

溫度依變下小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) 在檬果上之發育及生命表

賴信順¹ 陳怡如² 邱一中³ 林鳳琪^{4,*}

摘要

賴信順、陳怡如、邱一中、林鳳琪。2018。溫度依變下小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) 在檬果上之發育及生命表。台灣農業研究 67(2):181–190。

小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) 以檬果 (*Mangifera indica* L.) 葉片飼養於 16、20、24、28、32、34 與 36°C 定溫下，觀察溫度對其各齡期發育時間的影響，並以兩性生命表分析其在 20、24、28、32 與 34°C 的族群介量。結果顯示，各蟲期在 16–36°C 時平均發育時間分別卵期為 4.1–19.1 d，一齡幼蟲期為 1.4–5.7 d，二齡幼蟲期為 1.3–8.2 d，蛹期為 1.5–7.9 d，由卵發育至成蟲為 8.5–42.0 d。由直線迴歸分析卵發育至成蟲的發育總積溫為 206.14 日度 (degree-days)，發育臨界低溫為 10.7°C。另由非線性迴歸分析發育臨界低溫為 10.6°C，最適發育溫度為 35.6°C。以兩性生命表分析結果，其內在增殖率 (r_m) 與終極增殖率 (λ) 皆以 28°C 時為最大 ($r_m = 0.2009 \text{ d}^{-1}$ 、 $\lambda = 1.2226 \text{ d}^{-1}$)，20°C 時為最小 ($r_m = 0.0824 \text{ d}^{-1}$ 、 $\lambda = 1.0859 \text{ d}^{-1}$)。淨增殖率 (R_0) 也是以 28°C 為最大 ($R_0 = 40.82$ 子代/代)，但 34°C 時為最小 ($R_0 = 4.14$ 子代/代)。平均世代時間 (T) 以 20°C 時為最長 ($T = 32.77 \text{ d}$)，34°C 時為最短 ($T = 12.15 \text{ d}$)。

關鍵詞：小黃薊馬、檬果、溫度、發育速率、生命表。

前言

檬果 (*Mangifera indica* L.) 原產於印度，屬於漆樹科 (Anacardiaceae) 的熱帶果樹。在台灣的產區集中於台南市、高雄市與屏東縣等地區，因品種特性不同，所以生產期可從 3–10 月 (Chiou & Lee 2012)。前人調查紀錄台灣檬果上的害蟲 (蟎) 種類共有 6 目 27 科 80 種害蟲及 1 目 2 科 6 種害蟎，其中薊馬有 6 種，主要薊馬種類是小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) (Wei *et al.* 2011; Shih *et al.* 2013)。小黃薊馬從檬果抽梢期經開花期到小果期都可見其危害，為嚴重影響台灣檬果品質的重要害蟲之一 (Wen & Wu 2010)，並且在馬來西亞與

印尼等世界檬果主要產地亦是檬果的重要害蟲 (Aliakbarpour *et al.* 2010; Affandi & Medina 2013)。

小黃薊馬屬於纓翅目薊馬科 (Thysanoptera: Thripidae)，為容易造成經濟損失的入侵種薊馬之一，寄主植物超過 40 科 100 種以上，為高度雜食性的昆蟲 (Morse & Hoddle 2006)。小黃薊馬對作物的危害可分為直接刺吸取食造成危害，與媒介病毒病 *Tospovirus* 所造成的間接危害 (Kumar *et al.* 2013)。小黃薊馬對檬果所造成的危害屬於直接危害，包括吸食嫩梢、嫩芽、嫩葉與幼葉的汁液後，導致發育不良甚至變形枯萎；吸食花穗造成不利花器發育；吸食幼果表皮的食痕，則隨著果實發育

投稿日期：2017 年 7 月 24 日；接受日期：2017 年 9 月 30 日。

* 通訊作者：fclin@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護系助理研究員。台灣 高雄市。

² 農委會農業試驗所應用動物組助理研究員。台灣 台中市。

³ 農委會農業試驗所應用動物組聘用助理研究員。台灣 台中市。

⁴ 農委會農業試驗所應用動物組副研究員。台灣 台中市。

而形成明顯褐化結痂，嚴重影響鮮果販賣的商品價值 (Lin *et al.* 2010; Shih *et al.* 2013)。

溫度對生物的影響範圍從生理生化層級到個體、族群、群落甚至到生態系統層級，而昆蟲屬於變溫性動物，所以溫度對於昆蟲的影響更為明顯 (Colinet *et al.* 2015)。為探討溫度與昆蟲發育速率之間的關係，因此發展了各種不同的直線或是非線性迴歸分析，以推測昆蟲的發育臨界低溫 (low temperature threshold)、發育臨界高溫 (high temperature threshold)、最適發育溫度 (optimal temperature) 或有效積溫 (thermal summation) 等資訊 (Quinn 2017)。在評估溫度對昆蟲族群動態的影響時，通常是藉由生命表分析來估算不同溫度時昆蟲的族群介量 (population parameter)。

本研究以椪果葉片作為小黃薊馬的生活棲所，在不同恆溫下觀察小黃薊馬的生長與發育情形，部分數據已於 2013 年發表 (Chen *et al.* 2013)。而本報告除新增試驗項目及內容外，並且以直線與非線性迴歸分析加強說明溫度與小黃薊馬發育速率之間的關係，同時利用兩性生命表分析來估算不同恆溫下小黃薊馬的族群介量，希望能提供防治上參考。

材料與方法

供試昆蟲

將採集自台南市玉井區的椪果園內的小黃薊馬，接蟲於農委會農業試驗所實驗室內栽種之椪果幼葉飼養繁殖，作為試驗用蟲源。

試驗載台

試驗載台為在平底玻璃管 (diam. 3.0 cm) 內，於管底放置圓形濕潤紙片 (diam. 2.8 cm)，並於其上放置被裁切為圓形的新鮮椪果葉片 (diam. 2.8 cm)。

不同恆溫下各齡期發育與成蟲產卵觀察

由供試蟲源挑選小黃薊馬雌成蟲置於有椪果葉片的試驗載台內，以石蠟膜封住管口，並在膜上戳洞以減少水分的凝結。將玻璃管分別置於 16、20、24、28、32、34 與 36°C 等 7 種恆溫，相對濕度為 80%，相對濕度及光週期

12 L:12 D 的梯度生長箱中，任其產卵 24 h 後，移除所有成蟲。每日定時觀察卵孵化情形，待孵化為一齡幼蟲後，用毛筆將幼蟲分別挑至有椪果葉片的試驗載台內單隻飼養，每日定時觀察紀錄小黃薊馬之發育情形。

將 20、24、28、32、34 與 36°C 下所發育之成蟲個體，分別經雌雄配對置於有椪果葉片的試驗載台後，每日定時取出葉片，於解剖顯微鏡下觀察計算產卵數，並更換新鮮椪果葉片供其產卵，直至成蟲死亡為止。

不同溫度與各蟲期發育速率迴歸分析

選擇直線及 Lactin-2 非線性之迴歸分析，探討溫度與小黃薊馬發育速率兩者之關係，其中發育速率 (D) 為發育所需時間之倒數。

直線迴歸模式 (Campbell *et al.* 1974)，定義為：

$$D(T) = a + bT$$

其中 T 為飼養定溫 (°C)， a 為溫度等於 0°C 時的發育速率， b 為該直線迴歸方程式中的斜率。由估算所得迴歸方程式，計算發育總積溫 ($K = 1/b$) 及並以外插法估算其發育臨界低溫 ($T_0 = -a/b$)。其中發育總積溫 (K) 的標準誤差 (standard error; S.E.) 由下列公式計算：

$$\frac{\text{S.E. of } b}{b^2}$$

及發育臨界低溫 (T_0) 的標準誤差則以下列公式計算：

$$\frac{\bar{y}}{b} \sqrt{\frac{S^2}{N\bar{y}^2} + \left[\frac{\text{S.E. of } b}{b} \right]^2}$$

其中 \bar{y} 是樣本平均， N 是樣本數量， S^2 是樣本的殘差平均平方和 (residual mean square)。

Lactin-2 非線性迴歸分析 (Lactin *et al.* 1995)，定義為：

$$D(T) = e^{\rho T} - e^{\rho T_L} - \frac{T_L - T}{\Delta T} + \lambda$$

其中 T 是飼養的溫度 ($^{\circ}\text{C}$)， T_L 是致死高溫 (lethal maximum temperature)， ΔT 為最適發育溫度 (即為發育速率最大時的溫度) 與致死高溫間之差值， ρ 和 λ 是估算介量。藉此非線性迴歸分析估算 $D(T) = 0$ 發育臨界低溫與臨界高溫以及 $dD(T)/dT = 0$ 時的最適發育溫度。

溫度對發育速率直線迴歸與非線性迴歸分析均利用 SPSS 統計軟體運算 (SPSS 10.0 for Windows; SPSS Inc.)，圖則以 Sigmaplot 軟體繪製 (Systat Software Inc.)。

不同溫度下生命表及族群介量分析

依 Chi (1988) 之兩性生命表理論，將不同恆溫下飼養小黃薊馬之生活史資料，利用 TWOSEX-MSChart 軟體 ([http://140.120.197.173/Eco](http://140.120.197.173/Eco%20logy/Download/TwoSex-MSChart-exe-B100000.rar) [logy/Download/TwoSex-MSChart-exe-B100000.rar](http://140.120.197.173/Eco%20logy/Download/TwoSex-MSChart-exe-B100000.rar)) (Chi 2013) 計算出小黃薊馬在 20、24、28、32 與 34°C 下之齡別存活率 (age-specific survivorship, l_x ; x 為蟲齡)、齡別繁殖率 (age-specific fecundity; m_x) 及繁殖淨值 (net maternity value; V_x)，以 Sigmaplot 軟體將數據繪製成圖，以便分析比較。同時以該軟體計算不同恆溫下小黃薊馬的族群介量，包括內在增殖率 (intrinsic rate of increase; r_m)、終極增殖率 (finite rate of increase; λ)、淨增殖率 (net reproductive rate; R_0) 及平均世代時間 (mean generation time; T) 等，並且利用拔靴法 (bootstrap) 重複取樣 10,000 次以估算族群介量的標準差 (Akköprü *et al.* 2015)。

結果

不同恆溫下小黃薊馬之發育時間及累積死亡率

在 16、20、24、28、32、34 及 36°C 恆溫下，小黃薊馬飼養於椀果葉上之各未成熟期發育所需時間如表 1。小黃薊馬在不同定溫下卵期的平均發育時間為 4.1–19.1 d，長短比較相差 4.7 倍。一齡幼蟲期的平均發育時間為 1.4–5.7 d，長短比較相差 4.1 倍。二齡幼蟲期的平均發育時間為 1.3–8.2 d，長短比較相差 6.3 倍。蛹期的平均發育時間為 1.5–7.9 d，長短比較相差 5.9 倍。卵發育至成蟲的平均發育時間為 8.5–42.0 d，長短比較相差 4.9 倍。除一齡幼蟲期在 32°C 時所需發育時間為最短，其餘齡期則皆是以在 34°C 環境中所需發育時間為最短。

在不同恆溫下，小黃薊馬於一齡幼蟲期、二齡幼蟲期與蛹期的累積死亡率如圖 1。一齡幼蟲期以在 34°C 時的累積死亡率最高為 17.52%，而在 24°C 與 28°C 時，則個體皆能完成發育進入二齡幼蟲期。二齡幼蟲期以在 16°C 時的累積死亡率最高為 45.22%，其次是 36°C 時的 39.39%。蛹期則是以在 36°C 時的累積死亡率最高，達到 75.76%，其次是在 16°C 時的 56.52% 與 34°C 時的 45.99%。

不同溫度與各蟲期發育速率模式

將各齡期發育速率與溫度以直線迴歸分析計算個別的斜率 (b) 及截距 (a) (圖 2)，並藉以

表 1. 不同定溫下小黃薊馬在椀果上之各未成熟期平均發育所需時間。

Table 1. Mean developmental times (days, mean \pm SD) of the immature stages of *Scirtothrips dorsalis* for 7 temperatures on mango.

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	n	Developmental duration (days, Mean \pm SD)				
		Egg	1st larva	2nd larva	Pupa	Egg-adult
16	115	19.1 \pm 1.5	5.7 \pm 1.6	8.2 \pm 3.5	7.9 \pm 2.2	42.0 \pm 3.5
20	89	9.9 \pm 1.6	2.9 \pm 0.7	4.1 \pm 1.1	4.6 \pm 1.0	21.6 \pm 2.0
24	85	7.1 \pm 0.9	2.2 \pm 0.6	2.4 \pm 0.9	3.3 \pm 0.6	15.0 \pm 1.1
28	65	5.5 \pm 0.7	1.7 \pm 0.6	2.2 \pm 0.9	2.6 \pm 0.6	12.0 \pm 0.9
32	96	4.3 \pm 0.6	1.4 \pm 0.5	1.9 \pm 0.9	2.2 \pm 0.5	9.8 \pm 1.0
34	137	4.1 \pm 0.5	1.7 \pm 0.6	1.3 \pm 0.6	1.5 \pm 0.6	8.5 \pm 0.8
36	33	4.5 \pm 0.9	2.4 \pm 0.5	2.3 \pm 1.0	1.6 \pm 0.7	10.5 \pm 1.3

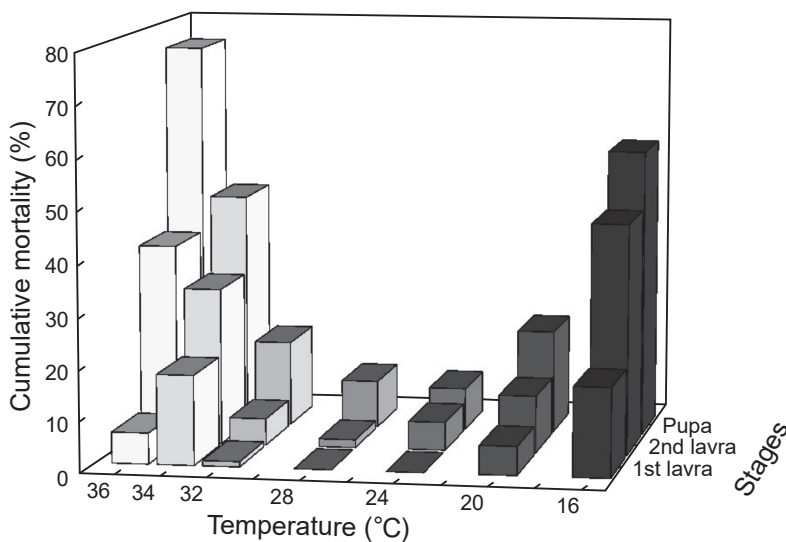


圖 1. 椪果上小黃薊馬在不同恆溫下幼蟲期與蛹期之累積死亡率。

Fig. 1. Effect of temperature on the cumulative mortality of *Scirtothrips dorsalis* in larva and pupa stage on mango.

分析各齡期的發育臨界低溫與發育總積溫 (表 2)。卵期、一齡幼蟲期、二齡幼蟲期、蛹期與整個未成熟期的發育速率與溫度間的直線迴歸分析所得 P -value 皆小於 0.01, 表示溫度是影響發育速率的因子之一, 而每個直線迴歸分析的 R^2 值皆大或等於 0.95, 表示此直線迴歸具有相當的解釋度。分析卵期、一齡幼蟲期、二齡幼蟲期與蛹期的發育總積溫依序為 90.49、29.27、39.53 及 49.23 日度, 而發育臨界低溫則依序為 11.1、10.5、10.2 及 9.4°C。整個未成熟期的發育總積溫為 206.14 日度, 而發育臨界低溫為 10.7°C。

將各齡期發育速率與溫度另以 Lactin-2 非線性迴歸分析計算各估算介量 (圖 2), 並推算各齡期的最適發育溫度和發育臨界低溫 (表 3)。每個非線性迴歸分析的 R^2 值皆大或等於 0.93, 表示非線性迴歸具有相當的解釋度。分析卵期、一齡幼蟲期、二齡幼蟲期與蛹期的發育臨界低溫依序為 10.6、10.5、10.4 與 11.0°C, 最適發育溫度分別為 34.2、31.5、35.6 及 35.6°C, 而發育臨界高溫分別為 38.2、37.8、36.1 與 36.0°C。整個未成熟期的發育臨界低溫為 10.6°C, 最適發育溫度為 35.6°C, 而發育臨界高溫為 36.1°C。

不同溫度下生命表及族群介量分析

小黃薊馬於不同恆溫下各齡期之齡別存活率 (S_{xj}) 曲線 (圖 3) 中顯示在 20、24、28、32 及 34°C 的環境條件下, 依序於卵期第 6、5、5、3 與 5 d 時, 分別與一齡幼蟲期和二齡幼蟲期齡期相重疊。在 24°C 的環境下, 甚至出現在卵期第 8 d 時會同時與一齡幼蟲期、二齡幼蟲期與蛹期相重疊。不同溫度條件下各個齡期均有重疊現象, 溫度越高, 重疊現象越明顯。

由齡別存活率 (L_x) 之曲線 (圖 4) 可知小黃薊馬於 20、24、28、32 與 34°C 下, 分別在第 38、28、25、17 與 10 d 達到族群半數自然死亡率, 而存活天數依序為 88、52、54、35 與 17 d, 兩者時間皆隨著溫度升高而縮短。由齡別繁殖率 (m_x) 之曲線 (圖 4) 可以看出小黃薊馬在 20、24、28、32 與 34°C 下, 開始產卵的時間分別為第 19、14、11、7 與 8 d, 繁殖高峰依序為第 32、20、15、18 與 14 d, 結束產卵的時間依序為第 84、47、52、32 與 16 d。隨著溫度升高, 小黃薊馬繁殖期與產卵高峰期有提早的現象, 因而壽命有縮短現象。由齡別存活率 (L_x) 乘以齡別繁殖率 (m_x) 可以得到繁殖淨值 (V_x), 曲線下面積為該溫度下繁殖淨值的總和, 其中以 28°C 時的面積較大 (圖 4)。

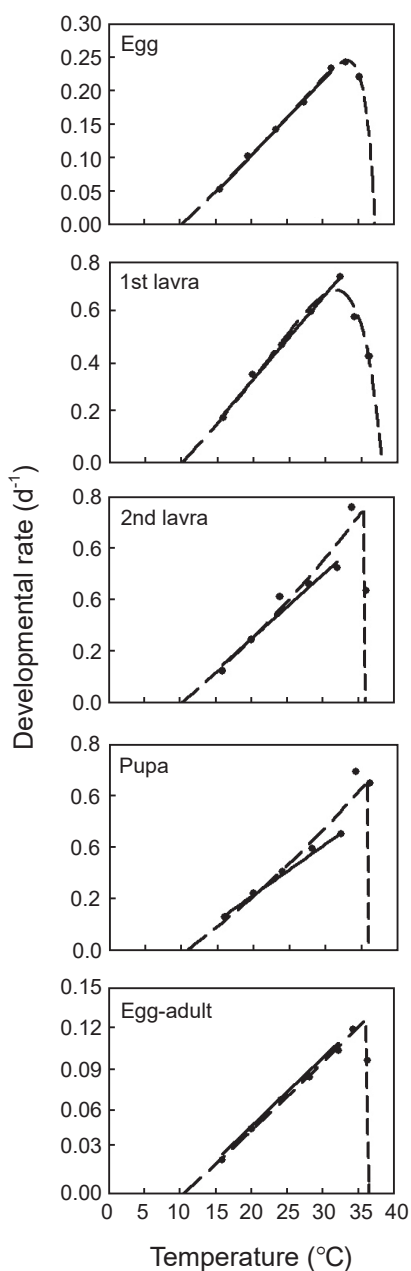


圖 2. 柑小黃薊馬在椪果上於 16–36°C 下的發育速率與溫度間的關係。配合曲線：直線迴歸分析溫度範圍 16–32°C (—) 和 Lactin-2 非線性迴歸分析溫度範圍 16–36°C (---)。

Fig. 2. Relationships between temperature and developmental rate of *Scirtothrips dorsalis* at 16–36°C on mango. Fitted curves: the linear regression analysis within the temperature range of 16–32°C (—) and the Lactin-2 nonlinear regression analysis within the temperature range of 16–36°C (---).

由兩性生命表資料分析所得族群介量如表 4，小黃薊馬於各恆溫下的內在增殖率 (r_m) 以 28°C 時為 0.2009 d^{-1} 最高，其次依序是 32°C 時的 0.1674 d^{-1} 、34°C 時的 0.1155 d^{-1} 和 24°C 時的 0.1055 d^{-1} ，而 20°C 時的 0.0824 d^{-1} 最低。淨增殖率 (R_0) 以 28°C 時 40.82 子代/♀ 最高，其次依序為 20°C 時 15.08 子代/♀、32°C 時 14.87 子代/♀ 和 24°C 時 11.72 子代/♀，而 34°C 時 4.14 子代/♀ 最低。平均世代所需時間 (T) 以 34°C 時 12.15 d 最短，其次依序為 32°C 時 16.03 d、28°C 時 18.41 d 與 24°C 時 23.13 d，而以 20°C 時 32.77 d 最長。終極增殖率 (λ) 在 28°C 時 1.2226 d^{-1} 為最高，其次依序是 32°C 時 1.1823 d^{-1} 、34°C 時 1.1226 d^{-1} 和 24°C 時 1.1113 d^{-1} ，而 20°C 時 1.0859 d^{-1} 最低。

討論

溫度對發育所需時間之影響

昆蟲的發育時間主要是受到溫度與寄主植物的影響。本研究在恆溫環境下，小黃薊馬在椪果葉上於 16°C 時卵的孵化時間為 19.1 d，而 Shibao (1996) 調查小黃薊馬卵在葡萄葉上於 16°C 時的孵化時間為 17.2 d，在綠茶葉上的卵於 17°C 時的孵化時間為 14.1 d (Kang *et al.* 2015)，Tatara (1994) 指出小黃薊馬卵在珊瑚樹葉上於 17°C 時的孵化時間為 21.3 d，由此可知寄主植物的不同是影響小黃薊馬卵孵化時間的因素之一。

本研究調查小黃薊馬於 20°C 時卵發育至成蟲所需發育時間為 21.6 d，而 Li (2010) 同樣調查小黃薊馬在椪果葉上於 20°C 時為 22.3 d，兩者所需時間僅相差 0.7 d。此外，該報告中小黃薊馬於 25°C 時發育時間為 14.0 d，介於本研究中 24°C 時的 15.0 d 與 28°C 時的 12.0 d 之間，並且於 30°C 時發育時間為 11.7 d，亦介於本研究中 28°C 時的 12.0 d 與 32°C 時的 9.8 d 之間，兩篇研究因供試作物同為椪果，所以試驗結果相近。Seal *et al.* (2010) 於 $26 \pm 1^\circ C$ 的恆溫下，調查小黃薊馬在不同寄主植物上從卵發育至成蟲所需時間，結果顯示小黃薊馬在番茄上的發育所需時間為 20.6 d，在菜豆上為 20.3

表 2. 小黃薊馬在椪果上溫度 (X) 與發育速率 (Y) 之直線模式。

Table 2. Linear model for temperature (X) and developmental rates (Y) of *Scirtothrips dorsalis* on mango.

Life stages	Regression equation	R ²	P-value	Thermal summation (degree-day)	Low temperature threshold (°C)
Egg	Y = -0.12315 + 0.01105X ^z	0.998	0.0000	90.49 ± 2.35	11.1 ± 0.36
1st larva	Y = -0.35749 + 0.03416X	0.996	0.0000	29.27 ± 1.00	10.5 ± 0.50
2nd larva	Y = -0.25753 + 0.02530X	0.950	0.0047	39.53 ± 5.21	10.2 ± 1.97
Pupa	Y = -0.19127 + 0.02031X	0.994	0.0002	49.23 ± 2.22	9.4 ± 0.70
Egg-adult	Y = -0.05192 + 0.00485X	0.997	0.0000	206.14 ± 6.74	10.7 ± 0.47

^z Y = a + bX, where Y is the rate of development [1/developmental period (d)] and X is the temperature (°C).

表 3. 小黃薊馬在椪果上溫度與發育速率之 Lactin-2 模式。

Table 3. Lactin-2 model for temperature and developmental rates of *Scirtothrips dorsalis* on mango.

Life stage	Parameter				R ²	Low temperature threshold (°C)	Optimal temperature (°C)
	ρ ^z	T _L ^y	ΔT ^x	λ ^w			
Egg	0.0090	40.2784	1.3636	-1.0997	0.998	10.6	34.2
1st larva	0.0239	40.2417	3.1224	-1.2844	0.970	10.5	31.5
2nd larva	0.0189	36.1465	0.0811	-1.2183	0.930	10.4	35.6
Pupa	0.0174	36.1324	0.0895	-1.2115	0.934	11.0	35.6
Egg-adult	0.0045	36.3196	0.0877	-1.0488	0.996	10.6	35.6

^z Composite value for critical enzyme-catalyzed biochemical reactions.

^y Thermal maximum.

^x Temperature range over which thermal breakdown becomes the overriding influence.

^w Curve to intersect the abscissa at suboptimal temperatures.

d, 在南瓜上為 20.2 d, 在茄子上為 19.9 d, 在玫瑰上 18.4 d, 在辣椒上為 17.8 d, 相較於本研究中小黃薊馬在椪果葉上 24°C 時僅需 15.0 d, 發育時間明顯比在其他作物上短, 由此推論椪果葉可能更適合小黃薊馬發育生長。

本研究中小黃薊馬在椪果葉上各時期所需的發育時間, 於 16–34°C 之間呈現隨著溫度上升而縮短, 而超過 34°C 時其平均發育時間有增加的趨勢。前人研究小黃薊馬在不同寄主植物如綠茶、珊瑚樹與葡萄上時, 亦得到發育時間隨溫度上升而縮短的相同結論 (Tatara 1994; Shibao 1996; Kang *et al.* 2015)。

溫度對發育速率之影響

以直線迴歸分析小黃薊馬在椪果葉上卵期的發育臨界低溫與發育總積溫分別為 11.1°C 與 90.49 日度, 而 Kang *et al.* (2015) 分析小黃薊馬的卵期在綠茶葉片上的發育臨界低溫與發育總積溫分別為 9.8°C 與 101.5 日度。由於在椪果

葉上小黃薊馬卵的發育臨界低溫比在綠茶葉上高, 因此在低溫的環境下小黃薊馬的卵在椪果上所需發育時間較長, 但在椪果葉上小黃薊馬卵所需的發育總積溫較少, 因此在高溫的環境下所需發育時間相對較短。

小黃薊馬在椪果葉上整個未成熟期的發育臨界低溫為 10.7°C, 其發育總積溫為 206.14 日度, 此結果與 Li (2010) 所分析小黃薊馬在椪果葉上的發育臨界低溫為 11.0°C, 其發育總積溫為 208.4 日度相近。Tatara (1994) 在報告中指出小黃薊馬在珊瑚樹葉上的發育臨界低溫為 9.7°C, 發育總積溫為 265 日度, 相較於本研究的結果, 在發育臨界低溫較低, 而所需發育總積溫較多, 推論或許是寄主植物種類的不同及該研究試驗地區位於為溫帶, 導致小黃薊馬的發育臨界低溫與所需發育總積溫與本研究略有所不同。

本研究以 Lactin-2 非線性迴歸分析推算整個未成熟期的發育臨界低溫為 10.6°C, 此結果

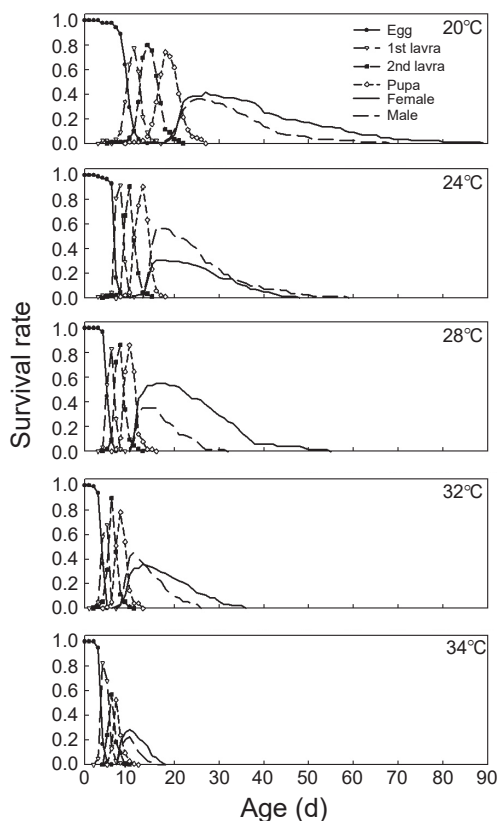


圖 3. 不同恆溫下小黃薊馬各齡期齡別存活率。
Fig. 3. Age-stage-specific survival rate of *Scirtothrips dorsalis* at various constant temperatures.

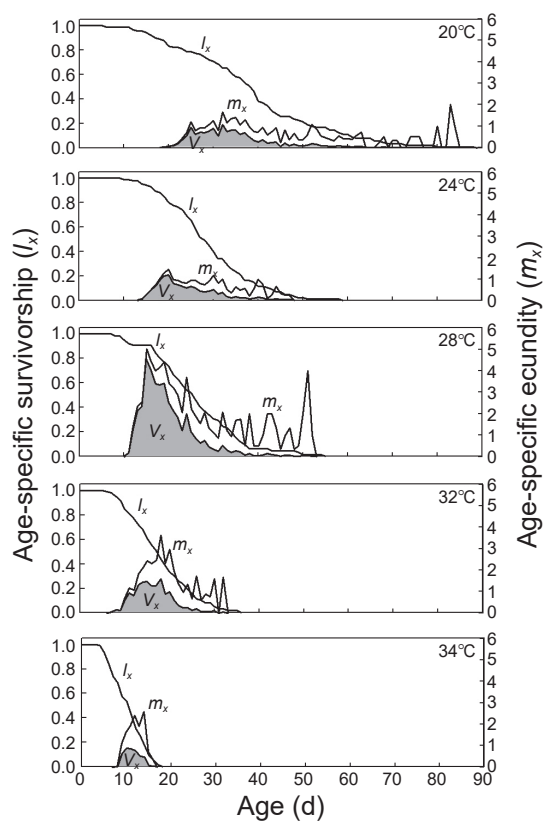


圖 4. 不同恆溫下小黃薊馬之齡別存活率 (l_x)、齡別繁殖率 (m_x) 及繁殖淨值 (V_x)。
Fig. 4. Age-specific survivorship (l_x), fecundity (m_x) and net maternity value (V_x) of *Scirtothrips dorsalis* at various constant temperatures.

表 4. 小黃薊馬於 5 種溫度下在檬果上之族群介量。

Table 4. Population parameters of *Scirtothrips dorsalis* at 5 temperatures on mango.

Temp. (°C)	Intrinsic rate of increase (r_m) (d^{-1})	Net reproductive rate (R_0) (offspring/♀)	Mean generation time (T) (d)	Finite rate of increase (λ) (d^{-1})
20	0.0824 (0.0005) ^z	15.08 (2.46)	32.77 (0.52)	1.0859 (0.0054)
24	0.1055 (0.0088)	11.72 (2.39)	23.13 (0.61)	1.1113 (0.0098)
28	0.2009 (0.0081)	40.82 (5.50)	18.41 (0.31)	1.2226 (0.0099)
32	0.1674 (0.0112)	14.87 (2.63)	16.03 (0.36)	1.1823 (0.0132)
34	0.1155 (0.0158)	4.14 (0.77)	12.15 (0.18)	1.1226 (0.0177)

^z Standard error (SE) is estimated by using Bootstrap method.

於直線迴歸分析所得結果及 Li (2010) 的結果相近。由 Lactin-2 非線性迴歸分析推算整個未成熟期的最適發育溫度為 35.6°C，該結果明顯與 Tataru (1994) 在珊瑚樹上飼養小黃薊馬的觀察結果不同，該報告中指出在 33°C 以上小黃薊馬幼蟲期即無法完成發育，而到 36°C 時小黃薊馬的卵無法孵化。但在本研究中於 34°C 時小黃薊馬可以完成發育，並且有雌成蟲產卵，於 36°C 時小黃薊馬依舊可以完成發育，但羽化之成蟲無雌成蟲，因此推論小黃薊馬在台灣已逐漸適應高於 33°C 的環境。然而在溫度與發育速率之間的迴歸分析中，最適發育溫度僅能說明該溫度為預估小黃薊馬發育速率最快的溫度，但是高溫通常也伴隨著較高的死亡率，因此若要分析溫度對族群增長的影響，應以生命表分析來推算各族群介量，方能精準描述溫度對族群的影響。

生命表分析及其族群介量

由齡期齡別存活曲線中得知，小黃薊馬在 5 種溫度下齡期皆有重疊的現象，這表示在自然界中可以於同一時間觀察到各齡期的小黃薊馬，且隨著溫度升高重疊越明顯，顯示溫度升高導致小黃薊馬發育會有提前的現象。由齡別繁殖率曲線中得知，小黃薊馬會隨著溫度升高而提前進入繁殖期，且曲線呈現右偏的趨勢，因此族群增長的潛力集中於繁殖期前半段，故能夠在短時間內建立大型族群，對作物快速造成嚴重的為害。5 種不同溫度下繁殖淨值面積以 28°C 最大，表示 28°C 對小黃薊馬族群貢獻度較大，此結論與族群介量中於 28°C 時淨繁殖率 (R_0) 最高相同。

小黃薊馬在椪果葉的族群介量中，內在增殖率 (r_m) 均大於 0，顯示小黃薊馬的族群在供試溫度下均呈正成長，於 20–28°C 時隨著溫度上升而增加，在 28°C 時 0.2009 d^{-1} 為最大，之後 28–34°C 時隨溫度上升而降低。淨繁殖率 (R_0) 為族群每世代平均增殖的倍數，即一隻個體一生所繁殖的平均子代數，以 28°C 時增加 40.82 倍明顯高於其他溫度。平均世代時間隨著溫度上升而縮短，以 34°C 為 12.15 d 最短，此結果與 34°C 時小黃薊馬發育所須時間最短相同。終極增殖率 (λ) 與內在增殖率 (r_m) 的關

係為 $\lambda = e^r$ ，故 λ 的變化與 r_m 相似，本研究中 λ 皆大於 1，顯示族群為正成長，且以 28°C 時 1.2226 d^{-1} 為最高，之後隨溫度上升而下降。Seal *et al.* (2010) 於 25°C 時估算小黃薊馬在辣椒與玫瑰的生命表族群介量，相較於本研究中於 24°C 時的族群介量，小黃薊馬在辣椒上的內在增殖率、淨增殖率與終極增殖率與在椪果上較接近，但平均世代時間仍以在椪果葉上較短。由此顯示，椪果較適合小黃薊馬族群增長。

綜合溫度對小黃薊馬個體與族群的影響，當環境溫度在 34°C 以下時，隨著溫度上升，小黃薊馬個體的發育速率就越快，但是幼蟲死亡率增高且成蟲壽命相對縮短，且總產卵量以 28°C 時最多 (Chen *et al.* 2013)。因此以兩性生命表估算不同溫度時之族群介量，發現在 28°C 時為最適合小黃薊馬族群增長的溫度，且由 Lactin-2 非線性迴歸分析中得知 36.1°C 為小黃薊馬的發育臨界高溫，此與 Chen *et al.* (2013) 指出台南地區小黃薊馬在椪果園內 2–6 月為其發生高峰期的情況相符合。故當環境氣溫達 24°C 時，椪果園內應該開始進行小黃薊馬的管理工作，以免當溫度繼續上升時，對椪果品質造成嚴重影響。

引用文獻

- Affandi, A. and C. R. Medina. 2013. Age structure and sex ratio of thrips *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) associating with mango agroecosystem in east Java, Indonesia. *Agrivita* 35:227–236.
- Akköprü, E. P., R. Atlihan, H. Okut, and H. Chi. 2015. Demographic assessment of plant cultivar resistance to insect pests: A case study of the dusky-veined walnut aphid (Hemiptera: Callaphididae) on five walnut cultivars. *J. Econ. Entomol.* 108:378–387.
- Aliakbarpour, H., M. R. Che Salmah, and H. Dieng. 2010. Species composition and population dynamics of thrips (Thysanoptera) in mango orchards of northern peninsular Malaysia. *Environ. Entomol.* 39:1409–1419.
- Campbell, A., B. D. Frazer, N. Gilbert, A. P. Gutierrez, and M. Mackauer. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11:431–438.

- Chen, Y. J., F. C. Lin, Y. C. Chiu, and H. T. Shih. 2013. Effects of temperature on development and reproduction of *Scirtothrips dorsalis* Hood on mango. *J. Taiwan Agric. Res.* 62:351–359.
- Chi, H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol.* 17:26–34.
- Chi, H. 2013. TWSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart-exe-B100000.rar> (visit on 10/5/2018)
- Chiou, K. D. and W. L. Lee. 2012. Mango breeding in Taiwan. p.9–20. *in: Proceedings of the Symposium on Mango Industry Development in Taiwan.* June 28, 2012. Kaohsiung, Taiwan. Taiwan Agric. Res. Inst., Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Colinet, H., B. J. Sinclair, P. Vernon, and D. Renault. 2015. Insects in fluctuating thermal environments. *Annu. Rev. Entomol.* 60:123–140.
- Kang, S. H., J. H. Lee, and D. S. Kim. 2015. Temperature-dependent fecundity of overwintered *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) and its oviposition model with field validation. *Pest Manag. Sci.* 71:1441–1451.
- Kumar, V., G. Kakkar, C. L. McKenzie, D. R. Seal, and L. S. Osborne. 2013. An overview of chillie thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) biology, distribution and management. p.53–77. *in: Weed and Pest Control- Conventional and New Challenges.* (Larramendy, M. L. ed.) IntechOpen. Rijeka, Croatia. 205 pp.
- Lactin, D. J., N. J. Holliday, D. L. Johnson, and R. Craigen. 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24:68–75.
- Li, Y. Z. 2010. The population dynamic, life history and insecticide screening of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). Master Thesis, Department of Plant Medicine, National Pingtung University of Science and Technology. Pingtung, Taiwan. 76 pp. (in Chinese with English abstract)
- Lin, F. C., Y. C. Chiu, H. T. Shih, and C. L. Wang. 2010. Monitoring and integrated management of small insect pest on mango. p.99–107. *in: Proceedings of the Symposium on Production and Pest Management of Mango.* September 23, 2010. Taichung, Taiwan. Taiwan Agric. Res. Inst., Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Morse, J. G. and M. S. Hoddle. 2006. Invasion biology of thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 51:67–89.
- Quinn, B. K. 2017. A critical review of the use and performance of different function types for modeling temperature-dependent development of arthropod larvae. *J. Therm. Biol.* 63:65–77.
- Seal, D. R., W. Klassen, and V. Kumar. 2010. Biological parameters of *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on selected hosts. *Environ. Entomol.* 39:1389–1398.
- Shibao, M. 1996. Effects of temperature on development of the chillie thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae), on grape. *Appl. Entomol. Zool.* 31:81–86.
- Shih, H. T., H. H. Hao, Y. C. Chiu, F. C. Lin, and M. M. Yang. 2013. A revised and annotated checklist of insects and mites of mangos from Taiwan. *Formosan Entomol.* 33:27–51. (in Chinese with English abstract)
- Tatara, A. 1994. Effect of temperature and host plant on the development, fertility and longevity of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.* 29:31–37.
- Wei, M. Y., C. K. Lo, Y. Y. Chuang, and N. T. Chang. 2011. Catch efficiency of the sticky trap for *Scirtothrips dorsalis* Hood in the mango orchard. *Formosan Entomol.* 31:339–349. (in Chinese with English abstract)
- Wen, H. C. and W. J. Wu. 2010. Relationship between population occurrence of mango insect pests and climate factors. p.43–54. *in: Proceedings of the Symposium on Production and Pest Management of Mango.* September 23, 2010. Taichung, Taiwan. Taiwan Agric. Res. Inst., Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)

Temperature-dependent Development and Life Table of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) on Mango

Hsin-Shun Lai¹, Yi-Ju Chen², Yi-Chung Chiu³, and Feng-Chyi Lin^{4,*}

Abstract

Lai, H. S., Y. J. Chen, Y. C. Chiu, and F. C. Lin. 2018. Temperature-dependent development and life table of *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) on mango. *J. Taiwan Agric. Res.* 67(2):181–190.

Scirtothrips dorsalis Hood was raised at 16, 20, 24, 28, 32, 34 and 36°C on mango (*Mangifera indica* L.) to observe the effect of temperature on the developmental times of the immature stages and estimate the population parameters of *S. dorsalis* at 20, 24, 28, 32 and 34°C. The results showed that developmental time of egg, first larva, second larva, pupa and egg to adult stage were 4.1–19.1 d, 1.4–5.7 d, 1.3–8.2 d, 1.5–7.9 d and 8.5–42.0 d at 16–36°C, respectively. The thermal summation was 206.14 degree-days and the low temperature threshold was 10.7°C as calculated by linear regression analysis. The low temperature threshold was 10.6°C and the optimal temperature was 35.6°C as calculated by Lactin-2 nonlinear regression analysis. Population parameters at different temperatures on *S. dorsalis* showed that both the intrinsic rate of increase (r_m) and the finite rate of increase (λ) were the highest at 28°C ($r_m = 0.2009 \text{ d}^{-1}$, $\lambda = 1.2226 \text{ d}^{-1}$), and the lowest was at 20°C ($r_m = 0.0824 \text{ d}^{-1}$, $\lambda = 1.0859 \text{ d}^{-1}$). The reproductive rate (R_0) was the largest at 28°C ($R_0 = 40.82$ offspring/♀), and the smallest was at 34°C ($R_0 = 4.14$ offspring/♀). The mean generation time (T) was the longest at 20°C ($T = 32.77$ d), and the shortest at 34°C ($T = 12.15$ d).

Key words: *Scirtothrips dorsalis*, Mango, Temperature, Developmental rate, Life table.

Received: July 24, 2017; Accepted: September 30, 2017.

* Corresponding author, e-mail: fclin@tari.gov.tw

¹ Assistant Research Fellow, Department of Plant Protection, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

² Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Contract Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

⁴ Associate Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.