行政院農業委員會水土保持局
107 年度細部計畫成果報告書

107 保發-11.1-保-01-06-001(39)

無人機載具噴灑植生粒劑之研究

Study on preparing seeding materials for UAV vehicle

執行單位：國立嘉義大學

中華民國 107 年 11 月

目錄

圖目錄 iii

第一章　前言 1

1-1　研究背景及動機 1

1-2　研究目的 1

1-3　計畫工作事項 2

1-4　計畫工作範圍 2

第二章　先前相關研究 3

2-1　聚丙烯胺(PAM)之相關研究 3

2-2　對土壤團粒穩定性的影響 3

2-3　土壤團粒化之相關研究 3

2-4　噴植植生工法之相關研究 4

2-5　種子選擇原則 5

2-6　播種量計算 6

2-7　UAV 的發展 6

第三章　工作流程與實施辦法 7

3-1　計畫工作流程 7

3-2　實施方法與步驟 8

3-3　本研究草籽植生粒-黑麥草 13

3-4　本研究草籽植生粒-百慕達草 14

第四章　執行成果 15

第五章　結論與建議 32

5-1　結論 32

5-2　建議 33

5-3 計畫期程(已按照計畫期程進行).....33

第六章 參考文獻.....34

圖目錄

圖 3-1　本計畫宣導工作流程圖 7

圖 3-2　植生粒製作流程圖 12

圖 4-1、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的樹枝狀結構 16

圖 4-2、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的樹枝狀結構末端 17

圖 4-3、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的塊狀結構 18

圖 4-4、PAM 薄膜的(a)樹枝狀、(b)塊狀及(c)平坦狀結構之 AFM 圖 20

圖 4-5　種植第 5 天 22

圖 4-6　種植第 6 天 22

圖 4-7　種植第 7 天 22

圖 4-8　種植第 5 天 23

圖 4-9　種植第 6 天 23

圖 4-10　種植第 7 天 23

圖 4-11　種子發芽率圖 24

圖 4-12　工程館圖 25

圖 4-13　投擲圖 26

圖 4-14　植生粒圖 26

圖 4-15　投擲植生粒後第 6 天圖 27

圖 4-16　投擲植生粒後第 13 天圖 27

圖 4-18　5cm 植生粒劑 28
圖 4-17　3cm 植生粒劑 28
圖 4-19　3cm 投擲後 28
圖 4-20　5cm 投擲後 28
圖 4-21　無人載具 29
圖 4-22　植生粒劑 29
圖 4-23　現地全景照 30
圖 4-24 當日現地投擲成果 30
圖 4-25　16 天後現地投擲成果 30
圖 4-26　現地全景照 31
圖 4-27　當日現地投擲成果 31
圖 4-28　29 天後現地投擲成果 31

第一章 前言

1-1 研究背景及動機

近年來隨著氣候的變遷，全球暖化所帶來的環境及經濟社會問題是全世界都所需要去面對的，而台灣是一個海島型國家，因應氣候的變遷，也要被迫面臨到極端的氣候事件和天災頻繁的發生

天然災害之發生不可避免，預防工作必須持續辦理，此外，台灣地理環境特殊，土砂災害頻繁，大區域或局部性嚴重性之災害迭有發生，加強水土保持防止天然災害乃持續且必要的工作，加強治理維護，更是政府不得不正視的問題。而水庫集水區、高山上裸露地常因地形變化莫測或交通不利於到達該處造成種種限制，不易進行噴植及種植，因此想藉由無人載具(UAV)進行噴灑植生粒

1-2 研究目的

為了山坡地安全做好了水土保持設施，並非永久有效，有時會因自然的作用力，或人為不當開發擾動，因而影響坡面的穩定，致生坡地災害，故當前水土保持之主要工作，係在維護山坡地生態之原則下，加速推動台灣地區整體性治山防災、維護山坡地、蓄水保土之功能；本計畫決定配合使用無人機載具(UAV)，以脫鉤裝置，將植生粒灑潑在，裸露地之相關研究，研製適合植生之黏著材料，結合草籽肥料製作植生粒所製作之植生粒將在不同高度，與氣象條件下進行測試，已了解其落地後與地面之作用狀況，掌握相關操作參數，以利現地實際使用，可做修正改進，符合實際需求，達到國土治山防災、蓄水保土之目的。

1-3 計畫工作事項

一、本計畫之工作項目

(一) 全程目標：

開發具保水且適合草籽發芽生長的直升材料，以因應偏遠地區植生施工不易，或未來因氣候變遷，造成極端氣候，產生的植生困難的問題。

(二) 本年度目標：

1. 完成植生基材之高分子材料選擇。
2. 完成植生粒配方選擇
3. 完成植生粒製作製程
4. 完成植生粒草籽發芽試驗
5. 完成植生粒投擲試驗

(三) 撰寫成果報告。

1-4 計畫工作範圍

本計畫無人機載具噴灑植生粒劑之研究工作範圍將以本國土不易前行之高山地區作為主要研究地區，及完成植生基材之高分子材料選擇和植生草種之選擇，決定試驗用材料及試驗項目。

第二章 先前相關研究

2-1 聚丙烯胺(PAM)之相關研究

陰離子型聚丙烯醯胺(polyacrylamide, PAM)是一種安全無污染，並具有絮凝作用的高分子聚合物，故工業上常做為絮凝劑，用以去除水中懸浮物，如食品加工業、污水處理廠甚至飲用水之淨化(Entry et al., 2003; Seybold, 1994)

PAM 因帶有親水性之醯胺基及羧基而易溶於水，且因丙烯酸或丙烯酸鈉羧基上之氫或鈉離子解離而促使 PAM 帶負電荷，成為陰離子型 PAM，其所帶負電荷度(charge dersity, CD)大小即取決於丙烯酸或丙烯酸鈉的取代量，PAM 的丙烯酸或丙烯酸鈉含量越高，所帶的負電荷越高(Barvenik, 1994; Laird, 1997)

將 PAM 作為土壤調節劑，可有效促進土壤團粒化，增加土壤團粒結構的穩定性，降低土壤之侵蝕。 (Xia Hu, 2004 & Xiao-Bin Wang, 2000, Levy and Miller(1999)

聚丙烯醯胺薄膜特性：許多研究指出 acrylamide 會被土壤中的微生物分解成 acrylic acid 和 ammonia 以供給其生長所需的氮和碳源(Shanker et al.,1990)是為一種液態肥料，與矽酸鹽(Silicate) 有良好的結合力

2-2 對土壤團粒穩定性的影響

Levy and Miller(1999)表示 PAM 能藉由其帶負電荷的特性吸附於土壤團粒內部與外部表面，促進土壤的團粒化，提高團粒對外力的抗性，增加土壤團粒結構的穩定性。因此 PAM 在農業上常被用來作為土壤改良劑，於 1995 年由美國 Narural Resource Conservation Service(NRCS)公佈施用標準(Sojka and Lentz, 1997; Orts et al., 2000)

2-3 土壤團粒化之相關研究

土壤構造(soil structure)是指土壤顆粒（砂粒、坋粒及粘粒）排列所構成的

形態。土粒間結合或排列以組成團粒之情形。其類型粗分為：

(1) 單粒(single grain)：土壤顆粒間缺乏內聚力，相互不結合，構造疏鬆。如粗顆粒之砂土或未固結堆積物

(2) 集塊(massive)：內聚力強之土粒，堆積成緊密土塊，如乾燥之黏土—青灰岩

團粒(aggregated)：含適當粘粒之土壤中，初生礦物自然結合成較穩定的構造單位，介於單粒與整體構造之間。各種自然團粒合稱為自然土塊(pods)，團粒在水中相當安定

團粒化劑(aggregating agent)，依日本綠化工學會編輯之綠化技術用語事典(1990)，其定義係指合成高分子系列之土壤改良劑，主要成分為聚乙烯醇、聚丙烯酸和三聚氰胺等合成樹脂之成分，或陽離子性合成高分子等製品，其具結合土壤粒子或促進土壤團粒化效果。另外針對土壤膠質表面疏水性，亦具有改善土壤通氣性、透水性之功能

2-4 噴植植生工法之相關研究

行政院農業委員會水土保持局（2007）坡地植生工程暨植生調查應用手冊及林信輝（2004）水土保持植生工程，對噴植植生工法之分類概述如下：

1. 直接噴植（薄層噴植）：直接將種子、肥料、黏著劑與適當水分充分攪拌後，利用壓縮機噴植於坡面，適用於坡度小於 50°之一般土質坡面，噴植厚度小於 3cm
2. 鋪網客土噴植（中層噴植）：整坡後，於坡面上先鋪上一層鐵絲網或 PE 網，以鐵栓固定後，再將水、有機質土、複合肥料等以噴植機噴佈其上，形成厚度為 3cm 左右之客土，最後再將粘著劑、種子及水等混合噴植於客土上。噴植厚度為 3~6cm，適用於軟岩坡面（可配合坡面挖穴後施工）

3. 固定框配合噴植工法：以預鑄水泥條框、鐵製圓形菱形框、現場施作之混凝土連續框行框（自由梁框）等固定框，安裝於坡面上以利噴植或客土植生，坡度可達 45°～65°之邊坡，若為硬質岩面可更陡

4. 岩面噴植（厚層噴植）：於無土壤之岩面，噴植於鋪設鐵絲網之坡面上，噴植厚度為 6cm 以上，適用於硬岩坡面

5. 航空植生：運用直昇機等航空載具，將種子、肥料、沖蝕防止劑、土壤改良材、植生基材等均勻撒佈或噴佈於坡面上方法，適用於偏遠地區、地形陡峻等條件不佳區域。

6. 連續纖維團粒噴執法（TG 綠化工法）：即連續纖維團粒噴植工法，將水、有機質土、團粒劑、安定劑、連續纖維及種子等以特定噴植機噴佈坡面上，一般噴植厚度為 3cm 左右

7. SF 工法：團粒化劑噴植工法

8. SPN 工法：以椰子種皮為材料造成基盤後噴植之法

9. ON 工法：為含混合水泥、泥炭等之全面噴植，屬於薄層水泥覆蓋

2-5 種子選擇原則

- （1）適應當地的氣候條件
- （2）適應當地的土壤條件(水分、pH 值、土壤性質等)
- （3）抗逆性(包括抗旱、抗熱、抗寒、抗貧瘠及抗病蟲害性等)強
- （4）地上部較矮、根系發達、生長迅速並能在短期內覆蓋坡面
- （5）越年生或多年生
- （6）適應粗放管理，能產生適量種子
- （7）種子易得且成本合理

2-6 播種量計算

可在投擲地點，先將已知的土地範圍、期待的發芽數，並搭配地理條件因素等，帶入播種量計算公式，約略計算出所需要的播種量

- W= $\frac{A}{B \times C \times D \times E \times F}$
- 式中:
- W：導入植物別的播種量(g/m^2)
- A：期待發芽生長株數(株/m^2)
- B：不同植物覆土修正值
- C：立地條件修正值
- D：施工時期修正值
- E：種子發芽率
- F：種子單位粒數(粒/g)

2-7 UAV 的發展

機器人、機器手臂、無人飛行載具或遙控車、飛機等玩具，其界限愈來愈模糊。1970 年代好萊塢電影《星際大戰》，開啟了我們對機器人的經典印象

隨著手機智慧化，原來只會在彈道飛彈裡用的東西（比如 GPS、陀螺儀），今天出現在你我的手機，也便宜到不行，無人機也因此而便宜，專業等級的無人機也開始有玩具等級的價錢。由香港科技大學畢業生創辦的大疆創新(DJI innovation)開發的無人機很專業，也很便宜，比如 2016 年推出的無人空拍機，不到 4 萬臺幣，在 2007 年同等級的機器要 200 萬臺幣，無人機愈來愈便宜會是趨勢，這也會造成在應用方面的發展

第三章 工作流程與實施辦法

3-1 計畫工作流程

本計畫之工作流程圖如圖 3-1 所示。

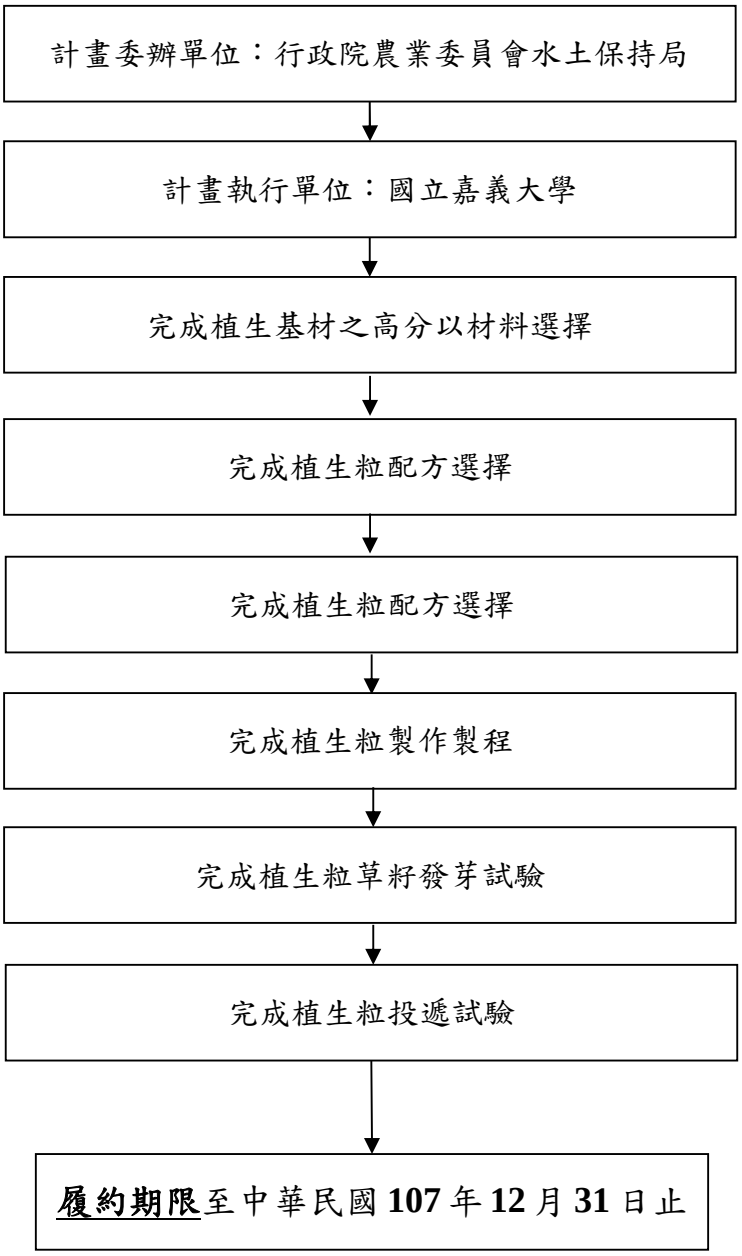


圖 3-1　本計畫宣導工作流程圖

3-2 實施方法與步驟

1. 嘉義大學研究團隊曾完成 PAM 的薄膜特性及 PAM 電荷度、濃度對多種草籽種子發芽、 生長及土壤滲透性之影響: 藉由觀察 PAM 薄膜微觀構造及 PAM 在土壤中的入滲情形,顯 示當 PAM 的電荷度及濃度提高，PAM 長鏈間的交纏程度也隨之增加，促使 PAM 溶液黏度 增加，導致土壤表面孔隙被密集交纏的 PAM 所阻塞，土壤構造越緊密，PAM 的滲透速率 也越慢，而當 PAM 與受吸附物質間吸附性大時，使 PAM 迅速吸附於最初接觸位置。而以 三種電荷度(10、30 和 50% CD)及不同濃度之 PAM 溶液進行發芽試驗,結果顯示 PAM 之電 荷度及濃度對四種草坪草種子發芽影響不同,於百喜草和類地毯草其發芽主要受 PAM 濃度所影響，於百慕達草其發芽主要受 PAM 電荷度影響，於綠柏草發芽則同時受 PAM 電荷度及濃度高低影響,此差異與種子大小及草種本身特性有關,而當 PAM 電荷度 及濃度越高對種子發芽負面影響越大，當 PAM 電荷度低於 30%、濃度低於 100ppm 對種子 之發芽影響性較小。於三種土壤中,以不同 PAM 進行處理觀察百慕達草的生長情形 ，其結果指出處理 30% CD 內及較高濃度 50、100ppm 之 PAM 處理有助於百慕達草生長

2. 由已完成之戶外植生盒之發芽情形試驗發現： 1.現地環境中，發芽率，百慕達草較 其他兩種草類為高，與發芽箱差異達 20%以上，較室內低濃度之發芽率為高，應為溫 度影響。2.三種草類之高濃度之發芽率相較其他濃度有降低現象較，但與對照組比較 應無影響。3.類地毯草，發芽率均較對照組為高，但除 10ppm 外均不足 10%，應檢討種 子本身問題，應排除討論。4.在前發芽試驗中，其 PAM 確會對植物種子之發芽造成影響，使植物的發芽有延後之現象，但對於發芽率，百慕達草較無影響，植生箱試驗亦 證明較無影響。5.根系長度不論何種濃度，均較對照組為長，濃度越高之 PAM 溶液根

系長度有較長趨勢。6.入侵植物在各個植生盒中，均有相同植物出現，添加 PAM 應對 入侵植物無影響。7. PAM 具有強烈吸附能力的高分子聚合物，種植草類有叢生現象

3. 依照水土保持手冊，對崩塌地植物之判斷，水土保持推廣應用草類或豆科草本植物，可大量獲得種子、快速植生覆蓋，且其長期推廣不致生態危害之植物以及先驅覆蓋草類種子之選用，以可大量供應之本地草類；可外購之本地草種種子；或臺灣地區長期使用(20 年以上)且未具侵略、生態干擾現象之治山防災用草類為主

4. 草本種子

- 僅撒播草本類種子，主要係為求快速面狀綠化之效果，以防止坡面遭受沖蝕；草本類植物之選擇原則如下：
- 耐貧瘠地、抗環境應力之種類。
- 生育初期及成長後，覆蓋地表效果大者。
- 快速生長、葉量多、茂盛者。
- 根系擴張，固結土壤效果大者。
- 有改良土壤效果，增加土壤有機質者。

1. 試驗用材料:

(1) 不同荷電強(charge density)之 PAM, 分子量由 10,000~8,000,000.

(2) 草種子, 以黑麥草為主

(3) 肥料,植生用水

(4) 填加劑

2. 試驗項目:

(1) 黏度試驗: 測試不同配比之材料黏滯度,以了解植生粒之穩定性

(2) 測試植生粒與土壤附著情況

(3) 植生粒之發芽率測試

(4) 植生粒之保水功能測試

(5) 植生粒在不同高度(5-20m)投射測試,以進一步驗證項目 1,2 之結果,並做配方修正

5. 試驗流程

PAM 為白色顆粒粉末，所以需先將 PAM 與水均勻攪拌，調配出各種不同濃度的 PAM 水溶液，由於 PAM 難溶於水並且會因不同濃度 PAM 而產生濃稠度，建議使用均質機，使它能夠均勻攪拌；此時能先把所需要的種子數量進入水中 1~2 小時，可提升種子發芽率，並且藉機篩選掉品質不好的種子。將泡好後的種子撈出來放置，擦乾種子表面的水分，以免因種子表面的水分再混合時導致 PAM 水溶液的濃度產生變化。將 PAM 溶液與種子互相混合，因 PAM 溶液本身的黏稠度，可使其揉成球狀體形成初步的植生粒，為使投擲植生粒的方便以及避免植生粒之間互相黏著，在表皮外面裹上一層土壤，即可完成植生粒(圖 3-2)



藉由均質機將 PAM 與水互相融合



將種子用水浸泡 1~2 小時

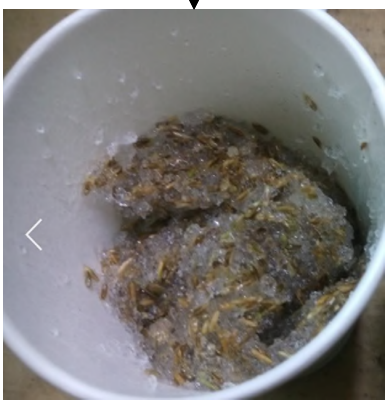


攪拌完成後的 PAM 溶液



泡好後，種子拿出來使外層不合水

均勻混合





搓成球體



包上土壤



成品

圖 3-2　植生粒製作流程圖

3-3 本研究草籽植生粒-黑麥草

一.黑麥草基本介紹

黑麥草，早熟禾科(Poaceae)黑麥草屬(Lolium)植物，為牧場和草地所收草籽中的重要成分。黑麥草為禾本科黑麥草屬，在春、秋季生長繁茂，草質柔嫩多汁，適口性好，是牛、羊、兔、豬、雞、鵝、魚的好飼料。供草期為 10 月至次年 5 月，夏天不易生長

二.黑麥草主要類型

多年生黑麥草原產南歐、北非及西南亞,1677 年英國首先栽種。株高 70～100 厘米，有時可達 1 米以上。莖稈叢生,質地較軟。葉在芽中呈摺疊狀,葉鞘光滑，葉耳細小，葉舌短而不明顯。穗狀花序,小穗含小花 6～11 朵，無外穎。無芒,內稃與外稃等長。種子千粒重 1.5～2.0 克。多花黑麥草在 13 世紀前栽培於義大利北部，故又稱義大利黑麥草。植株較粗壯，葉較闊而長，在芽中成捲曲狀，葉耳大而明顯，小穗含小花較多，有芒。

三.黑麥草營養成份

黑麥草粗蛋白 4.93%，粗脂肪 1.06%，無氮浸出物 4.57%，鈣 0.075%，磷 0.07%。其中粗蛋白、粗脂肪比本地雜草含量高出 3 倍。

四.黑麥草生物特點

黑麥草喜濕潤溫和氣候,不耐嚴寒和炎熱,夏季發育緩慢，生長不良，甚易死亡。15～25℃的氣溫條件最為適宜。多年生黑麥草在適宜條件下,可生長 2 年以上，在中國只能作越年生牧草利用。輕鹽鹼土、石灰性土壤、 微酸性土壤以及年雨量在 500～1500 毫米的地方均可生長，肥沃、濕潤、排水良好的壤土或粘壤土尤宜。淮河以南宜秋播，北方宜春播。施肥有利於提高產量和改進品質。春播黑麥草當年可刈割 1～2 次，每公頃產鮮草 15～30 噸；秋播的翌年可刈割 3～4 次，每公頃產鮮草 60～75 噸。種子成熟后易落粒，故當麥穗呈黃綠色時即應收割，也可利用第一次刈割后的再生草留種。

3-4 本研究草籽植生粒-百慕達草

一、 百慕達草基本介紹

百慕達草，禾本科(Poaceae)狗牙根屬(Cynodon)，多年生禾草，品系間變異性大，株高約 15~25 公分，具匍匐莖與根狀莖，節處長根，莖為圓柱形，發芽適溫 20~35℃， 播種後約 5~7 天可發芽。

二、 百慕達草特性

耐蔭性差，百慕達草除在低溫下生長較差外，對環境高溫與高光環境下植株生長快速，花期 6~8 月，且土壤適應性強，砂質土與黏質土皆可生長良好，適宜的土壤酸鹼度為 5.2~8 左右，植株耐旱，年降雨量 60~250 公厘以上都可存活因此百慕達草栽培時期建議在雨季前 3、4 月與旱季 9、10 月較適當，此時雨水少，雜草也較少。

第四章 執行成果

一、 PAM 薄膜的微觀結構

聚丙烯醯胺(polyacrylamide, PAM)因帶有大量親水基團(-COO-及-CONH2)而易溶於水(Barvenik, 1994)，當其施用於土壤中，PAM 會披覆在土壤團粒上形成保護膜進而降低土壤之侵蝕(Ross et al., 2003)。

將高濃度 PAM 溶液滴於載玻片上，以金相顯微鏡觀察 PAM 溶液於水分蒸發後形成之 PAM 薄膜結構。於金相顯微鏡 40 倍及 100 倍倍率下觀察 PAM 薄膜之中央部位，結果顯示於薄膜中央部位其係以一中心為基準向外擴展再由其上產生分支，呈現密集的樹枝狀結構，且越接近中心點的樹枝狀結構越密集，形成之分支短也較粗，隨離中心點越遠其分支較長也較細(圖 4-1)，最後於樹枝狀結構末端邊緣處的分支則呈現鬆散且不明顯之結構(圖 4-2)，而在葉脈狀外圍交界處則顯示與薄膜中央部位不同的型態，其呈現塊狀結構(圖 4-3)，離中央部位之樹枝狀結構越遠，其塊狀結構越密集，並呈圓圈狀圍繞於樹枝狀結構周圍，然於 PAM 薄膜邊緣部位即塊狀結構外圍則無法於金相顯微下觀察到有明顯結構產生。

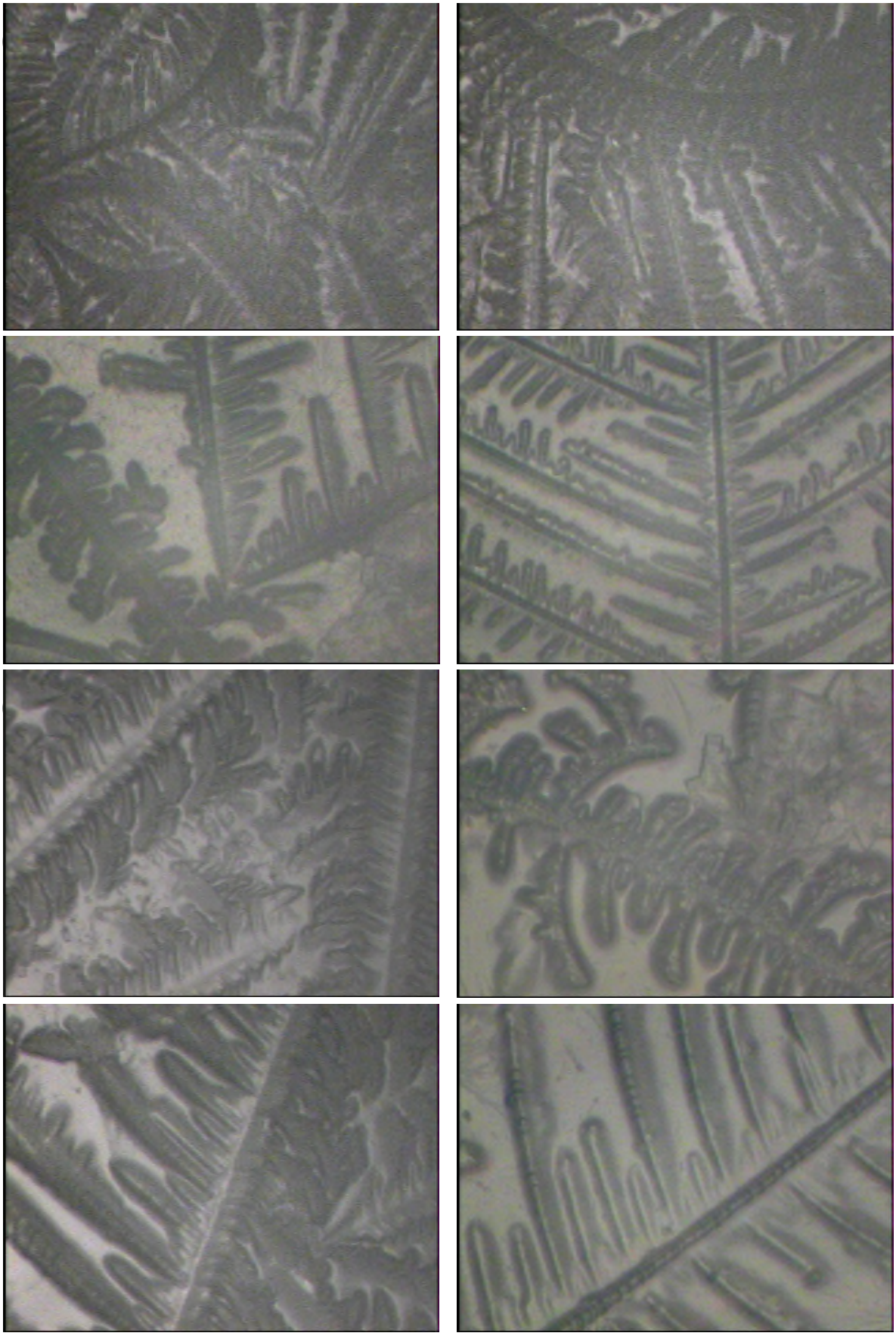


圖 4-1、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的樹枝狀結構

Fig. 4-1. The dendritic structure of PAM film under (a)40X and (b)100X metallurgical microscope.

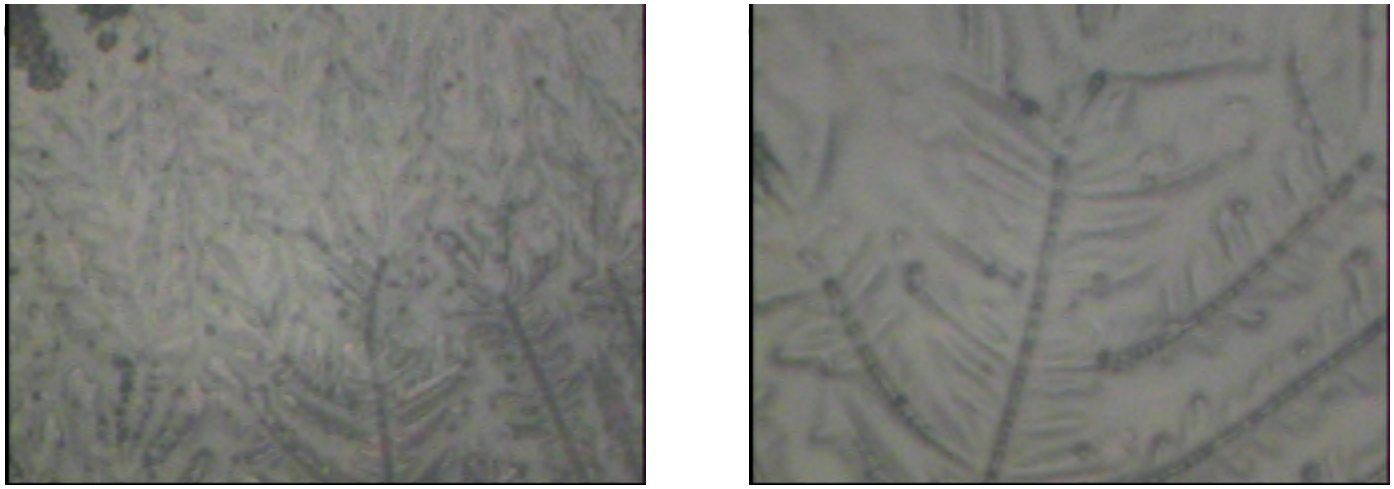


圖 4-2、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的樹枝狀結構末端

Fig. 4-2. The terminal dendritic structure of PAM film under (a)40X and (b)100X metallurgical microscope.

(a)

(b)

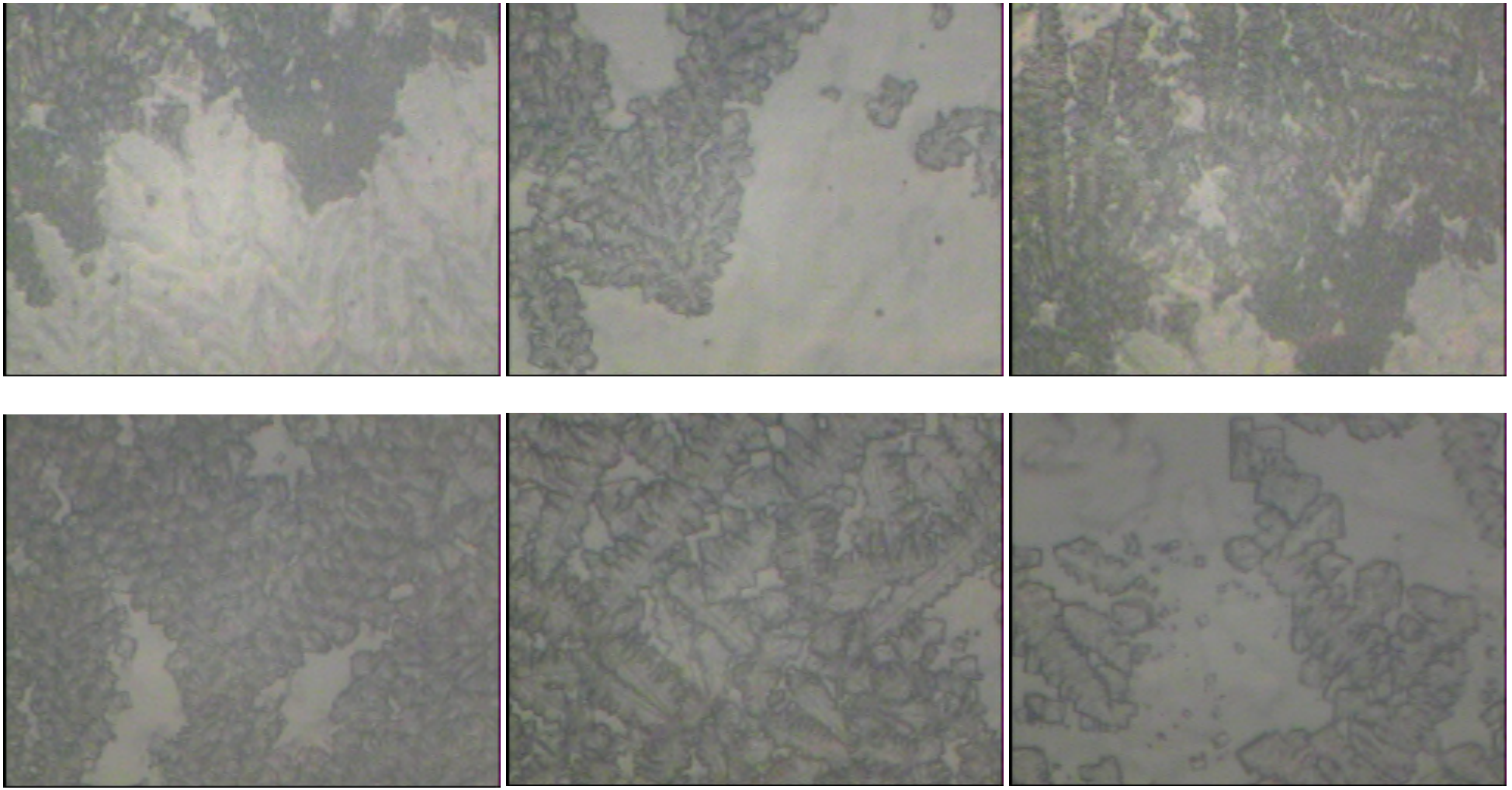


圖 4-3、PAM 薄膜於金相顯微鏡(a)40X 及(b)100X 下的塊狀結構

Fig. 4-3. The blocky structure of PAM film under (a)40X and (b)100X metallurgical microscope.

進一步以原子力顯微鏡(atomic force microscope, AFM)掃描 PAM 薄膜中央(樹枝狀結構)、間隔(塊狀結構)及邊緣部位，結果發現於 10×10 μm AFM 掃描圖下，中央部位形成之粒狀構造較大，粒狀間的孔隙也較大(圖 4-4a)，於間隔部位形成之粒狀構造較小較為密集(圖 4-4b)，至薄膜邊緣時其 PAM 高低起伏低，高低差僅 5.26nm，無明顯構造而呈平坦狀(圖 4-4c)，此結果可能與 PAM 溶液所帶黏性有關。Bjorneberg(1998)即表示 PAM 溶於水中後因丙烯酸或丙烯酸鈉上的羧基解離而帶負電，使 PAM 長鏈因相互排斥延展，進而拉近 PAM 分子間的距離，促使 PAM 長鏈相互鏈結交纏，造成 PAM 溶液黏度增加，而影響 PAM 溶液的流動性。因此將高濃度 PAM 溶液滴於載玻片上時，其因黏度大而成水珠狀並未立即向外流動，後於水分蒸發過程中，PAM 漸漸沉積吸附於載玻片上，並受溶液向外緩慢擴張牽扯而呈樹枝狀，其中心部位因 PAM 長鏈間的鍵結交纏程度較高而難以向外延伸，所以越接近中心之分支越粗，所受之拉扯力也越高使其孔隙相較分支末端為大，而至薄膜邊緣部位 PAM 含量已極低，因此於 AFM 下呈平坦狀。

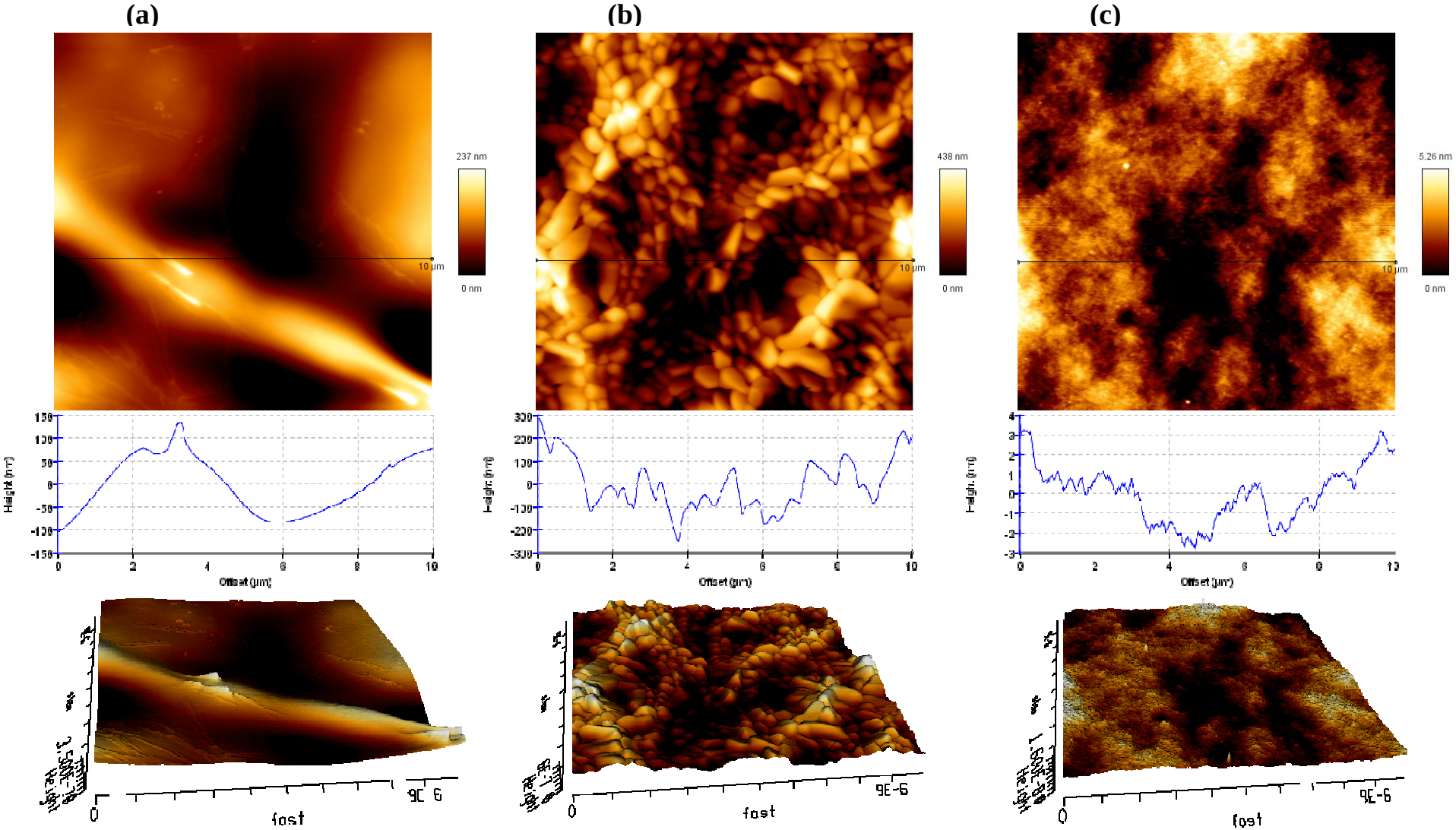


圖 4-4、PAM 薄膜的(a)樹枝狀、(b)塊狀及(c)平坦狀結構之 AFM 圖

Fig. 4-4. AFM image of (a) dendritic, (b)blocky, and (c)even structure of PAM film.

於本試驗中藉由觀察 PAM 薄膜微觀結構可知，PAM 溶液於擴散蒸發過程中 PAM 的沉積吸附情形，結果顯示 PAM 主要集中於最初水滴狀之圓圈處，即薄膜中央及間隔部位，邊緣部位則極低，這是因 PAM 與同為極性分子的載玻片(Silica)間具有吸附性，促使 PAM 與載玻片一接觸即迅速吸附於載玻片表面，而造成 PAM 集中沉積於最初與載玻片上的接觸面。Lentz et al.(2002)也指出 PAM 因對土壤吸附性高，所以當 PAM 與土壤接觸即可迅速吸附於土壤中，而灌溉水流速慢時，PAM 因與犁溝土壤接觸時間增多其吸附量也隨之增加，所以灌溉水至犁溝末端時，PAM 含量已極低。此外 PAM 長鏈間的鍵結交纏程度也會影響 PAM 的流動速度，當 PAM 鍵結程度越高，PAM 越難隨溶液向外流動，而導致 PAM 流動性降低。

二、 PAM 對黑麥草種子發芽之影響

分別以不同濃度(1~10%)處理黑麥草種子進行發芽試驗，觀察高分子量 PAM 的特性及濃度高低對其發芽之影響；由其發芽試驗變方分析表可知，PAM 的濃度會對發芽率產生差異，平均發芽天數在約第 11 天時趨於穩定。

三、 黑麥草種子發芽情形

依據種子發芽的定義：種子胚根或胚芽突出包覆組織，其突出長度大於 2mm 者。

首先檢視種子種植 5 天後其發芽之情形，種子大約在 4~5 天開始發芽，其發芽高峰以 1%PAM 水溶液在第 8 天達到發芽高峰，其餘添加任何濃度之 PAM，其發芽高豐皆約在第 8 天~第 9 天，但其發芽數還是以 1%PAM 水溶液為多數。

1. 1%PAM 水溶液狀況如圖 4-5~圖 4-7



圖 4-5　種植第 5 天



圖 4-6　種植第 6 天



圖 4-7　種植第 7 天

2. 2%PAM 水溶液狀況如圖 4-8~圖 4-10

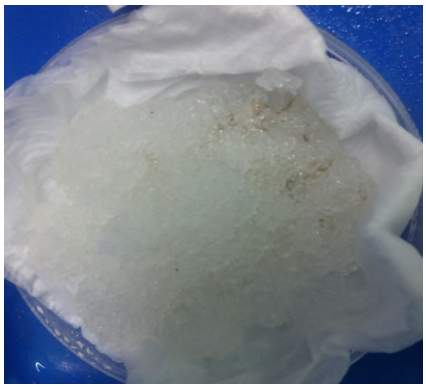


圖 4-8　種植第 5 天



圖 4-9　種植第 6 天



圖 4-10　種植第 7 天

四、　發芽率

發芽率為在指定的期限和條件下正常之發芽種子數目的比率，發芽率%=N/S*100，種子顆數：50 顆，根據國際種子檢查規則(1998)當中的種子檢定，一般種子中常混有異種、野草之種子、莖葉碎屑及砂粒等夾雜物，將降低品質種子純度及售價，故種子純度之檢定，有助於適宜種子之選擇，其計算式如下：

$$\text{種子純度}(\%) = \frac{\text{除去夾雜物後純潔種子之重量}}{\text{樣品重量}} \times 100\%$$

將篩選過後的種子進行發芽率試驗，數據如圖 4-14

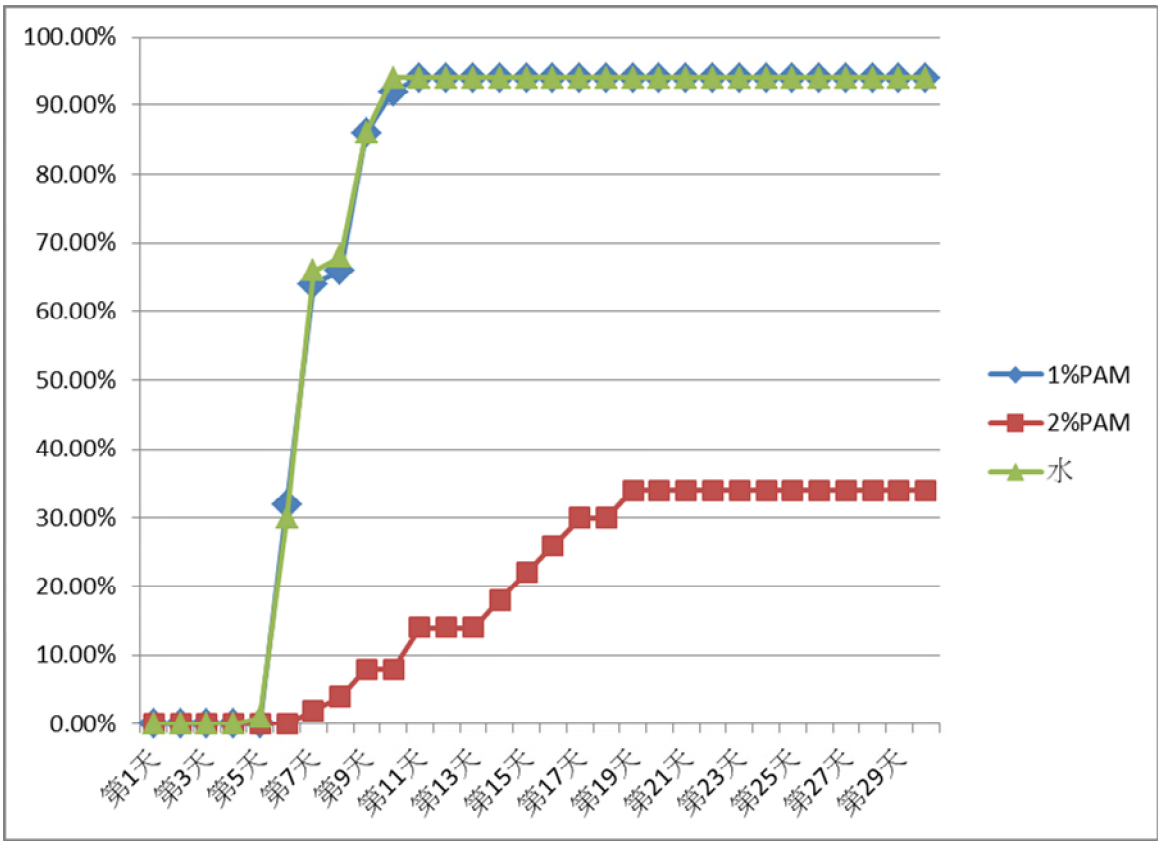


圖 4-11　種子發芽率圖

五、　試撒植生粒試驗

挑選適當濃度 PAM 的植生粒，於本校工程館試撒

1. 地點：本校工程館 4 樓，高度約為 12 公尺



圖 4-12　工程館圖

2. 投擲過程



圖 4-13　投擲圖

3. 植生粒投擲至地上



圖 4-14　植生粒圖

4. 觀察植生粒



圖 4-15　投擲植生粒後第 6 天圖



圖 4-16　投擲植生粒後第 13 天圖

六、　植生粒劑投擲面積(投擲高度約為 12m)

1. 本次植生粒劑採用直徑 3cm 及 5cm 進行觀察



圖 4-17　3cm 植生粒劑



圖 4-18　5cm 植生粒劑

2. 直徑 3cm 投擲後成果(平均面積約 18cm^2，厚度約 1.5cm)



圖 4-19　3cm 投擲後

3. 直徑 5 cm 投擲後成果(平均面積約 45cm^2，厚度約 1cm)



圖 4-20　5cm 投擲後

七、　現地投擲植生粒試驗

投擲植生粒試驗皆與國立中興大學水保系林信輝教授之團隊合作進行，使用儀器為六軸式無人載具(UAV)，材料為自製植生粒劑。



圖 4-21　無人載具



圖 4-22　植生粒劑

本次投擲試驗分為兩次：

1. 第一次 時間：107 年 09 月 28 日，地點：屏東縣滿洲鄉牡林國小附近



圖 4-23　現地全景照

(1) 107 年 09 月 28 日投擲結果



圖 4-24 當日現地投擲成果

(2) 107 年 10 月 14 日再次觀察投擲成果



圖 4-25　16 天後現地投擲成果

2. 第二次 時間：107 年 10 月 10 日，地點：嘉義縣中埔鄉



圖 4-26　現地全景照

(1) 107 年 10 月 10 日投擲結果



圖 4-27　當日現地投擲成果

(2) 107 年 11 月 9 日再次觀察



圖 4-28　29 天後現地投擲成果

第五章 結論與建議

5-1 結論

黑麥草因取得容易，本身在 PAM 狀態下，成長速度以及發芽率都十分良好，並且本身是屬於高蛋白質作物，可以吸引附近動物來覓食。

對於添加 PAM 時，由於 PAM 溶液水分含量高至 90%以上，可於以土壤形成保護層，有效的降低水分的散失。

加入 PAM 後會產生薄膜使種子發芽延後情形發生，但可使土壤表面不容易乾燥，種子死亡率降低。

種子發芽試驗時，須保持通風良好之空間，否則容易有發霉情況之產生。

當以不同濃度 PAM 對草種子進行發芽試驗，顯示低濃度 PAM 處理因能降低水分的蒸發速度而有助於種子發芽。然而當種子越小，PAM 濃度越高時，PAM 越易包覆於種子上，並在種子上形成厚水膜層，反而影響種子的通氣性，造成種子發芽的障礙。此外種子因本身特性的不同其吸水能力也有所差異，因此當 PAM 披覆時其釋水程度與種子吸水間的交互作用，使種子的發芽在 PAM 處理下表現出不同反應。

黑麥草屬於中寒帶植物，故在高山上更能夠成長，需求水量也相對低少，可以藉由 PAM 水溶液所富含的水來當成它發芽成長所需的水量，使它能夠伸根至土壤。

在現地投擲試驗的過程中，必須考慮的因素比室內進行試驗過程中相對來的多，包括天氣氣候因素，溫度條件、當地土壤因素等等。

溫度條件及當地土壤因素影響較為劇烈，溫度主要影響為草種的適合性，不同溫度下所能成長的草種將會不同，而土壤因素主要影響為植生粒劑之基材，不同地質下須配合調整粒劑之黏稠性。

本計畫在現地投擲試驗時所使用之草種為百慕達草，原由為為了因應在屏東地區等南部地區，天氣較為炎熱，故更換為百慕達草，此草種為較能夠

抗旱的慢性植物。

5-2 建議

1. 未來可針對不同的地形環境、土壤因素等，做出不同的植生粒劑不同的配方。
2. 未來可以以木本植物進行相關研究，判斷可行性。
3. 可以運用空拍技術達成長時間的觀測。

5-3 計畫期程(已按照計畫期程進行)

	107 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
完成植生基材之高分子材料選擇。											
完成植生粒配方選擇											
完成植生粒製作製程											
完成植生粒草籽發芽試驗											
完成植生粒投擲試驗											
撰寫期中報告											
撰寫成果報告											

第六章 參考文獻

山海堂(1990)綠化工技術用語事典，日本綠化工學會編，pp.138

行政院農業委員會水土保持局（2006）,水土保持手冊

行政院農業委員會水土保持局（2018）,水土保持手冊

張渝江(2017) , UAV 的發展及應用,地質論壇,地質 36 卷 3 期

臺灣省政府農林廳(1998)，「國際種子檢查規則」。行政院農業委員會。

林信輝（2004）,水土保持植生工程,台北市,高立圖書有限公司

Entry, J. A. and R.E. Sojka. 2003. The efficacy of polyacrylamide to reduce nutrient movement from an irrigated field. Trans. ASAE 46(1):75-83.

Barvenik, F. W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. Soil Sci. 158:235-243

Seybold, C. A. 1994. Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 25:2171-2185.

Laird, D. A. 1997. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces. Soil Sci. 162:826–832.

Levy, G. J. and W. P. Miller. 1999. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. Soil Till. Res. 55:121-128.

Shaker, R., C. Ramakrishna and P. K. Seth. 1990. Microbial degradation of acrylamide monomer. Arch. Microbiol. 154:192-198.

Orts, W. J., R. E. Sojka and G. M. Glenn. 2000. Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. Ind. Crops Prod. 11:19-29.

Sojka, R. E. and R. D. Lentz. 1997. Reducing furrow irrigation erosion with polyacrylamide (PAM). J. Prod. Ag. 10:47-52.

Bjorneberg, D. L. 1998. Temperature, concentration, and pumping effects on PAM viscosity. Trans. ASAE. 41(6):1651-1655.

附件一 期中審查辦理情形

無人機載具灑播植生粒劑之研究

1. 黑麥草生命週期短暫，應配合其他水土保持草種或樹種進行發芽試驗。

A: 為了因應不同氣溫環境，目前已增加百慕達草及銀合歡樹種進行可行性分析。

2. 粒劑之材料特性是可能影響種子發芽生長之條件或因子等，需加以釐清，以利後續可應用性之評估。

A: PAM 之材料本身帶有肥料之官能基，可在草種吸收水份的過程可進行釋放肥料以利種子發芽時所需之養分。

3. PAM 之種類多且品質用途差異大，未來如何作可規格化產品之植生資材？

A: 目前 PAM 種類雖多，但主要成分皆為聚丙烯胺，先以供貨廠商所能提供之產品為主。

4. PAM 為唯一材料選擇之說明不宜，應有其他相關應用材料之比較說明？或有利用 PAM 做為唯一植生資料相關文獻參考資料，及如何僅以 PAM 材料進行調整配比試驗。

A: PAM 為一種聚丙烯胺的聚合物，它可配合 PAM 浸泡在尿素、P2O5 和 K2SO4 中更改化學性質，改變所需要之肥料

可參考文獻為”Radiation Crosslinking of Modifying Super Absorbent (Polyacrylamide/Gelatin) Hydrogel as Fertilizers Carrier and Soil Conditioner”

5. P.28，後續試驗研究工作項目，沒有執行進度、試驗步驟規劃與預期成果之明確說明。

A: 目前已添加計畫期程

6. 期初審查辦理情形之回覆說明，無明確說明已辦理事項，且無法對應期中報告內文之資料(包括修改或進行事項之章節頁次)。

A:

7. P.24，發芽率試驗是在何種環境條件下進行(何種溫度、光照、發芽箱設備等)？

A: 發芽試驗試驗地點為室內空間，溫度為 25~30 度之間，並採取半日照方式進行試驗

8. P.24， 2%PAM 發芽率較差(第七天尚未發芽)，但 P.22、23 第七天為何有大量發芽之照片情形，而 P.21，1% PAM 之發芽照片情形反而較佳？此與 P.24 圖 4-14 之資料不符。

A:將過詳看過後發覺為照片植入錯誤，目前已進行修正

9. 有關 PAM 屬性觀察與特性說明，主要為薄膜顯微觀察、土壤吸附作用等，此與計畫擬解決之植生問題關聯性低。應說明其可能影響種子發芽生長之因素。

A:觀察土壤吸附作用，能準確判斷是否能在投植植生粒過程中，接觸地面時附著在土層上面，PAM 之特性本身唯有強烈凝絮作用的聚合物，所添加量越多黏性則越強，種子在越濃稠的基材下越不容易發芽成長

10. P.12，使用之土壤係何種土壤材料，未來植生粒是否可能大量生產？粒劑可否較長期保存其有效性？

A: 土壤為有機培養土，主要成分為廢棄的香菇包木屑等其他有機物

11. P.13，有多花黑麥草與多年生黑麥草之說明，本計畫係選用哪種黑麥草？。

A: 多花黑麥草为一年生禾本科牧草，喜歡溫潤氣候，耐低温，10℃左右生長良好，20℃以上最適宜，多年生黑麥草為喜歡溫潤氣候，宜夏季凉爽、冬季不太嚴寒地區生長。10～27℃均能適宜生長。35℃以上易枯萎死亡，依此本計畫選擇可適宜溫度較廣的多年生黑麥草作為試驗材料。

附件二 期末審查辦理情形

無人機載具灑播植生粒劑之研究

1. 噴灑方式

A：本計畫之研究目的為在高山上或是不意人抵達的高山邊坡地，進行植生工法以利達成水土保持之成效，因此採用 UAV 植生噴植之方式較易達成。

2. 噴灑面積

A：本計畫採用的 UAV 噴灑方式為一次性開闔式的 UAV 工具，因此噴灑面積為一片一片之區域，將來發展時可研發多角度開闔式之工具以利均勻噴灑。