

高分子材料應用於揚塵抑制之功能性評估

江孟玲⁽¹⁾ 林昭遠⁽²⁾ 林政侑^{(3)*}

摘 要

河川揚塵防治乃近年受到重視之環境議題，更是水土保持問題之一環。如何於細顆粒之乾燥河床，快速形成水分不易散失之濕潤層，使土砂成為穩定之團粒，將是抑制河川揚塵極為關鍵之技術。本研究經文獻回顧，採用途廣、無毒害、易水解、對土壤 pH 值影響極微之高分子材料聚乙烯醇(P.V.A.)做為試驗材料。結果顯示，PVA 水溶液濃度與土砂團粒穩定度成正相關，初期土砂藉由水分子氫鍵能形成團粒化，水分蒸散後，團粒轉換為 PVA 分子與土壤中陽離子鍵結，可提供更強抗風蝕能力。此外，當 PVA 濃度高於 4%時，水分蒸散後土表易產生結殼，入滲勢能極低，地表逕流增加，硬殼破裂後，下層土砂仍易受風力吹襲產生揚塵。惟當 PVA 濃度降至 0.3%時，透過分子間凡德瓦爾力作用入滲勢能反而增加，可使水份可滲透至 20 公分之土壤深度，即一般根系生長深度，充分發揮最佳土壤改良(synthetic soil conditioners)功能。種籽發芽率對於不同 PVA 濃度與添加 0.5%之三仙膠進行對照試驗，結果發現，PVA 濃度低於 1%時，有最佳發芽率，三仙膠添加與否對種籽發芽無明顯差異。

(**關鍵詞**：懸浮微粒、揚塵、PVA)

The functionality evaluation of aeolian dust prevention using macromolecule material

Mon-Ling Chiang⁽¹⁾ *Chao-Yuan Lin*⁽²⁾ *Cheng-Yu Lin*^{(3)*}

PH. D. student⁽¹⁾⁽³⁾, Professor⁽²⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

The prevention of aeolian dust is an important environment issue and one kind of soil and water conservation problem. How to rapidly construct the wet cover which could stabilize the soil structure on the fine particle and dry river bed is a key point technique for aeolian dust precaution. With

⁽¹⁾國立中興大學水土保持學系博士生

⁽²⁾國立中興大學水土保持學系教授

⁽³⁾國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail: dgjkpsz@gmail.com)

literature review, the Polyvinyl Alcohol which is broad application, no toxin, easy hydrolysis and low effect for soil pH value was selected as experiment material. The results showed a positive relation between concentration of PVA solution and stability of aggregation. In the initial stage, the soil particle can aggregate by the bond energy of hydrogen. After water evapotranspiration, the bond of soil aggregation can construct with PVA molecule and soil cation and provide stronger erodibility. Besides, when the concentration of PVA is higher than 4%, the soil surface is subject to become crust after evapotranspiration and the infiltration potential is low which causes the surface runoff increase. As a result of crust break, the sediment below the crust is vulnerable to erosion and aeolian dust occurrence under the strong wind. However, when the concentration of PVA is lower than 3%, the infiltration potential can increase because of the van der Waals' force between PVA molecules. The water can infiltrate to 20 cm soil depth, root system depth, and the PVA provides the great ability of synthetic soil conditioners. The experiments of germination rate with different PVA concentration and 0.5% xanthan gum addition were compared. The results show that the great germination rate is PVA concentration lower 1% and xanthan gum addition is no significant for germination rate.

(**Keywords** : Particle matter, aeolian dust, PVA)

前言

近年來臺灣中南部空氣品質惡化，揚塵是主要問題之一，揚塵之現象與成因，可從材料、來源、好發季節、熱點區位來探究。臺灣山高水急，土砂運移劇烈，常見的天然災害如颱風強降雨、地震土石崩落，以及人工構造物之築堰攔水、建壩攔砂，都容易形成河川下游淤積大量細顆粒土沙，當冬季河床乾涸裸露時，在東北季風吹襲下，位於西部河川出海口地區鄉鎮，揚塵問題嚴重。揚塵材料之來源，除河川漂砂從上游運移而來之外，亦有來自河口海洲，河川區域外之休耕裸露地。

相較於南部地區工業霾害與揚塵多重影響，中部沿海地區揚塵影響因素相對單純。以濁水溪河口為例，西元 1999 年 921 地震後，集水區上游大量崩塌土砂已逐年往下游河口下移。而上、中游河段因攔河

構造物截水利用，更導致冬季枯水期下游河川水位下降。從衛星影像資料及航照圖判釋可知濁水溪具有寬廣之河床裸露面積，尤以冬季期間河床裸地大增，河床表面之土砂極為乾燥，加上此段時期適逢東北季風盛行，風勢強勁，在乾燥季風吹襲下，造成雲林縣二崙、崙背地區揚塵現象，影響生活環境品質。由環保署空氣品質監測各月份發生揚塵事件日數資料發現，揚塵主要發生於每年 10 月至翌年 4 月間，亦即一年中約有半年時間，生活與健康都處於揚塵影響威脅下。

揚塵現象產生小於 10 微米(μm)直徑的懸浮粒子(PM_{10})，被定義為可吸入懸浮粒子，能夠聚積在肺部，對人體健康有害(Pope, 2000)。若直徑在 $2.5 \mu\text{m}$ 以下者($\text{PM}_{2.5}$)，則會造成呼吸與氣管(Burnett et al., 2014; Ogino et al., 2014; Kumar et al., 2013)、心血管疾病(顏瑞昇, 2012; 陳思穎, 2013; Pun et al., 2014; Costello et al., 2014)，以

致死亡(Tsai et al., 2014)。對河口居民身體健康及生活品質影響很大。

揚塵抑制方法，短期多建議採用灑水使地表細小沙塵經由水分子間氫鍵能作用形成團粒化，中期則藉由建立植物根系保持地表濕潤促進團粒形成，固結土砂；長期若能成功營造植生覆蓋產生屏蔽作用，進而阻滯細小沙塵活動，則能發揮抑制揚塵功效。研究指出，河川揚塵之防治法，常使用水覆蓋法、護甲法、植生法、土壤改良法等。洪等研究(2014)認為以水覆蓋法中之灑水法效率高(等, 2014)，灑水法主要依賴水滴將細小的土砂顆粒聚集成粗大團粒，因而達到抑制揚塵的目的。然而灑水法受限於必須定期灑水，且須配置於水資源豐沛之處。實際操作發現，裸地灑水之水分子在重力與毛細現象下，易往地表下層入滲移動，同時在乾燥氣流吹襲下水分極易蒸散逸失。其次，植生覆蓋需有環境立地條件配合與適生季節，同時更需長時間生長，無法立即全面性達到抑制揚塵效果。張明倫(2009)噴灑三仙膠水溶液之土壤改良法抑制揚塵，能在短時將達到抑制目的，且不需特別維護，即可維持約2個月之成效，其施作成本估算為6000元/公頃。為尋求更低價格、抑制效期增長之材料，因此考慮生物可降解之水溶性人工合成高分子材料。人工合成之成本低廉且比天然合成高分子材料穩定度高效期增長，且因大量應用於環境中，須採用生物可降解以及可溶於水的材料，符合以上需求條件者為聚乙烯醇(Polyvinyl Alcohol，簡稱PVA)。

PVA一種安定無毒的水溶性高分子材

料，能於在水中穩定存在的土壤團粒，通常是土壤中的陽離子與有機化合物形成共價結合(J. M. TISDALL et al., 1982)，有鑑於此，本研究在水中添加 PVA 高分子材料，當土壤被噴灑 PVA 水溶液後，即使水分蒸散，PVA 之膠黏的特性能將表土黏著成一成保護層抑制揚塵形成，降雨後被雨水沖入內層土石砂，仍能包覆土石砂使之形成穩定的團粒，達到長時間抑制揚塵，同時探討實際施作功能性與操作效果。

材料與方法

1. 研究材料

聚乙烯醇 PVA 是在西元 1924 年由德國的科學家 Dr. Hermann 與 Dr. Haenel 首先共同研究得到的水溶性高分子化合物。其化學式如下(JPED, 1996)：

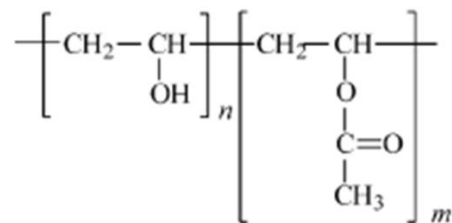


圖 1 部分水解 PVA

Figure 1. Partial hydrolysis PVA

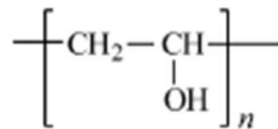


圖 2 完全水解 PVA

Figure 2. Completed hydrolysis PVA

乙烯醇單體相當不穩定，因此聚乙烯醇不能從單體乙烯醇製備，必須利用聚醋酸乙烯酯在鹼的作用下與甲醇反應製得，此一過程稱為「水解」，又稱「皂化」或「醇解」。若乙醯基全部被水解，則所得的聚乙烯醇稱為完全水解級(Fully hydrolyzed)；未全部除淨而在聚醋酸乙烯的聚合鏈結上保留著乙醯基，則為部分水解級(Partially hydrolyzed)的聚乙烯醇，部分水解級是指水解度在 87%~89% 的 PVA，其一般分子量約為 30,000-200,000(Handbook of Pharmaceutical Excipients, 1994)。

(1) PVA 的物理性質

PVA 一般為透明無色之粉末或顆粒狀(JPED, 1996)，密度約 1.19~1.31g/cm³(Isolyser Company, 1998)。當溶液濃度在 5% 及以下，雖經長時期保溫，無解聚現象不發生凝膠。完全水解級的聚乙烯醇的溶液黏度隨著時間增長而提高，而部分水解級則較穩定。固定溫度下，黏度和濃度的關係成正比，固定濃度條件下，黏度和溫度成反比。

PVA 能溶解於含有羥基的極性溶液中，如甘油、乙二醇、醋酸、乙醛、苯酚，但易形成凝膠狀。而不溶於一般非極性有機溶劑及無機酸中，如硫酸、鹽酸等溶液(Isolyser Company, 1998)。

PVA 對水的溶解度隨著水溫的而升高，水是聚乙烯醇的最好溶劑。完全水解的 PVA 在主鏈(碳鏈)上含有大量羥基(-OH)，雖羥基會和水分子形成氫鍵，造就 PVA 成為可以溶於水的高分子材料，但完全羥基

化的情況下，分子間和分子內形成大量氫鍵，物理交聯點多，密度高，導致 PVA 結晶度高，不利於水分子的滲入。因此若要提高 PVA 的水溶性必須降低聚合分子間的親和力，其一般有增加羥基間的距離或降低羥基含量等兩種方法。

(2) PVA 的化學性質

PVA 於常溫下，溶液的 pH 值約在 7.5 時，黏度很穩定；或是在弱酸弱鹼中，黏度也穩定，不易光分解，具有生物降解性(biodegradability) 在化糞池系統、填埋、堆肥和土壤中的幾種常見的微生物例如假單胞菌屬 *Pseudomonas. sp.* 可催化降解聚乙烯醇(Watanabe et al., 1976)，最終產生對環境完全無害的乙酸(acetic acid)(Isolyser Company, 1998)。

(3) PVA 的生物毒性

一般生物毒性可分為 5 個等級研究，急性毒性(Acute toxicity)、亞急性毒性(subacute toxicity)、亞慢性(Subchronic toxicity)、致癌性(Carcinogenicity)、基因毒性(Genotoxicity)。PVA 的生物毒性研究資料相當多，但其中關於致癌性的研究需長期觀察，所以未有研究報告(DeMerlis et al., 2003)。

(4) PVA 於土壤改良劑之應用

分子量約 70,000 的 PVA 水溶液 8-10g 被噴灑在 1m²、0-2cm 的苗床(seedbed)上時，可以增加土壤的入滲、蓄水和發芽率。因為 PVA 水溶液增加土壤的入滲，就能減少逕流量、降低土壤的沖蝕，甚至增加土

壤的含氮量(JM Oades, 1996)，藉此改善土壤之結殼現象。

各種不同的土壤與不同大小的團粒在加入 PVA 後，穩定度都增加，PVA 的角色亦扮演著有機物與無機物之間的橋樑，使他們能結合成複合物，要達到最佳的團粒穩定度，不同土壤運用於不同 PVA 濃度，其中被沖蝕的土壤需高濃度(0.1%)的 PVA 才有穩定團粒效果(Kukul et al., 2007)。

2. 研究方法

本研究將 PVA 與三仙膠單獨與混合施作於土壤，測試其物理、化學、發芽，入滲試驗及團粒穩定度，以評估其在揚塵的應用，並期能提出應用工法，研究流程如圖 1。

3. 試驗準備

(1)土砂試樣：研究採用之土砂試樣位於濁水溪出口附近，地理位置如圖 2。

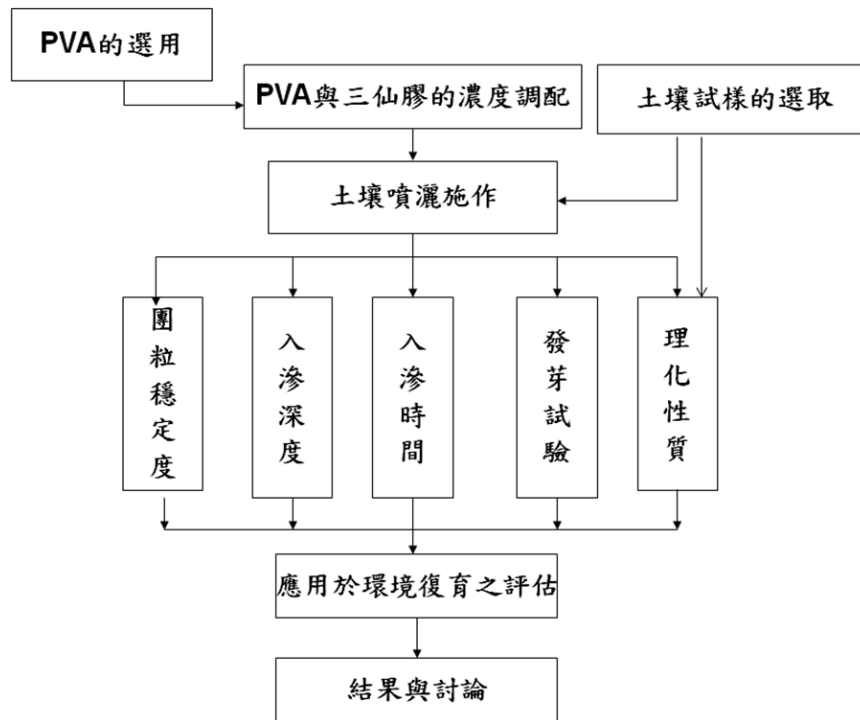


圖 3 研究流程

Figure 3. Flow chart of study

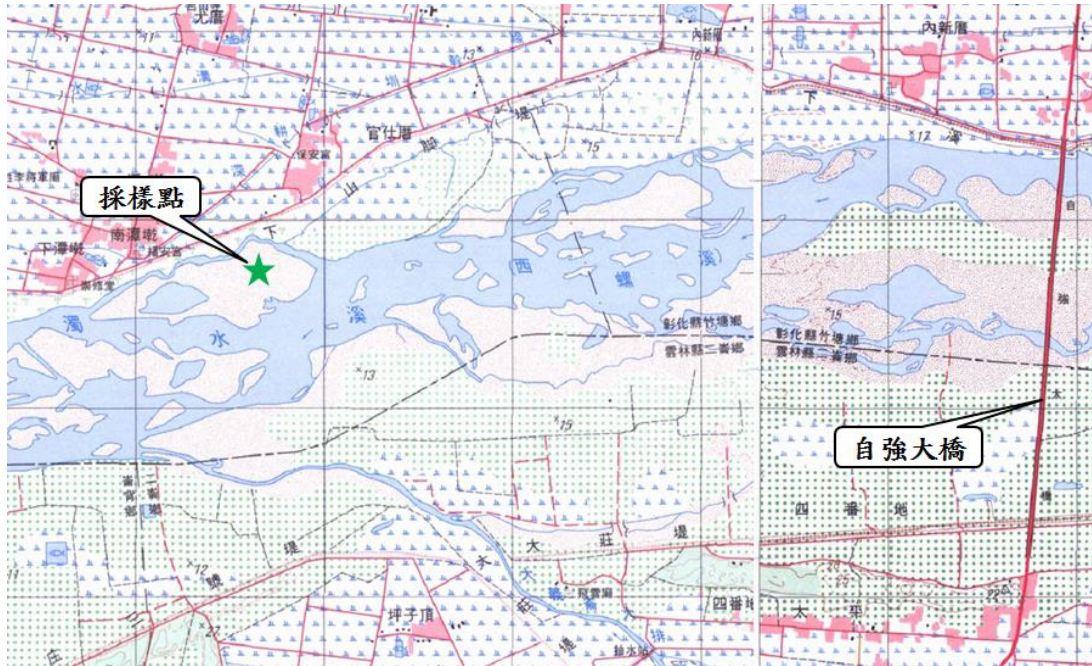


圖 4 土壤採樣樣區

Figure 4. Sampling site of soil

(2) 聚乙烯醇 PVA

在精密工業及醫藥工業上的 PVA 要求極高的純度，同時價位會較高，但在一般農業與揚塵上的使用量多，因此必須尋求低價位工業用的 PVA；在操作上，必須要求於常溫下能溶解於水的條件。

PVA 因在製作過程中皂化程度的不同而形成性質的差異，在國際市場上，PVA 的商品品種就有 100 餘種，其中主要的差別是聚合度和水解度。考慮到水溶性，本研究採用國產之粉狀 PVA，選用部分水解度為 86-89%；分子量 30000-70000，於 4.00 wt % PVA 水溶液在 20.0 °C 時的黏度為 21-26 cp；20.0 °C 時之 pH 值 5-7。零售價格為 1000 元/20kg。

(3) 三仙膠 (xanthan gum)

研究採用食品級三仙膠。外觀為淡黃色粉末，化學結構近似纖維素(cellulose)，所不同的是三仙膠在這纖維素骨幹上接有支鏈，且在支鏈的末端接有丙酮酸。三仙膠最初在 1950 年代時美國農業部實驗室利用微生物 *Xanthomonas campestris* 菌進行通氣培養發酵所生產而得的膠體，到 1969 年三仙膠就開始廣泛地運用在保養品、食品、製藥及其他工業。在農業上，三仙膠被的應用在改善農藥的噴霧能力及減少因農藥噴灑造成的滴漏現象；在水土保持上，研究指出三仙膠均勻噴灑於砂表層可收顯著之定砂效果(林昭遠等, 2006)。三仙膠是天然高分子化合物，對環境的傷害很小。

(4) 試驗之種子材料

為評估 PVA 是否能運用於海岸定砂，且 PVA 結構中具有-OH 基團，可以與水分子形成氫鍵而具有保水性，因此本研究以百喜草與百慕達草為供試植物，目的在測試添加不同濃度的 PVA 及 PVA 三仙膠混合液的施作，是否能協助植物的正常發芽或是有其他影響。

百喜草(*Paspalum notatum*)為熱帶型植物，有不錯的耐蔭性、耐踐踏性及優良的耐旱性。其土壤適應性廣，從排水良好沙質地到積水的黏重土壤皆可存活，尤其適應於質地粗糙貧瘠的海岸邊沙地，土壤酸鹼值忍受度大，pH 範圍在 5.5~7.9 之間。(吳建銘，2010)

百慕達草 (*Cynodon L.C. Rich*)，為 C4 型熱帶型草種，適合熱帶及亞熱帶的氣候，高溫與高光環境下植株生長快速，莖葉茂盛，除在低溫下生長較差外，對環境

逆境如高溫、鹽份有高度的容忍性，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 60~250mm 以上都可存活，同時耐踐踏與修剪，生育中也不易受病蟲害威脅(吳建銘，2010)，因此是海邊很好的定砂植物。

4. 試驗步驟

將採取的土樣先行進行基本理化性質檢測後，將配製好之不同較高濃度的 PVA、不同濃度 PVA 與固定濃度三仙膠混合液、三仙膠三種溶液，以 100mL 溶液/m² 土砂的量均勻噴灑在土砂表面。土壤施作的 PVA 及三仙膠濃度如表 1。

表 1 施作 PVA 及三仙膠濃度
Table 1. Concentration of PVA and xanthan gum

	空白		不同濃度 PVA					不同濃度 PVA+定量三仙膠					三仙膠
編號	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	
PVA%	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0	
三仙膠%	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	

(1) 理化性質測定：

因金屬離子會影響團粒的穩定度，如鈣的存在會增加穩定度，而鈉離子的存在會降低穩定度，因此利用原子吸收光譜儀(Atomic Absorption Spectrophotometer)及火焰光譜儀(測定土壤試樣中常見金屬礦

物質含量。有機質含量亦會影響團粒穩定度，故研究利用氧化還原滴定法，以二鉻酸鉀定量土樣中有機質含量。研究並測定施作前後的 pH 值變化。

土壤的測定方式：

A. 金屬離子檢測：取 5g 土壤以 25mL

1N NH₄Ac 25mL，混勻後放置 30 分鐘，期間搖動數次，用 Whatman No.5 濾紙，再加 1N NH₄Ac 25mL，混勻後放置 10 分鐘，此抽出液為 10 倍液，然後稀釋成 100 倍及 1000 倍液以原子吸收光譜儀，用火燄光度計(Flame Photometer)測定鉀及鈉；另用原子吸收光譜儀測定鈣及鎂。

B. pH 值測定：是以土壤比水為 1:2 的比例混合均勻，放置 24 小時以達到平衡後再以 AA 和 pH meter 測定。

C. 定量有機質：以過量二鉻酸鉀與濃硫酸氧化土壤中有機物，再以 0.5N 硫酸亞鐵逆滴定求得有機質含量百分率。

D. 配製 PVA 溶液時，採常溫下攪拌溶解的方式，紀錄其完全溶解所需時間。

(2) 種子發芽試驗：

海岸砂地植物之枝葉覆蓋可減低風速及阻攔飛砂，地下根系亦藉根力之機械作用，緊縛砂丘土壤而穩定砂丘(施純富，2002)。PVA 的結構中具有本研評估不同濃度下 PVA 及 PVA 與三仙膠的混合施作(如表 1)，對於百喜草與百慕達草種子發芽之影響。百喜草種子外皮有蠟質緊密包裹，若不經處理，發芽率低，因此在種植前以 40°C 的水浸泡 3 天，胚根稍露即播種(吳建銘，2010)。

(3) 入滲時間試驗：

有研究指出，低濃度的 PVA 即可增加團粒的穩定度，並預防結塊的產生(Agrawal et al., 1984)。本研究採用較高濃度 (1%~5%)的 PVA 施作，發現可覆蓋在易受風蝕的細沙土壤以降低揚塵現象，但

需考慮是否會影響降雨之入滲。

在不同施作的土砂表面，以固定之動能(0.05g 水滴、100cm 高度)滴下水滴，觀察記錄其完全滲入土壤之時間。

(4) 入滲深度試驗：

PVA 的黏度會隨著濃度的增加而加大，除了可能會影響入滲時間，亦有可能影響入滲深度。

以 100mL 量筒裝取土樣深度 20cm，經初步測試後發現，倒入 30mL 純水，入滲深度平均為 20cm，因此以不同濃度的 PVA 水溶液 30mL 倒入土樣後，紀錄完全入滲後之深度與時間。

(5) 團粒穩定度測試：

團粒的穩定是重要的對抗雨滴沖蝕的因素，低穩定的團粒容易被雨水沖散與運輸，本研究採用 S.S. Kukul 等人的研究方法(S.S. Kukul, et al., 2007)，測定較低濃度以及較低量的 PVA 施做下的團粒穩定度，並由 SI 值表示團粒穩定度，SI 值是代表破壞每克團粒的水滴動能(S.S. Kukul, et al., 2007)。

$$SI=N(1/2 mv^2)$$

N：每克土壤團粒被破壞所需水滴數目；

m：每滴水滴克數；

v：水滴終端速度。

實驗採用管徑 2.5mm 的滴管製造水滴，由 2.8m 高滴落水滴至 PVA 噴灑處理過之風乾團粒，直到團粒變形被破壞，紀

錄水滴數計算 SI 值。

結果與討論

1. 土砂理化性質

採樣土砂的金屬離子與有機質含量如表 2，土壤的鈉離子含量較高；有機質含量較低，屬於較為貧瘠的土壤，這可能是因為土砂的採樣區接近濁水溪出海口附近。

土砂未施作前的 pH 為 7.12，施作 PVA 的平均 pH 值為 6.83，施作 PVA 與三仙膠混合液後的平均 pH 值為 6.77，單獨施作三仙膠的土砂 pH 值為 6.98，數據如表 3。

根據 pH 值測定，隨著 PVA 三仙膠的施作濃度增加，pH 值會微幅降低，但是下降並不多，介於 6.59~6.98 之間，pH 值的差異並不大，屬於中性偏弱酸。研究可認為 PVA 與三仙膠的施作對土砂 pH 值的影響不大。

加熱操作可以減少配製溶液時完全溶解所需時間，考慮應用於揚塵時的使用量很大，若能在常溫下配製，能增加應用性，因此本研究在配製溶液時記錄常溫完全溶解所需的時間。

觀察發現，溶解所需時間與濃度呈正相關。一邊攪拌一邊將 PVA 緩慢加入水中的操作溶解效果最好，PVA 能快速分散均勻，不至結塊，溶液會先呈白色混濁，間斷攪拌，混濁變為澄清時即為完全溶解。配製高濃度 PVA，PVA 量多易結小塊，小塊會緩慢吸水浸潤，顏色由白逐漸變為透明，持續的建斷攪拌，最長約一個多小時亦能溶解(表 3)。研究認為本研究使用的 PVA 規格，溶液配製能夠在常溫下操作，不需複雜工具，可大量配製應用於揚塵工程。

表 2 土壤金屬離子與有機質含量
Table 2. Metal ion and organic matter
contain in the soil sample

理化性質		含量
金屬離子	Na	3.34 mg/g 土壤
	K	1.39 mg/g 土壤
	Mg	0.31 mg/g 土壤
	Ca	0.69 mg/g 土壤
有機質含量		0.23%

表 3 土砂試樣之 pH 值與溶解時間

Table 3. pH value and dissolution time of the soil sample

試樣	空白				PVA		PVA 與三仙膠			三仙膠		
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
時間(min)	0	2.5	10	20	35	60	5	15	28	50	78	1.5
pH	7.12	6.98	6.89	6.81	6.76	6.72	6.97	6.87	6.78	6.67	6.59	6.98
平均		7.12			6.83			6.77			6.98	

2. 發芽試驗

(1) 百慕達草發芽率

百慕達草發芽率以 0.5%三仙膠(A11)施作的發芽率在後期發芽率上升至 25%，但初期以 1%的 PVA(A1)發芽率在第 5 天時就達到 16%，超過無施作 PVA 的對照組 (A0)。濃度大於 2%PVA 施作的發芽率會低於對照組，濃度越高發芽率越低，添加固定濃度 5%三仙膠的 PVA 亦然，如圖 3。

(2) 百喜草發芽率

如圖 4 所示，以 1%PVA(A1)施作的百喜草發芽率在第 5 天就超過其他濃度，但是在觀察期末，0.5%三仙膠(A11)施作的發芽率高於其他濃度，兩者亦都高於對照組。濃度越高發芽率越低，所有觀察結果與百慕達草發芽率相似，但實驗末期單獨 PVA 施作發芽率比對照組高。

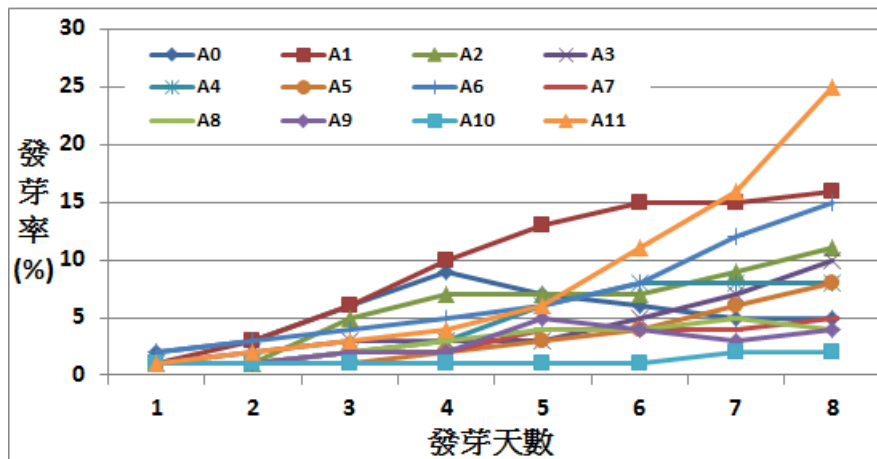


圖 5 百慕達草發芽率

Figure 5. Germination rate of *Cynodon L.C. Rich*

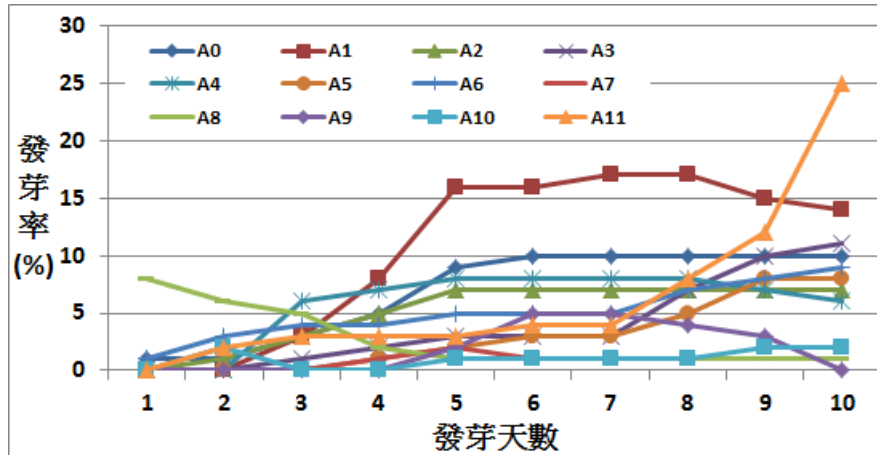


圖 6 百喜草發芽率

Figure 6. Germination rate of *Paspalum notatum*

由種子發芽試驗可知濃度越高發芽率越差，認為高濃度 PVA 並無協助種子發芽的能力，這可能是因為 PVA 雖因結構中具有-OH 基團，可以與水分子形成氫鍵而具有保水性，可是由於和水分子吸引力很大，因此不容易釋出水分子。

較低濃度的 PVA 施作，種子發芽率較高，PVA 應用於揚塵的項目若包含種子發芽，建議濃度在 1% 以下。

單純三仙膠的施作，初期種子發芽率並不高，後期卻增加，優於空白試驗，推測原因可能為三仙膠為天然聚合物，較為容易分解，分解後成為種子的肥料故。

3. 入滲時間

由圖 5 可得，PVA 的濃度增加，入滲所需的時間增加，濃度大於 4% 後，入滲時間急劇增長。建議 PVA 施作濃度不超過 4%。

未添加三仙膠與添加 0.5% 三仙膠的兩組，所測得入滲時間變化差異不大，顯示 0.5% 三仙膠不影響入滲時間。

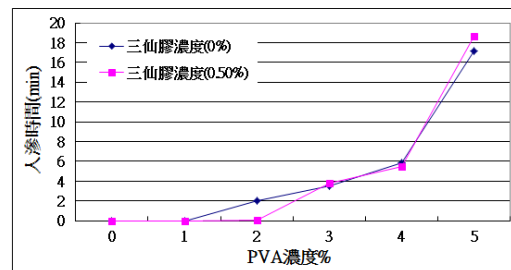


圖 7 PVA 濃度與入滲時間之關係

Figure 7. Relationship between PVA concentration and infiltration duration

4. 入滲深度

實驗發現，濃度 0.3% 以上的 PVA 水溶液在滲透土樣時，會使土樣產生中斷以致於上層的 PVA 水溶液無法再入滲。實驗

在記錄斷層深度與時間後，以玻棒插入土層破壞中斷處，PVA 水溶液會繼續入滲，紀錄最終入滲深度或時間，如表 4。

上操作並不容易，因此應用時建議使用濃度低於 0.3%。

以玻棒破壞中斷處的方式在現地應用

表 4 入滲深度
 Table 4. Depth of infiltration

PVA 濃度%	0.00	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
平均發生中斷深度(cm)	無	無	無	5.4	4.8	3.5	2.8	1.9	1.6	1.3
平均發生斷之時間(min)	無	無	無	1.35	1.85	2.33	2.5	0.9	0.62	1.6
平均入滲深度(cm)	20	20	20	20	20	20	20	12.7	10.1	3.8
平均入滲時間(min)	3.6	4.3	10.6	12.6	14.9	16.4	21.72	21.77	19.57	3.77

5. 團粒穩定度

實驗發現，無論何種團粒範圍，PVA 濃度越大，所得的 SI 值明顯增大，即代表團粒穩定度增大。而無論是否施作 PVA，團粒粒徑越大的範圍，團粒穩定度會降低，如圖 6。

研究發現團粒穩定度最高可增至 10 倍以上。

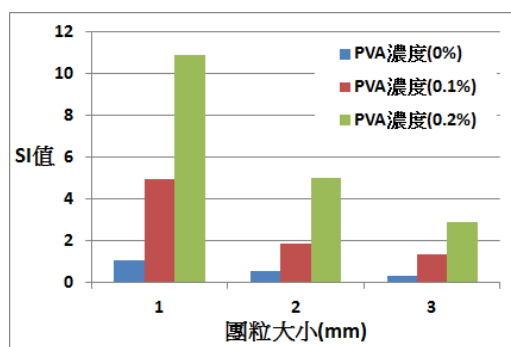


圖 8 SI 值
 Figure 8. Value of SI

結論與建議

1. 蒐集前人研究，聚乙烯醇能為現存環境中的細菌慢慢分解為無毒性的乙酸，最終成為 CO₂ 氣體不會造成環境的負擔。相關的毒性研究認為 PVA 對動物的毒性非常的低。因此是可以安全應用在揚塵工程的高分子聚合物。

2. 聚乙烯醇可溶於水，長春化工 BP-17S 規格之 PVA 可在常溫下簡單攪拌即能完全溶解，大量配製操作容易。

3. 團粒的穩定是重要的對抗雨滴沖蝕的因素，低穩定的團粒容易被雨水沖散與運輸(Egashira, et al., 1986)，團粒穩定度與 PVA 濃度呈正相關。對於砂質土壤，最高可增至 10 倍以上，可以保持土壤的結構，因此可以抗阻風力與水力的沖蝕。因此本研究建議 PVA 可作為改善揚塵與作為土壤的改良劑(synthetic soil conditioners)。

4. PVA 若應用於改善土砂的揚塵現象，在操作上若需配合種子的發芽，建議操作濃度不要高於 1%。在此濃度操作，表土若結層，對於降雨時雨水的入滲影響不大，不會產生逕流。

5. PVA 作為土壤改良劑，可快速的增加團粒穩定度，對抗土壤表面的破壞力，操作時，考慮施作時的入滲深度，建議施作濃度在 0.3% 以下。而當 0.2% 為施作濃度時，團粒穩定度視土砂種類，最高可達 10 倍，因此建議施作濃度為 0.2% 至 0.3%。

6. 以長春化工生產之 PVA 零售價格為 1000 元/20 公斤含運費，因此若以 0.2% 至 1% 為施作濃度，操作量為 1 公升/平方公尺計算成本，1 公頃 PVA 的材料成本約為 100 元至 500 元，此預估成本遠低於三仙膠 6000 元/公頃(張明倫，2009)。

參考文獻

1. 林昭遠、許均任，2006。生物聚合物三仙膠於海岸定砂之研究，水土保持學報 38(1)：pp1-10。
2. 吳建銘，2010。果園草生地植物介紹：百喜草，果園草生栽培管理，pp37-40
3. 洪祖健、王勝賢、林德貴，2014。河床裸露地揚塵抑制工法之效益評估，中華水土保持學會 103 年年會論文 3-2。
4. 陳思穎，2013，The effects of short-term ambient particulate matters exposure on the cardiovascular system，臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所學位論文。
5. 張明倫，2009，濁水溪潛在揚塵發生區位劃定與揚塵防治對策之研究，國立中興大學水土保持研究所學位論文。
6. 顏瑞昇，2012，Association between Particulate Matter and the Incidence of Out-of-Hospital Cardiac Arrest, 臺灣大學流行病學與預防醫學研究所學位論文。
7. Agrawal, R.P. and Sharma, S.K., 1984. Effect of triple superphosphate and polyvinyl alcohol on crust strength, soil physical properties and seedling emergence of pearl millet. *Tropical Agriculture*, 61(4)：pp.269-272.
8. Burnett, R.T., Pope III, C.A., Ezzati, M., Olives, C., Lim, S.S., Mehta, S., Shin, H.H., Singh, G., Hubbell, B., Brauer, M., Anderson, H.R., Smith, K.R., Balmes, J.R., Bruce, N.G., Kan, H., Laden, F., Prüss-Ustün, A., Turner, M.C., Gapstur, S.M., Diver, W.R., Cohen, A., 2014. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental Health Perspectives*, 122(4)：pp.397-403.
9. Clydesdale, F.M., 1997a. Food

- Additives. Toxicology, regulation and properties. CRC Press Database (CD-ROM). CRC Press, Boca Raton, FL. (FAP 6A1963).
10. Clydesdale, F.M., 1997b. Food Additives. Toxicology, regulation and properties. CRC Press Database (CD-ROM). CRC Press, Boca Raton, FL. (FAP 7B2055).
 11. Clydesdale, F.M., 1997c. Food Additives. Toxicology, regulation and properties. CRC Press Database (CD-ROM). CRC Press, Boca Raton, FL. (FAP 7B2055).
 12. Costello, S., Brown, D.M., Noth, E.M., Cantley, L., Slade, M.D., Sherman, B.T., Hammond, S.K., Eisen, E.A., Cullen, M.R., 2014. Incident ischemic heart disease and recent occupational exposure to particulate matter in an aluminum cohort. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 24(1) : pp.82-88.
 13. DeMerlis, C. C., Schoneker, D. R., 2003. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food and Chemical Toxicology*, 41(3) : pp.319-326.
 14. Egashira, K., Nakai, S., Takuma, K., 1986. Relation between soil properties and erodibility of Red–Yellow (Ultisols) B soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32 : pp.551–559.
 15. Hueper, W.C., 1939. Organic lesions produced by polyvinyl alcohol in rats and rabbits. *Archives of Pathology* 28 : pp.510–531.
 16. Isolyser Company, 1998. Isolyser Company, Inc. 4320 International Boulevard, N.W., Norcross, GA.
 17. JSCI, 1968. Japanese Standards of Cosmetic Ingredients (JSCI), first ed. Bulletin of Osaka Medical College, JP.
 18. Kelly, C. M., DeMerlis, C. C., Schoneker, D. R., Borzelleca, J. F., 2003. Subchronic toxicity study in rats and genotoxicity tests with polyvinyl alcohol. *Food and Chemical Toxicology*, 41(5) : pp.719–727.
 19. Kukal, S. S., Kaur, M., Bawa, S. S., and Gupta, N., 2007. Water-drop stability of PVA-treated natural soil aggregates from different land uses. *Catena*, 70(3) : pp.475-479.
 20. Nihon Iyakuin Tenkazai Kyōkai, 1996. Monograph on Polyvinyl Alcohol. The Japanese Pharmaceutical Excipients Directory, Tokyo, Japan : Yakuji Nippo : pp.355.
 21. Oades, J. M., 1976. Prevention of crust formation in soils by poly vinyl alcohol. *Australian Journal of Soil Research*, 14(2) : pp.139-148.
 22. Ogino, K., Takahashi, N., Kubo, M., Takeuchi, A., Nakagiri, M., Fujikura, Y., 2014. Inflammatory airway responses by nasal inoculation of suspended particulate matter in NC/Nga mice.

- Environmental Toxicology, 29(6) : pp.642-654.
23. Pope C.A., 2000. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk?. Environment Health Perspective, 108(4) : pp.713-723.
24. Pun, V.C., Yu,I.T., Ho,K.,Qiu,H., Sun,Z., Tian,L., 2014. Differential effects of source-specific particulate matter on emergency hospitalizations for ischemic heart disease in Hong Kong. Environmental Health Perspectives, 122(4) : pp.391-396.
25. Schweickl, H., Schmalz, G., Gottke, C., 1996. Mutagenic activity of various dentine bonding agents. Biomaterials 17 : pp.1451-1456.
26. Tisdall, J. M., Oades, J., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of soil science, 33(2) : pp.141-163.
27. Tsai, S.S., Chen,C.C.,Yang,C.Y.,2014. Short-term effect of fine particulate air pollution on daily mortality: a case-crossover study in a tropical city, Kaohsiung, Taiwan. Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A-Current Issues, 77(8) : pp.467-477.
28. Wade, Ainley, and P. Weller, 1994. The Pharmaceutical Excipients ke-2. American Pharmaceutical Association, Washington, DC : pp.383-384.
29. Watanabe, Y., Hamada, N., Morita, M., Tsujisaka, Y., 1976. Purification and properties of a poly vinyl alcohol degrading enzyme produced by a strain of Pseudomonas. Archives of biochemistry and biophysics, 174(2) : pp.575-581.
30. Zaitsev, N. A., Skachkov, I. N., Sechenov, I. M., 1986. Substantiation of hygienic standards for some polymeric compounds in water with the use of gradual standardization. Gigiena Sanita 10 : pp.75-76.

105 年 05 月 04 日收稿

105 年 05 月 19 日修改

105 年 05 月 24 日接受

水土保持學報 49 (1): 1963 - 1978 (2017)

Journal of Soil and Water Conservation, 49 (1): 1963-1978(2017)