

嘉義地區入侵紅火蟻 (*Solenopsis invicta*) 蟻巢之空間分布型與防治效果評估

黃莉欣^{1*} 陳昇寬² 黃守宏³ 林明瑩²
唐立正⁴ 楊正澤⁴ 蕭文鳳⁵ 蘇文瀛¹

- 1.臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所農藥應用組
- 2.臺南市 行政院農業委員會臺南區農業改良場作物環境課
- 3.嘉義市 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護系
- 4.臺中市 國立中興大學昆蟲學系
- 5.嘉義市 國立嘉義大學植物醫學系

(接受日期：2013年7月15日)

摘 要

黃莉欣*、陳昇寬、黃守宏、林明瑩、唐立正、楊正澤、蕭文鳳、蘇文瀛。
2013。嘉義地區入侵紅火蟻蟻巢之空間分布型與防治效果評估。植保會刊
55(3):57-78。

嘉義地區入侵紅火蟻 (*Solenopsis invicta* Buren) 於2003年10月被發現，2004年10月下旬才展開調查及防治工作。利用蟻巢密度的調查方法來評估防治成效，將發生嚴重區列為評估區，共計6個評估區，分別屬於水上鄉三界村與國姓村及中埔鄉金蘭村、隆興村、鹽館村、頂埔村等6個行政區。三界村及金蘭村評估區的調查初期，紅火蟻平均蟻巢數與其變異數之比值(s^2/x)顯著大於1，表示入侵紅火蟻蟻巢的空間分布呈聚集型且符合負二項分布。此結果顯示紅火蟻蟻巢的分布極為集中，因此防治策略或許著重在特定重點區域去加強餌劑的施灑，應可以獲得很好的防治成效。結果顯示隨著防治次數的累加效果，蟻巢密度明顯減少，從2004年12月15日三界村的70個/樣區及金蘭村的84.7個/樣區，一年後分別降為2.9個及2.5個/樣區，其空間分布型也趨向於均勻化。2004-2008年歷經4年的積極防治，除金蘭村的防治率為96.26% 外，其他5個評估區之防治率均達100%。2007及2009年全面普查後，再利用GIS估計發生面積分別約為65

* 通訊作者。E-mail: lhhuang@tactri.gov.tw

及20 ha，遠小於2006年的650 ha，顯示防治成效極為顯著，也顯示利用評估樣區進行防治成效評估之結果可推續至嘉義地區全區之防治成效。

(關鍵詞：入侵紅火蟻、嘉義地區、空間分布型、防治效果)

緒 言

入侵紅火蟻 (red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren) 屬膜翅目 (Hymenoptera) 蟻科 (Formicidae)，家蟻亞科 (Myrmicinae)，原分布於南美洲巴拉那河流域^(5, 24)，其蟻群分工細密，喜群聚且攻擊性強，除對棲地環境之生物相具有威脅性^(11, 21, 26)外，也由於入侵紅火蟻的毒液中含有毒蛋白，民眾若被叮咬會產生紅腫膿泡的過敏現象，體質過敏者可能引起休克，甚至有致死的危險。入侵紅火蟻於1930年代入侵美國南方^(5, 24)，造成美國農業與環境安全上的問題。入侵紅火蟻在美國的發生範圍相當廣泛，至少已有14州發生，防治目標從撲滅計畫修正為以降低危害程度為主^(8, 9)。2001年入侵紅火蟻於紐西蘭邊境發現⁽⁸⁾，立即採取撲滅措施，目前已宣布撲滅^(3, 4)。澳洲也於2001年2月於布里斯班市 (Brisbane) 發現^(17, 18)，9月則在昆士蘭成立火蟻防治中心，推動撲滅計畫，迄今防治成效良好 (National Fire Ant Eradication Program, http://www.dpi.qld.gov.au/4790_4551.htm)。台灣則於2003年10月於桃園與嘉義地區發現入侵紅火蟻後，陸續有民眾被紅火蟻叮咬，引起社會各界的注意，行政院農業委員會防疫檢疫局旋即展開全國性調查，以掌握危害區域，並依據美國核准上市的

餌劑，緊急進口百利普芬餌劑、芬普尼餌劑、賜諾殺餌劑，進行緊急防治，期望能在最短時間內控制入侵紅火蟻的蔓延。

入侵紅火蟻為土棲性且具社會性的昆蟲，以群落 (colony) 方式形成明顯的蟻巢為其特徵，每一蟻巢有可能由單一蟻后或多蟻后所組成⁽²⁴⁾，而每個蟻巢內工蟻數量則與蟻巢年齡及大小有關。Markin *et al.*⁽¹⁶⁾觀察單一蟻巢的生長發育，結果指出，90日齡的蟻巢其直徑約3-7 cm，高約5-7 cm，大約有218隻工蟻，未發現生殖蟻；1年齡的蟻巢直徑大於18 cm，約有11,000隻工蟻，並可發現新的生殖蟻，而3年齡的蟻巢高約25-30 cm，直徑為40-62 cm，其工蟻數則在50,000隻以上，然而，Markin *et al.*⁽¹⁶⁾的結論顯示蟻巢大小與年齡並沒有明顯的相關性存在。此外，也有學者利用帶狀穿越法 (belt transects)^(19, 20)及圓形樣區法 (circular plots)^(2, 6)來估計單位面積蟻巢密度，Forbets *et al.*⁽¹⁰⁾提出帶狀穿越法及距離取樣法 (distance sampling) 所估計的蟻巢密度與全面計數法 (complete counts) 間並無顯著差異，以帶狀穿越法取樣估計的準確度 (accuracy) 為89.9-100%。帶狀穿越法主要是進行大面積的調查，以瞭解紅火蟻的分布及發生狀態^(19, 20)；圓形小區法除可調查小區域範圍內紅火蟻蟻巢的發生數量⁽²⁾，也可以作為餌劑防治

效果評估用⁽⁶⁾。

入侵紅火蟻為台灣新入侵種，並無防治前例可依循，僅能參考美國及澳洲的防治方法，以餌劑為主要防治手段，而防治效果之評估多以活動蟻巢數之增減作為評估的指標^(7, 22)，也有以活動等級者^(6, 12, 15)。Hung *et al.*⁽¹³⁾則以陷阱法(pitfall trap)將捕獲紅火蟻的數量作為評估指標。由於入侵紅火蟻具社會行為與過去農作物疫病蟲害防治方法不同，評估方法也需作調整，本研究則以單位面積之活動蟻巢數的增減作為防治成效的評估指標。本研究先以樣方取樣法(quadrat sampling method)了解紅火蟻在防治評估區內之空間分布型，再估算最適取樣數，進行取樣，以取得較可靠的蟻巢密度估值，另以樣區(plot)為單位調查樣區內紅火蟻蟻巢數，以評估嘉義地區入侵紅火蟻發生區內之防治效果，同時也可以提供入侵紅火蟻田間防治效果評估的參考。

材料與方法

一、防治餌劑種類

嘉義地區於2004年11月開始進行施灑餌劑的防治工作，至2006年12月其防治範圍約1,100 ha，一年以施藥4次為原則。施用的藥劑種類有賜諾殺、芬普尼及百利普芬三種餌劑，其中以百利普芬餌劑為主要防治藥劑。2007-2009年依紅火蟻的發生密度分為1年防治4次的特別防治區及防治2次的一般防治區，施藥種類為百利普芬，特別防治區則百利普芬與因得克餌劑交互施用。

二、防治效果評估區之劃設

2004-2006年估算嘉義地區入侵紅火蟻發生面積約650 ha⁽¹⁾，以發生面積較廣且嚴重之區域來劃設防治效果評估區。因現地農作環境及入侵紅火蟻之發生狀態的不同，將防治效果評估區分三階段來執行。第一階段為入侵紅火蟻發生最嚴重的時期，期間自2004年12月至2006年1月，此階段選定水上鄉三界村約14 ha農田及中埔鄉金蘭村約18 ha農田，進行防治效果評估；第二階段為2006年3月至2007年7月，評估區除第一階段二村外，再增加水上鄉國姓村及中埔鄉隆興村二村；第三階段於2007年7-9月普查後，以發生密度較高的中埔鄉金蘭村、頂埔村及鹽館村三村為防治效果評估區，調查期間為2007年10月至2009年3月。

三、取樣調查方法

1. 樣方 (quadrat) 取樣調查

利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS) (ArcGIS 9.3, Environmental Systems Research Institute, Inc.)工作站平台套疊空照圖後，將水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村之評估區依面積及現地環境分別分為7及6樣區(plot)，由於紅火蟻為土棲性昆蟲，故每樣區內採樣方取樣方法進行取樣調查。樣方之選取係在調查開始前於樣區內依現地環境及所需樣方數以目視方式選取設置調查的樣方區域，調查之樣方則是利用繩索拉二條平行線，調查繩索內活動蟻巢數，並以全球定位系統(Global Positioning

System, GPS)定位該四頂點，以取得實際調查樣方的位置。考量統計上的精確度及現地環境操作的方便性與合理性，故每一樣方大小設為5 m x 5 m。利用地理資訊系統，依航照圖之圖層及面積大小規劃樣方數。

2. 樣區(plot) 取樣調查

將防治效果評估區依面積大小、地貌及調查人員組數劃設不同樣區數，利用地理資訊系統規劃樣區範圍，三界村分為7個樣區，金蘭村為6個樣區，各樣區位置及面積如圖一所示。再以徒步方式於各樣區內目視調查活動蟻巢數，發現之蟻巢均以GPS定位，以掌握其發生之地理位置。

四、資料分析

1. 空間分布型的分析方法

(1) s^2/\bar{x} 分散指數：樣本均方(s^2)與樣本平均(\bar{x})之比值是最簡單且最基本的空間分散指數計算式，當比值等於1時，該族群在空間上的分布屬逢機型，大於1為聚集型，小於1為均勻型分布。

(2) 負二項分布型：分析方法是利用 Ecological Methodology Program (V 7.2, 2011)進行分析， k 值的計算是以最大概似估計法估計，並進行樣方取樣數估算，估算式為

$$n = \frac{(100t_\alpha)^2}{r^2} \left(\frac{1}{\bar{x}} + \frac{1}{k} \right) \quad (\text{eq. 1})$$

n = sample size required

t_α = Student's t-value for $n-1$ degrees of freedom for α probability

\bar{x} = estimated mean of count

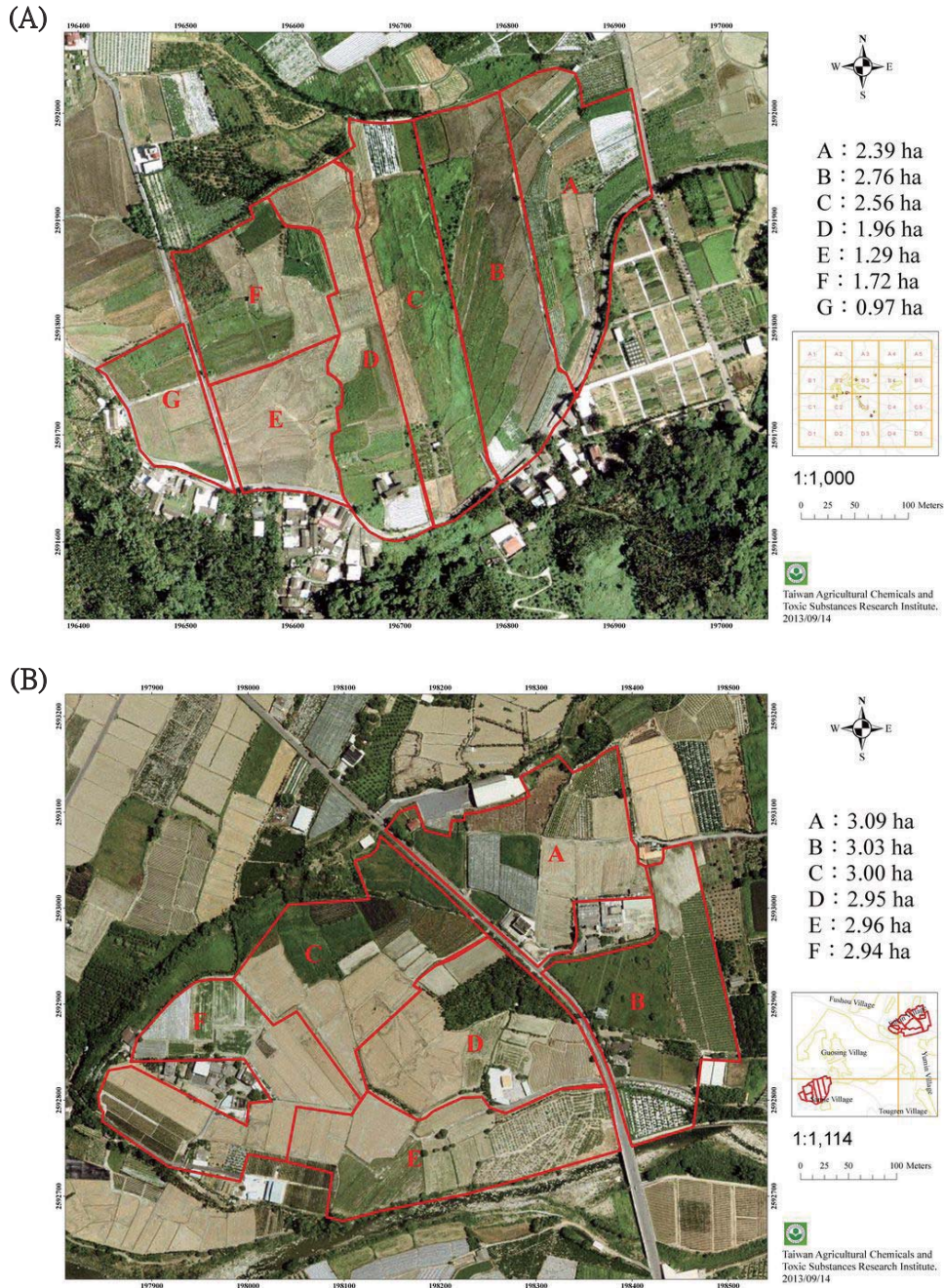
k = estimated negative binomial exponent

r = desired level of error

(3) Lloyd's mean crowding, m^* ：由於個體間因相互干擾或競爭的關係，有相互排擠的現象，故有平均擁擠度(mean crowding)的學說，其計算式為 $x^* = \bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1$ ，並提出以mean crowding與平均數的比值($\frac{x^*}{\bar{x}}$)作為空間分布指數，是為聚集指數(index of patchiness)。當比值大於1，表示聚集型分布，比值等於1表逢機型，小於1則表示均勻型分布。

(4) Iwao's m^*-m regression：迴歸式為 $m^* = \alpha + \beta m$ ，以斜率值(β)作為空間分布型判別指標，當斜率值大於1，表示該族群的分布屬聚集型，小於1表均勻型，等於1表示逢機型分布；截距值(α)可用來觀察個體間是聚集或排斥的現象，當截距值等於0，表示族群在空間上的組成單位是個體，當值大於0表示族群的組成單位是以聚落(colony)方式組成，若值小於0表示個體間具有排斥作用。

(5) Taylor's power law：樣本平均數與均方之間是呈power law的函數關係，即 $s^2 = a\bar{x}^b$ ，經log轉換後，呈直線迴歸模式 $\log(s^2) = \log(a) + b\log(\bar{x})$ ，其中b值為分散指數。當b值大於1，表示



圖一、2004-2005年嘉義縣水上鄉三界村(A)及中埔鄉金蘭村(B)入侵紅火蟻防治效果評估區之樣區配置圖。

Fig. 1. Aerial photographs of sampling plots for evaluation of red imported fire ant control efficacy in Sanjie Village, Shueishang Township (A) and Jinlan Village, Zhongpu Township (B), Chiayi from 2004 to 2005.

- 該族群的分布屬聚集型，小於1表示均勻型，等於1表示逢機型分布。
2. 平均蟻巢數與變異數計算、Iwao's m^*-m regression與Taylor's power law及統計檢定分析則以Statistica 9.0 (StatSoft, Inc., 2010) 進行統計分析。

結 果

取樣方法及空間分布型

1. 樣方取樣法

2004年嘉義地區發生入侵紅火蟻的區域以農地為主，於同年10月底開始採取防治措施，此時正進入休耕期，田區內處處可見明顯的蟻丘，由於入侵紅火蟻屬土棲性之社會性昆蟲，故採用樣方取樣法來估計蟻巢密度。

嘉義地區入侵紅火蟻工作團隊於2004年10月中旬成立，爲了儘速控制紅火蟻的密度，立即於10月底至11月中旬採取二階段式的防治工作，先施灑餌劑(賜諾殺、芬普尼及百利普芬)，2週後再以85% 加保利可濕性粉劑1000倍稀釋液灌注獨立蟻巢。由於需要迅速執行緊急防治工作，且定界調查工作尙未完成，導致無法取得防治前發生區域內紅火蟻的蟻巢密度，故第一次防治效果評估調查於二階段防治後方能進行。2004年11月26日進行第一次防治效果的調查，僅以水上鄉三界村約14 ha農田設爲評估區(該區域爲最早通報的發生區域)，並劃分爲7個樣區(plot)。每樣區內再以5 m x 5 m爲取樣樣方進行調查，每樣區取10個樣方，共調查70個樣方，記錄每樣方內活動蟻巢數。第一次調查結果顯示平均活動蟻巢數有1.16個/樣方，變異

數(s^2)爲2.25，變異數與平均值(s^2/\bar{x})的比值爲1.94，經Chi-square 檢定結果，與 $s^2/\bar{x}=1$ 有顯著性差異存在($\chi^2=134.185$, $df=69$, $p=0.0000$)，表示紅火蟻在三界村14 ha農地上的空間分布型爲非逢機型，由於 $s^2/\bar{x} > 1$ 故爲聚集型。進一步檢定是否符合負二項分布，經Chi-square適合度檢定是符合負二項分布($\chi^2=1.235$, $df=2$, $p=0.541$)， k 值爲1.313。爲能準確估計單位面積之蟻巢密度，再利用負二項分布的 k 值代入取樣數估算式(eq. 1)中，估算取樣數。當容忍誤差爲15%時，取樣數需280個樣方，容忍誤差爲20%時，取樣數則爲158個。基於地理環境、人力與時間，將樣區面積約爲3 ha者規劃取25個樣方，1-2 ha者取20個樣方，小於1 ha者則取10個樣方。因此，2004年12月15日評估調查時，水上鄉三界村評估區之取樣數分別爲A-C樣區各取25個樣方(面積約3 ha)，D-F樣區面積在2 ha以下取20個樣方，G樣區面積約0.9 ha僅取10個樣方，共計取樣數爲145個樣方。本次調查再加入中埔鄉金蘭村約18 ha農田，共劃設6個樣區，每樣區約3 ha，各取25樣方，共取150個樣方(表一)。然而，2005年2月起陸續有水稻栽植，因而影響樣方的取樣，三界村於第四次調查時僅能取109個樣方。表一結果顯示，2004年12月調查時二評估區的平均蟻巢數爲3.4個/樣方，蟻巢數則隨時間逐漸減少，各樣方內蟻巢數的變異性也大(s^2 爲3.94 - 26.64)，使得 s^2/\bar{x} 的比值均大於1，顯示紅火蟻蟻巢在評估區內的空間分布型是呈聚集型分布。再以負二項分布型分析之，三界村4次調查之 k 值分

表一、嘉義縣水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村防治評估區以樣方取樣法估算入侵紅火蟻平均活動蟻巢數及變異數

Table 1. The means and variances of red imported fire ant active mounds in sampling plots of Sanjie Village, Shueishang Township and Jinlan Village, Zhongpu Township in Chiayi using quadrat sampling method

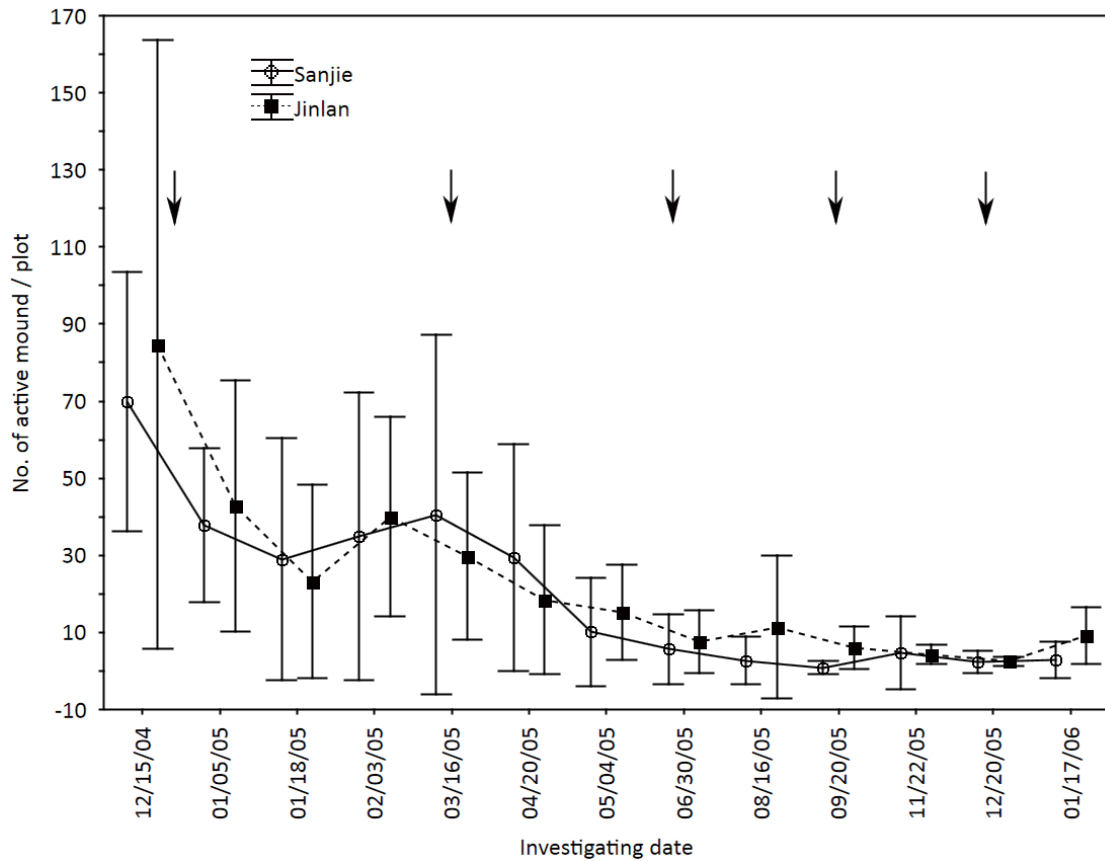
Investigating date	No. of quadrat ¹⁾	\bar{x}	s^2	s^2/\bar{x}	p -value for s^2/\bar{x}	Negative Binomial k ²⁾	p -value of χ^2 for NBD ³⁾	95% Confidence limits	
								Lower	Upper
<u>Sanjie</u>									
12/15/2004	145	3.38	14.49	4.29	<0.000	0.924	0.877	2.75	4.01
01/05/2005	145	1.89	4.60	2.43	<0.000	0.923	0.027	1.53	2.25
01/18/2005	145	1.40	6.26	4.47	<0.000	0.234	0.084	0.99	1.81
02/03/2005	109	1.54	4.29	2.78	<0.000	0.499	0.032	1.15	1.93
<u>Jinlan</u>									
12/15/2004	150	3.39	26.64	7.87	<0.000	0.344	0.185	2.55	4.22
01/05/2005	150	1.71	6.61	3.86	<0.000	0.332	0.007	1.30	2.13
01/18/2005	150	0.93	3.94	4.26	<0.000	0.235	0.919	0.61	1.25
02/03/2005	150	1.60	14.19	8.87	<0.000	0.197	0.711	0.99	2.21

¹⁾quadrat size: 5 m x 5 m²⁾The negative binomial k was obtained by using maximum-likelihood method.³⁾Null hypothesis is negative binomial distribution.

別為0.924、0.923、0.234及0.499，僅第一次及第三次調查的結果符合負二項分布型，而金蘭村的 k 值較三界村為小，分別為0.344、0.332、0.235及0.197，僅第二次的調查結果呈非負二項分布型。此結果顯示紅火蟻的空間分布是呈聚集型分布。

2. 樣區 (plot) 取樣法

嘉義地區發生入侵紅火蟻的地區主要為農地，且部分地區為水稻栽培區，於水稻栽培期間並不適合以樣方取樣法來估計蟻巢密度，故另以樣區為取樣單位，調查每一樣區內蟻巢數，以瞭解紅火蟻在防治評估區內的分布狀態。2004年12月15日第一次調查時三界村及金蘭村每一樣區平均活動蟻巢數分別為70個

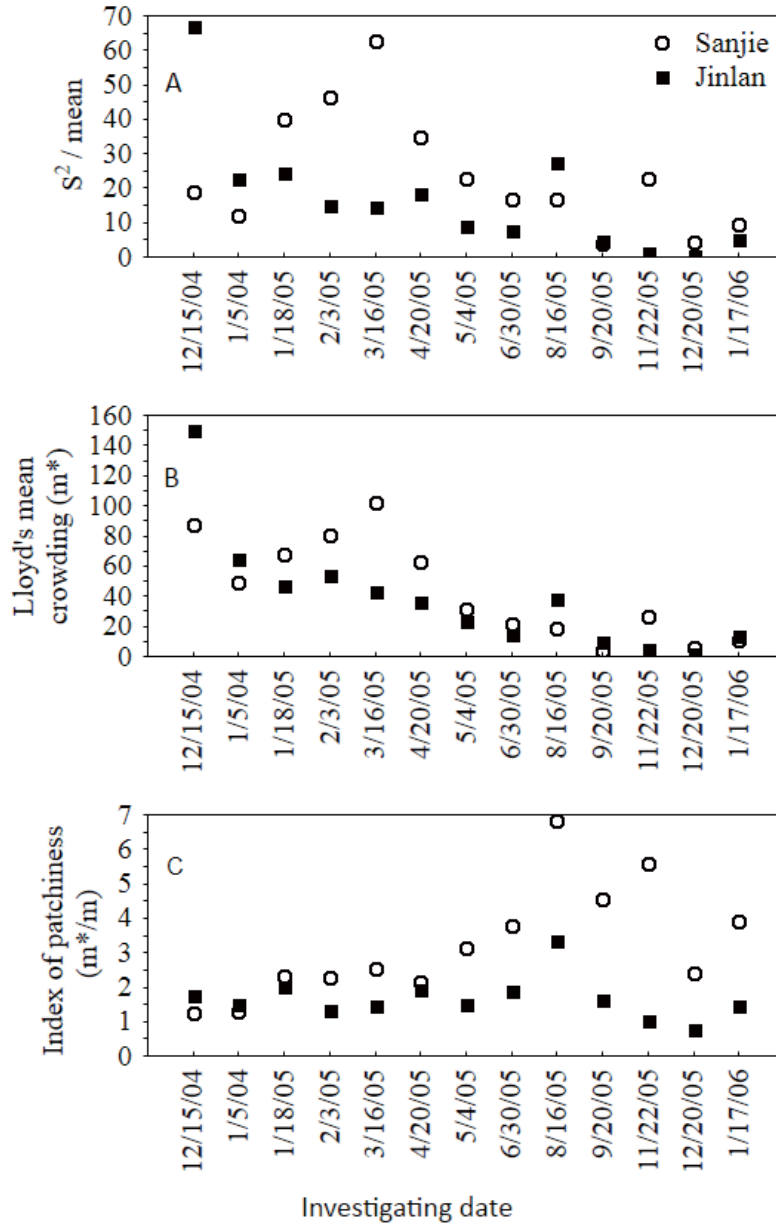


圖二、2004年12月-2006年1月嘉義縣水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村防治評估區入侵紅火蟻平均活動蟻巢數之變化。箭頭表示施藥時間。

Fig. 2. Fluctuation of number of red imported fire ant active mound in sampling plots of Sanjie Village, Shueishang Township and Jinlan Village, Zhongpu Township, Chiayi from Dec. 2004 to Jan. 2006. Arrows denoted application date. The vertical bars denote 95% confidence intervals.

(95% CI 為36.4-103.6個)及85個(95% CI 為5.7-163.6個)，其95% 信賴區間最大值與最小值分別相差67.2及157.9個蟻巢，顯示紅火蟻蟻巢的分布極不均勻，導致變異性極大。隨著防治次數的累加效果，活動蟻巢數逐漸降低，而95% 信賴區間範圍也逐漸縮小(圖二)。從 s^2/\bar{x} 隨時間的變化圖也可明顯看出其比

值逐漸變小(圖三，A)，顯示紅火蟻蟻巢的分布有呈均勻性分布的趨勢。就平均擁擠度 (Lloyd's mean crowding) 來看，水上鄉三界村的平均擁擠度稍高於中埔鄉金蘭村，隨時間的變化其平均擁擠度漸趨緩和(圖三，B)；依index of patchiness 的變化圖(圖三，C)顯示，紅火蟻在三界村及金蘭村的分布形式仍屬於聚集型，



圖三、2004年12月-2006年1月入侵紅火蟻活動蟻巢在嘉義縣水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村防治評估區內之空間分散指數隨時間的變化。A: s^2/mean ; B: Lloyd's mean crowding ; C: Index of patchiness。

Fig. 3. Fluctuation of dispersion indexes of red imported fire ant active mound in sampling plots of Sanjie Village, Shueishang Township and Jinlan Village, Zhongpu Township, Chiayi from Dec. 2004 to Jan. 2006. A: s^2/mean ; B: Lloyd's mean crowding ; C: Index of patchiness.

表二、2004-2005年嘉義縣水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村防治評估區內入侵紅火蟻活動蟻巢之Iwao's mean crowding regression及Taylor's power law的係數值

Table 2. Parameters of Iwao's mean crowding regression and Taylor's power law of active mounds of red imported fire ant in sampling plots of Sanjie Village, Shueishang Township and Jinlan Village, Zhongpu Township in Chiayi from 2004 to 2005

	n	Iwao's mean crowding regression				Taylor's power law			
		α	β	r	p	log(a)	b	r	p
Sanjie	13	14.67 (6.31) ¹⁾	1.40 (0.22)	0.792	<0.000	1.85 (0.32)	1.45* (0.12)	0.929	<0.000
Jinlan	13	0.39 (3.43)	1.68* ²⁾ (0.11)	0.956	<0.000	-0.978 (0.55)	2.19* (0.19)	0.922	<0.000

$t_{12, 0.05} = 2.179$

¹⁾Standard error is in parentheses.

²⁾* denotes significant difference in comparison with $\beta=1$ and $b=1$ by Student-t test at $\alpha=0.05$.

而三界村index of patchiness值則稍高於金蘭村。以Iwao's m^*-m regression 及 Taylor's power law二種方法分析其空間分布型式之結果列於表二。三界村Iwao's m^*-m regression的 β 值為1.40，大於1，但經Student's t-test ($\alpha=0.05$) 檢定與 $\beta=1$ 無顯著差異，故呈逢機型分布；金蘭村的 β 值為1.68，經Student's t-test檢定與 $\beta=1$ 有顯著性差異，故呈聚集型分布。以Taylor's power law的分析結果，三界村及金蘭村的b值分別為1.45及2.19，均顯著大於1，顯示紅火蟻在這二村的空間分布型均屬聚集分布。

防治效果評估

1. 第一階段評估區

爲了能確實追蹤防治成果，自2004年12月起，凡施藥前及後均進行評估區內紅火蟻發生密度的調查。2004年12月至2005年12月將水上鄉三界村約14 ha農田及中埔鄉金蘭村約18 ha農田設爲防治效果評估區，其中三界村分爲7樣區，金蘭村爲6樣區，調查樣區內活動蟻巢數。第二次餌劑撒佈於2004年12月16日展開，防治前調查則於12月15日進行，並以此次的調查結果作爲基準，以計算防治率。第一次調查時三界村每樣區平均蟻巢數爲70個，最小值爲17個，最多爲115個，而金蘭村最少有9個，最高可達214個，平均爲84.7個蟻巢。防治後第一次 (01/05/2005) 調查結果顯示三界村及金蘭村評估區的蟻巢數均降低，而三

表三、2004-2006年嘉義水上鄉三界村及中埔鄉金蘭村防治效果評估區內入侵紅火蟻餌劑防治前後平均活動蟻巢數及防治率

Table 3. The means of red imported fire ant active mounds and control rate before/after bait application in sampling plots of Sanjie Village, Shueishang Township and Jinlan Village, Zhongpu Township, Chiayi County from Dec. 2004 to Jan. 2006

Investigating date (Application frequency)	Sanjie				Jinlan				t-value for two locations (<i>p</i> -value)
	Plot (n)	Mean (min., max.)	% Control rate ³⁾	t-value for before/after application (<i>p</i> -value)	Plot (n)	Mean (min., max.)	% Control rate	t-value for before/after application (<i>p</i>)	
12/15/04 (before 2 nd)	7	70.0 (17, 115)	---	---	6	84.7 (9, 214)	---	---	-0.459 (0.655)
01/05/05 (after 2 nd)	7	37.9* ¹⁾ (12, 75)	45.9	2.876 (0.028)	6	42.8 (6, 86)	49.4	1.926 (0.112)	-0.340 (0.740)
01/18/05 (after 2 nd)	7	29.0* (0, 85)	58.6	3.353 (0.015)	6	23.2* (2, 65)	72.7	2.897 (0.034)	0.351 (0.732)
02/03/05 (after 2 nd)	7	35.0 (1, 117)	50.0	2.204 (0.070)	6	40.0 (3, 64)	52.8	1.783 (0.135)	-0.264 (0.797)
03/16/05 (before 3 rd)	7	40.6 (6, 120)	42.0	1.540 (0.175)	6	29.8 (6, 65)	64.8	1.851 (0.123)	0.485 (0.637)
04/20/05 (after 3 rd)	7	29.4* (3, 79)	58.0	2.561 (0.043)	6	18.5 (1, 48)	78.2	2.180 (0.081)	0.736 (0.477)
05/04/05 (after 3 rd)	7	10.1* (1, 43)	85.5	4.203 (0.006)	6	15.3 (2, 32)	81.9	2.244 (0.075)	-0.681 (0.510)
06/30/05 (before 4 th)	7	5.7* (0, 22)	91.8	4.969 (0.003)	6	7.7 (1, 20)	91.0	2.558 (0.051)	-0.393 (0.702)
08/16/05 (after 4 th)	7	2.7* (0, 18)	96.1	4.852 (0.003)	6	11.3* (1, 46)	86.6	2.889 (0.034)	-1.199 (0.256)
09/20/05 (before 5 th)	7	0.9* (0, 5)	98.8	5.055 (0.002)	6	6.0* (0, 15)	92.9	2.732 (0.041)	-2.402** ²⁾ (0.035)

表三(續)
Table 3. (Continue)

Investigating date (Application frequency)	Sanjie				Jinlan				t-value for two locations (<i>p</i> -value)
	Plot (n)	Mean (min., max.)	% Control rate ³⁾	t-value for before/after application (<i>p</i> -value)	Plot (n)	Mean (min., max.)	% Control rate	t-value for before/after application (<i>p</i>)	
11/22/05 (after 5 th)	7	4.7* (0, 28)	93.3	4.574 (0.004)	6	4.3* (2, 8)	94.9	2.590 (0.049)	0.088 (0.931)
12/20/05 (before 6 th)	7	2.3* (0, 9)	96.7	4.795 (0.003)	6	2.5* (1, 4)	97.1	2.663 (0.045)	-0.161 (0.875)
01/17/06 (after 6 th)	7	2.9* (0, 14)	95.9	4.785 (0.003)	6	9.2 (1, 20)	89.2	2.341 (0.066)	-1.886 (0.086)

¹⁾* denotes significant different in before-and-after-application comparison by Student's t-test at $\alpha = 0.05$.

²⁾** denotes significant different in comparison between two locations by Student's t-test at $\alpha = 0.05$.

³⁾% control rate = $1 - \frac{\text{no. of active ant mound in current investigation}}{\text{no. of active ant mound in first investigation}} \times 100$

界村防治後顯著低於防治前，金蘭村則無顯著性差異，二評估區的防治率分別為45.9及49.4%，均小於50%，再經二次的防治，於2005年6月30日的調查結果顯示三界村及金蘭村評估區的蟻巢數明顯減少，分別為5.7個/樣區及7.7個/樣區，防治率也達到90%，之後蟻巢數雖有增減變化（圖二），但防治率仍可維持在90%以上（表三），顯示，經6次的餌劑防治，紅火蟻的密度已獲得控制。

2. 第二階段評估區

第二階段評估區域除第一階段二處評估區外，再增加水上鄉的國姓村及中埔鄉隆興村，共計有四處評估區，每一

評估區重新規劃約9公頃農田，再分成3個樣區，每樣區約3 ha，調查樣區內活動蟻巢數。調查期間為2006年3月至2007年7月。2006年因經常性下雨等氣候因素，防治時程及防治效果評估調查時間均受到影響，調查時間則改為防治後1-2個月調查1次。2006年3月3日為防治前調查，至2007年7月共防治4次，防治效果評估調查共執行7次。水上鄉三界村及國姓村於第三次調查時均未發現蟻巢，之後連續調查4次，也均未發現任何蟻巢，其防治率為100%。中埔鄉隆興村第一次調查時，平均蟻巢數為4個/樣區，隨著防治的累積效果，至2007年7月調查時，並未發現蟻巢。金蘭村蟻巢密度的

表四、2006年3月至2007年7月嘉義水上鄉三界村、國姓村及中埔鄉金蘭村、隆興村入侵紅火蟻防治效果評估區平均活動蟻巢數及防治率

Table 4. The means of red imported fire ant active mound and control rate in sampling plots of Sanjie Village, Guosing Village, Shueishang Township, Jinlan Village, Longsing Village, Zhongpu Township, Chiayi from Mar. 2006 to Jul. 2007

Investigating date	Plot (n)	Sanjie		Guosing		Jinlan		Longsing	
		Mean (S. E.)	% Control rate ¹⁾	Mean (S. E.)	% Control rate	Mean (S. E.)	% Control rate	Mean (S. E.)	% Control rate
03/03/2006	3	3.3 (1.7)	---	1.0 (1.0)	---	4.0 (2.1)	---	4.0 (1.7)	---
05/02/2006	3	0.3 (0.3)	90.9	0.3 (0.3)	70.0	1.0 (0.6)	75.0	1.0 (0.6)	75.0
08/15/2006	3	0	100	0	100	3.3 (2.3)	17.5	0	100
11/14/2006	3	0	100	0	100	8.7 (8.7)	0	0.7 (0.7)	82.5
01/25/2007	3	0	100	0	100	7.3 (6.8)	0	0	100
04/12/2007	3	0	100	0	100	0.3 (0.3)	92.5	0.3 (0.3)	92.5
07/03/2007	3	0	100	0	100	3.3 (3.3)	17.5	0	100

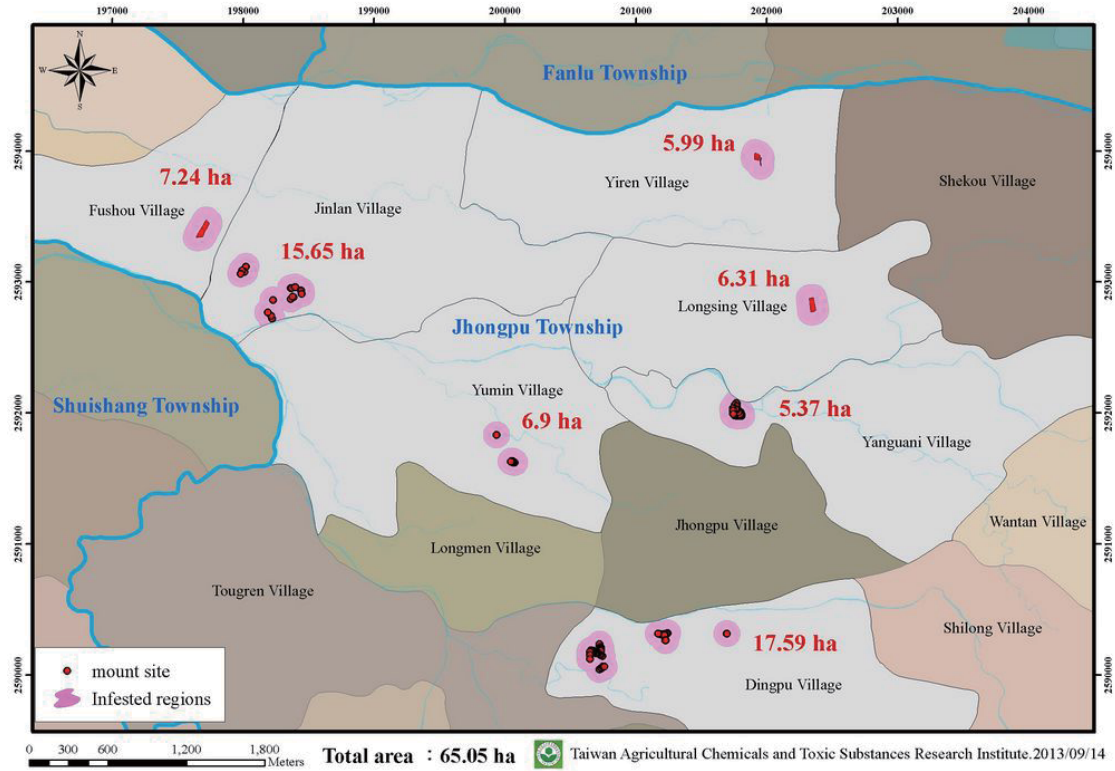
$$^1)\% \text{ control rate} = 1 - \frac{\text{no. of active ant mound in current investigation}}{\text{no. of active ant mound in first investigation}} \times 100$$

變化並未因防治工作的執行，而獲得控制(表四)，顯示金蘭村的防治工作應再加強。

3. 第三階段評估區

嘉義地區入侵紅火蟻在全面防治下，至2007年7月止原先發生嚴重的水上

鄉三界村、國姓村及中埔鄉金蘭村、隆興村的紅火蟻密度明顯減少，為驗證防治效果評估之取樣評估區能否代表嘉義地區入侵紅火蟻的防治效果，於2007年6 - 7月由防治大隊進行全面普查，調查面積約841 ha，結果僅部分區域有零星的發生，包括中埔鄉金蘭村、義仁村、



圖四、嘉義地區入侵紅火蟻2007年6月普查後發生區域與面積。

Fig. 4. Infested regions and areas of red imported fire ant in Chiayi after survey in June, 2007.

裕民村、隆興村、富收村、龍門村及新增二村分別為鹽館村及頂埔村(圖四)，估計發生面積約為65 ha，顯示以取樣評估區的評估結果可以推論至嘉義地區入侵紅火蟻的防治效果。為了繼續掌握防治成效，重新劃設防治效果評估區。將發生密度較高的中埔鄉金蘭村及新發生的鹽館村與頂埔村設為防治效果評估區，評估方式以1-2個月調查1次。第三階段調查時間為2007年10月至2009年3月，其間因下雨或颱風因素部分時間無法如期調查，故僅調查9次。三個評估區第一次調查的平均蟻巢數分別是金蘭

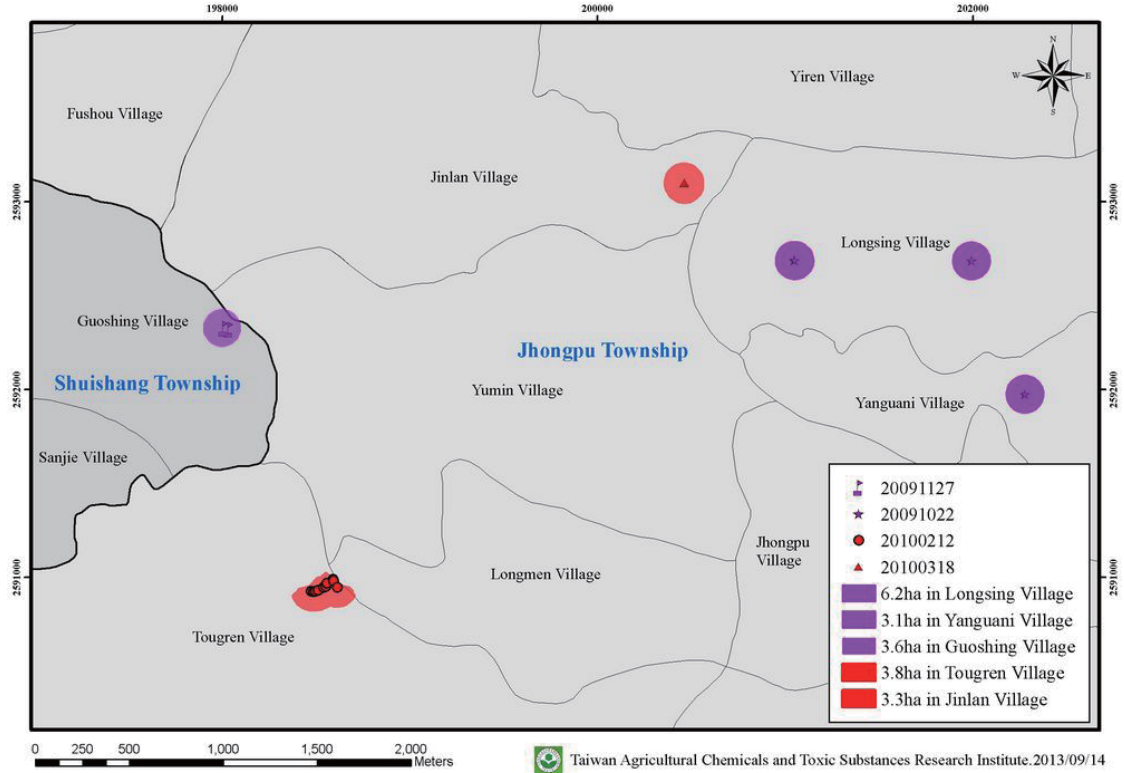
村18.7個/樣區，頂埔村13個/樣區，鹽館村20個/樣區；第二次調查時，蟻巢數均增加至31-41個/樣區，隨後蟻巢數略有增減，至2008年7月調查時，頂埔村的防治率達85%，鹽館村高達98%，然而，金蘭村的防治率並沒有明顯的提升，直至2008年11月調查時才有明顯的防治效果，防治率為96%。2009年1及3月2次的調查，三個評估區均呈現100%的防治率(表五)，顯示防治成效已達一定的水平。2009年11月普查結果發生面積約為20 ha(圖五)。

表五、2007年10月至2009年3月嘉義中埔鄉金蘭村、頂埔村及鹽館村入侵紅火蟻防治效果評估區平均活動蟻巢數及防治率

Table 5. The means of red imported fire ant active mound and control rate in sampling plots of Jinlan Village, Dingpu Village, and Yanguan Village, Jhongpu Township, Chiayi from Oct. 2007 to Mar. 2009

Investigating date	Plot (n)	Jinlan		Dingpu		Yanguan	
		Mean (S. E.)	% Control rate ¹⁾	Mean (S. E.)	% Control rate	Mean (S. E.)	% Control rate
10/02/2007	3	18.7 (9.7)	---	13.0 (6.1)	---	20.0 (17.6)	---
11/14/2007	3	40 (26.1)	0	31.0 (18.2)	0	41.3 (32.3)	0
01/15/2008	3	10.3 (3.8)	44.9	23.0 (9.3)	0	10.3 (10.3)	48.5
04/10/2008	3	12.0 (8.7)	35.8	34.3 (14.3)	0	2.3 (2.3)	88.5
07/22/2008	3	19.0 (14.7)	0	2.0 (1.1)	84.6	0.3 (0.3)	98.5
10/21/2008	3	0.7 (8.6)	96.3	0	100	0	100
11/18/2008	3	0.7 (0.7)	96.3	0	100	0	100
01/06/2009	3	0	100	0	100	0	100
03/17/2009	3	0	100	0	100	0	100

$$^1)\% \text{ control rate} = 1 - \frac{\text{no. of active ant mound in current investigation}}{\text{no. of active ant mound in first investigation}} \times 100$$



圖五、嘉義地區入侵紅火蟻2009年11月普查後發生區域及面積。

Fig. 5. Infested regions and areas of red imported fire ant in Chiayi after survey in November, 2009.

討 論

密度估計是為瞭解某棲所或某區域內存在某一種生物的數量，而取樣的目的是希望藉由少數的樣本估計，獲得準確的密度資料。取樣調查的方法有很多種^(14, 23)，樣方取樣法是常用的測量方法之一。樣方大小及形狀可能是影響取樣準確性的因素之一，一般而言，森林林木調查多採10 m x 10 m，而地被草本植物則多為1 m²⁽¹⁴⁾。入侵紅火蟻屬土棲性的昆蟲，調查區域多為耕作農地，礙於現地狀況，首先以樣方為取樣單位，

樣方大小採5 m x 5 m。2004年11月以水上鄉三界村14ha農田作為防治效果評估區，依地形概況分為7個樣區，共採70個樣方，其空間分布型呈聚集型且符合負二項分布，可見紅火蟻的分布甚為集中，此可能是調查期間為農田休耕期，蟻巢發生位置多位於休耕田區內，少數分布在田埂上。由此推論，如果在幾個重點發生的區域加強防治，應該可以獲得很好的防治成效。為能準確估計密度，利用負二項分布之 k 值代入公式，估算應調查的樣方數目為280個(容忍誤差為15%)及158個(容忍誤差為20%)。考

慮地理環境、人力與時間，參考三界村第一次估計之樣方取樣數，並以樣區面積大小來訂定取樣樣方數，樣區面積在3 ha以上取25個樣方，1-2 ha取20個樣方，1 ha以下則取10個樣方，故三界村評估區共取145個樣方，金蘭村為150個樣方，擬以此作為紅火蟻密度估計之取樣數。2005年2月3日調查時發現紅火蟻發生區內有部分地區開始種植水稻，影響取樣，遂改以樣區為取樣單位進行調查。嘉義地區發生紅火蟻的區域多在耕作田附近，不僅影響紅火蟻的棲息，也影響調查方法的擬定，由本研究結果顯示，紅火蟻之防治效果評估建議以樣區取樣法來調查較為合適。

2004年12月15日之結果顯示，三界村及金蘭村之活動蟻巢數分別為70個及85個/樣區；隨著防治次數累積的效果，2007年1月17日調查時，三界村評估區內蟻巢數明顯降至2.9個/樣區，防治率達95.9%；金蘭村評估區的防治效果較三界村不佳，但防治率也達89.2%。從每次調查的平均密度的95% 信賴區間值明顯縮小(圖二)的結果來看，顯示評估區內紅火蟻的密度明顯獲得控制，活動蟻巢的分布也趨向均勻性(圖三，A)。為了瞭解其他發生區的防治成果，再將水上鄉國姓村及中埔鄉隆興村各9公頃農田納入評估區，總計四個防治效果評估區。2004年10月底開始防治至2007年1月25日調查時，除金蘭村外，防治率均達100%。由於金蘭村從紅火蟻發現至2007年，其活動蟻巢密度均較三界村、國姓村及隆興村為高，而主要發生區域附近有高壓電塔，此可能是金蘭村為紅

火蟻發生熱點的因素之一，有需要加強防治。為能掌握嘉義地區入侵紅火蟻發生情形及驗證地面評估區的防治成效的結果能否作為嘉義地區防治成效的參考指標，2007年6-7月由防治大隊進行全面普查，除新發現的中埔鄉鹽館村及頂埔村與金蘭村發生較為嚴重外，中埔鄉富收村、義仁村、裕民村、和睦村、隆興村及龍門村僅零星發生，其活動蟻巢數均在3個以下。由此結果也顯示以部分評估區所取得的防治成效可以提供作為嘉義地區紅火蟻的防治成效的指標。嘉義地區從2004年10月-2007年12月經3年多的積極防治，其防治成效極為顯著，同時也將入侵紅火蟻對當地居民的騷擾降至最低。為了加速撲滅行動，將金蘭村、鹽館村及頂埔村列為加強防治區，一年後(2008年)，鹽館村及頂埔村已達完全防治的效果，但金蘭村則仍有殘存的蟻巢出現，至2009年其防治效果才達100%(表五)。此期間，偶有蟻巢被發現，可見仍有少數區域有可能是防治及偵察的死角，此也是完成撲滅行動最大的障礙。

入侵紅火蟻為外來入侵種，且具社會行為與過去農作物疫病蟲害防治方法不同，國內則參考美、澳等國的防治經驗，以化學藥劑之餌劑劑型為主要的防治手段，而防治效果評估國外多採用單位面積內活動蟻巢數之多寡作為評估的依據^(7, 22)，而調查方法有以帶狀穿越法(belt transects method)進行大面積調查^(20, 25)及以樣方取樣法(quadrat sampling method)調查樣區內活動蟻巢的數量⁽²²⁾；也有學者以工蟻數量多寡訂定活動等級

(12, 15)，以評估防治效果。本研究則以樣方及樣區二種取樣法調查，計算單位面積內活動蟻巢數作為評估的準則。嘉義地區入侵紅火蟻發生區域包括水上鄉3村(三界村、國姓村、南鄉村)、中埔鄉11村(金蘭村、龍門村、同仁村、隆興村、富收村、義仁村、裕民村、鹽館村、和美村、頂埔村、和睦村)及番路鄉內甕村共計約650 ha的發生面積⁽¹⁾，由於發生面積廣，故僅選取部分區域規劃為防治評估區進行防治效果評估。當防治效果評估區防治率達100%時，評估區外圍的紅火蟻發生區的民眾均表紅火蟻對人身及環境的騷擾已明顯改善。2007及2009年分別進行全面普查，以確認紅火蟻的發生狀態及分布，結果顯示僅剩少數區域有紅火蟻的發生，面積分別約65及20 ha，可見，以單位面積的活動蟻巢密度作為評估的依據，是可以明確反映出區域性紅火蟻的防治成效。

嘉義地區入侵紅火蟻以撲滅行動為防治目標，從防治效果評估結果也顯示防治率達100%，可進入解除列管的程序。然而，入侵紅火蟻以地底下為其活動棲所，又因人力、時間、地貌等因素，極難掌握其分布範圍，也因此偶有零星紅火蟻的出現。依調查結果推測，若有新發生點的通報，該新發生的蟻巢多屬非成熟型，若加強防治，均可在短時間內控制其發生。若要達成撲滅目標，除藉由當地民眾的協尋及通報外，長期偵察工作也是必要的任務之一。總而言之，撲滅行動將是一項相當艱鉅的工作。

謝 辭

本研究承行政院農業委員會動植物防疫檢疫局93農科-1.7.2-檢-B4、94-救助調整-檢-01、95-救助調整-檢-01、96-農發基金-植防-01、97-農發基金-植防-01計畫經費補助。本研究調查工作龐大且耗人力與時間，試驗期間蒙藥毒所王酪晴小姐、林美雀小姐、尹建盛先生、朱容君小姐，嘉義分所闕士凱先生、楊繡瑛小姐、施惠淇小姐，中興大學昆蟲系劉恒鍵先生、郭雅惠小姐，嘉義大學生物資源系林悅強先生、莊凱順先生、張閣宏先生等多位助理協助調查，得以取得大面積的蟻巢密度資料。另外，水上鄉農會黃國誠先生、蕭嘉斌先生、中埔鄉農會方洞德先生、陳建智先生及防治大隊隊員們積極用心地防治及普查工作，使得嘉義地區入侵紅火蟻的防治成效卓越。在此一併致謝。

引用文獻

1. 黃莉欣、尹建盛、陳昇寬、林明瑩、黃守宏、蘇文瀛。2009。GIS與GPS於嘉義地區入侵紅火蟻監測調查上的應用。pp. 103-120 In: 顏辰鳳 [ed.], 「地理資訊在植物防疫之應用」特刊。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局編印。台北。
2. Allen, C. R., Lutz, R. S., and Demarais, S. 1995. Red imported fire ant impacts on Northern Bobwhite populations. *Ecol. Appl.* 5: 632-638.
3. Anonymous. 2009. MAF Biosecurity

- New Zealand declares red imported fire ants eradicated from Whirinaki. [cited 2009 24 April]; Available from: <http://www.biosecurity.govt.nz/media/24-04-2009/declare-rifa-eradicated-from-whirinaki>.
4. Anonymous. 2010. Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta*. Available from: <http://www.biosecurity.govt.nz/pests/red-imported-fire-ant>.
 5. Callcott, A. M. A., and Collins, H. L. 1996. Invasion and range expansion of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918-1995. Fla. Entomol. 79: 240-251.
 6. Collins, H. L., and Callcott, A. M. A. 1998. Fipronil: an ultra-low-dose bait toxicant for control of red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). Fla. Entomol. 81: 407-415.
 7. Anonymous 2001. Imported fire ant management: Review of research/demonstration, field trials 1999-2000. S. Diffie and B. Sparks, [eds.]. Department of Entomology, The University of Georgia: Georgia. 118 pp.
 8. Drees, B. M., and Gold, R. E. 2003. Development of integrated pest management program for the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). J. Entomol. Sci. 38: 170-180.
 9. Drees, B. M., and Williams, D. F. 2002. Considerations for planning, implementing and evaluating a spot-eradication program for imported fire ants, in: Fire Ant Plan Fact Sheet. 4 pp.
 10. Forbes, A. R., Mueller, J. M., Mitchell, R. B., Dabbert, C. B., and Wester, D. B. 1998. Accuracy of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) mound density estimates, in Texas Imported Fire Ant Research and Management Project: Annual Progress Report Texas A&M University. p. 10 pp.
 11. Gotelli, N. J., and Arnett, A. E. 2000. Biogeographic effects of red fire ant invasion. Ecology Letters. 3: 257-261.
 12. Hu, X. P., and Song, D. L. 2007. Field trial of fire ant bait products for controlling fire ants. pp. 13-16. In: D. H. Oi [ed.], Proceedings of the 2007 Annual Imported Fire Ant Conference, Imported Fire Ant and Household Insects Research Unit, U.S. Dept. Agriculture, Agricultural Research Service, Center for Medical, Agricultural, and Veterinary Entomology, Gainesville, Florida, USA.
 13. Hung, Y. T., Lin, R. W., Yang, C. C., Wu, W. J., Shih, C. J., and Lin, C. C. 2006. A preliminary report on bait use to control the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) in Taiwan. Formosan Entomol. 26: 57-67.
 14. Krebs, C. J. 1999. Ecological methodology. 2nd ed, Addison Wesley Longman, Inc. 620 pp.
 15. Lofgren, C. S., and Williams, D. F. 1982. Avermectin B_{1a}: Highly potent inhibitor of reproduction by queens of

- the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). *J. Econ. Entomol.* 75: 798-803.
16. Markin, G. P., Dillier, J. H., and Collins, H. L. 1973. Growth and development of colonies of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 66: 803-808.
17. Moloney, S., and Vanderwoude, C. 2002. Red imported fire ants: A threat to eastern Australia's wildlife? *Ecol. Manag. Res.* 3: 167-175.
18. Natrass, R., and Vanderwoude, C. 2001. A preliminary investigation of the ecological effects of red imported fire ants (*Solenopsis invicta*) in Brisbane, Australia. *Ecol. Manag. Res.* 2: 220-223.
19. Porter, S. D., Bhatkar, A., Mulder, R., Vinson, S. B., and Clair, D. J. 1991. Distribution and density of polygyne fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in Texas. *J. Econ. Entomol.* 84: 866-874.
20. Porter, S. D., Fowler, H. G., and Mackay, W. P. 1992. Fire ant mound densities in the United States and Brazil. *J. Econ. Entomol.* 85: 1154-1161.
21. Porter, S. D., and Savignana, D. A. 1990. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology.* 71: 2095-2106.
22. Schofield, K. 2007. Evaluation of fipronil fire ant bait for the suppression of red imported fire ants, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera:Formicidae). 2007 Urban IPM Handbook, AgriLife Extension, Texas A&M University. 68-70.
23. Southwood, T. R. E., and Henderson, P. A. 2000. *Ecological methods*. 3rd ed., MA, Blackwell Science Ltd. 575 pp.
24. Vinson, S. B. 1997. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) spread, biology, and impact. *Am. Entomol.* 43: 23-39.
25. Vogt, J. T., Reed, J. T., and Brown, R. L. 2005. Timing bait applications for control of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in Mississippi: Efficacy and effects on non-target ants. *Int. J. Pest Manag.* 51: 121-130.
26. Wojcik, D. P., Allen, C. R., Brenner, R. J., Forsys, E. A., Jouvenaz, D. P., and Lutz, R. S. 2001. Red imported fire ants: impact on biodiversity. *Am. Entomol.* 47: 16-23.

ABSTRACT

Huang, L. H.^{1*}, Chen, S. K.², Huang, S. H.³, Lin, M. Y.², Tang, L. C.⁴, Yang, J. T.⁴, Hsiao, W. F.⁵, Su, W. Y.¹ 2013. Spatial Patterns of Ant Mounds and Evaluation of Control Efficacy for Red Imported Fire Ant in Chiayi. *Plant Prot. Bull.* 55(3): 57-78. (¹ Division of Pesticide Application, Taiwan Agriculture Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.; ²Division of Crop Environment, Tainan District Agriculture Research and Extension Station, Tainan, Taiwan, ROC; ³Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Station, Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan ROC.; ⁴Department of Entomology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC; ⁵Department of Plant Medicine, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan, ROC)

Red imported fire ants (RIFA, *Solenopsis invicta* Buren) were first found in Chiayi in October of 2003, and survey and control efforts were begun at the end of October 2004. In order to evaluate the efficacy of red imported fire ant control, a sampling method was used to investigate mound density, with the more dense areas inside infested regions assigned as sampling plots for evaluating the efficacy. Six sampling plots were selected; the plots belonged to six administration districts, including Sanjie Village and Guosing Village of Shueishang Township, as well as Jinlan Village, Longsing Village, Dingpu Village, and Yanguang Village of Jhongpu Township. In the early period of the RIFA survey at Sanjie Village and Jinlan Village, the variance-mean ratio was significantly larger than 1, which meant that the spatial pattern of the RIFA mounds showed clustering and fit a negative binomial distribution. These results indicated that the distribution of RIFA mounds is extremely concentrated; hence, a control strategy focusing on several key infested regions to enhance bait application might be able to obtain good control efficacy. RIFA mound density was significantly decreased due to the cumulative effects of frequent bait application. The number of RIFA mounds was 70 mounds/plot at Sanjie Village and 84.5 mounds/plot at Jinlan Village on December 15th, 2004. One year later, the number of RIFA mounds at the two villages had dropped to 2.9 and 2.5/plot, respectively, and the spatial pattern of the mounds also tended toward a regular distribution. After active control efforts over four years from 2004 to 2008, the control rate for five of the sampling plots reached 100%, while that of Jinlan Village was 96.26%. The results of surveys for all the infested regions in 2007 and 2009 showed that the total area of RIFA infestation was estimated by GIS to be about 65 ha in 2007 and 20 ha in 2009, which was far smaller than

the 650 ha estimated in 2006. The above results indicate that the performance of RIFA control efforts in Chiayi has been remarkable, and they also demonstrate that the efficacy of RIFA control in the sampling plots evaluated could be generalized to the control efficacy for all the infested regions in Chiayi.

(Key words: Red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, spatial pattern, control efficacy)

* Corresponding author. E-mail: lhuang@tactri.gov.tw