

臺灣杉幼苗感染 *Scutellospora nigra* 內生菌根之觀察

顏江河 鍾旭和

摘 要

分離自林試所六龜分所扇平工作站苗圃之 *Scutellospora nigra* 以玉米繁殖法經六個月後可獲得大量接種源。將回收之孢子接種於無菌發芽之臺灣杉幼苗，在溫室中生長 10 個月後，進行收穫及根部掃描電子顯微鏡觀測。結果顯示接種菌根之幼苗平均生長長達 12.2 cm，全株濕重為 10.42 g，分別為對照組之 4.8 倍與 23 倍。顯示 *S. nigra* 對臺灣杉幼苗的生長具極顯著的生長效益，而未接種之苗木雖施用完全營養液其生長仍呈嚴重遲滯且瀕臨死亡，顯示臺灣杉幼苗對 *S. nigra* 內生菌根的共生有絕對的生理需求；*S. nigra*，孢子呈深褐至黑色、圓形，平均直徑 345 μm，孢壁二層，外壁呈凹穴狀構造，輔生細胞 (Auxiliary cell) 呈圓形，表面光滑，8-15 個環生；感染臺灣杉根部後，於皮層細胞第三與第四層形成真菌帶，菌絲的發展延伸只有細胞內菌絲 (intracellular hypha)，而無細胞間菌絲 (intercellular hypha)，叢枝體 (arbuscle) 發展良好，在崩解中的叢枝體表面具有絨毛狀物質，推測為寄主細胞質在此聚集進行養分的交換，惟囊狀體 (vesicle) 則未發現，證實 *Scutellospora* 與 *Gigaspora* 兩屬菌根菌種在感染寄主細胞後並不形成囊狀體。

關鍵詞：臺灣杉、內生菌根、掃描電子顯微鏡 *Scutellospora nigra*

顏江河、鍾旭和，1990，臺灣杉幼苗感染內生菌根之研究，林業試驗所研究報告季刊，5(1)：51-60, 1990。

Observations on the Endomycorrhizae of *Taiwania cryptomeriodes*
Infected with *Scutellospora nigra*

Chiang-Her Yen and Hsu-Ho Chung

[Summary]

The purposes of the study were: 1. to observe the morphological characteristics of *Scutellospora nigra* spore and mycorrhizal morphology of *Taiwania (Taiwania cryptomeriodes* Hay.) infected with *S. nigra*, 2. to test the effects of mycorrhizal infections on the growth of *Taiwania* seedlings.

The pure *S. nigra* spore were obtained from corn seedlings inoculated for 6 months with the spore originally isolated from Lu-kuei Branch Station, Taiwan Forest Research Institute. The about-75-days-old seedlings of *Taiwania* were inoculated with @25, @50 or zero spores of *S. nigra*. Seedlings were grown in greenhouse and fertilized with 50 c.c. complete nutrient solution every week for 10 months. Then the height and total fresh weight of seedlings were measured, and the roots were observed by scanning electron microscopy.

From this study the following conclusion were obtained: 1. *S. nigra* could form endomycorrhizae with *Taiwania* which developed intracellular hyphae and

1989年7月送審

1989年12月通過

arbuscule with no intercellular hyphae and vesicule; 2. the fungal zones were mainly between the third and fourth cortical cell layer; 3. the growth of Taiwania seedlings mycorrhizae with *S. nigra* were significantly increased, while the uninoculated seedlings were severely stunted.

Key words: *Taiwania cryptomerioides*, Endomycorrhizae, Scanning electron microscopy, *Scutellospora nigra*.

Chiang-Her Yen, Hsu-Ho Chung, 1990. Observations on the Endomycorrhizae of *Taiwania cryptomerioides* Infected with *Scutellospora nigra*. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 5(1): 51-60

一、緒 言

地球上絕大部份維管束植物皆具內生菌根(endomycorrhizae)感染(Gerdemann 1968),其能促進宿主植物之礦物養分吸收亦已為不爭之事實(Baylis 1959, Clark 1969, Daft and Hacskeylo 1977, Daft and Nicolson 1966),在低肥力貧瘠地或缺磷之生育地菌根的功效更顯重要(Mosse 1972, Murdoch et. al. 1967, Powell and Daniel 1978)。國內有關菌根與林木生長關係的研究仍有限,翁建勇(1981)以 *Glomus fasciculatus* 接種紅檜,扁柏及臺灣杉;張焜標(1984)亦以同一兩種接種外來相思樹,其餘皆以園藝作物或外生菌根為試驗材料。內生菌根應屬接合菌亞群(Zygomycotina)中之接合菌綱(Zygomycetes)、內生菌目(Endogonales)、內生菌科(Endogonaceae),1974年 Gerdemann and Trappe 綜合有關內生菌孢子報告,首先發表內生菌分類系統,計有七屬,分別為 *Acaulospora*, *Endogone*, *Gigaspora*, *Glaziella*, *Glomus*, *Modicella* 與 *Sclerocystis*,共 44 種孢子,爾後陸續發表的菌種不斷增加,至今已超過一百餘種。1979年 Ames and Schneider 發表另一新屬 *Entrophospora*, 至 1986年 Walker and Sanders 再將 *Gigaspora* 分為 *Gigaspora* 與 *Scutellospora* 二屬。本研究以分離自野外苗圃之 *S. nigra* 為材料接種於臺灣杉幼苗,檢視 *S. nigra* 與臺灣杉的菌根合成親和性,及以掃描電子顯微鏡確定其內生菌根的形態,做為分類鑑定的基礎,並探討 *S. nigra* 對臺灣杉幼苗生長的功效。

二、材料與方法

(一)孢子接種源的分離與鑑定:

自林業試驗所六龜分所扁柏苗圃之臺灣杉幼苗根域挖取土壤,攜回實驗室,分別以不同孔徑之銅篩,用篩洗傾倒法(Gerdemann and

Nicolson 1963)分離出內生菌根孢子。並依孢子形態特徵作孢子種類鑑定(Koske and Walker, 1985, Hall and Fish 1979, Nicolson and Schenck 1979)。所得之孢子將其接種於無菌發芽之玉米,培養介質為 100 ㎍/㎝² 殺菌過之砂砂。置於溫室中培養半年後再進行孢子的回收。

(二)臺灣杉幼苗的培育與菌根接種生長試驗:

取臺灣杉種子經 30% H₂O₂ 表面殺菌 20 分鐘後,即以無菌水將多餘 H₂O₂ 洗除,旋播種於經 30 分高溫高壓(120°C, 0.8 kg/cm²)處理過之砂砂中,置於溫室中,待發芽後 75 天,選擇大小一致之幼苗進行接種。

於直徑 12cm, 深 10.5cm 之塑膠盆中,放入經高溫高壓殺菌過之砂砂 850 g,每盆植入臺灣杉幼苗一株,同時於根域下部置一直徑 2cm 錐形漏斗狀之濾紙,分別放入 *Scutellospora nigra* 孢子 50 顆、25 顆及不加孢子(對照組),每一處理各重覆 4 次。生長於溫室中每週施用完全營養液 50ml(王子定等 1970),經 10 個月後,進行生長測定與根域切片觀察。

(三)掃描電子顯微鏡觀測:

將上述分離之孢子及一年生合成之苗木根系,以自來水洗淨後,放於含 2.5% glutaraldehyde 之 Sorenson's phosphate 緩衝液(pH=7.0)中前固定 2-3 天(4°C),再以相同緩衝液換洗 3-4 次,每次 15 分鐘,繼放入 2% 四氧化銨(Osmium tetroxide)進行後固定 3-4 小時(至樣品變黑為止),再以緩衝液沖洗 3 次(各 15 分鐘),旋以銳利刀片將樣品橫切或縱切,再經丙酮系列(30%、50%、75%、85%、95%、100%、100%、100%)進行脫水,每次 15 分鐘,再經 CO₂ 進行臨界點乾燥(critical point drying),最後將樣品固著於鋁台上,以離子覆膜機(Ion sputter Coater),鍍上金膜,於掃描電子顯微鏡下觀察。

三、結果與討論

Gigaspora nigra 於 1979 年首先被發表命名

(Nicolson and Scheck 1979), 在奈及利亞 (Nigeria) 能與多種植物共生 (Old et al. 1973), 同時在佛羅里達 (Florida) 之大豆 (Glycine max) 根域亦有發現。1986年 Walker and Sanders重新整理 Gigaspora 屬, 依孢子壁 (Wall structure) 及輔生細胞 (Auxiliary cell) 表面形態與發芽特性 (Germination Characteristics), 將 23 種 *Gigaspora* 分為 *Gigaspora* 與 *Scutellospora* 兩屬, 本報告中之 *nigra* 即屬於 *Scutellospora nigra* (Redhead) Walker & Sanders。

在臺灣蘭秋源 (1985) 首先在楓香根域發現 *S. nigra* 鍾旭和與顏江河 (1986) 在林試所進率池分育苗區發現 *S. nigra* 能與杉木形成菌根。本試驗在林試所六龜分所屬平工作站苗圃亦發現 *S. nigra*, 其性狀詳述如下:

單生, 非結合孢子 (azygospores), 深褐色至黑色, 圓型, 直徑 280 - 450 μ (圖 1.2.3.) 具二層胞壁, 外壁深褐色至黑色, 表面具凹穴狀 (3.5 μ - 8.0 μ) 構造, 孔內分佈細小菌絲 (圖 4.6); 內壁淡褐色呈連續性透明層狀。

Suspensor 在孢壁上呈膨大狀 (40 \times 75 μ), 淡褐色 (圖 4.5)。輔生細胞 (Auxiliary cell) 或稱根外囊 (Accessory soil-borne vesicles) 呈圓狀 (17 μ 表面光滑, 經常 8-15 個聚生在一起, 並於菌絲接觸基部有捲曲狀菌絲 (圖 9.15)。圖 2 顯示為一未成熟之孢子, 惟其 Suspensor 之大小與成熟孢子之 Suspensor 大小一樣, 故可推知孢子的形成先由菌絲頂部膨大成 Suspensor 後再由菌絲供給養分而漸漸成熟加大。

S. nigra 在溫室培養中以玉米繁殖法, 經半年即可由根域篩出孢子, 由於其孢子極大, 在立體顯微鏡下, 以 250 μ 之篩網即可獲得試驗材料。在掃描電子顯微鏡下觀察臺灣杉苗木根部表面形態, 顯示附著表皮的菌絲 (extramatrical hypha) 在穿入點 (entry point) 的位置略有膨大現象 (圖 7), 此一膨大體 (稱之為 appressorium) 形成於進入根部之前, 而存在於根表面 (Cox et al 1975)。在圖 3 與圖 5, 顯示連接 suspensor 之菌絲大小在 10 μ 上下, 而在根表皮菌絲 (圖 7) 及著生輔生細胞之菌絲 (圖 9) 則在 5-6 μ 左右, 在進入根皮層細胞後則為 3.5 μ 左右 (圖 13), 待其形成叢枝體 (arbuscule) 時則僅 0.7 μ (圖 12)。由此可推得知從土壤中菌絲在往根部穿入後漸形變小而在形成孢子時則菌絲加大。

自外部皮層細胞進入之菌絲, 主要分布在第 3 至第 4 層皮層細胞 (圖 10), 形成菌齒在根內的

主要聚落, 稱之為菌齒帶 (Fungal zone)。在此層細胞間, 菌齒菌絲直接穿過細胞, 稱之為胞內菌絲 (intracellular hypha), 惟並未發現 *S. nigra* 有胞間菌絲 (intercellular hypha)。

進入皮層細胞腔內之菌絲往往先形成菌絲捲 (fungi coil) (圖 13, 16), 由這些菌絲捲再行分枝向較內層之皮層細胞發展, 而形成叢枝體 (arbuscule)。叢枝體之基部為菌絲幹 (arbuscule trunk) (圖 12), 其直徑與表面菌絲相若約 5 μ , 由菌絲幹菌絲重覆分叉而成最細菌絲 (0.7 μ), 因此往往整個細胞腔充滿叢枝體, 當整個叢枝體分叉完成後, 叢枝體構造發展即告成熟, 繼之, 自頂端最細菌絲開始呈相繼崩解現象, 至崩解後期而成團狀, 稱為崩解的叢枝構造 (Collapsed arbuscule) (圖 12, 14, 16), 僅留下較粗菌絲尚可分辨其形態。Bushnell (1972) 首先指出此叢枝構造很可能是寄生與真菌之間交換營養之所在, 後來 Kinden and Brown (1975a, b, c, d, 1976) 及 Cox and Sanders (1974) 皆証實此一論點, 意即只有在寄生皮層細胞內形成叢枝體, 菌根的共生關係始能進行。圖 8 顯示叢枝體之細菌絲為絲網狀物質所纏繞, 與翁達亮 (1981) 以 *Glomus fasciculatus* 接種扁柏所發現相似, 此圖中可明顯看見菌絲幹及分叉的叢枝體, 推測叢枝體即將崩解此時寄生細胞質在此聚集, 進行養分的交換。

由玉米繁殖出來之 *S. nigra* 接種於臺灣杉幼苗經 10 個月後, 其生長差異如圖 17 所示。接種苗木平均高生長為 12.2 \pm 0.82 cm, 全株濕重平均 10.42 \pm 0.39 g, (接種 50 顆孢子與 25 顆孢子不具差異), 而未接種者雖施以完全營養液惟其生長仍呈嚴重遲滯現象且瀕臨死亡, 高生長平均僅 2.5 \pm 0.36 cm, 全株濕重 0.45 \pm 0.038 g。顯示臺灣杉幼苗對菌根有一絕對的生理需求, 與 Clark (1963) 以黃楊 (yellow poplar) 及 Bayliss (1959) 以楓香 (*Liquidambar styraciflua*) 所得結果相似。*S. nigra* 接種 50 顆與 25 顆孢子結果不具顯著差異, 其原因可能為該孢子發芽時具多數發芽管 (Nicolson and Shenck 1979, Walker and Sanders 1986) 故 25 顆孢子即足以產生適當的感染。惟臺灣杉根系感染 *S. nigra* 的濃度為多少始能產生最佳菌根效益則有待進一步的定量試驗探討。

圖片部份之縮寫中英對照表

AC	叢枝構造之崩解	collapsed arbuscule
ARB	叢枝體	arbuscule

AVC 輔生細胞	auxiliary cell
AT 叢枝構造之幹菌絲	arbuscule trunk
EH 根部表皮之附著菌絲	extramatrical hypha
EP 穿入點	entry point
FC 菌絲捲	fungal coil
H 菌絲	hypha
HW 細胞壁	host cell wall
INH 細胞內之菌絲	intra-cellular hypha
RE 根部表皮	root epidermis

圖 1. *Scutellospora nigra* 在顯微鏡下之形態，呈圓形，孢子柄 (Suspensor) 於基部處膨大，彎曲狀。× 150

Fig. 1. Under light microscope the spore of *s. nigra* showing spherical shape with bulbous suspensor. x 150.

圖 2. 正在成熟階段的 *S. nigra* 在立體顯微鏡下顯示孢子柄與成熟者一樣大，而孢子較成熟者小。× 110

Fig. 2. The suspensor of unmatre spore is as large as the mature spor's, but the spore of former is smaller than later. x 110.

圖 3. *S. nigra* 在 S. E. M. 下表面具凹穴狀之構造，連接孢子柄之菌絲在 10 μm 左右。

Fig. 3. The scanning electron micrography of *s. nigra* spore showing the reticulation of the outer wall, and projecting hypha form suspensor about 10 μm in diameter.

圖 4. 成熟的 *S. nigra* 其連接的孢子柄經常因外力而脫落，顯出中空之內部。

Fig. 4. The suspensor of mature spore usually shed under exterior force showing the hollow interior.

圖 5. 生長中的 *S. nigra* 其連接的孢子柄以外力將其撥落後，顯出孢子柄內部充滿物質。

Fig. 5. After shed by exterior force, the suspensor of unmatre spore showing that the interior is full with material.

圖 6. *S. nigra* 孢子表面以 S. E. M. 可見凹穴狀構造，內具有菌絲。

Fig. 6. The scanning electron micrography of *s. nigra* spore surface showing many hypha within the cavities.

圖 7. *S. nigra* 在臺灣杉根部顯示穿入點菌絲膨大現象。

Fig. 7. The extramatrical hypha swelled at the entry point.

圖 8. 可能即將崩解的叢枝體構造被寄主細胞質所包圍纏繞。

Fig. 8. The undergoing digestion arbuscule are embedded in host cytoplasm.

圖 9. 輔生細胞 (Auxiliary cell) 之 S. E. M. 觀察，顯示數個叢生在一起，在基部與菌絲接觸處有捲曲狀細小菌絲。箭頭指處。

Fig. 9. The scanning electron micrography showing the clumps of auxiliary cell with small hyphae twisted in the base.(arrow)

圖 10. 臺灣杉根部感染 *S. nigra* 後，在第三、第四層皮層細胞形成菌叢落帶 (fungal zones) 的情形。

Fig. 10. The fungal zone within 3th and 4th cortex cell of Taiwania root after infected with *s. nigra*.

圖 11. 皮層細胞腔內正在分解的叢枝體構造。

Fig. 11. The disintegrating arbuscule within the cortex cell.

圖 12. 13. 不同時期的叢枝體。

Fig. 12, 13 Different disintegrating stages of arbuscule.

圖 14. 已經崩解後成團狀的叢枝體。

Fig. 14. The clump of collapsed arbuscule.

圖 15. 輔生細胞 (Auxiliary cell) 或稱根外囊 (soil-borne vesicle) 連續著生在同一菌絲上。× 170

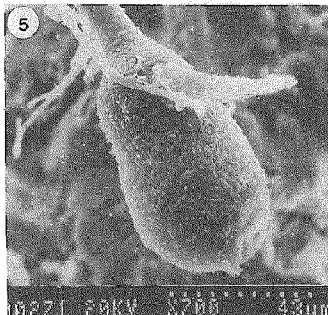
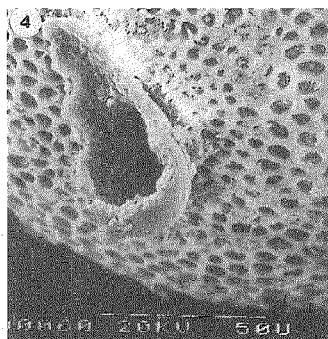
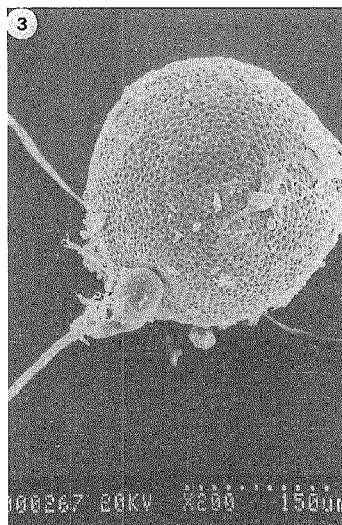
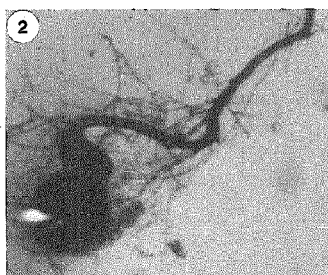
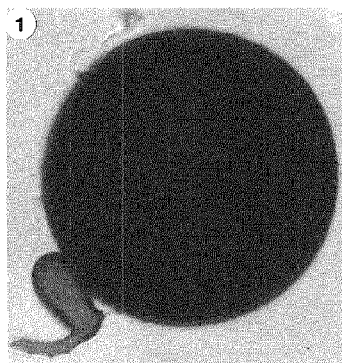
Fig. 15. Many auxiliary cells (soil-borne vesicles) clump in the same hypha. x 170.

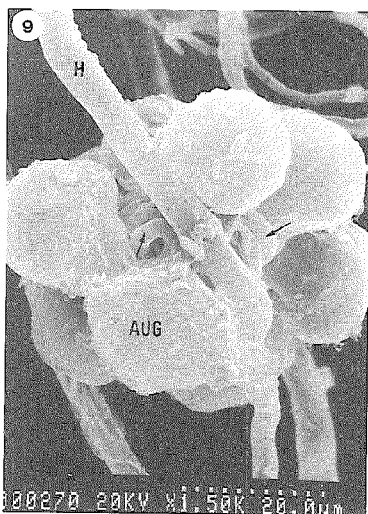
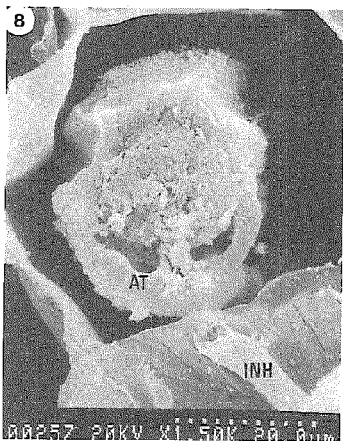
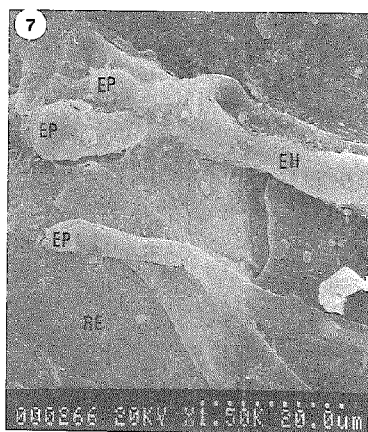
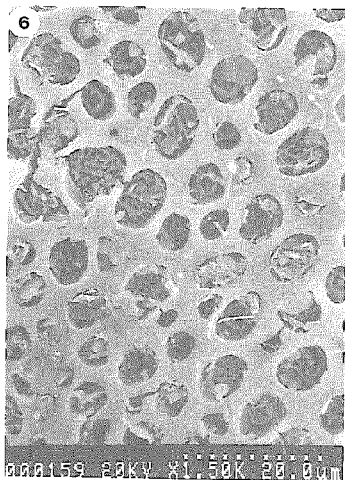
圖 16. 數個相連的細胞，其腔內具不同發展時期的菌絲及叢枝體構造。* 崩解叢枝體 * * 正在進行養分交換的叢枝體構造。

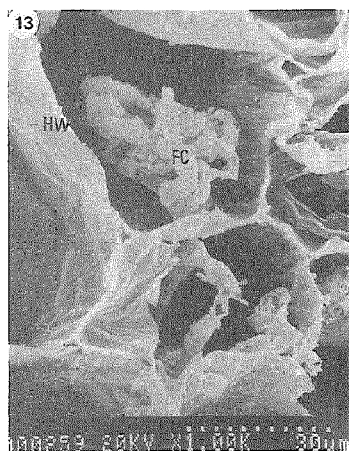
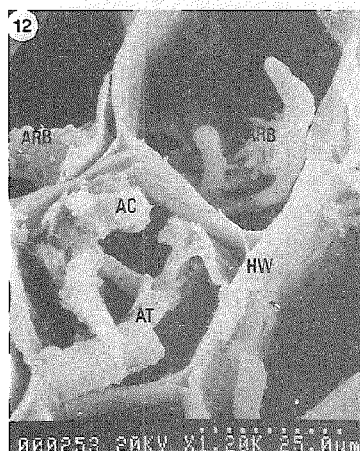
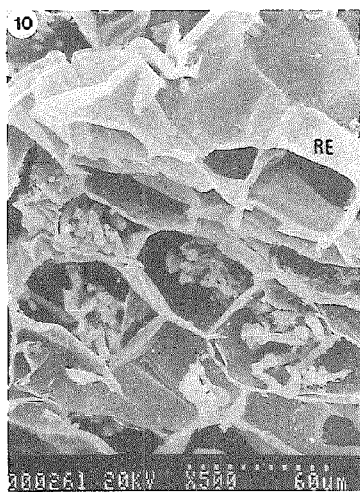
Fig. 16. The differnet collapsed stages of arbuscule within host cortex cells. *: collapsed arbuscule, **: undergoing digestion arbuscule.

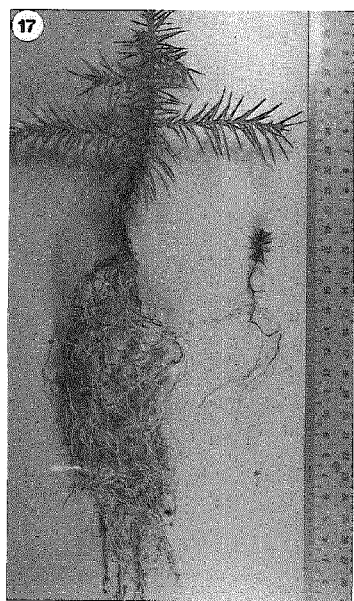
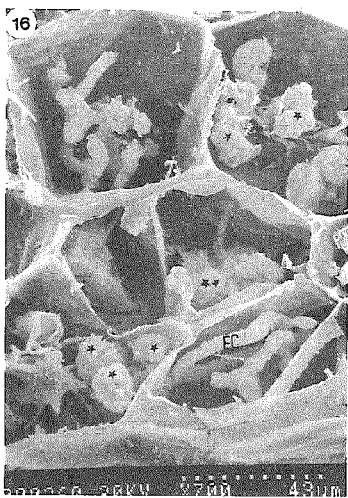
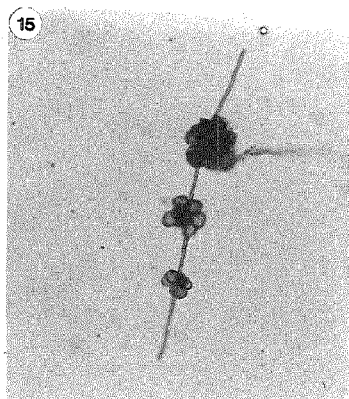
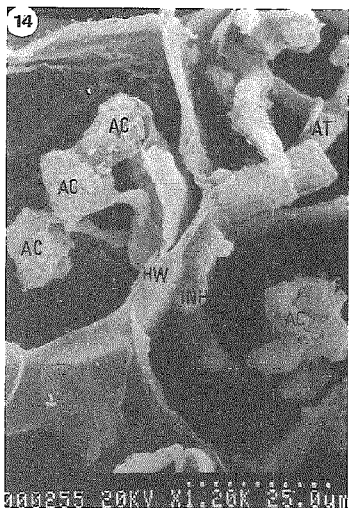
圖 17. 臺灣杉幼苗接種 *S. nigra* 10 個月後與未接種苗木生長的差異。

Fig. 17. Effects of mycorrhizal inoculation on the growth of Taiwania after 10 months infected with *s. nigra*.









引用文獻

- 王子定 胡弘道 朱祺瓊 1970 氮、磷、鉀濃度及 pH 值對濕地松幼苗生育之影響。台大實驗林研究報告第 85 號
- 翁建堯 1981 臺灣杉、紅檜及臺灣扁柏內生菌根之研究
台大森研所碩士論文
- 張煜標 1984 外來相思樹之固氮作用與內生菌根之效應
台大森研所碩士論文
- 鍾旭和 嚴江可 1986 砂床培育帶菌根苗之研究
國科會補助計劃年度報告(未發表)
- 簡秋源 1985 臺灣楓樹內生菌繁殖體定量測定之研究
中央研究院植物研究所專刊第 6 號 93-104 頁
- Ames, R. N. and R. W. Schneider. 1979. *Entrophospora*, a new genus in the Endogonaceae. *Mycotaxon*. 8(2):347-352.
- Baylis, G. T. S. 1959. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas on the growth of *Griseolinia littoralis* (cornaceae). *New Phytol.* 58:274-280.
- Bushnell, W. R. 1972. Physiology of fungal haustoria. *Ann. Rev. Phytopathol.* 10: 151-176.
- Clark, F. B. 1963. Endotrophic mycorrhizae influence yellow poplar seedling growth. *Science*. 140:1200-1221.
- Clark, F. B. 1969. Endotrophic mycorrhizal infection of tree seedlings with *Endogone* spores. *For. Sci.* 15(2):134-137.
- Cox, G. and F. E. Sanders. 1974. Ultrastructure of the host-fungus interface in a vesicular-arbuscular mycorrhizae. *New Phytol.* 73:901-912.
- Cox, G., F. E. Sanders, P. B. Tinker and J. A. Wild. 1975. Ultrastructural evidence relating to host-endophyte transfer in a vesicular-arbuscular mycorrhiza. - in: *Endomycorrhizas*. (Ed. F. E. Sander, B. Mosse and P. B. Tinker). pp. 297-312. Academic Press. London.
- Daft, M. J. and E. HacsKaylo. 1977. Growth of endomycorrhizal and nonmycorrhizal red maple seedlings in sand and anthracite spoil. *For. Sci.* 23(2):207-216.
- Daft, M. J. and T. H. Nicolson. 1966. Effect of Endogone mycorrhiza on plant growth. *New Phytol.* 65:343-350.
- Gerdemann, J. W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Ann. Rev. Phytopathol.* 6:397-418.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol.* 46:235-244.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in Pacific Northwest. *Mycologia Memoir.* 5:1-75.
- Hall, I. R. and B. J. Fish. 1979. A key to the Endogonaceae. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 73(2):261-270.
- Kinden, D. A. and M. F. Brown. 1975a. Technique for scanning electron microscopy of fungal structures within plant cells. *Phytopathology.* 65:74-76.
- Kinden, D. A. and M. F. Brown. 1975b. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. I. Characterization of endophytic structures by scanning electron serescopy. *Can. J. Microbiol.* 21:989-993.
- Kinden, D. A. and M. F. Brown. 1975c. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. II. Intracellular hyphae and vesicles. *Can. J. Microbiol.* 21:1768-1780.
- Kinden, D. A. and M. F. Brown. 1975d. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. III. Host-endophyte interactions during arbuscular development. *Can. J. Microbiol.* 21: 1930-1939.
- Kinden, D. A. and M. F. Brown. 1976. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. IV. Host-endophyte interactions during arbuscular deterioration. *Can. J. Microbiol.* 22:64-75.
- Koske, R. E. and Walker, C. 1985. Species of *Gigaspora* (Endogonaceae) with roughened outer walls. *Mycologia.* 77:702-720.
- Mosse, B. 1972. The influence of soil type and Endogone strain on the growth of mycor-

- rhizal plants in phosphate-deficient soils. *Rev. Ecol. Biol. Soil.* 9:529-537.
- Murdoch, C. L., J. A. Jackobs and J. W. Gerdemann. 1967. Utilization of phosphorus sources of different availability by mycorrhizal and non-mycorrhizal maize. *Plant and Soil.* 27(3):329-334.
- Nicolson, T. H. and N. C. Schenck. 1979. Endogoneaceous mycorrhizal endophytes in Florida. *Mycologia.* 71:178-198.
- Old, K. M., T. H. Nicolson and J. F. Redhead. 1973. A new species of mycorrhizal Endogone from Nigeria with a distinctive spore wall. *New Phytol.* 72:817-823.
- Powell, C. Li and J. Daniel. 1978. Mycorrhizal fungi stimulate uptake of soluble and insoluble phosphate fertilizer from a phosphate-deficient soil. *New Phytol.* 80: 351-358.
- Walker, C. and F. E. Sanders. 1986. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: III. from separation of *Scutellospora* Gen. nov. from *Gigaspora* Gerd. and Trappe. *Mycotaxon.* Vol. XXVII, pp. 169-182.

本所研究人員在外界發表之報告或論文調查表

作 者	出版年月	論文(或報告)題目	刊物名稱及卷期
林則桐、邱文良	1989	公告自然保留區之植被調查	農委會78年生態研究第21號
謝瑞忠、黃松根 孫正春、住本昌之 呂錦明	1989	不同樹種段木用不同菌種栽培 香菇差異研究	中華林業季刊 24(4) : 65-78
	1989	經濟竹種種子苗之培育及林相 改良方法之研究	農委會森林資源 經營及林相改良 研究報告第3號 p.113-118
呂錦明	1989	竹類種子苗培育之重要性及 目前之進展	臺灣用途樹種研討會 論文集 p.61-70
李鴻麟、張上鎮 王俊淵	1989	紙張用染料耐光性之比較	林產工業 8(4) : 49-63
張上鎮	1989	光譜分析之利器—霍氏紅外線 光譜分析	林產工業 8(4) : 112-124
江 濤、潘富俊 馬復京、楊政川	1989	直幹相思樹與耳莢相思樹天然 雜交之過氧化同功酶佐證圖	中華林學季刊 Vol 22, No.4
鍾振德、許原瑞 張添榮、楊政川	1990	直幹相思樹幼年期樹高、胸徑 與材積之種源變異	中華林學季刊 Vol 23, No.1
柳 楷、蘇蔚波 鄭皆達、林壯沛	1990	集水區經營研究成果轉移及森林 集水區水文觀測站之初步規劃	農委會79年「水土保持及集水區經 營研究」工作討論會(計劃報告資 料彙整, 第三組: 土地利用逕流)
盧惠生、林壯沛 陸象豫、黃良鑫	1990	上游集水區逕流特性之研究 (1)逕流係數	農委會79年「水土保持及集水區經 營研究」工作討論會(計劃報告資 料彙整, 第三組: 土地利用逕流)
陸象豫、魏新河	1990	水文歷線分析及繪圖電腦程式簡介	水與土通訊第三期
黃正良、夏禹九 盧惠生、漆盛忠 陳財輝、林壯沛	1990	上游集水區林道泥沙生產特性及 邊坡植生穩定效果研究(二)	農委會79年「水土保持及集水區經 營研究」工作討論會(計劃報告資 料彙整, 第三組: 土地利用逕流)
夏禹九、洪富文 黃正良、王立志	1990	水庫集水區溪岸保護帶對農業 肥料泥砂的緩衝效用(二)	農委會79年「水土保持及集水區經 營研究」工作討論會(計劃報告資 料彙整, 第三組: 土地利用逕流)
黃瓊璣	1990	森林經營目標優先順序 之階層結構分析	臺灣林業16卷2期