

肉桂油乳劑防治番茄南方根瘤線蟲之田間藥效試驗

顏志恒¹、許晴情²、謝廷芳^{3*}

¹ 國立中興大學農業暨自然資源學院 農業推廣中心

² 行政院農業委員會台中區農業改良場

³ 行政院農業委員會農業試驗所 花卉研究中心

* 聯絡作者, E-mail: tfsieh@tari.gov.tw

摘要

顏志恒、許晴情、謝廷芳*。2017。肉桂油乳劑防治番茄南方根瘤線蟲之田間藥效試驗。植物醫學 59(4): 5-12。

為評估肉桂油乳劑於田間防治番茄南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita*) 的效果, 於雲林縣斗六地區選定三個番茄田區, 於2015年9月至2016年6月期間進行試驗。本試驗為單因子試驗, 採逢機完全區集設計(Randomized complete block design, RCBD), 共設置供試藥劑肉桂油乳劑稀釋1,500、3,000及5,000倍、參考藥劑歐殺滅稀釋200倍及對照不施藥(澆灌清水)等5處理, 每處理5重複。於番茄定植後1個月開始施藥, 每隔14天施用一次, 連續5次, 定植後約每個月調查每小區每100公克土壤中根瘤線蟲二齡幼蟲的數量及根瘤指數, 並換算成罹病度(Disease severity)。由三個田區之田間試驗結果顯示, 三種不同稀釋濃度之肉桂油乳劑在降低番茄根圈土壤中之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數上, 優於參考藥劑歐殺滅與未施藥對照組; 而在降低罹病度上, 肉桂油乳劑除稀釋5,000倍與參考藥劑之效果相當之外, 其餘均優於參考藥劑與未施藥對照組。據此, 推薦肉桂油乳劑稀釋5,000倍可用於防治番茄根瘤線蟲的發生。

關鍵詞: 肉桂油乳劑、防治、南方根瘤線蟲

緒言

在台灣, 許多果樹、花卉及蔬果專業區常發生連作障礙問題, 究其原因不外乎土壤鹽化、土壤有機質含量不足、土壤傳播性病原菌族群數量增加, 其中植物病原線蟲為關鍵性病原, 尤以園藝設施作物如洋香瓜、番茄、洋桔梗等為甚(Tsay, 1996)。解決作物根瘤線蟲的問題, 農民多採用簡便的劇毒性殺線蟲劑灌注土壤, 然因受土壤環境因子影響, 使得多數化學農藥之防治效果不彰, 且對環境生態造成莫大危害, 更有農產品殘留農藥過量之虞。迄今世界上已商品化之殺線蟲劑估計將於未來幾年內大量被禁用, 非農藥防治將是唯一可行之

道(Tsay, 1999; 2006)。近年來國外已推出Sincocin與DiTera兩種天然殺線蟲劑, Sincocin為四種植物(*Opuntia engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm., prickly pear cactus; *Quercus falcata* Michex., southern red oak; *Rhus aromatica* Ait., fragrant sumac; *Rhizophora mangle* L., red mangrove)組織之抽出混合水溶液(Chitwood, 2002), 而DiTera則是線蟲寄生真菌*Myrothecium verrucaria* D. R. Whitaker菌體發酵之產物ABG-9008, 商品名為DiTera™ (Marin et al., 2000; Warrior et al., 1995), 兩者在防治植物線蟲病害方面具良好的效果(Farahat et al., 1993; Grau et al., 1996)。但是台灣氣候高溫多溼, 經測試結果顯示Sincocin及DiTera在稀釋倍數100倍以下防治南方根瘤線蟲(*M. incognita*)的效果較為顯著, 高倍數稀釋下則無防治效果(Yen et al., 2005)。植物精油(Essential oils)及其成分可開發作為殺線蟲劑, 在線蟲防治上頗具潛力(Ozdemir and Gozel, 2017), 然而尚未有相關製劑產品商品化(Andres et al., 2012)。

有鑑於台灣多種作物如番茄、瓜類、番石榴、洋桔梗等在栽培過程中常遭受根瘤線蟲的危害, 本試驗依據植物根瘤線蟲侵染植物組織之前的二齡幼蟲有一段時間游離於根圈周圍再侵入之特性, 開發殺滅該類線蟲二齡幼蟲之肉桂油乳劑(含36%肉桂醛), 防治作物根瘤線蟲病之發生。本試驗之目的在於評估肉桂油乳劑於田間對番茄根瘤線蟲(Root-knot nematode, *M. incognita*)之防治效果, 探討最佳使用劑量, 作為產品登記上市與推薦農民使用之依據。

材料與方法

試驗期程與地點

試驗由2015年9月起開始進行試驗直至2016年6月止, 約八個月。分別選定於雲林縣斗六市長平里A田區(2015年9月10日至2016年5月12日)溝壩里B田區(2015年9月11日至2016年5月13日)及C田區(2015年10月5日至2016年6月6日)之溫室小番茄栽培區進行試驗。

測試之番茄品種

番茄 (tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill) 先行育苗，再行移植於田間，A田區(2015年9月10日定植)及B田區(2015年9月11日)栽種之番茄品種為玉女小番茄，C田區(2015年10月5日定植)栽種之品種為小果154。

田區設計

三場試驗田區分別於雲林縣斗六市之三處溫室小番茄田進行，分別為長平里(A)及溝壩里(B)及溝壩里(C)三區之各約一分地，土壤質地分別為壤土、砂質壤土、砂質壤土。為確保田間供試土壤含有足量之根瘤線蟲，於104年4月14日先進行田間土壤根瘤線蟲密度測試，前期作物為輪作之洋香瓜，平均根瘤線蟲密度分別為每100公克土壤有33.9、19.6及27.5隻根瘤線蟲二齡幼蟲。

以溫室之番茄栽植區為試驗田區，分別進行單因子試驗，採逢機完全區集設計(Randomized Complete Block Design, RCBD)，共計5處理，每處理5重複(區集)，共計25小區。將5處理以逢機方式配置於各區集內。小區間設置30公分之隔離區，每小區種植30株番茄植株，採用農民慣用栽培方法管理。

藥劑處理與施藥方式

藥劑處理包括供試藥劑、參考藥劑及不施藥之空白對照組。供試藥劑為農試驗所研發之肉桂油乳劑(含36%肉桂醛，36% Cinnamaldehyde)，參考藥劑為歐殺滅[Oxamyl, N, N-dimethyl-2-methylcarbamoyloxyimino-2-(methylthio)acetamide]，商品名萬強(杜邦公司)，而對照組則是以清水灌施。

定植後1個月開始施藥，每隔14天施用一次，連續5次。施藥時採根部灌注，選用6公斤以上容量之灑水壺進行根部灌注，每處理灌注6公斤供試藥劑不同倍數之稀釋液，每株40毫升。

二齡幼蟲蟲口數調查

番茄植株施藥前(定植時)與施藥後(定植後1個月)每隔30天調查二齡幼蟲蟲口數量。調查時每小區取5點，每點取土深5公分內之土壤20克，混合後裝入塑膠袋取回實驗室，以改良式柏門式漏斗法(modified Baermann funnel method)調查每100公克土壤中根瘤線蟲二齡幼蟲的數量，試驗期約8個月，共計有9次調查。

根瘤指數調查及計量

調查時每區調查5株番茄植株，每株調查根部根瘤指數。其植株根部根瘤指數分為5級：0級，無病徵；1級，1-15%根系有根瘤；2級，16-30%根系有根瘤；3級，31-50%根系有根瘤；4級，51-100%根系有根瘤，再依下列公式計算罹病度(%)

(Zuckerman et al., 1990)。

$$\text{罹病度}(\%) = \frac{\sum(\text{指數} \times \text{該指數罹病株數})}{4 \times \text{總調查株數}} \times 100。$$

統計分析

試驗所得資料之差異顯著性測驗，係利用IBM SPSS Statistics (version 19) 統計分析軟體進行變方分析 (analysis of variance, ANOVA) 與最低顯著差異分析 (least significant difference, LSD)。

結 果

A 田區試驗結果

本試驗在番茄第一次施藥前(2015年9月10日)調查，各處理區之每百克土壤中根瘤線蟲二齡幼蟲平均蟲口數為0-0.8，根瘤之罹病度為0，各小區間無顯著性差異(表一、表二)。另外，第三次調查至第七次調查，對照組未施藥處理區(Control)之百克土中二齡幼蟲平均蟲口數由2.6逐步增加至218.8，罹病度由35%增加至75%(數據未列出)，顯見試驗期間氣候條件適合番茄根瘤線蟲的發生。

第五次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑(含36%肉桂醛)三種濃度(1,500倍、3,000倍、5,000倍)與參考藥劑歐殺滅200倍處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為34.0、30.2、34.0及36.0，與未施藥處理組(Control)的118.6呈顯著性差異($p < 0.05$)(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為35、30、35%，處理間無顯著性差異，但與參考藥劑及未施藥對照組的50及60%之間呈顯著性差異(表二)。

第九次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑三種濃度處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為16.8、10.6、18.0，稀釋3000倍處理組與另二組間呈顯著性差異，但均分別與參考藥劑歐殺滅200倍及未施藥處理組(Control)的155.6、210.8呈顯著性差異(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為30、25、15%，處理間無顯著性差異，但與參考藥劑及未施藥對照組的75及80%之間呈顯著性差異(表二)。

B 田區試驗結果

本試驗在番茄第一次施藥前(2015年9月11日)調查，各處理區之每百克土壤中根瘤線蟲二齡幼蟲平均蟲口數為9.8-12.0，根瘤之罹病度為0，各小區間無顯著性差異(表一、表二)。另外，第三次調查至第七次調查，未施藥處理區(Control)之百克土中二齡幼蟲平均蟲口數由6.4逐步增加至161.4，罹病度由65%增加至70%(數據未列出)，顯見試驗期間氣候條件適合番茄根瘤線蟲的發生。

表一、肉桂油乳劑(含36%肉桂醛)處理對三處田區番茄根瘤線蟲蟲口密度之影響

TABLE 1. Effect of cinnamon oil emulsion (36% cinnamaldehyde) on *Meloidogyne incognita* second-stage juveniles (J2) density in soil of three tested fields

Treatment	Dilution fold	No. of J2/100g soil ¹								
		First survey (before 1 st treatment)			Fifth survey (4 months after 1 st treatment)			Ninth survey (8 months after 1 st treatment)		
		Field A	Field B	Field C	Field A	Field B	Field C	Field A	Field B	Field C
Cinnamon oil EC	1500	0.0 a ²	11.8 a	0.4 a	34.0 b	34.0 b	24.0 b	16.8 c	45.8 b	30.0 c
	3000	0.8 a	9.8 a	0.8 a	30.2 b	31.2 b	20.2 b	10.6 d	38.2 b	43.6 c
	5000	0.2 a	12.0 a	1.2 a	34.0 b	37.4 b	25.4 b	18.0 c	21.0 c	31.4 c
Oxamyl	200	0.4 a	11.0 a	1.4 a	36.0 b	41.6 b	20.4 b	155.6 b	155.2 a	169.8 a
Control (water)	-	0.4 a	11.8 a	3.4 a	118.6 a	80.4 a	58.2 a	210.8 a	150.2 a	111.8 b

¹ Five sites of soil sample were collected. Each soil sample (100 g) was obtained from 5 repeats (block) with 20 g in each repeat, then 100 g of soil was counted for the number of second-stage juvenile (J2) of *Meloidogyne incognita* by modified Baermann funnel method.

² Means (n=5) in each column followed by the same letter are not significantly different (p>0.05) according to LSD test.

表二、肉桂油乳劑(含36%肉桂醛)處理對三處園區番茄根瘤線蟲罹病度之影響

TABLE 2. Effect of cinnamon oil emulsion (36% cinnamaldehyde) on disease severity of tomato root-knot nematode caused by *Meloidogyne incognita* in three tested fields

Treatment	Dilution fold	Disease severity (%) ¹								
		First survey (before 1 st treatment)			Fifth survey (4 months after 1 st treatment)			Ninth survey (8 months after 1 st treatment)		
		Field A	Field B	Field C	Field A	Field B	Field C	Field A	Field B	Field C
Cinnamon oil EC	1500	0 a ²	0 a	0 a	35 b	20 c	10 c	30 b	20 c	30 c
	3000	0 a	0 a	0 a	30 b	25 c	5 c	25 b	25 c	25 c
	5000	0 a	0 a	0 a	35 b	25 c	25 b	15 b	35 bc	40 bc
Oxamyl	200	0 a	0 a	0 a	50 a	45 b	35 b	75 a	50 ab	55 ab
Control (water)	-	0 a	0 a	0 a	60 a	70 a	50 a	80 a	60 a	75 a

¹ Disease severity rating was based on a scale of 0 to 4: 0 = healthy root; 1 = 1 to 15% roots showed root-knot symptoms; 2 = 16 to 30% roots showed root-knot symptoms; 3 = 31 to 50% roots showed root-knot symptoms; and 4 = 51-100% roots showed root-knot symptoms. A disease severity (DS) for each replicate was calculated using the formula: DS = $\sum(nd)/T$, where n = number of plants in each rating, d = disease rating (0 to 4), and T = total number of plants in each replicate.

² Means (n=5) in each column followed by the same letter are not significantly different (p>0.05) according to LSD test.

第五次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑三種濃度(1,500倍、3,000倍、5,000倍)與參考藥劑歐殺滅200倍處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為34.0、31.2、37.4及41.6，與未施藥處理組(Control)的80.4呈顯著性差異(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為20、25、25%，處理間無顯著性差異，但與參考藥劑及未施藥對照組的45及70%之間呈顯著性差異(表二)。

第九次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑三種濃度(1,500倍、3,000倍、5,000倍)處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為45.8、38.2、21.0，稀釋5,000倍處理組與另二組間呈顯著性差異，但均分別與參考藥劑歐殺滅200倍及未施藥處理組(Control)的155.2、150.2呈顯

著性差異(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為20、25、35%，處理間無顯著性差異，但與未施藥對照組的60%之間呈顯著性差異，其中稀釋5000倍供試藥劑與參考藥劑歐殺滅的50%間呈不顯著差異(表二)。

C 田區試驗結果

本試驗在番茄第一次施藥前(2015/10/5)調查，各處理區之每百克土壤中根瘤線蟲二齡幼蟲平均蟲口數為0.4-3.4，根瘤之罹病度為0，各小區間無顯著性差異(表一、表二)。另外，第三次調查至第八次調查，未施藥處理區(Control)之百克土中二齡幼蟲平均蟲口數由9.8逐步增加至93.2，罹病度由55%增加至65% (數據未列出)，顯見試驗期間氣候條件適合番茄根

瘤線蟲的發生。

第五次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑三種濃度(1,500倍、3,000倍、5,000倍)與參考藥劑歐殺滅200倍處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為24.0、20.2、25.4及20.4，與未施藥處理組(Control)的58.2呈顯著性差異(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為10、5、25%，稀釋5000倍處理組高於另外二組，並呈顯著性差異，而與參考藥劑歐殺滅處理組的35%間無顯著性差異，但無論供試藥劑或參考藥劑均與未施藥對照組的50%呈顯著性差異(表二)。

第九次調查結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑三種濃度(1,500倍、3,000倍、5,000倍)處理後，番茄根部土壤之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數於每100克土中分別為30.0、43.6、31.4，不同稀釋倍數處理間無顯著性差異，但均分別與參考藥劑歐殺滅200倍及未施藥處理組(Control)的169.8、111.8呈顯著性差異(表一)；而各供試藥劑高濃度至低濃度之罹病度分別為30、25、40%，處理間無顯著性差異，但均與未施藥對照組的75%呈顯著性差異，其中供試藥劑稀釋5,000倍與參考藥劑歐殺滅處理組間無顯著差異(表二)。

三田區試驗結果分析

綜合三田區之田間試驗結果顯示，供試藥劑肉桂油乳劑可明顯且有效地降低番茄根圍土壤中根瘤線蟲的二齡幼蟲蟲口數，並降低罹病度。由表一及表二之三田區田間試驗結果之數據顯示，三種不同稀釋濃度之供試藥劑肉桂油乳劑在降低番茄根圍土壤中之根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數上，優於參考藥劑的歐殺滅與未施藥對照組；而在降低罹病度上，供試藥劑除稀釋5,000倍與參考藥劑相當之外，其餘均優於參考藥劑與未施藥對照組。據此，建議推薦肉桂油乳劑稀釋5,000倍，於番茄定植1個月後，每隔14天施行根部灌注一次，至少連續5次。

討 論

顏等人(2008)曾於實驗室中測定肉桂油乳劑稀釋10,000倍，可使南方根瘤線蟲(*M. incognita*)的卵孵化率由69.6%降至30%，且可使二齡幼蟲致死率達100%；於溫室中更可使番茄根瘤線蟲危害形成之根瘤指數由2.8降至1.2(Yen et al., 2008)。由本試驗之田間藥效評估結果顯示，稀釋5,000倍之肉桂油乳劑確實可顯著抑制番茄南方根瘤線蟲在土壤中的二齡幼蟲蟲口數，進而降低根瘤指數，以達到降低病害發生。儘管肉桂油乳劑在番茄定植後一個月開始施用，每二週施用一次，僅連續施用五次(二個半月)，仍可維持後續土壤中之二齡幼蟲蟲口數於低密度與延遲根部之根瘤發生直至果實採收完成。

植物寄生性線蟲是世界上最具破壞性的植物病原體之一，防治上極具挑戰性(Bird et al., 2009)。植物精油(Essential

oils)及其成分可開發作為殺線蟲劑，在線蟲防治上頗具潛力(Andres et al., 2012; Ozdemir and Gozel, 2017)。在殺線蟲活性方面，Oka等人(2000)評估27種香料和芳香植物精油在1,000 ul/L濃度下抑制爪哇根瘤線蟲(*Meloidogyne javanica*)的活性，有12種精油可顯著抑制線蟲二齡幼蟲活動及卵孵化率，其中葛縷子(*Carum carvi* L.)、茴香(*Foeniculum vulgare* Mill.)、圓葉薄荷(*Mentha rotundifolia* Huds.)和留蘭香(*Mentha spicata* L.)等精油表現出最佳的殺線蟲活性。Pérez等人(2003)指出茼蒿花(*Chrysanthemum coronarium* L.)精油在16 ul/mL濃度下顯著地降低*Meloidogyne artiellia*的卵孵化率及二齡幼蟲存活率。薰衣草(*Lavandula officinalis*)、艾蒿(*Artemisia absinthium*)、黑胡椒(*Piper nigrum*)、枸杞(*Citrus bergamia*)和薄荷(*Mentha arvensis*)等精油在1, 3和5%下處理不同時間(12, 24, 48和72 h)，對根瘤線蟲*M. incognita*的二齡幼蟲均具有最高的毒性(Ozdemir and Gozel, 2017)。由檸檬桉(*Corymbia citriodora* Hook.f.)和赤桉(*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)的新鮮葉中提取精油，於實驗室中測試其對南方根瘤線蟲*M. incognita*的殺線蟲活性，檸檬桉精油在抑制卵孵化率和抑制二齡幼蟲存活力方面比赤桉精油更為有效，半數抑制濃度(IC₅₀)值分別為412.7和615.9 mg/L，半數致死濃度分別為235.9和327.7 mg/L(El-Bahal et al., 2017)。野薄荷(*Origanum vulgare* L.)、巖愛草(*Origanum dictamnus* L.)、薄荷(*Mentha pulegium* L.)和蜜蜂花(*Melissa officinalis* L.)精油對*M. incognita*具有高殺線蟲活性，其EC₅₀(處理96小時)分別為1.55、1.73、3.15和6.15 ul/mL(Ntalli et al., 2010)。Gupta等人(2011)評估六種植物精油對*M. incognita*的致死率，發現尤加利(*eucalyptus*, *E. globulus*)精油效果最佳，濃度1000 ul/L時處理6h及125 ul/L處理30h均可達100%致死率，其次是印度藏茴香[ajwain, *Carum copticum* (L.) Benth. & Hook. f.]。

植物精油在盆栽試驗中的防病效果亦被證實，葛縷子、茴香、圓葉薄荷、留蘭香、野薄荷(*Origanum vulgare* L.)、牛膝草(*O. syriacum* L.)和奧勒岡(*Coridothymus capitatus* Reichb.)等精油在100和200 mg/kg濃度下混入沙質土中可降低盆栽試驗下的黃瓜幼苗根瘤數(Oka et al., 2000)。在鷹嘴豆(chickpea cv. PV 61)盆栽試驗中亦發現土壤處理10-40 ul/500 cm³濃度的茼蒿花精油時，也顯著降低了線蟲的繁殖率(Pérez et al., 2003)。尤加利(*Eucalyptus globulus* Labill)和天竺葵(*Pelargonium asperum* Bourbon)精油的盆栽試驗中測定其煙蒸殺蟲效果，結果顯示在50 μL/kg soil濃度下即可顯著地降低番茄根瘤線蟲的繁殖速率和根瘤形成(Laquale et al., 2015)。苦楝(*Azadirachta indica* A. Juss.)精油可明顯降低*M. incognita*在土壤中的蟲口數及番茄的根瘤指數(Abo-Elyousr et al., 2009)。另外，Cetintas和Yarbs(2010)於田間試驗評估迷迭香，百里香，薄荷，大蒜和芝麻等五種植物精油對番茄南方根瘤線蟲(*M. incognita* race2)的殺線蟲活性，結果每株植株使用50 uL的百里香或大蒜精油可有效地降低根瘤指數及卵塊的數量，可作為線蟲防治的替代性方

法。截至目前為止，尚未見任何文獻進行肉桂精油對根瘤線蟲病害的田間防治試驗，本研究證實肉桂油乳劑於田間可有效低番茄南方根瘤線蟲的蟲口密度與所造成的根瘤指數。

植物精油之主成分對根瘤線蟲的殺線蟲活性亦被廣泛地研究，Andres等人(2012)回顧植物精油對對松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 和根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.) 的毒性作用及作為殺線蟲劑的可行性評估，並描述了幾種來自西班牙芳香植物的精油及其組分對爪哇根瘤線蟲 (*M. javanica*) 的殺線蟲活性(Andrés, et al., 2012)。Oka等人(2000) 指出精油中的主成分香芹酚(Carvacrol)、*t*-茴香腦(*t*-anethole)、百里酚(thymol)和香芹酮[(+)-carvone]為殺線蟲的主要活性成分，濃度超過125 ul/L即可抑制二齡幼蟲活力及降低卵孵化率；而在盆栽試驗時加入沙質土中的濃度為75和150 mg/kg時，這些主成分大部分都可以減少黃瓜幼苗的根瘤數，證明精油及其主成分可用於發展殺線蟲劑。Oka氏(2001)指出反式肉桂醛(trans-cinnamaldehyde) 對降低*M. javanica*二齡幼蟲活力及卵孵化率的EC₅₀分別為15 and 11.3 ul/L，而反式肉桂醛(trans-cinnamaldehyde)、2-糠醛(2-furaldehyde)、苯甲醛(benzaldehyde) 和香芹酚(carvacrol)在盆栽試驗中以100 mg/kg施用濃度即可降低番茄根瘤線蟲*M. javanica*的根瘤數。測定天竺葵(*Pelargonium graveolens* L. cv. Algerian) 精油及其主要成分香茅醇、香葉醇和芳樟醇(citronellol, geraniol and linalool)對根瘤線蟲 (*M. incognita*) 的殺線蟲活性，發現香葉醇是最有效的成分，其次是香茅醇和芳樟醇(Leela et al., 1992)。千年健 [*Homalomena occulta* (Lour.) Schott] 塊根精油對*M. incognita*具有強烈的殺線蟲活性，LC₅₀為156.43 µg/ml；其主成分α-蒎品醇(α-terpineol)和4-蒎品醇(4-terpineol)對*M. incognita*的LC₅₀值分別為103.41 µg/ml和115.17 µg/ml，而芳樟醇(linalool)的LC₅₀值為180.36 µg/ml (Liu et al., 2014)。Ntalli等人(2010)試驗發現萜烯(terpenes)對*M. incognita*的殺線蟲活性依次為1-丁酮(1-carvone)、長葉薄荷酮(pulegone)、反式茴香醚(trans-anethole)、香葉醇(geraniol)、丁香酚(eugenol)、香芹酚(carvacrol)、百里酚(thymol)、蒎品烯-4-醇(terpinen-4-ol)，EC₅₀ (處理24小時)的範圍介於115-392 µg/mL。土荆芥(*Chenopodium ambrosioides* L.)精油具有對*M. incognita*的殺線蟲活性，精油及其主成分(Z)-ascaridole展現強殺線蟲活性，LC₅₀分別為49.55 µg/mL和32.79 µg/mL (Bai et al., 2011)。藿香 [*Agastache rugosa* (Fisch. & Mey.) Kuntze]精油對*M. incognita*亦表現出強烈的殺線蟲活性，LC₅₀為47.3µg/mL，其主成分丁香酚的LC₅₀為66.6µg/mL，甲基丁烯醇的LC50為89.4µg/mL，說明藿香花器精油及其主成分化合物具有發展成天然殺線蟲劑的潛力(Li et al., 2013)。本研究之供試藥劑肉桂油乳劑(含36% cinnamaldehyde)的殺線蟲活性主成分為肉桂醛，在稀釋5000倍下即可降低二齡幼蟲在土壤中的蟲口密度，並顯著降低番茄南方根瘤線蟲的根瘤指數，換算肉桂醛的用量為72 µg/mL，與Oka等人(2001) 在盆栽試驗中以100 mg/kg反式肉桂醛降低番茄

根瘤線蟲*M. javanica*的根瘤數的結果相仿。

雖然以植物精油作為殺線蟲劑之製劑尚未於市場上出現，但針對高價作物的植物寄生線蟲問題，開發精油製劑新產品顯然有其必要性。使用精油製劑產品的主要優點是對人畜低毒性且具環境持久性，於植體上短暫的殘留性易於提升與生物防治製劑的相容性(Isman et al., 2011)。此外，應用微囊化技術製備精油製劑產品可以提高其持久性和緩解對植物具潛在毒性的缺點。截至目前為止，已有多項研究使用可生物降解之聚合物作為載體材料，以製備穩定性高的精油膠囊，並且透過超臨界流體工藝提高效率的微膠囊化技術(Marti'n et al., 2010; Varona et al., 2009; Varona et al., 2010)。未來為舒緩土壤環境因子對植物精油在線蟲病害防治上的效果表現，應導入先端技術在製劑製備上的研究，以強化精油製劑的持久性與有效性。

引用文獻

1. Abo-Elyousr, K. A. M., El-Morsi Awad, M., and Abdel Gaid, M. A. 2009. Management of tomato root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by plant extracts and essential oils. Plant Pathol. J. 25(2): 189-192.
2. Andrés, M. F., González-Coloma, A., Sanz, J., Burillo, J., and Sainz, P. 2012. Nematicidal activity of essential oils: a review. Phytochem. Rev. 11(4): 371-390.
3. Bai, C. Q., Liu, Z. L., and Liu, Q. Z. 2011. Nematicidal constituents from the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* aerial parts. E. J. Chem. 8 (S1): S143-S148.
4. Bird, D. M., Williamson, V. M., Abad, P., McCarter, J., Danchin, E.G., Castagnone-Sereno, P., and Opperman, C. H. 2009. The genome of root-knot nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. 47:333 - 351.
5. Cetintas, R., and Yarbs, M. M. 2010. Nematicidal effects of five plant essential oils on the Southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* Race 2. J. Anim. Vet. Adv. 9(2): 222-225.
6. Chitwood, D. J. 2002. Phytochemical based strategies for nematode control. Annu. Rev. Phytopathol. 40: 221-249.
7. El-Bahal, A. M., El-Sherbiny, A. A., Saleml, M. Z. M., Sharrawy, N. M. M., and Mohamed, N. H. 2017. Toxicity of essential oils extracted from *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus camaldulensis* leaves against *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. Pakistan J. Nematol. 35(1): 93-104.
8. Farahat, A. A., Osman, A. A., El-Nagar, H. I., and Hendy, H. H. 1993. Evaluation of Margosan and Sincocin as biocides of the reinform nematode infecting sunflower. Bull. Fac. Agric. Univ. Cairo. 44: 191-204.

9. Grau, P. A., Hopkins, R., Radewald, J. D., Warrior, P. 1996. Efficacy of DiTera biological nematicide for root-knot nematode suppression on carrot. *Nematropica* 26: 268. (Abstract)
10. Gupta, A., Sharma, S., and Naik, S.N. 2011. Biopesticidal value of selected essential oils against pathogenic fungus, termites, and nematodes. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 65: 703-707.
11. Isman, M. B., Miresmailli, S., and Machial, C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant EOs in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem. Rev.* 10:197 – 204.
12. Laquale, S., Candido, V., Avato, P., Argentieri, M. P., and D'Addabbo, T. 2015. Essential oils as soil biofumigants for the control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato. *Ann. Appl. Biol.* 167:217 – 224.
13. Leela, N. K., Khan, R. M., Reddy, P. P., and Nidiry, E. S. J. 1992. Nematicidal activity of essential oil of *Pelargonium graveolens* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Nematol. Medit.* 20: 57-58.
14. Li, H. Q., Liu, Q. Z., Liu, Z. L., Du, S. S., and Deng Z. W. 2013. Chemical composition and nematicidal activity of essential oil of *Agastache rugosa* against *Meloidogyne incognita*. *Molecules* 18(4): 4170-4180.
15. Liu, X. C., Bai, C. Q., Liu, Q. Z., and Liu, Z. L. 2014. Evaluation of nematicidal activity of the essential oil of *Homalomena occulta* (Lour.) Schott rhizome and its major constituents against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *J. Entomol. Zool. Stud.* 2(4): 182-186.
16. Marin, D. H., Barker, K. R., and Sutton, T. B. 2000. Efficacy of ABG-9008 on burrowing nematode (*Radopholis similis*) on bananas. *Nematropica* 30: 1-8.
17. Mart'n, A., Varona, S., Navarrete, A., and Cocero, M. J. 2010. Encapsulation and coprecipitation processes with supercritical fluids: applications with essential oils. *Open Chem. Eng. J.* 4:31 – 41.
18. Ntalli, N. G., Ferrari, F., Giannakou, I., and Menkissoglou-Spiroudi, U. 2010. Phytochemistry and nematicidal activity of the essential oils from 8 Greek Lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components. *J. Agric. Food Chem.* 58(13): 7856-7863.
19. Oka, Y., Nacar, S., Putievsky, E., Ravid, U., Yaniv, Z., and Spiegel, Y. 2000. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology* 90(7):710-715.
20. Oka, Y. 2001. Nematicidal activity of essential oil components against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Nematology* 3(2): 159-164.
21. Ozdemir, E., and Gozel, U. 2017. Efficiency of some plant essential oils on root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *J. Agri. Sci. Technol. A* 7: 178-183.
22. Pérez, M. P., Navas-Cortés, J. A., Pascual-Villalobos, M. J. and Castillo, P. 2003. Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from Asteraceae against root-knot nematodes. *Plant Pathol.* 52: 395 – 401.
23. Tsay T. T. 1996. Occurrence and control strategies of crop soil sickness due to plant parasitic nematodes. *Plant Pathol. Bull.* 5:113-128. (in Chinese with English abstract)
24. Tsay, T. T. 1999. Chemical control of plant-parasitic nematodes. *Plant Pathol. Bull.* 8:41-50. (in Chinese with English abstract)
25. Tsay, T. T. 2006. Biological control of plant parasitic nematodes with *Streptomyces saraceticus* and LTM. Pages 171-187 in: *Proceedings of the Symposium on New Techniques for Control of Plant Diseases in Safe Agricultural System*. Hsieh, T. F., Chang, C. A., Ann, P. J., and Lin, C. Y. eds. Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, and Taiwan Phytopathological Society. Taichung, Taiwan.
26. Varona, S., Mart'n, A., and Cocero, J. M. 2009. Formulation of a natural biocide based on lavandin essential oil by emulsification using modified starches. *Chem. Eng. Proc.* 48:1121 – 1128.
27. Varona, S., Kareth, S., Mart'n, A., and Cocero, M. J. 2010. Formulation of lavandin essential oil with biopolymers by PGSS for application as biocide in ecological agriculture. *J. Supercrit. Fluids* 54:369 – 377.
28. Warrior, P., Rehberger, L. A., and Grau, P. A. 1995. ABG-9008-a new biological nematicide composition. *J. Nematol.* 27: 524-525.
29. Yen, J. H., Chen, D. Y., Chung, W. C., Tsai, T. T, and Hsieh, T. F. 2008. Effect of natural plant protectants on controlling plant-parasitic nematode disease. *Plant Pathol. Bull.* 17: 169-176. (in Chinese with English abstract)
30. Yen, J. H., Wang, H. Y., Chen, D. Y., Tsai, S. J., and Tsay, T. T. 2005. Efficacy of Sincocin and DiTera for controlling of southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Plant Pathol. Bull.* 14: 275-278. (in Chinese with English abstract)
31. Zuckerman, B. M., Mai, W. F., and Krusberg, L. R. 1990. *Plant Nematology Laboratory Manual*. Revised Edition. The University of Massachusetts Agricultural Experiment Station, Amherst, MA, USA. 252 p.

ABSTRACT

Yen, J. H., Hsu, C. C., and Hsieh, T. F.* 2017. Effect of cinnamon oil emulsion on control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato in field trials. J. Plant Med. 59(4): 5-12.

*Corresponding author, T. F. Hsieh, E-mail: tfhsieh@tari.gov.tw

Three tomato cultivation fields located in Douliou city, Yunlin County were selected to evaluate the effect of cinnamon oil emulsion (36% cinnamaldehyde) on the control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in the field from September 2015 to June 2016. The experiment was a single-factor test with a randomized complete block design (RCBD) setting. It includes 5 treatments and each treatment has 5 repeats: test reagent cinnamon oil emulsion with 1,500-, 3,000- and 5,000-fold dilutions, the reference-nematicide (oxamyl for 200-fold dilution) and control (water). The experiment used 1-month-old tomato seedlings, treated once every 14 days, for 5 consecutive times. The number of second-stage juvenile (J2) per 100 g soil and disease severity conducted from root-knot index of each treatment were counted. The results of reducing J2 number/100 g soil showed that the cinnamon oil emulsion of three different dilution concentrations was better than that of the nematicide treatment and the untreated control. In additional, cinnamon oil emulsion with 5,000-fold dilution had the same effect of oxamyl nematicide and other two concentrations of cinnamon oil emulsion also showed better effect of reducing disease severity than that of the reference agent and control. Accordingly, it is recommended that cinnamon oil emulsion with 5,000-fold dilution can be used as a natural plant protectant to control tomato root-knot nematodes.

Keywords: cinnamon oil emulsion, control, root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*