 조사하였다. 원심분리관 (28×10 cm)에 50% 설탕용액 (W/W)과 토양 10 g 을 혼합한 후 705 g 로 20℃ 에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 38 μm 의 토양채로 걸러 5×5 (mm)의 빗금이 있는 petri-dish에 모은 후 해부현미경 (×40) 상에서 포자의 수를 기록하였다. 분리된 포자중에서 새롭게 형성된 포자만을 셈하였으며 3회 반복하여 평균값을 포자빈도로 하였다.

종동정 : 분리된 종의 동정은 Trappe (1982) 의 synoptic key 와 Schenck and Perez (1988) 동정 매뉴얼을 이용하였으며, 분류체계는 Morton and Benny (1990)의 분류체계를 다랐다.

토양의 pH 측정 : 포트배양에 의한 토양의 pH 측정은 토양과 증류수를 1 : 5 (W/W)의 비율로 혼합한 후 pH meter로 측정하였다.

結果 및 考察

감염 : 식물 뿌리의 AM균의 감염을 관찰한 결과, 각각의 식물 뿌리의 AM의 감염상태는 유사하게 나타났다. 돌콩의 경우는 뿌리자체가 약해서 염색과정에서 손상되어 뚜렷하게 감염상태가 확인되었다. 감염 초기에는 돌콩의 뿌리에 감염되는 외부균사 (external hyphae)와 내부균사 (internal hyphae)가 주로 관찰되었으며 30일 이후에는 arbuscule 과 vesicle 이 관찰되었다. 고추, 참깨, 수수의 관찰에서는 차풀의 결과와 동일하게 나타났다. 그러나 접종 후 시간이 경과됨에 따라 감염도와 유사한 결과를 나타내었다. 시기별 감염상태는 접종 후 30일 이후부터 뚜렷한 감염상태를 관찰할 수 있었다. 접종 후 10일이 경과했을 때, 즉 10일 동안 배양한 모든 식물의 뿌리는 균사의 감염 상태가 거의 관찰되지 않았으며, 약간의 외부균사 및 감염 초기상태가 관찰되었다. 접종 후 20일째에는 수수, 돌콩, 차풀의 경우, 접종 후 10일째의 식물뿌리 상태와의 차이가 거의 없었으나, 참깨에서는 뿌리 피충세포 사이와 세포내로 감염된 균사들이 상당 수가 관찰되었다. 접종 후 30일 이후부터는 모든 식물뿌리에서 내생균근균의 균사가 관찰되었으며, vesicle 또는 arbuscule이 관찰되었다. 이때 관찰된 낸용으로 서로 두 개의 다른 균사들이 식물 뿌리 조직내에 있는 것이 관찰되었으며, 이 들은 가늘고 긴 균사로 vesicle 과 연결된 것과 굵고 많은 덩어리 들이 있는 균사들이 관찰되었다.

감염도 변화 : 염색된 뿌리의 현미경관찰을 통하여 각 식물 당 100 조각의 뿌리를 관찰한 평균값을 그 식물의 감염정도 (colonization rate)로 하여, 시기별로 감염도의 변화를 비교하였다. 참깨를 제외한 수수, 돌콩, 차풀에서는 유사한 변화 경향을 나타내었는데, 시간의 변화를 따라 뿌리의 단위면적 당 감염 정도는 증가하였다 (Fig. 2). 그에 반해서 수수와 차풀은 각각 접종 후 20일 째에는 가염도의 증가가 없었으나, 접종 후 30일 이후에는 크게 증가하였다. 그런데 차풀의 경우 접종 후 40일째 와서는 감염율이 감소하는 경향을 보였다 (Fig.2). 수수, 돌콩, 차풀에서 공통적으로 접종 후 50일에서는 서서히 감염도의 비율이 다른 식물보다 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 참깨의 경우에는 수수, 돌콩, 차풀과 다른 경향을 나타내었는데, 접종 후 10일에서는 다른 식물과 마찬가지로 약간 균으 감염도가 증가를 나타내었으나, 접종 후 20일에서 많은 증가를 나타내었고, 접종 후 30일과 40일 사이에는 증가량이 다시 감소하였으며, 접종 후 50일에서 또 다시 많은 증가를 나타내었다 (Fig. 2).

포자빈도와 감염도 : 현재까지 관찰된 포자의 빈도와 감염도의 결과를 비교하였다. 각 식물이 성장한 토양에서 포자의 빈도는 접종 후 30일 주기로 전체

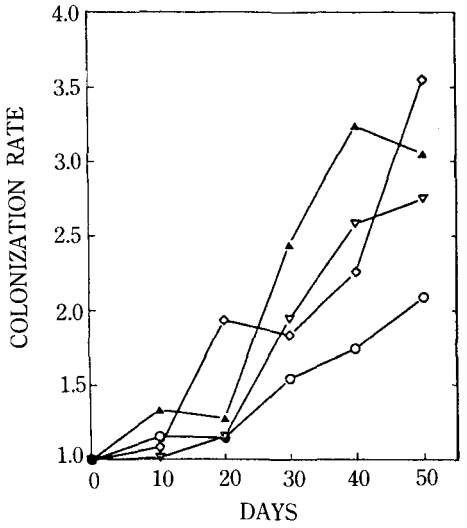

Fig. 2. Colonization rates of arbuscular mycorrhizal roots infected at different times for four host plants; (-○-) *Glycine soja,* (-▽-) *Sorghum bicolor,* (-▲-) *Cassia mimosoides,* (-◇-) *Seasamum indicum.*

혹은 개별 내생균근 균의 포자수가 변화하고 있는 것을 관찰하였다 (Table 2). 그러나, 내생균근의 성장면에서 본다면 (Fig. 2), 내생균근 균의 포자생성과는 관계없이 식물의 성장은 50일까지 계속하여 일어나고 있는 것이 관찰되었다. 또한, 앞에서 설명된 내생균근 균의 감염도를 비교하여도, 포자 생성과는 어떤 특별한 것이 관찰되지 않고, 내생균근 균의 성장은 지속되는 것이 관찰되었다. 이러한 면에서, 내생균근 균의 성장은 내생균근 균의 포자 생성과는 관련이 없었다.

포트배양을 통한 내생균근 균증식 : 본 실험실에서 채취된 10개 지역의 토양 (Fig. 1)을 4개월 동안 포트배양한 결과 총 82개의 토양 중 43개 토양에서 포자증식이 관찰되었으며, 각 포트별로 1 종 또는 2-3 종의 내생균근 균의 포자가 증식된 것이 관찰되었다 (Tables 3, 4). 토양 종류에 따른 포자증식은 균일하게 일어나지 않았다. 홍도, 문경, 칠곡, 속리산 토양이 대체로 포자증식이 많이 이루어진 반면에 다른 토양들은 거의 포자증식이 이루어지지 않았다. 지역에 따른 토양에도 변이가 커서, 포자가 증식된 토양이 있는 반면에 전혀 되지 않은 토양들도 나타났다. 본 실험실에서 사용한 숙주별 포자 생성을 볼 때, 돌콩과 수수가 다른 숙주에 비해 많은 포자 증식을 나타냈다. 두 숙주 식물간의 차이점은 포자 생성의 증폭 뿐이며, 양쪽 식물에 모두 나타났으나,

Table 2. Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi found from the used soil (original) and Productions of spores sieved at the various days after inoculated with the above soils.

Days harvested After inoculated	Numbers of spores per soil 10 g[a] of the species of			
	Ac. laevis	*Ac. spinosa*	*Ac. spp.*	*Sc. heterogama*
Originals	7.9± 2.1	2.9± 0.6	5.8± 1.8	1.0± 0
Glycine soja				
30 days	9.9± 1.25	4.4± 1.52	13.0± 2.24	2.2± 2.20
40 days	5.5± 0.70	2.4± 0.83	4.9± 0.84	1.3± 1.30
50 days	7.9± 1.00	3.7± 1.28	5.0± 0.86	2.2± 2.20
Sorghum bicolor				
30 days	11.2± 1.42	6.7± 2.31	11.2± 1.93	3.3± 3.30
40 days	6.0± 0.76	2.5± 0.86	5.4± 0.93	2.7± 2.70
50 days	8.2± 1.04	4.9± 1.69	4.8± 0.83	2.9± 2.90
Cassia mimosoides				
30 days	24.5± 3.10	9.9± 3.41	8.0± 1.38	4.0± 4.00
40 days	11.0± 1.39	7.5± 2.59	4.7± 0.81	2.4± 2.40
50 days	13.8± 1.75	7.5± 2.59	7.2± 1.24	4.0± 4.00
Sesamum indicum				
30 days	17.4± 2.20	7.2± 2.48	6.5± 1.12	3.2± 3.20
40 days	11.0± 1.39	3.7± 1.28	2.9± 0.50	3.2± 3.20
50 days	14.5± 1.84	8.0± 2.76	4.2± 0.72	3.9± 3.80

[a]Averages of Six replications.

Table 3. Arbuscular Mycorrhizal fungi collected through pot cultures.

Species	Soil No.[a]	Reference
Acaulospora		
A. leavis	19,24,25,26,27,30,59	
A. longula	57	
A. morrowea	51	
A. rugosa	29,37,40,41,42,43 46,48	
A. scrobiculata	14	Ka *et al.*(1990)
Gigaspora		
G. margarita	11,21,30,33,34,35, 36,37,38,39,40,41,42	Eom& Lee(1990)
Glomus		
G. albidum	33	Eom& Lee(1990)
G. clarum	41	Eom& Lee(1990)
G. deserticola	36	
G. etunicatum	14,31,64	Lee *et al.*(1991)
G. facundisporum	4,6	
G. occultum	7,10,16,54,67	Eom& Lee(1989)
G. scintillans	12	
G. sp A[b]	17	
G. sp B[b]	53	
G. sp C[b]	58	
G. sp D[b]	81	
Sclerosystis		
S. rubiformis	60,66,79	Eom *et al.*(1991)
Scutellospora		
S. pellucida	10	Ka *et al.*(1990*a*)

[a] Soil No. was indicated at table 1.
[b] not identified as based on the keys published until now.

차풀, 참깨에서는 다르게 나타났다. 위의 모든 토양으로 부터 증식된 내생균근 균의 포자들은 총 4 속 15 종이 동정되었고, 3 종은 동정되지 못하였다 (Table 3). 여기서, *Glomus*종이 포자 배양에서 많이 증식되었으며 *Acaulospora*도 여러 토양에서 관찰되었다. 그런데 *Gigaspora* 및 *Scutellospora*는 한 종이 각각 배양되어졌다. *Glomus*속은 포자의 빈도 및 전체적인 출현빈도에 있어서 다른 속의 종들보다 높게 나타났으며, *Gigaspora margarita*의 경우에는 홍도지역에서 채취한 대부분의 토양에서 포자증식이 이루어졌다.

각 토양의 pH를 측정한 결과 대부분의 내생균근 균은 pH 7.3이하의 토양에서 발견되었다. *Glomus* 종의 경우 pH 7.4-8.2, 5.4-5.8 사이에서 주로 발견되었으며, *Acaulospora*는 주로 pH 6.6 이하에서 발견되었고, *Gigaspora*는 pH 6.0 이하의 토양에서 많은 양이 발견되었다 (Fig. 3). 이러한 것은 주어진 토양에서 포자증식과 pH 간의 상관관계를 알아보기 위함이었다. 본 실험에서는 pH 를 인위적으로 변화를 줄 수 없었기 때문에 *Scutellospora*는 적게 나타났으나, 통계적인 자료는 그렇지가 않다 (Fig. 3). 이러한 형태의 그림에서는 pH가 포자 생성에 어떻게 작용하는지는 알 수 없으나, 그림의 형태로 볼 때는 pH는 포트배양에 작용하는 것으로 나타났다.

감염도 : 본 실험에서 내생균근 균의 성장을 측정하기 위한 방법으로 뿌리의 감염도를 측정하여 내생균근 균의 성장을 나타냈다. 시기에 따른 감염상태의 변화는 접종 후 30일 이후에 급격한 증가를 나타내었다 (Fig. 2). 이러한 경향은 숙주식물에 따라 약간의 차이는 있었으나 거의 유사한 경향을 나타내고 있으므로, 내생균근 균의 성장은 식물의 종에 관계없이 식물 뿌리에서 성장하는 것으로 나타났다. 내생균근 균의 성장에서, 내생균근은 접종 후 20일 이후 크게 성장하는 것이 나타났다. 이러한 성장은, Fig. 2 에서 보인 성장곡선을 볼 때, 다른 생물의 성장곡선과 동일하게 나왔으므로, 본 실험의 측정방법이 옳게 되었다고 사료되고 있다.

접종 후 20일째까지의 내생균근 균은 성장이 느렸으나 (lag phase), 그 후에 성장이 빠르게 나타났고, 50일째는 그 성장이 둔화되는 것이 보였다. 식물과 내생균근 균의 성장의 비교에서, 내생균근 균의 성장은 식물성장과 동시에 일어나고 있는 것이 관찰되었으나, 내생균근 균의 성장률이 더 빠르게 이러나고 있었다. 이러한 것은 몇 가지의 명제를 통하여 추론할 수가 있겠다. 일단 내생균근 균의 성장은 식물 뿌리에서 기생하기 때문에 내생균근 균의 성장은 식물 성장과 관련있는 것으로 추론할 수가 있다. 그와 반면에 식물에서, 식물의 성장과는 과연 어떻게 내생균근 균의 성장과 관련이 있는 지는 의문이다. 여기서 내생균근 균의 성장은 식물의 성장에 비례하게 되는 것은 양분에 따른 것으로 생각된다. 또한 식물의 성장도 일반적인 성장과 비슷하여 어떤 문제점을 발견할 수가 없었다. 이러한 실험에서는 내생균근 균과 식물의 성장 관계는 복잡하여 다른 실험 방법이 새로이 개발되어야 규명이 가능할 것으로 생각된다. 접종 후 10일과 20일째에서는 주로 외부균사가 나타나며, 감염초기 상태의

Table 4. Numbers of arbuscular mycorrhizal spores collected and produced through pot cultures.

Soil No.[a]	AM fungi	Spore numbers per 10g soil[b]					soil pH
		Sb	Gs	Cm	Si	Af	
1	not found	0	0	0	–	–[c]	7.5
2	not found	0	0	0	–	–	7.7
3	not found	0	0	0	–	–	8.7
4	*Gl. facundisporum*	7	52	0	–	–	8.0
5	not found	0	0	0	–	–	7.3
6	*Gl. facundisporum*	0	104	0	–	–	7.6
7	*Gl. occultum*	–	45	–	–	–	7.6
8	not found	–	0	–	–	–	7.5
9	not found	–	0	–	–	–	7.4
10	*Gl. occultum,*	10	9	–	–	–	7.3
	Scu. pellucida	2	0	–	–	–	
11	*Gl. margarita*	–	3	–	–	–	7.3
12	*Gl. scintilansis*	–	207	–	–	–	7.2
13	not found	–	0	–	–	–	7.8
14	*A. scobiculats*	17	16	12	–	–	7.6
	Gl. etunicatum	139	124	35	–	–	
15	not found	0	0	0	–	–	7.6
16	*Gl. occultum*	0	17	–	–	–	7.7
17	*Gl.* sp. A	15	–	–	–	–	7.5
18	not found	0	–	–	–	–	7.4
19	*A. leavis*	8	12	155	–	–	8.5
20	not found	0	–	–	–	–	7.3
21	*Gl. margarita*	4	0	–	–	–	7.6
22	not found	0	–	–	–	–	7.6
23	not found	0	0	0	–	–	8.5
24	*A. leavis*	18	0	4	–	–	6.9
25	*A. leavis*	153	49	27	–	–	6.3
26	*A. leavis*	12	4	0	–	–	6.8
27	*A. leavis*	0	0	26	–	–	7.7
28	not found	0	0	0	–	–	8.6
29	*A. rugosa*	13	0	0	–	–	7.0
30	*Gl. margarita*	47	52	–	–	–	6.9
	A. laevis	24	0	–	–	–	
31	*Gl. etunicatum*	9	1129	–	–	–	8.0
32	not found	0	0	–	–	–	7.1
33	*Gl. margarita*	0	22	–	–	–	
	Gl. albidum	107	46	–	–	–	7.1
34	*Gl. margarita*	8	53	–	–	–	6.0
35	*Gl. margarita*	4	43	–	–	–	5.8
36	*Gl. margarita,*	0	20	–	–	–	7.2
	Gl. deserdicola	1001	363	–	–	–	
37	*Ac. rugosa*	261	33	–	–	–	5.7
38	*Gl. margarita*	22	53	–	–	–	5.6
39	*Gl. margarita*	1	49	–	–	–	6.9
40	*Gl. margarita,*	41	45	–	–	–	6.0
	A. rugosa	0	32	–	–	–	
41	*Gi. margarita,*	0	11	–	–	–	5.1
	A. rugosa,	0	65	–	–	–	
	Gl. clarum	0	48	–	–	–	

Table 4. Continued

Soil No.[a]	AM fungi	Spore numbers per 10g soil[b]					soil pH
		Sb	Gs	Cm	Si	Af	
42	*Gl. margarita,*	5	4	–	–	–	6.0
	A. rugosa	0	218	–	–	–	
43	*A. rugosa*	36	13	–	–	–	5.9
44	not found	0	0	–	–	–	7.9
45	not found	0	0	0	–	–	7.3
46	*A. rugosa*	0	0	76	–	–	7.5
47	not found	0	0	0	–	–	7.4
48	*A. rugosa*	263	0	38	–	–	7.5
49	not found	0	0	0	–	–	7.9
50	not found	0	0	0	–	–	7.8
51	*A. morrowea*	0	0	15	23	5	5.6
52	not found	0	0	0	0	0	5.9
53	*Gl.* sp. B	82	0	34	0	11	5.6
54	*Gl. occultum*	0	0	0	31	43	5.8
55	not found	0	0	0	0	0	6.0
56	not found	0	0	0	0	0	6.0
57	*A. longula*	95	0	37	138	102	5.4
58	*Gl.* sp. C	0	0	0	0	25	5.6
59	*A. leavis*	0	0	22	14	25	5.3
60	*S. rubiformis*	0	0	728	53	25	5.4
61	not found	0	0	0	0	0	6.8
62	not found	0	0	0	0	0	5.3
63	not found	0	0	0	0	0	6.1
64	not found	0	0	0	0	0	6.3
65	not found	0	0	0	0	0	5.8
66	*S. rubiformis*	110	90	45	105	80	5.2
67	*Gl. occultum*	10	0	° 0	2	2	5.5
68	not found	0	0	0	0	0	5.2
69	not found	0	0	0	0	0	5.3
70	not found	0	0	0	0	0	5.6
71	not found	0	0	0	0	0	6.9
72	not found	0	0	0	0	0	6.8
73	not found	0	0	0	0	0	6.9
74	not found	0	0	0	0	0	7.4
75	*Gl. etunicatum*	62	5	12	62	15	7.7
76	not found	0	0	0	0	0	7.5
77	not found	0	0	0	0	0	7.3
78	not found	0	0	0	0	0	7.3
79	*S. rubirormis*	12	13	0	9	23	5.1
80	not found	0	0	0	0	0	5.7
81	Gl. sp D	20	11	10	29	14	5.5
82	not found	0	0	0	0	0	5.4

[a] Soil No. was indicated at table 1.

[b] Each mark indicates host plants used for pot culture: Sb: *Sorghum bico lor,* Gs; *Glysine so ja,* Cm: *Cassia momosoides,* Si: *Sesamum indicum,* Af: *Allium fistulosum Averages of three replications.*

[c] Mark '–' indicates that the host plant was not used for pot culture.

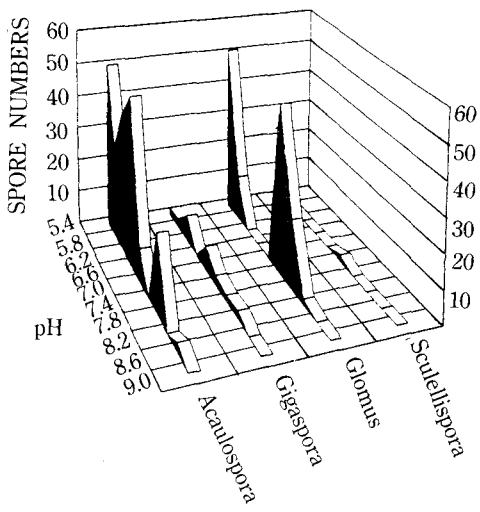

Fig. 3. Numbers of spores counted at different pH for the four genera of arbuscular mycorrhizal fungi.

내부균사가 뻗은 모양을 관찰할 수 있었다. 그러나 어떠한 형태의 Vesicle이나 arbuscule도 관찰되지 않은 것은 내생균근 균의 성장이 식물에 관계없이 일정한 시기를 요구하는 것으로 판단된다. 30일 부터 많은 양의 arbuscule과 몇개의 vesicle이 관찰되었다. 여기서 나타나는 vesicle은 *Acaulospora*속에 의해 형성된 것이며, 주로 40일 이후에 많이 관찰되었다. 하나의 뿌리 조각내에서 두가지 종류의 내부균사가 동시에 관찰되었는데 이것을 통하여 하나의 뿌리에 두종이상의 균근균이 동시에 공생관계를 갖고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 Lee and Ryu (1992)에 의한 감염상태와 일치한다. 세포내에서 vesicle과 유사한 구조가 관찰되었는데 이러한 구조는 내생균근 균에 의해 형성된 것인지는 알 수 없었다.

포자의 빈도 : 앞의 결과에서 포자의 빈도는 그 증폭이 주기적으로 되는 것이 관찰되었으며, 이러한 결과는 본 실험실의 Ka (1991)의 실험 결과와 일치하고 있다. 본 실험을 통하여 내생균근 균의 성장과 포자빈도의 증폭은 어떤 차이점을 찾아 볼 수가 없었다. 여기서 내생균근 균의 성장과 포자의 생성은 몇가지 명제를 통하여 추론할 수가 있겠다. 내생균근 균의 성장은 포자 생성과 관련이 없으며 발아되어 재침입을 하는 경우이다. 또 다른 경우는 내생균근 균에 의하여 색물체로 부터 포자를 생성하는 경우, 즉 내생균근의 뿌리내의 성장은 포자생성과 관련이 있다고 보는 두가지의 경우를 생각해 볼 수 있다. 본 실험에서 포자생성과 내생균근 균의 성장은 무관하게 진행되고 있다. 접종 후 30일째 만들어진 포자 혹은 다른 발아되지 않은 포자들은 계속해서 침입하여 접종 후 30일 이후 포자 빈도 감소와 내생균근의 성장률은 일치하는 것으로 보아 생성된 포자가 재발아되어 침입되는 것으로 추론할 수 있다. 이러한 과정은 포자빈도의 30일 주기와 30일 이후 내생균근 균의 지수성장 상태가 중요한 증거로 생각된다.

포자증식 : 포트배양에 적용하기 위해 다양한 토양을 이용하여 포트배양하였다. 대부분의 산림토양이나, 부유물이 많은 지역등은 직접적으로 포자를 추출하기가 어렵고, 추출된 포자는 토양에 따른 색깔 및 벽의 변이가 큰 것으로 나타나고 있다. 그 예로 문경, 점촌 지역에서 석탄이 생산된 토양에서 몇개의 포자들이 발견되나, 석탄의 영향으로 포자의 색이 모두 검게 나타나고 있어 현미경 관찰이 어려웠다. 또한 산림 토양에서 식물 뿌리에서는 내생균근의 존재가 확인되었으나 토양 속의 포자는 아주 낮은 빈도로 관찰되었다 (Kim and Kim, 1992). 이러한 면에서 토양 속에 있는 내생균근 균의 증식은 필요하다. 본 실험에서는 Fig. 1 과 같은 10개 지역에서 채집된 토양을 이용한 결과 전체적으로 반정도 만이 포자 증식이 이루어졌으며 포자의 수에 있어서는 종에 따라 큰 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 본 실험에서 포자의 변인 통제를 할 수가 없었고, 단지 주어진 토양에 대한 자료로 본 토양에 *Glomus* 종이 많았는지, 혹은 다른 속의 종들이 있었는지는 현재 실험으로 파악되지 않았다. 본 실험에서 관찰된 결과에서는 *Glomus* 종 및 *Acaulospora*종이 많이 증식되고 있었다. 이러한 결과는 원래 사용한 청원군의 토양은 모든 포자가 잘 발아되어 포자 증식에 도움을 주었으나 우리나라 각지에서 발견된 포자들은 그렇지 못하였다. 여기에 대한 실험은 통제적인 실험은 통하여 밝혀져야 할 것이다.

내생균근 균의 포자 증식에 따른 숙주의 변이를 본다면, 수수와 돌콩에서 많은 포자를 나타냈으며 참깨와 서로 비교하였다. 수수에 대한 포자 증식은 다른 문헌에도 많은 인용이 있었으며, 또 비슷한

식물로 옥수수, blue glass가 사용된 것이 있었다. 본 실험의 결과와 일치한 것으로 생각된다. 돌콩은 다른 어떤 실험에도 사용치 않은 예로써 오히려 수수보다 더 좋은 결과를 보였다. 본 실험의 10개 지역 82개의 시료 포트배양에서 균일한 값은 얻지는 못하였으나, 야생 돌콩의 포자 증식에는 많은 효과를 보이고 있었다. 이러한 면에서 손쉽게 구할 수 있는 돌콩과 수수의 포트배양은 효과적이라고 판단되며, 앞으로 실험자료로 사용할 가치가 있다고 고려된다.

위의 자료로 어떤 토양에서 포자의 증식이 된것과 안된 것에 대한 일률적인 자료가 없어 채취된 토양의 pH를 측정한 결과를 비교하였다 (Table 4, Fig. 3). Fig. 3 에서 본다면 산도에 따른 포자의 증식은 어떤 의미가 있는 것으로 나타났다. 본 실험에서 유의적으로 토양을 통제하여 산도를 조절할 수는 없었으나, 사용된 토양에 대한 pH는 다소 포자 증식에 관여되는 것으로 판단되었다. 즉 Fig. 3에서 보는 바와 같이 *Scutellospora*의 포자 증식과 *Glomus*종의 포자 증식은 의미있는 것으로 판단된다. 그러나 이에 대한 기본적인 실험은 차후에 이루어져야 할 것으로 생각된다. 즉 이상의 결과들로 부터 포자 증식에 관여하는 모든 조건들을 판단하기는 힘들며, 토양의 산도는 포자 증식에 있어서 중요한 요인이라고 판단되나 이에 관하여서는 통제된 실험을 통하여 수행되어야 할 필요가 있으며 이러한 포자 증식에 관여하는 조건들을 찾아내는 것은 내생균근의 농업 및 상업적 응용에 중요한 과제라고 생각된다.

摘 要

내생균근 균이 포함된 토양을 이용하여 4종류의 식물인 수수, 돌콩, 차풀 및 참깨를 재배하여, arbucular mycorrhizae의 감염도 및 포자 증식을 조사하였다. 감염율의 변화는 계속하여 50일까지 증가하고 있는 반면에 포자생성은 30일 이후에 증가율이 감소하는 것이 관찰되었다. 이로써, AM 감염도는 포자생성과 상관관계를 갖지 않은 것으로 나타났다. 또한, 다양한 지역의 토양을 포트배양하여 포자의 증식을 조사하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다. 다양한 토양을 이용하여 포트배양한 결과 많은 양의 새로운 포자를 얻을 수 있었으며, 82개 토양 중 43개 토양에서 포자의 증식이 관찰되었으며 4 속 15 종의 포자가 동정되었다. 포트배양한 토양의 pH를 조사한 결과 pH에 따라 포자의 생성이 일정한 경향을 보였으며, 대체로 낮은 pH에서 많은 포자 증식을 관찰하였다.

감 사

본 연구는 1993년 핵심연구과제 951-0500-002-2의 지원을 받아 수행되었음.

參考文獻

Ahn, T. K., M. W. Lee and Lee. S. S. 1992. Ecological study on arbuscular mycorrhizal fungi in the soils around leguminous plants on Korea.

Ahn, T. K., Lee M. W., Ka K. H. and Lee. S. S. 1992. Arbuscular mycorrhizal spore found from the soils of the leguminous plants in Korea. Korean Mycol **20:** 95-108.

Chabot, S., Becard. G., and Piche. Y. 1992. Lifef cycle of *Glomus intraradix* in root organ culture. Mycologia **84:** 315-321.

Eom, A. H. and Lee. S. S. 1989. Endomycorrhizal fungi identified on the soils in forest and coast areas. Kor. J. Mycol. **17:** 14-20.

Eom, A. H. and Lee. S. S. 1990. Endomycorrhizal fungi found from the soils of the communities of *Persicaria thunbergii* H. Gross. Kor. J. Mycol. **18:** 26-41.

Eom, A. H., Lee. S. K., and Lee. S. S. 1992. Five sporocarpic species of *Glomus* found in Korea. Korean Mycol **20:** 85-94.

Gemma, J. N. and Koske. R. E. 1989. field inoculation of American beachgrass (*Ammophila breviligulata*) with VA mycorrhizal fungi. of Env. Management.

Gerdemann, J. W. 1955. Relation of a large soil borne spore to phycomycetous mycorrhizal infections. Mycologia **47:** 619-631.

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, K. S. and Tavares. M. 1985. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. New Phytol. **100:** 367-377.

Ka, K. H. 1991. Host specificities between plants and

VA-mycorrhizae. M. S. Thesis. 70p.

Ka, K. H., Ryu, C. N. and Lee, S. S. 1990a. Identification of several endomycorrhizal fungi from the communities of *Cassia mimosoides* var. *nomame* Makino. Kor. J. Pl. Pathol. **6:** 1-7.

Ka, K. H., Lee, S. S. and Lee, M. W. 1990b. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi found from the soils of plant communites. Kor. J. Mycol. **18:** 191-197.

Kim, C. K. and Lee, C. J. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizae in some plants(II). Reportr of Sci. Education (Kong Ju College of Education) **16:** 255-260.

Kim, J. K. and Weber, K. J. 1985. Distribution of VA mycorrhiza on halophytes on inland salt playas. Plant and Soil **83:** 207-214.

Kim, J. T. and kim, C. K. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi found in the soils around the roots of the leguminous plants. korean Mycol **20:** 171-182.

Koh, S. K. and Lee, H. H. 1984. Studies of species and distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in relation to salt marsh plants. Kor. J. Mycol. **12:** 175-181.

Koo, C. K., Lee, K. J. and Yim, K. B. 1982. Growth stimulation of pines by artifical inoculation with mycorrhizal fungus. *Pisolithus tinctirius.* J. Korean For. Soc. **55:** 22-29.

Koo, C. K., Kim, T. H., Yi, C. K., Lee, W. K., Kang, C. H., Lee, B. C., and Lee, S. K. 1992. Sporocarp forming arbuscular mycorrhizal fungi. *Glomus* spp. in forest soils of korea. Kor. J. Mycorl. **20:** 29-36.

Koske, R. E., Gemma, J. N. and Flynn, T. 1992. Mycorrhizae in Hawaiian angiosperms: A survey with implications for the origin of the native flora. Amer. J. Bot. **79:** 853-862.

Lee, K. J. 1984. Growth response of *Pinus rigidax P. taeda* to mucorrhizal inoculation and efficiency of Pisolithus tinctorius at different soil texture and fertility with organic amendment. J. Korean For. Soc. **64:** 11-19.

Lee, K. J. and Koo, C. D. 1983. Taxonomic distribution of ecto and endomycorrhizae among woody species in Korea. J. Korean For. Soc. **59:** 37-45.

Lee, k. J., Koo, C. K. and Shim, S. Y. 1982. Identification of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus rigida* x *P. taeda* stand. Kor. J. Mycol. **10:** 21-25.

Lee, K. J., Koo, C. K. and Shim, S. Y. 1981. Survey of ectomycorrhizae in the selected woody species in Korea. J. Kor. For. Soc. **52:** 50-57.

Lee, S. K., Eom, A. H. and Lee, S. S. 1992. Population changes of arbuscular mycorrhizal spores in the different soil environments. Korean Mycol **20:** 134-143.

Lee, S. S., Ka, K. H. Lee, S. K. and Pack, K. Y. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi found at the horticultural and cultivated plants. Kor. J. Mycol **19:** 196-202.

Lee, S. S., and Ryu, C. N. 1992. Symbiosis of arbuscular mycorrhizae on the plant roots. Korean Mycol **20:** 126-133.

Lewis, D. H. 1973. Concepts in fungal nutrition and the origin of biotrophy. Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. **48:** 261-278.

Morton, J. B. 1985. Variation on mycorrhizal and spore morphology of *Glomus occultum* and *Glomus diaphanum* as influenced by plant host and soil environment. Mycologia **77:** 192-204.

Morton, J. B. 1986. Effects of mountants and fizatives on wall structure and Melzer's reaction in spores of two Acaulospora species (Endogonaceae) Mycologia **78:** 787-794.

Morton, J. B. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature, and identification. Mycotaxon. **32:** 267-324.

Morton, J. B. and Benny, G. L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new families. Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon: 471-491.

Mosse, B. 1953. Fructifications associated with mycorrhizal strawberry roots. Nature, Lond. **171:** 974.

Mun, H. T., Kim, C. K. and Choe, D. M. 1990. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth of bell pepper and corn seedlings. Kor. J. Ecol. **13:** 1-8.

Saif, S. R. 1981. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhizae. New Phytol. **88:** 649-659.

Saif, S. R. and Khan, A. G. 1975. The influence of season and stage of development of plant of Endogone mycorrhiza of field grown wheat. Con. J. Microbiol. **21:** 1020-1024.

Schenck, N. C. and Schroder, V. N. 1974. Temperature response of *Endogone* mycorrhiza on soy bean roots. Mycologia **66:** 600-605.

Schenck, N. C. and Perez, Y. 1988. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. University of Florida, Gainesville, FL, 244pp.

Sohn, B. K. and Kim, K. S. 1991. Studies on the Indigenous vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in Horticultural crops grown under greenhouse. J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. **24:** 293-301.

Sreenivasa, M. N. and Bagyaraj, D. J. 1988. Selection of a suitable for mass multiplocation of *Glomus fasciculatum.* Plant and Soil **109:** 125-127.

Struble, J. E. and Skipper, H. K. 1988. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungal spore production as influenced by plant species. Plant and soil **109:** 277-280.

Sutton, J. C. and Barron, C. L. 1972. Population dynamics of *Endogone* spores in soil. Can. J. Bot. **50:** 1909-1914.

Sylvia, D. M. 1986. Spatial and temporal distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Uniola paniculata* in Florida foredunes. Mycologia **78:** 728-734.

Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycotous mycorrhizal fungi. Phytopathology **72:** 1102-1109.

Trappe, J. M. 1987. Phylogenic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants, G. R. Safir (ed.). CRC Press, Boca Roton, Florida, pp. 5-25.

Trappe, J. M. and Schenck, N. C. 1982. Taxonomy of the fungi forming endomycorrhizae. pp. 1-9. In: Methods and Principles of mycorrhizal Research, ed. by N. C. Schenck. Amer. Phytopath. Soc. St. Paul. MN.

Accepted February 8, 1993