

四種野外處理對琉球松段木中松斑天牛死亡率之影響

陳尚遠¹，陳一銘²，陳擎霞¹，趙榮台^{2,3}

¹私立輔仁大學生物學研究所；²林業試驗所森林保護組；³通訊作者 E-mail: jtchao@tfri.gov.tw

[摘要] 松斑天牛為松材線蟲的媒介昆蟲，雌天牛會產卵在感染松材線蟲的松樹，天牛幼蟲在病株中發育，羽化後成蟲便攜帶線蟲感染其他松樹。因此，降低病株中松斑天牛的存活率，可以有效抑制松材線蟲的擴散。為探討不同處理方式對松斑天牛幼蟲死亡率的影響，本研究於北投地區取得 1 m 長的琉球松 (*Pinus luchunensis*) 段木 20 段，每段木植入 5 隻松斑天牛之 2 齡幼蟲後，將所有段木分為五種處理 (每處理 4 株)：(1) 茅草組：覆蓋茅草，置於林下；(2) 塑膠布組：覆蓋塑膠布，置於林下；(3) 裸露組：不加任何覆蓋，置於林下；(4) 曝曬組：置於陽光下曝曬；(5) 對照組：置於室內生長箱。第 1-3 組置於陽明山國家公園二子坪的次生林下，而第 4 組則置於附近的空曠地上。八個月後 (2001 年 2 月) 檢查受試段木及其中的松斑天牛，結果顯示段木內松斑天牛的死亡率在五種處理間的差異顯著 ($F = 3.199, P = 0.044$)，其中裸露組的平均死亡率最高 (50%)，曝曬組次之 (30%)。松斑天牛幼蟲之平均取食面積以裸露組的平均 118.8 cm^2 為最低，其次為曝曬組的 129.9 cm^2 ，然而五種處理間的差異並不顯著 (ANOVA, $F = 0.878, P = 0.500$)。幼蟲的總糞屑重也以裸露組最低 (平均重 29.6 g)，其次為曝曬組的 34.5 g，然而平均糞屑乾重在五種處理間的差異亦不顯著 (ANOVA, $F = 1.180, P = 0.359$)。植入幼蟲的平均取食面積與其總糞屑重有顯著相關 ($r = 0.70, N = 20, P < 0.01$)。曝曬組新增的松斑天牛幼蟲數目與其他各組間之差異顯著 ($F < 0.001$)，但新增的天牛幼蟲數目與植入之幼蟲死亡數目間的相關性不顯著 ($r = 0.154, N = 20, P = 0.516$)。實驗組的段木中有 25% (4/16) 的樹皮被嚙齒類動物剝去，樹皮剝落的百分比在各組間的差異雖不顯著 ($F = 2.787, P = 0.086$)。四種野外處理的段木除裸露組外，均有新增的幼蟲，新增幼蟲數在五種處理間的差異顯著 (ANOVA, $F = 10.477, P < 0.001$)。本實驗的結果顯示，處理琉球松病株時，將其砍伐成段木後留置林下，已足以降低松斑天牛幼蟲之存活率或減緩其發育，無需多做噴撒藥劑、包裹、曝曬之類的處理。

關鍵字：琉球松、松斑天牛、幼蟲、死亡率

Effects of Four Field Treatments on the Mortality of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in Luchu Pine Logs

Shang-Yuan Chen¹, Yi-Ming Chen², Ching-Hsia Chen¹ and Jung-Tai Chao^{2,3}

¹Graduate Institute of Biology, Fu Jen Catholic University; ²Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute; ³Corresponding author E-mail: jtchao@tfri.gov.tw

ABSTRACT Twenty 1m logs of Luchu pine (*Pinus luchunensis* Mayr) were sawed and collected in Beitou, Taipei, Taiwan, in June 2000. Five second larval instars of pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope were implanted in each log. An additional 10 1m logs were used as the experiment group to measure water content change in logs under different treatments. The 20 logs were then divided into five groups of four and treated as follows: (1) covered with plastic canvas; (2) covered with grass; (3) uncovered but placed under shade; (4) exposed to sunlight; (5) placed in a growth chamber (as the control group) where constant temperature and humidity were maintained. Groups 1 to 3 were placed in a secondary forest in Erziping, Yangmingshan National Park, while Group 4 was placed in a nearby open space. All logs were collected eight months later (in February 2001) to examine and inspect the implanted pine sawyers. The result showed a significant difference among the five groups in terms of mortality ($F = 3.199$, $P = 0.044$), with the uncovered (field control) group showing the highest mortality (50%) followed by the group exposed to sunlight (30%). Average feeding (bark) area of the uncovered group was the smallest (118.8 cm²), while the group exposed to sunlight had the second smallest area (129.9 cm²), although the difference amongst these treatments was not significant (ANOVA, $F = 0.878$, $P = 0.500$). The total weight of excrement in the uncovered group was the lowest (average 29.6g), while the group exposed to sunlight was the second lowest (average 34.5g). The dry weight of larvae excrement, however, was not significantly different among the four field groups (ANOVA, $F = 1.180$, $P = 0.359$). The average feeding area of the implanted larvae significantly correlated to the total weight of excrement ($r = 0.70$, $N = 20$, $P < 0.01$). No significant correlation was found between the number of the additional larvae and the mortality of the implanted larvae ($r = 0.154$, $N = 20$, $P = 0.516$). The number of additional larvae found in the group exposed to sunlight was significantly higher than that in other field groups ($F < 0.001$). Twenty percent (4/20) of the logs in the field was debarked, likely by the Formosan red-bellied tree squirrel, but the percentage of debarked area among the four field groups was not significantly different ($F = 2.787$, $P = 0.086$). Additional pine sawyers were found in all four field groups, but the uncovered group and the number of additional larvae was significantly different among the five groups (ANOVA, $F = 10.477$, $P < 0.001$). Based on the result of this experiment, leaving the infested pine logs uncovered under the trees is enough to lower the survival rate and development of pine sawyers in logs. There is no need to spray pesticide or cover logs with grass or plastic canvas.

Keywords: Luchu pine (*Pinus luchunensis*), pine sawyer (*Monochamus alternatus*), larva, mortality

前言

松材線蟲 (pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*) 早在 1985 年由台北縣石門鄉枯死的琉球松材中分離出來 (曾顯雄 1997)，其後這種松樹萎凋病 (pine wilt disease) 即逐年蔓延。根據 1994 年的調查，估計臺灣地區共有約 3,263 ha 的面積受到感染 (張瑞璋 1996)。1997 年林務局公佈，受害面積已達 6,000 ha (曾顯雄 1997)，受害地區則北由基隆，南至台中，東部則到花蓮玉里一帶。受害松樹包括琉球松 (*Pinus luchuensis*)、

黑松 (*Pinus thunbergii*)，甚至本省固有的臺灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)。

松材線蟲必須藉由媒介昆蟲才能在松林間傳播，在日本，傳播松材線蟲的 8 種天牛中，以松斑天牛 (*Monochamus alternatus* Hope) 最為重要，平均每隻松斑天牛攜帶 15,000 隻線蟲 (Mamiya and Enda 1972)。在臺灣，松斑天牛亦可以攜帶松材線蟲 (顏志恆 1988)，唯每隻松斑天牛平均僅攜帶線蟲 145 ± 718 隻 (變域 0-6462, $N = 128$) (張瑞璋等 1997)。

松斑天牛是鞘翅目 (Coleoptera)、天牛科

(Cerambycidae)、粗天牛亞科 (Subfamily Lamiinae) 的昆蟲，分布於中國、臺灣、日本、韓國等地 (Kobayashi and Taketani 1994)。基本上年生一代，在日本高山地區或較高緯度的地區有可能兩年一代 (Ochi and Katagiri 1974)，而在臺灣則有極低比例為一年兩代 (趙榮台等 未發表資料)。松斑天牛傳播松材線蟲之生活史可參考顏志恒 (1988)。

松材線蟲防治的措施可分為預防措施和驅除措施兩種。預防措施包括空中藥劑散佈，地上藥劑散佈和樹幹注射；驅除措施主要以伐倒驅除為手段，其方法包括油劑散佈、乳劑散佈、燒卻、破碎和剝皮等方法 (張瑞璋等 1997)。在臺灣，藥劑散佈不但昂貴，成效存疑，而且有環境污染的問題，尤其在水源區；燒毀病株有火燒的風險，而且會造成空氣汙染 (參見金門新訊 2016)；樹幹注射則僅適用於公園綠地的老樹，不適用於大面積造林地；切碎病株有機具運送困難的問題；剝皮、水淹、掩埋、放射線等方法耗費人力、處理難度高；生物防治則尚待發展。因此台灣林地最常使用的病株處理包括將病株伐倒後棄置原地 (個人觀察)、以化學藥劑噴灑病株、或以塑膠布密封伐倒木 (張瑞璋等 1997)。

然而，許多人對伐倒病株就地棄置的做法是否能有效降低松斑天牛族群存疑。因此本實驗比較野外簡單可行、不必使用化學藥劑的各種處理 (如覆蓋茅草、塑膠布或直接在陽光下曝曬) 對松斑天牛的影響，做為林地防治松斑天牛作業時的參考。本研究的問題包括：一、何種處理會使松斑天牛死亡率最高？二、何種處理對松斑天牛的發育影響最大？三、影響松斑天牛死亡率的可能環境因子有哪些？

材料與方法

一、供試昆蟲

2000 年 4 月上、中旬於陽明山地區琉球松病株採集松斑天牛終齡幼蟲 15 隻，待其化蛹、羽化後，共得雄蟲 6 隻、雌蟲 8 隻。將每

一對成蟲置於一個 30 × 30 × 30 cm 的透明塑膠箱中飼養 (共計 6 箱)，每箱中放兩個裝了水的罐子，其中一罐放入琉球松之嫩枝條，供松斑天牛取食，另一罐放入直徑 3-8 cm 的琉球松段木，供交配後的天牛產卵。每周更換嫩枝兩次、更換段木一次，並在取出的段木中尋找天牛卵。將找到的卵置於鋪有濕潤濾紙的培養皿中，待其孵化為幼蟲。

在野外採集直徑 2-8 cm 的琉球松枝條，將樹皮剝下後晾乾，在以攪碎機將之攪成碎屑備用。將備用的琉球松枝條碎屑 10 g 與 15 ml 的水拌勻，裝入直徑 1.5 cm、高 4.5 cm 的試管中。每一試管放入一隻剛孵化的幼蟲，試管上方以棉花或衛生紙塞住，並噴水濕潤之。每周更換飼料一次，兩周後將幼蟲移置直徑 2 cm、高 6.5 cm 的試管繼續飼養，每周更換飼料一次，直至幼蟲進入二齡。

二、供試之琉球松段木

2000 年 6 月中下旬，於北投地區找尋直徑 8-13 cm 的琉球松，以直徑 10 cm、長度 1 m 的段木表面積為基準，除以段木直徑 (8 至 13 cm)，得到所需之段木長度，共取不同長度琉球松段木 30 段，於室溫下放置一星期，待琉球松段木的松脂流量減少，再植入松斑天牛的幼蟲。

三、植蟲步驟

用木雕刀在琉球松段木之樹皮刻出大小剛好能將松斑天牛幼蟲置入的圓孔，然後將二齡幼蟲放入孔中，每兩隻植入的幼蟲至少相距 16-21 cm，孔上用 5 × 5 cm 的投影片蓋住並將周圍釘緊，每天檢查其活動狀況。順利進入段木取食的幼蟲，會排出木屑，並塞滿植入孔。若隔 1-2 天後，幼蟲仍無成功進入段木之跡象，便取出植入另一幼蟲，直到所有的幼蟲都成功進入段木為止。

四、段木的處理方式

將 30 段的琉球松段木分為 5 組，每組各

有 6 段，其中 4 段每段各植入松斑天牛二齡幼蟲 5 隻。其餘 2 段則用於測量各組的含水量的狀況。

將段木做 5 種處理：(一) 茅草組：覆蓋茅草，置於林下；(二) 塑膠布組：覆蓋塑膠布，置於林下；(三) 裸露組：不加任何覆蓋，置於林下；(四) 曝曬組：置於陽光下曝曬；(五) 對照組：置於室內生長箱，生長箱溫度 25°C，相對濕度 80%，光照與黑暗期之比例為 12: 12 hr。於 2000 年 7 月將前三種處理的 12 株段木放置在陽明山國家公園二子坪的次生林中，該地的松樹曾罹患松樹萎凋病，樹冠層之覆蓋度約為 90%，將曝曬處理組的段木放置在 500 m 外之另一開闊地，使陽光可以直接照射到段木，加速段木的乾燥。在這兩處各放置一溫濕度記錄器 (HOBO® Pro Series)，記錄該地的溫度及溼度資料。

五、段木含水量測定法

自 2000 年 8 月中起，每個月各組取 4 個樣本來測定段木含水量，以了解段木含水率之變化。每個月從每一段木的上下或側邊各取一個樣本，因此每組每個月共取 4 個樣本。

含水量的測定方法如下：先利用生長錐鑽取段木約一半直徑的樣本，並立即將樣本放置於封口袋中，帶回實驗室稱其溼重。之後將樣本放置於試管中，於 100°C 的烘箱中，烘乾 24 hr 後再稱乾重，並計算其含水量(王松永、丁昭義 1995)。

六、幼蟲死亡率及生長分析

八個月後 (2001 年 2 月) 將植蟲的琉球松段木收回，在實驗室中逐一剖開，檢查植入段木之松斑天牛幼蟲存活的狀況。

收集天牛幼蟲的糞屑與樹皮碎屑，烘乾後稱重；記錄每一隻天牛所取食樹皮的面積和啃蝕掉樹木的面積，若不能區分兩隻天牛的食痕，則將有形成蛹室的天牛的糞屑重平均值，做為每隻天牛的糞屑與取食面積。

記錄天牛幼蟲存活狀況、發育階段，測量

頭殼寬度與體重、蛹及成蟲的前胸背板寬度、體長、翅長及體重。

七、統計分析

用 SPSS 統計軟體進行分析包括 Unequal one-way ANOVA，Bivariate 的 Pearson 相關性分析。

木材含水率與松斑天牛的死亡率為比率值 (P' ，介於 0-1)，故以下公式轉化 (Sokal and Rohlf 1981)：

$$P' = \arcsin \sqrt{P}$$

再用 ANOVA 分析各組間松斑天牛死亡率的差異與可能影響斑天牛的死亡率的因素，並用 LSD 多重比較法進行檢定。

結果

圖 1 顯示陽明山國家公園二子坪開闊地各月的平均氣溫都高於次生林地；圖 2 顯示開闊地各月的平均相對溼度均低於次生林地；開闊地月平均溫度、溼度的變異均大於次生林地 (圖 1、2)，但是兩地的月平均溫度並無顯著差異 ($t = -0.147, P = 0.997$)，月平均溼度亦然 ($t = 0.968, P = 0.873$)。測量儀器溫度誤差值為 $\pm 0.48^\circ\text{C}$ ，而溼度的誤差值為 $\pm 0.3\%$ ，因此兩地環境條件大致相同。

圖 3 為各組段木各月的平均含水率，段木含水率在五種處理間的差異顯著 (ANOVA, $F = 6.184, P = 0.001$)，實驗組間的差異不顯著，但均顯著高於對照組 (圖 3)。含水率不隨林相的平均溼度而變化 (圖 2、圖 3)。

一、植入松斑天牛幼蟲之死亡率

表 1 顯示植入松斑天牛幼蟲之平均死亡率，以裸露組 (野外對照組) 的 50% 最高，其次為曝曬組的 30%，其餘三組松斑天牛之平均死亡率介於 10% 至 15% 之間。松斑天牛之死亡率在五組處理間的差異顯著 (ANOVA, $F = 3.199, P = 0.044$)，其中除裸露組與曝曬組差異不顯著外，這兩組與其他三組的差異顯著，

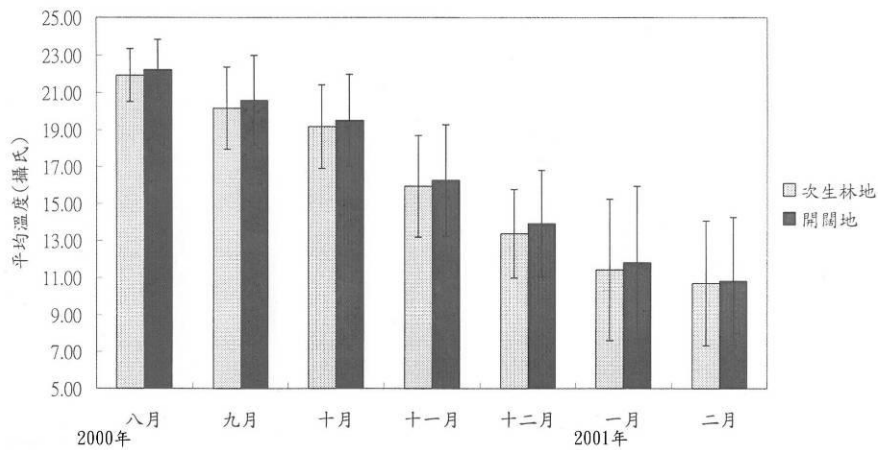


圖 1. 陽明山國家公園二子坪實驗林各月溫度變化圖

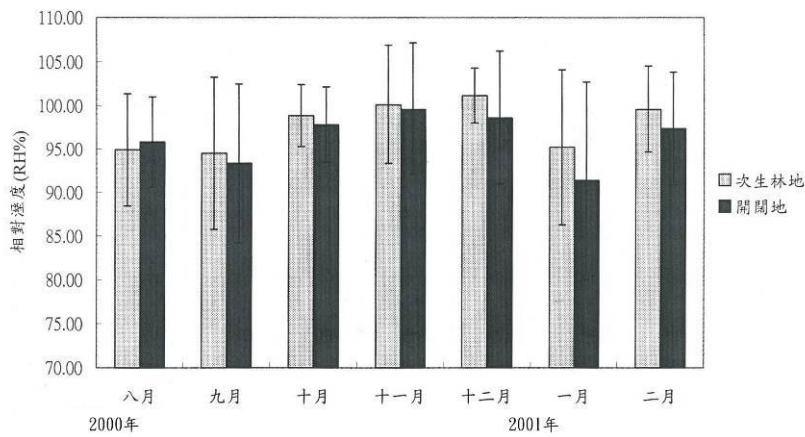


圖 2. 陽明山國家公園二子坪實驗林各月溼度變化圖

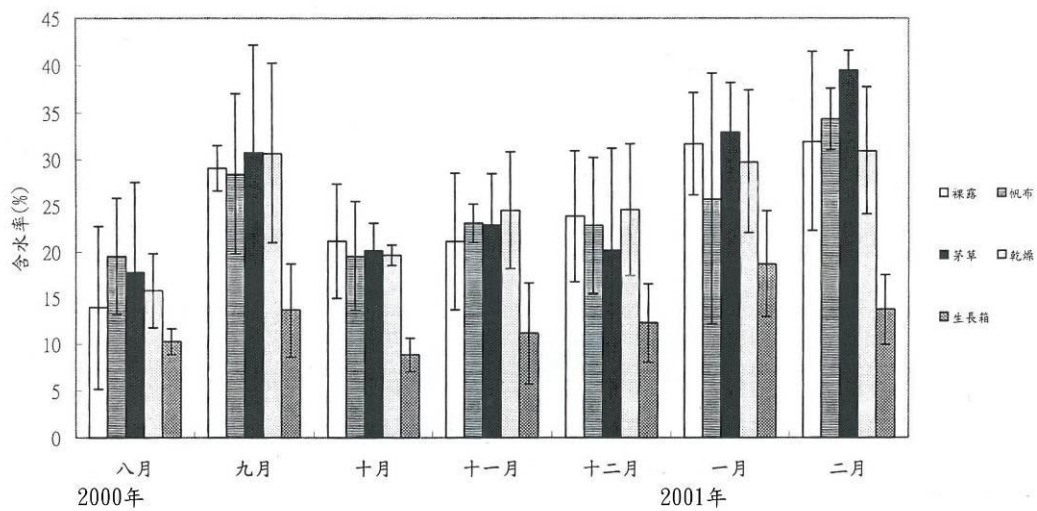


圖 3. 五種處理下各月段木含水率變化圖。五組含水率有顯著差異 ($F = 6.184, P = 0.001$)。生長箱的含水率偏低，而野外四組之含水率卻無顯著差異

而曝曬組與塑膠布組、茅草組及對照組的差異則不顯著。

二、植入松斑天牛幼蟲之取食與其排遺

松斑天牛幼蟲之平均取食面積以裸露組的平均 118.8 cm^2 為最低，其次為曝曬組的 129.9 cm^2 (參見表 2，第 4 欄)，雖然如此，五種處理間的差異並不顯著 (ANOVA, $F = 0.878$, $P = 0.500$)。幼蟲的總糞屑重也以裸露組最低 (平均重 29.6 g)，其次為曝曬組的 34.5 g (參見表 2，第 5 欄)。平均糞屑乾重 (表 2，第 6 欄) 在五種處理間的差異亦不顯著 (ANOVA, $F = 1.180$, $P = 0.359$)。植入幼蟲的平均取食面積與其總糞屑重 (表 2，第 4、5 欄) 有顯著的相關性 ($r = 0.70$, $N = 20$, $P < 0.01$)，幼蟲的平均取食面積與其平均糞屑乾重 (表 2，第 4、6 欄) 也有顯著的相關性 ($r = 0.620$, $N = 20$, $P = 0.004$)。

三、新增松斑天牛的數目、死亡率及生長

表 1 (第 6 欄) 顯示四種野外處理除了原先植入的幼蟲外，尚有新增的幼蟲，其中茅草組增加 6 隻，塑膠布組增加 1 隻，曝曬組增加 41 隻，裸露組則無新增的幼蟲，五種處理間的差異顯著 (ANOVA, $F = 10.477$, $P < 0.001$)，而這個差異主要來自於曝曬組。新增松斑天牛的死亡率不高，最高不超過 25%，平均只有 11.9% (表 1，第 8 欄)。新增天牛數目與其死亡率間的相關不顯著 ($r = 0.72$, $N = 6$, $P > 0.05$)。

四、天敵捕食對松斑天牛死亡率之影響

野外處理組的段木有遭嚙齒類動物剝去樹皮的現象，其中曝曬組 75% (3/4) 及茅草組 25% (1/4) 的段木樹皮被剝掉，只是樹皮的剝落面積 (表 2，第 8 欄) 均不超過段木總面積 (表 2，第 7 欄) 的 15%，塑膠布組、裸露組的樹皮則維持完整。樹皮剝落的面積在五種處理之間的差異顯著 (ANOVA, $F = 2.950$, $P < 0.055$)，曬組與裸露組 ($P = 0.028$)、與塑膠

布組 ($P = 0.028$) 的差異顯著。野外段木中的總天牛隻數 (表 1，第 9 欄) 與段木的剝落面積 (表 2，第 8 欄) 顯著相關 ($r = 0.79$, $N = 16$, $P < 0.001$)。

討論

一、段木含水率

段木含水率在五種處理間的差異顯著，實驗組間的差異不顯著，但均顯著高於對照組 (見圖 3)。段木含水率和松斑天牛幼蟲存活率的關係不大，雖然如此，段木的含水率會影響松斑天牛的羽化時間 (Nakamura 1994)。本實驗置於生長箱的松斑天牛確有延遲化蛹時間的現象，惟此並非本研究的主要目的，故無法深入探討。

二、五種處理下松斑天牛的平均死亡率

本研究的結果發現，裸露組的松斑天牛之平均死亡率最高 (50%)，其次為曝曬組 (30%)，其餘三組松斑天牛之平均死亡率介於 10% 至 15% 之間 (參見表 1)。分析結果顯示知五組間有顯著差異，再經由 LSD 檢定得知，裸露組除與曝曬組無差顯著異外，與塑膠布組、茅草組及對照組均有顯著差異，而曝曬組與塑膠布組、茅草組及對照組均無顯著差異。塑膠布組、茅草組及對照組松斑天牛的死亡率相近 (表 1)，推測塑膠布組及茅草組因為外在的覆蓋，有助於維持穩定的段木微環境，所以松斑天牛的存活狀況較佳，而裸露組與曝曬組因為外在的環境變化較大，所以其死亡率顯著較高。不過，曝曬組直接置於陽光下曝曬，其外在溫濕度變化的理應更大於林下的裸露組，然而曝曬組的松斑天牛死亡率卻低於裸露組 (雖然兩者在統計上並無顯著差異)，其原因值得進一步探究。就實務的角度而言，無論曝曬罹患松材線蟲的病株段木，還是將這些段木直接棄置於林下，都能顯著提高段木中天牛幼蟲的死亡率，進而抑制松斑天牛的族群增加。

表 1. 2000 年 7 月至 2001 年 2 月，在五種處理下的琉球松 (*Pinus luchunensis*) 段木中植入之松斑天牛數目、狀況、死亡率，新增天牛數、存活數及死亡率。茅草組：覆蓋茅草，置於林下；塑膠布組：覆蓋塑膠布，置於林下；裸露組：不加任何覆蓋，置於林下；曝曬組：置於陽光下曝曬；對照組：置於室內生長箱。

處理	重複	植蟲數目	存活數	死亡率 (%)	新增天牛數目	新增天牛存活數	新增天牛死亡率 (%)	總天牛隻數
茅草組	1	5	4	20	0	0	0	5
	2	5	5	0	0	0	0	5
	3	5	4	20	6	6	0	11
	4	5	5	0	0	0	0	5
塑膠布組	1	5	5	0	1	1	0	6
	2	5	4	20	0	0	0	5
	3	5	5	0	0	0	0	5
	4	5	4	20	0	0	0	5
裸露組	1	5	1	80	0	0	0	5
	2	5	2	60	0	0	0	5
	3	5	3	40	0	0	0	5
	4	5	4	20	0	0	0	5
曝曬組	1	5	4	20	6	6	0	11
	2	5	2	60	12	9	25.0	17
	3	5	4	20	6	5	16.7	11
	4	5	4	20	17	14	17.6	22
對照組	1	5	3	40	0	0	0	5
	2	5	4	20	0	0	0	5
	3	5	5	0	0	0	0	5
	4	5	5	0	0	0	0	5

表 2. 2000 年 7 月至 2001 年 2 月，在五種處理下的琉球松 (*Pinus luchunensis*) 段木中植入之松斑天牛取食樹皮之面積、糞屑重量以及樹皮剝落之面積。茅草組：覆蓋茅草，置於林下；塑膠布組：覆蓋塑膠布，置於林下；裸露組：不加任何覆蓋，置於林下；曝曬組：置於陽光下曝曬；對照組：置於室內生長箱。

處理	重複	總取食面積 (cm ²)	平均取食面積 (cm ²)	總糞屑乾重 (g)	平均糞屑乾重 (g)	段木總面積 (cm ²)	剝落面積 (cm ²)	剝落比率 (%)
茅草組	1	515	103.0	39.05	7.81	3,393	0	0
	2	950	190.0	79.21	15.84	3,223	0	0
	3	503	100.6	57.60	11.52	3,433	0	0
	4	730	146.0	39.06	7.81	3,504	323	9.22
塑膠布組	1	785	157.0	51.20	10.24	3,302	0	0
	2	637	127.4	33.11	6.62	3,143	0	0
	3	913	182.6	36.06	7.21	3,566	0	0
	4	656	131.2	44.29	8.86	3,398	0	0
裸露組	1	423	84.6	13.72	2.74	2,986	0	0
	2	494	98.8	25.58	5.12	3,875	0	0
	3	985	137.0	25.08	5.02	3,396	0	0
	4	775	155.0	53.86	10.77	3,259	0	0
曝曬組	1	801	160.2	49.16	9.83	2,983	0	0
	2	449	89.8	23.10	4.62	3,559	499	14.02
	3	804	160.8	52.46	10.49	3,359	99	2.95
	4	544	108.8	13.28	2.66	4,164	524	12.58
對照組	1	790	158.0	41.88	8.38	2,569	0	0
	2	663	132.6	31.79	6.36	2,851	0	0
	3	755	151.0	43.53	8.71	3,167	0	0
	4	930	186.0	63.89	12.78	3,631	0	0

三、植入松斑天牛幼蟲之取食與其排遺
松斑天牛幼蟲之平均取食面積 (表 2, 第

4 欄) 在五種處理間的差異並不顯著 (ANOVA, $F = 0.878$, $P = 0.500$)，平均糞屑乾

重(表 2, 第 6 欄)在五種處理間的差異亦不顯著(ANOVA, $F = 1.180$, $P = 0.359$)。值得注意的是在五種處理中,以裸露組的取食面積最低,曝曬組次低。由於裸露組的死亡率最高,曝曬組次之,因此這兩組較低的取食面積可能反映了幼蟲下降的取食活動。同樣地,幼蟲的總糞屑重(表 2, 第 5 欄)也以裸露組最低,曝曬組次低。這個結果呼應了這兩組的高死亡率和低取食面積。統計分析顯示,植入幼蟲的平均取食面積與其總糞屑重(表 2, 第 4、5 欄)相關顯著($r = 0.70$, $N = 20$, $P < 0.01$),幼蟲的平均取食面積與其平均糞屑乾重(表 2, 第 4、6 欄)也有顯著的相關性($r = 0.620$, $N = 20$, $P = 0.004$)。本研究的數據顯示取食面積和排遺(糞屑)量的一致性,兩者可以用來衡量幼蟲生長(發育)狀況的指標。

四、新增松斑天牛的數目、死亡率及生長

本研究在實驗設計的階段,並未預期四種野外處理會有新增的松斑天牛,直到收回段木後,才發現松斑天牛會在任何可能的松樹段木上產卵。在四種野外處理中,僅裸露組沒有新增的松斑天牛,茅草組增加 6 隻,塑膠布組增加 1 隻,曝曬組最為驚人,增加達 41 隻,而且該組的四個重複都有新增的天牛,可見曝曬有可能導致松樹段木產生某些吸引松斑天牛雌蟲產卵的物質(例如某些化學物質)。當然,曝曬組段木安置的地點不同於野外其他三組,該地周圍的天牛密度有可能較高,導致段木遭松斑天牛雌蟲產卵。茅草組的覆蓋比較粗放,天牛自然有可能在鑽入茅草,並在段木中產卵,但是塑膠布理當可以阻擋天牛產卵,該組段木中卻發現 1 隻新增天牛,這有可能是塑膠布包覆不夠緊密,也有可能是天牛的產卵管仍能穿過塑膠布,產卵於段木。無論如何,此一現象說明包覆塑膠布的段木,仍有遭到天牛產卵的風險。此外,裸露組沒有新增的松斑天牛也是一個意外的發現,這組毫無覆蓋的段木和茅草組、塑膠布組放在一起,何以不致吸引天牛產卵,其機制的闡明顯然有助於管理松材

線蟲疫病的擴散,值得探討。最後,新增松斑天牛的死亡率不高,平均只有 11.9% (參見表 1, 第 8 欄),是野外處理松材線蟲病株段木的一大挑戰,因為這意味著不適當的處理段木不但無助於抑制松斑天牛的族群,反而有可能提供天牛產卵的環境,進而增高松斑天牛的族群,擴大危害風險。

五、天敵捕食對松斑天牛死亡率之影響

野外處理組的段木有遭嚙齒類動物剝去樹皮的現象,這很可能是赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)嚙剝樹皮(debarking)的結果。茅草組 4 根段木中有 1 根樹皮被嚙剝,曝曬組 4 根段木中有 3 根樹皮被嚙剝,只是剝皮面積均不超過段木總面積的 15% (參見表 2, 第 7、8 欄),塑膠布組、裸露組的樹皮則維持完整。前述茅草組、塑膠布組、曝曬組均有新增的松斑天牛,尤以曝曬組為最,統計分析顯示野外段木中的總天牛隻數(表 1, 第 9 欄)與段木的剝落面積(表 2, 第 8 欄)顯著相關,因此赤腹松鼠嚙剝樹皮,有可能是試圖捕食樹皮下的松斑天牛幼蟲,段木中的幼蟲密度越高,剝皮的面積越大。不過,剝皮面積大的段木中(表 2, 第 8 欄),存活的天牛比例仍高(表 1, 第 7 欄),顯示即使有所謂的捕食,捕食效率也還不算高。無論如何,松鼠-松斑天牛-松樹間的三角關係,迄今未有人探討,了解這樣的動態關係,應有助於管理松斑天牛,進一步抑制松材線蟲的疾病擴散。

綜合本研究的結果顯示,在五種段木處理中,裸露組的天牛死亡率最高,取食量最少(反映發育不良),曝曬組的天牛死亡率居次,取食量亦然,顯示這兩種段木處理的效果較佳。然而,曝曬組新增天牛的數目卻居五種處理之冠,換言之,曝曬處理會吸引更多天牛到段木產卵,由於新增天牛的死亡率不高,因此曝曬處理可能有助於松斑天牛族群的擴增。反觀裸露組是唯一沒有新增天牛的處理組,因此,要處理罹患松材線蟲病的松樹病株,只需將段木棄置林下,無須為段木包覆塑膠布或鋪

上茅草，亦無需將段木移置陽光下曝曬，即可有效抑制松斑天牛的族群增長。近 (2015-2016) 年台灣本島及金門仍有松材線蟲病的發生及病株伐除，本文資料或可供相關單位在處理段木時之參考。

引用文獻

- 王松永、丁昭義。1995。林產學 (上冊)。臺灣商務印書股份有限公司。156-157 頁。
- 金門新訊。2016。http://www.kmnp.gov.tw/ct/index.php?option=com_content&view=article&id=1591&Itemid=6
- 張瑞璋、曾顯雄、顏志恒。1997。松材線蟲防治手冊。林業叢刊第 71 號，台灣省林業試驗所，42 頁。
- 張瑞璋。1996。松材線蟲為害原生臺灣二葉松。林試所簡訊 3(4):154-19。
- 曾顯雄。1997。臺灣松樹萎凋病之發生與生物防治初探，7-16 頁。林木病蟲害研討會論文集。中華林學叢書第 971 號。
- 顏志恒。1988。松樹萎凋病之研究及其防治。國立臺灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。
- Kobayashi, F. 1988. The Japanese pine sawyer. pp.431-454. in A. A. Berryman (ed.) *Dynamics of Forest Insect Populations*. Plenum Publishing corporation.
- Kobayashi, F. and Taketani A. 1994. *Forest Insects*. Yokendo Ltd. Japan. (In Japanese)
- Mamiya, Y. and N. Enda. 1972. Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* by *Monochamus alternatus*. *Nematologica*. 18:159-162.
- Nakamura, K. 1994. Survival rate and the time of adult emergence of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in *Pinus densiflora* Stand with understory Vegetation. *Appl. Entomol. Zool.* 29(3):430-433.
- Ochi, K. and K. Katagiri. 1974. Ecological studies on the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *J. Jpn. For. Soc.* 1974:7-11.
- Sokal, R. R. and J. F. Rohlf. 1981. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 2nd ed., W. H. Freeman and Company, San Francisco, 859pp.