

六種殺蟲劑對三種土壤線蟲的影響

葉耀仁¹、蔡東纂²、陳珮臻^{2,3}

¹ 嘉義縣民雄工業區新生街 10 號 得榮生物科技股份有限公司

² 台中市國光路 250 號 國立中興大學植物病理學系

³ 聯絡作者，電子郵件：janetchen@nchu.edu.tw

接受日期：中華民國 101 年 2 月 1 日

摘要

葉耀仁、蔡東纂、陳珮臻. 2012. 六種殺蟲劑對三種土壤線蟲的影響. 植病會刊 21: 11-19.

本研究針對兩種不同寄生方式的植物寄生性線蟲南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita* Chitwood, 1949)、南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae* Zimmerman, 1898) 與一種土中常見的腐生性線蟲 (*Rhabditis* sp. Goodey)，測試田間最常施用 6 種不同類別的殺蟲劑種類：合成除蟲菊、有機磷劑、氨基甲酸鹽、沙蠶毒素類、農用抗生素及新菸鹼類，評估它們對非目標線蟲是否具有防治線蟲的潛力。結果顯示阿巴汀 (Abamectin) 和培丹 (Cartap) 對南方根瘤線蟲具有強烈毒殺能力，而阿巴汀與佈飛松 (Profenofos) 對南方根腐線蟲具有強烈毒殺能力，益達胺 (Imidacloprid) 對上述兩種植物寄生性線蟲接只具微弱毒殺能力。而對腐生性線蟲而言，阿巴汀、培丹及佈飛松具有強烈毒殺能力，丁基加保扶 (Carbosulfan) 和益達胺則皆呈現微弱毒殺能力。對於根瘤線蟲的卵孵化率，阿巴汀、培丹、及百滅寧 (Permethrin) 於 3 次試驗中出現兩次與對照組有顯著差異，抑制效果最好。對於南方根瘤二齡幼蟲侵染抑制的效果最為顯著的為阿巴汀和培丹，南方根腐線蟲則除此兩者外還有丁基加保扶亦可顯著抑制侵染。在盆鉢試驗中，結果顯示部份藥劑確實可抑制兩種測試植物寄生性線蟲族群、根瘤指數或是根腐指數，但效果不穩定，與實際有效防治門檻還有一些距離。

關鍵詞: 阿巴汀、丁基加保扶、培丹、益達胺、殺蟲劑、佈飛松、植物寄生性線蟲

緒言

防治植物線蟲病害的策略有許多種，殺線蟲劑 (nematicides) 因施用便利作用目標廣泛，為田間被用來防治線蟲病害的主要方法，但大量施用殺線蟲劑，植物病原線蟲容易產生抗藥性。林氏 (2004)⁽¹¹⁾ 發現在台灣中部地區的台中、彰化、南投及雲林的 10 個南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) 族群，會對一或多種的藥劑具有抗藥性，其中以抗加保伏 (carbofuran) 的族群最多，抗芬滅松 (phenamiphos) 族群則是最少。因為非燻蒸性殺線蟲劑的作用機制單一，要避免抗藥性產生，或許從目前殺蟲劑中，可以找到具有防治或降低植物寄生性線蟲族

群潛力的藥劑。

植物寄生性線蟲依其與寄主的關係可分為下列幾種寄生方式，例如南方根瘤線蟲 (*M. incognita*) 行內寄生固著性，南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 行內寄生遷移性。內寄生固著性線蟲只在特定的齡期侵入根系，移行至根系細胞誘導其特化成取食點，並於取食點固著，直至線蟲死亡為止⁽¹⁵⁾，因此施用殺線蟲藥劑時，對於此類線蟲只有在其侵入根系前才有機會與藥劑直接接觸，待線蟲侵入根系後，藥劑就需要經由植物體吸收後，才會作用到這類內寄生固著性的線蟲。內寄生遷移性線蟲終其一生維持蠕蟲狀，有時候會離開寄主，它們通常取食皮層細胞，根系內其它細胞也因為移行而被破壞⁽¹⁵⁾，其生活史中大多數

時間都會被植物體吸收到的藥劑所影響，但蟲體離開根系便有機會讓藥劑直接影響。田間除了植物寄生性線蟲外，也有行腐生的腐生性線蟲，此類線蟲並不會和植物形成寄生的關係，但也會受環境中的藥劑所影響。Klemens 和 Gerard (2006)⁽⁹⁾就曾報導，食細菌性的腐生線蟲 *Chiloplacus* spp. 在土中的族群量與鎳的含量呈明顯的負相關。

田間為害作物的害物 (pests)，除去嚙齒目或大型動物外，便以昆蟲的分類地位與線蟲最為相近，同為動物界之害物。田間最常施用的殺蟲劑種類約有下列幾種⁽¹⁰⁾：合成除蟲菊 (pyrethroid)、有機磷劑 (organophosphate)、氨基甲酸鹽 (carbamate)、沙蠶毒素類 (Nereistoxin)、農用抗生素 (antibiotics) 及新菸鹼類 (neonicotine)。其作用機制皆針對昆蟲的神經系統，但作用點則略有不同。前人研究缺乏有系統性地探討非殺線蟲藥劑對植物寄生性線蟲的影響，也未曾考慮到線蟲所行的寄生方式，會造成它們與藥劑接觸的方式及蟲齡階段不同。本研究便針對兩種不同寄生方式的植物寄生性線蟲，根瘤線蟲 (*M. incognita*) 及根腐線蟲 (*P. coffeae*) 與一種土中常見的腐生性線蟲 (*Rhabditis* sp. Goodey)，選用 6 種不同類別的殺蟲劑，來評估其成為防治線蟲藥劑的潛力。

材料與方法

供試線蟲之來源及培養

(一) 南方根瘤線蟲之來源及培養

自苗栗大湖地區感染根瘤線蟲的苦瓜田採集病株根系，於實驗室依 Hartman & Sasser (1985)⁽⁵⁾之方法觀察根瘤線蟲母蟲之陰門膜紋，經鑑定為南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*)。取單一卵塊所孵化之二齡幼接種至已長出 4 片真葉之空心菜苗株 (*Ipomoea reptans* Poir., 尖甕品種，農友種苗)，兩個月後，再將已長 4 片葉的空心菜新苗種入含有病土與消毒過後的新土的六吋盆中 (新土：病土 = 1：1)，增加線蟲族群量做為試驗接種源。每隔 2 mo 植新的空心菜苗於病土中，以維持根瘤線蟲族群量，所有植株都放置於溫室，每兩星期以 1000× 稀釋之必達觀 (N：P：K = 20：10：20; Scotts[®], Montana, U.S.A.) 澆灌。試驗前挑取空心菜根系上之卵塊，放入蒸餾水中，收集孵化之二齡幼蟲並以鏡檢皿計數線蟲數目，供接種使用。

(二) 根腐線蟲之來源及培養

本研究所使用之南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 由中興大學植物病理學系線蟲研究室所提供。選取外表無傷口的胡蘿蔔，以 75% 酒精作表面消毒，再浸泡於稀釋 10 倍的漂白水 (Clorox[®], California, U.S.A.) 中 30 min。以消毒過的刀子橫切蘿蔔，每片厚度約 1 cm，再將每片胡蘿蔔切割成 1 cm × 3 cm 的長條狀，且每長條都包含形成層組織，再將胡蘿蔔長條移至 Gambory's B5 斜面培養基中，置於室溫中黑暗培養約至 2 wk，待其長出癒傷組織，即可用來培養根腐線蟲。每隔 6 wk 進行繼代培養，繼代培養時將已長有根腐線蟲的胡蘿蔔組織切成邊長 1 cm 的正立方體，再將此正立方體移入新的胡蘿蔔癒傷組織試管，即完成繼代培養，所有試管皆放置於 28°C 無光的環境下培養⁽⁶⁾。

(三) 腐生性線蟲之來源及培養

實驗室保存的腐生性線蟲，經圖示索引表鑑定為 *Rhabditis* sp.⁽⁴⁾。將腐生性線蟲培養在馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (Potato-dextrose agar, PDA) 斜面上，每隔一個月進行繼代培養，繼代時將含有腐生性線蟲的培養基 0.5 cm²，移入新的 PDA 斜面中，置於 24°C 無光照下培養。

供試藥劑

本實驗中測試 6 種殺蟲劑，分別為百滅寧 (Permethrin)、佈飛松 (Profenofos)、丁基加保扶 (Carbosulfan)、培丹 (Cartap)、阿巴汀 (Abamectin) 及益達胺 (Imidacloprid)。其農藥的化學分類種類、製造廠商以及所使用的稀釋倍數如表一所示。各農藥施用濃度依植保手冊⁽³⁾上的推薦最低稀釋倍數；意即推薦之最高施用濃度為基準，在製備供試母液時，將之配製成最高施用濃度的兩倍，以便於與蟲液以 1：1 體積混合後，成為植保手冊之推薦使用最高濃度。

六種殺蟲藥劑對三種線蟲死亡率的影響

取供試母液 1 ml 加入指形管中，再加入 1 ml 含 100 隻線蟲的蟲液，靜置 24 hr 後用自來水漂洗，共漂洗 3 次，每次漂洗間需靜置 1 hr，之後於計數皿中計算線蟲死亡率。以自來水做為對照組處理，每一處理 3 重複。南方根腐線蟲與 *Rhabditis* sp. 是以全齡期的線蟲進行試驗，而南方根瘤線蟲則是以具泳動性的二齡幼蟲進行試驗，其中自然死亡率的計算公式如下⁽¹⁴⁾：

自然死亡率 = $100\% \times [Dt - (Nt \times Dn)] / [Nt - (Nt \times Dn)]$

Dt：該處理所有死亡的線蟲數

Nt：該處理所有的線蟲數

Dn：該處理的對照組的死亡率

六種殺蟲劑對南方根瘤線蟲卵孵化的影響

收集接種南方根瘤線蟲 6 wk 的空心菜根部，將其剪成約 1 cm 小片段，與稀釋 10 倍的漂白水一起加入震盪杯中，充份震盪 30 sec 後，分別用上層 60 mesh (孔徑為 250

nm)，中層 400 mesh (孔徑為 37 nm)，下層 500 mesh (孔徑為 25 nm) 網篩過濾，並使用均勻水霧將漂白水沖洗乾淨，之後再收集 500 mesh 的網篩中的卵⁽⁷⁾，調整成每 1 ml 含 100 顆蟲卵的蟲卵懸浮液供試。取 1 ml 供試農藥母液加入指形管中，再將 1 ml 的蟲卵液加入，靜置 24 hr 後以自來水進行 3 次漂洗，再置放於 28°C 的環境下 7 天後，於計數皿中計算其孵化率。以自來水做為對照組處理，每一處理 5 重複。

孵化率公式如下：

$$\text{孵化率 (hatching rate)} = \frac{\text{幼蟲數}}{\text{幼蟲數} + \text{未孵化的卵數}} \times 100\%$$

表一、本實驗中所測試的殺蟲劑種類及試驗時的稀釋倍數

Table 1. Insecticides tested in this study

Insecticide	Chinese name	Formulation	ppm	Category
Abamectin	阿巴汀	2.00% EC	20.00	Agricultural Antibiotic
Carbosulfan	丁基加保扶	48.34% EC	483.40	Carbamate
Cartap	培丹	50.00% SP	500.00	Nereistoxin
Imidacloprid	益達胺	9.60% SL	96.00	Neonicotine
Permethrin	百滅寧	10.00% EC	100.00	Pyrethroid
Profenofos	佈飛松	43.00% EC	537.50	Organophosphate

六種殺蟲劑對兩种植物寄生性線蟲侵染的影響

藥劑的製備如同死亡率試驗，將供試母液與蟲液 1：1 混合，其中蟲液為每 1 ml 有 250 隻線蟲，靜置 24 hr 後用自來水漂洗 3 次，之後接種於供試植物中，1 wk 後再將植物根系取出，進行染色，計算根系內侵入線蟲的數目。本試驗中以空心菜做為南方根瘤線蟲的寄主，而以綠豆做為南方根腐線蟲的寄主。為方便觀察，所有供試植物種植於 seedling growth pouch (Mega International, Minnesota, U.S.A.) 中，將每個 seedling growth pouch 等分成三區，每區為 4.8 cm × 15.8 cm 大小，每區置入一顆供試植物種子，並加入適量的水(每區約 2 ml)，置於 26°C 的日照環境下培養，適度補充水份，待其根系長出二級側根(約 3wk)，便可以進行接種。5 日接種後，便將根系從 seedling growth pouch 中取出進行染色，先將根系浸泡於稀釋 10 倍的漂白水 30 min 進行透化，再用清水漂洗 1

min，再將根系泡入大量的清水中 15 min 去除殘餘漂白水。染劑(醋酸化的棉藍, 0.5 g cotton blue, 50 ml acetic acid, 150 ml distilled water) 用微波爐加熱 2 min 後，再把根系置入染劑中微波加熱 2 min，爾後進行退染。染色的根系以稀釋 10 倍的漂白水漂洗 1~2 sec，再迅速置入大量清水中完成退染，於解剖顯微鏡下鏡檢，計算侵入根系的蟲數。因綠豆根系較細，且經南方根腐線蟲的破壞，故省略透化的步驟直接進行染色，染色的時間可調整為 6 min，以加強染劑與根腐線蟲的結合。

六種殺蟲劑對盆鉢中三種線蟲族群的影響

本試驗用空心菜做為南方根瘤線蟲與腐生性線蟲盆鉢試驗中所使用的植物，蕃茄(四季紅種，農友種苗，高雄，台灣)做為南方根腐線蟲的第一次寄主植物，第二次及第三次重覆試驗則是用綠豆做為寄主植物。將植物種子

放入穴盤中育苗，14 d 後移植到 3 吋大的盆鉢中，培養 1 wk 後供試。先於每盆植物中接種 500 隻線蟲，接種後 2 d 進行第一次藥劑施用，藥劑處理時將植物移至通風處，在葉面噴灑 30 ml 的藥劑，每隔 1 wk 施用 1 次，45 d 後測量地上部及地下部鮮重，每 100 g 土壤中的蟲數和根瘤指數與根腐指數。根瘤指數與根腐指數的計算皆是以 0 級為無感染、1 級為感染 1~25%、2 級為感染 26~50%、3 級為感染 51~75%、4 級為感染 76~100%。每種藥劑處理重複 5 次，試驗共重複 3 次。

結果

自然死亡率的計算中，會將對照組的死亡率先行扣除，所以如果處理組的死亡率要是低於對照組，就出現負值。為了方便敘述結果，除了利用統計分析上的顯著差異來陳述，還把藥劑毒殺的能力依其造成線蟲死亡的能力分成 3 種，死亡率高於 66.7% 的屬於強烈毒殺能力，介於 66.7% 到 33.3% 的屬於中等毒殺能力，低於 33.3% 的屬於微弱毒殺能力。

表二、南方根瘤線蟲、南方根腐線蟲與腐生性線蟲以六種殺蟲劑處理 24 hr 後之死亡率

Table 2. The mortality rates of *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus coffeae* and *Rhabditis* sp. after treatment with six different insecticides for 24 hr

Treatment	Mortality (%)								
	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	<i>M. incognita</i>	<i>P. coffeae</i>	<i>Rhabditis</i> sp.	<i>M. incognita</i>	<i>P. coffeae</i>	<i>Rhabditis</i> sp.	<i>M. incognita</i>	<i>P. coffeae</i>	<i>Rhabditis</i> sp.
Abamectin	100.0 a ¹	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	93.9 a
Carbosulfan	27.1 c	49.3 b	17.6 b	44.7 b	46.7 b	6.6 d	49.5 c	52.9 c	10.4 c
Cartap	100.0 a	-12.5 e	-25.8 bc	99.1 a	100.0 a	78.4 b	100.0 a	100.0 a	65.9 b
Imidacloprid	49.4 b	10.0 d	-18.3 bc	8.0 c	10.8 c	0.9 d	2.4 d	14.6 d	17.9 c
Permethrin	6.8 d	32.8 c	-56.0 c	90.3 a	15.3 c	51.2 c	93.2 a	87.9 b	12.5 c
Profenofos	100.0 a	100.0 a	81.7 a	49.5 b	100.0 a	73.0 b	67.3 b	100.0 a	58.6 b

¹ Means (n=3) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

六種殺蟲劑對三種線蟲死亡率的影響

供試的 6 種殺蟲劑中，有 4 種對南方根瘤線蟲具強烈毒殺能力，有 2 種具中等毒殺能力（表二）。在 3 次試驗中，阿巴汀和培丹皆穩定出現近 100% 的毒殺能力（最低為 99.1%）。雖然佈飛松與百滅寧測試結果出現 2 次強烈殺毒能力（分別為 100%、67.3% 與 90.3%、93.2%）；但佈飛松在另 1 次試驗出現的是中等毒殺能力（49.5%）而百滅寧卻是微弱毒殺能力（6.8%）。在 3 次試驗中出現了 2 次中等毒殺能力（44.7% 與 49.5%）的為丁基加保扶，但在其中 1 次丁基加保扶只有出現微弱的毒殺能力

（27.1%）。對南方根瘤線蟲致死試驗中，直接殺蟲的效力最弱者為益達胺僅在第 1 次試驗中出現了 49.4% 的中等毒殺能力，之後的 2 次重覆僅表現微弱的毒殺能力（表二）。

有 4 種殺蟲劑對南方根腐線蟲有強烈毒殺能力，僅有 1 種具中等毒殺能力，而剩下的 1 種殺蟲劑則是沒有表現出明顯的毒殺能力（表二）。對南方根腐線蟲致死效果

最穩定的是阿巴汀與佈飛松，在 3 次的試驗中皆出現 100% 的死亡率，而培丹在第 2 第 3 次試驗中出現了 2 次死亡率 100%。百滅寧也在第 3 次的試驗中出現強烈的毒殺能力（87.9%），但在另 2 次試驗中的死亡率分別為 32.8% 與 15.3%，屬微弱的毒殺能力（表二）。具中等毒性的為丁基加保扶，在 3 次試驗的毒殺能力分別為 49.3%、46.7% 與 52.9%（表二）。

另外益達胺在 3 次的試驗中都是屬於微弱的毒殺能力（10.0%、10.8% 與 14.6%）（表二）。6 種殺蟲劑中，對腐生性線蟲而言，有 3 種具強烈毒殺能力，有 1 種具中等毒殺能力，其餘 2 種則是弱毒殺能力（表二）。阿巴汀在 3 次試驗中都呈現強烈的毒殺效果（100%、100% 與 93.9%）；而佈飛松在 3 次試驗中，有 2 次呈現強烈毒殺能力（81.7% 與 73.0%），其中 1 次試驗中則是 58.6% 的中等毒殺能力。第 3 種對腐生性線蟲具強烈毒殺能力的殺蟲劑為培丹，在 3 次試驗中，出現 1 次 78.4% 的強烈毒殺能力，

1 次是 58.6%，屬中等毒殺能力，但另 1 次試驗中，死亡率低於對照組，所以呈現負值。具中等毒力的百滅寧在第 2 次試驗中出現了 1 次 51.2% 的死亡率，其他兩次屬微弱毒殺能力（表二）。另外丁基加保扶和益達胺 3 次試驗中都呈現微弱的毒殺能力（表二）。

表三、以六種殺蟲劑處理南方根瘤線蟲卵後之孵化率

Table 3. The hatching rate of *Meloidogyne incognita* eggs after treatment with six different insecticides

Treatment	Hatching rate (%) ²		
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Abamectin	6.3 c ¹	10.0 bc	2.1 c
Carbosulfan	32.7 abc	10.1 bc	35.1 a
Cartap	8.3 c	9.4 c	38.8 a
Imidacloprid	53.3 a	16.2 a	39.6 a
Permethrin	36.6 ab	3.2 d	7.1 c
Profenofos	22.6 bc	11.9 bc	25.4 b
Check	31.7 abc	12.9 ab	40.4 a

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

² The hatching rate was counted after 7 days of incubation.

六種殺蟲劑對根瘤線蟲卵孵化的影響

6 種殺蟲劑中，有 4 種藥劑出現抑制根瘤線蟲卵孵化的效果（表三）。阿巴汀、培丹及百滅寧這 3 種藥劑，在 3 次試驗中皆出現兩次孵化率（最低 2.1%，最高 9.4%）顯著低於對照組的結果，1 次試驗則是與對照組沒有顯著上的差異。佈飛松僅在第 3 次試驗中出現孵化率（25.4%）顯著低於對照組（40.4%）。3 次試驗皆與對照組無統計顯著差異的藥劑則有丁基加保扶和益達胺（表三）。

六種殺蟲劑對南方根瘤線蟲與南方根腐線蟲侵染能力的影響

測試的 6 種殺蟲劑中皆曾出現抑制南方根瘤二齡幼蟲侵染的效果（表四）。效果最為顯著的為阿巴汀和培丹，阿巴汀在 2 次的試驗中，侵染的蟲數都為 0。培丹則有 1 次侵染蟲量為 0，另一次為 1.2 隻，1 次都顯著低於對照組（表四）。丁基加保扶、益達胺、百滅寧與佈飛松 4 種藥劑都在第 1 次試驗中，侵染蟲數（分別為 1.6、7.2、6.8 表四、六種殺蟲劑處理南方根瘤-二齡幼蟲後，其侵染的植物根系的數目

Table 4. The number of *Meloidogyne incognita* penetrated into the hosts after treatment with six different insecticides

Treatment	Numbers of Nematodes ²	
	Experiment 1	Experiment 2
Abamectin	0.0 c ¹	0.0 b
Carbosulfan	1.6 bc	11.2 ab
Cartap	0.0 c	1.2 b
Imidacloprid	7.2 b	15.2 a
Permethrin	6.8 b	15.6 a
Profenofos	0.8 c	10.6 ab
Check	20.2 a	10.8 ab

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

² 250 nematodes were added to each pouch and the number of nematodes were counted after 5 days of inoculation.

與 0.8 隻）顯著低於對照組（20.3 隻），但在第 2 次試驗中則和對照組沒有顯著上的差異（表四）。

在 6 種殺蟲劑中，3 種藥劑出現抑制南方根腐線蟲侵染的效果，分別為阿巴汀、丁基加保扶與培丹，在試驗中侵染蟲量各別為 0、5 和 0 隻，在統計上顯著低於對照組的 45.25 隻。益達胺、百滅寧與佈飛松 3 種藥劑，則在侵染蟲數上與對照組沒有顯著上的差異（表五）。

表五、六種殺蟲劑處理南方根腐線蟲後，其侵染的植物根系的數目

Table 5. The number of effect of *Pratylenchus coffeae* penetrated into the hosts after treated with six insecticides

Treatment	The number of Nematodes ²
Abamectin	0.0 b ¹
Carbosulfan	5.0 b
Cartap	0.0 b
Imidacloprid	40.5 a
Permethrin	56.6 a
Profenofos	58.2 a
Check	45.3 a

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

² 250 nematodes were added to each pouch and the number of nematodes were counted after 5 days of inoculation.

六種殺蟲劑對盆鉢中線蟲族群的影響

培丹、益達胺與百滅寧 3 種殺蟲劑施用後，其寄主根

系上的出現根瘤指數顯著比對照組低，重覆試驗中百滅寧出現提升根瘤指數的效果。百滅寧在第 1 次試驗中，則是與對照組沒有顯著上的差異，但另 2 次試驗中，1 次顯著高於對照組，另外 1 次則是顯著低於對照組，3 次結果皆不相同（表六）。抑制對瘤指數的還有培丹與益達胺，在第 3 次試驗中，根瘤指數（2.2 和 2.4）顯著低於對照組（3.2）。阿巴汀、丁基加保扶和佈飛松，則在 3 次試驗中，所觀察之根瘤指數與對照組皆無顯著差異（表六）。

表六、六種殺蟲劑對接種南方根瘤線蟲的空心菜根瘤指數的影響

Table 6. The effect of insecticides on the galling index of water spinach 4 weeks after inoculation with *Meloidogyne incognita*

Treatment	Galling index ²		
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Abamectin	2.4 a ¹	3.2 a	2.0 b
Carbosulfan	2.6 a	2.4 abc	2.6 ab
Cartap	2.8 a	2.4 abc	2.6 ab
Imidacloprid	2.4 a	1.6 c	2.2 b
Permethrin	2.4 a	2.0 bc	3.2 a
Profenofos	3.2 a	2.6 ab	2.4 b
Check	2.6 a	2.0 bc	3.2 a

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

² Galling index (GI) based on a scale from 0 to 4; 0= no infection, 1= 1-25% root system had galls, 2= 26-50%, 3= 51-75%, and 4= 76-100%.

根腐線蟲的實驗中，百滅寧使根腐指數提高，另有 2 種殺蟲劑降低根腐指數。百滅寧在最後 1 次試驗中，出現根腐試驗中，則沒有出現與對照組有顯著上差異的現象。阿巴汀與丁基加保扶則是第 1 次試驗中，出現根腐指數指數（3.6）顯著高於對照組（2.6）的現象，但在另 2 次（1.6 與 2）顯著低於對照組（3.4），不過在另 2 次試驗中，則沒有呈現顯著差異（表七）。而培丹、益達胺與佈飛松則在 3 次試驗中，一直沒有顯著的效果（表七）。

有 5 種殺蟲劑具有降低根腐線蟲在土壤中蟲量的效果，分別為阿巴汀、丁基加保扶、培丹、益達胺與佈飛松，其中丁基加保扶在第 1 與第 2 次試驗中，土中蟲數（4.6 與 7.6 隻）皆顯著低於對照組，而在第 3 次試驗中，在統計上與對照組沒有顯著上的差異。而阿巴汀、培丹、益達

胺與佈飛松，僅在 1 次試驗中出現土中蟲數顯著低於對照組，但在另外 2 次的試驗中，則與對照組沒有顯著上的差異（表七）。但百滅寧在 3 次試驗中，都與對照組沒有顯著上的差異（表七）。

有 5 種殺蟲劑具有降低腐生性線蟲在土壤中蟲量的效果，但其中佈飛松在重覆試驗中亦出現具有提升腐生性線蟲在土壤中蟲量的效果（表八）。阿巴汀、丁基加保扶、培丹、益達胺及佈飛松在第 1 次試驗中都有令土壤中腐生性線蟲的蟲量顯著下降的情況，但在第 2 次試驗中佈飛松的土中蟲量與對照組相比反而是顯著增加（表八）。百滅靈在試驗中，皆沒有出現明顯的效果。

討 論

在田間，農民會遭遇到蟲害病害等多種問題，而傳統防治上大多以化學藥劑為主，針對各別的問題而選施用的藥劑，較少有研究探討這些藥劑對非目標生物的影響。本文試驗結果發現供試的 6 種殺蟲劑中有 5 種殺蟲劑（阿巴汀、丁基加保扶、培丹、佈飛松、百滅寧）對線蟲有直接毒殺的能力，有些具有抑制線蟲卵孵化或是侵染植物的能力，值得進一步去測試，且可以用作防治線蟲策略上的參考。

最具防治潛力的藥劑為阿巴汀和佈飛松。阿巴汀是由鏈黴菌中分離的抗生物質，主要用於斑潛蠅、黃條葉蚤、銀葉粉蝨及蚜類的防治上⁽¹⁰⁾，在直接致死能力的結果中顯示，阿巴汀對南方根瘤線蟲、南方根腐線蟲和腐生性線蟲都有很顯著且穩定的直接毒殺能力，但其不易被植物體吸收，缺乏系統性的能力，因此在盆鉢實驗中並沒有顯現出其抑制線蟲族群的能力，也因為阿巴汀不具系統性的特性，所以前人測試可達防治效果的施用方式，Jansson 和 Rabatin (1998)⁽⁸⁾曾以香蕉做為對象，以葉施、根浸與注射入假莖的不同施用方式來測試阿巴汀對穿孔線蟲

(*Radopholus similis*) 的防治效果，其結果發現，只有直接把阿巴汀注射入香蕉的假莖中才有比較好的防治效果；而比較常見的防治方式是把阿巴汀用於種子處理上，Faske 和 Starr (2007)⁽²⁾，就用阿巴汀處理棉花的種子，以防治南方根瘤線蟲和腎形線蟲 (*Rotylenchulus reniformis*)。佈飛松為有機磷劑類殺蟲劑，且對本實驗中的 3 種線蟲都有很好的直接毒殺效果，但因其不具系統性，所以在盆鉢試驗中的效果並不明顯，且也未曾有以佈飛松防治植物寄生性線蟲的相關報導。

表七、施用六種殺蟲劑對南方根腐線蟲在番茄及綠豆根系上根腐指數與族群密度的影響

Table 7. The effect of six different insecticides on nematode population and root lesion index of tomato (Exp. 1) and mung bean (Exp.2 and 3) 4 weeks after inoculation with *Pratylenchus coffeae*

Treatment	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	Root lesion index ²	NS ³	Root lesion index	NS	Root lesion index	NS
Abamectin	2.0 bc ¹	0.6 b	2.2 b	19.6 ab	3.2 ab	5.3 b
Carbosulfan	1.6 c	4.6 b	3.2 a	7.6 b	2.2 c	3.0 b
Cartap	2.8 ab	5.0 b	2.2 b	18.0 ab	2.6 bc	6.2 b
Imidacloprid	3.2 a	34.0 b	3.2 a	11.0 ab	2.8 bc	14.2 a
Permethrin	3.4 a	96.4 a	2.0 b	15.8 ab	3.6 a	5.4 b
Profenofos	3.0 a	19.0 b	2.2 b	19.6 ab	2.6 bc	5.8 b
Check	3.4 a	83.8 a	2.4 ab	30.0 a	2.6 bc	6.6 ab

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

² Root lesion index based on a scale from 0 to 4; 0= no infection, 1= 1-25% root system had lesion, 2= 26-50%, 3= 51-75%, and 4= 76-100%.

³ NS: Numbers of all stage *Pratylenchus coffeae* nematodes per 100 g soil.

表八、六種殺蟲劑對空心菜根圈之腐生性線蟲族群的影響

Table 8. The effect of six different insecticides on the population of *Rhabditis* sp. on water spinach 4 weeks after inoculation

Treatment	Number of nematodes per 100 g soil		
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Abamectin	88.8 c ¹	44.2 ab	24.6 ab
Carbosulfan	164.2 bc	160.8 a	44.2 ab
Cartap	76.8 c	13.8 b	54.4 ab
Imidacloprid	116.2 bc	18.2 b	15.0 b
Permethrin	377.2 ab	40.4 ab	67.8 ab
Profenofos	44.0 c	10.8 b	73.4 a
Check	563.0 a	8.0 b	49.4 ab

¹ Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to the least significant difference test.

百滅寧在實驗結果中顯示，它可以抑制不同時期的植物寄生線蟲，最具開發成防治線蟲藥劑的潛力。McSorley 和 Waddill (1982) (12) 的報告中曾將百滅寧的化學原體混入田土中以防治腎形線蟲，其結果顯示百滅寧無法防治腎形線蟲。但本實驗百滅寧的處理在對南方根腐線蟲具有直接毒殺能力、抑制孵化率、抑制侵染蟲量等效果，對南方根腐線蟲也有直接毒殺與抑制侵染的能力。

培丹屬沙蠶毒素 (Neonicotine) 類的殺蟲劑，在本實驗中對南方根腐線蟲與南方根腐線蟲都有很好的致死能

力，亦能抑制南方根腐線蟲卵的孵化率，培丹雖具系統性，但在盆鉢試驗中的防治效果卻不顯著。國外推薦培丹使用於水稻種子 (13)，用以防治水稻葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*)，若有適當的施用策略，培丹應有潛力成為防治線蟲的藥劑。

於盆鉢試驗中，藥劑的施用方式依循藥劑本身的推薦施用方法，希望可以在原本的防治目標外，還可兼具防治線蟲的功效，但從結果中發現，部份藥劑對線蟲確實有呈現出族群、根腐指數或是根腐指數上的變化，但其效果並不穩定，與有效的防治效果還有一些距離。因此，若要得到防治線蟲的效果，就需要再深入探討施用方式與濃度及了解藥劑本身對線蟲的影響方式，亦要評估藥劑對寄主植物是否具有系統性、藥劑於土壤中移行的能力、是否與土壤結合而失去效用、在環境中衰退的時間長短，以及對環境中其他生物的衝擊。這些資訊具備之後才能提供做為防治策略之一，並搭配病蟲害整合管理 (integrated pest management, IPM) (1) 的概念，了解防治線蟲的生活形態決定最適當的施用時機、並配合栽培管理及生物防治等方法，以有效控制植物寄生性線蟲的危害程度 (15)。

引用文獻 (LITERATURE CITED)

1. Bird, G. W. 1981. Integrated nematode management for plant plant protection, pp. 355-375. *In*: B. M. Zuckman & R. A. Rohde [eds.], Plant parasitic nematodes, vol. 2, Academic Press, New York, USA. 316 pp.
2. Faske, T. R., and Starr, J. L. 2007. Cotton root protection from plant-parasitic nematodes by abamectin-treated seed. *J. Nematol.* 39: 27-30.
3. Fei, W. C., Wang, Y. C., Chen, F. H., Lin, H. M., and Li, Y. H. 2010. Plant Protection Manual. TACTRI/COA Press, Taichung, Taiwan. 963 pp. (in Chinese)
4. Goodey, T. 1963. Soil and freshwater nematodes, 2nd ed. (rev. J. B. Goodey). Methuen & Co, London, UK. 544 pp.
- Hartman, K. M., and Sasser, J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology, pp. 69-77. *In*: K. R. Barker, C. C. Carter, & J. N. Sasser [eds.], An Advanced Treatise on *Meloidogyne*, vol. II. Methodology, North Carolina State University Graphics, Raleigh, USA. 223 pp.
5. Huang, H. M., Lin, Y. Y., and Tsay, T. T. 1998. Interactions of reniform nematode with south root-knot nematode, south root-lesion nematode and Fusarium wilt on banana. Master thesis of National Chung Hsing University. 75 pp. (in Chinese)
6. Hussey, R. S., and Barker, K. R. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Dis. Rep.* 57: 1025-1028.
7. Jansson, R. K., and Rabatin, S. 1998. Potential of foliar, dip, and injection applications of avermectins for control of plant-parasitic nematodes. *J. Nematol.* 30: 65-75.
8. Klemens, E., and Gerard, W. K. 2006. Nematodes as sentinels of heavy metals and organic toxicants in the soil. *J. Nematol.* 38: 13-19.
9. Liao, L. S. 2005. The Application of Pesticides. Vol. 8. Deli Industrial Chemical Co., Ltd., Taichung, Taiwan. 1311 pp. (in Chinese)
10. Lin, H. C., and Tsay, T. T. 2004. The study of nematicide resistance on field and artificially-induced nematode population. Master thesis of National Chung Hsing University. 54 pp. (in Chinese)
11. McSorley, R., and Waddill, V. H. 1982. Partitioning yield loss on yellow squash into nematode and insect components. *J. Nematol.* 14: 110-118.
12. Mohanty, K. C., Mishra, C. D., and Sahoo, N. K. 2004. Management of white tip nematode by seed treatment. *Indian J. Nematol.* 34: 208-209.
13. Qiu, J., Westerdahl, B. B., Giraud, D., and Anderson, C. A. 1993. Evaluation of hot water treatments for management of *Ditylenchus dipsaci* and fungi in daffodil bulbs. *J. Nematol.* 25: 686-694.
14. Tsay, T. T., and Chen, P. 2007. Plant Nematology. Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. 117 pp. (in Chinese)

ABSTRACT

Yeh, Y. J.¹, Tsay, T. T.², and Chen, P.^{2,3} 2012. The nematicidal effects of six insecticides on three soil inhabitant nematodes. *Plant Pathol. Bull.* 21: 11-19. (¹ Glory biotech co., LTD, Chia-yi county 62158, Taiwan, R.O.C.; ² Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung 40221, Taiwan, R.O.C.; ³ Corresponding author, E-mail: janetchen@nchu.edu.tw)

Six insecticides from pyrethroid, organophosphate, carbamate, nereistoxin, agricultural antibiotics and neonicotine categories were tested against 2 plant parasitic nematodes (*Meloidogyne incognita* Chitwood, 1949, and *Pratylenchus coffeae* Zimmerman, 1898) and one free-living nematodes (*Rhabditis* sp. Goodey). The results indicated that abamectin and cartap had the strongest nematicidal effects on *M. incognita* juveniles; while abamectin and profenofos had similar effects on *P. coffeae*. Abamectin, cartap and profenofos had strong nematicidal effects on *Rhabditis* sp.. Imidacloprid had no nematicidal effects on all three nematodes tested. In the egg hatching rate experiments, abamectin, cartap and permethrin showed inhibition to *M. incognita* egg hatching rates in 2 out of three experiments. Abamectin and cartap decreased the penetration rate of *M. incognita*, while abamectin, cartap and carbosulfan decreased that of *P. coffeae*. The results in the pot experiments indicated some insecticides tested decreased the root knot galling index and root lesion index, but the nematicidal effects were not consistent throughout experiments, and could not reach the economic threshold. However, all six insecticides consistently decreased *P. coffeae* populations in soil.

Keywords: abamectin, carbosulfan, cartap, imidacloprid, insecticides, profenofos, plant parasitic nematodes.