

海岸 干拓地에서 *Arbuscular Mycorrhizae*(AM)에 관한 生態學的 研究

高 聖 德*

충북대학교 사범대학 과학교육과

Ecological Study on Arbuscular Mycorrhizae(AM) at Coastal Reclaimed Lands

Sung-Duk Koh*

Department of Science Education, Teacher's College, Chungbuk National University,
Cheong Ju 360-763, Korea

ABSTRACT: The symbiotic activities of arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) such as spore density, symbiotic intensity and vesicle density, phytomasses of higher plants such as *Calamagrostis epigeios*, *Imperata cylindrica*, *Artemisia scoparia*, *Aster tripolium* and *Sonchus brachyotus* and seasonal change of the AMF activities, electric conductivity and zinc contents in plant and soil were determined in the rhizospheres of higher plants at abandoned old coastal reclaimed lands, where constructed in 12 and 30 years ago. If plants of reclaimed land classified to salinity, symbiotic activities of AMF were high in order of obligate halophyte, facultative halophyte and glycophyte. Also, those plants classified to life form, symbiotic activities of AMF were high in order of annual, biennial and perennial plants. Seasonal variation of spore density, one of symbiotic activities showed that the plateau density maintained continuously from the end of growing season of the higher plants to next spring. For this reason, it regarded that reproduction of AMF spore would be formed in autumn, when the higher plants will be developed. Seasonal change of symbiosis intensity, other symbiotic activities, however, showed that the highest symbiosis intensity occurred in spring and summer but the lowest in autumn. In relationships among symbiotic activities, spore density was directly proportional increase of symbiosis intensity. Moreover, phytomass of higher plants also was directly proportional to increase the spore density as well as symbiosis intensity. Vesicle density, however, did not any correlation with the phytomass, spore density and symbiosis intensity. From these results, it can know that both spore density and symbiosis intensity are strongly possible to use as the measure of symbiotic activity owing to symbiosis of tho-AMF, the more absorption of zinc by the higher plants carried out the less concentration of zinc in the soil.

KEYWORDS: AMF, arbuscular mycorrhizal fungi, salinity symbiotic activities, spore density, symbiosis intensity, vesicle density, zinc.

근래 균사세분지체성 균근(arbuscular mycorrhizae, AM: 과거에는 VAM이라 일컬어짐)의 연구는 대체로 세 방향으로 진행되고 있다. 분류학적 연구, 생리학적 연구 그리고 생태학적 연구이다. 분류학적 연구는 Trappe(1982) 및 Trappe and Schenck(1982)가 VAM의 속과 종에 관한 synoptic key를 발표하여

분류의 기틀을 세웠다. 그후 Walker(1983)는 Endogonaceae의 포자벽의 특징에 따라 속을 분류하는 기준을 세웠다.

AM연구의 생리학적 접근은 주로 재배 식물에 포자를 접종한 후 식물의 성장, 무기염류 흡수, 토양 특성의 AM에 미치는 영향에 대하여 실험하여 왔다. 옥수수, 인광석이나 인산삼칼슘과 같은 비이동성 인을 AMF 접종에 의하여 많이 흡수하고(Murdoch

*Corresponding author

et al., 1967), 구리와 아연의 흡수도 촉진하였다(Gerdemann, 1964), 오렌지의 유식물에 *Glomus fasciculata*를 접종함으로써 대조구보다 키를 300%나 크게 하였고(Timmer and Leyden, 1978), 포도는 질소와 칼륨을 많이 흡수하였으며(Possingham and Groot-Obbink, 1971), 단풍나무와 소나무는 아연과 구리를 AMF 접종에 의하여 많이 흡수하였다(Bowen et al., 1974; Daft and Hacskaylo, 1977).

AM의 생태학적 연구는 생리학적 연구보다 뒤늦게 진행되었으므로 아직 많은 연구 업적이 축적되지 않고 있다. Read et al.(1976)은 자연 식생에서 척박한 토양이 비옥한 토양보다 AMF 공생이 많음을 밝혔는데 그 이유는 척박한 토양의 식물이 비옥한 토양의 식물보다 뿌리로부터 탄수화물을 2배나 더 익비하고(exudation) 이 물질에 AMF가 유도된다고 알려져 있다(Gray and Williams, 1971; Harley, 1971, 1973). Johnson(1977)은 New Zealand의 삼림 식물 군집의 AMF 포자밀도가 높다는 사실을 밝혔고 또 입목과 공생하는 AMF 사이에 종 특이성이 없지만 토양형과 AMF와 특이성이 있음을 밝히고 있다. 자연의 sage 군집에는 AMF가 99%나 공생하지만 교란지의 식생에는 1%만 공생하였고(Moorman and Reeves, 1979; Reeves et al., 1979), 열대의 저지식물 군집에서는 28종 중 23종이 공생하여 생장을 촉진하며(Janos, 1980), 아프리카의 건조성 임지(miombo woodland)와 상록성 마태시림(ever-green mateshi forest)의 AMF들은 서로 다르다는 사실이 밝혀졌다(Högberg and Pearce, 1986).

AMF는 범람지의 식생이나 수분이 많은 토양에서 공생이 적고(Filer, 1975; Trinick, 1977; Rabatin, 1979; Keeley, 1980), 토양수분 함량이 적은 곳에서 많이 공생하였다(Trinick, 1977; Rabatin, 1979). 토양의 pH와 AMF의 공생 관계에 있어서 AMF는 높은 pH에서 공생 활성이 높는데(Mosse, 1972; Read et al., 1976; Koske and Halvorson, 1981) 그 이유는 AMF 균사에 존재하는 phosphatase의 활성이 높은 pH에서 높아지기 때문이었다(Gianinazzi-pearson and Gianinazzi, 1976).

AMF 활성의 계절변화에 대하여 고사리에 공생하는 AMF 포자는 고등식물의 생육 후기에 높아진다(Iqbal et al., 1981; Koske and Halvorson, 1981)는 보고와 벼과식물에서 모든 계절에 출현한다(Read

et al., 1976)는 상반된 주장이 있다.

본 연구는 간척지에서 AM의 생물학적 특성을 알아보기 위하여 간척지 식물종과 공생하는 AMF의 포자밀도와 공생률을 파악하고 간척년도에 따른 토양의 변화와 AMF 활성을 추구하고, AMF 활성의 척도를 확립하기 위하여 포자밀도, 공생강도 및 소포밀도 사이의 상관 및 이들과 식물량 사이의 상관을 밝히며, AMF 활성의 계절 변화를 알아 보고, AMF 활성이 공생 식물의 Zn 흡수량에 미치는 영향을 밝히는 데 있다.

調査地の 概況

본 연구의 조사지는 간척연도가 다른 두 간척지 내에 정하였다.

立地

백석 간척지 본 조사지는 30년 전에 축조된 간

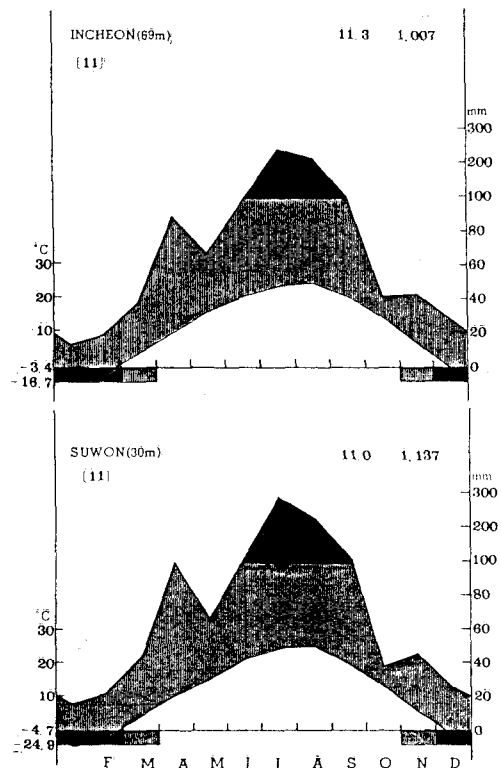


Fig. 1. Maps showing the investigated areas (black area).

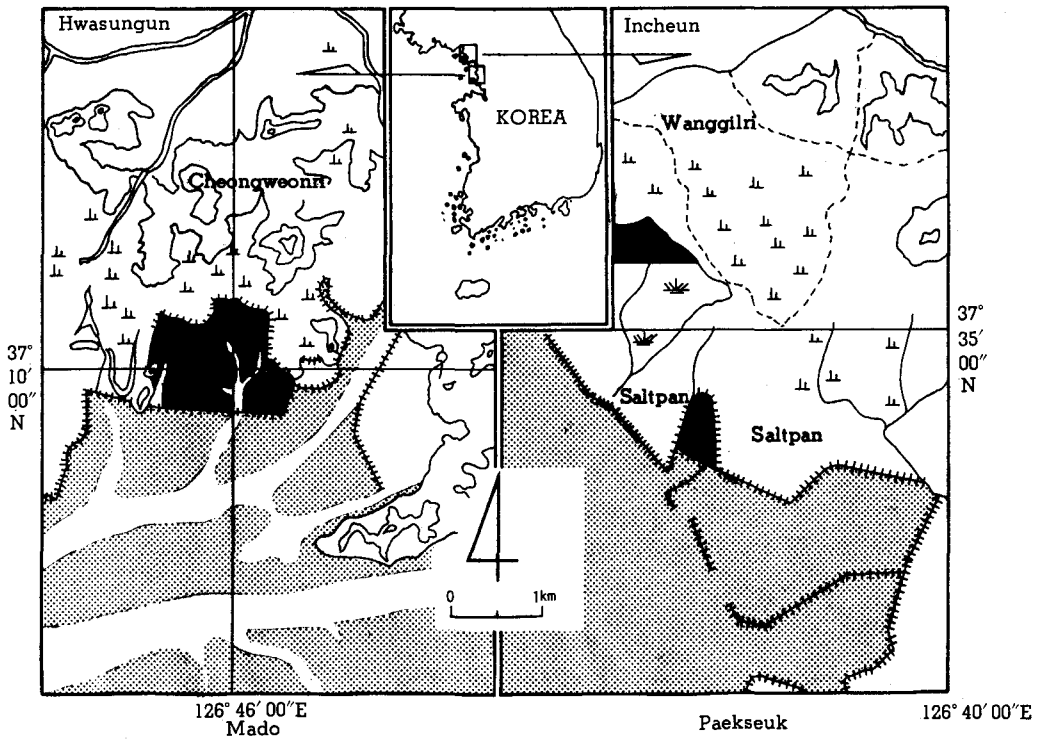


Fig. 2. Climate diagrams of the investigated areas.

척지로서 경기도 인천시 북구 백석동(37° 35'N, 126° 40'E)에 위치한다(Fig. 1). 저지대에는 많은 염분을 함유하지만 고지대의 것은 염분이 빗물에 의하여 세척되거나 식물에 의하여 흡수되어 탈염되어 있고 추이대의 것은 중간 정도의 염분을 함유하고 있다.

마도 간척지 본 간척지(12년 전에 축조됨)는 경기도 화성군 마도면 청원 3리 남부(37° 10'N, 126° 46'E)에 위치한 약 200 ha의 넓이이며 약 12년 전 제방을 막은 간척지이다(Fig. 1).

수원 측후소(37° 16'N, 126° 59'E)의 자료(1975-1985)를 이용하여 기후도를 작성하였다(Fig. 2). Fig. 2에서 보는 바와 같이 인천과 수원의 연평균 기온은 각각 11.3°C와 11.1°C이고, 연평균 강수량은 각각 1,007 mm와 1,137 mm이며, 상강월수, 영하로 내려가는 월수 및 100 mm 이상 강수월수 등은 같았다. 따라서 두 조사지는 기후 조건은 같지만 토양의 염분함량과 식생의 침입 연도는 다르다.

마도 간척지에는 임의염생식물인 비쭉, 갯개미취 및 사데풀과 중성식물인, 산조풀, 띠의 집중반이 뚜

렷하게 형성되고 있었다. 그러나 고등식물의 집중반의 직경이 백석의 것들보다 작은 것이 관찰되었다.

材料 및 方法

材料植物의 採取와 成分 分析

본 연구에서 처음에 두 간척지에 공동적으로 출현하는 15-17종을 채취하여 염생식물, 임의염생식물 및 중성식물로 구분하여 AMF의 공생 여부를 확인하였다. 다음에 공생된 식물중에서 임의염생식물인 비쭉, 갯개미취 및 사데풀과 중성식물인 산조풀 및 띠를 재료식물로 선정하였다.

재료식물은 순수한 식물종이 집중반을 형성하거나 다른 종이 혼합하지 않는 순개체군(pure population)에서 샘플링하였다. 샘플링은 개체군에 10×10 cm 또는 20×20 cm 방형구를 설치한 후 그 속의 식물체 지상부와 균근을 조사하기 위한 뿌리의 일부를 각각 채취하였다. 집중반이나 대상구조를 한 개체군은 주변부에서 중앙부를 향하여 1 m 간격으로 채취하

였다.

간척지 식물종에 따른 AMF의 SI와 VE 조사를 위한 식물 뿌리 샘플링은 각 식물 개체군에서 각각 3번씩 반복하였고 5종 식물 개체군인 산조풀, 띠, 비쭉, 갯개미취 및 사데풀의 AMF 공생활성인 SI와 VE 조사를 위한 식물 뿌리의 샘플링은 백석과 마도에서 토양 특성 조사시 반복 횟수와 같다.

식물체 지상부는 지표면에서 채취하고 뿌리는 직경 6-8 cm의 sleeve를 토양에 15 cm 깊이로 박아서 토양을 뽑아 올린 후 다른 식물종의 뿌리를 골라내고 재료식물의 이차근과 삼차근이 떨어지지 않도록 보호하면서 선별하여 10% FAA 용액(13 ml formalin + 5 ml acetic acid + 200 ml 50% ethanol의 혼합액)에 담그거나 또는 폴리에틸렌 봉지에 넣어 실험실로 가져왔다.

식물체의 성분을 분석하기 위하여 채취한 식물체를 85°C의 건조기 속에서 함량이 될 때까지 건조시킨 후 그 무게를 칭량하여 식물량으로 간주하였다.

양이온 아연(Zn) 분석은 각각 식물체 분말 1g을 100 ml 분해 플라스크에 넣고 10 ml의 tertiary solution을 가하여 분해시키고 여과지를 통하여 여과한 후 100 ml로 정용하여 원자흡광분석기(IL, 251)로 정량하였다.

土壤의採取와 特性 調査

재료식물 개체군의 지상부 식물체를 채취한 그곳에서 토양을 채취하였는데 AMF 활성의 계절 변화 조사시에는 soil augor(Φ : 6 cm)를, 포자밀도와 토양성분의 조사시에는 sleeve를 이용하여 토양을 채취하였다. 토양은 깊이 15 cm 또는 0-60 cm까지 매 5 cm마다 200 g씩 채취하였다. 토양 채취시 뿌리로부터 10 cm 이내에 근권토양을 취하였다. 이들의 표집물들을 폴리에틸렌 주머니에 넣어 실험실에 운반하였다. 샘플링은 백석 간척지에서는 1983년 7월부터 1984년 6월까지의, 동토로 인한 1월-2월을 제외한 기간에, 매월 25일-30일 사이에, 마도 간척지에서는 1985년 7월 5일부터 30일 사이와 1992년 7월 20일부터 30일 사이에 시행하였다.

간척지 식물종에 따른 AMF의 포자밀도 조사를 위한 매회의 토양 샘플링은 각 식물 개체군에서 각각 3번씩 반복하였고, 5종 식물 개체군인 산조풀, 띠, 비쭉, 갯개미취 및 사데풀의 토양 특성과 AMF 포

자의 관계를 조사하기 위한 샘플링은 백석과 마도에서 산조풀은 각각 26과 19회, 띠는 각각 26과 20회, 비쭉은 각각 23과 17회, 갯개미취는 각각 20과 22회, 사데풀은 각각 23과 17회씩 반복 채취하였다. 채취한 근권토양의 일부는 토양 수분함량을 측정하고 나머지는 음건하여 식물의 뿌리나 다른 유기물 부스러기를 제거키 위하여 0.7 mm인 체로 친 다음 AMF 포자의 분리 및 전기전도도와 Zn 함량 측정용으로 사용하였다.

전기 전도도(electric conductivity, E.C.) 음건 토양 5g에 2차 증류수 25 ml를 가해서 30분간 진탕한 후 침전시켜 전기전도도계(Takemure, DM 35)로 측정하였다.

아연(Zn) : 아연(Zn)은 토양 5g을 100 ml 삼각플라스크에 넣고 50 ml의 1 N-CH₃COONH₄(pH 7.0) 용액을 가하여 30분간 진탕하여 추출시킨 후 여과지로 여과하여 그 여액을 원자흡광분석기(IL, 251)로서 정량하였다.

Arbuscular mycorrhizae(AM)의 孢子分離와 그 共生活性 調査

孢子의 分離와 孢子密度 調査 음건한 토양 20g을 취하여 Gerdemann과 Nicolson(1963)의 습식사주분리법(wet sieving and decanting method)에 따라 포자를 계수하였다.

共生率 調査 AMF의 공생률(symbiosis percentage) 조사는 Phillips과 Hayman(1970)의 방법을 따랐다.

염색된 뿌리절편을 증류수로 씻고 반침유리 위에 올려 놓은 다음 덮개유리를 덮고 압착하여 현미경($\times 100$)으로 관찰하여 내부균사체(internal mycelium)인 균사, 균사세분지체(arbuscule) 또는 소포(vesicle) 중 어느 한 균기관이 관찰되면 “+”로, 관찰되지 않으면 “-”로 표기하였다.

공생률은 관찰한 50개의 뿌리절편에 대한 (+)절편수의 백분율로 표시하였다(Read *et al.*, 1976).

共生强度 調査 공생강도(symbiosis intensity, SI)는 앞절의 공생률 조사방법에 따라 염색한 뿌리절편을 이용하였다. 1 cm 길이가 0.1 cm 간격으로 구분되어 있는 반침유리 위에 염색된 뿌리절편을 눈금에 평행하게 올려 놓고 0.1 cm 내의 뿌리 부분에서 관찰되는 내부균사체의 분포 면적을 다음과 같이 5

단계로 나누었다. 내부균사체의 분포면적이 0.1 cm 길이의 뿌리 전 면적의 1-20%이면 공생계급 1로, 21-40%이면 2로, 41-60%이면 3으로, 61-80%이면 4로, 81-100%이면 5로 각각 부여하였다. 이렇게 하여 1 cm 뿌리절편 1개에서 얻은 합산한 공생계급을 10으로 나누어 1개 뿌리절편의 SI로 간주하였다. 이러한 방식으로써 50개 뿌리절편에서 얻은 총 공생계급을 50으로 나눈 값으로 한 샘플의 SI로써 표시하였다. 뿌리절편의 전 면적에 대한 내부균사체의 분포면적을 고려하여 공생계급 1-5를 정하였다.

小胞密度 調査 소포밀도(vesicle density, VE)는 앞절 두번째의 공생률 조사 방법에 따라 염색한 뿌리절편을 이용하여 세번째의 공생강도 조사시와 같은 방법으로 0.1 cm 내의 뿌리 부분에서 관찰되는 소포수를 계수하여 1 cm 길이의 뿌리절편 1개에서 얻은 합산한 소포수를 10으로 나누어 1개 뿌리절편의 VE로 간주하였다. 이러한 방법으로써 50개 뿌리절편에서 얻은 총 소포수를 50으로 나눈 값으로 한 샘플의 VE로써 표시하였다.

統計 處理

相關 分析 통계 처리는 5종 식물개체군인 산조풀, 띠, 비쭈, 갯개미취 및 사데풀에서 산조풀은 백석과 마도에서 각각 26과 19회, 띠는 각각 26과 20회, 비쭈는 각각 23과 17회, 갯개미취는 각각 20과 22회, 사데풀은 각각 23과 17회씩 채취한 근권토양, 뿌리 및 지상부 식물량을 분석한 기본자료를 이용하였다.

分散 分析 분산 분석(variance analysis)은 두 측면에서 실시하였다. 하나는 식물 개체군별 AMF의 공생활성의 차이를 검토하기 위해서였고, 다른 하나는 조사지별, 식물 개체군별, AMF의 공생활성별 차이와 조사지-식물개체군, 조사지-AMF의 공생활성, 식물 개체군-AMF의 공생활성 또는 조사지-식물 개체군-AMF의 공생활성의 차이를 검토하기 위하여 전자를 주요인(main effect)으로 후자를 상호작용(interaction)으로 하여 분산 분석을 실시하였다.

5종 식물 개체군인 산조풀, 띠, 비쭈, 갯개미취 및 사데풀에서 AMF의 공생활성인 포자밀도(spore density, SD), 공생강도(symbiosis intensity, SI) 및 소포밀도(vesicle density, VE)의 차이를 알아보기 위하여 각 개체군별로 분산 분석을 실시하여 개체

간의 유의성 검정을 하였다. 개체군별로 유의차가 인정되면 다시 던칸다중검정법(Duncan's multiple range test)에 의해서 평균치 사이의 최소 유의범위(LSR)를 계산하여 유의성 유무를 선을 그어 표시하였다.

주요인과 상호작용에 관한 분산 분석 계산에서 얻은 F-값은 1% 수준에서 유의성 검정을 하였다.

結果 및 考察

干拓地 Arbuscular mycorrhizae(AM)의 生物學的 特性

干拓地 植物種에 따른 共生活性 간척지 식물의 종류에 따른 AMF의 공생활성을 알아 보기 위하여 각 식물 개체군의 근권에서 분리한 SD와 뿌리의 공생률을 조사하였다(Table 1).

백석 간척지에서 생육하는 17종의 식물에서 분리한 AMF의 SD는 산조풀이 가장 높았고(508개/20 g 토양), 벌노랑이(416개), 비쭈(72개), 띠(59개) 및 사데풀(50개)의 순으로 감소되었다. 마도에서 생육하는 15종의 식물에서 분리한 SD는 산조풀이 가장 많았고(260개/20 g 토양), 띠(129개), 사데풀(120개), 비쭈(62개) 및 갯개미취(50)의 순으로 감소하였다. 그리고 AMF의 SD가 10개 이하의 식물은 백석에서는 칠면초, 통통마디 및 지체의 3종이었으나, 마도의 경우는 통통마디 1종 뿐이었다.

조사된 간척지 식물은 모두 근권에 AMF 포자가 출현하였지만 AMF 공생률은 백석의 식물에서 59%, 마도의 것에서 73%씩 출현하였다. AMF의 공생률은 백석의 경우는 산조풀 72%, 벌노랑이 64%, 띠 62%, 사데풀 58%, 비쭈 56%의 순으로 감소하고, 마도의 경우는 산조풀 92%, 띠 67%, 비쭈 64%, 사데풀 61%, 갯개미취 49%의 순으로 감소하였다. 동일 종류의 식물에 대한 AMF의 공생률은 마도가 백석보다 높았다. AMF 공생률은 백석에서 0-72%의 폭을, 마도에서 0-92%의 폭을 나타냈다.

백석과 마도 간척지에서 식물군집의 식물종에 따른 AMF의 SD와 공생률의 차이를 알아보기 위하여 유사도지수백분율(percent similarity index), (Brover and Zar, 1977)을 각각 계산한 결과 두 간척지에서 AMF의 SD는 59.1%, 공생률은 84.3%이었다. 이러한 결과로 미루어 두 간척지에서 AMF의 SD는

Table 1. Spore densities and symbiosis percentages of AMF in relation to plant species at the reclaimed land

Class (Electrocon- ductivity)	Plant species	Spore density		Symbiosis percentage	
		Paekseuk	Mado	Paekseuk	Mado
		Mean(Range)	Mean(Range)	Mean	Mean
I (>1 mmho)	<i>Calamagrostis epigeios</i> (산조플)	508 (423-566)	260 (155-324)	72	92
	<i>Imperatus cylindrica</i> (띠)	59 (50-68)	129 (3-196)	62	67
	<i>Lotus corniculatus</i> <i>var. japonica</i> (별노랑이)	416 (391-435)	—	64	—
	<i>Bromus japonicus</i> (참새귀리)	37 (14-46)	41 (31-51)	41	39
	<i>Plantago major var. japonica</i> (왕질경이)	40 (34-47)	—	0	—
	<i>Setaria viridis</i> (강아지풀)	27 (18-34)	18 (15-22)	12	31
	<i>Erigeron canadensis</i> (망초)	—	19 (15-22)	—	20
	II (1-2 mmho)	<i>Artemisia scoparia</i> (비쭉)	72 (69-74)	62 (41-76)	56
<i>Sonchus brachyotus</i> (사데풀)		50 (32-68)	120 (16-181)	58	61
<i>Aster tripolium</i> (갯개미취)		22 (20-32)	50 (38-65)	48	49
<i>Zoisia sinica</i> (갯잔디)		28 (20-38)	18 (6-31)	16	19
<i>Phragmites longivalvis</i> (갈대)		21 (8-38)	14 (2-32)	0	18
<i>Carex scabrifolia</i> (천일사초)		18 (10-28)	33 (18-50)	0	0
<i>Atriplex subcordata</i> (갯능쟁이)		—	16 (4-29)	—	0
<i>Juncus haenkei</i> (갯골풀)		15 (9-24)	—	0	—
III (2-3 mmho)	<i>Limonium tetragonum</i> (갯질경)	42 (32-39)	33 (17-47)	40	48
	<i>Suaeda japonica</i> (칠면초)	7 (2-11)	20 (17-27)	0	0
	<i>Salicornia herbacea</i> (통통마디)	2 (0-4)	8 (5-15)	0	0
IV (3-4 mmho)	<i>Triglochin maritimum</i> (지체)	1 (0-3)	—	0	0

상당한 차이가 있음을 알 수 있었으나 AMF 공생률은 포자밀도보다는 차이가 적음을 알 수 있었다. 이러한 사실은 AMF의 SD는 토양 pH, 수분함량, Na함량, P의 함량 등 여러 토양 특성의 영향을 크게 받으나 AMF 포자가 발아하여 고등식물과 공생체를 형성하면 토양 환경의 영향을 덜 받고 공생식물의 활성화에 좌우됨을 알 수 있었다.

Scotland의 coal tips에서 생육하는 초본식물들의 AMF 공생률은 20-90%(Daft and Nicolson, 1974), 석탄광산 주변 초본식물들의 그것은 0-88%(Khan, 1978)로서 본 조사 결과와 비슷하다.

Ocampo *et al.*(1980)은 명아주과(Chenopodiaceae)에서, Read *et al.*(1976)은 사초과(Cyperaceae)와 골풀과(Juncaceae) 식물에서 AMF가 공생하지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서도 명아주과에 속하는

갯능쟁이, 사초과인 천일사초, 골풀과인 갯골풀의 공생률은 0%이었다.

共生活性的 季節變化 AMF의 SD와 공생률의 계절 변화는 식물의 종에 따라 현저히 다른 패턴을 나타냈다(Fig. 3). 즉 AMF의 최고 공생률은 비쭉, 갯개미취 및 사데풀 개체군에서 7월에, 산조플에서 8월에, 띠에서 9월에, 별노랑이에서 10월에 각각 나타났다. 10개월간의 평균 공생률을 보면, 각각 산조플 52%, 별노랑이 45%, 비쭉 37%, 띠 31%, 사데풀 30%, 갯개미취 29%의 순으로 감소되었다. 이 결과로 보아 중성식물의 공생률이 임의염생식물의 것보다 대체로 높은 경향이었다. AMF의 최소 공생률은 띠와 사데풀에서 각각 3월에 12%, 18%, 비쭉과 갯개미취에서 각각 4월에 16%, 17%, 별노랑이에서 5월에 16%, 산조플에서 6월에 28%이었다. 간척지식

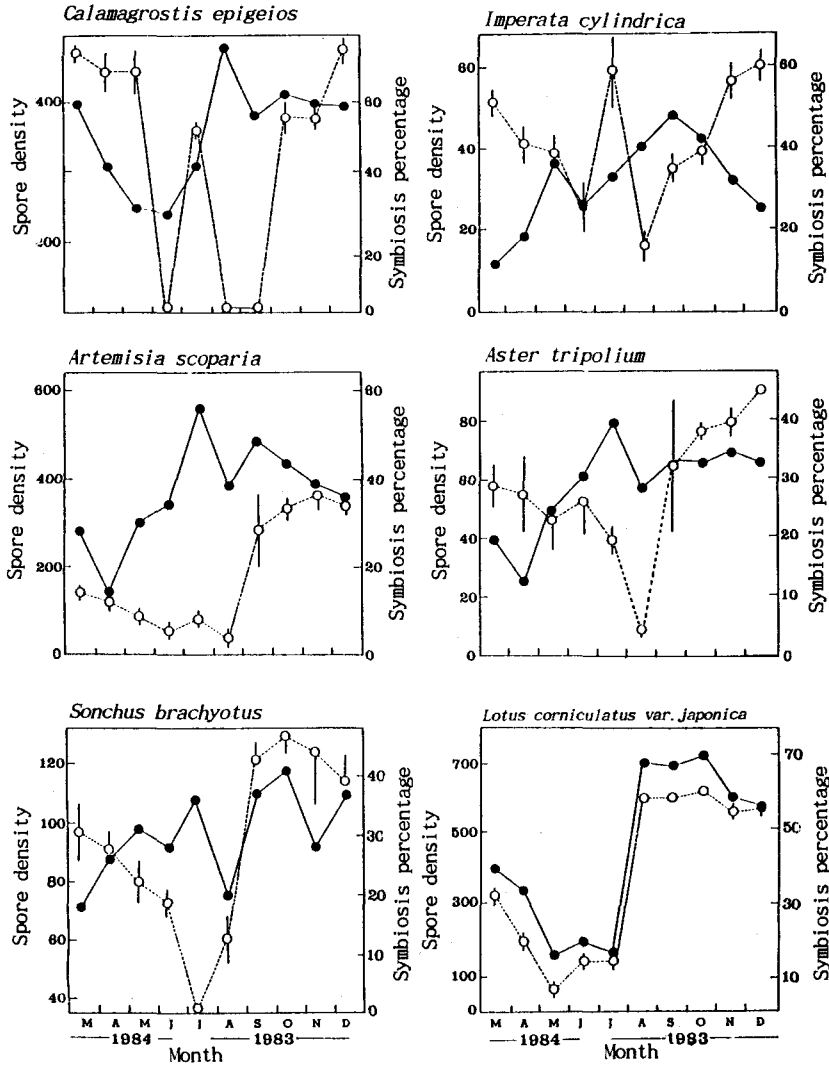


Fig. 3. Seasonal variations of spore densities (open circles) and symbiosis percentages (closed circles) of AMF in roots of 6 plant populations at Paekseuk reclaimed land.

물의 AMF 공생률은 대체로 3-6월 사이에 감소되고, 7-10월 사이에 증가되는 경향이 있었다. 이러한 AMF 공생률의 계절적 변동은 공생식물의 생육 초기에 감소되고, 생육 후기에 증가되는 것으로 생각된다.

Mejstrik(1972)에 의하면 간척지 초본식물의 AMF 공생률은 9월에 가장 높고, 4월에 가장 낮았다. Smith(1980)는 AMF 형성과 균체의 생증량은 광합성에 영향을 주는 햇빛과 기온에 좌우된다고 보고하였다.

한편, 고등식물의 근권에 있는 AMF의 최대 포자밀도는 락, 사데풀, 갯개미취, 비쭉, 벌노랑이, 산조풀의 순으로 많았고 최대 SD를 나타내는 달은 사데풀 및 벌노랑이는 10월(토양 20g 중 각각 129 및 617개), 비쭉은 11월(345개), 산조풀, 락 및 갯개미취는 12월(각각 750, 60, 101개)이었다. 최소 SD를 갖는 감소기는 산조풀은 8월(8개), 사데풀은 7월(36개), 벌노랑이는 5월(68개), 락, 비쭉 및 갯개미취는 8월(각각 16, 26, 10개)이었다. 락과 같은 중성식물은 임의염생식물보다 포자가 많지 않았고,

SD의 감소기와 그 공생식물의 생육성기와는 관계가 없었다. 따라서 SD의 계절 변화는 그 공생식물의 생육성기나 영양흡수와 큰 관계가 없이 휴면기인 가을부터 봄 사이에 많았다.

Khan(1974)은 AMF의 SD가 가을부터 겨울 사이에 증가하고, 봄부터 여름 사이에 감소하는 계절

변화를 나타낼 뿐 토성, 토양의 무기영양소 함량 및 토양의 교란과는 관계가 없다고 하였고 Saif(1977) 및 Sutton(1973)도 포자가 대부분의 식물에서 생육 계절이 끝나면서 생성되며, Koske and Halvorson (1981)은 사구의 SD가 성장말기인 10월에 가장 높다고 보고하였다. 이들의 결과는 본 조사 결과와

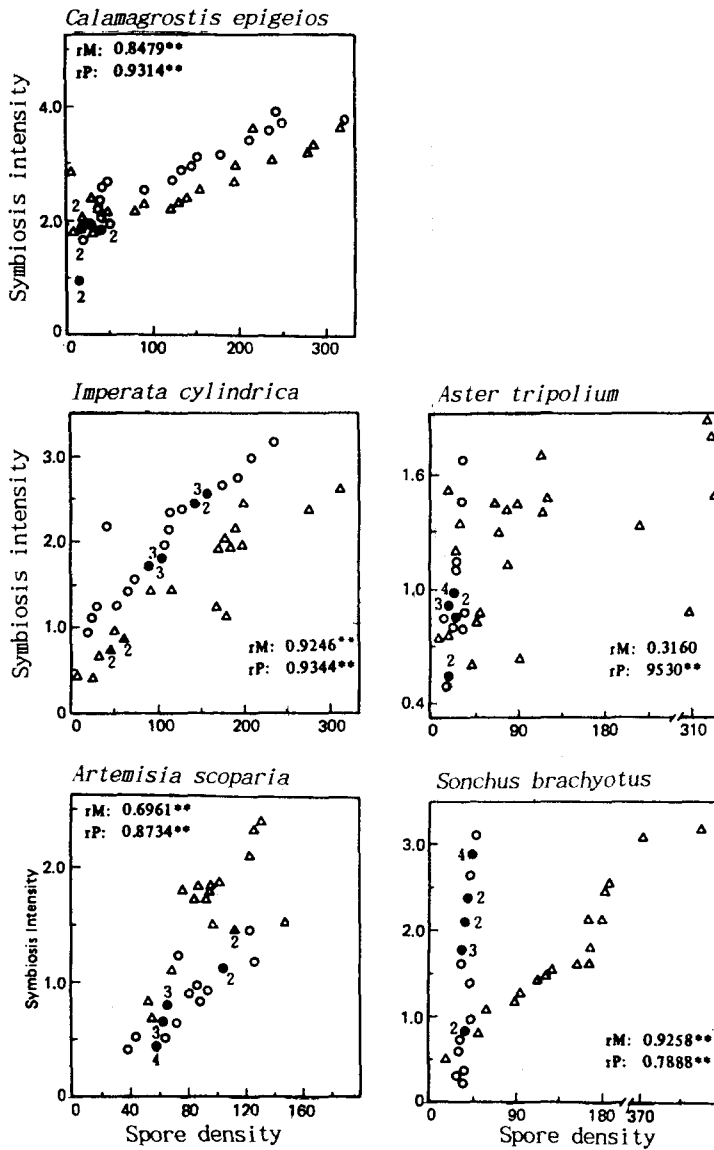


Fig. 4. Relationships among spore densities, symbiosis intensities and vesicle densities of AMF in 5 populations at Paekseuk (circles) and Mado (triangles) reclaimed lands.

*: significant level at 5%.
 **: significant level at 1%.

일치한다.

AMF의 共生特性 SD와 SI 사이의 관계는 백석과 마도의 산조풀, 띠, 비쭉 및 사데풀 개체군에서 SD의 증가에 따라 SI가 비례적으로 증가함으로써 높은 양의 상관관계를 나타냈지만 마도의 갯개미취에서는 SD의 증가에 따라 SI가 증가하였지만 그 경향이 뚜렷하지 않으나 낮은 양의 상관관계를 나타냈다(Fig. 4). 그리고 백석의 갯개미취와 사데풀의 SD는 토양 20g

중 약 30-40개의 한정된 밀도를 가졌지만 SI는 넓은 폭으로 변동하는 특이한 현상이 나타났다. 이 현상은 백석의 갯개미취와 사데풀에서 포자의 형성이 억제되고 공생강도는 억제되지 않는 환경에서 생육하였다고 해석된다. 이상의 결과로부터 AMF의 공생특성에 있어서 SD와 SI는 밀접한 관계가 있음을 알게 되었다.

SD와 VE 사이의 관계는 백석의 산조풀 및 띠와

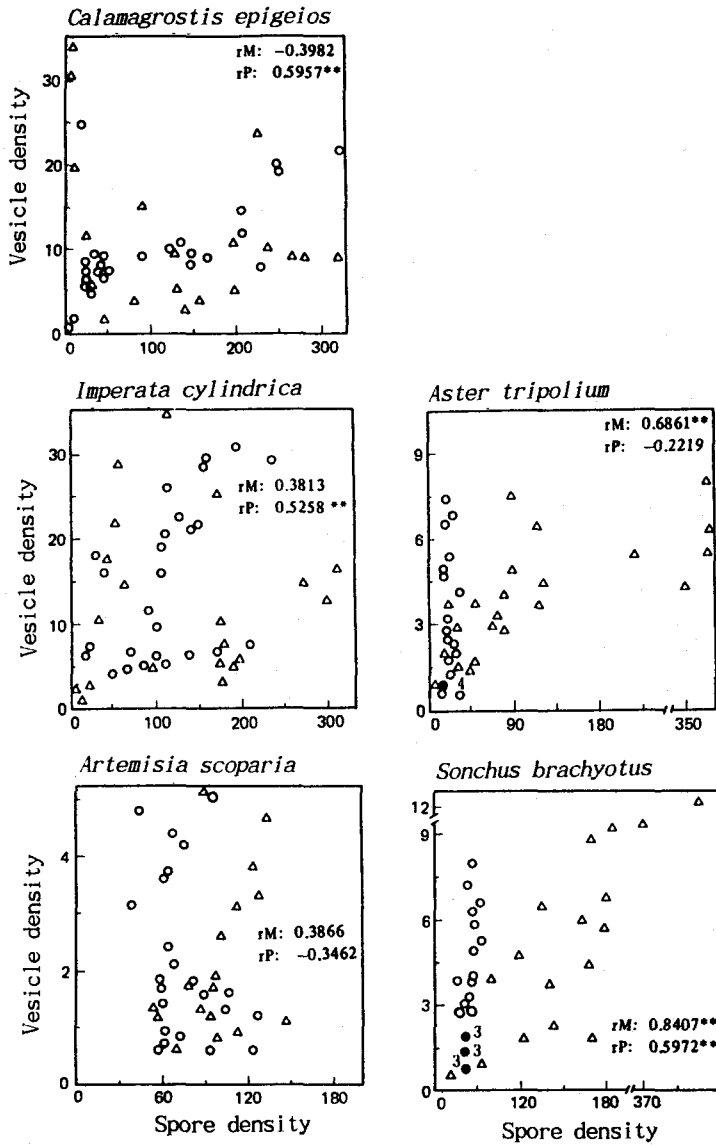


Fig. 4. (Continued)

마도의 띠와 비죽에서 낮은 양의 상관관을 나타냈고, 백석의 갯개미취와 비죽 그리고 마도의 산조풀에서는 오히려 음의 상관관을 나타냈다.

백석의 갯개미취와 사데풀 개체군에서 저밀도(30-40개/20g 토양)의 SD에 대하여 넓은 범위로 VE가 분포하는 양상은 마치 SD와 SI 사이의 관계와 같

았다(Fig. 4).

VE와 SI 사이의 관계는 VE와 SD의 관계처럼 조사된 거의 모든 식물에서 측정치가 분산되어 양의 상관관이 크지 않거나 낮은 음의 상관관을 나타냈다. 즉 백석의 산조풀, 띠 및 사데풀과 마도의 띠, 비죽 및 갯개미취에서는 VE와 SI 사이에 일정한 경향을 찾아

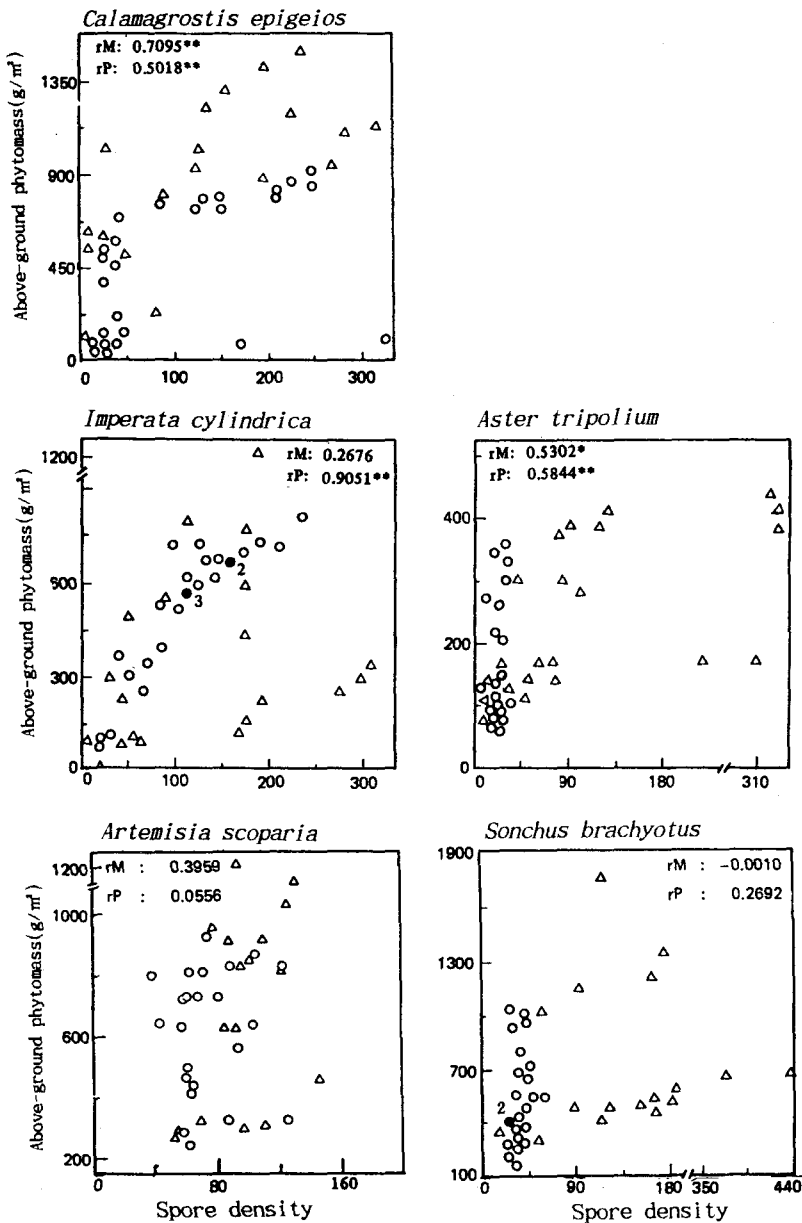


Fig. 5. Relationships between above-ground phytomasses and spore densities, symbiosis intensities or vesicle densities of AMF in 5 plant populations at Paekseuk (circles) and Mado (triangles) reclaimed lands.

볼 수 없었고 상관도 낮은 양의 상관을 나타냈다. 백석의 비석, 갯개미취와 마도의 산조풀에서는 오히려 음의 상관을 보여 주었다. 다만 마도의 사데풀에서는 VE의 증가에 따라 SI가 비례적으로 증가하여 비교적 높은 양의 상관($r=0.8895$)을 보였다. 이러한 결과로 보아 조사된 식물 개체군에서 AMF의 VE와 SI 사이에는 뚜렷한 상관관계가 없음을 알 수 있다.

植物量과 共生活性 간척지에서 AMF 식물량에

미치는 영향을 밝히기 위하여 백석과 마도 간척지에서 중성식물인 산조풀과 띠, 임의엽생식물인 비석, 갯개미취 및 사데풀 개체군의 지상부식물량(PT)과 각 개체군에서 조사한 AMF의 공생활성으로써 SD, SI 및 VE의 관계를 Fig. 5에 표시하였다.

각 식물 개체군의 식물량은 SD가 증가함에 따라 대체로 증가하는 경향이 나타났다. 마도와 백석 산조풀의 PT와 SD 사이에는 높은 양의 상관($r=0.7095$ 및 0.5018)이 보였고, 갯개미취의 그것 사이

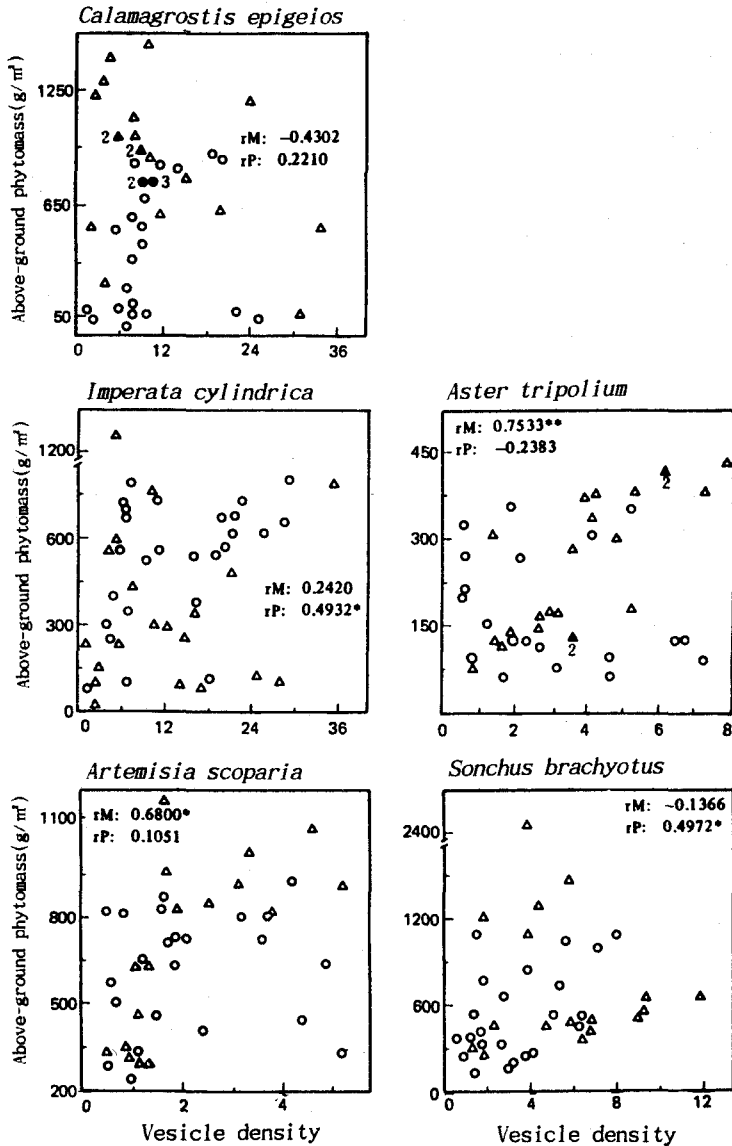


Fig. 5. (Continued)

에도 높은 양의 상관을 보여 주었다($r=0.5302$ 및 0.5844). 백석의 띠($r=0.9051$)에서 그러한 경향이 보였다. 그러나 백석과 마도의 비쭉($r=0.3959$ 및 $r=0.0556$), 마도의 띠($r=0.2676$), 백석의 사데풀($r=0.2692$)의 PT와 SD 사이에는 낮은 양의 상관성이 보였다. 그리고 백석의 갯개미취와 사데풀은 SD가 적었고 또 SD에 관계없이 PT가 증가하였다. 또한 마도의 사데풀은 SD와 PT의 관계는 낮은 음의 상관이었다.

식물량과 SI 사이의 관계는 SI의 증가에 따라 PT가 대체로 증가하는 경향이 나타났다. 특히 백석과 마도의 산조풀, 띠 및 갯개미취, 그리고 마도의 비쭉에서 두 요인 사이에 양의 상관성이 뚜렷하였다. 중성식물은 임의염생식물보다 SD 또는 SI의 증가에 따라 PT의 증가가 더 뚜렷하게 나타나는 경향이 있었다. 그런데 PT와 VE 사이에는 백석의 띠와 사데풀, 마도의 비쭉과 갯개미취를 제외하고 양의 상관성이 높지 않거나 음의 상관성이 나타남으로써

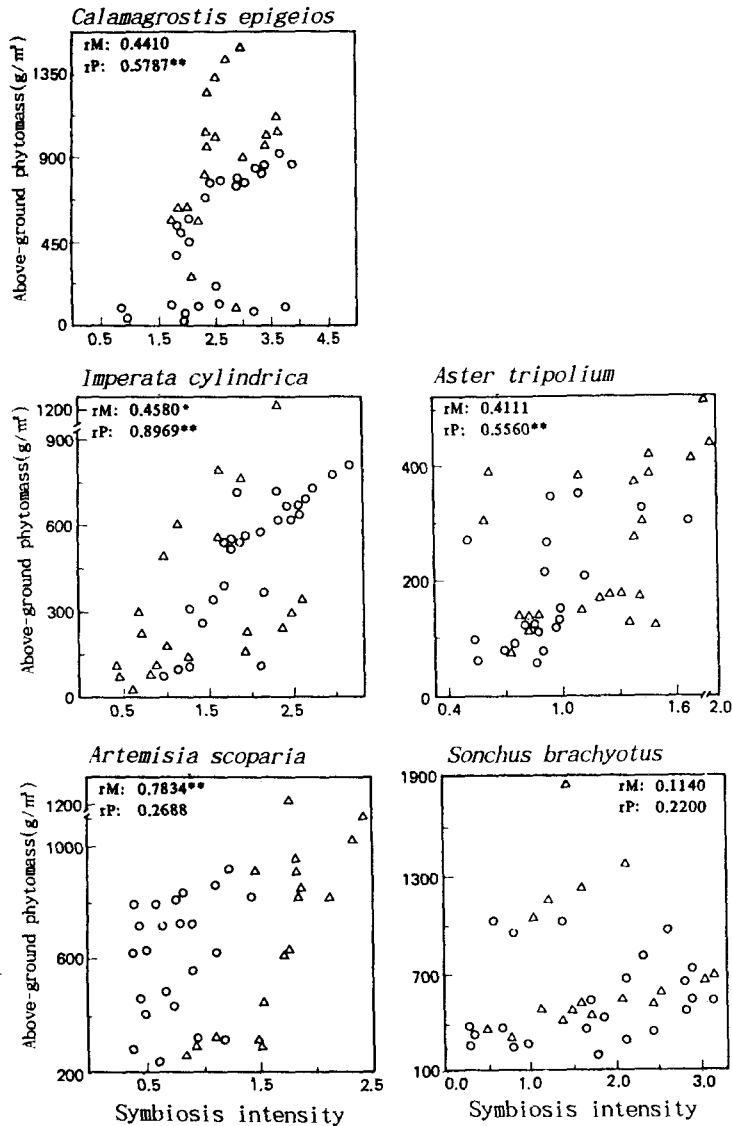


Fig. 5. (Continued)

VE는 PT에 직접 영향을 미치지 않는다고 판단되었다. 다만 마도의 비쭉과 갯개미취의 PT는 VE의 증가에 따라 증가되는 현상을 보여 주었다.

SD 또는 SI와 모든 식물 개체군의 PT 사이에는 양의 상관관이 나타났지만 VE와 PT 사이에는 양 또는 음의 상관관이 나타남으로써 VE가 직접 식물량을 증가시키지 않음을 보여 주었다.

간척년도에 따른 식물의 AMF 공생활성의 차이를 검토하기 위하여 백석과 마도에서 5종 식물 개체군인 산조풀, 띠, 비쭉, 갯개미취 및 사데풀에서 각각 반복 채취한 식물체의 뿌리 및 토양을 분석하여 AMF의 SD, SI 및 VE를 측정하였다. 두 간척지의 5종 식물개체군에서 각각 반복 조사된 AMF의 SD, SI 및 VE에 관한 측정치의 평균을 기본 자료로 하여 분산 분석을 실시하여 개체군간의 유의성 검정을 하였다. 개체군별로 유의차가 인정된 AMF의 SD, SI 및 VE를 던칸다중검정을 실시하였다(Table 2). Table 2에서와 같이 백석 간척지의 중성식물인 산조풀과 띠는 임의염생식물인 비쭉, 갯개미취 및 사데풀에 비하여 AMF의 SD, SI 및 VE가 다같이 높아 전자와 후자의 유의차($P>0.05$)가 인정되나 마도 간척지의 중성식물인 산조풀, 띠와 임의염생식물인 비쭉, 갯개미취 및 사데풀 사이에는 AMF의 VE를 제외하고는 SD와 SI의 유의차가 인정되지 않았다. 이러한 결과로 미루어 마도는 간척년도가 짧아 아직 탈염이 덜 된 상태에서 중성식물과 임의염생식물 사이에 AMF의 공생활성의 차이가 없는 것으로 간

주된다. 즉 환경이 안정된 곳에서는 AMF의 공생활성은 중성식물이 임의염생식물보다 높으나(백석의 경우), 환경이 안정되지 않은 곳에서는 중성식물과 임의염생식물 사이에 AMF의 공생활성의 차이가 없음을 알 수 있었다(마도의 경우).

共生活性과 Zn 吸收

AMF의 SD와 SI의 공생활성에 따른 식물의 Zn 흡수량과의 관계를 알아 보았다(Fig. 6과 Fig. 7). 본 시료의 채취는 1992년 7월 20일에서 30일 사이에 실시되었다.

식물의 Zn 흡수량은 백석과 마도의 산조풀과 사데풀에서 SD의 증가에 따라 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 6).

AMF에 의한 Zn 흡수량의 증가는 소나무(Hatch, 1973; Bowen *et al.*, 1974). 단풍나무(Daft and Hacs-kaylo, 1977) 그리고 옥수수(Gerdemann, 1964) 등에서 밝혀지고 있다.

간척지 식물의 Zn 흡수량에 미치는 AMF의 공생활성의 하나인 SI의 영향은 SD의 영향만큼 현저하지는 않지만 대체로 높은 상관관이 있었다.

미량원소인 Zn 흡수량은 SI의 증가에 따라 증가하는 경향이 나타났는데 특히 백석의 산조풀과 비쭉에서 증가 경향이 뚜렷하였다(Fig. 7). 이 결과로 보아 AMF의 SI는 미량원소인 Zn의 흡수를 촉진하는 것을 알 수 있다.

Table 2. Analysis of variance of means for 5 plant populations on spore densities, symbiosis intensities and vesicle densities of AMF by Duncan's multiple range test

Paekseuk					Spore density	Mado				
AT	SB	AS	CE	IC		AS	AT	IC	CE	SB
21.65	37.17	74.78	103.2	112.6		98.12	117.40	133.20	140.50	156.80
Symbiosis intensity						Symbiosis intensity				
AS	AT	SB	IC	CE		AT	IC	AS	SB	CE
0.77	0.93	1.71	2.04	2.51		1.20	1.43	1.65	1.75	2.68
Vesicle density						Vesicle density				
AS	AT	SB	CE	IC		AS	AT	SB	CE	IC
2.18	2.96	3.41	9.74	14.61		2.15	3.84	5.46	11.09	12.03

Abbre.: CE, *Calamagrostic epigeios*; IC, *Imperata cylinrica*; AS, *Artemisia scoparia*; AT, *Aster tripolium*; SB, *Sonchus brachyotus*

Non-significant ($M>0.05$) means are connected by the straight line.

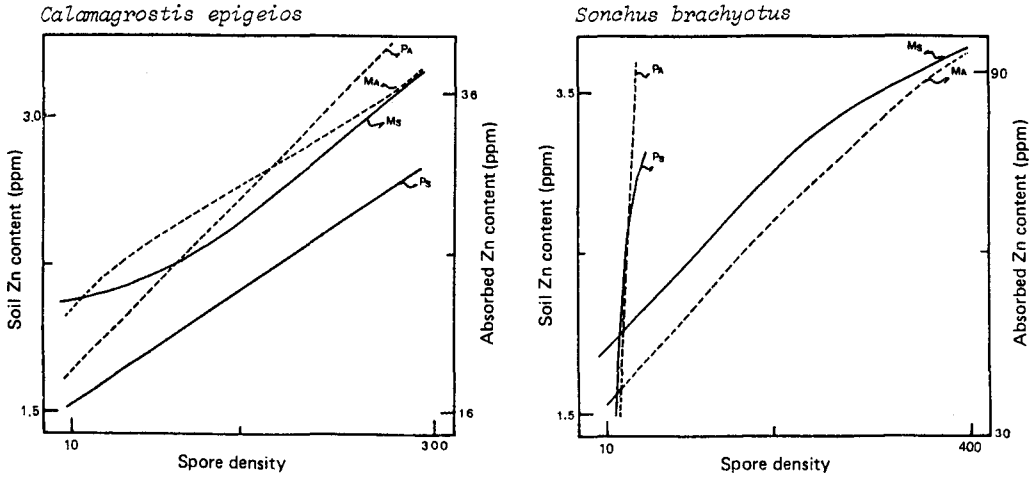


Fig. 6. Relationships among spore densities of VAM, soil zinc amounts and absorbed zinc amounts of above-ground in *Calamagrostis epigeios* and *Sonchus brachyotus* at Paekseuk and Mado reclaimed lands. Straight line, soil zinc amounts; dotted line, absorbed zinc amounts. Abbre.: P_s, soil zinc amounts at Paekseuk; M_s, soil zinc amount at mado; P_a, absorded zinc amounts by plants at Paekseuk; M_a, absorbed zinc amounts by plants at Mado.

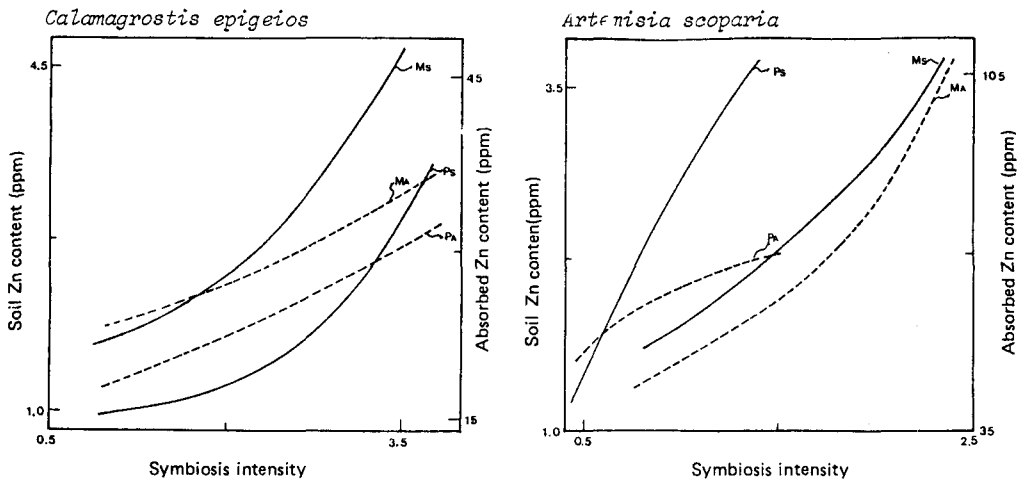


Fig. 7. Relationships among symbiosis intensites of AMF, soil zinc amounts and absorbed zinc amounts of above-ground in *Calamagrostis epigeios* and *Artemisia scoparia* at Paekseuk and Mado reclaimed lands. Straight line, soil zinc amounts; dotted line, absorbed zinc amounts. Abbre.: reffer to Fig. 6.

摘 要

간척년도가 다른 두 간척지의 고등식물 근권에 존재하는 arbuscular mycorrhizal fungi(AMF)의 포자밀도, 공생강도 및 소포밀도, 그리고 숙주식물인 산조풀, 띠, 비쭉, 갯개미취 및 사데풀의 식물량과 그외의 요소인, 토양의 전기전도도와 Zn 함량 및

식물체속 아연의 함량 등을 조사하여 AMF의 생물학적 특성과 식물의 아연 흡수에 미치는 AMF 공생활성의 영향 등을 연구하였다.

간척지 식물을 토양의 염분함량에 따라 분류하면 염생식물, 임의염생식물, 중성식물의 순으로 AMF 공생활성이 높았고 생활형으로 분류하면 1, 2, 다년생식물로 감에 따라 AMF 공생활성이 높았다.

공생활성의 계절 변화는 포자밀도가 고등 식물의 생육말기부터 봄까지 커짐으로써 가을에 번식함은 알았고, 공생률은 봄, 여름에 높았고 가을에 낮았다.

AMF의 공생활성인 포자밀도와 공생강도 사이는 높은 양의 상관성이 나타났지만 소포밀도와 포자밀도 또는 소포밀도와 공생강도 사이에는 상관성이 없었다.

식물량과 AMF 포자밀도 또는 공생강도 사이에는 높은 양의 상관성이 나타났고, 식물량과 소포밀도 사이에는 뚜렷한 상관성이 없었다. 이 결과로 간척지의 식물량은 AMF 공생에 의하여 증가되고 포자밀도와 공생강도가 AMF 공생활성의 중요한 척도임을 알았다.

아연 흡수는 AMF 공생활성이 높은 식물이 낮은 식물에 비하여 보다 많은 양을 흡수하였다.

參考文獻

- Bowen, G. D., M. P. Skinner and D. I. Bevege. 1974. Zinc uptake by mycorrhizal and uninfected roots of *Pinus radiata* and *Araucaria cunninghamii*. *Soil Biol. Biochem.* 6: 141-144.
- Brower, J. E. and J. H. Zar. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Co. Puld. Iowa, U.S.A. pp. 136-145.
- Daft, M. J. and E. HacsKaylo. 1977. Growth of Endomycorrhizal and non-mycorrhizal red maple seedlings in sand and anthracite spoil. *Forest. Sci.* 23: 207-216.
- Daft, M. J. and T. H. Nicolson. 1974. Arbuscular mycorrhizas in plants colonizing coal wastes in Scotland. *New Phytol.* 73: 1129-1137.
- Filer, T. B. Jr. 1975. Mycorrhizae and soil microflora in an green tree reservoir. *Forest Sci.* 21: 36-39.
- Gerdemann, J. W. 1964. The effect of mycorrhiza on the growth of maize. *Mycologia* 56: 342.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235.
- Gianinazzi-Pearson, V. and S. Gianinazzi. 1976. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza I. Effect of mycorrhiza formation and phosphorus nutrition on soluble phosphatase activities in onion roots. *Physiol. Veg.* 14: 833-841.
- Gray, T. R. G. and S. T. Williams. 1971. Microbial productivity in soil. In: "Microbes and Biological Productivity" Sym. Soc. gen. *Microbiol.* 25: 255-286.
- Harley, J. L. 1971. Fungi in ecosystems. *J. Ecol.* 59: 653-668.
- Harley, J. L. 1973. Symbiosis in the ecosystem. *J. Nat. Sci. Council Sri Lanka* 1: 31-48.
- Hatch, A. B. 1973. The physical basis of mycotrophy in the genus *Pinus* black rock. *Bull.* p. 6: 168 only.
- Hogberg, P. and G. D. Pearce. 1986. Mycorrhizas in Zambian trees in relation to host taxonomy, vegetation type and successional patterns. *J. Ecol.* 74: 775-786.
- Iqbal, S. H., M. Yousaf and M. Younus. 1981. A field survey of mycorrhizal associations in ferns of Pakista. *New Phytol.* 87: 69-79.
- Janos, D. P. 1980. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect low land tropical rain forest plant growth. *Ecology* 61: 151-162.
- Johnson, P. N. 1977. Mycorrhizal Endogonaceae on a New Zealand forest. *New Phytol.* 78: 161-170.
- Keeley, J. E. 1980. Endomycorrhizae influence growth of blackgum seedlings in flooded soils. *Amer. J. Bot.* 67: 6-9.
- Khan, A. H. 1974. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes, and of *Endogone* spores in adjacent soils. *J. Gen. Microbiol.* 81: 7-14.
- Khan, A. H. 1978. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in plants colonizing black wastes from bituminous coal minig in the Illawarra region of New South Wales. *New Phytol.* 81: 53-63.
- Koske, R. E. and W. L. Halvorson. 1981. Ecological studies of vesicular-arbuscular mycorrhizae in an barrier sand dune. *Can. J. Bot.* 59: 1413-1422.
- Mejstrik, V. K. 1972. Vesicular-arbuscular mycorrhizas of the species of a *Moliniatum coeruleae* L. I. association: the ecology. *New Phytol.* 71: 883-890.
- Moorman, T., F. B. Reeves. 1979. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid West II. A bioassay to determine the effect of land disturbance on endomycorrhizal populations. *Am. J. Bot.* 66: 14-18.
- Mosse, B. 1972. The influence fo soil type and *Endogone* strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soil. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 9: 529-537.
- Murdoch, C. L., J. A. Jackobs and J. W. Gerdemann. 1967. Utilization of phosphorus sources fo different availability by mycorrhizal and non-mycorrhizal

- maize. *Plant and Soil*. **27**: 329-334.
- Ocampo, J. A., J. Martin and D. S. Hayman. 1980. Influence of plant interactions on vesicular-arbuscular mycorrhizal infections. I. Host and non-host plants grown together. *New Phytol.* **84**: 27-35.
- Philips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Mycol. Soc.* **55**: 158-161.
- Possingham, J. V. and J. Groot-Obbink. 1971. Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis* **10**: 120-130.
- Rabatin, S. C. 1979. Seasonal and edaphic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of grasses by *Glomus tenuis*. *New Phytol.* **83**: 95-102.
- Read, D. J., H. K. Kouchecki and J. Hodgson. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The occurrence of infection. *New Phytol.* **77**: 641-653.
- Reeves, F. B., D. Wagner, T. Mooreman and J. Kiel. 1979. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semiarid West I. A comparison on incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. natural environments. *Am. J. Bot.* **66**: 6-13.
- Saif, S. R. 1977. The influence of stage of host development on vesicular- arbuscular mycorrhizae and endogonaceous spore populations in field grown vegetable crops. I Summer-grown crops. *New Phytol.* **79**: 341-348.
- Smith, S. E. 1980. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. *Biol. Rev.* **55**: 475-510.
- Sutton, J. C. 1973. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizae in crop plants. *Can. J. Bot.* **51**: 2487-2493.
- Timmer, L. W. and R. F. Leyden. 1978. Stunting of citrus seedlings in fumigated soils in Texas and its correction by phosphorus fertilization and inoculation with mycorrhizal fungi. *J. Am. Soc. Horticult. Sci.* **103**: 533-537.
- Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys of the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopath.* **72**: 1100-1107.
- Trappe, J. M. and N. C. Schenck. 1982. Taxonomy of the fungi forming endomycorrhizae A. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi(Endogonales). *Amer. Phytopath. Soc.* pp. 1-9.
- Trinick, M. J. 1977. Vesicular-arbuscular infection and soil phosphorus utilization in *Lupinus* spp. *New Phytol.* **78**: 297-304.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* **18**: 443-455.