

外生과 内生 菌根을 利用한 造景樹木의 生長과 根系發達 促進

李景俊¹ · 洪鳳基¹ · 許百烈² · 柳鍾德² · 金德照²

서울대학교 農生大 山林資源學科¹, 三星 Everland 株式會社 環境開發事業部²

Enhancement of Shoot and Fine Root Growth of Landscape Trees by Mycorrhizal Inoculation with *Pisolithus tinctorius* and *Glomus* sp.

Kyung Joon Lee¹, Bong Ghi Hong¹, Baek Yull Hur²,
Jong Duk Ruoo² and Duk Jo Kim²

¹Dept. of Forest Resources, Seoul Nat'l Univ., Suwon, Korea 441-744

²Landscape Architecture Team, Everland, Pogokmyun, Jondaeri 310, Yongin, Kyonggido

Summary

This study was conducted to establish an improved way of producing healthier landscape trees by application of mycorrhizal techniques to nursery practice. Seedlings of *Pinus mugo*, *Pinus densiflora*, *Pinus densiflora* for. *multicaulis* were inoculated with the ectomycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius* and seedlings of *Buxus microphylla*, *Ligustrum obtusifolium*, *Acer palmatum*, *Ilex serrata* and *Albizia julibrissin* were inoculated with the endomycorrhizal fungus, *Glomus* sp. After inoculation, seedling heights were measured periodically for 2 or 3 years. To investigate the root development, underground parts of seedlings were harvested and observed for fine root formation. Total nitrogen and soluble phosphorus contents both in the plant leaves and in soil were measured to examine the effect of inoculation on the nutrient absorption.

Mycorrhizal inoculation enhanced the fine root development of the seedlings in ectomycorrhiza and enhanced both height and fine root development in endomycorrhiza. Particularly, *Buxus microphylla* failed to grow without mycorrhizal formation. Significantly increased absorption of phosphorus by the inoculation also suggested faster nutrient absorption. More studies are required to develop a practical use of mycorrhizal techniques as a new tool for improving reforestation success in marginal soil and for improved survival of landscape trees.

서 론

균근은 식물의 뿌리와 토양의 곰팡이가 공생을 하는 형태를 의미하며, 질소를 고정하는 뿌리혹 박테리아의 뿌리혹보다 더 흔하게 관찰되는데, 지구상에 있는 육상식물의 약 95% 가량이 균근(菌根, mycorrhiza)을 형성한다고 알려져 있다 (Kormanik *et al.* 1977). 균근을 형성하는 곰팡이는 식물 뿌리의 겉 표면을 싸고 있거나, 혹은 뿌리 속으로 들어가서 자라는데 이를 각각 외생균근 (ectomycorrhizae) 및 내생균근 (endomycorrhizae)이라고 부른다 (Kozlowski 1997). 기주식물은 곰팡이에게 탄수화물을 공급해 주고 곰팡이는 토양 속에 있는 무기양분, 특히 인산과 질소의 흡수를 촉진시켜 준다 (Cumming 1996). 이러한 공생의 덕분으로 식물은 영양분이 적은 척박한 토양에서도 잘 자라며 (Browning and Whitney, 1992b), 뿌리 표면을 싸고 있는 곰팡이가 다른 토양서식 병원균의 침입을 막아주고 (Olsson, P.A. *et al.* 1996), 산성우 또는 토양의 극단적인 산도 (Ko and Lee 1988), Al 등 토양 중금속 및 독극물 (Sehier and McQuattie 1995) 등 극심한 환경의 변화에 대한 저항성을 높여주고 또한 한발에 대한 저항성도 증가시켜 준다 (Lamhamedi *et al.*, 1992b).

최근에 들어와서 이러한 균근의 장점을 살려, 수목에 균근균을 인공적으로 접종함으로써 세균이 발달한 건전한 묘목을 생산할 수 있게 되었으며, 풍향수와 같이 재래적으로 양묘가 잘 되지 않던 수종을 묘목 활착률의 증가와 함께 성공적으로 양묘할 수 있는 길을 터놓았다 (Browning and Whitney 1993). 특히 외생균근의 경우 모래발버섯균을 이용하여 미국에서는 소나무류를 비롯한 여러 침엽수들의 묘목생산에 획기적인 기여를 하고 있으며, 기계화된 양묘과정에서 균근균을 투여하여 인공접종하는 새로운 기술을 개발하였다 (Browning and Whitney 1992b).

지금까지 연구된 여러가지 목본식물의 균근균 가운데서 대량증식이 용이하고 접종효과가 뚜렷한 균은 세계 곳곳에 널리 분포하는 것으로 알려져 있는 모래발버섯균 (*Pisolithus tinctorius*)이다 (Marx 1977). 모래발버섯균은 여러가지 목본식물 중에서 소나무류와 공생을 이룰 때 가장 큰 효과를 나타내며 이미 소나무 유묘생장촉진을 위한 super strain이 개발되어 있다 (Marx 1980). 국내에서는 임목육종연구소에서 처음으로 국산 모래발버섯균을 이용하여 소나무류 (적송, 해송, 리기다소나무, 리기테다소나무, 잣나무)의 생장을 촉진하는 데 성공하였다 (Lee and Koo 1983).

본 실험의 목적은 목본식물의 양묘과정에 균근균을 인공적으로 도입하여 균근 형성을 유도함으로써, 묘목의 뿌리 발달을 촉진하고 건전한 묘목을 생산할 수 있는 새로운 기술을 개발하는 데 있다. 따라서 본 실험에서는 양묘가 비교적 힘들다고 알려진 도입된 류고소나무와 반송 및 적송을 이용하여, 외생균근균인 모래발버섯균의 접종방법과 접종효과를 시험하고, 회양목, 쥐똥나무, 자귀나무, 낙상홍, 단풍나무를 이용하여 내생균근균의 묘목생장 촉진효과를 분석하며, pot를 이용한 관상수 양묘에의 응용 가능성을 타진하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

Table 1은 본 실험에 사용된 묘목의 종류, 균종, 균근형태, 접종 및 파종시기, 그리고 반복구수를 보여주고 있다. 1988년에는 묘고소나무에, 1989년에는 적송, 회양목, 그리고 쥐똥나무에 접종 실험이 있었으며 반송, 낙상홍, 그리고 자귀나무는 1990년에 접종되었다. 단풍나무는 1989년 및 1990년에 두 번 접종 실험이 행해졌다. 접종 후에는 1990년 말까지 계속해서 연 3회 묘고생장량을 측정하였다.

Table 1. 균근 접종 실험에 사용된 공시 재료의 수종, 균종, 접종시기 및 반복수.

수 종	균 종	균근형태	접종 및 파종 시기	반복구수
묘고소나무 (<i>Pinus mugo</i>)	모래밭버섯균 (<i>Pisolithus tinctorius</i>)	외생균근 (Ecto-mycorrhizae)	1988년 4월	6
적송 (<i>Pinus densiflora</i>)	모래밭버섯균 (<i>Pisolithus tinctorius</i>)	외생균근 (Ecto-mycorrhizae)	1989년 4월	4
반송 (<i>Pinus densiflora</i> for. <i>multicaulis</i>)	모래밭버섯균 (<i>Pisolithus tinctorius</i>)	외생균근 (Ecto-mycorrhizae)	1990년 4월	3
회양목 (<i>Buxus microphylla</i>)	<i>Glomus</i> sp.	내생균근 (Endo-mycorrhizae)	1989년 8월	3
쥐똥나무 (<i>Ligustrum obtusifolium</i>)	<i>Glomus</i> sp.	내생균근 (Endo-mycorrhizae)	1989년 4월	4
단풍나무 (<i>Acer palmatum</i>)	<i>Glomus</i> sp.	내생균근 (Endo-mycorrhizae)	1989년 4월 및 1990년 4월	4 (1989년 4월) 및 3 (1990년 4월)
낙상홍 (<i>Ilex serrata</i>)	<i>Glomus</i> sp.	내생균근 (Endo-mycorrhizae)	1990년 4월	3
자귀나무 (<i>Albizia julibrissin</i>)	<i>Glomus</i> sp.	내생균근 (Endo-mycorrhizae)	1990년 4월	3

2. 균근균의 배양 및 접종

Figure 1.에 균근균의 배양법과 접종원으로 사용하기 위해 이용된 방법을 도시하였다.

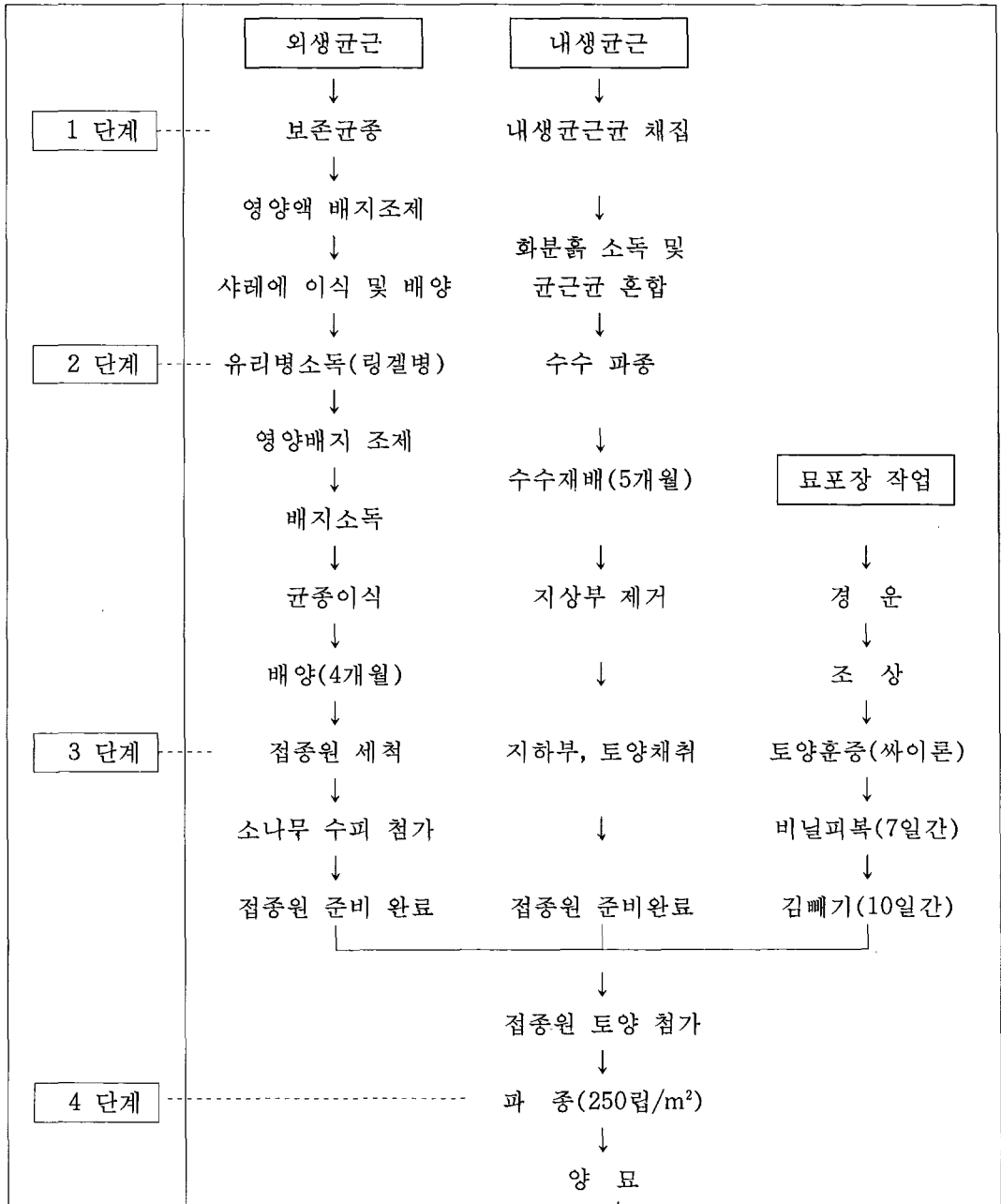


Figure 1. 균근균의 배양 및 접종 흐름도

i) 외생균근균의 배양 및 접종

보관 중인 모래밭버섯 외생균근균의 균주를 우선 1차 배양을 위하여 샤아래에서 영양액이 들어 있는 MMN 한천배지에 치상하고 약 3주간 배양하였다. MMN 한천배지의 조성은 Table 2.에 표시하였다. 균사가 충분히 자란 다음에 1리터 링겔병으로 옮겨서 2차 배양을 시도하였다. 링겔병에는 770cc의 버미큘라이트 (2mm 체로 친 굵은 입자만 사용함)와 피트모스 (2mm 체에 통과된 가는 입자만을 사용함)를 첨가한 후, 400 ml의 MMN 영양액을 젖을 만큼 첨가하여 뚜껑을 알루미늄 호일로 봉한 다음 120 °C, 15 lbs의 조건으로 40분간 고압솥에서 살균하였다. 살균된 링겔병에 1차 배양에서 얻은 종균으로 접종하여 28 °C에서 약 4 개월간 배양하였다.

균사가 버미큘라이트 입자 사이에 딱 찰 때까지 약 4개월이 걸렸다. 링겔병을 암전하게 깨고 버미큘라이트를 꺼내서 여러 겹의 가재로 싼 다음에 흐르는 수도물에 수차례 암전히 씻어서 버미큘라이트에 남아 있는 영양액을 제거시켰다. 영양액을 제거시키는 이유는 영양액에 포함되어 있는 당분이 균근균 이외의 다른 곰팡이에게 영양분으로 작용함으로써 화분내에 접종한 후에 다른 병원균의 감염을 줄이기 위해서이다. 한편, 소나무 껍질 (수피)를 1cm 체로 쳐서 밑으로 빠진 것들을 모아서 미리 살균하였고 토양훈중도 동시에 실시하였다. 링겔병 한 개의 종균과 수피 5리터를 미리 잘 섞어서, 묘포장 1m² 크기에 뿌리고, 표토를 삽으로 파서 표토 30cm 깊이에 골고루 섞이도록 하였다.

Table 2. MMN 영양배지 (Modified Melin-Norkrans' Medium) 조성표

시 약 명	첨 가 량
CaCl ₂	50 mg
NaCl	25 mg
KH ₂ PO ₄	500 mg
(NH ₄) ₂ HPO ₄	250 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	150 mg
FeCl ₃ (1% 용액)	1.2 mg
Thiamine HCl	0.1 mg
Malt Extract	3 g
Glucose	10 g
증 류 수	1,000 ml로 조정함

ii) 내생균근균의 배양 및 접종

Glomus sp. 균근균은 1989년 봄에 서울대학교 수원 수목원에서 자라고 있는 70년생

미국 물푸레나무림에서 포자가 들어있는 흙을 채취하여, 소독한 화분에서 수수를 기주로 하여 5개월간 1차 증식시켰다. 2차 증식은 10리터 플라스틱 화분에 발효, 모래, 부엽토를 5:5:1 (v/v/v)의 비율로 섞고, 고압솥에서 살균한 다음 흙 1리터당 소석회를 25cc 섞어서 중화시킨 후, 1차 증식한 균근균이 들어있는 수수토양을 화분마다 1리터씩 섞어주고 수수종자를 화분당 5립씩 파종하여 생장시켰다. 수수를 5개월 가량 온실에서 배양하여 균근균의 접종원 (inoculum)으로 사용하였다. 5개월간 배양한 수수를 수확하여, 수수의 지상부를 제거하고 토양을 화분으로부터 분리시킨 다음, 토양을 작두로 잘게 부수어서 뿌리와 토양이 골고루 섞이도록 하였다.

혼증된 토양에 1m² 당 5리터의 접종원을 골고루 섞어 주었다. 1989년 4월에 접종한 수종은 단풍나무와 쥐똥나무이며, 화양목은 1989년 8월에 접종하여 양묘하였다. 이외에 1990년에는 단풍나무, 자귀나무, 낙상홍을 신규 파종하여 시험을 추가하였다. 이 중에서 자귀나무와 낙상홍은 pot 실험을 하였는데, 사용된 pot는 Styrofoam block으로 크기는 가로 60 cm, 세로 30 cm, 높이 20 cm이다. 접종원 속에는 내생균근 *Glomus* 포자가 1리터당 100-200개가 포함되어 있는 것으로 나타났다.

iii) 묘포 토양혼증

본 실험에서는 비료나 퇴비를 첨가하지 않은 묘포토양을 사용하였으며, 파종상은 왕사, 모래, 발효물 2:2:1 (v/v/v)로 혼합한 토양을 사용하였다. 묘포토양을 재래방법으로 경운하고 (이때 토양살균제는 사용하지 않음) 조상을 실시하였다. “무처리”용 파종상에는 깊이 30 cm의 표토를 걷어내고, 조상이 끝나면 토양혼증을 실시하였다. “싸이론” (메칠브로마이드와 크로로피크린의 1:1 혼합) 토양혼증제를 묘포 1m² 당 100 ml 가량 깊숙히 (약 20 cm 깊이) 주입하고 비닐을 피복하여 약 일주일간 혼증시켰다.

7일 후에 비닐을 벗기고 10일 가량 공기를 빼냄으로써 독가스를 완전히 제거하였다. 이때, 표토를 삽으로 약간 파서 공기유통을 촉진시켰다. 토양혼증과 공기제거가 끝난 다음에 위에서 서술한 방법대로 접종을 실시하였다. 외생균근의 접종시에는 묘포 1m² 당 종균 1리터와 수피 5리터를 사용하고, 내생균근의 경우에는 수수뿌리 토양 5리터를 표토 30 cm 깊이까지 골고루 섞어 주었다.

iv) 실험설계

Figure 2.는 실험 설계를 도식화한 것이다. 처리당 1반복은 파종상에서 길이 2m, 폭 1m로 하였으며, 각 처리간에는 오염을 막기 위하여 판자로 격리하였다.

v) 측 정

접종이 이루어진 모든 묘목들에 대하여 연 3회 수고생장량에 대한 측정이 이루어졌다. 이들 중 묘고소나무는 가장 먼저 접종되었기 때문에 가장 오랜 기간에 걸쳐 “많은

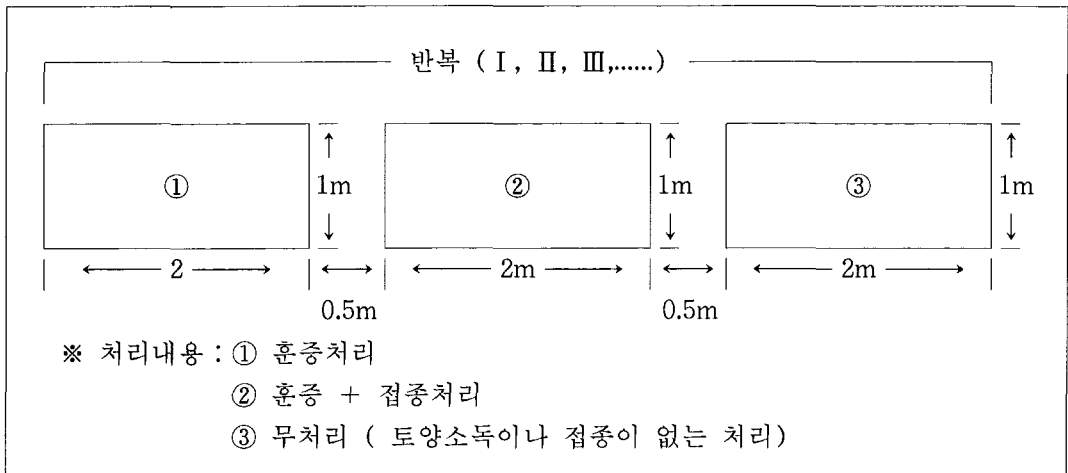


Figure 2. 실험설계

수의 측정이 이루어졌고 1990년도에 접종이 이루어진 반송, 낙상홍, 자귀나무는 당년 생장에 대한 조사만 이루어졌다.

1989년 10월말에 쥐똥나무와 적송묘목을 채취하여 잎의 전질소 함량과 인산의 함량을 측정함으로써 균근접종이 식물체 영양순환에 어떤 효과를 미쳤는지를 관찰하였다. 잎의 전질소 함량은 Micro-Kjeldahl법을 사용하여 중화 적정반응을 통해 시료 내의 질소함량을 계산하였고 (Bremner and Mulvaney 1982), 잎의 유효 인산함량은 Molybdo-vanadate법으로 분석하였다 (Olsen and Sommers 1982). 1990년 10월말에 비닐하우스 내에 설치한 파종상의 토양 중 쥐똥나무 무처리 토양, 쥐똥나무 접종 토양, 그리고 적송 무처리 토양 내의 전질소량과 유효인산의 함량을 역시 각각 Micro-Kjeldahl법과 Molybdo-vanadate법으로 분석함으로써 균근균으로 인한 영양분의 흡수변화가 토양잔류양분에 어떤 영향을 주었는지를 관찰하였다.

결 과

i) 뽕고소나무

Table 3.과 Figure 3.은 1988년도에 모래밭버섯 균근균으로 접종한 뽕고소나무의 접종 3년 후까지의 묘고생장량을 나타낸 것이다. 1989년 10월을 제외하면 전체적으로 혼중 및 혼중+접종 처리에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 아무 처리도 가하지 않은 묘목의 성장량이 높게 나타났다. 그러나 근계 발달은 접종 묘목에서 더욱 양호하였다.

Table 3. 모래밭버섯 균근균으로 접종한 묘고소나무의 묘고생장량.
[접종 및 파종시기 : 1988년 4월] (단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복						평 균
		I	II	III	IV	V	VI	
훈 증	1988년 8월	2.60	2.80	2.90	2.50	2.80	2.60	2.70
	1988년 9월	3.00	3.00	3.90	2.80	3.30	2.80	3.20
	1988년 10월	3.30	3.30	5.00	2.90	3.30	2.70	3.50
	1989년 7월	5.32	5.14	5.69	5.45	5.31	4.63	5.26
	1989년 10월	6.45	6.17	7.35	7.23	6.49	5.89	6.59
	1990년 9월	10.55	10.60	8.46	13.20	8.83	7.47	10.70
훈증+접종	1988년 8월	3.20	3.00	2.80	2.80	2.60	2.70	2.90
	1988년 9월	3.80	3.70	3.30	2.80	3.00	2.90	3.40
	1988년 10월	4.40	4.40	3.40	3.30	3.20	2.90	3.70
	1989년 7월	6.25	5.89	5.62	5.46	5.04	4.51	5.46
	1989년 10월	9.46	8.71	8.09	6.83	6.73	6.21	7.67
	1990년 9월	9.83	10.57	9.93	11.80	6.67	9.20	10.50
무 처 리	1988년 8월	2.70	2.80	2.80	2.50	2.40	2.50	2.60
	1988년 9월	3.90	4.50	4.70	5.00	3.60	3.60	4.20
	1988년 10월	4.90	5.90	6.50	5.20	3.90	4.30	5.00
	1989년 7월	6.19	6.54	6.20	6.20	5.06	5.28	5.91
	1989년 10월	7.41	7.62	6.97	7.14	5.81	6.44	6.89
	1990년 9월	11.50	11.67	13.40	9.13	8.38	8.71	11.40

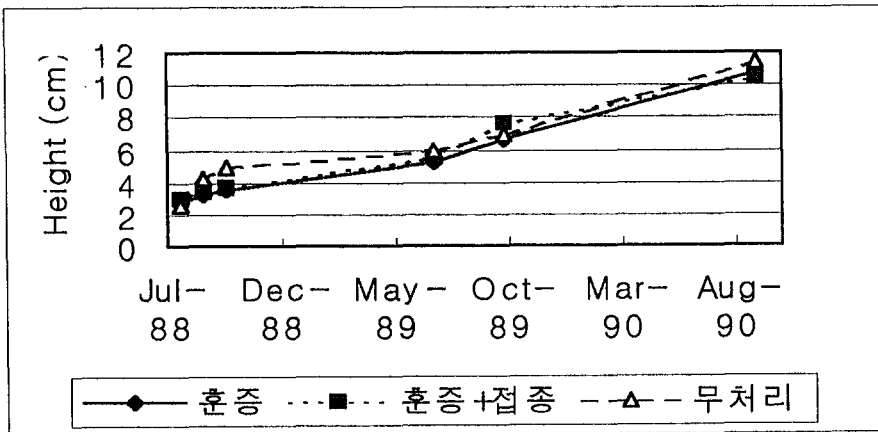


Figure 3. 묘고소나무의 모래밭버섯 균근균 접종효과 비교.

Table 4. 모래발버섯 균근균으로 접종한 적송의 묘고성장량.

[접종 및 파종시기 : 1989년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반		복		평 균
		I	II	III	IV	
훈 증	1989년 7월	2.42	2.70	3.14	2.73	2.75
	1989년 8월	3.60	3.64	4.34	3.22	3.70
	1989년 10월	5.45	5.99	6.42	5.08	5.73
	1990년 8월	22.72	27.41	30.29	23.38	25.95
	1990년 9월	22.24	26.61	30.43	24.17	25.86
	1990년 10월	15.83	30.57	24.57	24.17	23.79
훈증 + 접종	1989년 7월	2.59	2.85	2.73	2.87	2.76
	1989년 8월	2.86	3.61	3.77	3.79	3.51
	1989년 10월	3.92	6.03	5.12	5.75	5.21
	1990년 8월	13.84	25.39	27.91	26.04	23.30
	1990년 9월	14.07	25.63	27.68	26.34	23.43
	1990년 10월	17.86	21.17	30.86	23.14	23.26
무 처 리	1989년 7월	2.82	2.57	2.63	2.69	2.68
	1989년 8월	3.32	2.92	3.03	3.14	3.10
	1989년 10월	3.86	3.61	4.23	4.21	3.98
	1990년 8월	21.30	13.49	16.05	19.69	17.63
	1990년 9월	21.37	13.20	16.96	20.24	17.94
	1990년 10월	22.33	14.43	16.71	19.11	18.15

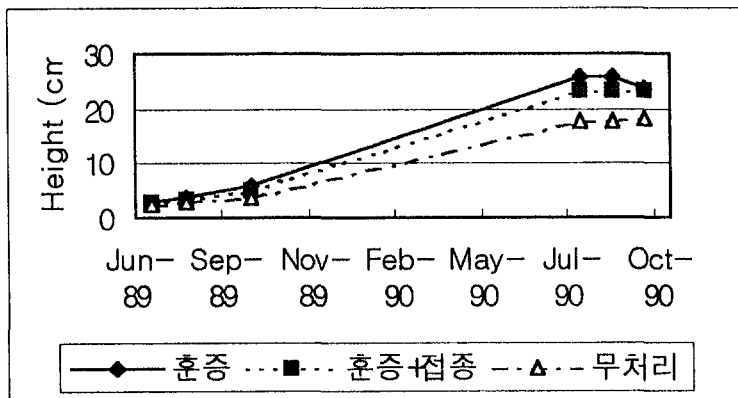


Figure 4. 적송의 모래발버섯 균근균 접종효과 비교.

ii) 적 송

Table 4.와 Figure 4.는 1989년도에 모래발버섯 균근균으로 접종한 적송의 접종 2년 후까지의 묘고성장량을 나타낸 것이다. 무처리와 비교하여 훈증 및 훈증+접종의 효과가 뚜렷하게 나타났으며 대체적으로 훈증효과는 훈증+접종 효과보다 높게 나타났다.

Table 5. 모래발버섯 균근균으로 접종한 반송의 묘고성장량.

[접종 및 과중시기 : 1990년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복			평 균
		I	II	III	
훈 증	1990년 8월	5.40	5.20	5.36	5.32
	1990년 9월	3.42	3.11	3.48	3.33
	1990년 10월	4.12	3.83	4.10	4.02
훈증+접종	1990년 8월	5.33	4.78	4.65	4.92
	1990년 9월	3.56	3.59	3.07	3.41
	1990년 10월	4.23	4.33	3.61	4.06
무 처 리	1990년 8월	6.20	5.65	6.05	5.97
	1990년 9월	4.24	3.48	3.19	3.64
	1990년 10월	4.70	4.52	4.02	4.42

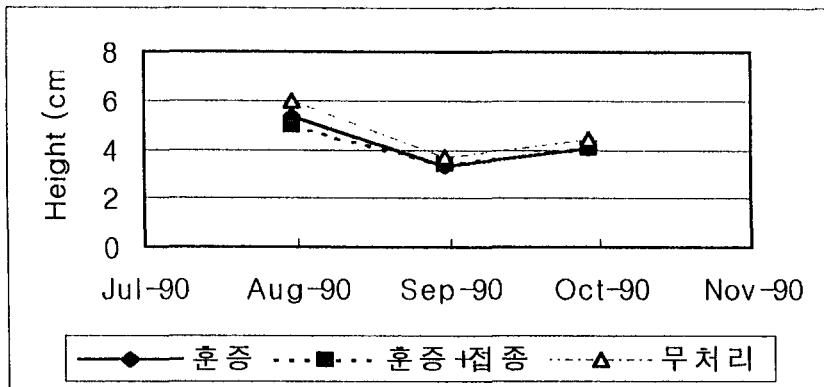


Figure 5. 반송의 모래발버섯 균근균 접종효과 비교.

iii) 반 송

Table 5.와 Figure 5.는 1990년도에 모래발버섯 균근균으로 접종한 반송의 접종 당년의 묘고성장량을 나타낸 것이다. 처리 초기에는 무처리에서 성장 속도가 빠른 경향을 나타냈으나 가을이 지나면서 처리간의 효과 차이는 점차 줄어들게 되었다. 전체적

으로 묘고가 줄어드는 것처럼 나타나는 것은 묘고 측정시 같은 표본을 선택하지 않았고 시간이 지나면서 표토가 약간씩 쌓인 것에 기인하는 것으로 보인다.

Table 6. *Glomus* sp.로 접종한 회양목의 묘고생장량.

[접종 및 파종시기 : 1989년 8월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복			평 균
		I	II	III	
혼 증	1990년 8월	3.00	3.80	2.60	3.13
	1990년 9월	2.28	2.47	2.36	2.37
	1990년 10월	2.33	2.21	2.00	2.18
혼증+접종	1990년 8월	12.40	11.15	10.15	11.23
	1990년 9월	9.14	8.64	9.43	9.07
	1990년 10월	9.43	10.36	10.96	10.25
무 처 리	1990년 8월	7.30	7.20	5.35	6.62
	1990년 9월	3.78	3.70	3.79	3.76
	1990년 10월	4.22	4.33	4.94	4.50

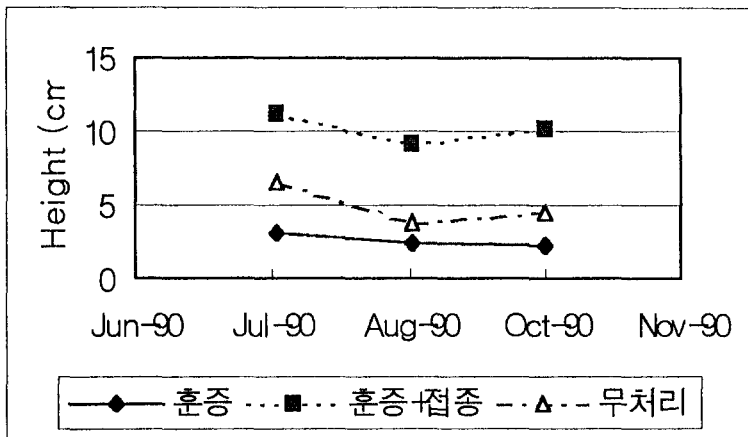


Figure 6. 회양목의 *Glomus* sp. 균근균 접종효과 비교.

IV) 회양목

Table 6.와 Figure 6.는 1989년 8월에 *Glomus* sp.으로 접종한 회양목의 접종 2년 후까지의 묘고생장량을 나타낸 것이다. 내생균근균과 공생관계를 형성하는 회양목은 혼증처리결과 혼증+접종 처리와 비교하여 매우 낮은 묘고생장을 나타내었다. 또한, 무처리 역시 혼증 처리보다는 약간 높았으나 혼증+접종 처리에 비하여 크게 낮은 묘고생

장을 보여줌으로써, 균근접종효과가 뚜렷하게 있음을 보여주었다. 또한 회양목은 균근 형성을 억제하면 전혀 생장이 이루어지지 않음으로써, 균근을 필수적으로 형성하여야 자랄 수 있다고 결론지을 수 있다.

v) 쥐똥나무

Table 7.와 Figure 7.는 1989년도에 *Glomus* sp.으로 접종한 쥐똥나무의 접종 2년 후까지의 묘고성장량을 나타낸 것이다. 역시 내생균근균과 공생관계를 형성하는 쥐똥나무도 회양목의 경우와 비슷한 결과를 보여주었다. 훈증처리를 받은 묘목들은 생장에 있어서 훈증+접종처리나 무처리에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었다. 그러나 회양목과는 달리 아무 처리도 받지 않은 묘목들은 훈증 후 접종 처리를 받았던 묘목들과 묘고성장에서 큰 차이를 보여주지 않았다. 이와 같이 무처리 묘목이 접종묘목만큼 자란 이유는 무처리의 경우 토양 내 천연적으로 존재하는 균근균에 의하여 균근 형성이 자연적으로 이루어졌기 때문이며, 천연균근균의 효율이 선발된 균근균만큼 높기 때문인 것으로 생각된다.

Table 7. *Glomus* sp.로 접종한 쥐똥나무의 묘고성장량.

[접종 및 파종시기 : 1989년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복				평 균
		I	II	III	IV	
훈 증	1989년 7월	7.59	7.65	9.34	9.30	8.47
	1989년 8월	7.56	7.58	15.50	16.20	11.70
	1989년 10월	11.50	9.24	15.50	18.10	13.50
	1990년 8월	69.00	57.83	120.20	110.60	89.40
	1990년 9월	84.40	72.21	142.00	125.40	106.00
훈증+접종	1989년 7월	11.00	10.10	10.70	12.70	11.10
	1989년 8월	25.10	21.00	23.00	28.10	24.30
	1989년 10월	33.00	32.10	30.90	31.90	32.00
	1990년 8월	128.50	110.00	126.80	130.90	124.10
	1990년 9월	144.20	114.10	134.50	141.00	133.50
무 처 리	1989년 7월	10.50	12.40	11.60	11.00	11.40
	1989년 8월	24.50	27.40	28.80	31.70	28.10
	1989년 10월	34.80	35.60	39.60	36.70	36.70
	1990년 8월	107.40	131.90	141.10	134.40	128.70
	1990년 9월	120.80	147.90	154.30	147.80	142.70

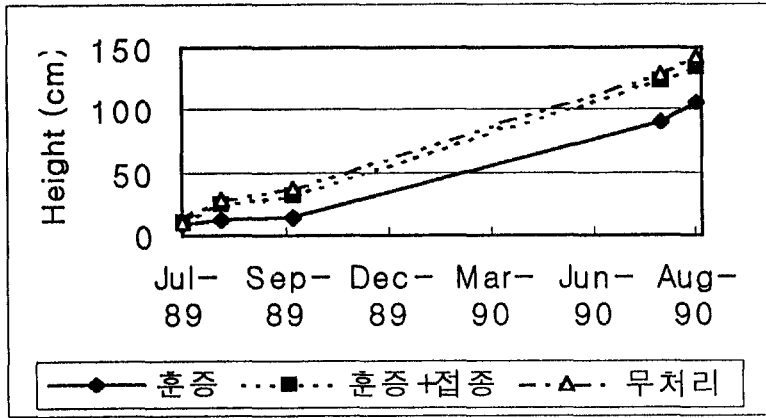


Figure 7. 쥐똥나무의 *Glomus* sp. 균근균 접종효과 비교.

Table 8. 1989년에 *Glomus* sp.로 접종한 단풍나무의 묘고생장량.

[접종 및 파종시기 : 1989년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복				평 균
		I	II	III	IV	
훈 증	1989년 7월	13.50	13.00	17.80	13.00	14.30
	1989년 8월	17.40	14.50	20.90	17.10	17.50
	1989년 10월	25.50	28.90	22.80	20.80	24.50
	1990년 8월	74.00	70.67	56.04	74.63	68.84
	1990년 9월	84.00	79.23	82.37	86.77	83.09
	1990년 10월	85.00	78.33	43.75	70.60	69.42
훈증+접종	1989년 7월	19.60	15.10	14.30	12.80	15.50
	1989년 8월	23.00	17.20	18.80	16.00	18.70
	1989년 10월	22.50	17.20	26.60	15.60	20.50
	1990년 8월	70.20	39.73	51.64	61.29	55.72
	1990년 9월	84.44	57.48	60.25	71.10	68.32
	1990년 10월	92.50	60.33	65.67	42.60	65.28
무 처 리	1989년 7월	12.80	15.90	15.10	13.10	14.20
	1989년 8월	13.30	18.20	17.10	16.30	16.20
	1989년 10월	11.50	19.30	18.80	18.40	17.00
	1990년 8월	46.18	68.79	53.29	55.82	56.02
	1990년 9월	52.64	82.36	61.17	68.41	66.15
	1990년 10월	43.25	43.67	45.80	28.75	40.37

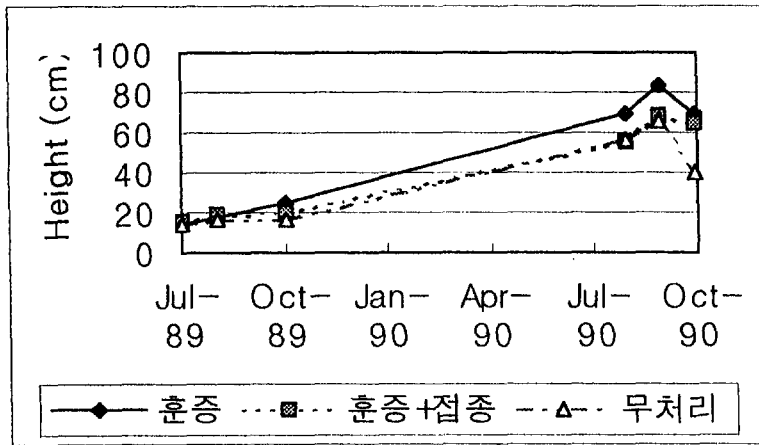


Figure 8. 단풍나무의 *Glomus* sp. 균근균 1989년 접종효과 비교.

vi) 단풍나무

Table 8. 및 Figure 8. 그리고 Table 9. 및 Figure 9.는 각각 1989년도와 1990년도에 *Glomus* sp.로 접종한 단풍나무의 접종 2년 후까지의 묘고성장량 및 당년 묘고성장량을 나타낸 것이다. 1990년 접종을 통해 관찰한 당년의 성장량은 훈증+접종 처리에서 확연히 높게 나타났으나, 1989년 실험에서는 훈증 처리에서 전반적으로 높은 묘고생장을 보였다. 단풍나무는 같은 처리를 받은 다른 종의 묘목들과 비교했을 때 묘고생장에 매우 변이를 보였기 때문에 측정치들이 변동폭이 심했다.

Table 9. 1990년에 *Glomus* sp.로 접종한 단풍나무의 묘고성장량.

[접종 및 파종시기 : 1990년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복			평 균
		I	II	III	
훈 증	1990년 8월	4.05	5.50	4.60	4.72
	1990년 9월	4.75	4.68	3.61	4.35
	1990년 10월	3.85	4.22	4.08	4.05
훈증+접종	1990년 8월	5.25	5.20	7.90	6.12
	1990년 9월	6.39	5.49	5.61	5.83
	1990년 10월	6.09	5.45	8.68	6.74
무 처 리	1990년 8월	3.65	4.05	6.35	4.68
	1990년 9월	3.46	4.42	5.08	4.32
	1990년 10월	3.42	4.22	5.12	4.25

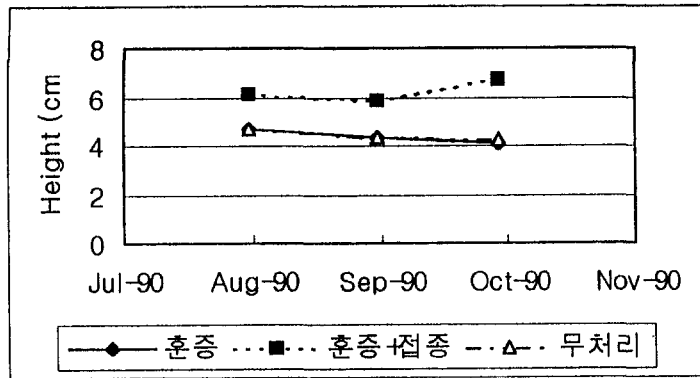


Figure 9. 단풍나무의 *Glomus* sp. 균근균 1990년 접종효과 비교.

Table 10. 1990년에 *Glomus* sp.로 접종한 낙상홍의 묘고생장량.

[파종시기 : 1990년 4월]

(단위 : cm)

처리	측정시기	반복			평균
		I	II	III	
훈증	1990년 9월	4.43	6.63	6.44	5.83
	1990년 10월	5.97	7.54	4.53	6.01
훈증+접종	1990년 9월	6.89	8.31	6.63	7.28
	1990년 10월	7.10	6.58	7.49	7.06
무처리	1990년 9월	5.33	5.93	5.17	5.48
	1990년 10월	5.27	6.67	5.60	5.85

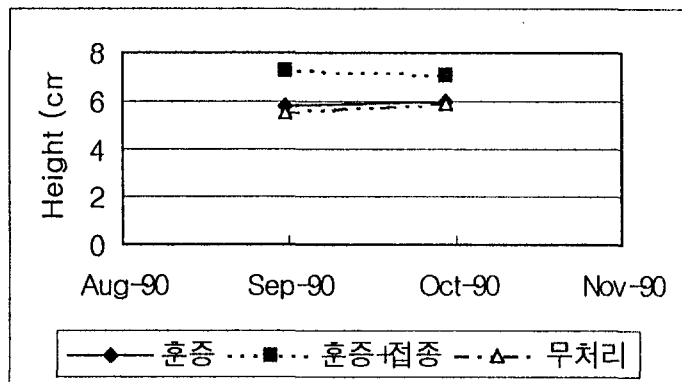


Figure 10. 낙상홍의 *Glomus* sp. 균근균 접종효과 비교.

vii) 낙상홍

Table 10.과 Figure 10.은 1990년도에 *Glomus* sp.로 접종한 낙상홍의 당년 묘고생장량을 나타낸 것이다. 역시 다른 내생균근 접종실험 결과와 마찬가지로 혼증+접종 효과가 아주 뚜렷하게 나타났다. 혼증 처리와 무처리간의 차이는 회양목의 경우에서처럼 별다른 차이를 나타내지 않았다.

viii) 자귀나무

Table 11.과 Figure 11.은 1990년도에 *Glomus* sp.로 접종한 자귀나무의 당년 묘고생장량을 나타낸 것이다. 역시 혼증+접종 효과는 높게 나타난 반면, 혼증 처리와 무처리간의 차이는 크지 않았다.

Table 11. 1990년에 *Glomus* sp.로 접종한 자귀나무의 묘고생장량.

[파종시기 : 1990년 4월]

(단위 : cm)

처 리	측정시기	반 복			평 균
		I	II	III	
혼 증	1990년 9월	18.89	18.44	14.49	17.27
혼증+접종	1990년 9월	16.14	10.13	69.65	31.97
무 처 리	1990년 9월	17.25	22.53	18.49	20.42

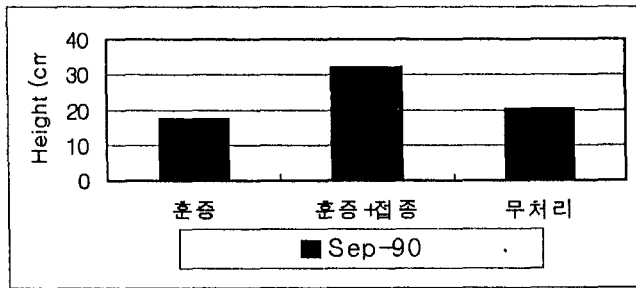


Figure 11. 자귀나무의 *Glomus* sp. 균근균 접종효과 비교.

ix) 균근접종에 의한 근계발달 관찰

외생균근 및 내생균근 접종이 묘목의 근계발달에 미치는 영향을 관찰하기 위해 적송에서 혼증 처리, 혼증+접종 처리, 무처리 묘목의 근계를, 쥐똥나무에서 혼증 처리 및 혼증+접종 처리 묘목의 근계를 세균이 손상되지 않게 조심스럽게 채취하여 물로 세척한 후 사진을 촬영하였다 (Figure 12. 및 Figure 13.). 균근접종이 이루어진 묘목은 지상부에서 관찰가능한 것보다 현저하게 발달된 근계가 관찰되었다. 세균의 수를 직접 집계하지는 않았으나, 사진에서 보는 바와 같이 균근접종은 측근과 세근의 발달을 왕성하게 함을 알 수 있다.

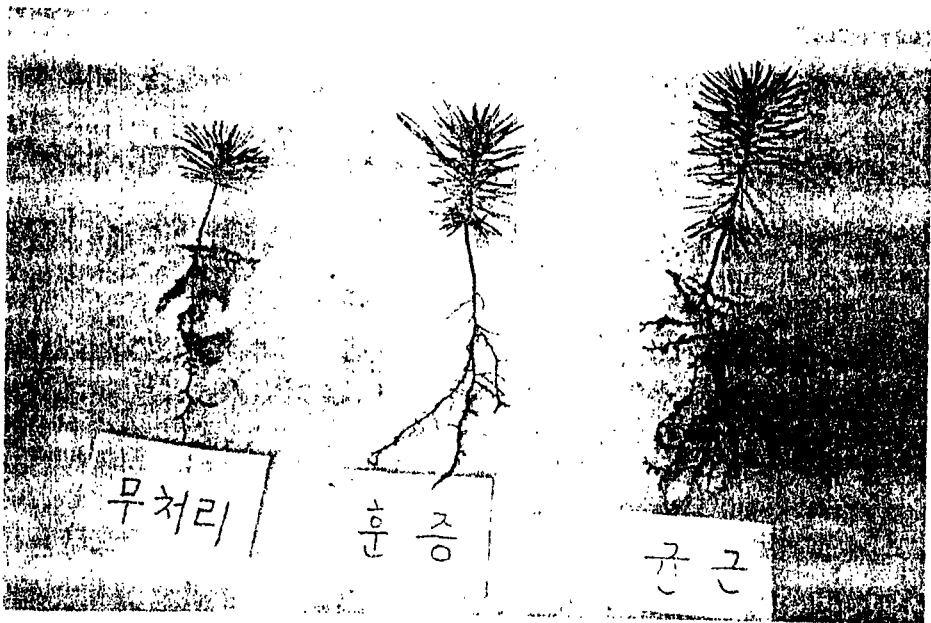


Figure 12. 모래밭버섯균으로 접종한 적송의 근계 발달.

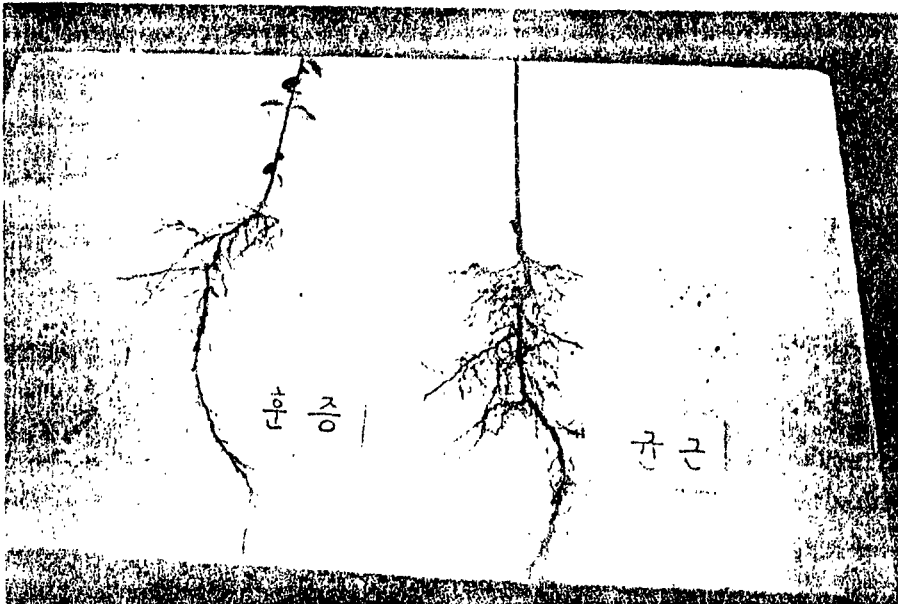


Figure 13. *Glomus* sp.로 접종한 쥐똥나무의 근계 발달.

x) 식물체의 영양진단 및 묘포토양의 영양분 함량

취뚱나무와 적송 묘목을 1989년 10월말에 채취하여 잎의 전질소 함량과 인산의 함량을 각각 Micro-Kjeldahl법과 Molybdo-vanadate 법으로 분석한 결과가 Table 12.에 나타나 있다. 균근균의 인공접종에 의하여 전질소함량은 큰 차이를 나타내지 않았으나, 인산의 경우에는 접종된 묘목에서 훨씬 높은 함량을 나타냈으며 이러한 경향은 두 종에서 모두 관찰되었다. 또한, 1990년 10월말 비닐하우스 내에 설치한 취뚱나무와 적송 파종상의 토양을 채취하여 분석한 결과를 Table 13.에 나타내었다. 전질소와 유효인산의 함량은 접종 처리를 한 묘목의 토양에서 무처리구보다 적게 나타났으나, 이러한 경향은 종에 따라 큰 변이를 보였다. 이와 같은 결과는 균근균 접종이 인산의 흡수를 촉진시킨다는 기존의 연구결과를 뒷받침하고 있다 (Harley and Smith 1983).

Table 12. 균근균 접종에 의한 잎의 양료 함량변화.

수 종	처 리	성 분	
		전질소(%)	전인산(%)
취뚱나무	훈 증	3.56	0.39
	훈증+접종	4.00	0.50
	접 종	4.09	0.25
적 송	훈 증	3.39	0.39
	훈증+접종	3.12	0.82
	접 종	3.01	0.46

Table 13. 비닐하우스내 파종상 토양의 양분함량.

수 종	처 리	질소함량(%)	인산함량(ppm)
취뚱나무	무 처 리	0.095	103
취뚱나무	접 종	0.055	34
적 송	무 처 리	0.069	69

고 찰

거의 모든 묘목에 있어서 균근에 의한 접종효과를 관찰할 수 있었다. 훈증+접종 처리는 다른 처리들에 비하여 낮은 묘고생장률을 나타낸 경우가 없었으며 항상 가장 높은 수고를 나타내거나 훈증 처리 또는 무처리와 거의 비슷한 값을 나타내었다. 이와 같은 균근접종에 의한 수고생장 및 지상부건중량 증가는 다른 여러 연구에서도 보고된 바 있다 (Lee and Koo 1985, Lee and Ko 1989). 훈증 처리와 무처리 묘목들은 많은 경우에 있어 비슷한 수고를 나타내거나 경쟁적으로 순위를 다투는 경향을 보여주었다.

데, 이것은 균근균이 식물체과 공생관계를 이루긴 하나 그 효과가 단지 묘목에 유리하게 작용하는 것만은 아니며 접종 후 초기에는 공생관계가 완성되기까지 영양 분배 등에서 기주식물과 경쟁관계를 가지게 될 수 있기 때문으로, 이러한 관계의 규명을 위해 실험설계시 토양 혼중 처리를 고려하는 것이 중요함을 말해준다 (Jakobsen 1995).

실험 결과는 외생균근 접종에서와 내생균근 접종에서 큰 차이를 보여주고 있다. 외생균근인 모래발버섯균은 적송을 제외하면 접종 후에 다른 처리 결과와 비교해서 뚜렷한 차이를 보이지 않으나, 내생균근인 *Glomus* sp.와 공생관계를 이루는 나무들은 혼중 + 접종 효과가 뚜렷하게 나타날 뿐만 아니라 혼중 처리만 가해진 경우는 묘고생장이 크게 저하되는 모습을 보여주었다. 이는 일반적으로 내생균근균과 공생관계를 이루는 묘목들이 균근에의 의존도가 더욱 높음을 말해주고 있다. 반면 외생균근과 접종 실험은 다른 연구에서도 뚜렷한 효과를 보지 못한 경우가 있었다 (Castellano and Trappe 1991).

그러나, 묘고생장량 또는 지상부 건중량 측정은 묘목의 지상부 성장량만을 고려하기 때문에 균근접종에 대한 효과를 과소평가하게 될 수 있으며 이는 이식시 묘목의 활착율에 대해 평가할 때 더욱 그러하다. Figure 12.와 Figure 13.에서 볼 수 있는 것과 같이 균근 접종은 외생균근 및 내생균근 모두에서 왕성한 근계발달을 촉진시켰다. 많은 경우에 있어서 균근균으로 접종된 묘목은 세근의 발달이 왕성하고 T/R 비가 낮아지며, 이렇게 뿌리발달이 양호한 묘목은 추후 이식할 경우에 활착율이 높고 많은 양의 수분흡수가 가능하여 한발에 대한 저항성이 강해지므로 이식에 대한 스트레스를 적게 받아서 초기 생장이 우수하게 된다 (Lamhamedi *et al.* 1992a).

균근과의 공생관계에 있어 식물이 가장 크게 도움을 받는 점은 인산의 흡수가 촉진된다는 것이다 (Harley *et al.* 1983). 인산은 다른 무기양분들과는 달리 토양에서 이용 가능한 형태로 존재하는 비율이 낮을 뿐 아니라 쉽게 이동이 이루어지지 않기 때문에 부족해지기 쉽다. Table 12.과 Table 13.에서 나타나듯이 묘목들은 균근과의 공생을 통해 능동적 및 수동적으로 인산 흡수를 높여 생존에 유리한 조건을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 균근 접종을 받지 않은 묘목들에 비하여 빠른 성장을 이룰 수 있다. 이러한 차이는 토양 중 인산량이 부족할 경우 더욱 뚜렷하게 관찰된다 (Cumming 1993).

이와 같이 다양한 목본 식물의 양묘 과정에 균근균을 인공적으로 도입하여 균근 형성이 빠르게 성공적으로 유도될 경우, 묘목은 지상부의 묘고생장이 촉진될 뿐만 아니라 왕성한 근계발달 및 치밀한 세근의 형성으로 내건성이 높아지므로 이식시 활착률 증진을 꾀할 수 있으며 인산 등의 무기양분 흡수가 용이해지므로 이식 후 빠른 초기 성장을 기대할 수 있다. 따라서 양묘 과정에서의 알맞게 선택된 균근 접종은 건강한 묘목을 생산할 수 있는 새로운 기술로서 더욱 많은 연구가 이루어져야 할 것이며, 특히 척박한 산림, 사방사업지, 황폐지 등과 같이 환경조건이 불리한 지역에 이같은 방법을 적용하여 더욱 효율적인 조림기술 개발을 위해 사용되어야 할 것이다.

사 사

본 연구를 수행할 수 있도록 재정적 지원을 해 주신 삼성 Everland 주식회사의 환경 개발사업부에 감사를 드리며, 또한 묘포 작업을 직접 담당해 주신 Everland의 관계자들에게도 다시 감사의 뜻을 표합니다.

요 약

본 연구는 조경수목의 양묘과정에 균근균을 인공적으로 도입하여 균근 형성을 유도함으로써, 묘목의 뿌리 발달을 촉진하고 건전한 묘목을 생산할 수 있는 새로운 기술의 개발을 목적으로 실시하였다. 뽕나무, 적송, 반송에 외생균근인 모래발버섯균 (*Pisolithus tinctorius*)을, 회양목, 쥐똥나무, 단풍나무, 낙상홍, 자귀나무에는 내생균근인 *Glomus* sp.을 접종한 후 묘고생장량을 2~3년 후까지 측정하였다. 균근 접종에 의한 근계발달을 관찰하고, 식물체 잎과 토양의 전질소 및 유효인산 함량을 측정하여 양료 흡수 효과를 조사하였다.

모래발버섯균의 접종은 묘고생장보다는 세근의 발달을 촉진시켰으며, *Glomus* 균은 묘고생장과 세근의 발달을 모두 촉진시켰다. 균근접종으로 인한 묘고생장의 촉진은 회양목, 단풍나무, 낙상홍, 자귀나무에서 뚜렷하게 나타났다. 균근 접종은 외생균근 및 내생균근 모두에서 왕성한 근계발달을 촉진시켰으며 이로 인해 이식시 묘목의 활착을 향상이 예상되었다. 특히 회양목은 균근이 형성되지 않을 경우 양묘가 거의 되지 않았다. 또한 접종 결과 묘목의 인산 흡수가 촉진된 것으로 나타나 이식 후 접종이 이루어지지 않은 묘목들에 비하여 빠른 성장을 기대할 수 있었다. 결론적으로 균근접종은 건전한 묘목을 생산하여 특히 환경조건이 불리한 지역에 식재하기 위한 조경수 양묘법으로 기대효과가 크다고 할 수 있다.

인 용 문 헌

1. Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. in A.L. Page (ed.), Method of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. pp 595-624.
2. Browning, M.H.R. and Whitney, R.D. 1992a. Field performance of black spruce and jack pine inoculated with selected species of ectomycorrhizal fungi. Can. J. For. Res. 22 (12) : 1974-1982.
3. Browning, M.H.R. and Whitney, R.D. 1992b. The influence of phosphorus concentration and frequency of fertilization on ectomycorrhizal development in containerized black spruce and jack pine seedlings. Can. J. For. Res. 22 (9) : 1263-

1270.

4. Browning, M.H.R. and Whitney, R.D. 1993. Infection of containerized jack pine and black spruce by *Laccaria* species and *Thelephora terrestris* and seedling survival and growth after outplanting. *Can. J. For. Res.* 23 (2) : 330–333.
5. Castellano, M.A. and Trappe, J.M. 1991. *Pisolithus tinctorius* fails to improve plantation performance of inoculated conifers in southwestern Oregon. *New For.* 5 (4) : 349–358.
6. Cumming, J.R. 1993. Growth and nutrition of nonmycorrhizal and mycorrhizal pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings under phosphorus limitation. *Tree Physiol.* 13 (2) : 173–187.
7. Cumming, J.R. 1996. Phosphate-limitation physiology in ectomycorrhizal pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings, *Tree Physiol.*, 16 (11/12) : 977–983.
8. Harley, J.L. and S.E. Smith. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York. pp 84–97.
9. Jakobsen, I. 1995. Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhizas. in A. Varma and B. Hock (ed.), *Mycorrhiza*. Springer-Verlag, Berlin. pp 297–324.
10. Ko, M.G. and Lee, K.J. 1988. Effects of simulated acid rain on the growth of *Pinus rigida* X *taeda* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi, *Pisolithus tinctorius* and *Suillus luteus*. *J. Korean. For. Soc.* 77(4) : 453–459.
11. Kormanik, P.P., W.C. Bryan and R.C. Schultz. 1977. The role of mycorrhiza in plant growth and development, pp 1–10 in Marx Vines (ed.), *Physiology of root-microorganisms association*. Proc. Symp. South Sect. Am. Soc. Plant Physiol. Atlanta.
12. Kozlowski T.T. and Pallardy S.G. 1997. *Physiology of woody plants*. Academic Press. pp 28–30.
13. Lamhamedi, M.S., Bernier, P.Y. and Fortin, J.A. 1992a. Hydraulic conductance and soil water potential at the soil-root interface of *Pinus pinaster* seedlings inoculated with different dikaryons of *Pisolithus* sp. *Tree Physiol.* 10 (3) : 231–244.
14. Lamhamedi, M.S., Bernier, P.Y. and Fortin, J.A. 1992b. Growth, nutrition and response to water stress of *Pinus pinaster* inoculated with ten dikaryotic strains of *Pisolithus* sp. *Tree Physiol.* 10 (2) : 153–167.
15. Lee, K.J. and Koo, C.D. 1983. Inoculation of pines in a nursery with *Pisolithus tinctorius* and *Thelephora terrestris* in Korea. *Plant Soil.* 71 (1/3) : 325–329.
16. Lee, K.J. and Koo, C.D. 1985. Enhancement of growth and survival of *Populus alba* X *P. glandulosa* cuttings inoculated with ectomycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius* under fumigated nursery condition. *J. Korean. For. Soc.* 70 : 72–76.

17. Lee, K.J. and Ko, M.G. 1989. The effects of ectomycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius* on the growth stimulation of *Pinus rigida* X *taeda* seedlings in relation to compost addition and soil texture. Res. Bull. Seoul Nat'l Univ. Forests. 45-51.
18. Marx, D.H. 1977. The host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Microbiol. 23 : 213-217.
19. Marx, D.H. 1980. Ectomycorrhizal fungus inoculation : A tool improving forestation practices. pp 13-71 in Mikola, P. (ed.), Tropical mycorrhizal research. Clarendon Press, Oxford.
20. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorous in A.L. Page (ed.), Method of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. pp 403-430.
21. Olsson, P.A., Chalot, M., Baath, E., Finlay, R.D. and Soderstrom, B. 1996. Ectomycorrhizal mycelia reduce bacterial activity in a sandy soil. FEMS Microbiol. Ecol. 21 (2): 77-86.
22. Sehier, G.A. and McQuattie C.J. 1995. Effects of aluminum on the growth, anatomy, and nutrient content of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal eastern white pine seedlings. Can. J. Fro. Res. 25 (8) : 1252-1262