

## 전남지역 인삼재배 토양의 Arbuscular 균근균 분포 특성

손보균 · 진서영 · 이도진<sup>1\*</sup>

순천대학교 생명환경과학부, <sup>1</sup>순천대학교 농업교육과

### Distribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF) at Ginseng Cultivated Fields in Jeonnam Province

Bo-Kyoon Sohn, Seo-Young Jin, and Do-Jin Lee<sup>1\*</sup>

Division of Environmental and Agricultural Science, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

This study was carried out to investigate the distribution characteristics, colonization patterns of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) at Ginseng- cultivated fields in Jeonnam province including Gokseong, Yeonggwang, Yeongam and Haenam area. Average density of AMF spores in all of analyzed areas was in the range of 3.4~5.9 spores g<sup>-1</sup> air-dried soil and spore density in the soil was increased gradually up to Ginseng cultivated fields grown for 3 years. However, AMF spore densities in the marginal field soil were 6.3~14.7 spores g<sup>-1</sup> air-dried soil and it was higher than those in Ginseng-cultivated field soils. A 45~106 μm in diameter of AMF spores by size was dominant (74.3%) in Ginseng cultivated fields. AMF colonization association type in Ginseng roots was a *Paris*-type. Average rates of AMF infection ranged from 40% to 50%, while 64.4% of AMF infection occurred in Yeongam area. External hyphae length (EHL) in the rhizosphere soil of Ginseng cultivated field was in the range of 0.5~4.4 m g<sup>-1</sup> air-dried soil and the hyphae quantity was gradually increased proportional to increment of Ginseng cultivation years.

**Key words:** Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), Ginseng, *Paris*-type, external hyphae length (EHL)

## 서 언

최근 식물의 근권 생물 중 Arbuscular mycorrhizal fungi(AMF)은 기주식물의 뿌리에 감염되어 수분과 양분흡수를 증진시키는 특징을 가지고 있으며 이로 인하여 AMF는 기주식물의 생육에 유익한 영향을 주는 토양미생물로서 높은 관심의 대상이 되고 있다 (Kapulnik and Douds, 2000). AMF의 식물 접종효과는 육묘과정이나 미세번식 식물의 초기생육 촉진에서 큰 것으로 알려져 있다 (Budi et al., 1998; Blal, 1999; Jaizme-Vega and Diaz-Perez, 1999; Sohn et al., 1994; Sohn, 2000). 한편 토양의 양분 이용률과 토착 AMF 등 토양 상태에 따른 AMF의 작용은 인삼의 생육을 증진 또는 억제시킬 수 있으며, 인삼재배에서 AMF의 이용을 제안하고 있다 (Zeuske and Weber, 2000). 특히 AMF를 미국인삼 (*Panax quinquefolium* L.)에 접종한 결과에 의하면 대조구에 비해 결주율이 낮았으며 생체중은 41~43% 정도 증가되는 것으로

보고하고 있다 (Li, 1995). 뿌리에서의 AMF 감염 양상은 *Arum*-type과 *Paris*-type의 두 유형으로 구분되는데 인삼 뿌리에서는 *Paris*-type이 주로 관찰된다고 하였다 (Whitbread et al., 1996). 이와 같이 인삼과 AMF 간의 협생관계에 대한 연구가 수행되고 있으며 우리나라에서도 인삼을 대상으로 한 관련 연구의 필요성이 요구되어 본 연구에서는 기존 인삼재배 토양의 AMF 분포특성에 대하여 조사함으로써 인삼과 AMF 간의 협생관계를 파악하여 인삼재배에서의 AMF 활용 가능성에 도움을 주고자 한다.

## 재료 및 방법

**조사 대상지역 및 시료채취** 전남지역 주요 인삼재배지역인 곡성, 영광, 영암, 해남지역 4개 군의 인삼재배 포장의 37개 지점에서 2004년 10월 20일부터 2주일 간에 걸쳐 인삼근권의 토양과 뿌리시료를 채취하였다. 인삼뿌리는 각 지역에서 재배연수별로 채취하여 감염 여부를 확인하기 위해 채취한 뿌리를 수세한 다음 formalin acetic acid 용액 (FAA용액, 10 mL formalin + 5 mL acetic acid + 200 mL ethylene)에 고정하여

접수 : 2008. 5. 3 수리 : 2008. 6. 14  
\*연락처 : Phone: +82617503354,  
E-mail: djlee@suncheon.ac.kr

실험에 이용하였다. 4개군 37개 지점의 토양은 인삼 근권에서 500 g~1 kg 정도를 채취하여 4°C 저온 냉장고에 보관하였으며, 일부는 풍건하여 2 mm 체로 분리한 후 토양의 물리화학적 분석에 사용하였다.

**조사지역 토양의 화학적 특성** 토양의 화학적 특성은 수소이온농도, 토양유기물함량, 유효인산, 총질소, 치환성염기, 염기치환용량 등을 토양화학 분석법(RDA, 1989)에 준하여 분석하였다. pH는 초자전극법, 토양 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 총질소는 Kjeldahl 증류법, 치환성 염기는 1N-NH<sub>4</sub>OAC 용액으로 침출시켜 ICP (Optima 3300DV, Perkin-Elmer, U.S.A)를 이용하여 분석하였으며, 토양 전기전도도(EC)는 풍건토양 10g를 증류수와 1:5(v/v)비율로 혼합 30분간 진탕한 후 EC meter(Conductivity meter 455C, Istek, Korea)로 측정하였다.

**포자 밀도와 크기 분류** 토양 중의 AMF 포자 분류는 습식 사별법 (Daniels and Skipper, 1982)을 이용하여 분리한 다음 시료를 4°C에 보관하면서 실체 현미경 (Zeiss, Stemi 200-C, Germany)하에서 계수하였다. 한편 AMF의 크기별 분포조사를 위해 각 지역별로 채취한 토양시료를 1차로 걸러낸 다음, 체 크기 (500 $\mu$ m, 354 $\mu$ m, 250 $\mu$ m, 106 $\mu$ m, 45 $\mu$ m)별로 분획하여 실체 현미경하에서 계수하였다.

**AMF 감염 및 감염구조** 인삼 뿌리에 대한 AMF 근근균 감염을 조사는 Phillips and Hayman (1970)의 방법에 따랐으며 주요 내용은 다음과 같다. Formalin acetic acid(FAA)용액에 저장된 인삼뿌리를 약 1cm 길이로 자른 후 10% KOH용액으로 90°C의 온도에서 뿌리의 생체에 따라 20~30분간 처리하여, 증류수로 3~4회 헹구어낸 다음 0.1% chlorazol black E 염색액 (Brundurtt et al., 1994)으로 염색하고 50% glycerol로 탈색하였다. 한편 감염을 및 감염특성은 McGonigle et al. (1999)의 방법에 기인하여 염색된 뿌리절편에 대해 AMF의 감염구조인 수지상체(arbuscule), 낭상체(vesicle) 및 균사(hyphae)를 생물현미경(Olympus, PM-20, Japan) 하에서 관찰한 다음 5 mm 내의 감염 구조 존재여부에 대하여 %로 나타내었다.

**AMF 외생균사(external hyphae)의 추출 및 길이** Hyphae 추출은 Miller and Jastrow (1992)의 방법으로 생토 5 g에 증류수 250 mL과 분산제(Calgon) 31 mL 넣고 30분간 방치한 다음, 1분 동안 교반하여 일정한 높이에서 12 mL를 채취하였다. 그리고 증류수

125 mL을 넣어 교반한 후 동일한 높이에서 5~30 mL 취하여 0.45  $\mu$ m membrane filter로 여과한 다음, 0.05% trypan blue 용액으로 염색하여 생물 현미경(Olympus, PM-20, Japan)하에서 계수하고 환산하였다 (Tennant, 1975; Abbott and Robson, 1984).

## 결과 및 고찰

**인삼 재배지 토양의 화학적 특성** 전남의 인삼재배지역 4개 군 58개 지점의 토양 화학성을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 표에 나타난 지역별 평균값을 보면 전반적으로 EC 값, 유효인산 함량 및 치환성 칼리함량이 권장기준치 보다 높은 것으로 나타났다.

곡성 지역은 인삼 재배지의 pH 권장기준과 비교하였을 경우 지역별 평균값은 5.85로서 권장기준 pH 5.0~6.0 범위에 포함되었으나 3년근과 4년근 재배지에서 다소 높았고, 5년근 재배지는 약간 낮은 경향을 보였다. 영광 지역의 경우 평균 pH값이 기준보다 약간 높았으며 2, 3년근 및 5년근 재배지에서 높게 나타났다. 영암 및 해남 지역의 평균 pH는 각각 5.68과 5.33으로 적정한 값을 보였다. 토양 유기물 함량은 곡성(8 g kg<sup>-1</sup>), 영광(8.2 g kg<sup>-1</sup>), 영암(5.6 g kg<sup>-1</sup>), 해남(5.0 g kg<sup>-1</sup>) 지역 모두 권장기준인 20~35 g kg<sup>-1</sup>보다 낮았으며, 전국 평균값인 19 g kg<sup>-1</sup>보다 낮은 수준을 보였다. 유효인산의 경우 인삼재배지의 권장기준 값인 70~200 mg kg<sup>-1</sup> 보다 곡성(460.37 mg kg<sup>-1</sup>)과 영광(352.25 mg kg<sup>-1</sup>) 지역이 높은 함량을 보여 이와 같은 토양은 적절한 시비조절과 함께 예정지 관리시 최대한의 심경으로 심토층과 표토층을 혼합하여 유효인산의 농도를 낮추어 주는 것이 필요한 것으로 사료된다. 영암(214.07 mg kg<sup>-1</sup>)과 해남(74.27 mg kg<sup>-1</sup>) 지역은 권장기준의 최대값(200 mg kg<sup>-1</sup>)과 최소값(70 mg kg<sup>-1</sup>) 범위내에 포함되어 있는 것은 확인할 수 있었다. 한편, 치환성 양이온(Ex-Cations)은 4개 군 모두 높은 칼륨(K)값을 보였다. 또한 그 외 치환성 염기 함량은 적정 범위 수준에 포함되어 문제가 없는 것으로 판단되었다.

이상의 토양분석 결과를 고려해 볼 때 과부족 성분의 문제점을 개선하기 위해서는 균형시비가 필요하며, 특히 인산과 같은 성분은 토양에서 쉽게 이동이 되지 않기 때문에 인삼재배 예정지 관리시 심경과 객토와 같은 방법을 활용하여 토양을 충분히 교란시켜 줌으로서 경토 중 과량으로 함유된 성분의 희석효과를 고려할 수 있는 것으로 판단된다.

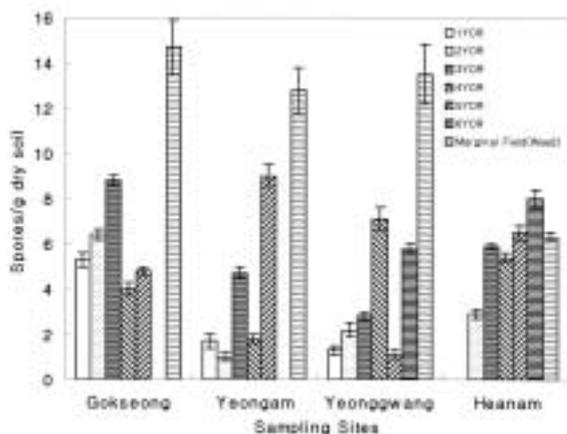
**인삼재배 지역별 포자밀도** 재배연수에 따른 재배 지역별 평균 포자밀도는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 전반적인 경향은 건토 1 g당 3.4~5.9개 수준이었으며,

**Table 1. Chemical properties of several Ginseng-cultivated field soils in Jeonnam province.**

Sites	YOR <sup>†</sup>	pH	EC	O.M	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex.-cations				CEC
							K	Ca	Mg	Na	
		1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmole kg <sup>-1</sup> -----				
Gokseng	1	5.71	0.17	11.80	0.08	509.75	0.84	1.68	1.07	0.17	5.66
	2	5.92	0.07	9.90	0.19	621.48	0.71	2.70	1.16	0.27	7.18
	3	6.38	0.08	6.60	0.09	502.88	0.78	2.52	1.11	0.17	5.61
	4	6.38	0.08	7.40	0.07	486.01	0.76	2.66	1.11	0.28	5.83
	5	4.87	0.09	4.20	0.06	181.70	0.52	1.47	0.73	0.03	6.56
Average		5.85	0.10	8.00	0.10	460.37	0.72	2.20	1.03	0.18	6.17
Yeonggwang	1	5.72	0.06	10.00	0.09	544.41	0.98	2.41	0.79	0.23	7.94
	2	6.59	0.07	9.40	0.36	337.97	0.76	3.72	1.73	0.22	11.19
	3	6.74	0.11	7.80	0.29	654.63	0.41	5.03	1.52	0.33	8.68
	4	5.43	0.09	7.60	0.33	81.24	0.78	2.36	0.71	0.21	6.70
	5	6.48	0.08	7.60	0.48	165.77	0.78	3.94	0.92	0.29	7.62
	6	5.16	0.11	6.60	0.51	329.49	0.47	2.40	1.28	0.32	8.35
Average		6.02	0.09	8.20	0.34	352.25	0.70	3.31	1.16	0.27	8.41
Yeongam	1	5.70	0.19	7.60	0.08	349.12	0.34	2.54	1.50	0.35	6.72
	2	5.28	0.09	5.40	0.08	150.16	0.52	2.89	1.47	0.33	9.38
	3	6.37	0.24	2.60	0.05	137.51	1.05	2.96	1.86	0.46	7.06
	4	5.28	0.96	4.60	0.08	284.27	0.41	3.45	1.05	0.32	9.26
	5	5.77	0.13	7.80	0.12	149.31	0.33	3.48	1.90	0.25	9.32
Average		5.68	0.32	5.60	0.08	214.07	0.53	3.06	1.55	0.34	8.35
Heanam	2	4.97	0.09	4.40	0.06	38.27	0.36	2.05	0.74	0.36	8.41
	3	5.66	0.16	6.80	0.08	74.05	0.86	3.24	1.30	0.35	8.57
	4	5.49	0.19	4.60	0.07	85.97	0.47	2.76	0.85	0.31	7.10
	5	5.71	0.15	5.20	0.11	44.02	0.77	3.67	1.39	0.24	8.78
	6	4.80	0.28	4.00	0.01	129.02	0.86	1.92	0.83	0.40	8.41
Average		5.33	0.17	5.00	0.07	74.27	0.66	2.73	1.02	0.33	8.25
Recommended levels		5.0	0.05	20		70	0.2	2.0	1.0		
		~6.0	~0.1	~35		~200	~0.5	~4.5	~3.0		

<sup>†</sup> YOR : Years old Ginseng root.

곡성(5.9개), 해남(5.7개), 영암(3.6개), 영광(3.4개) 순으로 낮아졌다. 인삼을 재배하지 않은 주변 토양은 인



**Fig. 1. Changes of AMF spore density depending on cultivation year at Ginseng-cultivated fields (Vertical line is standard error).**

삼 재배지보다 많은 6.3~14.7개 범위를 보였다. 이와 같이 인위적으로 교란되지 않은 토양이 AMF 포자 밀도가 높게 나타나는 것은 자연 상태로서 연속적으로 기주와 AMF간에 협생관계를 유지할 수 있으며 경작과 경운을 수반하는 인위적인 수단이 가해지지 않았고 특히 질소(N)와 인산(P)성분이 낮게 유지되는 것에 기인하는 것으로 해석된다 (Ratnayake et al., 1978; Jasper et al., 1979; Chambers et al., 1980).

지역별 특성을 살펴보면 인삼 근권토양의 지역에 따른 년수별 건조 토 1 g당 포자수는 곡성 지역의 1년근과 2년근 재배지에서 높은 밀도로 각각 5.3개, 6.4개를 보였고, 3년근 재배지에서도 8.8개 수준으로 높은 밀도를 보였다. 4년근 재배지에서는 영광 지역이 7.1개, 5년근 재배지는 영암 지역이 9.0개, 6년근 재배지의 경우는 영광과 해남 지역 중 해남 지역이 8.0개의 높은 밀도를 보였다. 조사지역 모두 재배연수가 증가하면서 포자밀도가 증가하는 경향을 보임으로서 인삼의

재배연수가 증가하면서 AMF에 대한 의존도가 높아 짐을 알 수 있다. 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 AMF 균근군 분포 특성에 관한 연구결과 (Sohn et al., 2003)에 의하면 작물 경작지별로 분리된 포자 밀도에서 토양 1 g당 포자수는 양파 재배지에서 12.1 개, 마늘 재배지는 11.7개, 고추 재배지는 10.1개 순의 밀도분포를 보였으나 본 인삼재배 지역의 포자밀도는 토양 1 g당 4.4~7.0개의 밀도분포를 보임으로서 조미 채소용 작물 재배지 토양에 비해 낮은 포자밀도 분포 를 보이는 것으로 나타났다.

**포자크기별 분포** 지역별 인삼 재배지에서 포자밀 도가 가장 높은 곡성(3년근), 영암(4년근), 영광(5년 근), 해남(6년근)지역의 재배지에서 추출 분리된 포자 를 크기별로 계수한 결과, 조사지역 모두 포자 크기가 작은 분획의 포자 밀도가 높게 나타나 96.8%가 포자 크기 45~250 $\mu$ m에 분포하였으며 특히 45~106  $\mu$ m범위 에서 가장 많은 포자 밀도를 보였다(Table 2). 이는 그 크기의 범위에 가장 많이 존재한다는 *Glomus* 속 과 *Acaulospora* 속이 우점하는 것으로 추정할 수 있 다 (Schenck and Pérez, 1990). 분리에 사용한 체의 눈금이 250  $\mu$ m 이상의 큰 분획에서는 자연토양 30 g 당 10개 미만으로 매우 낮은 포자 밀도를 보임으로서 그 크기 범위에 많이 존재한다는 *Gigaspora* 속과 *Scutellispora* 속으로 추정되었다. 이러한 밀도차이는

AMF 포자의 크기가 큰 것은 자연상태의 토양과는 다르게 계속적인 교란과 또한 자체의 생태 생리적인 열세로 인한 결과로 해석된 바 있다 (Heteick, 1986; Smith and Smith, 1997).

습식 사별법으로 분리한 포자의 사진을 Fig. 2에 나 타내었다. 사진 A는 비교적 포자밀도가 낮은 인삼재 배 토양에서 분리한 포자의 모습이며, 사진 B~F는 포자밀도가 높은 지점과 포장주변의 교란되지 않은 자연상태의 토양에서 분리된 포자의 모습(사진 D)으 로서 황갈색을 띠고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 사진들의 포자 중 검은색을 띠는 포자가 많은 것을 볼 수 있는데, 이러한 포자는 사멸되어 활성이 없고 발아력을 상실한 것이며, 사진 E와 F에 포자직경이 500  $\mu$ m 전후로 보이는 포자들은 *Gigaspora*속과 *Scutellospora*속에 해당된다.

**AMF 감염율 및 외생균사(external hyphae) 길이** 감 염양상을 조사하기 위해 인삼뿌리를 염색한 다음 현 미경하에서 감염 양상을 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타 내었다. Figure 3의 사진 A와 같이 기주식물인 인삼 과 AMF 사이에 무기영양분과 광합성 산물의 교환 장소 (Smith and Smith, 1997)로 알려진 수지상체 (arbuscule)가 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한 사 진 B에서 화살표(→)로 표기한 균사 구조가 인삼뿌리 의 표피세포에 분리되어 있으며 이 내부균사(internal

**Table 2. Distribution of AMF spore size at Ginseng-cultivated fields.**

Sites	YOR <sup>†</sup>	No. of spores / 30g fresh soil					Total $\mu$ m
		>500 $\mu$ m	354~500 $\mu$ m	250~354 $\mu$ m	106~250 $\mu$ m	45~106 $\mu$ m	
Gokseong	3	5(4.67) <sup>‡</sup>	0(0)	5(4.67)	18(16.82)	79(73.84)	107(100)
Yeonggwang	5	0(0)	1(0.95)	1(0.95)	9(8.57)	94(89.53)	105(100)
Yeongam	4	2(2.2)	4(4.39)	3(3.3)	7(7.69)	75(82.42)	91(100)
Heanam	5	0(0)	4(4.17)	0(0)	20(20.83)	72(75)	96(100)
Gokseong Marginal field (Weed)	2	1(0.09)	7(0.63)	11(0.99)	217(19.5)	877(78.79)	1,113(100)
Yeonggwang Marginal field (Weed)	5	3(0.19)	4(0.26)	3(0.19)	461(29.78)	1077(69.58)	1,548(100)
Yeongam Marginal field (Weed)	5	0(0)	10(1.33)	54(7.18)	125(16.62)	563(74.87)	752(100)
Haenam Marginal field (Weed)	5	1(0.38)	2(0.78)	6(2.33)	24(9.3)	75(87.21)	258(100)
Average		1.5 (0.3)	4.0 (0.8)	10.4 (2.1)	110.1 (22.5)	364.0 (74.3)	490.0 (100)

<sup>†</sup> YOR : Years old Ginseng root.

<sup>‡</sup> Distributed percentage in spore size.

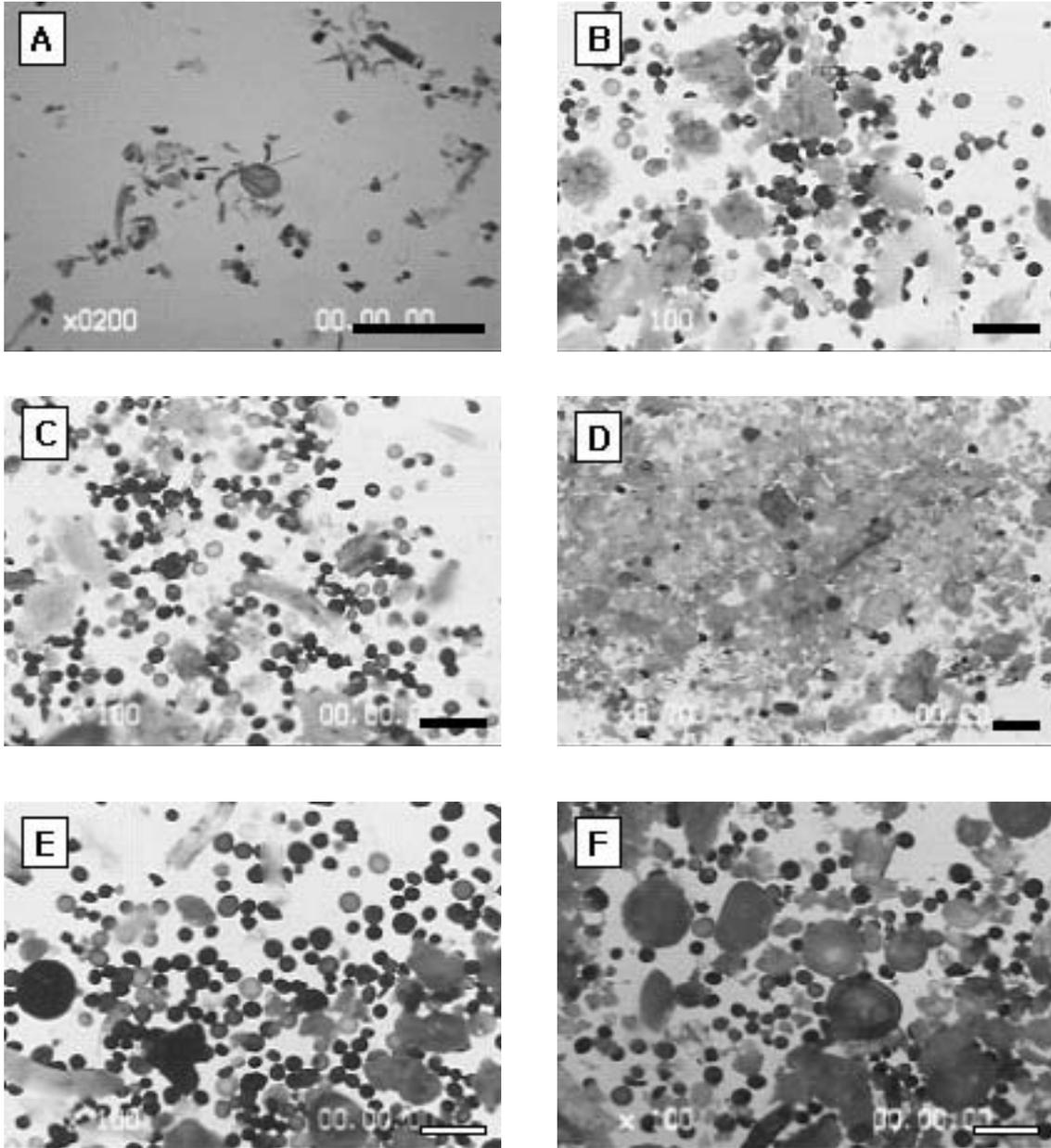


Fig. 2. Various shapes of AMF spore in the rhizosphere soil at Ginseng-cultivated fields. (scale bar = 500  $\mu\text{m}$ )

hyphae)를 통해 수분과 무기양분을 흡수하는 뿌리의 연장선 역할을 하고 있는 것으로 보인다 (Smith and Smith, 1997). 사진 C와 D는 인삼뿌리에 감염되어 있는 균사와 자낭체(vesicle)를 나타낸 것이다.

Figure 4는 AMF의 두 가지 감염 양상을 보여주는 결과로서 A와 B는 *Paris*-type으로 보통 음식식물에서 흔히 관찰되며 (Gallaud, 1905), Smith and Smith (1997)의 보고에 의하면 서양삼은 *Paris*-type으로 수지상체(arbuscules)와 낭상체(vesicles)의 마디 사이에 hyphal coil을 이루어 발달하고 세포안에서 세포안으로 감염되어 있는 것으로 확인하였으며 (Whitbread et al., 1996), 기주식물로부터 광합성 산물의 섭취가 적기 때문에 hyphal coil의 생성과정은 매우 느리지만

계속적으로 진행되며 감염이 끝날 시기에는 arbuscules coil과 hyphal coil 구성물이 비슷한 양으로 형성된다고 보고하였다. 또한 주근의 건물량은 18% 정도 감소하였지만 측근의 길이는 15% 정도 증가한다고 보고하였으며 (McGonigle et al., 1999), Armstrong and Peterson (2002)은 서양삼(*Panax quinquefolius*)에 *Glomus intraradices*를 접종시켜 감염 구조를 조사한 결과 서양삼 뿌리의 피층세포에 *Paris*-type이 주로 형성됨을 확인한 바 있다. 그리고 Fig. 4의 C와 D는 형태적, 생리학적으로 자주 연구되어진 *Arum*-type으로서 세포벽과 세포벽 사이에 빠른 속도로 집락되어 가며 광합성이 활발한 화분과 식물에서 흔하게 볼 수 있다 (Smith and Smith, 1996, 1997).

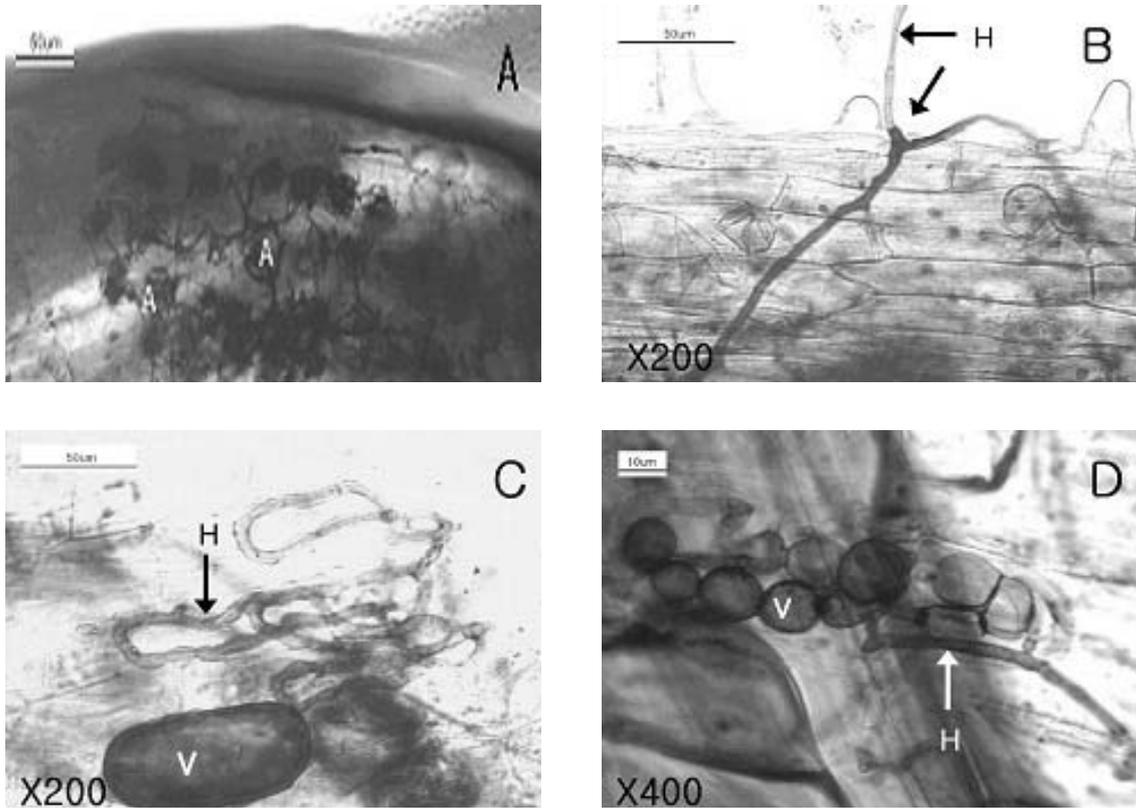


Fig. 3. Colonization pattern of AMF in the minute roots of Ginseng. [A : Arbuscule(A), B : An epidermal cells and external hyphae(EH), C and D : Vesicle formed by hyphae]

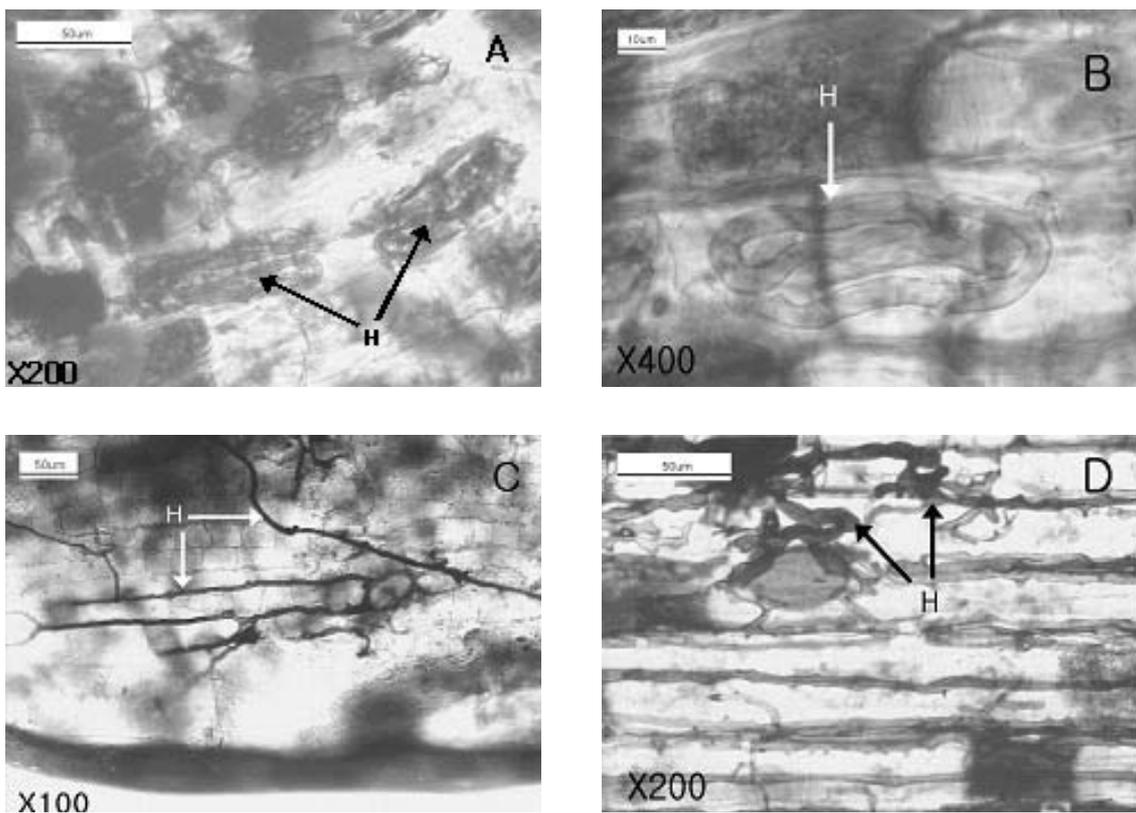


Fig. 4. Paris and Arum-type of AMF colonization. (A and B : Paris-type hyphae, C and D : Arum-type hyphae)

본 조사 지역의 인삼뿌리에서는 *Arum-type* 보다는 *Paris-type*이 많이 관찰되었으며 이는 Whitbread et al. (1996)의 조사 결과와 동일한 감염양상을 보여 주었다. Table 3과 Fig. 5는 각 지역별로 인삼재배지역에서 AMF 감염율을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 곡성과 영암 지역의 1, 2 및 3년근 재배지, 영광 지역의 4, 5년 및 6년근 재배지는 재배연수가 증가할수록

감염율이 증가하는 경향을 보였고, 지역별 평균 감염율은 영암>곡성>영광>해남 순으로 높게 나타났다. 포자밀도와 비교 분석한 결과 밀도와 감염율의 상관관계는 확인할 수 없었다.

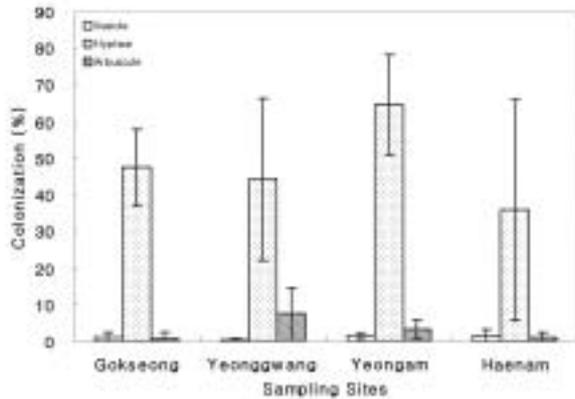


Fig. 5. AMF colonization percentage in several Ginseng-cultivated fields. (Vertical line is standard error).

**AMF 외생균사(external hyphae)의 길이** 인삼 재배지 근권 토양의 인삼 재배연수별 건토 1 g당 외생균사 길이를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 외생균사는 기주식물 뿌리에 감염되어 수분과 양분흡수를 증가시키고 토양입단의 안정화를 높여 주며, 침식으로 인한 토양 입단파괴를 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Miller and Jastrow, 1992; Tisdall et al., 1979; Wright and Upadhaya, 1996).

재배지역별 외생균사의 길이는 건토 1 g 당 평균 1.39~2.48 m 범위였으며, 그 중 영광 지역이 건토 1 g 당 2.48 m로 가장 긴 것으로 나타났다. 이는 지역별 포자밀도 및 재배연수에 따른 포자밀도의 조사 결과와 비슷한 경향을 보였으며 재배연수별 외생균사의 길이는 5년근과 6년근 재배지는 영광 지역이 각각 건토 1 g 당 3.58 m와 4.39 m로서 타 조사지역보다 외

Table 3. Colonization rate of AMF in different Ginseng-cultivated fields.

Sites	YOR <sup>†</sup>	AMF infection rate(%)			
		Vesicle	Hyphae	Hyphae	Total
Gokseong	1	0	46.43	0	46.43
	2	0	55.26	3.90	59.16
	3	3.31	59.63	0	62.94
	4	0	32.75	0	32.75
	5	1.81	42.49	0	44.30
	Average		1.02	47.31	0.78
Yeongam	1	0.76	47.40	4.82	52.98
	2	1.62	69.26	4.60	75.48
	3	0.64	82.03	5.54	88.21
	4	2.75	68.80	1.49	73.04
	5	0.66	54.35	0	55.01
	Average		1.29	64.37	3.29
Yeonggwang	1	0	61.99	0	61.99
	2	0	30.85	14.80	45.65
	3	0	9.68	0	9.68
	4	0	37.24	16.56	53.80
	5	0	58.30	7.97	66.27
	6	1.32	66.82	4.58	72.72
Average		0.22	44.15	7.32	51.69
Haenam	2	3.35	68.36	2.75	74.46
	3	4.01	50.95	1.38	56.34
	4	0	5.63	0	5.63
	5	0	19.28	0	19.28
	6	0	17.16	0	17.16
	Average		1.4	32.28	0.83

<sup>†</sup> YOR : Years old Ginseng root.

생균사의 길이가 2~3배 정도 긴 것으로 나타났다. 또한 곡성과 영광 지역은 재배연수의 증가와 함께 외생균사의 길이도 긴 것으로 나타나 재배연수가 증가 할수록 포자밀도가 증가하는 것과 일치하는 결과를 보였다.

Jakobsen and Rosendahl(1990)은 오이(*Cucumis sativus*)를 기주식물로 한 pot실험에서 AMF의 한 종인 *Glomus fasciculatum*을 접종한 후 근권토양 중 외생균사 길이를 조사한 결과 27 m g<sup>-1</sup> 정도까지 많은 균사밀도를 보고된 바 있으며, 또, 오스트레일리아의 적황색 경작지 토양에서 토끼풀(*Trifolium repens*)과 퍼레니알 라이그라스(*Lolium perenne*) 근권에서는 각각 3.1 m g<sup>-1</sup>와 13.9 m g<sup>-1</sup>를 보였고(Tisdall and Oades, 1979), Serengeti 공원 토양의 C4 식물인 잡초들의 근권토양에서는 0.03~6.95 m g<sup>-1</sup>로 외생균사 길이의 상당한 변이폭이 확인된 바(McNaughton and Oostenheld, 1990) 있다. 이와 비교하였을 때 우리나라 인삼재배지 토양의 외생균사 길이는 건토 1 g 당 1.39~2.48 m로서 밀도가 낮은 수준으로 조사되었다.

**Table 4. Length of AMF external hyphae in Ginseng-cultivated fields.**

Sampling Sites	YOR <sup>†</sup>	Hyphae length meter g <sup>-1</sup> dry soil
Gokseong	2	0.46
	3	1.04
	5	3.03
	1 [Marginal field(weed)]	1.02
	Average	1.39
Yeonggwang	3	0.92
	5	3.58
	6	4.39
	5 [Marginal field(weed)]	1.04
	Average	2.48
Yeongam	2	0.75
	3	1.86
	4	1.51
	5 [Marginal field(weed)]	1.73
	Average	1.46
Haenam	3	1.76
	4	1.36
	5	0.79
	5 [Marginal field(weed)]	2.17
	Average	1.52
Total Average	1.71	

<sup>†</sup> YOR : Years old Ginseng root.

## 요 약

전남지역 인삼재배지의 토착 Arbuscular 균근균(AMF)의 분포와 감염특성을 파악하기 위해 곡성, 영광, 영암, 해남 지역을 대상으로 58개 지점의 토양과 인삼 시료를 채취하여 조사하고 AMF 밀도와 토양특성을 조사하였다. 조사지역의 전체 평균 포자밀도는 건토 1 g당 3.4~5.9개의 분포를 보였으며, 재배연수 3년근 재배지까지는 포자밀도가 다소 증가하는 경향을 보였고, 자연상태 토양 중의 AMF 포자밀도는 건토 1 g 당 6.3~14.7개로서 인삼재배지 보다 포자밀도가 높았다. 포자크기별 분포는 직경 45~106 μm 범위에 74.3% 정도가 포함되었으며, AMF의 감염양상은 Paris-type이 주를 이루었다. 평균 감염율은 영암지역의 재배지에서 64.4%로 높게 나타났으나 그 밖의 지역은 40~50%범위를 보였다. 조사지역의 근권토양 중 AMF 외생균사의 길이는 건토 1 g당 0.5~4.4 m 범위로서 인삼의 재배연수가 증가함에 따라 외생균사(external hyphae)의 양이 많아지는 것으로 파악되었다.

## 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- Abbott, L.K., and A.D, Robson. 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In:VA mycorrhiza. Ed by:C.L Powell & D.J. Baagyaraj. CRC Press. Boca Raton. p. 113-130.
- Armstrong, L. and R.L. Peterson. 2002. The interface between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and root cells of *Panax quinquefolius*: a Paris-type mycorrhizal association. *Mycologia* 94:587-595.
- Blal, B. 1999. Utilization of commercial arbuscular mycorrhizal fungi inoculants in ornamental and Woody plants in nursery. *Acta Horticulturae* 496:461-470.
- Brundrett, M., R.L. Peterson, L. Melville, H. Addy, T.P. McGonigle, G. Schaffer, N. Bougher, H. Massicotte. 1994. Practical methods in mycorrhiza research. mycologue Publication. p. 161.
- Budi. S.W., C. Cordier, A. Trouvelot, V.G. Pearson, and S. Gianinazzi. 1998. Arbuscular mycorrhiza as a way of promoting sustainable growth of micropropagated plants. *Acta Horticulturae* 457:71-78.
- Chamber, C.A., S.E. Smith, and F.A. Smith. 1980. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*. *New Phytol.* 85:47-62.
- Daniels, B.A. and H.A. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. Pages 29-35 in

- N.C. Schenck, editor. methods and principles of mycorrhizal research. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn.
- Gallaud, I. 1905. Études sur les mycorrhizes endophytes. Revue Générale de Botanique 17:5-500.
- Hetrick, B.A. 1986. Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: VA Mycorrhiza (Powell, C.L., and D.J. Bagyaraj, ed.). p. 35-56. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Jaizme-Vega, M. and M. Díaz-Pérez. 1999. Effect of *Glomus intraradices* on *Phoenix roebelenii* during the nursery stage Acta Horticulturae(ISHS). 486: 199-202.
- Jakobsen, I. and L. Rosendahl. 1990. Carbon Flow into Soil and External Hyphae from Roots of Mycorrhizal Cucumber Plants. New Phytol. 115:77-83.
- Jasper, D.A., A.D. Robson, and L.K. Abbott. 1979. Phosphorus and the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas. Soil Biology and Biochemistry 11: 501-505.
- Kapulnik, Y., D.D. Douds, Jr. 2000. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kluwer Academic Publishers. pp. 372.
- Li, T.S.C. 1995. Effect of Vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth of american ginseng. Korean J. Ginseng 19:73-76.
- McGonigle, T.P., J.P. Hovius, and R.L. Peterson. 1999. Arbuscular mycorrhizae of American Ginseng(*Panax quinquefolius*) in cultivated field plots : Plant age affects the development of a colonization lag phase, Can. J. Bot. 77: 1028-1034.
- McNaughton, S.J., and M. Oostenheld. 1990. Extramatrical mycorrhizal abundance and grass nutrition in a tropical grazing ecosystem, the Serengeti National Park, Tanzania. Oikos, 59:92-96.
- Miller, R.M., and J.D. Jastrow. 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation, In: G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman(eds), Mycorrhiza in sustainable agriculture. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI. p. 29-44.
- 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. Translocations of the British Mycological Society. 55 :158-160.
- Ratnayake, M., R.T. Leonard, and J.A. Menge. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal infection. New Phytol. 81:543-552.
- Rural Development Administration. 1989. Method of soil chemical analysis. RDA, Suwon, Korea.
- Schenck, N.C. and Y. Pérez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi, 3rd ed.. Gainesville, florida, USA. p. 245.
- Smith, F.A., and S.E. Smith, 1996. Mutualism and parasitism : Diversity in function and structure in the "arbuscular"(VA) mycorrhizal Symbiosis. Adv Bot Res, 22:1-43.
- Smith, F.A., and S.E. Smith, 1997. Tansley Review No. 96. Structural diversity in (Vesicular) arbuscular mycorrhizal symbioses. New Phytol, 137:373-388.
- Sohn, B.K. 2000. Studies on inoculation method of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi for improvement of Ginseng productivity. Final report. Ministry of Aagriculture & Forestry. p. 295.
- Sohn. B.K., H.L. Kim, and Y.J. Kim. 2003. Density of arbuscular mycorrhizal fungi and chemical properties of soil in seasoning crop cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert., 36:145-153.
- Sohn, B.K., S.M. Huh, and K.Y. Kim. 1994. Effect of Inoculation with Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal(VAM) Fungi on the Early Growth of Strawberry Plantlets. Korean J. Soil Sci. Fert., 27:54-63.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersection method of measuring root length. Journal of Ecology. 63:995-1001.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. Australian Journal of Soil Research. 17:429-441.
- Whitbread, F., T.P. McGonigle, and R.L. Peterson. 1996. Vesicular-arbuscular mycorrhizal associations of American Ginseng(*Panax quinquefolius*) in commercial production. Can. J. Bot. 74:1104-1112.
- Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyhal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci. 161:575-585.
- Zeuske, D., and H.C. Weber. 2000. Growth stimulation of *Panax ginseng* C.A. Meyer (Araliaceae) arising from AMF-isolate inoculation. Symbiosis 29: 213-230.