

姬龜瓢蟲之兩性生命表¹

楊大吉² 齊心³

摘要

本研究以年齡齡期兩性生命表之理論分析姬龜瓢蟲(*Propylaea japonica* Thun-berg)之生長、發育及繁殖率等。以 jackknife 方法計算姬龜瓢蟲之內在增值率、淨增值率與平均世代時間之平均值與標準機差。取食桃蚜之姬龜瓢蟲之卵期、幼蟲期、蛹期及成蟲期分別為 3.2、7.5、4.2 及 48.8 天，雄成蟲平均壽命為 48.5 天，雌成蟲為 49.2 天。內在增值率為 0.1253 / 天，淨增值率為 77.5 子代 / 雌成蟲，平均世代時間為 35.4 天。此外並計算穩定年齡齡期分布、期望壽命及繁殖值。

(關鍵字：姬龜瓢蟲、兩性生命表、族群統計)

¹花蓮區農業改良場研究報告第 127 號。本文為第一作者碩士論文之一部份。

²花蓮區農業改良場作物環境課助理。

³國立中興大學昆蟲學研究所教授。

前言

姬龜瓢蟲 *Propylaea japonica* Thunberg(Coleoptera: Coccinellidae)為蚜蟲類重要天敵之一，原產地為中國大陸，台灣及日本亦可見其蹤跡(江瑞湖 1956)。其卵呈黃色，長橢圓形。幼蟲於蚜蟲缺乏時有取食同種卵之習性，大型幼蟲有互相殘殺之習性。成蟲亦會捕食卵、幼蟲及蛹。本蟲尚會取食植物花粉、蜜露、病菌菌絲及孢子等以維壽命。使用代用飼料飼養亦可維持相當日數，完成一個世代所需時間較短，但成蟲壽命較長(陶家駒 1972)。宋慧英等(1988)研究不同食餌對姬龜瓢蟲生長、發育繁殖之影響，並且使用代用飼料使姬龜瓢蟲完成生活史，但其存活率、雌蟲之產卵量及卵之孵化率都沒有取食蚜蟲者高。陶家駒(1972)研究桃蚜之昆蟲天敵，發現在定植之青梗白菜園中，捕食性瓢蟲以六條瓢蟲(*Menochius sexmaculatus* Fabricus)、褐尾小黑瓢蟲(*Scymnus* sp.)、波紋瓢蟲(*Coccinella reponda*)與姬龜瓢蟲等四種較為常見。倪秀華(1984)指出在菸田中桃蚜之瓢蟲類天敵有六條瓢蟲、姬龜瓢蟲、八條瓢蟲(*Coccinella octopunctata* (Fabricius))、錨紋瓢蟲(*Lemnia plagiata* (Swar-tz))與七星瓢蟲(*Coccinella septempunctata brucki* Mulsant)。

生命表為族群生態學之基礎，由於生命表的研究可瞭解不同年齡(或年齡與齡期)的個體之存活與繁殖，因此能正確描述族群的生長。國內外，有關各種生物的生命表研究極多(例：Birch 1948，齊心 1989，唐丁水與齊心 1991，Osawa 1992)。至於族群介量之計算，學者大多採用 Birch(1948)之方法計算具年齡結構昆蟲族群之族群介量(Andrewartha and Birch 1954, Harrison 1969, DeLoach 1974，施劍瑩等 1978，施劍瑩與李學進 1978，施劍瑩與謝忠能 1978，1979，施劍瑩與徐碧華 1980，黃振聲與謝豐國 1983，倪秀華與施劍瑩 1983，Carey 1983，Chen

and Hsiao 1984, Culliney and Pimentel 1985, 劉玉章等 1985, Carey and Vargas 1985, 1988, Jansson and Smilowitz 1985, Liu et al. 1985, 1987, 劉玉章與洪希奕 1988)。

由於昆蟲族群個體之生長、發育速率不同而有齡期重疊現象。又由於雌雄兩性之間之生長率、發育率亦不同，而有明顯的兩性型化現象(sexual dimorphism)。因此，Chi and Liu(1985)和 Chi(1988)發表具有年齡、齡期及兩性之生命表理論，並且詳細說明計算方法。此理論不僅考慮族群內不同年齡、齡期個體生長發育速率之差異，同時考慮了雌雄兩性間之差異。此理論已有許多研究採用(例：Chi and Getz 1988, Getz and Haight 1989, 齊心 1989, 王秋敏與蘇宗宏 1989, 陸元丁 1989, 楊余兵與黃明度 1989, 蔡忻旻等 1989, 方建嘒與齊心 1990, 蒲蟄龍 1990, 劉玉章與黃莉欣 1990, Chi 1990, Rutz et al. 1990, 唐丁水與齊心 1991, 蔡忻旻與齊心 1991, 郭美華 1992, Chi and Tang 1993)。Caswell and Weed (1986)亦提出應考慮雌雄性別間之差異，並且將此概念應用於生命表。Gutierrez et al. (1984)及 Plant and Wilson (1986)亦指出應考慮族群內個體間發育速率變異，並運用分布延遲理論以研究族群成長。Caswell (1989)及 Manly(1990)分別提出具齡期結構之族群生長理論。

由於生命表之研究十分耗時，一般皆以一個族群為對象，因而往往無法了解族群之變異性。為了考慮族群介量之變異性，Lenski and Service (1982)及 Service and Lenski (1982)使用 jackknife(見 Sokal and Rohlf 1981)方法估算蚜蟲之終極增殖率(λ)及其標準機差(standard error)。Meyer et al. (1986)則以 bootstrap 方法估算各族群介量之平均值及標準機差。Chi and Getz (1988)同樣以 jackknife 方法估算 potato tuberworm (*Phthorimaea operculella* (Zeller))各族群介量之平均值及標準機差。唐丁水與齊心(1991)及 Chi and Tang (1993)亦以 jackknife 估算擬尺蠖(*Trichoplusia ni* Hubner)各族群介量之平均值及標準機差。

本研究以田間常見之姬龜瓢蟲 *Propylaea japonica* Thunberg 為捕食者，以桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)為姬龜瓢蟲之食餌，且以雪裡紅 *Brassica juncea* (L.) Czern. var. *foliosa* Bailey 作為桃蚜之寄主植物，根據 Chi and Liu(1985)及 Chi(1988)之年齡齡期兩性生命表理論，研究姬龜瓢蟲族群之生長率、發育率、繁殖率及族群介量等。

材料與方法

一、供試材料

(一) 桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer))

試驗用之桃蚜採集自台中市中興大學校園。採回之桃蚜以盆栽之雪裡紅(*Brassica juncea* (L.) Czern. var. *foliosa* Bailey)飼養於露天網室，每週更換雪裡紅盆栽以保持桃蚜食物的質與量，並可避免有翅蚜的發生。於露天網室飼養約五代後，將部份盆栽移入定溫箱中(25 ± 1 °C, 65 ± 5 % RH, 光週期 L:D=12:12)，每週更換盆栽，經過二代後進行各項試驗。

(二) 姬龜瓢蟲 (*Propylaea japonica* Thunberg)

試驗用之姬龜瓢蟲採集自台中市中興大學校園。採回之姬龜瓢蟲以盆栽雪裡紅上之桃蚜飼養於露天網室。每週補充雪裡紅盆栽及蚜蟲，以維持網室內姬龜瓢蟲之族群。飼養三代後，

將部份之雪裡紅盆栽、桃蚜及姬龜瓢蟲（包含卵、幼蟲、蛹及成蟲）移入定溫箱（ 25 ± 1 °C， 65 ± 5 % RH，光週期 L:D=12:12）中繼續飼養，並隨時保持足夠量之桃蚜。每週定時補充並更新雪裡紅盆栽及桃蚜。飼養二代後進行各項試驗。

（三）雪裡紅(*Brassica juncea* (L.) Czern. var. *foliosa* Bailey)之栽培

雪裡紅先以育苗盆（長 55 cm，寬 27.5 cm，高 4 cm，16×8 格）育苗，栽培介質為泥炭土。每個育苗盆撒三至四粒雪裡紅種子，並隨時保持泥炭土的潮濕。將育苗盆置於露天網室讓其發芽一週後，雪裡紅之子葉完全展開並有一至二片新葉時，使每個育苗格僅留一株小苗，其餘拔除。大約再一週後，小苗之新葉約有三至四片，將一部份之小苗移植入黑色塑膠盆（直徑 12.5 cm，高 9 cm）中，待其生長二至三週後即可移入飼養桃蚜之露天網室中作為桃蚜之寄主植物。另一部份之小苗則移植入小塑膠盆（直徑 9 cm，高 7 cm）中，同時蓋上一透明塑膠盒（直徑 9 cm，高 5.5 cm，頂端有直徑 4 cm 並覆有絹網之透氣孔），此一組合作為試驗進行中單獨飼育桃蚜用，以下簡稱為“飼育盒”。育苗、移植等工作須每週進行，以保持桃蚜之食物不致中斷，並使姬龜瓢蟲之食餌—桃蚜不致匱乏。

二、試驗方法

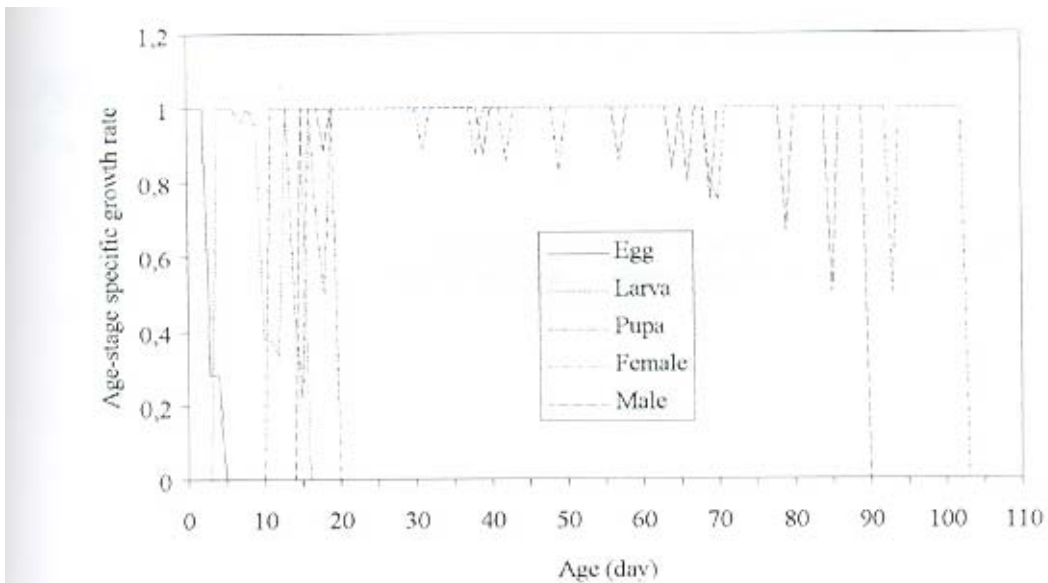
自定溫箱內姬龜瓢蟲族群中取成蟲 5 對（雌、雄各 5 隻），採其同日產下之卵 25 個置於定溫箱內（ 25 ± 1 °C， 65 ± 5 % RH，光週期 L:D=12:12）作單獨飼育。卵孵化後將一齡之姬龜瓢蟲分別挑入飼育盒內之雪裡紅小苗上，並每日補充小苗上有第三齡期之桃蚜，作為姬龜瓢蟲之食物，飼育盒每週更換一次，以保持盒內雪裡紅植株健康。羽化後之成蟲以一雌一雄配對，每日觀察並記錄其存活、死亡及繁殖等資料，至成蟲全部死為止。試驗所得之生長、發育及繁殖等資料亦以年齡齡期兩性生命表理論分析，並計算姬龜瓢蟲之生長率、發育率、繁殖率及族群介量等。此外，亦以 jackknife 方法計算姬龜瓢蟲各族群介量之平均值及標準機差。

結果與討論

一、姬龜瓢蟲之族群統計分析

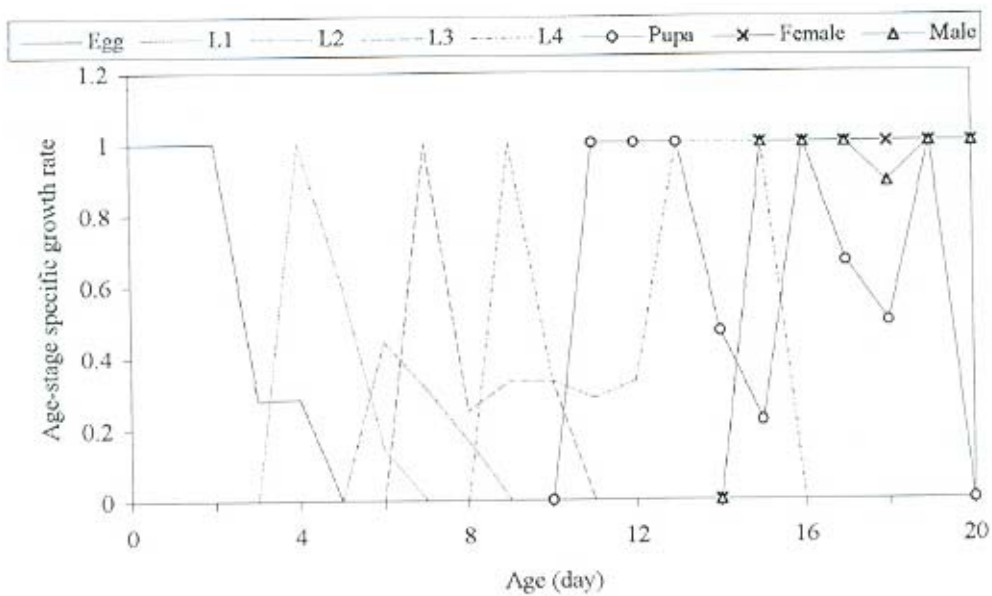
為了考慮個體間生長、發育及繁殖率之差異，以兼具有年齡齡期及雌雄兩性之兩性生命表(Chi and Liu 1985)計算供給第三齡期桃蚜為食餌之姬龜瓢蟲之生長率、發育率及繁殖率。生長率代表經過一個時間單位後，仍停留於同一齡期之比率，發育率即表示經過一個時間後發育至下一齡期之比率。同一年齡齡期組之生長率與發育率之和小於或等於 1。圖一為整個生活史 104 天中之生長率，由於幼蟲期相對於整個生活史而言十分短，若細分為各齡幼蟲，則曲線不易分辨，故將前 20 天之曲線另繪成圖二，由圖二中則可以詳細區分各齡幼蟲。圖二中第 11 天時蛹期之生長率為 1，第四齡幼蟲於第 16 天之生長率為 0。發育率如圖三所示，於第 14 天時，蛹經過一個時間單位發育為雌、雄成蟲之比率分別為 0.21 及 0.32。繁殖率（圖四）顯示雌成蟲各年齡產卵量之變異頗大，剛開始隨年齡增加而增加，於日齡為第 30 天時達到高峰，之後繁殖率隨年齡增加而有逐漸減小之趨勢。圖五及圖六之存活率，表示從出生存

活至該年齡、齡期之比率。此圖為利用生長率與發育率根據 Chi and Liu(1985)之公式計算而得，為姬龜瓢蟲族群之實際存活曲線。



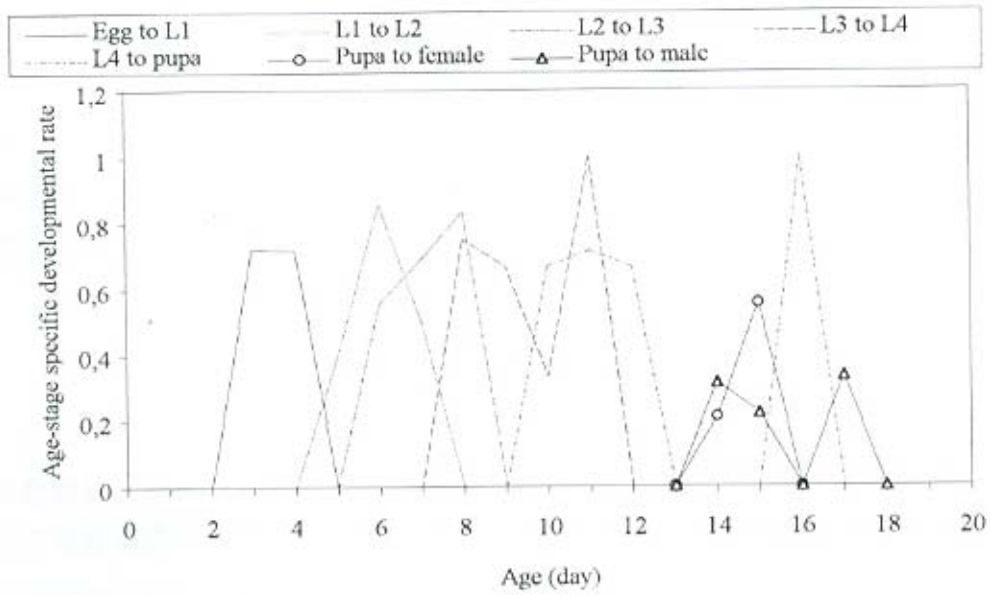
圖一、姬龜瓢蟲之年齡齡期別生長率

Fig. 1. The age-stage specific growth rate of *P. japonica* .



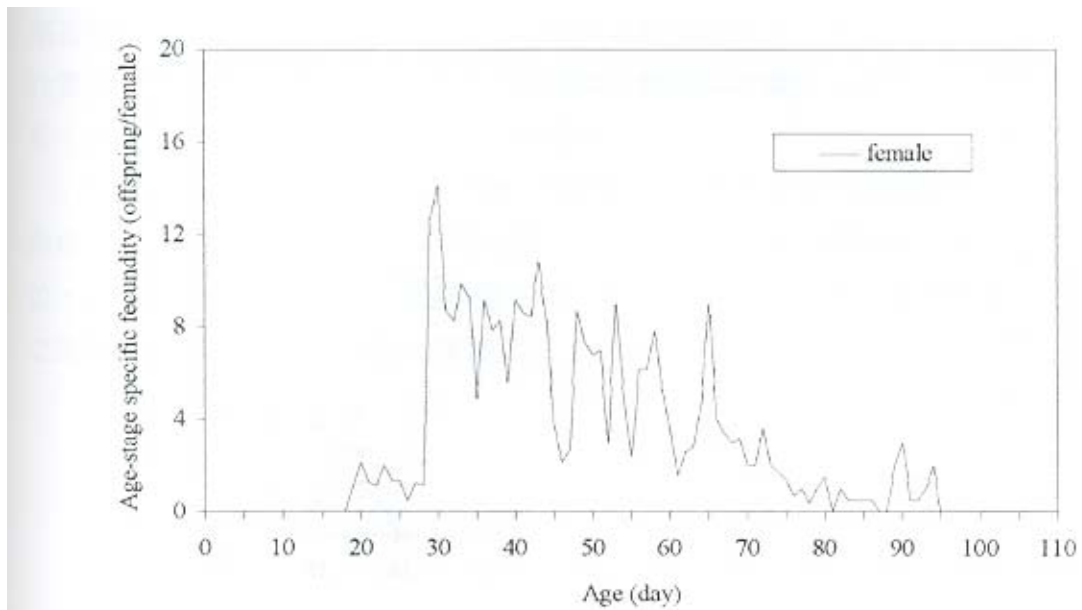
圖二、姬龜瓢蟲之年齡齡期別生長率(前20天)

Fig. 2. The age-stage specific growth rate (the first 20 days) of *P. japonica* .



圖三、姬龜瓢蟲之年齡齡期別發育率

Fig. 3. The age-stage specific developmental rate (the first 20 days) of *P. japonica*.



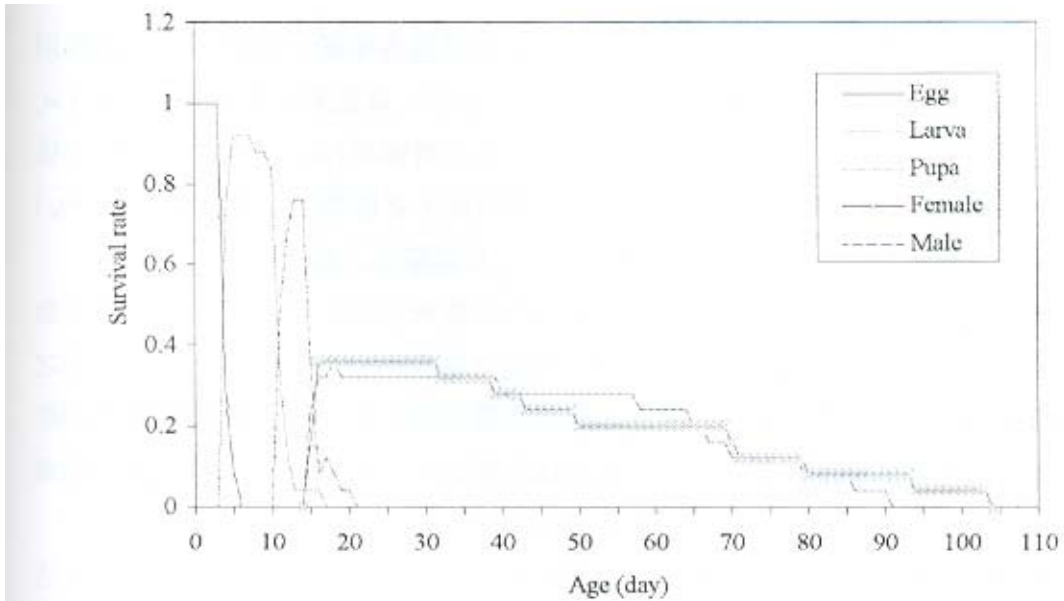
圖四、姬龜瓢蟲之年齡齡期別繁殖率

Fig. 4. The age-stage specific fecundity of *P. japonica*.

年齡齡期別死亡率分佈圖（圖七）可以看出姬龜瓢蟲於何年齡、齡期時死亡率較高。

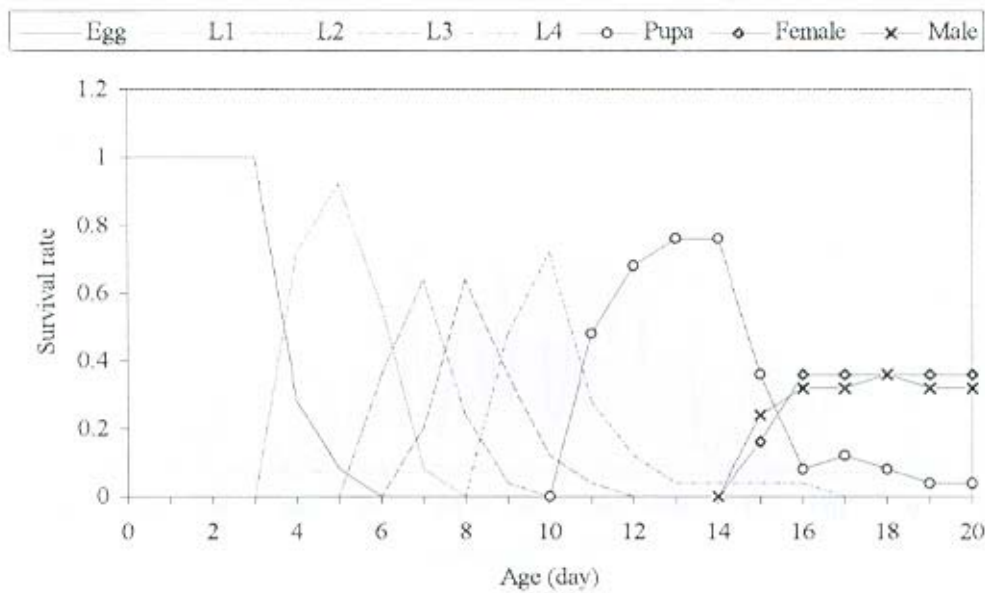
由年齡別存活率與繁殖率之圖（圖八）可知姬龜瓢蟲各年齡之繁殖情形。年齡別存活率(l_x)表示族群在此年齡時，實際存活個體之比率，以此乘以年齡別繁殖率(m_x)，得到年齡別產殖率(v_x)， v_x 曲線下之面積即是淨增殖率(R_0)。取食第三齡期桃蚜之姬龜瓢蟲繁殖率起伏頗大，

於第 29 至 30 天之間較高，之後隨年齡增加繁殖率(m_x)及特定年齡淨繁殖率(v_x)曲線雖呈上下波動，但有漸漸降低之趨勢。



圖五、姬龜瓢蟲之存活率

Fig. 5. The survival rate of *P. japonica*.



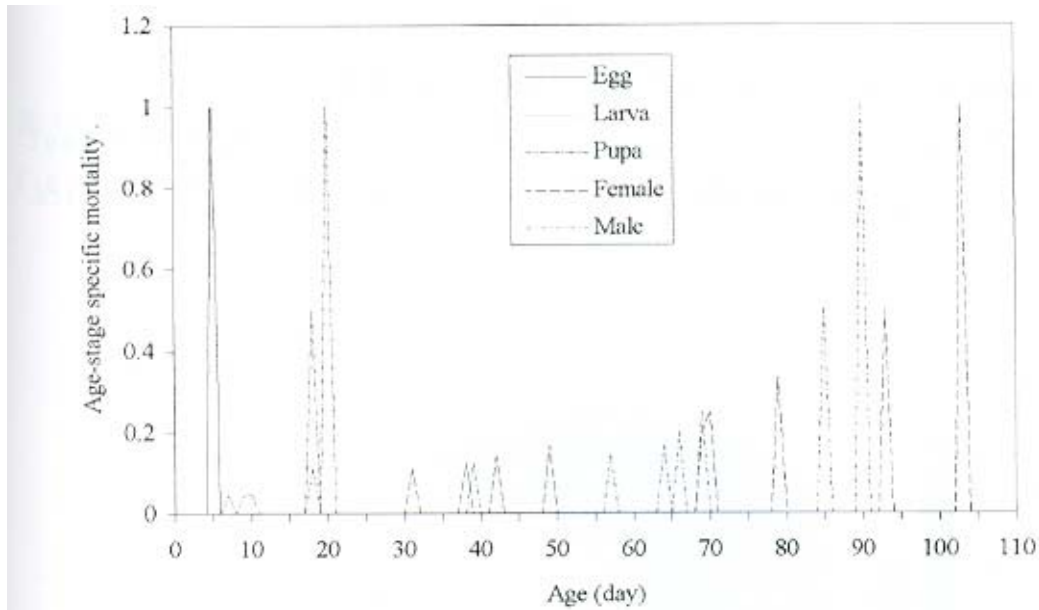
圖六、姬龜瓢蟲之存活率（前20天）

Fig. 6. The survival rate (the first 20 days) of *P. japonica*.

在無食物與空間之限制條件下，且族群之出生率與死亡率不變，則此族群最後會趨向穩定年齡分佈 (Lotka 1922)。姬龜瓢蟲之穩定年齡齡期分布如圖九。卵期初期之分佈均較高，且隨年齡增加而減小。穩定年齡分佈圖 (圖十)，其分佈隨年齡增加而減小。圖十一之穩定

齡期分佈顯示卵期所佔之比率略低於幼蟲期，蛹期與成蟲期則減小。由圖九至圖十一得知，此族群為一成長中的族群。

年齡齡期別繁殖值(圖十二)及年齡別繁殖值(圖十三)與族群之繁殖率與存活率有關。雖然幼蟲期、蛹期及雄成蟲期並無繁殖率，但依 Fisher (1958)之定義，前三期對後代之貢獻可算出。由於產生後代需由雌成蟲完成，雌成蟲需經由卵期、幼蟲期及蛹期發育而來，故卵期、幼蟲期與蛹期之繁殖值較低。雄成蟲之繁殖值至今尚無計算方法，因此無法計算。圖十二中雌成蟲之繁殖值之變化，類似圖四之繁殖率之變化，兩者最大數值均介於第 29 至 30 天之間。



圖七、姬龜瓢蟲之年齡齡期別死亡率分布

Fig. 7. The age-stage distribution of mortality of *P. japonica*.

期望壽命為個體仍能存活之天數。年齡齡期別期望壽命(圖十四)及年齡別期望壽命(圖十五)與死亡率及存活率有關，通常期望壽命隨年齡加大一單位而減小一單位，若於 x 年齡有個體死亡，則 x 年齡之期望壽命減少較多。但若此族群存活到年齡 $x+1$ ，之個體皆能存活到 $x+2$ ，則 $x+1$ 年齡之期望壽命較 x 年齡者高。

二、姬龜瓢蟲之族群介量

族群介量之計算，一般學者皆採用 Birch(1948)之方法(Harrison 1969, DeLoach 1974, 倪秀華與施劍瑩 1983, 黃振聲與謝豐國 1983, Culliney and Pimentel 1985, Jansson and Smilowitz 1985)。 r 為內在增殖率，表示在食物及空間不虞匱乏下並排除其它物種之條件下所得到之最大增殖率。 λ 為終極增殖率。 R_0 為淨繁殖值。 T 為平均世代時間，表示自親代出生至子代出現之平均時間。

姬龜瓢蟲之族群介量列於表一。其內在增殖率為 0.1253 / 天，終極增殖率為 1.1308 / 天，淨增殖率為 77.5 子代 / 雌成蟲，平均世代時間為 35.4 天。

表一、姬龜瓢蟲之族群介量

Table 1. Population parameters of *P. japonica* (numbers in parenthesis are SEM)*

	r	λ	R0	T
	(1/day)	(1/day)	(offspring/♀)	(day)
<i>P. japonica</i>	0.1253	1.1308	77.5	35.4
	(0.0147)	(0.0170)	(33.1)	(2.8)

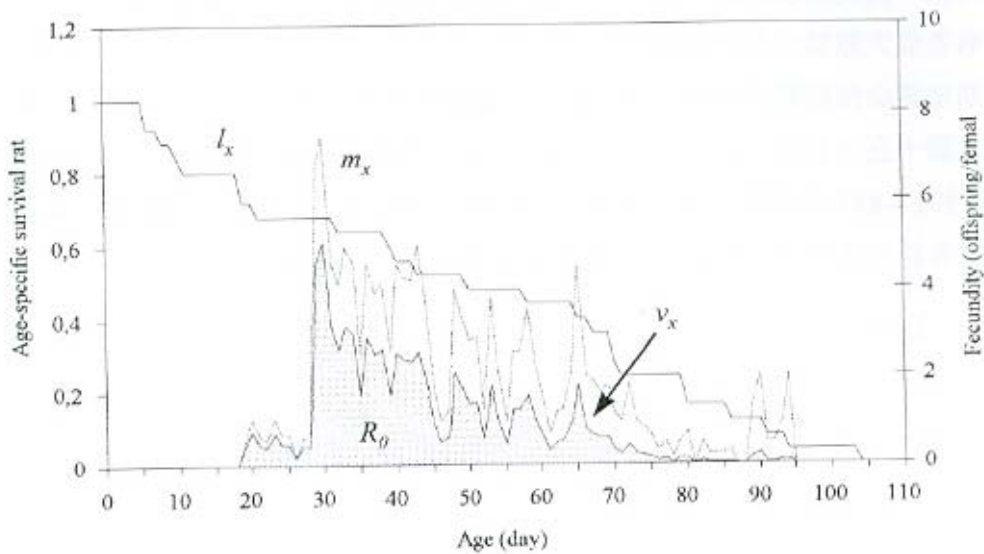
*SEM：平均值之標準機差(standard error of mean)

r：內在增殖率(the intrinsic rate of natural increase)

λ ：終極增殖率(the finite rate of increase)

R0：淨繁殖值(the net reproductive rate)

T：平均世代時間(the mean length of a generation)

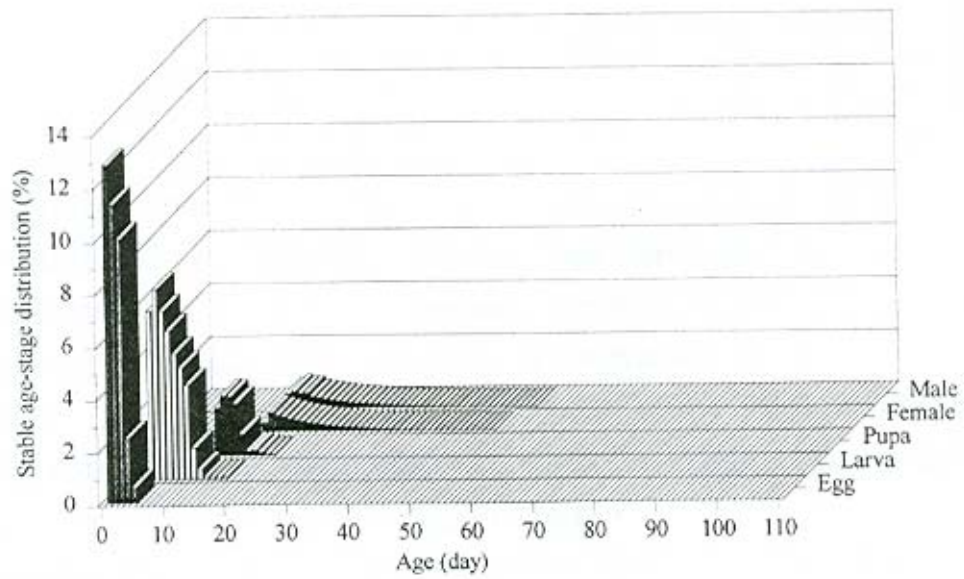


圖八、姬龜瓢蟲之年齡別存活率、繁殖率、淨繁殖率及淨繁殖值

Fig. 8. The age-specific survival rate (l_x), fecundity (m_x), net maternity (v_x) and the net reproductive rate (R_0) of *P. japonica*.

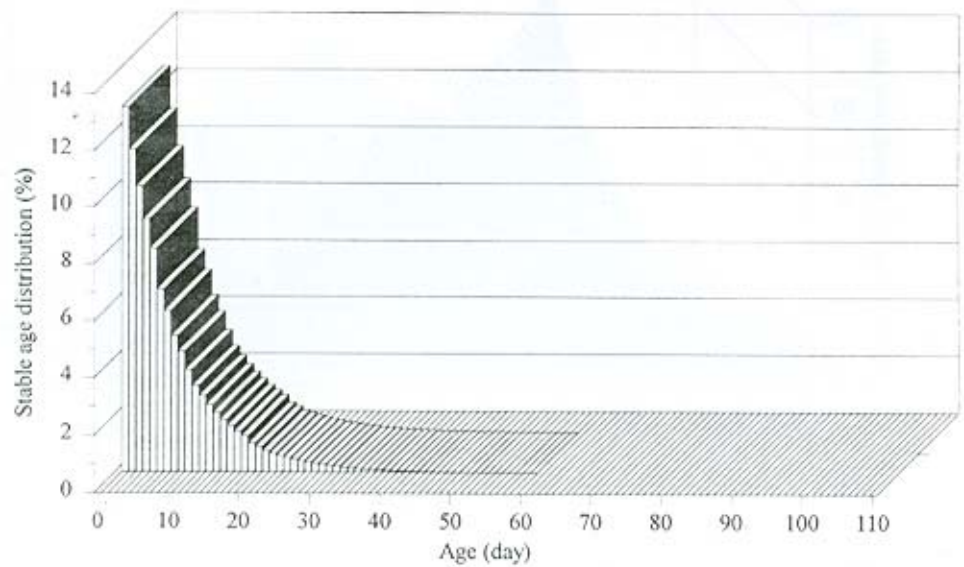
三、姬龜瓢蟲之生活史基本統計

姬龜瓢蟲生活史基本統計列於資料表二。若不考慮性別，姬龜瓢蟲之卵期為 3.2 天、幼蟲期為 7.5 天，蛹期為 4.2 天，而成蟲壽命則甚長為 48.8 天，此與陶家駒(1972)及宋慧英等(1988)所得之結果相似。姬龜瓢蟲雌成蟲壽命大於雄成蟲。姬龜瓢蟲雌成蟲平均產卵數為 215 ± 74 ，小於陶家駒(1972)所指之姬龜瓢蟲產卵數 1000 至 1500。



圖九、姬龜瓢蟲之穩定年齡齡期分布

Fig. 9. The stable age-stage distribution of *P. japonica*.



圖十、姬龜瓢蟲之穩定年齡分布

Fig. 10. The stable age distribution of *P. japonica*.

表二、姬龜瓢蟲生活史之基本統計

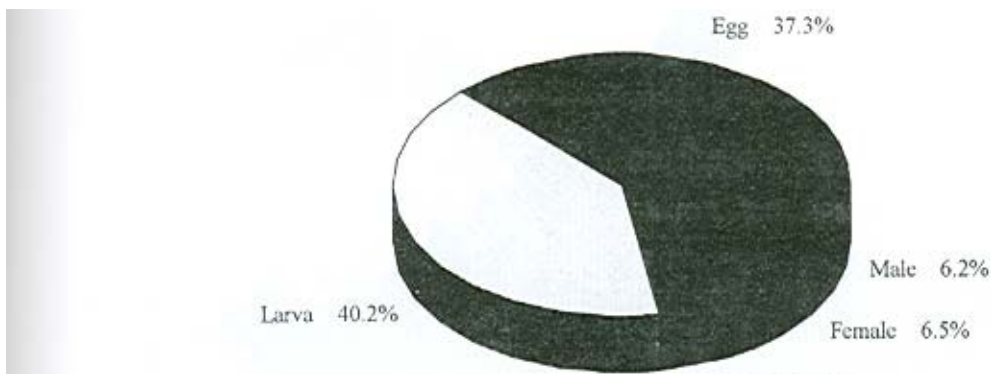
Table 2. Basic statistics of life history of *P. japonica*.*

Stage duration	Sex	N	Mean(day)	SEM
Egg	All	23	3.2	0.1
Larva	All	20	7.5	0.3

L1	All	22	2.4	0.1
L2	All	21	1.4	0.1
L3	All	20	1.6	0.1
L4	All	20	2.2	0.2
Pupa	All	18	4.2	0.1
Adult	All	18	48.8	5.5
Egg	F	9	3.1	0.1
Larva	F	9	7.2	0.2
L1	F	9	2.3	0.2
L2	F	9	1.2	0.2
L3	F	9	1.7	0.2
L4	F	9	2.0	0.0
Pupa	F	9	4.2	0.2
Adult	F	9	49.2	8.4
Egg	M	9	3.3	0.2
Larva	M	9	7.1	0.3
L1	M	9	2.3	0.2
L2	M	9	1.4	0.2
L3	M	9	1.3	0.2
L4	M	9	2.0	0.0
Pupa	M	9	4.1	0.1
Adult	M	9	48.5	7.7
Egg	N	5	3.2	0.2
Larva	N	2	10.5	1.5
L1	N	4	2.6	0.3
L2	N	3	1.7	0.3
L3	N	2	2.0	1.0
L4	N	2	4.0	1.0
Pupa	N	0	-	-
Adult	N	0	-	-
Mean longevity	N	7	10.6	2.3

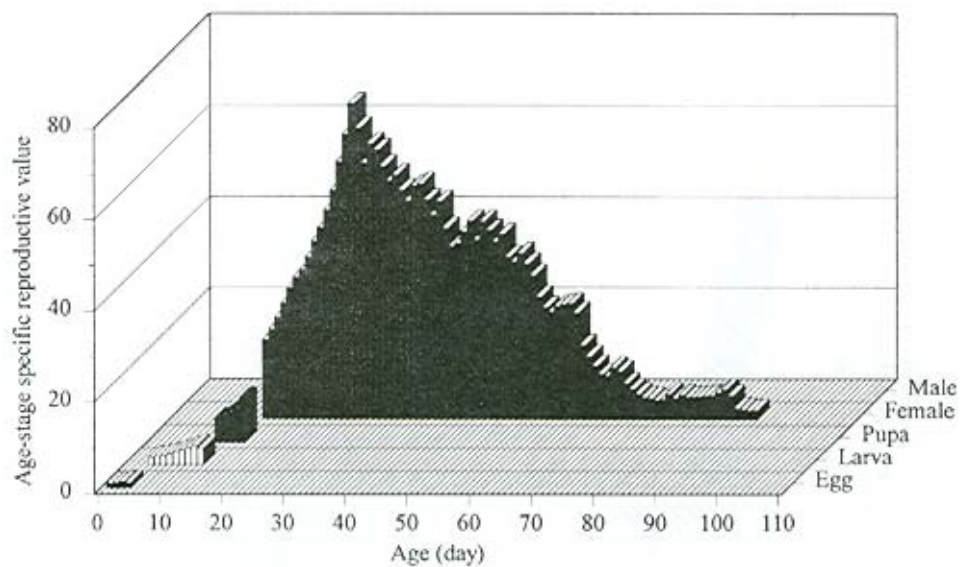
Fecundity	F	9	215offspring/♀74
-----------	---	---	------------------

*F:female, M:male, N:those died in preadult stage



圖十一、姬龜瓢蟲之穩定齡期分布

Fig. 11. The stable stage distribution of *P. japonica*.

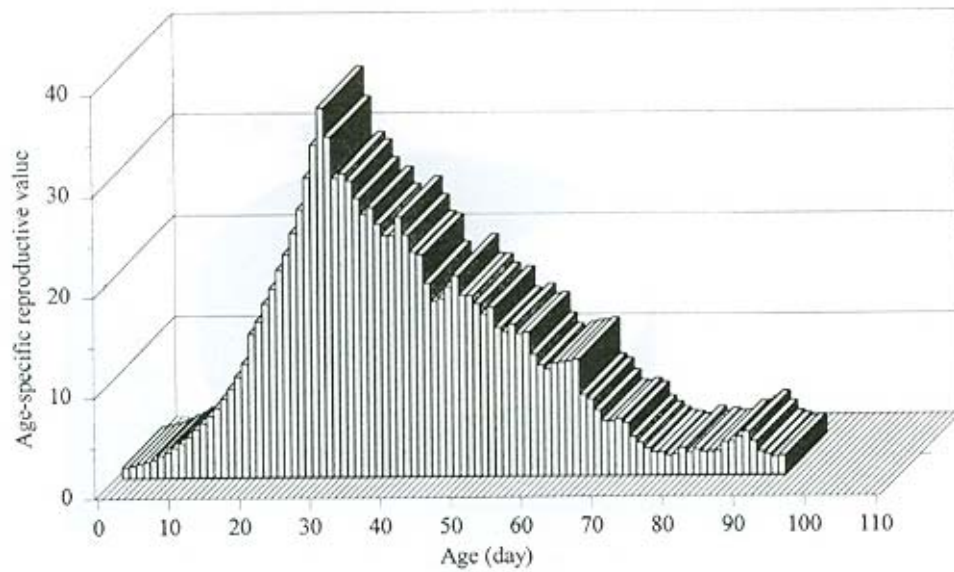


圖十二、姬龜瓢蟲之年齡齡期別繁殖值

Fig. 12. The age-stage specific reproductive value of *P. japonica*.

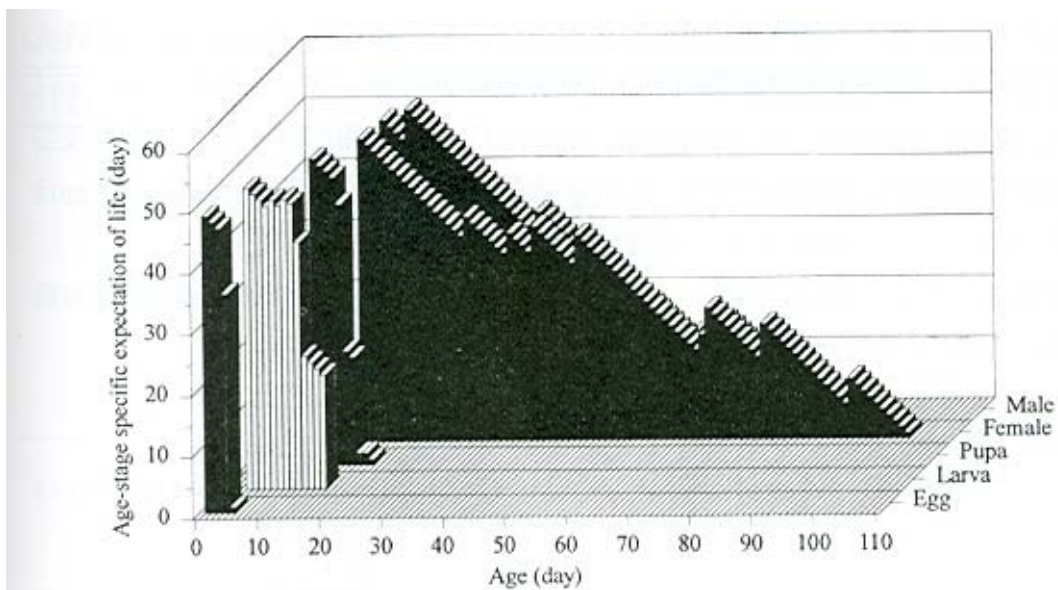
結論

為了考慮不同年齡、齡期以及不同性別個體間之生長、發育及繁殖之差異，以年齡齡期兩性生命表理論分析姬龜瓢蟲之生活史資料，可以更正確的分析生命表資料，而可正確描述族群特性。



圖十三、姬龜瓢蟲之年齡別繁殖值

Fig. 13. The age-specific reproductive value of *P. japonica* .

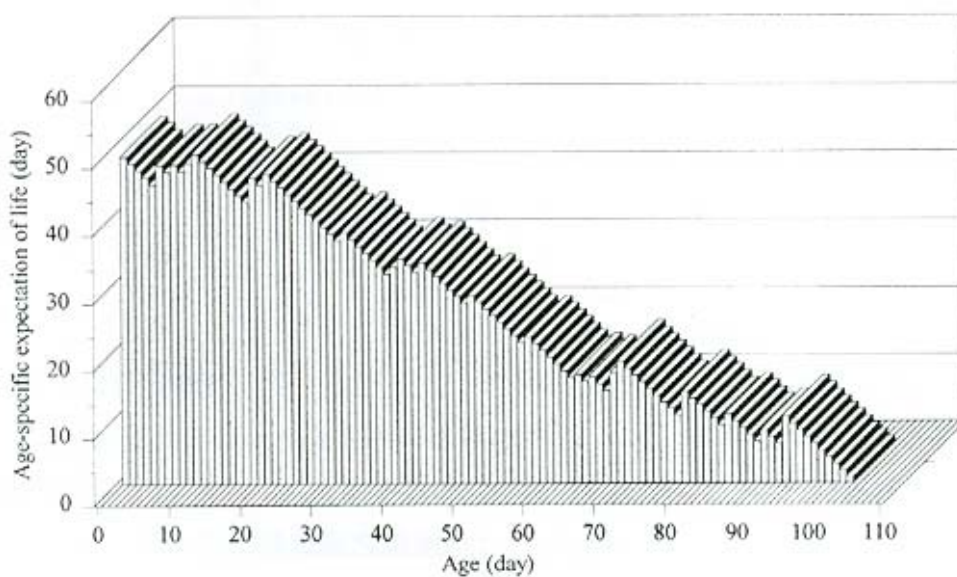


圖十四、姬龜瓢蟲之年齡齡期別期望壽命

Fig. 14. The age-stage specific expectation of life of *P. japonica* .

參考文獻

- 1.方建曉、齊心 1990 家蠅之兩性生命表 興大昆蟲學報 23:1-11。
- 2.王秋敏、蘇宗宏 1989 溫度影響棕櫚盾介殼蟲之族群介量 中華昆蟲 9(2):151-156。
- 3.江瑞湖 1956 台灣瓢蟲之初步研究 台灣省立農學院農林學報 5:183-205。



圖十五、姬龜瓢蟲之年齡別期望壽命

Fig. 15. The age-specific expectation of life of *P. japonica*.

4. 宋慧英、吳力游、陳國發、汪澤春、宋慶明 1988 龜紋瓢蟲生物學特性的研究 昆蟲天敵 10(1):22-33。
5. 施劍瑩、李學進 1978 台灣桑木蠹(*Paurocephala psylloptera* Crawford)之生物特性、棲群生態及其防除策略檢討之棲群模式 興大昆蟲學報 13(1):73-81。
6. 施劍瑩、徐碧華 1980 斜紋夜盜(*Spodoptera litura* (F.))之生物特性、生命表及內在增殖率 台灣蘆筍研究 69:53-59。
7. 施劍瑩、黃淑明、謝忠能 1978 神澤氏葉蟎(*Tetranychus kanzawai* Kishida)之生物特性、生命表及棲群內在增殖率。植保會刊 20(3):181-190。
8. 施劍瑩、謝忠能 1978 兩點植物葉蟎(*Tetranychus cinnabarinus* Boisduval)之生物特性、生命表及棲群內在增殖率 植保會刊 20(4):321-329。
9. 施劍瑩、謝忠能 1979 長毛捕植蟎(*Amblyseius longispinosus* (Evans))之生物特性、生命表、捕食潛能及內在增殖率 植保會刊 21(2):175-183。
10. 唐丁水、齊心 1991 擬尺蠖(*Trichoplusia ni* Hubner)之生命表與取食量 中華昆蟲 11:282-290。
11. 倪秀華、施劍瑩 1983 溫度對桃蚜在台灣五號菸草上的發育及族群增長之影響 菸試彙報 19:49-57。
12. 陶家駒 1972 十字花科蔬菜蚜蟲綜合防治報告 台灣農業 8(4):140-154。
13. 陸元丁 1989 柑桔紅圓蚧實驗種群生命表及寄生天敵對其自然種群的控制作用研究 柑桔害蟲綜合治理論文集 學術書刊出版社 p.207-217。
14. 郭美華 1992 不同定溫下桃蚜在蘿蔔及馬鈴薯上之族群介量 植保會刊 34:180-191。

- 15.黃振聲、謝豐國 1983 桃蚜(*Myzus persicae* (Sulzer))之發育生物學及其棲群增長 植保會刊 25:77-86。
- 16.張廣學、鍾鐵森 1983 中國經濟昆蟲誌 第二十五冊，同翅目、蚜蟲類(一) 科學出版社 387pp。
- 17.楊余兵、黃明度 1989 柑桔木蝨種群生命系統模型的研究 柑桔害蟲綜合治理論文集 學術書刊出版社 廣州市 p.144-125。
- 18.齊心 1989 家蠶(*Bombyx mori* L.)之兩性生命表 中華昆蟲 9:141-150。
- 19.蒲蟄龍 1990 農作物害蟲管理數學模型與應用 廣東科技出版社 504pp。
- 20.劉玉章、齊心、陳雪惠 1985 溫度與食物對東方果實蠅族群介量之影響 中華昆蟲 5(1):1-10。
- 21.劉玉章、洪希亦 1988 柑桔葉蟎之族群介量及族群變動 植保會刊 30(2):175-201。
- 22.劉玉章、黃莉欣 1990 食物因子作用下之東方果實蠅族群統計學介量 中華昆蟲 10(3):119-130。
- 23.蔡忻旻、齊心 1991 黑圓蔗龜(*Alisontum impressicolle* Arrow)之兩性生命表 台灣糖業研究所研究彙報 134:1-18。
- 24.蔡忻旻、貢毅紳、施劍瑩 1989 溫度對茶樹神澤葉蟎(*Tetranychus kanzawai* Kishida)生活史及族群介量之影響 植保會刊 31(2):119-130。
- 25.Andrewartha, H. G. and L. C. Birch. 1954. The distribution and abundance of animals. University of Chicago Press, Chicago. 782pp.
- 26.Birch, L. C. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. J. Anim. Ecol. 17:15-26.
- 27.Carey, J. R. 1983. Practical application of the stable age distribution: Analysis of a tetranychid mite (Acari: Tetranychidae) population outbreak. Environ. Entomol. 12:10-18.
- 28.Carey, J. R. and R. I. Vargas. 1985. Demographic analysis of insect mass rearing: A case study of three tephritids. J. Econ. Entomol. 78:523-527.
- 29.Carey, J. R. and R. I. Vargas. 1988. Demographic analysis of insect reproductive levels, patterns and heterogeneity: A case study of laboratory strains of three Hawaiian tephritids. Entomol. Exp. Appl. 46:85-91.
30. Caswell, H. 1989. Matrix population models: Construction, analysis, and interpretation. Sinauer Associations Inc., Sunderland, Massachusetts.
31. Caswell, H. and D. E. Weeks. 1986. Two sex model: Chaos, extinction, and other dynamic consequences of sex. Am. Nat. 128: 707-735.
32. Chen, C. N. and W. F. Hsiao. 1984. Influence of food and temperature on life history traits and population parameters of *Spodoptera litura* (Fabricius). Plant Pro. Bull. (Taiwan, R. O. C.) 26: 219-229.

33. Chi, H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals. *Environ. Entomol.* 17(1): 26-34.
34. Chi, H. 1990. Timing of control based on the stage structure of pest populations: A simulation approach. *J. Econ. Entomol.* 83 (4): 1143-1150.
35. Chi, H. and H. Liu. 1985. Two new methods for the study of insect population Ecology. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 24(2): 225-240.
36. Chi, H. and W. M. Getz. 1988. Mass rearing and harvesting based on an age-stage, two-sex life table: A potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae) case study. *Environ. Entomol.* 17: 18-25.
37. Chi, H. and D. S. Tang. 1993. Age-stage, two-sex life table of the cabbage looper. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 8: 627-632.
38. Culliney, T. W. and D. Pimentel. 1985. The intrinsic rate of natural increase of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on collards (*Brassica oleracea* L.). *Can. Ent.* 117: 1147-1149.
39. DeLoach, C. J. 1974. Rate of increase of populations of cabbage, green peach, and turnip aphids at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67(3): 332-340.
40. Fisher, R. A. 1958. *The genetical theory of natural selection.* Dover, New York.
41. Getz, W. M. and R. G. Haight. 1989. *Population harvesting: Demographic models of fish, forest, and animal resources.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 391pp.
42. Gutierrez, A. P., J. U. Baumgartner and C. G. Summers. 1984. Multitrophic models of predator-prey energetics: A realistic model of plant-herbivore-parasitoid-predator interactions. *Can. Entomol.* 116: 923-963.
43. Harrison, F. P. 1969. Reproductive capacity of the green peach aphid on Maryland tobacco. *J. Econ. Entomol.* 62(3): 593-596.
44. Jansson, R. K. and Z. Smilowitz. 1985. Development and reproduction of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), on upper and lower leaves of three potato cultivars. *Can. Ent.* 117: 247-252.
45. Lenski, R. E. and P. M. Service. 1982. The statistical analysis of population growth rate calculated from schedules of survivorship and fecundity. *Ecology* 63: 655-662.
46. Liu, H., H. Chi, C. N. Chen and K. S. Kung. 1985. The population parameters of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), on common kale. *Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.)* 27: 145-153.
47. Liu, H., H. Chi, C. N. Chen and K. S. Kung. 1987. Population parameters of the diamondback moth in relation to its susceptibility to insecticides. *Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.)* 29: 283-291.

48. Lotka, A.J. 1922. The stability of stable age distribution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 8: 339-345.
49. Manly, B. F. J. 1990. *Stage-structured populations: sampling, analysis and simulation*. Chapman and Hall, New York, USA.
50. Meyer, J. S., C. G. Ingersoll, L. L. McDonald and M. S. Boyce. 1986. Estimating uncertainty in population growth rate: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology* 67: 1156-1166.
51. Osawa, N. 1992. A life table of the ladybird beetle *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae) in relation to the aphid abundance. *Jpn. J. Ent.* 60(3): 575-579.
52. Plant, R. E. and L. T. Wilson. 1986. Models for age structured populations with distributed maturation rates. *J. Math. Biol.* 23: 247- 262.
53. Rutz, C. H., U. Hugentobler, H. Chi, J. U. Baumgartner, and J. J. Oertli. 1990. Energy flow in an apple plant-aphid (*Aphis pomi* De Geer) (Homoptera: Aphididae) ecosystem with respect to nitrogen fertilization. I. Life table analysis. In M. L. van Beusichem [ed.], *Plant nutrition-physiology and applications*. Kluwer, Amsterdam. 625-631.
54. Service, P. M. and R. E. Lenski. 1982. Aphid genotypes, plant phenotypes, and genetic diversity a demographic analysis of experimental data. *Evolution* 36: 1276-1282.
55. Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1981. *Biometry*. Second edition. W. H. Freeman, San Francisco, California, USA.