試驗短報

種子保護罩直播造林系統之增進措施對木賊葉木麻黃幼苗生長之影響

黃俊元[1]、張繼中[2]、謝漢欽[3]、陳建璋[4*]

（收件日期：民國 112 年 10 月 13 日、接受日期：民國 112 年 12 月 19 日）

【摘要】臺灣東部海岸地區易受暴潮危害的海岸防風林孔隙，可用種子保護罩直播造林系統培育木賊葉木麻黃造林。爲了促進此法的施肥效果，以及降低土壤水分不足對幼苗的危害，本研究之目的探討施肥、澆水及種子保護罩對幼苗生長之影響。研究結果顯示，有機肥因不具控制緩慢釋放養分的機制，易對稚苗期的小苗產生肥害，以緩效性肥料施入種子保護罩內是促進幼苗生長效果最佳的施肥方式，直播 2.5 年的幼苗建立率可達 87±7%，地徑 4.7±0.2 cm，樹高 374±13 cm，樹冠幅 209±11 cm。播種初期配合澆水能夠降低小苗乾旱缺水導致枯死的風險，是促進直播造林成效的有效措施；使用改良型種子保護罩的播種成效較原型種子保護罩佳，並可改善不易施肥的缺點。研究成果可增加種子保護罩直播造林系統之實務性，提供臺灣東部海岸地區易受暴潮之海岸林地，直播造林作業之參考。

【關鍵詞】木賊葉木麻黃、海岸林、直播造林、施肥、種子保護罩。

[1] 林業試驗所太麻里研究中心副研究員，96341 臺東縣太麻里鄉大王村橋頭 6 號。Associate Researcher, Taimali Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, 6 Chiaotou, Dawang Village, Taimali, Taitung 96341, Taiwan.
[2] 臺東區農業改良場副研究員，950244 臺東市中華路一段 675 號。Associate Researcher, Taitung District Agricultural Research and Extension Station, 675 Chunghua Rd., Sec. 1, Taitung 950242, Taiwan.
[3] 林業試驗所森林經營組研究員，10066 台北市南海路 53 號。Researcher, Division of Forestmanagement, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.
[4] 國立屏東科技大學森林系教授，91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號。Professor, Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology. 1 Shuefu Rd., Neipu Township, Pingtung 91201, Taiwan.
[*] Corresponding Author, e-mail: zzzjohn@mail.npust.edu.tw.

Research note

EFFECTS OF IMPROVED MEASURES FOR DIRECT SEEDING WITH SEED SHELTERS ON THE GROWTH OF *CASUARINA EQUISETIFOLIA* SEEDLINGS BY DIRECT SEEDING

Chun-Yuan Huang[1], Chi-Chung Chang[2], Han-Ching Hsieh[3], Jan-Chang Chen[4*]

（Received: October 13, 2023; Accepted: December 19 , 2023）

【**Abstract**】Gaps in coastal windbreaks on the east coast of Taiwan are vulnerable to storm surges, presenting an opportunity for establishing *Casuarina equisetifolia* using the hole-seeding method with seed shelters. This study aims to enhance the fertilization efficiency of this method and mitigate damage from insufficient soil moisture on seedlings'growth. The investigation explores the impacts of fertilization, watering, and seed shelters on seedling development. Results indicate that organic manures lacking a controlled and slow-release mechanism for nutrients can be toxic to young seedlings. Applying slow-release fertilizers within the seed shelter yielded the best seedling growth performance. For 2.5-year-old seedlings, establishment rates reached 87% ± 7%, with a root collar diameter of 4.7 ± 0.2 cm, a seedling height of 374 ± 13 cm, and a canopy diameter of 209 ± 11 cm. Watering significantly reduced the risk of seedling mortality due to drought, effectively enhancing seedling establishment. Furthermore, the improved seed shelter outperformed the prototype one, addressing previous challenges related to fertilization. These research findings can be applied to improve the practical implementation of the hole-seeding method with seed shelters and offer valuable insights for direct seeding in areas susceptible to storm surges along the east coast of Taiwan.

【**Key words**】 *Casuarina equisetifolia*, coastal forest, direct seeding, fertilization, seed shelters.

I、前言

臺灣位於颱風盛行區，因此東部地區的海岸防風林常因致災級的颱風及暴潮危害導致林分劣化，需要於無林木孔隙或缺口持續造林，以維持海岸防風林之完整性 (朱木生，1995；鄧書麟等，2015)。近來針對東部海岸地區的氣候環境，以及結合木麻黃更新苗易於林地小凹地萌發的更新特性，使用一種結合小凹洞及種子保護管的直播造林系統，專門提供臺灣東部海岸地區易受暴潮危害之海岸砂地，營造木麻黃海岸防風林使用，此播種方法爲在林地挖 10 cm 深之凹洞，接著於凹洞內放置種子後覆土 0.5~1.0 cm，將兩端透空的種子保護管放置於凹洞內，然後將種子保護管外的孔隙填平，形成一個以種子保護管形塑約 9 cm 深的凹洞 (黃俊元等，2019)。研究顯示林地內微地形 (microsite) 能夠促進更新及幼苗生長，使用 seed shelters(保護種子的器材之總稱) 罩住種子能改善播種點 (sowing spot) 的微氣候 (microclimate) 及保護種子 (Bergsten, 1988; Dominy and Wood, 1986; Prieto-Rodao *et al*., 2019)，種子保護管直播造林系統以類似的概念於臺灣東部海岸砂地成功培育木賊葉木麻黃 (*Casuarina equisetifolia*)。然而，直播造林初期若遭遇長期不降雨的乾旱期，導致土壤水分不足可使小苗枯死 (Padilla and Pugnaire, 2007)，爲了降低乾旱危害及增加播種成效，此直播造林系統又融入水蒸氣可於密閉環境內凝結成水之特性，將種子保護管換成僅一端透空的容器 - 種子保護罩，播種時罩住種子可使播種點內的土壤水蒸氣，因密閉空間凝結成水後回流播種點增加土壤水分外，也能提高播種點內之相對溼度，營造較佳的微環境促進幼苗生長 (Oleskog *et al*., 2000; 黃俊元等，2020)。種子保護罩雖可增加土壤水分及空氣溼度，可降低土壤水分不足對幼苗的危害，在實務上也可藉由種子保護罩內壁的水珠凝結量，評估播種點內的土壤水分含量，提供造林者適時配合澆水作業，降低乾旱危害幼苗 (Emmanuel, 2014)。然而，種子保護罩僅設計 1 個氣孔 (0.5×1 cm)，除了肥料不易施入，也不清楚種子保護罩內的高溼度環境是否影響緩效性肥料 (controlled-release fertilizer)，故現行實務上施肥時將種子保護罩外側土壤挖開，將肥料埋入約 10 cm 深的土中，反而使肥料被地被植物之根系包覆，助長地被植物與幼苗競爭養分及水分 (黃俊元等，2020)。

造林初期具有高品質的苗木是造林成功的重要關鍵 (Haase *et al*., 2006; Oliet *et al*., 2013)，造林時可藉由施肥改善土壤養分的有效性，提升苗木品質 (Cortina *et al*., 2013)，施肥是促進苗木生長最有效的方式之一，但錯誤的施肥方法卻會傷害幼苗甚至死亡，而且肥料類型、施用量、施肥方法及施用時間等，均與幼苗吸收肥料的利用效率有關 (Sloan and Jacobs, 2013; 許原瑞等，

1995；程煒兒等，1996)。種子保護罩直播造林系統可於海岸林成功培育木賊葉木麻黃，除了營造播種有利的微環境外，而另一個重要關鍵就是在於造林初期的有效施肥 (黃俊元等，2020)。因此，本研究目的爲促進種子保護罩直播造林系統之實務性 (1) 探討施肥作業對木賊葉木麻黃幼苗生長之影響；(2) 改良種子保護罩型式，解決不易施肥的缺點，以及播種初期長時間未降雨期間進行澆水，評估澆水作業對播種成效之影響，降低幼苗缺水危害。

II、材料與方法

(I) 肥料種類與施肥方式之播種試驗

試驗地點位於臺東太麻里溪南側海岸 (22°35′17"N；121°00′21"E)，木麻黃海岸防風林之無林木海岸砂地，地勢平坦，土壤爲砂質土，地被植物覆蓋率介於 30~50% 之間，以蔓荊 (*Vitex rotundifolia*)、馬鞍藤 (*Ipomoea pescaprae*) 及甜根子草 (*Saccharum spontaneum*) 爲主要優勢種。播種試驗採用完全隨機設計 (completely randomized design; CRD)，設置 12 個樣區 (3×4 m)，進行 4 種施肥處理，每個處理 3 個樣區，每個樣區內設置 20 個播種點 (4×5)，播種點間距爲 1×1 m，以人力方式將播種點的地被植物根系移除，每個播種點播種 50 粒木賊葉木麻黃種子。施肥處理分別爲 (1) 緩效性肥 (內部) 處理：種子保護罩內部施緩效性肥 3 g，施肥方式如圖 1-A；(2) 緩效性肥 (外部) 處理：種子保護罩外部施緩效性肥 5 g，施肥方式如圖 1-B；(3) 有機肥處理：種子保護罩外部施有機肥 10 g，施肥方式如圖 1-B；(4) 液肥處理：種子保護罩內施液肥 200 ml，施肥方式如圖 1-A。緩效性肥使用新好康多 1 號 180 天型 (N-P-K =14-11-13, Japan)；有機肥使用台肥生技 3 號 (N-P-K=5-2.5-2.5, Taiwan)，液肥使用愛味甘 (N-P-K=6-4-5, Japan) 加水稀釋 300 倍；緩效性肥及有機肥處理於苗齡 2 個月時施 1 次，液肥處理於苗齡 2 及 3 個月時各噴 1 次，每次 100 ml。試驗使用側邊設計 1 個長方形氣孔之種子保護罩 (圖 1)，爲兩端直徑爲 6、9 及高 17 cm 的透明塑膠杯製作而成。2020 年 11 月播種，2021 年 1 月施肥，2021 年 4 月割除種子保護罩頂部形成種子保護管型式使幼苗小枝能夠伸展 (圖 2)，再將各個樣區內 10 個播種點內的幼苗地上部全部收獲，依據張愛華 (1981) 發表之方法進行各處理之植體養分氮、磷及鉀含量分析，2021 年 9 月移除種子保護管，本試驗至 2023 年 7 月止。

(II) 種子保護罩型式及澆水作業之播種試驗

試驗地點位於臺東金崙溪北側海岸 (22°31′56"N；121°58′08"E)，金崙高架橋下的海岸防風林前緣之海岸砂地，

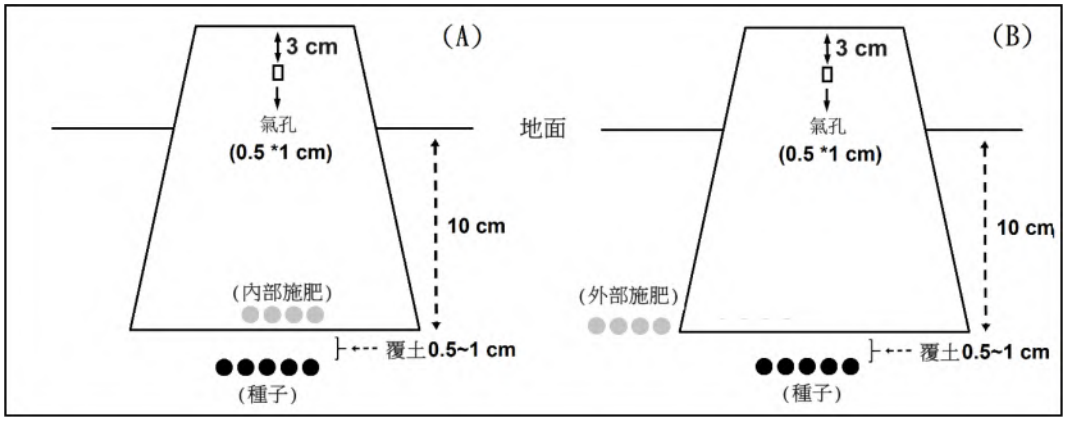

圖 1 種子保護罩之內部施肥與外部施肥方式之剖面圖。

Fig.1 Sectional drawing of the internal and external fertilization methods of the seed shelter.

地勢平坦，土壤爲砂質土，地被植物覆蓋率介於 30~50% 之間，以馬鞍藤及蔓荊爲主要優勢種。試驗採用裂區設計 (split-plot design) 進行種子保護罩型式與澆水之二因子處理播種試驗，試區內設置 3 個重複區，每個重複區內劃分 2 個主區 (whole plot)，將澆水及不澆水因子處理逢機分配其中，主區再劃分 2 個副區 (sub plot)，再將種子保護罩之原型與改良型處理逢機分配其中，每個副區 (10×10 m) 設置 30 個播種點 (5×6)，播種點間距爲 2*2.5 m，以 50 型挖土機的孔狀篩斗將播種點土層 30 cm 深的雜草根系篩除，每個播種點播種 50 粒木賊葉木麻黃種子。試驗用的種子保護罩如圖 3 所示，種子保護罩側邊設置 1 個長方形氣孔爲原型 (圖 1 及圖 3-A)，改良型爲於頂部切 1 個倒三角型氣孔 (圖 3-B)，再將頂部圓周割開，留約 1 cm 不割，使頂部可掀開施肥。澆水處理爲播種後連續 10 日未降雨使用背負式電動噴霧機 (LS-518, Taiwan) 進行澆水 1 次，每次每個播種點澆水 400 ml，2023 年 3~5 月期間，總計澆水 4 次。試區內使用微氣象記錄器 (HOBO H21-USB Micro Station, USA) 連接土壤水分 (soil moisture smart sensors, S-SMC-M005) 及溫溼度 (temperature /RH smart sensor, S-THB-M002) 感測器各 1 組，同時監測地面 (對照組)、種子保護罩之原型及改良型內相對濕度 (relative humidity; RH) 及土壤深度 1 cm 之土壤體積含水量 (volumetric water content; VWC)；各感測器每 30 分鐘記錄 1 次，連續監測 28 天。2022 年 12 月播種，2023 年 1 月施肥，將緩效性肥料 3 g 施入種子保護罩內 (新好康多 1 號 180 天型)，2023 年 4 月割除種子保護罩頂部形成種子保護管型式，並於 2023 年 7 月移除種子保護管，本試驗至 2023 年 7 月

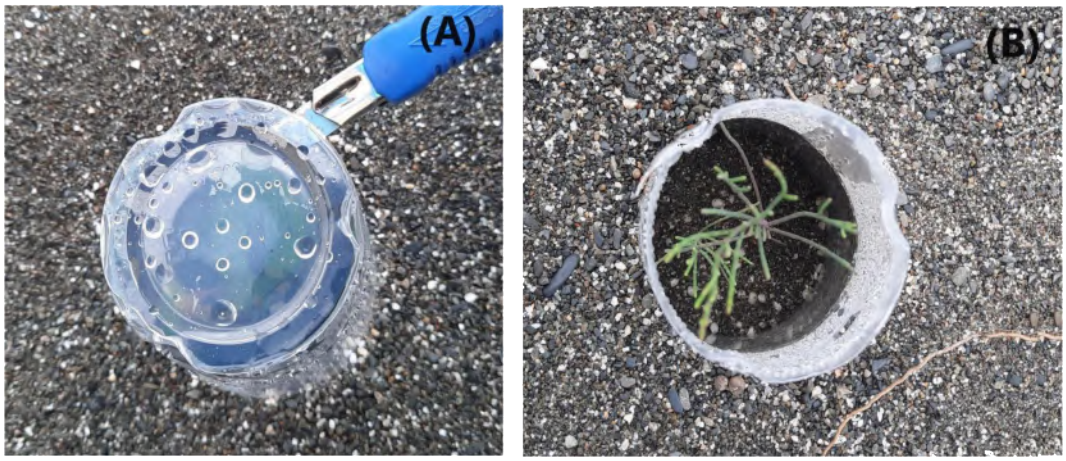

圖 2 移除種子保護罩頂部（A）使幼苗枝條向外伸展（B）。

Fig.2 Removing the top of the seed shelter provided seedling branches to spread outward.

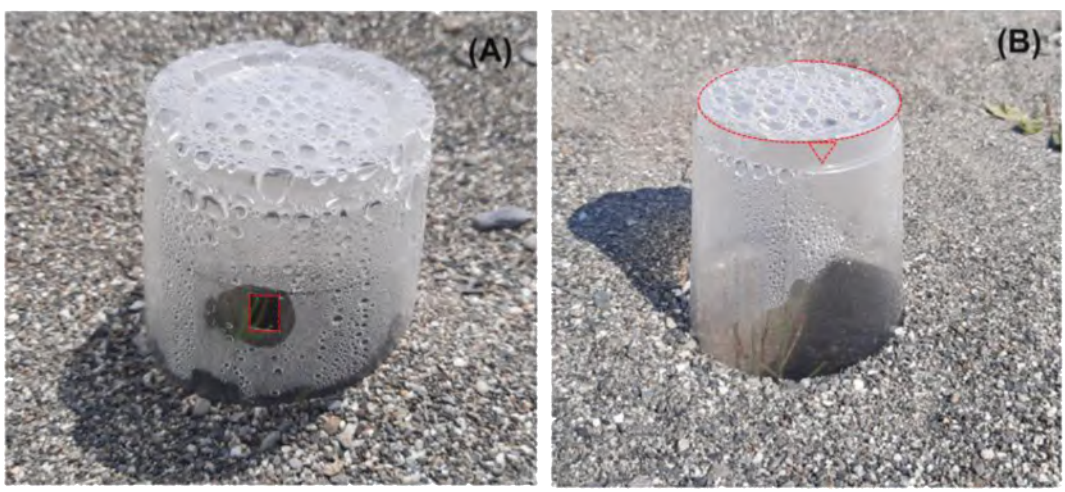

圖 3 原型種子保護罩 (A) 與改良型種子保護罩 (B) 的育苗情形，紅虛線表示切開處。

Fig.3 *Casuarina equisetifolia* seedlings in the prototype seed shelter (A) and the improved seed shelter (B). The red dotted line indicates the incision.

止。

(III) 生長調查與統計分析

本試驗以播種點爲計量單位，播種點內不論萌發多少幼苗均視爲 1 株幼苗的概念，據此分析播種成效 (Palmerlee and Young, 2010)。調查各樣區內「有幼苗發生的播種點數量 (A)」、「有幼苗存活的播種點數量 (B)」，以及「樣區內播種點數量 (C)」，統計分析各生長期的幼苗發生率 (seedling emergence

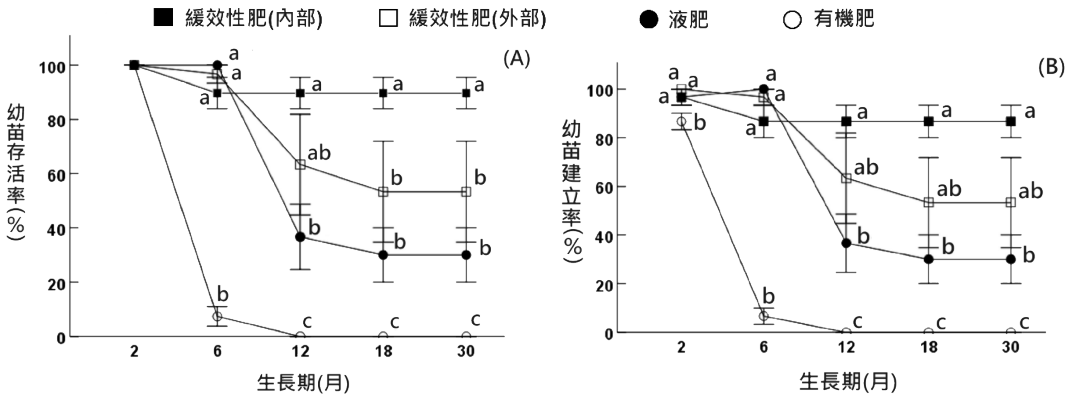

圖 4 不同施肥處理之幼苗存活率及建立率 (Mean ± SE，n = 3；同一生長期之不同英文字母表示處理間具有顯著差異，P < 0.05)。

Fig.4 Seedling survival and establishment among different fertilization treatments. Means ± SE, n=3. Vertical bars with different letters (a, b, and c) indicate significant differences at 0.05 level among treatments at the same seedling age.

percentage)=A/C×100%、幼苗存活率 (seedling survival percentage)=B/A×100% 及幼苗建立率 (seedling establishment percentage)=B/C×100%，以及調查試驗木的生長表現 (各播種點選擇其最高的幼苗調查苗高，幼苗 1 年生後增加地徑及樹冠幅調查)。施肥試驗使用單因子變異數分析 (One-way ANOVA) 進行各處理間檢定分析，事後多重比較 (multiple comparisons) 以最小顯著差異性試驗 (Fisher's protected least significant difference test, LSD test)，比較施肥處理間之生長表現差異分析；使用一般線性模式 (General linear model,GLM) 之雙因子變異數分析 (Two-way ANOVA)，檢定種子保護罩型式及澆水各因子處理間之生長表現差異分析。以上各項試驗檢定以 SPSS Statistics 26.0 統計軟體進行檢定分析。

III、結果與討論

(I) 肥料種類與施肥方式之播種試驗

2020 年 11 月於臺東太麻里海岸林之海岸砂地進行施肥處理之播種試驗結果，播種 2 個月各處理的平均幼苗發生率爲 95±2%。圖 4-A 說明試驗期間施肥處理之幼苗存活情形，苗齡 6 個月，有機肥處理的幼苗存活率僅剩 7±4%，但其他處理≧ 90%，至苗齡 30 個月，以緩效性肥 (內部) 處理的存活率最高 90±6%，與其他處理具有顯著差異 (P < 0.05)，其中有機肥處理的存活率最低 (0%)。苗齡 30 個月的幼苗建立率以緩效性肥 (內部) 處理最佳 (87±7%)，其次爲緩效性肥 (外部) 處理 (53±19%)，液肥及有機肥處理最差 (圖 4-B)。表 1 顯示苗齡 12~18 個月期間，除有機肥處理

表 1 不同施肥處理對木賊葉木麻黃之生長表現

Table 1. The growth performance of *Casuarina equisetifolia* among different fertilization treatments

處理	6 個月	12 個月	18 個月			30 個月		
	樹高	樹高	地徑	樹高	樹冠幅	地徑	樹高	樹冠幅
緩效性肥 (內部)	19±1a	38±3a	2.0±0.3a	173±21a	108±9a	4.7±0.2a	374±13a	209±11a
緩效性肥 (外部)	15±2a	26±5a	1.4±0.4a	96±27a	70±16a	3.5±0.3b	249±34b	148±19b
液肥	16±1a	31±3a	1.9±0.1a	168±18a	103±8a	5.3±0.3a	415±45a	241±19a
有機肥	8±2b	-	-	-	-	-	-	-

註 : Mean ± SE，n = 3 ; 同一時期之不同英文字母表示處理間具有顯著差異，P < 0.05)。

表 2 木賊葉木麻黃苗齡 5 個月之氮鏻鉀含量

Table 2. The amount of Nitrogen, Phosphonium, and Potassium in the 5-mo-old *Casuarina equisetifolia* seedlings

營養元素	施肥處理		
	緩效性肥 (內部)	緩效性肥 (外部)	液肥
N (%)	2.12±0.21a	1.63±0.25ab	1.35±0.04b
P (%)	0.09±0.01b	0.16±0.03a	0.26±0.03a
K (%)	0.75±0.05b	0.85±0.08ab	1.07±0.06a

註：Means ± SE，n = 3；不同英文字母表示處理間具有顯著差異，P < 0.05)。有機肥處理因無足夠的植株進行養分分析。

無任何植株存活外，其餘處理間的生長表現差異未達 5% 顯著水準，但苗齡 30 個月時，緩效性肥 (內部) 及液肥處理的生長表現顯著優於緩效性肥 (外部) 處理 (P < 0.05)。試驗木生長表現方面，苗齡 30 個月的地徑介於 3.5~5.3 cm，樹高介於 249~415 cm 及樹冠幅介於 148~241 cm。

有機肥施入土中短時間後非以粒狀形態存在，應可避免像緩效性肥料遭地被植物根系包覆的情況，但試驗結果顯示有機肥施入土中後短期內卻造成大多數小苗死亡，可能是試驗使用全氮含量 5% 的有機肥，因有機肥的氮需經土壤微生物分解及礦化後，才能釋出無機態氮供植物吸收，但當全氮含量 > 3% 就含有顯著的無機態氮素，可能衍生肥效過量的問題 (李艷琪、連深，1997)，加上有

機肥不像緩效性肥料具有可控制養分釋放速率的機制，而且施用有機肥 10 g 可能過量，導致該處理 90% 小苗因肥害致死。氮素是植物行光合作用進行養分轉換最重要的關鍵要素，可由測定植體的氮素含量判斷其生長優劣 (Hikosaka and Terashima, 1995；陳加增等，2006)，而且植物在生長期間氮素不足會防礙生長潛力 (張芳銘等，2004)。施肥試驗之液肥處理僅於苗齡 2 及 3 個月各噴灑 1 次，雖可使植株於短時間內獲得養分利於生長 (張繼中等，2016)，但經現場觀察緩效性肥處理的幼苗，發現液肥處理的植株的莖及小枝纖細，根據植體養分分析結果 (表 2)，液肥處理的植體氮素含量最低，顯示該處理的肥效不及緩效性肥處理，而且液肥的肥效不持久，需多次噴灑或補充肥分，才能避免植株缺肥 (蘇博信，2017)，本試驗液肥僅施 2 次，造成該處理之植株養分不足，於苗齡 6 月的幼苗生長勢差，苗高不如緩效性肥 (內部) 處理，多數幼苗難於適應夏季高溫環境死亡，至苗齡 12 個月之存活率僅剩 37%。

試驗結果顯示幼苗存活率明顯受到肥料種類的影響，播種成效以施用緩效性肥料最佳，原因在於緩效性肥料具有控制緩慢釋放養分的機制，即使施於根系也不易產生肥害 (Jacobs and Timmer, 2005)，而且營養元素利用率 (最大回收率) 較傳統肥料高，促進幼苗生長的效果較佳 (Haase *et al*., 2006; Sloan and Jacobs, 2013；林晉卿等，2006)。緩效性肥料施入土中會遭受地被植物根系包覆，使地被植物競爭土壤養分及水分，影響幼苗生長 (Sloan and Jacobs, 2013; 黃俊元等，2020)。試驗結果顯示緩效性肥 (外部) 處理同樣遭受地被植物的根系包覆，使得幼苗吸收肥分受阻，植體氮素含量較緩效性肥 (內部) 處理低 (表 2)，故緩效性肥 (外部) 處理的植株生長表現最差，1 年後的播種成效 (63±19%) 低於緩效性肥 (內部) 處理 (90±6%)。因此，使用緩效性肥料可使幼苗獲得安全及穩定的肥效，並以肥料直接施入種子保護罩內的效果最佳，有效促進幼苗生長，增加適應海岸逆壓環境，獲得較佳的播種成效。

(II) 種子保護罩型式及澆水作業之播種試驗

2022 年 12 月於臺東金崙海岸保安林之海岸砂地進行種子保護罩型式及澆水處理的播種試驗結果，播種 1 個月各處理的平均幼苗發生率爲 88±2%，播種 2 個月各處理的平均發生率即達到最高爲 91±1%，其中澆水處理 (93±1%) 高於無澆水處理 (89±3%)，改良型種子保護罩處理 (93±2%) 高於原型處理 (89±1%)，各處理因子之主效應在 5% 顯著水準下未達顯著差異。根據黃俊元等 (2020) 的研究顯示，使用凹洞播種方式的幼苗發生率通常於播種 1 個月時 >90%，2 個月時發生率即達到最高，因此在實務作業上建議 1 個月後仍無幼苗的播種點可進

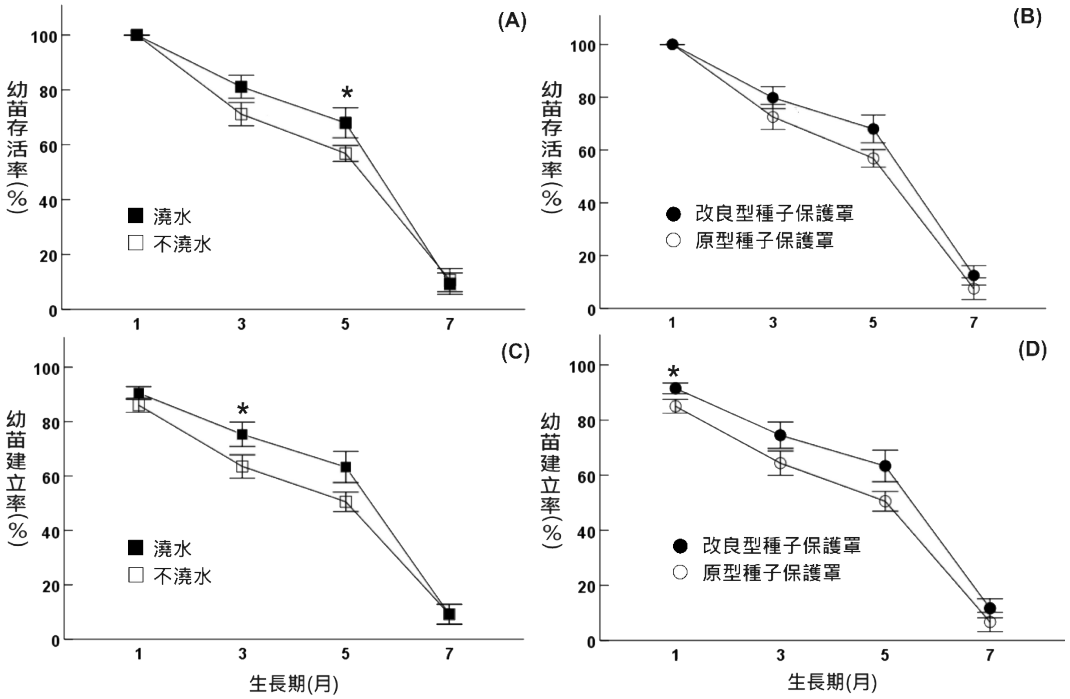

圖 5 澆水與種子保護罩因子處理之各生長期幼苗存活率及建立率 (Mean ± SE，n=6；" ＊ " 表示同一生長期處理間具有顯著差異 (P < 0.05)。

Fig.5 Seedling survival and establishment in different ages on the watering and seed shelter treatments. Means ± SE, n=6. Vertical bars with " ⁎ " indicate significant differences at 0.05 level among treatments at the same seedling age.

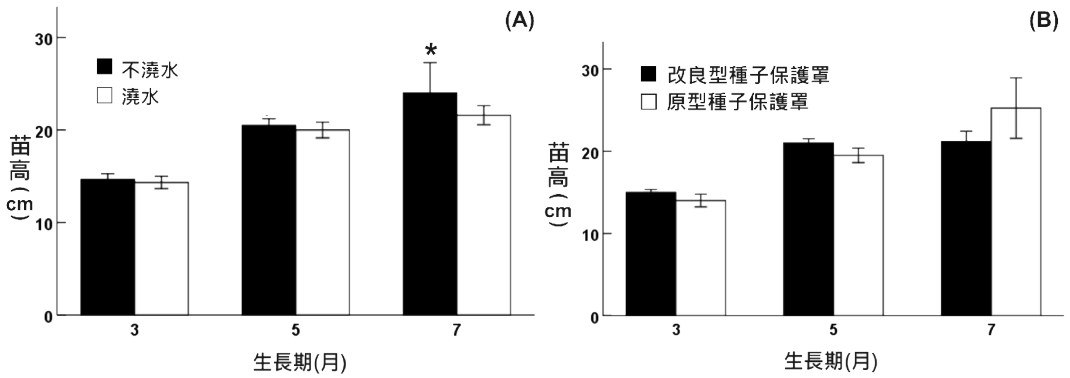

圖 6 澆水與種子保護罩因子處理之各生長期苗高 (Mean ± SE，n=6；" ＊ " 表示同一生長期處理間具有顯著差異 (P < 0.05)。

Fig.6 Seedling height in different ages on the watering and seed shelter treatments. Means ± SE, n=6. Vertical bars with " ⁎ " indicate significant differences at 0.05 level among treatments at the same seedling age.

行補播以提高幼苗發生率。

圖 5 顯示苗齡 3~5 個月期間，幼苗存活率及建立率均以澆水及改良型種子保護罩處理較高，至苗齡 5 個月時澆水與不澆水處理的幼苗存活率分別爲 68±5% 及 57±3%，而改良型與原型種子保護罩處理的存活率同樣爲 68±5% 及 57±3%，其中以澆水與改良型種子保護罩處理組合最高 (76±8%)，而不澆水與原型種子保護罩處理組合最低 (53±5%)，但 2023 年 5 月 31 日受到中度颱風瑪娃的暴風圈掠過臺灣東南部近海引發暴潮侵襲試驗地，造成多數的幼苗遭受海砂深埋死亡，因此苗齡 7 個月的幼苗建立率 < 10%，也顯示出臺灣東部海岸林易受暴潮危害是無可避免的事實，而且不論是採用何種造林方式，其造林成效仍受到暴潮的影響。圖 6 顯示苗齡 5 個月時，各處理的苗高已達 20 cm，各處理因子之主效應差異未達 5%

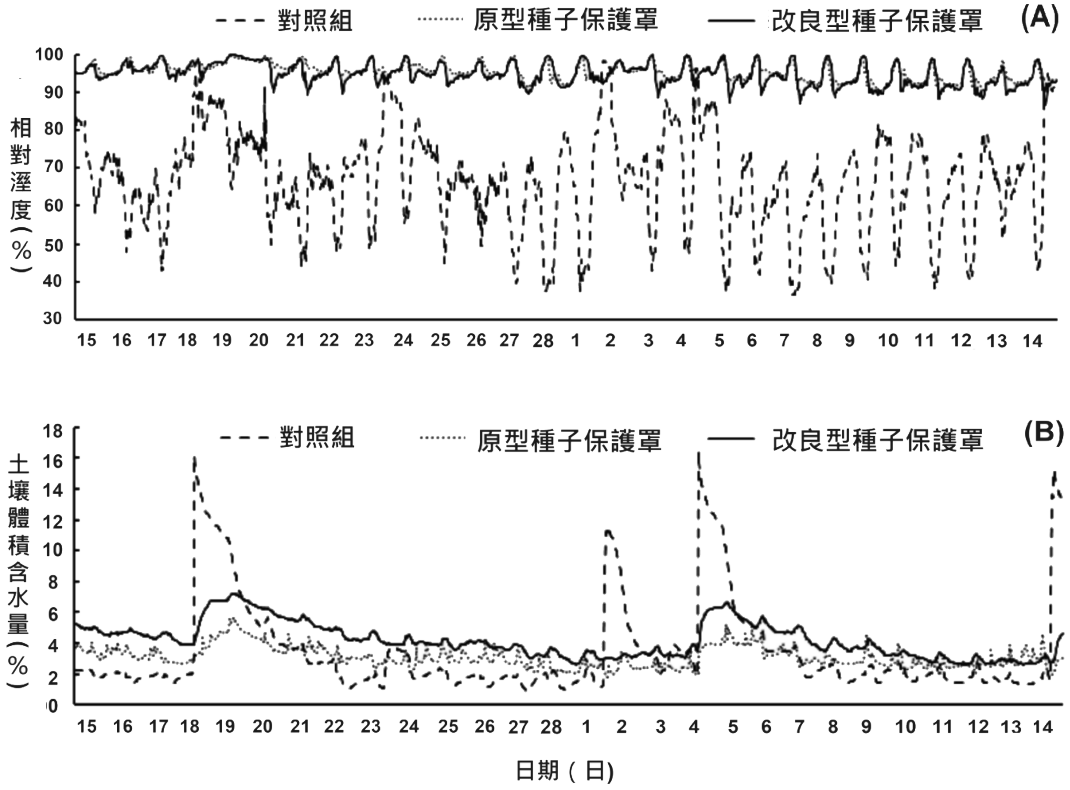

圖 7 金崙試驗地於 2023 年 2~3 月使用溫溼度及土壤水分感測器監測地面 (無保護罩)、原型種子保護罩及改良型種子保護罩內之相對溼度及土壤深度 1cm 之土壤體積含水量。

Fig.7 Using the humidity and soil moisture sensor to record the relative humidity and volumetric water content at 1 cm soil depth under the surface(no shelters), the prototype seed shelter, and the improved seed shelter in Jinlun in February 2023 ~March 2023.

顯著水準，苗齡 7 個月不澆水處理的苗高 (24±3 cm) 顯著高於澆水處理 (22±1 cm)，而原型種子保護罩處理的苗高 (25±4 cm) 高於改良型處理 (21±1 cm)，但未達 5% 顯著水準差異。圖 7 顯示改良型種子保護罩內之平均每日相對溼度 (95%) 與原型 (96%) 接近，而且高於地面之相對溼度 (66%) 甚多，而深度 1 cm 的土壤含水量監測結果，以改良型種子保護罩的土壤含水量高的天數較原型及對照組 (地面) 多，故改良型種子保護罩具有較佳的育苗環境。以上試驗結果顯示，澆水雖然未見促進幼苗生長之效，卻能提高幼苗存活率約 10%，並以改良型種子保護罩的播種成效較佳，也能改善原型不易施肥的缺點，因此實務上在地被植物覆蓋度 < 50% 的海岸砂地，以使用改良型種子保護罩及配合澆水作業，應能促進播種成效。

IV、結論

本研究試驗結果顯示，於東部海岸林第一線林帶前緣之海岸砂地使用改良型種子保護罩進行直播造林，施肥作業建議採用緩效性肥料直接施入保護罩內，可避免肥料遭受地被植物競爭肥料養分，同時配合澆水作業，可降低幼苗缺水危害，增加播種成效，研究成果可提供東部海岸林地使用直播造林之實務參考。

V、致謝

本研究承蒙農業部林業及自然保育分署臺東分署提供試驗場地，並特別感謝李明華、胡明德及曾少龍先生協助樣區設置、播種及苗木調查工作，以及審查委員對本研究的審閱及提供寶貴修正建議，使本文更臻完整，特此致謝。

VI、參考文獻

朱木生 (1995) 台東木麻黃海岸林現況 (三)- 木麻黃之天然更新介紹。台灣林業 21(7)：36-41。

李艷琪、連深 (1997) 有機質肥料之主成分含量及其變異。中華農業研究 46(2)：181-189。

林晉卿、黃山內、黃瑞彰、林經偉 (2006) 控制型肥料的製作及應用。臺南區農業專訊 58：6-8。

陳加增、陳世銘、楊蕙綺、楊宜璋、蕭世傑 (2006) 蔬菜葉片氮含量之近紅外光反射光譜分析。農業機械學刊 15(4): 37-49。

許原瑞、郭幸榮、洪富文 (1995) 氮型態對木荷苗木生長及形質之影響。林業試驗所研究報告季刊 10(3)：353-367。

張芳銘、楊純明、張愛華 (2004) 利用植被反射光譜特徵估測稻株氮素含量。中華農業研究 53：63-74。

張愛華 (1981) 本省現行土壤測定方法。作物需肥診斷技術，第 9-26 頁。臺

灣省農業試驗所特刊第 13 號。臺灣省農業試驗所，198 頁。

張繼中、廖勁穎、黃文益 (2016) 施用添加土壤有益微生物之液肥對葉萵苣生育之影響研究。臺東區農業改良場研究彙報 26：91-101。

黃俊元、胡元璋、謝漢欽、陳建璋 (2020) 臺灣花東海岸地區木賊葉木麻黃種子直播造林方法之研究。中華林學季刊 53(2)：55-75。

黃俊元、陳朝圳、謝漢欽、陳芬蕙、歐書寰、陳建璋 (2019) 保護管凹地直播及施肥處理對木賊葉木麻黃幼苗生長之影響。林業研究季刊 41(1): 29-48。

黃俊元、謝漢欽、陳朝圳、陳建璋 (2020) 施肥、光環境及植株密度對木賊葉木麻黃初期生長之影響。台灣林業科學 35(2)：143-160。

程煒兒、洪富文、陳財輝 (1996) 施肥對澎湖四種防風林樹種造林的初期效應。 台灣林業科學 11(3)：303-313。

蘇博信 (2017) 不同液肥製作及棗田間運用。高雄區農業改良場研究彙報 28(2)： 27-36。

鄧書麟、黃正良、張怡萱、徐浚騰 (2015) 四湖海岸低濕地木麻黃天然更新可行性之研究。中華林學季刊 48(3)：205-220。

Bergsten, U. (1988) Pyramidal indentations as a microsite preparation for direct seeding of *Pinus sylvestris* L. Scandinavian Journal of Forest Research 3: 493-503.

Cortina, J., A. Vilagrosa and R. Trubat (2013) The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. New Forests 44(5): 719-732.

Dominy, S. W. J. and J. E. Wood (1986) Shelter spot seeding trials with jack pine, black spruce and white spruce in Northern Ontario. The Forestry Chronicle 62: 446-450.

Emmanuel,G. A. (2014) Effect of watering regimes and water quantity on the early seedling growth of *Picralima nitida* (Stapf). Sustainable Agriculture Research 3(2):35-43

Haase, D. L., R. Rose and J. Trobaugh (2006) Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. New Forests 31(1): 1-24.

Hikosaka, K. and I. Terashima (1995) A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plant to sun and shade with respect to nitrogen use. Plant Cell & Environment 18: 605-618.

Jacobs, D. F. and V. R. Timmer (2005) Fertilizer-induced changes in

rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. New Forests 30: 147-166.

Oleskog,G. and K. Sahlén (2000) Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of *Pinus sylvestris* seeds in a clearcut. Scandinavian Journal of Forest Research 15(2): 225-236.

Oliet, J. A., J. Puértolas, R. Planelles and D. F. Jacobs (2013) Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a mediterranean perspective. New Forests 44(5): 649-669.

Padilla, F.M. and F. I. Pugnaire (2007) Rooting depth and soilmoisture control mediterranean woody seedling survival during drought. Functional Ecology 21(3): 489-495.

Palmerlee, A. P. and T. P. Young (2010) Direct seeding is more cost effective than container stock across ten woody species in California. Native Plants Journal 11(2): 89-102.

Prieto-Rodao, E., M. Ricker and C. Siebe (2019) A cost-benefit evaluation of direct seeding with and without protector for two native tree species in a tropical rainforest. Restoration Ecology 27(2): 247-253.

Sloan, J. L. and D. F. Jacobs (2013) Fertilization at planting influences seedling growth and vegetative competition on a post-mining boreal reclamation site. New Forests 44(5): 687-701.