韓國環境復元綠化技術學會誌 3(1) : 70~79(2000)
J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 3(1) : 70~79(2000)

山林의 土壤環境 條件에 따른 樹枝狀 菌根(AM)菌 集團의 種 多樣性

具 昌 德

충북대학교 농과대학 산림과학부

Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Depending on Environmental Conditions of Forest Soils

Koo, Chang-Duck

School of Forestry Chungbuk National University

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal(AM) fungi have significant role for ecosystem structure and function. They are the major component of forest soil ecosystems and critically important for water and nutrient cycling in the system. To understand the ecology of AM fungi the fungal spores were collected, identified and counted in forest soils under various climatic and edaphic conditions. In relation to soil depth 90% of AM fungi spores and mycorrhizas distributed within 15㎝ soil depth. Number of spores per 100㎖ forest soil volume was 5 to 36 spores from 1 to 3 fungal species. AM fungal species diversity was higher in warmer climates, and more moist and fertile soils. The most frequently found species were *Gigaspora decipiens* irrespective of soil moisture and *Gi. gigantea* irrespective of soil fertility. In the Jeju island the soils of *Cryptomeria japonica* plantations and *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* meadow had more AM spores than the other soils. We suggest AM fungi be considered as keystones species when restoring a disturbed forest ecosystem.

Key words : Arbuscular mycorrhizal fungi, Ecosystem structure and function, Edaphic conditions, Species diversity, Keystone species.

Ⅰ. 서 론

최근에 대두되고 있는 생태계 복원을 위해서는 생태계의 구조와 기능 면에서 매우 중요한 핵심(keystone) 종의 도입을 필수적으로 생각하고 있다(Aronson, 1993). 핵심이 되는 식물종을 복원 대상지에 성공적으로 도입하기 위하여서는 이들 식물과 공생하는 토양미생물 특히 균근균을 고려하는 것도 중요하다(Lamb, 1993 ; Haselwandter, 1997). 그 이유는 균근(mycorrhiza =M)이 자연 토양내 생물군집의 주요 구성원이고(Read, 1999), 지구상에 존재하는 유관속 식물 중에서 95%는 균근을 형성하는 것으로 밝혀진 과(科)에 속하기 때문이다(Kormanik 등, 1977). 즉 대부분의 식물 뿌리는 단순한 뿌리만이 아니라 균근균이라는 곰팡이와 공생하고 있

기 때문이다.

균근균의 역할은 기주식물의 양분, 수분 흡수를 촉진시키고, 뿌리 병원균의 침입에 대한 식물의 저항성을 높이며, 낮은 pH나 토양독성에 대해서 식물의 내성을 증가시키는 것 등이다(Marx, 1972 ; 이경준 등, 1983). 균근균은 특히 인산(토양에 흡착을 잘하고 용해도가 낮아서 식물이 잘 흡수되지 못하는 양분)을 효과적으로 흡수하여 기주식물에 공급하는 공생체로서 더욱 잘 알려져 있다(Gupta 등, 1990). 또한 균근균은 토양 병원균의 생물학적 방제제인 *Trichoderma*(Green 등, 1999)나 *Pseudomonas*에는 영향을 덜 받는 것으로 밝혀져 있다(Barea 등, 1998).

균근균은 기주 식물의 뿌리 내에서 공생하는 위치에 따라 외생균근균, 내생균근균, 내외생균근균, 난초균근균 등으로 나눌 수 있다. 이번 연구에서는 십자화과, 명아주과, 석죽과 식물의 일부를 제외한 거의 모든 초본 및 목본 식물과 공생하는 내생균근균으로서, 뿌리의 피층세포 내에서 작은 나무 모양(arbuscules=A)을 만드는 **樹枝狀 菌根(AM)균**을 대상으로 하였다. 우리나라 목본 식물 중에서 49개 속 68개 종에 대하여서는 내생균근 형성이 조사된 바 있다(이경준 · 구창덕, 1983).

그러나 AM균의 응용은 현재의 과학 기술이 다음 두 가지 문제를 해결하지 못함으로써 제한을 받고 있다. 즉, 이 균근균은 순수배양이 불가능하다는 점(Hepper, 1984)과 토양 속에서 다른 균과의 경쟁이 약하다는 점이다(Bagyaraj, 1984). 하지만 위 두 문제는 포자발아와 균사생장에 대한 계속적인 연구와 토양 미생물의 활동을 조절하는 작물재배법의 개선으로 해결될 전망이 있다(Jarstfer and Sylvia, 1997). 첫째로 순수배양에 필수적인 포자발아와 발아된 균사의 생장에 영향을 주는 온도, 수분, 에너지원, 비타민(thiamin), 아미노산(cysteine, glycine, lycine), 유황 산화물, 뿌리 삼출물 등이 알려져 있기 때문이다. 특히 *Glomus caledonium* AM균은 포자 발아 후 양분저장소인 그 포자를 균사로부터 제거하여도 균사는 어느 정도까지는 계속 자란다는 것이 알려졌다(Hepper, 1984). 둘째로 토양내 병원균과 잡초를 방제하기 위해서 토양을 소독하기 때문에 토양 내에는 접종될 균근균과 경쟁할 다른 균이 적다는 것이다. 또한, 많은 종류의 임업, 과수 원예, 농업작물이 파종상에서 자란 후 적당한 시기에 포지로 이식되고 있다. 이런 경우에는 파종상의 면적과 배양토의 양이 적어서 전체적인 토양소독과 함께 적은 양의 접종원으로도 효과적인 접종이 가능하고, 이렇게 생산된 접종묘에서는 이식 후에도 그 접종효과가 지속된다(Powell, 1984).

한편 우리 나라 토양에서는 AM균이 5개 속에서 50여종이 동정되었고(이용세 등, 1998), 최근에는 고추, 오이, 수박 등 시설원예 작물을 재배하는 동안 인산이 과다하게 축적된 토양(이상선 등, 1991 ; 박향미 등, 1999)에서의 AM균 분포, 그리고 생태계 환경오염과 관련하여 산림토양내에서 이들 균에 대한 연구가 있었다(심재욱 등, 1996). 하지만 산림토양내 이 균의 분포와 빈도는 거의 알려지지 않았다. 그러므로 다양한 자연환경조건 아래에서 균근균 자원을 조사 파악하여 이들의 응용기술을 모색하는 것은 토지의 생산성뿐만 아니라 생태계 복원사업의 성공도를 높이는 길이 될 수 있을 것이다.

이 연구의 목적은 산림토양에서 토심별로 AM균의 분포상태를 파악하고, 산림 기후대나 토양수분 및 비옥도에 따른 AM균 집단의 분포를 조사하여, 각 환경에 적응된 균종을 파악하는 것이다.

Ⅱ. 재료 및 방법

우리 나라 산림토양에서 AM균의 분포를 알기 위하여 1)산림토양내 토심별 세근과 균근형성율, AM균 포자의 분포를 조사하고 2)산림환경별(기후대, 토양수분 및 비옥도)로 분포하는 균종과 포자 밀도를 조사하였다.

1. 토심별 AM균 분포조사

가. 채집지 환경

조사지는 AM을 형성하는 화백나무 조림지와

백합나무 조림지였다. 서울 동대문구 청량리동 임업연구원 홍릉 시험림내에 있는 화백나무 조림지는 3~12년생으로 수고는 3~5m 흉고직경은 6~10㎝, 1.2~1.8m 간격으로 약 2ha가 식재되어 있었다. 임분은 서향, 경사는 10~15°, 토양은 표층토가 거의 없이 화강암 풍화 모재만으로 된 척박한 사질토이며, 지피식생은 포아풀이 지표면을 15%정도 덮으며 임관이 폐쇄된 곳에서는 하층식생이 거의 없었다.

경기도 포천군 소흘면 직동리에 있는 임업연구원 중부시험장 시험림내 45 임반의 백합나무림은 0.2ha로써 수고가 약 6m, 흉고직경이 20㎝ 되는 12~15년생 임분이었다. 토양은 A층이 30㎝ 이상 되는 비옥하고 수분이 적습한 사질양토이며, 지피식생은 닭의장풀, 벌꽃 등 적습지 식물이 지표면을 약 80%덮고 있었다.

나. 토양 및 뿌리 시료채취

토양과 뿌리를 직경 5㎝, 길이 5㎝, 부피가 100㎖되는 스텐레스관을 이용하여 각 임분내 5장소에서 지표면으로부터 5㎝씩 20㎝ 깊이까지 차례로 채집하였다. 채집된 토양 및 뿌리시료는 비닐 봉투에 넣어서 실험실로 가져온 후 뿌리는 골라서 생중량을 측정하고, 균근형성률을 조사하기 위하여 수돗물로 세척한 후 FAA고정액에 보관하였다. 나머지 토양은 실온에서 충분히 기건한 후 그 속에서 AM균 포자를 채집할 때까지 보관하였다.

다. AM균 포자 채집 및 동정

토양 속에 있는 AM균 포자는 Brundrett(1996)의 wet sieving 법에 따라 채집하였다. 채집된 포자는 HCl용액을 0.1%함유한 50% 글리세린 용액에 보관하였으며, 포자의 동정은 Trappe의 개괄적 종검색표(synoptic keys)(1982)와 Hall (1984)의 AM균 분류 검색표를 이용하였고, 식별된 종의 확인은 Berch(1988)의 기술을 참고하였다. 이 균근균 중에서 종의 분류체계가 재구성된 *Sclerocystis* 속에 대해서는 Almeida and Schenck(1990)를, 그리고 Online Mycorrhiza Information Exchange의 홈페이지인 http://mycorrhiza.ag.utk.edu를 참고하였다.

라. 균근형성율 조사

균근형성률을 조사하기 위하여 FAA 고정액에 보관하였던 뿌리를 Koske and Gemma(1985)의 방법에 따라 염색을 하였다. 균근형성률은 채취한 뿌리를 1㎝길이로 잘라서 lactoglycerine trypan blue용액에 염색한 후 이 뿌리 100개에 대한 균근 뿌리의 수를 조사하여 구하였다.

2. 산림 환경 조건별 AM균 생태조사

산림기후대, 토양수분 그리고 토양비옥도의 3가지 환경인자를 고려하여 AM균의 분포를 조사하였다. 단 제주도 지역에서는 토양 환경 즉 수분이나 비옥도를 고려하기보다는, 난대 특유의 식물종, 다양한 식물종, 화산분화구와 같은 특이한 환경, 그리고 현무암이나 화산재 같은 특이한 토양모재 등이 육지 환경과는 다르다는 것을 고려하여 토양과 뿌리를 채집하였다.

가. 산림기후대 구분

기후는 산림기후대 구분에 따라 나누었으며, 난대림에서는 제주도, 진도, 고흥, 남해에서, 온대남부 산림대에서는 밀양, 문경, 강릉해안에서, 그리고 온대중부 산림대에서는 단양, 원주 치악산, 연곡 등 10개 지역이 대상이었다.

나. 토양 수분상태 구분

토양 수분상태는 건조~약건 과 적습의 2개 수준으로, 구분기준은 다음과 같이 임업연구원의 산림입지 조사요령에 따랐다. 건조~약건 토양은 계절적으로 건습의 교차가 있으나 건조할 때에는 꽉 쥐었을 때 손바닥에 습기를 전혀 느끼지 않거나(건조), 약간 느낄 수 있는 토양(약건)이다. 이 토양은 산정, 산복에서 경사가 급한 사면, 바람을 맞는 지역에 분포한다. 이 토양의 A층에는 세립상 혹은 입상구조가, B층에는 입상 혹은 견과상구조가 발달한다. 적윤 토양은 건조기에도 토양을 꽉 쥐었을 때 손바닥 전체에 습기와 물에 대한 감촉이 뚜렷한 토양이다. 이런 토양에는 지피식생이 잘 발달하

며 주로 계곡, 평지, 산록에 위치한다.

다. 토양 비옥도 구분

토양의 비옥도는 척박과 비옥의 2개 수준으로, 구분 기준은 다음과 같이 임업연구원의 산림입지 조사요령에 따랐다. 비옥지는 임분의 울폐도가 높고 식생의 생장이 왕성하며, 토양 단면에서 유기물층이 두껍고, A층이 잘 발달되었으며 양분은 풍부하다. 척박지는 임분의 울폐도와 토양 표면의 식생 피복율이 낮고 식생의 생장 상태가 불량하며, 토양양분은 적고 유기물층이 거의 없으며 A층이 엷다.

라. 토양시료 채집 및 AM균의 종식별

각 환경인자별로 채집한 토양 및 뿌리시료는 총 72점(3 산림기후대×2토양수분×2토양비옥도×3지역×2반복=72점)이었다. 각 시료는 지표면에서 약 15㎝ 깊이까지의 토양과 뿌리를 500~1000g 채집하여 비닐봉투에 넣어 실험실로 가져왔다. 토양은 실온에서 기건하여 보관하면서 AM균 포자를 채집하였다. 각 토양시료 100㎖에 대하여 AM균 포자의 수와 균종을 조사하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토심별 AM균 분포조사

비교적 척박한 화백 조림지에서 지표면 5㎝ 내에서 채집된 포자 수는 6개, 세근 생중량은 1.04g으로 전체 20㎝ 깊이에서 나타난 것의 약 65%였으며 토심별 깊이에 다른 균근의 형성률은 약 80%로서 차이가 없었다(Table 1).

비교적 비옥한 백합나무 임지에서는 뿌리가 깊게 발달하여서 토양 15㎝깊이까지의 포자 수는 전체 20㎝까지의 약 92%, 뿌리는 전체의 약 90%가 분포하였고, 균근형성률은 51~73%이었고, 15~20㎝ 깊이에서는 71%이었다(Table 2). 위 결과로부터 AM균 포자나 균근을 채집하는 데에는 0~15㎝ 깊이로서 충분하다고 결론 짓고 전국적인 조사에서 시료채집 때 이 깊이를 적용하였다.

Table 1. Numbers of arbuscular mycorrhizal(AM) fungus spores, fresh weights of feeder roots and mycorrhiza formation rates by soil depth at the *Chamaeciparis pisifera* plantation in the Hongreung experimental forest, Seoul.

Soil depth(㎝)	Number of spores/100㎖ soil volume	Fresh weight of fine roots(g)/100㎖ soil volume	Mycorrhiza formation (%)
0 - 5	6	1.04	78
5 - 10	2	0.24	79
10 - 15	2	0.16	80
15 - 20	0	0.06	77

※ AM fungal species were *Gigaspora decipiens* and two unidentified *Glomus* species

Table 2. Numbers of arbuscular mycorrhizal(AM) fungus spores, fresh weights of feeder roots and mycorrhiza formation rates by soil depth at the *Liriodendron tulipifera* plantation in the Kwangreung experimental forest.

Soil depth(㎝)	Number of spores/100㎖ soil volume	Fresh weight of fine roots(g)/100㎖ soil volume	Mycorrhiza formation (%)
0 - 5	4	1.33	55
5 - 10	3	0.81	73
10 - 15	5	0.34	51
15 - 20	1	0.29	71

※ AM fungal species were *Acaulospora scrobiculata*, unidentified three *Acaulospora* species and three unidenti- fied *Scutellospora* species.

2. 산림 환경조건별 AM균 생태조사

산림 토양내에서 채집된 AM균의 포자 수, 출현 균종의 수, 출현되는 주요 균종을 Table 3에 나타내었다. 토양 100㎖내에서 채집된 포자 수는 산림기후대와 토양 수분, 비옥도에 따라 차이가 있으나 5~36개이었다. 온대중부와 남부지역에서는 수분이 적습하고 비옥한 지역에서 15~26개이었으나, 약건 지역이거나 척박한 지역에서는 2~5개로 적었다. 난대지역에서는 10~36개로 온대중부나 온대남부보다 포자가 많았으나, 토양수분상태와 비옥도에 따라서는 일정한 경향이 없었다. 즉, 이 지역에서 토양 100㎖ 당 포자 수는 약건 척박지에 36개, 약건 비옥지에서 10개 그리고 적습지에서는 척박지나 비옥지의 차이가 없이 20~25개였다.

일반적으로 산림 토양내 포자의 빈도는 식생과 지역에 따라 변이를 보인다. 심재욱 등(1996)에 따르면 지역에 따라 산림토양 20g당 4.1~24.5개의 포자가 있고, 활엽수림보다 침엽수림에서 많으며, 산도가 높을수록 그리고 유기물 함량이 높을수록 포자수가 증가한다. 하지만 이상선 등(1993a)의 포트배양 결과에 따르면 산도가 낮을수록 포자가 많다.

산림환경 조건별로 출현 균종의 수는 토양 100㎖당 3개 이내였다. 출현 균종의 수는 출현 포자 수에 비례하여 많아지는 경향이 있었는데 포자수가 12개 이하에서는 1개의 종이, 15개 이상에서는 2~3개의 종이 출현하였다. 토양환경에 따라서는 온대중부와 온대남부에서는 적습 비옥지에서만 2~3개의 종이, 기타 환경에서는 1개의 종이 나타났다. 난대에서는 약건 토양에서는 1~2개의 종이, 적습토양에서는 3개의 종이 출현하였다.

토양시료 100㎖ 당 5종 이상의 균종이 나타난 시료 채집지는 단양군 매포면 하괴리 땅콩 경작지 토양, 고흥군 도양면 용정리 해송이 천연갱신되고 있는 억새 초원지, 남해군 미조면 양풍리 개간 후 방치된 칡넝쿨이 무성한 토양과 개망초가 무성한 토양, 그리고 남해군 삼동면 물건리의 삼나무와 편백 조림지 토양(Table 4) 등으로 산림훼손이 있었던 곳이었다. 그러므로 산림 토양에서 AM균의 종다양도는 식생에 영향을 받는 것으로 생각된다. 포트배양에서도 사용된 기주식물에 따라 증식되는 포자가 달랐

Table 3. Spore numbers, species numbers and major species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in forest soils collected from dry or moist, and fertile or infertile areas by forest climate zones.

Forest climate zone	Soil moisture	Soil fertility	Number of spores/100㎖ soil	Number of AM fungal species	Major AM fungal species
Mid-temperate	slightly dry	infertile	5	1	2, 6
		fertile	4	1	2, 6, 8
	appropriately moist	infertile	5	1	7
		fertile	15	3	2, 5, 6, 7, 8
South-temperate	slightly dry	infertile	12	1	5
		fertile	2	1	7
	appropriately moist	infertile	3	1	7
		fertile	26	2	4, 6, 8, 12
Warm temperate	slightly dry	infertile	36	2	3, 7, 8
		fertile	10	1	8, 10
	appropriately moist	infertile	20	3	3, 5, 7, 11
		fertile	25	3	1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 13

1 : *Acaulospora foveata*, 2 : *Glomus constrictus*, 3 : *Glomus clarum*, 4 : *Glomus convolutum*, 5 : *Glomus mosseae*, 6 : *Glomus* unidentified. 7 : *Gigaspora decipiens*, 8 : *Gigaspora gigantea*, 9 : *Sclerocystis microcarpus*, 10 : *Scutellospora erythropa*, 11 : *Scutellospora gilmorei*, 12 : *Scutellospora pellucida*, 13 : *Scutellospora savannicola.*

Table 4. Soils containing more than three arbuscular mycorrhizal(AM) fungal species per 100㎖ soil volume.

Site	Vegetation	Climatie, soil moisture, fertility	Major AM fungal species	Number of species
Danyang Maepo Maepo	*Chamaeciparis pisifera* plantation	Mid-temperate, moist, fertile	*Glomus constrictus*	3
Danyang Maepo Hagoi	*Arachis hypogaea*	Mid-temperate, moist, fertile	*Glomus* sp *Glomus mosseae*	6
Goheung Doyang Youngjeong	barley	Warm-temperate, slightly dry, fertile	*Gigaspora decipiens*	3
Goheung Doyang Youngjeong	barley	Warm-temperate, slightly dry, fertile	*Scutellospora erythropa*	5
Namhae Mizo Yangpung	*Pueraria thunbergiana*	Warm-temperate, slightly dry, infertile	*Gigaspora decipiens* *Gigaspora gigantea*	8
Namhae Mizo Yangpung	*Erigeron* sp.	Warm-temperate, slightly dry, infertile	*Glomus clarum* *Gigaspora gigantea*	7
Milyang Danjang Sazapyung	*Miscanthus sinensis* var *purpurascens*	South-temperate, moist, fertile	*Scutellospora pellucida*	4
Namhae Samdong Mulgeon	*Cryptomeria*, *Chamaeciparis* sp.	Warm-temperate, slightly dry, fertile	*Glomus clarum*	10

다(이상선 등, 1993a).

산림 토양내 분포하는 균종은 각 환경에 따라 달랐다. *Gigaspora decipiens*는 전국적으로 출현하는 주요 균종이었다. 온대 중부 지역에서는 *Glomus constrictus*가 토양 수분이나 비옥도에 관계없이 출현하는 종이었고, 이것과 함께 *Gi. decipiens*와 *Gi. gigantea, Gl. mosseae* 그리고 식별되지 않은 *Glomus* 속 1종이 간혹 함께 출현하였다. 특히 적습 비옥지에서는 위 모두의 종이 출현하기도 하였다.

온대 남부지역에서는 온대중부와는 다른 균종이 나타났는데 약건 척박지에서는 *Gl. mosseae*, 약건 비옥지나 적습 척박지에서는 *Gi. decipiens*, 적습 비옥지에서는 식별되지 않는 *Glomus*종과 *Gl. convolutum*, *Scutellospora pellucida* 등이 나타났다. 난대에서는 온대중부와 남부에서보다 균종이 다양하였으며, 공통적으로 많이 출현하는 종은 *Gi. gigantea*와 *Gi. decipiens*였으며, 적습비옥지에서는 여기에 더하여 *S. erythropa*와 *Sclerocystis microcarpus, Gl. constrictus* 등이 나타났다. 산림 토양내에서 *Gi. decipiens*의 출현 빈도가 높은 이유에 대하여는 이 균의 생리 생태와 관련하여 연구가 필요하다고 생각한다.

제주도 지역 토양에서 채집된 AM균의 포자수, 출현 균종 수 및 주요 균종을 Table 5에 나타내었다. 제주 지역의 자연 식생 토양에서는 포자수가 토양 100㎖당 0~51개 균종 수는 0~6개로서 토양과 식생 종류별로 차이가 컸다. 인위적으로 관리하는 감귤원, 수목원 토양에서는 포자가 적었고, 억새 초원지 토양에서는 균종 수는 4~6개, 포자 수는 13~51개로서 포자가 다양하고 많았다. 한편, 이용세 등(1998)은 제주도 일원 14개 감귤원을 대상으로 한 AM균의 분포조사에서 3속 7종을 동정하였으므로 조사지를 넓힐수록 감귤과 공생하는 균종 수는 증가할 것이다. *Gi. gigantea*, *Gi. decipiens*가 육지에서처럼 여러 장소에서 빈번하게, 그리고 *Acaulospora laevis, Scutellospora calospora*가 중요한 균종이었다. 육지에서보다는 제주도 토양에서 다양한 균종들이 출현하였다.

특이한 것은 천지연 주위 토양과 성산 일출봉 억새 초지에서 *Sclerocystis*속의 종들이 다양하게 나타난 반면에, 식생이 오랜 세월동안 안정된 상태로 유지되어 온 것으로 알려진 비자나무림에서는 어떤 포자 종이든 수가 적었다. 다른 조사를 보면 *Sclerocystis* 속의 균종은 석

Table 5. Spore numbers, species numbers and major species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soils collected in the Jeju island

Collection site	Spores/ 100㎖ soil	Species/ 100㎖ soil	Major species
Seoguipo, *Citrus* orchard	1	1	20
Seoguipo Donnaeco valley	26	3	2, 6, 18
Seoguipo, *Dendropanax morbifera* natural stand	5	2	2, 11
Seoguipo, *Miscanthus* sp. meadow	26	6	2, 11, 12, 18, 20, 22
Jeongbang falls, natural stand	5	2	3, 9
Cheonjiyon falls, natural stand	25	3	6, 8, 15, 16
Seongsan Ilchulbong, northern slope	16	5	2, 6, 13, 17
Seongsan Ilchulbong crater base	26	5	2, 6, 8, 18, 22
Seongsan pasture land	15	4	4, 11, 13, 22
Gujoa-myun, *Torreya nucifera* natural stand	0	0	-
Gujoa-myun, *Torreya nucifera* plantation stand	51	6	2, 3, 10, 18, 19, 20
Sangumburi, *Miscanthus* sp. meadow	13	5	4, 9, 10, 11
Jocheon-myun, *Cryptomeria japonensis* windbreak	14	4	1, 4, 11, 18
Gujoa-myun, *Brassica* sp. crop land	32	3	3, 9, 10, 11
Arboretum	2	1	11

1 : *Acaulospora foveata*, 2 : *Acaulospora laevis*, 3 : *Acaulospora scrobiculata*, 4 : *Acaulospora* unidentified. 5 : *Glomus clarum*, 6 : *Glomus constrictus*, 7 : *Glomus convolutum*, 8 : *Glomus mosseae*, 9 : *Glomus* unidentified, 10 : *Gigaspora decipiens*, 11 : *Gigaspora gigantea*, 12 : *Gigaspora margarita*, 13 : *Sclerocystis clavispora*, 14 : *Sclerocystis microcarpus*, 15 : *Sclerocystis rubiformis* 16 : *Sclerocystis sinuosa*, 17 : *Sclerocystis taiwanensis*, 18 : *Scutellospora calospora*, 19 : *Scutellospora erythropa*, 20 : *Scutellospora gilmorei*, 21 : *Scutellospora pellucida*, 22 : *Scutellospora savannicola*.

회암지대, 탄광폐석지, 화산분화구 바닥 등 산도는 4.9~8.1에 걸쳐서, 토양수분은 약간 건조~주기적인 침수지역토양에서까지 분포한다(구창덕 등, 1992). 그리고 농경지나 자연 초지 등에서도 다양한 빈도로 나타나므로 지역이나 식물종과는 특이성이 없다(엄안흠 등, 1992). 이러한 현상은 결국 AM균의 생태를 다른 면에서 생각할 필요를 느끼게 한다. 지상부의 기주식물 다양성에 비하여, 땅속에 있는 수지상균근균의 다양성은 매우 낮은 것으로 생각된다.

한편, 기주식물의 균근균 의존도는 균종에 따라 다르며, 균근균은 기주 선택성보다는 환경 생태적 선택성을 갖는다고 밝혀지고 있다(Koo, 1997). 예를 들면, 여름에 자라는 C_4초본이나 가을에 자라는 C_3초본들은 인산 양분이 적은 토양에 적응하는 방식이 다른데, 전자는 균근에 의지하지만, 후자는 뿌리를 무성하게 발달시켜서 균근에는 덜 의지한다(Hetrick and Wilson, 1990). 그리고, 균근 공생관계에 관한 많은 연구 결과들은 식물이나 균근균의 선택성은 매우 약한 것으로 결론짓고 있다(Sanders 등, 1999). 하지만 산림식생 천이에 따라 외생균근균도 천이하며(Dighton and Mason, 1985), 같은 초지 내에 존재하는 식물이라도 어떤 종은 특정한 균근균과 공생을 많이 맺는다(McGonigle and Fitter, 1990)고 하므로, 균근균과 기주식물과의 관계는 복잡성 그 자체인 것 같다.

3. 생태 환경복원에 AM균의 응용 가능성

생태계 구조와 기능을 나타낼 수 있는 지표로는 식물의 풍부도, 지면피복도, 지상부 식물체 바이오매스, 배타 다양성, 핵심 식물종, 미생물의 바이오매스, 토양생물의 다양성이 고려되고 있다(Aronson 등, 1993). 이 중에서 훼손된 생태계에서 궁극적인 종이 복원되도록 하는데에는 핵심종이 첫 열쇠가 될 수 있는데(Hobbs and Norton, 1996), 이러한 종으로는 토양내 질소 양분과 유기물 그리고 타 식물의 생존을 증

가시킬 수 있는 질소고정식물을 고려할 수 있다. 이 질소고정식물은 질소고정박테리아와 함께, 인산흡수를 촉진시키는 균근균이 또한 공생하므로(가강현 등, 1990 ; 안태근 등, 1992 ; 김준태 · 김종균, 1992 ; Gardner and Barrueco, 1999) 이 토양미생물들이 또한 핵심종이 될 수 있다. 예를 들면 콩과질소고정 초본식물인 야생 돌콩을 화분에 배양하여 다양한 종의 균근균을 증식시킬 수가 있다(이상선 등, 1993a, 1993b). 그러므로 균근균은 복원될 생태계의 종구성, 구조, 유전적 다양성, 기능성, 그리고 훼손에 대한 회복 탄력성 등을 증가시키는데 기여할 수 있을 것이라고 생각한다. 그래서 먼저 다양한 환경에 적응할 수 있는 균근균의 파악은 성공적인 생태계 복원의 밑거름이 되리라 생각한다.

Ⅳ. 결 론

AM균은 산림토양 생태계 내에서 중요한 구성원으로 기주식물의 수분과 양분 흡수에 중요한 기능을 한다. 이 균근과 균의 포자는 토양 15㎝ 깊이 내에 약 90% 이상이 분포하며, 이 균의 다양성은 한반도에서 남쪽으로 갈수록, 토양수분이 적당할수록 그리고 비옥도가 높을수록 증가하였다. 환경별 내생균근균 생태조사에서 밝혀진 결과 전국적으로 산림기후대에 관련 없이 많이 출현한 종은 *Gi. decipiens*였고, *Gi. gigantea*는 토양비옥도에 관계없이, 미식별된 *Glomus* 종은 적습한 곳에서 주로 출현하였다. 온대남부 지역에서는 *Gl. mosseae*가 약건척박한 곳에서, 온대 중부에서는 *Gl. constrictus*가 수분이나 비옥도에 관계없이 출현하였다. 제주도에서는 삼나무 조림지와 억새 초지에서 AM균의 종다양성이 가장 높았다. 특히 *Gi. decipiens*는 질소고정식물과 같은 선구식물과도 함께 공생하므로 생태계 복원에서 핵심 토양미생물종으로서 이용될 수 있을 것이라고 생각한다.

Ⅴ. 참고문헌

가강현 · 류창년 · 이상선. 1990. 차풀 군락에서 발견된 몇 가지 내생균근의 동정. 한국식물병리학회지 6(1) : 1-7.

구창덕 · 김태훈 · 이창근 · 이원규 · 강창호 · 이병천 · 이승규. 1992. 우리 나라 산림토양에 분포하는 포자낭과를 형성하는 아버스큘 균근균, *Glomus*속. 한국균학회지 20(1) : 29-36.

김준태 · 김종균. 1992. 콩과식물 주변의 토양에서 발견되는 VA-mycorrhizae. 한국균학회지 20(3) : 171-182.

박향미 · 남민희 · 강항원 · 이재생 · 고지연 · 강위금 · 박경배. 1999. 영남지역 시설재배에 분포하는 Arbuscular 균근균의 포자밀도 및 기내 조건에서의 포자발아와 균사생장 특성. 한토비지 32(2) : 203-209.

심재욱 · 이상선 · 장영수. 1996. 오염지역과 비오염지역의 토양에 관한 arbuscular mycorrhizal fungi의 포자밀도. 한국균학회지 24(1) : 56-66.

안태근 · 이민웅 · 가강현 · 이상선. 1992. 두과식물에서 발견된 내생균근 포자들. 한국균학회지 20(2) : 95-108.

엄안흠 · 이석구 · 이상선. 1992. 한국에서 발견된 *Glomus*의 포자과를 형성하는 종. 한국균학회지 20(2) : 85-94.

이경준 · 구창덕. 1983. 한국의 목본식물의 외생 및 내생균근에 관한 분류학적 분포조사. 한국임학회지 59(1) : 37-45.

이경준 · 이돈구 · 이원규 · 구창덕. 1983. 균근연구의 농림업에의 응용. 한국임학회지 59 (부록) : 1-22.

이상선 · 가강현 · 이석구 · 백기엽. 1991. 원예식물 및 재배식물에서 발견된 내생균근. 한국균학회지 19(3) : 186-202.

이상선 · 엄안흠 · 이운학 · 김명곤. 1993a. Arbuscular 내생균근균의 포트배양에 관한 연구. 21(1) : 38-50.

이상선 · 엄안흠 · 이운학 · 김명곤 · 김성일.

1993b. 포트배양에 의해 증식된 Arbuscular 내생균근균의 한국 미기록종 기재. 한국균학회지 21(2) : 85-93.

이용세 · 정종배 · 문두길. 1998. 제주도 감귤원 토양에서 분리한 공생균근균의 동정. 한국균학회지 26(1) : 97-102.

Almeida, R.T. and N.C. Schenck. 1990. A revision of the genus *Sclerocystis*(Glomaceae, Glomales). Mycologia 82 : 703-714.

Aronson, J., C. Floret, E.Le Floc'h, C. Ovalle and R. Pontanier. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A review from the South. Restoration Ecology 1 : 8-17.

Bagyaraj, D.J. 1984. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi.(In Powell, C.L.L. and J.J. Bagyaraj. eds. "VA mycorrhiza") CRC press, Florida.

Barea, J.M., G. Andrade, V. Bianciotto, D. Dowling. S. Lohrke, P. Bonfante, F. O'gara and C. Azcon-Aguilar. 1998. Impact on arbuscular mycorrhiza formation of *Pseudomonas* strains used as inoculants for biocontrol of soil-borne fungal plant pathogens. Appl. Environ. Microbiol. 64 : 2304-2307.

Berch, S.M. 1988. Compilation of the Endogonaceae. Wateroo. Mycologue Publications, pp.131-154.

Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Canberra. ACIAR monograph 32. 374p.

Dighton, J. and P.A. Mason. 1985. Mycorrhizal dynamics during forest tree development. (In Moore, M. et al. eds. "Development biology of higher fungi") Cambridge. Cambridge University Press. pp.117-137.

Gardner, I.C. and C.R. Barrueco. 1999. Mycorrhizal and actinorhizal biotechnology-problems and prospects.(In A. Varma and B. Hock. eds. "Mycorrhiza") Berlin. Springer. pp. 468-495.

Green, H., J. Larsen, P.A. Olsson, D.F. Jensen and I. Jakobsen. 1999. Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil. Appl. Environ. Microbiol. 65 : 1428-1434.

Gupta, M.L., K.K. Janardhanan, A. Chaltopadhyay and A. Husain. 1990. Association of *Glomus* with palmarosa and its influence on growth and biomass production. Mycologia Research 94 : 561-563.

Hall, I.R. 1984. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi.(In Powell, C.L.L. and J.J. Bagyaraj. eds. "VA mycorrhiza") Florida. CRC press, pp.57-94.

Haselwandter, K. 1997. Soil micro-organism, mycorrhiza, and restoration ecology.(In Urbanska, K.M., N.R. Webb, and P.J. Edwards. eds. "Restoration ecology and sustainable development") London. Cambridge University Press. pp.65-80.

Hepper, C.M. 1984. Isolation and culture of VA mycorrhizal fungi.(In Powell, C.L.L. and J.J. Bagyaraj. eds. "VA mycorrhiza") Florida. CRC Press, pp.95-112.

Hetrick, B.A., G.W.T. Wilson, and T.C. Todd. 1990. Differential responses of C_3 and C_4 grasses to mycorrhizal symbiosis, phosphorus fertilization and soil microorganisms. Can. J. Bot. 68 : 461-467.

Hobbs, R.J. and D.A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4 : 93-110.

Jarstfer, A.G. and D.M. Sylvia. 1997. Isolation, culture and detection of arbuscular mycorrhizal fungi.(In Christon, J. eds. "Manual of environmental microbiology") Washington. American Society for Microbiology. pp.406-412.

Koo, Chang-Duck. 1997. Arbuscular mycorrhizal fungus inoculation effect on Korean ash tree seedlings differs depending upon fungal species and soil conditions. Jour. Korean For. Soc. 86(4) : 466-475.

Kormanik, P.O., W.C. Bryan and R.C. Schultz. 1977. The role of mycorrhizae in plant growth and development.(In Marx, D.H. eds. "Physiology of root-microorganisms association") Atlanta. Am. Soc. Plant Physiol. pp.1-10.

Koske, R.E. and J.N. Gemma. 1985. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycol. Res. 92 : 486-506.

Lamb, D. 1993. Restoration of degraded forest ecosystems for nature conservation.(In Moritz, C. and J. Kikkawa. eds. "Conservation biology in Australia and Oceania") Surrey Beatty & Sons. Chipping Norton. pp.101-114.

Marx, D.H. 1972. Ectomycorrhizae as biological deterrents to pathogenic root infections. Ann. Rev. phytopathol. 10 : 429-454.

McGonigle, T.P. and A.H. Fitter. 1990. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations. Mycological Research 94 : 120-122.

Read, D.J. 1999. Mycorrhiza-the state of the art. (In Varma, A. and B. Hock. eds. "Mycorrhiza") Berlin. Springer, pp.3-34.

Powell, C.Ll. 1984. Field inoculation with VA mycorrhizal fungi.(In Powell, C.L.L. and J.J. Bagyaraj. eds. "VA mycorrhiza") Florida. CRC Press, pp.205-222.

Sanders, I.R., R.T. Koide and D.L. Shunway. 1999. Diversity and structure in natural communities : the role of the mycorrhizal symbiosis.(In Varma, A. and B. Hock. eds. "Mycorrhiza") Berlin. Springer. pp.571-593.

Trappe, J.M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. Phytopathology 72 : 1102-1108.

接受 2000年 3月 31日