

低溫減壓燻蒸處理技術在植物線蟲檢疫的應用

顏志恒¹ 吳信郁² 賴淑芬³ 陳殿義⁴ 蔡東纂^{5,6}

1 台中市國光路 國立中興大學農業推廣中心

2 桃園縣新屋鄉 農委會桃園農業改良場作物環境課

3 台中市復興路 農委會動植物防疫檢疫局台中分局

4 台中縣霧峰鄉 農委會農業試驗所植物病理組

5 台中市國光路 國立中興大學植物病理學系

6 聯絡作者: 電子郵件: tttsay@mail.nchu.edu.tw 傳真: +886-8-22876712

接受日期: 中華民國 93 年 2 月 29 日

摘 要

顏志恒、吳信郁、賴淑芬、陳殿義、蔡東纂. 2004. 低溫減壓燻蒸處理技術在植物線蟲檢疫的應用. 植病會刊 13: 85-90.

以複合感染根瘤線蟲及根腐線蟲之山藥薯塊及感染松材線蟲之松材枝幹為試驗材料，分別使用溴化甲烷及磷化氫等藥劑燻蒸處理，處理時間為 2 小時與 8 小時；另外以 40% 芬滅松乳劑 (Fenamiphos)、24% 歐殺滅液劑 (Oxamyl)、41% 加保扶液劑 (Carbofuran) 及 80% 滅線蟲乳劑 (Nemamort) 等化學藥劑浸泡處理供試材料，處理時間為 30 分鐘與 90 分鐘。在處理傳播媒介松斑天牛幼蟲方面，利用溴化甲烷 (12 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理兩小時) 及磷化氫 (4 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理 8 小時) 低溫減壓燻蒸處理，結果發現溴化甲烷的藥效可深入深度在 47~52 公分之間，而磷化氫藥效的深入深度則在 22~26 公分之間。在處理松材線蟲方面，分別以溴化甲烷及磷化氫處理，發現兩者藥效深入深度僅在 5 公分處即有松材線蟲存活，因此針對處理松斑天牛幼蟲以燻蒸作處理，可達到滅除害蟲的目的，但效果則侷限半徑 47 公分以下的松樹枝幹 (以溴化甲烷處理) 及半徑 22 公分以下的松樹枝幹 (以磷化氫處理)。利用藥劑浸泡處理複合感染根瘤線蟲及根腐線蟲之山藥薯塊，發現藥效深度未能到達 3 公厘深。若以 49.5-50.5 °C 熱水溫湯處理 30 分鐘，雖可有效殺死侵入深度 5 公厘以內薯塊中的根腐線蟲，但卻會傷害種薯發芽之生長，因此對於出口檢疫要求及山藥品質的影響，仍需進一步研究探討。

關鍵詞：根瘤線蟲、根腐線蟲、松材線蟲、溴化甲烷、磷化氫、燻蒸處理

植物寄生性線蟲大部份棲息於土壤中，但是也有少數線蟲藏身於花卉、果樹及蔬菜之種子、苗木、球根、球莖、塊莖、塊根及根莖等植物體內⁽⁶⁾。寄生於植物地上及地下部位之內、外和半內寄生之許多種類線蟲，除可藉由天然移動力如風雨、灌溉水及土壤傳播之外，人為的商業往來經由世界性的交通網路傳送卻是最大規模的傳播途徑^(12,14)，由於植物病原線蟲體形相當微小，一旦傳播即非常迅速且防治不易，故早在 1909 年由日本政府贈送美國華盛頓之兩千棵櫻花樹苗，因鑑定有感染根瘤線蟲而仍然予以銷燬⁽⁸⁾，因此植物檢疫 (quarantine) 的目的即在於為了避免或減少外來危害病原的引入，進而建立族群而危及本土農作物⁽²⁾。儘管各國植物病蟲害檢疫標準及項目不一，但概括而言其措施不外乎特別禁運、特定目的禁運、入口

許可、附原產地植物檢疫證明、出關前檢疫、強制處理、隔離檢疫或隔離栽培等方式^(9,11)。而植物病原線蟲之檢疫目的即在防止其對進口國農作物之危害，因此最有效率的做法則須有系統的進行檢疫計畫 (quarantine program)，其內容包括排拒 (exclusion)、遏止 (containment) 及毀滅 (eradication)。其中植物檢疫線蟲的檢疫處理技術可分為三大項：1). 物理處理—包括高溫蒸氣消毒、低溫冷凍及溫湯消毒等；2). 化學處理—燻蒸、二氧化碳及化學藥劑處理；3). 避病—採產地認證制度等⁽¹⁰⁾。以植物檢疫線蟲為例，對於植物球根、種子、苗木或其他繁殖體於植前，將植物病原線蟲除滅的處理通常有熱水浸泡、殺線蟲劑浸泡或粉衣及燻蒸劑處理等方式，而以後兩者為主⁽¹⁾。Hague 等氏以有機磷劑 Thionazin 浸泡鬱金香及水仙球莖來防治

Ditylenchus dipsaci，發現兩者在 2500 ppm 劑量下處理 2.5 至 3 小時可獲致良好殺蟲效果，但用作檢疫上之完全撲滅仍嫌不足⁽⁵⁾。此外，於熱水中添加福馬林之處理，雖可殺死大部份內寄生潛移性線蟲，但常導致某些球莖花卉不開花⁽¹³⁾。以 Oxamyl 浸泡馬鈴薯種薯確實可降低 *Pratylenchus penetrans* 及 *Globodera rostochiensis* 之族群密度，但仍須配合土壤消毒，否則成效不大⁽¹⁵⁾。最主要的原因為球根、球莖、根莖類植物感染內寄生性線蟲種類時，因受限於球根表皮、線蟲寄生於植物組織之位置深度及藥劑之滲透性等因素，尚未有以浸泡方式能除滅 80% 以上線蟲之報導⁽⁷⁾。因此截至目前為止，燻蒸處理仍是植物病原線蟲檢疫最常使用且最有效率的方法，但是此法是否能一體適用於不同寄生形式的植物病原線蟲，仍需後續的試驗證明。

一般檢疫燻蒸處理是於壓力一大氣壓 (760 mmHg) 下進行，而減壓燻蒸處理技術則是於密閉庫體內降低壓力以利燻蒸劑投入，並將燻蒸藥劑均勻擴散於密閉庫體中，此外由於減壓時造成之低溫會降低藥劑對於農產品之傷害，亦可使庫體空氣中之每一種氣體的分壓降低，可有效降低氧氣張力因而加速農產品內乙稀及揮發氣體逸出，來達到農產品保鮮的效果⁽¹³⁾。檢疫處理燻蒸劑種類很多，包括溴化甲烷 (Methyl bromide)、磷化氫 (Phosphine)、乙醯 (Ethyl formate)、甲酸 (Formic acid)、乙醇 (Ethanol)、二氯甲烷 (Methylene chloride)、氰酸 (Hydrogen cyanide) 及硫磺劑 (Carbon disulphide) 等，目前以溴化甲烷、磷化氫、氰酸及硫磺劑使用最多⁽¹⁵⁾。溴化甲烷於常溫常壓下為無色無味之氣體，高濃度時具氯仿味，一般狀況下安定，其沸點為 3.6 °C，即 3.6 °C 時其蒸氣壓為 760 mmHg。溴化甲烷投藥係以重量計，於磅秤上設定所需之重量，然後減壓至所設定之壓力後，氣閥自動打開，溴化甲烷即氣化進入庫體，當達到所需量值時氣閥即刻自動關閉。在減壓下，溴化甲烷能迅速且均勻地擴散分布於燻蒸庫內。磷化氫為片劑之磷化鋁或磷化鎂，以磷化鎂為例，磷化鎂加水後即產生磷化氫 ($\text{Mg}_3\text{P}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{MgO} + 2\text{PH}_3$)，磷化氫為無色具有大蒜味之氣體狀態，在一般常溫下極為不安定，其沸點甚低 (87.4 °C)，於空氣中可自燃，為安全考量於操作過程中應避免受熱，或與火花、空氣、水、氧化劑等接觸。燻蒸時之磷化氫投藥系統，為使磷化氫能迅速產生，發揮藥效，於接近真空下，投入片劑之磷化鎂並且加水加熱，使快速產生磷化氫，加上以馬達送入氮氣推擠磷化氫及負壓下燻蒸庫體之吸力等雙重力量，迅速將磷化氫推入燻蒸庫體。本次試驗所使用之燻蒸藥劑為溴化甲烷及磷化氫，利用低溫減壓燻蒸消毒器 (特許理興業株式會社, 日本製造) (圖一)，由艙體外連接燻蒸藥劑溴化甲烷鋼瓶 (圖二) 處理試驗材料，材料為複合感染根瘤線蟲及根腐線蟲相當嚴重之山藥薯塊及感染松材線蟲之松材枝幹，針對不同之作物部位測試不同植物病原線蟲檢疫處理技術之效

果，包括：a). 物理性處理—溫湯浸泡，以 49.5-50.5 °C 熱水溫湯處理 30 分鐘；b). 化學性處理—化學藥劑浸泡，以 40% 芬滅松乳劑 (Fenamiphos)、24% 歐殺滅液劑 (Oxamyl)、41% 加保扶液劑 (Carbofuran) 及 80% 滅線蟲乳劑 (Nemamort) 等化學藥劑浸泡處理，處理時間為 30 分鐘與 90 分鐘；c). 燻蒸處理—使用溴化甲烷及磷化氫等藥劑燻蒸處理，處理時間為 2 小時與 8 小時 (表一)。並且紀錄包括處理後植物病原線蟲之二齡幼蟲存活率及植物組織內線蟲卵之孵化率等，以作為比較不同檢疫處理技術之評估標準，並評估作為檢疫處理基準之參考。

表一. 本試驗所採用之處理、化學藥劑及處理時間

Table 1. The list of all treatments for this study

Treatment No.	Content
1	Methyl bromide fumigated for 2 and 8hrs
2	Phosphine fumigated for for 2 and 8hrs
3	40% Fenamiphos soaked for 30 and 90 min
4	24% Oxamyl soaked for 30 and 90 min
5	41% Carbofuran soaked for 30 and 90 min
6	80% Nemamort soaked for 30 and 90 min
7	Hot water (49.5-50.5°C) soaked for 30 min

首先將培養於胡蘿蔔癒合組織之南方根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*) 100 隻漂洗於標本瓶中，分別以 40% 芬滅松乳劑 1000、2000、3000、4000、5000ppm 及無菌水處理，進行致死濃度之試驗，試驗結果發現南方根腐線蟲於 1000ppm 以上濃度處理後，線蟲蟲體呈現 100% 麻痺及死亡現象，致使線蟲無侵染能力。其次，將罹根腐線蟲之山藥薯塊，切成 1 公分見方的小薯塊，分別浸泡於 1000 及 2000ppm 濃度之 40% 芬滅松乳劑、24% 歐殺滅液劑、41% 加保扶液劑及 80% 滅線蟲乳劑，處理時間為 30 分鐘與 90 分鐘，結果發現任何藥劑處理皆無法完全殺死薯塊中的根腐線蟲，而以處理 90 分鐘，2000ppm 80% 滅線蟲乳劑之線蟲致死率 55.25% 為最高，且南方根腐線蟲侵入深度 3 公厘以上之薯塊處理後，皆有活蟲存在，顯示試驗藥劑處理深度未能到達 3 公厘深。物理方法的處理為利用溫湯浸泡方式處理罹病薯塊，以 49.5-50.5 °C 的熱水處理 30 分鐘，雖可有效殺死侵入深度 5 公厘以內薯塊中的根腐線蟲，但卻會造成種薯發芽生長之傷害，因此對於檢疫要求及山藥品質的影響，仍需進一步研究探討。燻蒸處理方面，利用溴化甲烷 (12 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理兩小時) 及磷化氫 (4 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理 8 小時) 減壓處理罹病薯塊，結果發現罹病薯塊 0 至 1 公厘深度未發現活蟲，卻於侵入深度 1 公厘以上之薯塊組織可分離到活蟲 (圖五及圖六)，顯然兩者燻蒸藥劑之滲入移行能力，皆未能達到檢疫處理所需，仍需進一步檢討藥劑濃度及處理條件，以利檢疫處理基準之建



圖一：本次試驗所使用之低溫減壓燻蒸消毒器 (特許理興業株式會社, 日本製造)

Fig. 1: Low-temperature depressive fumigation autoclave. (Made in Japan)

圖二：溴化甲烷鋼瓶由艙體外連接低溫減壓燻蒸消毒器使用

Fig. 2: Methyl Bromide steel bottle.

圖三：燻蒸處理前之罹病松材，以南寶樹脂塗佈整枝松材，僅留左側截面不塗佈以允許燻蒸藥劑的進入。

Fig. 3: Nematode-infected pinewood before fumigation-treatment.

圖四：檢查燻蒸處理後之罹病松材剖面，計算由左側截面至死亡松斑天牛幼蟲的距離，以檢測燻蒸藥劑的效果。

Fig. 4: Nematode-infected pinewood after fumigation-treatment.

圖五：燻蒸處理前之罹病山藥，以南寶樹脂封住兩側截面，避免影響燻蒸藥劑穿透山藥表皮的效果。

Fig. 5: Nematode-infected yam before fumigation-treatment.

圖六：採取燻蒸處理後之罹病山藥組織，浸泡於水中，計算由組織流出之線蟲致死率，以檢測燻蒸藥劑的效果。

Fig. 6: Nematode-infected yam after fumigation-treatment.

立。

至於感染松材線蟲之松材枝幹，在處理松斑天牛幼蟲方面，利用溴化甲烷 (12 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理兩小時) 及磷化氫 (4 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理 8 小時) 減壓燻蒸處理罹病枝幹，發現溴化甲烷處理其藥效深入深度在 47~52 公分之間，而磷化氫藥效深入深度則在 22~26 公分之間。在處理松材線蟲方面，分別以溴化甲烷及磷化氫處理，兩者藥效深入深度在 5 公分處即可發現線蟲存活。因此，針對處理松斑天牛幼蟲之燻蒸處理，應可達到滅除害蟲的目的，但效果則侷限於半徑 47 公分以下的松樹枝幹 (以溴化甲烷處理) 及半徑 22 公分以下的松樹枝幹 (以磷化氫處理) (圖三及圖四)。

以化學藥劑直接處理試管培養之南方根腐線蟲，線蟲於藥劑 1000 ppm 以上濃度處理結果顯示，化學藥劑對於線蟲有直接觸殺的效果，線蟲蟲體呈現 100% 麻痺及死亡現象，致使線蟲無侵染能力。但若以化學藥劑處理遭受線蟲感染之山藥薯塊，則效果有限，而溫湯浸種處理雖可達到檢疫的需求，但卻會傷害種薯發芽之生長。基於考量檢疫的需求，由於線蟲深埋於受感染之植物組織內，因此未來後續試驗的進行，應可考慮將化學藥劑處理的濃度及處理時間加量及延長，祈能達成檢疫的要求及不影響山藥的品質。本次試驗以燻蒸處理之條件為溴化甲烷 12 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理兩小時及磷化氫 4 公克，壓力 250 mmHg 毫米汞柱，處理 8 小時減壓處理後，燻蒸藥劑之滲入移行能力仍未能達到檢疫處理所需，因此未來後續試驗的進行，仍需進一步檢討藥劑濃度及處理時間。

台灣出口檢疫主要配合輸入國檢疫規定或要求辦理，就植物病原線蟲而言，與台灣貿易往來且訂有檢疫規範的 56 個國家⁽⁴⁾之檢疫線蟲種類有：小麥腫癭線蟲 (*Anguina tritici*)、葉芽線蟲 (*Aphelenchoides besseyi*、*A. fragariae*、*A. ritzemabosi*)、松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*)、莖線蟲 (*Ditylenchus angustus*、*D. dipsaci*、*D. destructor*)、包囊線蟲 (*Heterodera sachactii*、*H. rostochiensis*、*H. glycines*、*H. humuli*、*H. trifolii*、*H. goettingiana*)、水稻穿根線蟲 (*Hirschmaniella oryzae*)、黃金線蟲 (*Globodera rostochiensis*、*G. pallida*)、針線蟲 (*Longidorus elontatus*)、根瘤線蟲 (*Meloidogyne spp.*)、根腐線蟲 (*Pratylenchus coffeae*、*P. penetrans*、*P. convallariae*、*P. vulnus*、*P. pratensis*)、穿孔線蟲 (*Radopholus similis*、*R. citrophilus*)、可口椰子紅輪線蟲 (*Rhadinaphelenchus cocophilus*)、矮化線蟲 (*Tylenchorhynchus martini*)、柑桔線蟲 (*Tylenchulus semipenetrans*) 及匕首線蟲 (*Xiphinema americanum*、*X. index*、*X. diversicaudatum*) 等。其中本省已存在的植物病原線蟲有 *Aphelenchoides besseyi*、*Bursaphelenchus xylophilus*、*Hirschmaniella oryzae*、*Longidorus spp.*、*Meloidogyne incognita*、*M. javanica*、*M.*

arenaria、*M. hapla*、*Pratylenchus coffeae*、*Tylenchorhynchus spp.*、*Tylenchulus semipenetrans* 及 *Xiphinema spp.* 等⁽³⁾。事實上，在熱帶及亞熱帶國家中，台灣並未發現農作物遭胞囊線蟲、黃金線蟲、莖線蟲、穿孔線蟲及可口椰子紅輪線蟲等高經濟危險性的植物病原線蟲為害，而未來只有作好檢疫工作才能確保台灣之農業利益。

台灣作物種類繁多，加上農民栽培技術高，生產之作物及水果品質優良且產量高，堪稱農產品王國，諸如芒果、木瓜、蓮霧、印度棗、番石榴、山藥等，但台灣為多種病蟲害的疫區，肇致台灣作物及水果外銷的重要限制因子，目前能夠外銷的作物及水果僅靠冷藏處理 (輸日之葡萄、柑桔及輸美之荔枝、楊桃等)，蒸熱處理 (輸日之芒果)，及蒸熱加冷藏處理 (輸日之荔枝)，而蓮霧、印度棗、番石榴及山藥等高品質作物及水果，則不能依上述方法處理而無法外銷。故本試驗預期未來能以化學之減壓燻蒸處理作物及水果個體，以克服檢疫處理之瓶頸，突破拓展我作物及水果之外銷限制因子，解決農產品生產過剩問題及增加農民收益。

引用文獻

1. 蔡東纂、林奕耀. 1985. 臺灣葡萄根瘤線蟲之發生及其傳播. 中國園藝 31: 94-104。
2. 蔡東纂. 1995. 植物病原線蟲檢疫. 植病會刊 4: 43-59。
3. 蔡東纂. 1997. 可能入侵台灣之植物病原線蟲及其防止對策. 植病會刊 39: 33-61。
4. Bureau of commodity Inspection & Quarantine of Republic of China. 1991. Summary of National Plant Quarantine Regulations. 518pp.
5. Decker, H. 1988. Plant nematodes and their control (phytonematology). E. J. Brill. Inc. Kinderhook. 527pp.
6. Dropkin, V. H. 1989. Introduction to plant nematology. John Wiley & Sons. Inc. New York. 304pp.
7. Hope, W. D. 1994. Nematodes: Structure, Development, Classification, and Phylogeny. Smithsonian Inst. Press. Washington and London. 286pp.
8. Jefferson, R. M., and Fuson, A. E. 1977. The Japanese flowering cherry trees of Washington, D. C. National Arboretum Contribution 4, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
9. Mathys, G. and Baker, E. A. 1980. An appraisal of the effectiveness of quarantines. Annu. Rev. Phytopathol 18: 85-101.
10. Nickle, W. R. 1991. Manual of agriculture Nematology. Marcel Dekker, Inc. New York. 464pp.
11. O'Bannon, J. H., and Esser, R. P. 1987. Regulatory

- perspectives in nematology. pp. 38-51 in Vistas on nematology. A commemoration of the twenty-fifth anniversary of the society of nematologists.
12. Orr, C. C., and Newton, O. H. 1971. Distribution of nematodes by wind. *Plant Dis. Repr.* 55: 61-63.
 13. Singh, R. S., and Sitaramaiah, K. 1994. Plant pathogen: the nematodes. International Science Publisher. New York. 320pp.
 14. Waliullah, M. I. S. 1984. Nematodes in irrigation water. *Nematol. Medit.* 12: 243-245.
 15. Whitehead, A. G. 1998. Plant nematode control. CAB International. London. 384pp.

ABSTRACT

Yen, J. H.¹, Wu, H. Y.², Lai, S. F.³, Chen, D. Y.⁴, and Tsay, T. T.^{5,6}. 2004. Study of a low-temperature and low-pressure fumigation technique for the quarantine procedure of plant-parasitic nematodes. Plant Pathol. Bull. 13: 85-90. (¹Agricultural Extension Center, National Chung-Hsing University ; ²Crop Environment Division, Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station; ³Tai-chung Branch Office, The Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine; ⁴Plant pathology Division, Agricultural Research Institutes; ⁵Dept. of Plant Pathology, National Chung-Hsing University ; ⁶Corresponding author, E-mail: tttsay@mail.nchu.edu.tw)

A study was conducted to determine control of plant-parasitic nematode disease of yam caused by combined infestations of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) and pinewood caused by pinewood nematodes (*Bursaphelenchus xylophilus*) and their insect vector, pine sawyer beetles (*Monochamus alternatus*). The treatments were: (1) Methyl bromide fumigated for 2 and 8hrs; (2) Phosphine fumigated for 2 and 8hrs; (3) 40% Fenamiphos soaked for 30 and 90 min; (4) 24% Oxamyl soaked for 30 and 90 min; (5) 41% Carbofuran soaked for 30 and 90 min; (6) 80% Nemamort soaked for 30 and 90 min; and (7) Hot water(49.5-50.5C) soaked for 30 min. Results showed that fumigation of pinewood for 2 hrs with 12 g of methyl bromide under the pressure of 250 mmHg was most effective in killing larvae of pine sawyer beetle in the wood for upto the depth of 47-52 cm but this treatment was effective in killing pinewood nematode for only upto the depth of 5 cm. Methyl bromide and all the other treatments of yam tubers were effective in killing nematodes in the tissues for only upto a depth of 3 mm. Hot water treatment of yam tubers were effective in killing nematodes in the tissues for only upto a depth of 5 mm but the treatment was harmful to the germination and growth of yam tubers. The study concludes that methyl bromide is the most effective chemical in controlling larvae of pine sawyer beetle. No effective control of nematodes infestations in pinewood and yam tubers is found in this study and thus, requires further investigations.

Key words: fumigation, methyl bromide, pinewood nematode, root-knot nematode, root-lesion nematode