

含水泥與菇類堆肥噴植資材配方之試驗研究

林信輝⁽¹⁾ 謝政諺⁽²⁾ 巫清志⁽³⁾ 陳意昌⁽⁴⁾

摘要

噴植工法應用於崩塌裸露地，可快速植生綠化，迅速形成覆蓋，減少逕流，降低二次災損，並提供植物生長之基盤條件。本研究選擇四種波特蘭水泥比例（分別佔基材乾重比例為 1%、3%、5%與 7%），三種壤質砂土比例（分別佔基材體積比例為 10%、20%與 40%），三種菇類堆肥比例（分別佔基材體積比例為 90%、80%與 60%），以及對照組 100%菇類堆肥，共 13 組試驗配方。經不同基材配方理化性分析結果，菇類堆肥 80%+壤質砂土 20%+水泥 5%配方可有效改善原僅以菇類堆肥為生長基材之配方之理化性質，達到增進保水能力及抗沖蝕能力之功效。

（**關鍵詞**：噴植工法、基材配方、波特蘭水泥、菇類堆肥、理化性）

The Physicochemical Property of Different Vegetation Materials with Cement and Mushroom Waste Compost for Hydroseeding

Shin-Hwei Lin⁽¹⁾ *Zing-Yihn Shia*⁽²⁾ *Cing-Jih Wu*⁽³⁾ *Yi-Chang Chen*⁽⁴⁾

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Master⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

Assistant Professor (Corresponding Author)⁽⁴⁾, Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The application of hydroseeding allows fast planting and greening for rapidly covering landslides and reducing runoff to decrease second damage and provide basement conditions for plant growth. The application and improvement of mixed materials are continuously developed. Total 13 test recipes are selected for this study, containing four ratios of Portland cement (with mixed material dry weight ratio of 1%, 3%, 5%, and 7%), three ratios of loamy sandy soil (with mixed material volume

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系碩士生

(3)國立中興大學水土保持學系碩士

(4)逢甲大學水利工程與資源保育系兼任助理教授(通訊作者 e-mail: yc.chen@mail.lceb.gov.tw)

ratio 10%, 20%, and 40%), three ratios of mushroom compost (with mixed material volume ratio 90 %, 80%, and 60%), and the check treatment of 100% mushroom compost. According to the physicochemical property analysis of various mixed materials recipes, the result shows that the prescription of 80 % mushroom compost +20% loamy sand +5% cement can effectively improve the physicochemical properties of the material which were only cultivate on mushroom compost, to increase the water retaining capacity and erosion resistance efficiency.

(Keywords: Hydroseeding, mixed materials recipes, Portland cement, Mushroom compost, physicochemical property)

前言

噴植工法為最近一二十年來常用的植生工法,配合相關的基礎設施或坡面安定工程,諸如擋土牆、加勁擋土牆、打樁編柵、鋪(掛)網、格樑框、固定框、自由樑框、肥束網袋、鋪不織布或稻草蓆等,利用噴植(人為種子)導入植物的生長、保護裸露坡面並加快植物群落的演替。噴植工法因具備大面積崩塌坡面快速綠化之功效,故漸演變成崩塌裸露地之主要植生方法。

常使用之混合資材,大略分為纖維資材、肥料資材、土壤改良劑、黏著劑、保水劑、種子及其他資材等種類。其中纖維材料具有保水、保肥及通氣等特性,其可視為替代土壤之材料,故用量佔噴植基材之混合配比最高,常見的配方有樹皮堆肥、菇類廢棄木屑堆肥(俗稱太空包)、聚乙烯醇(土壤團粒劑);常用的肥料資材有化學肥料及有機肥料,如台肥 1 號、台肥 5 號及台肥 43 號;土壤改良劑如枯草桿菌、苦土石灰、泥炭苔及腐質酸;黏著劑則有水泥、高分子聚合物(CMC)、壓克力乳劑、樹脂等;保水劑如聚羧胺酸(γ -PGA)、聚丙烯醯胺(PAM)。

大面積的崩塌地可採用噴植工法施作以

達到坡面快速覆蓋的成效。噴植工法所使用之混合資材種類繁多,其中以太空包資材添加高分子聚合物並混合草木本植物種子為目前實務常被使用,然太空包資材添加水泥配方特性、適用性與植生復育成效等相關文獻與案例極少,仍待試驗研究。

因此,本研究選擇不同試驗基材乾重比之水泥,不同基材體積比之壤質砂土及菇類堆肥(太空包),將之加水混合均勻,得出各試驗配方,針對試驗基材進行理化特性試驗,以期尋求噴植工法較適用之試驗配方。

前人研究

目前植生工程中,噴植工法為普遍使用,相關資材黏著劑、保水劑、土壤改良劑為許多學者或業界試驗研究。Shulga 等人(2001)利用造紙的副產物開發新的人造土壤調節劑,此調節劑為包含許多氨基的木質樹脂,它能加強砂質壤土的表面抗沖蝕特性。它能增強土壤表層 1.2~10.2 mm 之抵抗力,抵抗 0.16~0.98 MPa 滲透力,根據 0.320 ~2 kg/m² 的乾燥土壤實驗而得。在 25 m/s 的風速情形下能減少土壤損失 20~25%,能減少雨滴飛濺 30~35%土壤流失,能減少 40~45%逕流沖蝕。

林信輝、謝政諺、巫清志、陳意昌：
含水泥與菇類堆肥噴植資材配方之試驗研究

林信輝等(2004)述及噴植工法之引進與應用於台灣迄今已三十餘年，噴植資材及噴植施工技術仍持續在改良與研發，而土壤團粒化劑係目前廣泛被應用之噴植材料。其調配 1.63%、2.13%、2.63%、3.13%與對照組 0% 等五種濃度配比進行試驗；在單純使用土壤團粒化劑而不添加其它資材的情況下，發現土壤團粒化劑噴附量濃度愈高，土壤 pH 值和幾何平均粒徑亦相對增大，且在低基質張力(0□2bar)時，保水性亦提高，但對飽和水力傳導度無顯著影響；然而當土壤團粒化劑濃度愈高，則紅土抗沖蝕性愈佳。

吳盈政 (2005) 為瞭解黏著劑 (乳膠劑) 及團粒化劑兩者間物理性質之差異性，防止沖蝕之功效及對初期的植物發芽生長之影響等進行實驗，兩者皆能提升土壤團粒穩定性，增加土壤的保水能力及減少土壤流失的功效，最大的差異在於入滲能力，試驗中土樣吸附團粒化劑後將土粒包附成團粒構造，能增加土樣飽和水力傳導度；乳膠劑處理會在土壤表層形成不透水的薄膜，乾燥時薄膜產生收縮現象，造成土壤緊密構造，降低水分輸送能力，試驗結果顯示土壤經由團粒化劑處理之飽和水力傳導度為乳膠劑處理的 7 倍，而入滲能力差的乳膠劑將降低對水流抗沖蝕性，甚至影響植物的初期發芽生長。

陳映潔(2011)使用水泥噴凝植生敷蓋技術(Shotcrete Vegetation Mulching Technique, SVMT)於石門水庫嵩台高達 80 度以上之陡坡進行現地噴植試驗。由現地噴植之各項調查結果顯示，SVMT 試體因水泥之固化作用，於施工後 3~7 天之表面強度即達 2.72kg/cm² 以上，顯示此一技術可快速提高坡面之土壤強度並可提供適合植生生長之棲地環境，且

原生物種亦可自然入侵，達到植生綠化及棲地改良之目的。

良好的纖維資材可改變表層土壤之團粒構造及增加有機質成分，將裸露坡面噴植覆蓋後對植物種子的發芽作用有顯著提升，基材之保水力、肥力及孔隙度直接影響到植物種子的發芽率和存活率(朱祐賢,2011)。江秀雯(2007)試驗出高分子黏著劑於泥岩以濃度 0.01%適用，草種以百喜草及類地毯草較適當，於紅壤以濃度 0.005%適用，草種以百喜草、類地毯草及百慕達草較適當；壓克力樹脂於泥岩以濃度 1%適用，此濃度影響種子甚劇，於紅壤以濃度 0.5%適用，草種以百喜草、類地毯草及百慕達草較適當；德國柏油乳劑於泥岩以濃度 0.5%適用，草種以百喜草及類地毯草較適當，於紅壤以濃度 0.5%適用，草種以百喜草、類地毯草較適當。

由前人之研究，發現以水泥做為黏著劑之文獻甚少，水泥較一般黏著劑便宜(如高分子黏著劑每 kg 約新臺幣 70 元左右，水泥每公斤約 2~3 元左右)具有一定之價差，而且取得容易，惟水泥具有高鹼度及硬化的缺點，若能發現更多資訊，並調配出最佳配方，將可對噴植資材應用有所幫助，有其研究價值。故本研究將應用水泥做為噴植基材之黏著劑，配合菇類堆肥及壤質砂土等資材加水混合，以瞭解水泥配方在抗沖蝕性、保水力噴植之適用性。

研究材料與方法

試驗材料

纖維資材除可充分利用廢棄物回歸土壤，

不僅合乎資源再利用與物質循環的自然法則，並可提供種子發芽生長之介質及改善土壤構造，增加噴植的機械性強度。

菇類堆肥，是香菇採收後之剩餘栽培材料，廢棄之太空包，經堆肥發酵後成為纖維材料，主要的成份為約 95%的天然木屑，然後再添加米糠，玉米粉，麥粉…等五穀類有機物混合。



圖 1 菇類堆肥

Fig. 1 Mushroom waste sawdust compost.

壤質砂土，本試驗之砂土採取地點為濁水溪河床。



圖 2 壤質砂土

Fig. 2 Sandy loam

波特蘭水泥（第 I 型普通水泥），為一矽酸鈣與硫酸鈣之混合物，以水硬性矽酸鈣類為主要成分之熟料研磨而得之水硬性水泥，

通常與一種或一種以上不同型態之硫酸鈣為添加物共同研磨而成。



圖 3 波特蘭水泥（第 I 型普通水泥）

Fig. 3 Portland cement (Type I)

研究流程

本研究利用不同基材乾重比水泥、不同基材體積比壤質砂土及菇類堆肥，加水混合，組合成 13 組試驗配方，針對試驗基材 pH 值、電導度、硬度、保水力、團粒穩定濕篩分析（抗蝕性）等理化特性進行試驗，找出噴植工法較適用之試驗配方。

試驗方法

本研究先將菇類堆肥及壤質砂土，送中興大學土壤調查試驗中心，化學實驗室分析；以不同含量的水泥、壤質砂土以及菇類堆肥，將之加水混合均勻，組成不同試驗配方，其中纖維資材為菇類堆肥，黏著劑為水泥。將不同試驗配方進行風乾約一星期，再將土壤過篩（取 2mm~5mm 和 <2mm 土樣粒徑），取兩種粒徑土壤樣品做試驗分析，以進一步瞭解不同比例水泥試驗配方對其理化性質的影響。

基材配方設計

本研究以四種不同乾重含量的水泥（佔試驗基材乾重 1%、3%、5%和 7%），三種不同體積含量的壤質砂土（佔基材體積比 10%、20%、40%），以及三種不同體積含量的菇類堆肥（佔基材體積比 90%、80%、60%），處理 I 試驗基材為菇類堆肥及壤質砂土佔試驗配方體積比分別為 60%及 40%，處理 II 試驗基材分別為 80%及 20%，處理 III 試驗基材分別為 90%及 10%，每一種處理試驗基材各添加水泥，分別為試驗基材乾重 1%、3%、5%和 7%，對照組則採不添加其他資材之 100%菇類堆肥配方，採 3 重複處理，共 13 種試驗配方，詳如表 1 所示。

採用的容器為矩形透水塑膠盆容量（39cm × 21.5cm × 9cm），所使用的資材（菇類堆肥及壤質砂土）體積為 4000cm³，各處理配方比例之說明，以處理 I 為例，菇類堆肥及壤質砂土體積分別為 60%及 40%，即 2400 cm³ 及 1600 cm³，容積密度分別為 0.2115g/cm³ 及 1.96g/cm³，則重量分別為 507.6g 及 3136g；壤質砂土之乾總體密度為 1.5g/cm³，試驗配方乾重為 507.6g+2400g (1600*1.5)=2907.6g，水泥 7%為 204g(2907.6*7%)，各處理配方完成後，並將之加水混合均勻，參考水泥砂漿配比使用量及土壤最大含水量約 60~80%間加入水量稱重，而處理 13(即 100%菇類堆肥)加水 1250g 為 846g*246%*60%(1249g)所得大約加入水量。

將混合均勻之試驗配方基材置於試驗容器中，填至 5 公分之厚度，並將試驗容器放置於坡度 35 度之人工坡面，如圖 4；針對試驗基材酸鹼值(pH 值)、電導度、硬度、保水

力、團粒穩定濕篩分析等理化特性進行試驗。基材酸鹼值(pH 值)、電導度分別使用攜帶式 pH meter(EUTECH ECOSCAN) 導電度計 (cond 330i/set)施測；試驗基材硬度則以山中式硬度計量測其硬度，採三重複後取平均值（如圖 5）。試驗基材酸鹼值(pH 值)、電導度、保水力、團粒穩定濕篩分析試驗之方法及步驟分述如下：

酸鹼度(pH 值)

精確秤量 10.00 g 的堆肥烘乾樣品(可以風乾或濕潤樣品取代，但需注意扣除水分含量)置於 100 mL 燒杯中。加 50 mL 的蒸餾水，以玻璃棒將其充分混合均勻，並斷續攪拌 30 分鐘，測定前靜置 10 分鐘，將校正好的 pH 計電極浸入懸浮液中，並輕輕擺動電極。靜待讀值穩定後，即可讀取測值。

電導度(electrical conductivity, EC)

同於 pH 值之測定，精確秤量 10.00 g 的堆肥烘乾樣品，加 50 mL 的蒸餾水，充分混合均勻，靜置 30 分鐘以上，其間斷續攪拌 2 次，最後以已校正的電導度計測定 EC 值。電導度計之校正一般用 0.01 N KCl 為校正標準液。

保水力試驗

欲探知各試驗配方之保水能力，以評估未來應用於植物發芽生長所發揮之效益，保水力試驗如（圖 6）。基材重量水分含量百分比(ω)

1. 水份秤量盒重(M1)
 2. 加入風乾的土樣盒重(M2)
 3. 放入 105°C 之烘箱內 24~48 小時。
 4. 秤烘乾後的土樣與水分及秤量盒重 (M3)
- $$\omega = \frac{M2 - M3}{M3 - M1} \times 100\%$$

表 1 試驗基材配比表

Table 1 Test medium scale form.

| 處理 | 基材 | 主要材料 (佔試驗配方體積比%) | | 水泥 (佔試驗配方乾重比%) | 水 | 備註 |
|-----|----|---------------------|-------------|----------------|-------|-----|
| | | 菇類堆肥 | 壤質砂土 | | | |
| I | 1 | 60% (507.6g) | 40% (3136g) | 7% (204g) | 1530g | |
| | 2 | 60% | 40% | 5% (146g) | 1350g | |
| | 3 | 60% | 40% | 3% (88g) | 1270g | |
| | 4 | 60% | 40% | 1% (30g) | 1244g | |
| II | 5 | 80%(676.8g) | 20% (1568g) | 7% (133g) | 1540g | |
| | 6 | 80% | 20% | 5% (95g) | 1453g | |
| | 7 | 80% | 20% | 3% (57g) | 1346g | |
| | 8 | 80% | 20% | 1% (19g) | 1339g | |
| III | 9 | 90% (761.4g) | 10% (784g) | 7% (95g) | 1572g | |
| | 10 | 90% | 10% | 5% (68g) | 1470g | |
| | 11 | 90% | 10% | 3% (41g) | 1358g | |
| | 12 | 90% | 10% | 1% (14g) | 1346g | |
| IV | 13 | 菇肥 100% (846g) | | 0% | 1250g | 對照組 |

註：1. 菇類堆肥容積密度 0.2115g/cm³。
 2. 壤質砂土容積密度 1.96g/cm³。
 3. 每處理試驗基材總體積 (cm³)：39 × 21.5 × 5 = 4192.5 cm³。
 4. 基材厚度：5cm。
 5. 菇類堆肥最大含水量：246%。

團粒穩定濕篩分析試驗

濕篩法為評估土壤團粒在水中之穩定性的普遍方法，將各組配方過篩，取粒徑在 2-5mm 的部分做團粒穩定分析；假設其他部分之團粒穩定度沒有很大之差異。進行濕篩時，使土壤透過多組篩網，每分鐘在水中有頻率的上下振動 30 次，並停留在各篩網上；將每一停留在篩網之土壤置於室內風乾，待乾燥後倒入燒杯，再進行 105°C 烘乾，並量其乾重，藉由滯留在各篩網上之土壤停留量，來比較土壤團粒對於水分沖蝕破壞的抵抗力。計算各粒徑團粒之重量累積百分率，點繪於對數-百分比統計圖表上，以對數幾何平均粒徑與對數標準偏差代表團粒在水中之穩定度。在 13 組噴植基材之土壤粒徑分佈之情形，求出其對數幾何平均粒徑，以進一步瞭解各組噴植基材配方，探討何組具有較穩定的團粒構造（如圖 7）。



圖 4 試驗區配置情形
Fig.4 Testing plot



圖 5 硬度檢測情形
Fig.5 Hardness measuring condition



圖 6 保水力試驗
Fig.6 Water content test configuring



圖 7 濕篩試驗
Fig.7 Wet-sieving test

結果與討論

菇類堆肥理化性質分析

一般而言，菇類堆肥適合種子發芽及植物生長之碳氮比(C/N)應低於 20 較有利於微生物分解，其檢驗結果為 23.8 雖稍許偏高，

但已接近腐熟的標準，另電導度、全氮、全磷酞、全氧化鉀及有機質之檢測結果，均於正常值範圍內，各分析項目試驗結果詳如表 2。另本試驗土壤，經檢測結果質地屬壤質砂土 (LS)，壤質砂土孔隙大，可作為改善菇類堆肥乾燥時孔隙收縮之材料。因此，菇類堆肥與壤質砂土皆可做為配方試驗之資材。

表 2 菇類堆肥資材理化性分析

Table 2 Material analysis of physicochemical characteristics in Mushroom waste compost

| 分析項目 | 測值 | 結果 | 備註 |
|---------------------------------------|--------------|---|---|
| 有機質 | 88.4% | 正常 | 有機質含量應 $\geq 50\%$ 。 |
| 全氮(N) | 1.71% | 正常 | 全氮(N)含量應 $\geq 0.6\%$ 。 |
| 全磷酞 | 2.77% | 正常 | 全磷酞(P_2O_5)含量應 $\geq 0.3\%$ 。 |
| 全氧化鉀 | 0.688% | 正常 | 全氧化鉀(K_2O)含量應 $\geq 0.3\%$ 。 |
| 酸鹼值(pH) | 6.63 | 正常 | 一般植物喜生長於土壤 pH 值 6.5 左右。無土介質最佳 pH 值約 5.0~6.5 之間。 |
| 電導度 (EC) | 2.61 ds/m | 正常 | 純水不導電的，EC 值為 0，但如含鹽類濃度越高，其電導度也越高，對植物的鹽害也越大。一般而言，純香菇木屑堆肥之電導度應 $< 2.8 \text{ dS/m}$ 。 |
| 碳氮比(C/N) | 23.8 | 偏高 | 碳氮比=有機碳/全氮。碳氮比越高分解速度越慢，碳氮比 ≤ 20 。(有機碳=0.58*有機質)。 |
| 發芽率 | 92% | $\geq 80\%$ | 堆肥之種子發芽率需達 80%(含)以上。 |
| 保水力 | 246% | 理想的植生介質保水力強。 | |
| 陽離子交換容量 (CEC) | 56.1cmolc/kg | 保肥力指標(Lemaire,1995)通常以每 100g 乾介質中含多少毫當量的陰離子電荷來表示， $\text{cmolc/kg}=\text{me}/100\text{g}$ 。 | |
| 檢測單位：國立中興大學農業暨自然資源學院土壤調查試驗中心 | | | |
| 檢測時間：101 年 09 月 24 日至 101 年 10 月 09 日 | | | |

基材 pH 值

由表 3 得知，對照組 100%菇肥配方之 pH 值 6.46，屬於微酸性土壤，其餘配方隨著水泥比例越高，pH 值亦隨之提高，即處理 1(菇

肥 60%+砂 40%+水泥 7%)之 pH 值 10.75 最高，處理 12(菇肥 90%+砂 10%+水泥 1%)的 pH 值 7.75 最低，而將試驗基材乾燥處理後發現其 pH 值均有下降現象。

表 3 不同資材處理配方之酸鹼值

Table 3 The pH value of different material treatments

| | | | | |
|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| 處理配方 | 處理 1 | 處理 2 | 處理 3 | 處理 4 |
| 第一次檢測 pH | 10.75 | 9.32 | 8.76 | 8.64 |
| 第二次檢測 pH (乾燥後) | 8.32 | 8.29 | 8.16 | 7.88 |
| 處理配方 | 處理 5 | 處理 6 | 處理 7 | 處理 8 |
| 第一次檢測 pH | 9.30 | 8.73 | 8.68 | 7.80 |
| 第二次檢測 pH (乾燥後) | 8.14 | 8.10 | 8.15 | 7.98 |
| 處理配方 | 處理 9 | 處理 10 | 處理 11 | 處理 12 |
| 第一次檢測 pH | 8.77 | 8.69 | 8.61 | 7.75 |
| 第二次檢測 pH (乾燥後) | 8.26 | 8.19 | 8.15 | 7.63 |
| 處理配方 | 菇肥 100% (處理 13) | | | |
| 第一次檢測 pH | 6.46 | | | |
| 第二次檢測 pH (乾燥後) | 6.30 | | | |

基材電導度(electrical conductivity, EC)

本研究採用 WTW 攜帶式導電度計檢測試驗配方之電導度，一般而言，純香菇木屑堆肥之電導度 < 2.8 dS/m，由圖 5 電導度檢測結果可知，對照組為 13 組試驗配方中電導度

最高者，其 EC 值為 1.340 dS/m 各試驗配方電導度均未超過 2.8 dS/m，故本試驗各配方之電導度均不會對植物產生鹽害。另將試驗配方電導度經單因子變異度分析發現，纖維資材於各處理間均達 5% 顯著水準，故纖維資材為影響基材電導度之主因，如表 4 所示。

表 4 不同資材處理之電導度單因子變異度分析表

Table 4 One-way ANOVA analysis of electrical conductivity of different material treatments

| 分析項目 | F 檢定 | p-value | 顯著性 |
|------|---------------|---------|------|
| 纖維資材 | 14.388 (2,11) | 0.002 | 高度顯著 |
| 水泥 | 0.620 (3,11) | 0.622 | 不顯著 |

註：* : $p < \alpha = 0.05$, ** : $p < \alpha = 0.01$, *** : $p < \alpha = 0.001$ 。(NDF, DDF) : NDF : 為 F test 中分子之自由度，DDF : 為 F- test 中分母之自由度。

基材團粒穩定性

由多重濕篩法分析結果如表 5 所示，除對照組的對數幾何平均粒徑為 0.0185mm 較其他配方為低外，試驗配方隨水泥比例愈高，團粒平均粒徑有愈大之趨勢，亦由表 6 單因

子變異度分析結果得知，水泥於各處理間均達 5% 顯著水準，纖維資材則未達 5% 顯著水準，顯示水泥能增加土壤團粒化，使土壤穩定性提高，即團粒穩定性越佳，土壤較不易被沖蝕，而砂質壤土、壤質砂土等土壤添加量越多，越能於長時間維持較大粒徑之團粒。

表 5 不同資材處理團粒穩定性單因子變異度分析

Table 5 One - way ANOVA analysis of aggregate stability of different material treatments

| 分析項目 | F 檢定 | p-value | 顯著性 |
|------|---------------|---------|------|
| 纖維資材 | 0.010 (2,11) | 0.990 | 不顯著 |
| 水泥 | 14.010 (3,11) | 0.002 | 高度顯著 |

註： * : $p < \alpha = 0.05$, ** : $p < \alpha = 0.01$, *** : $p < \alpha = 0.001$ 。(NDF, DDF) : NDF : 為 F test 中分子之自由度, DDF : 為 F test 中分母之自由度。

基材保水力

不同資材處理（基材）之含水率結果如表 7 所示，試驗初期基材含水量經重力排水後隨時間遞減，菇肥比例越高保水力越佳，尤以對照組 100% 菇肥配方基材含水率最高，達 334.63%。然各配方從第 21 日起再加水後發現，21 日加水後含水率高於第 1 日，係因試驗基材經過水泥水化後會形成團粒化，且壤質砂土孔隙大，雖不能直接增進噴植基材保水能力，卻可改善菇類堆肥孔隙收縮情形，增加試驗基材孔隙率，進而提高保水力。另 90% 菇肥+10% 壤質砂土配方添加 5% 以上水泥可超越對照組保水力，而處理 9(90% 菇肥 +10% 壤質砂土+7% 水泥) 配方保水力為各配方中最佳。

基材硬度

本研究於 60 天後量測後期之基材硬度，其結果如表 8、表 9 所示，硬度值為 0.5mm~10.3mm 之間(山中式硬度計測值)，發現水泥比例愈高則基材硬度亦相對提高，壤質砂土比例提高硬度值有升高的趨勢，對照組(100% 菇類堆肥)之土壤硬度值達 20mm，顯示菇類堆肥加入壤質砂土，可改變基材物理性，降低硬度，對植物生長有利；經統計分析結果發現水泥於各處理間達 5% 顯著水準，水泥配方影響硬度的變化呈現高度顯著，會提高基材團粒化效果，可保護種子，為主要影響基材硬度的主因。另對照組硬度高達 20mm(山中式硬度計測值)係因乾早期時，菇類堆肥會因缺水造成孔隙收縮而硬化。

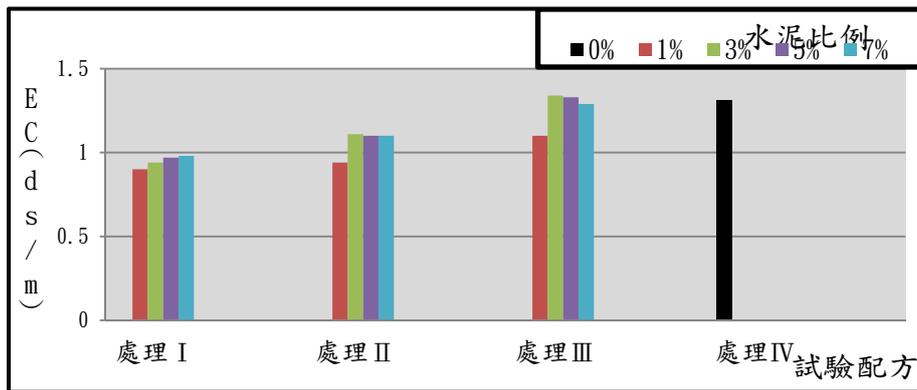


圖 8 不同資材處理配方之電導度

Fig.8 The electrical conductivity of different material treatments

表 6 保水力試驗結果
Table 6 Water content test results.

| 編號 天數 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|--------|--------|-----------------|-------|--------|--------|---------|
| 基材配比 | 菇肥 60%+壤質砂土 40% | | | | 菇肥 80%+壤質砂土 20% | | | | 菇肥 90%+壤質砂土 10% | | | | 菇肥 100% |
| 水泥(%) | 7 | 5 | 3 | 1 | 7 | 5 | 3 | 1 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| 1 | 71.01 | 80.55 | 80.15 | 78.27 | 135.08 | 145.3 | 121.73 | 123.94 | 181.72 | 164.8 | 165.89 | 169.02 | 284.1 |
| 2 | 54.01 | 63.55 | 62.15 | 59.27 | 112.08 | 121.3 | 98.73 | 102.94 | 151.72 | 138.8 | 139.89 | 142.02 | 255.1 |
| 3 | 28.01 | 33.55 | 32.15 | 31.27 | 75.08 | 82.3 | 64.73 | 70.94 | 108.72 | 99.8 | 100.89 | 101.02 | 212.1 |
| 4 | 15.01 | 15.55 | 14.15 | 12.27 | 48.08 | 53.3 | 39.73 | 46.94 | 74.72 | 66.8 | 73.89 | 71.02 | 173.1 |
| 5 | 8.01 | 6.55 | 6.15 | 5.27 | 26.08 | 28.3 | 17.73 | 25.94 | 47.72 | 38.8 | 46.89 | 46.02 | 121.1 |
| 6 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 16.08 | 18.3 | 10.73 | 15.94 | 33.72 | 24.8 | 33.89 | 32.02 | 91.1 |
| 7 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 12.08 | 14.3 | 8.73 | 11.94 | 26.72 | 18.8 | 25.89 | 25.02 | 73.1 |
| 8 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 10.3 | 7.73 | 7.94 | 19.72 | 13.8 | 19.89 | 18.02 | 57.1 |
| 9 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 15.72 | 11.8 | 14.89 | 12.02 | 42.1 |
| 10 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 13.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 34.1 |
| 11 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 28.1 |
| 12 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 23.1 |
| 13 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 20.1 |
| 14 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 9.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 18.1 |
| 15 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 16 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 17 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 11.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 18 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 10.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 19 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 10.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 20 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 10.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 21 | 6.01 | 4.55 | 4.15 | 4.27 | 9.08 | 8.3 | 7.73 | 6.94 | 10.72 | 11.8 | 12.89 | 10.02 | 16.1 |
| 22 | 121.8 | 117.6 | 125.3 | 118.2 | 201.6 | 206.1 | 165.7 | 136.3 | 311.7 | 283.4 | 199.1 | 206.2 | 211.6 |
| 23 | 100.7 | 97.1 | 113.7 | 99 | 175.4 | 178.1 | 144.5 | 113.3 | 274 | 248.5 | 171.7 | 178.4 | 175.6 |
| 24 | 79 | 77.5 | 93.4 | 80.3 | 150.6 | 150.8 | 120 | 91.2 | 240.9 | 220.8 | 143.9 | 146.5 | 144.1 |
| 25 | 58.3 | 57.6 | 73.4 | 62.1 | 125.8 | 124.9 | 97.2 | 59.8 | 211.4 | 194.3 | 116.9 | 117.9 | 123.3 |
| 26 | 30.3 | 28.1 | 43.9 | 31.7 | 86 | 87.1 | 65.9 | 39.2 | 167.1 | 156.1 | 81.6 | 83.7 | 97.8 |
| 27 | 13.1 | 12.6 | 20.7 | 11.4 | 58.3 | 56.2 | 42.7 | 29.4 | 129.9 | 123.8 | 60 | 62.9 | 82.4 |
| 28 | 5.9 | 6 | 10.2 | 7.2 | 38 | 35.7 | 31.2 | 19.8 | 89.2 | 86.1 | 48.1 | 49 | 66.4 |

註：1. 基材含水量單位：g
2. 試驗日期：2013 年 5 月 15 日

表 7 60 天後不同資材處理配方之硬度值

Table 7 Value of hardness of different material treatments after 60 days duration

| 試驗配方 \ 水泥比例 | 7% | 5% | 3% | 1% |
|-------------|------|------|-----|-----|
| 處理 I | 10.3 | 10.3 | 4 | 0.7 |
| 處理 II | 8.3 | 3 | 1.5 | 1.2 |
| 處理 III | 8.7 | 4.8 | 1.3 | 0.5 |
| 處理 IV | 20 | | | |

表 8 60 天後不同資材處理配方之硬度值單因子變異度分析

Table 8 One way ANOVA analysis of latest hardness of different material treatments

| 分析項目 | F 檢定 | p-value | 顯著性 |
|------|--------------|---------|------|
| 纖維資材 | 0.600 (2,11) | 0.569 | 不顯著 |
| 水泥 | 9.385 (3,11) | 0.005 | 高度顯著 |

註：*： $p < \alpha = 0.05$ ，**： $p < \alpha = 0.01$ ，***： $p < \alpha = 0.001$ 。(NDF,DDF)：NDF：為 F test 中分子之自由度，DDF：為 F test 中分母之自由度。

結論與建議

本研究以水泥、菇類堆肥及壤質砂土等不同比例配方之噴植基材，進行混合後之相關土壤物理化學試驗、抗沖蝕試驗與其對噴植種子發芽影響之試驗等，並統計分析，探討其處理間之差異性及其在實際噴植植生工法之應用價值。經試驗結果結論與建議如下：

1. 不同配方之基材 pH 值介於 7.75~10.75 之間，呈鹼性反應，其中水泥比例愈高則 pH 值愈高，基材硬度亦相對提高。不同基材配方處理後 60 天之土壤硬度值，介於 0.5~10.3mm 之間(山中式硬度計測值)，但對照組(純菇類堆肥)之基材硬度值達 20mm，顯示菇類堆肥加壤質砂土，改變基材物理性，降低硬度，對植物生長有利。
2. 團粒濕篩穩定分析結果，水泥比例越高則對數幾何平均粒徑越大、抗沖蝕性越佳，其對數幾何平均粒徑與水泥比例之關係達 5% 顯著水準。
3. 不同基材配方之電導度檢測結果，介於 0.9 dS/m 至 1.33 dS/m 之間，均屬植物發芽生長之適合範圍內。電導度受菇類堆肥影響比例越高 EC 值越高，其相關性達 5% 顯著水準。
4. 由保水力試驗結果得知，菇類堆肥比例影響施工初期之保水力，其菇類堆肥比例越高保水力越佳，但於放置 21 日再次加水後之保水力試驗結果，顯示加入適當比例之壤質砂土，其保水力逐漸趨近或超越 100% 菇肥之對照組。對照組因纖維資材收縮使保水力下降，壤質砂土孔隙大，改善噴植基材收縮提高保水力。
5. 考量菇類堆肥應對乾早期需有較高之保

林信輝、謝政諺、巫清志、陳意昌：
含水泥與菇類堆肥噴植資材配方之試驗研究

水力，以及壤質砂土與水泥混合可長時間維持較大之團粒，提高噴植基材團粒穩定性抵抗降雨沖蝕，以應對高強度降雨所造成基材表面沖蝕之影響，菇類堆肥用量應以噴植基材體積之 80% 較為適當，壤質砂土用量應以噴植基材體積之 20% 較為適當，故研判菇類堆肥 80%+壤質砂土 20%+水泥 5% 配方為本試驗最佳噴植基材配方。

參考文獻

1. 江秀雯(2007)，黏著劑對土壤抗沖蝕性改良之研究，國立屏東科技大學水土保持學系研究所碩士論文。
2. 朱祐賢(2011)，噴植工法應用菇類廢棄木屑堆肥材料之適用性研究，國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
3. 吳盈政(2005)，噴植用黏著劑材料特性與適宜性分析。國立中興大學水保所碩士論文。
4. 林信輝、黃保維、許榮峰(2004)，附土壤團粒化劑對紅壤抗蝕性及種子發芽影響之研究，坡地防災學報 3 (1) : 15-27。
5. 林信輝、王英任、徐憲生(2011)，崩塌地噴植植生復育及其應用資材之探討，水土保持學報 43(2):147-170。
6. 陳映潔(2011)，水泥噴凝植生敷蓋技術在陡坡上之現地應用、調查及其材料最佳化配比之初步試驗研究，臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
7. 張瑋珈(2011)，不同資材配方應用於坡面噴植之研究。國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
8. 劉威廷、林信輝(2009)，鋪網噴植工法被覆網材與噴植基材之特性評估，98 年度中華水土保持學會年會論文集，43，中華水土保持學會。
9. Shulga, G., Rekner, F. J., and Varshavan, (2001), "Lignin-based Interpolymer Complexes as a Novel Adhesive for Protection against Erosion of Sandy Soil", Soil and Water. 78(3):309-316.

102 年 11 月 21 日收稿

102 年 11 月 29 日修改

103 年 12 月 25 日接受

水土保持學報 46 (2): 1015 – 1028 (2014)

Journal of Soil and Water Conservation, 46 (2): 1015 – 1028 (2014)