韓國林學會誌 70 : 45-54. 1985.
Jour. Korean For. Soc. 70 : 45-54. 1985

外生菌根 및 土壤條件이 리기다소나무 苗木生長에 미치는 影響[1]

金 明 姬[2] · 李 壽 煜[2]

Effects of Ectomycorrhizae and Soil Condition on Growth of *Pinus rigida* Seedlings[1]

Myung Hee Kim[2] · Soo Wook Lee[2]

要 約

本 硏究는 菌根菌 接種苗〔모래밭버섯菌(*Pisolithus tinctorius*), 사마귀버섯菌(*Thelephora terrestris*)〕와 無處理 苗木을 利用하여 燐酸水準과 水分 條件에 따른 苗木의 生長 및 養料吸收에 미치는 菌根의 效果를 測定 調査한 것으로 그 結果는 다음과 같다. 1) 根元徑 生長은 濕區에서가 乾區에서보다 2.7배 生長이 컸다. 2) 乾區에서는 모래밭버섯菌 處理 苗木의 物質生産은 평균 26% 증가하고, 無處理 苗木은 72% 증가하여 모래밭버섯菌 處理 苗木이 無處理 苗木보다 純物質生産量이 적었다. 3) 純物質生産量에 있어서 乾區에서보다 濕區에서 4배 증가했으나 燐酸 施肥水準은 純物質生産量에 영향이 없었다. 4) 모래밭버섯菌 處理는 濕區에서 窒素, 燐酸 및 加理의 養料 吸收의 效果가 뚜렷이 나타났는데 無處理 苗木에 비하여 각각 1.9배, 1.8배, 1.5배의 吸收가 促進되었다. 5) 모래밭버섯菌 處理 苗木은 燐酸 施肥水準이 증가함에 따라 燐酸 吸收量이 많았으나 無處理 苗木에서는 燐酸 施肥水準의 증가가 燐酸 吸收에 影響을 미치지 않았다. 6) 모래밭버섯菌 處理 苗木은 燐酸 施肥水準이 증가함에 따라 加里의 養料 吸收를 促進시켰다.

ABSTRACT

The experiment was conducted to test the effects of ectomycorrhizal inoculation and soil moisture regime on growth and nutrient uptake of *Pinus rigida* seedlings. Two-year-old seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius* or *Thelephora terrestris* were used for this experiment. There were two moisture treatments and four phosphate treatment levels with three replications. Height and root collar diameter growth and dry weight increase were measured and nitrogen, phosphorous, and potassium in the tissue were analyzed three months after the initiation of phosphate and moisture regime treatment. Results are as follows; 1) Height growth of seedlings was not affected in all treatments. (mycorrhizae, fertility, moisture). 2) High moisture regime increased root collar diameter growth 2.7 times as large as low moisture regime. 3) In low moisture regime, net production increased 26% in seedlings inoculated with *Pisolithus tinctorius* and increased 72% in control seedlings. 4) In high moisture regime, net production of inoculated seedlings with *Pisolithus tinctorius* increased four times as much as that of control seedlings but increased P_2O_5 fertility level did not affect net production.

[1] 接 受 7月 1 日 Received July 1, 1985.
[2] 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon, Korea.

5) In uptake of nitrogen, phosphate, and potassium, *Pisolithus tinctorius* – inoculated seedlings increased uptake by 1.9, 1.8, and 1.5 times, respectively, as much as control seedlings. 6) Increase in P_2O_5 fertility level enhanced the uptake of P_2O_5 in *Pisolithus tinctorius* – inoculated seedlings, but not affected the uptake of P_2O_5 in control seedlings. 7) Increase in P_2O_5 fertility levels enhanced the uptake of K_2O in *Pisolithus tinctorius* – inoculated seedlings.

Key words: ectomycorrhizae; Pisolithus tinctorius; Thelephora terrestris.

緒 論

우리나라 森林土壤은 土深이 淺薄하고 傾斜가 급하며 養料가 不足하고 土壤內의 水分 保有能이 貧弱하여 苗木의 活着과 林木의 生育이 불량하다.

특히 燐酸質養料는 不可給態로 존재하거나 또는 土壤에 쉽게 固定되기 때문에 林木에 의한 吸收利用이 매우 어렵다.[7,23]

土壤에 존재하는 菌(fungi)과 식물의 뿌리(root)가 서로 共生關係를 이루어서 發生하는 菌根(mycorrhiza)은 건조 척박한 곳에서 養料吸收能力이 우수하며 特히 不可給態 또는 固定燐酸의 吸收를 促進한다.[9,18,27] Cress(1979)[4] 等은 燐酸의 吸收에 있어서 菌根이 非菌根보다 吸收面積이 클 뿐만 아니라 실제로 燐酸에 대한 親和力(affinity)이 크다고 했다.

菌根은 耐乾性이 강한데 特히 검정菌根菌(*Cenococcum graniforme*)은 耐乾性이 우수하다. 또한 모래밭버섯菌(*Pisolithus tinctorius*)의 耐乾性도 인정되고 있는데 그 건조상태의 정도는 밝혀지지 않고 있다.[28]

Slankis(1974)[27]는 *P. rigida* 뿌리에서의 *Rhizopogon luteolus*의 colonization이 自然保水力(F. C.) 이상에서나 50% 自然保水力(50% F. C.) 이하에서는 감소했다고 했다. 또 검정菌根菌을 제외한 다른 菌種은 水分이 결핍된 조건에서는 菌根형성이 감소했다고 했다. Worley(1959)[29]는 비교적 土壤水分이 많은 곳에서는 white fungus의 菌根形成이 풍부했고, black fungus (*C. graniforme*)은 토양수분이 적은 곳에서 菌根形成이 풍부했다고 했다. Meyer (1973)[19]는 대부분의 菌根을 形成하는 菌根菌(fungi)은 土壤속의 다른 菌보다 水分부족에 의해 더 影響을 받는다고 했다.

菌根은 건조·척박한 곳에서 養料吸收를 促進시킬 뿐만 아니라, IAA 같은 hormone을 生成하여 植物生長을 促進하기도 하며[26,27,30], 植物을 移植했을 때 活着率을 높여 준다.[13,20]

Trappe(1977)[28]는 식재지역의 環境條件과 寄主植物에 적합한 菌을 선발할 필요가 있다고 했으며, 肥沃度가 높은 토양이라도 菌根이 없는 寄主植物은 生育이 불량하다고 했다.

最近에는 모래밭버섯菌과 사마귀버섯菌(*Thelephora terrestris*)에 대한 연구가 활발하며[13], 美國에서는 모래밭버섯菌을 商業的으로 生産하는 단계에까지 이르렀다.[13,17]

모래밭버섯菌은 擔子菌(Basidiomycetes)에 속하는 Gasteromycetes 綱 Sclerodermatales 目이고, 사마귀버섯菌은 Hymenomycetes 綱 Aphyllophorales 目에 속한다.[1] 모래밭버섯菌은 外生菌根(Ectomycorrhiza)을 形成하며 세계의 주요 樹種에 넓은 寄主選擇性을 가지고 있다.[12,13] 모래밭버섯菌은 肥沃度가 낮은 土壤에서도 소나무의 生長을 促進했으며, 또한 高溫의 土壤이나 極酸性(pH 3.5) 土壤에서도 耐性이 강하며, 荒廢地, 燒石地 같은 나쁜 환경조건에서 소나무의 生長을 도모했다.[2,13] Trappe(1977)[28]는 솔송나무 苗木에 모래밭버섯菌을 接種하였더니 총물질생산량이 증가했으며 地下部 生長이 地上部의 生長보다 促進되어 Top/Root(T/R ratio)율이 감소했다고 했으며, 사마귀버섯菌 接種苗도 T/R율이 감소했다고 했다.

Ruehle(1983)[24]도 불량한 土壤에서 *Pinus taeda*에 모래밭버섯菌을 接種한 후 活着과 生長이 증가했고, 菌根接種苗木의 뿌리 生長이 非菌根苗木보다 월등했음을 보고한 바 있다. Marx(1977)[15] 等은 5개 southern pine에 모래밭버섯菌을 接種한 후 造林地에서 活着과 生長이 증가했다고 했다. 또 純粹培養된 모래밭버섯菌과 사마귀버섯菌을 훈증된 토양에 接種하였더니 소나무 苗木에 外生菌을 풍부하게 形成했고 苗木生長을 크게 증가시켰다.[14,15] Marx (1981)[13]는 모래밭버섯菌은 重金屬에 대한 耐性이 강하다고 했다.

사마귀버섯菌에 대한 效能도 모래밭버섯과 같은 우

수한 效能이 인정된 바 있고, 特히 경작지나 肥沃하고 수분이 양호한 苗土에서 效果的이라고 했다.[13] 그러나 사마귀버섯菌에 대한 接種效果는 부정적인 보고 결과도 있다.[6,13] Marx (1981)[13]는 Virginia의 Coal spoil 지역(pH 3.4)에서 *Pinus taeda*에 모래밭버섯菌과 사마귀버섯菌을 接種하고 그 效果를 測定했는데, 모래밭버섯菌 接種苗木의 평균 seedling volume (根元徑×樹高)은 962㎤였고 사마귀버섯菌 接種苗木은 379㎤였다고 했다.

菌根은 燐酸이 적은 곳에서도 燐酸吸收能力이 좋은데, Marx (1977)[12]는 外生菌根 발달은 뿌리의 sucrose 함량과 깊은 상관이 있으며, 土壤의 窒素와 燐酸 含量이 높으면 sucrose가 감소하고, 모래밭버섯菌에 의한 外生菌根의 발달이 감소된다고 했다. 李 (1984)[11]는 모래밭버섯菌 接種으로 리기테다 소나무 窒素含量이 無處理보다 많았다고 했다.

本 試驗에서는 乾燥·척박한 곳에서도 養料吸收能力이 우수한 菌根 接種苗를 利用하여 苗木의 生長 및 養料吸收에 미치는 效果를 觀察하고자 菌根 接種苗와 無處理 苗木을 利用하여 燐酸水準과 水分處理에 따른 苗木의 生長과 養料吸收에 미치는 效果를 觀察하였다.

材料 및 方法

1. 供試土壤

本 試驗에 使用한 土壤은 養分이 거의 없는 砂土로, 5kg 容量 vinyl pot에 4kg의 砂土를 秤量하여 채웠다.

2. 供試植物

砂防用 植物로서 耐乾性이 크다고 생각되는 리기다 소나무(*Pinus rigida* Miller)를 選擇하여 使用하였다. 리기다 소나무 苗木은 林木育種硏究所에서 모래밭버섯菌(*Pisolithus tinctorius* (Pers) Coker and Couch)과 사마귀버섯菌(*Thelephora terrestris* Ehrh ex Fr)의 菌絲로 파종 時에 接種된 것과 대조구로 無處理 苗木의 2年生 苗를 분양받아 使用하였다. 苗木은 4月4日에 pot에 移植하고 活着이 充分히 된 후 5月2日에 施肥處理를 하고 5月15日부터 水分處理를 實施하였다.

3. 施肥水準

本 試驗에 使用된 肥料로는 尿素〔$CO(NH_2)_2$; N=46%〕, 溶成燐肥〔$(MgO)_3 \cdot CaO \cdot P_2O_5 \cdot 2SiO_2$; P_2O_5=20%〕 및 監化칼륨〔KCl ; K=63%〕으로서 尿素와 監化칼륨은 모두 1g으로 固定시키고 溶成燐肥만 無處理와 1g, 2g, 3g의 4 處理水準으로 하였다.

Table 1. Fertility level per pot

Fertility level of P_2O_5(g)	Componts (ppm)			Remarks
	N	P	K	
0	115	0	158	Urea
1	115	50	158	Fused phosphate
2	115	100	158	Potassium chloride
3	115	150	158	

4. 水分處理

水分處理는 乾區(low moisture regime)와 濕區(high moisture regime)의 2 水準으로 나누었다. 濕區는 pot內 水分을 自然保水力(field capacity) 水準에서 $\frac{1}{2}$ 自然保水力 사이로 유지하였고 乾區는 $\frac{1}{2}$ 自然保水力에서 pot內 水分이 枯渴되어 植物에 위조현상이 일어나는 위조점(wilting point) 사이로 유지하여 灌水하였다. 본 실험에 사용된 공시토양의 moisture retention은 위조점(water potential : 15 bar)에서 2%, 자연보수력(water potential : 1/3 bar)에서 23%였다. 수분처리는 weighing method에 의하여 매일 pot의 무게를 칭량, 부족되는 수분량의 수준을 검사하여 습구의 경우 일단 자연 보수력까지 pot內 수분을 충진시킨후 증발산에 의하여 수분이 420g 까지 (자연보수력의 1/2) 손실되었을 때 손실량 420g을 관수, 자연보수력까지 재충진시켰고, 건구의 경우 증발산에 의하여 840g의 수분이 손실되었을 때(위조점 도달)에 420g의 수분만(1/2 자연보수력) 충진시켜 토양수분을 조절하였다.

따라서 濕區의 水分處理가 自然保水力까지만 灌水함으로써 실제로 排水되는 水分은 없으므로 pot內의 肥料成分은 溶脫·流失되는 일이 없어 施肥處理 水準에 正確度를 기하였다. 降雨에 의한 水分處理의 교란을 막기 위하여 vinyl house를 設置하고 試驗을 實施하였다.

5. 試驗設計

試驗設計는 水分處理와 施肥水準이 3 가지 菌根에 接種된 苗木의 生長과 養分吸收에 미치는 影響을 觀察하기 위하여, 3 菌根處理, 2 水分處理, 4 施肥水準의 要因試驗으로 設計하였으며, 그 규모는 3 반

복을 두었다.

6. 成積調査

(1) 溫度 및 濕度

試驗期間 中 氣溫 및 濕度의 變化를 把握하기 위하여 乾濕球 溫度計와 最高, 最低 溫度計를 使用하여, 溫度와 濕度는 每日 9時, 14時, 18時의 氣溫과 相對濕度를 調査하였고, 最高, 最低 溫度도 測定 調査하였다.

(2) 伸長生長 및 根元徑生長

試驗期間 동안의 植物 生長 過程을 觀察하기 위하여 施肥水準別, 水分處理別로 地上部의 幹長과 根元徑을 식재시 측정하고 5月 21 日, 6月 21 日, 7月21 日, 8月 27 日 5回 測定 調査하였다.

(3) 生重量과 乾重量

處理別 苗木生長量의 差異를 物質生産의 觀點에서 把握하기 위하여 生重量과 乾重量을 苗木 部分別(잎 줄기, 뿌리)로 나누어서 秤量 調査하였다. 乾重量은 生重量이 測定된 個體들을 80～90 ℃에서 24 時間 乾燥시킨 후 秤量하였다.

(4) 植物體 分析

各 處理別로 養分吸收의 差異를 把握하기 위하여 乾重量을 測定한 후 粉碎하여 N, P, K의 植物體內 成分量을 分析 調査하였다.

結果 및 考察

1. 溫室內의 溫度 및 濕度

試驗期間 中의 溫室內 日平均 溫度와 濕度는 그림 1과 같다. 全體 試驗期間 中 平均 氣溫은 28.7℃였으며 平均 濕度는 65.8 %였다.

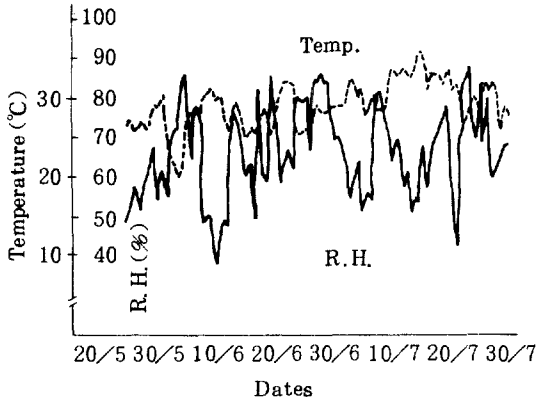

Fig. 1. Fluctuation of air temperature and relative humidity in vinyl house (unit ; ℃ and %)

2. 伸長生長

3 가지 菌根菌에 接種 후 2년된 리기다 소나무 苗木의 水分處理와 施肥處理에 따른 伸長生長量을 알기 위하여 최종 伸長生長에서 초기 伸長生長을 除한 實苗高 生長量을 測定하였고 그 結果는 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 인산 시비수준이 낮고 水分이 적은 區에서 모래밭버섯菌 處理 苗木의 수고 生長이 7.87로, 인산수준이 낮고 건조한 土壤에서 모래밭버섯菌의 효과가 뚜렷이 나타나고 있다.

Table 2. Net height growth of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : cm)

Fungal species	Original Height	Fertility level							
		NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
		High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	14.43 ±3.21	6.20 ±1.60	7.87* ±2.23	5.12 ±1.58	6.43 ±2.50	8.55 ±2.61	6.88 ±2.48	5.40 ±1.33	6.30 ±1.93
Tt*	12.97 ±3.62	4.90 ±1.7	6.10* ±0.69	7.13 ±2.00	8.85 ±0.95	9.35 ±0.95	6.75 ±1.65	6.75 ±2.34	7.77 ±1.14
Co	13.02 ±2.26	7.35 ±1.75	3.56* ±1.00	6.65 ±2.10	5.36 ±2.24	12.75 ±1.75	5.40 ±2.10	5.83 ±2.10	6.38 ±2.70

*Pt : *Pisolithus tinctorius*

*Tt : *Thelephora terrestris*

3. 直徑生長

水分處理, 施肥水準과 菌根菌處理에 따른 根元徑 生長量의 測定 結果를 보면 표 3과 같다.

水分處理가 根元徑 生長에 미치는 影響을 보면 水分이 많을 때 根元徑 生長이 增加하였으며, 그 關係는 高度의 有意性을 갖고 있다.

施肥水準과 菌根菌處理는 根元徑 生長에 影響을 미치지 않은 것으로 나타나고 있다.

4. 純物質生産量

水分處理와 施肥水準에 따른 菌根菌 接種 苗木의 物質生産에 미치는 影響을 보면 표 4와 같다.

菌根菌處理가 乾重量에 미치는 영향을 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木보다 濕區에서 乾重量 生産이 189% 더 많았다. 각 菌根菌 處理가 乾重量에 미치는 效果를 알기 위하여 초기 乾重量에 대한 후기 乾重量의 비를 구하여 본 結果는 표 5와

Table 3. Net root collar diameter growth of potted *P.rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : mm)

Fungal species	Original R.C.Dia	Fertility level							
		NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
		High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	5.07 ±0.98	2.70 ±0.50	0.40 ±0.10	2.40 ±0.51	0.78 ±0.18	2.63 ±0.43	1.28 ±0.35	2.95 ±0.61	0.83 ±0.29
Tt*	3.34 ±0.62	1.30 ±0.30	0.53 ±0.12	1.45 ±0.05	1.35 ±0.35	1.75 ±0.21	0.80 ±0.25	1.90 ±0.51	1.25 ±0.10
Co	3.59 ±0.52	2.06 ±0.66	0.93 ±0.31	2.90 ±0.50	0.97 ±0.21	2.95 ±0.25	0.98 ±0.13	1.50 ±0.28	1.26 ±0.21

Table 4. Net production of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : g/seedling)

Fungal species	Original Dry Weigh	Fertility level							
		NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
		High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	6.57 ±1.95	8.79 ±1.14	0.80 ±0.06	9.95 ±1.20	0.96 ±0.25	12.77 ±3.09	2.87 ±0.91	13.01 ±1.28	2.09 ±1.02
Tt*	2.84 ±0.86	2.49 ±1.05	1.29 ±0.56	3.87 ±1.52	1.50 ±0.25	4.07 ±1.63	2.42 ±1.00	3.49 ±1.57	2.27 ±0.65
Co	2.96 ±1.02	3.64 ±2.10	0.96 ±0.21	3.68 ±1.13	2.28 ±0.97	3.97 ±1.41	2.41 ±0.60	3.74 ±1.05	2.37 ±0.74

같다.

濕區에서 모래밭버섯菌 處理 苗木은 초기 건중량보다 165% 증가했고 無處理 苗木은 125% 증가했다.[6,11] 사마귀버섯菌 接種 效果는 나타나지 않고 있다.[6,13] 乾區에서는 모래밭버섯菌 處理 苗木이 초기 건중량보다 26% 증가한 반면에 無處理 苗木은 72% 증가했다. 統計學上으로는 乾區에서 乾重量 生産에 있어서 菌根菌 處理에 따른 有意性이 나타나지는 않았지만, 모래밭버섯菌 處理 苗木이 無處理 苗木보다 生長量이 저조 했음을 알 수 있다.

이상의 結果를 考察해 볼 때 乾區에서 모래밭버섯菌 處理 苗木이 無處理 苗木보다 生長이 저조한 것은 다음으로 思料된다. Bowen과 Theodorou(1973)[3]가 *R. luteolus*菌은 通氣性이 좋고 水分이 양호한 土壤에서는 菌絲生長이 1～1.5 mm/day 인데 비하여 25% 自然保水力에서는 0.3mm/day로 줄었다고

Table 5. Percent of Height, Root collar diameter and Dry Weight increase during the experimental period

(unit : %)

Fungal species	Height		Root collar diameter		Dry Weight	
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	42	47	50	17	165	26
Tt*	52	51	47	25	122	66
Co	47	39	62	29	125	72

보고한 바 있는데, 이것은 과도한 乾燥로 菌絲生長이 불량하여 養料吸收와 水分의 吸收가 미약하여 모래밭버섯菌 處理 苗木이 無處理 苗木보다 生長이 떨어진 것으로 思料된다. Kozlowski(1968)[8]는 테다소나무가 건조 토양에서는 mycorrhizal root tips보다는 무접종 root를 통한 吸收가 많았다고 보고한 바 있다. Momoh와 Gbadegesin(1976)[21]은 砂土에서 Caribaea pine에 모래밭버섯菌을 接種했어도 效果가 좋지 않았는데, 그 이유를 과도한 乾燥로 인한 토양 온도의 상승과 아니면 砂土의 有機物 함량이 적어서 菌根의 活動에 해를 끼친 때문이라고 했다. 따라서 본 실험의 건구의 水分水準은 mycorrhizal root의 苗木生長 촉진을 制限하는 水準으로 思料된다.

施肥處理가 乾重量에 미치는 영향을 보면 燐酸 施肥水準이 증가하더라도 有意性이 나타나지 않았다.

水分處理가 乾重量에 미치는 영향을 보면 水分이 많은 區에서 乾重量이 증가하였으며 高度의 有意性을 나타내고 있다.

이상의 結果를 考察해 볼 때 리기다 소나무 苗木이 水分 要求度가 크고, 燐酸施肥의 增加에 有意的인 反應을 보이지 않은 것은 李(1978)[10]의 硏究에서도 나타나고 있다.

5. Top/Root ratio

菌根菌處理와 水分處理가 T/R율에 미치는 영향을 보면 표 6과 같다.

菌根菌處理가 T/R율에 미치는 영향을 觀察하기 위하여 T/R율을 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木보다 훨씬 낮았다. 즉 菌根이 발달하면 뿌리의 生長이 높아진다고 하겠다.[24,28]

Table 6. Top root ratio of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus with high moisture and low moisture rigime.

Fungal species	Top(g)		Root(g)		Top/root ratio		
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	Before treatment	High moisture	Low moisture
Pt*	11.46	6.33	5.98	1.92	2.39	1.85	3.20
Tt*	4.29	3.40	2.05	1.31	2.50	2.08	2.59
Co	4.69	3.85	2.02	1.25	3.24	2.32	3.08

後期의 T/R율로써 水分處理 效果를 보면 濕區와 乾區사이에 뚜렷한 차이가 나타나고 있다. 特히 모래밭버섯菌에 의하며 形成된 菌根은 水分이 양호하면 뿌리의 生長이 왕성한 반면에, 土壤 水分이 缺乏하면 뿌리 生長에 있어서 moisture stress가 크다고 推論할 수 있다.

6. 養分吸收

養分吸收에 관한 菌根菌 處理와 水分處理 效果를 보기 위하여 각 處理別 窒素, 燐酸, 加里의 吸收量을 표 7에 나타내었다.

各 요인의 吸收量은 단위 건중량 속에 함유 되어 있는 각 요인의 농도에 잎의 건중량을 곱한 값이다.

菌根菌處理가 養料 吸收에 미치는 영향을 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木보다 窒素와 燐酸의 吸收를 促進시켰는데 窒素 吸收에 있어서는 1% 水準에서 有意性을 나타냈고, 燐酸의 吸收는 5

Table 7. Nitrogen, phosphate, and potassium absorption of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus with high moisture and low moisture regime.

(unit : μg/seedling)

Fungal species	N		P_2O_5		K_2O	
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	10.83	7.78	1.08	0.84	6.25	4.14
Tt*	4.77	3.29	0.63	0.39	3.83	2.71
Co	4.70	4.78	0.72	0.47	3.65	3.25

% 水準의 有意性을 보여 주었다.

水分處理 效果에 있어서는 窒素, 燐酸, 加里가 공히 水分이 많을 때 吸收가 좋았다. 水分 效果는 窒素와 燐酸 吸收는 1% 水準까지 有意性을 나타냈고 加里는 5% 水準에서 有意性을 나타내었다.[5,10,25]

施肥水準, 水分處理, 菌根菌別로 각 비료 종별로 吸收量에 미치는 影響을 알기 위해 각 요인별로 표를 만들었다. 표 8은 窒素의 吸收量에 대한 것이다.

菌根菌處理는 窒素의 吸收量에 영향을 미치고 있어 모래밭버섯菌 處理 苗木의 窒素 吸收量은 無處理 苗木보다 2배(1.93배) 가량이 높았다.

水分處理 效果를 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木에 있어서 水分處理는 窒素 吸收量에 영향을 미치나, 無處理 苗木에서는 窒素 吸收에 있어서 水分處理間 有意性이 나타나지 않았다.[10]

施肥處理 效果는 모래밭버섯菌 處理 苗木에서나 無處理 苗木에서 窒素 吸收量에 영향을 미치지 않고 있다.[10]

菌根菌處理가 燐酸의 吸收量에 미치는 영향을 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木의 2배(1.8배) 가량의 인산 흡수를 했다.

燐酸 吸收量에 미치는 水分 效果를 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木에서는 水分處理 效果가 뚜렷이 나타나고 있지만[22], 無處理 苗木에서는 水分處理 效果

Table 8. Nitrogen absorption of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : μg/seedling)

Fungal species	Fertility level							
	NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	9.46	6.54	9.98	7.16	11.53	9.31	12.36	8.09
Tt*	3.67	3.45	4.70	2.67	5.80	4.00	4.91	3.03
Co	5.10	3.21	6.40	3.94	3.40	6.23	4.00	5.74

Table 9. Phosphate absorption of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : μg/seedling)

Fungal species	Fertility level							
	NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	0.80	0.60	0.96	0.79	1.25	0.96	1.29	1.01
Tt*	0.42	0.38	0.49	0.29	0.93	0.50	0.66	0.37
Co	0.69	1.06	0.50	0.62	0.36	0.37	0.64	0.52

Table 10. Potassium absorption of potted *P. rigida* seedlings inoculated with either *Pisolithus tinctorius*, *Thelephora terrestris* or no fungus at four levels of soil fertility with high moisture and low moisture regime.

(unit : μg/seedling)

Fungal species	Fertility level							
	NP_0K		NP_1K		NP_2K		NP_3K	
	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture	High moisture	Low moisture
Pt*	5.64	2.80	4.35	3.29	6.73	4.87	8.28	5.59
Tt*	2.50	2.01	2.69	2.85	5.68	3.25	4.43	2.74
Co	3.50	2.10	5.40	2.73	2.58	4.50	3.10	4.07

가 나타나지 않고 있다.[10]

施肥處理가 燐酸의 吸收에 미치는 영향은 모래밭버섯菌 處理 苗木에서는 燐酸 施肥水準이 증가함에 따라 인산의 吸收量이 점차 증가하는 경향을 보이고 있는 반면, 無處理 苗木에서는 燐酸 施肥水準의 증가에 반응이 나타나지 않고 있다.

표 10은 加里의 吸收量을 나타내고 있다.

菌根菌處理가 加里 吸收量에 미치는 영향을 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木에 비하여 1.5배의 加里 吸收를 促進했다.

加里의 吸收量에 미치는 水分 效果를 보면 燐酸과 窒素의 吸收量과 비슷한 경향을 보이고 있는데, 모래밭버섯菌 處理 苗木은 水分 效果가 5% 水準에서 有意性을 나타내고 있는 반면 無處理 苗木에서는 水分 效果가 나타나지 않고 있다. 특이할만 한 것은 濕區에서는 菌根菌處理間, 施肥 處理間 모두 有意性이 인정되고 있다. 이로써 알 수 있는 것은 燐酸 施肥 水準은 水分이 많을 때도 加里 吸收에 영향을 미치지 않지만 水分이 적을 때는 燐酸 施肥 水準이 증가함에 따라 加里의 吸收를 促進시키며 특히 모래밭버섯菌은 건조한 곳에서도 加里의 吸收를 促進하는 것으로 思料된다.

加里의 吸收量에 미치는 施肥 效果를 보면 모래밭버섯菌 處理 苗木은 燐酸 水準이 증가할수록 加里 吸收가 증가하지만 無處理 苗木은 施肥 效果가 나타나지 않고 있다.

이상의 養料 吸收에 대한 결과를 고찰해 볼 때 모래밭버섯菌 處理 苗木은 無處理 苗木과는 매우 다르게 窒素, 燐酸 및 加里의 養料 能力이 우수하였다.

結 論

1. 根元徑 生長은 濕區에서가 乾區에서보다 2.7배 生長이 컸다.

2. 乾區에서는 모래밭버섯菌 處理 苗木의 物質生産은 평균 26% 증가하고, 無處理 苗木은 72% 증가하여 모래밭버섯菌 處理 苗木이 無處理 苗木보다 純物質生産量이 적었다.

3. 純物質生産量에 있어서 乾區에서보다 濕區에서가 4배 증가했으나 燐酸 施肥水準의 증가는 純物質生産量에 영향이 없었다.

4. 모래밭버섯菌 處理 苗木은 濕區에서 窒素, 燐酸 및 加里의 養料 吸收가 뚜렷이 나타났는데 無處理 苗木에 비하여 각각 1.9배, 1.8배, 1.5배의 吸收가 促進되었다.

5. 모래밭버섯菌 處理 苗木은 燐酸 施肥水準이 증가함에 따라 燐酸 吸收量이 많았으나 無處理 苗木에서는 燐酸 施肥 水準의 증가가 燐酸 吸收에 영향을 미치지 않았다.

6. 모래밭버섯菌 處理 苗木은 燐酸 施肥水準이 증가함에 따라 加里의 養料 吸收를 促進시켰다.

引 用 文 獻

1. Alexopoulos, C. J. and C. W. Mims. 1979. Introductory Mycology. 3rd ed. John Wiley and Sons, New York. 632pp.
2. Berry, C. R. and D. H. Marx. 1976. Sewage sludge and *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae; Their effect and growth of pine seedlings. Forest Sci. 22:351-358.
3. Bowen, G. D. and C. Theodorou. 1971. Growth of ectomycorrhizal fungi around seeds and roots. Pages 107-150 *in* G. C. Mark and T. T. Kozlowski eds. Ectomycorrhizae; their ecology and physiology. Academic Press, New York.

444p.

4. Cress, W. A., G. O. Throneberry and D. L. Lindsey. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. Plant physiol. 64:484-487.
5. Frank, G. and Viets, Jr. 1972. Water deficits and nutrient availability. Pages 217-239 *in* T. T. Kozlowski, ed. Water deficits and Plant Growth. Vol. III. Academic press. 368p.
6. 具昌德, 李景俊, 任慶彬. 1982. 菌根菌의 人工接種에 依한 소나무類의 生長促進. 韓國林學會誌 55 : 22-29.
7. 趙伯顯. 1980. 植物養分의 土壤中에서 動態. 新稿土壤學. 鄕文社. pp. 91-126.
8. Kozlowski, T. T. 1968. Soil and Roots. Pages 156-172 *in* W. L. Pritchett, ed. Properties and Management of forest soils. John Wiley and Sons. 500p.
9. Lambert, D. H., D. F. Baker and H. Cole. 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zink, copper and other elements. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:976-980.
10. 李壽煜, 金智文, 宋鎬京. 1978. 荒廢地土壤水分이 苗木의 生長 및 養分吸收에 미치는 影響. 研究報告書 提出文. pp. 1-24.
11. 李景俊. 1984. 리기테다 소나무의 菌根 接種반응과 土壤肥沃度에 따른 모래발버섯의 효과 및 그 생태학적 의미. 韓國林學會誌 64 : 11-19.
12. Marx, D. H. 1977. Tree host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Microbiol. 23:217-223.
13. Marx, D. H. 1981. Ectomycorrhizal fungus inoculations: a tool for improving forestation practices. Pages 13-71 *in* P. Mikola, ed. Tropical mycorrhiza Research. Clarendon press, Oxford, London. 270p.
14. Marx, D. H. and W. C. Bryan. 1975. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. Forest Sci. 21:245-254.
15. Marx, D. H., W. C. Bryan and C. E. Cordell. 1977. Survival and growth of pine seedlings with *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae after two years on reforestation sites in North Carolina and Florida. Forest Sci. 23:363-373.
16. Marx, D. H., A. B. Hatch and J. F. Mendicino. 1977. High Soil fertility decreases Sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Bot. 55:1569-1574.
17. Marx, D. H., J. L. Ruehle, D. S. Kenney, C. E. Cordell, J. W. Riffle, R. J. Molina, W. H. Pawuk, S. Navratil, R. W. Tinus and O. C. Goodwin. 1982. Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and techniques for developments of ectomycorrhizae on container-grown tree seedlings. Forest Sci. 28:373-400.
18. Mengel, D. K. and E. A. Kirkby. 1978. Principles of plant Nutrition: Phosphorus. pp.347-366. Der Bund AG, Bern, Switzerland. 593p.
19. Meyer, F.H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae in native and man made forests. Pages 79-105 *in* G. C. Marks and T. T. Kozlwski eds. Ectomycorrhizae.
20. Mikola, P. 1973. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. Pages 383-411 *in* G. C. Marks and T. T. Kozlowski eds. Ectomycorrhizae; their ecology and physiology. Academic press, New York. 444p.
21. Momoh, Z. O. and R. A. Gbadegesin. 1976. Field performance of *Pisolithus tinctorius* as a mycorrirzal fungus of pines in Nigeria. Pages 72-79 *in* P. Mikola, ed. Tropical mycorrhiza research. Clarendon press, Oxford, London. 270p.
22. Pichot, J. and B. Truong. 1980. Mycorrhizal Nutrition of tropical plants; effect of endomycorrhizae on growth and phosphorus uptake of Agrostis in a pot experiment. Pages 206-209 *in* P. Mikola, ed. Tropical mycorrhiza research. Clarendon press, oxford, London. 270p.
23. Pritchett, W. L. 1979. Chemical properties of forest soils. In Properties and Management of Forest Soils. John Wiley and Sons. pp.90-105.
24. Ruehle, J. L. 1983. The relationship between lateral root development and spread of *Pisoli-*

thus tinctorius ectomycorrhizal after planting of container-grown loblolly pine seedlings. Forest Sci. 29:519-526.

25. Russell, E. W. 1978. The development and functioning of plant root in soil. In Soil condition and plant growth. 10th editions. The English Language Book Society and Longman. pp. 520-530.
26. Slankis, V. 1973. Hormonal relationships in mycorrhizal development. Pages 232-298 *in* G. C. Marks and T. T. Korlowski eds. Ectomycorrhizae: their ecology and physiology. Academic press, New York. 444p.
27. Slankis, V. 1974. Soil factors influencing formation of mycorrhizae. Ann. Rev. Phytopathol. 12:437-457.
28. Trappe, J. M. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal fungi in nurseries. Ann. Rev. Phytopathol. 15:203-222.
29. Worley, J. E. and E. Hacskaylo. 1959. The effect of available soil moisture on the mycorrhizal association of Virginia pine. Forest Sci. 5:267-268.
30. Zak, B. 1964. Role of mycorrhizae in root disease. Ann. Rev. Phytopathol. 2:377-392.