

研究報告

木麻黃成熟林分天然下種更新的研究

劉瓊霏¹ 許博行^{1,*}

【摘要】試驗主要目的是探討衰老之木麻黃林分實施天然下種更新的可行性。試驗地設在雲林縣四湖海岸木麻黃純林，試驗方法除在現場設置樣區外，部分試驗則於實驗室完成。試驗結果 (1) 清除地表枯落物的樣區，可發現萌發大量小苗，二年後還是可以保留部分幼苗的生長；(2) 林地不同光照強度會影響小苗的生長，以相對光度約40%最適宜更新小苗的生長；(3) 林地土壤雖不會影響種子的發芽率，但會延長發芽時間。經本試驗結果，我們認為利用天然下種更新以維持林分是絕對可行的，惟適時移除林地枯落物，以提高成苗率，是天然下種更新成功的關鍵。

【關鍵詞】木麻黃、天然下種更新、種子發芽

Research paper

Study on the natural regeneration by self-sown seeds in mature *Casuarina spp.* stands

Chiung-Pin Liu¹ Bor-Hung Sheu^{1,*}

【Abstract】*Casuarina spp.* is an important tree species of coastal forest in Taiwan. This species is more quickly senescent under the most stressful environment. The aim of this experiment is to focus on how to regeneration those aging stands by self-sown seeds. During two years study, we not only established plots in the field but also designed control treatment in the laboratory. The results we got (1) there are many seedlings in the plots where the litter was moved, and still having some healthful seedlings after two years; (2) the survival rate and growth of seedlings were affected by light. In the stand, the seedlings grown under 40% of relative light intensity can get the best height growth; (3) although the seed germination rate was not affected by soil, but the germination speed was lagged. Our results provide evidence that future *Casuarina spp.* regeneration could use natural regeneration by self-sown seeds, but the key point is to move ground litter in time.

【Key words】*Casuarina spp.*, natural regeneration, seed germination

1. 國立中興大學森林學系。

Department of Forestry, NCHU, Taichung, Taiwan

* 通訊作者。

Corresponding author. E-mail : bhsheu@nchu.edu.tw

一、前言

木麻黃乃海岸防風林不易取代的樹種，因其為海岸樹種中生長高度可達最高，也是最具防風能力者，且由於木麻黃之形態特徵及細胞質的抗鹽特性，使木麻黃樹種呈現高度抗旱與耐鹽的能力(林信輝等，1987；曾世昌等，1991；National Research Council, 1984；Diem and Dommergues, 1990；Tomar *et al.*, 2003)。然而生長在海邊之木麻黃林分，長期處在惡劣環境下，生長易早衰退，即使只有20~30年生之林木，也已逐漸衰退(甘偉航、陳財輝，1987；林昭遠等，1996；鄧書麟、沈勇強，2006)。木麻黃生長在海邊易早衰退主要是土壤鹽分濃度高、土壤礦質養分貧瘠與不平衡、且海邊的易乾旱與淹水等因素(許博行，2006^a；2006^b)。

海岸林的林分組成，過去主要是以木麻黃為主，最近幾年來物種多樣性的提倡，原本為木麻黃純林者，由於木麻黃成熟林分逐漸衰老死亡後，林分破裂而產生孔隙，非木麻黃之其他林木易於入侵，例如黃槿、海芒果、林投等，或人為的林下育林作業，使林分漸成為混交林，雖然混交林有助於林分的安定，但這些混交樹種，常需有木麻黃當上木，才有良好的生長(許博行，2006^b)。且與黃槿比較，木麻黃小枝能耐較高含量的氯離子(同一林地比較，木麻黃綠色小枝的氯離子含量高達54.91 mg g⁻¹，黃槿僅為17.93 mg g⁻¹，採樣當時的土壤氯離子含量為5.78 mg g⁻¹，資料未顯示)，如與七股海邊欖李植株枝條中層葉片之氯離子含量50.71 mg g⁻¹(游仁正、許博行，1999)比較，則約略相同。木麻黃具有抗風又抗鹽的能力，且樹形高大，因此延續木麻黃的生長與更新，對海岸林而言，是不可忽略的。

過去木麻黃林分的更新均以植栽造林的方式為之，此方式常用於較大面積之施業，然而要實施大面積植栽，必然要有大面積的形成，但大面積的形成的原因，其一是林分受天然災害，產生之大孔隙，在孔隙下造林；或伐除逐

漸衰退之林分，再實施造林。惟這種造林方法均會因造成大孔隙，在未成林前易降低防風機能，且大孔隙易招受強烈日照的影響，雜草叢生或乾旱為害，在台中港木麻黃天然下種更新的研究發現，在5月調查時，大孔隙的相對光照達85%，土壤表層溫度達63°C，且大孔隙內由於原存母樹稀少，因此種實雨也甚少(林睿思等，2009)。

本試驗亦曾在鄰近木麻黃旁側，於8月種子開始飛散期，設置小籃盤，接收種實雨，然經一段時間後，下種量極為稀少。因此既要維持防風機能，又可更新林分，採用小孔隙之天然下種更新是一可考慮的方法。過去之所以未採用天然下種更新，主要是在鬱閉之木麻黃林分下雖可見到下種小苗，或由根系所發育之萌蘖苗，但一段時間後，上木如未疏開或未經良好之撫育作業，此些小苗幾乎完全枯死。然而在林緣外的開闊地，很容易發現有生長良好之下種林木。因此木麻黃林分之所以無法進行天然下種更新或萌蘖更新，是否因立地條件不適所致？我們假設木麻黃林地之所以無法更新，是因為下種之種子無法接觸林地土壤而不易發芽、發芽後小苗易遭枯落物壓疊，而不能成活、林地土壤具有毒他作用，使種子發芽不良、或林地光照強度不足，小苗生長不良等等因素，影響木麻黃林分的天然下種更新。而本試驗即針對此些現象，探討木麻黃成熟林分實施天然下種更新的可能性。

二、方法

(一) 試驗地的選擇

由於交通的考量及林業試驗所中埔研究中心四湖工作站從業人員的方便協助，且四湖工作站內設有氣象站，雨量資料可供參考。試驗地選擇在鄰近四湖工作站之木麻黃近衰老的林分。

(二) 樣區整理與規劃

於2005/1/17在上述林分內規劃12個樣區(2 x 2 m)，其中6個樣區再分為3個樣區(II、

III、IV) 為對照組 (不做任何處理), 另外3個樣區 (I、V、VI) 為移除枯落物層之處理組; 2005/3在其他6個樣區分成3個對照組與3個處理組, 此6個樣區每樣區撒播1000粒種子 (種子採自現場, 發芽率平均為60.33%)。樣區逢機選取, 編號也是逢機的。樣區設定後, 實際測定各樣區之相對光度, 可歸為三種, 分別為11、20及41%。

(三) 室內試驗與分析

1. 林地土壤影響種子發芽的測定: 於2005年11月取回現場5 cm以上之土壤做發芽測定, 並以清洗過之河砂為對照組, 3重複。每重複50粒種子。
2. 苗木在不同光照下之生長:

- (1) 取在河砂中發芽的小苗, 移植至不同光照強度下培養, 光照強度分別為100、35、22及2%, 培養一段時間後, 量測苗高生長與乾物量。
- (2) 上述小苗培育一個月後, 分別選擇不同光照下生長健壯的小苗12株, 出栽至林地, 分別栽種在不同相對光照 (分別為11、25、41%) 之樣區下 (每樣區4株), 計4個區集。三個月後調查存活苗木之淨生長量。

三、結果

(一) 下種小苗萌發數

試驗地於2005/1/17設置樣區, 2/2整地後, 隨即開始定期調查小苗萌發數 (表1), 未

表1. 試驗期間小苗之萌芽數與雨量

Table1. Seedlings numbers and precipitation during investigation dates.

	未移除枯落物				移除枯落物				雨量 (mm)
	II	III	IV	合計	I	V	VI	合計	
05/03/21	53			53		7	3	10	0.0
04/08	71			71		33	10	43	65.0
05/09	46			0	積水	11	2	13	285.0
06/13	14			14	積水	5	0	5	349.5
08/08	40	0	0	40	56	40	1	97	174.5
08/22	65	0	0	65	積水	53	10	63	
09/05	35	0	0	35	積水	54	13	67	223.0
09/23	54	0	0	54	積水	83	40	123	
10/21	41	0	0	41	71	91	36	198	51.0
12/30	34	0	0	34	37	68	16	121	8.5
06/02/17	25	0	0	25	19	60	12	91	15.0
03/22	20	0	0	20	20	47	9	76	78.5
05/05	20	0	0	20	14	36	10	60	145.0
07/12	4	0	0	4	0	22	7	29	*
07/19	5	0	0	5	積水	27	6	33	
08/04	6	0	0	6	0	31	6	37	*
08/22	15	0	0	15	67	42	13	122	
10/01	58	0	0	58	52	50	28	130	5.0
11/12	5	0	0	5	1	28	0	29	2.0

註: 雨量資料來自 (陸象豫等, 2007及陸象豫私人提供)。

* 表示沒資料

移除枯落物的樣區，只在一樣區發現小苗，其餘二樣區均無小苗萌發。移除枯落物之樣區，開始僅有一些小苗萌發，隨後的8月開始，即可見大量小苗，其中第 I 樣區因為積水，原本萌發大量小苗，積水後完全死亡，等積水退後，小苗又開始萌發。小苗數量隨季節而有高低起伏的變化，在8~11月是小苗萌發數量的高峰期，此時期正好是種子成熟後，飛散量最多的季節。12月後雨量減少，小苗數逐漸減少，翌年有同樣的變化，雨季因水分太高，小苗減少，雨季過後，逐漸增多，到乾旱時小苗又逐漸下降。成熟飛落之種子型態類似橢圓型，平均長度為 1.45 ± 0.35 cm，寬度為 1.26 ± 0.30 cm，長寬比為 1.16 ± 0.18 。

圖1為調查期間小苗數的變化，圖中顯示，在初期末移除枯落物樣區，小苗數量多過於移除枯落物的樣區，隨後未移除樣區小苗逐漸死亡，現場觀察小苗枯死的原因，應是小苗剛萌發時子葉極為幼小(照片1)，即使長出綠色小枝後，也因極為細小(照片2)，容易受新掉落之枯落物壓著而倒伏。如果小苗萌發後，遇上連續豪雨而積水，小苗也無法耐淹水，

因此雨量高的月份(如5、6月的梅雨及7、8月的夏季豪雨)小苗量甚為稀少，第一年(2005)年的7月曾前往調查，因下過大雨，樣區全積水，無法進入。下雨過後，土壤逐漸乾燥，9~10月小苗數量逐漸增加，二年的調查結果，均可發現10月份是小苗數量的最高峰。11月過後，逐漸進入乾季，雨量減少，小苗數量又開始減少，因此過於乾旱也是小苗枯死的原因之一。由於逐漸乾旱，土壤中之氯離子濃度逐漸增加(劉瓊霏、許博行，另篇發表)，小苗無法承受乾旱及高濃度的氯離子，數量即逐漸下降。翌年(2006)雨季來臨的7、8月過後，林地土壤潮濕，8月22日調查時，即又有大量新的小苗萌發，大量萌發的小苗可維持到10月初，過後逐漸乾旱，氯離子濃度又上升，小苗數量跟著急速下降。因此在自然情況下，木麻黃下種小苗的萌發深受季節的影響。另外，小苗的枯死也受其他生物與非生物的影響，例如枯落物不斷堆疊在小苗上而壓死小苗，在調查過程中也發現小苗受病蟲危害。然而下種小苗在林地數量逐漸減少，是天然下種更新不可避免的。

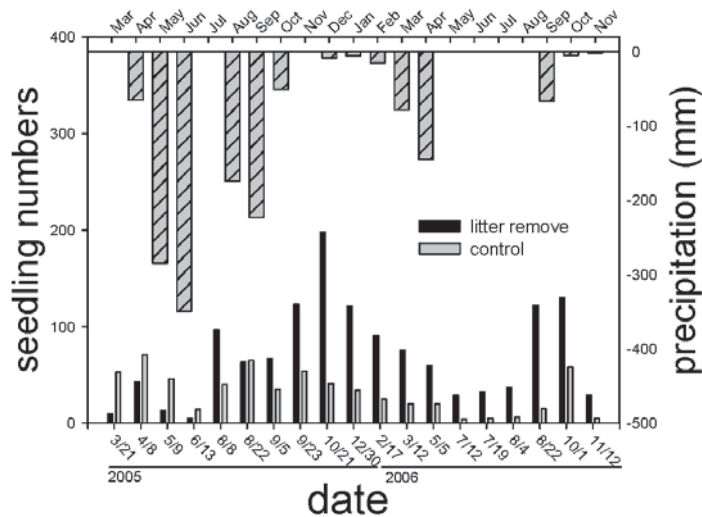


圖1. 不同月份小苗萌發數量與雨量的關係

Fig1. The numbers of seedling during investigate dates and correlation with precipitation.



照片1. 剛萌發之木麻黃子葉

Photo. 1. The cotyledon of *Casuarina*



照片2. 新長出之真葉

Photo. 2. The initial foliage of *Casuarina*

為了解小苗萌發數是否受下種量不足的影響，於2005/3/21另設撒播1000粒種子 (此批種子之發芽率在實驗室以現場之土壤發芽結果為60.33%，表3) 與未撒播者於移除與未移除枯落物之樣區。連續二年的調查，移除枯落物之樣區 (含撒與未撒1000粒之樣區)，小苗數量起起落落。第二年 (2006/10/1) 調查時，未撒播種子之移除枯落物樣區，每樣區小苗數甚多，3樣區共有小苗130株，平均每樣區還有45株小苗 (表2)，但未移除枯落物者，僅在1樣區發現58株，其於2樣區均掛零。而撒1000粒種子之移除枯落物的3樣區共127株小苗，平均每樣區有42株，但無移除枯落物之3樣區均未發現小苗。最後一次 (2006/11/12) 調查時，有較多小

苗之樣區 (移除枯落物者)，小苗數急速下降。當月調查時，發現枯落物甚多，幾乎覆蓋了所有的小苗，調查時須小心翼翼翻開枯落物，才可見小苗；另一方面，四湖工作站之氣象站11月雨量的紀錄只有2.0 mm (陸象豫等，2007)；土壤水Cl⁻¹濃度也高達約537 ppm (劉瓊霖、許博行，另篇發表)，這些綜合原因，使小苗株數驟降。現場觀察，我們認為主要影響因素還是枯落物的覆蓋。因此要讓下種之種子能在林地萌芽，首要工作即應清除枯落物，否則種子無法著床，再多量的種子亦無濟於事。而小苗萌發後，要在林地生長良好，則必須隨時移除枯落物。

表2. 不同處理下林地小苗萌發數

Table 2. The numbers of *Casuarina* seedlings under different treatments

		未除 枯落物	未除 枯落物	未除 枯落物	小 計	移除 枯落物	移除 枯落物	移除 枯落物	小 計
未撒 種子	2006/10/01	58	0	0	58	52	50	28	130
	2006/11/22	5	0	0	5	1	28	0	29
撒1000 粒種子	2006/10/01	0	0	0	0	26	16	85	127
	2006/11/22	0	0	0	0	12	0	14	26

(二) 小苗在不同光量下之生長：

將現場採集之種子發芽後，分別栽培在全光、40及5%中，不同光照強度間的生長，隨著時間越長(5/20~6/29)差異越大，一個月後，以全光下生長最好，40%其次，5%最低(圖2)，其間呈極顯著差異($p < 0.000$)。

將不同相對光照強度下培育之苗木出栽至林地現場，並分別栽種在不同相對光照強度之樣區下，經過三個月之生長，結果如圖3所示。圖中顯示原培育在相對光度只有5%者，出栽至現場後無論是在何種相對光度下生長均不良，且大部分在三個月後全死亡，這應該與

原本苗木即不健全有關。而原本培育於相對光度40%者，則出栽後隨出栽地之光照強度的增加而增加其生長量。相反地，原本培育於相對光度100%之最好苗木者，出栽後則以林地相對光度25%處生長最佳，40%處其次，11%處最差，此現象可能是苗木馴化的關係。

這些苗木在當年(2005)9月林地積水後即陸續死亡，第二年(2006)調查時(8/22)，雖尚剩有7棵分散在不同樣區中，唯生長均不良，生長軟弱(照片3)。反觀天然下種而成苗者，苗形優良，苗勢健壯，苗高約可達30~40 cm(照片4)，且已脫離枯落物的干擾。

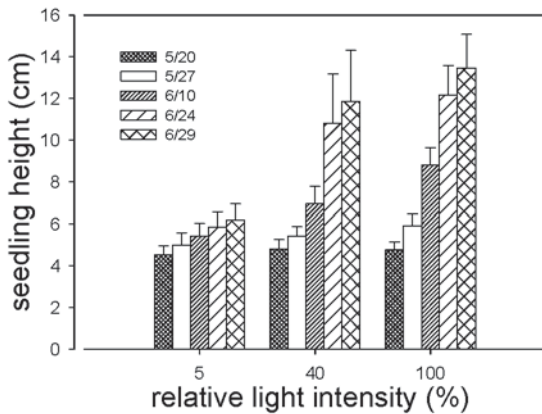


圖2. 小苗在不同相對光照強度下之苗高生長

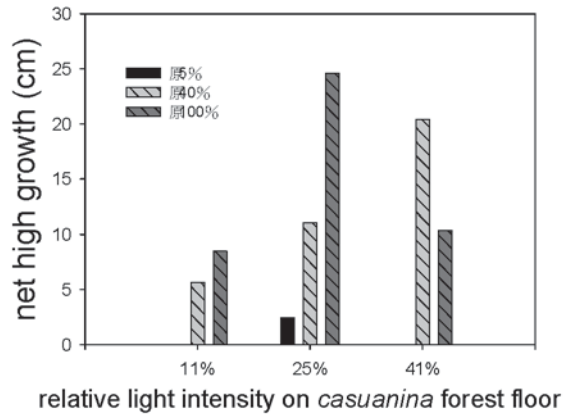
Fig. 2. Seedling height of *Casuarina* grown under different relative light intensity.

圖3. 出栽3個月後不同相對光度下之苗高生長

Fig. 3. Net high growth of seedlings planted in different relative light intensity.



照片3. 出栽苗木生長衰弱

Photo 3. Weak seedling of plantation.



照片4. 天然下種苗生長強壯

Photo 4. Strong seedling of nature regeneration.

爲了瞭解木麻黃在何種相對光度下可達相當的苗高生長，本試驗於第二年再實施一次不同相對光度對小苗生長的影響，此次以4種相對光度實施，分別爲100、35、22及2%等，小苗在此環境下生長7星期後，苗高如圖4所示，圖中顯現相對光量只要達到約40%時，苗高生長即趨於平緩。然而乾物量則差異甚大(圖

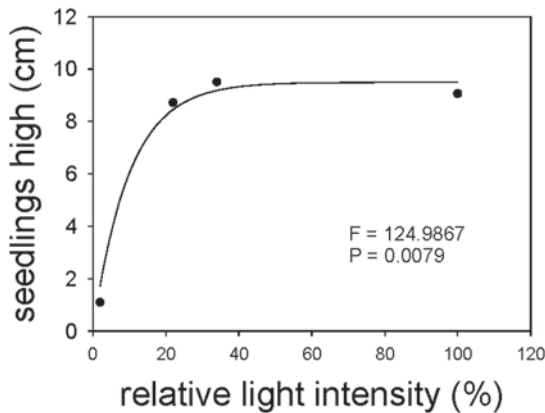


圖4. 木麻黃小苗在不同相對光照強度下之苗高生長
Fig. 4. Seedling high growth under different relative light intensity.

5)，以全光量下有最高之生物量，此表示木麻黃是一極陽性的樹種。因此，雖然在中等相對光量下，木麻黃苗木之高生長已可達全光量之高度，然生物量之生長還顯著低於在全光量下，此也顯示木麻黃在中等光量下有徒長現象，然此現象在林地或許是一好處，可提早擺脫枯落物的壓伏。

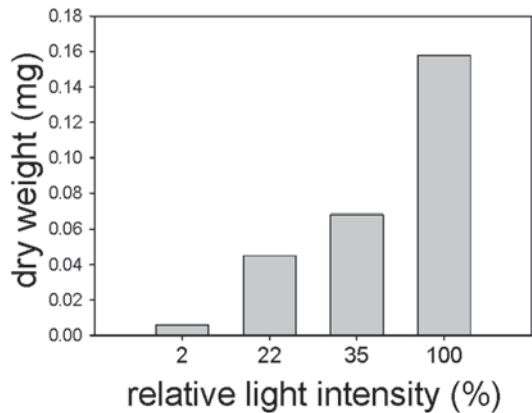


圖5. 木麻黃小苗在不同相對光照強度下之總生物量
Fig. 5. Total dry weight of seedlings grown in different relative light intensity.

3. 林地土壤對種子發芽的影響

木麻黃老齡林地表累積多量的枯落物，枯落物分解過程所產生的物質滲入土壤，往往容易影響下種種子的發芽，這即爲一種自毒作用 (allelopathy)。爲了瞭解木麻黃林地之土壤是否有此現象，取回試驗林地土壤，並以河砂 (清洗過者) 爲對照組，以木賊葉木麻黃種子爲材料，逐日檢查林地土壤與河砂各自的發芽率，發現二者的發芽率沒有顯著差異 (表3)，分別爲60.33% (林地土壤) 及60.67% (河砂)，但平均發芽日數則有顯著的差異 ($P < 0.05$)，分別爲6.50與5.46。顯然林地土壤多少會影響種子的發芽速率 (圖6)，但總發芽率沒影響。此結果在下種量相當高的情形下，並不影響小苗的萌發量。因此林地土壤不會影響天然下種更新的實施。

表3. 木麻黃種子在河砂與林地土壤之發芽情形
Table 3. The seed germination trails of in river sand and in experimental soil

	對照組 (河砂)	林地土壤
發芽率	60.67%	60.33%
平均發芽日數	5.46**	6.50

**表示 $p < 0.05$ 。

四、討論

(一) 母樹的結實與種子之下種量

在野外經常可看到木麻黃樹上或樹下滿滿的果實，木麻黃在7、8月時爲果實成熟期，變爲深黃色，果實開始開裂種子隨即散落，種子散佈期由8月開始至隔年3月止 (林睿思等，2009)。在四湖木麻黃林分下設2 x 2 m的樣區，

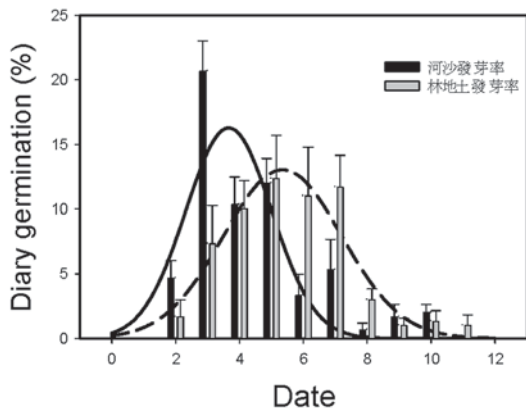


圖6. 種子之逐日發芽率

Fig. 6. Diary germination of seed.

其中經移除枯落物者，二年的連續調查，雖然苗木數量有高低低，但二年之10月均可調查到最高萌發小苗，總樣區株數分別為198與130株 (表1)，因此木麻黃的下種量應沒問題。惟可能因下種量的不均勻，樣區間小苗數差異甚大。台灣檫樹之天然下種更新亦發現小苗多呈現群狀分佈，即全樣區中僅數個地點分佈大量之小苗 (楊蒼叡、許博行，2010)。這是天然下種更新的撫育作業應注意的。

(二) 林地土壤對種子發芽之影響

種子飄落後，是否可接觸土壤是種子萌發與否的關鍵。在四湖設置的樣區中，如果未清除地表的枯枝物者，不論何時前往調查，均只見幾株零星小苗。顯然種子是否能著床與下種更新成功與否，截然有關。

林地土壤對發芽的另一影響是自毒作用，木麻黃老齡林地表累積多樣的枯落物，枯落物分解過程所產生的物質滲流入土壤，往往容易影響下種種子的發芽。取回四湖林地土壤，並以河砂為對照組，發現二者的發芽率沒有顯著差異，分別為60.33% (林地土壤) 及60.67% (河砂)，但平均發芽日數則有顯著的差異 ($P < 0.05$)，分別為6.50與5.46 (表3)。顯然林地土壤多少會影響種子的發芽速率，但總發芽率沒影響。此結果在下種量相當高的情形下，並不影響小苗的萌發量。相

同地，台中港木麻黃林的種實雨，發芽率亦在40-60%間 (林睿思等，2009)，由二個試區種子發芽所表現的情形，顯示林地土壤不會影響天然下種更新的實施。

在林地上，小苗的萌發率與雨量呈顯著相關 (圖1)，雨量太高的月份，林地易積水，使原本萌發的小苗浸水而死亡。但乾旱的時間太長，也會使林地過於缺水，且乾旱也導致 Cl^{-1} 濃度的增加，在此雙重影響下，使小苗數量在乾旱季節亦顯著減少。顯然天然下種萌發的小苗，在生長發育過程，深受環境的影響。

同樣約為一年生之林地天然下種小苗，生長極為健壯 (照片4)，反觀出栽之小苗生長勢衰弱 (照片3)。而在撒播1000粒種子之樣區，也只在移除枯落物者可發現小苗 (表2)，我們無法分辨此些小苗是天然下種種子萌發的，或撒播種子所萌發的，惟與未撒播之樣區比較，撒播1000粒種子後並未有較多之小苗萌發，況且，林睿思等 (2009) 在台中港的試驗中，發現直播發芽的小苗，4個月後即死亡殆盡。因此撒播種子的作業是沒有必要的。

(三) 光照強度對小苗生長的影響

以木麻黃種子播種後，置於不同光照強度下，5週後小苗之高度在相對光度達約40%時，苗高生長與全光者已無差異 (圖4)。然而由外觀形態觀之，乃可發現全光者生長勢較健壯，小枝節長度較小，由乾物量比較也可獲知全光者最高，35%相對光度下生長者為全光之43.09%，而22%光照者只有28.52% (圖5)，因此中等光量處理下，雖然高生長可維持，但乾物量不足，因此還是有徒長現象。惟在林地孔隙如達相對光度40%以上，種子的高生長已不受抑制，應可提早突出枯落物層而不受壓伏。如果林分孔隙太大，雖可獲得較高之光量，但也易使林床在乾旱季節過於乾燥，且太陽直曬時間長，地表炙熱 (林睿思等，2009)，使小苗不易存活。

(四) 枯落物的移除

在實施天然下種時，移除枯落物是必須

的作業。惟種子在移除枯落物的林床發芽後，生長勢相當脆弱，稍微多量的新落葉，即易使小苗壓覆在下，如不即時移除枯落物，小苗即易死亡，因此隨時注意枯落物的移除是更新成功與否的重要關鍵。此種移出枯落物的天然下種更新作業，在其他樹種也均可發現，例如紅檜之天然下種更新必須移除地上物，使表土裸露，下種種子方能著床發芽（陳振東、許博行，1980）。台灣檫樹林分疏開並移除枯落物後，可發現大量小苗萌發（楊蒼叡、許博行，2010）。台灣二葉松與台灣五葉松在干擾地可發現下種小苗（陳明義、梁立明，2000）等。

(五) 排水需良好

台灣的雨水常集中在梅雨季或颱風引進的豪雨，本試區之四湖海岸地區，乾季之月平均降水量僅38.7 mm，濕季則高達489 mm（陳財輝等，1999）。林床上如果排水不良，即使再多的萌芽小苗，均可能在旦夕間淹死，在四湖木麻黃林下較開闢的第 I 樣區，在小小的4 m²內萌芽的小苗不計其數，然而在7-8月的不斷下雨下，因排水不良而導致淹水，過一段時間，水退後，再前往調查已全軍覆沒。因此在實施天然下種更新時，應考慮如何避免淹水。

(六) 栽植與下種苗木生長的比較

在四湖地區相同的土壤環境下，曾將培育的苗木出栽到林地，初期出栽苗木生長於相對光量40%左右者，生長相當良好，而同一時間下種小苗生長較慢，但第二年再調查時，發現栽植小苗無論在生長勢或樹形方面均遠不如下種小苗，栽植小苗生長停滯，枝葉稀疏，甚或倒伏。於台中港者，也發現相同的情形，栽植者生長不良，分枝甚多，而同一地點，下種者樹形健壯，枝葉茂密而分枝少（廖天賜，2011）。此種天然下種小苗分枝少，而人工栽種者分枝多的現象，在紅檜的育林作業上，亦常發生（陳振東、許博行，1980；羅卓振南等，1995）。

人工栽植必須經過移植過程，在此過程苗木的挖掘、修剪與移植到新環境，常易產生移

植震擾 (transplant shock or transplant stress)，而影響出栽小苗的生長，此應該是人工造林木側枝較多且生長較為不良的原因。由四湖與台中港二處試驗地的相同反映，及其他林緣外所見的下種更新子代的生長勢，木麻黃老熟林分實施天然下種更新是可行的，且子代的生長也較人工栽植良好。

(七) 實施天然下種的可能方式

要實施天然下種更新，林地必須有孔隙產生，此種孔隙可能是自然形成的，也可用人為方式令其產生，問題是孔隙應是什麼形式，面積應多大？這必須再作一些試驗以獲得較明確的答案。本試驗的結果，顯示林床的保濕相當重要，一旦乾旱太久，下種小苗即易死亡，雖然木麻黃小苗可在強光下生長，但林地裸露太大面積，強光下難免容易乾燥，即使在下雨過後種子可萌發，但仍難逃乾旱下死亡的命運。因此林床維持在相對光度約40%較為理想，此相對光度下雖有徒長現象，但可維持林床不致使過於乾旱，而又可維持苗木的生長，下種初期應可為之，待長高後再逐漸疏開周圍老林木，以增加光量。

至於下種初期應使用何種方式以維持此種光照強度，採用擇伐方式應是最為理想，20-30年生的木麻黃林分已逐漸老化，林分內勢必有許多枯死木或生長不良者，因此要選擇伐倒木，應不會有困難。但擇伐作業的搬運及日後的清除地被等作業較耗時耗力，因此或可考量小面積塊狀疏伐的方式為之，但面積應多大，就應該視鄰近的母樹樹高以決定之，盡量降低太陽直射的時間。台中港務局委託南投處復育海岸林的結果，南投林區管處觀察到行列疏伐後，天然下種更新的木麻黃比任何栽植的其他樹種均良好，生長勢亦相當健壯，因此行列疏伐以養成天然下種更新林是可行的，但有一條件是必須在萌芽及小苗階段有噴灑設施，否則還是無法逃過乾旱（林睿思等，2009），而成功成林。

五、謝誌

感謝農委會林務局二年來的研究經費補助(94農科-11.2.1-務-e2及95農科-12.3.4-森-G3)。研究期間實驗室吳瑞瑜、陳燕儀、何冠琳、黃盈屏、楊蒼叡等諸多同學協助野外調查，及四湖工作站從業人員的幫忙，一併致謝。

六、參考文獻

王經文、廖天賜、陳忠義、楊凱愉、林睿思、陳宜敏、許立勳 (2008) 木賊葉木麻黃苗木對水分逆境之反應。林業研究季刊30(2)：31-44。

甘偉航、陳財輝 (1987) 台灣防風林之經營。現代育林 3(1)：3-25。

林信輝、陳明義、陳清義 (1987) 木麻黃生理及生態特性之研究。現代育林3(1)：41-48。

林昭遠、謝顯宗、陳明義 (1996) 木麻黃防風林斥水層復育之研究。中華水土保持學報 27(2)：107-117。

林睿思、陳宜敏、王經文、廖天賜、楊凱愉、陳忠義、許立勳、陳財輝 (2009) 臺中港區木麻黃天然更新之研究。林業研究季刊 31(2)：47-59。

許博行 (2006^a) 海岸木麻黃林分易衰老原因之探討。台灣林業32(2)：40-44。

許博行 (2006^b) 海岸木麻黃林分易衰老原因及實施天然下種更新可行性的探討。第一屆環境保護林經營管理研討會 69-76。

陳明義、梁立明 (2000) 關刀溪森林生態系臺灣二葉松與臺灣五葉松在干擾地之天然更新。林業研究季刊22(3)：69-80。

陳振東、許博行 (1980) 紅檜之天然下種更新試驗。國立中興大學森林學系研究報告第183號。

陳財輝、許博行、張峻德 (1998) 四湖海岸木麻黃林分土壤養分量調查。臺灣林業科學 13(3)：225-235。

陳財輝、許博行、張峻德 (1999) 四湖海岸木麻黃林分降水、幹流水及穿落水之養分含量與輸入。臺灣林業科學 14(4)：419-435。

陸象豫、黃良鑫、黃惠雪 (2007) 林業試驗所中埔研究中心四湖與中埔氣象站氣象資料彙整。林業叢刊178。

曾世昌、郭幸榮、李遠欽 (1991) 鹽沫對木麻黃之若干生理為害。中華林學季刊 24(3)：27-34。

游仁正、許博行 (1999) 欖李耐鹽性的探討林業研究季刊 21(4)：9-19。

楊蒼叡、許博行 (2010) 台灣檫樹 (*Sassafras randaiense*) 林分林床種苗萌發之研究。林業研究季刊32(1)：39-50。

廖天賜 (2011) 木麻黃的天然更新機制與可行性。林業研究專訊 18(4)：21-24。

鄧書麟、沈勇強 (2006) 台灣海岸林經營面臨之困境與對策探討。台灣林業32(4)：3-8。

羅卓振南、鍾旭和、邱志明 (1995) 修枝對紅檜幼林生長及節癒合之研究。林業試驗所研究報告季刊 10(1)：41-50。

Diem H.G, and Y.R. Dommergues (1990) Current and potential uses and management of Casuarinaceae in the tropics and subtropics. In: Schwintzer CR, Tjepkema JD (eds) The biology of Frankia and actinorhizal plants. Academic, New York, pp 317-342.

National Research Council (1984) Casuarina: nitrogen-fixing trees for adverse sites. Natl Acad Sci USA, Washington, DC

Tomar O.S., P.S. Minhas, V.K. Sharma, Y.P. Singh, and R.K. Gupta (2003) Performance of 31 tree species and soil conditions in a plantation established with saline irrigation. Forest Ecology and Management. 177: 333-346.