

柑橘锈螨 [*Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead)] 在三種柑橘上之族群動態與空間分布

陳柏宏¹ 王泰權¹ 陳祈男² 黃瓊慧³ 黃守宏^{4*}

摘要

陳柏宏、王泰權、陳祈男、黃瓊慧、黃守宏。2018。柑橘锈螨 [*Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead)] 在三種柑橘上之族群動態與空間分布。台灣農業研究 67(2):166–180。

柑橘锈螨 (*Phyllocoptruta oleivora*) 為柑橘類作物的重要害螨，以刺吸式口器吸食葉片或果實表皮，嚴重影響果實商品價值。本研究於 2016 年 1–12 月，調查柑橘锈螨於尤利加檸檬 ('Eureka' lemon)、波斯萊姆 ('Persian' lime) 及茂谷柑 ('Murcott' tangor) 上的田間族群動態與空間分布。結果顯示，3 種柑橘品種中，以小果至大果期為柑橘锈螨族群數量高峰期，且果實為锈螨主要危害對象，老葉次之，新葉上的螨數顯著較少。葉片上，又以葉背螨數多於葉面。果樹不同方位發生的螨數間，無明顯差異。此外，5–10 月的柑橘锈螨密度極低，降雨量與降雨頻度為影響柑橘锈螨田間族群密度的關鍵因子。空間分布分析上，分散指數 (index of dispersion)、平均擁擠度 (Lloyd's index of mean crowding) 及聚集指數 (Lloyd's index of patchiness) 皆顯示，柑橘锈螨族群一般呈現聚集型分布，惟密度極低時則轉為均勻型或逢機型分布。

關鍵詞：柑橘锈螨、族群動態、空間分布。

前言

柑橘锈螨 [citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead)] 屬於蟎蟬亞綱 (Acari) 真蟎總目 (Acariformes) 前氣門目 (Prostigmata) 節蟎科 (Eriophyidae) 之節肢動物，為世界性柑橘類作物之重要害螨，亦是台灣柑橘生產上的重要限制因子 (Lo 2006; Vacante 2009)。其分布範圍極廣，亞洲、美洲、非洲、歐洲及大洋洲地區皆可發現其蹤跡，偏好潮濕、溫熱的環境 (Lindquist *et al.* 1996)。寄主以芸香科 (Rutaceae) 之柑橘屬 (*Citrus*) 與金柑屬 (*Fortunella*) 植物為主，如橙類、寬皮柑類、柚類及金柑類等 (Yothers & Mason 1930)。柑橘锈螨以刺吸式口器為害，葉片、枝條經取食後，常出現褐

色小斑點 (Albrigo & McCoy 1974; Achor *et al.* 1991)，亦可能造成提早落葉現象 (McCoy 1976)。果實被害則會導致果皮木質素增生、表皮細胞內酚化物氧化，產生锈褐色或锈黑色的粗糙表皮。柑橘果實的徵狀也依受害程度與柑橘品種而異，例如，柚類上會呈特有的淚痕狀锈色斑塊；檸檬上則出現龜裂、斑駁的灰白色果皮 (Winston 1920; Griffiths & Thompson 1957; Albrigo & McCoy 1974; McCoy & Albrigo 1975)。此外，受害果的生長、重量、大小、落果率、果汁含量及成分亦會受到影響 (McCoy *et al.* 1976; Allen 1978, 1979a, 1979b; Yang *et al.* 1994)。

柑橘锈螨可行孤雌產雄 (arrhenotokous parthenogenesis) 方式繁衍子代 (Vacante 2009)，

投稿日期：2017 年 7 月 25 日；接受日期：2017 年 9 月 19 日。

* 通訊作者：shhuang@dns.caes.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系助理研究員。台灣 嘉義市。

² 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系助理研究員。台灣 嘉義市。

³ 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系研究助理。台灣 嘉義市。

⁴ 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系副研究員。台灣 嘉義市。

生長發育受多項環境因子影響，溫度為主要的因子之一，於室內定溫環境下，柑橘锈螨於 29°C 的發育速率最高 (Allen *et al.* 1995)，另有報告指出 30–32°C 為锈螨最佳發育溫度 (Ebrahim 2000)。因此，於較溫暖的夏季，柑橘锈螨僅需 7–10 d 即可完成 1 個世代，於冬季則需 14 d 或更長時間 (Yothers & Mason 1930)。濕度亦會影響柑橘锈螨發育，潮濕的環境 (尤其於雨後) 有利锈螨族群增長 (Pratt 1957; Dean 1959)，但亦有研究指出，過多的雨水會導致若螨死亡率增加且影響產卵行為 (Van Brussel 1975)。於多數柑橘類產區，柑橘锈螨為終年發生，一年可發生幾十個以上之世代 (Van Brussel 1975; Vacante 2009; Al-Azzazy 2016)。柑橘锈螨於不同地區、季節的族群密度變化亦不盡相同，如於佛羅里達州，柑橘锈螨田間族群於 5–7 月逐漸增加，至 8 月下旬後則開始減少，但於 10–11 月上旬仍有回升之可能，全年以春、夏季為發生盛期 (Griffiths & Thompson 1957; Albrigo & McCoy 1974; Rogers & Stansly 2016)；在埃及，以 6–9 月為柑橘锈螨密度高峰期，1–2 月及 12 月的密度則最低 (Al-Azzazy 2016)；而於哥斯大黎加 (Costa Rica) 的阿拉胡埃拉 (Alajuela) 省，柑橘锈螨在晚崙西亞橙 (Valencia orange) 的發生盛期為 2 月、3 月及 5 月 (González *et al.* 1985)。

有關柑橘锈螨於寄主株內棲息習性之研究報告甚多，但部分結果差異頗大。不少研究發現，柑橘锈螨似乎為躲避陽光直射，偏好聚集於植株之遮陰處，且以半遮陰處的锈螨密度較全遮陰處者為高 (Yothers & Mason 1930; Albrigo & McCoy 1974; McCoy & Albrigo 1975; Van Brussel 1975; Allen & McCoy 1979)。於葉片與果實之分布上，部分報告指出，葉背上螨數普遍多於葉面 (Yothers & Mason 1930; Vacante 2009)，卻也有研究觀察到葉面螨數顯著多於葉背 (Van Brussel 1975; Al-Azzazy 2016)，或兩者間無差異 (Aghajanzadeh & Mallik 2007)。當果實逐漸成熟時，果實上的柑橘锈螨密度顯著高於葉片 (Yothers & Mason 1930; Albrigo & McCoy 1974; McCoy 1979;

Aghajanzadeh & Mallik 2007; Vacante 2009)。於植株不同方位間，有學者發現柑橘植株北側之柑橘锈螨數量較南側多 (Allen & McCoy 1979)，也有報告指出東側與北側的螨數較多 (Dean 1959)，或單以東側螨數最多 (Aghajanzadeh & Mallik 2007)。然而，依據 Van Brussel (1975) 之紀錄，卻以植株東側為四方方位中螨數最少者。不同高度間，植株底層的螨數似乎較多 (Allen & McCoy 1979; Al-Azzazy 2016)，但仍有研究顯示不同高度間並無顯著差異 (Aghajanzadeh & Mallik 2007)。樹冠內外層間，則以樹冠外層的密度較高 (Vacante 2009)。

台灣地處亞熱帶地區，氣候溫暖且潮濕，各地柑橘產區多為柑橘锈螨合適的棲所。由於瞭解病蟲害於田間之生態，係植物保護上重要的一環，若能深入瞭解柑橘锈螨族群動態與分布，將利於掌握防治時機及達到經濟防治之成效。然而，國內有關此害螨的研究報告不多，加上柑橘锈螨的族群消長與棲息偏好，依地理環境或寄主植物而有甚大的差異 (Yothers & Mason 1930; Vacante 2009)，故難以國外研究準確預估锈螨於台灣本土發生情形。因柑橘種類繁多，本研究針對較具有機栽培潛力之尤利佳檸檬與波斯萊姆，以及近年來經濟價值頗高的茂谷柑。以此三種柑橘為例，調查柑橘锈螨於果園的族群動態與分布，找出锈螨密度高峰期與影響族群變化之重要因子，希冀作為往後柑橘锈螨整合性管理上之參考依據。

材料與方法

柑橘锈螨取樣方法

田間取樣方法參照 Aghajanzadeh & Mallik (2007) 採用之膠帶黏貼法 (adhesive tape method)。此方法係以透明膠帶 (3.5 × 1.9 cm²，四維企業股份有限公司) 平貼於柑橘果實或葉片上，利用膠帶黏性將植株表面的柑橘锈螨粘黏取下，而後再將膠帶黏貼於載玻片以完成取樣。取樣後之膠帶中心位置標記 1 cm² 正方形範圍，並利用解剖顯微鏡檢視該區域內之柑橘锈螨的若、成螨總數量。

柑橘锈螨於果園之族群動態

柑橘锈螨族群動態調查之柑橘品種共 3 種，分別為尤利佳檸檬 (*Citrus × limon* 'Eureka') (簡稱檸檬)、波斯萊姆 (*Citrus × latifolia* 'Persian') (簡稱萊姆) 及茂谷柑 (*Citrus reticulata* × *Citrus sinensis* 'Murcott')，前 2 品種栽培於嘉義縣中埔鄉的有機栽培果園，後者則栽培於嘉義市東區的果園，栽培方式為粗放式管理。調查期間自 2016 年 1–12 月止，每 2 wk 調查 1 次。每品種每次逢機取樣 5 棵植株，每株樹依方位劃分為東、南、西及北方位，每方位逢機選擇 3 顆果實、2 片新葉及 2 片老葉。每一果實與葉片皆取 2 樣本 (2 片膠帶)，果實取樣時避免選擇直射陽光或完全遮陰部位，葉片則正 (葉面)、反 (葉背) 兩面各取 1 樣本。锈螨在植株各部位調查時期分述如下：果實調查時期為結果期，待果徑寬約 2.5 cm 則開始取樣；新葉則於植株抽新梢時取樣。此外，檸檬與萊姆全年皆有產果，但主要產期仍集中於夏季，故本試驗針對 5–8 月的夏季果實進行調查。試驗園區皆吊掛溫濕度紀錄器 (HOBO® U23 Pro-v2, Onset Computer Corporation)，蒐集園區每日均溫度 (daily temperature) 與相對濕度 (daily relative humidity) 之資料。每日降水量 (daily precipitation) 數據則取自交通部中央氣象局的觀測資料查詢系統 (<http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>)，由於該系統並無提供嘉義縣中埔鄉之數據，故以地理位置相鄰近之番路鄉觀測站資料為參考。

柑橘锈螨於果園之株內分布狀況

本試驗探討 3 種柑橘植株不同部位之柑橘锈螨數量差異，分析樣本取自族群動態調查結果。利用適合度檢定 (goodness of fit test) 分別比較柑橘锈螨於老葉和新葉、葉面與葉背，及老葉和果實上之數量差異 ($\alpha = 0.05$)。此外，果實上柑橘锈螨數量之數據經對數轉換 [logarithmic transformation; $\log(X + 1)$]，採用變方分析 (analysis of variance; ANOVA) 比較植株四個方位 (東、南、西及北方位) 果實上柑橘锈螨數量間的差異，若差異達顯著水

準 ($\alpha = 0.05$)，則以 Tukey's honest significant difference (HSD) test 進行事後多重比較 ($\alpha = 0.05$)。試驗數據利用 R project (version 3.2.3) 軟體分析。

柑橘锈螨於果園之空間分布

三種柑橘品種上柑橘锈螨之空間分布模式，係以族群動態調查所採集果實、老葉葉面及葉背上锈螨樣本之平均值 (mean; m) 與變方 (variance; S^2) 兩參數進行分析，若當次調查植株上柑橘锈螨族群密度為 0，則不進行後續分析。本研究採用 3 種常用之空間分布指數以推測空間分布模式，分別為分散指數 (index of dispersion; ID)、平均擁擠度 (Lloyd's index of mean crowding; m^*) 及聚集指數 (Lloyd's index of patchiness; $m^* m^{-1}$) (Lloyd 1967)。分散指數計算公式為 $S^2 m^{-1}$ ；平均擁擠度指數計算公式為 $m^* = m + S^2 m^{-1}$ ；聚集指數計算公式則為 $m^* m^{-1}$ 。三種指數若 < 1 、 $= 1$ 及 > 1 ，則分別表示均勻型 (regular)、逢機型 (random) 及聚集型 (contagious) 分布。

結果

柑橘锈螨於果園之族群動態

柑橘锈螨族群動態調查為期 1 年，自 2016 年 1 月至同年 12 月，共計調查 26 次。每次於柑橘果實、老葉、新葉所調查之柑橘锈螨總數及單位面積 (1 cm^2) 平均數量如表 1 所示。於檸檬老葉，葉背上锈螨密度自 3 月底起逐漸上升，4 月下旬至 5 月上旬達高峰，每平方公分最高密度達 4.2 隻，5 月下旬與 6 月上旬之葉背锈螨密度則下降為 1.0 與 1.6 隻，此後密度皆幾近於 0.0 隻，直至 11 月底锈數上升為 2.0 隻。於檸檬葉面上，锈螨密度較晚於 4 月下旬才上升，5 月上旬達 4.3 隻，而後數量亦大幅下降。於檸檬新葉上，無論葉面或葉背的锈螨數量皆相當低，整體平均密度於 0.3 隻以下。於檸檬果實上，首次 (5 月 10 日) 調查之锈螨密度為全年度最高，平均為 30.3 隻，而後锈螨數量開始下降，自 6 月下旬至 8 月下旬之锈螨密度極低，僅約 0.1 隻。於萊姆，葉片與果實上的锈螨密度幾近於 0.0 隻，但果實上仍以

表 1. 柑橘锈螨于檸檬、萊姆及茂谷柑植株上每平方公分的平均密度。

Table 1. Mean density of rust mites on different parts of lemon, lime, and tangor in 2016.

Date	'Eureka' lemon						'Persian' lime						'Murcott' tangor					
	Old leaf		Young leaf		Fruit	Date	Old leaf		Young leaf		Fruit	Date	Old leaf		Young leaf		Fruit	
	Upper surface	Lower surface	Upper surface	Lower surface			Upper surface	Lower surface	Upper surface	Lower surface			Upper surface	Lower surface	Upper surface	Lower surface		
Jan-8	-	-	-	-	-	Jan-8	-	-	-	-	-	Jan-8	1.8	6.0	42.2			
Jan-19	-	-	-	-	-	Jan-19	-	-	-	-	-	Jan-20	1.7	8.8	20.6			
Feb-3	0.0	0.1	-	-	-	Feb-3	-	-	-	-	-	Feb-4	0.7	6.8	-			
Feb-17	-	-	-	-	0.1	Feb-17	0.1	-	0.0	-	-	Feb-17	1.4	8.3	-			
Mar-1	-	-	-	-	-	Mar-1	-	-	-	-	-	Mar-2	1.8	9.4	-			
Mar-16	-	0.6	0.0	-	-	Mar-16	-	-	-	-	-	Mar-17	0.4	10.3	-			
Mar-29	-	1.3	-	0.2	-	Mar-29	-	-	-	-	-	Mar-30	0.1	3.2	0.0			
Apr-12	0.1	1.1	-	0.2	0.0	Apr-12	0.0	-	-	-	-	Apr-14	-	3.6	0.0			
Apr-26	2.1	4.2	-	-	-	Apr-26	-	-	-	-	-	Apr-27	0.1	0.9	0.1			
May-10	4.3	3.5	-	-	30.3	May-10	0.0	0.1	-	0.1	0.1	May-10	-	0.4	-			
May-24	0.4	1.0	-	-	3.2	May-24	-	-	-	0.0	0.0	May-26	0.1	0.1	0.5			
Jun-7	0.8	1.6	-	-	8.0	Jun-7	0.0	0.0	-	0.0	0.0	Jun-8	0.2	0.1	0.4			
Jun-21	-	-	-	-	0.2	Jun-21	-	-	-	-	-	Jun-23	-	0.4	1.4			
Jul-5	-	-	-	0.0	0.0	Jul-5	-	-	-	0.0	0.0	Jul-6	-	-	0.0			
Jul-19	-	-	-	-	0.1	Jul-19	-	0.0	-	0.0	0.0	Jul-20	-	-	-			
Aug-2	-	0.1	-	-	0.1	Aug-2	0.0	0.0	-	0.0	0.0	Aug-3	-	-	0.1			
Aug-16	-	0.2	-	-	0.1	Aug-16	-	-	-	-	-	Aug-18	-	0.1	1.1			
Aug-30	-	-	-	-	0.0	Aug-30	-	-	-	0.0	0.0	Sep-1	-	-	0.4			
Sep-13	-	-	-	-	-	Sep-13	-	-	-	-	-	Sep-13	0.1	-	1.2			
Sep-26	-	0.1	-	-	-	Sep-26	-	-	-	-	-	Sep-26	0.1	0.5	2.9			
Oct-11	-	-	-	-	-	Oct-11	-	-	0.0	0.1	-	Oct-12	-	0.0	1.2			
Oct-24	-	0.1	-	-	-	Oct-24	0.0	-	-	-	-	Oct-26	0.1	0.4	7.4			
Nov-8	0.1	0.0	-	0.1	-	Nov-8	0.0	-	0.0	-	-	Nov-9	0.1	0.2	4.3			
Nov-25	0.3	2.0	0.3	1.9	-	Nov-25	0.0	0.1	0.0	0.1	-	Nov-22	0.7	1.3	10.1			
Dec-6	0.1	0.6	-	-	-	Dec-6	-	0.0	-	-	-	Dec-7	0.2	1.2	5.9			
Dec-20	-	0.2	-	-	-	Dec-20	-	-	-	-	-	Dec-22	0.1	0.8	1.3			

^z The dash in each grid means the value was not available, and the space means there were no young leaves or fruits for sampling.

5 月上旬的銹蟎密度最高 (0.1 隻)，而後逐漸降低，其變化趨勢與檸檬果實上略為相似，而葉片上則無明顯趨勢。於茂谷柑老葉上，1-3 月的銹蟎密度為全年度最高，葉面、葉背上的最高密度分別達 1.8 與 10.3 隻，4 月下旬後的銹蟎數量則大幅減少，7-9 月間幾乎無發現銹蟎蹤跡，11 月下旬方略微回升。於茂谷柑新葉上，蟎數皆相當少，最高密度僅 0.2 隻。於茂谷柑果實上，銹蟎密度調查分為兩部分，前半部分 (1 月) 係調查去年 (2015 年) 所結果實，後半部分則自 5 月起，調查對象為本年度所結果實。其中，1 月之柑橘銹蟎密度最高，2 次調查結果分別為 42.2 與 20.6 隻，5-8 月間，茂谷柑果實上的銹蟎密度甚低，平均約 0.5 隻，自 9 月起，銹蟎數量方有回升的趨勢，11 月下旬之密度達 10.1 隻。

觀察期間的日均溫、日均相對濕度及每日降水量分別如圖 1、2 所示。氣溫變化上，兩調查地點於 1-3 月之氣溫較低，月均溫為 15.8-18.7°C，其中 1 月 24 日恰逢寒流，為全年度均溫最低日，日均溫僅 5.2-5.5°C；另一方面，氣溫較高月份為 4-10 月，月均溫皆達 25°C 以上。全年度的相對溼度變化上，兩地點之日均相對濕度多約為 70-90%，月均相對濕度亦集中於 80-90%。關於降雨量，兩地點全

年皆有降雨，但以 5 月下旬至 10 月間的降雨量較高且連續，降雨主要原因除鋒面鋒雨 (梅雨) 與對流雨以外，於 7 月上旬、9 月中旬及下旬侵台之颱風亦皆帶來豐沛雨量 (交通部中央氣象局-颱風資料庫，http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/ty_warning)。

柑橘銹蟎於果園之株內分布狀況

柑橘銹蟎於 3 種柑橘上全年調查結果，如表 1 所示。於檸檬之老葉、新葉及果實，所調查的柑橘銹蟎累計數量分別為 974、110 及 5,042 隻，於萊姆之老葉、新葉及果實，累計數量分別為 18、13 及 23 隻，於茂谷柑之老葉、新葉及果實，則分別為 2,881、13 及 12,114 隻。由於萊姆上柑橘銹蟎數量過低，全年度總計僅 54 隻，故不進行後續分布狀況之分析。

柑橘銹蟎於檸檬與茂谷柑的老、新葉上之密度差異分析 (圖 3)，調查資料中扣除銹蟎總數皆為 0 的調查點，於檸檬上，老葉之蟎數 (平均密度為每平方公分 0.1-0.6 隻) 顯著多於新葉 (0.0-0.1 隻) 的調查點計有 5 次；老、新葉上蟎數間無顯著差異的調查點則計有 6 次，其中僅 11 月 25 日調查之老、新葉上蟎數皆約為 1.1 隻，其餘調查點之銹蟎密度皆趨於 0.0 隻。於茂谷柑上，老葉之蟎數 (0.5-1.8 隻) 顯

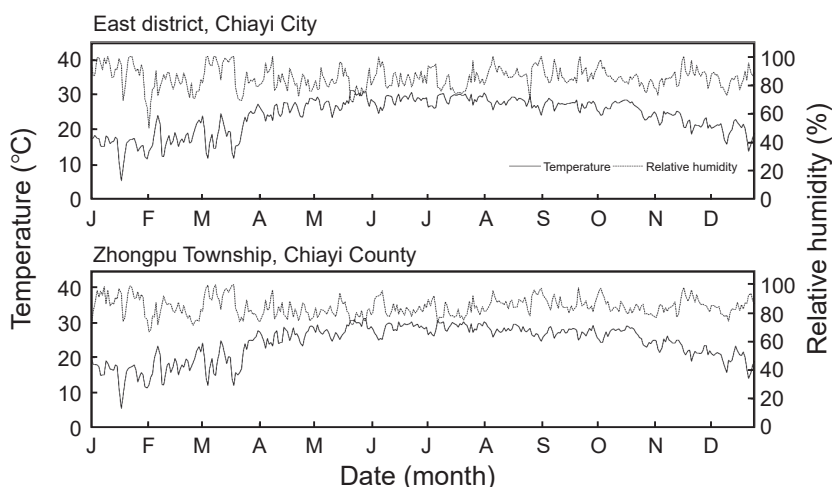


圖 1. 2016 年嘉義市東區與嘉義縣中埔鄉試驗點之日均溫與日均相對濕度變化圖。

Fig. 1. The mean daily temperature and relative humidity at East District, Chiayi City and Zhongpu Township, Chiayi County in 2016.

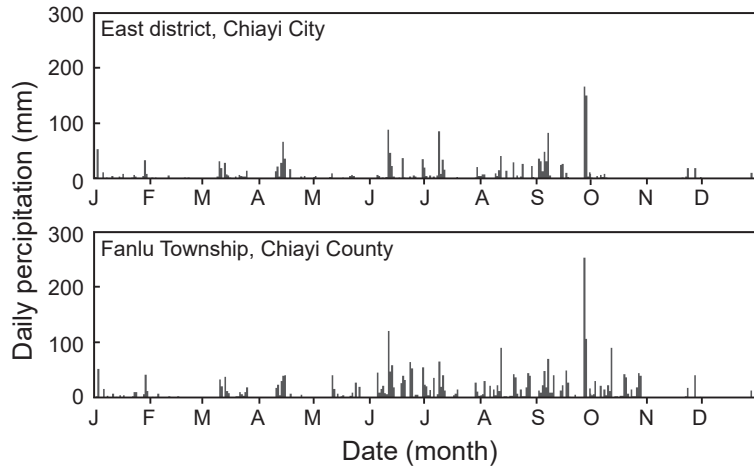


圖 2. 2016 年嘉義市東區與嘉義縣中埔鄉試驗點之每日降水量。

Fig. 2. The daily precipitation at East District, Chiayi City and at Fanlu Township, Chiayi County, in 2016.

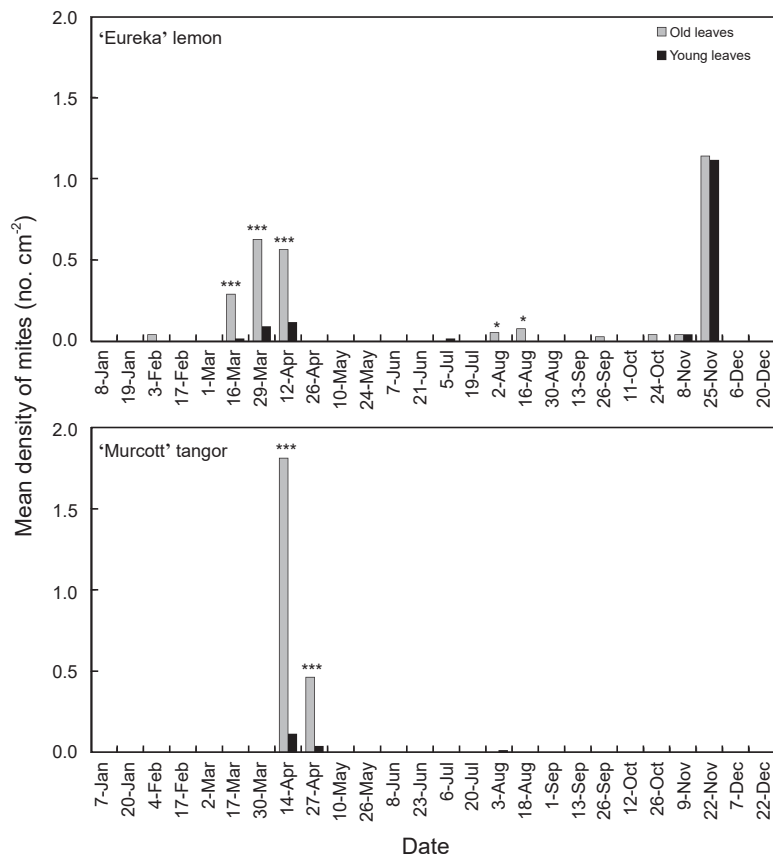


圖 3. 柑橘锈螨於檸檬與茂谷柑的老、新葉上之密度差異。(僅列舉各部位數據同時皆具之調查點)

Fig. 3. Differences between the mean density of rust mites on old and young leaves, on 'Eureka' lemon and 'Murcott' tangor. (Only the sampling dates with the mites on each part appearing simultaneously were showed.) ***, **, *: Bars on the same date with 1, 2 and 3 asterisks are significant different by goodness of fit test at 5, 1 and 0.1%, respectively.

著多於新葉 (0.0–0.1 隻) 的調查點計有 2 次；老、新葉上蟎數間無顯著差異的調查點則計有 1 次。

柑橘锈蟎於檸檬與茂谷柑的老葉葉面、葉背上之密度差異分析 (圖 4)，調查資料中扣除锈蟎總數皆為 0 的調查點，於檸檬上，葉背之蟎數 (0.1–4.2 隻) 顯著多於葉面 (0.0–2.1 隻) 的調查點計有 11 次；葉面、葉背上蟎數間無顯著差異的調查點計有 5 次。於茂谷柑上，葉背之蟎數 (0.4–10.3 隻) 顯著多於葉面 (0.0–1.8 隻) 的調查點計有 16 次；葉面、葉背上蟎數間無顯著差異的調查點則計有 6 次。此外，兩柑橘品種上未達顯著差異之調查點，其葉面、葉背的蟎數相當少，皆未超過 10 隻。

柑橘锈蟎於檸檬與茂谷柑的老葉與果實上之密度差異分析 (圖 5)，調查資料中扣除锈蟎總數皆為 0 的調查點，於檸檬上，果實之蟎數 (0.1–30.3 隻) 顯著多於老葉 (0.0–3.9 隻) 的調查點計有 5 次；果實與老葉上蟎數間無顯著差異的調查點計有 4 次。於茂谷柑上，果實之蟎數 (0.1–42.2 隻) 顯著多於老葉 (0.0–5.3 隻) 的調查點計有 16 次；果實與老葉上蟎數間無顯著差異的調查點則計有 2 次。關於未達顯著差異之調查點，其老葉及果實上的蟎數極少，最多僅 13 隻锈蟎。

柑橘锈蟎於檸檬與茂谷柑的不同方位上之密度差異分析 (表 2)，於檸檬植株上，各次調查中僅 8 月 16 日結果達顯著差異 ($F_{3,112} =$

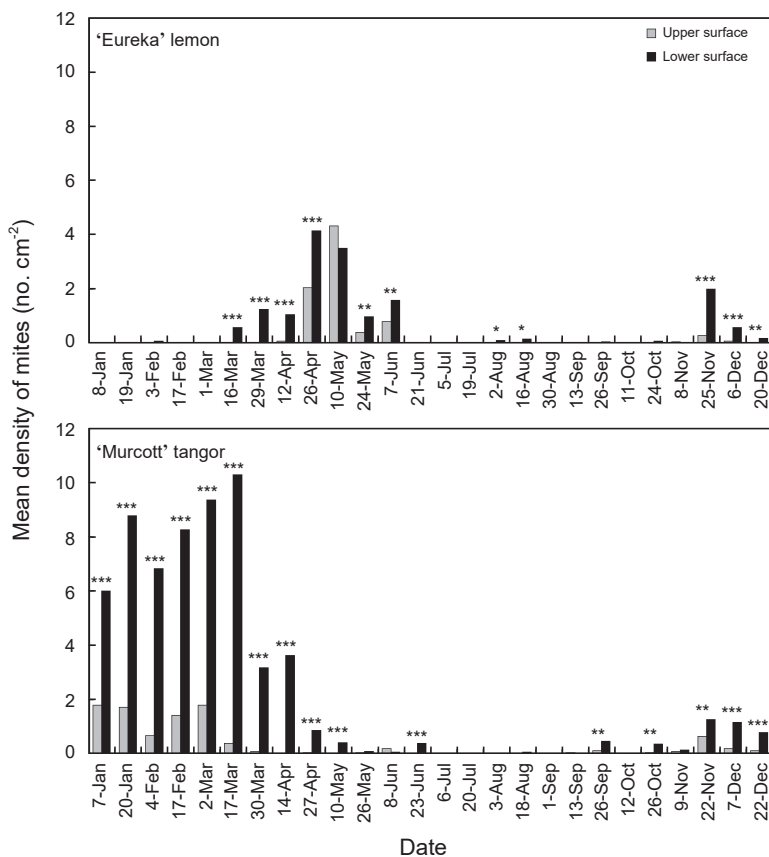


圖 4. 柑橘锈蟎於檸檬與茂谷柑的老葉葉面、葉背上之密度差異。(僅列舉各部位數據同時皆具之調查點)

Fig. 4. Differences between the mean density of rust mites on upper and lower surfaces of old leaves, on 'Eureka' lemon and 'Murcott' tanger. (Only the sampling dates with the mites on each part of plant appearing simultaneously were showed.) ***, **, *: Bars on the same date with 1, 2 and 3 asterisks are significant different by goodness of fit test at 5, 1 and 0.1%, respectively.

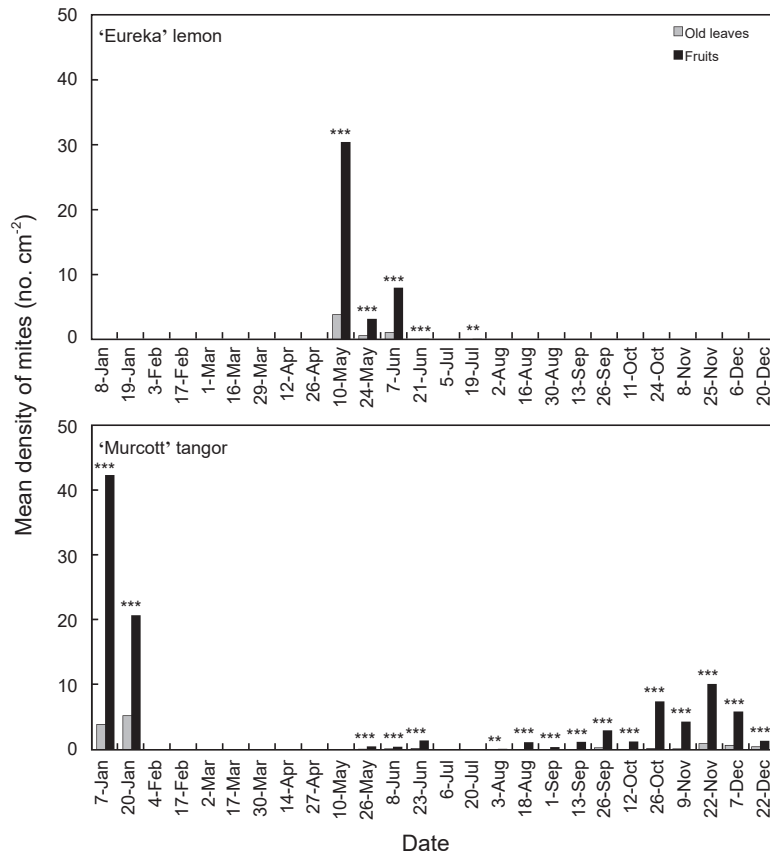


圖 5. 柑橘锈螨於檸檬與茂谷柑的老葉、果實上之密度差異。(僅列舉各部位數據同時皆具之調查點)

Fig. 5. Differences between the mean density of rust mites on the old leaves and fruits, on 'Eureka' lemon and 'Murcott' tangor. (Only the sampling dates with the mites on each part appearing simultaneously were showed.) * ** ***: Bars on the same date with 1, 2 and 3 asterisks are significant different by goodness of fit test at 5, 1 and 0.1%, respectively.

表 2 柑橘锈螨於柑橘植株不同方位之平均密度。

Table 2. Mean density of rust mites in 1 cm² area in different directions of the tree.

Fruiting period ^z	Mean density of mites (No. mites cm ⁻²)			
	North	East	South	West
Lemon				
Aug-16	0.2 a ^y	0.1 b	0.0 b	0.2 a
'Murcott'				
Jan-7	75.9 a	26.9 ab	11.2 b	54.8 a
Jan-20	40.3 a	17.4 a	3.7 b	21.1 ab
Sep-1	0.3 ab	0.8 a	0.3 ab	0.1 b
Oct-26	16.2 a	5.1 b	2.1 b	6.2 ab
Dec-7	5.1 b	9.3 a	6.4 b	2.6 b

^z Only the values of dates with significant difference in directions were showed.

^y Values within a row followed by the same letter are not significantly different at the 5% level of probability ($P < 0.05$).

0.023, $P < 0.05$), 以北方與西方密度較高, 平均密度皆約為 0.2 隻, 南方則為四方位中最低 (蟎數為 0 隻)。於茂谷柑植株上, 各次調查結果中有 5 次調查點達顯著差異, 分別為 1 月 7 日 ($F_{3,112} = 6.021, P < 0.001$)、1 月 20 日 ($F_{3,112} = 6.343, P < 0.001$)、9 月 1 日 ($F_{3,112} = 3.813, P < 0.05$)、10 月 26 日 ($F_{3,112} = 6.113, P < 0.001$) 及 12 月 7 日 ($F_{3,112} = 2.943, P < 0.05$)。其中, 南方密度顯著低於其他方位之調查點計有 4 次, 僅 1 次調查結果顯示與其他方位間無顯著差異。

柑橘锈螨於果園之空間分布

柑橘锈螨於 3 種柑橘品種上之分散指數、平均擁擠度及聚集指數, 分別如圖 6-8 所示。扣除锈螨總數皆為 0 的調查點, 於檸檬與茂谷柑上, 當柑橘锈螨平均密度 > 0.1 隻, 3 種空間分布指數亦多呈聚集型分布, 而當平均密度 $< \text{或} = 0.1$ 隻, 3 種空間分布指數則轉為呈現均勻型或逢機型分布。於萊姆上, 三種空間分

布指數多為 $= 1$, 以逢機型分布為主。整體而言, 於檸檬與茂谷柑的果實、老葉 (葉面與葉背) 上, 柑橘锈螨多呈聚集型分布, 惟密度極低時 ($< \text{或} = 0.1$ 隻), 則可能呈現均勻型或逢機型分布。於萊姆植株的果實與葉片上, 全年的柑橘锈螨密度皆相當低 (< 0.1 隻), 且族群多為逢機型分布。

討論

本研究於檸檬的調查結果與多數報告相似, 柑橘锈螨族群以春、夏為高峰。另一方面, 由於茂谷柑於台灣的果期較早 (1-2 月採收), 有別於其他文獻的柑橘種類, 故柑橘锈螨集中於結果期的秋、冬季發生, 而與檸檬及往昔文獻所載於其他柑橘品種上之發生高峰期不同 (表 1)。在世界柑橘類產區, 柑橘锈螨於全年的族群動態變化上, 多以較溫暖的春、夏兩季為密度高峰期, 但因氣候環境及寄主品種的差異, 族群變化上仍有些許不同。如於佛羅里達州之晚崙西亞橙果園, 發現, 柑橘锈螨在

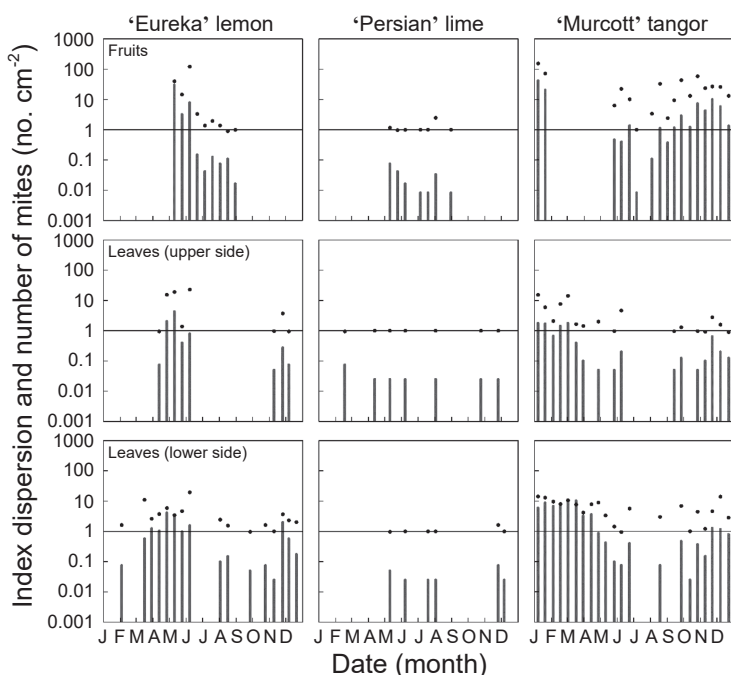


圖 6. 柑橘锈螨於 3 種柑橘植株上之分散指數 (黑色圓圈) 與族群密度 (灰色直條)。

Fig. 6. The indices of dispersion (solid circle) and population density (grey bar) of the citrus rust mites on three varieties of citrus plants.

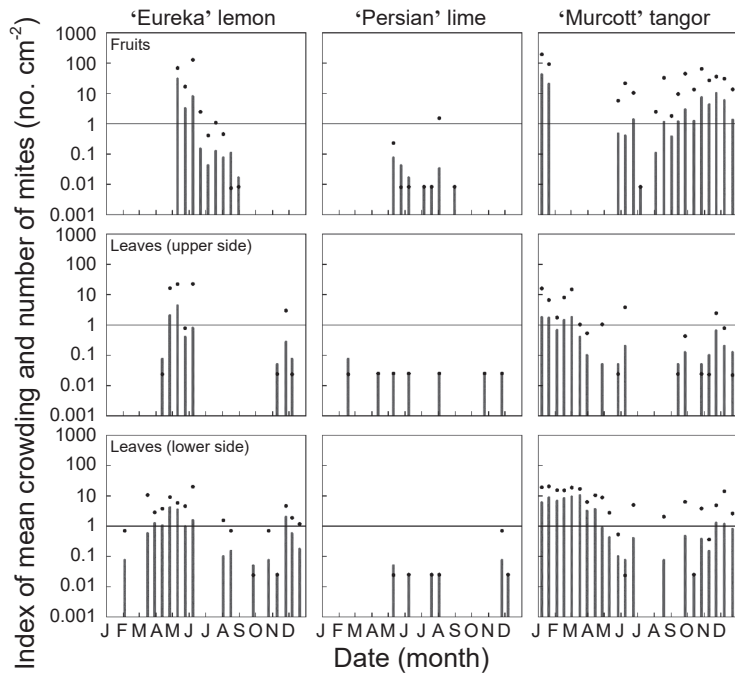


圖 7. 柑橘锈螨於 3 種柑橘植株上之平均擁擠度 (黑色圓圈) 與族群密度 (灰色直條)。

Fig. 7. The indices of mean crowding (solid circle) and population density (grey bar) of the citrus rust mites on three varieties of citrus plants.

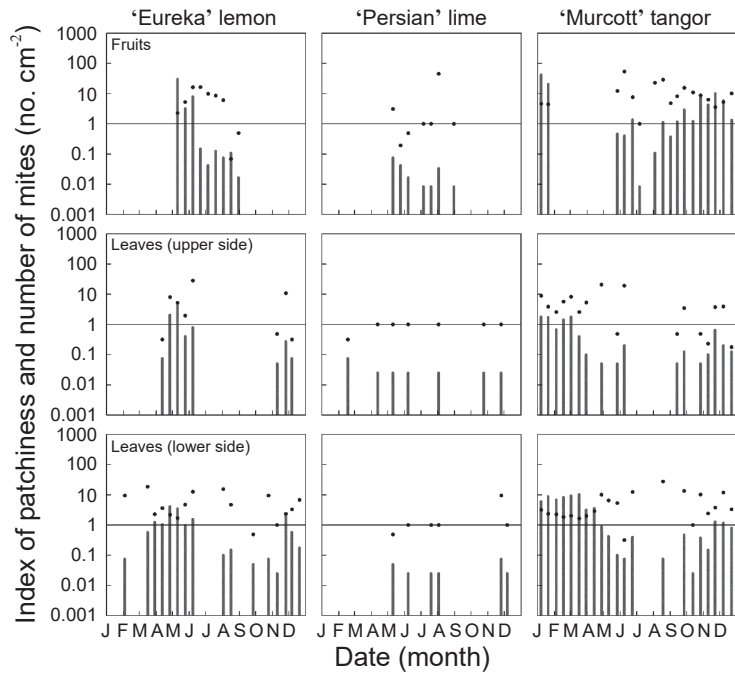


圖 8. 柑橘锈螨於 3 種柑橘植株上之聚集指數 (黑色圓圈) 與族群密度 (灰色直條)。

Fig. 8. The indices of patchiness (solid circle) and population density (grey bar) of the citrus rust mites on three varieties of citrus plants.

葉片與果實上的族群數量，自 5 月起迅速攀升，7-8 月達最高峰，8 月下旬後則又快速下降 (Albrigo & McCoy 1974)。相同地，於埃及的布海拉 (Buhaira) 省，華盛頓臍橙 (Washington Navel orange) 植株上的柑橘锈螨族群，亦約在 6-9 月達發生盛期，平均每葉、果上最高紀錄分別達 49 與 71 隻柑橘锈螨 (Al-Azzazy 2016)。然而，位於緯度更低的地區，例如哥斯大黎加的阿拉胡埃拉省，晚崙西亞橙上的柑橘锈螨密度卻以 2 月、3 月及 5 月為高峰期，而造成其餘月份族群數量較低的原因，應與環境相對濕度及降雨有所關聯 (González *et al.* 1985)。在蘇利南，柑橘锈螨於葡萄柚上，則集中於非雨季的 9-11 月及 2-3 月發生 (Van Brussel 1975)。

自 5 月下旬後，本研究結果顯示檸檬上的柑橘锈螨族群數量不如預期增加，反之銳減，甚至趨近於零，於茂谷柑上亦有螨數密度較低的類似趨勢。調查期間，於 5-8 月 (檸檬結果期) 的氣溫與相對濕度皆相當穩定，日均溫普遍超過 25°C，日均相對濕度則多為 70-90% (圖 1)。但降雨量上，5 月下旬至 10 月的降雨量較高且密集，中埔鄰近地區以 6-10 月的日均降水量逾 20 mm 之日數則計有 54 d，嘉義市雨量則較少，但仍有 30 d 的日均降水量逾 20 mm (圖 2)。事實上，環境溫度、相對濕度及降雨等因素，皆會影響柑橘锈螨發生。有關溫度對柑橘锈螨的發育與族群動態之研究，柑橘锈螨最適發育溫度為 30-32°C，11.07°C 則為發育臨界低溫 (Allen *et al.* 1995; Ebrahim 2000)，而於 23-32°C 的環境溫度下，锈螨自卵發育至成螨所需有效積溫為 330.07 degree-days (Vacante 2009)。此外，隨著環境溫度降低，锈螨的死亡率亦有提高的趨勢，於 17°C 下的锈螨死亡率高達 53.06% (Ebrahim 2000)。因此，锈螨於溫暖的環境下發育快速，低溫則有礙锈螨生長發育，亦可能造成田間族群高峰期推遲 (Yothers & Mason 1930)。相對濕度對於锈螨發生動態之研究指出，濕度較高的環境有助於柑橘锈螨生長，過於乾燥反而不利 (Pratt 1957; Dean 1959; Reed *et al.* 1964)。有關降雨對柑橘锈螨族群的影響，Yothers & Mason (1930) 認為，

雨水僅能將植株上少部分的锈螨刷落，雨後適合寄生螨類的蟲生真菌發生之潮濕環境，才為锈螨族群減少的主因。Van Brussel (1975) 則指出，降雨對柑橘锈螨發育具直接性地負面影響，會造成若螨死亡率增加、影響產卵行為。基於往昔文獻與本研究結果，中埔地區的溫度與相對濕度，應相當適合锈螨生長。反之，由於當年度的雨量豐沛且密集，降雨量遠超過上述文獻之紀錄，又因所調查之檸檬、茂谷柑樹齡僅 3-5 年，供柑橘锈螨遮蔽的樹冠有限，連續大雨應足以沖刷掉植株上多數的锈螨。因此，推測於春、夏季的連續降雨，為本次調查的柑橘植株上锈螨族群數量銳減主因之一。

柑橘锈螨於 3 種柑橘之分布上，不同部位的锈螨密度以果實最高，老葉次之，新葉上往往最低，且普遍以葉背的螨數顯著多於葉面 (圖 3、4、5)。事實上，不少往昔研究於不同柑橘品種上，亦觀察到果實上柑橘锈螨密度較葉片高 (Yothers & Mason 1930; Albrigo & McCoy 1974; Aghajanzadeh & Mallik 2007; Vacante 2009)、葉背螨數多於葉面之現象 (Yothers & Mason 1930; Vacante 2009)。而據 McCoy (1979) 觀察，柑橘锈螨於春季 (3 月下旬)，會由舊梢往新梢之葉背或嫩枝條移動，且族群於新梢上的增殖率與數量較高。相較之下，本研究於 3 種柑橘植株上，並無觀察到新梢螨數較多的情形，僅檸檬春稍期的新葉上螨數呈逐漸增加之趨勢。如前段所推測，由於嘉義地區於當年度的雨水豐沛，造成葉片上螨數於 5 月下旬後即迅速減少，柑橘锈螨難以於新葉上建立大量族群，故於新、老葉上的發生狀況與 McCoy (1979) 的報告不同。

柑橘锈螨於柑橘不同方位上的分布，顯示锈螨無偏好於特定方位，僅少數呈現方位上之差異，其中多又以南方的密度較低 (表 2)。事實上，許多研究報告於此方面的研究結果不盡相同，例如，於印度的苦橙 (*Citrus × aurantium*) 與甜萊姆 (*Citrus limetta*, mosambi fruit) 果園，Aghajanzadeh & Mallik (2007) 觀察到植株東方螨數最多，而 Van Brussel (1975) 於蘇利南卻發現東方最少。由於陽光為影響柑橘锈螨分布的因素之一，而受日照程度較高之

方位的螨數往往較少 (Yothers & Mason 1930; Albrigo & McCoy 1974; Van Brussel 1975; Allen & McCoy 1979; Vacante 2009)。又因世界各地之地理環境不同，日照、風向等因子皆異，故而各地調查結果不一。以位於北半球的台灣而言，植株南方受日照時間較長，此或許係南方柑橘锈螨偶有數量較少的原因之一。

有關柑橘锈螨於植株上的空間分布型態，於漢林橙 ('Hamlin' orange) 與晚崙西亞橙，锈螨族群一般多呈現聚集型分布，惟密度過低時例外 (Hall *et al.* 1994)，Peña & Baranowski (1990) 於墨西哥萊姆，亦觀察到相似結果。除柑橘锈螨以外，其他種類之節螨，甚至不同科的螨類，如葉螨、細螨等，亦常以聚集型態棲息於田間 (Peña & Baranowski 1990; Zhang & Sanderson 1995; Li & Chen 2015)。相同地，本研究結果顯示，柑橘锈螨於檸檬、茂谷柑上，族群普遍呈現聚集型分布，惟族群數量降至極低 (= 或 < 0.1 隻)，則可能出現均勻型或叢機型分布 (圖 6、7、8)。此外，儘管 6–10 月間降雨頻繁，檸檬、茂谷柑上螨數較少，但锈螨族群仍多呈現聚集型分布。由於柑橘锈螨係借靠風力於不同植株間移動移動 (Bergh & McCoy 1997; Bergh 2001)，且能行孤雌生殖繁衍子代 (Vacante 2009)。因此，大雨雖造成族群數量下降，但倘若環境合適，锈螨仍能隨風飄散至周遭寄主並建立族群，故仍呈聚集型分布。反之，儘管於萊姆上的柑橘锈螨數量亦相當低，卻少有呈現聚集型分布，故推測锈螨難以於萊姆植株上正常生存或繁衍後代。

全年於萊姆所採集的柑橘锈螨總數僅有 54 隻，遠少於檸檬與茂谷柑上之數量。本研究調查之萊姆、檸檬果園相鄰，兩品種果期相近，且萊姆園內亦交錯栽種不少檸檬植株，兩園區之地理環境及柑橘锈螨感染機率應雷同，然而兩品種間的柑橘锈螨數量卻差異甚大。Huang (1966) 曾於台灣之波斯萊姆上採集到柑橘锈螨，故將波斯萊姆視為寄主植物，惟該文獻並無記載所採集之锈螨數量。與波斯萊姆不同，不少報告於墨西哥萊姆或甜萊姆上皆觀察到為數不少的柑橘锈螨 (Yothers & Mason 1930; Peña & Baranowski 1990; Aghajanzadeh

& Mallik 2007)。另一方面，Yothers & Mason (1930) 調查柑橘锈螨對不同品種柑橘 (或雜交種) 及其他芸香科植物之偏好性，其中柑橘屬與金柑屬植物上皆有發現柑橘锈螨，但於數量上卻有所差異，顯示锈螨對不同柑橘品種的偏好程度不一，例如 *Citrus faustrime* 上的螨數即相當少，其報告在近 3 年的調查中，有 2 年幾乎沒發現锈螨蹤跡。因此，或許寄主偏好性差異之故，以至於锈螨不易於波斯萊姆上繁衍後代，而本研究亦將持續相關試驗以驗證此推測。

台灣四季普遍溫暖、多濕，適宜柑橘锈螨發生，而透過本研究結果與往昔文獻可得知，柑橘锈螨族群動態與環境溫度、濕度、日照等地理環境之關係密不可分，各地區影響锈螨之主因亦不相同 (Vacante 2009)。本研究結果亦顯示，檸檬與茂谷柑之結果期為锈螨好發的時間點，小果期即可發現其蹤跡。植株不同部位中，以果實上锈螨數量最多，其次為老葉，葉背螨數亦較葉面多。此外，連續且頻繁之降雨，會導致锈螨族群數量減少，但锈螨仍能於環境適合時重新建立族群。因此，於柑橘锈螨好發的檸檬、茂谷柑果園，建議於小果期前即開始防治，且針對锈螨密度可能較高的果實與葉背加強施藥，應該達到較佳的族群抑制效果。儘管如此，因近幾年來的極端氣候事件愈趨頻繁，全年乾旱或暴雨之情況時有發生，已難就單年度調查結果推論往後之族群動態。是故，本研究將持續進行，以便獲得更多柑橘锈螨之相關資訊，藉此評估锈螨族群於不同氣候下的發生狀況。

誌謝

本研究承蒙廖治榮先生協助螨類鑑定，及嘉義農業試驗分所研究室同仁朱宜芬小姐、周紹宸先生協助試驗進行，謹此致謝。

引用文獻

- Achor, D. S., L. G. Albrigo, and C. W. McCoy. 1991. Developmental anatomy of lesions on 'Sunburst' mandarin leaves initiated by citrus rust mite feeding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:663–668.

- Aghajanzadeh, S. and B. Mallik. 2007. Sampling and distribution pattern of citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* Ashmead (Acari, Eriophyidae) using adhesive tape method. *Intl. J. Agric. Biol.* 9:329–332.
- Al-Azzazy, M. M. 2016. Population fluctuation and control of the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Arachnida: Prostigmata: Eriophyidae). *J. Agric. Vet. Sci.* 9:175–186.
- Albrigo, L. G. and C. W. McCoy. 1974. Characteristic injury by citrus rust mite to orange leaves and fruit. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 87:48–55.
- Allen, J. C. 1978. The effect of citrus rust mite damage on citrus fruit drop. *J. Econ. Entomol.* 71:746–750.
- Allen, J. C. 1979a. Effect of citrus rust mite damage on citrus fruit growth. *J. Econ. Entomol.* 72:195–201.
- Allen, J. C. 1979b. The effect of citrus rust mite damage on fruit drop in three citrus varieties. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 92:46–48.
- Allen, J. C. and C. W. McCoy. 1979. The thermal environment of the citrus rust mite. *Agric. Meteorol.* 20:411–425.
- Allen, J. C., Y. Yang, and J. L. Knapp. 1995. Temperature effects on development and fecundity of the citrus rust mite (Acari: Eriophyidae). *Environ. Entomol.* 24:996–1004.
- Bergh, J. C. 2001. Ecology and aerobiology of dispersing citrus rust mites (Acari: Eriophyidae) in central Florida. *Environ. Entomol.* 30:318–326.
- Bergh, J. C. and C. W. McCoy. 1997. Aerial dispersal of citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) from Florida citrus groves. *Environ. Entomol.* 26:256–264.
- Dean, H. A. 1959. Seasonal distribution of mites on Texas grapefruit. *J. Econ. Entomol.* 52:228–232.
- Ebrahim, H. M. 2000. Influence of temperature and relative humidity on the biology and life table parameters of *Phyllocoptruta oleivora* and *Aculops pelekassi* (Acari: Eriophyidae) on ‘Hamlin’ orange in Central Florida. *Egypt. J. Agric. Res.* 78:143–161.
- González, M., L. A. Salas, and R. L. Hernández. 1985. Biotic and abiotic factors influencing the population densities of *Phyllocoptruta oleivora* (Acari: Eriophyidae) in orange. *Agron. Costarric.* 9:205–211. (in Spanish with English abstract)
- Griffiths, J. T. and W. L. Thompson. 1957. Insects and Mites Found in Florida Citrus. *Univ. Fla. Agric. Exp. Sta. Bull.* No. 591. Agricultural Experiment Stations, University of Florida. Gainesville, FL. 96 pp.
- Hall, D. G., C. C. Childers, and J. E. Eger. 1994. Spatial dispersion and sampling of citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) on fruit in ‘Hamlin’ and ‘Valencia’ orange groves in Florida. *J. Econ. Entomol.* 87:687–698.
- Huang, T. 1966. Eriophyid mites of citrus trees in Taiwan (I). *Plant Prot. Bull.* 8:391–400. (in Chinese with English abstract)
- Li, C. Y. and W. H. Chen. 2015. Spatial distribution, estimates of optimal sample size and population dynamics for *Oligonychus litchii* Lo et Ho (Acari: Tetranychidae) on wax apple. *Formosan Entomol.* 35:117–133.
- Lindquist, E. E., M. W. Sabelis, and J. Bruin. 1996. Eriophyid Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier Science. Amsterdam, the Netherlands. 822 pp.
- Lloyd, M. 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36:1–30.
- Lo, K. C. 2006. Illustration of Mite Pests on Agricultural Crops in Taiwan. Taiwan Agricultural Research Institute. Taichung, Taiwan. 216 pp. (in Chinese)
- McCoy, C. W. 1976. Leaf injury and defoliation caused by the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora*. *Fla. Entomol.* 59:403–410.
- McCoy, C. W. 1979. Migration and development of citrus rust mite on the spring flush of Valencia orange. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 92:48–51.
- McCoy, C. W. and L. G. Albrigo. 1975. Feeding injury to the orange caused by the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Prostigmata: Eriophyoidea). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 68:289–297.
- McCoy, C. W., P. L. Davis, and K. A. Munroe. 1976. Effect of late season fruit injury by the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Prostigmata: Eriophyoidea), on the internal quality of Valencia orange. *Fla. Entomol.* 59:335–341.
- Peña, J. E. and R. M. Baranowski. 1990. Dispersion indices and sampling plans for the broad mite (Acari: Tarsonemidae) and the citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) on limes. *Environ. Entomol.* 19:378–382.
- Pratt, R. M. 1957. Relation between moisture conditions and rust mite infestations. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 70:48–51.
- Reed, D. K., D. K. Burditt, and C. R. Crittenden. 1964. Laboratory methods for rearing rust mites (*Phyllocoptruta oleivora* and *Aculus pelekassi*) on citrus. *J. Econ. Entomol.* 57:130–133.
- Rogers, M. E. and P. A. Stansly. 2016. Rust mites, spider mites, and other phytophagous mites. p.39–43. in: 2016 Florida Citrus Pest Management Guide (Rogers, M. E. and M. M. Dewdney, eds.) IFAS Extension, University of Florida. Lake Alfred, FL. 128 pp.

- Vacante, V. 2009. Citrus Mites: Identification, Bionomy and Control. Centre for Agriculture and Bioscience International. Oxfordshire, UK. 378 pp.
- Van Brussel, E. W. 1975. Interrelations between citrus rust mite, *Hirsutella thompsonii* and greasy spot on citrus in Surinam. Bull. Agric. Exp. Stat. Surinam 98:1–66.
- Winston, J. R. 1920. Tear stain of Florida citrus fruits, its cause and control. Proc. Fla. State Hort. Soc. 33:122–127.
- Yang, Y., J. C. Allen, J. L. Knapp, and P. A. Stansly. 1994. Citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) damage effects on 'Hamlin' orange fruit growth and drop. Environ. Entomol. 23:244–247.
- Yothers, W. W. and A. C. Mason. 1930. The citrus rust mite and control. USDA Tech. Bull. 176:7–16.
- Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1995. Twospotted spider mites (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse roses: Spatial distribution and predator efficacy. J. Econ. Entomol. 88:352–357.

Population Dynamic and Spatial Distribution of the Citrus Rust Mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead), on Three Varieties of Citrus in Taiwan

Po-Hung Chen¹, Tai-Chuan Wang¹, Chi-Nan Chen², Chiung-Hui Huang³, and Shou-Horng Huang^{4,*}

Abstract

Chen, P. H., T. C. Wang, C. N. Chen, C. H. Huang, and S. H. Huang. 2018. Population dynamic and spatial distribution of the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead), on three varieties of citrus in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 67(2):166–180.

The citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead), is a major pest of citrus plants in Taiwan. Citrus rust mites feed on leaves and fruit surfaces, significantly affecting the quality of citrus products. The present study investigated the field population dynamics and spatial distribution of citrus rust mites on 'Eureka' lemons, 'Persian' limes, and 'Murcott' tangors from January to December in 2016. Study results regarding the three varieties of citrus plants showed that citrus rust mite populations reached the highest density during fruit growing periods. Fruits suffered the highest density of mite infestations and followed by mature leaves, and young leaves suffered the least damage. The number of citrus rust mites on the lower surface of leaves were higher than that on the upper surface of leaves. The direction of fruits growing on citrus plants did not significantly affect the number of citrus rust mites population. Rainfall and precipitation frequency may be one of the key factors causing low density of mites from May to October. Three indices (index of dispersion, Lloyd's index of mean crowding and Lloyd's index of patchiness) used to identify the spatial distribution pattern of citrus rust mites all indicated contagious patterns of spatial distribution except when mite density was very low, the distribution patterns became regular or random.

Key words: Citrus rust mite, Population dynamic, Spatial distribution.

Received: July 25, 2017; Accepted: September 19, 2017.

* Corresponding author, e-mail: shhuang@dns.caes.gov.tw

¹ Assistant Research Fellows, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

² Assistant Research Fellow, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

³ Research Assistant, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

⁴ Associate Research Fellow, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.