

Mycorrhiza 처리가 *Ardisia pusilla*의 생육 및 내건성에 미치는 영향

백이화¹ · 백정애¹ · 이윤정² · 남유경¹ · 손보균³ · 이재선⁴ · 장매희^{1*}

¹서울여자대학교 원예학과, ²국립농업과학원, ³순천대학교 농화학과, ⁴한일환경디자인(주)

Effect of Mycorrhiza on Plant Growth and Drought Resistance in *Ardisia pusilla*

Yi Hwa Baik¹, Jung Ae Baik¹, Yun Jeong Lee², Yu Kyeong Nam¹,
Bo Kyoon Sohn³, Jae Sun Lee⁴, and Mae Hee Chiang^{1*}

¹Dept. of Horticultural Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

²National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea

³Dept. of Agricultural Chemistry, Suncheon Nat'l Univ., Suncheon 540-742 Korea

⁴Hanil Landscape Architecture Design Co. Ltd, Seoul 137-840, Korea

Abstract. To investigate the effect of mycorrhiza on drought resistance and plant growth, *Ardisia pusilla* were colonized with arbuscular mycorrhiza (AM), *Glomus* spp. Host plants were cultured in a growth chamber for 30 days after colonization with AM. Water stress treatment was carried out by repeating five days off-watering and re-watering for 60 days. The growth of *A. pusilla* was enhanced by AM colonization compared to that of control, while the proline contents was significantly reduced in AM colonized plants compared to that of non-mycorrhizal plants. The inorganic nutrient contents i.e. Fe, Mn, Zn, and Cu in arbuscular mycorrhizal plants were higher than those of control.

Key words : arbuscular mycorrhiza, *Ardisia pusilla*, drought tolerance, proline

서 론

자연계에 분포하는 식물의 약 95%는 식물 뿌리에 균근을 형성하고 있으며(Lindermann, 1988), 이러한 균근(Mycorrhizae)은 식물의 뿌리에 침입하여 공생체를 형성하고 식물 생장 발육을 증진시킨다(Snellgrove 등, 1982). 균근은 외생균근(ectomycorrhizae)과 내생균근(endomycorrhizae)으로 분류되며(Trappe, 1981), 내생균근 중에서 특히 arbuscular mycorrhizae(AM)은 식물 뿌리 내에서 소포(vesicle)와 침입 균사망(arbuscule)의 구조를 형성하여 공생관계를 갖는 접합균이다(Morton과 Benny, 1990). 63종의 초본식물과 47종의 목본식물을 조사한 연구 결과 각각 70%, 85%가 AM에 감염되어 있다고 한다(Kim과 Lee, 1984).

내생균근은 건조로 인한 피해 완화 등 수분stress에 대한 저항성 증진 효과를 비롯하여 식물생장조절물질로서의 기능이 보고되었으며, *Glomus mossae*는 지베렐린 유사물질, 사이토키닌 유사물질 및 옥옥신 유사물질 등을 만들어 식물의 생장을 촉진한다는 연구결과가 보고되었다(Barea와 Azcon-Aguilar, 1982). 또한 균근은 식물체의 생육 증진 뿐 아니라 식물과의 공생을 통하여 식물병원균과 선충의 번식을 억제한다(Schenck, 1981; Dehne, 1982). 이에 따라 최근에는 식물의 영양 섭취에 핵심적인 역할을 담당하는 균근을 활용한 생물학적 비료 연구가 증가하고 있다. 즉, 인산과 질소 비료에 대한 의존도를 줄이고 토양이 가지고 있는 병원균에 대해서 더 강하게 저항하는 이러한 균들을 “생물학적 비료”나 “생물학적 보호자”로 사용하려는 것이다. 이러한 경우 적절한 방제효과를 얻으려면 병원체에 대해 길항성을 띠는 생물균의 발달을 유도함으로써 병원체의 불활성화, 수적 감소 또는 감염력 및 발병을 감소 효과를 얻을 수 있다(Dehne, 1982).

*Corresponding author: mhchiang@swu.ac.kr
Received March 6, 2009; Revised June 1, 2009;
Accepted June 14, 2009

Mycorrhiza 처리가 *Ardisia pusilla*의 생육 및 내건성에 미치는 영향

따라서 본 실험은 내생균근 *Glomus* 속이 관상식물 산호수의 생육에 미치는 영향을 알아보고, 식물체의 건조스트레스에 대한 피해 경감 효과를 조사하고자 식물 뿌리의 균근 감염 정도와 균근 형성, 내건성 증진 및 식물 생장율을 조사하였다. 이는 식물녹화 및 조경소재로 활용할 경우 빈번히 발생하는 식물체의 생육억제 및 건조피해를 최소화하기 위한 기초연구로써 앞으로 이와 같은 균근의 공생관계를 이용한 환경스트레스 저항성 증진에 대한 연구는 지속가능한 농업발전을 위한 핵심 사항이 될 것이다(Scher와 Baker, 1982).

재료 및 방법

균근은 순천대학교 미생물학연구실에서 *Glomus* 속 내생균근을 분양받았으며, 10%(v/v) 비율로 토양에 혼합하여 접종하였다. 공시식물은 상록소관목인 자금우과의 산호수(*Ardisia pusilla*)를 사용하였으며, 균근 접종 후에 25 ± 3°C, 상대습도 60% 생육상에서 한 달간 재배한 후 식물체에 건조스트레스 처리를 실시하였다. 건조스트레스 처리는 5일간 무관수를 실시한 후 다시 관수하는 형태로 실시하였고, 60일간 건조스트레스 처리를 반복한 후 생육조사 및 양분함량을 분석을 실시하였다. 식물체의 초장, 생체중, 건물중, 경수, 엽수, 엽록소, 식물체내 무기성분 및 프롤린을 분석하였으며, 내생균근의 감염형태를 비교하였다. 엽록소는 엽록소 간이측정기(SPAD, Minolta)로 측정하였고, 무기성분은 산으로 습식 분해하여 ICP로 분석하였으며, 프롤린함량은 Chinard법에 따라 520nm에서 흡광도를 측정하여 L-프롤린 표준용액의 흡광도와 비교하여 정량하였다(Nam 등, 2007). 식물체의 뿌리를 물로 세척한 후 1cm의 길이로 잘라 Koske와 Gemma(1989)의 방법에 의해 뿌리 염색을 실시하여 접종율을 측정하였다. 1cm 길이로 자른 뿌리를 10% KOH에 잠기게 넣어

60°C에서 20분간 처리한 후 멸균수로 3회 수세하여 물기를 제거하였다. 2N HCl에 2분 동안 중화시킨 후 젯산용액을 이용하여 0.05% Trypan blue 용액을 만든 후 이 용액에 넣어 60에서 20분간 염색 후 lactic acid를 넣어 상온에서 24시간 이상 경과시켜 탈색한 후 gridline-intersect법에 의해 현미경으로 균근의 접종율을 조사하였다(Giovannetti 와 Mosse, 1980).

결과 및 고찰

균근처리에 의한 접종율을 조사한 결과 14.1 ± 4.7%로 확인되었다. *Ardisia pusilla*의 생육은 균근 처리구에서 생체중, 건물중, 초장, 엽수, 경수가 대조구에 비해 증가하였다(Table 1). 건조스트레스에 따라 대조구 식물체는 지상부 낙엽이 많이 발생한 반면 균근 처리구의 경우 지상부 생육에 피해가 거의 없는 것으로 나타났으며(Fig. 1), 생체중과 건물중은 각각 대조구에

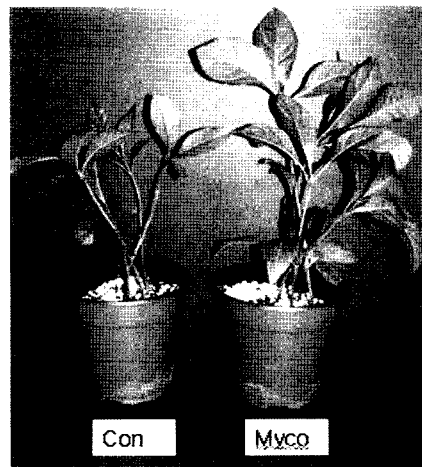


Fig. 1. Effect of mycorrhiza colonization on the drought resistance in *A. pusilla* after water stress treatment by five days off-watering and re-watering for 60 days.

Table 1. Effect of mycorrhiza colonization on the plant growth in *A. pusilla* after water stress treatment by five days off-watering and re-watering for 60 days.

Treatment	Fresh weight (dry weight)			Plant height (cm)	Leaf number (ea)	Stem number (ea)
	Shoot (g)	Root (g)	Total (g)			
Control	4.85 ± 0.79 (1.50 ± 0.55)	6.10 ± 1.93 (1.19 ± 0.35)	10.94 ± 1.69 (2.69 ± 0.58)	17.55 ± 4.80	31.22 ± 16.84	6.22 ± 1.39
AM	10.99 ± 1.82 (3.10 ± 0.62)	6.92 ± 1.87 (1.22 ± 0.19)	17.92 ± 3.14 (4.33 ± 0.68)	21.00 ± 1.63	71.50 ± 10.81	10.6 ± 4.09

비해 1.64배, 1.60배 증가하였다. 특히 지상부 생육증진 효과가 큰 것으로 나타났는데, Gerdemann(1964)의 보고에 의하면 옥수수에서 대조구 보다 균근 접종 식물 지상부의 건물량이 약 4배 증가하였으며, *Palmarosa* (*Cymbopogon martinii* var. *motia*)는 생체량이 3배 증가하였다고 한다. 이러한 균근 접종 식물의 성장정도가 대조구에 비하여 뛰어난 이유는 균사를 통한 뿌리의 확장이 식물의 무기양분 흡수능력 증대와 뿌리 주변의 병원성 미생물에 대한 제어 등에 영향을 준 것으로 알려져 있다(Elmas와 Mosse, 1984; Jenson, 1982; Schenck, 1981; Dehne, 1982; Lindermann, 1988). 엽수의 경우도 균근 처리구가 대조구에 비해 2.3배 증가하여 건조스트레스에 대한 저항성이 생육증가와 함께 이루어진 것으로 보인다.

균근 접종이 수분스트레스 저항에 미치는 영향은 직접적인 수분흡수와의 관계 즉, 균근 접종으로 인한 증산율의 증가 그로 인한 토양의 수분퍼텐셜의 감소가 수분흡수의 증가로 이어져 수분스트레스에 저항성을 보여주는 직접적인 효과(Huang, 1985)와 향상된 양분흡수로 인한 간접적인 효과(Safir 등, 1971, 1972)로 나누어 볼 수 있다. 또한 균근의 균사는 토양의 수분을 측정하여 식물에게 전해주는 능력이 있어(Ruiz-Lozana와 Azcon, 1995) 균근 접종시 균사로 인해 증가한 뿌리표면적 증가는 토양으로부터 흡수하는 수분 양의 증가에 있어 중요한 역할을 하기도 한다. 이에 더하여 균근 접종으로 인해 초래된 기주식물의 호르몬 변화로 인해 기공전도도가 영향을 받아 식물의 수분흡수에 영향을 미친다는 보고도 있다(Sanchez-Diaz와 Honrubia, 1994).

본 실험에서는 5일간 수분스트레스를 주었다가 다시

Table 2. Effect of mycorrhiza colonization on the chlorophyll and proline in *A. pusilla* after water stress treatment by five days off-watering and re-watering treatment for 60 days.

Treatment	Chlorophyll	Proline ($\mu\text{m} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)	
	(% relative value)	Shoot	Root
Control	43.2 b	5.20 a	2.90 b
AM	62.3 a	2.33 b	1.66 c

관수하고 또 다시 수분스트레스를 주고 관수하는 처리를 하였으므로 이 조건에서 균근 접종 식물이 탈리 등으로 인한 엽수의 감소 및 성장 저하 없이 건조스트레스에 대하여 빠른 회복력을 보여주었는데 이는 균근 접종식물의 뿌리는 수분흡수력이 향상되어 건조스트레스에 처해 졌을 때 회복력이 빠르다는 보고와도 일치하였다(Mosse와 Hayman, 1971).

엽록소 분석결과 또한 생육결과와 유사한 경향을 보였으나, 프롤린 함량은 건조피해가 심한 대조구의 값이 높았다(Table 2). 식물이 수분스트레스에 처해지면 프롤린과 같은 용질이 잎에 축적되어 삼투퍼텐셜이 감소하게 되어 잎으로의 수분이동을 도와 잎의 팽압이 유지되게 된다. 즉 이러한 삼투조절은 수분스트레스에 처했던 식물이 다시 수분공급이 이루어졌을 때 시들었던 잎의 팽압을 유지하게 도와 빠른 회복을 가능하게 할 수 있다(Hopkins, 2001). 그런데 본 실험에서는 삼투조절자에 하나인 프롤린의 농도가 대조구에서 높게 나와 균근접종식물의 건조스트레스 저항성 향상에 삼투조절은 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다.

식물체의 무기양분농도를 분석한 결과 질소, 인, 칼륨 성분은 대조구가 약간 더 높은 경향을 보였으며,

Table 3. Effect of mycorrhiza colonization on the inorganic nutrient concentrations in *A. pusilla* after water stress treatment by five days off-watering and re-watering for 60 days.

		C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe	Mn	Zn	Cu
		%								mg kg ⁻¹		
Control	Shoot	41.47	2.09	0.85	6.24	2.09	0.34	0.93	790	185.1	118.2	7.5
	Root	42.01	2.16	0.93	6.10	0.96	0.32	1.78	1780	55.8	189.0	12.9
	Total	83.48a	4.24a	1.78a	12.35a	3.05a	0.66a	2.70b	2570b	240.9b	307.2a	20.4b
AM	Shoot	43.72	1.53	0.49	5.06	2.32	0.29	0.94	500	320.5	121.3	7.2
	Root	42.04	0.96	0.51	5.09	0.96	0.39	3.94	7160	173.4	193.4	57.2
	Total	85.76a	2.49b	1.00b	10.15b	3.29a	0.67a	4.88a	7670a	493.9a	314.7a	64.4a

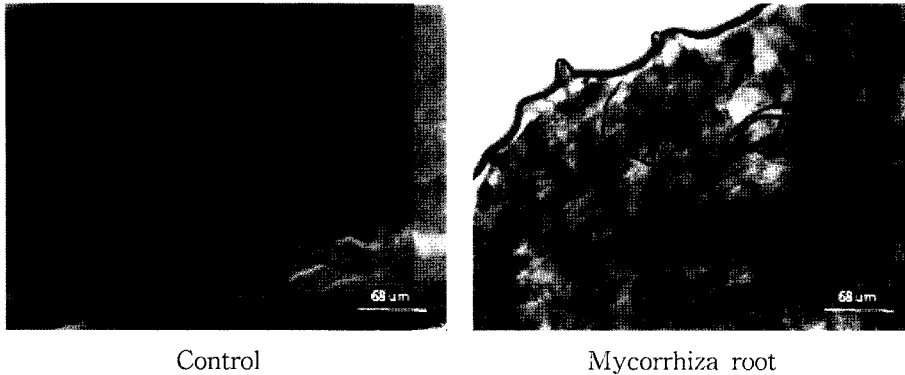


Fig. 2. The mycorrhizal root of *A. pusilla* colonized with *Glomus* spp.

근권부의 Fe, Mn, 및 Cu 함량은 대조구에 비해 현저히 높은 것으로 나타났다(Table 3). 균근은 PO_4^{3-} (Sanders와 Tinker, 1971), Zn^{2+} (Gerdemann, 1964; Swaminathan와 Verma, 1979), Cu^{2+} , NO_3^- 및 K^+ 등의 흡수를 증가시키고(Gerdemann, 1964; Gildon와 Tinker, 1983), 그 중에서도 가장 뚜렷한 효과를 주는 것은 인산 무기영양원의 공급으로 알려져 있다(Mosse, 1957; Lambert 등, 1979; Abbott와 Robson, 1991; Cox와 Tinker, 1976). 본 실험은 균근의 발달에 따라 식물체의 질소와 인 농도가 높게 나오지 않았는데 이는 균근에 의한 작물생장 촉진효과로 인한 양분농도의 희석효과인 것으로 사료되며 이는 George 등(1992)의 보고와도 일치한다.

균근 처리구의 뿌리를 채취하여 근권부를 현미경으로 관찰한 결과 *A. pusilla*의 뿌리에서 균사를 확인하였다(Fig. 2). 균근 집중율이 약 15%로 낮긴 하나 균근 집중에 의한 작물생육촉진효과가 현저히 초래된 바 균근집중의 효과임을 알 수 있었다. 균근에 의한 식물 뿌리 감염형태를 보면 뿌리조직에 형성된 침입균사망(arbuscule)을 확인할 수 있었으며, 내생균사 역시 기주식물의 뿌리 세포 사이에서 확인할 수 있었다.

Lee와 Ryu(1992)의 조사에 의하면 내생균근은 식물의 뿌리에 침입하여 침입균사망을 형성한 뒤에 소포(vesicle)를 형성한다고 밝혔다. 이러한 균근에 의한 뿌리점유는 식물의 양분흡수를 향상 시킬 뿐 아니라 확장된 외생균사에 의해 기주작물의 수분흡수 또한 향상시켜 작물의 생육을 증가 시킬 뿐 아니라 건조 스트레스에 처해졌을 때 뿌리가 흡수하지 못하는 수분을 균사라 흡수하여 식물에게 전해줌으로서 대조구에 비해

균근처리구에서 건조스트레스에 대한 저항성이 증진된 것으로 사료된다. 앞으로 균근적용이 가능한 식물조사와 적용기준 등을 조사하여 조정 및 녹화현장에서 활용할 수 있는 효율적인 방법을 연구할 예정이다.

적 요

균근을 이용한 *Ardisia pusilla*의 내건성 증진효과를 알아보기 위하여 내생균근 *Glomus* spp.을 접종하여 생육상에서 30일 동안 재배한 후 수분스트레스처리를 실시하였다. 수분스트레스처리는 5일간 무관수 상태로 두었다가 관수하는 방법으로 60일 동안 반복 처리하였다. 식물생육은 균근처리시 대조구에 비해 증가하였으며, 관수시 수분스트레스의 회복력도 빨랐다. 식물체내 양분함량은 지하부의 Fe, Mn, 및 Cu의 함량의 경우 균근 접종 식물이 대조구에 비해 현저히 높았으나 이에 반하여 프롤린 함량은 대조구에서 균근 접종식물에 비해 높게 나타났다.

주제어 : 내건성, 마이코라이자, 산호수, 프롤린

사 사

본 연구는 2007년도 중소기업청 산학연컨소시엄사업 지원에 의해 수행된 것임.

인 용 문 헌

1. Abbott, L.K. and A.D. Robson. 1991. Factors influenced the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrh-

- zas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35: 121-150.
2. Barea, J.M. and C. Aczon-Aguilar. 1982. Production of plant growth-regulating substances by the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 43:810-813.
 3. Cox, G. and P.B. Tinker. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscle and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytol.* 77:371-378.
 4. Dehne, H.W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathol.* 72:1115-1119.
 5. Elmas, R.P. and B. Mosse. 1984. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal inoculum production. Experiments with maize (*Zea mays*) and other hosts in nutrition flow culture. *Can. J. Bot.* 62:1531-1536.
 6. George, E., K. Hussler, D. Vetterlein, E. Gorgus, and H. Marschner. 1992. Water and nutrients translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. *Can. J. Bot.* 70:2130-2137.
 7. Gerdemann, J.W. 1964. The effect of mycorrhizas on the growth of Maize. *Mycologia*. 56:342-349.
 8. Gildon, A. and P.B. Tinker. 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. *New Phytol.* 95:247-261.
 9. Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84:489-500.
 10. Hopkin, W.G. 2001. *Plant Physiology*. Eulyoo Publishing Company, Ltd., Seoul, Korea.
 11. Huang, R.S., W.K. Smith, and R.J. Yost. 1985. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on growth, water relations, and leaf orientation in *Leucena leucocephala* (Lam) De Wit. *New Phytol.* 99:229-243.
 12. Jenson, A. 1982. Influence of four vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth in Barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytol.* 90:45-50.
 13. Kim, C.K. and C.J. Lee. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizae in some plants (II). Report of Sci. Education (Kong Ju College of Education) 16:255-260.
 14. Koske, R.E. and J.N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92:486-505.
 15. Lambert, D.H., D.F. Baker, and H. Cole. 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with Zinc, Copper and other elements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:976-980.
 16. Lee, S.S. and C.N. Ryu. 1992. Symbiosis of arbuscular mycorrhizae on the plant roots. *Kor. Mycol.* 20:126-133.
 17. Lindermann, R.D. 1988. Mycorrhizal interaction with the Rhizosphere Microflora: Mycorrhizo-sphere effect. *Am. Phytopathological Soc.* 78:366-371.
 18. Morton, J.B. and G.L. Benny. 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.
 19. Mosse, B. 1957. Fruitifications associated with mycorrhizal strawberry roots, *Nature. Lond.* 171:974.
 20. Mosse, B. and D.J. Hayman, 1971. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. II. In unsterilised field soils. *New Phytol.* 70:29-34.
 21. Nam, Y.K., J.A. Baik, and M.H. Chiang. 2007. Effects of different NaCl concentration on the growth of *Suaeda asparagoides*, *Suaeda maritima*, and *Salicornia herbacea*. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):349-353.
 22. Ruiz-Lozana, J.M. and R. Azcon. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum.* 95:472-478.
 23. Safir, G.R., J.S. Boyer, and J.W. Gerdemann. 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science.* 172:581-583.
 24. Safir, G.R., J.S. Boyer, and J.W. Gerdemann. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiol.* 49:700-703.
 25. Sanchez-Diaz, M. and M. Honrubia. 1994. Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. pp.167-178 In: S. Gianinazzi and H. Schupp (Eds.), *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. Birkhaeuser Verlag, Basel, Germany.
 26. Sanders, F.E. and P.B. Tinker. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by Endogone mycorrhizas. *Nature. Lond.* 33:278-279.
 27. 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. P. 37.
 28. Scher, F.M. and R. Baker. 1982. Effect of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium wilt* pathogens. *Phytopathol.* 72:1567-1573.
 29. Snellgrove, R.C., W.E. Splittstoesser, D.P. Stribley, and P.B. Tinker. 1982. The distribution of carbon and the demand of the fungal symbiont in leek plants with vesicular arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* 92:75-87.
 30. Swaminathan, K. and B. C. Verma. 1979. Responses of three crop species to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on zinc deficient indian soils. *New Phytol.* 82:481-487.
 31. Trappe, J.M. 1981. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid range lands, In *Advances in food productivity system for arid and semiarid lands*. *Academic Press, Inc.* 581-599.