

蟲生線蟲在田間害蟲防治之應用

唐立正

國立中興大學昆蟲學系

一、前言

蟲生線蟲 *Steinernema* 及 *Heterohabditis* 屬 (*Nematoda: Rabditida*) 目前已成為害蟲生物防治中出色的蟲生病原。而此方面的研究，自 Glaser 在 60 年前發現線蟲感染蟻蟻 (Glaser, 1932; Glaser *et al.*, 1940) 至今已有長足的發展。近年來在蟲生線蟲的產量及製劑技術，大量蟲生線蟲種類分離株與品系的發現，造成化學殺蟲劑使用減少，促進了人們對蟲生線蟲的科學研究及商業量產產生了極大的興趣 (Gaugler and Kaya, 1990)，進而使某些蟲生線蟲的產品在中、高價位的市場的商品利用達到了頂點。

二、蟲生線蟲生物特性

斯氏線蟲科 (*Steinernematidae*) 及異小桿線蟲科 (*Heterorhabditidae*) 與 *Xenorhabdus* 及 *Photorhabdus* 屬的細菌共生。此細菌在侵入的三齡線蟲之消化腔內，而此三齡線蟲是不取食期，包在二齡的表皮內，稱之為 "dauer"。*Steinernematidae* dauers 由於受到一些物理，化學的因子，促使其活躍而侵入寄主內。dauers 可經由寄主之口，肛門，氣孔，侵入適當之寄主。侵入後蛻去二齡的表皮，進入血腔中，釋出細菌經 48 小時使寄主敗血死亡。線蟲取食細菌及 host tissue 而快速發育一直到食物來源枯竭，其二、三世代幼蟲由發育進入感染期，則脫離屍體，找尋新寄主 (如圖一)。*Heterorhabditidae* 其生活史與 *Steinernematidae* 相似，侵入寄主方式相仿，但也可直接由表皮穿入。不同的是侵入的 *heterorhabditids* 為雌雄同體的，因此 1 線蟲/寄主即可足夠繁殖後代。其子代為雌雄異體並可產生新的雌雄同體之 dauers。

三、田間防治效果

生物防治的目的，即是如何將蟲生線蟲應用及發展成可靠的綜合防治策略。在溫室栽培時以精確的環境條件控制下，線蟲已經取代化學殺蟲劑 aldrin 成為防治危害裝飾盆栽根部害蟲的黑脈象鼻蟲(*Otiorhynchus sulcatus*)幼蟲的最佳防治方法(Richardson, 1990)。但可預知若要應用的農業生態系中尚有其困難的地方(Georgis and Gaugler, 1991)。進一步的發展陸續被開發，使線蟲被大規模應用於草莓栽培，蔓越莓沼塘，柑橘林，articholces，薄荷，甜菜及草皮上。(Table.5)在農業生態系中，土壤溫度溼度陽光(UV 輻射)往往是影響線蟲防治效力的重要因子。(Kaya, 1990; Richardson and Grewal, 1994)而蟲生線蟲田間效力最近已被回顧討論(Begley, 1990; Klein, 1990; Richardson and Grewal, 1991)，在整體宏觀而言在選擇適當的市場下，仍已成功的商業化及常規的被使用。

(一)蕈類菇舍

Sciarid flies(*Lycoriella* spp.)在世界各地菇類(*Agricus bisporus*)栽培中的主要害蟲，其成蟲侵入菇舍中，在新滅完菌及在已產菇的堆肥上產卵。幼蟲孵化後取食堆肥，破壞堆肥的結構及保水力，導致抑制菌落的生長及菇體的產量，而線蟲對 sciarid 幼蟲的防治效果與一般常用的殺蟲劑相同(Richardson and Grewal, 1991; Grewal *et al.*, 1993)。若將線蟲施用於菇床表層的效果比直接施用到堆肥的效果好(Richardson and Grewal, 1991)，因為堆肥表面在菌絲生長快速的將水份散失。在加州 Amycel Spawn Mate 設備的 35 個測試結果顯示每平方英尺施用 75,000 隻的 *S.feltiae* 在栽培區上，幾天後可減少 47-90% 癭蠅幼蟲族群。然而，時間準確符合老熟幼蟲，則可在上架前達到顯著的防治效果(Grewal and Smith, 1995; Scheepmaker *et al.*, 1995)，大規模的測試中，分別在 4 天 precasing 及 6 天 postcasing 進行線蟲處理，可以減少 80% 癭蠅族群(Grewal and Smith, 1995)。

劑量比例是商業化要求下最主要的考慮因子，不同程度的蠅類防治效果常用線蟲的使用量及對象害蟲的數量而改變。在英國及賓夕法尼亞州的大規模防治測試，以 93,000-140,000 nematode/sq.ft 單獨一次施用於菇床上，即可獲得可接

受的蠅類防治效果(Grewal and Richardson, 1993; Grewal and Smith, 1995), *S. feltiae* 可提供長效的防治直到蠅類的下一個世代, 而且對 3 及 4 齡的幼蟲最具感受性。線蟲可持續存活在菇床上直到整個栽培週期, 並增加菇類的收穫量。線蟲可以由被寄生的幼蟲體內再繁殖進行對抗較高的害蟲族群。

在線蟲種類中, *S. feltiae* 對洋菇蠅的防治提供了最佳的防治效果(Richardson, 1987)。*S. feltiae* 可以有效對抗潛蠅屬 *Lycoriella* 中重要的三種 *L. auripila* (Richardson, 1987)、*L. Solani* (Tomalak, 1994)及 *L. mali* (Nickle and Cantelo, 1991; Grewal *et al.*, 1993)。Phorid 及 cecid fly 幼蟲在洋菇栽培中偶而也會造成重大危害, 但牠們也對蟲生線蟲具感受性(Richardson, 1987)。Scheepmarker 等人(Scheepmaker *et al.*, 1995)觀察發現在上床後一週施用 *S. feltiae* 可使第二代的 phorid fly (*Megaselia halterata*)減少 74% 族群。

(二)溫室栽培

(1) 黑脈象鼻蟲

黑脈象鼻蟲(*O. sulcatus*)為世界分布, 且在溫室及苗圃中危害植物根部的主要害蟲(Smith, 1932)。蟲生線蟲已在溫室、苗圃中栽培的裝飾盆栽植物上成功的防治黑脈象鼻蟲的幼蟲。在澳洲一種 *H. bacteriophora* 品系的蟲生線蟲對新栽植的紅豆杉、樹莓及葡萄新苗提供了 100 % 的防治效果。

而對草莓及櫻草屬的植物可提供 87 % 防治率。在溫室環境中, 類似的結果也發生在荷蘭(Simons, 1981; van Tol, 1994)、美國(Stimman *et al.*, 1985; Georgis and Poinar, 1989; Hanula, 1993)、加拿大(Rutherford *et al.*, 1987)、英國(Richardson, 1990)、波蘭(Mracek *et al.*, 1993)及北京(Miduturi *et al.*, 1994)。

(2) 蕈蚋

Bradysia 屬中的蕈蚋被認為是裝飾盆栽植物的重要害蟲, 主要為害扦插的根部、降低根的重量及活力。幼蟲的取食預先造成作物遭受病原真菌的攻擊(Leath and Newton, 1969), 而 Sciarids 的成蟲則散佈許多的植物病原菌(Harris *et al.*, 1995)。在荷蘭(Nedstam and Burman, 1990)、英國(Gouge and

Hague, 1994)及美國(Lindquist *et al.*, 1994; Harris *et al.*, 1995)的花卉栽培生產，線蟲在對抗蕈蚋已經產生經濟、有效的防治結果，而取代化學殺蟲劑的使用，且防治效果與有機磷劑的效果相同(Gouge and Hague, 1994)。而 *S. feltiae* 則是所在用在花卉生產防治蕈蚋的蟲生線蟲的翹楚(Woodruff, 1985; Harris *et al.*, 1995; Gouge and Hague, 1995)，同時也被認定為最適合寄生於 bibionid 的幼蟲(Grewal and Smith, 1995)。

(3) 柑桔

目前為止線蟲可以有效防治在柑桔上危害的 5 種象鼻蟲：甘蔗蛀根象鼻蟲(*Diaprepes abbreviatus*)、(*Asynonychus godmani*)、(*Artipus floridanus*)以及柑桔根象鼻蟲(*Pachnaeus litus* 和 *P. opalus*)，此 5 種害蟲的生活史相似，成蟲取食葉片，卵也產在葉片上，初孵化的幼蟲則掉地面，進入土中取食根部。*D. abbreviatus* 也稱為 Apoka 象鼻蟲，是 5 種害蟲中體型最大破壞力亦最大的種類(Woodruff, 1985)，而蟲生線蟲 *S. riobravis* 對 *D. abbreviatus* 最具防治效果，雖然 *S. carpocapsae* (Schroeder, 1987; Schroeder, 1990; Schroeder, 1992)及 *H. bacteriophora* (Downing *et al.*, 1991)報告指出，在柑桔盆栽中施用 *S. riobravis* 9 星期後對位於 0 及 45cm 深的土層中的 *D. abbreviatus* 族群分別可減少 77 及 90%。

線蟲也可以有效防治 Fialler rose beetle, Morse 及 Lindegren (Morse and Lindegren, 1996)以 *S. carpocapsae* 的 Kapow 及 All strain 防治 Fialler rose beetle 等；可以減少 79 及 82% 的成蟲羽化率。

(4) 薄荷及漿果

(a) 薄荷蛀根蟲

S. carpocapsae 提供有較有效的防治對薄荷蛀根蟲 *Fumibotrys fumalis*，若要對幼蟲達到最佳的防治，時施用時機則是關鍵因子；因為線蟲本身持續利的限制、害蟲成蟲羽化時間的延遲、以及害蟲幼蟲進入休眠而對線蟲產生抗性等因子，皆會影響防治效果。因此在收穫前即收穫後各

施用 1 億隻/公頃的防治效果遠比再收穫前施用 2 億隻/公頃來的有效。

(b) 薄荷葉甲蟲(*Longitarsus furrugineus* 及 *L. waterhousei*)

薄荷葉甲蟲(*Longitarsus furrugineus* 及 *L. waterhousei*)會危害椒薄荷、留蘭香田，且引起嚴重的危害。在田間試驗顯示 *H. baetersphora* 及 *S. carpocapsae* 對 *L. waterhousei* 分別可造成 94 及 67% 的防治效果。

(c) 象鼻蟲

草莓根象鼻蟲(*Otiorhynchus ovatus*)及黑脈象皮蟲(*O. sulcatus*)，是薄荷草莓及小藍莓的重要害蟲。許多的試驗結果證實線蟲可以有效的甚至可能取代化學殺蟲劑，而達到抑制這些象鼻蟲的族群。而在草莓根象皮蟲及黑脈象鼻蟲的防治效果比較時，*H. baetersphora* 已有凌駕 *S. carpocapsae* 的趨勢(Klingler, 1988; Shanks and Agudelo-Silva, 1990; Miduturi *et al.*, 1994)；例如 *H. baetersphora* NC 及 HP88 品系在華盛頓的藍莓沼池分別可減少黑脈象鼻蟲幼蟲及蛹達 70 及 100%；而 *S. carpocapsae* All 則可減少 75% 族群。

(5) 草皮

(a) 螻蛄

黃褐螻蛄(*Scapteriscus vicinus*)及南方螻蛄(*S. borellii*)是廣泛分佈於美國東南，沿海平原且最具破壞力的螻蛄種類。也是草皮及牧草的嚴重害蟲，單一隻螻蛄可在一個晚上潛行 10-20 英尺長的孔道，使土壤乾燥並且嚴重危害植物根部系統。單獨在佛羅里達州一年估計要超過 5 千萬美元的防治費用。蟲生線線蟲，目前已可成功的來降低螻蛄對草皮的危害。利用由烏拉圭地區(Nguyen and Smart, 1990)死亡螻蛄蟲體所分離到的蟲生線蟲 *S. scapterisci* 在室內環境接種對螻蛄可生成 75-100% 的侵染率。

在 1985 年夏天以接種釋放的方法將 *S. scapterisci* 施用於牧草栽培區，經過 5 年間利用田間採集螻蛄進行評估結果發現，線蟲已分布整個牧草區，且整年調查平均所採得的螻蛄皆有 11% 被侵染(Parkman *et al.*, 1993)。最

近，其他線蟲種類如：*S. riobravis* 也被發現具有成為防治螻蛄之殺蟲劑的潛力(Gorsuch, 1995)。*S. riobravis* 最初是在德州的 Rio Grand 山谷中從玉米田中被自然感染的玉米穗夜蛾(*H. zea*)及秋行軍蟲(*Spodoptera fragiperda*)族群中所分離得到(Raulston *et al.*, 1992)。在一次每公頃單獨施用 1 億隻的 *S. riobravis* 即可減少 66-86% 的草皮損失。而其商品稱為 Vector MC™ (Thermo Triology, Columbia, MO)。目前由 Lesco 販賣用在草皮螻蛄的防治。

(b) 穀象

藍草穀象(*Sphenophorus parvulus*)是肯塔基藍草及多年生黑麥草的最重要害蟲之一。而蟲生線蟲 *S. carpocapsae* 及 *H. bacteriophora* 已被證實對穀象的幼蟲及成蟲具有很好的防治效果。在日本 *S. carpocapsae* 自從 1992 年起對穀象即提供了非常好的防治效果。

(c) 切根蟲

切根蟲(*Agrotis ipsilon*)對北美洲種在運動場及高爾夫球場的糠穗草一直是四季不斷的危害。切根蟲為半地下害蟲，經常挖掘孔道躲藏在地表下或草皮下，夜晚爬出來取食草皮的葉子及心芽。*S. carpocapsae* 以 1 百萬隻/公頃施用於高爾夫的草皮來有效的防治切根蟲(Georgis and Poinar, 1989; Shetlar, 1995)。

(6) 亞洲玉米螟

將蟲生線蟲(*Steinernema carpocapsae* All stran)施用於玉米田防治亞洲玉米螟(*Ostrinia furnacalis*)，其殺蟲效力與蘇力菌相仿，若加入膏劑保護，則可達到與化學藥劑陶斯松相近的殺蟲效力。進行不同施用時機之試驗發現，先接昆蟲後施線蟲組的蛀孔數與蟲數較先施線蟲後接昆蟲組為少，由此結果可知選擇適當的施用時機可提高防治的效果(鄭等，1998)。

(7) 寵物害蟲

在寵物害蟲的部分，貓蚤(*Ctenocephalides felis felis*)是一種主要害蟲，

也被利用蟲生線蟲防治成功。貓蚤通常寄生在貓及狗身上，但也被報告危害人類。而成蚤花費大部分的時間在哺乳動物體上進行交尾及產卵，卵會從寄主身上掉落，幼蟲則在窩巢草皮上，裝潢家具下取食有機碎屑。蟲生線蟲已被用來防治居家皮革中貓蚤的幼蟲及蛹(Manweiler, 1994)。在北卡羅來納州，*S. carpocapsae* 以 1 億隻/公頃施用 24 小時可造成 90% 的幼蟲死亡，而在路易斯安那洲也可使在繭中的蛹達 91-97% 的死亡率，線蟲在室外溫度高於 14°C，土壤潮濕條件下對棲息在革皮及土中的跳蚤幼蟲最為有效。Interrup™ 及 bio Flea Halt™ 兩項產品在 1994 及 1995 年則非常的暢銷。

四、對植物寄生性線蟲的抑制

通常商業化施用蟲生線蟲不僅可以防治標的害蟲，但對植物生長也有料想不到的改進。在分析經蟲生線蟲處理的盆栽土壤標本時，發現其植物寄生性線蟲的數量往往比未經蟲生線蟲的處理組少，且經過田間有系統的分系後也證實了以上觀察結果(Grewal *et al.*, 1997)。舉例來說，在一個高爾夫球場的測試中，以 6×10^9 IJs/公頃施佈後可對根瘤線蟲(*Meloidogyne* sp.)，sting nematode(*Belonolaimus longicaudatus*)，ring nematode(*Criconemella* sp.) 提供 95-100% 的防治效果(Grewal *et al.*, 1997)。其他的測試以 *S. riobravis* 及 *S. carpocapsae* 施用 1×10^9 IJs/公頃對以上三種植物線蟲也可達到 86-100% 的防治率(Grewal *et al.*, 1997)。

蟲生線蟲對植物寄生性線蟲的防治效果，最早在 1986 年被提出(Bird and Bird, 1986; Ishibashi and Kondo, 1986)。Bird 及 Bird (1986) 當每一盆蕃茄單一植株在施 5×10^6 隻的 *S. glaseri* 後可以降低 *Meloidogyne javanica* 線蟲族群的增殖。Ishibashi 及 kondo (1986) 在砂質土壤中以 1×10^4 IJS/100cm² 的 *S. carpocapsal* 單獨施用一次後可以減少 tylenchid nematode 達 75-90% 植物線蟲數量，而其他的研究 (Smitley *et al.*, 1992; Gouge *et al.*, 1994) 也證實以上的結果。

昆蟲寄生性線蟲會對植物寄生性線蟲產生抑制效果受到許多因子的影響 Bird and Bird (1986) 證實蟲生線蟲 (*S. glaseri*) 會被蕃茄的根所吸引，因此推

論造成兩種線蟲產生空間的競爭。Ishibashi 及 kondo (1986) 認為施用線蟲後，土中線蟲的生物量，增加同時也造成捕食者密度增高而產生抑制效果。

Grewal 及 Lewis 則認為是自然界生物訊息物質 (allelo chemical) 的效果。昆蟲寄生性線蟲本身及共生細菌的複合作用影響了根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) 幼蟲的行為。若將熱殺死的 *S. feltiae* 及 (*Xenohabdus. bovienii*) 的抽出物在洋菜培養基上測試時全對根瘤線蟲幼蟲具有極強烈的忌避效果。在更進一步的試驗發現，若將死亡的 IJs 施用在蕃茄盆栽中，可以減少根瘤線蟲對蕃茄根部的入侵。

五、結論與展望

昆蟲線蟲的商品化發展在 1990 年間已有長足進步。大規模量產技術的發展創新，及方便施用劑型的開發皆使蟲生線蟲的應用迅速的擴展。品質的改進，各種線蟲的量產藻膠和粘土劑型的發展，及可溶性粒劑的合成，皆劃時代的造詣，也促進了消費者對線蟲產品的接受及信賴。

而這些發展也導致線蟲應用在草皮上防治螻蛄及穀象；桔柑園防治根象鼻蟲；在溫室及菇舍防治蕈蚋；及庭院中防治跳蚤。經工業界學術界聯合產業界共同努力及政策導向的配合，進而讓我們在減少化學殺蟲劑使用的目標上，付出的實質的貢獻。儘管如此線蟲殺蟲劑在現實生活中，尚未使人們對化學殺蟲劑的信降低到一個明顯的水平，其主要的我們是在如何正確適當使用線蟲及線蟲相關的生物學的資訊尚嫌不足。

在未來，新種及新品系線蟲的發現，新種的量產及更新改進的製劑合成都還是還要續發展下去。設法利用因工程技術，突破及增進線蟲在生物防治的潛力在利用蟲生線蟲抑制植物寄生線蟲的作用制的研究也必須加以專注。加強將蟲生線蟲融入到害蟲綜合防治 (IPM) 中，因為一個新產品的上市，必須教導經銷商及群眾如何對線蟲產品的適當使用。在過去幾年中線蟲的商業化生產產生了明顯的改變。為了對抗傳統殺蟲劑，Biosis 公司發展出一套小規模農舍型的生產模式在

美國及歐洲應蘊而生。而這種小型貿易迎合一些如高價值家庭草皮、園藝市場、及高度利用活體培養生產者的需求。由於農業技術股份市場的衰退，進而提供了農舍型生產的趨勢擴大，而此趨勢可望延續到 21 世紀。