

재배방식이 상이한 포도 재배지 토양의 Arbuscular균근균 포자밀도와 감염특성

손보균* · 조주식 · 리우양펑 · 이도진¹ · 김홍림²

순천대학교 생명환경과학부, ¹순천대학교 농업교육과, ²농촌진흥청 남해출장소

Colonization Characteristics and Density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF) in the Different Cultivated Grape Soils

Bo-Kyoon Sohn, * Ju-Sik Cho, YanPeng Liu, Do-Jin Lee¹, and Hong-Lim Kim²

Division of Bio-Enviornmental Science,

¹Dept. of Agricultural Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

²Namhae Sub-Station, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

There was no difference between eco-friendly and conventional cultivated soils in the chemical properties. But Av.P₂O₅ contents in the eco-friendly cultivated soils were slightly higher than that of conventional cultivated soils. In the conventional cultivated soils, the coefficient of correlation between spore density and soil chemical properties such as pH, EC, OM, Av.P₂O₅, K√(Ca+Mg) and CEC was -0.48*, -0.05, 0.48*, -0.12, -0.13, 0.31 respectively. But, in the eco-friendly cultivated soils was -0.68*, 0.69*, 0.96**, 0.75*, 0.63*, 0.92** respectively. The spore density was 140 spores 30 g⁻¹ in the eco-friendly cultivated soils and 60 spores 30 g⁻¹ in the conventional cultivated soils. Infection ratio of intercellular hypha was higher than that of arbuscular and vesicular among the fungi structures within the root. Suncheon and Cheonan as eco-friendly cultivated soil were higher than GimJe and NamWon in infection ratio.

Key words : Grape Cultivated Soil, Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF), Density

서 언

균근균(Arbuscular Mycorrhizal Fungi)은 전체 유관속 식물의 약 80% 이상과 공생관계를 맺고 있는 토양 미생물이다. 균근균과 식물뿌리의 상호관계는 알려진 바와 같이 균체는 기주식물에게 양 수분을, 기주식물은 균체에게 탄소원을 공급함으로써 상호 공생관계를 유지한다. 특히 균근균이 토양 유용 미생물로서 관심을 받는 이유는 한정된 식물뿌리의 양 수분 이용 영역을 극복하고, glomalin과 같은 토양 물리성 개선 물질을 생성함으로써 독특한 균근균 근권영역을 형성하기 때문이다(Wright and Upadhyaya, 1999)

결과적으로 이러한 유용한 토양 공생 미생물은 작물의 생존력과 생장증진 유도(Smith and Read 1997), 토양구조의 안정성(Menge et al., 1983), 한발 및 내병 저항성(Hooker et al., 1994)등의 효과를 가지고 있으며, 포도에서도 같은 경향의 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Possingham and Obbink, 1971; Nappi

et al.,1985; Schellenbaum et al., 1991; Karagiannidis et al., 1997; Bilicolti et al.,1997; Karagiannidis and Nikolaon, 2000; Linderman and Davis, 2001).

균근균의 이용효과는 포자의 종류에 따라 차이가 있으며, 포자의 종류는 과원의 비배관리등에 따라 다르기 때문에 이에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다(Menge, 1982; Linderman and Davis, 2001).

국내 노지 조미채소 주산지에서 조사한 바에 따르면, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*속 등이 주로 분포하고 있었으며, 건토 1 g 당 10여개 내외의 매우 낮은 수준의 포자 밀도를 보인 것으로 보고하고 있다(엄 등, 1992; 가 등, 1991; 구 등, 1992; 손 등, 2003).

이와 같은 경향은 90년대 후반까지 국내 토양관리의 관점이 생산성 향상이라는 목표에 부합한 토양관리에 따라 인산을 포함한 양분의 과도한 집적과 제초 및 병 해충방제를 위한 다양한 화학적 방제 등으로 인한 결과라 판단된다.

따라서 본 연구는 토양 관리방법에 따른 균근균의 포자밀도 및 분포특성을 구명하고 이를 통해 균근균

접수 : 2007. 10. 15 수리 : 2007. 11. 3

*연락처 : Phone: +82617503292,

E-mail: bksohn@sunchon.ac.kr

을 이용한 친환경 포도 재배지 토양관리 연구에 기초 자료로 이용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

토양시료 채취 토착 균근균의 수집 및 선발을 위해 포도 주산단지외의 근권토양을 채취하였다(Table 1). 친환경 재배지 토양시료는 충남 천안과 전남 순천지역을, 관행 재배지 토양시료는 전북 김제와 남원 지역을 중심으로 총 29개 지점의 토양을 채취하였다. 채취한 토양은 식물뿌리와 근권토양 약 7~8kg 정도를 채취하여 polyethylene bag에 넣어 4°C의 저온냉장고(암상태)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

Table 1. Soil sampling area.

Local	Spots
Jeonnam Suncheon	2
Chungbuk Cheonan	8
Jeonbuk GimJe	14
Jeonbuk NamWon	5
Sum	29

토양 화학성 분석 토양시료의 이화학적 특성은 pH, 유기물함량, Av.P₂O₅ 및 K, Na, Ca, Mg 등의 다량원소를 토양화학분석법(농촌진흥청 농업기술연구소, 1989)에 준하여 다음과 같이 분석하였다. 채취한 토양은 풍건시킨 후 2 mm 체로 사별하여 다음의 분석에 이용하였는데, pH는 초자전극법, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 그리고 다량원소인 K, Na, Ca, Mg는 1N-NH₄OAC용액으로 침출시켜 Inductively coupled plasma spectrometer(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer, U.S.A.)를 이용하여 분석하였다.

균근균 포자 분리 및 계수 토양의 균근균 포자 밀도를 조사하기 위하여 토양시료 30 g을 수돗물에 현탁, 1차 사별한 후 mesh별(500, 354, 250, 106 및 45

m)로 재차 사별 하였다. 사별된 잔사는 다시 50% glycerol 용액에 현탁 후 약 2,000 rpm에서 15분간 원심분리 후 50~70 배율의 현미경 하에서 계수하였다(Daniels and Skipper, 1982).

균근균 감염율 조사 포도 뿌리에 대한 균근균 감염형태 및 감염율 조사는 Phillips와 Hayman(1970)의 방법으로 다음과 같다. 즉, FAA(Formalin-Acetic Acid-Alcohol)용액에 저장된 포도뿌리를 약 1 cm 길이로 자른 후 10% KOH액으로 90°C의 온도에서 뿌리의 상태에 따라 30~60분간 처리하여 멸균 증류수로 3~4회 행구어 낸 후 Alkaline hydrogen peroxide으로 표백시키고, 다시 2% HCl로 산성화한 후, 0.05% Trypan blue 용액으로 염색하여 광학 현미경(Olympus, PM-20)하에서 감염양상을 관찰하였다.

결과 및 고찰

토양 화학성 포도과원의 토양 화학적 특성을 분석한 결과는 표 2와 같다. 김제와 남원지역에서 채취한 관행 재배지 토양의 pH는 6.5내외 이었으며, 전기전도도는 0.2 dS m⁻¹ 이하로 매우 낮은 수준이었다. 또한 유기물 함량은 김제시에서 채취한 토양이 매우 낮은 수준이었으며, 유효인산 함량은 두 지역 모두 700 mg kg⁻¹ 이상으로 농촌진흥청 추천함량인 200~300 mg kg⁻¹ 보다 높은 수준이었다(농촌진흥청, 2006).

치환성 양이온함량중 칼슘과 마그네슘 그리고 CEC는 농촌진흥청 추천수준에 준 하였으나, 칼리 함량은 두 지역 모두 2~3배 높은 수준이었다(농촌진흥청, 2006). 또한, 순천시와 천안시에서 채취한 친환경 재배지 토양 역시 관행재배지 토양과 비슷한 경향이었으나, 순천시의 경우 유기물 함량과 유효인산 함량이 타 지역과 비교하여 매우 높은 수준이었다.

각 포도 재배지 토양으로부터 분리 계수한 균근균 포자의 크기 분포는 표 3과 같다. 포자크기별로 계수한 결과 포자크기가 작은 45~106 μm 범위에서 가장

Table 2. Chemical properties of upland soils in major cultivation of Grapes.

Sampling sites	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ex.Cations			CEC
					Ca	K	Mg	
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol kg ⁻¹ -----			cmol kg ⁻¹
Recommend level [†]	6.0~6.5	-	25~35	200~300	5.0~6.0	0.3~0.6	1.5~2.0	10~15
Jeonnam Suncheon	5.32	0.22	68.6	1,050	6.39	2.18	2.50	17.9
Chungbuk Cheonan	6.81	0.09	13.7	568	5.37	1.05	1.93	8.8
Jenbuk GimJe	6.94	0.17	7.1	792	6.89	1.07	1.32	8.0
Jenbuk NamWon	6.24	0.11	24.5	737	5.88	1.06	1.25	10.2

[†] RDA Recommend level of Grapes cultivation soils.

Table 3. Distribution by spore size in major cultivation soil of Grapes.

Cultivation methods	Sampling sites					
		>500 μm	354-500	250-354	106-250	45-106
		----- % -----				
Eco-friendly cultivation	Jeonnam Suncheon	0.3	0.2	1.7	34.6	63.2
	Chungbuk Cheonan	0.0	0.5	1.0	22.9	75.5
Conventional cultivation	Jeonbuk GimJe	0.7	0.7	1.3	38.5	58.9
	Jeonbuk NamWon	0.9	0.9	2.1	32.9	63.2

높은 밀도를 나타냈다. 포자 크기별 분포비율의 차이는 포자 크기가 클수록 크기가 작은 포자에 비해 작물 재배관리 등으로 행해지는 다양한 형태의 토양교란과 균주 자체의 생리적 열세로 인한 결과로 이해되고 있다(Smith and Read, 1997).

각각의 포자 크기에 따른 분포비율은 재배방법 및 지역간 차이를 보이지 않았으나, 토양 관리 형태에 따른 균근균 포자밀도는 그림 1과 같이 매우 큰 차이를 보였다. 친환경 재배지 토양의 평균 균근균 포자밀도는 약 140 spores 30 g⁻¹의 수준을 보인 반면, 관행재배지 토양의 경우 약 60 spores 30 g⁻¹을 보여 친환경 재배지 토양의 밀도가 관행토양에 비교하여 약 2~3 배 높은 수준의 포자밀도를 나타냈다. 친환경 재배지 토양이 높은 균근균 밀도를 갖는 것은 여러 가지 요인이 있을 수 있으나, 관행재배지 토양이 주로 비닐멀칭 또는 부직포 멀칭을 하기 때문에 초생재배를 하는 친환경 재배지 토양과 비교하여 균근균 숙주를 제공할 수 있는 작물의 뿌리의 밀도가 낮은 것 역시 큰 원인으로 이해할 수 있다.

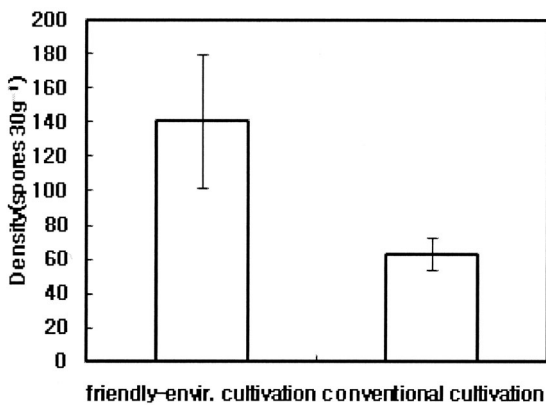


Fig. 1 Mycorrhiza spores density by cultivation methods in major cultivation soil of Grapes.

관행 재배와 친환경 재배지 토양은 토양 양분함량에 따른 균근균 포자밀도의 경향과 상관관계에서도 큰 차이를 보였다. 그림 2~7에서 보는 바와 같이 관행재배지 토양의 양분함량과 균근균 포자 밀도간의 상관관계가 뚜렷하지 않은 반면, 친환경 재배지 토양

은 매우 뚜렷한 상관관계를 보였다.

토양 pH에 따른 균근균의 분포는 종에 따라 다르지만, 매우 폭넓게 분포하는 것으로 알려져 있으며 (Porter et al., 1989; Robson and Abbott, 1989), 일반적으로 토양 pH, 양분함량, 염류농도가 증가하면 감염율과 포자밀도가 감소되는 것으로 보고하고 있다.(Abbott and Robson, 1991) 특히 높은 pH에서의 균근균 포자 밀도 감소는 인산의 유효도를 높여 작물의 균근균 의존율을 낮추기 때문으로 판단할 수 있으며, 이와 같은 경향은 양분함량에 크게 영향을 받는 토양 EC와도 같은 기작으로 해석할 수 있다 (Feldmann et al., 1994). 국내 채소 재배지 토양의 pH에 따른 균근균 포자 밀도는 pH 4~8까지 폭넓게 분포하였으나, 일관성 있는 경향은 보이지 않은 것으로 보고된 바 있다(손 등, 2003). 그러나 본 조사결과에서는 토양 pH와 균근균 포자밀도가 친환경 및 관행재배지 토양 모두 부의 상관관계를 보이고 있어 기 보고된 연구결과와 일치되는 결과를 나타냈다.

토양 EC수준에 따른 균근균 포자밀도는 관행 재배지와 친환경 재배지 토양과 큰 차이를 나타냈다. 친환경 재배지와 관행 재배지 토양의 EC 수준이 균근균 활성의 감소를 유도할만한 높은 수준이 아님에도 불구하고 관행 재배지 토양의 균근균 포자 밀도는 EC 수준과 관계가 없었다. 반면 친환경 재배지 토양은 0.3 dS m⁻¹ 범위의 제한된 EC수준에서 높은 상관관계를 나타냈다. 결과적으로, 친환경 토양관리는 제한된 범위내의 양분함량에서 작물의 생육을 촉진하고, 균근균 포자와의 접촉빈도를 높여 균의 활성화에 긍정적인 작용을 하는데 기여했기 때문으로 판단된다.

토양 유기물 함량에 따른 균근균 포자 밀도는 두가지 재배방식 모두 정의 상관관계를 보였다. 특히 친환경 재배지 토양의 포자 밀도는 관행 재배지 토양과 비교하여 유기물 함량과 고도의 정의 상관관계를 보이고 있어 친환경 토양관리가 관행 관리와 비교하여 균근균의 활성을 유도하는데 유기물의 이용효과를 높여줄 수 있었다.

일반적으로 인산과 균근균은 대립적인 관계를 가지고 있으며, 포자의 발아, 균사의 성장 및 접종이 토양 유효인산 함량에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있

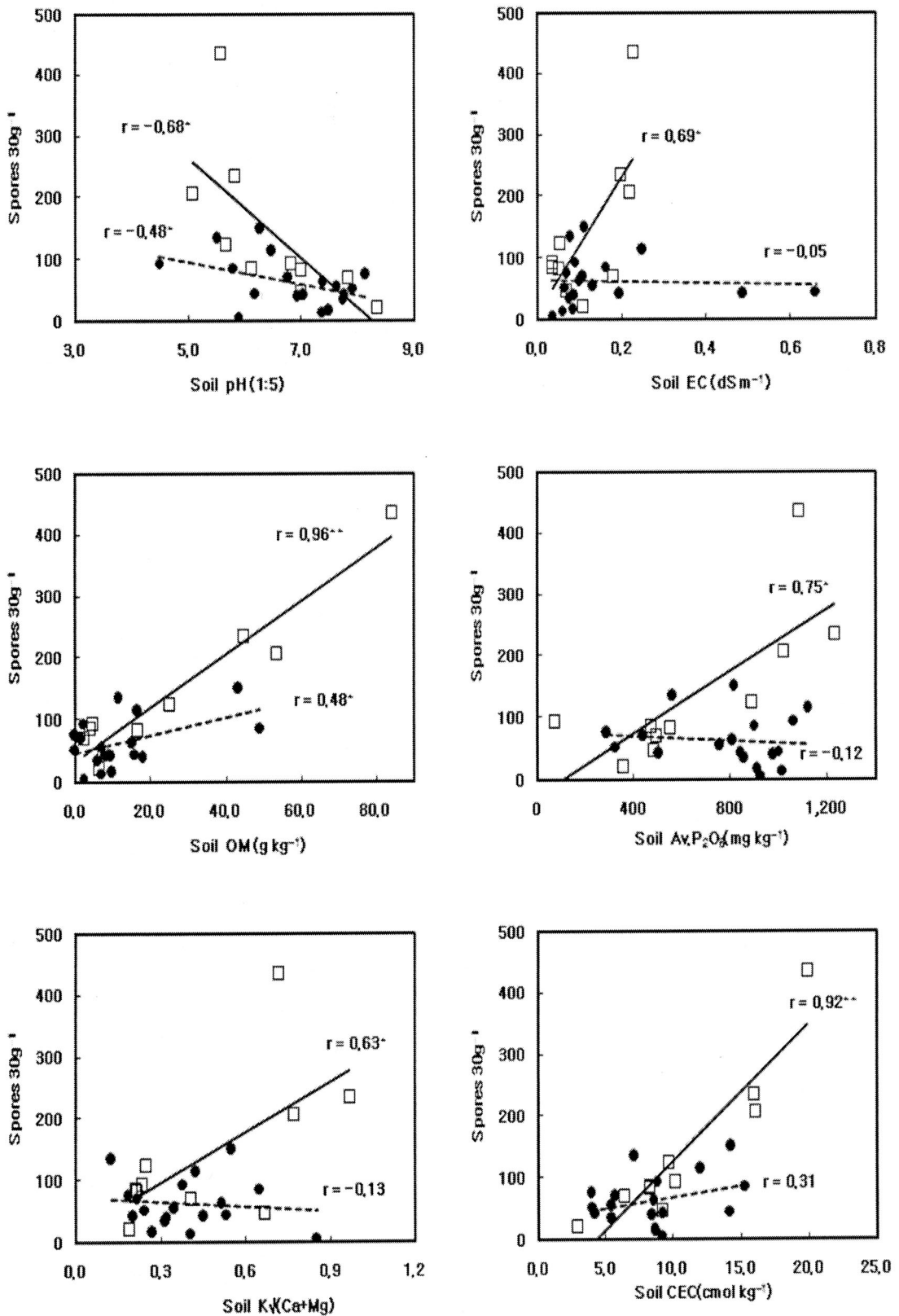


Fig. 2~7 Correlation with density of Mycorrhiza spores and soil nutrient contents.
 † Full line and □ : eco-friendly cultivation. Dotted line and ● : Conventional cultivation.

다(Moss et al., 1981). 특히 작물의 인산함량 증가는 뿌리 표피세포의 세포막으로 분비되는 분비물질 감소

와 균사의 세포막 투과성에 영향을 미치며, 크기는 뿌리로의 광합성 산물 전류를 억제하는 것으로 보고되

고 있다(Ratnayake et al., 1978; Graham et al., 1981). 그러나 본 조사에 따른 균근균 포자 밀도와 유효인산 함량과의 상관관계는 다소 다른 결과를 나타냈다. 관행 재배지 토양의 경우 토양 유효인산 함량이 증가함에 따라 포자 밀도가 다소 감소하는 경향을 보여 기 보고된 연구와 비슷한 결과를 보였으나, 친환경 재배지 토양은 기존 보고된 결과와 다르게 매우 높은 정도의 상관관계를 나타냈다. 이동성이 낮은 인산은 뿌리와의 접촉을 통하여 흡수 이용되기 때문에 인산의 농도보다는 토양 물리적 환경, 뿌리의 신장과 밀도 등에 따라 달라 질 수 있다. 따라서 높은 인산함량에도 상당한 수준의 균근균 포자 밀도를 유지한다는 것은 작물재배에 매우 유리한 조건을 제시한다고 볼 수 있다. 더불어 채취한 균근균 포자의 인산 수준별 활성을 분석하여 높은 인산수준에서 오랫동안 적응한 결과인지의 해석 여부가 필요하다고 본다.

치환성 칼리 염기비와 CEC 수준에 따른 균근균 포자 밀도 역시 타 양분함량과 같이 관행 재배지 토양은 일관성 있는 경향을 찾을 수 없으나, 친환경 재배지 토양은 높은 상관관계를 나타냈다.

조사지역에서 채취한 포도 뿌리의 감염율을 조사한 결과는 표 4와 같다. 균근균은 토양중에 포자를 형성하지만 식물체 뿌리 내부에도 균의 조직을 형성한다. 그 대표적으로 토양에서 흡수한 양분을 저장하는 낭상체(Vesicle)와 저장된 양분을 식물체에 전달해주는 수지상체(Arbuscule) 그리고 내부균사를 들 수 있다. 조사된 뿌리의 균 조직은 주로 내부균사가 많았으며, 수지상체와 낭상체는 매우 낮은 수준이었다. 지역별로는 친환경 재배관리를 한 순천과 천안에서 다소 높은 수준이었다.

따라서 본 조사결과 친환경 토양관리가 토양 양분 함량에 대한 균근균의 활성의 한계를 극복하고 높은 수준의 활성을 유지하는데 적지 않은 기여를 하는 것으로 판단할 수 있었다.

요 약

친환경 재배지 토양과 관행토양간 토양화학성은 큰 차이를 보이지 않았으며, 토양 유효인산 함량은 친환경 재배지 토양이 관행 재배지 토양과 비교하여 다소

높은 수준이었다.

토양 관리방법에 따른 균근균 포자밀도는 친환경 재배지 토양이 건토 30 g 당 140여개의 포자밀도를 나타낸 반면 관행 재배지 토양은 60여개 내외의 포자 밀도를 보였다.

각 토양 화학성과의 상관관계를 비교한 결과, pH, EC, OM, Av.P₂O₅, KCa+Mg), CEC에 대한 관행재배지 토양의 균근균 포자밀도는 각각 -0.48*, -0.05, 0.48*, -0.12, -0.13, 0.31의 상관계수를 나타냈다. 반면, 친환경 재배지 토양에 대한 균근균 포자밀도는 각각 -0.68*, 0.69*, 0.96**, 0.75*, 0.63*, 0.92**의 상관계수를 보여 모든 무기성분이 유의성을 보였다.

뿌리의 균 조직은 주로 내부균사가 많았으며, 수지상체와 낭상체는 매우 낮은 수준이었다. 지역별로는 친환경 재배관리를 한 순천과 천안에서 다소 높은 수준의 감염정도를 나타냈다.

사 사

이 논문은 농림부 · 농림기술관리센터 지정 포도연구사업단의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

인 용 문 헌

Abbott L. and Robson A. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric Ecosyst Environ.* 35:121-150.

Biricolti, S., Ferrini, F., Rinaldelli, E., Tamantini, I. and Vignozzi, N. 1997. VAM fungi and soil lime content influence rootstock growth and nutrient content. *AM. J. Enol. Vitic.* 48(1): 93-99.

Daniels, B.A and H.D. Skipper. 1982. In: *Method and principles of mycorrhiza research.* Ed. by: Shenck, N.C., The American Phytopathological Society, St. Paul, M.N. pp. 29-35.

Feldmann, F. and E. Idczak. 1994. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi for use in tropical nurseries. In: *Techniques for mycorrhiza research.* ed. by Norris, J.R., D. Read and A.K. Varma. Academic Press, New York pp. 800-817.

Graham, J.H., R.T. Leonard and J.A. Menge. 1981. Membrane-mediated decreases in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiol.* 68: 548-557.

Hooker, J.E., Jaizme-Vega, M. and Atkinson, D. 1994. *Biocontrol*

Table 4. Infection ratio of grapes roots.

Sampling sites	Vesicle(%)	Hyphae(%)	Arbuscule(%)	Total(%)
Jeonnam Suncheon	1.8	66.8	0.8	69.4
Chungbuk Cheonan	0.4	73.1	0.3	73.8
Jeonbuk GimJe	1.1	59.6	1.0	61.7
Jeonbuk NamWon	9.8	36.3	0	46.1
	2.7	59.7	0.4	62.8

- of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In, Impact of arbuscular mycorrhizal on sustainable agriculture and natural ecosystems; 191-200; Reds; Gianinazzi, S. & Schuepp, H., Berlin, Birkhauser.
- Karagiannidis, N., Velemis, D. and Stavropoulos, N. 1997. Root colonization and spore population by VA-mycorrhizal fungi in four grapevine rootstocks, *Vitis* Germany 36 (2) 57-60.
- Karagiannidis, N. and Nikolaou, N. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Pb and Cd) uptake, growth, and chemical composition of **Vitis vinifera** L. (cv. Razaki) American Journal of Enology and Viticulture USA, 51 (3) 269-275.
- Linderman, R.G. and Davis, A. E. 2001. Comparative response of selected grapevine rootstocks and varieties to inoculation with different mycorrhizal Fungi. American Journal of Enology and Viticulture. 8-11.
- Menge, J.A., Raski, D.J., Lider, L.A., Johnson, L.V., Jones, N.O., Kissler, J.J. and Hemstreet, C.L., 1983. Interactions between mycorrhizal fungi, soil fumigation, and growth of Grapes in California. Am. J. Enol. Vitic., 34, 117-121.
- Nappi, P., Jodice, R., Luzzati, A. and Corino, L. 1985. Grapevine root system and VA mycorrhizae in some soils of piedmont (Italy). Plant and Soil, 205-210.
- Menge, J.A 1982. Effects of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. Phytopathology. 72: 1125-1132.
- Moss, B., D.P. Stribley. and F. Le Tacon. 1981. Ecology of Mycorrhizae and Mycorrhizal Fungi. Advances in Microbial Ecology 5: 137-210.
- Ratnayake, M., R.T. Leonard. and J.A. Menge. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhiza formation, New Phytol. 81: 534-553.
- Phillips, J.M. and D.S. Hayman, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Translocations of the British Mycological Society 55:158-160.
- Robson, A.D. and Abbott, L.K. 1989. The effect of soil acidity on microbial activity in soils. In:A.D. Robson(Editor), Soil Acidity and Plant Growth. Academic Press, Sydney, pp. 139-165.
- Porter, W.M., Robson, A.D. and Abbott, L.K. 1989. Field survey of the distribution of VAMycorrhizal fungi in relation to soil pH. J. Appl. Ecol. 24:659-662.
- Possingham, J.V. and Groot Obbink, J., 1971. Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis* 10, 120-130.
- Schellenbaum, L.G. Berta, F. Ravolanirina, B. Tisserant, S. Gianinazzi. and A. H. Fitter. 1991 Influence of Endomycorrhizal Infection on Root Morphology in a Micropropagated Woody Plant Species (*Vitis vinifera* L.) Ann Bot 68: 135-141.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd ed. San Diego & London: Academic Press.
- Wright S F. and Upadhyaya A. 1999. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. 8, 283-285.
- 가강현, 이상선, 이석구, 백기엽. 1991. 원예식물 및 재배식물에서 발견된 내생균근. 한국 균학회지 19:186-202.
- 구창덕, 김태훈, 김창근, 이원규, 강창호, 이병천, 이승규. 1992. Sporocarp-forming arbuscular mycorrhiza fungi, *Glomus* spp. in Forest Soil of Korea. 한국균학회지 20(1):29-36.
- 농촌진흥청 농업기술 연구소. 1981. 토양화학분석법.
- 농촌진흥청 작물별 시비처방 기준. 2006.p 172-173.
- 손보균, 김홍림, 김영주.2003. 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 균근균 분포특성에 관한 연구. 36(3)145-153.
- 엄안흠, 이석구, 이상선. 1992. 한국에서 발견된 *Glomus*의 포자과를 형성하는 종. 한국균학회 20(2):85-94.