

# 土壤溫度對三種根瘤線蟲 *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* 及 *M. hapla* 侵入與發育之影響

蔡佳芳<sup>1</sup> 蔡東纂<sup>1</sup> 陳珮臻<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 臺中市 國立中興大學植物病理學系

<sup>2</sup> 聯絡作者，電子郵件：janetchen@nchu.edu.tw；傳真：+886-4-2287-6712

接受日期：中華民國 100 年 4 月 12 日

## 摘要

蔡佳芳、蔡東纂、陳珮臻. 2010. 土壤溫度對三種根瘤線蟲 *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* 及 *M. hapla* 侵入與發育之影響. 植病會刊 19: 235-242.

本研究目的為探討不同生長溫度對於 *Meloidogyne incognita*、*M. javanica* 及 *M. hapla* 三種根瘤線蟲的侵入、生長及繁殖能力是否有影響。本試驗分為 A 與 B 兩部分：A 試驗以不同土溫處理讓三種根瘤線蟲進行侵入與生長；B 試驗則於接種線蟲 15 天後再以土溫處理。土溫處理為 10~40°C 共 4 個溫度。實驗結果顯示 30°C 處理下 *M. incognita*、*M. javanica* 的根瘤指數及卵孵化率最高，*M. hapla* 則是在 20°C 土溫處理下根瘤指數最高，但 30°C 處理中卵孵化率最高，顯示分佈於低溫地區的 *M. hapla* 仍可以適應較溫暖的氣候。*M. javanica* 是唯一無法在 10°C 土溫下進行侵染的種，而由根系染色結果發現 *M. incognita*、*M. hapla* 雖可以侵入寄主，但在 10°C 土溫中無法發育。三種根瘤線蟲在 40°C 處理之下則都可以進行侵染，但無法在第 45 天時發育為成蟲。在各種土溫處理下，三種線蟲的 B 試驗根瘤指數皆大於 A 試驗，顯示線蟲侵入根系內後受根系保護，土溫對其影響力下降。當植物寄生性線蟲受到寄主植物體保護時，線蟲可躲避逆境存活下來，由卵孵化率的試驗結果推測，存活後的線蟲可能已發展出適應該逆境的特性。

關鍵詞：卵孵化率、根瘤指數、侵染能力、根瘤線蟲、土溫處理

## 緒言

在臺灣數量最多的根瘤線蟲為南方根瘤線蟲 (*Meloidogyne incognita* Chitwood, 1949) 及爪哇根瘤線蟲 (*Meloidogyne javanica* Chitwood, 1949)，此二種線蟲多分佈於年平均溫度 15~30°C 的地區<sup>(8,16)</sup>。北方根瘤線蟲 (*Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949) 則分佈在年平均溫度 15°C 以下的地帶<sup>(8,16)</sup>。因為線蟲自身移動或自然因素傳播的距離有限，許多線蟲病害只侷限於少數地區，但人為因素可遠距離傳播植物病原，當新地區環境條件比舊地區更適合病原生長，且沒有天敵存在，便可導致病原大量的繁殖<sup>(4)</sup>。世界貿易頻繁的今日，供食植物體、種子或景觀栽植種苗被大量的運送至非生產地，植物病原也可以藉由這些機會移入新的地區。

為了避免這些風險，發展能徹底除滅植株及種苗所攜帶的病原又可兼顧商品完整的方法，是檢疫防疫上重要的課題。

溫水處理是消毒種苗常用的防治方法，且溫水處理相較於化學農藥處理，並無健康及安全上的問題<sup>(11)</sup>。前人溫水處理試驗顯示，44~50°C 的溫度便可以殺死線蟲<sup>(4)</sup>；觀賞植物和植物根莖上的線蟲病原浸泡在 50~52°C 熱水內 2.5~10 分鐘，即可有效被除滅。此外，還有其他報導顯示溫度可影響根瘤線蟲在根內的發育<sup>(15)</sup>。Bird 發現，於 46°C 熱水處理 *M. javanica* 的卵 10 分鐘，若處理發生在胚胎第一次分裂時，會使生長延緩一天；於胚囊期 (gastrula stage) 處理會使生長延緩二天，若在卵已含一齡幼蟲的階段處理，則一週內無

任何卵可以孵化，此現象表示不同生長階段的卵對熱處理產生的反應不同<sup>(2)</sup>。

許多生物可由誘導熱休克蛋白產生來忍受更高溫環境，在 *Caenorhabditis elegans*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Meloidogyne artiellia* 上已證實有熱休克基因，經熱處理的線蟲常伴隨著 70-kDa 熱休克蛋白的出現<sup>(5,10)</sup>。若熱休克基因普遍存於線蟲內，利用熱處理檢疫線蟲的條件便要更加嚴謹。

本實驗分為兩部份，A 試驗為植株接種根瘤線蟲後即分別置於不同土溫下生長 45 天；B 試驗則先接種根瘤線蟲後於溫室培養 15 天，使線蟲於常溫下進行侵入寄主之過程，再予以不同土溫處理 30 天，觀察線蟲於植株內的生長及繁殖情形。A 試驗結果可供探討不同生長溫度對於 *M. incognita*、*M. javanica* 及 *M. hapla* 三種根瘤線蟲的侵入、生長及繁殖能力之影響，B 試驗先讓線蟲建立於寄主中，其結果則可評估因貿易引入適合不同氣候條件之線蟲種類，在臺灣海拔不同，均溫不同的地區建立族群之風險。

## 材料與方法

### 供試蟲源與寄主之培養與製備

試驗用根瘤線蟲為 *M. incognita*、*M. javanica* 和 *M. hapla*。*M. incognita* 和 *M. javanica* 培養並保存於溫室之空心菜 (*Ipomoea reptans* poir. 尖蕪品種) 上，*M. hapla* 則培養於番茄 (*Lycopersin esculentum* Mill 農友 301)。待試驗時，挑取寄主植物根部的根瘤線蟲卵塊於蒸餾水中，放在室溫下孵化五天收集供試接種之根瘤線蟲幼蟲。試驗所使用之寄主與培養寄主相同；為了保持根部完整性以供日後觀察，供試空心菜和番茄以珍珠石培育兩星期再移植至特製生長容器中。將直徑 4.4 cm，厚 0.16 cm 的 PVC 電管 (A 管，南亞，臺灣)，每 10 cm 切成一段，電管內套兩層塑膠袋並用膠帶將塑膠袋固定於電管上，即為特製生長容器。電管可以支撐塑膠袋中 150 g 砂土及植株的重量，而底端開放也利於水溫調節袋中的土壤溫度。移植於電管內的植株先於溫室馴化兩星期，再進行實驗。

### 土壤溫度對根瘤線蟲侵入、發育與繁殖的影響

試驗中每植株接種 300 隻線蟲 (2 J<sub>2</sub>/g soil)，試驗分為二部份，A 試驗為接種線蟲後，即置於處理土溫下生長 45 天；B 試驗則在接種根瘤線蟲後先於溫室培養 15 天，使線蟲於常溫下侵入寄主，之後再予以不同土溫處理 30 天；共有 10、20、30 和 40°C 四個處理。供試

植株栽種於 PVC 電管中，再置入水浴槽中以水溫來調控土溫，水浴槽上設置生長燈調節光照 12 小時、黑暗 12 小時。實驗進行中以溫度計測量土壤溫度數次，均介於正負 1 度間。植株地上部處於室溫，變化在 20°C ~ 32°C 之間。每個溫度處理共有 7 重覆，每個試驗重複兩次。

試驗結束時收取土中蟲數、根瘤指數和卵孵化率評估線蟲於處理下生長及發育的情形。將水管內的 150 g 土以改良式柏門氏漏斗分離 24 小時後，收集並計算土中根瘤二齡幼蟲的數量。植株根部則進行根瘤指數的測量：根瘤指數分為 0、1、2、3 和 4 級，完全無根瘤為 0 級，根部感染面積為 1~25% 為 1 級，25~50% 為 2 級，50~75% 為 3 級，75~100% 則為 4 級。測量完根瘤指數後，隨機挑取一根系上的三個卵塊，分別置於三個指形管中並注入蒸餾水，於 24°C 定溫箱中培育 5 天，觀察當日以 10% 漂白水浸泡卵塊 15 分鐘，溶解卵塊外膠質以方便計算孵化率，卵孵化率的公式如下：

$$\text{卵孵化率} = \frac{\text{已孵化蟲數}}{\text{已孵化蟲數} + \text{未孵化卵數}}$$

### 觀察土壤溫度對根瘤線蟲在根內發育之影響

A 與 B 試驗條件如上述，在接種第 2、7、15、30、45 天隨機挑取三棵植株，洗除根部砂土；根部浸泡在稀釋 10 倍的漂白水中 30 分鐘，透化組織；再於自來水中漂洗 3 次，每次 5 分鐘後將根放在 0.35% 酸化紅色食用色素染劑中 (0.7 g red food color, 50 ml acetic acid, 150 ml distilled water)，以微波爐 (NE305A, National, R. O. C.) 中等功率微波 30 秒二次；爾後置於清水中退染兩天，期間每天換水。觀察前再將根系置於甘油中以中等功率微波 30 秒退染。以兩片載玻片夾住根系，於解剖顯微鏡下觀察。計算根內的不同齡期根瘤線蟲母蟲的比例，依生長程度分三種齡期，分別是蠕蟲狀 (二齡幼蟲)、香腸狀 (三、四齡幼蟲) 及水滴狀 (母蟲成蟲)。

## 結 果

### 土壤溫度對根瘤線蟲侵入、發育與繁殖的影響

#### 試驗 A：接種根瘤線蟲後立即進行土溫處理

*M. incognita* 及 *M. javanica* 於 30°C 土溫處理產生的根瘤指數、土中蟲數和卵孵化率顯著較其他處理

高，在 10°C 及 40°C 土溫處理下無卵塊產生，土中也無二齡線蟲 (表一)。M. hapla 在 20°C 土溫的根瘤指數顯著較高；在 30°C 土溫的土中蟲數、卵孵化率顯著較高；10°C 土溫產生根瘤卻不產生卵塊。40°C 土溫尚未完成實驗植株已死亡。

**試驗 B：接種根瘤線蟲 15 天後，再以不同土壤溫度處理**

三種線蟲均是 30°C 土溫處理下的根瘤指數、土中蟲數和卵塊孵化率顯著較其他溫度高，M. incognita 及 M. javanica 在 10 與 40°C 土溫下有根瘤產生但無卵塊 (表二)。M. hapla 的番茄根瘤指數於 10、20 和 30°C 土溫處理無顯著差異。在 10°C 土溫處理下 M. hapla 不產生卵塊，20°C 土溫處理在土壤未發現根瘤線蟲，40°C 土溫處理時，番茄寄主尚未完成實驗便已死亡。

**土壤溫度對根瘤線蟲在根內發育之影響**

M. incognita 在土溫 10 至 40°C 的處理中皆可成功

侵染空心菜，但 10 及 40°C 兩個處理線蟲在根系中至第 45 天時還停留在二齡幼蟲的階段。20°C 土溫下，生長第 15 天根內已有三~四齡幼蟲，第 30 天則有成蟲出現。30°C 土溫處理的線蟲在侵入第 7 天發育為三~四齡幼蟲，第 15 天已達成蟲階段。B 試驗為在常溫下入侵，10 至 30°C 土溫處理第 45 天時，根系中的線蟲可發育至成蟲，但 40°C 的處理線蟲只發育至三或四齡幼蟲 (圖一)。

在土溫 10°C 處理下的空心菜根系未發現 M. javanica 侵染，但如在常溫下侵染再移至 10°C 處理，45 天後根系內有三~四齡幼蟲 (圖二)。20°C 土溫處理在第 15 天根內已有三~四齡幼蟲，第 30 天則有成蟲出現，30°C 土溫處理則提早至第 7 天即有三~四齡幼蟲，第 15 天成熟母蟲呈水滴狀。M. javanica 在土溫 40°C 可感染空心菜，侵入第 30 天後可發現三~四齡幼蟲，但第 45 天根系染色未發現線蟲，B 試驗的 40°C 處理在第 45 天，根系中也未發現線蟲 (圖二)。

表一、三種根瘤線蟲於土溫處理 45 天後寄主空心菜之根瘤指數、土中幼蟲數及卵孵化率

Table 1. The galling index, egg hatching rate and the number of J<sub>2</sub> in the soil of three root knot nematodes 45 days after soil temperature treatments

Treatment	<i>Meloidogyne incognita</i>			<i>Meloidogyne javanica</i>			<i>Meloidogyne hapla</i>		
	G.I. <sup>1</sup>	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate	G.I.	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate	G.I.	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate
10°C	0.00 <sup>2</sup> c <sup>3</sup>	0 b	- <sup>4</sup>	0.00 c	0 b	-	0.11 b	0.29 b	-
20°C	0.25 b	0.29 b	0.12 b	0.29 b	7.7 b	0.17 b	0.54 a	0.43 b	0.06 b
30°C	0.41 a	157.2 a	0.34 a	0.48 a	253.6 a	0.51 a	0.25 b	2.25 a	0.12 a
40°C	0.04 c	0 b	-	0.05 c	0 b	-	-	-	-

<sup>1</sup> Gallings index: 0 = 0%, 1 = 1 ~ 25%, 2 = 26 ~ 50%, 3 = 51 ~ 75%, 4 = 76 ~ 100%

<sup>2</sup> The mean was the average of 7 replicates; galling index and hatching rate were asin transformed for statistic analysis.

<sup>3</sup> Data followed by the same letter within the column are not significantly different according to SAS analysis for ANOVA and LSD t-test.

<sup>4</sup> “-” means the data was not available.

表二、寄主接種三種根瘤線蟲 15 天後再進行不同土溫處理之寄主空心菜根瘤指數、土中幼蟲數及卵孵化率

Table 2. The galling index, egg hatching rate and the number of J<sub>2</sub> in the soil of three root knot nematodes inoculated under room temperature and incubated for 15 days before soil temperature treatments

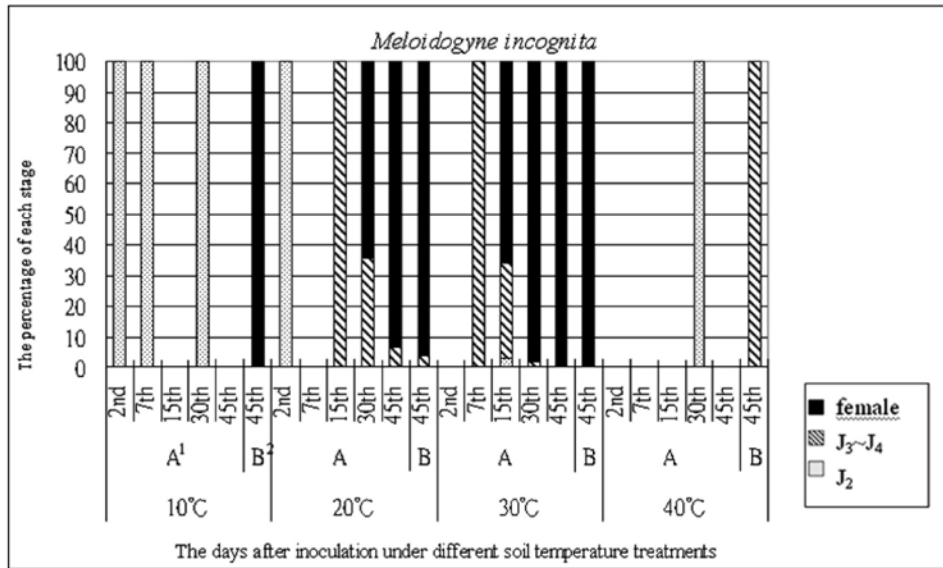
Treatment	<i>Meloidogyne incognita</i>			<i>Meloidogyne javanica</i>			<i>Meloidogyne hapla</i>		
	G.I. <sup>1</sup>	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate	G.I.	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate	G.I.	No. of J <sub>2</sub> /100 g	Hatching rate
10°C	0.22 <sup>2</sup> c <sup>3</sup>	0 b	- <sup>4</sup>	0.18 b	0 b	-	0.45 a	0.29 b	-
20°C	0.41 b	0.3 b	0.05 b	0.42 b	0.1 b	0.12 b	0.45 a	0 b	0.10 a
30°C	0.59 a	512.3 a	0.58 a	0.81 a	2143.8 a	0.48 a	0.58 a	180.50 a	0.10 a
40°C	0.22 c	0.1 b	-	0.29 b	0 b	-	-	-	-

<sup>1</sup> Gallings index: 0 = 0%, 1 = 1 ~ 25%, 2 = 26 ~ 50%, 3 = 51 ~ 75%, 4 = 76 ~ 100%

<sup>2</sup> The mean was the average of 7 replicates; galling index and hatching rate were asin transformed for statistic analysis.

<sup>3</sup> Data followed by the same letter within the column are not significantly different according to SAS analysis for ANOVA and LSD t-test.

<sup>4</sup> “-” means the data was not available.

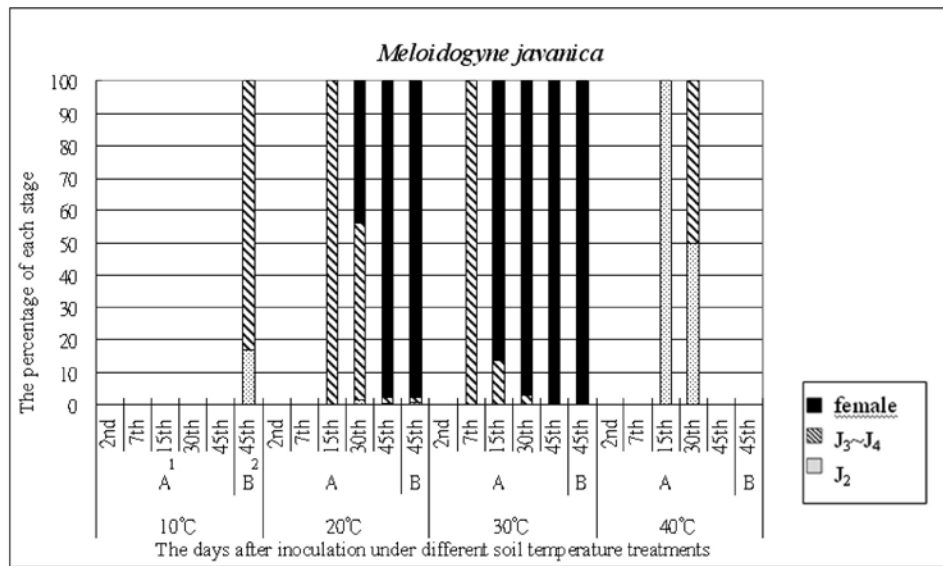


圖一、*Meloidogyne incognita* 在不同土溫下各發育齡期的比例。

Fig. 1. The percentage of each stage of *Meloidogyne incognita* under different soil temperature treatments.

<sup>1</sup> Experiment A: Constant soil temperature treatments throughout the experiment.

<sup>2</sup> Experiment B: Inoculation under room temperature, and incubated for 15 days before soil temperature treatments..



圖二、*Meloidogyne javanica* 在不同土溫下各發育齡期的比例。

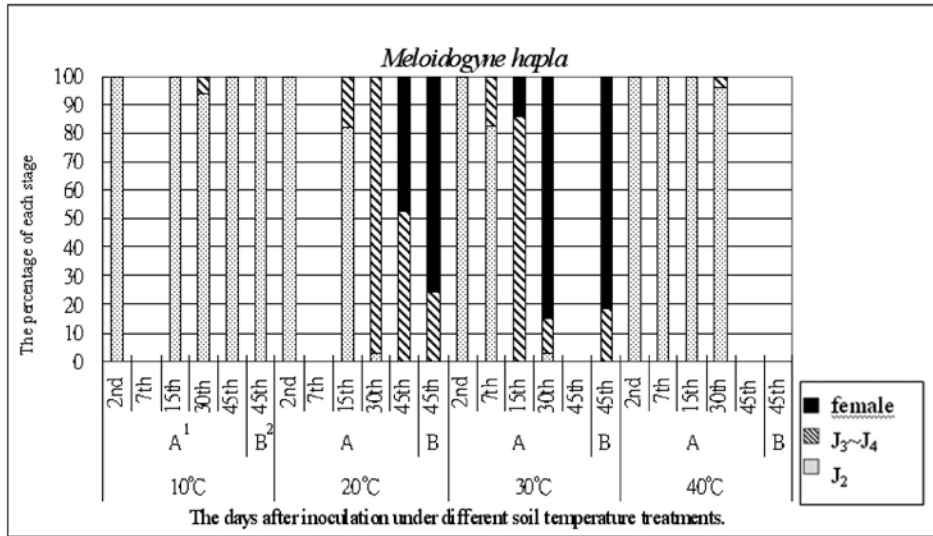
Fig. 2. The percentage of each stage of *Meloidogyne javanica* under different soil temperature treatments.

<sup>1</sup> Experiment A: Constant soil temperature treatments throughout the experiment.

<sup>2</sup> Experiment B: Inoculation under room temperature, and incubated for 15 days before soil temperature treatments..

*M. hapla* 在土溫 10 至 40°C 下皆可感染番茄根系，30°C 土溫處理第 15 天即可發現根系內有成熟母蟲，但在 20°C 土溫處理則要到第 45 天才約有 50% 的侵染線蟲發育至成熟母蟲。10°C 土溫處理的結果顯示，侵入根系的線蟲一直停留在二齡幼蟲的階段。40°C 土溫處理可侵入根系，侵入第 30 天後可發現少許線蟲為三~

四齡幼蟲，但因為 A 試驗番茄寄主生長不良無法取得第 45 天的結果。B 試驗的 10°C 土溫處理，侵入根系的線蟲仍舊停留在二齡幼蟲階段，無法繼續發育；20 及 30°C 土溫處理則可以在第 45 天根系中觀察到成蟲；40°C 土溫處理則在根系中未發現線蟲(圖三)。



圖三、*Meloidogyne hapla* 在不同土溫下各發育齡期的比例

Fig. 3. The percentage of each stage of *Meloidogyne hapla* under different soil temperature treatments.

<sup>1</sup> Experiment A: Constant soil temperature treatments throughout the experiment.

<sup>2</sup> Experiment B: Inoculation under room temperature, and incubated for 15 days before soil temperature treatments..

## 討 論

溫度是決定線蟲胚胎發育、孵化、生長、繁殖及存活的主要因素之一<sup>(9)</sup>。本實驗以根瘤指數評估線蟲的侵入率及發育的比率；卵孵化率可評估土溫對卵發育成爲幼蟲的影響；土中蟲數則可估算線蟲在特定溫度下生活史時間的改變以及殘存能力。

Van Gundy (1985) 報導 *M. incognita*、*M. javanica*、*M. arenaria* 及 *M. exigua* 無法在土溫 10°C 以下成功發育或存活<sup>(14)</sup>；本試驗根系染色試驗結果顯示，*M. incognita* 及 *M. hapla* 在 10~40°C 土溫下皆可侵入空心菜根系 (圖一、三)，A 試驗 10°C 處理的根系染色則未發現 *M. javanica* 感染 (圖二)，此試驗結果與前人研究中指出 *M. javanica* 的抗冷能力較 *M. incognita* 差<sup>(18)</sup> 相符。*M. incognita* 在 10°C 處理之下未產生根瘤，染色顯示線蟲在感染根系後第 30 天仍爲二齡幼蟲。另一方面，在不適的高溫下線蟲的生長也受到影響，40°C 處理下第 35 天根系染色得知，*M. incognita* 和 *M. javanica* 只發育至三~四齡幼蟲。A 試驗的 *M. incognita* 和 *M. javanica* 根瘤指數結果與染色試驗中觀察得到的線蟲生長速度相符，也因爲 10°C、40°C 處理下線蟲無法侵入或發育成熟，故無卵塊可供孵化率試驗 (表一)。*M. hapla* 分佈在年平均溫度 15°C 以下的地帶<sup>(6, 16)</sup>，A 試驗中根瘤指數以 20°C 土溫處理的指數最高，與其他兩種根瘤線蟲不同 (表一)，由根系染色可知 10°C 土溫處理下 *M. hapla* 發育較 20、30°C 土溫處理慢，故 A 試驗中未產生卵塊 (表一)。

*Meloidogyne* spp. 的發育速度和溫度呈正相關<sup>(7)</sup>，也有文獻指出 *M. javanica* 在 25°C 的胚胎發育速度爲 20°C 的 2 倍、15°C 的 4 倍<sup>(14)</sup>；故三種根瘤線蟲的結果顯示 30°C 土溫的土中蟲數顯著大於 20°C 的土溫處理 (表一)。剛孵化的 *M. incognita* 幼蟲在番茄根系中發育至產卵母蟲的時間於 20、30°C 下分別爲 30、13 天<sup>(18)</sup>，本實驗的根系染色結果與之相符 (圖一)；*M. javanica* 的發育時間點也與 *M. incognita* 相似 (圖二)。*M. hapla* 在 10~40°C 下接種第 30 天發育至三~四齡香腸狀幼蟲 (圖三)；表示這三種線蟲在 30°C 生長速度大於 20°C。*M. hapla* 於 20°C 處理的根瘤指數顯著大於 30°C 的處理，這樣的結果暗示 *M. hapla* 在 20°C 土溫的活動力較 30°C 強，侵入寄主比率也較大，但意外的是，土中蟲數和卵孵化率卻是 30°C 顯著大於 20°C (表一)。

根瘤線蟲在卵內和植物內的生長最適溫通常大於線蟲在土中活動和侵入之最適溫<sup>(2)</sup>，因爲植物體本身提供了緩衝土溫的功能。內寄生性線蟲，如根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.) 及松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 等，因爲生活史大多存在植物組織內，會因寄主植物提供保護而使線蟲對外界衝擊較具耐性<sup>(13)</sup>。本研究的 B 試驗設計是讓線蟲於室溫下進行侵染後再予以土溫處理，植物體提供保護也可能造成侵入寄主的線蟲族群可以漸漸適應溫水處理的條件。比較 A、B 試驗可發現 B 試驗三種線蟲在各溫度下之根瘤指數皆大於 A 試驗相同溫度之處理，證明 A 試驗的不同土溫

會影響根瘤幼蟲的活動力或減少根系上線蟲可侵入之部位<sup>(7)</sup>，造成侵入根系的線蟲數量改變。由根系染色可知 *M. incognita* 於 A 試驗中 10、40°C 土溫處理第 30 天線蟲仍為蠕蟲狀二齡幼蟲，但 B 試驗的處理結果顯示 10°C 土溫處理第 45 天則可發現成蟲；40°C 土溫處理則有三~四齡幼蟲。B 試驗的線蟲侵入率與生長速度雖大於 A 試驗，但 10 及 40°C 土中蟲數卻和 A 試驗相似，數值非常低(表一、表二)；故推測線蟲生長發育及卵塊發育的主要時期是在接種 15 天後，因線蟲於不適合的溫度下發育，生活週期變長，以致採樣時土中蟲數低。本實驗 B 試驗為模擬攜帶病原線蟲的進口植物繁殖體進入非原來生長環境後，線蟲生長情形，本試驗結果顯示，受植物組織保護的線蟲能夠在不良環境下於寄主內繼續發育。

據全世界 75 個國家 1000 個根瘤線蟲族群採樣調查統計，其中 53% 為 *M. incognita*、30% 為 *M. javanica*、8% 為 *M. hapla*、10% 為其他種類<sup>(12)</sup>。洪元平與陳秀雄二人以接種方式研究臺灣分佈最廣的 *M. incognita* 和 *M. javanica* 之寄主範圍，結果 *M. incognita* 的寄主有 51 種，分佈最廣，為害程度最大。*M. javanica* 之寄主有 15 種<sup>(16)</sup>。在本研究的土壤處理中，*M. incognita* 和 *M. javanica* 生長最適溫為 30°C；在 30°C 下寄主產生的根瘤指數以及發育成熟的母蟲比例皆較其他溫度處理為多。*M. hapla* 侵入最適溫為 20°C，因在 A 試驗中 20°C 處理產生最多的根瘤(表一)而其發育繁殖最適溫則為 30°C，在其溫度處理下母蟲產生比例最高。*M. hapla* 通常生長在較冷的地區，但在以色列、英國西南部較熱的地方也曾發現 *M. hapla*<sup>(3)</sup>。此外 *M. hapla* 也曾在東非肯亞、中非坦干伊喀的達爾馬希亞除蟲菊上發現<sup>(17)</sup>，這些報導都顯示同種線蟲中的不同族群間對溫度也具不同的反應<sup>(14)</sup>。假設常存於溫帶地區的 *M. hapla* 被引入高溫多濕的臺灣氣候，其族群仍有可能適應本土環境進而大量繁殖。Ash and Atkinson 將 *Nematodirus battus* 的卵冷凍處理，發現可增強線蟲抗冷能力<sup>(1)</sup>，推測於逆境下成功存活之線蟲，可能具備較強的耐高、低溫能力。經溫度刺激而誘導產生適應力之線蟲可以逐漸在不同於原生地之溫度條件下建立族群。臺灣地形的海拔高度落差大，提供了不同的溫度範圍，因此由熱帶或溫帶引入病原線蟲都有在本地繁殖的風險。

## 引用文獻 (LITERATURE CITED)

1. Ash, C. and Atkinson, H. J. 1986. *Nematodirus battus*: Development of cold hardiness in dormant eggs. *Exp. Parasitol.* 62: 24-28.
2. Bird, A. F. 1974. Suppression of embryogenesis and hatching in *Meloidogyne javanica* by thermal stress. *J. Nematol.* 6: 95-99.
3. Bird, A. F., and Wallace, H. R. 1965. The influence of temperature on *Meloidogyne hapla* and *M. javanica*. *Nematologica* 11: 581-589.
4. Chen, P. J. 2004. Seed-borne plant nematode diseases. Pages 97-104 in: Proceedings of the diagnostic and identification techniques on major quarantine and economical important plant pathogens meeting (V III). P. L. Chang and J. W. Huang eds. Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taiwan. 184 pp. (in Chinese)
5. De Luca, F., Di Vito, M., Franelli, E., Reyes, A., Greco, N., and De Giorgi, C. 2009. Characterization of the heat shock protein 90 gene in the plant parasitic nematode *Meloidogyne artiellia* and its expression as related to different developmental stages and temperature. *Gene* 440: 16-22.
6. Eisenback, J. D. 1985. Diagnostic characters useful in the identification of the four most common species of root - knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) Pages. 95-112 in: An Advanced Treatise on *Meloidogyne* volumn I : Biology and Control. J. N. Sasser and C. C. Carter eds. North Carolina State University Graphics. U. S. A. 422 pp.
7. Nardacci, J. F. and Barker, K. R. 1979. The influence of temperature on *Meloidogyne incognita* on soybean. *J. Nematol.* 11: 62-70.
8. Noe, J. P. and Sikora, R. A. 1990. Effects of tropical climates on the distribution and host-parasite relationship of plant parasitic nematodes. Pages. 583-597 in: Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. M. Luc, R. A. Sikora, and J. Bridge, eds. C. A. B. International, Wallingford, U.K. 629 pp.
9. Qiu, J., Westerdahl, B. B., Giraud, D., and Anderson, C. A. 1993. Evaluation of hot water treatments for magement of *Ditylenchus dipsaci* and fungi in daffodil bulbs. *J. Nematol.* 25: 686-689.
10. Somvanshi, V. S., Kiltai, H., and Glazer, I. 2007. Expression of different desiccation-tolerance related genes in various species of entomopathogenic nematodes. *Mol. Biochem. Parasitol.* 158: 65-71.
11. Tsang, M. M. C., Hara, A. H., and Sipes, B. 2003. Hot-water treatments of potted palms to control the burrowing nematode, *Radopholus similis*. *Crop Prot.* 22: 589-593.
12. Tsay, T. T. 2005a. The nematode diseases on rhizome and tuberous crops in Taiwan. Pages 124-134 in: Illustration of Plant Nematode Diseases in Taiwan.

- Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taiwan. 238pp. (in Chinese)
13. Tsay, T. T. 2005b. The quarantine of plant parasitic nematodes. Pages 152-179 *in*: Illustration of Plant Nematode Diseases in Taiwan. Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taiwan. 238pp. (in Chinese)
  14. Van Gundy, S. D. 1985. Ecology of *Meloidogyne* spp. Pages 177-182 *in*: An Advanced Treatise on *Meloidogyne* volumn I : Biology and Control. J. N. Sasser and C. C. Carter eds. North Carolina State University Graphics. U. S. A. 422 pp.
  15. Vrain, T. C., Barker, K. R., and Holtzman, G. I. 1978. Influence of low temperature on rate of development of *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* larvae. *J. Nematol.* 10: 166-171.
  16. Wang, G. C. 1989. Root-knot nematode diseases in Taiwan. Pages 1-14 *in*: Plant Nematode Disease Control. J. C. Du and Y. S. Cheng eds. Agricultural Research Institute. Taiwan. 100 pp. (in Chinese)
  17. Whitehead, A. G. 1958. Nematodes of Pyrethrum in East Africa. *Nature* 182: 542.
  18. Yeon, I. K., Kim, D. G., and Park, S. D. 2003. Soil temperature and egg mass formation by *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Nematology* 5: 721-725.

## ABSTRACT

Tsai, C. F.<sup>1</sup>, Tsay, T. T.<sup>1</sup>, and Chen, P.<sup>1,2</sup> 2010. The effect of soil temperature on the penetration and development of three root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. hapla*. Plant Pathol. Bull. 19: 235-242. (<sup>1</sup> Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; <sup>2</sup> Corresponding author, E-mail: janetchen@nchu.edu.tw; Fax: +886-4-2287-6712)

The objective of this study was to evaluate the impact of four soil temperature treatments on three different root-knot nematode species. The experiment was divided into two parts. Experiment A had constant soil temperature treatments. In experiment B, the temperature treatments started at 15 days after inoculation of the nematodes and lasted for 30 days. The temperature treatments in both parts of the experiment were 10, 20, 30, and 40°C. The results showed that *M. incognita* and *M. javanica* had the highest galling index under 30°C treatment while *M. hapla* had the highest galling index at 20°C. However, all three species had the highest egg hatching rates under 30°C treatment. Though *M. hapla* generally distributed at the temperate zone, our results indicated that it might have the potential to adapt to the warmer climate. Among the three species, *M. javanica* was the only one could not penetrate host at 10°C treatment. The root staining results showed that *M. incognita* and *M. hapla*, though able to penetrate, could not develop at 10°C. All three species could penetrate hosts at 40°C treatments, but failed to develop into mature females at day 45. The galling index of experiment B all had greater value than that of experiment A under the same temperature treatment, indicating nematodes inside the root were protected from the extreme soil temperature treatment. When the nematodes were sheltered in the host from the adverse environment, they had the potential to survive and develop tolerance traits in the next generation.

Keywords: egg hatching rate, galling index, penetration, root-knot nematode, soil temperature