

研究報告

台灣西部海岸林適生植物內生菌根菌調查研究

林子超¹ 顏江河²

【摘要】海岸林之生育地常因貧瘠、乾旱與高鹽分等多項逆境之影響，以致造林不易成功。內生菌根菌與植物共生後能幫助植物吸收礦物營養與水分，並增強其耐旱性、耐鹽性及抗病力等。本研究針對台灣西部沿海適生植物進行菌根菌現況調查，以了解各地區植物之內生菌根菌組成，以期將來提供海岸造林工作的參考資料，以提高造林之成效。

本研究於 2008 年至 2009 年間赴台灣西部海岸進行台灣海岸林適生植物內生菌根菌調查，共取樣點 38 處，每處樣點取臨近區域適生植物根系土壤 3 份，共計 114 份樣本，以了解海岸林菌根菌的組成。共記錄 8 屬 20 種內生菌根菌。整體而言西部海岸林較具優勢的共生菌種為 *Acaulospora scrobiculata*、*Scutellispora calospora*、*Cetraspora pellucida* 及 *Glomus etunicatum* 等。優勢菌種經純化繁殖後，接種於黃槿 (*Hibiscus tiliaceus*) 及白水木 (*Messerschmidia argentea*) 無菌苗，10 個月後苗木形質生長與未接種菌根菌之苗木呈現明顯差異。

【關鍵字】海岸林、菌根菌

Research paper

Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF) in soils associated with the dominant plants in western coast of Taiwan.

Tzy-Chau Lin¹ Chiang-Her Yen²

【Abstract】The habitat of coastal forest is always so barren, arid and salty that difficult to afforest. The vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF) help plants to absorb nutrition and moisture, and raise the tolerance of plant in drought, salty and disease. This study investigated the VAMF composition of coastal plants in western Taiwan, in order to realize the difference in respective area and provide the information which would be useful in coastal afforesting.

In this study, 38 sampling locations and each location 3 soil-samples were taken from the plant rhizome nearby (totally 114 samples) during 2008-2009. Total 20 species in 8 genus of VAMF were found in the western coast of Taiwan, the predominant species are *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellispora calospora*, *Cetraspora pellucida* and *Glomus etunicatum*. The dominant VAMF were pure-cultured and then inoculated in *Hibiscus tiliaceus* and *Messerschmidia argentea* seedlings respectively, the

1. 國立中興大學森林系研究生。

Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

2. 國立中興大學森林系副教授，通訊作者。

Associate Professor, Department of Forestry, NCHU; Corresponding author.

growth of seedlings were significantly different in different processing 10 months later.

Key words: Coastal forest, mycorrhizal fungi

一、前言

海岸林具有防風、定砂、減輕鹽害及提供景觀等功能，為海洋和陸地間重要的一道生物屏障。然而海岸防風林之生育地常因貧瘠、乾旱與高鹽分等多項逆境之影響，以致造林不易成功。近年來，台灣因地層下陷、鹽田釋出及水產養殖廢棄等因素，荒廢鹽鹼地之面積逐年擴大，更使鹽鹼地復育造林之急迫性大增。當土壤鹽鹼化嚴重時，一般植物很難成活。由於土壤中可溶性鹽類的濃度過高，會破壞植物根部的滲透調節功能，造成脫水現象甚至死亡(潘瑞熾, 2006)，進而嚴重威脅海岸林之永續經營。

作物接種內生菌根菌之研究日益增多，其與植物共生後能幫助植物吸收礦物營養與水分，可促進植株之生長，增強其耐旱性、耐鹽性及抗病力，及提高移植苗之存活率(Newsham *et al.*, 1995)。本研究針對海岸林適生植物進行菌根菌現況調查，以了解台灣西部沿海地區植物之共生菌根菌組成，並從中探討菌根菌於鹽鹼地植群中扮演的角色，以期將來提供海岸造林工作的參考資料，以提高造林之成效。

二、材料與方法

(一) 野外採樣

本研究於 2008 年 6 月至 2009 年 12 月期間進行台灣西部沿海地區海岸林適生植物內生菌根菌調查，北起台北縣石門鄉富貴角，南至屏東縣恆春鎮白砂，共取樣點 38 處(圖 1)，並以衛星定位儀記錄樣區座標位置，樣區二度分帶座標如附錄 1。於每處樣點選取臨近區域海岸林適生植物根系土壤 3 份，共計 114 份樣本。於實驗室將野外採集的土壤樣本，秤取 100 g 土樣，以濕篩傾倒法 (Gerdeman and Trappe, 1974) 和糖液離心法 (Daniels and Skipper, 1982) 分離孢子，在解剖顯微鏡下計算孢子數

量並挑取孢子。以聚乙烯醇-乳酸-甘油(Polyvinyl alcohol lactophenol glycerol, PVLG) 包埋劑製作成半永久玻片 (Koske and Tessier, 1983)，以利於孢子的鑑定與標本之保存。孢子的鑑定與資料之記錄則採 Schenck 和 Perez (1990) 所建議的步驟進行。文中舊 *Scutellospora* 屬之分類採 Oehl 等 (2008) 之新分類群。

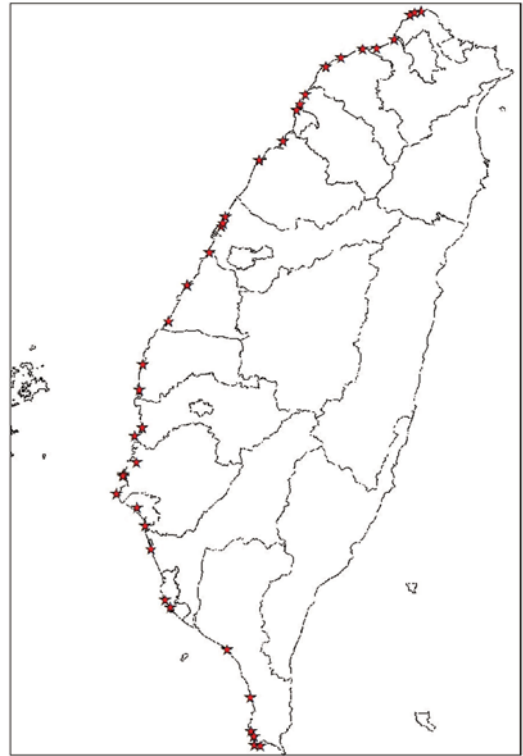


圖 1. 台灣西部海岸內生菌根菌調查樣點分布圖
Fig. 1. Inventory sites of VAM in western coast of Taiwan.

(二) 菌種純化、繁殖與菌根接種試驗

1. 菌種純化與繁殖

野外分離之菌種，其孢子數達 20 個/100 g 土以上者，將其以盆鉢培育法 (pot culture) (Gilmore, 1968) 進行菌種純化及孢子大量繁殖，栽

培介質為經高溫高壓滅菌處理 (121°C, 1.2 Kg/cm²) 之河砂, 宿主為高粱 (*Sorghum bicolor*)。6 個月後觀察產孢情況, 並進行苗木接種試驗。

2. 苗木培育及菌根菌接種試驗

於屏東縣恆春鎮車城採集海岸造林常見樹種, 黃槿 (*Hibiscus tiliaceus*) 及白水木 (*Messerschmidia argentea*) 等二種植物之種子。種子經 1% 次氯酸鈉 (NaOCl) 表面滅菌及清洗處理後, 播種於經高溫高壓滅菌處理 (121°C, 1.2 Kg/cm²) 之河砂。苗木培育期間僅實施噴灌而不進行任何施肥, 8 週後選取苗高大小及生長狀態較為一致之樣木, 進行菌根菌接種試驗。

以分離純化繁殖自黃槿根系之菌種 *Cetranspora pellucida* 及 *Glomus etunicatum* 接種於黃槿無菌苗, 並以不接種菌根菌為對照組; 以分離純化繁殖自白水木之菌種 *Scutellispora calospora* 及 *Acaulospora morrowiae* 接種於白水木無菌苗, 並以不接種菌根菌為對照組。每一處理各 4 株樣木。接種 10 個月後量測其苗高及根頸直徑作為形質生長之依據。試驗數據以電腦統計軟體 SPSS 進行單因子變異數分析 (one-way ANOVA), 並以最小顯著差異法 (Least Significant Difference method) (LSD) 分析各變數平均值間之差異。

三、結果與討論

(一) 西部海岸林適生植物內生菌根菌組成

土壤樣本經分離鑑定共記錄 8 屬 20 種內生菌根菌, 孢子均已製作半永久玻片及拍攝數位影像檔保存。研究發現 114 份土壤樣本中有 29 份無發現菌根菌孢子, 其餘 85 份樣本均有發現菌根菌孢子。單一土壤樣本孢子數最少 1 個/100 g 土, 最多 75 個/100 g 土, 單一土壤樣本最多可發現 5 種內生菌根菌。各菌種出現之樣點及伴生植物如表 1, 依菌種的地域分佈來看, *A. scrobiculata* 分布最廣, 出現的樣點數共 21 處。西海岸從北到南均可發現, 其次則是 *C. pellucida* 及 *S. calospora* 各有 17 及 15 處樣

點紀錄, 亦是從北到南均有分佈。其餘菌種則多屬零星分佈。部分菌種僅出現於特定區域如 *A. undulata* 僅於台南將軍樣點發現。*A. spinosa* 僅於恆春白沙樣點及後壁湖樣點發現。*S. verucosa* 僅於車城樣點發現。*Gigaspora albida* 僅於嘉義布袋樣點發現。*S. persica* 僅於高雄旗津樣點發現。各菌種之性狀特徵描述如下:

1. *Acaulospora mellea* Spain & Schenck

厚壁孢子單生於土壤中, 顏色為金黃色至棕黃色, 圓球形至近圓球形, 罕呈橢圓形或不規則形, 直徑 90-110 μm, 孢子壁厚 4-10 μm。破裂後成 3 壁群, 最外層黃棕色, 厚 2-6 μm, 與第 2 層壁不易分離。第 3 層壁呈透明至淺黃色, 厚 0.5-1 μm。發芽壁第 1 層壁透明, 厚 1 μm。發芽壁第 2 層壁亦呈透明, 厚 2-5 μm 與 Melzer's 染劑反應後呈淡紫色。(圖 2a)

2. *Acaulospora spinosa* Walker & Trappe

厚壁孢子單生於土壤中, 淡黃色, 圓球形至近圓球形, 直徑 140-200 μm。產孢菌絲脫落痕直徑 9-15 μm, 孢壁 3 層。第 1 層壁於孢子形成後不久即脫落較難觀察到。第 2 層壁厚 6-8 μm, 此壁層由密生的刺狀凸起所組成, 刺狀凸起平均寬 0.5-0.7 μm、高 1-4 μm。第 3 層壁厚 0.6-1.2 μm 與第 2 層壁合生或有時分開, 發芽壁分為 2 層。第 1 層壁約 1 μm, 與 Melzer's 染劑不產生反應。第 2 層壁約 2-2.5 μm 與 Melzer's 染劑反應後呈粉色至紫紅色。(圖 2b)

3. *Acaulospora scrobiculata* Trappe

厚壁孢子單生於土壤中, 初期的孢子呈半透明狀, 隨著成熟逐漸呈橄欖色至亮棕色, 呈圓球形至橢圓形, 直徑 110-200 μm。孢子表面均勻散布著凹痕紋路, 凹痕呈圓形至橢圓形, 或有時連接成線形或 Y 字形。凹痕間具有隆起物隔離, 最外層孢壁堅硬、有凹痕, 呈半透明至淡黃綠色, 厚 3-6 μm, 第 2、3 層壁光滑、透明。發芽壁第 1 層壁呈透明, 厚 1-1.5 μm 與 Melzer's 染劑不反應。發芽壁第 2 層呈透明, 厚 2-5 μm 與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅至深紅色。(圖 2c)

表 1. 菌種紀錄樣點編號及伴生植物

Table 1 . Inventory sites where VAMF was found and associated plants

VAMF	Inventory sites	Associated plants
<i>Acaulospora</i>		
<i>mellea</i>	10, 11, 18, 27, 33	<i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Pongamia pinnata</i> , <i>Pittosporum pentandrum</i>
<i>spinosa</i>	36, 38	<i>Scaevola sericea</i> , <i>Messerschmidia argentea</i>
<i>morrowiae</i>	1, 3, 6, 24, 30, 36	<i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Scaevola sericea</i> , <i>Messerschmidia argentea</i>
<i>scrobiculata</i>	4, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 38	<i>Pittosporum pentandrum</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Vitex rotundifolia</i> , <i>Celtis sinensis</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Phoenix hanceana</i> var. <i>formosana</i> , <i>Melaleuca leucadendra</i> , <i>Scaevola sericea</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>undulata</i>	24	<i>Scaevola sericea</i>
<i>Cetraspora</i>		
<i>pellucida</i>	1, 4, 5, 8, 12, 15, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 32, 34, 35, 36, 37	<i>Pittosporum pentandrum</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Vitex rotundifolia</i> , <i>Pongamia pinnata</i> , <i>Melaleuca leucadendra</i> , <i>Scaevola sericea</i> , <i>Messerschmidia argentea</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>Dentiscutata</i>		
<i>cerradensis</i>	15, 23, 20, 31	<i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Messerschmidia argentea</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>Fuscutata</i>		
<i>rubra</i>	9, 12, 15	<i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i>
<i>Glomus</i>		
<i>claroideum</i>	3, 5, 6, 11, 19, 29	<i>Pittosporum pentandrum</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>constrictum</i>	3, 36, 37, 38	<i>Phoenix hanceana</i> var. <i>formosana</i> , <i>Premna serratifolia</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Scaevola sericea</i> , <i>Pittosporum pentandrum</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i>
<i>etunicatum</i>	8, 12, 36, 38	<i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>leptotichum</i>	5, 9, 22	<i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i>
<i>spurcum</i>	11, 16, 21, 29, 34	<i>Scaevola sericea</i> , <i>Messerschmidia argentea</i>
<i>deserticola</i>	4, 7, 12, 27, 31	<i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Scaevola sericea</i>
<i>mosseae</i>	15, 16, 36	<i>Premna serratifolia</i> , <i>Messerschmidia argentea</i> , <i>Ficus superba</i> var. <i>japonica</i>
<i>Gigaspora</i>		
<i>albida</i>	23	<i>Pongamia pinnata</i>
<i>Racocetra</i>		
<i>coralloidea</i>	1, 3, 12, 15, 21	<i>Spinifex littoreus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>verrucosa</i>	34	<i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>persica</i>	32	<i>Messerschmidia argentea</i>
<i>Scutellospora</i>		
<i>calospora</i>	2, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 18, 24, 27, 31, 33, 35, 36	<i>Pittosporum pentandrum</i> , <i>Hibiscus tiliaceus</i> , <i>Pandanus odoratissimus</i> var. <i>sinensis</i> , <i>Vitex rotundifolia</i> , <i>Celtis sinensis</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Phoenix hanceana</i> var. <i>formosana</i> , <i>Melaleuca leucadendra</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Messerschmidia argentea</i>

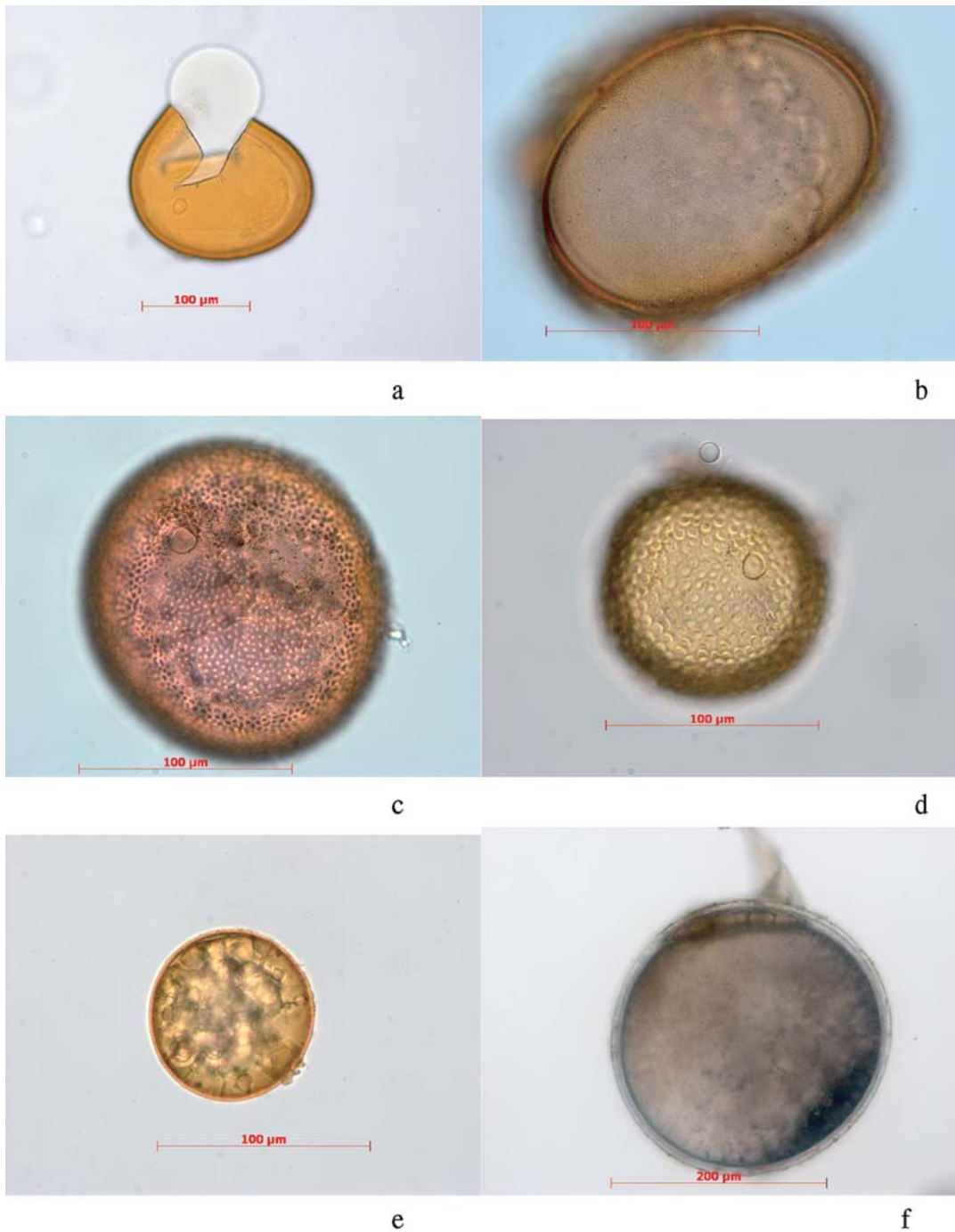


圖 2. 台灣西海岸土壤中內生菌根菌。a, *Acaulospora mellea*; b, *A. spinosa*; c, *A. scrobiculata*; d, *A. undulata*; e, *A. morrowiae*; f, *C. pellucida*。

Fig. 2. The VAMF species in soils in western coast of Taiwan: a, *Acaulospora mellea*; b, *A. spinosa*; c, *A. scrobiculata*; d, *A. undulata*; e, *A. morrowiae*; f, *C. pellucida*.

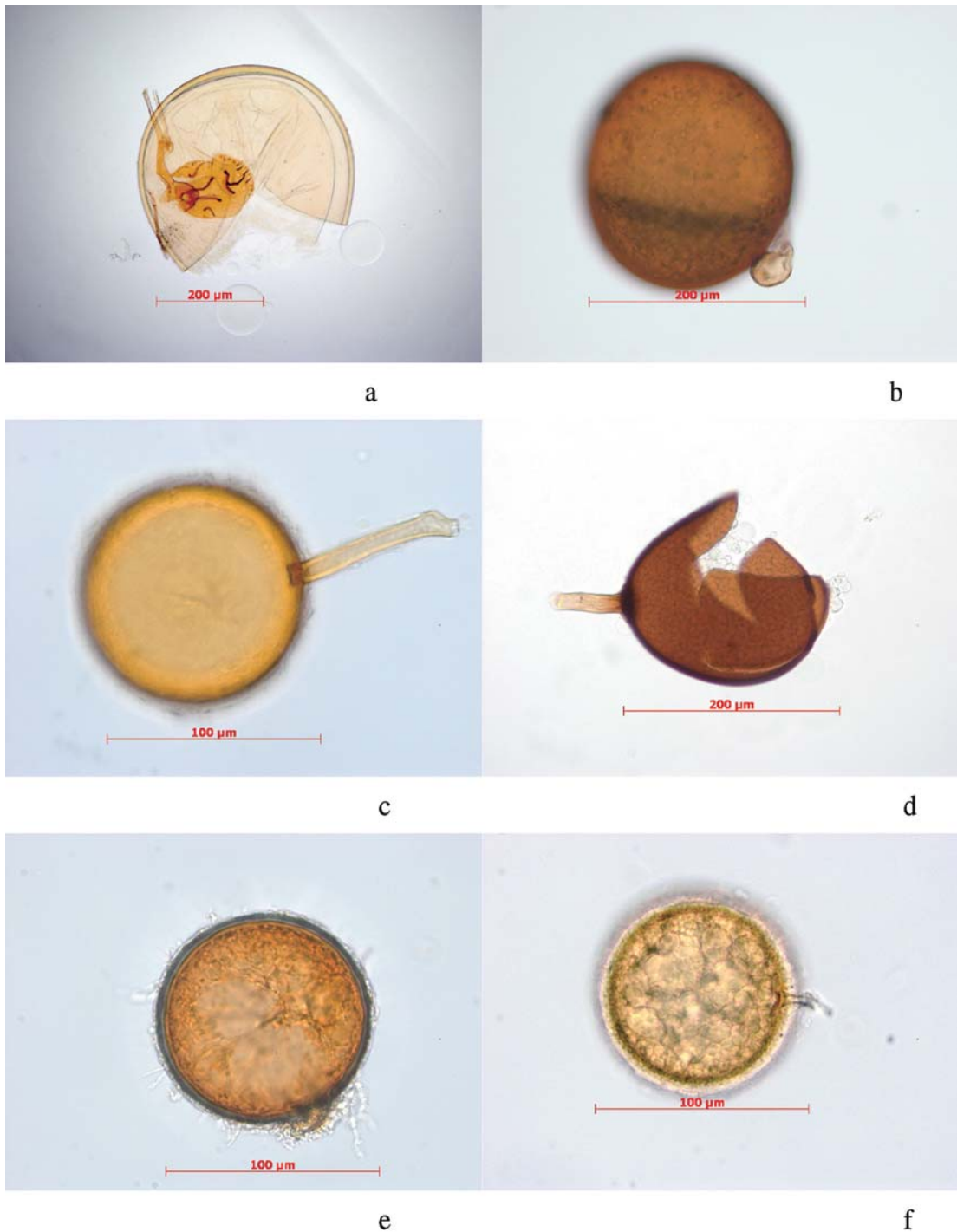


圖 3. 台灣西海岸土壤中內生菌根菌。a, *Dentiscutata cerradensis*; b, *Fuscutata rubra*; c, *Glomus claroideum*; d, *G. constrictum*; e, *G. etunicatum*; f, *G. leptotichum*。

Fig. 3. The VAMF species in soils in western coast of Taiwan: a, *Dentiscutata cerradensis*; b, *Fuscutata rubra*; c, *Glomus. claroideum*; d, *G. constrictum*; e, *G. etunicatum*; f, *G. leptotichum*.



圖 4.台灣西海岸土壤中內生菌根菌。a, *Glomus spurcum*; b, *G. deserticola*; c, *G. mosseae*; d, *Gigaspora albida*; e, *Racocetra coralloidea*; f, *R. verrucosa*。

Fig. 4. The VAMF species in soils in western coast of Taiwan: a, *Glomus spurcum*; b, *G. deserticola*; c, *G. mosseae*; d, *Gigaspora albida*; e, *Racocetra coralloidea*; f, *R. verrucosa*.

4. *Acaulospora undulata* Sieverding

厚壁孢子單生於土壤中，透明至半透明，呈圓球形至近圓球形，直徑 55-85 μm 。第一層孢壁透明厚 0.5 μm ，隨孢子成熟後即剝落。第 2 層壁透明厚 1-1.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈淡黃色。表面均勻散布近圓形凹痕，凹痕直徑 4-9 \times 4-9 μm 、深 1-2.5 μm ，凹痕間之脊寬 1 μm 。發芽壁透明厚 0.5-1 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈橘紅色。(圖 2d)

5. *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck

厚壁孢子單生於土壤中，顏色為半透明至淡黃色，圓球形至近圓球形，直徑 70-100 μm 。孢子壁厚 2-4 μm ，最外層壁 0.5-1 μm ，呈透明。第 2 層壁呈淡黃色，厚 1.5-3 μm 。第 3 層壁呈透明，厚 0.5 μm 。發芽壁第 1 層厚 1-1.8 μm ，呈透明。發芽層第 2 層壁呈透明膜狀，厚 0.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈褐紫色。(圖 2e)

6. *Cetraspora pellucida* (Nicol. & Schenck)

Oehl, F. A. Souza & Sieverd.

厚壁孢子單生於土壤中，近球形或不規則狀，孢子外觀呈透明，內含物呈氣泡油滴狀。孢子大小變異大，直徑 110-220 \times 140-240 μm 。孢子壁光滑，厚約 6-12 μm ，最外層壁易碎，厚 3-8 μm ，內層壁則具柔軟性，厚 1.5-5 μm 。發芽壁兩層，第 1 層壁厚 0.5 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。第 2 層壁厚 1-2.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應成紅色。產孢菌絲末端膨大附屬物呈透明狀，直徑 10-29 μm ，產孢菌絲亦是透明，內有許多隔板。孢子未經壓破，外表即會與 Melzer's 染劑逐漸反應成紅色，為此菌種重要的鑑定特徵。(圖 2f)

7. *Dentiscutata cerradensis* (Spain & Miranda)

Sieverd., F. A. Souza & Oehl

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，透明至白色，直徑 220-380 μm 。孢子壁 3 層，第 1 層壁呈透明，密佈不規則疣狀凸起，疣高 0.5-1 μm ，寬 1-1.5 μm 。第 2 層壁透明，厚 1.5-3 μm ，與 Melzer's 染劑反應成淡紅色。第 3 層壁透明，厚 3-6 μm ，與 Melzer's 染劑反應

成暗紅色。發芽壁 2 層，第 1 層厚 1.5-3 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。第 2 層厚 3-8 μm 與 Melzer's 染劑反應成紅紫色。產孢菌絲末端膨大附屬物呈淡黃至黃棕色，直徑 30-45 μm 。(圖 3a)

8. *Fuscutata rubra* (Stürmer & J.B. Morton)

Oehl, F. A. Souza & Sieverd.

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，紅棕色，直徑 140-230 μm 。孢子壁 2 層，第 1 層壁光滑堅硬呈黃棕色，厚 1-1.5 μm 。第 2 層壁紅棕色，厚 3.5-8 μm 。發芽壁 2 層，第 1 層厚 1-1.5 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。第 2 層厚 1-2 μm 與 Melzer's 染劑反應成紅紫色。產孢菌絲末端膨大附屬物呈黃棕色，直徑 20-35 μm 。(圖 3b)

9. *Glomus claroideum* Schenck & Smith

厚壁孢子單生於土壤中，淡黃色，球形至近球形，直徑 90-140 μm ，平均 120 μm 。第 1 層孢壁透明黏膜狀厚 0.6-1.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。第 2 層壁厚 0.5-2 μm ，與第 1 層壁多合生不分離，孢子老熟後 1、2 層壁隨即剝落，於孢子表面形成碎屑狀。第 3 層壁厚 3-6 μm ，呈淡黃色，此壁層由加厚的小層所組成。第 4 層壁厚 1-2 μm 。孢子柄寬 6-8 μm ，呈直管狀或些微喇叭狀。(圖 3c)

10. *Glomus constrictum* Trappe

厚壁孢子單生或鬆散聚生於土壤中，圓球形至近圓球形，直徑 120-280 μm ，呈亮棕褐色至亮黑色。孢壁僅 1 層 7-15 μm ，棕褐色，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲直生或偶爾彎曲，直徑 15-25 μm ，連接孢子處常呈收縮狀，收縮處直徑 10-15 μm 。(圖 3d)

11. *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann

厚壁孢子單生於土壤中，橘黃色至棕黃色，球形至近球形，直徑 70-160 μm ，平均 130 μm 。第 1 層孢壁黏膜狀厚 0.6-3.0 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈紫紅色，隨孢子成熟後即脫落，並於孢子表面形成碎屑狀。第 2 層壁厚 4.5-6.5 μm ，此壁層由加厚的小層所組成，

呈黃棕色至紅棕色。孢子柄寬 5-10 μm ，呈直管狀或些微喇叭狀。(圖 3e)

12. *Glomus leptotichum* Smith & Schenck

厚壁孢子單生於土壤，或多數與豐沛的菌絲連結於根系周圍，橢圓形至近球形。孢子大小變異大，直徑介於 50-250 μm 。初期的孢子呈透明狀，隨著成熟逐漸呈淡黃色。孢壁僅 1 層 3-9 μm ，年輕孢子孢壁表面具不明顯蜂巢狀網紋。孢子柄寬 10-25 μm ，與孢子接著處最粗，逐漸變細。(圖 3f)

13. *Glomus spurcum* Pfeiff, Walker & Bloss

厚壁孢子單生於土壤中，初呈透明隨孢子老熟而呈淡黃色，球形至近球形，直徑 60-120 μm ，平均 80 μm 。第 1 層孢壁厚 0.5-1.2 μm ，表面散布碎屑物。第 2 層壁厚 1.5-4 μm ，具彈性隨孢子壓碎後皺縮形成皺褶。孢子柄寬 5-8 μm ，壁薄易斷，因此孢子柄較少見。(圖 4a)

14. *Glomus deserticola* Trappe, Bloss & Menge

厚壁孢子單生或鬆散聚生於土壤中，孢子表面光滑呈紅棕色，球形至近球形，直徑 70-110 \times 60-100 μm 。孢壁僅 1 層 1.5-3.5 μm ，隨孢子老熟而層積狀增厚。孢子柄寬 5-12 μm ，呈直管狀，與孢子接著處壁層增厚，呈紅色。(圖 4b)

15. *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe

厚壁孢子單生於土壤中或偶爾 2-5 個聚合成孢子果，孢子球形至近球形，直徑 120-260 μm ，初呈白色隨孢子老熟而逐漸呈黃色至黃褐色。第 1 層孢壁厚 1.5-2.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應後呈紫紅色，此壁層隨孢子老熟而脫落。第 2 層壁厚 2.5-3.5 μm ，呈淡黃至黃褐色，隨孢子老熟而層積狀增厚。孢子柄通常 1 根，少數有 2 根，寬 10-25 μm 呈直管狀或漏斗狀。孢子與孢子柄間有一漏斗狀之隔板將孢子內容物與孢子柄隔開。(圖 4c)

16. *Gigaspora albida* Schenck & Smith

厚壁孢子單生於土壤中，白色至淡黃綠色，球形至近球形，直徑 240-280 μm ，僅 1 壁

群。第 1 層壁堅硬易碎，表面光滑呈透明至淡黃色，厚 2-3 μm 。第 2 層壁厚 15-25 μm ，隨孢子老熟而層積狀增厚，黃至黃褐色，與 Melzer's 染劑反應後呈暗紅色。產孢菌絲末端膨大附屬物呈淡黃色，直徑 30-45 μm 。(圖 4d)

17. *Racocetra coralloidea* (Trappe, Gerd. & Ho) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，橘紅至暗紅棕色，直徑 290-450 μm 。孢子壁 2 層，第 1 層壁呈暗棕色具不規則疣狀凸起，疣高 1-3 μm ，寬 2-12 μm 。第 2 層壁棕色至紅棕色，厚 6-10 μm ，隨孢子老熟呈層積增厚。發芽壁 1 層，壁厚 1-2 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲末端膨大附屬物呈黃棕色，直徑 40-60 μm 。(圖 4e)

18. *Racocetra verrucosa* (Koske & Walker) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，淡橘黃至黃棕色，直徑 220-360 μm 。孢子壁 2 層，第 1 層壁呈黃色，厚 0.8-2 μm ，密佈疣狀凸起，疣高 0.5-1.2 μm ，寬 0.5-1 μm 。第 2 層壁黃棕色，厚 6-8.5 μm ，與 Melzer's 染劑反應成暗棕色。發芽壁 1 層，厚 1-1.5 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲末端膨大附屬物呈淡黃至黃棕色，直徑 50-60 μm 。(圖 4f)

19. *Racocetra persica* (Koske & Walker) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，淡黃褐至棕黃色，直徑 250-350 μm 。孢子壁 2 層，第 1 層壁呈黃棕色，厚 0.8-2 μm 密佈圓形疣狀凸起，疣高 0.2-0.5 μm ，寬 0.5 μm 。第 2 層壁棕色，厚 6-8 μm ，隨孢子老熟呈層積增厚，與 Melzer's 染劑反應成紅棕色。發芽壁 1 層，壁厚 0.8-1.5 μm ，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲末端膨大附屬物呈黃棕色，直徑 35-45 μm 。(圖 5a)

20. *Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders

厚壁孢子單生於土壤中，近球形至橢圓形，淡黃色，孢子大小變異大，直徑 110-160×140-220 μm。孢子壁堅硬光滑，呈淡黃色，厚約 3-4 μm，與 Melzer's 染劑不產生反應。發芽

壁兩層，第 1 層壁厚 1-2 μm，與 Melzer's 染劑不產生反應。第 2 層壁厚 2-5 μm，與 Melzer's 染劑反應成紅紫色。產孢菌絲末端膨大附屬物呈淡黃色，直徑 20-26 μm。(圖 5b)

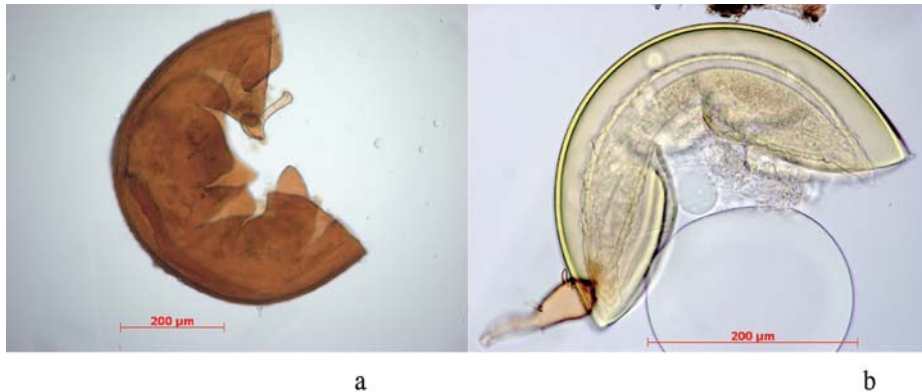


圖 5.台灣西海岸土壤中內生菌根菌。a, *Racocetra persica*; b, *Scutellospora calospora*。

Fig. 5. The VAMF species in soils in western coast of Taiwan: a, *Racocetra persica*; b, *Scutellospora calospora*.

(二) 優勢菌種繁殖

當土壤樣本中單一菌種孢子數達 20 個/100g 土，即以盆鉢培育法純化培育此菌種，共計接種了 *A. scrobiculata*、*A. undulata*、*A. morrowiae*、*G. etunicatum*、*G. mosseae*、*G. deserticola*、*C. pellucida*、*S. calospora* 及 *R. coralloidea* 等 9 種西海岸優勢菌種。

6 個月後共有 5 種菌種產孢，而各菌種之產孢單位密度分別為 *A. scrobiculata* (175±45 個/100 g 土)、*A. morrowiae* (307±36 個/100 g 土)、*G. etunicatum* (573±120 個/100 g 土)、*C. pellucida* (47±9 個/100 g 土)、*S. calospora* (34±7 個/100 g 土)。

(三) 海岸林適生植物菌根接種試驗

黃槿及白水木無菌苗接種菌根菌 10 個月後，以染根法(吳繼光和林素禎, 1998)於顯微鏡下觀察根部感染狀況，發現接種之苗木其根部組織內均有明顯之菌絲及囊泡構造。量測苗高及根頸直徑進行單因子變異數分析，分析結果顯示黃槿接種 *C. pellucida* 及 *G. etunicatum* 2 菌種，於根頸直徑及苗高 2 種數值，皆顯著高於未接種菌根菌之苗木(如表 2)。而白水木接種 *S. calospora* 及 *A. morrowiae* 2 菌種於根頸直徑及苗高等 2 種數值，亦顯著高於未接種菌根菌之苗木(如表 3)。

表 2.黃槿接種 *Cetraspora pellucida*、*Glomus etunicatum* 10 個月後與對照組生長之差異

Table 2. The growth of *Hibiscus tiliaceus* in different inoculated processions 10 months later

	<i>C. pellucida</i>	<i>G. etunicatum</i>	CK
Height (mm)	139.41±12.27 ^c	123.08±3.28 ^b	94.81±6.33 ^a
Root collar (mm)	3.57±0.34 ^b	3.28±0.51 ^b	2.41±0.36 ^a

CK: non-inoculated

a, b, c :The measurements were significantly different(ANOVA, P < 0.05)in the numbers with superscript a, b and c.

表 3. 白水木接種 *Scutellospora calospora*、*Acaulospora morrowiae* 10 個月後與對照組生長之差異
 Table 3. The growth of *Messerschmidia argentea* in different inoculated processions 10 months later

	<i>C. pellucida</i>	<i>G. etunicatum</i>	CK
Height (mm)	160.18±8.38 ^b	154.94±8.34 ^b	117.25±15.76 ^a
Root collar (mm)	3.71±0.54 ^b	3.38±0.37 ^b	2.08±0.52 ^a

CK: non-inoculated

^{a, b, c}: The measurements were significantly different (ANOVA, $P < 0.05$) in the numbers with superscript a, b and c.

植物根部與菌根菌形成菌根後，植株內植物荷爾蒙濃度隨之改變 (Gogala, 1991)，同時菌根的根外菌絲能向外延伸並增加根部吸收面積，去吸收原本較不易移動的養分，如磷、鉍、銅等元素 (Bethlengalvay *et al.*, 1982)，因此形成菌根的植株生長表現會比較好，在本研究中亦呈現如此的現象。

四、結論

海岸林常生長於植物生存不易之惡地，除了要抵抗海風吹襲，鹽霧對植物地上部的影響以及土壤的鹽分逆境均影響著植物的生長。植物根系與菌根菌所形成的共生關係可促使植物和真菌間的養分成為雙向的循環，在貧瘠的土壤中，植物可藉由菌根菌促進養分吸收，因此形成菌根的植物通常較有競爭力，且較耐環境中的不良條件。台灣西海岸適生植物經調查共記錄了 8 屬 20 種內生菌根菌，經純化培育共得到 5 種純化菌種。於海岸造林適生植物黃槿與白水木分別接種 *C. pellucida*、*G. etunicatum* 及 *S. calospora* 及 *A. morrowiae* 菌種後於形質生長上明顯優於未接種者。由於菌根菌可幫助植物對土壤養分(特別是磷肥)及水分之吸收，增強植物的耐旱力及對病原的抵抗力，並可提高移植苗存活率等，若能有效利用其生物學特性的優點，除了可增加作物的產量，亦可提升作物對不良環境的抗性，更可應用於提升海岸造林的成活率。

五、引用文獻

- 吳繼光、林素禎(1998) 叢枝內生菌根菌應用技術手冊。臺灣省農業試驗所。232 頁。
- 潘瑞熾(2006) 植物生理學。藝軒圖書出版社。354-356 頁。
- Bethlengalvay, G. J., M. S. Brown, R. N. Ames and R. S. Thomas (1982) Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologia Plantarum* 72: 565-571.
- Daniels, B. A. and H. D. Skipper (1982) Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. pp. 20-45. In: Schenck, N. C. (ed.). *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society. St. Paul.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe (1974) *The Endogonaceae in the Pacific Northwest*. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Gilmore, A. E. (1968) Phycomycetous mycorrhizal organisms collected by open-pot culture methods. *Hilgardia* 39: 87-105.
- Gogala, N. (1991) Regulation of mycorrhizal infection by hormonal factors produce by hosts and fungi. *Experientia* 47: 331-341.
- Koske, R. E. and B. Tessier (1983) A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America* 34: 59.
- Newsham, K. K., A. H. Fitter and A. R. Watkinson

- (1995) Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends Ecol. Evol.* 10: 407-411.
- Oehl, F., F. A. de Souza and E. Sieverding (2008) Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza-forming *Glomeromycetes*. *Mycotaxon* 106: 311-360.
- Schenck, N. C. and Y. Perez (1990) Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. INVAM, Gainesville. Florida.

附錄 1. 台灣西部海岸內生菌根菌調查樣點二度分帶座標

Appendix 1. The coordinate of VAMF inventory sites

Sit	xcoordinate	ycoordinate
1	304379	2798258
2	301067	2797515
3	298819	2796424
4	290848	2784037
5	281785	2779612
6	274668	2779262
7	263900	2774631
8	256051	2769942
9	245811	2756067
10	243241	2751223
11	241238	2748091
12	234421	2732326
13	222356	2722582
14	205119	2694066
15	203973	2690784
16	203224	2689193
17	197212	2676049
18	185874	2659282
19	176446	2640990
20	163515	2619196
21	161776	2606587
22	163358	2587578
23	159483	2583583
24	160358	2570269
25	153810	2563935
26	153434	2563064
27	150298	2554178
28	160434	2547129
29	164569	2538082
30	167559	2526219
31	174684	2500371
32	177476	2496572
33	206216	2475300
34	217970	2451045
35	218162	2433713
36	219801	2431207
37	219962	2426581
38	222943	2426483