

寄主密度對亮腹釉小蜂族群增長與 致死柑橘木蝨能力之影響

錢景秦¹ 朱耀沂² 古琇芷¹

1. 臺灣省臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所應用動物系
2. 臺北市國立臺灣大學植物病蟲害學系

(接受日期：84年1月4日)

摘 要

錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1995 寄主密度對亮腹釉小蜂族群增長與致死柑橘木蝨能力之影響 植保會刊 37:81-96.

亮腹釉小蜂 (*Tamarixia radiata* (Waterston)) 為柑橘木蝨 (*Diaphorina citri* Kuwayama) 之有效寄生蜂。為瞭解柑橘木蝨與亮腹釉小蜂族群間之相互作用，乃於室內 25℃、光周期 14L:10D 下研究亮腹釉小蜂在十種不同柑橘木蝨第五齡若蟲密度 (1 ~ 80 隻/天) 下之族群增長、致死寄主能力、寄主利用率、及數值反應等，並由該蜂之功能反應估測其搜尋寄主率與處理寄主時間。結果得知亮腹釉小蜂之壽命、終生產卵數、產卵與取食寄主之比值、增殖數、及致死寄主數等均與柑橘木蝨密度間呈圓頂形拋物線反應，整個成蟲期之取食寄主數與寄主密度間呈向上拋物線反應，過寄生率及產卵與取食之同時發生率與寄主密度間呈向下拋物線反應。當每日供應 40 隻寄主時，亮腹釉小蜂之每日或每世代之增殖數與致死寄主數均達最高，各為 18 隻或 433 隻成蜂/雌蜂與 513 隻柑橘木蝨/雌蜂。但由於亮腹釉小蜂成蜂對寄主之利用率與寄主密度間呈反依變反應，且由各日齡雌蜂對寄主之利用率觀之，該蜂利用寄主之每日最適密度範圍，整個成蟲期時為 2 ~ 8 隻柑橘木蝨 (寄主利用率達 90 ~ 94%)，產卵盛期時為 2 ~ 20 隻柑橘木蝨 (寄主利用率達 87 ~ 90%)。另亮腹釉小蜂之功能反應呈圓頂形拋物線反應，該蜂之寄生與致死寄主 (包括寄生與取食寄主) 時之搜尋寄主率各為 0.78 與 0.89 / 天，總處理寄主時間 ($T_h + cN_i^2$) 各為 $25.93 + 0.009 N_i^2$ 與 $23.89 + 0.004 N_i^2$ 分鐘 (N_i 為寄主密度)。

(關鍵詞：亮腹釉小蜂、柑橘木蝨、寄主密度、族群增長、防治能力)

緒 言

亮腹釉小蜂 (*Tamarixia radiata* (Waterston))，以下簡稱釉小蜂) 為柑橘木蝨 (*Diaphorina citri* Kuwayama，以下簡稱木蝨) 之重要寄生蜂 (8,13)。自 1983 至 1986 年釉小蜂由留尼旺島引進臺灣，並經釋放立足後 (7)，已次第完成該蜂之形態、生活史 (3) 及產卵調節能力 (5) 等之觀察，溫度 (4) 與食物 (6) 對該蜂族群增長或致死木蝨能力之影響，以及田間該蜂對木蝨防治效果之評估 (2) 等。但有關寄主密度對釉小蜂寄生活動之功能反應 (functional response) 與數值反應 (numerical response)，前人則未做詳細之測試。由於進行害蟲之生物防治時，必需先確認寄生蜂之有效性，而寄生蜂之搜尋寄主率 (searching rate) 與處理寄主時間 (handling time) 即為評估寄生蜂有效性指標之一 (20)。Holling (23,25) 又曾謂，當天敵之攻擊率強，且害蟲在某些臨界密度下、天敵之攻擊率與該害蟲密度間呈第三型功能反應時，該天敵才能抑制對象害蟲於低密度之下，並維持二者間之長期穩定平衡。再者寄主密度除與寄生蜂之繁殖趨勢有密切關係外，亦影響該害蟲之被防治率與寄生蜂在害蟲生物防治上之成效。因而為探討寄主與寄生蜂間之相互關係，本文乃針對寄主密度對釉小蜂之族群增長、致死寄主能力及寄主利用率等進行試驗。希冀有助闡釋釉小蜂於不同木蝨族群密度下之動態及瞭解釉小蜂對木蝨之防治能力與有效性。一方面藉此改進釉小蜂在室內增殖時之適當供應寄主數，另一方面提高該蜂在田間對木蝨之防治效率。

材料與方法

本試驗所用之供試寄主植物廣東檸檬 (*Citrus limonia* Osbeck) 與月橘 (*Murra-*

ya paniculata (L.) Jack)) 之栽培方法，供試蟲源木蝨與釉小蜂之採集，接蜂方法及被寄生木蝨之飼育方法等，皆採用錢等之方法 (3)。

寄主密度對釉小蜂族群增長之影響

在 25°C 定溫、光照 14L:10D 下，將于 24 小時內被釉小蜂產卵寄生之第五齡木蝨若蟲 10 隻挑至月橘枝條上，記錄釉小蜂之存活率與發育日數，各做 5 重複。待釉小蜂羽化後各取 1 對引入接蜂用玻管 (直徑 3.5 cm，高 20 cm)，並移至 25°C 與光照 14L:10D 之定溫箱內。每日上午 8 點分別供應 1 枝長約 17 cm 帶有第五齡木蝨若蟲 1、2、4、8、14、20、30、40、60 及 80 隻等十種不同密度之月橘枝條，並鏡檢前日接蜂後釉小蜂在每一寄主上之產卵數與被取食之木蝨數，直至供試雌蜂死亡為止。其間每日被寄生之木蝨依錢等之方法 (3)，在上述條件之定溫箱內飼育。並記錄供試雌雄兩性成蜂之壽命、產卵期、產卵數、取食木蝨數、過寄生卵數、產卵與取食之同時發生率 (被產卵又被取食之木蝨數 / 供應木蝨數) 及子代雌性比等。同時亦利用多次式曲線 (polynomial curve) 估測上述釉小蜂之各項資料與木蝨密度間之關係。本試驗中每日供應 1 至 8 隻木蝨之處理組各做 10 重複，14 至 80 隻木蝨之處理組各做 5 重複。另在每日供應 80 隻木蝨處理組中，將釉小蜂母代之存活率、產卵數及子代雌性比資料分別代入 Birch 之公式中 (10)，估算該蜂之內在增殖率 (intrinsic rate of increase, r)、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) 等族群介量。並依錢等之方法 (3)，從釉小蜂成蜂期之“當日產卵數 / 當日取食寄主數”與“終生產卵數 / 終生取食寄主數”分別計算其日產卵與取食寄主之比值與整個成蟲期之

產卵與取食寄主之比值。

寄主密度對釉小蜂致死木蝨能力與寄主利用率之影響

利用前述試驗中所得之各處理組釉小蜂之產卵數、取食木蝨數、過寄生卵數、及產卵與取食之同時發生數等資料，估算該蜂在不同寄主密度下之如下項目：(1)對木蝨之致死潛能數 = 寄生蜂之產卵數 + 取食木蝨數，(2)實際致死木蝨數 = 寄生蜂對木蝨之致死潛能數 - 寄生蜂過寄生卵數 - 被產卵又被取食之木蝨數，(3)實際致死木蝨率 = 寄生蜂實際致死木蝨數 / 寄生蜂對木蝨之致死潛能數，(4)對寄主之產卵利用率 = 寄生蜂產卵致死之木蝨數 / 供應木蝨數，(5)對寄主之取食利用率 = 寄生蜂以取食致死之木蝨數 / 供應木蝨數，(6)潛能寄主利用率 = 寄生蜂對木蝨之致死潛能數 / 供應木蝨數，(7)實際寄主利用率 = 寄生蜂實際致死木蝨數 / 供應木蝨數。

釉小蜂之功能反應

利用前述試驗中所得之各處理組釉小蜂之日平均寄生木蝨數及日平均實際致死木蝨數等資料，分別代入經 Tostowaryk 改寫之 Holling⁽²⁴⁾ 圓盤方程式 (disc equation) 之第四型公式 $N_a = a' [T - (T_h + cN_i^2)N_a]N_i^{(34)}$ ，再應用 Hartlery 改寫 Gauss-Newton 之程式以非線性最小平方值迴歸法 (non-linear least squares regression method)⁽¹⁹⁾，估算釉小蜂在寄生或致死寄主時對木蝨之搜尋率 (a')、處理寄主時間 (T_h) 及因寄主群體之干擾處理寄主時所耗費之額外時間 (cN_i^2)。上述公式中之 N_a 為釉小蜂之日平均寄生木蝨數或日平均實際致死木蝨數， N_i 為每日供應之木蝨數， T 為釉小蜂與木蝨共處之單位時間 (1天)。

釉小蜂之數值反應

利用前述試驗中所得之各處理組釉

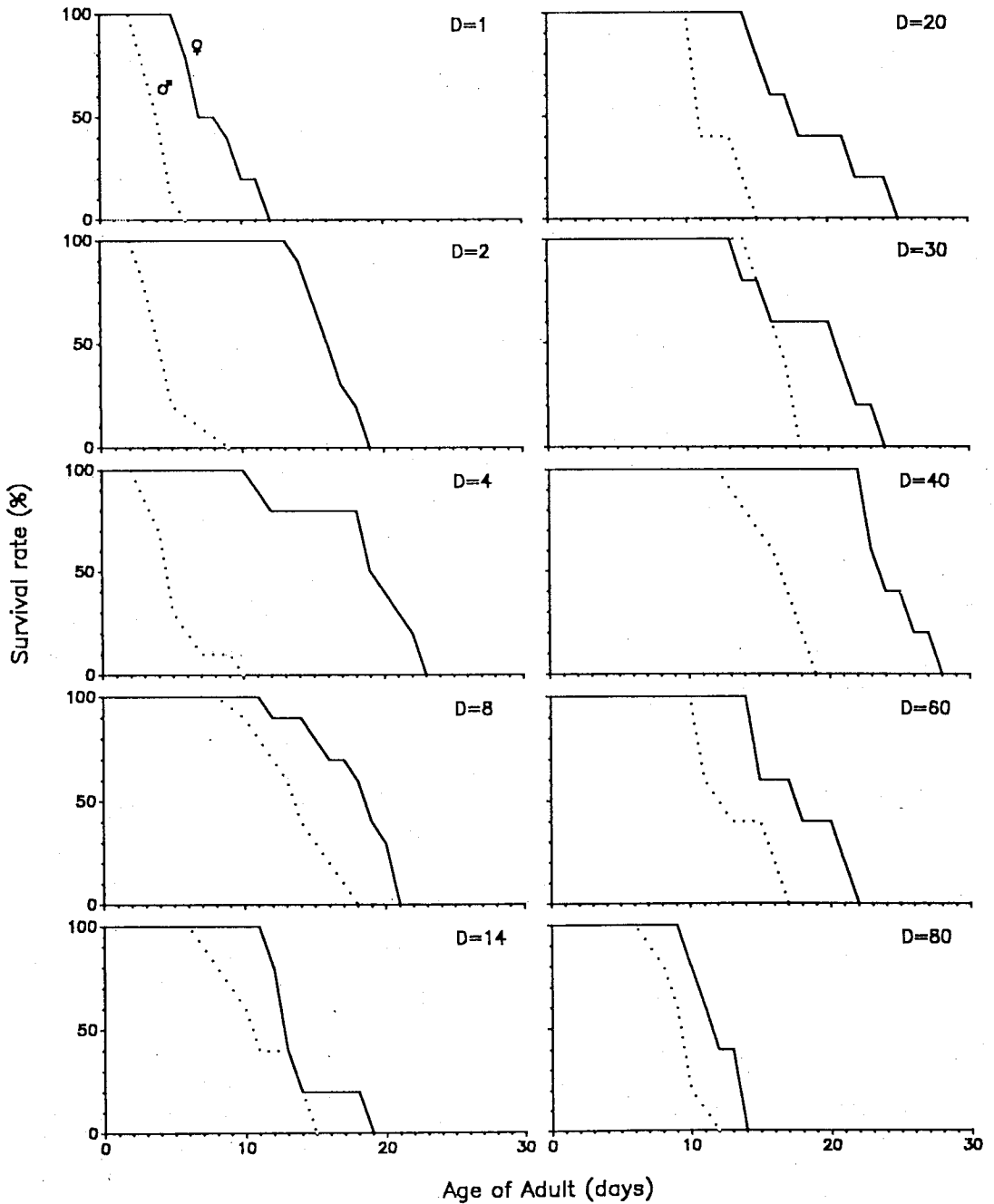
小蜂之終生或日平均寄生木蝨數資料，代入多次式曲線以估測該蜂之數值反應。

結 果

寄主密度對釉小蜂族群增長之影響

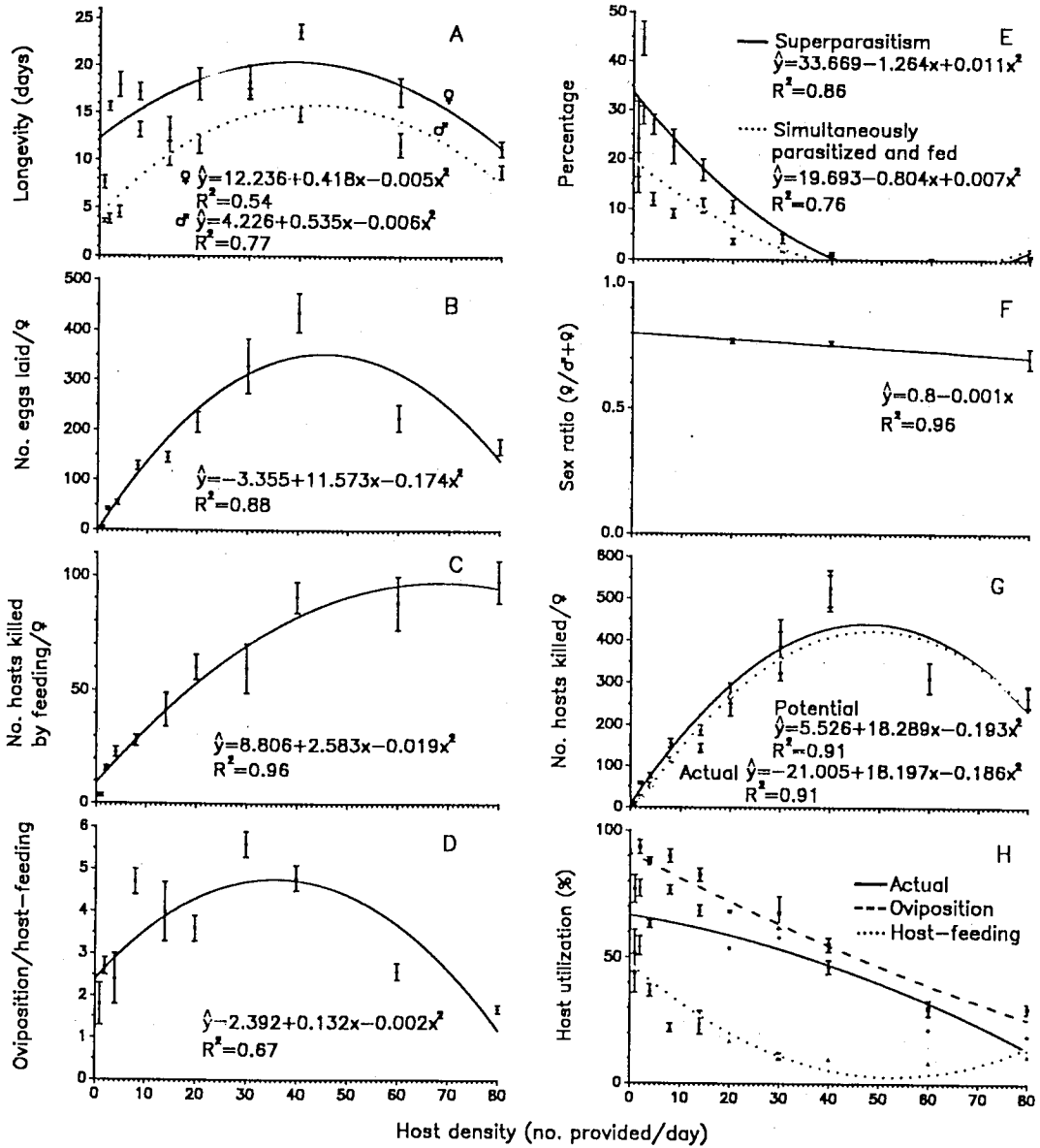
壽命：在不同寄主密度下，釉小蜂成蜂之日存活率曲線相近，均呈凸型之存活率曲線 (圖一)。另自圖二-A 得知，釉小蜂雌、雄蜂之壽命與木蝨密度間均呈圓頂形拋物線 (domed parabola) 反應，且雄蜂之反應較雌蜂強。如每日供應 1、2 ~ 60 及 80 隻寄主時，雌蜂之壽命各為 7.6、13.2 ~ 23.6 及 11.2 天；每日供應 1 ~ 4、8 ~ 60 及 80 隻寄主時，雄蜂之壽命各為 3.6 ~ 4.5、10.6 ~ 17.0 及 8.8 天。當寄主密度相同時，釉小蜂雌蜂之壽命均較雄蜂長 (圖一、二-A)。

產卵：由圖一與圖三得知，寄主密度對釉小蜂雌蜂之產卵期與壽命間之關係無影響，亦即在各不同寄主密度下釉小蜂羽化當日即可產卵，且供試之 70% 雌蜂在死亡當日尚具產卵能力，顯示釉小蜂無明顯的產卵前期與產卵後期。但釉小蜂之日產卵型式卻依寄主密度而異。如當每日供應 1 ~ 8 隻寄主時，該蜂自羽化後至死亡期間內每日之產卵數大致一定；每日供應 14 ~ 80 隻寄主時，第一日齡雌蜂之產卵數雖較少，至第二日齡後，產卵數明顯增加且維持一段較長之高峰後才下降 (圖三)。另釉小蜂之日平均產卵數以每日供應寄主數為 30 ~ 40 隻時為最高，達 17.6 ~ 18.3 粒卵；供應 1 隻寄主時，僅 0.7 粒卵 (圖四-A)。至於釉小蜂之終生產卵數則與寄主密度間呈圓頂形拋物線反應，當每日供應 1 ~ 4、8 ~ 14、20、40、60 及 80 隻寄主時，釉小蜂之終生產卵數各為 6 ~ 54、128 ~ 145、215、434、225 及 169 粒卵 (圖二-B)。



圖一、亮腹釉小蜂在 25 °C 下不同柑橘木虱密度時之日存活率曲線。

Fig. 1. Daily survival rates of *Tamarixia radiata* adults provided with different densities of *Diaphorina citri* at 25 °C. D: no. of psyllids provided per wasp in a test tube, 3.5 × 20 cm. Ten replicates for D ≤ 8 and five replicates for D=14-80.

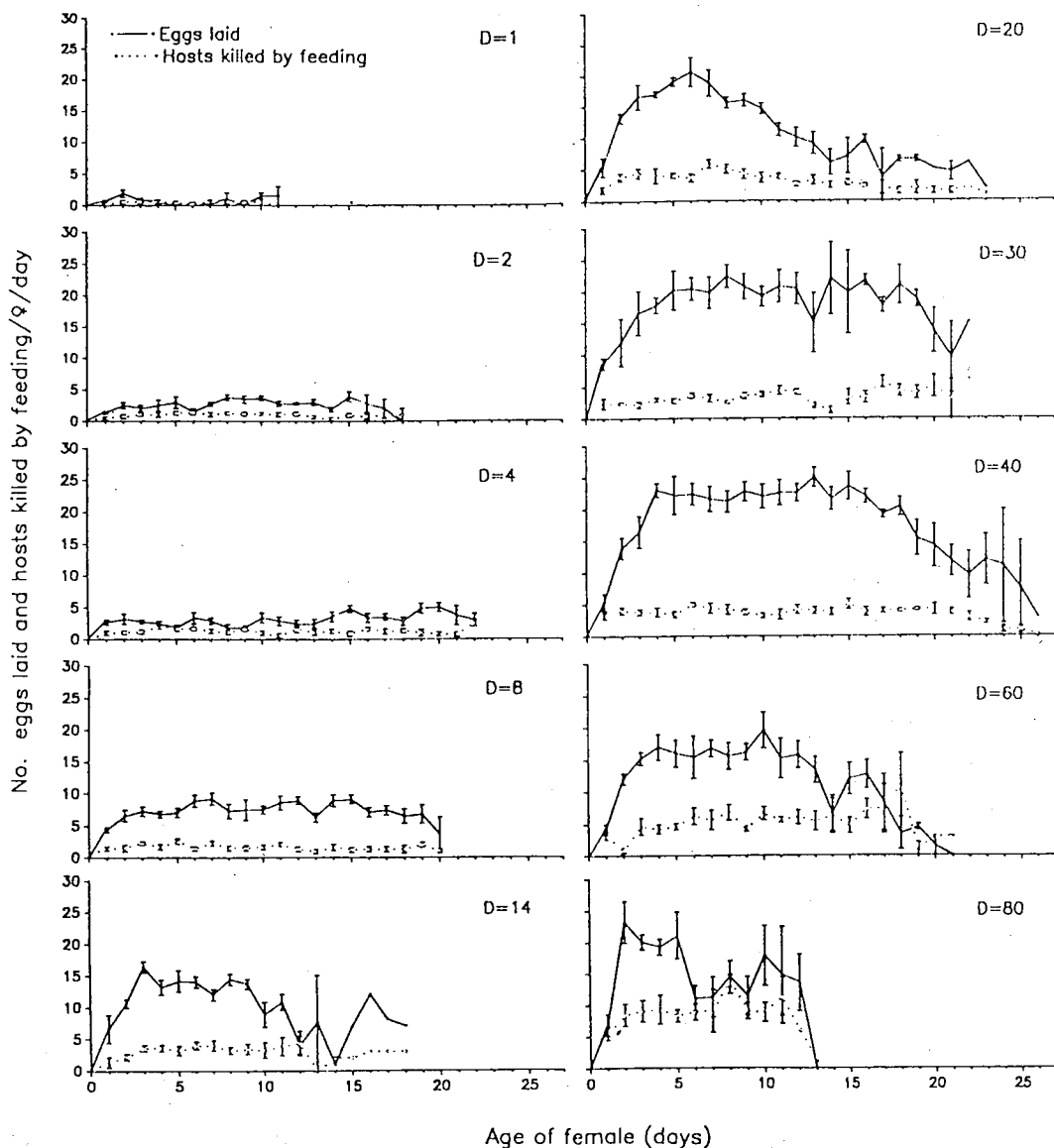


圖二、在 25 °C 下柑橘木蠹密度與亮腹釉小蜂之壽命、產卵及取食寄主之關係。

Fig. 2. Relationships between *Diaphorina citri* density and longevity, oviposition, and host-feeding of *Tamarixia radiata* at 25 °C. A: longevity (days); B: no. eggs laid/♀; C: no. hosts killed by feeding/♀; D: oviposition/host-feeding; E: superparasitism (%), and simultaneously parasitized and fed (%); F: sex ratio (♀/♀+♂); G: no. host-killing potential and actual host-killing/♀; H: oviposition, host-feeding, and actual host utilization (%). Oviposition $\hat{y} = 91.15 - 0.996x + 0.002x^2$, $R^2 = 0.92$. Host-feeding $\hat{y} = 47.62 - 1.697x + 0.016x^2$, $R^2 = 0.85$. Actual $\hat{y} = 66.59 - 0.304x - 0.004x^2$, $R^2 = 0.72$. Experiment was conducted in a test tube, 3.5 × 20 cm under 14L:10D and 100% RH. Ten replicates for host densities of ≤ 8 and five replicates for those of 14-80.

取食寄主：由圖三得知在不同寄主密度下，釉小蜂雌蜂自羽化至死亡之一生中均有取食寄主之行爲，其中各處理組之日取食寄主型式不僅大致相似，且各日齡雌蜂有大致恒定之取食寄主數。但釉小蜂之日平均取食寄主數與寄主密

度間呈直線相關。當每日供應80隻寄主時，該蜂之日平均取食寄主數高達8.8隻木蝨，每日供應1~4隻寄主時，僅取食0.5~1.3隻木蝨(圖四-A)。至於釉小蜂在整個成蟲期之取食寄主數與寄主密度間則呈向上拋物線(upward parabola)



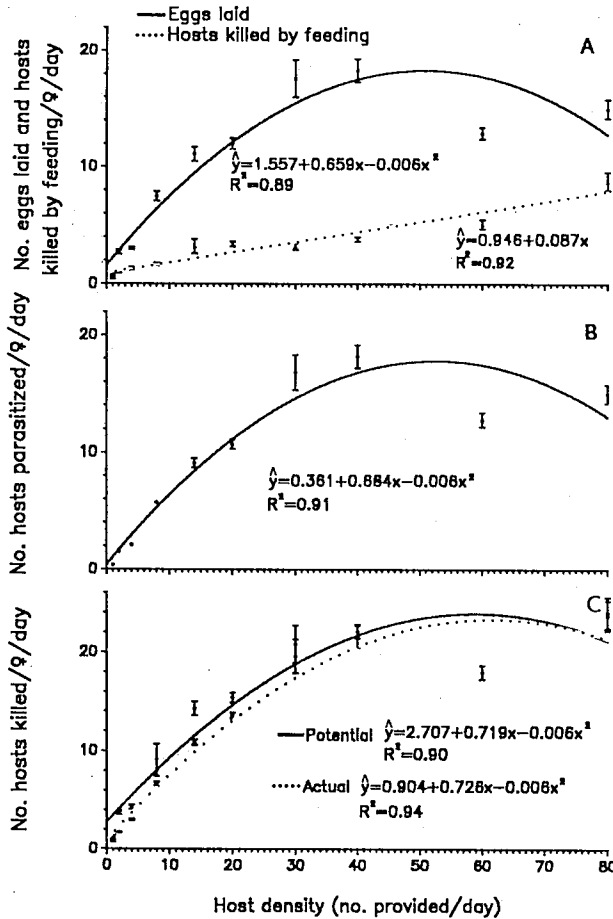
圖三、在 25°C 下不同柑橘木蝨密度時各日齡亮腹釉小蜂之產卵與取食寄主型式。
 Fig. 3. Daily oviposition and host-feeding patterns of *Tamarixia radiata* provided with different densities of *Diaphorina citri* at 25°C. Figure illustration same as Figure 1.

反應。當每日供應 1、2 ~ 14、20 ~ 30、40 ~ 80 隻寄主時，該蜂整個成蟲期之取食寄主數各為 4、16 ~ 42、60 及 88 ~ 98 隻木蝨 (圖二-C)。

產卵與取食寄主之比值：當每日供應 8、20 ~ 40 隻寄主時，各處理組柚小蜂之日產卵與取食寄主之比值型式近似。在該蜂之產卵盛期，各處理組之日平均產卵與取食寄主之比值略同，為 4.1 ~ 6.3 之間 (圖五)。另柚小蜂整個成蟲期之產卵與取食寄主之比值與寄主密度間

呈圓頂形拋物線反應。當每日供應 1 ~ 4 隻與 60 ~ 80 隻寄主時，該蜂整個成蟲期之產卵與取食寄主之比值為 1.7 ~ 2.7，而供應 8 ~ 40 隻寄主時為 3.6 ~ 5.6 (圖二-D)。

過寄生率：柚小蜂對木蝨之過寄生率與寄主密度間呈向下拋物線 (downward parabola) 反應。當每日供應 1 ~ 20 隻與 30 ~ 80 隻寄主時，柚小蜂對木蝨之過寄生率各為 10 ~ 45% 與 0 ~ 4%，其中以供應 2 隻寄主時為最高，達 45% (圖二-E)。



圖四、在 25 °C 下柑橘木蝨密度與亮腹柚小蜂日平均之產卵數與取食寄主數 (A)、被寄生寄主數 (B) 及致死寄主數 (C) 之關係。

Fig. 4. Relationships between *Diaphorina citri* density and the number of eggs laid and hosts killed by feeding (A), number of hosts parasitized (B), and number of hosts killed (C) per day by *Tamarixia radiata* at 25 °C. Ten replicates for host densities of ≤ 8 and five replicates for those of 14-80.

表一、在不同柑橘木蝨密度時亮腹釉小蜂卵在每一寄主上之分布百分率¹⁾Table 1. Percent distribution of *Tamarixia radiata* eggs in different densities of *Diaphorina citri*¹⁾

Host density (no. provided/day)	N	No. wasp eggs/host					
		1	2	3	4	5	6
1	57	70.6	14.7	2.9	2.9	5.9	2.8
2	419	47.6	31.3	11.1	8.0	2.2	0
4	537	66.2	30.0	3.8	0	0	0
8	1281	72.5	24.2	3.2	0.2	0	0
14	725	79.7	18.4	1.5	0.3	0	0
20	1077	88.3	11.6	0.001	0	0	0
30	1637	95.0	4.9	0.1	0	0	0
40	2189	98.8	1.2	0	0	0	0
60	1113	100.0	0	0	0	0	0
80	843	100.0	0	0	0	0	0

¹⁾ Experiment was conducted in a test tube (3.5 × 20 cm) under 25 °C, 14L:10D, and 100% RH.

由表一亦得知，釉小蜂卵在每一寄主上之分布頻率與寄主密度有關。當每日供應寄主數為1~20隻時，每一寄主上之蜂卵數較多。如供應1隻寄主時，該寄主上之蜂卵數最多可達6粒。然隨供應寄主數之增加，釉小蜂在每一隻寄主上之產卵數漸減。當寄主數為20隻時，1隻寄主上之最多蜂卵數已減為3粒，而供應30~80隻寄主時，95~100%之供試寄主體上祇有1粒釉小蜂卵。

產卵與取食之同時發生率：釉小蜂在同一隻木蝨上之產卵與取食之同時發生率與寄主密度間呈向下拋物線反應。當每日供應1~14隻與20~80隻寄主時，釉小蜂之產卵與取食之同時發生率各為9~29%與0~4%，其中又以寄主數為2隻時為最高，達29%(圖二-E)。

雌性比：在每日供應寄主數為20~80隻時，似不影響釉小蜂之子代雌性比。當每日供應20、40及80隻寄主時，釉小蜂之子代雌性比各為0.77、0.76及0.70(圖二-F)。

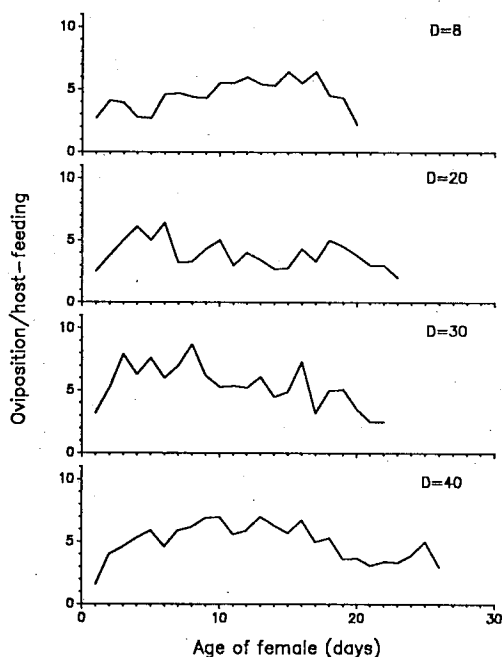
齡別生命表：當每日供應80隻寄主時，釉小蜂之內在增殖率(r)為0.3082

／天；終極增殖率(λ)為1.3610／天；淨增殖率(R_0)為94粒雌性卵／雌蜂；平均世代時間(T)為14.75天(圖六)。

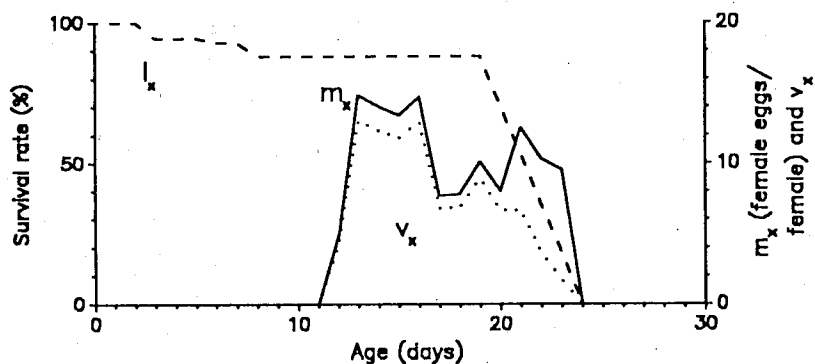
寄主密度對釉小蜂致死木蝨能力與寄主利用率之影響

釉小蜂對木蝨之致死能力：釉小蜂整個成蟲期對木蝨之致死潛能數或實際致死木蝨數與寄主密度間均呈圓頂形拋物線反應。當每日供應40隻寄主時，釉小蜂整個成蟲期對木蝨之致死潛能數與實際致死數均達最高，分別為525與513隻木蝨(圖二-G)；至於該蜂整個成蟲期對木蝨之實際致死率，則以每日供應40~80隻寄主時為最高，達98~100%，供應2隻寄主時為最低，僅為48%(圖二-G)。

釉小蜂對寄主之利用率：由圖二-H得知，釉小蜂整個成蟲期對寄主之產卵利用率與寄主密度間呈向下拋物線反應。每日供應2~14隻寄主時，該蜂對寄主之產卵利用率較高，達63~77%。每日供應60~80隻寄主時，對寄主之產卵利用率僅為19~22%。取食寄主時，



圖五、在 25°C 下不同柑橘木蠹密度時各日齡亮腹釉小蜂之產卵與取食寄主之比值。
 Fig. 5. Daily oviposition and host-feeding ratio of *Tamarixia radiata* provided with different densities of *Diaphorina citri* at 25°C. Figure illustration same as Figure 1.



圖六、亮腹釉小蜂在 25°C 下每日供應 80 隻柑橘木蠹若蟲時之齡別存活率 (l_x)、繁殖率 (m_x) 及淨增殖值 ($v_x=l_x m_x$)。
 Fig. 6. Age-specific survival rate (l_x), fecundity rate (m_x), and distribution of net maternity value ($v_x=l_x m_x$) of *Tamarixia radiata* provided with 80 nymphs of *Diaphorina citri* daily at 25°C.

釉小蜂整個成蟲期對寄主之取食利用率與寄主密度間呈凹形拋物線 (concave parabola) 反應。當每日供應 1~2 隻寄主時，該蜂對寄主之取食利用率較高，達

53~55%，每日供應 30~80 隻寄主時，對寄主之取食利用率僅 9~11% (圖二-H)。釉小蜂整個成蟲期對寄主之實際利用率與寄主密度間呈反依變反應。當

每日供應寄主 2~8 隻時，對寄主之實際利用率可高達 90~94%，供應寄主數為 1、14、20~40 及 60~80 隻時，該蜂對寄主之實際利用率偏低，各為 77、83、55~68 及 30% (圖二-H)。至於釉小蜂整個成蟲期對寄主之潛能利用率，每日供應寄主數為 1~14 隻時，對寄主之潛能利用率高達 92~100%，每日供應寄主數為 20~30 隻時，對寄主之潛能利用率為 72~77%。另由圖七顯示，當每日供應 14、20、30 及 40 隻寄主於產卵盛期之釉小蜂時，該蜂對寄主之日平均實際利用率各為 87、90、72 及 64%；而此時對寄主之日平均潛能利用率各為 94、94、76 及 65%。

釉小蜂之功能反應

由圖四-B 得知，釉小蜂之日平均寄生木蝨數與寄主密度間呈圓頂形拋物線反應，符合 Holling 之第四型功能反應型式。該蜂寄生木蝨時之搜尋寄主率 (a') 為 0.78 / 天，總處理寄主時間 ($T_h + cN_i^2$) 為 $25.93 + 0.009 N_i^2$ 分鐘，其中 $0.009 N_i^2$ 分鐘為受到寄主之群體干擾，額外所耗費之時間，殘差平方和 (S. S. R., sums of squared residuals) 為 204.08，決定係數 (R^2 , coefficient of determination) 為 0.93。另釉小蜂之日平均實際致死木蝨數與寄主密度間略呈圓頂形拋物線反應 (圖四-C)，類似 Holling 之第四型功能反應型式。總計該蜂為取食與寄生，亦即實際致死木蝨數時之搜尋寄主率為 0.89 / 天，總處理寄主時間為 $23.89 + 0.004 N_i^2$ 分鐘，其中 $0.004 N_i^2$ 分鐘為處理寄主時因寄主之群體干擾所耗費之時間，殘差平方和為 366.40，決定係數為 0.92。

釉小蜂之數值反應

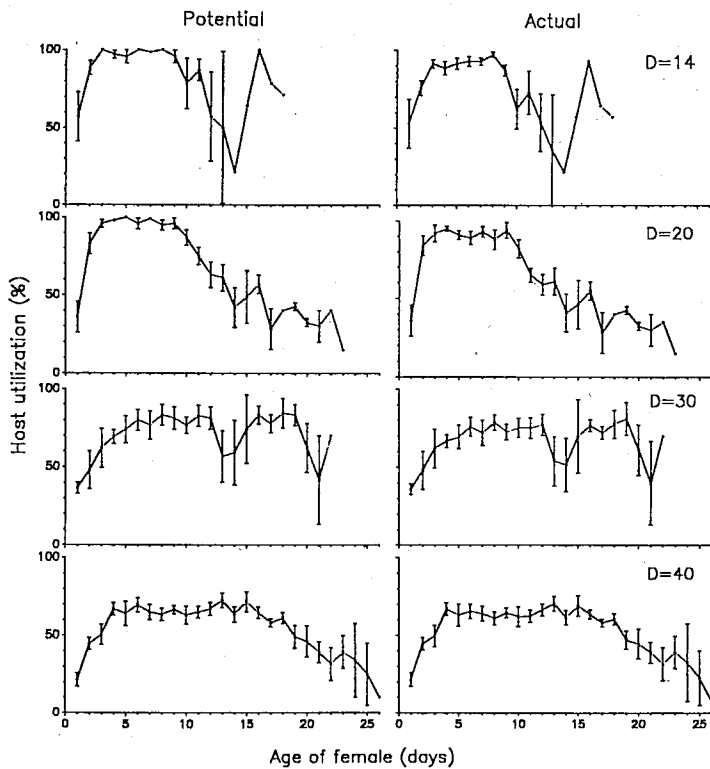
由圖四-B 與圖八得知，釉小蜂之日平均或終生增殖數與寄主密度間均呈圓頂形拋物線反應。其中以每日供應寄主

數為 40 隻時，釉小蜂之增殖數最高，達平均每日 18 隻或每世代 433 隻。

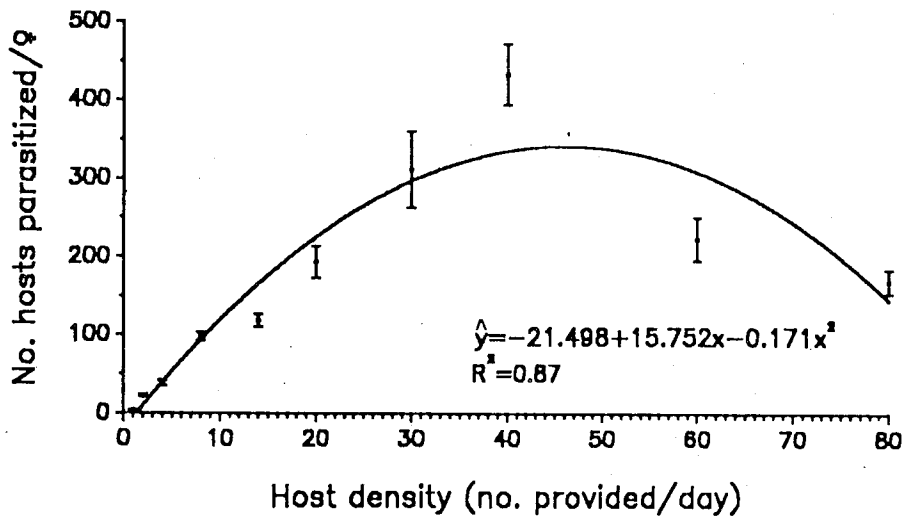
討 論

寄生蜂之族群增長及其對害蟲之防治效果均與寄主密度有密切之關係。今由釉小蜂之數值反應得知，當每日供應寄主數為 20~60 隻時，該蜂之增殖量較高 (圖八)。由錢等⁽³⁾之試驗亦顯示，在每日供應寄主數為 20 與 40 隻木蝨時，釉小蜂之繁殖力以 40 隻木蝨時較大。但由於該蜂對寄主之利用率在寄主數為 40 隻時顯著較 20 隻時低 ($t=4.4486$, $df=8$)。從此可認為，當有充裕之木蝨第五齡若蟲、且無寄生蜂相互干擾情況下，寄主與釉小蜂之繁殖比例可達 40:1 之最高比值。但寄主數較少時，二者之較適繁殖比例可降低為 20:1 或 30:1。至於釉小蜂對木蝨之防治能力，從本試驗結果得知，僅當每日供應寄主數為 2~8 隻時，釉小蜂整個成蟲期對木蝨之抑制力可高達 90~94% (圖二-H)。若僅就產卵盛期而言，當每日供應寄主數為 14~20 與 30~40 隻時，該蜂在其 9~10 與 15~16 天之產卵盛期中，對木蝨之平均抑制力各達 87~90 與 64~72% (圖七)。從此可知，在室內釉小蜂雌蜂 1 天內利用木蝨之最適密度範圍，就整個成蟲期而言，僅 2~8 隻木蝨 / 天，然在產卵盛期，卻大幅提升到 2~20 隻木蝨 / 天。目前，田間釉小蜂致死或抑制木蝨之臨界密度，雖尚未訂定，惟由錢⁽¹⁾之試驗結果或可推測，在 2 至 4 月間釉小蜂對木蝨利用之最適寄主密度範圍，至少為每長 10 cm 月橘枝條上 3.4~5.2 隻木蝨之範圍。

釉小蜂之功能反應雖呈 Holling 之第四型功能反應 (圖二-G、四-C)，但該蜂



圖七、在 25 °C 下不同柑橘木蠹密度時各日齡亮腹釉小蜂對柑橘木蠹之利用率。
 Fig. 7. Daily host utilization of *Tamarixia radiata* provided with different densities of *Diaphorina citri* at 25 °C . Figure illustration same as Figure 1.



圖八、在 25 °C 下柑橘木蠹密度與其被亮腹釉小蜂寄生致死數之關係。
 Fig. 8. Relationship between *Diaphorina citri* density and the number of hosts killed by parasitising *Tamarixia radiata* at 25 °C . Ten replicates for host densities ≤ 8 and five replicates for those of 14-80.

在祇供應1~4隻少數寄主時，其致死木蝨之能力呈現類似第二型反應之向上拋物線，其原因或如Mackauer⁽²⁹⁾所謂在低寄主密度時天敵高搜尋力之表現，或係受到測試空間⁽²¹⁾、寄主齡期⁽²¹⁾及測試時間^(14,22,28)等之影響，致使其由第三型反應轉為第二型反應。而該蜂在60~80隻多量寄主存在時，其致死木蝨能力之所以呈現下降反應(圖三)，其原因或係過量食餌所致之選擇上之攪亂(confusion effect)⁽³⁵⁾、持續干擾(continual disturbance)⁽³¹⁾、感覺適應(sensory adaptation)⁽²⁵⁾、或群體抵禦(group defence)⁽³⁴⁾等作用引起的。至於其中之確實干擾作用雖待探討，但由釉小蜂日平均寄生木蝨或致死木蝨之功能反應中得知，當寄主高密度存在時，對釉小蜂產卵寄生或致死木蝨之干擾能力甚小，僅為 $0.24 N_t^2$ 或 $0.54 N_t^2$ 秒(N_t 為寄主密度)；而釉小蜂之壽命在每日供應寄主數為60與80隻時，各為 17.2 ± 1.5 與 11.2 ± 0.8 天，顯著較每日供應寄主數40隻時之 23.6 ± 0.8 天為短(圖二-A)。從此可推測，當寄主密度較高時(60~80隻/天)，釉小蜂致死木蝨能力之降低，其中高密度寄主群體對釉小蜂壽命之影響或為其主因。

天敵對害蟲之搜尋率與處理寄主時間常受生物與非生物等因子之影響^(11,16,17,18,20,33)。本試驗在估測釉小蜂之搜尋寄主率時，一併考慮日齡因子之影響。即利用該蜂之日平均寄生木蝨數與取食木蝨數進行估測。結果得知，釉小蜂在室內逢機尋找其最適寄生齡期之寄主(第五齡若蟲)時，其寄生與實際致死木蝨(寄生與取食寄主之總計)時之搜尋寄主率各高達0.78與0.89/天。同時由錢⁽¹⁾之資料得知，在霧峰與蘭生二地，無論第五齡木蝨若蟲之空間分布型為4.5或9.2個體群分布時，釉小蜂對木蝨之寄生率均各高達80~100%與80~95%。顯示釉小蜂確對木蝨具相當高之搜尋寄

主率。另從釉小蜂之處理寄主時間之估測上，本試驗亦證實Mackauer⁽²⁹⁾之觀點。若依釉小蜂之產卵寄生與取食寄主之日活動期⁽²⁾或活動盛期⁽²⁾予以校正，該蜂之寄生及寄生與取食寄主總計所需之總處理寄主時間之估值各為 $12.95 + 0.004 N_t^2$ 及 $11.94 + 0.002 N_t^2$ 分鐘，或 $4.32 + 0.001 N_t^2$ 及 $3.98 + 0.001 N_t^2$ 分鐘，而此估值與其產卵(61秒)⁽²⁾與取食寄主(21秒)⁽²⁾之實測值間已較為接近。另由1天內釉小蜂之寄生、或寄生與取食寄主總計時之總處理寄主時間之倒數得知，在每日供應40隻寄主時，該蜂之日平均寄生潛能(36隻)、或致死木蝨潛能(48隻)之估測值與該蜂之實測最大寄生數(30隻)、或致死木蝨數(35隻)相近似。由此得知，本試驗所估測之釉小蜂總處理寄主時間不僅符合Tostowaryk⁽³⁴⁾改寫Holling⁽²⁴⁾之第四型公式($R^2=0.92\sim 0.93$)，同時亦顯示該蜂為有效控制木蝨之寄生蜂。

釉小蜂之取食寄主行為屬產卵取食不併存寄主死亡型(non-concurrent destructive)、且該蜂對木蝨齡期無顯著之取食偏好性⁽³⁾。但由本試驗結果得知，釉小蜂對第五齡木蝨若蟲之取食數，卻依寄主蟲數而變。寄主密度愈高，取食寄主數愈多(圖二-C、四-A)。同時該蜂整個成蟲期之產卵與取食寄主之比值亦與寄主密度有關。如每日供應寄主數為1~4隻或60~80隻木蝨時，該蜂之取食寄主能力較高，為其產卵能力之37~59%(產卵數：取食寄主數=1.7~2.7:1)；供應木蝨數為8~40隻時，該蜂取食寄主能力較低，僅為其產卵能力之18~28%(產卵數：取食寄主數=3.6~5.6:1)(圖二-D)。此等結果除與70%釉小蜂雌蜂每日初次遇到寄主時會先取食，繼之尋覓其它寄主再行產卵或取食之習性相符外⁽³⁾；尚顯示釉小蜂雌蜂在每日供應1~40隻第五齡木蝨若蟲時，其取食寄主

策略係提供蜂卵形成、繁殖所需之基本營養，及刺激體內成熟卵之產下^(5,6)。此點除與 Jervis 與 Kidd⁽²⁶⁾ 及 Mordue *et al.*⁽³⁰⁾ 之論點相符外，亦顯示釉小蜂因取食寄主而產生之抑制寄主能力顯較產卵寄生為低，並不若一種卵寄生蜂 *Tetrastichus asparagi* (Crawford) 與一種跳小蜂 *Metaphycus helvolus* (Compere) 分別對其寄主之取食致死率可高達 71% 與 55%^(15,27)。因而就成蜂期之活動而言，在每日供應木蝨數為 8~40 隻時，釉小蜂得以分配更多時間與精力去產卵。然在有豐盛的木蝨 (60~80 隻/天) 存在時，釉小蜂之所以有較高之取食寄主比率，其原因或係充分的食物使其對每隻木蝨之取食程度相對較低，以致造成木蝨被取食數量之增加。至於釉小蜂之日產卵與取食寄主之比值，試驗顯示在每日供應寄主數為 8~40 隻木蝨情況下，正值產卵盛期時，該蜂兩者之比值 (4.1~6.3:1) 較產卵初期或產卵末期者 (1.6~3.0:1) 要高 (圖二-D、五)，推測其原因，係受到該蜂羽化初期卵巢發育、或蜂接近死亡時壽命與產卵能力之影響。

寄生蜂對寄主之選擇能力與其子代之存活率間有密切之關係。本試驗結果證實釉小蜂雖為單元寄生，但其在密閉小空間內與低密度寄主接觸時 (1~8 隻或 1~2 隻木蝨/天)，確易發生過寄生及產卵與取食同時發生之現象。其中尤以供應 2 隻寄主時為最高，各達 45% 及 29% (圖二-E)。此現象與 Singh and Sinha⁽³²⁾ 及 Bai and Mackauer⁽⁹⁾ 之觀察結果相似。推測其原因，或為僅供應 2 隻木蝨時，釉小蜂之日平均產卵數 (2.7 粒卵) 大於供應之寄主數所致 (圖四-A)。但當每日供應寄主數增加到 30~80 隻時，釉小蜂之日平均產卵數 (12.9~18.3 粒卵) 雖較寄主 1~8 隻時之 0.7~7.5 粒卵為多 (圖四-A)，但此時該蜂之過寄生率及產卵與取食之同時發生率卻顯著減少為 0~

4% 及 0~2%，過寄生卵數亦限於 2~3 粒卵 (表一；圖二-E)。顯示釉小蜂為提高其適應度，不但在選擇寄主之策略上確已發展辨識寄主齡期⁽³⁾ 與已被寄生寄主之能力，同時在繁殖策略上亦可藉寄主之現存量調節產卵數，進而提高繁殖之經濟效益。

引用文獻

1. 錢景秦 1992 柑橘木蝨外寄生蜂—亮腹釉小蜂之生活習性與族群生態。國立臺灣大學植物病蟲害學研究所博士論文，臺北，138 頁。
2. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1991a 柑橘木蝨之生物防治 II. 亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂對柑橘木蝨之防治效果評估。中華昆蟲 11:25-38。
3. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1991b 亮腹釉小蜂 (*Tamarixia radiata*) 之形態、生活史及其寄生策略。中華昆蟲 11:264-281。
4. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1993 溫度對亮腹釉小蜂之族群增長、致死柑橘木蝨能力及貯存之影響。中華昆蟲 13:111-123。
5. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1994a 亮腹釉小蜂之雌性內生殖器官、卵吸收及產卵調節能力。植保會刊 36:19-30。
6. 錢景秦、朱耀沂、古琇芷 1994b 食物對亮腹釉小蜂之壽命、卵形成及族群增長之影響。植保會刊 36:97-105。
7. 錢景秦、邱瑞珍、古琇芷 1988 柑橘木蝨之生物防治 I. 亮腹釉小蜂 (*Tamarixia radiata*) 之引進繁殖與釋放試驗。中華農業研究 37:430-439。
8. Aubert, B., and Quilici, S. 1984. Biological control of the African and Asian citrus psyllids (Homoptera: Psylloidea),

- through eulophid and encyrtid parasites (Hymenoptera: Chalcidoidea) in Reunion Island, in Proc. 9th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. (S. M. Garnsey, L. W. Timmer, and J. A. Dodds eds.), pp. 100-108. Riverside, CA.
9. Bai, B., and Mackauer, M. 1990. Oviposition and host-feeding patterns in *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) at different aphid densities. *Ecol. Entomol.* 15:9-16.
 10. Birch, L. C. 1948. The intrinsic rate of natural increase of population. *J. Anim. Ecol.* 17:15-26.
 11. Carter, M. C., Sutherland, D., and Dixon, A. F. G. 1984. Plant structure and the searching efficiency of coccinellid larvae. *Oecologia* 63:394-397.
 12. Chien, C. C., Chiu, S. H., and Ku, S. C. 1989. Biological control of *Diaphorina citri* in Taiwan. *Fruits* 44:401-407.
 13. Chien, C. C., and Chu, Y. I. 1993. Biological control of the citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Taiwan, in Proceedings International Symposium on the Use of Biological Control Agents under Integrated Pest Management, pp. 186-208. Fukuoka.
 14. Collins, M. D., Ward, S. A., and Dixon, A. F. G. 1981. Handling time and the functional response of *Aphelinus thompsoni*, a predator and parasite of the aphid *Drepanosiphum platanoides*. *J. Anim. Ecol.* 50:479-487.
 15. DeBach, P. 1943. The importance of host-feeding by adult parasites in the reduction of host populations. *J. Econ. Entomol.* 36:536-553.
 16. Everson, P. 1980. The relative activity and functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *Can. Entomol.* 111:7-10.
 17. Fernando, M. H. J. P., and Hassell, M. P. 1980. Predator-prey responses in an acarine system. *Res. Pop. Ecol. Kyoto Univ.* 22:301-322.
 18. Gardner, S. M., and Dixon, A. F. G. 1985. Plant structure and the foraging success of *Aphidius rhopalosiphii* (Hym: Aphidiidae). *Ecol. Entomol.* 10:171-179.
 19. Hartley, H. O. 1961. The modified Gauss-Newton, method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. *Technometrics* 3:269-280.
 20. Hassell, M. P. 1978. The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton. 237 pp.
 21. Hassell, M. P., Lawton, J. H., and Beddington, J. R. 1977. Sigmoid functional responses by invertebrate predators and parasitoids. *J. Anim. Ecol.* 46: 249-262.
 22. Hofsvang, T., and Hagvar, E. B. 1983. Functional responses to prey density of *Ephedrus cerasicola* (Hym.: Aphidiidae), an aphidiid parasitoid of *Myzus persicae* (Hom.: Aphididae). *Entomophaga* 28:317-324.
 23. Holling, C. S. 1959a. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Entomol.* 91: 293-320.
 24. Holling, C. S. 1959b. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Entomol.* 91:385-398.
 25. Holling, C. S. 1961. Principles of

- insect predation. *Ann. Rev. Entomol.* 6: 163-182.
26. Jervis, M. A., and Kidd, N. A. C. 1986. Host-feeding strategies in Hymenopteran parasitoids. *Biol. Rev.* 61:395-434.
27. Johnston, F. A. 1915. Asparagus-beetle egg parasite. *J. Agric. Res.* 4:303-314.
28. Lenteren, J. C. van, and Bakker, K. 1978. Behavioural aspects of the functional responses of a parasite (*Pseudeucoila bochei* Weld) to its host *Drosophila melanogaster*. *Neth. J. Zool.* 28:213-233.
29. Mackauer, M. 1983. Quantitative assessment of *Aphidius smithi* (Hymenoptera: Aphidiidae): fecundity, intrinsic rate of increase, and functional response. *Can. Entomol.* 115:399-415.
30. Mordue, W., Goldsworthy, G. J., Brady, J., and Blaney, W. M. 1980. *Insect physiology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 108 pp.
31. Morris, R. F. 1963. The effect of predator age and prey defense on the functional response of *Podisus maculiventris* Say to the density of *Hyphantria cunea* Drury. *Can. Entomol.* 95: 1009-1020.
32. Singh, R., and Sinha, T. B. 1982. Factors responsible for the superparasitic ability of the parasitoid wasp *Trioxys indicus* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Entomol. Gener.* 7: 295-300.
33. Thompson, D. J. 1975. Towards a predator-prey model incorporating age structure: the effects of predator and prey size in the predation of *Daphnia magna* by *Ischnura elegans*. *J. Anim. Ecol.* 44: 907-916.
34. Tostowaryk, W. 1972. The effect of prey defense on the functional response of *Podisus modestus* (Hemiptera: Pentatomidae) to the sawflies *Neodiprion swainei* and *N. pratti banksianae* (Hymenoptera: Neodiprionidae). *Can. Entomol.* 104:61-69.
35. Welty, J. C. 1934. Experiments in group behaviour of fishes. *Physiol. Zool.* 7:85-128.

ABSTRACT

Chien, C. C.¹, Chu, Y. I.², and Ku, S. C.¹ 1995. Influences of host densities on the population increase of the eulophid wasp, *Tamarixia radiata*, and its host-killing ability. *Plant Prot. Bull.* 37:81-96.

(¹. Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.; ². Department of Plant Pathology and Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.)

Tamarixia radiata (Waterston) is an effective parasitoid of *Diaphorina citri* Kuwayama. In an attempt to understand their interaction, influences of host densities (1-80 5th-instar psyllids/day) on the population increase, host killing ability, host utilization rate, and the numerical response of *T. radiata* were determined in this study under 25 °C and 14L:10D laboratory conditions. The search-

ing rate and the handling time of the wasp were estimated according to its functional response. Results indicated that the relationships between host density and the longevity, the fecundity, the ratio of oviposition and host-feeding, the total number of wasps increased, and the total number of hosts killed were in domed parabola responses. The relationship between host density and the total number of hosts killed by feeding for lifetime was in an upward parabola response, while those between host density and superparasitism, and simultaneously parasitized and fed were in a downward parabola response. The wasp's population increase and the host-killing ability reached the highest level when the wasps were provided with 40 hosts/day. The number of wasps increased per day or per generation, and the number of hosts killed were calculated as 18 wasps/female/day or 433 wasps/female/generation, and 513 psyllids/female, respectively. Because the relationship between host density and host utilization was in an inverse dependent response, the optimal host density was found to be 2-8 psyllids/day (actual utilization rate, 90-94%) for the lifetime, and 2-20 psyllids/day (actual utilization rate, 87-90%) for the peak oviposition period. The wasp's functional response was domed (Holling type IV). The searching rates for parasitizing and killing were 0.78 and 0.89/day, respectively. The total handling times for parasitizing and killing were $25.93+0.009N_t^2$, and $23.89+0.004N_t^2$ min, respectively (N_t =host density).

(key words: *Tamarixia radiata*, *Diaphorina citri*, host density, population increase, control efficacy)