

Cu를 處理한 土壤에서 *Pisolithus tinctorius* 菌을 接種한 곰솔 幼苗의 外生菌根發達과 生長¹

吳光仁² · 魏啓聞²

Ectomycorrhizal Development and Growth of *Pinus thunbergii* Seedlings Inoculated with *Pisolithus tinctorius*(KJ-1) in Copper Treated Soil.

Kwang In Oh², Kye Moon We²

要 約

곰솔(*Pinus thunbergii*) 幼苗에 *Pisolithus tinctorius*(Pt., KJ-1)를 接種하고 CuCl₂ 용액을 0, 40, 120, 260, 430ppm 濃度로 處理水準을 달리하여 菌根形成 및 發達, 幼苗生長, 養分吸收에 미치는 影響을 生長 時期別(6月 1日, 7月 1日, 8月 1日, 9月 1日, 10月 1日, 11月 1日)로 調査하여 얻어진 結果는 다음과 같다.

1. 곰솔 種子의 發芽率은 菌根接種區가 非接種區보다 높았다. 곰솔 幼苗의 菌根形成率은 高濃度로 갈수록 현저히 減少하였으며, Pt. 菌의 Cu 耐性調査를 위해 실시한 MMN Agar 평판培地實驗에서도 高濃度로 갈수록 生長이 減少하였다.
2. 곰솔 幼苗의 苗高生長에서 接種區 40ppm區와 120ppm區에서 生長效果가 크게 나타났으며, 非接種區 430ppm區에서 가장 低調했다.
3. 菌根의 外部形態는 0, 40ppm區에서는 monopodial type, fern-like type, cluster-like type이 나타났으나, 260, 430ppm에서는 monopodial type만이 나타났다.
4. 接種區에서 根길이, 幼期葉의 數, 幼期葉의 總길이, 總乾重量, 本葉數, 本葉總길이 등이 非接種區보다 높게 나타났으며, 一般적으로 接種區 40, 120ppm區에서 生長效果가 크게 나타났다.
5. 곰솔 幼苗 生育培地인 土壤分析 結果는 pH, Na, CEC는 高濃度로 갈수록 增加하는 傾向을 나타내었고, 全窒素, 有機物, P, K, Ca, Mg는 40, 120ppm區에서 減少하였다. 土壤內 Cu 分析結果 0ppm區에서는 接種區에서 높게 나타났으며, 高濃度로 갈수록 뚜렷하게 非接種區에서 높은 含量이 나타났다.
6. 地上部 分析結果 接種區에서 全窒素, P, K의 吸收가 많았고, 非接種區에서 Cu 吸收가 많았다. 地下部 分析結果 全窒素는 生長이 좋은 40, 120ppm區에서 많은 含量을 나타내었고, P는 非接種區보다 接種區에서 아주 높은 吸收가 있었고, Cu는 非接種區에서 높은 含量을 나타냈다. 그리고 모든 處理區에서 地上部보다 地下部에서 顯著하게 높은 Cu 含量이 나타났다.

ABSTRACT

This study is to investigate the effect of mycorrhizal development, growth, nutrient absorption of *P. thunbergii* seedlings inoculated with *Pisolithus tinctorius*(Pt. KJ-1) in relation to toxic materials in soil. The concentrations on copper solution applied to the soils were 0, 40, 120, 260, 430ppm. The

¹ 接受 1996年 1月 25日 Received on January 25, 1996.

² 全南大學校 農科大學 林學科 Department of Forest, College of Agariculture, Chonnam National University, Kwang Ju, Korea.

results are summarized as follows :

1. The germination of *P. thunbergii* with Pt. increased greater than without ectomycorrhizal fungi. Mycorrhizal development showed a significant decreasing trend at high concentration, and tolerant Cu test with Pt. in agar plate media showed a decreasing trend at a high level.
2. *P. thunbergii* seedlings inoculated with Pt. showed that the shoot length was significantly promoted at 40, 120ppm copper levels, and that of noninoculated seedlings had the lowest effect in 430ppm copper level.
3. The outer shape of ectomycorrhizal root tips after inoculating Pt. on *P. thunbergii* seedlings appeared as a monopodial type, a fern-like type, and a cluster-like type at 0ppm, 40ppm levels, but only monopodial type came out at 260ppm, 430ppm copper levels.
4. Root length, no. of juvenile leaves, total length of juvenile leaves, total dry weight, no. of needles and total length of needles of *P. thunbergii* with Pt. increased greater than those of noninoculated seedling. Growth response of *P. thunbergii* seedling inoculated with Pt. increased significantly at 40ppm, 120ppm Cu levels.
5. As a result of analysis of growth medium, pH, Na, CEC increased at higher Cu level, and total nitrogen, organic matters, available phosphorous, K, Ca and Mg decreased at 40ppm, 120ppm Cu levels. As a result of an analysis about a copper within soils, it appeared having high Cu-concentration at 0ppm level of an inoculated Pt. and high Cu-concentration in noninoculated Pt. than in inoculated Pt. at higher level.
6. As a result of an analysis of shoot, N, P, and K-concentration were higher in noninoculated seedlings than in inoculated seedlings, and Cu-concentration was higher in inoculated seedlings than in noninoculated seedlings. The analysis of root resulted in a high N-concentration at 40ppm, 120ppm levels, in a high P-concentration in inoculated seedlings and in a high Cu-concentration in noninoculated seedlings. Cu-concentration was significantly higher at root than at shoot.

Key words : Copper, Pinus thunbergii, *Pisolithus tinctorius*(KJ-1), Heavy Metal, Tolerance.

1. 緒 論

곰솔은 韓國內 海岸線을 따라 京畿道에서 37° 20', 江原道 울진地方까지 海岸 砂丘地와 海岸으로부터 約 30Km 以內의 內陸에 分布하고 있다²⁰. 主要 工團地域이 海岸地域에 인접해 있는 韓國內 實情에서 곰솔은 公害物質에 쉽게 露出되어 있으며, 갈수록 海岸砂丘는 工團隣接地域의 粉塵, 酸性雨, 工場廢棄物의 流入으로 酸性化되고¹⁷⁾ 이에 따른 養分의 溶脫과 毒性重金屬(Al, Cu, Cd, Zn)의 蓄積¹³⁾에 의해 養分吸收의 不均衡으로 곰솔림은 활력이 떨어져 病害蟲에 抵抗力을 잃고 그 面積이 줄어들고 있는 實情이다. Pt. 菌은 우리나라에 널리 分布된 菌根菌으로서 針葉樹와 闊葉樹 木材資源의 持續的인 確保와 環境林의 育成次元에서 대단히 重要的 共生菌株이다^{4,5,6,18,19)}.

重金屬에 의해 汚染된 土壤內에서 곰솔幼苗의 生長阻害가 일어나는 것을 共生菌인 모래발버섯

(*Pisolithus tinctorius*) 菌을 接種하여 生長阻害를 받지 않고 生長시킬 수 있는 方法이 될 수 있을 것이다. 酸性雨와 毒性重金屬에 의해 養分이 溶脫¹⁶⁾된 海岸砂丘에서 病蟲害에 抵抗力이 약해져 활력이 떨어진 곰솔의 山林 生産力을 菌根菌에 의한 養分吸收의 促進으로 높일 수 있는 方案이 될 수 있다. 菌根菌에 의해서 重金屬 Cu가 吸收, 除去될 수 있다면 또다른 重金屬이나 土壤汚染物質 等 固形廢棄物 處理의 새로운 方法으로 기대된다. 工團地域이나 廢鑛地¹⁵⁾의 毒性重金屬에 汚染되어 樹木이 生存할 수 없는 地域의 環境林을 造成할 수 있는 方法으로 기대된다. 또한, 쓰레기 침출수나 毒性物質에 汚染^{11,21)}되어 植生이 거의 없는 쓰레기매립장의 植生造成 復舊時 考慮될 수 있는 方法이 될 것이다.

그러므로 本 研究은 Cu에 의해서 汚染된 土壤이 어느 程度의 汚染濃度에서 곰솔幼苗의 生育에 障害를 줄 수 있는가. 또는 菌根菌接種區(以下 接種區)의 곰솔은 菌根菌非接種區(以下 非接種區)

의 곰솔에 비해 Cu 汚染源으로 부터 어느 程度의 緩衝作用을 받으며 生長할 수 있는가를 比較할 수 있다. 그리고 菌根菌에 의해서 Cu 汚染土壤中的 Cu를 吸收 除去하여 重金屬汚染土壤의 毒性을 除去 正常土壤으로 還元시킬 수 있는 可能性을 알고자 한다.

II. 材料 및 方法

1. 環境條件

本 實驗은 全南大學校 農科大學 附屬本部演習林의 유리온실에서 이루어졌으며 곰솔幼苗 全 生育期間 동안 遮光網을 설치하여 光透過率을 50%로 줄어 高溫과 光量을 調節하였다. 實驗期間中 유리온실內 溫度變化는 Fig. 1과 같다.

2. 土壤調製

實驗에 使用된 土壤은 Vermiculite와 Peatmoss, 그리고 마사토를 1:1:1로 섞은 混合土壤을 105℃로 5時間 高壓滅菌술에 滅菌한 後 CuCl₂를 0, 40, 120, 260, 430ppm으로 調製^{1,2,3)}한 溶液에 이틀동안(48時間) 沈積시킨 後 Rootainer(Spencer-lemaire Industries LTD, CANADA, 150ml)에 넣었다.

3. 菌根接種

實驗에 使用된 菌株는 *Pisolithus tinctorius*(Pers.) Coker et Couch (KJ-1)菌으로 1985年 리기다소 나무 林地인 光州廣域市 송정동에서 採集되었으며, 培養中인 菌根菌을 實驗에 使用하기 위해 4個月前에 培培養을 實施하였다. 人工調製한 培養土壤을 Rootainer(150ml)에 담은 後 種子播種 3

日전에 接種하였다.

4. 種子 收集 및 播種

實驗에 使用된 樹種은 곰솔(*Pinus thunbergii* PARL.)이며, 곰솔 種子 100個를 平均한 健全種子의 무게는 $0.020 \pm 0.003g$ 으로 挾雜物을 除去하고, 種子 무게를 測定하여 大, 中, 小로 나누고 中間 種子만을 취하여 흐르는 물에 24時間 담근 後 10% Sodium hypochlorite 溶液에 30秒間 表面 殺菌한 다음 蒸溜水로 3번 씻어 곧바로 Root-rainer에 2-3립씩 1cm깊이로 播種하고 上部로부터의 汚染을 防止하기 위해 滅菌된 Perlite를 0.5cm덮었다. 種子是 4月 8日 播種하였으며 發芽率은 Fig. 4와 같다.

5. Cu耐性 評價를 위한 培地 實驗

實驗은 B.O.D. Incubator 內에서 25℃(±0.5)에서 實施되었으며, Cu에 대한 *Pisolithus tinctorius*(KJ-1)菌의 耐性을 評價하기 위해 CuCl₂ 0, 40, 120, 260, 430ppm 溶液을 添加한 MMN培地에 Agar를 添加하고 pH를 5.6으로 調節한後 Petri dish에 Pt.(KJ-1)菌을 10cm직경의 Plug를 치상하여 1週日 間隔으로 8週동안 Colony직경을 測定하였다.

7. 土壤分析 및 植物體 分析

土壤은 室內에서 風乾시켜 10-mesh체를 通過한 土壤을 分析用 試料로 使用하였으며, pH는 硝子電極法, O.M(Organic Matter)는 Tyurin法, 全窒素는 Kjeldahl法, P는 Bray No.2法, 그리고 置換性 鹽基의 定量은 原子吸光度法으로 分析하였다. 植物體 分析은 試料를 80℃에서 48時間 dry oven에서 乾燥시킨 後 desiccator에 넣어 室溫으로 維持시킨 後 Willy mill을 사용 마쇄하여 植物體의 分析用 試料로 使用하였다. 植物體 分析方法은 H₂O₂-H₂SO₄법으로 分解하여 여과한 後, Na, Mn, Cu는 atomic absorption spectrophotometer(model type : Pyeunicam 9000 AAS)로 分析했으며, N는 蒸溜法으로, P는 물리브렌 불루法으로 分析했다.

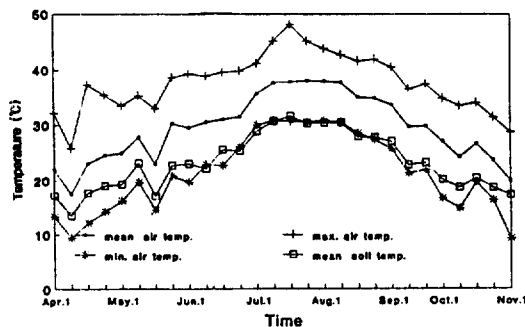


Fig. 1. Seasonal Changes of temperature during the experiment period.

III. 結果 및 考察

1. 菌根菌의 外部形態와 發達

Fig. 2와 같이 Pt.(KJ-1)菌의 重金屬 耐性 調査(MMN Agar平板培地) 實驗結果 120ppm區 以上에서는 差異가 컸고, 430ppm區 Cu水準 배지에서는 生長이 극히 低調했으며, 高濃度로 갈수록 Pt.菌生長率이 低下되고 枯死率 또한 높게 나타났다.

Cu를 汚染시킨 土壤에서 菌根形成率은 Fig. 3에서 보여주듯이 高濃度로 갈수록 減少하였으며, 有意的인 差異를 나타내었다. 그리고, 最高濃度の 接種區에서 菌根型 또한 單純하였으며, Rhizomorph 程度도 高濃度로 갈수록 급격히 減少되었다(Table 1). Arnebrant 등(1987)⁷⁾은 重金屬에 汚染된 地域은 菌根菌에 影響을 주며, 重金屬으로 汚染된 地域에서 分離한 菌株가 非汚染된 地域에서 分離한 같은 種 보다 高濃度 Cu培地에서 잘 적응할 수 있다고 하였다. Colpaert 등(1987)^{8,9,10)}의 研究에 의하면 여러 實驗 菌根菌中에서 Pt.菌이 Cu高濃度에서도 生育이 可能하다고 하였으나 韓國의 土着菌株들에 대한 重金屬耐性 實驗이 全無한 狀態에 있으므로 持續的인 研究가 要求되며, 菌根菌들 間의 重金屬耐性뿐만 아니라 重金屬 汚染源이 增加되고 있으므로 Cu 以外の Ni, Zn, Pb, Cd 등 重金屬에 대한 樹木의 生育과 優良 菌株의 選抜이 必要하다고 생각된다.

根發達에 있어서 Cu濃度水準에 따른 1次 側根의 發達이 高濃度로 갈수록 低調했으며, 接種區가 非接種區보다 1次 側根數가 많았으며, 一般的으로 40ppm區에서는 높게 나타났고, 430ppm區에서는 가장 낮게 나타났으며 高濃度에서 根의 發達이 低調했고 接種區보다 非接種區에서 Short root數가 높게 나타났다.

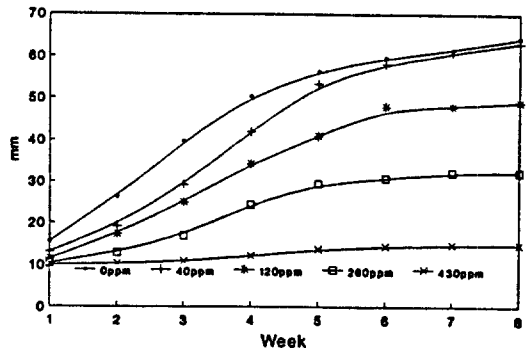


Fig. 2. Tolerance test of Cu by MMN Agar plate media for 8 weeks in axenic culture.

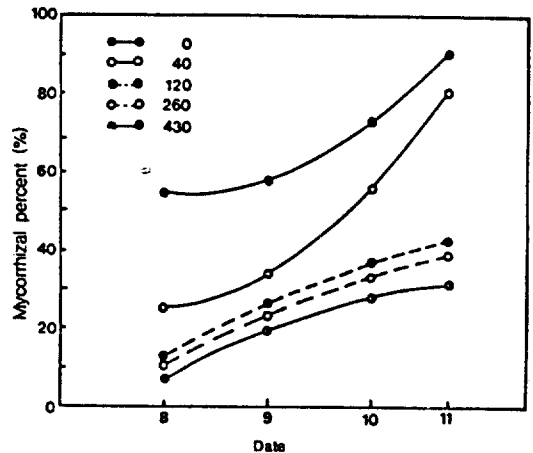


Fig. 3. Seasonal variation in mycorrhizal percent of *P. thunbergii* seedlings grown on vermiculite, peat, and sandy loam inoculated with *P. tinctorius*(KJ-1) and at various copper polluted soil.

2. 곰솔幼苗의 生長

곰솔의 發芽率(Fig. 4-A)은, 0ppm區에서는 接種區 83.75 %와 非接種區 78.13%로 差異는 있었고, 接種區內에서 發芽率은 差異가 적었으나 非

Table 1. Summarized characterization of *Pinus thunbergii* Plus *Pisolithus tinctorius* (KJ-1) mycorrhizae.

Treatment	Mycorrhizal Morphology			Ectomy-corrhizal percent (%)	Rhizomorph condition
	Monopodial type	Pinnate type	Coraloid type		
0ppm	++	+++	+++	90.88	+++
40ppm	+++	++	+	80.45	++
120ppm	+++	++	-	40.97	+
260ppm	++	+	-	42.04	+
430ppm	+	-	-	33.87	+
- absent		- present	++ present in small numbers		
+++ present in large numbers	++++ mass incidence				

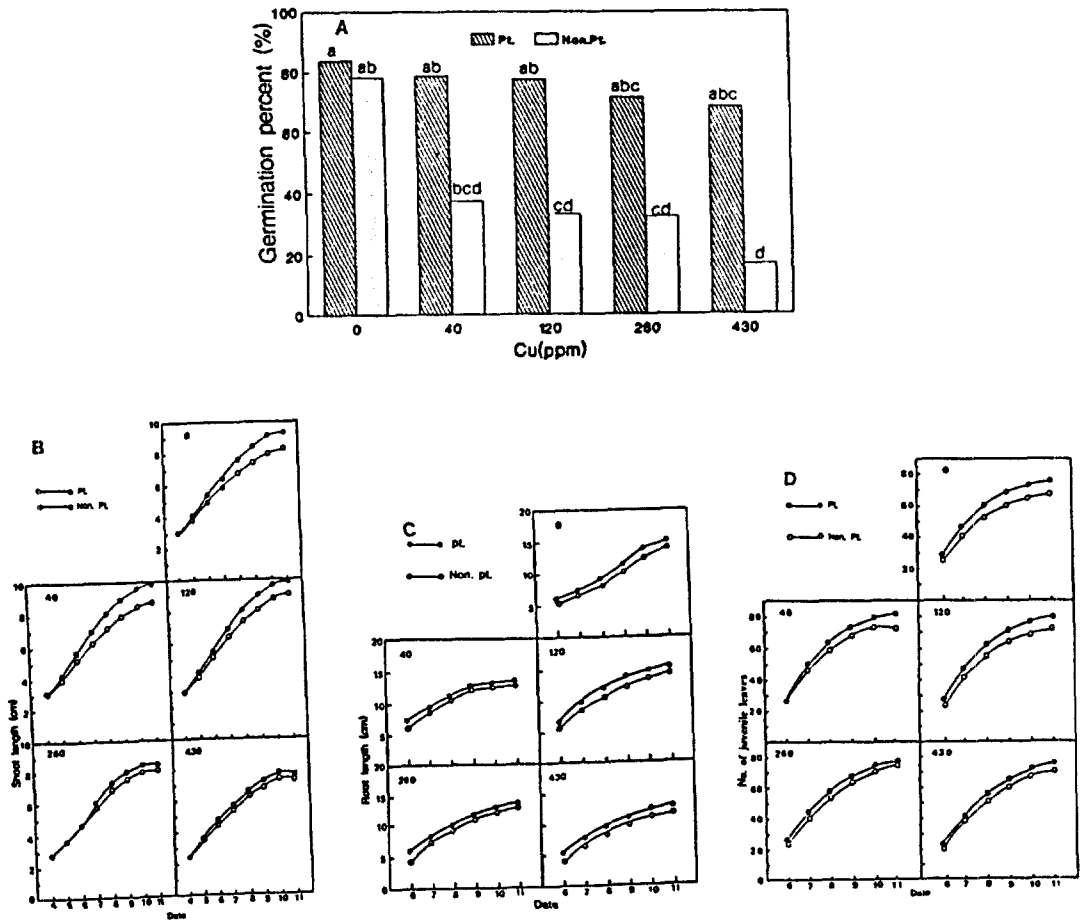
接種區 40ppm區 이상의 濃度에서는 급격한 減少를 나타냈다. 非接種區의 發芽率在 Cu高濃度處理區에서 低調하였는데, 이는 接種區에서는 菌根菌에 의해 緩衝作用을 하였으나 非接種區는 그렇지 못했기 때문일 것이다.

幼苗의 生長은 接種區(Fig. 4-B)에서 生長의 增加를 나타내었으며, 接種區의 0, 40, 120ppm區에서 11月 1日 調査에서도 苗高生長이 있는 것으로 나타나, 接種區가 非接種區보다 늦게까지 生長하였다. 接種區에서는 40, 120ppm區에서 生長이 뛰어났으며, 非接種區內에서는 120ppm區에서 生長이 가장 좋게 나타났고, 接種區와 非接種區 모두 有意性이 있었으며, 接種區와 非接種區 430ppm區에서 苗高生長이 낮았으나 接種區에서 높게 나타났다. 그리고, 接種區와 非接種區 高濃度에서

生長 差異가 뚜렷하게 나타났으며, 非接種區에서 生存한 幼苗는 Cu에 耐性을 지닌 優良幼苗일 것으로 思料된다. Mahoney 등(1985)¹⁶⁾이 菌根菌은 非接種植物에 비하여 좋은 養分狀態를 植物이 유지할 수 있게 해주며 汚染物質에 대해 寄主植物을 保護한다고 하였고, 菌根菌에 의해 發生하는 여러 가지 要因들에 의해 汚染物質이 어떠한 一定 水準까지만 發生하도록 保護한다고 하였다.

根의 生長 結果(Fig. 4-C)는, 接種區에서 比較的 根의 生長이 높게 나타났으며, 非接種區 430 ppm區에서는 根의 枯死率이 높고 生長이 가장 低調하였다. 接種區와 非接種區 모두 430ppm區에서 根生長이 減少하였고, 低濃度에서는 根의 發育이 좋게 나타났다.

幼期葉數[子葉(子葉은 平均 7(±1)個)+幼兒期葉



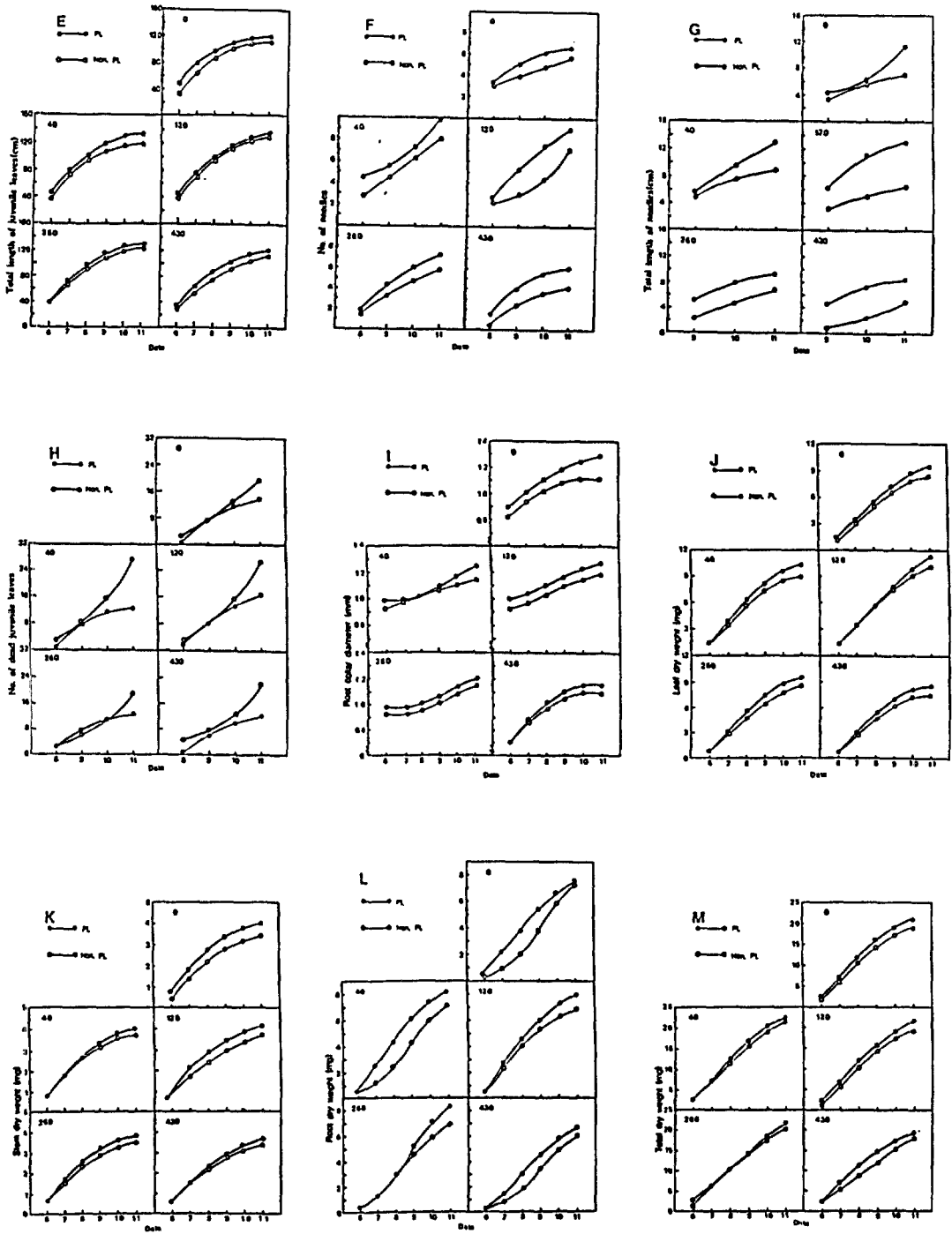


Fig. 4. Seasonal variations in growth of *P. thumbergii* seedlings at soil mixtures inoculated with and without *P. tinctorius*(KJ-1) treated five copper levels.

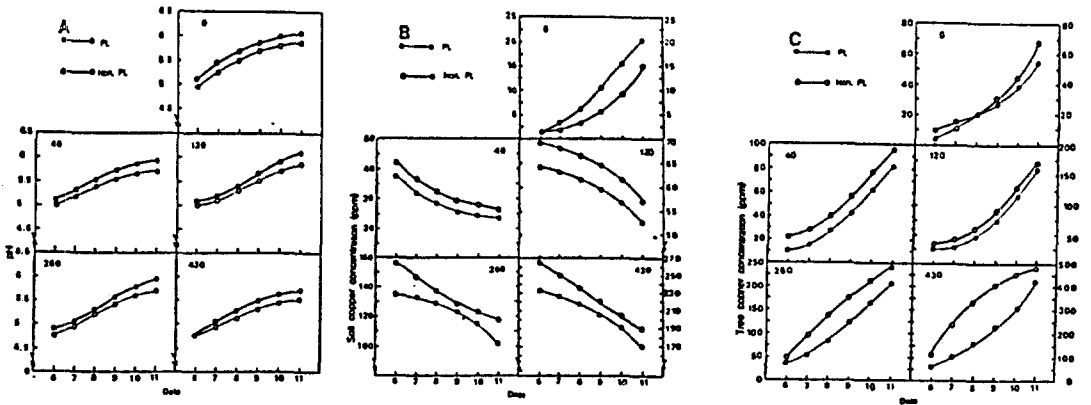


Fig. 5. Seasonal variations in pH, soil and tree copper concentration of *P. thunbergii* seedlings inoculated with and without *P. tinctorius*(KJ-1) at soil mixtures treated five copper levels.

(本葉이 나오기 前에 苗高의 生長과 함께 나오며 冬芽가 形成되면 중지됨)](Fig.4-D)는 6月, 7月 生育期間中에 幼期葉數의 增加가 全體區에서 높게 나타났으며 8月부터는 幼期葉數의 增加가 적었었는데, 이 時期부터 本葉이 나타나게 되고 冬芽의 形成이 始作되기 때문이라 思料된다. 그러나 非接種區에서는 260, 430ppm區에서 10月에도 幼期葉數의 增加가 보였고 接種區에서는 全區間에서 나타나 接種區가 生育이 繼續됨을 나타냈다.

幼期葉의 總길이(Fig. 4-E)는 幼期葉數와 같은 傾向이 나타났고 幼期葉 1個의 平均길이는 接種區에서는 1.7, 1.67, 1.82, 1.7, 1.64cm였고, 非接種區에서는 1.69, 1.71, 1.75, 1.69, 1.61cm로 나타나 生長이 좋은 接種區 120ppm區 과 非接種區 40, 120ppm區에서 길게, 430ppm區 에서는 接種區와 非接種區에서 짧게 나타났다.

本葉(Fig. 4-F)은 幼期葉數의 增加가 줄어드는 時期에 나타났으며, 8月 1日 調査에서 本葉形成基가 나타났고, 接種區에서는 40ppm區가 4.67 個로 가장 많았고 非接種區內에서는 0ppm區가 3.67個로 많았으며 濃도가 높아질수록 적게 減少하는 傾向을 나타냈다.

本葉의 總길이(Fig. 4-G)는 本葉의 數와 비슷한 傾向을 나타내었으나, 10月 生育期間동안 本葉의 數에 비하여 總길이의 增加가 뚜렷하였으며, 本葉의 數와 總길이가 接種區에서는 40, 120 ppm區에서 有意性이 있었다. 11月 1日 調査에서 本葉 1個의 平均길이는 接種區에서 1.66, 1.32, 1.4, 1.28, 1.3cm였고, 非接種區에서는 1.23, 1.06, 1.00, 1.13, 1.32cm로 나타나 接種區에서

는 0, 40, 120ppm區에서 높게 나타났으며, 接種區와 非接種區모두 260ppm區보다 430 ppm區에서 本葉 1個의 平均길이가 긴 것은 葉數가 적기 때문에 各 本葉으로 營養의 分散이 많기 때문이라 思料된다.

枯死幼期葉數(Fig. 4-H)는 本葉의 形成時期와 같은 時期에 나타났다. 8月 1日 調査에서 接種區는 120, 260ppm區에서 各各 1個, 2個 調査되었고, 非接種區에서는 0ppm區에서 2個, 40ppm區에서 2.67個, 120ppm區에서 2.33個, 260ppm區에서 3.33個, 430ppm區에서 5.33個로 全處理區에서 나타났으며, 高濃도로 갈수록 增加하였고, 非接種區 全濃度에서 급격히 增加하는 傾向을 나타내었다.

根元徑 調査 結果(Fig. 4-I)는, 生長이 良好한 接種區와 非接種區 120ppm區에서 크게 나타났으며, 一般적으로 根元徑에서도 接種區에서 0, 40, 120ppm區에서 生長이 크게 나타났고, 非接種區 430ppm區에서 가장 작게 나타났다.

乾重量 調査 結果에서 葉乾重(Fig. 4-J)은, 本葉이 形成되면서 接種區와 非接種區間에 差異가 크게 나타났다.

줄기乾重量(Fig. 4-K)은, 接種區는 120, 260 ppm區에서 높게 나타났고, 高濃도로 갈수록 減少하였다.

根乾重量은, 接種區에서는 6, 8, 9, 10月 生長期間 동안 根乾重量이 크게 增加하였으며, 非接種區에서는 全 調査期間 동안 根乾重의 계속적인 增加를 보였고, 高濃도로 갈수록 減少하는 傾向을 나타내었으나, 接種區에서는 根乾重의 減少의 差異가 一般적으로 非接種區보다 덜 하였다.

總乾重量(Fig. 4-M)은, 接種區와 非接種區間에 高度의 有意性이 있었으며, 接種區가 非接種區 同一 濃度 보다 增加하는 傾向을 나타냈다.

T/R率은 接種區는 高濃度로 갈수록 T/R率의 增加가 보였고, 非接種區에서는 有意성은 적었으나, 뚜렷한 逆相關關係를 보여 주었고, 高濃度로 갈수록 增加하는 傾向을 나타내어 低濃度에 비하여 地下部보다 地上部生長이 많았다는 것을 알 수 있었다.

3. 養分 吸收

1) 土壤 分析

곰솔幼苗가 자랐던 土壤 pH의 分析結果는 Fig. 5-A와 같으며, 接種區와 非接種區間에 Cu濃度を 增加함에 따라 pH가價는 低下하는 傾向이었다.

季節別 土壤內 Cu含量 分析結果(Fig. 5-B), 40, 120, 260, 430ppm區 Cu含量的 變化는 否의 相關關係를 가졌으며, 0ppm區에서는 接種區와 非接種區 모두 正의 相關關係를 가졌다. 0ppm區에서는 接種區가 非接種區에 비해 높게 土壤에 含有되었으나 나머지 처리구에서는 一般적으로 接種區보다 非接種區에서 높은 含量을 나타내었는데 接種區는 菌根에 의한 緩衝作用과 幼苗의 生長이 뛰어나서 菌根과 幼苗에 의해 吸收 利用되었으리라 思料되며, 菌根은 土壤에서 多量養分の 吸收를 促進하지만 重金屬은 除去하였으리라 판단된다.

試驗後 土壤分析의 結果는 Table 2와 같이 나타났다. 全窒素는 接種區에서는 差異가 뚜렷하게

나타나 120ppm區에서 낮게 나타났고, 幼苗生長이 低調했던 非接種區 430ppm區에서 높게 나타났다. 有機物은 接種區와 非接種區 모두 0ppm區에서 낮게 나타났으며, 高濃度에서는 有機物 含量이 많았으며, 幼苗의 生長이 低調하여 有機物 吸收가 적었던 것으로 생각된다. P는 接種區 40 ppm區와 非接種區 120ppm區에서 含量이 가장 적었고, K는 非接種區에서는 120ppm區에서 含量이 적었고, Mg은 接種區內에서 40ppm이 가장 적었다. 接種區에서는 Na은 接種區 40ppm區에서 가장 적은 含量이었으며 高濃度로 갈수록 增加하였고, 非接種區에서도 비슷한 傾向을 보였으며, 接種區보다 一般적으로 높게 나타났다. Mn과 양이온치환용량은 接種區와 非接種區 모두 高濃度로 갈수록 增加하였다. 그러므로, 土壤內에 全窒素, P, K, Mg 등 多量養分은 적었고 植物體內에는 많아서, Winkins(1991)²³⁾의 研究에서 多量養分은 一般적으로 吸收를 增加시키는 反面에 重金屬은 除去하며, 土壤에 少量으로 含有된 微量元素은 吸收를 增加시켜 生長을 촉진할 수 있다고 報告한 結果와 類似하게 나타났다. 土壤의 Cu濃度는 菌根菌의 重金屬 吸收와 耐性 때문에 土壤中の 重金屬 減少가 發生 되었다.

2) 地上部 分析

植物體(地上部+地下部)內 Cu含量(Fig. 5-C)은 接種區에서 一般적으로 적은 含量을 나타냈는데 生長이 良好하여 Cu利用이 많이 되었고, 菌根에 의해 阻止되었으리라 思料된다.

Table 2. Soil analysis in sandy-loam, peat and vermiculite growing medium polluted with copper inoculated with or without *Pisolithus tinctorius*(KJ-1).

Inoculation, and Cu concentration (ppm)	pH (H ₂ O) 1:5	Total N (%)	O.M. (%)	Availabe P mg/kg	K	Ca	Mg Na Mn			CEC	Cu mg/kg	
							Cmol ⁺ /kg					
Pt. +Cu	0	6.13 ^{al}	0.068 ^c	3.14 ^e	106.1 ^b	13.04 ^a	35.11 ^c	48.63 ^{de}	9.72 ^{bc}	1.13 ^d	6.65 ^e	23.80 ^e
	40	5.92 ^{bcd}	0.076 ^b	2.72 ^f	89.1 ^c	8.36 ^c	34.51 ^c	45.17 ^e	6.33 ^d	2.45 ^{bc}	8.18 ^e	24.60 ^e
	120	6.05 ^{ab}	0.053 ^e	3.32 ^{de}	97.5 ^{bc}	7.71 ^{cd}	33.48 ^c	46.78 ^{de}	10.59 ^{bc}	2.63 ^b	11.45 ^h	51.50 ^d
	260	5.83 ^{cd}	0.069 ^c	3.44 ^{cd}	106.1 ^b	7.21 ^{cde}	49.03 ^a	58.26 ^b	11.11 ^{bc}	3.56 ^a	13.95 ^e	102.51 ^c
	430	5.91 ^{bcd}	0.092 ^a	3.38 ^{de}	127.2 ^a	10.21 ^b	48.20 ^a	65.17 ^a	18.47 ^a	3.54 ^a	16.57 ^a	170.13 ^b
Non.Pt +Cu	0	5.84 ^{cd}	0.069 ^c	3.14 ^e	106.1 ^b	5.95 ^{ef}	40.57 ^b	50.85 ^{cd}	8.64 ^{cd}	1.01 ^d	10.14 ^f	16.60 ^f
	40	5.80 ^d	0.069 ^c	3.86 ^a	110.1 ^b	6.54 ^{def}	38.99 ^b	54.68 ^{bc}	9.33 ^{bc}	1.94 ^c	11.88 ^e	27.40 ^e
	120	5.97 ^{bc}	0.061 ^d	3.68 ^{bc}	89.1 ^c	3.84 ^g	29.49 ^d	46.80 ^{de}	8.61 ^{cd}	2.42 ^{bc}	12.97 ^d	57.53 ^d
	260	5.64 ^e	0.053 ^e	3.92 ^{ab}	97.5 ^{bc}	5.49 ^f	29.79 ^d	34.81 ^f	16.30 ^a	2.28 ^{bc}	14.82 ^b	119.20 ^c
	430	5.78 ^{de}	0.076 ^b	4.11 ^a	101.7 ^{bc}	7.14 ^{cde}	41.62 ^b	47.15 ^{de}	11.60 ^b	3.28 ^a	14.50 ^{bc}	195.20 ^a

1. All values within a given column and within a given inoculation followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level by Duncan's New Multiple Range Test.

Table 3. Foliar concentration and uptake of nutrients in *P. thunbergii* seedlings inoculated with or without *P. tinctorius* ectomycorrhizal fungi.

Inoculation and Cu concentration (ppm)	Total N (%)	P (%)	K	Ca	Mg (%)	Na	Mn	Cu mg/kg	
Pt. +Cu	0	0.362 ^{bcdl}	0.33 ^a	1.413 ^a	0.353 ^d	0.183 ^b	0.036 ^c	0.114 ^b	18.8 ^d
	40	0.458 ^a	0.36 ^a	1.368 ^a	0.476 ^c	0.273 ^a	0.021 ^f	0.107 ^b	24.2 ^{cd}
	120	0.404 ^b	0.31 ^{ab}	1.237 ^b	0.350 ^d	0.155 ^{bc}	0.045 ^d	0.090 ^{cd}	25.8 ^{bc}
	260	0.374 ^{cde}	0.27 ^{abc}	1.245 ^b	0.254 ^e	0.164 ^{bc}	0.057 ^c	0.095 ^c	26.2 ^{bc}
	430	0.275 ^g	0.27 ^{abc}	1.164 ^{bc}	0.224 ^e	0.143 ^{cd}	0.072 ^b	0.076 ^c	30.8 ^{ab}
Non.Pt. +Cu	0	0.397 ^{bc}	0.16 ^c	1.088 ^{cd}	0.660 ^a	0.161 ^{bc}	0.057 ^c	0.138 ^a	21.6 ^{cd}
	40	0.352 ^e	0.23 ^{abc}	0.960 ^{ef}	0.572 ^b	0.183 ^b	0.042 ^{de}	0.085 ^d	24.6 ^c
	120	0.359 ^{de}	0.19 ^{abc}	1.010 ^{de}	0.590 ^b	0.183 ^b	0.057 ^c	0.070 ^{ef}	26.8 ^{bc}
	260	0.313 ^f	0.18 ^{bc}	0.884 ^f	0.459 ^c	0.153 ^{bc}	0.063 ^c	0.070 ^{ef}	32.6 ^a
	430	0.298 ^{fg}	0.13 ^c	0.765 ^g	0.458 ^c	0.119 ^d	0.146 ^a	0.066 ^f	34.4 ^a

1. All values within a given column and within a given inoculation followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level by Duncan's New Multiple Range Test.

Table 4. Root concentration and uptake of nutrients in *P. thunbergii* seedlings inoculated with or without *P. tinctorius* ectomycorrhizal fungi.

Inoculation and Cu concentration (ppm)	Total N (%)	p mg/kg	K	Ca	Mg (%)	Na	Mn	Cu mg/kg	
Pt. +Cu	0	0.397 ^d	0.46 ^{ab}	1.281 ^a	0.579 ^a	0.101 ^e	0.140 ^d	0.061 ^a	35.4 ^f
	40	0.473 ^a	0.48 ^a	0.906 ^c	0.497 ^{ab}	0.147 ^a	0.194 ^{bcd}	0.051 ^{bc}	62.4 ^e
	120	0.427 ^{bc}	0.44 ^b	0.803 ^{ef}	0.390 ^{cd}	0.134 ^b	0.182 ^{bcd}	0.045 ^c	108.8 ^{cd}
	260	0.404 ^{cd}	0.45 ^b	0.816 ^{cde}	0.366 ^d	0.126 ^c	0.198 ^{bcd}	0.048 ^{bc}	202.6 ^c
	430	0.351 ^e	0.41 ^c	0.743 ^f	0.351 ^{ab}	0.089 ^f	0.314 ^a	0.037 ^{de}	297.6 ^b
Non.Pt. +Cu	0	0.412 ^{cd}	0.31 ^d	1.122 ^b	0.522 ^{ab}	0.099 ^e	0.150 ^{cd}	0.055 ^{ab}	52.2 ^{ef}
	40	0.465 ^a	0.25 ^e	0.869 ^{cd}	0.474 ^{bc}	0.099 ^e	0.224 ^b	0.050 ^{bc}	63.2 ^e
	120	0.450 ^{ab}	0.25 ^e	1.728 ^{ef}	0.339 ^{de}	0.122 ^c	0.209 ^{bc}	0.044 ^{cd}	112.2 ^d
	260	0.420 ^{cd}	0.24 ^{ef}	0.780 ^{def}	0.363 ^d	0.111 ^d	0.194 ^{bcd}	0.034 ^e	214.4 ^c
	430	0.412 ^{cd}	0.22 ^f	0.689 ^f	0.243 ^e	0.084 ^f	0.302 ^a	0.033 ^e	349.0 ^a

1. All values within a given column and within a given inoculation followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level by Duncan's New Multiple Range Test.

葉分析 結果는 Table 3과 같다. 全窒素는 生長이 旺盛한 接種區 40ppm區에서 가장 높게 나타났고, 接種區 430ppm區에서 가장 낮은 吸收가 보였으며, 一般적으로 接種區에서 높은 吸收가 있었다. P는 接種區에서 높은 有意의인 吸收를 보였으며, 接種區 40ppm區에서 가장 많은 吸收를 나타내었고, 非接種區 430ppm區에서 가장 적은 吸收가 있었다. K의 吸收도 接種區에서 높은 吸收가 있었고, 高濃度로 갈수록 吸收가 적었다. Ca는 非接種區에서 높은 吸收가 있었고, Mg는 接種區 40ppm區에서 가장 높은 吸收를 보였고, 非接種區 430ppm區에서 吸收가 가장 低調했

며, 接種區는 高濃度에서도 吸收가 높았으나, 非接種區는 吸收가 크게 低下되었다. Mn은 接種區와 非接種區 모두 0ppm區에서 가장 높게 나타났고, 高濃度로 갈수록 吸收가 低調했으며, 接種區는 高濃度에서도 吸收가 높았으나, 非接種區는 吸收가 크게 低下되었다. Cu吸收는 接種區와 非接種區間에 큰 差異는 보이지 않았으나 非接種區에서 含量이 많았다.

3) 根分析

根分析 結果는 Table 4와 같다. 全窒素에서는 接種區와 非接種區間에 差異는 적었으나, 生長이 좋았던 接種區 40, 120ppm區에서, 높은 吸收가

있었다. P, Ca은 接種區에서 非接種區보다 높은 함량이 있었으며, 高濃度로 갈수록 吸收가 적었다. Mg은 接種區에서 40, 120, 260ppm區에서 吸收가 높았고, 非接種區內에서는 120ppm區에서 吸收가 많았으며, 一般的으로 接種區에서 높게 나타났다. Mn은 뚜렷한 差異는 나타내지 않았으나 接種區에서 높게 나타났으며, Cu는 高濃度로 갈수록 非接種區에서 매우 높게 吸收되었다.

IV. 引用 文 獻

1. 安藤 信. 1980. 過剩Cu處理された當年生クロツ苗の光合成及び呼吸—重金屬 汚染 と樹木の生長I—. 京大演報. 52: 1-10.
2. 安藤 信. 1981. 過剩Cu處理された當年生クロツ苗の植物體內 Cu濃度變化—重金屬汚染と樹木の生長II—. 京大演報. 52: 24-32.
3. 安藤 信. 1982. 過剩Cu處理された當年生クロツ苗の發芽, 伸長, 肥大生長に 及ぼす影響—重金屬汚染と樹木の生長III—. 京大演報. 54: 31-41.
4. 吳光仁·朴文秀. 1989. 外生菌根菌과 窒素施肥 水準이 졸참나무 苗木 生長에 미치는 影響. 韓國林學會誌. 78: 160-167.
5. 吳光仁·朴華湜. 1990. 培養土, 菌根接種 및 窒素施肥 水準이 2年生 해송 苗木 生長과 菌根形成에 미치는 影響. 韓國林學會誌. 79: 309-315.
6. 吳光仁·鄭南澈·朴華湜. 1993. 全南地方에서 分離된 外生菌根菌의 接種에 의한 상수리나무 苗木의 生長反應과 菌根의 分類學的 研究. 韓國林學會誌. 82(4): 366-380.
7. Arnebrant, K., E. Bääth, and A. Nordgren. 1987. Copper tolerance of microfungi isolated from polluted and unpolluted forest soil. *Mycologia*. 79(6): 890-895.
8. Colpaert, J.A., and J.A. Van Assche. 1987. Heavy metal tolerance in some ectomycorrhizal fungi. *Functional Ecology*. 1: 415-421.
9. Colpaert, J.A., and J.A. Van Assche. 1992. The effects of Cadmium and the cadmium-Zinc interaction on the axenic growth of ectomycorrhizal fungi. *plant and Soil*. 145: 237-243.
10. Colpaert, J.V. and J.A. Van Assche. 1992. Zinc toxicity in ectomycorrhizal *Pinus sylvestris*. *Plant and Soil*. 143: 201-211.
11. Denny, H.J., and D.A. Wilkins. 1987. Zinc tolerance in *Betula* Spp. IV. The mechanism of ectomycorrhizal amelioration of zinc toxicity. *New phytol.* 106: 545-553.
12. Grossnickle, S.C., and C.P.P. Reid. 1982. The use of ectomycorrhizal conifer seedlings in the revegetation of mine site. *Can. J. For. Res.* 12: 354-361.
13. Jones, M.D., and T.C. Hutchinson. 1988. Nickel toxicity in mycorrhizal birch seedlings infected with *Lactarius rufus* or *Scleroderma flavidum* II. uptake of nickel, calcium, magnesium, phosphorus and iron. *New phytol.* 108: 461-470.
14. Kocourek, R., and A. Bystrican. 1989. Fine Root and mycorrhizal biomass in Norway spruce(*picea abies* L.) forest stands different pollution stress. *Agri., Ecosystems and Environment*. 28: 235-242.
15. Marx, D.H., and J.D. Artman. 1979. *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae improve survival and growth of pine seedlings on acid coal spoils in kentucky and Virginia. *Reclam. Rev.* 2: 23-31.
16. Mahoney, M.J., Chevone, B.I. Skelly., Moore, L.D. 1985. Influence of mycorrhizae on the growth of loblolly pine seedlings exposed to ozone and sulfur dioxide. *Phytopathology*. 75: 679-682.
17. Norden, A., E. Bääth, and B. Söderstöm. 1985. Soil microfungi in an area polluted by heavy metals. *Can. J. Bot.* 63: 448-455.
18. Oh, K.I. 1984. Growth and ectomycorrhizal development of container-grown *Quercus acutissima* seedlings inoculated with *Pisolithus tinctorius*. *Jour. Korean For. Soc.* 67: 10-16.
19. Oh, K.I. 1987. On ectomycorrhizal development and physiological variation of container-grown *Quercus acutissima* seedlings inoculated with *Pisolithus tinctorius*. Department of forestry, Graduate school, Chonbuk National

- University PhD. 124p.
20. Oh, K.I. and W.H. Park. 1988. Mycorrhizal development and growth stimulation of *Pinus thunbergii* seedling inoculated with *Pt.* at two soil mixtures treated with six nitrogen levels. Jour. Korea For. Soc. 77: 361-370.
 21. Otto, P.C., and R. Boyle. 1984. The effects of sewage effluent on endomycorrhizal development in *Acer*. Can. J. For. Res. 14: 246-249.
 22. Weber, M.B., H. Schat and W.M. Ten Bookum-Van der Maarel. 1991. The effect of Copper toxicity on the Contents of nitrogen compounds in *Silene vulgaris*(Moench) Garcke.
 23. Wilkins, D.A. 1991. The influence of sheathing(ecto-) mycorrhizas of trees on the uptake and toxicity of metals. Agri. Ecosystems and Enviroment. 35: 245-260.