DOI: 10.6662/TESFE.2016011 台灣昆蟲 Formosan Entomol. 36: 94-106 (2016) 研究報告

Formosan Entomologist
Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

故宮院區白蟻族群調查與防治

楊若苓*

國立故宮博物院登錄保存處 11143 台北市士林區至善路 2 段 221 號
* 通訊作者 email: rlyang@npm.gov.tw

收件日期：2016 年 11 月 1 日 接受日期：2017 年 2 月 7 日 線上刊登日期：2017 年 3 月 22 日

摘 要

身為世界知名博物館之一的台北國立故宮博物院，院藏品中超過 9 成為有機材質所組成，是以蟲害防治一直是文物保存維護工作中重要之一環；特別是針對有機材質物品及建築物極具破壞力的白蟻物種。2011 年 5 月到 2012 年 8 月以間隔 3 公尺埋設木樁方式進行院區三棟主要建築物周邊白蟻族群調查，結果指出 294 枝埋設之木樁中有 24.8%的位址曾偵測到白蟻，平均每個月有 10.7 ± 1.7 枝木樁被白蟻取食。目前發現有台灣家白蟻 (*Coptotermes formosanus* Shiraki)，黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps* (Oshima)) 及台灣土白蟻 (*Odontotermes formosanus* (Shiraki)) 三種，其中黃肢散白蟻為優勢種 (46.2%)。在特定位址的偵測木有同時或交替偵測到 2 或 3 種白蟻的情形，推測不同白蟻族群間領域在此十分靠近或重疊；依據上述重覆偵測到白蟻超過 5 次以上的地點被視為分布熱點，優先進行投藥防治並標記為再入侵風險高的地點。2012 年 9 月開始原址改以專業型白蟻偵測站持續進行監測與防治，防治標的為台灣家白蟻及黃肢散白蟻，施藥後三種白蟻被偵測到次數均逐年降低，平均族群滅絕率為 73.5%。防治台灣家白蟻平均用藥 2.9 ± 0.8 管，平均投藥時間 3.1 ± 0.7 個月，投藥成功率為 71.4%；防治黃肢散白蟻平均用藥 2.6 ± 0.6 管，平均投藥時間為 4.5 ± 0.9 個月，投藥成功率為 76.9%；防治成功處迄今都未再發現白蟻。

關鍵詞：國立故宮博物院、台灣家白蟻、黃肢散白蟻、台灣土白蟻、白蟻防治。

前 言

座落於台北市外雙溪的國立故宮博物院（以下簡稱本院），除典藏珍貴的中華文物外，因周邊生態環境少有開發與棲地破壞，生物相相當豐富，是以院區相對發生生物入侵的機率較高。在將近 70 萬件的院藏品中有 9 成以上是由有機材質組成，相對脆弱且易受有害生物影響；因此，有害生物的防除一直是文物保存工作重點項目之一，特別是針對白蟻。不僅因為白蟻是目前已知對有機材質文物及建築極具破壞力的物種 (Yi, 1954; Su and Scheffrahn, 1986, 1998; Marini and Ferrari, 1998; Sornnuwat *et al*., 2003; Pinniger, 2015)，更因為院區終年濕度偏高，周邊林相豐富，極適合白蟻族群之繁衍，是以歷來院方相當重視其潛在威脅。然而如何兼顧典藏文物安全及維持周邊山林生態，始終是進行院區有害生物防治工作上的一大挑戰。

1980 年代院方曾採取高壓灌注防蟻藥劑於土壤的方式，在建築物四周土壤建立防堵白蟻入侵的阻隔帶，並在室內木質構件注射防蟻藥劑，以防患

於未然 (Chang, 1997)；也曾進行過有翅型家白蟻對戶外常用路燈的驅光性研究 (Chang *et al*., 2001)，以作為改進院區戶外燈源之參考。雖然使用藥劑灌注防治白蟻有節省成本、節省勞力及施作簡單等相對優點，但卻無法完全消滅白蟻族群，白蟻族群仍可以在由藥劑形成的阻隔帶之外正常活動與繁殖，所以若有藥劑未施作到之處，白蟻就可能趁隙而入，因此需要相當經驗與因地制宜的施作技術才可能達到完善的防治成果 (Jones *et al*., 2014)。此外因藥劑有時效性，其阻隔效期還會受到當地雨量及白蟻族群密度的影響，但大抵上保護效期約可以維持 5 年 (Hu *et al*., 2001)；為維護院區文物安全，重新檢視院區周邊白蟻活動狀態是屬必要。

台灣目前已知有4科12屬17種白蟻 (Tsai and Chen, 2003; Li *et al*., 2008, 2009, 2010, 2011a; Yang and Li, 2012)。文獻紀錄中危害建築及古蹟最嚴重，且會造成重大經濟損失的主要是鼻白蟻科 (Rhinotermitidae) 的地下白蟻 (subterranean termites) (Yi, 1954; Su and Scheffrahn, 1998; Sornnuwat *et al*., 2003; Li *et al*., 2011b)。由於牠們主要活動在地底下，例如：格斯特家白蟻 (*Coptotermes gestroi*) 的覓食隧道主要集中在地下30公分內的深度，尤以距地表 15 公分深處活動量最大 (Lenz *et al*., 1992; Sornnuwat, 1996; Sornnuwat *et al*., 2003)；習性隱蔽，不易被發現，因而較其他白蟻種類具更高的潛在威脅性。本院自民國 54 年落成以後，歷經五期的擴建工程至今日的規模，建築物本身已有相當年代，管線老舊破損及水泥裂隙都在所難免，因配合展場裝修及動線規劃所形成的隔間牆更是不計其數，無形之中都提高白蟻族群入侵室內的機會，除非蟻道突出地面，或明顯現於物表，否則即便定期巡視各陳列室的狀況也實難保證不會疏漏。若要防止白蟻入侵，就要化被動為主動偵測在該地區白蟻的活動情形，以即時進行防治。

Su and Scheffrahn (1986) 提出可以固定間距埋設木樁於土壤中的方式進行都會區地下白蟻族群的調查。在土壤中，白蟻並無法確知環境中食物或資源所在位置，牠們是透過建構多方向逢機分布的蟻道來找尋環境中可利用的資源 (Campora and Grace, 2001)。因此，埋設木樁的調查方式本身並不會吸引或增加白蟻靠近建築物的機率，然透過系統性的埋設可以提高偵測到白蟻的機率；例如某地區若白蟻數量眾多、蟻道密集，便可能同時被多枝木樁所偵測到。前人研究指出格斯特家白蟻的覓食隧道主要集中在地下30公分內的深度 (Lenz *et al*., 1992; Sornnuwat, 1996; Sornnuwat *et al*., 2003)；Lenz *et al*. (2012) 在進行塑料包覆地下電纜之抗白蟻性測試時，也是將樣本埋入土中 15 及 30 公分的深度；因此，地下 30 公分應是合適用來偵測地下白蟻活動的深度。此外，白蟻族群活動具有季節性 (Waller and La Fage, 1987; Delaplane, 1991; Sornnuwat *et al*., 2003; Harahap *et al*., 2005)；Sornnuwat *et al*. (2003) 指出地下白蟻族群在雨季的覓食活動量會達到高峰，Getty *et al*. (2000) 也發現地下監測站中散白蟻屬 (*Reticulitermes* spp.) 活動數量以六月到十一月為高峰期，是以埋設作業應於活動高峰前進行。

目前防治白蟻主要有藥劑灌注及使用餌站系統二種選擇，前者是以觸殺及建立阻隔帶來達到效果，後者是先以偵測木監測，發現白蟻取食測木後，再將測木置換成藥餌開始防治。Su (2010) 分析發現，如果使用灌注法平均每公頃的土壤需使用 39 公斤 (0.1% solution) 的藥劑；若是使用餌站系統，處理同樣面積土壤則僅需要 0.065 公斤的藥劑，藥劑使用量差異極為懸殊。且餌站系統防治技術主要是利用白蟻個體間有互哺的行為來使餌藥在白蟻族群中擴散，進而消滅整個族群，解決以往藥劑灌注無法殺死生殖個體的問題。考量對環境友善應減少用藥，而又能有效消滅白蟻族群，餌站系統是較理想的選擇。但是餌站系統的單價及勞力成本較高，所以目前市場上有超過 80%是使用藥劑灌注 (即所謂殘效處理) 來進行白蟻防治，僅有少於 20%是使用餌站系統。顧及院區周邊環境白蟻族群可能密度及遭逢鄰近白蟻族群再入侵的風險性高，是以長期監測建築周邊白蟻活動狀態實有其必要性 (Quarles, 2010)。本研究於 2011 年 5 月開始先以木樁調查院區主要三棟建築物周邊土壤中白蟻種類及分布狀態，2012 年 9 月後原址改置專業型白蟻偵測站，持續以測木進行院區白蟻族群的長期監測，並於發現標的白蟻後更換餌藥進行防治，以期能有效長期降低地下白蟻族群入侵博物館的機率。

材料與方法

一、白蟻種類及分布調查

本研究裁製全長 36.8 公分，寬 5.6 公分，厚度 1.6 公分，無經過浸藥處理的白木 (Ramin, *Gonystylus* spp.) 木樁 (改良自 Su and Scheffrahn, 1986)，沿著建築物基部往外推至少 30 公分的距離，避開水溝及管線，環繞建築物周邊每間隔 3 公尺埋設 1 木樁，

進行院區主要三棟建築物周邊土壤中白蟻族群調查。每枝木樁均以木槌敲入土壤中至少 30 公分深，並加以編號方便記錄。依照不同標的建築物區分為 A、B 及 C 三個區，A 區 143 枝，B 區 70 枝，C 區 81 枝，全院區總計 294 枝木樁。於 2011 年梅雨季前（4 月）完成埋設，並於隔（5）月開始進行調查。

每個月將木樁拔出檢查，記錄木樁狀態及是否偵測到白蟻，並視木樁耗損情形更換新木樁。若有發現白蟻，則記錄偵測到白蟻的木樁編號、白蟻種類及估計數量，同時取樣 20~50 隻白蟻（含兵蟻）於事先裝好 95%酒精的 4 ml 玻璃樣本瓶內保存，並於 24 小時內再置換 95%酒精一次以維持樣本保存品質。

二、白蟻族群長期監測及防治

2012 年 9 月初移除原有木樁，原址全面改置成專業型白蟻偵測站 (Sentricon®, Dow AgroSciences, Indianapolis, IN)，以偵測站內測木繼續白蟻活動的監測，記錄及採樣方式皆同前面所述，並擴大偵測範圍及增設水泥面（硬鋪面）偵測站；至目前 A 區 264 個，B 區 73 個，C 區 105 個，總計 442 個偵測站（含 21 個硬鋪面）。由於改置作業安排在 8、9 月的調查之間，故白蟻調查作業並未因此中斷。一旦測木上發現防治標的鼻白蟻科物種（如：台灣家白蟻、黃肢散白蟻），便將測木取出更替為內含昆蟲生長調節劑的餌劑（滅蟻能；0.5% w/w 六伏隆 (Hexaflumuron)）進行防治，並增加檢視頻率為每 2 星期一次，直至防治作業結束。

投藥後 30 天內偵測站內仍有白蟻持續活動且目測估計藥餌消耗率大於 5%，方視為投藥成功；投藥後 30 天內（12 月~3 月在 60 天內）若都未發現白蟻再出現在偵測站，便視為白蟻放棄該處（Getty *et al*., 2007），重新換回測木進行監測。投藥成功後，白蟻族群因取食藥劑活動數量開始下降，兵蟻比例升高，直到最後餌站內未再發現白蟻，且此現象持續至少 3 個月，方可視為族群滅絕，防治完成（Getty *et al*., 2007）。防治作業結束，便換回測木繼續監測。

本研究先後以木樁及偵測站內的測木進行院區白蟻族群的調查，所以白蟻族群活動量以每個月偵測到白蟻的木樁數或偵測站數來作估計。在探討白蟻族群活動量是否有季節性差異時，僅分析防治前的木樁調查資料及並非防治標的的土白蟻族群資料，以卡方檢定（Pearson's chi-squared test）分析各月份的活動量是否有顯著性差異，除木樁調查以 16 個月的資料進行分析外，其他均按照年度進行分析。

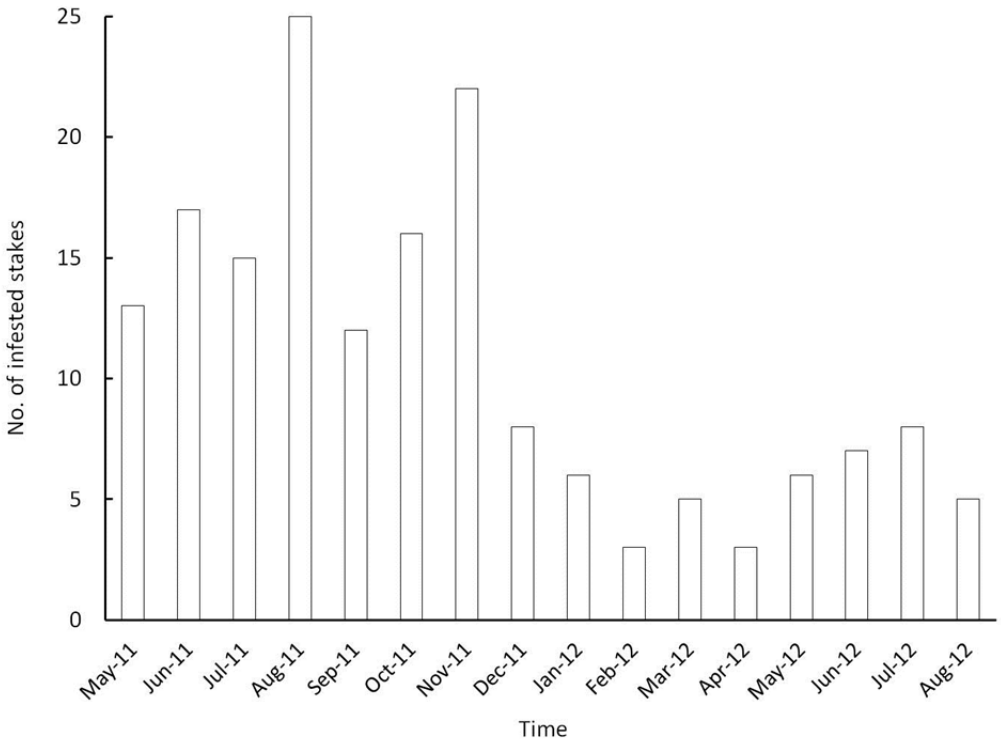
結　　果

一、白蟻種類及分布調查

木樁埋設完成後第一個月調查即發現有 13 枝木樁被白蟻蛀食，偵測到白蟻的高峰期為 2011 年 5 月至 11 月（圖一）。2011 年 5 月至 2012 年 8 月間，A 區及 B 區僅各有一次未偵測到白蟻，C 區則有 13 次未發現白蟻族群。全院 294 枝木樁，在調查期間共有 73 個位址曾經偵測到白蟻族群，比例為 24.8%，每個月平均有 10.7 ± 1.7 枝木樁偵測到白蟻；若以建築物來區分，A 區偵測到白蟻機率為 29.4%，B 區 37.1%，C 區 6.2% (表一)。

結果顯示目前院區有三種白蟻：台灣家白蟻 (*Coptotermes formosanus* Shiraki)，黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps* (Oshima)) 及台灣土白蟻 (*Odontotermes formosanus* (Shiraki))；三種白蟻幾乎全年都可以被偵測到（圖二 a)。木樁被不同種白蟻取食後的樣態不同，被台灣土白蟻取食後之木樁表面十分乾淨、平滑，無孔道分布其中；被台灣家白蟻與黃肢散白蟻取食過後之木材裡外皆有許多孔道，且孔道內多被塞有蟻土（圖二 b, c, d)。三種白蟻在 A、B 區都有發現，但發生比例略有不同。A 區以黃肢散白蟻被偵測到次數最多（54 次，佔 52.4%)，其次是台灣土白蟻 31 次（30.1%）及台灣家白蟻 18 次（17.5%)；B 區則是黃肢散白蟻及台灣土白蟻被偵測到次數同為 25 次（41%)，台灣家白蟻 11 次（18%)；C 區則僅發現台灣家白蟻 1 次（14%）及台灣土白蟻 6 次（86%)；合併三區結果來看，黃肢散白蟻被偵測到次數最多，其次為台灣土白蟻及台灣家白蟻（表二)。使用木樁調查期間，台灣家白蟻的活動狀態並無顯著的季節性差異（$\chi^2 = 21.2$, df = 15, $p = 0.13$)，偵測到黃肢散白蟻及台灣土白蟻的木樁數量則有明顯的季節性差別（黃肢散白蟻：$\chi^2 = 41.5$, df = 15, $p < 0.001$；台灣土白蟻：$\chi^2 = 56.7$, df = 15, $p < 0.001$)，黃肢散白蟻活動頻度高峰在 5 到 9 月，台灣土白蟻則有 8 月及 11 月兩個活動高峰。

偵測到白蟻的木樁分布情形如圖三，重複偵測到白蟻 5 次以上的區域被定義為分布熱點，各區熱點在圖三以橢圓圈起表示。A 區熱點計有 1 樓東南側草坪、2 樓東側草坪、西側植栽區及建築北側；B 區熱點在建築東北側，東南側及西側水溝邊。其中同一位址木樁有超過 2 種以上白蟻接替被偵測到的區域有：A 區 1 樓東南側草坪（台灣家白蟻和黃肢



圖一　2011 年 5 月至 2012 年 8 月全院區每月偵測到白蟻的木樁數量。
Fig. 1.　Number of infested stakes by month from May 2011 to August 2012.

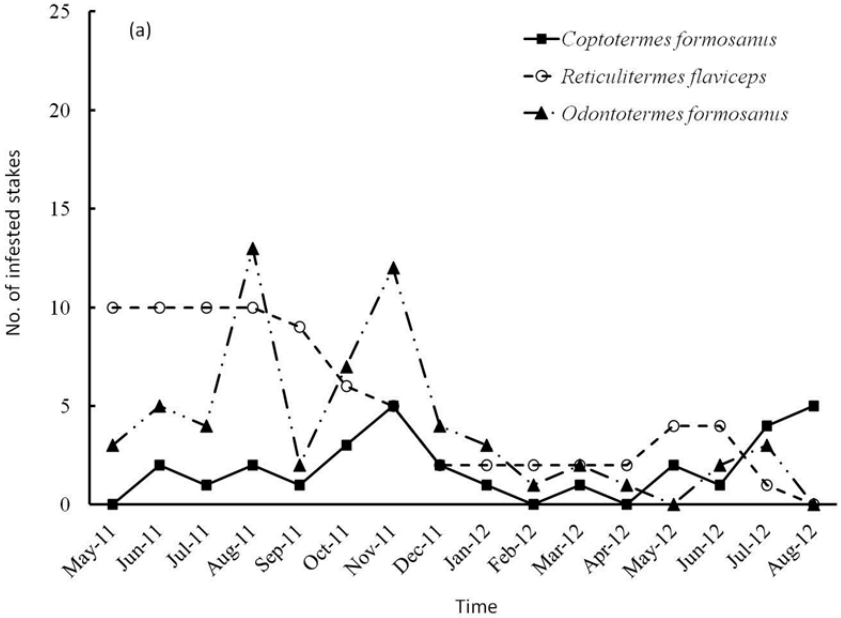
表一　2011 年 5 月到 2012 年 8 月院區三棟主要建築周邊偵測到白蟻位址數及比例
Table 1.　Number of termite-infested sites and infestation rates in the periphery of three main buildings from May 2011 to August 2012

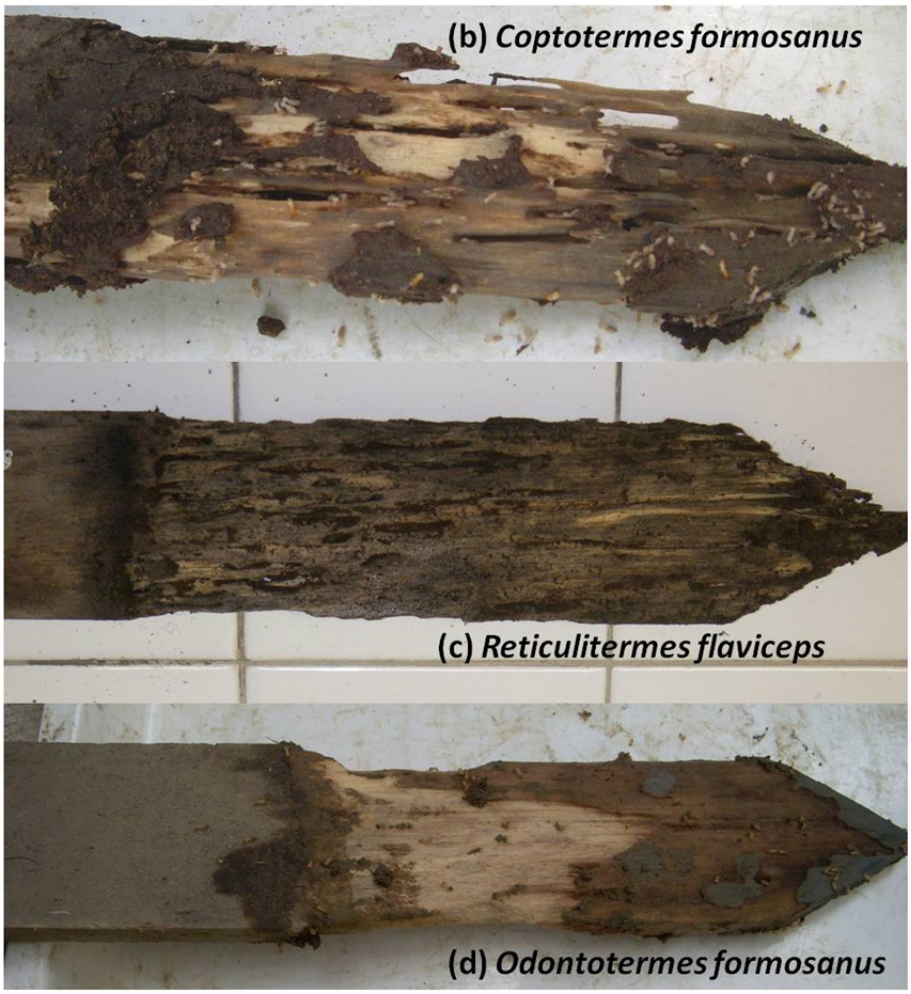
Buildings	No. of stakes buried	No. of infested sites	Infestation rate (%)
A	143	42	29.4
B	70	26	37.1
C	81	5	6.2
Total	294	73	24.8

散白蟻）及西側植栽區（台灣土白蟻及台灣家白蟻)，B 區東北隅甚至出現有 3 種白蟻接替被偵測到的情形。另在調查期間也曾發現在同一木樁上不同部位同時存在兩種白蟻的狀況（台灣家白蟻與台灣土白蟻並存，黃肢散白蟻和台灣土白蟻並存情形各有一例)。

二、白蟻族群長期監測及防治

2012 年 9 月全面移除木樁原址改置專業型地下白蟻偵測站，並增設偵測點，除以測木延續調查作業外，並針對發現標的白蟻處進行防治。偵測到白蟻的偵測站比例從 2012 年 9~12 月的 9.7%到 2015 年的 1.1%，逐年遞減；各區各年度偵測到白蟻的偵測站數也大致呈現逐年遞減的趨勢；以比例來看，大致仍以 B 區偵測到白蟻比例最高，其次為 A 區及 C 區（表三)。所偵測到白蟻種類仍是台灣家白蟻，黃肢散白蟻及台灣土白蟻三種；各年度每月偵測到三種白蟻的偵測站數變化如圖四，隨著防治作業進行，三種白蟻在各區被發現的次數隨時間變動，不過整體來說偵測到各種白蟻的次數大致是逐年下降的；一開始在各區三種白蟻都有被偵測到，到 2015 年底只剩下二種白蟻。台灣土白蟻雖不是現階段防治目標，但發現次數也是逐年下降，2012 年仍看得出 10, 11 月為活動高峰（χ^2 = 106.6, df = 11, p < 0.001)，2013 年雖有高峰落在 4 月（χ^2 = 35.3, df = 11, p < 0.001)，但其數量不超過 10 次，之後更呈



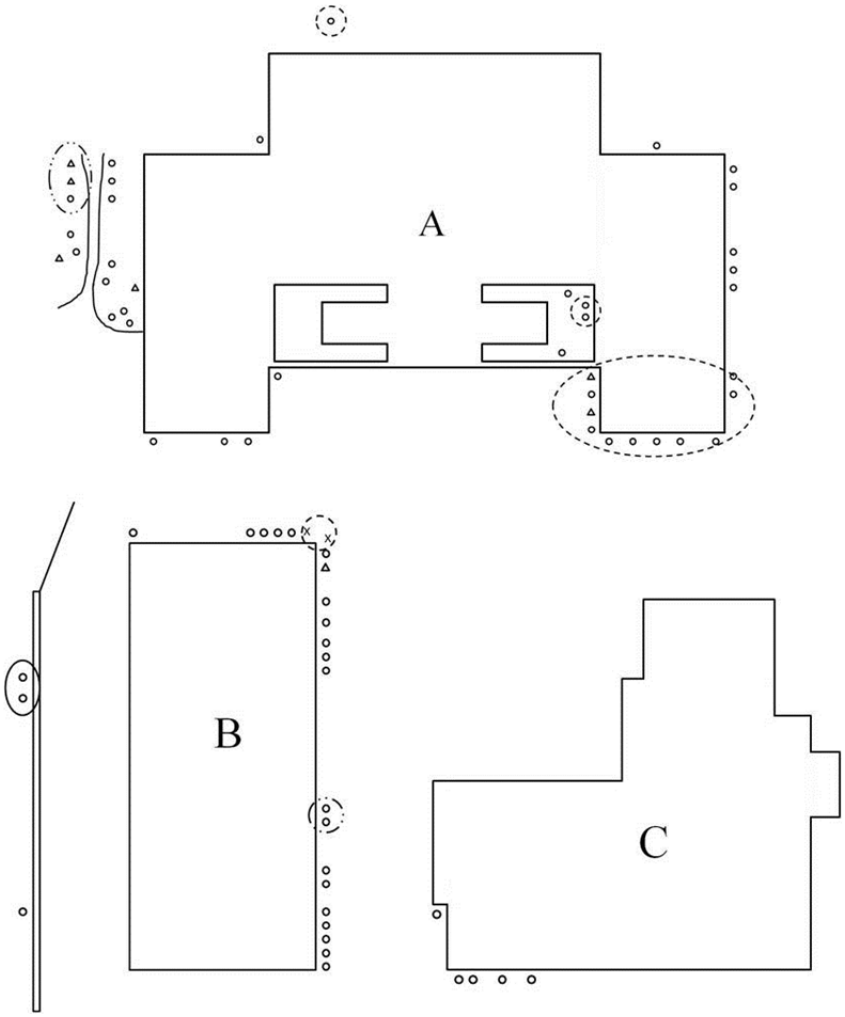


圖二　2011 年 5 月至 2012 年 8 月全院區 (a) 不同種白蟻被偵測到情形及木樁被 (b) 台灣家白蟻 (*Coptotermes formosanus* Shiraki)；(c) 黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps* (Oshima))；(d) 台灣土白蟻 (*Odontotermes formosanus* (Shiraki)) 取食後之樣貌。

Fig. 2.　(a) Number and damage patterns of stakes infested by (b) *Coptotermes formosanus* Shiraki, (c) *Reticulitermes flaviceps* (Oshima), and (d) *Odontotermes formosanus* (Shiraki) from May 2011 to August 2012.

表二　2011 年 5 月至 2012 年 8 月院區三棟主要建築周邊發現的白蟻種類及次數
Table 2.　Termite species and the number of stakes infested by these species in the periphery of three main buildings from May 2011 to August 2012

Buildings	Termite species/No. of infested stakes			Total
	C. formosanus	*R. flaviceps*	*O. formosanus*	
A	18	54	31	103
B	11	25	25	61
C	1	0	6	7
Total	30	79	62	171



圖三　2011 年 5 月至 2012 年 8 月在各區偵測到白蟻的木樁位置（○：1 種白蟻，△：2 種白蟻，x：3 種白蟻）及白蟻分布熱點（實線框：台灣家白蟻，虛線框：黃肢散白蟻，實線加點框：台灣土白蟻）。
Fig. 3.　Distribution of stakes infested by one termite species (○), two termite species (△), or three termite species (X) in survey areas from May 2011 to August 2012. Places where termite detection was ≥5 times are circled and defined as hot spots.

現下降趨勢，2014 年以後則無季節性活動量的差異（2014 年：$\chi^2 = 15.7$, df = 11, $p = 0.15$；2015 年：$\chi^2 = 14$, df = 11, $p = 0.23$）。

自 2011 年 9 月至 2015 年 12 月院區陸續投藥防治點共 34 處（圖五；A 區 19 處，B 區 10 處，C 區 5 處），其中針對台灣家白蟻有 21 處，針對黃肢散白蟻有 13 處，各區族群滅絕率分別為 73.7，70.0 及 80.0%，平均族群滅絕率為 73.5%，經投藥防治

表三　2012 年 9 月至 2015 年 12 月院區三棟主要建築物周邊年度白蟻被偵測率
Table 3.　Termite infestation rates by year in the periphery of three main buildings from September 2012 to December 2015

Buildings	No. of stations	Infestation rates (%)			
		2012*	2013	2014	2015
A	264	9.8	9.5	6.1	1.5
B	73	17.8	11.0	5.5	1.4
C	105	3.8	8.6	2.9	0
Total	442	9.7	9.5	5.2	1.1

*Infestation rates from September to December. The infestation rate on wood stakes recorded from January to August is 7.8%.

成功處迄今都未再發現白蟻。若論不同白蟻對投藥的反應，針對台灣家白蟻的投藥成功率為 71.4%，黃肢散白蟻的投藥成功率為 76.9%；防治台灣家白蟻平均用藥 2.9 ± 0.8 管，平均投藥時間 3.1 ± 0.7 個月；防治黃肢散白蟻平均用藥 2.6 ± 0.6 管，平均投藥時間 4.5 ± 0.9 個月。在偵測站中一樣有發現 2 種白蟻共同存在的情形，三例皆發生在 A 區，兩例是黃肢散白蟻及台灣土白蟻並存，一例是台灣家白蟻及台灣土白蟻並存。

討　　論

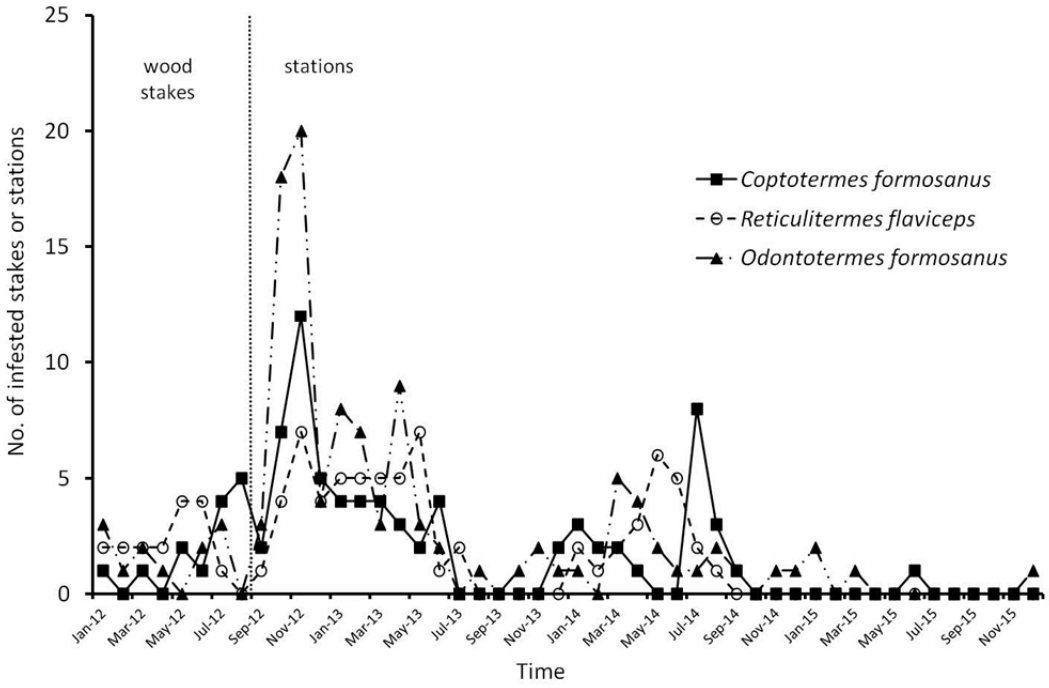
一、白蟻種類及分布

從調查開始即在建築物周邊偵測到白蟻，之後也都持續有偵測到（圖一、二及四），有將近 1/4 位址都曾被白蟻取食過（表一），未投藥防治前每月平均偵測到白蟻機率為 3.6 ± 0.6%；證實院區建築物周邊確實有白蟻族群穩定存在，且其活動範圍相當靠近建築物。Ikehara (1966) 指出台灣家白蟻偏好的溫度範圍在 17~32℃之間，Arinana *et al*. (2016) 提出地下白蟻適宜的溫度範圍落在 25~36℃之間；Nandika *et al*. (2015) 則指出白蟻偏好的濕度範圍為 75~90%RH。根據中央氣象局台北氣象站近 30 年平均資料顯示，台北地區最冷月均溫是 16.1℃（1 月），最熱月均溫 29.6℃（7 月），雖然 2011 至 2015 年間曾出現最低溫 7.8℃的紀錄，但年平均溫度為 23℃，算是相當溫暖的氣候條件；又相對濕度年平均是 76.6%RH，最低是 73%RH（7 月），最高是 80.6%RH（2 月）。因此就溫、濕度條件而言，相當適合白蟻族群的發展。而調查結果也顯示，雖然冬季（12~3 月）發現白蟻次數較低（圖一和二），但大致上全年都可發現白蟻，顯示院區氣候條件不足以對白蟻族群發展造成限制。

目前確知院區存在三種白蟻：台灣家白蟻，黃肢散白蟻及台灣土白蟻；其中黃肢散白蟻明顯為院區內優勢物種（46.2%，表二），其次為台灣土白蟻 (36.3%) 和台灣家白蟻（17.5%）。過去紀錄顯示黃肢散白蟻在台灣主要分布於山區與北部低海拔地區 (Yang and Li, 2012)，調查結果亦佐證黃肢散白蟻族群在鄰近山區環境的確存在優勢。台灣土白蟻為全台中、低海拔（1,200 公尺以下）常見之白蟻物種，被偵測到比例居第二位也不意外。相較之下，屬於台灣低海拔（50 公尺以下）地區常見都市害蟲的台灣家白蟻在院區被偵測到比例較低，突顯出院區周遭生態環境條件與鄰近都會地區的不同。

如果比較院內各區偵測到白蟻機率大致以 B 區偵測到白蟻機率最高，其次為 A 區及 C 區（表一和表三）。又配合白蟻種類調查結果來看，台灣家白蟻及黃肢散白蟻屬於具重要經濟危害性的地下白蟻種類，入侵室內風險較高，是以推論 B 區遭地下白蟻入侵為害風險最高，其次為 A 區。又分布熱點表示該地區白蟻族群密集且穩定的被偵測到，表示在這些區域（分布熱點）白蟻族群不僅穩定存在，且活動頻繁。所以若結合圖三的結果，被入侵風險最高的前 4 區為：B 區東北隅＞A 區 1 樓東南側草坪＞B 區西側水溝＞A 區 2 樓東側草坪，而這 4 區是否存在某些環境條件，例如：土壤下方有多重管線通過可能提供現成的空間刺激引發蟻道發展（Lee *et al*., 2008），鄰近水源（灑水系統或蓄水井）便於取水維持高濕環境，致使其成為白蟻族群分布熱點，值得探究。

此外調查中發現會有 2 到 3 種白蟻交替出現在同一位址的情形（9 例，圖三），甚至是 2 種白蟻同時出現但在木樁上不同部位的現象（上、下部：2 例），也有 2 種白蟻同時出現在一偵測站中的情形（5 例），而這些案例多位於分布熱點上，這在以往研究

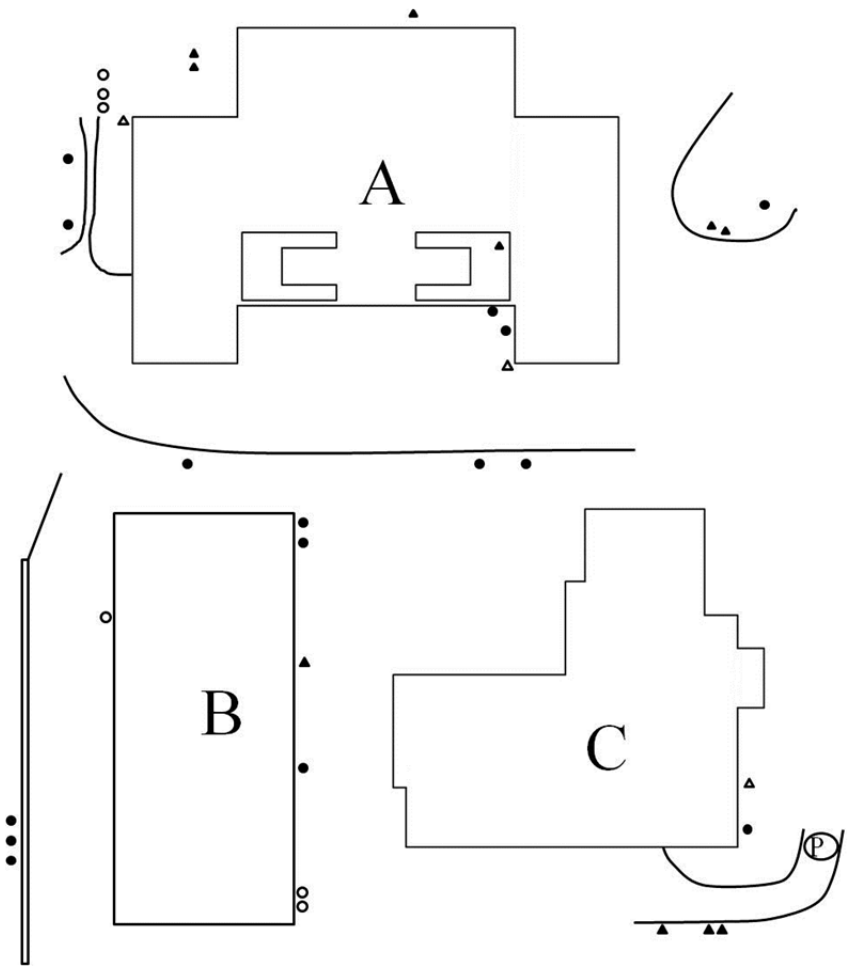


圖四　2012 年至 2015 年間各年度三種白蟻被偵測次數分布（■：台灣家白蟻；○：黃肢散白蟻；▲：台灣土白蟻)。
Fig. 4.　Monthly infestation data of three termite species from 2012 to 2015. (■: *Coptotermes formosanus* Shiraki; ○: *Reticulitermes flaviceps* (Oshima); ▲: *Odontotermes formosanus* (Shiraki))

報告中未曾報導過。在防治過程中，也有發生原本防治對象為黃肢散白蟻，後來卻是台灣家白蟻取食餌劑的情形；Lee (2002) 在馬來西亞進行家白蟻屬白蟻的防治過程中，也曾遭遇防治標的族群消失，而出現其他種白蟻進站的情形。根據以上證據推論，這些木樁及偵測站埋設位置（分布熱點）應該落於多個白蟻族群的覓食活動範圍，覓食通道在這些區域穩定存在，不同種白蟻族群活動領域在此十分靠近，甚至是重疊，才會有此交替出現或同時偵測到的情形；而這同時也代表著該區未來發生白蟻再入侵的潛在風險比其他地方都來得高。Getty *et al*. (2000) 及 Lee (2002) 都曾提出防治成功後經數月到數年不等又再發現新白蟻族群入侵的實例；因此針對院區內白蟻族群分布熱點，在投藥防治成功後，更要落實長期追蹤監測，才能確保防治效果 (Thorne and Forschler, 2000)。而從偵測到白蟻的順序來看，目前發現的案例都是先偵測到黃肢散白蟻或台灣土白蟻，台灣家白蟻都是最後才出現。除了不同種白蟻間相對族群數量多寡可能造成此結果外，前人研究指出不同種白蟻構築覓食隧道型式不同 (Grace *et al*., 2004; Hapukotuwa and Grace, 2012)，是否因為覓食隧道型式的差異致使其遭遇環境中木料的機率不同而出現此先後順序，抑或不同種白蟻對環境中木料氣味的敏感性，或對木料腐朽程度偏好的差異性 (Smythe *et al*., 1971; Grace *et al*., 1992; Arab and Costa-Leonardo, 2005; Su, 2005) 致此結果，進而可能影響種間競爭，則有待更進一步的研究。

二、季節性活動量差異

地下白蟻的覓食行為具有季節性 (Waller and La Fage, 1987; Delaplane, 1991; Sornnuwat *et al*., 2003; Harahap *et al*., 2005)。整體來看，木樁偵測到白蟻次數高峰出現在 5 月至 11 月，12 月後偵測到的次數便明顯下降，直至隔年 5 月後又略微上揚 (圖一)；此結果與前人研究在溫暖與下雨的季節會有較高的族群活動量的季節活動變化趨勢相符 (Waller and La Fage, 1987; Getty *et al*., 2000; Sornnuwat *et al*., 2003)。若以種類來看，在未開始防治前，台灣家白蟻族群的活動量並無季節性差別，這可能與其在院區族群數量較少有關 (表二)；黃肢散白蟻族群則有活動高峰 (5 到 9 月)，大致與前人研究結果相符 (Getty *et al*. 2000)；而台灣土白蟻在 2011 年顯著有 8 月及 11 月兩個活動高峰 (圖二 a)；2012 年後，一開始台灣土白蟻族群仍有季節性活動量的差別 (10, 11 月為活動高峰，圖四)，但隨著時間台灣土白蟻被偵測到次數下降，也就看不到出季節性活動量的變化。這是關於台灣白



圖五　2011 年 9 月至 2015 年 12 月 34 處進行白蟻投藥防治結果（○：台灣家白蟻，△：黃肢散白蟻）及防治結果（實心：投藥及防治成功，空心：投藥未成功)。

Fig. 5.　Distribution of 34 baiting stations in control of ○: *Coptotermes formosanus* and △: *Reticulitermes flaviceps* colonies. Successful elimination sites are denoted using closed symbols, and failed sites are denoted using open symbols

蟻非有翅生殖型族群活動量季節性變化的第一次報導，就目前較完整的台灣土白蟻資料顯示其非有翅生殖型族群活動的高峰期落在分飛紀錄的時間(4~7 月，Chiu *et al*., 2010）之後；黃肢散白蟻族群雖然只有 5 到 9 月的活動高峰資料，但就紀錄中分飛時間從 12 月到隔年 5 月皆有 (Yang and Li, 2012)，同樣呈現非有翅生殖型族群活動高峰落在分飛之後；此現象是否為白蟻族群發展的共通現象仍未可知，未來若能獲得更多實證資料，或有助於提升防治效率策略的開發。

三、防治結果

自開始投藥防治，全院區偵測到白蟻的種類數和比例都逐年下降（表一、三和圖四)，顯見投藥防治的成效。雖然不同種間防治結果略有差異，整體而言白蟻族群滅絕率有 7 成以上。由於本研究並無實際量測白蟻族群大小及分布範圍，與投藥成功的偵測站相鄰之偵測站未持續發現白蟻在餌站中活動或取食，會被視為投藥失敗；但這些餌站迄今也未再發現有白蟻，所以亦無法排除其屬於同一族群而被防治成功；若從此方面考量，防治成功率實際上可能更高；投藥防治成功處目前都尚未再監測到有白蟻出現。

就藥劑使用量而言，滅除黃肢散白蟻族群平均需用藥 2.6 ± 0.6 管，相當於食用有效成份六伏隆 839.5 ± 201.3 mg，防治時間需時 4.5 ± 0.9 個月；防治台灣家白蟻族群平均用藥 2.9 ± 0.8 管，相當於食用有效成份六伏隆 919.9 ± 246.5 mg，平均防治時間要 3.1 ± 0.7 個月。白蟻族群滅絕平均所需有效成份劑量大致符合 Su (1994) 的試驗結果（4~1500 mg 六伏隆)；但就台灣家白蟻的防治來說，相較於佛羅里達州的試驗結果（233~742 mg, 4~7 個月)，

在台灣要滅群所需使用的有效成份劑量較高，防治所需時間相對較短；Lee (2002) 在馬來西亞進行地下白蟻族群防治時也發現類似結果；這跟越靠近熱帶地區白蟻種類的覓食活動量越高可能有關 (Su *et al*., 2001)。而相較於防治台灣家白蟻，黃肢散白蟻族群要滅絕所需要的投藥時間較長，但所需使用的藥劑量較少，也可能與不同種白蟻間取食速率差異有關 (Uchima and Grace, 2003)。覓食活動量越高或取食速率越快，會加速餌劑在白蟻族群間的傳播，進而達到較快滅群的效果。

而就不同種白蟻對投藥的反應而言，黃肢散白蟻族群較易受驚擾而離開，有 10 例是無法進入投藥階段，台灣家白蟻雖也有相似情形 (2 例)，但相對偏低。Getty *et al*. (2007) 指出若添加運動飲料至餌站中可降低餌站被放棄率，也許在後續的防治工作上可以參考。但值得探究的是台灣土白蟻族群對六伏隆餌劑的反應；台灣土白蟻族群雖在院區十分常見，但因其生態特性主要是為害景觀植栽、支撐木及圍籬等與土壤直接接觸的木材，真正入侵室內為害機率相對偏低 (Yang and Li, 2012)，因此暫未列入防治標的。且土白蟻屬於高等白蟻，生活史發育和其他地下白蟻不同，工蟻並不會再蛻皮，理論上像六伏隆這樣的幾丁質合成抑制劑應無法對其族群發展造成影響，因此長久以來主要依賴藥劑灌注進行相關防治。本研究雖未針對台灣土白蟻族群進行投藥，但有觀測到土白蟻前來取食藥餌，結果顯示其出現頻度確實隨著防治作業開始而逐漸下降 (圖四)；這是生長調節劑型餌藥對台灣土白蟻族群有抑制反應的第一次報導，其作用機制值得進一步探究。

致　　謝

本研究感謝頂響能多潔股份有限公司、台璟企業股份有限公司、呂釗君小姐、蕭和庭先生及廖廷賢先生協助調查及防治作業，另蒙兩位匿名審查者細心斧正，謹此一併致謝。

引用文獻

Arab A, Costa-Leonardo AM. 2005. Effect of biotic and abiotic factors on the tunneling behavior of *Coptotermes gestroi* and *Heterotermes tenuis* (Isoptera: Rhintotermitidae). Behav Proc 70: 32-40.

Arinana A, Aldina R, Nandika D, Rauf A, Harahap IS, Sumertajaya IM, Bahtiar ET. 2016. Termite diversity in urban landscape, south Jakarta, Indonesia. Insects 7: 20. Available from: doi:10.3390/insects7020020.

Campora CE, Grace JK. 2001. Tunnel orientation and search pattern sequence of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). J Econ Entomol 94: 1193-1199.

Chang L. 1997. Brief talk on the termite control in National Palace Museum. NPM Mthly Chin A 173: 116-117. (in Chinese)

Chang L, Hsu EL, Wu WJ. 2001. Study on the phototaxis of alates of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). Formosan Entomol 21: 353-363. (in Chinese)

Chiu CI, Li HF, Yang MM. 2010. The geographical distribution and the dispersal flight season of *Odontotermes formosanus* (Isoptera: Termitidae) in Taiwan. Formosan Entomol 30: 193-202. (in Chinese)

Delaplane KS. 1991. Foraging and feeding behavior of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). Sociobiology 19: 101-114.

Getty GM, Haverty MI, Copren KA, Lewis VR. 2000. Response of *Reticulitermes* spp. (Isoptera: Rhinotermitidae) in northern California to baiting with hexaflumuron with sentricon termite colony elimination system. J Econ Entomol 93: 1498-1507.

Getty GM, Solek CW, Sbragia RJ, Haverty MI, Lewis VR. 2007. Large-scale suppression of a subterranean termite community using the Sentricon® termite colony elimination system: a case study in Chatsworth, California, USA. Sociobiology 50: 1041-1050.

Grace JK, Aihara-Sasaki M, Yates JR. 2004. Differences in tunneling behavior of *Coptotermes vastator* and *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). Sociobiology 43: 153-158.

Grace JK, Goodell BS, Jones WE, Chandhoke

V, Jellison J. 1992. Evidence for inhibition of termite (Isoptera: Rhinotermitidae) feeding by extracellular metabolites of a wood decay fungus. Proc Hawaii Entomol Soc 31: 249-252.

Hapukotuwa NK, Grace JK. 2012. *Coptotermes formosanus* and *Coptotermes gestroi* (Blattodea: Rhinotermitidae) exhibit quantitatively different tunneling patterns. Psyche 7p. Available from: doi:10.1155/2012/675356

Harahap IS, Benson EP, Zungoli PA, Hill Jr. HS. 2005. Impact of seasonal temperatures and relative humidity on cellulose consumption by *Reticulitermes flavipes* and *Reticulitermes virginicus* (Isoptera: Rhinotermitidae). In: Lee CY, Robinson WH (eds.). Proceedings of the 5th International Conference on Urban Pests; 2005 Jul 10-13; Perniagaan Ph'ng@ P&Y Design Network, Malaysia. pp 179-187.

Hu XP, Appel AG, Oi FM, Shelton TG. 2001. IPM tactics for subterranean termite control. Pub No. ANR-1022, Alabama Cooperative Extension. 7 pp.

Ikehara S. 1966. Distribution of termites in the Ryukyu archipelago. Bull Arts & Sci Div, Ryukyu Univ (Math & Sci) 9: 49-178.

Jones R, Silence P, Webster M. 2014. Preserving history: subterranean termite prevention in colonial Williamsburg. Museumpests 2014 Conference. Available online at http://museumpests.net/conferences/museumpests-2014-conference/museumpests-2014-conference-monitoring-control/

Lee CY. 2002. Control of foraging colonies of subterranean termites, *Coptotermes travians* (Isoptera: Rhinotermitidae) in Malaysia using hexaflumuron baits. Sociobiology 39: 411-416.

Lee SH, Yang RL, Su NY. 2008. Surface irregularity induced-tunneling behavior of the formosan subterranean termite. Behav Proc 78: 473-476.

Lenz M, Creffield JW, Barrett RA. 1992. An improved field method for assessing the resistance of woody and non-woody materials to attack by subterranean termites. Mater Org 27: 89-115.

Lenz M, Creffield JW, Evans TA, Kard B, Vongkaluang C, Sornnuwat Y, Lee CY, Yoshimura T, Tsunoda K. 2012. Resistance of polyamide and polyethylene cable sheathings to termites in Australia, Thailand, USA, Malaysia and Japan: a comparison of four field assessment methods. Int Biodeter Biodegr 66: 53-62.

Li HF, Kanzaki N, Su NY. 2009. Redescription of the drywood termite *Incisitermes inamurae* (Isoptera: Kalotermitidae) from southern Taiwan. Ann Entomol Soc Am 102: 759-765.

Li HF, Lan YC, Su NY. 2011a. Redescription of *Prorhinotermes japonicus* (Isoptera: Rhinotermitidae) from Taiwan. Ann Entomol Soc Am 104: 878-885.

Li HF, Su NY, Wu WJ. 2010. Solving the hundred-year controversy of *Coptotermes* taxonomy in Taiwan. Am Entomol 56: 222-227.

Li HF, Su NY, Wu WJ, Hsu EL. 2011b. Termite pests and their control in Taiwan. Sociobiology 57: 575-586.

Li HF, Scheffrahn RH, Su NY, Kanzaki N, Yang RL. 2008. Survey of the termites of Lanyu Island, Taiwan. Fla Entomol 91: 472-473.

Marini M, Ferrari R. 1998. A population survey of the Italian subterranean termite *Reticulitermes lucifugus lucifugus* Rossi in Bagnacavallo (Ravenna, Italy), using the triple mark recapture technique (TMR). Zool Sci 15: 963-969.

Nandika D, Rismayadi Y, Diba F. 2015. RAYAP Biologi dan Pengendaliannya. 2nd ed. Mubin M (ed). Muhammadiyah Univeristy Press, Surakarta, Indonesia. (in Indonesia)

Pinniger D. 2015. Integrated pest management in cultural heritage. London: Archetype Publications Ltd. 142 pp.

Quarles W. 2010. Baits or barriers? Field efficacy of subterranean termite treatments.

IPM Practitioner 32: 1-10.

Smythe RV, Carter FL, Baxter CC. 1971. Influence of wood decay on feeding and survival of the eastern subterranean termite *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). Ann Entomol Soc Am 64: 59-62.

Sornnuwat Y. 1996. Studies on damage of constructions caused by subterranean termites and its control in Thailand. Wood Res 83: 59-139.

Sornnuwat Y, Vongkaluang C, Chutibhapakorn S. 2003. Foraging patterns of termite species in the living complexes of Bangkanoon forest plantation, Phuket province, Southern Thailand. The International Research Group on Wood Preservation, Document IRG/WP 03-10481, p. 10.

Su NY. 1994. Field evaluation of a hexaflumuron bait for population suppression of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). J Econ Entomol 87: 389-397.

Su NY. 2005. Directional change in tunneling of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to decayed wood attractants. J Econ Entomol 98: 471-475.

Su NY. 2010. Biology and control of subterranean termites in the 21st century. In: Wu WJ, Li HF (eds). Symposium and Workshop of Termite Biology and Control in Taiwan; 2010 Oct 1; Department of Entomology, National Taiwan University, National Science Council Research Promotion Center for Life Sciences Press, Taipei. pp 2-3.

Su NY, Scheffrahn RH. 1986. A method to access, trap, and monitor field populations of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in the urban environment. Sociobiology 12: 299-304.

Su NY, Scheffrahn RH. 1998. A review of subterranean termite control practices and prospects for integrated pest management programmes. Integrated Pest Manag Rev 3: 1-13.

Su NY, Ban PM, Scheffrahn RH. 2001. Control of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) using commercial prototype aboveground stations and hexaflumuron baits. Sociobiology 37: 111-120.

Thorne BL, Forschler BT. 2000. Criteria for accessing efficacy of stand-alone termite bait treatments at structures. Sociobiology 36: 245-255.

Tsai CC, Chen CS. 2003. First record of *Coptotermes gestroi* (Isoptera: Rhinotermitidae) from Taiwan. Formosan Entomol 23: 157-161. (in Chinese)

Uchima SY, Grace JK. 2003. Comparative feeding rates of *Coptotermes vastator* and *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). Sociobiology 41: 289-294.

Waller DA, La Fage JP. 1987. Seasonal patterns in foraging groups of *Coptotermes formosanus* (Rhinotermitidae). Sociobiology 13: 173-181.

Yang RL, Li HF. 2012. Taxonomy and identification of the five common termite species in Taiwan. Formosan Entomol 32: 169-198. (in Chinese)

Yi ST. 1954. Termite problem in Taiwan. J Taiwan Bank 6: 241-266. (in Chinese)

Termite Survey and Control in the National Palace Museum

Rou-Ling Yang*

Department of Registration and Conservation, National Palace Museum, Taipei, Taiwan
* Corresponding email: rlyang@npm.gov.tw

Received: 1 November 2016 Accepted: 7 February 2017 Available online: 22 March 2017

ABSTRACT

The National Palace Museum is one of the most famous art museums in the world. More than 90% of the collections are composed of organic materials, which are vulnerable to insect attacks. Thus, pest management is a critical issue in conservation. Termites, which can cause severe and unrecoverable damage to organic objects and buildings, are the primary concern. A termite survey was conducted by burying wooden stakes at 3-meter intervals surrounding the three main buildings of the National Palace Museum, Taipei, Taiwan, for 16 months. The survey results revealed that 24.8% of the survey stakes were infested, and 10.7 ± 1.7 infested stakes were found per month on average. Three termite species, namely *Coptotermes formosanus* Shiraki, *Reticulitermes flaviceps* (Oshima), and *Odontotermes formosanus* (Shiraki), were identified, and *R. flaviceps* was the dominant species (46.2%). Stakes infested alternately by two or three species were observed at some distinct spots. Furthermore, two species simultaneously infested separate parts of the same stake. The foraging tunnels made by different populations were proposed to be very close or even overlapping in these spots. These hot spots (termite detection ≥ 5 times) were baited with first priority and considered risky spots for termite reinvasion. The termite bait station system was set up in September of 2012 for long-term termite monitoring and control. The success rates of the bait were 76.9% and 71.4% for *R. flaviceps* and *C. formosanus*, respectively. On average, 4.5 ± 0.9 months and 2.6 ± 0.6 bait tubes were required for complete control of *R. flaviceps*. Colony elimination of *C. formosanus* required 3.1 ± 0.7 months and 2.9 ± 0.8 bait tubes. Termites were not found in these termite elimination areas since then.

Key words: National Palace Museum, *Coptotermes formosanus* Shiraki, *Reticulitermes flaviceps* (Oshima), *Odontotermes formosanus* (Shiraki), termite elimination