

生物聚合物三仙膠於海岸定砂之研究

林昭遠⁽¹⁾ 許均任⁽²⁾

摘要

近年經濟快速發展，在高人口壓力及土地需求漸增的情形下，不得不往濱海地區發展。濱海地區雖有防風林可供屏障，可減少東北季風的威脅，但在成林過程中常因飛砂堆積或磨損，導致防風林幼苗生存率過低，因此欲栽植防風林之先驅工作應以防止飛砂為要務。本研究將三仙膠在海岸定砂的適用性分為定砂效益、施用效益及發芽效益，綜合探討決定最佳施用濃度。研究結果顯示，三仙膠均勻噴灑於砂表層可收顯著之定砂效果。三仙膠濃度愈濃，愈難施用。濃度提高至 0.2%時，發芽率微幅下降且有發芽遲滯的現象。長期乾旱地區建議施用濃度 0.2%之三仙膠溶液進行定砂作業，若當地不乏水源補注，濃度則調整至 0.05%並混合百慕達草種進行噴灑，初期利用三仙膠之定砂能力避免草種萌芽期間受飛砂之影響，俟植物成熟後則為利用其根系伸展達定砂之功能，此時進行防風林栽植可收事半功倍之效。

(**關鍵詞**：三仙膠、定砂、防風林)

A Study of Biopolymer (Xanthan gum) on Sand Fixation at Coastal Area

Chao-Yuan Lin⁽¹⁾, Chun-Jen Hsu⁽²⁾

Professor ⁽¹⁾ and Graduate Student ⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402.

ABSTRACT

In recent years, housing development in the costal area of Taiwan in the last several years to accommodate population and economic growth has been advancing rather rapidly. This heightens the need of developing sustainable windbreak barriers for these coastal areas. A practical and effective costal windbreak can be built by growing suitable brushes and trees in the selected areas. Without intervention, the rate of natural windbreak-seedling is extremely low due to the accumulation or abrasion of flying sands in the costal areas. Therefore, countermeasures have to be put in place to nurture the windbreak-seedling. This study assessed the effects on the application of Xanthan gum in

(1) 國立中興大學水土保持系教授

(2) 國立中興大學水土保持系碩士研究生

the costal areas through probing into the efficiency of sand fixation and germination. The results of this study are summarized as follows: First uniform application of Xanthan gum to the top of soil layers showed significant efficiency of sand fixation. Second the higher concentration of Xanthan gum was used, the harder the Xanthan gum application was. Third the germination rate descended slightly and the germination became sluggish if application concentration of Xanthan gum was greater than 0.2%. This study suggested that 0.2% Xanthan gum on sand fixation was an optimal concentration for the long-term arid area. If the water supply is sufficient, the concentration of Xanthan gum could be reduced to 0.05%. Furthermore, Bermuda seeds could also be mixed with Xanthan gum to enhance sand fixation. Xanthan gum greatly decreased the damage of flying sands on the germination of Bermuda grasses. After the germination, the roots of Bermuda grasses would then play a key role of sand fixation very effectively for nurturing the windbreak-seedling .

(**Keywords:** Xanthan gum, sand fixation, windbreaks)

前 言

台灣位於大陸與海洋交界處的特殊位置，使得台灣夏季受西南季風的吹拂，到了冬季則飽受東北季風的威脅，冬季在西伯利亞高氣壓的影響下，其最大風速達 10m/s，瞬間最大風速更高達 20m/s 以上(柳楷，1975)；台灣全省山地約佔 30%，丘陵約佔全島面積 40%，可使用的土地面積本就有限，再加上近年隨著經濟快速發展，對可開發使用土地的需求漸增，在高人口壓力及土地需求漸增的雙重因素下，導致我們面臨不得不往濱海地區開發的境況。

在東北季風強烈的吹拂下，強風挾帶著飛砂及鹽沫對濱海地區人民的性命及身家財產造成莫大的威脅。為了減少強風所造成的傷害，大部分地區皆以建構防風構造物及種植海岸防風林為主要手段。在高喊保育的聲浪下，人們在防風過程方面已逐漸地傾向防風林的構築，但在防風林構築上卻出現若干問題，成林時間需花費數年至數十年，在這段時間內需悉心養護，因為在成林過程中常常會因飛砂淹沒或磨損作用，而導致防風林幼苗生存率過低，因此欲栽植防風林之先驅

準備工作應以防止飛砂為第一要務。

砂丘具動態性(張政亮，1991)，極易以飛砂的型態移動，在防止飛砂方面，為了有效地防止從各方向襲來的強風造成飛砂，本研究使用生物聚合物三仙膠為材料，令其均勻地噴灑在砂地上，利用其本身所特有的黏稠性以達到膠結砂粒的功能；其生物可分解性不會對環境造成污染，若經試驗後確有其功效將可取代目前造價昂貴的團粒穩定劑，噴灑在濱海地區則可收防止飛砂之效，確保海岸防風林順利生長不致被飛砂埋沒。如此一來，日後在海岸地區定砂工程的施作則可以較經濟的方式進行。

材料與方法

本研究將三仙膠在海岸定砂的適用性分為定砂效益、施用效益及發芽效益加以探討，以期在三方面綜合的研究下，得到最佳的定砂施用濃度，研究流程如圖 1。

二、試驗材料

(一) 供試土壤

本研究採集海砂之地點為台中縣梧棲鎮

梧棲漁港港區觀光魚市南側風積砂地，如圖 2。

(二) 三仙膠簡介

三仙膠是利用微生物 *Xanthomonas campestris* 菌進行通氣培養發酵所生產而得的膠體，其外觀為淡黃色粉末(廖杏哲，2000)，由甘露糖 (Mannose)、葡萄糖 (Glucose)，及葡糖醛酸(Glucuronic acid) 所構成。三仙膠的化學結構是由五個糖分子為單位重複鍵結成一長鏈所成，這五個糖分子分別為兩個葡萄糖、兩個甘露糖及一個葡糖醛酸所構成，這樣的結構事實上就是纖維素(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。其主碳鏈係由 β -1,4 鍵結的葡萄糖

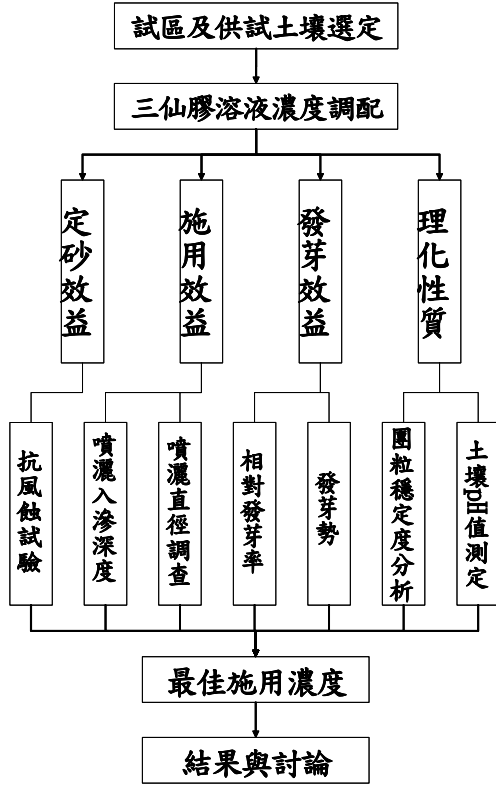


圖 1. 研究流程圖

Figure 1. Flow Chart of the Study.

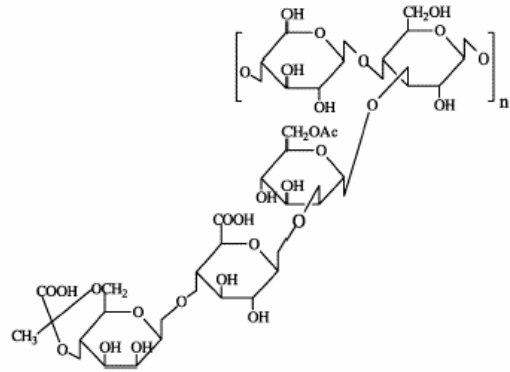


圖 3. 三仙膠結構圖

Figure 3. Primary Structure of Xanthan gum.

而來。其側鏈對主鏈的比率較大，而該側鏈所含有的羧酸基(Carboxyl Group)與由丙酮酸(Pyruvic acid)而來的負電荷，構成爲擁有較大負電荷的酸性多醣類(陳怡宏，1995、鄭美娟，1999)。三仙膠結構見圖 3，(H. Li, et al.,1999)。

三仙膠溶於冷水，水溶液呈現強有力的黏性，其黏性安定，不受溫度、強酸強鹼或電解質的影響。三仙膠可分爲相當多的等

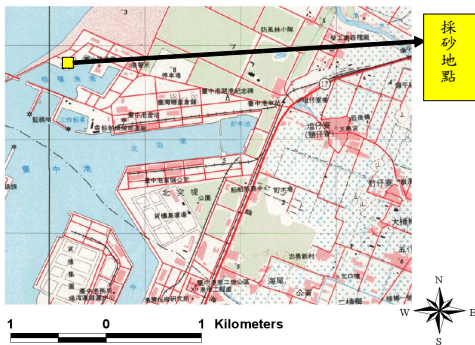


圖 2. 土壤採集地點

Figure 2. Site of Soil Sample.

級，食用級有 Keltrol SF、Keltrol TF、Keltrol GM 等，工業用級有 Keltrol® CG、Keltrol CG-T、Keltrol CG-SFT 等。本研究使用食用等級的三仙膠為研究材料，俟日後大力推廣，採用工業用級的三仙膠可有效地降低施用成本。

(三) 試驗種子材料

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)。本研究為三仙膠運用於海岸定砂的先驅試驗，以百慕達草為供試植物，目的在測試添加不同濃度三仙膠，是否對於植物的正常發芽造成影響。百慕達草為熱帶型植物，具有 C4 型光合作用解剖構造，性喜強光、長日照，不耐遮蔭，屬於旱生植物，年降雨量在 60 到 250 公厘以上的熱帶或亞熱帶地區都可存活，具有相當優越的耐旱與耐鹽性，雖喜好高濕環境，但不耐浸水。

三、試驗項目與方法

(一) 施用效益

施用實驗主要是分為：(1)噴灑入滲深度、(2)噴灑直徑調查。

(1) 噴灑入滲深度

三仙膠溶液依濃度分為 0.0%、0.05%、0.1%、0.2% 與 0.3%。將砂倒入實驗箱 (20cm×13cm×6cm) 抹平，施用 104ml (以每平方公尺施用 4 公升比例換算) 三仙膠溶液，使溶液均勻覆蓋在土樣表面，俟其完全乾燥後量測膠結厚度，採三重複。量測方式為：取一細針垂直插入土樣表面，當細針穿刺的壓力突然消失時即為膠結厚度(Rajot J.L. et al., 2003)。

(2) 噴灑直徑調查

三仙膠溶液依濃度分為 0.0%、0.05%、0.1%、0.2% 與 0.3%，將三仙膠溶液與墨

水充分混合加入噴灑器，按壓數次將管中的空氣排出，使噴嘴垂直紙張約 30cm 處噴灑，用尺量測其直徑，採三重複。

(二) 定砂效益

施用三仙膠溶液上能在土壤表面形成保護膜，量測其定砂效果。

(1) 抗風蝕試驗

將土樣風乾後過 #10 篩(孔徑 2mm)，三仙膠溶液依濃度分為 0.0%、0.05%、0.1%、0.2% 與 0.3%。將砂倒入實驗箱 (20cm×13cm×6cm) 抹平，施用 104ml (以每平方公尺施用 4 公升比例換算) 三仙膠溶液，使溶液均勻覆蓋在土樣表面，俟其完全乾燥後進行風洞實驗，測定時間 10 分鐘，風速 18m/s。測定供試土樣之風蝕量。

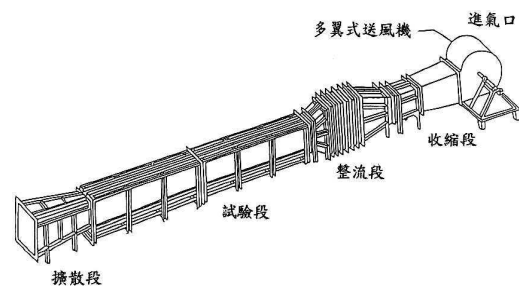


圖 4. 風洞簡圖

Figure 4. Wind tunnel for the experiment.

風洞規格為：擴散段長 1200mm，出口寬 500mm，高 700mm。風洞斷面高 500mm，寬 300mm 試驗段長 4800mm，見圖 4。

在未放置土樣前先測定風洞內之風速是否穩定，風速測定是由皮托管去測定放置土樣平台上方 20cm 的風速，待將風速調至測定風速後，即可進行土樣測定。在土樣測定前應先進行秤重、記錄，俟記錄完後將其置入實驗風洞的試驗段，再將機器開啓，待測定

時間過後取出土樣秤重(Li, X.Y. et al., 2001)。

(三) 發芽效益

(1) 發芽基材

發芽基材製作過程為：將實驗土樣風乾後過#10 篩(孔徑 2mm)，於實驗室內取土樣 100gm，使土樣含濃度 0.05%、0.1%、0.2%及 0.3%三仙膠溶液(以每平方公尺施用 4 公升比例換算)，與未添加之對照組，採三重複。

(2) 發芽試驗

依照日本農業土木事業協會編著之『のり面保護工』中種子發芽步驟及國際種子學會(ISTA)制訂之國際種子檢查規則及附文進行種子發芽試驗，每一試驗均取三重複，以記錄數據取平均作為最終試驗結果，計算其相對發芽率及發芽勢。

發芽率(germination percentage)：

係指在指定的期限和條件下，正常發芽種子數目之比率。

發芽勢(germination potential)：

為紀錄每日種子於試驗樣品中發芽之數目，而求其發芽速率。此為決定種子的最大潛能，可以決定種子之價值(林信輝，2001)。其計算公式如下：

$$\text{發芽勢}(\text{day}^{-1}) = \frac{(100)(A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n)}{(A_1 T_1 + A_2 T_2 + A_3 T_3 + A_4 T_4 + \dots + A_n T_n)}$$

式中：

A = 發芽種子數 T = 發芽時間(日)

n = 『試驗』天數

$$\text{發芽率}(\%) = \frac{\sum A}{N} \times 100$$

$\sum A$ = 發芽種子總數 N = 供試種子總數

$$\text{相對發芽率}(\%) = \frac{\text{處理組發芽率}}{\text{對照組發芽率}} \times 100$$

(3) 設計發芽試驗

探討施用三仙膠對供試植物發芽之影響。

1. 稱取 100g 土樣將培養皿鋪滿，並將百慕達草種子均勻撒佈於其上，不使種子接觸培養皿邊緣，種子使用數量為 100 顆。
2. 其土樣之三仙膠濃度為 0.0% (A 處理)、0.05% (B 處理)、0.1% (C 處理)、0.2% (D 處理)、0.3% (E 處理)。
3. 將培養皿移至發芽生長箱中，控制每日光照時數為 10 小時，有效日照量 750 ($\mu\text{-mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，溫度控制於 25°C，相對濕度 75%。
4. 試驗期間自民國九十三年四月十四日至九十二年五月八日，為期 21 天，首次觀測為第 1 天，結束觀測為第 21 天。根據國際種子檢查規則，百慕達草首次觀測應為第 7 天，為詳盡地紀錄發芽趨勢，特從第 1 天即開始觀測。試驗期間隨時保持土樣表面濕潤，並於開始觀測後之每日下午 5 時進行觀測，記錄發芽顆數並取走。
5. 試驗期間培養皿內若土樣發生乾燥情形，需即刻補充水分，保持土樣濕潤。
6. 統計供試植物之發芽數量並取重複之平均值作為最終發芽率。

(四) 土壤理化性質分析

供試土樣為經過發芽試驗後之土樣。

1. 土壤 pH 值測定：

其試驗目的為比較經三仙膠處理及未經處理之 pH 值變化。依據美國農藝學會(American Society of Agronomy)所出版之土壤分析方法(Klute, 1986)採水與土 1:1 (重量比)之混合液，用 pH 計測定。

2. 團粒穩定濕篩分析試驗

一般評估土壤團粒在水中之穩定性以多重濕篩法最為普遍(Yoder, 1936)，其目的乃在測定土壤團粒在水中的安定性。Gardner (1956) 發現，由多重濕篩分析後之土壤，其團粒分佈成偏峰分佈，若將團粒粒徑取對數後，成為對數常態分佈 (log-normal distribution)，可由對數機率圖解法求其團粒穩定性。

本試驗主要在探討土壤噴附不同濃度的三仙膠溶液，是否具有較穩定的團粒構造。實驗步驟參照林俐玲(1996)編著之土壤物理學實習手冊。

結果與討論

一、施用效益

(一) 噴灑入滲深度

三仙膠溶液的噴灑入滲深度可視為固砂保護深度，施用三仙膠溶液於沙丘時，會形成類似結殼表面來抗風蝕，從風洞實驗中發現，保護深度不足易有破壞面產生，一旦破壞面存在即會從破壞面開始風蝕。因此當溶液具有低黏滯性時，具有較好的滲透性，相對地會有較深的保護深度。

不同濃度的三仙膠溶液與入滲深度的關係如圖 5。隨著三仙膠濃度的增加，入滲深度亦相對地減少，其濃度與入滲深度呈現顯著線性負相關關係。當濃度為 0%即無處理時可達到最大的入滲深度，約有 6.93cm；當三仙膠溶液濃度增加到 0.3%時，入滲深度僅有 1.97cm。

(二) 噴灑直徑調查

為將三仙膠應用在現場大面積施作，求得較佳的施作濃度，特將不同濃度的三仙膠溶液與墨水充分混合後加入噴灑器，不同濃

度三仙膠溶液在施作時最大覆蓋面積。

不同濃度的三仙膠溶液與其噴灑直徑調查結果如圖 6。濃度為 0%時，噴灑直徑可達 14cm。而濃度在 0.05%、0.1%及 0.2%時，噴灑直徑分別為 9.67cm、8.83cm 及 4.50cm，當濃度高達 0.3%時，噴灑直徑僅僅有 3.33cm。可看出噴灑直徑與三仙膠溶液的濃度有著線性負相關關係。

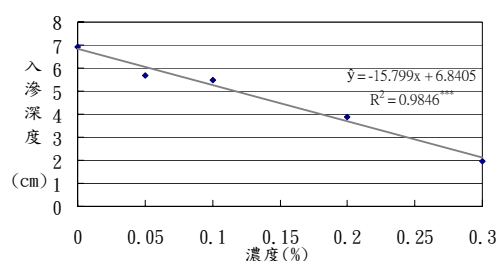


圖 5. 不同處理下之噴灑入滲深度

Figure 5. Infiltration depth under different treatments.

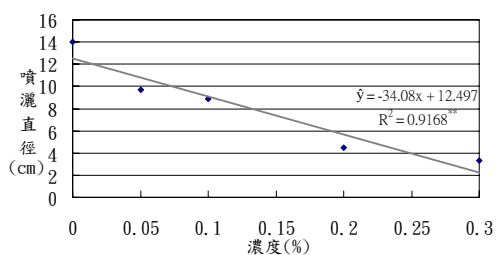


圖 6. 不同處理下之噴灑直徑

Figure 6. Sprayed range under different treatments.

三仙膠的濃度愈高，其黏度愈大(吳等，1997)。雖說三仙膠施用濃度愈低會有愈好的施用效益，但濃度愈低其膠結強度亦隨之下降，因此在選用濃度時需列入考量。

二、定砂效益

(一) 抗風蝕試驗

土樣經過五種不同濃度處理，自然風乾之後進行風洞試驗，實驗結果如圖 7。可看出無處理與其他有處理的土樣明顯的差異。

經過處理之後抗風蝕能力增加，在十分鐘的實驗時間內，各個樣本幾乎沒有風蝕量的產生。這可說明三仙膠在減少風蝕上有相當不錯的成果。

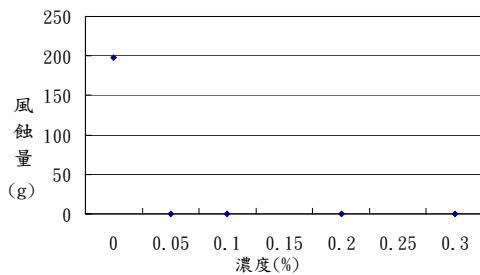


圖 7. 不同處理下風蝕損失量

Figure 7. Weight of wind erosion under different treatments.

三、發芽效益

(一) 發芽勢

供試植物種子於不同濃度處理下的發芽勢如表 1，以 0.05%濃度處理及 0.1%濃度處理 7%為最佳，而隨著濃度升高發芽勢有下降之趨勢，且由不同處理中顯示濃度 0%、0.05%及 0.1%之發芽狀況比濃度 0.2%、0.3%還好，即表示以三仙膠噴附砂土時以 0.05%及 0.1%濃度處理對種子發芽勢影響較小；而供試植物種子之發芽勢截止日期均有隨噴附濃度增大，換言之即為三仙膠濃度超過一定的濃度時，延遲植物生長日期則會越長，許

表 1. 不同處理下供試植物之發芽勢

Table 1. Germination potential of tested plants under different treatments.

濃度處理	發芽勢 (day ⁻¹)	發芽勢截止日期
0%(對照組)	6.9332	第 15 天
0.05%	7.0041	第 15 天
0.1%	7.0812	第 18 天
0.2%	6.6789	第 19 天
0.3%	6.3380	第 18 天

榮峰 (2002) 認為百慕達種子較小，易受高濃度團粒化劑包裹住，使其需先突破包膜才能順利發芽，此為造成發芽勢截止日期延後的原因。

(二) 相對發芽率

供試植物經過不同處理之相對發芽率如圖 8，對照組 (0%) 種子發芽從第 3 日開始，發芽高峰期在 5~10 日，在 15 日後種子即無發芽情形，於 0.05%、0.1% 及 0.2% 處理時，均在第 3 日開始萌芽，0.05% 的發芽高峰在 6~9 日，於 15 日後種子即沒有發芽情形；0.1% 的發芽高峰在 6~8 兩日，於 13 日後種子即沒有發芽情形；0.2% 的發芽高峰在 7~11 日，於 20 日後種子才沒有發芽情形；於 0.3% 濃度處理時，則延至第 7 日發芽，發芽高峰期為第 9~12 日，於 19 日後種子均無明顯再發芽情形，顯示百慕達草之發芽情形會受到不同濃度之三仙膠溶液影響。

由對照組之發芽率換算其他不同濃度處理的相對發芽率如表 2，百慕達草種子在分別經過 0.05% 濃度處理、0.1% 濃度處理及 0.2% 濃度處理過後，其相對發芽率介於 106%~97% 之間，顯示三仙膠濃度在 0%~0.2% 之間對百慕達草種子發芽的趨勢並沒有太大的影響。於 0.3% 濃度處理後，相對發芽率降低到 46%。隨著黏著劑溶液濃度升高，供試植物發芽率隨之降低 (林庭暉，2000)，三仙膠亦有相同的情形，當濃度增加到一定程度時，相對發芽率會下降，推測因三仙膠濃度的提高，濃稠度亦隨著提高，進而阻礙了種子的發芽。

四、土壤理化性質

(一) 土壤 pH 值

經由 pH 測定測出四種不同處理後之砂 pH 值其結果如表 3，由對照組得知，試驗用砂之 pH 值為 7.576，屬於弱鹼性土壤，而噴附三仙膠溶液後之海砂，隨著濃度越高，pH

值隨之下降，但其下降幅度並不大，濃度最高之 0.3% 濃度處理 pH 值為 6.943，經統計分析發現 0% 濃度處理與 0.1% 濃度處理未達 5% 顯著水準。顯示微量三仙膠添加於砂土上對其酸鹼性改變並不大，但是添加量較多的 0.2% 濃度處理與 0.3% 濃度處理則與 0% 濃度處理、0.1% 濃度處理達到 5% 顯著水準，pH 值則明顯下降至一般森林作物較能存活的範圍，約略有土壤改良劑的功效。

(二)、土壤團粒穩定性

由多重濕篩法測定土壤之團粒穩定性，土壤團粒之平均粒徑越大，表示土壤穩定性越高而不易被侵蝕，若兩者幾何平均粒徑值接近，則對數標準偏差越小者，其穩定性較高。濕篩分析結果如表 4，對照組的平均粒

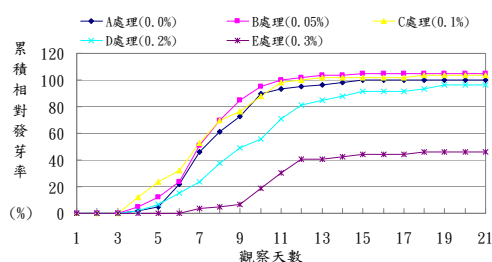


圖 8. 百慕達草不同處理下之累積發芽率
Figure 8. Germination curve of Bermuda grass under different treatments.

表 2. 供試植物之相對發芽率

Table 2. The relative germination rate of tested plants.

不同濃度處理方式	各組之相對發芽率 (%)
0%(對照組)	100.00
0.05%	105.84
0.1%	103.39
0.2%	96.61
0.3%	45.76

表 3. 不同處理之土壤酸鹼度

Table 3. Soil pH under different treatments.

處理方式	pH 值
0% (對照組)	7.576a
0.1%	7.383a
0.2%	7.132b
0.3%	6.943b

註：採用鄧肯 (D. B. Duncan) 多變距測驗新法，顯著水準為 5%
註腳英文相同者代表處理未達 5% 顯著水準

表 4. 團粒穩定濕篩結果

Table 4. Results of aggregate stability by wet-sieving.

不同濃度處理方式	對數幾何平均粒徑 (mm)
0% (對照組)	0.2436d
0.1%	0.2490c
0.2%	0.2593b
0.3%	0.2696a

註：採用鄧肯 (D. B. Duncan) 多變距測驗新法，顯著水準為 5%
註腳英文相同者代表處理未達 5% 顯著水準

徑為 0.2436mm，較其他噴附三仙膠溶液處理為低，並經統計分析發現各處理間均達 5% 顯著水準，顯示噴附三仙膠濃度越高，平均粒徑有越大的趨勢，即團粒穩定性越佳，土壤越不容易被侵蝕。

五、決定最佳濃度

要以實用及經濟的角度去選擇一個最佳的施用濃度，將由施用效益、定砂效益及發芽效益這三方面考量來決定最佳的施用濃度。由施用效益來說，濃度愈低愈能達到最大施用面積及最深施用深度，即較低濃度較好施作，三仙膠濃度 0.05% 可達到 9.67cm 的噴灑直徑及 5.70cm 的入滲深度，當濃度提高到 0.3% 時噴灑直徑下降到 3.33cm，而入滲深度也下降到 1.97cm，以濃度 0.05% 最為經濟；由定砂效益來說，隨著濃度增加，定砂的強度也有增加的趨勢；而在發芽效益這方面，在濃度 0.05%、0.1% 及 0.2% 都有不錯的相對發芽率，不過當濃度提高到 0.2% 的時候會有稍微的發芽遲滯現象。

結論與建議

(R. Lal, 1988) 認為衡量表土固結劑的標準有：(1) 土壤表面需備百分之百地覆蓋；(2) 固結劑不能影響植物發芽和生長；(3) 侵蝕須從最初即得控制，其效用至少保持兩個月；(4) 固結劑要容易使用並不需特殊設備；(5) 費用足夠低，保證獲益。本研究顯示三仙膠溶液施用在海岸定砂上，可達到基本的固結需求。

由施用效益來說，當三仙膠濃度愈濃施用效益愈差，其間有著線性負相關關係，但濃度愈低其膠結強度亦隨之下降，因此在選用濃度時需列入考量；而定砂效益顯示，超過一定濃度，即可收定砂效果。在發芽這方面，隨著濃度的增加，首次發芽日有延遲的現象。濃度增加到 0.3% 時相對發芽率會驟降。噴附三仙膠於海砂上，隨著噴附濃度越高，土壤 pH 值隨之微幅下降、幾何平均粒徑增加，顯示三仙膠溶液噴灑在海砂上可以使土壤穩定性提高，並且緩和 pH 值有利植物生長。

長期乾旱地區不考慮用植生方式進行定砂，可施用濃度 0.2% 的三仙膠溶液進行定砂的工作，若是在有水源補注的區域則可使用濃度 0.05% 的三仙膠溶液混合百慕達草草種進行噴植，初期可利用三仙膠的定砂能力防止初發嫩芽受到因風力而飛起的砂粒磨傷，俟成熟之後則可利用植生方式對產生定砂作用，此時再進行防風林的栽植工作可收事半功倍之效。

誌謝

本研究承蒙國科會計畫編號 NSC92-2313-B-005-092 經費補助，使本文得以順利完成，僅此致謝。

參考文獻

1. 吳淑靜、柯文慶、賴滋漢(1997)。食品添加物。富林出版社。P. 256。
2. 林信輝 著 (2001)，水土保持植生工程
3. 林俐玲 編著 (1996)，土壤物理學實習手冊。
4. 林庭暉(2000)，不同黏著劑噴植對紅土礫石坡面保護與植物生長影響之研究。國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
5. 柳樞 (1975)，台灣西海岸沙丘生態之研究。林試所試驗報告第 266 號，pp. 1~15。
6. 施純富(2002)，生物聚合物三仙膠應用於海岸定砂之研究。國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
7. 許榮峰 (2002)，土壤團粒化劑濃度對紅壤抗蝕性與種子發芽之研究。國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
8. 莊皓雲(2001)，土壤團粒化劑對土壤保育功效與種子發芽影響之探討。國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
9. 張政亮(1991)，蘭陽平原海岸沙丘之地形學研究。國立臺灣師範大學地理研究所碩

- 士論文。
10. 陳怡宏(1995)，「三仙膠的性質與應用」。食品工業，27(8):24-30。
 11. 國際種子檢查規則，(1993)，台灣省政府農林廳編印，pp. 13~16。
 12. 廖杏哲(2000)，即食蛋片及蛋棒的開發及其品質評估。靜宜大學食品營養學系碩士論文。
 13. 鄭美娟(1999)，「三仙膠的性質、功能與應用」。烘焙工業，159：27-29。
 14. Gardner (1956)，Representation of soil aggregate size distribution by logarithmic-normal distribution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc，20：151~153。
 15. Li, H., Rief, M., Oesterhelt, F., Gaub H.E., (1999)“Force spectroscopy on single xanthan molecules”Applied Physics A Materials Science & Processing，68:407-410
 16. Li, X.Y., Liu, L.Y. and Gong, J.D. (2001), “Influence of pebble mulch on soil erosion by wind and trapping capacity for windblown sediment”Soil & Tillage Research，59:137-142。
 17. Lal, R., Editor(1988)，soil erosion research methods ,P.220
 18. Klute, A.(ed.). (1986). Method of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods. American Society of agronomy. p23~40.
 19. Rajot, J.L., Alfaro, S.C., Gomes L., Gaudichet A., (2003)“Soil crusting on sandy soils and its influence on wind erosion”catena，53:1-16
 20. Yoder, R.E. (1936)，A direct method of aggregate analysis and a study of the physical natural of erosion losses. J. Am. Soc. Agron.，28：337~351。

93年01月05日 收稿

93年02月10日 修改

93年02月17日 接受