

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：動物學

作 品 名 稱：大安水蓑衣(*Hygrophila pogonocalyx*)的復育對黑擬蛺蝶(*Junonia iphita iphita*)食性偏好及生長發育的影響

得 獎 獎 項：第一名
匈牙利正選代表：匈牙利 2008 國際科學博覽會

學校 / 作者：臺北市立建國高級中學 譚文皓

作者簡介



我的名字叫譚文皓，目前就讀於台北市建國高級中學二年級。從小就對生物世界充滿好奇，很幸運的自國小至今，一直有機會在師長的指導下參與科展競賽，讓我學習如何藉由科學的研究方法來探究生物世界的奧秘。做研究的過程是辛苦但是充滿樂趣的，在進行實驗的這一年裡，來往奔波於學校、實驗室與野外調查樣區之間的日子不計其數；在實驗設計與操作上遇到的挫折也不知有多少次；課業的壓力一直伴隨，不僅僅培養出良好的時間利用能力，更重要的是學習如何面對壓力。做生物科展的一路過程帶給我許多成長與體會，成為我珍貴的回憶與經驗。

學習的事永無止境，一路上有許多人給我協助與指導，我心存感激，最後僅在此謝謝所有曾教導與幫助我的教授、老師與學長們，感謝科教館的輔導計畫，也感謝家人的鼓勵支持。

目錄

摘要	1
Abstract	1
一、前言	2
(一) 黑擬蛺蝶 (<i>Junonia iphita iphita</i>)簡介	2
(二) 大安水蓑衣 (<i>Hygrophila pogonocalyx</i>) 簡介	2
(三) 研究動機	3
(四) 研究目的	4
二、研究方法	5
(一) 研究器材	5
(二) 研究方法	5
三、研究結果	9
(一) 野外調查	9
(二) 幼蟲生長發育	10
(三) 雌蝶產卵偏好	13
四、討論	15
(一) 不同寄主植物上幼蟲之數量與季節變化	15
(二) 黑擬蛺蝶對不同寄主植物利用比例	15
(三) 幼蟲生長發育與有效積溫	15
(四) 雌蝶產卵偏好與幼蟲生長表現	16
(五) 不同寄主植物遮蔽度之差異	16
五、結論	17
六、未來展望	17
七、參考文獻	18
八、附錄	20

摘要

大安水蓑衣 (*Hygrophila pogonocalyx*) 為局限分佈於臺中縣沿海溼地之稀有植物。大量境外復育栽植後，造成近年來黑擬蛺蝶(*Junonia iphita iphita*)利用此種新寄主植物的比例增加。本實驗比較黑擬蛺蝶在原寄主植物臺灣馬藍(*Strobilanthes formosanus*)及新寄主植物大安水蓑衣上之生長環境遮蔽度、幼蟲生長發育、雌蝶產卵偏好的差異，探討大安水蓑衣復育對黑擬蛺蝶族群可能造成的影響。實驗結果發現利用大安水蓑衣之幼蟲生長發育較佳、羽化後成蟲體型較大、有效積溫常數較低。雌蝶產卵行為可能存在兩種偏好性，且子代雌蝶對寄主植物的偏好性與親代一致，不受幼蟲期取食植物影響。偏好新寄主植物之雌蝶其子代的生長發育，利用新寄主植物者顯著較利用原寄主植物者佳，顯示其對原寄主植物的適應顯著下降。本研究認為大安水蓑衣的復育結果，造成黑擬蛺蝶族群在可能共域的情況下，因為利用新的寄主植物可能已產生初步分化的現象。

abstract

Hygrophila pogonocalyx is a rare plant species which is distributed in wetlands along seashore of Taichung County. Recently, I found that the common butterfly *Junonia iphita iphita* recognized *H. pogonocalyx* as a new hostplant because of the restoration practices of *H. pogonocalyx*. We compared the differences of forest overstory coverage, larval growth performance and female oviposition preference between *J. iphita iphita* individuals exploiting the *H. pogonocalyx* and those utilizing the original hostplant *Strobilanthes formosanus*. Possible effects on *J. iphita iphita* by restoration of *H. pogonocalyx* are analyzed and discussed. It turns out that better growing performance and longer adult forewing length were found on the larvae feeding on *H. pogonocalyx* than those on the *S. formosanus*. Besides, the larvae feeding on *H. pogonocalyx* demonstrated lower constant value of effective accumulated temperature, suggesting that the new host may provide more energy to the larvae than the original host does.

Two types of female oviposition preference seem to exist. No matter which hostplant the larvae fed on, the female adults still maintained the oviposition preference of the parental generation. Offspring of *H. pogonocalyx*-preferring female had better performance on this new hostplant. Our studies showed that the restoration of *H. pogonocalyx* might have caused primary differentiation of *J. iphita iphita* by using new hostplant in sympatry with the original hostplant.

一、前言

(一) 黑擬蛺蝶(*Junonia iphita iphita*)簡介

黑擬蛺蝶又稱為黯眼蛺蝶，屬於鱗翅目(Lepidoptera)蛺蝶科(Nymphalidae)，分布於臺灣、中國華南、東南亞、南亞等地。在臺灣分布於平地至海拔 2000 公尺之山地，蘭嶼亦有紀錄，十分常見(徐，1999)。黑擬蛺蝶屬於中型種，前翅長 30~35mm，翅背面底色呈暗褐色，翅腹面底色呈黑褐色，上有數條模糊的淺色帶(徐，1999)。成蟲棲於林緣或潮濕的路旁(李 and 張，1988)，好低飛於潮濕的森林及其邊緣，喜訪花，雄蝶會於溼地吸水(徐，1999)。卵單產於寄主植物葉片或附近枯枝、枯葉等雜物上，卵上方內凹，上有 11~15 縱稜，呈淺黃色，直徑約 0.707 ± 0.025 mm。幼蟲齡期分為五齡或六齡兩種情形，體色為黑褐色，體表具淡褐色棘刺，一般棲息於葉背或蟲巢中。其蛹為吊蛹，呈灰褐色，具深棕色斑紋，中胸及各腹節有錐狀突起。在 25°C 下幼生期(卵至成蟲羽化)，需 29.87 ± 2.03 天(譚，2007)。

(二) 大安水蓼衣 (*Hygrophila pogonocalyx*) 簡介

大安水蓼衣屬於玄參目(Scrophulariales)爵床科(Acanthaceae)之多年生水生草本植物，為臺灣特有種。大安水蓼衣莖直立，具稜，節間披密毛(黃，2006)。葉對生，呈披針至橢圓形，長 6-12 cm，寬 2-4 cm，兩面密被白色剛毛。花淡紫色，簇生葉腋(楊等，1991)。大安水蓼衣原僅發現於臺中縣沿海大安、龍井及清水等鄉鎮，其生育地多為草澤、溝渠或農田溼地(王等，2000)，為一稀有植物，花期為每年八月至翌年二月(黃，2006)。行政院農委會特有生物研究保育中心曾為復育大安水蓼衣訂定「大安水蓼衣復育計畫」，自 1995 年起進行生育地分布、環境調查、移地保存及繁殖技術等研究，大量培育及移植，並將移植範圍擴展至其他縣市推廣利用(王等，2000)。



圖 1 黑擬蛺蝶成蟲



圖 2 大安水蓼衣

(三) 研究動機

黑擬蛺蝶為臺灣地區常見的蛺蝶，文獻中所提及的寄主植物包括臺灣馬藍 (*Strobilanthes formosanus*)、馬藍 (*S. cusia*)、曲莖馬藍 (*S. flexicaulis*)、賽山藍 (*Blechum pyramudatum*) 等爵床科植物(徐, 1999)。近年來，大安水蓑衣因為復育計畫的執行，而被廣泛種植於全臺各地，諸多如生態池等非其原生環境的地方。因此，本研究將探討大安水蓑衣的廣泛種植是否對黑擬蛺蝶的族群造成影響。

被大量復育於各地的大安水蓑衣對黑擬蛺蝶而言，為一新出現的寄主植物，且在野在已觀察到黑擬蛺蝶有利用大安水蓑衣的情形，且大安水蓑衣的復育可能使黑擬蛺蝶族群中產生適應此一新寄主植物的群體個體，並與利用原寄主植物的族群個體形成共域(sympatric)分佈的情形。相關研究指出同域種化較異域種化罕見(Turelli *et al*, 2001; Stewart *et al*, 2002)，同域種化為一演化支系(evolutionary lineage)在沒有地理阻隔的形況下演化分歧成不同支系，分歧的過程發生在沒有阻隔的區域 (Stewart *et al*, 2002)，特別是植食性昆蟲之寄主植物種族(host race)經常用作研究同域種化的證據(Michele and James, 2002)。植食性昆蟲若適應新的寄主植物則可能產生新的寄主植物種族，而植食性昆蟲是否能利用特定植物做為寄主植物，關鍵在於行為偏好與生理表現特性兩項重要組成要素(Futuyma and Peterson, 1985; Singer, 1986; Via, 1986)。雌蝶對不同寄主植物產卵之偏好，與其幼蟲在不同寄主植物的生長表現，沒有直接關聯(Nouhuys *et al*, 2003)，且雌蝶與幼蟲對寄主植物的偏好性，是由兩段不同的基因所決定(Wiklund, 1975)，而成蟲對寄主植物產卵之偏好，並不會受其幼蟲期取食之寄主植物種類所影響(Singer, 1983)。

過去六年多時常進行黑擬蛺蝶觀察，數年前發現黑擬蛺蝶的幼蟲可取食文獻未曾紀錄的大安水蓑衣，近年亦以黑擬蛺蝶及其幼蟲的行為作為科展研究的對象，經長期觀察與樣區調查，發現取食大安水蓑衣的幼蟲比例有逐漸增加的趨勢(譚, 2007)，加上成蝶行為的差異，推測其有初步分化的可能，故設計實驗探究之。

本研究進行雌蝶產卵行為實驗以及幼蟲取食不同寄主植物生長發育的差異，以了解黑擬蛺蝶成蟲對寄主植物的偏好性是否有改變及分化的現象，及其幼蟲在其原寄主植物與新寄主植物上的生長發育情形是否有差異，藉此探討大安水蓑衣的大量復育是否造成黑擬蛺蝶形成新的寄主植物種族。另外，在近緣族群中的競爭與選汰常導致快速的生態分歧，產生的差異在同域分佈的情形下演化速率較快(Jiggins, 2006)，而生態上的分歧常可由近緣種群所適應的環境因子測得。李&張(1988)提及黑擬蛺蝶成蟲棲息於林緣或潮濕路旁，此環境類型亦是馬藍屬(*Strobilanthes sp.*)植物的生育環境，而大安水蓑衣則生長於較開闊明亮的環境，與黑擬蛺蝶不同，由於遮蔽度為差異較明顯且便於測量的環境因子，因此本實驗選取環境遮蔽度進行測量。樣區選取方面則於臺北縣新店市的安康蝴蝶生態教育園區，園區內有數種黑擬蛺蝶之原寄主植物(台灣馬藍等)生長，且有大量復育栽種的新寄主植物—大安水蓑衣，因此適合探討大安水蓑衣復育後對黑擬蛺蝶的影響及進行其棲息環境與數量變化的調查。

(四) 研究目的

本研究擬探討大安水蓑衣的保育過程中，大量復育於非其原生地的環境，是否會因為黑擬蛺蝶對此新寄主植物的適應與否，進而使其族群在共域的情形下產生差異。

1. 探討黑擬蛺蝶在樣區內族群數量變化與其對各寄主植物的利用情形。
2. 探討利用原寄主植物(臺灣馬藍)的黑擬蛺蝶族群與利用新寄主植物(大安水蓑衣)的黑擬蛺蝶，其族群棲息環境遮蔽度之差異。
3. 探討黑擬蛺蝶幼蟲分別取食原寄主植物(臺灣馬藍)或新寄主植物(大安水蓑衣)後，其生長發育情形之差異。
4. 探討樣區內黑擬蛺蝶雌蝶對於原寄主植物(臺灣馬藍)及新寄主植物(大安水蓑衣)產卵偏好之差異。
5. 探討寄主植物偏好性不同之黑擬蛺蝶族群，其幼蟲的生長發育情形是否有差異。

二、研究方法

(一) 研究器材

1. 生物材料：

黑擬蛺蝶成蟲及幼蟲、臺灣馬藍枝葉、大安水蓑衣枝葉。

2. 器材與設備：

梯溫生長箱(長光牌，CK-68S)、複氏顯微鏡 (ZEISS，Transmitted-Light-Microscope KF2)、解剖顯微鏡 (Leica，型號 MZ6)、球面密度顯像器(Spherical Densitometer Model- A)、T6 全光譜太陽光燈管 (18W520mm，光通量：1350，流明 18W*75Lm/w)、游標尺、網箱、鏟子、飼養盒、棉花。

(二) 研究方法

1. 野外調查

(1) 實驗樣區：

本研究選定樣區為安康蝴蝶生態教育園區，因為園區內有數種黑擬蛺蝶之原寄主植物生長，包括臺灣馬藍、馬藍、曲莖馬藍及賽山藍，且有栽種大量的大安水蓑衣，其位於臺北縣新店市。由於昆蟲對寄主植物利用的比例與該寄主植物之生長範圍大小無關(Nouhuys *et al.*, 2003)，因此將樣區依照寄主植物分布情況，劃分為 9 個區域，以便進行調查。

(2) 樣區內族群數量變化：

研究調查期間自 2007 年 3 月 4 日至 2008 年 2 月 16 日，每隔兩週進行樣區調查一次，時間約為上午 9 時至下午 1 時之間。調查並記錄樣區中各寄主植物上各齡期幼蟲數量，以了解黑擬蛺蝶在樣區內的族群波動情形與季節變化的關係，並比較各寄主植物上幼蟲數量的差異，將此二項實驗結果與 2006 年之實驗結果比較。

(3) 生長環境之遮蔽度：

測量並記錄樣區內黑擬蛺蝶幼蟲在臺灣馬藍及大安水蓑衣上棲息位置之環境遮蔽度。當於寄主植物上發現有幼蟲利用時，紀錄其所在位置的遮蔽度，以了解臺灣馬藍及大安水蓑衣上的遮蔽度是否有顯著的差異。

遮蔽度測量方式：

本研究利用球面密度顯像器(modle-A)測量遮蔽度(見圖 3)，方法如下：將顯像器水平置於觀察點上方，藉由其上具 24 個方格的反光面計數植被覆蓋的總格數，乘以 1.04 換算成遮蔽度的百分比值，分別測量 4 個方位再取其平均值。比較大安水蓼衣及臺灣馬藍上遮蔽度差異，並將實驗結果以 T-test 進行分析。



圖 3 球面密度顯像器(modle-A)

2. 幼蟲生長發育

利用梯溫生長箱中於不同溫度飼養幼蟲，選定 16°C、20°C、24°C、28°C 四個不同溫度飼養，寄主植物方面，分別以黑擬蛺蝶原寄主植物—臺灣馬藍、及其新利用的寄主植物—大安水蓼衣餵食，因此幼蟲共分為 8 組，每組 30 隻，以透明塑膠盒(長×寬×高=12×8×5 cm) 每盒飼養一隻幼蟲，每天清理、更換葉片，紀錄幼蟲生長天數、收集各齡期幼蟲頭殼並測量羽化後成蟲之前翅長，本

實驗結果數據用以計算其效積溫、戴爾常數、成蟲前翅長及幼蟲存活率，敘述如下：

(1) 有效積溫

生物生長發育的過程中，須從外界攝取一定的熱量，生物完成某一發育階段所攝取的總熱量通常為一常數，此稱為有效積溫法則(Law of effective accumulated temperature)(Higley *et al.*, 1986 ; Arnold, 1959 ; Chiang, 1985)。一般可用以下公式來表示：

$$D = K / (T - C) \quad \text{或} \quad V = (T - C) / K$$

D：生長發育所需時間 (duration of development)

T：發育期間平均溫度 (average temperature)

V：發育速率 (developmental rates)

K：有效積溫常數 (constant)

C：發育起點溫度 (threshold of development)

昆蟲在發育期內所攝取的有效溫度(發育起點以上的溫度)總合稱為有效積溫(effective accumulated temperature)。計算時，若以每天平均有效溫度累積，溫度以°C為單位，發育時間以日為單位，則有效積溫的單位為「日度」(day-degree)。

有效積溫表示溫度與昆蟲生長發育的關係，即熱量與生長發育間的關係，有效積溫常數即為其生長發育所需累積的總熱量，而不同物種有其不同的常數。發育起點溫度為昆蟲生長發育為零時之溫度，因此發育起點溫度以上的溫度才為昆蟲生長發育有效的溫度。

將實驗結果所得的各溫度下的發育天數(D)，換算成發育速率(V=1/D)，因此可由上述四種溫度中獲得發育速率與實驗溫度間的關係，藉由在 Excel 中以發育期間平均溫度(T)及發育速率(V)做圖，將實驗結果以線性回歸求出其回歸線，可得一直線方程式，以外插法便可求出發育速率為零時之溫度，即為發育起點溫度(C)，再依有效積溫公式計算，可求出有效積溫常數(K)。

(2) 戴爾法則

Dyar(1890)曾提出：在連續的幼蟲齡期中，體軀各部位的增長(如頭殼寬度)呈一幾何級數排列，而各物種有其特定的常數。以公式表示如下：(Gullan & Cranston, 2000)

$$Y = A \times B^X \quad \text{兩邊同時取自然對數，可得一線性方程式：} \quad \ln Y = \ln A + X \ln B$$

Y：某齡期的體軀長(如頭殼寬度)

A：常數

B：戴爾常數

X：幼蟲齡期

以解剖顯微鏡下測量實驗時所保存的頭殼，設定幼蟲頭殼寬度最大處之長度為頭殼寬。首先比較不同溫度下頭殼大小是否有顯著的差異，由於黑擬蛺蝶幼蟲齡期有 5 齡及 6 齡兩種類型，因此先在 4 個溫度下各取「餵食臺灣馬藍的 6 齡類型個體之第 5 齡頭殼」10 個，測量其寬度，將結果以 T-test 分析，用以檢測不同溫度是否會影響幼蟲的頭殼大小，若溫度不影響頭殼大小，則合併比較(共 4 組)；若溫度有影響頭殼大小，則比較 16 組幼蟲(4 個溫度、2 種寄主植物，2 種齡期類型之戴爾常數差異)。故分別測量不同寄主植物飼養下，5 齡類型及 6 齡類型幼蟲的戴爾常數是否有差異，以及 5 齡類型與 6 齡類型間的關係。計算方式為在 Excel 中以幼蟲齡期(X)及頭殼寬度取自然對數(lnY)做圖，將實驗結果以線性回歸求出其回歸線，可得一線性方程式 $\ln Y = \ln A + X \ln B$ ，便可計算出戴爾常數(B)及常數(A)。

(3) 成蟲前翅長

選取以臺灣馬藍或大安水蓼衣飼養羽化之雌、雄蝶各 30 隻，以游標尺測量成蟲之前翅長，前翅長定義為前翅翅基至翅端之長度。「餵食大安水蓼衣(雄蟲)」代號為「H.p.(M)」，「餵食大安水蓼衣(雌蟲)」代號為「H.p.(F)」，以此類推。將實驗結果以 T-test 分析，比較幼蟲以大安水蓼衣或臺灣馬藍餵食羽化後的成蟲前翅長是否有顯著的差異，並以此數據代表幼蟲生長發育良否的指標。

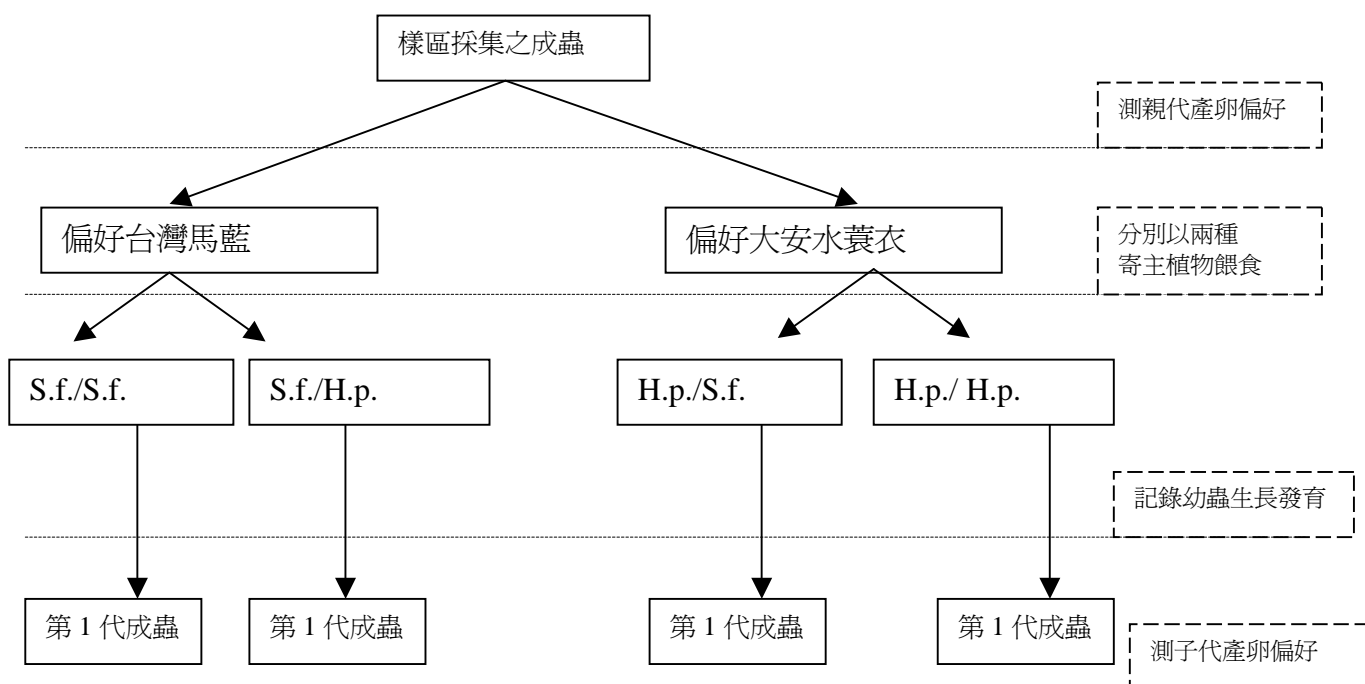
(4) 幼蟲存活率

記錄實驗中以大安水蓼衣或以臺灣馬藍餵食情況下之存活率，於 4 個溫度下各取 40 筆紀錄將其平均，以 T-test 進行分析，檢測以大安水蓼衣或以臺灣馬藍餵食的存活率是否有顯著差異，並以此數據代表幼蟲對寄主植物適應良否的指標。

3. 雌蝶產卵偏好

(1) 實驗流程

- A 於樣區內採集雌蝶 30 隻，測定其產卵偏好，將各雌蝶區分為偏好在臺灣馬藍產卵或偏好在 大安水蓼衣產卵的個體。分別篩選出偏好臺灣馬藍及偏好大安水蓼衣且偏好性較強的個體做為親代，分別取其於產卵偏好實驗中所產下的卵進行下一步實驗。
- B 將雌蝶產卵偏好於 A 植物並以 B 植物飼養所產下的卵以「A/B」表示，即「偏好 A 植物/以 B 植物餵食」。例如「偏好臺灣馬藍/以臺灣馬藍餵食」，即以「S.f./S.f.」表示；「偏好臺灣馬藍/以大安水蓼衣餵食」，即以「S.f./H.p.」表示，以此類推。
- C 將流程(A)中所選出的兩組卵分別各以大安水蓼衣及臺灣馬藍二種寄主植物飼養，即分為「S.f./S.f.」、「S.f./H.p.」、「H.p./S.f.」、「H.p./H.p.」4 組飼養，並紀錄生長情形。
- D 其羽化為第 1 代成蟲後，放置於樣區中的網室，待其交配後，測定其產卵偏好。



(2) 實驗方法

A 產卵偏好測試方法：

在實驗容器(透明塑膠盒 33 cm×23 cm×15 cm)中放置長度約 15 公分的大安水蓼衣及臺灣馬藍枝條，分別置於實驗容器兩端，以全光譜太陽燈為光源，放入實驗用雌蝶，進行產卵偏好實驗，實驗時間為上午 8 點至下午 8 點之間，共 12 小時，計算兩種寄主植物上的產卵數，計算成百分比，由於前測試得知，黑擬蛺蝶產卵數通常多達 60 個以上，所以不達 50%產卵數的不予採計，故當總產卵數少於 30 個時則不採計，隔日再進行實驗，直到其當日產卵數超過 30 個，以提高實驗準確性。本測試目的在於了解成蟲對寄主植物的偏好性。

B 幼蟲生長天數與蛹重：

於生長箱中以攝氏 28 度飼養幼蟲，紀錄幼蟲由孵化至化蛹的生長天數，並於化蛹後以微量天平測量蛹的重量，以此數據(蛹重)代表幼蟲生長發育良否的指標。

(3) 分析比較

A 產卵偏好

首先比較子代雌蝶產卵偏好是否會與親代偏好相同，因此比較「S.f./S.f.」及「H.p./H.p.」與親代偏好之關係；再比較同親代餵食不同寄主植物產卵偏好的差異，故比較「S.f./S.f.」與「S.f./H.p.」、「H.p./H.p.」與「H.p./S.f.」之間的關係，以了解幼蟲期取食寄主植物是否會影響成蟲偏好。

B 幼蟲生長天數及蛹重

比較「S.f./S.f.」、「S.f./H.p.」、「H.p./S.f.」、「H.p./H.P.」4 組間幼蟲生長天數長短及蛹重，以了解各組幼蟲發育情形差異。

三、研究結果

(一) 野外調查

1. 樣區內黑擬蛺蝶族群數量變化與寄主植物之關係

樣區內黑擬蛺蝶族群數量變化與寄主植物之關係，大致呈現出春季時臺灣馬藍上所發現的幼蟲數量較多，秋、冬季時在大安水蓼衣上發現的幼蟲數量較多的關係(詳見圖 4)。大安水蓼衣與臺灣馬藍幼蟲數量差異詳見附錄 4，各季節各寄主植物上幼生期數量變化詳見附錄 5。

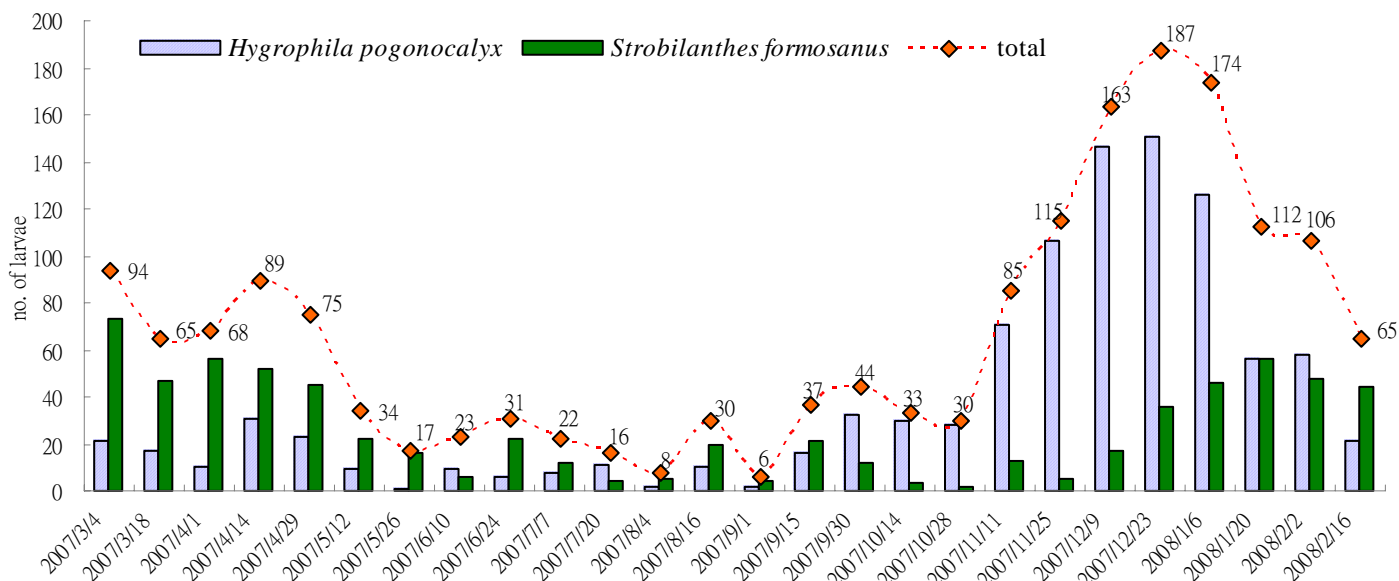


圖 4 樣區內黑擬蛺蝶族群數量變化情形

2. 在各寄主植物上所發現的幼蟲數量差異

在樣區內，在各寄主植物上所紀錄到的黑擬蛺蝶幼蟲數量以臺灣馬藍及大安水蓼衣為主，其中以大安水蓼衣最多(57.9%)，臺灣馬藍次之(39.8%)，其他寄主植物上所紀錄的幼蟲則極少(2.3%)。(n=1730，2007年3月到2008年2月)(詳見圖 5)

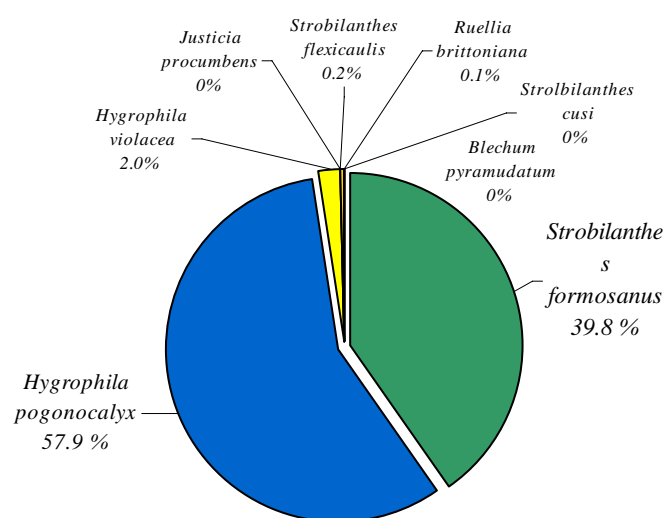


圖 5 各寄主植物上所發現的幼蟲數量差異大安水蓼衣最多(57.9%)，其次為臺灣馬藍(39.8%)，其他寄主植物上極少。

3. 生長環境遮蔽度

由圖 6 可知，於臺灣馬藍(76.57% ; n=512)及大安水蓼衣(65.60% ; n=953)上所測得的遮蔽度值，以 T-test 分析結果發現有顯著的差異(p<0.001)。臺灣馬藍上所發現的幼蟲之遮蔽度高於大安水蓼衣上所發現的幼蟲之遮蔽度。

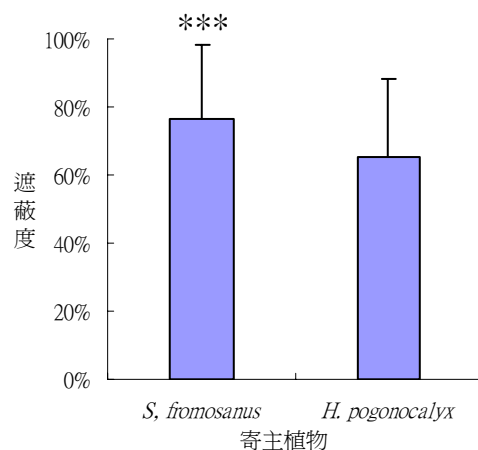


圖 6 生長環境遮蔽度
臺灣馬藍遮蔽度顯著高於大安水蓼衣
(*** : p<0.001)

(二) 幼蟲生長發育

1. 有效積溫常數

黑擬蚊蝶幼蟲以大安水蓼衣餵食有效積溫常數為 470.24 日度(n=120)，以臺灣馬藍餵食有效積溫常數為 527.01 日度(n=120)，有效積溫資料詳見表 1、圖 7、圖 8，由結果得知，幼蟲以大安水蓼衣餵食有效積溫常數較以臺灣馬藍餵食低。

表 1 有效積溫數據

組別	餵食臺灣馬藍	餵食大安水蓼衣
D(16°C)	24.2 ± 2.800	25.9 ± 3.821
D(20°C)	21.3 ± 3.214	21.7 ± 3.438
D(24°C)	20.3 ± 1.956	18.3 ± 1.673
D(28°C)	16.7 ± 3.030	15.5 ± 2.301
C(發育起點溫度)(°C)	- 3.3046	- 2.1456
K(有效積溫常數)(day-degree)	527.01	470.24

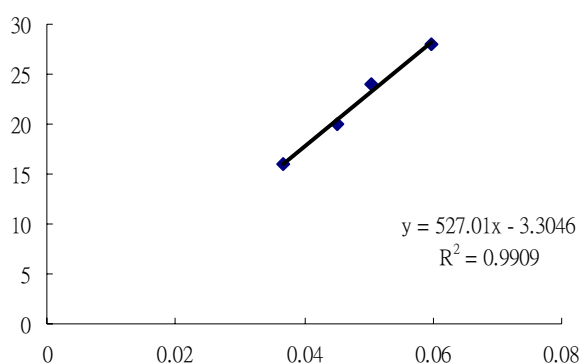


圖 7 幼蟲以臺灣馬藍餵食下發育速率與溫度之關係
有效積溫常數=640.078(day-degree)

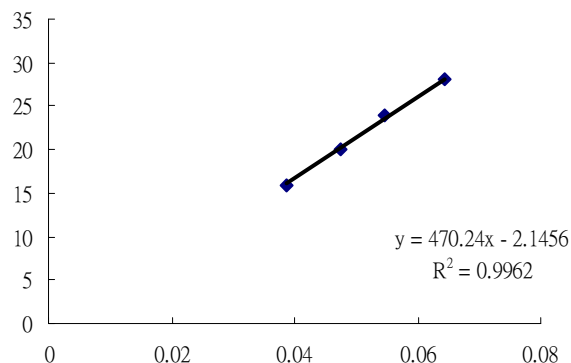


圖 8 幼蟲以大安水蓼衣餵食下發育速率與溫度之關係
有效積溫常數=509.892 (day-degree)

2. 戴爾法則

(1) 溫度對幼蟲頭殼寬之影響

將梯溫生長箱內在 16°C、20°C、24°C、28°C 四組所飼養的幼蟲各取 10 隻，測量其第 5 齡頭殼寬度，測量結果為 16°C：2.453±0.090 mm；20°C：2.512±0.068 mm；24°C：2.489±0.095 mm；28°C：2.437±0.075 mm。以 pair wise Tukey 分析結果，得知此四組的頭殼寬度沒有顯著的差異(p>0.05)。(詳見附錄 1)

(2) 戴爾常數

黑擬蚊蝶五齡類型以臺灣馬藍餵食戴爾常數為 1.642(n=20)，以大安水蓼衣餵食戴爾常數為 1.636(n=20)；其六齡類型以臺灣馬藍餵食戴爾常數為 1.501(n=20)，以大安水蓼衣餵食戴爾常數為 1.499(n=20)。由結果可知，2 組之五齡類型戴爾常數十分接近，2 組之六齡類型戴爾常數也十分接近。戴爾常數資料詳見表 2、圖 9~10。

表 2 戴爾常數數據

組別	戴爾常數(B)	常數 A
臺灣馬藍(五齡類型)	1.642	0.275
大安水蓼衣(五齡類型)	1.636	0.280
臺灣馬藍(六齡類型)	1.501	0.318
大安水蓼衣(六齡類型)	1.499	0.307

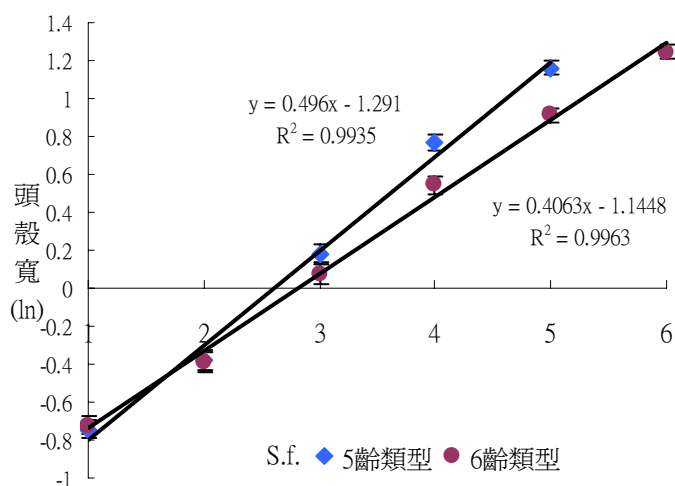


圖 9 餵食之臺灣馬藍 5 齡類型、6 齡類型頭殼寬

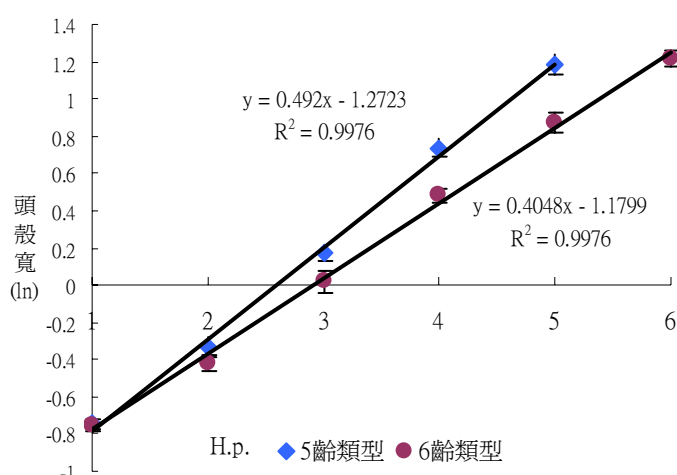


圖 10 餵食大安水蓼衣之 5 齡類型、6 齡類型頭殼寬

(3) 成蟲前翅長

為避免雌蟲與雄蟲的體型差異影響計算結果，因此將雄蟲與雌蟲前翅長分開比較。以 T-test 分析結果，得知以大安水蓑衣餵食，羽化後之雌、雄蟲前翅長皆顯著的大於以臺灣馬藍餵食者(雄蟲： $p < 0.001$ ，雌蟲： $P < 0.001$)。(詳見圖 11)

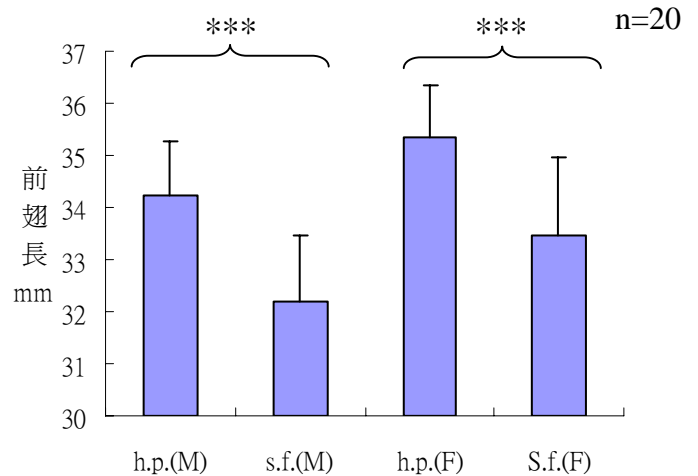


圖 11 餵食台灣馬藍、大安水蓑衣之成蟲前翅長
大安水蓑衣顯著大於台灣馬藍
(***： $p < 0.001$)

(4) 幼蟲存活率

由圖 12 可知，幼蟲以臺灣馬藍餵食存活率高於以大安水蓑衣餵食者，且其存活率有顯著的差異($p < 0.001$)。

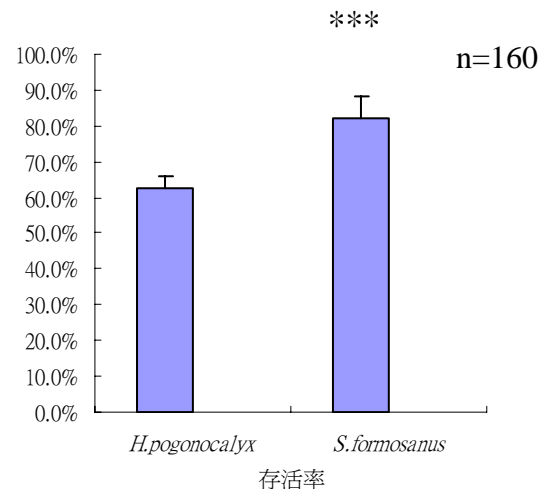


圖 12 餵食台灣馬藍、大安水蓑衣之幼蟲存活率
以臺灣馬藍餵食存活率顯著高於大安水蓑衣
(***： $p < 0.001$)

(三) 雌蝶產卵偏好

1. 雌蝶產卵偏好

樣區內雌蝶產卵偏好詳見圖 13，本圖中定義由 X 軸中間向右為「產於大安水蓼衣上的卵佔該雌蝶總卵數的比例超過百分之五十者」；由 X 軸中間向左為「產於臺灣馬藍上的卵佔總卵數的比例超過百分之五十者」，以 25.5% 為間隔。小於 62.5% 之個體，即介於 62.5% H.p. 至 62.5% S.f. 者，定義其偏好性「不顯著」。

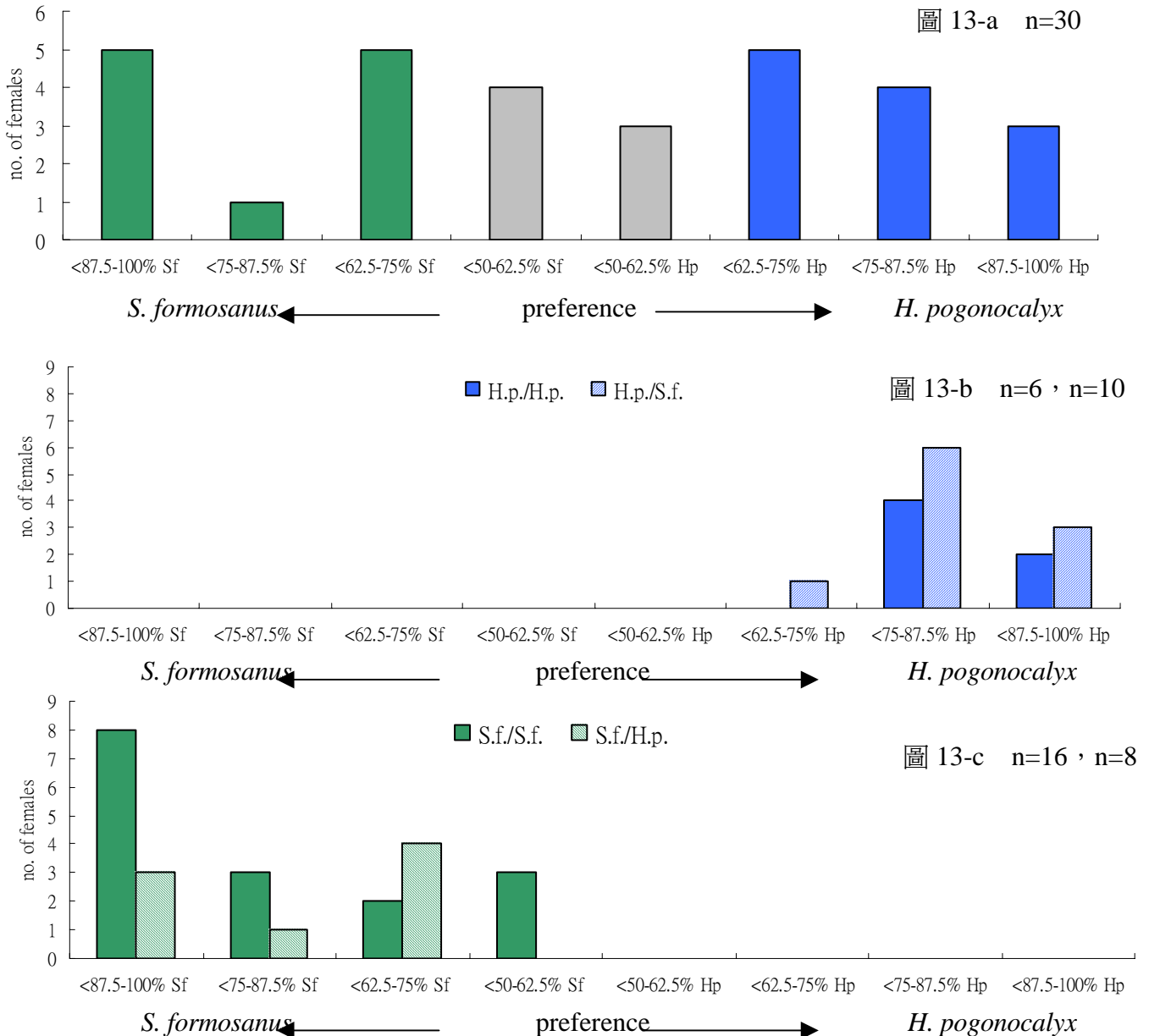


圖 13 a 樣區內第一代(親代)雌蝶產卵偏好情形：顯示樣區內同時存在偏好臺灣馬藍與偏好大安水蓼衣的個體。
 b 親代雌蝶偏好大安水蓼衣者其子代以不同寄主植物餵食後，其成體中雌蝶的產卵偏好情況：顯示不論餵食台灣馬藍或大安水蓼衣，子代中雌蝶的產卵偏好與親代相同。
 c 親代雌蝶偏好台灣馬藍者其子代以不同寄主植物餵食後，其成體中雌蝶的產卵偏好情況：顯示不論餵食台灣馬藍或大安水蓼衣，子代中雌蝶的產卵偏好與親代相同。

3. 幼蟲生長天數

將實驗結果以 pair wise Tukey 分析，得知「S.f./S.f.」(n=24)、「S.f./H.p.」(n=31)、「H.p./S.f.」(n=24)、「H.p./H.p.」(n=28)四組幼蟲之間 ANOVA 有顯著的差異(p=0.0209)，進行事後檢定，結果詳見圖 14、附錄 2。

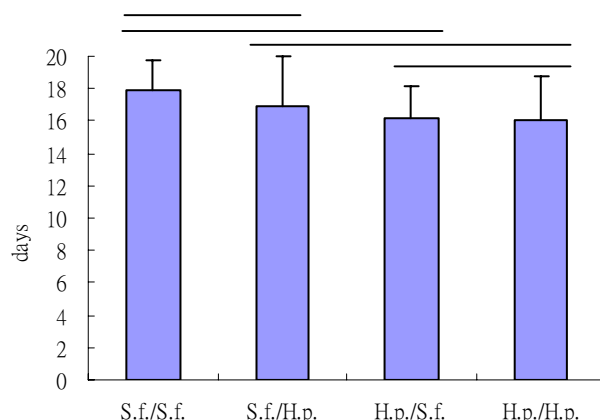


圖 14、「H.p./H.p.」、「H.p./S.f.」、「S.f./H.p.」、「S.f./S.f.」四組幼蟲之生長天數差異

3. 蛹重

將實驗結果以 pair wise Tukey 分析，得知「S.f./S.f.」(n=58)、「S.f./H.p.」(n=46)、「H.p./S.f.」(n=42)、「H.p./H.p.」(n=40)四組之間 ANOVA 有顯著的差異(p<0.0001)，進行事後檢定，得知「H.p./H.p.」組其蛹重顯著的大於其他組，「H.p./S.f.」組其蛹重顯著的小於其他組，「S.f./S.f.」與「S.f./H.p.」組之間沒有顯著的差異。(詳見圖 15，附錄 3)

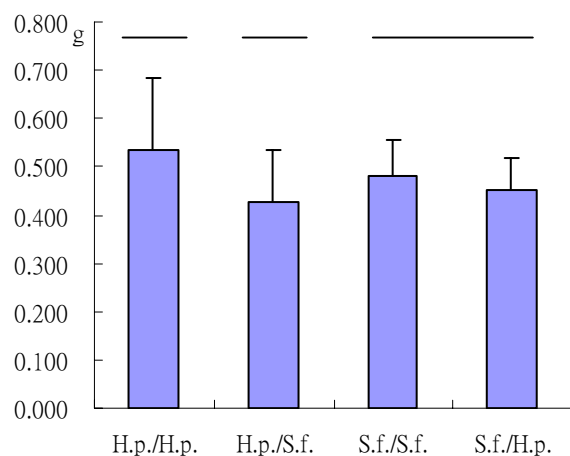


圖 15「S.f./S.f.」、「S.f./H.p.」、「H.p./S.f.」、「H.p./H.p.」四組幼蟲之蛹重差異

四、討論

(一) 不同寄主植物上幼蟲之數量與季節變化

樣區內不同寄主植物上之幼蟲數量季節變化(圖5)顯示：春季時，臺灣馬藍上所發現的幼蟲數量較多；秋、冬季時，在大安水蓼衣上發現的幼蟲數量較多，與譚(2007)於2006年研究結果(圖16)一致。造成此一現象的原因推測可能為植物物候變化(包括不同寄主植物葉片養分及化學成分的季節變化)，由樣區內雌蝶產卵偏好實驗結果得知，利用同一時間所採集之不同寄主植物進行實驗，雌蝶仍存在不同的產卵偏好，因此植物物候並無法完全改變雌蝶的產卵偏好，但可能影響其產卵偏好之寄主植物上的卵粒數目，並影響幼蟲的生長發育情況。不同的寄主植物在不同季節之物候變化對幼蟲而言提供不同的生長發育條件，而使黑擬蛺蝶幼生期族群量在不同季節有所增減，此部分未來值得再深入研究。

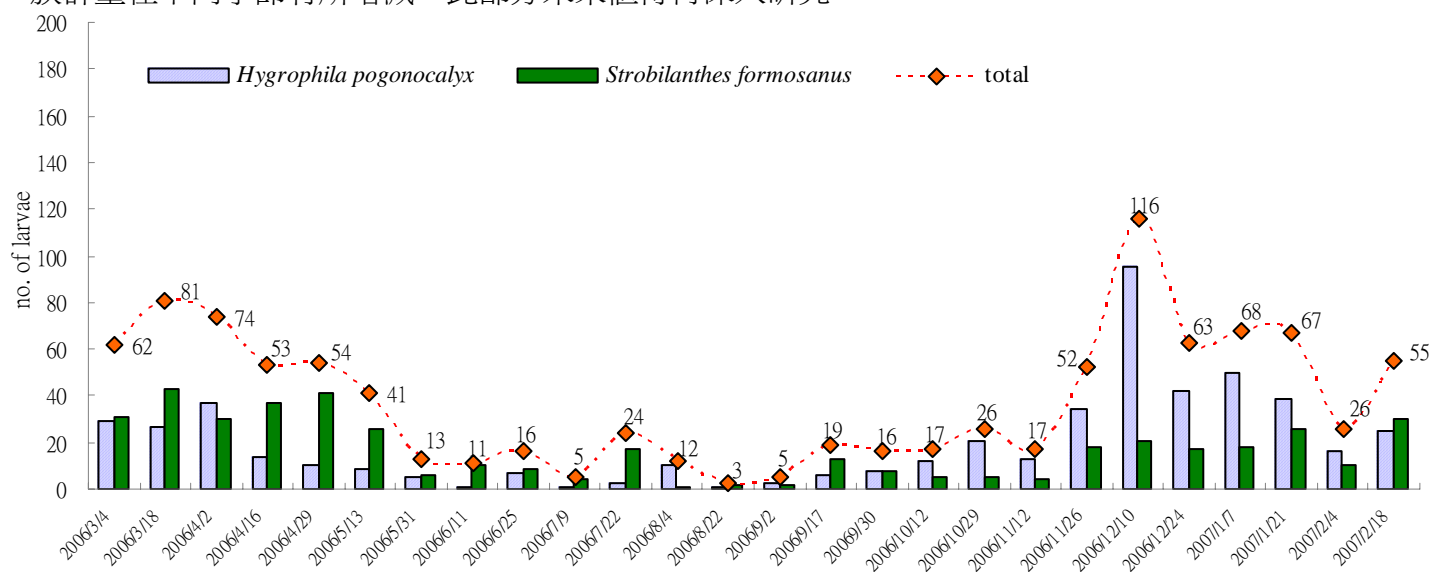


圖 16 2006 年樣區內黑擬蛺蝶族群數量變

(二) 黑擬蛺蝶對不同寄主植物利用比例

據先前的研究結果，黑擬蛺蝶對大安水蓼衣的利用情形有逐漸增加的情形(譚，2007)，而本實驗中利用大安水蓼衣的比例(2007年: 57.9% n=1730)也略高於2006年的記錄(2006年: 52.7% n=997)，與先前研究結果相符，據此推測黑擬蛺蝶對大安水蓼衣的利用情形有可能逐年增加。

(三) 幼蟲生長發育與有效積溫

黑擬蛺蝶幼蟲以大安水蓼衣餵食者，其有效積溫常數K值為470.24日度(day-degree)，以臺灣馬藍餵食者，K值為527.01日度，依據有效積溫法則，當黑擬蛺蝶幼蟲以高於發育起始溫度(C)之固定溫度差下飼養時(T-C值一定)，以大安水蓼衣餵食之幼蟲，其所需要的發育時間較以臺灣馬藍餵食者為短，亦即幼蟲可於較短的時間內於大安水蓼衣此一寄主植物內獲得完成幼蟲期生長所需的熱量。此外，根據前翅長的實驗分析結果，亦顯示黑擬蛺蝶利用大安水蓼衣此一新的寄主植物，其體型顯著大於臺灣馬藍。另外，戴爾常數的部分，餵食臺灣馬藍與餵食大安水蓼衣的戴爾常數十分接近，可能原因為頭殼結構由硬幾丁質構成，其可塑性較小，較不易因溫度、寄主植物等因子的改變而有所影響；比較以同一寄主植物餵食的五齡類型及六齡類型頭殼寬可知，其頭殼寬均不相同，推測五齡類型及六齡類型為兩種生長發育模式。

譚(2007)發現近年來黑擬蛺蝶利用大安水蓼衣的比例有逐漸增加的趨勢，由本研究之有效積溫、前翅長、蛹重的實驗結果，提供此一現象的可能解釋。植食性昆蟲利用新的寄主植物時，可能面臨新的生存壓力(Stress)，不同的環境因子影響其生存適應(fitness)，其生理上亦需對抗新寄主植物所產生的次級代謝物或毒素等(徐，2002)。計算以不同寄主植物飼養黑擬蛺蝶幼蟲之死亡率(詳見圖15)，結果顯示幼蟲利用大安水蓼衣者，其死亡率顯著高於利用臺灣馬藍者，雖然利用大安水蓼衣者之死亡率較高，但從能量與生長的觀點來看，利用大安水蓼衣則有利於幼蟲生長發育。從生態學上適應的觀點來看，雌蝶產卵偏好於大安水蓼衣者，可說是取捨(Trade off)現象，即部分雌蝶選擇大安水蓼衣此一新奇主植物資源具較高熱量的特性，相對的也必需承擔其幼蟲具有較高死亡率的風險。

(四) 雌蝶產卵偏好與幼蟲生長表現

族群內食性差異的產生原因大多是對寄主植物偏好性的遺傳變異(Singer, 2003)。樣區內之雌蝶分別具有偏好將卵產於臺灣馬藍或大安水蓼衣的個體，可知黑擬蛺蝶族群內可能同時存在著兩種對寄主植物的偏好性。

梯溫生長箱實驗中，所選取的卵為隨機選取數隻雌蝶所產下的卵，為不考慮雌蝶偏好情況下所進行的實驗，結果顯示以大安水蓼衣餵食之幼蟲生長表現情形較以臺灣馬藍餵食者好。區分雌蝶產卵偏好後所進行的實驗，生長天數方面，以大安水蓼衣餵食的組別均短於以台灣馬藍餵食的組別，且「H.p./H.p.」組顯著短於「S.f./S.f.」組；蛹重方面，「H.p./H.p.」亦顯著的大於其他組，但同樣以大安水蓼衣餵食的「S.f./H.p.」，其蛹重並沒有較重的現象。據此我們推測黑擬蛺蝶族群中已有部分特定個體，對大安水蓼衣產生良好的適應，亦即這些個體在相對較短時間內完成幼蟲期並且蛹重顯著較其他組高，而此一適應性可能已有遺傳上的基礎。「H.p./S.f.」組幼蟲以臺灣馬藍餵食，其蛹重顯著的低於其他組，推測偏好大安水蓼衣的族群對其原寄主植物的適應性可能有下降的情形。

當族群中雌蝶產卵偏好新奇主植物的現象存在，而偏好新奇主植物雌蝶所產下的子代在生長表現，無論是利用新奇主植物後之生長表現良好或利用原寄主植物後適應性下降，兩者都可能為族群利用新奇主植物造成分化的可能機制。

雌蝶產卵偏好實驗中，可知子代成蟲對寄主植物的偏好性與親代成蟲一致，不會明顯的受幼蟲取食植物影響，且偏好大安水蓼衣組的偏好性較偏好台灣馬藍組一致，推測產生此結果的可能原因為偏好大安水蓼衣的族群，因克服了某項因素，因而可較良好的適應此寄主植物，並偏好將卵產在此植物上，因此有高而穩定一致的偏好性。

(五) 不同寄主植物遮蔽度之差異

李&張(1988)提及黑擬蛺蝶成蟲棲息於林緣或潮濕路旁，此環境類型亦是馬藍屬(*Strobilanthes sp.*)植物的生育環境，而大安水蓼衣則生長於較開闊明亮的環境。植食性昆蟲能利用新奇主植物的條件包括：行為上的接受並產卵於此植物上，其幼蟲能取食消化此植物(Thomas *et al.*, 1987)，而環境因子也影響植食性昆蟲的產卵行為。遮蔽度實驗結果發現，樣區中大安水蓼衣上發現幼蟲後所測得的遮蔽度顯著較臺灣馬藍上所測得者為低，顯示此一環境因子的差異並不致於限制雌蝶的產卵行為，或部分族群可能已產生對低遮蔽度的適應。

植食性昆蟲對寄主植物的偏好或轉移可導致族群的分化，接受新寄主植物的族群可能脫離原族群分歧成新的種(Camara, 1997)。寄主轉移造成的演化力量，可能來自於不同的寄主植物其複雜的環境因子所構成之生態地位(niche)不同，對利用新生態地位的植食性昆蟲族群而言，這提供了特化的基礎。從遮蔽度結果觀之，利用大安水蓑衣之寄主植物種族，除了適應不同的遮蔽度之外，勢必也面對不同的環境因子所構成的生態地位。

Perring(2001)提出：寄主植物種族(host race)意指物種其某些族群個體在外部形態與其他族群並無明顯的差異，但對於利用特定寄主植物時所表現之存活性及生長發育確實存有明顯的差異。雌蝶產卵偏好與幼蟲生長表現結果顯示黑擬蛺蝶族群中可能已存在對大安水蓑衣適應良好的寄主植物種族(host race)，由於寄主植物種族(host race)可代表同域種化假說中的初始階段(Stewart *etal*,2002)案例之一；而昆蟲對寄主植物偏好的差異性可能進一步影響配偶的選擇並造成生殖前隔離現象(PROKOPY *et al.* 1988 ; FEDER *et al.* 1994)，本研究提供一個案例說明人為大量復育一個植物物種會造成另一物種產生初期分化的現象。

五、結論

本實驗結果發現黑擬蛺蝶幼蟲利用大安水蓑衣之生長發育較佳，例如羽化後成蟲體型較大、有效積溫常數較低等。雌蝶產卵行為存在兩種偏好性，且子代雌蝶對寄主植物的偏好性與親代一致，不受幼蟲期取食植物影響。偏好新寄主植物之雌蝶其子代利用新寄主植物的生長發育顯著較利用原寄主植物佳，且偏好新寄主植物的族群對新寄主植物的適應顯著的較偏好原寄主植物的族群佳，且其對原寄主植物的適應顯著的下降。

本研究認為大安水蓑衣的復育結果，造成黑擬蛺蝶族群在共域的情況下，因為利用新的寄主植物而產生初步分化的現象，並有可能產生同域種化(sympatric speciation)傾向，未來值得再更深入的研究。

六、未來展望

本實驗探討大安水蓑衣的保育對黑擬蛺蝶造成的影響，包括其在棲息環境、生長發育及寄主植物偏好上的改變，以了解一物種的保育對其他物種所帶來的包括生態、演化上的影響，此部分可應用於未來相關生物保育上復育計畫訂定的參考。

本研究未來將進一步比較臺灣馬藍與大安水蓑衣葉片之化學成分差異，分析其對黑擬蛺蝶生長發育的影響；並比較偏好臺灣馬藍與偏好大安水蓑衣的族群，在形態與遺傳物質上的差異，以進一步了解其分化情形。

七、參考文獻

1. 王唯匡、黃朝慶、蔣鎮宇，2000年，臺灣特有水生植物大安水蓑衣族群分化與保育之探討，自然保育季刊，第31期，P.54。
2. 李俊延、張玉珍，臺灣蝶類圖說（一），初版，臺北市，臺灣省立博物館，P.102-103，1988年。
3. 邱秀婷，2003年，黃蝶寄主植物偏好性分析，國立台灣師範大學生物學系碩士論文。
4. 徐培峰，臺灣蝶圖鑑 I，初版，南投縣，臺灣省立鳳凰谷鳥園，P.272-275，1999年。
5. 徐培峰，昆蟲學概論，初版，台北市，合記圖書出版社，2002年。
6. 黃朝慶，大安水蓑衣復育推廣手冊，初版，南投縣，行政院農業委員會特有生物研究保育中心，2006年。
7. 楊遠波、劉和義、彭鏡毅、施炳霖、呂勝由，臺灣維管束植物簡誌 IV，初版，臺北市，行政院農業委員會，第四卷，P.177-185，1991年。
8. 闕宏軒，2003年，從形態與生理證據重新探究密紋波眼蝶複合群的分類問題，國立台灣師範大學生物學系碩士論文。
9. 譚文皓，黑擬蛺蝶的幼蟲生存策略，2007年臺灣國際科學展覽優勝作品專輯，臺北市，2007年。
10. Arnold, C.Y. 1959 The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 74, 430-445.
11. Camara, M.D. 1997 A recent host range expansion in *Junonia coenia* Hubner (Nymphalidae): Oviposition preference, survival, growth, and chemical defense. *Evolution*, Vol. 51 No. 3, 873-884.
12. Chiang, H.C. 1985 Insects and their environment. In: Pfadt RE, ed. *Fundamentals of applied Entomology*. New York: Macmillan 128-161.
13. Dre's, M. & Mallet, J. 2002 Host races in plant-feeding insects and their importance in sympatric speciation. *The Royal Society*, Vol. 357, No. 1420, 471- 492.
14. Feder, J. L., Opp, S. , Wlazole, B., Reynolds, K. , Go, W. et al. 1994 Host fidelity is an effective pre-mating barrier between sympatric races of the apple maggot fly. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91 (17), 7990-7994.
15. Futuyma, D.J. & Peterson, S. 1985 Genetic variation in the use of resources by insects. *Ann. Rev. Entomol.* 30, 217-238.
16. Gullan, P.J. & Cranston, P.S. 2000 The insects an outline of entomology. *Oxford Blackwell Science Press*.
17. Higley, L.G., Pedigo, L.P. & Ostlie, K.R. 1986 DEGDAY: A program for calculating degree-days and assumptions behind the degree-day approach. *Environmental Entomology* 15, 999-1016.
18. Jiggins, C. D. 2006 Sympatric Speciation: Why the Controversy? . *Current Biology*, Vol. 16, Issue 9, R333-R334.
19. Nouhuys, S.V., Singer, M.C. & Nieminen, M. 2003 Spatial and temporal patterns of caterpillar performance and the suitability of two host plant species. *Ecological Entomology*, Vol. 28 Issue 2, 193-202.
20. Perring, T. M. 2001 The Bemisia tabaci species complex. *Crop Prot.* 20, 725-737 .
21. Prokopy, R. J., Diehl, S. R. & Cooley, S. S. 1988 Behavioral evidence for host races in *Rhagoletis pomonella* flies. *Oecologia*, 76: 138-147
22. Singer, M.C. 1983 Determinants of Multiple Host Use by a Phytophagous Insect Population. *Evolution*, Vol. 37 No. 2, 389-403.
23. Singer, M. C. 1986 The definition and measurement of oviposition preference in plant-feeding insects., *Springer-Verlag, N.Y.*, 65-94.

24. Singer, M.C., Ng, D. & Thomas, C.D. 1988 Heritability of oviposition preference and its relationship to offspring performance within a single insect population. *Evolution*, Vol. 42 No. 5, 977- 985.
25. Singer, M. C., Vasco, D.A., Parmesan, C., Thomas, C.D. & Ng, D. 1992 Distinguishing between preference and motivation in food choice : an example from insect oviposition. *Anim. Behav.* 44, 463-471.
26. Singer, M. C. & Lee, J.R. 2000 Discrimination within and between host species by a butterfly: implications for design of preference experiments. *Ecology Letters*, Vol. 3 Issue 2, 3: 0-000.
27. Singer, M.C., Stefanescu, C. & Pen, I. 2002 When random sampling does not work: standard design falsely indicates maladaptive host preference in a butterfly. *Ecology Letters* 5:, 1-6.
28. Stewart, H. B. and Jeffrey, L. F. 2002 Sympatric Speciation in Phytophagous Insects : Moving Beyond Controversy? *Annu. Rev. Entomol* 47, 773- 815.
29. Thomas, C.D., Ng, D., Singer, M.C., Mallet, J.L.B., Parmesan, C.,& Billington, H.L. 1987. Incorporation of a European Weed Into the Diet of a North American Herbivore. *Evolution*, Vol. 41, No. 4, 892-901.
30. Turelli, M., Barton, N.H. & Coyne, J.A. 2001 Theory and speciation. *Trends Ecol.*, vol.60, 325-413.
31. Via, S. 1986 Genetic covariance between oviposition preference and larval performance in an insect herbivore. *Evolution*, Vol. 40, No. 4: 778-785.
32. Wiklund, C. 1975 The evolutionary relationship between adult oviposition preferences and larval host plant range in *Papilio machaon* L.. *Oecologia*, Vol. 18 No. 3, 185-197.

八、附錄

附錄 1. 戴爾常數實驗分析結果

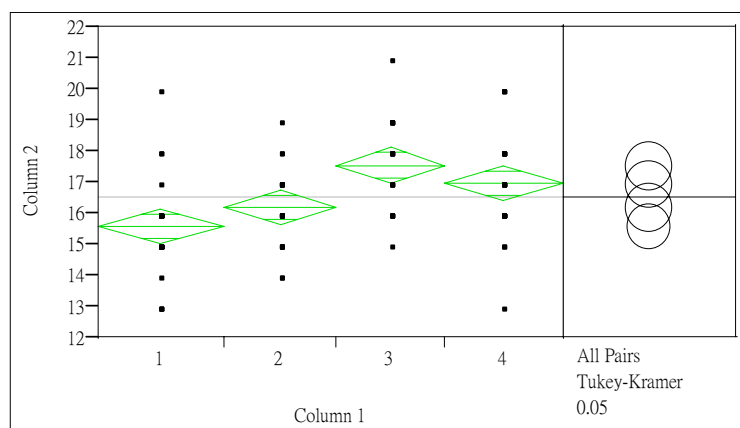
溫度對幼蟲頭殼寬之影響

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Column 1	3	0.03463755	0.011546	1.6925	0.1859
Error	36	0.24558335	0.006822		
C. Total	39	0.28022090			

Level	Mean
2 A	2.5122000
3 A	2.4885000
1 A	2.4529500
4 A	2.4371500

附錄 2. 幼蟲生長天數實驗分析結果

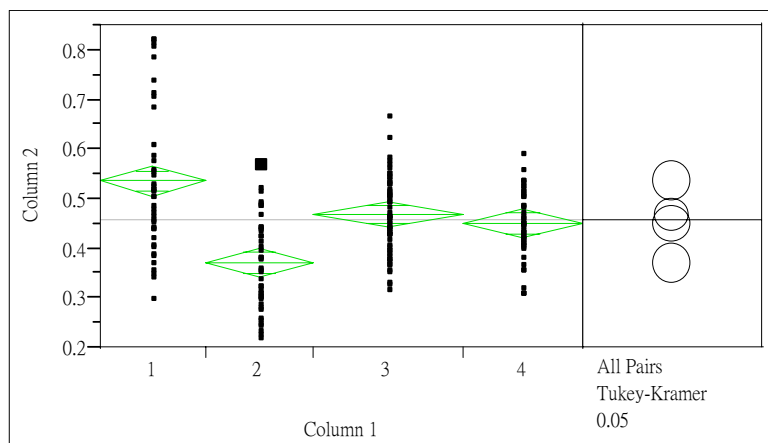


Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Column 1	3	57.85405	19.2847	9.1010	<.0001
Error	99	209.77701	2.1190		
C. Total	102	267.63107			

Level	Mean
S.f./S.f. A	17.541667
S.f./H.p. A B	16.961538
H.p./S.f. B C	16.200000
H.p./H.p. C	15.571429

附錄3. 蛹重實驗分析結果

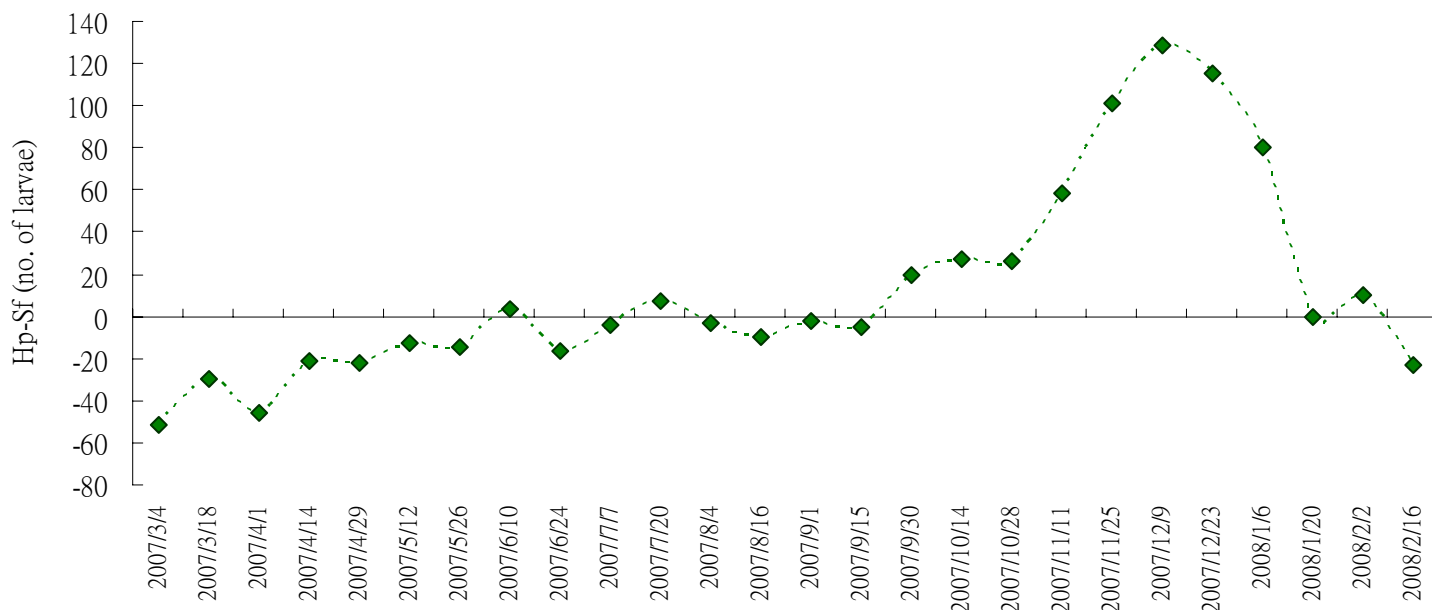


Analysis of Variance

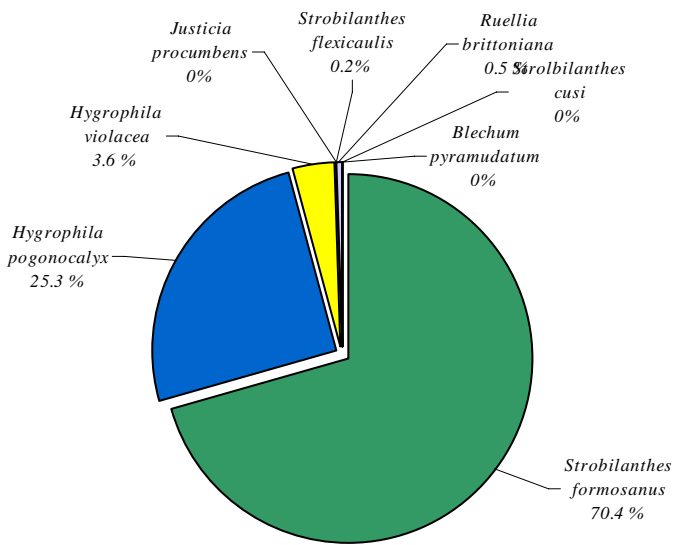
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Column 1	3	0.5731424	0.191047	19.9806	<.0001
Error	183	1.7497810	0.009562		
C. Total	186	2.3229234			

Level	Mean
H.p./H.p. A	0.53617073
S.f./S.f. B	0.46801724
S.f./H.p. B	0.45115217
H.p./S.f. C	0.37142857

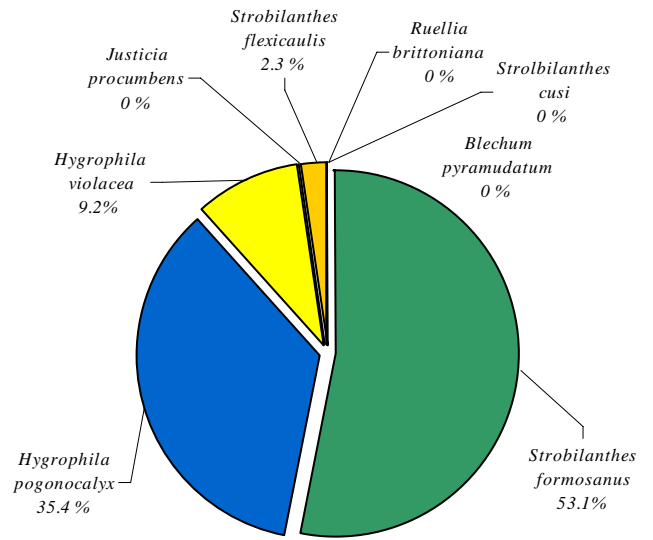
附錄 4. 大安水蓑衣與台灣馬藍幼蟲數量變化差異(H.p.-S.f.)



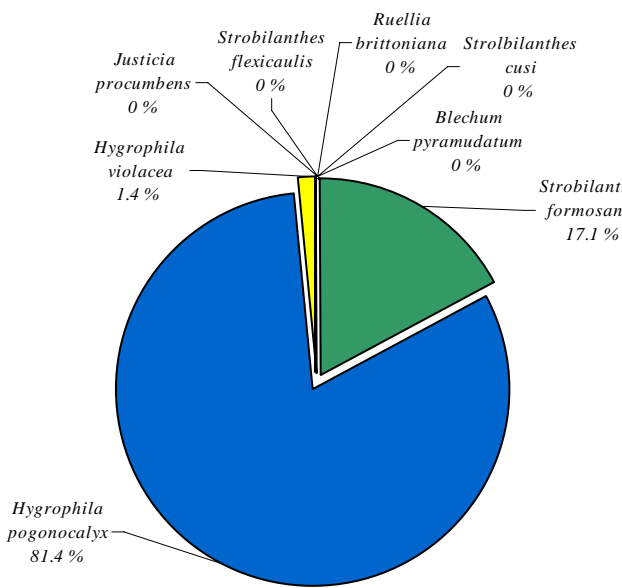
附錄 5. 各季節各寄主植物上幼生期數量變化圖



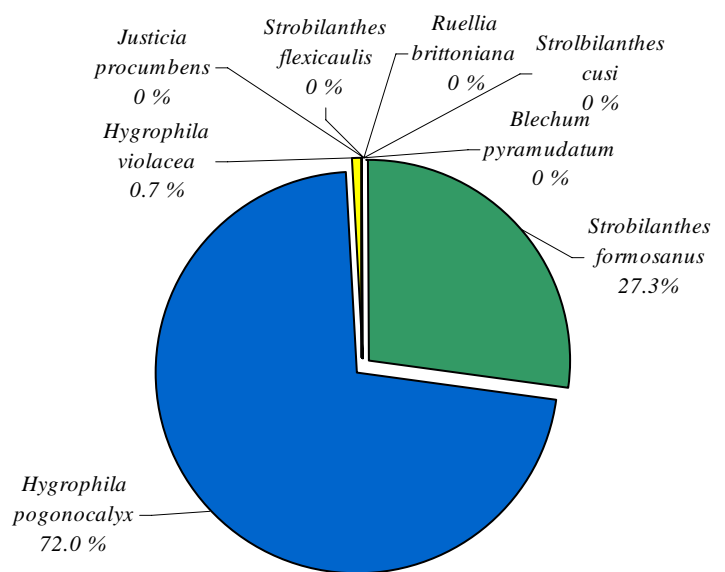
春(2007年3-5月) n= 443



夏(2007年6-8月) n= 130



秋(2007年9-11月) n= 350



冬(2007年12月-2008年2月) n= 1007

評語

此作品非常有趣，對生態復育及物種演化上的探討相當有幫助。若能在遺傳分析上再加強，會使此作品具更強的競爭。目前該作品已有相當好的基礎，應再繼續，更深入的探討，未來之成果將可預期。