台灣昆蟲 26: 369-377 (2006)
Formosan Entomol. 26: 369-377 (2006)

土壤環境因子對蟲生線蟲 (*Steinernema abbasi*) (Rhabditida: Steinernematidae) 殺蟲活性之影響

白志方　侯豐男*　國立中興大學昆蟲學系　402 台中市國光路 250 號

摘　要

在實驗室內，分別測定土壤質地、溫度、含水量、酸鹼值(pH)等土壤環境因子，對本地產蟲生線蟲(*Steinernema abbasi*)之感染期幼蟲(infective juveniles; IJs)殺蟲活性之影響。以 IJs 接種大蠟蛾(*Galleria mellonella*)末齡幼蟲所引起之罹病死亡率，供作評估其殺蟲活性之依據。*S. abbasi* 在砂土或砂壤土中經 32 日仍具有高殺蟲活性，但在壤土及黏土中的效力，則隨時間延長而遞減。在 25℃下，*S. abbasi* 經 32 日仍維持高的殺蟲活性；但在 15、30 或 35℃下，此線蟲之殺蟲活性均低於 25℃處理組。在 4～16% 土壤含水量下，*S. abbasi* 均可呈現適當的殺蟲活性至 16 日，惟幼蟲死亡率在 32 日略爲降低；但在 2% 含水量，死亡率則自 94% 降至 62%。在土壤 pH4～6 下，*S. abbasi* 可維持適當的殺蟲活性，但 pH10 則會降低其效力。因此，若應用 *S. abbasi* 進行土壤害蟲之生物防治時，宜慎選各種適宜其感染的土壤環境條件。

關鍵詞：蟲生線蟲、大蠟蛾、殺蟲活性、幼蟲死亡率、土壤環境因子。

前　言

蟲生線蟲(entomopathogenic nematode)的種類主要分屬 Heterorhabditidae 及 Steinernematidae 二科，分別計有九及三十三種(Koppenhöfer and Fuzy, 2003)。新的種類仍繼續被分離出來，尤其近年在中國大陸又發現 *Steinernema aciari* 及 *S. akhursti* 兩種蟲生線蟲的新種(Qiu *et al.*, 2005a, b)，可見這種蟲生病原尚持續在開發中。蟲生線蟲供作土壤害蟲的生物防治因子不斷地擴充，但其防治效力或持效性卻受到土壤環境因子，例如土壤質地(soil texture)、溫度、濕度、線蟲天敵等的影響(Kung, *et al.*, 1990a, b, 1991; Fujiie, *et al.*, 1995; Millar and Barbercheck, 2002)。因此，在應用具有潛力之蟲生線蟲，發揮其在土壤害蟲防治上之應用，吾人需先研究各種土壤環境因子對特定蟲生線蟲之影響，以供選擇之條件。

對土壤質地的反應，*Steinernema glaseri* 會隨砂粒比例降低其半數存活時間漸減；而 *Steinernema carpocapsae* 在砂土及砂質壤土

*論文聯繫人
e-mail:rhou@dragon.nchu.edu.tw

中的分散能力較佳；當矽粒及粘粒增加時，則降低其移動能力(Kung, *et al*., 1990a; Hsiao and All, 1996)。*S. carpocapsae* 在高溫下，經較長時間後，其持效力明顯下降；另外，*S. glaseri* 可同時適應低溫及高溫環境(Kung, *et al*., 1991; Cheng and Hou, 1997)。相對地，*Steinernema kushidai* 則僅能在 20～30℃下，具較理想的持效力(Fujiie, *et al*., 1995)。

不同線蟲種類對土壤含水量之適應性有所差異，例如 *S. carpocapsae* 及 *S. glaseri* 分別於2及4%含水量下，較適合其存活(Kung, *et al*., 1991)；而 *S. kushidai* 於 20～40%含水量下，所引起金龜子(*Anomala cuprea*)幼蟲死亡率最高(Fujiie, *et al*., 1996)。此外，土壤 pH 亦會影響線蟲存活率及致病力，例如 *S. carpocapsae* 適合於 pH4～8 之土中存活；而 *S. glaseri* 則隨著 pH 的升高其存活率漸減(Kung, *et al*., 1990b)。由以上報告顯見，各種蟲生線蟲都會受到某些環境因子的影響。

本地產的蟲生線蟲，*Steinernema abbasi* (Rhabditida: Steinernematidae)，係由本研究室自花蓮縣的甘藷田土壤樣品所分離而得，其感染期幼蟲(infective juveniles, IJs)主要對鱗翅目蟲類具有致病力(Liao *et al*., 2001; Pai, 2004)。Pai and Hou (2005)已報告土壤中所施用的肥料及殺蟲劑對此線蟲之持效力具有不良的影響；進一步亦需探討土壤的質地、溫度、含水量及酸鹼度(pH)等環境因子對 *S. abbasi* 殺蟲活性(insecticidal activity)之影響，以供將來田間應用之參考。

材料與方法

一、大蠟蛾(*Galleria mellonella*)

於 1999 年 2 月間，自彰化縣員林鎮之廢棄蜂箱中，採得 250 隻大蠟蛾末齡幼蟲。將蟲體攜回飼育室(26 ± 1℃，70 ± 10% RH，光週期 13L：11D)內，以人工飼料(麥粉 200 g，奶粉 100 g，甘油 150 ml，蜂蜜 150 ml)進行累代飼育，取末齡幼蟲接種經下列各種土壤環境因子處理後之 IJs，所得之罹病幼蟲死亡率(larval mortality)供作評估線蟲殺蟲活性之依據。

二、蟲生線蟲

蟲生線蟲(*S. abbasi*)係於 1998 年元月間，由本研究室自花蓮縣秀林鄉所採得(Liao, *et al*., 2001)。在 26℃飼育室中，依 Dutky *et al*. (1964)之方法，利用大蠟蛾末齡蟲進行活體繁殖線蟲；另依 White (1927)之方法，收集其 IJs。利用海綿吸附線蟲，置於內徑 55 mm 的培養皿中，並保存於 20℃。在所有試驗中，僅選用保存期不超過三個月之線蟲進行之。試驗前，逢機吸取適量 IJs 加至 100 ppm oxamyl solution 中，於解剖顯微鏡下檢測其存活率，僅選取存活率高於 95%之保存線蟲供各種試驗。

三、土壤之採樣及質地分析

自彰化縣大村鄉、福興鄉及芳苑鄉農田採得之土壤樣品，攜回實驗室內經高溫滅菌(200℃，8 h)後，以不銹鋼網(12 mesh, 1.680 m/m)篩選適當土壤顆粒，並委請台中區農業改良場土壤肥料研究室協助土壤成分分析。分析結果爲：砂土(90% sand, 6% silt, 4% clay; pH6.7)、砂壤土(74% sand, 16% silt, 10% clay; pH6.3)、壤土(48% sand, 28% silt, 24% clay; pH6.8)及黏土(28% sand, 45% silt, 27% clay; pH6.5)。

四、土壤質地對 *S. abbasi* 殺蟲活性影響之測定

選取砂土、砂壤土、壤土及黏土進行測

試，分別秤取 25 g 土壤置入塑膠罐(直徑 4.5 cm，高 8.5 cm)中，並以微量滴管吸取 500 IJs，輕滴於土表中心處，共計：4 (處理) × 6 (時間) × 5 (重複) = 120 個樣品；另以土壤未釋放線蟲者做爲對照組。最後將塑膠罐置入恆溫箱(26 ± 1℃，70 ± 10% RH，全暗)中。經 0, 2, 4, 8, 16 及 32 日，將塑膠罐中土壤倒入 55 mm 培養皿內，並移入 10 隻大蠟蛾末齡幼蟲(220～260 mg)；經 48 h 後，開始記錄幼蟲死亡數。試驗期間維持在最適土壤含水量 8～10%。

五、土壤溫度對 *S. abbasi* 殺蟲活性影響之測定

取 25 g 砂壤土置入塑膠罐中，並將 500 IJs 滴於土表中心處後，分別置於 15、20、25、30 及 35℃中，視爲土壤溫度進行測試，共計：5 (處理) × 6 (時間) × 5 (重複) = 150 個樣品；以土壤未釋放線蟲者做爲對照組，最後將塑膠罐置於各處理溫度之恆溫箱內。經 0, 2, 4, 8, 16 及 32 日，將罐中土壤倒入培養皿內，再移入 10 隻大蠟蛾末齡幼蟲，並置於 25℃恆溫箱內；經 48 h 後，開始記錄死亡蟲數。試驗期間土壤含水量維持 8～10%。

六、土壤含水量對 *S. abbasi* 殺蟲活性影響之測定

取 25 g 砂壤土置入塑膠罐中，依 Kung *et al.* (1991)之方法，以去離子水將砂壤土的含水量調控爲 2、4、8 及 16% (w/w) (土壤加水後，以攪拌棒迅速混拌 3 min)，將 500 IJs 輕滴於土表中心處，共計：4 (處理) × 6 (時間) × 5 (重複) = 120 個樣品；以土壤未釋放線蟲者做爲對照組。最後將塑膠罐置於 26℃恆溫箱內。經 0, 2, 4, 8, 16 及 32 日時，將罐中土壤倒入培養皿內，並移入 10 隻大蠟蛾末齡幼蟲。經 48 h 後，開始記錄死亡蟲數。塑膠罐每日稱重，並補足蒸發之水分。

七、土壤酸鹼度對 *S. abbasi* 殺蟲活性影響之測定

依 Kung *et al.* (1990b)之方法，以 glacial acetic acid 及 sodium carbonate 將砂壤土分別配製爲 pH4, 6, 8 及 10。取 25 g 砂壤土置入塑膠罐中，將 500 IJs 滴於土表中心處，共計：4 (處理) × 6 (時間) × 5 (重複) = 120 個樣品；以土壤未釋放線蟲者做爲對照組，最後將塑膠罐置於 26℃恆溫箱內。經 0, 2, 4, 8, 16 及 32 日，將罐中土壤倒入培養皿內，並移入 10 隻大蠟蛾末齡幼蟲；經 48 h 後，開始記錄死亡蟲數。試驗期間土壤含水量維持 8～10%。

八、數據分析

幼蟲死亡率依 Abbot's formula (Abbott, 1925) 計算校正，經 acsin-square-root transformation 後，以 Fisher's LSD test ($p \leq 0.05$)分析處理間差異。

結　果

一、土壤質地對 *S. abbasi* 殺蟲活性之影響

表一中的資料顯示，在砂土及砂壤土處理中，經 32 日後，線蟲引起大蠟蛾幼蟲的死亡率皆較壤土及黏土佳，在壤土及黏土處理中，經 2 日後，線蟲引起幼蟲的死亡率爲 82 及 84%，低於砂土及砂壤土處理者(F = 5.68; df = 3, 16)；經 8 日後，壤土中幼蟲死亡率降爲 56%，高於黏土處理者，同時砂土及砂壤土之幼蟲死亡率則維持 92%以上(F = 19.08; df = 3, 16)；經 32 日後，壤土中幼蟲死亡率僅 38.0%，黏土處理則對幼蟲已無致病力(F = 115.59; df = 3, 16)。在壤土或黏土中，僅在

表一　蟲生線蟲在不同土壤質地中 32 日引起大蠟蛾之幼蟲死亡率

Table 1. Larval mortality (mean ± SD) of *Galleria mellonella* (n = 10) caused by *Steinernema abbasi* (500 IJs) within different soil textures for 32 days[1)]

Soil texture	Larval mortality (%)						*F* value
	Days after incubating nematodes in soil						
	0	2	4	8	16	32	
Sand	100aA[2)]	98.0 ± 4.5aA	94.0 ± 5.5aAB	92.0 ± 8.4aAB	96.0 ± 5.5aA	86.0 ± 8.9aB	5.20
Sandy loam	96.0 ± 5.5abA	94.0 ± 8.9aA	94.0 ± 5.5aA	94.0 ± 8.9aA	96.0 ± 5.5aA	88.0 ± 8.4aA	0.90
Loam	92.0 ± 8.4bA	82.0 ± 8.4bAB	54.0 ± 11.4bCD	56.0 ± 18.2bCD	68.0 ± 13bBC	38.0 ± 16.4bD	10.26
Clay	96.0 ± 5.5abA	84.0 ± 5.5bB	48.0 ± 17.9bC	24.0 ± 15.2cD	14.0 ± 15.2cD	0cE	50.26
F value	1.64	5.68	23.22	19.08	66.14	115.59	-

[1)] Five replicates in each treatment.

[2)] Means followed by the same lowercase are not significantly different in the same column while the same uppercase are also not significantly different in the same row at $p \leq 0.05$ by Fisher's LSD test.

表二　蟲生線蟲在不同土壤溫度下 32 日引起大蠟蛾之幼蟲死亡率

Table 2. Larval mortality (mean ± SD) of *Galleria mellonella* (n = 10) caused by *Steinernema abbasi* (500 IJs) at different soil temperatures for 32 days[1)]

Soil temperature (℃)	Larval mortality (%)						*F* value
	Days after incubating nematodes in sandy loam						
	0	2	4	8	16	32	
15	-	94.0 ± 5.5aA	80.0 ± 10.0bB	76.0 ± 11.4bBC	66.0 ± 11.4bCD	58.0 ± 13.0bD	13.51
20	-	98.0 ± 4.5aA	96.0 ± 5.5aAB	90.0 ± 10.0abAB	86.0 ± 11.4aBC	74.0 ± 15.2abC	4.06
25	98.0 ± 4.5AB[2)]	100aA	96.0 ± 5.5aABC	94.0 ± 8.9aABC	88.0 ± 8.4aBC	86.0 ± 11.4aC	2.57
30	-	94.0 ± 8.9aA	82.0 ± 13.0aAB	82.0 ± 13.0abAB	86.0 ± 11.4aAB	64.0 ± 19.5bB	2.80
35	-	100aA	92.0 ± 8.4aAB	82.0 ± 13.0abBC	92.0 ± 8.4aAB	62.0 ± 17.9bC	6.71
F value	-	1.48	6.10	1.70	2.63	2.85	-

Footnotes are the same as Table 1.

處理之起始，線蟲具高感染力，但線蟲殺蟲活性則會隨處理時間延長而遞減($F > 2.62$; $df = 5, 24$)；砂土或砂壤土中，線蟲殺蟲活性受處理時間的影響較小，32 日時，幼蟲死亡率仍維持 86.0%。

二、土壤溫度對 *S. abbasi* 殺蟲活性之影響

以 15℃處理 4 日後，線蟲引起大蠟蛾的幼蟲死亡率低於 20～35℃處理組($F = 6.10$; $df = 4, 20$)；經 16 日，在 15℃所處理之死亡率爲 66%；另外，20～35℃ 處理組則維持在 86～92% ($F = 2.63$; $df = 4, 20$)；經 32 日，30 及 35℃處理之死亡率降至 64%以下，且低於 25℃處理者($F = 2.85$; $df = 4, 20$)。線蟲於 15℃土溫中，其殺蟲活性受處理時間之影響較爲顯著($F = 13.51$; $df = 4, 20$)；在 20、30 及 35℃中，僅經 16 或 32 日對線蟲之效力的影響較顯著；線蟲於 25℃土溫中，其殺蟲活性受時間的影響則不顯著，至 32 日均維持高效力($F = 2.57$; $df = 5, 24$) (表二)。

三、土壤含水量對 *S. abbasi* 殺蟲活性之影響

表三顯示土壤含水量在 2～16%時，經 16 日，線蟲對寄主幼蟲仍具良好的感染力，且處

表三　蟲生線蟲在不同土壤含水量中 32 日引起大蠟蛾之幼蟲死亡率

Table 3. Larval mortality (mean ± SD) of *Galleria mellonella* (n = 10) caused by *Steinernema abbasi* (500 IJs) under different soil water contents for 32 days[1)]

Soil water content (%)	Larval mortality (%)						*F* value
	Days after incubating nematodes in sandy loam						
	0	2	4	8	16	32	
2	96.0 ± 5.5Aa[2)]	94.0 ± 8.9aA	96.0 ± 5.5aA	98.0 ± 4.5aA	94.0 ± 5.5aA	62.0 ± 11.0bB	8.19
4	98.0 ± 4.5aA	100aA	96.0 ± 5.5aA	96.0 ± 5.5aA	96.0 ± 5.5aA	84.0 ± 15.2aB	2.48
8	98.0 ± 5.5aA	96.0 ± 8.9aA	96.0 ± 5.5aA	94.0 ± 5.5abAB	90.0 ± 12.2aAB	86.0 ± 8.9aB	2.04
16	98.0 ± 4.5aA	98.0 ± 4.5aA	98.0 ± 4.5aA	88.0 ± 8.4bB	90.0 ± 10.0aAB	86.0 ± 5.5aB	3.82
F value	0.29	0.73	1.00	3.03	0.55	3.54	-

Footnotes are the same as Table 1.

表四　蟲生線蟲在各種土壤 pH 值下 32 日引起大蠟蛾之幼蟲死亡率

Table 4. Larval mortality (mean ± SD) of *Galleria mellonella* (n = 10) caused by *Steinernema abbasi* (500 IJs) at various soil pH values for 32 days[1)]

Soil pH	Larval mortality (%)						*F* value
	Days after incubating nematodes in sandy loam						
	0	2	4	8	16	32	
4	92.0 ± 8.4Aab[2)]	92.0 ± 8.4aAB	88.0 ± 13.0aAB	96.0 ± 5.5aA	94.0 ± 8.9aAB	84.0 ± 5.5abB	1.14
6	100aA	100aA	96.0 ± 5.5aA	98.0 ± 4.5aA	90.0 ± 12.2aAB	84.0 ± 11.4aB	3.40
8	94.0 ± 8.9aA	90.0 ±14.1aA	92.0 ± 8.4aA	80.0 ± 12.2bAB	76.0 ± 11.4bB	70.0 ± 14.1bB	3.87
10	92.0 ± 8.4aA	18.0 ± 14.8bB	0bC	0cC	0cC	0cC	71.35
F value	1.21	25.29	56.75	114.82	68.23	78.71	-

Footnotes are the same as Table 1.

三、土壤含水量對 *S. abbasi* 殺蟲活性之影響

表三顯示土壤含水量在 2～16%時，經 16 日，線蟲對寄主幼蟲仍具良好的感染力，且處理間無顯著差異(F = 0.55; df = 3, 16)；經 32 日，僅 2%處理組之幼蟲死亡率有明顯下降趨勢；另外，三組處理間則無顯著差異(F = 3.54; df = 3, 16)。線蟲於 2～16%土壤含水量中，其殺蟲活性受處理時間的影響不顯著，僅在 32 日略爲下降，但幼蟲死亡率仍可達 62～86%。

四、土壤 pH 對 *S. abbasi* 殺蟲活性之影響

於土壤 pH4 及 pH6 中，線蟲殺蟲活性受時間的影響不顯著，僅經 32 日幼蟲死亡率略降；於 pH8 及 pH10 中，線蟲殺蟲活性受處理時間的影響則較顯著(F > 2.62; df = 5, 24)。土壤 pH10 處理中，經 2 日後，線蟲引起的幼蟲死亡率遽降至 18%，低於 pH4～8 處理(F = 25.29; df = 3, 16)；經 4 日後，pH10 處理中無寄主蟲體遭受線蟲感染；另外，三組處理之幼蟲死亡率仍高於 88% (F = 56.75; df = 3, 16)；經 8 日後，pH8 處理之幼蟲死亡率則低於 pH4 及 pH6 處理者(F = 114.82; df = 3, 16) (表四)。

討　論

本地產蟲生線蟲(*S. abbasi*)於砂土或砂壤土中具理想的殺蟲活性，但在壤土及黏土中

的效力則隨時間延長而遞減。Croll and Matthews (1977)及 Qiu and Bedding (2000)分別報告線蟲在不同土壤質地中，其效力受土壤通氣性及其體內能量代謝方式之影響。於砂土或砂壤土中，土壤顆粒間孔徑大，可提供較佳的通氣環境，線蟲利用脂質提供能量而延續其存活；但在壤土或黏土中，土壤顆粒間孔徑小，線蟲在氧氣缺乏時，則需利用肝糖(glycogen)及花粉糖(trehalose)提供其能量，且線蟲經數日後便即死亡。Kung *et al.* (1990a)亦指出 *S. carpocapsae* 及 *S. glaseri* 在砂土及砂壤土中的持效性皆優於在壤土及黏土者。本試驗中，線蟲的施用劑量僅及 Kung *et al.* (1990a)之 1/9 量，但經四星期後，*S. abbasi* 對寄主的感染力仍明顯高於 *S. glaseri*。由二者結果推測，*S. abbasi* 在土壤中的殺虫活性應優於 *S. glaseri*。然而，在砂土或砂壤土環境中，並非所有蟲生線蟲皆表現較佳的效力，以 *S. riobrave* 及 *Heterorhabditis bacteriophora* 爲例，二者在壤土中的殺蟲活性卻高於在砂土中(Shapiro, *et al.*, 2000)；但筆者認爲前述砂土中的鉀及鈣成分較一般土壤正常值高出數倍之多，應是造成試驗結果差異之主因。

Cheng and Hou (1997) 報告 *S. carpocapsae* 在 4～32℃下，經 10 日後，線蟲的死亡率尚無顯著差異；但此線蟲屬於溫帶的種類，在高溫下經較長時間後，其持效性會明顯下降(Kung, *et al.*, 1991)，且顯著低於 *S. abbasi* 對高溫的適應能力；另外，學者亦提及 *S. glaseri* 可同時適應低溫及高溫環境；相對地，*S. kushidai* 則僅能在 20～30℃下表現較佳的持效性(Fujiie, *et al.*, 1995)。*S. abbasi* 在 20～35℃下，經 32 日後，仍具良好的殺蟲活性；在 15℃下，殺蟲活性雖略低於其他處理者，但尚可表現較高的效力。本結果顯示在 15～35℃下，*S. abbasi* 在土壤中之殺蟲活性受溫度的影響較小，應可在亞熱帶或及熱帶地區表現理想的適應能力。

土壤含水量在 4～16%下，*S. abbasi* 均可表現良好的殺蟲活性，此與 *S. carpocapsae* 及 *S. glaseri* 相當(Kung, *et al.*, 1991)。此含水量範圍幾乎已涵蓋所有蔬菜、花卉及果樹栽培時所需之水分條件，顯示這種線蟲在田間施用後，應不受土壤含水量之限制而降低其殺蟲活性。然而，*S. abbasi* 感染寄主所需的適當土壤含水量爲 8～12% (Pai, C. F., unpublished data)，故應用此線蟲在防治土壤害蟲時，宜選擇符合其含水量條件之作物栽培區，方能發揮線蟲的適當感染力。在小於 5%土壤含水量下，會延緩線蟲離開寄主的時間，並在寄主體內保存較長的時間；當適當補充水分後，則可誘發線蟲離開寄主並搜尋下一寄主感染之(Koppenhöfer, *et al.*, 1997; Grant and Villani, 2003)。故筆者認爲田間土壤含水量因受陽光照射、溫度高低、雨量或給水多寡等因素而變動，而蟲生線蟲在不同土壤含水量下呈現不同的適應行爲，使其在土壤中得以維持更有效的殺蟲活性。

在土壤 pH4～8 下，*S. abbasi* 可維持較高的殺蟲活性至 32 日止；但鹼性土壤則會降低其效力。Kung *et al.* (1990b)指出在土壤 pH10 下，*S. carpocapsae* 之殺蟲活性迅速下降；在 pH8 時，該線蟲引起寄主較高的死亡率仍可維持至 8 日。雖在土壤 pH10 下，蟲生線蟲對寄主的感染力會受到負面影響，但據調查田間蔬菜區之土壤酸鹼值約爲 pH6.9～7.8，未發現有強鹼性的土壤樣品。因此筆者認爲田間土壤的 pH 值應非影響 *S. abbasi* 的殺蟲活性之重要因子。

由以上各種試驗結果建議，若應用 *S. abbasi* 供作土壤害蟲之生物防治，吾人應愼選

適宜其感染之各種土壤環境條件。

誌　謝

本文承蒙行政院農業委員會動植物防疫檢疫局計畫(93 農科-1.8.1-檢-B5(4)及 94 農科-13.2.1-檢-B6)經費補助及台中區農業改良場提供技術協助，在此謹誌謝忱。

引用文獻

Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.

Cheng, C. C., and R. F. Hou. 1997. Effects of environmental factors on survival of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*. Chinese J. Entomol. 17: 120-131. (in Chinese)

Croll, N. A., and B. E. Matthews. 1977. Survival of nematodes. pp. 152-165. *In*: "Biology of Nematodes". Wiley, New York.

Dutky, S. R., J. V. Thompson, and G. E. Cantwell. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. J. Insect Pathol. 6: 417-422.

Fujiie, A., Y. Takata, M. Tachibana, and T. Yokoyama. 1996. Insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae) against *Anomala cuprea* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae under different soil moisture conditions. Appl. Entomol. Zool. 31: 453-455.

Fujiie, A., M. Tachibana, Y. Takata, T. Yokoyama, N. Suzuki, and T. Uechi. 1995. Effects of temperature on insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae), against *Anomala cuprea* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. Appl. Entomol. Zool. 30: 23-30.

Grant, J. A., and M. G. Villani. 2003. Soil moisture effects on entomopathogenic nematodes. Environ. Entomol. 32: 80-87.

Hsiao, W. F., and J. N. All. 1996. Effects of temperature and placement site on the dispersal of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* in four soils. Chinese J. Entomol. 16: 95-106.

Koppenhöfer, A. M., and E. M. Fuzy. 2003. Ecological characterization of *Steinernema scarabaei*, a scarab-adapted entomopathogenic nematode form New Jersey. J. Invertebr. Pathol. 83: 139-148.

Koppenhöfer, A. M., R. S. Cowles, E. A. Cowles, E. A. Fuzy, and L. Baumgartner. 2002. Comparison of neonicotinoid insecticides as synergists for entomopathogenic nematodes. Biol. Contr. 24: 90-97.

Kung, S. P, R. Gaugler, and H. K. Kaya. 1990a. Soil type and entomopathogenic nematode persistence. J. Invertebr. Pathol. 55: 401-406.

Kung, S. P, R. Gaugler, and H. K. Kaya. 1990b. Influence of soil pH and oxygen on persistence of *Steinernema*

spp. J. Nematol. 22: 440-445.

Kung, S. P, R. Gaugler, and H. K. Kaya. 1991. Effects of soil temperature, moisture, and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. J. Invertebr. Pathol. 57: 242-249.

Liao, C. Y., L. C. Tang, C. F. Pai, W. F. Hsiao, B. R. Briscoe, and R. F. Hou. 2001. A new isolate of the entomopathogenic nematode, *Steinernema abbasi* (Nematoda: Steinernematidae), from Taiwan. J. Invertebr. Pathol. 77: 78-80.

Millar, L. C., and M. E. Barbercheck. 2002. Effects of tillage practices on entomopahtogenic nematodes in a corn agroecosystem. Biol. Contr. 25: 1-11.

Pai, C. F. 2004. Host infection, persistence in soil and field application of the entomopathogenic nematode, *Steinernema abbasi*. Ph.D. Thesis. National Chung Hsing University, 163 pp. (in Chinese)

Pai, C. F., and R. F. Hou. 2005. Effects of fertilizers and insecticides in soil on the persistence of the entomopathogenic nematode, *Steinernema abbasi* (Rhabditida: Steinernematidae). Formosan Entomol. 25: 47-58. (in Chinese)

Qiu, L., and R. A. Bedding. 2000. Energy metabolism and survival of the infective juveniles of *Steinernema carpocapsae* under oxygen-deficient conditions. J. Nematol. 32: 271-280.

Qiu, L., X. Yan, Y. Zhou, K. B. Nguyen, and Y. Pang. 2005. *Steinernema aciari* sp. N. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Guangdong, China. J. Invertebr. Pathol. 88: 58-69.

Qiu, L., X. Hu, Y. Zhou, S. Mei, K. B. Nguyen, and Y. Pang. 2005. *Steinernema akhursti* sp. N. (Nematoda: Steinernematidae) from Yunnan, China. J. Invertebr. Pathol. 90: 151-160.

Shapiro, D. I., C. W. McCoy, A. Fares, T. Obreza, and H. Dou. 2000. Effects of soil type on virulence and persistence of entomopathogenic nematodes in relation to control of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). Environ. Entomol. 29: 1083-1087.

White, G. F. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from culture. Science 73: 302-303.

收件日期：2006 年 5 月 12 日
接受日期：2006 年 6 月 6 日

Effects of Soil Environmental Factors on Insecticidal Activity of the Entomopathogenic Nematode, *Steinernema abbasi* (Rhabditida: Steinernematide)

Chih-Fang Pai and Roger F. Hou* Department of Entomology, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

ABSTRACT

Effects of soil texture, temperature, water content, and pH on insecticidal activity of the entomopathogenic nematode, *Steinernema abbasi,* were investigated in the laboratory. The larval mortality of the greater wax moth, *Galleria mellonella,* caused by inoculation of the infective juveniles (IJs) within 32 days was adopted as the criterion for evaluating the insecticidal activity of the nematode. Sand and sandy loam were optimal for *S. abbasi* to exhibit insecticidal activity, while in loam and clay, the nematode was less insecticidal as the time prolonged. *Steinernema abbasi* remained virulent when incubated at 20 and 25°C for 32 days; whereas the nematode was less virulent when incubated at 15, 30, or 35°C. *Steinernema abbasi* was highly insecticidal when incubated in the soil with 4-16% water contents for 16 days, although the larval mortalities were lowered slightly only if incubated for 32 days. However, the larval mortality was reduced from 94% to 62% when incubated with 2% water content for 32 days. The soil at pH 4-6 was optimal for this nematode, but pH 10 was not suitable for the nematode infection. Therefore, it is preferable to select favorable soil environmental conditions, if applied this entomopathogenic nematode as a biocontrol agent for soil insect pests.

Key words: *Steinernema abbasi, Galleria mellonella*, insecticidal activity, larval mortality, soil environmental factor

*Correspondence address
e-mail: rhou@dragon.nchu.edu.tw