

airiti

13種殺菌劑和7種除草劑對三種土壤線蟲的影響

葉耀仁¹、蔡東纂²、陳珮臻^{2*}

¹ 台北市內湖區港墘路187號8樓 大江生醫股份有限公司

² 台中市興大路145號 國立中興大學植物病理學系

* 聯絡作者，電子郵件：janetchen@nchu.edu.tw

摘要

葉耀仁、蔡東纂、陳珮臻^{*}。2018。13種殺菌劑和7種除草劑對三種土壤線蟲的影響。植物醫學60(1): 33-40。

本實驗選用南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*)、南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 與一種腐生性線蟲 *Rhabditis* sp. 進行試驗，測試供試藥劑對其直接致死率、卵孵化率、侵染寄主能力，以了解藥劑可能對線蟲影響的方式。供試藥劑選用13種殺菌劑和7種除草劑，其化學分類類型皆不相同。結果顯示有3種殺菌劑及5種除草劑對供試線蟲之抑制生長效果顯著。其中又以依得利(Etridiazole)，施得圃(Pendimethalin)、丁基拉草(Butachlor)抑制線蟲生長之效果最穩定也最顯著，以上藥劑對南方根瘤線蟲與南方根腐線蟲有62.4%~100%的抑制生長能力，且皆可抑制南方根瘤線蟲卵孵化。二,四-地對南方根瘤線蟲二齡幼蟲有顯著的抑制生長能力，對南方根腐線蟲則無，但嘉磷塞異丙銨鹽的處理結果則相反，此現象說明不同的線蟲對同樣的藥劑也會有不一樣的反應。需要進一步的試驗來釐清這些藥劑抑制線蟲生長的作用機制，以供未來後續開發新的殺線蟲藥劑。

關鍵詞：腐生性線蟲、殺菌劑、除草劑、植物寄生性線蟲。

緒言

田間植物寄生性線蟲的防治多以殺線蟲劑(nematicides)為主，但因殺線蟲劑的作用位點單一，且與多種常見殺菌劑相同，植物寄生性線蟲容易產生抗藥性。林氏等人⁽¹²⁾證實在台中、彰化、南投及雲林等台灣中部地區的十個南方根瘤線蟲(*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)族群最少，雖然兩種藥劑作用點相同，但加保扶所屬之氨基甲酸鹽類的作用是可逆的，但有機磷劑的芬滅松則否。為避免抗藥性產生，田間可輪用兩種或兩種以上，不同作

用機制點的藥劑以降低選汰的壓力，或開發新的防治藥劑，取代已產生抗藥性之藥劑⁽²⁴⁾。開發新的防治藥劑其中一種方法即是從目前非殺線蟲劑之農業用藥劑，篩選尋找有潛力成為防治植物寄生性線蟲的藥劑。

植物寄生性線蟲依其與寄主的關係有下列幾種不同的寄生方式，如：根瘤線蟲(*Meloidogyne incognita*)行內寄生固著性、根腐線蟲(*Pratylenchus coffeae*)則行內寄生遷移性；內寄生固著性線蟲只在特定的齡期侵入根系，誘導少數根系細胞為取食點，取食點的細胞則供應線蟲食物直至線蟲死亡為止⁽²⁰⁾。作物生長期間為了降低田間線蟲密度而施用殺線蟲藥劑於土中，只有在線蟲侵入根系前的齡期有機會與藥劑直接接觸，待線蟲侵入根系後，藥劑就需要透過植物體吸收後，才會影響到內寄生固著性的線蟲。內寄生遷移性線蟲通常取食皮層細胞，有時候會離開寄主，根系內其它細胞也因為移行而被破壞，其生活史中大多數時間都會被植物體所吸收的藥劑影響，但蟲體離開根系便有機會直接接觸藥劑⁽²⁰⁾。田間除了植物寄生性線蟲外，也有腐生性線蟲，此類線蟲因為和植物寄生性線蟲處於相同環境，亦會受影響，例如Klemins 和 Gerar^{d(10)}就曾報導，食細菌性的腐生線蟲(*Chiloplacus* spp.)在土中的族群量會與土中鉻的含量呈明顯的負相關。線蟲的種類不同也會影響藥劑侵入線蟲體皮的能力，線蟲對藥劑的代謝過程或是體內酵素和藥劑的競爭作用、累積、排毒、解毒或毒化(toxication)作用，和線蟲體內作用點感受性的差異，都會影響到藥劑對不同種類線蟲的效果有所差異⁽²²⁾。

田間常用的農業用藥劑除了殺線蟲劑(Nematicides)外，還有除草劑(Herbicides)、殺菌劑(Fungicides)與殺蟲劑(Insecticides)等不同類型的藥劑，這些藥劑也曾被報導會對線蟲產生影響。Rodríguez-Kábana等人⁽¹⁵⁾指出，殺菌劑Ethazole在濃度達60 毫克/每公斤土壤以上時，可以有效地防治 *Hoplolaimus galeatus* (冠線蟲)和 *M. incognita*。Rodríguez-Kábana等人⁽¹⁶⁾亦證實殺菌劑四氯異苯腈(Tetrachloronitrobenzene)在0.025 公克/每公斤土壤濃度時，可以明顯抑制 *M. incognita*、*Pratylenchus brachyurus* 和 *Hoplolaimus galeatus* 的族群；而

濃度 0.05 公克/每公斤土壤時則可明顯抑制 *Helicotylenchus dihystra* 和 *Hoplolaimus galeatus* 的族群。此外有報導指出除草劑嘉磷塞可造成北方根瘤線蟲(*M. hapla*)族群下降⁽²⁰⁾與包囊線蟲(*Heterodera glycines*)卵的孵化率降低等現象⁽²³⁾。從前人研究可知，殺菌劑和除草劑的標的生物雖然不是線蟲，但還是有可能對線蟲產生抑制的能力。

Schmitt 和 Corbin⁽¹⁷⁾曾指出，殺草劑 Alachlor、Vernolate 或 Metribazin 若與殺線蟲劑 Fensulfothion 或 Phorate 混合使用，則會導致殺線蟲劑防治線蟲的效力下降。而除草劑 Alachlor 使包囊線蟲成熟母蟲數量增高⁽¹⁸⁾；而殺草劑 Ethyl dipropylthiocarbamate (EPTC) 則使北方根瘤線蟲在紫花苜蓿造成的根瘤指數提高⁽⁶⁾。由此得知，非殺線蟲劑的常用農藥，施用後也有可能增加線蟲病害的嚴重性，所以確實有必要探討常用藥劑與線蟲的影響情況。

前人研究大多侷限在線蟲與殺線蟲劑之間的關係，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，考慮到線蟲所行的寄生方式，會造成其與藥劑接觸的方式不同，所以實驗設計上也將不同寄生方式的植物寄生性線蟲對藥劑的反應做一評估。本研究將探討不同的化學分類類型之常用農藥對兩種最為常見且行不同寄生方式的植物寄生性線蟲(*M. incognita* 和 *P. coffeae*)與腐生性的 *Rhabditis* sp. 的影響，選用的藥劑包含了13種殺菌劑和7種除草劑，其中涵括目前較常在田間施用的農藥化學分類類型，藉由評估它們影響線蟲的方式，提供開發新殺線蟲藥劑上的方向，腐生線蟲的反應將有助於我們了解藥劑對非目標微生物與生態上的影響。

材料與方法

供試線蟲之來源及培養

南方根瘤線蟲之來源及培養

供試之南方根瘤線蟲(*Meloidogyne incognita*)採自苗栗大湖地區感染根瘤線蟲的苦瓜田，於實驗室依 Hartman 和 Sasser⁽⁷⁾之方法觀察根瘤線蟲母蟲之陰門膜紋鑑定，並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., 尖囊品種，農友種苗)繁殖做為試驗接種源。每隔兩個月便種植新的空心菜苗於帶線蟲土中，以維持供試根瘤線蟲族群量。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。

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。根腐線蟲培養於調整過之 Gambory's B5 培養基(維他命配方 mg/l: myo-inositol 100, nicotinic acid 1.0, pyridoxine-HCl 1.0, thiamine-HCl 1.0; 蔗糖 30000)

的胡蘿蔔癒傷組織上，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 無光照的環境下培養⁽⁸⁾。

腐生性線蟲之來源及培養

實驗室保存的腐生性線蟲，經觀察有微隆起得但開列唇瓣，發達的管狀口器，以及呈橢圓至球型的後部食道，雌蟲陰門接近體中央等形態特徵鑑定為 Rhabditidae 科中的 *Rhabditis* sp.⁽⁵⁾。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約 0.5 cm²，移入新的 PDA 斜面中，置於 24°C 無光照環境下培養。

供試藥劑

本實驗中測試13種殺菌劑分別為亞托敏(Azoxystrobin)、四氯異苯腈(Chlorothalonil)、氫氧化銅(Copper hydroxide)、依得利(Etridiazole)、福多寧(Flutolanil)、菲克利(Hexaconazole)、鐵甲磷酸銨(MAFA)、快得寧(Oxine copper)、普拔克(Propamocarb hydrochloride)、甲基鋅乃浦(Propineb)、鏈黴素(Streptomycin)、腐絕(Thiabendazole)、三泰隆(Triadimenol)；和7種除草劑，二、四、地(2,4-D)、丁基拉草(Butachlor)、達有龍(Diuron)、嘉磷塞異丙胺鹽(Glyphosate isopropyl amino)、巴拉刈(Paraquat)、施得圃(Pendimethalin)、百速隆(Pyrazosulfuron-ethyl)。其農藥的化學分類種類以及所使用的稀釋倍數如表一所示。各農藥測試濃度依植保手冊⁽⁴⁾上的推薦最低稀釋倍數；意即推薦之田間最高推薦施用濃度為基準。製備供試母液時，使用無菌水將之配製成最高施用濃度的兩倍，例如推薦濃度為 1000ppm 則供試母液便為 2000ppm，以便與蟲液以 1:1 體積混合後，成為植保手冊之推薦使用最高濃度。

供試殺菌及殺草農業藥劑處理三種線蟲造成之死亡率

取供試母液 1 ml 加入指形管中，再加入 1 ml 約含 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。未與田間土中可能發現的線蟲齡期相符，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⁾：

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

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

表一、本實驗中所測試的13種殺菌劑及7種殺草劑種類與試驗時的使用倍數

TABLE 1. The fungicides and herbicides and their application concentration tested in this study

Common name	Chinese name	Formulation		mg a.i./L	Category
Fungicide					
Azoxystrobin	亞托敏	23.00%	SC	115	Strobilurin
Chlorothalonil	四氯異苯腈	40.00%	WP	571	Organic chlorin and aromatic compound
Copper hydroxide	氫氧化銅	77.00%	WP	1925	Inorganic copper
Etridiazole	依得利	21.20%	EC	212	Heterocyclic compound
Flutolanil	福多寧	20.00%	SC	100	Acid amide
Hexaconazole	菲克利	10.00%	EC	66.7	Inorganic sulfur
MAFA	鐵甲磷酸銨	6.50%	SL	65	Organic arsenic
Oxine copper	快得寧	80.00%	WP	533	Organic copper
Propamocarb hydrochloride	普拔克	39.50%	SL	987.5	Carbamate
Propineb	甲基鋅乃浦	70.00%	WP	1750	Organic sulfur
Streptomycin	鏈黴素	12.50%	SL	125	Antibiotic
Thiabendazole	腐絕	41.80%	EC	209	Benzimidazole
Triadimenol	三泰隆	23.00%	EC	1150	Triazole
Herbicide					
2,4-D	二、四、地	80.00%	SP	4000	Phenoxyactic acid
Butachlor	丁基拉草	60.00%	EC	3000	Acid amide
Diuron	達有龍	80.00%	WP	3200	Urea
Glyphosate isopropyl amino	嘉磷塞異丙胺鹽	41.00%	SL	5857	Amino acid
Paraquat	巴拉刈	24.00%	SL	2400	Heterocyclic compound
Pendimethalin	施得圃	34.00%	EC	1889	Pyrethroid
Pyrazosulfuron-ethyl	百速隆	10.00%	WP	5000	Sulfonylurea

供試殺菌及殺草農業藥劑對南方根腐線蟲卵孵化的影響

將接種南方根腐線蟲6 wk後的空心菜根部剪成約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秒後，經三層網篩過濾(上層60 mesh，中層400 mesh，下層500 mesh)，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(9)，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℃的環境下7 day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：

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

供試殺菌對兩种植物寄生性線蟲侵染的影響

藥劑的製備方式同死亡率試驗所述，將供試母液與蟲液1:1混合，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。本試驗以空心菜做為南方根腐線蟲的寄主，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稍經改製的seedling growth pouch (Mega International, Minnesota, U.S.A.)。將每個seedling growth

pouch內的紙張等分為三區剪開，pouch則用熱封條機分隔開來。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℃的日照環境下培養，適度補充水份，待其根系長出二級側根後進行接種。接種5 days後，將根系從seedling growth pouch中取出進行染色。染色步驟如下：根系浸泡於稀釋10倍的漂白水30 min進行透化，以清水漂洗1 min，再將根系靜置於大量的清水中15 min去除殘餘漂白水。先將染劑(醋酸化棉藍: 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。

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，就會出現負值。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，還把藥劑抑制生長能力依其造成線蟲死亡的程度分成3種，死亡率高於66.7%的屬於強烈抑制生長能力，介於66.7%到33.3%的屬於中等抑制生長能力，低於33.3%的屬於微弱抑制生長能力。

供試殺菌及殺草農業藥劑處理三種線蟲造成之死亡率 殺菌劑之抑制生長效果

供試的13種殺菌劑中，有1種對南方根腐線蟲具強烈抑制生長能力，有3種具中等抑制生長能力，結果如表二所示。依得利(Etridiazole)在第三次的試驗中表現強烈抑制生長能力(71.39%)，在另外兩次重覆試驗中僅表現出中等抑制生長能力(64.37%和62.40%)。快得寧(Oxine copper)、普拔克(Propamocarb hydrochloride)與三泰隆(Triadimenol)在三次的重覆試驗中，則分別表現一次的中等毒殺效果(51.57%、38.34%、41.63%)。其他的9種藥劑在本試驗中，皆呈現微弱抑制生長能力。

依南方根腐線蟲的測試結果顯示，試驗的13種殺菌劑，只有依得利表現強烈的抑制生長能力(100%與99.11%)，且穩定出現在三次試驗中，結果如表二所示。快得寧則僅在第一次試驗，出現一次中等抑制生長能力(44.30%)，其他兩次重覆試驗中並未具顯著抑制南方根腐線蟲的能力。另外其他11種殺菌劑在試驗中，皆未出現顯著抑制生長效果。

有3種供試藥劑表現強烈抑制腐生性線蟲能力，有2種表現中等抑制生長能力，結果如表二所示。依得利在腐生性線蟲的試驗中三次試驗皆表現強烈的抑制生長效果(83.19%、74.79%與78.49%)；而腐絕(Thiabendazole)與普拔克僅在第一次試驗表現強烈的抑制生長能力。鐵甲砷酸銨(MAFA)和甲基鋅乃浦(Propineb)則僅在第一次試驗表現中等抑制生長能力(37.17%和59.39%)。其餘8種藥劑，在試驗中皆未表現顯著抑制生長效果。

除草劑之抑制生長效果

供試的7種除草劑中，有3種對南方根腐線蟲具強烈抑制生長能力，分別為二,四-地(2,4-D)、丁基拉草(Butachlor)與施得圃(Pendimethalin)結果如表三。丁基拉草和施得圃在三次試驗中皆強烈的抑制生長能力，除了丁基拉草在第一次試驗出現73.68%死亡率外，其他的死亡率都在90%以上，甚至出現100%的死亡率。二,四-地則在兩次試驗表現死亡率超過90%以上的強烈抑制生長能力，但在第二次試驗中則只出現43.81%的中等抑制生長能力。本試驗中達有龍(Diuron)、嘉磷塞異丙胺鹽(Glyphosate isopropyl amino)、巴拉刈(Paraquat)及百速隆(Pyrazosulfuron-ethyl)等4種藥劑則沒有明顯抑制線蟲生長，其造成南方根腐線蟲的死亡率皆在14.9%以下。

在南方根腐線蟲試驗顯示，2種除草劑表現強烈抑制生長能力，3種具中等抑制生長能力，結果如表三所示。施得圃在三次試驗中皆穩定表現強烈抑制生長能力(100%、68.41%和93.03%)，而丁基拉草僅在第三次試驗中出現74.76%的強烈抑制生長能力，另外兩次試驗中則是呈現中等抑制生長能力(44.5%和35.64%)。穩定具中等抑制生長根腐線蟲能力的藥劑為巴拉刈，死亡率為36.28%、39.33%與40.7%。達有龍與嘉磷塞異丙胺鹽則在本試驗中都呈現微弱的抑制生長能力。

有3種除草劑對腐生性線蟲表現強烈抑制生長能力，2種具中等抑制生長能力，結果如表三。施得圃在三次試驗中都穩定出現了強烈的抑制生長效果(100%、73.95%與79.56%)，而嘉磷塞異丙胺鹽僅在第一次試驗中出現100%的強烈抑制生長能力，在其他兩次試驗中都是呈現死亡率不到20%微弱抑制生長能力。巴拉刈在第一次試驗中出現強烈抑制生長能力

表二、南方根腐線蟲、南方根腐線蟲及腐生性線蟲經殺菌劑處理後之死亡率

TABLE 2. The mortality of *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus coffeae* and *Rhabditis* sp. treated with fungicides.

Treatment	Mortality(%) ²								
	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.
Azoxystrobin	2.90 e ¹	11.82 de	5.26 f	-11.84 d	2.68 def	-1.95 e	10.34 cdef	2.09 d	6.17 bc
Chlorothalonil	8.29 e	14.07 cde	22.46 ef	25.18 bc	-0.04 ef	0.96 de	-1.30 fg	8.37 bcd	6.83 bc
Copper Hydroxide	17.33 cde	15.27 cde	8.55 f	0.12 d	10.70 b	3.49 de	21.15 bc	16.14 b	0.87 c
Etridiazole	64.37 a	100.00 a	83.19 ab	62.40 a	99.11 a	74.97 a	71.39 a	100.00 a	78.49 a
Flutolanil	9.08 de	16.00 cde	4.84 f	-7.51 d	-2.00 f	-2.70 e	-1.36 fg	3.59 cd	-1.42 c
Hexaconazole	29.38 cd	30.61 bc	13.95 ef	-3.74 d	-0.25 ef	4.38 de	1.52 efg	1.52 d	-3.50 c
MAFA	18.16 cde	22.12 cd	37.17 de	-1.94 d	-0.80 ef	-1.87 e	-3.48 g	6.63 cd	13.22 bc
Oxine Copper	51.57 ab	44.30 b	9.37 f	1.51 d	4.13 cde	0.39 de	3.71 defg	11.37 bc	0.00 c
Propamocarb hydrochloride	5.30 e	18.93 cde	67.75 bc	38.34 b	1.54 def	9.91 cd	24.54 b	8.46 bcd	27.94 b
Propineb	7.53 e	18.35 cde	59.39 cd	19.54 c	8.90 bc	6.61 cde	12.45 cde	8.24 bcd	4.50 c
Streptomycin	6.96 e	3.27 e	28.01 ef	-5.22 d	9.25 bc	14.80 bc	11.74 cde	6.96 cd	5.15 bc
Thiabendazole	-1.41 e	27.12 bcd	100.00 a	-10.09 d	6.35 bcd	22.62 b	1.90 efg	3.81 cd	8.31 bc
Triadimenol	31.24 bc	3.27 e	15.39 ef	41.63 b	0.28 ef	-2.25 e	14.37 bcd	7.80 bcd	0.65 c

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

². Mortality was determined after 24 hours incubation.

表三、南方根瘤線蟲、南方根腐線蟲及腐生性線蟲經除草劑處理後之死亡率

TABLE 3. The mortality of *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus coffeae* and *Rhabditis* sp. treated with herbicides.

Treatment	Mortality(%) ²								
	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.
2,4-D	92.57 a ¹	-1.49 c	-10.12 d	43.81 b	17.42 d	16.62 bc	95.01 b	37.12 c	29.10 c
Butachlor	73.68 b	44.50 b	37.33 c	91.25 a	35.64 bc	63.39 a	100.00 a	74.76 b	48.35 b
Diuron	-7.24 c	-10.49 c	44.59 bc	-8.08 d	17.38 d	2.97 c	3.02 d	13.25 d	6.69 de
Glyphosate isopropyl amino	-10.03 c	47.27 b	100.00 a	-6.03 d	44.04 b	19.22 bc	12.27 c	36.59 c	15.37 cd
Paraquat	-2.10 c	36.28 b	74.56 ab	14.19 c	39.33 bc	33.11 b	9.61 c	40.70 c	51.27 b
Pendimethalin	100.00 a	100.00 a	100.00 a	98.56 a	68.41 a	73.95 a	100.00 a	93.03 a	79.56 a
Pyrazosulfuron-ethyl	-3.32 c	-16.71 c	-2.94 d	5.71 c	24.72 cd	23.06 b	-0.21 d	4.32 d	-0.40 e

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

² Mortality was determined after 24 hours incubation.

(74.56%)，而在另外兩次試驗中則是呈現中等抑制生長能力(33.11%和51.27%)。具中等抑制生長能力的為丁基拉草，三次試驗的線蟲死亡率分別為37.33%、63.39%與48.35%。然而二、四-地與百速隆三次試驗中都沒有出現明顯的抑制生長能力。

供試殺菌及殺草農業藥劑對南方根瘤線蟲卵孵化的影響

殺菌劑降低卵孵化率之效果

供試13種殺菌劑中，有4種藥劑表現出促進卵孵化的效果，普拔克(Propamocarb hydrochloride)曾於兩次試驗得到孵化率(58.14%和52.22%)顯著高於對照組，另一次試驗結果雖比對照組孵化率高，但沒有顯著差異，結果如表四所示。試驗有出現促進孵化效果的殺菌劑還有氫氧化銅(Copper hydroxide)、鐵甲砷酸胺(MAFA)及三泰隆(Triadimenol)，它們都在一次試驗中出現了顯著高於對照組的孵化率，分別為(50.3%、51.47%及17.85%)。

出現抑制根瘤線蟲卵孵化的效果的有亞托敏(Azoxystrobin)、四氯異苯腈(Chlorothalonil)、依得利(Etridiazole)和鏈黴素(Streptomycin)。其中依得利及鏈黴素這兩種藥劑，於三次試驗中有兩次孵化率皆顯著低於對照組，但在第一次試驗中兩種藥劑在統計上與對照組的孵化率沒有顯著差異。亞托敏與四氯異苯腈在第二次試驗中的孵化率(8.44%與8.02%)亦顯著低於對照組(12.89%)，但在另外兩次試驗中，孵化率與對照組並無顯著差異(表四)。其他5種殺菌劑，在試驗中與對照組的孵化率都沒有顯著差異(表四)。

除草劑降低孵化率之效果

所有7種供試除草劑都曾出現抑制根瘤線蟲卵孵化的效果，但其中有2種藥劑在重覆試驗中曾出現一次促進根瘤線蟲卵孵化的效果，結果如表五所示。穩定表現抑制效果的是丁基拉草和施得圃，在三次試驗中孵化率(最低1.39%，最高5.57%)皆顯著低於對照組。百速隆(Pyrazosulfuron-ethyl)在三次試驗

表四、殺菌劑對南方根瘤線蟲孵化率的影響

TABLE 4. The hatching rate of *Meloidogyne incognita* treated with fungicides.

Treatment	Hatching rate(%) ²		
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Azoxystrobin	22.60 def ¹	8.44 d	35.73 cd
Chlorothalonil	6.29 f	8.02 de	44.74 ab
Copper Hydroxide	29.88 bcdef	9.02 cd	50.30 a
Etridiazole	47.51 abcd	2.82 f	12.68 e
Flutolanil	53.31 ab	9.17 cd	35.59 cd
Hexaconazole	32.72 abcde	10.58 cd	44.67 ab
MAFA	8.27 ef	11.28 cd	51.47 a
Oxine Copper	22.64 def	9.34 cd	44.08 abc
Propamocarb hydrochloride	58.14 a	16.53 ab	52.22 a
Propineb	26.62 cdef	10.43 cd	32.28 d
Streptomycin	22.42 def	4.31 ef	11.06 e
Thiabendazole	48.58 abc	12.83 bc	37.19 bcd
Triadimenol	20.37 ef	17.85 a	36.01 bcd
Check	31.68 bcdef	12.89 bc	40.38 bcd

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

² Hatching rate was counted 7 days after treatment.

中，兩次孵化率(4.98%和7.43%)顯著低於對照組，但另一次試驗中孵化率(52.04%)卻顯著高於對照組(40.38%)。巴拉刈則是只有在第一次試驗中，出現孵化率(24.88%)顯著低於對照組(36.28%)，但在第二次試驗中，則出現統計上孵化率(17.74%)高於對照組(12.89%)的現象，最後一次試驗結果則與對照組沒有顯著差異。有出現抑制卵孵化效果的還有二、四-地、達有龍和嘉磷塞異丙胺鹽這三種藥劑，但都僅在第一次試驗中出現孵化率(9.21%、20.51%與13.13%)顯著低於對照組(36.28%)的結果，另外兩次試驗中，則與對照組沒有顯著差異。

表五、除草劑對南方根瘤線蟲孵化率的影響

TABLE 5. The hatching rate of *Meloidogyne incognita* treated with herbicides.

Treatment	Hatching rate(%) ²		
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
2,4-D	9.21 cd ¹	14.51 ab	48.34 ab
Butachlor	2.69 e	2.16 d	5.57 d
Diuron	20.51 b	13.92 ab	42.66 bc
Glyphosate isopropyl amino	13.13 c	12.61 b	34.63 c
Paraquat	24.88 b	17.74 a	46.24 ab
Pendimethalin	5.32 de	1.39 d	5.54 d
Pyrazosulfuron-ethyl	4.98 de	7.43 c	52.04 a
Check	36.28 a	12.89 b	40.38 bc

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

². Hatching rate was counted 7 days after treatment.

供試殺菌劑對兩种植物寄生性線蟲侵染的影響

殺菌劑影響南方根瘤線蟲侵染效果

13種殺菌劑中，共4種藥劑對南方根瘤二齡幼蟲有抑制侵染的效果，有3種藥劑則曾出現促進侵染的效果，其他殺菌劑對侵染能力沒有顯著影響，結果如表六所示。亞托敏(Azoxystrobin)、依得利(Etridiazole)、鐵甲磷酸銨(MAFA)及甲基鋅乃浦(Propineb)這四種藥劑在第一次試驗中，侵入根系的蟲數(6.6、3.6、5.8及9.2隻)統計皆顯著低於對照組(20.2隻)，但在第二次試驗中，雖和對照組在統計上沒有顯著的差異，只有依得利出現了極低的侵染蟲數(1.2隻)。在第二次試驗中甲基鋅乃浦、鏈黴素(Streptomycin)和三泰隆(Triadimenol)這三種藥劑，出現侵染蟲量(24.6、36.4及23.8隻)顯著高於對照組(10.8隻)，可是在另一次試驗則沒有顯著的效果(表六)。較特別的為甲基鋅乃浦，兩次結果剛好效果相反。

有5種殺菌藥劑表現抑制南方根腐線蟲侵染的效果。分別為亞托敏、四氯異苯腈、氫氧化銅、依得利及鐵甲磷酸銨，其侵染蟲量(8.8、18.75、15.20、5.6及15.20隻)在統計上顯著低於對照組(45.25隻)。另外8種殺菌劑，則在侵染蟲數上與對照組沒有顯著上的差異(表七)。

討 論

本研究結果則顯示，依得利對南方根瘤線蟲無論是在直接抑制生長能力、抑制孵化率、抑制侵染及降低根瘤指數上都有出現顯著的效果，而其對南方根腐線蟲，也具有直接抑制生長、抑制侵染與降低土中蟲量的能力。依得利的化學分類是屬於含氮雜環類，其主要的殺菌的作用機制為抑制卵菌綱類病菌的自由脂肪酸累積與呼吸作用，主要是用以防治胡瓜、甜椒及蕃茄幼苗的疫病，也有用於防治水稻的秧苗立枯病⁽¹¹⁾。未來可進一步研究其機制，視其可否發展為機制不同之植物寄生性

表六、南方根瘤二齡幼蟲經殺菌劑處理後侵染寄主數目

TABLE 6. The number of *Meloidogyne incognita* J₂ penetrated in roots after treated with fungicides.

Treatment	Numbers of Nematodes ¹	
	Experiment 1	Experiment 2
Azoxystrobin	6.60 Bc ²	16.00 bcde
Chlorothalonil	15.00 ab	21.80 bcd
Copper Hydroxide	12.00 abc	12.60 bcdef
Etridiazole	3.60 c	1.20 f
Flutolanil	10.40 abc	20.20 bcde
Hexaconazole	11.80 abc	11.60 cdef
MAFA	5.80 bc	13.80 bcde
Oxine Copper	13.00 abc	8.40 ef
Propamocarb hydrochloride	12.00 abc	14.20 bcde
Propineb	9.20 bc	24.60 ab
Streptomycin	12.20 abc	36.40 a
Thiabendazole	13.20 abc	17.40 bcde
Triadimenol	16.20 ab	23.80 bc
Check	20.20 a	10.80 def

¹. 250 nematodes were inoculated per pouch. Numbers of nematodes in roots were counted 5 days after inoculation.

². Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to least significant difference test.

表七、南方根腐線蟲經殺菌劑處理後侵染寄主數目

TABLE 7. The number of *Pratylenchus coffeae* penetrated in roots after treated with fungicides.

Treatment	Numbers of Nematodes ¹
	Experiment 1
Azoxystrobin	8.80 Cd ²
Chlorothalonil	18.75 bcd
Copper Hydroxide	15.20 bcd
Etridiazole	5.60 d
Flutolanil	47.80 a
Hexaconazole	36.40 ab
MAFA	15.20 bcd
Oxine Copper	33.75 ab
Propamocarb hydrochloride	32.20 ab
Propineb	51.00 a
Streptomycin	29.60 abc
Thiabendazole	46.40 a
Triadimenol	34.40 ab
Check	45.25 a

¹. 250 nematodes were inoculated per pouch. Numbers of nematodes in roots were counted 5 days after inoculation.

². Means (n=5) in the same column followed by the same letter are not significantly different ($\alpha=0.05$) according to least significant difference test.

線蟲病害管理藥劑。Rodríguez-Kábana 和 Peggy⁽¹⁵⁾也曾報導過依得利對外寄生線蟲 *Tylenchorhynchus clayton*、內寄生固著性的 *M. incognita*、內寄生潛移性的 *P. brachyurus* 與腐生性

的 *Pelodera chitwoodi* 具有顯著的致死效果。由於依得利具有植物體內系統性移行的能力，如果此劑型有機會發展出有效的藥劑，於合適的寄主上將有助於抑制內寄生性線蟲生長。在本試驗中，依得利對無寄生能力的腐生性線蟲(*Rhabditis* sp.)的抑制生長能力也十分顯著，Rodríguez-Kábana 和 Peggy⁽¹⁵⁾的報導中曾指出，此藥劑會抑制腐生性的 *Pelodera chitwoodi* 線蟲生長。鐵甲磷酸鉍屬有機磷類的殺菌劑，在本實驗中發現具有抑制線蟲侵染的能力，雖然 Decker⁽³⁾提到，有機磷對線蟲有很強的抑制生長能力，但本試驗結果顯示，其直接抑制線蟲生長的效果並不佳，僅對腐生性線蟲造成37.17%的致死率。但南方根瘤線蟲和南方根腐線蟲經此藥劑處理之後，卻顯現其侵染的能力下降，雖然本實驗的使用濃度無法對試驗線蟲有直接的抑制生長能力，但卻具影響試驗線蟲侵入植物根系的效力。鏈黴素在本實驗中表現抑制南方根瘤線蟲卵孵化的效果，前人研究⁽²⁾曾證實鏈黴素會導致包囊線蟲(*Heterodera glycines*)卵孵化率下降，與本試驗中所得的結果類似。本研究於南方根瘤線蟲的侵染試驗中，一次結果曾顯示鏈黴素可促進南方根瘤二齡幼蟲侵染。鏈黴素於田間主要以葉面噴施，推薦使用防治許多細菌性病害，也具有系統性移行的特性⁽¹¹⁾。因此，由本試驗結果得知，這些供試的殺菌劑對非標的生物的殺生效果在生態上可能造成影響，也應在田間推薦使用時列入考慮。

Miller 和 Stoddard⁽¹³⁾曾報導，氨基甲酸鹽類的殺菌劑(Nabam)施用於土壤中，會令南方根瘤線蟲與包囊線蟲(*H. tabacum*)的卵孵化率提高，可是在直接用Nabam的水溶液處理時，卵的孵化率卻是呈現被抑制的情況，他們推測Nabam在土中降解後的產物會誘導卵孵化，但本實驗中同為氨基甲酸鹽類的殺菌劑普拔克(Propamocarb hydrochloride)水溶液的處理，卻會促進南方根瘤線蟲卵的孵化。對於會提高線蟲卵孵化率的藥劑於線蟲防治上的應用，Miller 和 Stoddard提供了一個策略，便是將這類藥劑與觸殺型的殺線蟲劑合用，先促使卵孵化成幼蟲，以提高觸殺型殺線蟲劑的防治效力⁽¹³⁾。

殺草劑施得圃和丁基拉草對試驗中三種線蟲都有很穩定的直接抑制生長能力，且對南方根瘤線蟲卵孵化也有很好的抑制能力，Strandberg 和 Scott-Fordsmand⁽¹⁹⁾曾報導，施用施得圃原體於土中，可以有效降低南方根瘤線蟲在土壤中的族群。施得圃及丁基拉草在殺草劑的群中屬於K類細胞有絲分裂抑制劑，其作用機制分屬為抑制細胞有絲分裂時微管的組合及抑制長鏈脂肪酸合成進而影響細胞分裂，本篇試驗結果也佐證施得圃與丁基拉草可抑制南方根瘤及南方根腐線蟲生長，未來可以針對同屬K類的其他殺草劑是否也具殺線蟲效果做進一步研究。二,四-地、巴拉刈及嘉磷塞異丙胺鹽試驗結果顯示，對不同線蟲的抑制生長能力不同。二,四-地在實驗中只對南方根瘤線蟲有直接抑制生長效果，對南方根腐線蟲與腐生性線蟲的抑制生長效果就較不明顯；巴拉刈對南方根腐線蟲與腐生性線蟲都有抑制生長的能力，但對南方根瘤線蟲則沒有出現明顯的抑制生長能力；而嘉磷塞異丙胺鹽也只對南方根腐線蟲有較穩定的抑

制生長能力，對南方根瘤線蟲則無。從上述結果可知，線蟲對藥劑感受性之高低，其決定因子應不止齡期、體皮的厚薄、或線蟲的寄生方式。但可以確定的是南方根瘤線蟲與南方根腐線蟲在演化分類上不同科，所以對特定藥劑感受能力的差異會不會來自於演化上所累積的基因歧異度，這點值得以後進一步研究，以了解線蟲對化學藥劑感受能力差異有那些決定因子。

本試驗使用的除草劑大多數都會對供試寄主產生藥害，而植物寄生性線蟲要依靠寄主存活，如植物的生長受除草劑影響，會導致植物寄生性的線蟲族群無法建立。Bradley等人⁽¹⁾使用施得圃於大豆的感病品系，結果導致寄生於大豆上的包囊線蟲族群量有顯著下降，作者並沒有斷言施得圃對大豆上的包囊線蟲有防治的效果，而是推論，因施得圃的使用，造成了大豆根系的傷害，所以無法提供包囊線蟲有足夠的養份，因此線蟲的族群發展受到抑制。本研究原包含以供試殺草劑浸泡兩種供試植物寄生性線蟲幼蟲後，將其接種至寄主上觀察侵染能力，但當線蟲處理完二,四-地藥劑，經水漂洗後，殘存的藥劑量仍足以使供試的寄主死亡，這顯示殺草劑處理對寄主本身的影響可能遠大於對線蟲的影響。因此，如果使用除草劑進行田間雜草管理，因藥劑移除田間雜草寄主故可降低部份的植物寄生性線蟲的族群。

總結本實驗供試的殺菌劑依得利、鐵甲磷酸鉍、鏈黴素；及除草劑施得圃、丁基拉草、巴拉刈、二,四-地、嘉磷塞異丙胺鹽等藥劑，皆有抑制供試線蟲生長的潛力，但其效果並不穩定。其中供試的依得利、丁基拉草及施得圃藥劑為乳劑劑型，故未能排除其配方中的有機溶劑是否對線蟲也有影響。未來還須更多試驗來佐證這些藥劑抑制線蟲生長或卵孵化的作用機制，提供發展新殺線蟲藥劑一個方向。

引用文獻

- Bradley, C. A., Noel, G. R., Grau, C. R., Gaska, J. M., Kurtzweil, N. C., MacGuidwin, A. E., Wax, L. M., Hartman, G. L., and Pedersen, W. L. 2003. Impact of herbicides on *Heterodera glycines* susceptible and resistant soybean cultivars. *Journal of Nematology* 35: 88-97.
- Charlson, D. V., and Tylka, G. L. 2003. *Heterodera glycines* cyst components and surface disinfectants affect *H. glycines* hatching. *Journal of Nematology* 35: 458-464.
- Decker, H. 1989. *Plant nematodes and their control (Phytonematology)*. E.J. Brill Publishing company. 474pp.
- 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. 963pp. (In Chinese)
- Goodey, T. 1963. *Soil and freshwater nematodes*, 2nd ed. (rev. J. B. Goodey). London & New York, Methuen & Co. 544pp.
- Griffin, G. D., and Anderson, J. L. 1979. *Effects of DCPA*,

- EPTC, and chlorpropham on pathogenicity of *Meloidogyne hapla* to Alfalfa. *Journal of Nematology* 11:32-36.
7. Hartman, K. M., and Sasser, J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. Pages 69 – 77 in: *An Advanced Treatise on Meloidogyne*, vol. II. Methodology. K.R. Barker, C.C. Carter, and J.N. Sasser. ed. North Carolina State University Graphics, Raleigh, USA , 223pp.
 8. Huang, H. M. 1998. Interactions of reniform nematode with south root-knot nematode, south root-lesion nematode and Fusarium wilt on banana. Master thesis. Dept. of Plant pathology, National Chung Hsing University. 75pp. (In Chinese)
 9. Hussey, R. S., and K. R. Barker. 1973. A comparison of methods of collecting inoculum of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter* 57: 1025-1028.
 10. Klemens, E., and Gerard, W. K. 2006. Nematodes as sentinels of heavy metals and organic toxicants in the soil. *Journal of Nematology* 38: 13-19.
 11. Liao, L. S. 2005. *The Application of Pesticides*. Vol. 8. Deli Industrial Chemical Co., Ltd., Taichung, Taiwan. 1311pp. (In Chinese)
 12. Lin, S. C., Chen, P., and Tsay, T. T. 2004. The susceptibility of field populations of *Meloidogyne incognita* to nematicides. *Plant pathology Bulletin* 13:335-338. (In Chinese)
 13. Miller, P. M., and Stoddard, E. M. 1958. Increasing the hatching of eggs of cyst and rootknot nematodes with nabam. *Science* 128: 1429-1430.
 14. Qui, 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. *Journal of Nematology* 25:686-694.
 15. Rodríguez-Kábana, R., and Peggy, S. K. 1977. Nematicidal activity of the fungicide ethazole. *Journal of Nematology* 9:203-206.
 16. Rodríguez-Kábana, R., Peggy, S. King and Adams, J. R. 1978. Research papers: nematicidal activity of tecnazene: A tetrachloronitrobenzene fungicide. *Nematropica* 8:69-73.
 17. Schmitt, D. P., and Corbin, F. T. 1981. Interaction of fensulfothion and phorate with pre-emergence herbicides on soybean parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 13:37-40.
 18. Sipes, B.S., and Schmitt, D.P. 1989. Development of *Heterodera glycines* as affected by Alachlor and Fenamiphos. *Journal of Nematology* 21:24-32.
 19. Strandberg, M., and Scott-Fordsmand, J. J. 2002. Effects of pendimethalin at lower trophic levels—a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57: 190-201.
 20. Tsay, T. T., and Chen, P. 2007. *Plant Nematology*. Bureau of animal and plant health inspection and quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. Dept. of Plant pathology, National Chung Hsing University. 117pp. (In Chinese)
 21. Tsay, T. T. 1996. The ecology of *Meloidogyne* spp., on weeds. The symposium of weed management and safe herbicide applications:309-324. (In Chinese)
 22. Ware, G. W. 1994. Modes of action for insecticides. Pages 169-182 in: *The pesticide book*. G. W. Ware, ed. Thomson publication, California, 386pp.
 23. Wong, A. T. S., Tylka, G. L., and Hartzler, R. G. 1993. Effects of eight herbicides on in vitro hatching of *Heterodera glycines*. *Journal of Nematology* 25:578-584.
 24. Yamashita, T., Viglierchio, D. R., and Schmitt, R. V. 1986. Responses of nematodes to nematicidal application following extended exposures to subnematicidal stress. *Rev. Nematol.* 9:49-60.

ABSTRACT

Yeh, Y.-J., Tsay, T. T. and Chen, P.* 2018. The effect of 13 fungicides and 7 herbicides to 3 nematodes in the soil. *J. Plant Med.* 60(1): 33-40.

*Corresponding author, P. Chen, E-mail: janetchen@nchu.edu.tw

Two plant parasitic nematodes (PPNs) *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus coffeae* and a free living nematode *Rhabditis* sp. were used in this study. The mortality rate, egg hatching rate, penetration rate of the PPNs were recorded to illustrate the effect of 13 fungicides and 7 herbicides on these nematodes. The pesticides belong to different chemical categories were evaluated in this study. Three fungicides and 5 herbicides had significant ability to lead to higher mortality of the nematodes tested, among them, Etridiazole, Butachlor and Pendimethalin had the most significant and consistent effects on inhibiting nematode growth. These 3 pesticides caused 62.4%-100% mortality on both *M. incognita* and *P. coffeae*, and all could inhibit *M. incognita* egg hatching. 2, 4-D treatment had significant higher mortality to the J₂ of *M. incognita* but not to *P. coffeae*, and Glyphosate isopropyl amino had the opposite effects, indicating different PPNs might react differently to the same pesticide. Further studies need to be done to illustrate the inhibition mechanisms of these pesticides, in hope that novel nematicide might be developed in the future.

Keywords: free-living nematode, fungicides, herbicides, plant parasitic nematodes.