

樺斑蝶(*Danaus chrysippus* (Linnaeus)) 鱗翅目蛺蝶科)的半合成人工飼料初探

陳素瓊^{1*} 歐陽盛芝² 江俊賢¹ 陳鋒蒔¹ 趙柏皚¹

1. 國立宜蘭大學園藝學系

2. 國立臺灣博物館典藏管理組

摘要

本試驗在網室內採樺斑蝶 (*Danaus chrysippus* (Linnaeus)) 當日產的卵，移入 25°C、80 ± 5% RH、14L:10D 之生長箱內，以半合成人工飼料單隻飼育至羽化為成蝶，並以天然寄主植物馬利筋 (*Asclepias curassavica* L.) 葉片飼養當作對照組，觀察人工飼料對各蟲期生長、發育之影響。結果顯示半合成人工飼料飼養的各齡幼蟲期存活率皆低於以天然葉片飼養者，各齡幼蟲的發育日數人工飼料組均較取食天然葉片的對照組要長，且以 *t* 測驗分析結果，各齡幼蟲的發育日數均有顯著性差異存在 ($p < 0.05$)，兩組的蛹期間亦存在顯著性差異。頭殼寬度、幼蟲體長、蛹重、成蟲翅長及翅寬皆低於以天然葉片飼養者，人工飼料組只有成蟲重略高於對照組。兩組幼蟲頭殼寬度皆隨著幼蟲的齡期增長而日漸增長，大致上隨齡期以 1.56 和 1.55 倍呈等比增加。兩組幼蟲體長皆隨著幼蟲的齡期生長而增長。雖然以半合成人工飼料飼育的存活率只有葉片組的一半仍然偏低，各項試驗結果皆顯示未來仍有改進空間，但對開發蝶類的半合成人工飼料飼養研究方面已有突破性進展。

關鍵詞：樺斑蝶、半合成人工飼料、飼育、存活率、發育、頭殼寬度。

Preliminary Study of Semi-synthetic Artificial Diet for the Plain Tiger butterfly, *Danaus chrysippus* (Lepidoptera: Nymphalidae)

Su-Chiung Chen^{1*} Sheng-Chih Ou-Yang² Chun-Hsien Chiang¹
Feng-Shi Chen¹ Bo-Ai Jhao¹

1. Department of Horticulture, National Ilan University

2. Collection Management Department, National Taiwan Museum

Abstract

In the present study, fresh eggs of Plain Tiger butterfly, *Danaus chrysippus* (Linnaeus) were collected from the host in a net room. The fresh eggs were placed in a growth chamber under conditions of 25±1°C, 80±5% RH, and with a photoperiod of 14 hr of light and 10 hr of darkness. Hatching larvae were individually reared with either the semi-synthetic artificial diet as experimental group, or the leaves of host plant, *Asclepias curassavica* as control group until adult emergence. We

observed the effect of growth and development with artificial diet on various development stages in this species. The results are summarized as follows. The survival rates of various development stages of larvae reared with the artificial diet are lower than the leaves of host plant group. All duration of various development stages of larvae of the experimental group was longer than that those of the control group. The above data of the two groups were analyzed with a *t*-test and showed a significant difference existed ($p < 0.05$). And the duration of two groups during the pupa stage had a significant difference too. The head capsule width, body length of larvae, weight of pupa, wing length and width of the experimental group are less than that those of the control group, only the weight of adult of the experimental group slightly higher than the control group. The increment of the head capsule width of the larva was in accordance with the increase in the larval instar stage; it maintained a ration of 1.56 times in the experimental group and 1.55 times in the control group, approximately. In both group, the increment of body length of larvae was in accordance with the increase in the larval instar stage. Though the survival rate of this species reared with the semi-synthetic artificial diet was only half than that those with the host plant leaves, and the survival rate of the experimental group is still low. As each results of this experiment show the semi-synthetic diet still has some shortcomings need to be improved in the future. But in the present study, the exploitation of semi-synthetic diet on rearing butterflies has already a breakthrough.

Key words: Plain Tiger butterfly (*Danaus chrysippus*), semi-synthetic artificial diet, rear, survival rate, development, head capsule width

*Corresponding author, e-mail:scchen@niu.edu.tw

前 言

樺斑蝶 (*Danaus chrysippus* (Linnaeus))，英名為 Plain Tiger、African Monarch，屬於鱗翅目 (Lepidoptera)，蛺蝶科 (Nymphalidae)，斑蝶亞科 (Danainae)。又稱為金斑蝶、樺色斑蝶、阿檀蝶、金青斑蝶、蜜黃蝶等 (徐，1999)，是臺灣常見的中型斑蝶。牠是蝶類之中分布最廣泛的種類之一，共分為 6 個亞種 (Morishita, 1985)，本試驗所用的種類為臺灣的指名亞種 *Danaus chrysippus chrysippus*。近年來又有學者認為此亞種可區分為數個型 (forms)。

本種分布西起非洲，包括整個非洲大陸以及離島馬達加斯加、西昔爾群島等，向東遍及中、近東，北達烏孜別克，涵蓋南亞、東南亞全區域、長江、珠江流域各省，香港、澳門、海南、臺灣、日本南部、東部範圍直達新幾內亞、澳大利亞以及斐濟群島 (徐，1999)。在臺灣分布於全島平地到約 1000 公尺的低海拔山區，其分布情形與寄主植物族群非常密切，只要有足量的寄主植物存在均可見到，因此常出現於人類活動頻繁的公園、風景區，或城鎮、聚落附近的空曠荒地，以及都市住家園藝栽植馬利筋 (*Asclepias curassavica*) 處，連離島澎湖、蘭嶼也有觀察記錄 (何和張，1998；徐，1999；張，2005)。故有關研究本種的報告也分布很廣，涵蓋亞洲、歐洲、及非洲，因其具有些遷移性，故於 2004 年 8 月本種出現在克羅埃西亞時，還被視為當地出現的新種 (Perković, 2006)。

樺斑蝶常見於馬利筋、馬纓丹、紫花霍香薊之花叢間吸蜜 (何和張，1998)，為多世代性種類，全年可見成蟲及各蟲期 (徐，1999)。樺斑蝶原先只有取食臺灣牛皮消 (*Cynanchum formosanum*) 和薄葉牛皮消

(*Cynanchum boudieri* H. Lev. & Vaniot) 等本土原生植物，之後台灣引進馬利筋和釘頭果 (*Asclepias fruticosa*) 及魔星 (*Stapelia hirsuta* L.) 等植物 (林和林，2008)，這些都是樺斑蝶幼蟲食草。馬利筋和釘頭果兩种植物皆屬於蘿藦科 (Asclepiadaceae)，近年來也有將蘿藦科改納入夾竹桃科 (Apocynaceae) 者。馬利筋又稱為尖尾鳳，釘頭果又名唐棉或河豚果，都是會分泌有毒乳汁的乳草類植物 (Milkweed)，樺斑蝶幼蟲取食後會將毒素殘存體內並轉化為自我防禦武器。

本種蝶生活史短，各蟲期體色鮮艷，成蟲飛行緩慢，因此極具觀賞價值，常做為休閒蝴蝶園中的飼養蝶種之一，但均採種植天然寄主植物及蜜源植物以誘其產卵繁殖和訪花吸蜜的方式，未見發展人工飼料大量飼養之例。通常蝶類的人工飼料研發較蛾類困難，日本曾報導柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus* L.)、大紋白蝶 (*Pieris brassiae* L.)、紋白蝶 (*Pieris rapae crucivora* Boisduval) 及大鳳蝶 (*Papilio memnon* L.) 等半合成人工飼料飼養 (Singh, 1977)；而目前只有美國的帝王蝶 (*Danaus plexippus* L.) 飼料已商品化。臺灣雖然早在 20 年前曾報導過柑橘鳳蝶和樺斑蝶的人工飼料 (金志美，1986；羅鳳恩，1988)，但無具體成果，至今也未見應用實例，故本試驗以樺斑蝶為對象，著手開發其半合成人工飼料，期能探討應用於本種大量飼育的可行性。

材料與方法

一、供試蟲源及飼養方法

國立宜蘭大學園藝學系的網室 (長 6.1 m、寬 4.7 m、高 2.6 m，網目 16×16 mesh) 內累代飼育的樺斑蝶做為供試蟲源，在網室內栽種本種幼蟲食草馬利筋 (*Asclepias*

curassavica)及成蟲蜜源植物馬纓丹(*Lantana camara*)、繁星花(*Pentas lanceolata*)、馬利筋、非洲鳳仙花(*Impatiens wallerana*)、白玉蘭(*Michelia alba*)、長穗木(*Stachytarpheta jamaicensis*)等植物,提供成蟲吸蜜、求偶、交配及遮蔭避雨,雌蟲產卵、幼蟲取食等用途。

二、半合成人工飼料配方與調製方法

本試驗所用的半合成人工飼料主要參考 Mattoni 等 (2003) 及 Genc 和 Nation (2004) 的配方加以調整,其成分詳列於附錄一。首先將附錄一之各成分在容器中充分混合後,放置電磁爐上加熱,熄火後再加入防腐劑及維生素等攪拌均勻,然後倒入方型塑膠杯(長 10 × 寬 7.5 × 高 2.8 cm)中,在室溫下冷卻,儲存於冰箱中保鮮備用。

三、人工飼料對各蟲期生長、發育的影響

試驗當天將兩盆馬利筋盆栽搬入網室內供樺斑蝶產卵,然後將含卵葉片採下,放入長方形半透明塑膠盒(長 50 cm,寬 40 cm,高 3 cm)中,移入 25°C、80 ± 5% RH、14L:10D (5:00 開燈,19:00 關燈)生長箱 (Fame F300A) 內。待卵孵化後取 79 隻剛孵化幼蟲,分為兩組,一組以人工飼料且單隻飼養於圓形透明塑膠盒中(杯口直徑 4 cm、底部直徑 3 cm、高 2.5 cm、容量約 20 ml)共 50 隻,而另一組共 29 隻,以天然食草馬利筋葉片飼養當作對照組,兩組皆每日清理並提供足夠之食物供幼蟲取食,飼養至第三齡後,將幼蟲移入較大的不透明塑膠盒(杯口直徑 11 cm、底部直徑 9 cm、高 8 cm、容量約 500 ml),盒蓋中央挖洞粘覆 2 × 2 cm 紗網(36 × 36 mesh)以通氣。每日觀察各個蟲期的生長、發育情形,並記錄幼蟲頭殼寬度、幼蟲體長、蛹重、成蟲重、成蟲翅長及翅寬等數據,並以 SAS System version 9.1 for windows 統計軟體 (PROC MEANS, SAS Institute 2003) 計算出平均值 (Mean) 和標準誤差 (Standard Error),平均值間的顯著性測驗是採用 *t* 測驗 (*t*-test) 分析。

結 果

一、存活率

樺斑蝶幼蟲在 25 ± 1°C, 80 ± 5%RH, 14L:10D 的恆定條件下,以半合成人工飼料及馬利筋飼養的存活率列於表 1。根據試驗顯示,以人工飼料飼養之幼蟲期以第五齡蟲的 69.8% 存活率最低,其餘各齡存活率皆在 91% 以上;但以葉片飼養的各齡幼蟲期存活率皆高於以飼料飼養者。若以整個幼蟲期比較,飼料飼養者僅 60.0% 較葉片飼養的 96.6% 降低 36.6%。蛹期的存活率以葉片飼養的 96.4% 略高於以飼料飼養的 92.6%。由剛孵化的第一齡幼蟲飼養至羽化為成蝶,以飼料飼養的存活率只有 50.0%,而以葉片飼養者的存活率高達 93.1%,相差 43.1%。

以半合成人工飼料飼養結果,只有原先半數即 25

個蛹能存活羽化為成蟲,其中有 10 隻雌蝶及 12 隻雄蝶正常羽化,卻有 3 隻成蟲羽化不完全,翅膀皺縮,無法正常飛翔;而對照以葉片飼養者,27 個蛹皆正常羽化為成蝶。

二、發育期

以半合成人工飼料及馬利筋葉片飼養樺斑蝶各蟲期的發育日數列於表 2。由表 2 可知,取食人工飼料的第一至五齡幼蟲之發育日數分別為 4.18 ± 0.14、2.45 ± 0.11、2.36 ± 0.11、3.14 ± 0.13、5.83 ± 0.19 日,均較餵食天然葉片的對照組要長,且以 *t* 測驗分析結果,各齡幼蟲的發育日數均有顯著性差異存在 ($p < 0.05$)。雖然兩組的蛹期差距低於 1 日,仍存在顯著性差異;由剛孵化的第一齡幼蟲飼養至羽化為成蝶的發育日數,以飼料飼養者需 26.84 ± 0.35 日較取食葉片的 20.41 ± 0.18 日約長 6 日,存在顯著性差異。

表 1 樺斑蝶取食半合成人工飼料的存活率
Table 1 Survival rate (%) of various development stages of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Life stage	Survival rate (%) (<i>n</i>) ¹⁾	
	Artificial diet	CK ²⁾
1st instar larva	100.0 (50)	100.0 (29)
2nd instar larva	94.0 (47)	100.0 (29)
3rd instar larva	95.7 (45)	100.0 (29)
4th instar larva	91.5 (43)	100.0 (29)
5th instar larva	69.8 (30)	96.6 (28)
Larva	60.0 (30)	96.6 (28)
Pupa	92.6 (25)	96.4 (27)
Larva to Pupa	50.0 (25)	93.1 (27)

1) *n* in parentheses is the number of observed.

2) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.

表 2 樺斑蝶取食半合成人工飼料各蟲期發育日數
Table 2 Duration in days of various development stages of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Life stage	Duration ($X \pm SE$, days) of various development stages (<i>n</i>) ¹⁾		
	Artificial diet	CK ²⁾	<i>t</i> -value ³⁾
1st instar	4.18 ± 0.14 (50)	1.93 ± 0.12 (29)	10.80**
2nd instar	2.45 ± 0.11 (47)	1.90 ± 0.10 (29)	3.53**
3rd instar	2.36 ± 0.11 (45)	1.48 ± 0.09 (29)	5.54**
4th instar	3.14 ± 0.13 (43)	1.97 ± 0.03 (29)	7.21**
5th instar	5.83 ± 0.19 (30)	4.21 ± 0.15 (28)	6.73**
Larva	17.40 ± 0.27 (30)	11.54 ± 0.18 (28)	17.59**
Pupa	9.52 ± 0.21 (25)	8.93 ± 0.09 (27)	2.67*
Larva to Pupa	26.84 ± 0.35 (25)	20.41 ± 0.18 (27)	16.74**

1) *n* in parentheses is the number of observed.

2) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.

3) Asterisk in *t*-value is significantly different at 95% confidence level ($p < 0.05$), by *t*-test.

三、幼蟲頭殼寬度

以半合成人工飼料和對照組馬利筋葉片飼育之樺斑蝶各齡期幼蟲的頭殼寬度如表 3。人工飼料組第一齡幼蟲至第五齡幼蟲的平均頭殼寬度分別為 0.48 ± 0.01 mm、0.76 ± 0.01 mm、1.19 ± 0.01 mm、1.83 ± 0.02 mm、2.79 ± 0.03 mm；對照組第一齡幼蟲至第五齡幼蟲的平均頭殼寬度則各為 0.52 ± 0.01 mm、0.85 ± 0.01 mm、1.31 ± 0.02 mm、1.92 ± 0.02 mm、2.96 ± 0.03 mm，即兩組皆隨著幼蟲的齡期增長其頭殼寬度日漸增大，人工飼料組各齡幼蟲的頭殼寬度皆小於對照組，並有顯著性差異。

表 3 樺斑蝶取食半合成人工飼料的各齡幼蟲頭殼寬度

Table 3 The head capsule width of each instar larvae of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Larva stage	Head capsule width (Mean±SE, mm) (n) ¹⁾		
	Artificial diet	CK ²⁾	t-value ³⁾
1st instar larva	0.48±0.01 (50)	0.52±0.01 (29)	3.62**
2 nd instar larva	0.76±0.01 (47)	0.85±0.01 (29)	4.71**
3rd instar larva	1.19±0.01 (45)	1.31±0.02 (29)	6.63**
4th instar larva	1.83±0.02 (43)	1.92±0.02 (29)	3.11**
5th instar larva	2.79±0.03 (30)	2.96±0.03 (28)	4.60**

- 1) n in parentheses is the number of observed.
 2) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.
 3) Asterisk in t-value is significantly different at 95% confidence level ($p < 0.05$), by t-test.

將樺斑蝶各齡幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期之平均頭殼寬度相除所得的比值如表 4，人工飼料組分別為 1.58、1.57、1.54、1.52，平均為 1.56 ± 0.03；對照組則各為 1.63、1.54、1.47、1.54，平均為 1.55 ± 0.07，即表 5 中將頭殼寬度換算成常用對數 (Y)，以直線迴歸分析其與齡期 (X) 之關係，得知人工飼料組與對照組分別存在 $Y = -0.5040 + 0.1911 X$ 、 $Y = -0.4559 + 0.1865 X$ 迴歸直線關係，兩組的相關係數皆高達 0.9998 及 0.9991，以 t 測驗分析都存在極顯著之正相關關係，即取食人工飼料與天然食草者的樺斑蝶各齡幼蟲之頭殼寬度常用對數確隨齡期增加而呈直線關係增加。

表 4 樺斑蝶取食半合成人工飼料的各齡幼蟲次一齡期與前一齡期之平均頭殼寬度比

Table 4 The average ratio of head capsule width of next instar divided by this instar of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Larva stage	Average ratio of head capsule width of next instar divided by this instar	
	Artificial diet	CK ¹⁾
2nd instar / 1st instar	1.58	1.63
3rd instar / 2nd instar	1.57	1.54
4th instar / 3rd instar	1.54	1.47
5th instar / 4th instar	1.52	1.54
Average	1.56±0.03	1.55±0.07

- 1) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.

表 5 樺斑蝶取食半合成人工飼料的各齡幼蟲頭殼寬度常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係

Table 5 The relationship between the common logarithms of head capsule width of larval stage and each instar of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Larva stage	Common logarithms of head capsule width	
	Artificial diet	CK ¹⁾
1st instar larva	-0.3188	-0.2840
2nd instar larva	-0.1192	-0.0706
3rd instar larva	0.0755	0.1173
4th instar larva	0.2625	0.2833
5th instar larva	0.4456	0.4713
Regression equation	$Y = -0.5040 + 0.1911X$	$Y = -0.4559 + 0.1865X$
Correlation coefficient (r) ²⁾	0.9998**	0.9991**

- 1) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.
 2) Two asterisk in correlation coefficient is significantly different at 99% confidence level ($p < 0.01$), by t-test.

四、幼蟲體長

以人工飼料及天然食草飼育樺斑蝶各齡幼蟲期的體長如表 6。人工飼料組第一齡幼蟲的體長平均為 2.74 ± 0.05 mm；第二齡幼蟲的體長為 5.01 ± 0.11 mm；第三齡幼蟲的體長為 7.93 ± 0.20 mm；第四齡幼蟲的體長為 12.98 ± 0.26 mm；第五齡幼蟲的體長為 20.79 ± 0.41 mm；對照組依齡期體長各為 3.40 ± 0.11 mm、5.55 ± 0.19 mm、9.79 ± 0.39 mm、14.23 ± 0.38 mm、22.14 ± 0.52 mm，即兩組幼蟲體長皆隨著幼蟲的齡期生長而增長，至第五齡時，兩組幼蟲體長已分別增長為第一齡者的 7.6 倍及 6.5 倍之高。但人工飼料組的各齡幼蟲體長皆較對照組短。

表 6 樺斑蝶取食半合成人工飼料的各齡幼蟲體長

Table 6 The body length of each instar larvae of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

Larva stage	Body length (Mean±SE, mm) (n) ¹⁾		
	Artificial diet	CK ²⁾	t-value ³⁾
1st instar larva	2.74±0.05 (50)	3.40±0.11 (29)	6.32**
2nd instar larva	5.01±0.11 (50)	5.55±0.19 (29)	2.70**
3rd instar larva	7.93±0.20 (47)	9.79±0.39 (29)	4.72**
4th instar larva	12.98±0.26 (45)	14.23±0.38 (29)	2.78**
5th instar larva	20.79±0.41 (43)	22.14±0.52 (28)	2.05*

- 1) n in parentheses is the number of observed.
 2) CK1: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.
 3) Asterisk in t-value is significantly different at 95% confidence level ($p < 0.05$), by t-test.

五、蛹重、成蟲重、成蟲翅長及翅寬

人工飼料組及對照組所飼養樺斑蝶的蛹重、成蟲重、成蟲翅長和翅寬列於表 7。其中人工飼料組的蛹重平均為 0.53 ± 0.02 g，較對照組 0.56 ± 0.01 g 略輕，但成蟲重量則相反，人工飼料組為 0.27 ± 0.01 g，對照組為 0.24 ± 0.01 g。成蟲的翅長及翅寬，人工飼料組為 35.09 ± 0.65 mm 和 24.32 ± 0.55 mm，對照組為 39.20 ± 0.28 mm 和 26.47 ± 0.24 mm，即對照組皆較人工飼料組大。

表 7 樺斑蝶取食半合成人工飼料的蛹重、成蟲重、成蟲翅長及翅寬

Table 7 The weight of pupae, adult weight, wing length and width of *Danaus chrysippus* (Linnaeus) reared with semi-synthetic artificial diet

	Mean±SE (n) ¹⁾		
	Artificial diet	CK ²⁾	t-value
Pupa weight (g)	0.53±0.02 (27)	0.56±0.01 (28)	1.24
Wing length (mm)	35.09±0.65 (19)	39.20±0.28 (26)	6.42**
Wing width (mm)	24.32±0.55 (19)	26.47±0.24 (26)	3.95**
Adult weight (g)	0.27±0.01 (20)	0.24±0.01 (27)	2.38**

1) n in parentheses is the number of observed.

2) CK: Leaves of *Asclepias curassavica* Linnaeus.

討 論

昆蟲的人工飼養繁殖技術已發展多年，最簡單的就是提供該種昆蟲天然的食物及適合的飼育環境，對植食性的蝶類而言，就是種植充足健康的幼蟲寄主植物與成蟲蜜源植物，但在飼育過程必須注意彼此的族群消長，若幼蟲數量太多或食量太大而寄主植物吃光了卻來不及補充，就會產生供需不平衡，若植物遭受蟲害或病害，也會影響取食蝶類的品質，因此發展配方一致的人工飼料才能保持蝶類品質穩定且控制產量。

本試驗雖參考 Mattoni 等 (2003) 藍小灰蝶 (*Glaucopsyche lygdamus palosverdesensis*) 及 Genc 和 Nation (2004) 飼養一種美洲蛺蝶 (*Phycodes phaon* (Edwards)) 的成份重新配製，但仍加入一定比率的寄主植物馬利筋葉片的乾燥粉末，以促進樺斑蝶幼蟲取食。由表 2 可知，剛孵化的 1 齡幼蟲取食葉片的發育時間僅需 1.93 ± 0.12 日，但吃半合成人工飼料者卻需要 4.18 ± 0.14 日，後者比前者多了將近 2 天時間，此後各齡期雖然飼料組較葉片組皆慢 1 天左右，但其發育日數差距較小，因此認為一旦牠們取食飼料後就逐漸適應，只是由表 1 可知，其存活率仍偏低，約只有葉片組的一半，仍有改進的空間。

昆蟲藉著蛻皮來增大身體尺寸，根據蛻下來的頭殼寬度可推測其齡期。表 4 為以人工飼料及天然食草飼育樺斑蝶各齡期幼蟲的頭殼寬度，兩組的頭殼寬度皆隨著幼蟲的齡期增加而增大。樺斑蝶幼蟲期分為 5 個齡期，據 Morita 和 Tojo (1985) 指出斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 於不同齡期絕食結果，增加蛻皮次數，但頭殼寬度超過 1.65 mm 的個體，於下一齡必定成為末齡幼蟲，而低於此閾值下，幼蟲會反覆蛻皮，以達到此閾值。陳和歐陽 (2002) 提及琉球青斑蝶發育時需達到平均頭殼寬度為 3.21 mm 方可使老熟幼蟲化蛹。此外陳和歐陽 (2004) 認為無尾鳳蝶老熟幼蟲達到化蛹的頭殼寬度閾值為 4.39 mm。樺斑蝶的情形亦類似，幼蟲發育需達平均頭殼寬度為 2.79 mm 方可使老熟幼蟲化蛹，即 2.79 mm 之幼蟲頭殼寬度應為本種進入化蛹階段的閾值。

關 (1987) 曾述及幼蟲齡期與頭殼寬度的關係，指出戴爾 (Dyar) 曾測定許多種鱗翅目幼蟲，在兩連續齡期間，其幼蟲頭殼寬度增加，常呈一定的比率，亦即呈幾何級數而增長，簡稱為戴爾法則 (Dyar's law)，假使以各齡蟲齡期為橫座標和各齡期頭殼寬度的對數為縱座標，所示各點連接呈直線。表 4 為各齡幼蟲期連續齡期的次一齡期與前一齡期之平均頭殼寬度相除所得的比值，可知人工飼料組幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.52~1.58 倍增長，平均為 1.56 倍；對照的馬利筋組幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.47~1.63 倍增長，平均為 1.55 倍，即兩組大致上隨齡期分別以 1.56 和 1.55 倍呈等比增加，且頭殼增長速度隨齡期增加而漸增，以第一齡幼蟲的頭殼增長速度最快。並且以直線迴歸分析，得知樺斑蝶各齡幼蟲的頭殼寬度常用對數 (Y) 確隨齡期 (X) 增加而呈直線關係增加 (表 5)，即樺斑蝶確實符合戴爾法則，由上述迴歸直線方程式更可由本種頭殼寬度反推得知幼蟲齡期。

綜上所述，在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $80 \pm 5\%\text{RH}$ ，14L:10D 的無天敵室內恆定條件下，樺斑蝶幼蟲以研發的半合成人工飼料飼育結果，雖然只有 50% 的幼蟲能發育至成蝶，無論發育日數或發育速率皆比取食天然寄主植物馬利筋要長及慢，但至少能夠完整完成其生活史而有重大突破。未來將持續研究改善半合成人工飼料成份達成較佳飼育成果，以便利用人工飼養繁殖調節本種與產量，應用於教學、研究、發展休閒農業的蝴蝶生態園等方面。

參考文獻

- 何健鎔、張連浩。1998。南瀛彩蝶。臺灣省特有生物研究保育中心，南投，臺灣，312 頁。
- 金志美。1986。柑橘鳳蝶的人工飼料。動物園雜誌，6：2-9。
- 林柏昌、林有義。2008。蝴蝶食草圖鑑。晨星出版有限公司，臺中，臺灣，348 頁。
- 徐堉峰。1999。臺灣蝶圖鑑 第一卷。臺灣省立鳳凰谷鳥園出版，南投，臺灣，344 頁。
- 張永仁。2005。蝴蝶 100：臺灣常見 100 種蝴蝶野外觀察與生活史全紀錄。遠流出版事業股份有限公司，臺北，臺灣，224 頁。
- 陳素瓊、歐陽盛芝。2002。溫度對琉球青斑蝶 (*Radena similes similes* Linnaeus) (鱗翅目：斑蝶科) 發育之影響。台灣昆蟲，22: 237-248。
- 陳素瓊、歐陽盛芝。2004。無尾鳳蝶 (*Papilio demoleus libanius* Fruhstorfer) 的生活史。宜蘭大學學報，第二期: 17-26。
- 羅鳳恩。1988。樺斑蝶幼期生物學及食物利用效率之研究。國立臺灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文，56 頁。
- 關崇智。1987。昆蟲生理學。國立編譯館主編，南山堂

出版社發行，臺北，中華民國，692 頁。

- Genc., H. and J. L. Nation. 2004. An artificial diet for the butterfly *Phyciodes phaon* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Florida Entomol.*, 87 : 194-198.
- Mattoni, R., T. Longcore, Z. Krenova, and A. Lipman. 2003. Mass rearing the endangered Palos Verdes blue butterfly (*Glaucopsyche lygdamus palosverdesensis*: Lycaenidae). *J. Res. Lepid.*, 37: 55-67.
- Morishita, K. 1985. Danaidae. In: Tsukada, E. (ed.) *Butterflies of the South East Asian Inlands. II.* (English edn.). Plapac. Co. Ltd., Tokyo, 439-628.
- Morita, M., and S. Tojo. 1985. Relationship between starvation and supernumerary ecdysis and recognition of the penultimate-larval instar in the common cutworm, *Spodoptera litura*. *Insect Physiol.*, 31: 307-313.
- Perković, D. 2006. *Danaus chrysippus* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera, Nymphalidae, Danainae), a new species in the fauna of Croatia. *Nat. Croat.*, 15: 61-64.
- Singh, P. 1977. Artificial Diets for insects, mites, and spiders. IFI / Plenum, New York. pp. 1-21; 382-386.

100年 9月27日投稿
100年12月 2日接受

附 錄

附錄一 樺斑蝶的半合成人工飼料成分 Appendix 1 Ingredients of the semi-synthetic artificial diet for *Danaus chrysippus* (Linnaeus)

Ingredient	Quantity
Dried leaf powder	76 g
Wheat germ	14 g
Yeast	16 g
Casein	15 g
Gelcarin	40 g
Choline chloride	0.8 g
Sucrose	5 g
Glucose	12.5 g
Ascorbic acid	0.9 g
Methyl paraben	0.5 g
Formaldehyde	1 ml
Distilled water	825 ml