

植物寄生性線蟲病害之化學防治

蔡東纂

臺中市 國立中興大學植物病理系
電子郵件 TTTsay@nchu.edu.tw ; 傳真 04-2876712
接受日期：中華民國88年4月30日

摘 要

蔡東纂. 1999. 植物寄生性線蟲病害之化學防治. 植病會刊 8:41-50.

由於絕大多數殺線蟲劑為劇毒農藥，在汙染土壤及地下水之環保考量與殘毒之虞，陸續遭到禁用或限用的管制。過去的15年間，並未有優異的殺線蟲劑上市，而目前作物線蟲病害之防治仍以殺線蟲劑之施用為主。全世界每年因線蟲病害造成之作物損失為12.3%，約值1000億美金；在此前提下，每年仍須支出5億美金的殺線蟲劑費用。既然，殺線蟲劑之施用仍具高度依賴性，瞭解其作用，進而正確使用，也是當務之急。本文從殺線蟲劑之沿革，述及其種類，對線蟲的作用機制，台灣使用狀況，影響其效果的因素，和其他農藥混合使用的結果，從而論及理想新殺線蟲劑的條件，作一通盤性之論述。

關鍵詞：殺線蟲劑、植物寄生性線蟲

緒 言

長久以來，提昇農作物的品質及產量乃是全世界農業專家共同努力的目標；然植物根系發育不良所導致作物的減產，始終是達到增進植物生長效應 (increase-growth response, IGR) 的最大障礙⁽¹⁴⁾。根據一項由75個國家，1330線蟲學者參與之調查統計顯示，危害植物根群，嚴重影響養分吸收的植物寄生性線蟲，每年造成全球主要作物12.3%之損失，約值一千億美金⁽⁴⁸⁾。由於植物寄生性線蟲病害之發生常是漸進式的，俟該病原線蟲建立族群後，對多年生、單相栽培、專業區及高頻率栽植之作物，愈易演變為可使產量降低30至100%之連作障害⁽²⁾。西尾氏⁽¹⁾有條理地分析日本521個作物忌地 (soil sickness) 現象個案，發現其中由植物線蟲引起者佔15.9%。目前對作物線蟲病害的防治多依賴殺線蟲劑之施用，美國一年即須花費一億七千二百萬美元⁽⁶⁴⁾。許多殺線蟲劑是致癌物質，或可殘存於農產品中、污染土壤及地下水；美國環境保護署 (U. S. Environmental Protect Agency) 已積極檢討並禁用或限用某些殺線蟲劑。如1, 3-D及得滅克 (aldicarb) 已被限制使用對象；加保扶 (carbofuran) 粒劑、二溴乙烷 (EDB) 及滴滴滅 (vorlex) 業遭禁用，即使全世界應用最多之土壤及栽培介質燻蒸消毒劑 - 溴化甲烷 (methyl bromide) 亦將於公元二千年禁產禁用⁽⁶⁴⁾。因此，檢討殺線蟲劑之沿革、種類、作用機制、施用方法、於土壤中之移行及防治效果，確立良好施用模式，並研發新型殺線蟲劑；於對殺線蟲劑仍存在高度依賴性的現在，為切合實際，可行之務。

殺線蟲劑之沿革

最早使用之殺線蟲劑為二硫化碳 (CS₂)。Kuhn於1881年成功的以CS₂防治德國境內甜菜包囊線蟲；1872至1900年間大量的CS₂也施用於法國葡萄園中；俟後更證明其對根瘤線蟲具有優異的防治功效⁽³²⁾。儘管其具有良好的殺線蟲效果，惜迄今未見普遍推廣使用。氯化苦 (chloropicrin) 曾於1919年小規模田間試驗，防治線蟲病害成功後，廣泛施用於夏威夷鳳梨栽培產業，目前僅應用於特定作物之介質或植床消毒⁽²¹⁾。自從Taylor與McBeth報導溴化甲烷 (methyl bromide) 為廣效性殺生物質 (biocide)，具有殺線蟲效力後，即正式商品化，作為土壤或栽培介質之農業用途⁽⁵³⁾。1943年，Carter⁽¹⁰⁾於夏威夷鳳梨研究所報導DD混合物 (1, 3-dichloropropene, 1, 2-dichloropropane 及C₃碳水混合物) 注入土中，可有效防治線蟲病害，之後的5年內，廣泛用於數千公頃的田園中。1944年，EDB (ethylene dibromide) 被引進美國加州及佛羅里達州使用，發現對根瘤和包囊線蟲具有良好的防治作用。DD及EDB在第二次世界大戰後，皆被量產為商品。1954年，DBCP (1, 2-dibromo-3-chloropropane) 被報導少量使用即可發揮高度線蟲防治效用，因其具有對植物低毒性之特性，因此可於植前及植後使用，且不影響作物的生育⁽⁴⁷⁾。1956年，metham (sodium methyl dithiocarbamate) 首度被發掘作為殺線蟲劑⁽³³⁾，經由澆灌或注入土中後，metham可分解為methyl isothiocyanate，為防治線蟲、昆蟲、雜草、真菌及其他土中病原的成份⁽²²⁾；但由於對作物具有毒性，須於處理後兩週以上方可栽種。除了上述燻蒸性化學藥物而外，其他如尿素、calcium azide, potassium azide及

sodium azide皆具殺線蟲劑作用⁽¹³⁾。

非燻蒸性殺線蟲劑，大致分為有機磷劑 (organophosphate) 及氨基甲酸鹽 (carbamate) 兩類。有機磷劑最早研發成功的是VC-13⁽¹²⁾，繼之為thionazin⁽³¹⁾，隨後 parathion、demeton、phorate、disulfoton、diazinon、nellite及fensulfothion逐一問世。值得一提的是 phenamiphos除了具有系統性效果外，尚有靜止線蟲 (nemastat) 作用，可抑制 *Radopholus similis* 及 *Meloidogyne arenaria* 二齡幼蟲侵入根系⁽³⁹⁾。觸殺性的 ethoprop 更被詳細的作垂直分佈的研究⁽⁶⁾。氨基甲酸鹽類殺線蟲劑於1965年首次發佈，其作用兼具殺蟲及殺線蟲效果⁽⁵⁷⁾。此類殺線蟲劑有系統性及抑制膽鹼酯酶 (cholinesterase) 效用，如 aldicarb、carbofuran 及 oxamyl 等。其中，carbofuran 有靜止線蟲功能，而 oxamyl 則可施用於植物地上部，被吸收後，經由導管往下傳送至根部，發揮防治線蟲之功效⁽⁴⁶⁾。此外，自 *Streptomyces avermitilis* 分離到的巨環丙酯 (macrocyclic lactone) - avermectins，具有驅殺蟲能力 (anthelmintic effect)，其線蟲防治施用量為 ethoprop 及 phenamiphos 的 1/15；然不溶於水和易分解兩項缺失，有待克服⁽⁴⁵⁾。

本省殺線蟲劑使用概況

燻蒸劑 (Fumigant)

A、純殺線蟲劑 (true nematicide)

1. 滴滴 (DD, Nemaferne) :

DD是1, 3-dichloropropene及1, 2-dichloropropane以2:1比例混合，或加入其他三碳化合物之混合物。施用方法以耕地表施或穴施為主。其防治對象為線蟲及切根蟲等地下害蟲，高劑量施用方對真菌有抑制作用。一般用藥量為一公畝20至100公升，以手壓式灌藥器或曳引機注入土中。DD為工業上烯丙基氯化物 (allyl chloride) 之副產物，1, 2-Dichloropropane對線蟲並無劇毒性，主要是1, 3-Dichloropropene之蒸氣於土壤中擴散達到殺蟲效果。地溫10以上即有作用，然21~27，濕度5~25%功效最佳。施用15天後方可種植。本劑無殺菌及除草功能，故謂之純殺線蟲燻蒸劑，但因與莖葉接觸時易致藥害，故處理時應與作物保持相當距離。

80% DD應用於防治甘蔗根瘤線蟲時，以溶液穴施或條施，每公頃75.5公升劑量。翻耕、築畦、灌溉及軟底後，於植溝兩旁每公尺三穴，穴深15公分，施藥後以土封口。亦可以曳引式施藥機施藥。鐘麻根瘤線蟲之防治則需每公頃200公升劑量。

2. 二溴乙烷 (Ethlene dibromide, EDB) :

EDB是世界上使用甚多的土壤燻蒸劑，尤其是熱帶地區，直到1985年被禁用。EDB之化學名稱為1, 2-Ethlene Dibromide或1, 2-Dibromethane；普通名則另有Bromofume及Dowfume二者。由於EDB在其10 熔點之下即無作用，因此不推薦使用在溫帶地區之秋冬季節。EDB於1925年取代氯化苦，作為生鮮農產品之燻蒸劑，更於1979年

表一、全球上市之殺線蟲劑

Table 1. Nematicides available on world markets

| Chemical name | Formulation |
|-------------------------------|---------------------------|
| Fumigants 燻蒸劑 | |
| True nematicides 純殺線蟲劑 | |
| DD 滴滴 | 80% S. |
| EDB 二溴乙烷 | 83%, 100% S. |
| DBCP 二溴氯丙烷 | EC., S. |
| Multipurpose fumigants 廣效性燻蒸劑 | |
| Chloropicrin 氯化苦 | S. |
| Methyl bromide 溴化甲烷 | 99.5%, 98% Gas |
| Methyl isothiocyanate 甲基異硫氰類 | |
| Basamid 邁隆 | 85% DP. |
| Vapam 斯美地 | 32.7% EC. |
| Di-Trapex 滴滴滅 | 100% EC. |
| Non-fumigants 非燻蒸劑 | |
| Organophosphates 有機磷劑 | |
| Phenamiphos 芬滅松 | 5%, 10% G., 40% EC. |
| Mocap 普伏松 | 10% G., 70.6% EC. |
| Terbufos 托福松 | 10% G. |
| Phorate 福瑞松 | 10% G. |
| Fensulfothion 繁福松 | 5% G. |
| Disyston 二硫松 | 5% G. |
| Diazinon 大利農 | 5% G., 60% EC. |
| Fostiazate 福賽絕 | 10% G., 75% EC. |
| Rugby | 10% G., 25% EC., 100% ME. |
| Carbamates 氨基甲酸鹽類 | |
| Temik 得滅克 | 10% G. |
| Furadan 加保扶 | 3% G. |
| Vydate 歐殺滅 | 10% G., 24% EC. |
| Marshal 丁基加保扶 | 1% DP., 5% G. |
| Ether 醚類 | |
| Nemamort 滅線蟲 | 80% EC., 10% G. |

DBCP被禁用後，益廣泛使用於土壤線蟲防除工作。土壤處理EDB 7至14天後方可播種或移植。防治甘蔗根瘤線蟲病，可每公頃施用83% EDB乳劑22.7公升加53公升煤油，於土壤翻耕、築畦及軟底後，一公尺三穴，15公分深穴施或條施。柑桔生果之果蠅除滅，可以100% EDB 1000倍稀釋液，於20~23 浸漬3分50秒，之後風乾塗臘，48小時後即可包裝。

3. 二溴氯丙烷 (DBCP, Fumazone, Nemagon, Nemaferne) :

1, 2-dibromo-3-chloropropane (DBCP) 在熱帶地區是絕對性的殺線蟲燻蒸劑，尤其是使用在香蕉、柑桔及葡萄等果樹之線蟲病害防治。由於DBCP無植物致毒性 (phytotoxicity)，因此種植前後皆可施用。地溫10~28 效果良好，然此劑業已禁用。

B、廣效性燻蒸劑 (multipurpose fumigants)

1. 氯化苦 (chloropicrin, Nitrochloroform, klop, Acquinite, Picfume) :

表二、台灣殺線蟲劑之使用

Table 2. Recommended nematicides in Taiwan

| 藥劑名稱 | 作物 | 施藥量(公頃) | 施藥方法 |
|-------------------------------------|--|---|---|
| 斯美地Methamsodium 32.7% S. | 甘蔗 | 75.7公升 | 稀釋液灌注植溝 |
| 丁基加保扶Carbosulfan 5% G. 1% DP. | 胡蘿蔔 落花生 | 70公斤 200公斤 | 植溝施用覆土即植 種植當日開溝條施 |
| 芬滅松Fenamiphos 10% G. | 落花生 西瓜 胡蘿蔔 薑 | 15公斤 15公斤 20~40公斤 100公斤 | 種植當日開溝條施 開溝條施覆土即種 植溝施用覆土即植 開溝條施覆土，10~14天後再行種植 |
| 5% G. 40% EC. | 菸草 西瓜 柑桔 草莓 | 20~40公斤 30公斤 3公升(2000X) 0.16公升(3000X) | 開溝條施混土築畦 開溝條施覆土即種 春芽萌發時樹冠下噴施 移植前浸苗一分鐘 |
| 加保扶Carbofuran 3% G. | 落花生 胡蘿蔔 蕃茄 薑 菸草 | 60公斤 100公斤 60公斤 100公斤 80公斤 | 種植當日開溝條施 植溝施用覆土即植 開溝條施覆土即種 開溝條施即植並覆土 開溝條施混土築畦 |
| 歐殺滅Oxamyl 24% S. 10% G. | 落花生 晚香玉 蕃茄 甘蔗 菸草42 蕃茄 葉面噴施 | 1.2~1.5公升(750X) 40公斤 20~40公斤 40~60公斤 60公斤 2公升+20公斤 | 種植當日生育早期施用 種植當日溝施覆土即植 開溝條施即植 春植砂地施用 開溝條施混土築畦 開溝條施即施，植後20及40天 |
| 托福歐Oxamyl + Terbufos 10% G. | 西瓜 | 20公斤 | 種植當日開溝條施 |
| 托福松Terbufos 10% G. | 西瓜 蕃茄 甘蔗 | 15公斤 15~20公斤 30公斤 | 植穴施用覆土即植 開溝條施覆土即植 春植砂質地施用 |
| 普伏松Ethoprop 10% G. | 西瓜 柑桔 鳳梨 | 30公斤 30公斤 70公斤 | 開溝條施覆土即植 春芽期樹冠下撒施 植期7天開溝條施覆土 |
| 普二硫松Ethoprop + Disulfoton 10% G. | 落花生 玉米 | 40公斤 40公斤 | 開溝條施即植 開溝條施即植 |
| 普扶瑞松Ethoprop + Phorate 10% G. | 葡萄 | 30公斤(環施) 50公斤(撒佈) | 開環溝，每株30克覆土 根系範圍每株50克撒佈 |
| 福賽絕Fosthiazate 75% EC. 10% G. | 西瓜 蕃茄 西瓜 蕃茄 | 2公升(600-1000X) 2公升(600-1000X) 20公斤 20公斤 | 開溝條施即植 開溝條施即植 開溝條施覆土 開溝條施覆土 |
| 福瑞松Phorate 10% G. | 甘蔗 | 30公斤 | 春植砂質地施用 |
| 繁福松Fensulfotion 5% G. | 甘蔗 | 60公斤 | 春植砂質地施用 |
| 滅線蟲DCIP 80% EC. 30% G. | 蕃茄 柑桔 | 100公升 28公斤 | 全園噴施5天後，播植 春芽期環溝15公分深覆土 |
| 幾丁質 Chitin 25% G. | 柑桔 | 3000公斤 | 春芽期環溝15公分深覆土 |

*資料源自省政府農林廳85年版植物保護手冊

本劑合成後，起初用於殺蟲，第一次世界大戰時，德軍曾作催淚毒氣使用。農藥上主要以之為土壤殺菌劑，亦曾廣泛用於夏威夷鳳梨根瘤線蟲之防治。由於對倉儲害蟲具有良好燻殺效果，一度取代CS₂成為主要倉庫燻蒸劑。

氯化苦對植物有藥害及葉綠素漂白作用，因此不適用於生鮮蔬果和穀類種子之倉儲消毒；而應用於土壤殺線蟲、昆蟲、菌類及雜草防除上。使用時，以99%溶液穴施，若配合透明塑膠布覆蓋，效果更佳。

2. 溴化甲烷 (Methyl Bromide, Bromomethane, Embafume, Dowfume MC, Meth-O-Gas, Terabole) :

溴化甲烷為無色無味之劇毒氣體，具有熔點(3.56)及沸點(4.6)低，易溶於水(1.34 g/100 g, 25)和有機溶媒中之特性。空氣中每升含10~20 mg即可致人於死，故於99.5%或98%產品中，分別加入0.5%及2%之氯化苦作為警戒。

由於低溫下即可發揮，故土溫5之冬季仍可使用。透明塑膠布覆蓋方式是較理想作法，可防止氣體散逸，並使之迅速進入土壤中。施用後7~10天即可播種，且可作含水份高之鮮果燻蒸，是溴化甲烷獨具之優點；可有效除滅昆蟲、梁、真菌及線蟲。本省曾推薦使用於棉花種子消毒、泡桐根瘤線蟲和菸草苗床雜草防除，惟本劑將於2010年全世界禁產禁用。

3. 甲基異硫氰類化合物 (Methyl isothiocyanate and related compounds) :

(A) 邁隆 (必速滅, Mylone, Basamid, Dazomet, Microfume, Prezervit) :

白色結晶固體，為強力土壤燻蒸劑，對土棲病菌、雜草、昆蟲及線蟲皆具良好防除效果。本省曾推薦使用在洋菇覆土消毒、麻竹細菌性萎凋病、菸草猝倒病及菸草苗圃雜草等防治上。商品劑型為85%可濕性粉劑，通常以稀釋液施用後，1~3星期後方可種植。

(B) 斯美地 (衛本, 利美農, Vapam, Trimaton, SMDC, Metham-sodium, Metham-ammon, Carbam, Vitafume, Monan) :

含二分子水白色結晶體，其構造式為CH₃NH-CS-SNa(2H₂O)，分解產生methyl isothiocyanate，具有殺死線蟲、菌類及雜草之功能。因其分解時間須10日，故須處理15日後方可播種。本省曾推薦使用於防治甘蔗根瘤線蟲病、杉木幼苗立枯病及菸草苗床雜草；以32.7%斯美地稀釋液穴施或土面施用後以塑膠布覆蓋。

(C) 滴滴滅 (Di-Trapex, Vorlex) :

本劑為DD(80%)和methyl isothiocyanate(20%)之複合物，無色結晶。水溶性僅0.76%，施用時以100%乳劑直接施用，可防治線蟲、昆蟲、土棲菌類及雜草等。本省曾推薦使用於防治蕃茄根瘤線蟲病。須注意的是如與胺態氮同時使用易致植物藥害，施用安定之肥料或氰化鈣將使本劑失去功效。

其他燻蒸劑如好達勝 (Aluminum phosphide) 55%，甲基碳酸銨 (Ammonium Carbamate) 40%，石蠟 (Edible Paraffin) 4%；對人畜具劇毒性，作倉儲害蟲燻蒸時，以

55%片劑投入密閉室中即可。此外，和好達勝類似作用之磷化鎂 (Fumi-cel)，以產生磷化氫達到殺蟲效果，32%片劑為主藥劑型；但此兩種燻蒸劑皆未曾有防治線蟲之報告。

非燻蒸劑 (Non-fumigant)

非燻蒸性殺線蟲劑，如有機磷劑 (organophosphate)、氨基甲酸鹽 (oxime N-methyl carbamate, methyl carbamate) 及醚類 (ether) 等，以每分地2~10公斤較燻蒸劑300公升的相對低用藥量，以粒劑撒佈或液體噴灌等簡易可行的方式，且多兼具殺梁及殺蟲等廣效性優點，甚為農藥界及栽培者所接受。

A、有機磷劑

1. 芬滅松 (Phenamiphos, Nema-cur) :

本劑為滲透系統性殺線蟲劑，亦可防除梁類及蚜蟲、薊馬等刺吸式昆蟲。其對內外寄生性線蟲種類，如 *Radopholus similis*、*Helicotylenchus multicinctus*、*Meloidogyne spp.*等世界性重大危害性線蟲皆具良好防治效果。除了施用於土壤中，經根部吸收後有向上移行功能外；葉面噴施後亦可向下移行，但此方式未能顯現良好殺線蟲效果。本劑施用於土壤中，甚易被有機質強力固著，而降低其作用。本省市面上有5%、10%粒劑和40%乳劑，施用量每公頃50至200公斤，以植前條、穴及溝施為主；以往曾推薦使用於防治薑、落花生及胡蘿蔔之根瘤線蟲。

2. 普伏松 (Mocap, Prophos, Ethoprop) :

本劑為典型的非系統接觸型殺蟲及殺線蟲劑。於土壤中移動效果良好，殘效優異，可用於生育期；常與其他殺蟲劑、殺菌劑及除草劑混合使用。商品上有10%粒劑及70.6%乳劑應市，本省曾推薦使用於防治鳳梨根部線蟲及蕃茄根瘤線蟲。配合灌溉水或雨季施用最佳，每年可三施，每次每公頃50至200公斤。

3. 托福松 (Counter, Terbufos, Contravan) :

本劑為美國氰胺公司所研發之滲透移行性殺蟲、殺線蟲劑，具良好的初效及殘效性。有10%粒劑應市，本省曾推薦使用於防治甘蔗根部寄生性線蟲，每公頃用藥量30公斤。

4. 福瑞松 (賽滅得, Thimet, Phorate, Timet, Rampart) :

本劑為美國氰胺公司研發之殺梁、昆蟲及線蟲劇毒藥物。具有接觸、滲透移行及燻蒸作用，施用於土壤中，可經由根部吸收，由維管束運行達植物全株各部位。本省曾推薦10%粒劑作甘蔗根部寄生性線蟲防治之用。

5. 繁福松 (Fensulfothion, Terracur-P, Dasanit) :

本劑為具接觸及滲透移行作用之劇毒殺蟲、殺線蟲劑。由於對植物毒性低，可施用於植前或生育期，唯不可與鹼性藥劑混合使用。本省曾推薦5%粒劑，每公頃用藥量60公斤於甘蔗根部寄生性線蟲之防治。

6. 二硫松 (大西通, Dithio-syston, Disyston, Solvirex, Disulfoton, Thiodemeton) :

本劑為系統性殺菌及殺蟲劑，自根部吸收後可移行達植物各部位。初效及殘效性良好。以5%粒劑應市，防治蚜蟲、浮塵子、潛蠅、介殼蟲及梁類等害蟲，惜本省未推薦使用於植物線蟲之防治上。

7. 大利松 (大利農, Diazinon, Basudin, Exodin, Diazide, Dazzel, Gardentox, Spectracide) :

本劑為速效性接觸、胃毒殺蟲劑，於植物體中易分解，與石灰硫磺或銅劑混合會產生藥害。一般使用於褐飛虱、浮塵子、小菜蛾及介殼蟲等防除上；本省未推薦於植物線蟲病之防治，美國則登記施用於防治草皮線蟲病害。

8. 福賽絕 (Fosthiazate) :

本劑為日本石原產業株式會社研發之新殺線蟲劑；具有接觸及滲透移行兩種功能。其防治線蟲之作用乃基於觸殺和限制線蟲活動 (nemastatic) 方式，而達到根部不受線蟲危害之目的。本省現推薦75%乳劑及10%粒劑於防治西瓜和蕃茄之根瘤線蟲病害，每公頃用藥量分別為2公升與20公斤。

9. Cadusafos (Apache, Rugby) :

本劑為美國FMC公司研發之新低用量殺線蟲及殺蟲劑，可防治大多數植物寄生性線蟲。每平方公尺施用量，柑桔為1.5~3公克，咖啡為0.5~1.0公克；玉米、花生及大豆每公頃為1~2公斤；蔬菜每公頃為3~9公斤；可植前或生育期使用。其劑型有10% G、25% EC及100% ME，其中10% G.曾通過本省胡蘿蔔根瘤線蟲病害防治委託試驗。

B. 氨基甲酸鹽類

1. 得滅克 (Temik, Aldicarb, Ambush) :

本劑為觸殺兼具系統性之殺蟲、殺菌、殺蟲兼殺線蟲劑，曾廣泛應用於世界各種土壤型態之農業區。施用於土壤後，可由根部吸收而移行至植株各部位。和線蟲接觸後，可干擾線蟲的攝食及寄主找尋功能，達到保護植物根部之作用。本省曾推薦10% G.於防治蕃茄及胡蘿蔔之根瘤線蟲病害，但因西瓜中毒事件而遭禁用。本劑為殺線蟲劑中毒性甚高者，美國亦限制使用於特定作物上。

2. 加保扶 (Furadan, Carbofuran, Curaterr, Yaltox, 好年冬) :

本劑 (mythyl carbamate) 具接觸毒、胃毒及系統性，為舉世有名之殺菌、殺蟲兼殺線蟲劑。可於植前及生育期間施用。但由於環保之虞已於美國禁用。本省仍推薦使用3%粒劑於防治蕃茄、薑、落花生及菸草根瘤線蟲病害。

3. 歐殺滅 (Vydate, Oxamyl) :

本劑為脲基甲酸鹽 (oxime carbamate)，為具觸殺性及系統性之殺菌、殺蟲兼殺線蟲劑。以10% G.及24% S.應市；使用於土壤中，殘效短，易分解為無毒之脲 (oxime)。歐殺滅迄今仍是全世界公認效果良好的殺蟲劑。噴灑於植株葉面上，可經吸收後移行至根部，或由根部吸收傳達全株；干擾施用部位線蟲之活動，如抑制取食及阻礙其找尋寄主，導致線蟲飢餓死亡，無法造成危害。本省曾推薦使用於植前粒劑條施或植後液劑葉面噴灑，以

防止蕃茄、花生、菸草及晚香玉根瘤線蟲病害。

4. 丁基加保扶 (Marshel, Dibutylaminosulfenyl, Carbofuran) 本劑為觸殺及系統性之殺蟲兼殺線蟲劑，本省曾推薦使用1%粉劑防治花生根瘤線蟲，5%粒劑防治胡蘿蔔根瘤線蟲。

C. 醚類

1. 滅線蟲 (Nemamort, DCIP) :

本劑為日本昭和電工所研發，對線蟲病害防治效果良好而外，尚可促進菌根菌生長，增進植株生育。有觸殺及燻殺性而無系統性，於土壤中殘效短，可於植前或生育期間使用。本省曾推薦蕃茄根瘤線蟲病及柑桔寄生性線蟲之防治。

殺線蟲劑對線蟲的作用

雖然線蟲是最簡單的多細胞動物，其神經傳導和昆蟲卻頗為相似。有機磷劑和氨基甲酸鹽類與神經元樹突上的乙醯膽鹼酯酶 (Acetylcholinesterase, ACHE) 聯會結合 (synapsis)，妨礙其水解反應，抑制ACHE的循環再生； K^+ 及 Na^+ 因而不斷進入聯會後的神經元 (postsynaptic neuron) 中，關連性的肌肉持續收到刺激訊號而過度活動 (hyperactivity)，導致痙攣 (convulsion) 或協調失控 (uncoordinated) 症狀，造成線蟲無法行動或死亡⁽⁴⁴⁾。而燻蒸劑對線蟲的作用機制主要在抑制電子傳遞鏈中的電子接受者⁽⁵⁴⁾，如血蛋白 (hemoprotein) 及細胞色素 (cytochrome)⁽⁵⁵⁾；破壞細胞膜，電解質因而流失；以及使-SH、-NH₂、-OH基群之蛋白質變性，酵素亦隨之失去功能⁽³⁷⁾；迅速殺死線蟲。殺線蟲劑施用後，可經光分解、土壤或有機質吸附、生物分解等作用，降低殺線蟲效力或消失⁽³⁴⁾。有些微生物甚至對殺線蟲劑有加速轉型的作用，而縮短其殘效期或減低效果。此外，線蟲的體皮、臟壁及卵殼皆可阻止殺線蟲劑之入侵。藥劑本身的親水程度也影響其在線蟲體內之移動；有時也會被貯存在非作用部位或被排出體外。線蟲體內也有解毒或將藥劑前驅物質轉為較高毒性化學物質而致毒兩種過程。

藥劑侵入線蟲體皮的能力，線蟲對藥劑的代謝、累積、排毒、解毒或毒化 (toxication) 作用，和線蟲體內作用點的感受性不同等也因線蟲種類而異⁽⁵⁶⁾。當藥劑通過粒線體或原生質膜到達收受分子或收受點 (receptor molecule or receptor site) 後，也必須面對和其他酵素競爭收受點所造成的阻絕⁽⁴¹⁾。茲將殺線蟲劑接觸線蟲後，迄達收受點之過程略述如下：

殺線蟲劑或其先驅物

| |
|-------------------------|
| 消失於環境中 (光分解、土壤吸附、微生物分解) |
| 線蟲外層籬障 (體皮、臟壁、卵殼) |
| 消失於非作用組織中 |
| 解毒 |
| 排毒 |

毒化作用

細胞內籬障 (粒線體或原生質膜)

分子間的競爭 (天然存在之酵素)

收受點：乙醯膽鹼酯酶

細胞膜脂蛋白

親核基群：-SH, -NH₂, -OH

血蛋白：細胞色素

收受點包括乙醯膽鹼酯酶、細胞膜脂蛋白 (membrane lipoproteins)、親核基群 (nucleophilic groups: -SH, -NH₂, -OH)、血蛋白及細胞色素等。其中，在接觸有機磷劑或氨基甲酸鹽等殺線蟲劑後，將抑制線蟲體內乙醯膽鹼酯酶的產生，從而導致卵孵化率降低、二齡幼蟲移行不良、攝食時口針的衝擊和口針節球的收縮律動失去協調、口針伸長、收縮性麻痺、蛋白質素被抑制及呼吸作用降低等情形，行為上的干擾大於致死效應⁽⁴⁰⁾。烷基鹵化物 (alkyl halide) 殺線蟲劑可致線蟲麻痺、硫氫基群 (-SH) 閉鎖及血蛋白氧化^(18, 25)。整體而言，殺線蟲劑對線蟲之作用主要是對神經系統的破壞⁽¹⁷⁾。

系統性殺線蟲劑在土壤中不同的含量對線蟲的作用亦有所差異。潮濕狀況下，5 ~ 10 mg a.i./l的劑量可抑制線蟲卵的孵化⁽¹⁹⁾；2 ~ 5 mg a.i./l時可致線蟲麻痺，而失去行動能力⁽²⁴⁾；1 ~ 2 mg a.i./l時移行能力增進，但無法入侵植物組織攝食⁽³⁵⁾；1 mg a.i./l時線蟲活力增加，且侵入植株根系，大量繁殖⁽⁵⁸⁾。因此，施用殺線蟲劑後，經光分解、水解或流失，而漸漸稀釋之劑量，非但對抑制線蟲族群能力降低，反而有促進線蟲再度繁衍成對該藥劑有忍受性甚至抗性的族群^(62, 63)。

土壤中水份含量很直接的影響到殺線蟲劑的分佈及效果。以得滅克、歐殺滅兩種可於植物體上下移行的系統性藥劑及限制於局部根系內，無往上移行作用之普伏松為例：在乾燥土壤中，只有少量藥劑可接觸到土壤顆粒間的線蟲，其作用有限⁽¹⁵⁾。在溼潤土壤中，殺線蟲劑得以充分溶解於土壤水份中，即使是觸殺性藥劑也可於10 ~ 15公分土層中充分發揮殺線蟲作用⁽⁵¹⁾。施藥後，若因大雨造成土壤過度潮濕，系統性藥劑可被淋洗至較深層土中。較不易被有機質固著的得滅克及歐殺滅即被沖洗掉，而可和有機物質緊密附著的普伏松仍可於表層20公分土壤中發揮其殺線蟲作用。這也說明了在潮濕土壤中，有機磷劑常較氨基甲酸鹽更具有殺線蟲效力。

影響殺線蟲劑效果的因素

瞭解殺線蟲劑的目的，主要在改進作物線蟲病的防治工作，並使污染降低至最低。因此，殺線蟲劑在土壤中之殘效及其限制因子及有必要確切明瞭。

A、燻蒸劑

1. 孔隙度 (porosity) :

一般而言，粘粒少於20%，有機質含量5%，排水良好的土壤，即有足夠的孔隙使燻蒸性藥劑滲透。

2. 溼度 (moisture content) :

以田間容水量 (field capacity) 而言，粘土及泥碳土可達40%，而砂土僅為5%；溶水量越高土壤孔隙越小，吸附氣體作用越明顯。因此，在潮濕土壤中燻蒸效果不良。

3. 溫度 (temperature) :

提昇溫度，有助於燻蒸劑蒸散壓之增加，促進其擴散。

4. 有效劑量 (effective dose) :

試驗結果指出殺線蟲劑以低濃度長時間處理較高濃度短期處理之效果好。但施用劑量涉及藥劑本身的物理性狀、有效濃度、土壤中之散佈能力等因素。

5. 作用型式 (mode of action) :

雖然線蟲對烷基鹵化物的反應類似，但其作用方式卻不相同。如EDB可使線蟲細胞色素鏈中之鐵氧化，妨礙呼吸而致死；但其它烷基鹵化物則不明⁽¹¹⁾。

B、非燻蒸劑

1. 衰減於土壤中 (degradation in soil) :

有機磷及氨基甲酸鹽類殺線蟲劑於土壤及植物體中可因水解作用而被破壞。其最後產物如雙酯磷、脲或酚等皆不具生物活性，但常被土壤微生物所分解。初期水解產物較原藥劑更具抑制膽鹼酯酶 (cholinesterase) 功能；如aldicarb之甲基硫基 (thiomethyl group) 被迅速氧化為氧化硫，尚保留有氨基甲酸鹽基，仍可發揮抑制膽鹼酯酶作用。Fenamiphos與aldicarb情形類似，但oxamyl則迅速分解成無毒性的脲。分解速度主要與結構體攸關。高溫時分解速度加快，而土壤乾燥時則降低其分解作用⁽⁸⁾。Oxamyl之半衰退期於15時為6 ~ 12天，而aldicarb為150天，環境條件為其影響因素。

2. 土壤中的移行及持續性 :

有機磷及氨基甲酸鹽類殺線蟲劑由於揮發性低，其功能主要靠於土壤中水分之擴散。因此，土壤質地、物理性狀及有機質含量，直接或間接關係著該項藥劑在土壤中之吸附及移動。Bromilow⁽⁸⁾氏以下列公式來詮釋此的現象：

$$Q = \text{土壤有機質中化學物濃度} \div \text{土壤水中化學物濃度}$$

Q質越小，表示殺線蟲劑在水溶液中佔較大比率，土壤中移行性較佳，對線蟲之作用機率較高。氨基甲酸鹽類通常比有機磷劑有較低的Q質。這也說明 Moss等人⁽³⁸⁾在馬鈴薯包囊線蟲及防治試驗中發現 aldicarb和oxamyl於砂質、泥碳質土壤中皆表現良好防治效果；但有機磷劑的fenamiphos和ethoprophos只在砂質土中獲致良好效果，而於泥碳土中效果欠佳。

3. 作用模式 (mode of action) :

有機磷及氨基甲酸鹽類殺線蟲劑施用於田間後，並不會直接殺死線蟲而是損害肌肉神經功能，影響其移行、入侵、取食及孵化行為，抑制其族群繁衍和發展。上述干擾

作用之影響層面則取決於有效作用劑量，兩者間有互動關係⁽²⁶⁾。

4. 植物體內之移行 (movement in plant) :

同樣的線蟲，侵入植物體中者要比存在於土壤中者，對殺蟲劑較不敏感⁽⁶⁰⁾，fenamiphos就是典型的個案⁽⁹⁾。即使有向下移行特性的oxamyl，要殺死侵入根系中的線蟲，也要連續葉部噴施數次，方可奏效⁽²³⁾。葉部噴施oxamyl移行至根部的量甚少，有助於防止線蟲入侵而已。

5. 溫度 :

土壤溫度較高有助於提昇殺蟲劑的作用⁽³⁶⁾，但也有持相反意見；Coppedge等人⁽¹⁶⁾試驗結果顯示提高溫度，aldicarb之分解也相對增快。

分析殺線蟲劑對線蟲的作用方法

瞭解殺線蟲劑對線蟲的作用方式，有助於決定施用方法、時機、地域及對象作物等；雖然耗時，但頗具參考價值。

1. 卵的孵化率 (hatching rate) :

卵孵化測定最早應用於燻蒸性殺線蟲劑對馬鈴薯包囊線蟲卵中幼蟲體作用上之研究⁽²⁰⁾。往往殺線蟲劑不是直接殺死線蟲，而是延遲二齡幼蟲的孵化；Hough及Thomason⁽³⁰⁾更發現aldicarb有抑制*Heterodera schachtii*及*Meloidogyne javanica*卵孵化之作用。

2. 二齡幼蟲的活性 (viability of juvenils) :

孵化出的二齡幼蟲，呈現僵直或痙攣，雖不能界定為死亡，但卻已失去危害植物之能力。死亡的二齡幼蟲，若以針刺破表皮，其體內物質不會流出；活體則會。除此方法外，鑑定線蟲的死活方法，尚有染色⁽⁵⁹⁾，測定ATP含量⁽⁵²⁾等技術。

3. 根部入侵 (root invasion) :

以侵入根部的線蟲數目，作為殺線蟲劑效果優劣之指標，在1970年代頗為流行；Whitehead⁽⁵⁸⁾以入侵前後之行為，作為分析線蟲麻痹、忌避、暈死或拒食等反應之作用模式。實際上評估殺線蟲劑對內寄生及半內寄生性種類線蟲之防治效果，以入侵根部之線蟲數目、發育、繁殖狀況及根部受害徵狀等，是較客觀的。

4. 最後族群密度 (final population) :

殺線蟲劑處理後，以當地氣候條件而論，經過特定線蟲一世代期間，比較處理前後線蟲密度，作為防治成效之指標，亦是較直接可行的方式⁽²⁷⁾。此方法如用於溫帶作物主要少數或一種線蟲之測試是較準確的，若用於熱帶地區線蟲族群複雜且發展迅速之情況下，在執行上需花費較多人力及時間去評估。

5. 多年生植物上之評估 (assessment in perennialcrops) :

成長較久的多年生植物，在抑制根部線蟲的作為上，需多次施用殺線蟲劑，且歷經一段恢復期，方可見成效⁽⁴³⁾。因此；評估線蟲防治效果，需全年定期採樣；配合當地氣候季節性變化及施藥間隔，作成一個線蟲族群消長追

蹤模式。至於線蟲採樣，視其寄生方式種類，自寄生之植物部位或根圍土壤規格化取樣；定量以柏門氏漏斗法或浸漬法分離之。

殺線蟲劑與其它農藥混合使用

耕作時為了節省人力、動力及時間，混合施藥是很平常的。其效果可分協力 (synergism)、拮抗 (antagonism)、加成 (addition) 及獨力 (independent effect) 等四種作用。多數結果之判定來自觀察，亦可以統計模式加以分析⁽⁴⁹⁾。

殺線蟲劑之功效常可與數種農藥混用而加強；如diallate、metribuzin、alachor、linuron及pebulate等殺草劑和aldicarb合用，比單獨使用aldicarb有較好的線蟲防治效果⁽⁵⁰⁾。本省草莓園普遍存在的根瘤線蟲 (*M. incognita*, *M. hapla*) 及根腐線蟲 (*P. coffeae*, *P. penetrans*) 於採收期結束後，若以round up、paraquat搭配fenamiphos噴施，較個別施用，對降低土壤中線蟲密度之效果，有明顯增昇⁽³⁾。

但是，如殺菌劑 chloroneb混合 fensulfotion或aldicarb；殺草劑alachor施用於fenamiphos之後，或者sodium azide搭配carbofuran使用，都降低了殺線蟲劑之作用⁽⁴⁹⁾。

藥劑混合使用，而不互相影響的，如aldicarb與PCNB或trifluralin⁽⁷⁾；ethoprop、fensulfotion及phorate等殺線蟲劑亦不因metribuzin或linuron之混用而降低其作用⁽⁵⁰⁾。

新殺線蟲劑之研發

由於毒性和環境保護考量，現有的殺線蟲劑在禁用及限用管制法令下，將迅速減少。未來十年內也無符合環保要求之殺線蟲劑可上市。因此，應用目前所知的殺線蟲機制，儘快研發有效、安全及環保兼具的殺線蟲劑，為當務之急。全世界殺線蟲劑市場約有5億美元，其中50%用於防治根瘤線蟲；包囊線蟲、內寄生潛移性線蟲、外寄生性線蟲及柑桔線蟲則分別為27、17、3及3%之佔有率⁽⁴²⁾。已知殺線蟲劑的作用機制之研究，多以根瘤線蟲及包囊線蟲之盆鉢試驗為主；今後，於較精準條件設定模式下，以試管培養之各齡期線蟲為對象，當可獲致更多樣化的結果。

理想的線蟲防治專用殺線蟲劑須具有廣效性 (broad spectrum)、低用量高效力、持續時間長、對人畜毒性低、無汙染地下水之虞、於土壤中半衰期短於14天、於植物體中是向下移行的、適合多數施用方式 (撒佈、葉面噴施、滴灌、條施、溝施、種衣等) 及價格合乎經濟效益等特色。

殺線蟲劑的研發，可由幾個方向著手：一、干擾線蟲卵的孵化，二、干擾植物根系和線蟲間的誘引作用，三、使線蟲無法營立攝食點，四、干擾線蟲的賀爾蒙，使無法蛻化、固醇類代謝及交配，五、干擾幾丁質合成，使卵無法成育，六、阻斷能量代謝，使無法呼吸，七、干擾神經系統運作，使之無法活動等。

新殺線蟲劑的研發尚須顧及作物整體管理 (integrated

crop management, ICM), 並能配合輪作、抗病育種、生物防治等措施, 完成綜合管理 (integrated pest management, IPM) 規劃, 將是較實際的。

結 論

「目前市面上的殺線蟲劑, 只要使用得法皆足以防治所有種類之植物寄生性線蟲病害」⁽²⁸⁾ - - Hague的論點須建立在正確的線蟲種類診斷、生態瞭解及施用方法的等基礎上。植前土壤中主要植物病原線蟲, 可由前期作物之殘餘根系、雜草或分離法得知其種類、密度, 預作土壤殺線蟲劑處理。更重要的是, 種子、種球、苗木及其他植物繁殖體之線蟲檢疫、防疫措施。本省許多作物專業區線蟲性連作病害之發生緣由, 多是種苗引入, 發展成為關鍵病原 (key pest), 造成鉅大損失。如可藉由洋蔥、青蔥、三葉草、起絨草、苜蓿等植物種子傳播的莖線蟲 (*Ditylenchus dipsaci*)、休眠於水稻種子中的葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*) 及小麥種子中的腫癭線蟲 (*Anguina tritici*) 等, 視其種子含油量及含水量, 以溴化甲烷燻蒸, 或非燻蒸性殺線蟲劑浸泡處理^(5, 4) 棲身球莖中的 *D. dipsaci*、乾草中的 *Anguina agrosis* 及 *D. angustus*, 亦可以浸泡非燻蒸性殺線蟲劑防治⁽²⁹⁾。此外, 種苗根系浸泡非燻蒸性殺線蟲劑也可獲致良好的線蟲防治效果, 如以 carbofuran 浸泡草莓根系, 防治根瘤線蟲; fenamiphos 或 ethoprophos 100ppm 浸玫瑰根30分鐘, 防治北方根瘤線蟲; oxamyl 浸菸草根, 防治爪哇根瘤線蟲等。甚至, 以 1800ppm fenamiphos 溶液浸泡馬鈴薯之種薯塊, 可有效防治 *Hoplolaimus galeatus*、*Pratylenchus brachyurus* 及 *Tylenchorhynchus claytoni* 等線蟲⁽²⁸⁾。

施用於土壤中的殺線蟲劑之改良方向, 除了施用技術外, 亦須朝配方之修正, 及其在土壤中之活性、殘效期做深入之研究。如自 *Streptomyces avermitilis* 分離出的 avermectins, 對線蟲之防治效果較市面殺線蟲劑高 10 ~ 30 倍, 但由於施用於土壤中易被有機質吸附、微生物分解與移動性差等實用上困難, 故尚無法量產上市⁽⁶¹⁾。

台灣高經濟作物業已走上專業區精緻栽培層面, 線蟲病害的發生也益演發為連作障害模式; 如香蕉、番石榴、葡萄、草莓、切花、盆花、蔬果瓜類之根瘤線蟲病害; 花卉、水稻、草莓之葉芽線蟲病等; 多數由種苗引入。因此, 種苗及土壤之線蟲檢防疫處理技術實有必要經由農政管道使農友們正確認知, 安全應用。

引用文獻

1. 西尾道德. 1983. 連作障害之發生. 日本土壤肥料雜誌. 54 (1):64-73.
2. 蔡東纂. 1996. 台灣作物線蟲病連作障害之發生及對策. 植病會刊 5:113-128.
3. 蔡東纂. 1996. 根瘤線蟲在雜草上的生態. 除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊 pp.309-324.

4. 蔡東纂、程永雄、陳弘毅、林奕耀、吳文希. 1995. 球根花卉線蟲病害之發生及防治. 植物病理會刊 4:180-192.
5. 蔡東纂、程永雄、鄧堯銓、李明達、吳文希、林奕耀. 1998. 台灣水稻白尖病原線蟲-*Aphelenchoides besseyi* 之生態及防治策略. 植物保護會刊 40:227-286.
6. Brodie, B. B. 1971. Differential vertical movement of nonvolatile nematicide in soil. J. Nematol. 3:292-295.
7. Brodie, B. B., and Hauser, E. W. 1970. Multiple pest control in cotton with mixtures of selective pesticides. Phytopathology 60:1609-1612.
8. Bromilow, R. H. Baker, R. J., Freeman, M. A. H., and Gorog, K. 1980. The degradation of aldicarb and oxamyl in soil. Pesticide Science 11:371-378.
9. Bromilow, R. H., and Lord, .K. A. 1979. Distinction of nematicides in soil and its influence on control of cyst nematodes *Globodera* and *Heterodera* spp. Ann. Appl. Biol. 92:93-104.
10. Carter, W. 1943. A promising new soil amendment and disinfectant. Science 97:383-384.
11. Castro, C. E., and Thomason, I. J. 1971. Mode of action of nematicides. Pages 289-296 in : Plant Parasitic Nematodes. Vol. 2. B. M. Zuckerman, W. F. Mai, and Rohde, R. A. eds. Academic Press, London and New York. 347 pp.
12. Christie, J. R., and Perry, V. G. 1958. A low phytotoxic nematicide of the organic phosphate group. Pl. Dis. Rept. 42:74-75.
13. Clayton, E. E., Gaines, J. G., Smith, T. E., and Graham, T. W. 1945. Chemical soil treatments for disease and weed control in tobacco plant beds. Phytopathology 35:483 (Abstr.).
14. Cook, R. J., and Baker, K. F. 1996. The nature and practice of biological control of plant pathogens. APS Press, 539 pp.
15. Cooke, D. A. Bromilow, R. H., and Nicholls, P. H. 1985. The extent and efficacy of granular pesticide usage to control ectoparasitic nematodes on sugar beet. Crop Prot. 4:446-457.
16. Coopedge, J. R. Stokes, R. A., Kinzer, R. E., and Ridgeway, R. L. 1975. Effect of soil moisture and soil temperature on the release of aldicarb from granular formulations. J. Econ. Entomol. 68:209-210.
17. Croll, N. A. 1972. Behavioural activities of nematodes. Helminthological Abstr. 41:87-105.
18. Evans, A. A. F., and Thomason, I. J. 1971. Ethylene dibromide toxicity to adults, larvae and moulting stages of *Aphelenchus avenae*. Nematologica 17:243-254.
19. Evans, A. A. F. 1973. Mode of action of nematicides. Ann. Appl. Biol. 75:469-473.
20. Fenwick, D. W., Peters, B. G., and Libbey, R. P. 1953. Effects of repeated field injection of D-D mixture against potato-root eelworm. Ann. Appl. Biol. 40:208-214.
21. Godfrey, G. H. 1935. Experiments on the control of the root-knot nematode in the field with chloropicrin and

- other chemicals. *Phytopathology* 25:67-90.
22. Good, J. M., and Rankin, H. W. 1964. Evaluation of soil fumigants for control of nematodes, weeds and soil fungi. *Pl. Dis. Rept.* 48:194-199.
 23. Gowen, S. R. 1977. Nematicidal effects of oxamyl applied to leaves of banana seedlings. *J. Nematol.* 9:158-161.
 24. Greco, N., and Thomason, I. J. 1980. Effect of phenamiphos on *Heterodera schachtii* and *Meloidogyne javanica*. *J. Nematol.* 12:91-96.
 25. Hague, N. G., and Sood, U. 1963. Soil sterilization with methyl bromide to control soil nematodes. *Plant Pathol.* 12:88-90.
 26. Hague, N. G. M., and Pain, B. F. 1973. The effect of organophosphorus and oxime carbamates on the potato cyst nematode, *Heterodera rostochensis*. *Pesticide Science*, 4:459-465.
 27. Hague, N. G. M. 1979. A technique to assess the efficacy of non-volatile nematicides against the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Ann. Appl. Biol.* 93:205-211.
 28. Hague, N. G. M., and Cowen, S. R. 1987. Chemical control of nematodes. Pages 131-178 in : *Principles and Practice of Nematodes Control in Crops*. R. H. Brown, and B. R. Kerry eds. Academic Press. Orlando, Florida. 447 pp.
 29. Hague, N. G. M., and Kondrollochis, M. 1970. Chemical control of *Ditylenchus dipsaci* in narcissus and tulip. *Acta Hort.* 23:255-262.
 30. Hough, J. A., and Thomason, I. J. 1975. Effects of aldicarb on the behaviour of *Heterodera schachtii* and *Meloidogyne javanica*. *J. Nematol.* 7:221-229.
 31. Jenkins, Lee., and Guengerich, H. W. 1959. Chemical dips for control of nematodes on bare root nursery stock. *Pl. Dis. Rept.* 43:1095-1097.
 32. Johnson, A. W., and Feldmesser, J. 1987. Nematicides-A Historical Review. Pages 448-454 in : J. A. Veech, and D. W. Dickson, eds. *Vistas on Nematology : Society of Nematologists, Inc.* Hyattsville, Maryland, 509 pp.
 33. Lear, B. 1956. Results of laboratory experiments with Vapam for control of nematodes. *Pl. Dis. Rept.* 40:847-852.
 34. Leistra, M., and Green, R. E. 1990. Efficacy of soil-applied pesticides. Pages in : 401-428. *Pesticides in the Soil Environment*. H. H. Cheng, ed. Soil Science Society of America, Madison, 476 pp.
 35. Marban-Mendoza, N., and Viglierchio, D. R. 1980. Behavioral effects of carbofuran and phenamiphos on *Pratylenchus vulnus*. I. Motility and dispersion. *J. Nematol.* 12:102-114.
 36. Miller, P. M., and Rich, S. 1974. Effect of soil temperature on control of *Pratylenchus penetrans* by three contact nematicides. *Pl. Dis. Rept.* 58:708-710.
 37. Moje, W. 1960. The chemistry of nematicidal activity of organic halides. *Adv. Pest Control Res.* 3:183-187.
 38. Moss, S. R., Crump, D., and Whitehead, A. G. 1975. Control of potato cyst-nematode, *Heterodera rostochiensis* and *H. pallida* in sandy, peaty and silt loam soils by oxime carbamate and organophosphate nematicides. *Ann. Appl. Biol.* 81:359-365.
 39. Muchena, P. K., and Bird, G. W. 1983. The role of phenamiphos as a nemastat for *Heterodera schachtii* control in cabbage production. *J. Nematol.* 15:485 (Abstr.)
 40. Myers, R. F. 1971. Effects of sub-lethal concentrations of cholinesterase-inhibiting nematicides in the diet of *Aphelenchoides rutgeris*. *J. Nematol.* 3:319-320.
 41. Nelmes, A. J. 1970. Behavioural responses of *Heterodera rostochiensis* larvae to aldicarb and its sulphoxide and sulphone. *J. Nematol.* 2:223-227.
 42. Nordmeyer, D. 1992. The search for novel nematicidal compounds. Pages 281-293 in : *Nematology from molecule to ecosystem*. F. J. Gommers, and P. W. T. Maas eds. European Society Society of Nematologists, Inc. Invergowrie, Dundee, Scotland. 306 pp.
 43. O'Banon, J. H. and Thomerlin, A. T. 1977. Control of the burrowing nematode, *Radopholus similis*, with DBCP and Oxamyl. *Pl. Dis. Rept.* 61:450-454.
 44. Opperman, C. H. 1992. The molecular basis of differential nematodes sensitivity to nematicides. Pages 60-72 in : *Nematology from molecule to ecosystem*. F. J. Gommers, and P. W. T. Maas eds. European Society Society of Nematologists, Inc. Invergowrie, Dundee, Scotland. 306 pp.
 45. Preiser, F. A., Babu, J. R., Dybas, R. A., Haidri, A. A., and Putter, I. 1981. Avermectins, a new class of nematicides. *J. Nematol.* 13:457 (Abstr.)
 46. Radewald, J. D., Shibuya, F., Nelson, J., and Bivens, J. 1970. Nematode control with 1410, an experimental nematicide-insecticide. *Pl. Dis. Rept.* 54:187-190.
 47. Raski, D. J. 1954. Soil fumigation for the control of nematodes on grape replants. *Pl. Dis. Rept.* 38:811-817.
 48. Sasser, J. N., and Freckman, D. W. 1987. A World Perspective on Nematology : The Role of the Society. Pages 7-14 in : J. A. Veech, and D. W. Dickson, eds. *Vistas on Nematology : Society of Nematologists, Inc.* Hyattsville, Maryland, 509 pp.
 49. Schmitt, D. P., and Nelson, L. A. 1987. Interaction of Nematicides with Other Pesticides. Pages 455-460 in : J. A. Veech, and D. W. Dickson, eds. *Vistas on Nematology : Society of Nematologists, Inc.* Hyattsville, Maryland, 509 pp.
 50. Schmitt, D. P., Corbin, F. T., and Nelson, L. A. 1983. Population dynamics of *Heterodera glycines* and soybean response in soils treated with selected nematicides and herbicides. *J. Nematol.* 15:432-437.
 51. Smelt, J. H. Dekker, A., and Leistra, M. 1979. Effect of soil moisture condition on the conversion rate of oxamyl. *Neth. J. Agric. Sci.* 27:191-198.
 52. Storey, R. M. J. 1982. The ATP method for rapid assessment of the efficacy of a single application of a fumigant against *Globodera* spp. in field soils. *Ann. Appl.*

- Biol. 101:93-98.
53. Taylor, A. L., and McBeth, C. W. 1941. A Practical method of using methyl bromide as a nematicide in the field. Proc. Helminthol. Soc. Wash. 8:26-28.
 54. Van Gundy, S. D., Munnecke, D., Bricker, J., and Minter, R. 1972. Response of *Meloidogyne incognita*, *Xiphinema index*, and *Dorylaimus* sp. to methyl bromide fumigation. Phytopathology 62:191-192.
 55. Wades, R. S., and Castro, C. E. 1973. The oxidation of heme proteins by alkyl halides. J. Am. Chem. Soc. 95:2226-2231.
 56. Ware, G. W. 1994. Modes of action for Insecticides. Pages 169-182 in : The Pesticide Book. G. W. Ware, ed. Thomson publication, California. 384 pp.
 57. Weiden, M. H. J., Moorfield, H. H., and Payne, L. K. 1965. O-(methyl-carbamoyl) oximes : A new class of carbamate insecticide-acaricides. J. Econ. Entomol. 58:154-155.
 58. Whitehead, A. G. 1973. Control of cyst-nematodes (*Heterodera* spp.) by organophosphates, oximecarbamates and soil fumigants. Ann. Appl. Biol. 75:439-453.
 59. Whitehead, A. G. Tite, D. J. Fraser, J. E., and French, E. M. 1972. Control of potato cyst-nematode, *Heterodera rostochiensis*, in peaty loam soil by D-D, aldicarb and a resistant variety of potato. Ann. Appl. Biol. 72:307-312.
 60. Wright, D. J., Blyth, A. R. K., and Pearson, P. E. 1980. Behaviour of the systemic nematicide oxamyl in plants in relation to control of invasion and development of *Meloidogyne incognita*. Ann. Appl. Biol. 96:323-324.
 61. Wright, D. J. Birtle, A. J., Corps, A. E., and Dybas, R. A. 1983. Efficacy of avermectins against a plant parasitic nematode. Ann. Appl. Biol. 103:465-470.
 62. Yamashita, T., and Viglierchio, D. R. 1987a. Introduction of short-term tolerance to nonfumigant nematicides in wild population of *Xiphinema index* and *Pratylenchus vulnus*. Revue de Nematol. 10:93-100.
 63. Yamashita, T., and Viglierchio, D. R. 1987b. Field resistance to nonfumigant nematicides in *Xiphinema index* and *Meloidogyne incognita*. Revue de Nematol. 10:327-332.
 64. Zuckerman, B. M., and Esnard J. 1994. The Quest for Plant Nematode Biological Control-Facts and Hypotheses. Proceedings of the International Symposium on Biological Control of Plant Disease. pp. 62-74.

ABSTRACT

Tasy, T. T. 1999. Chemical control of plant-parasitic nematodes. Plant Pathol. Bull. 8:41-50. (Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C. ; E-mail : TTTsay@nchu.edu.tw , Fax No : 04-2876712)

New significant nematicide has not been introduced to the market in the past 15 years and we are expecting lose more of the effective ones in the future due to toxicological and environmental reasons. Even though the enormous economical loss caused by nematodes was estimated to be US \$ 100 billion worldwide under the consumption of nematicides for US \$ 500 million. Where economically practicable, nematicides are still the most effective method of controlling plant-parasitic nematodes in modern crop production. Certainly today, in view of the current nematicide situation, we may fit the chemicals requirement into ICM (Integrated Crop Management) practices employing strategies with more correct application of nematicides. This paper will focus on the subjects of historical perspectives, types of nematicide, registered nematodes in Taiwan and their application, efficacies of nematicides to nematodes, factors affecting the efficacy of nematicides, interactions of nematicides with other pesticides and the targets for ideal novel nematicides.

Key words : nematicides, plant-parasitic nematodes