

## 前 言

目前在臺灣白粉蝶屬 (*Pieris*) 物種有兩種，即緣點白粉蝶 (*Pieris. canidia* (Sparman)) 與白粉蝶 (*P. rapae crucivora* Boisduval) 兩者均被視為病蟲害防治上的重要蔬菜害蟲 (Chu and King 1973)。緣點白粉蝶在 1960 年之前即為臺灣山地及平地常見之蝶種 (白水 1960)，但在 1960 年後數量減少；而在 1960 年間，原被視為珍稀種類的白粉蝶數量遽增，且成為春夏之交危害頗為嚴重、發生極為普遍、應予防治的種類 (貢 1996, 陶 1964)。陳 (1974) 與濱野 (1987) 推測，白粉蝶原本不棲息於台灣，後來可能是由人為因素自日本隨甘藍菜一起輸入臺灣。

由於兩種白粉蝶均具農業經濟上的重要性，加上現代農業上防治病蟲害側重利用生物防治等手段，以減少化學防治對環境造成的負面影響。而有效的生物防治通常要取得有害物種原產地地區的天敵方能收到成效，例如兩著名的例子，一例為美洲與歐洲藉引入澳洲瓢蟲 (*Rodolia cardinalis*) 方控制住吹綿介殼蟲 (*Icerya purchasi*) 危害農作物 (Caltagirone and Doult 1989)；另一例為原產於巴西之槐葉蘋 (*Salvinia molesta*) 嚴重危害亞洲、非洲與大洋洲淡水水域，藉引入原產地一特定種類之象鼻蟲 (*Cyrtobagous salviniae*) 才成功抑制槐葉蘋之危害 (Calder and Sands 1985)。因此了解台灣地區分布之白粉蝶究竟係原生物種，抑或外來物種，在蟲害防治上有不可忽視的意義。而了解其遺傳結構亦對評估防治上有效的天敵物種十分重要。

本研究即就臺灣產的兩種白粉蝶進行其可能起源及遺傳結構分析，期藉由此項研究，提供農業主管單位及研究機構尋覓、評估有效的生物防治物種之參考。

## 一、緣點白粉蝶與白粉蝶分類地位與分布

緣點白粉蝶 (*P. canidia* (Sparrman, 1768)) 與白粉蝶 (*P. rapae crucivora* Boisduval, 1836) 均屬粉蝶科 (Pieridae) 粉蝶亞科 (Pierinae) 白粉蝶屬 (*Pieris*) (徐 1999, 2002)。其形態與生態特性略述於下。

### 1. 緣點白粉蝶 (*P. canidia* (Sparrman, 1768))

成蟲前翅長約 25-28mm，翅背面底色呈白色，上有兩明顯之黑斑塊，前翅前端呈黑褐色；雌蝶之前翅基部散布有大面積的灰黑色鱗，且有兩個明顯的黑色斑塊，但雄蝶的黑色斑塊較小，或有些個體甚至完全消失；而雌蝶的後翅邊緣有一遠較雄蝶大而明顯的連續黑色斑紋。翅腹面於前翅底色亦為白色，但翅前端與後翅則呈淡黃色；且雌雄蝶前翅皆有兩明顯黑色斑塊 (濱野 1987, 徐 1999)。

幼生時期的卵單獨產於寄主植物上，呈橙黃色梭狀，直徑 0.5mm，高 1.3mm。幼蟲齡期分為五個齡期，體呈綠色，背中央有一條明顯的黃色線，側面則見一縱走之黃色斷線。蛹屬縊蛹，中胸中央隆起成稜，腹面有兩棘突；依蛹附著位置而有綠色與褐色兩型 (徐 1999)。

本種一年多世代且世代重疊，全年全島可見，以春季數量最多。幼蟲在臺灣主要取食原生的十字花科植物，如葶藶 (*Rorippa indica*)、山芥菜 (*R. atrovirens*)、薺菜 (*Capsella bursa-pastoris*) 及焯

菜 (*Cardamine flexuosa*)；另外也會取食栽培種的十字花科蔬菜。另外在中國大陸等地區亦有取食白花菜科 (Capparaceae)、金蓮花科 (Tropaeolaceae) 等植物之記錄 (Chu and King 1973, 徐 1999)。

本種模式產地於中國廣東 (Shirôzu and Ueda 1992)。Yata (1985) 將本種分成八個亞種，其分佈西起土耳其、伊朗，向東涵蓋東亞大陸較溫暖之區域，印度南部亦有一隔離之分布帶，東限大約在日本對馬島。於臺灣全島均有其分佈 (山中 1972)。

## 2. 白粉蝶 (*P. rapae crucivora* Boisduval, 1836)

成蝶前翅長約 23-30mm，翅背面底色呈白色，上有兩明顯之黑斑塊，前翅前端呈黑褐色；雌蝶之前翅基部散布有大面積的灰黑色鱗，雄蝶僅在前緣基部有少許灰黑色鱗。翅腹面於前翅底色亦為白色，但翅前端與基部則呈淡黃色，且雌雄蝶前翅皆有兩明顯黑色斑塊後翅呈白色或淡黃色 (徐 2002)。

幼生時期的卵單獨產於寄主植物上，呈橙黃色梭狀，直徑約 0.4mm，高約 0.8mm。齡期分為五個齡期，體呈綠色，背中央有一模糊的黃線，側面則見一條縱走的黃色細斷線。蛹屬縊蛹，中胸中央隆起成稜，腹面有兩分別指向兩側的棘突；依蛹附著位置而有綠色與褐色兩型 (徐 2002)。

本種一年多世代且世代重疊，全年全島可見，以春季數量最多。幼蟲主要取食十字花科的栽培種，如甘藍 (*Brassica oleracea*) 及結球白菜 (*B. pekinensis*) 等，也會取食野生種如葶藶等。另外尚取食金蓮花科的金蓮花 (*Tropaeolum majus*) 及白花菜科之西洋白花菜 (*Cleome spinosa*) (陶 1964, Chu and King 1973, 徐 2002)。

本種之模式產地於日本橫濱 (Shirôzu and Ueda 1992)。日浦 (1979)將本種分為兩亞種：原名亞種 *ssp. rapae* 原只分佈於歐亞大陸西部及北非，至今已侵入至北美洲與澳洲；而分布於台灣的東方亞種 *ssp. crucivora* 尚分布於中國大陸、朝鮮半島與日本 (日浦 1979，徐 2002)。於臺灣全島均有其分佈 (山中 1972)。

## 二、研究背景

### 1. 族群遺傳研究的通用性

Hedrick (1999) 指出藉由偵測種以下之族群內及族群間遺傳變異的分佈狀態，即族群遺傳結構 (genetic structure)，可以了解物種演化的過程。影響物種遺傳結構的因素有天擇 (natural selection)、基因流傳 (gene flow)、基因漂變 (genetic drift)。而依據 Slatkin (1985) 當生物個體從一族群遷移至另一族群時，導致族群遺傳結構發生改變，這樣的基因轉移稱為基因流傳，造成族群間的基因均質化；而族群間的地理隔離、距離以及生物本身的遷徙能力則是決定基因交流的重要因子。例如 Nibouche et al. (1998) 比較蕃茄夜蛾 (*Helicoverpa armigera*) 非洲與歐洲族群間族群遺傳結構的同功異構酶多型性，發現此兩區域間的基因交流非常順暢，未受地理距離影響，應與蕃茄夜蛾的高遷徙能力有關。

Dobzhansky (1970) 陳述基因漂變是在不同世代間，基因頻度隨機改變的現象；在小族群中，基因漂變常使某些對偶基因自基因庫中消失，造成遺傳變異度降低或發生遺傳僵化的情形。Mayr (1963) 指出到達新地區的奠基者 (founders) 所攜帶的遺傳變異是母族群的一小部分，因此所發展的新族群其遺傳變異會比母族群小，此即為創始

者效應 (founder effect)，也是導致遺傳漂變的原因之一。而由少數奠基者所建立的之新族群的整個基因組的遺傳改變可以是相當快速的，而無法與母族群的進行基因交換；此外，作用在族群的選汰壓力亦因環境不同而改變，因為一小區域的環境可存在有不同的特徵，因此常會造成族群之分化 (Mayr 1963, Eckert et al. 1996, Planes and Lecaillon 1998)。

入侵事件常會伴隨有創始者效應發生而削減族群之遺傳變異 (Demelo and Hebert 1994, Eckert et al. 1996, Planes and Lecaillon 1998)，例如阿根廷蟻 (*Linepithema humile*) 的外來族群擁有比原生族群較低的遺傳歧異度 (Tsutsui et al. 2000)。如此削減遺傳歧異度的結果可能會導致外來族群無法增長或甚至無法在該地區繼續生存 (Nieminen et al. 2001)。因此外來種族群的遺傳組成會決定該物種在新地區的適應與擴散能力 (Holland 2000, Sakai et al. 2001, Tsutsui and Case 2001)，而高遺傳歧異度與外來種入侵成功是具有正相關 (Williamson 1996)，所以若對於外來種之遺傳變異研究便可了解該物種入侵成功的相關可能因素 (Sakai et al. 2001)。

外來種入侵事件常因入侵之個體數量少，削減新族群之遺傳變異，而限制族群成長的可能性 (Demelo and Hebert 1994, Eckert et al. 1996, Planes and Lecaillon 1998)。但多重入侵事件 (multiple invasive event) 卻常伴隨著外來種入侵成功的結果 (Sakai et al. 2001)。由於多重入侵事件或入侵的奠基者數量龐大時，新建立的族群間會有與起源地相近或甚至更高的遺傳變異度，所以該物種會因此更能在新地區建立穩定之族群，成為入侵成功之外來物種 (Kreiser et al. 2000, Clegg et al. 2002, Haenfling et al. 2002, Stepien et al. 2002)。例如在北美五大湖區於 1960 年代中期藉由船隻壓艙水引入的水蚤 (*Bosmina coregoni*)，經 Demelo and Hebert (1994) 以同功異構酶發現，入侵北美的水蚤族群遺傳變異度 ( $H_0=0.8$ ) 與歐洲的族群遺傳變異程度

( $H_0 = 0.9$ ) 並無顯著差異，顯示無創始者效應發生，推測為由於有相當數量的創始者入侵所致。

## 2. 遺傳標誌的通用性

分子遺傳標誌可提供研究外來物種之遺傳結構，以探討並偵測在新地區拓殖時可能發生的創始者效應，或提供多重入侵事件之分析與證據，甚至藉此確定該物種之原產地區 (Merila 1996, Davies et al. 1999, Le Page 2000, Stepien 2002)。由於過去十幾年來的在分子技術的進步，如同功異構酶 (allozyme)、DNA 聚合酶連鎖反應 (polymerase chain reaction, PCR)、DNA 定序 (sequencing) 等，加速了族群遺傳學的進展。生物個體的遺傳組成會受到時間、空間中不同的事件而改變，因此可藉由適合的分子標記 (molecular marker) 探討其遺傳多型性而提出該生物之族群遺傳模式 (Avice 1989)。選用不同的分子標記，可取得不同層次的族群遺傳訊息。

蛋白質電泳技術，如同功異構酶等是利用帶有遺傳訊息的蛋白質，由於操作簡單、成本低廉、可在短時間內處理大量標本而有效率得到足夠的基因遺傳表現，因此常被用來探討族群之遺傳變異、基因流傳、雜交及親緣關係等議題 (Geiger and Scholl, 1985, Porter and Geiger, 1998, Hillis et al. 1996, Nice and Shapiro 1999)。但同功異構酶等並不適用於每個分類群上的遺傳研究 (Hillis et al. 1996)，例如 DeSalle 等人 (1987) 以同功異構酶探討夏威夷低海拔不同地區之果蠅 (*Drosophila mercatorum*) 之基因型分布，但卻無足夠變異可提供訊息。另也有研究顯示同功異構酶在低分類階層下，同功異構酶並不具足夠的鑑別度當作分析工具 (Wetton et al. 1987, Sites and Davis 1989, Karl and Avice 1993)。

不同於同功異構酶，DNA 作為分子標記可取樣到較大範圍之基

因群，讀取出較多的遺傳訊息 (Hillis et al. 1996)。Sunnucks (2000) 指出最靈敏的遺傳訊號是來自基因型分析 (genotypic arrays)，可解讀至單一個體的遷移與個體間之交互作用。微衛星 (microsatellite) DNA、粒線體 DNA (mtDNA) 等其他分子標記，可用來分析遺傳漂變、創始者效應、族群分化等問題 (Clary and Wolstenholme 1985, Brookes et al. 1997, Fang et al. 1999, Bogdanowicz et al. 2000, Nice and Shapiro 2001a)，並可用以探討族群或物種間的演化關係，如種內親緣地理學、系統學、生物多樣性評估等 (Chang et al. 1997, Pollock et al. 1998, Pappert et al. 2000, Arrivillaga et al. 2002, Lin et al. 2002)。

粒線體 DNA 為結構簡單之為單套雙股的環狀分子，具母系遺傳 (maternal inheritance) 之特性，在基因傳遞時鮮少發生基因重組的現象，演化速率較快，約為核 DNA 演化速率的 10 倍，因此常被用於脊椎與無脊椎動物的族群結構與親緣關係之研究 (Sperling et al. 1996, Caterino and Sperling 1999, Caterino et al. 2001)。無脊椎動物粒線體 DNA 控制區 (control region) 在蝶類的粒線體 DNA 控制區並無法提供足夠的變異進行種下族群階層的分析 (Taylor et al. 1993)。而轉移 RNA (tRNA) 與核糖體 RNA (rRNA) 於演化上具高度保守性，因此不適用於探討族群間的問題 (Simon et al. 1994)。粒線體 DNA 中的細胞色素氧化酶 I, II (cytochrome oxidase I, II，具有高變異度，且這段區間可提供許多昆蟲種內變異研究足夠之解析度 (Roehdanz et al. 1994, Simon et al. 1994, Sperling et al. 1996, Chang et al. 1997)，適宜用在昆蟲之分類、族群、演化等議題之探討 (Nice and Shapiro 1999, Yagi et al. 1999, Kruse and Sperling 2001, Nice and Shapiro 2001b)。

### 3. 外來種傳播的方式與影響

由 USDA's Animal and Plant Health Inspection Service (Wheeler et al. 1999) 所公布的人為致使外來種入侵之途徑有：行李、航空及貨船

之貨運、郵件、各式交通運輸工具、船隻壓艙水、農作物進出口等。在二十世紀早期則有運米的船隻造成四十一種無脊椎動物意外從緬甸引入西印度群島 (Myers 1934)。另外還有動植物合法或非法進出口、為病蟲害防治人為引入天敵等途徑。

近幾十年來，外來種的入侵問題已對陸地與海洋皆造成嚴重的影響 (Coblentz 1990, Lodge 1993, Dean 1998, Mack and D'Antonio 1998, Planes and Lecaillon 1998, Wilcove et al. 1998, Davies et al. 1999, Goodwin et al. 1999, Lee and Bell 1999, Williamson 1999, Ricciardi and Maclsaac 2000, Tsutsui et al. 2000, Kolar and Lodge 2001, Hanfling and Kollmann 2002)，造成之效應有：1.造成該地區原生物種族群數量的減少 (Miller 1989, Reinthal and Kling 1997, Kolar and Lodge 2001)。2.衝擊固有生態系物種間之關係 (Lodge 1993, Nalepa and Schaefer 1993)。3.威脅全球生物多樣性 (Dean 1998, Wilcove et al. 1998, Sala et al. 2000, Kolar and Lodge 2001, Lee 2002)。4.對人類的有健康嚴重的影響 (Bright 1998, Kolar and Lodge 2001)。5.造成農業與經濟嚴重損失 (Davies et al. 1999, Elton 1985, Johnson and Carlton 1996, Davies et al. 1999, Lee 2002, Pimentel et al. 2000, Siebert 1994)。

早期雖已注意到外來種害蟲對於農作物所造成的危害與損失 (Wheeler and Hoebeke 2000)，但對於外來物種的相關研究，一直至 Elton (1958) 的 “The Ecology of Invasions by Animals and Plants” 一書出版，始漸受重視 (Williamson 1999)。隨後，由於外來種所造成之經濟及環境生態損失愈來愈嚴重時，對於外來種可能造成的影響與分布範圍等相關研究因此增加 (Sakai et al. 2001)。Hobbs (1989) 提出外來種入侵的模式，包括擴散 (dispersal)、族群建立 (establishment) 與存活 (survival) 三項要素。因此有許多研究 (Lawton and Brown 1986, Wells and Henderson 1993, Trowbridge 1995) 認為被入侵的地區缺乏



捕食者，可提供外來種一良好的生存環境，為致使外來種入侵成功的重要因素。除此之外，外來種能在新環境中透過競爭而有效地利用可用之資源亦為另一入侵成功之原因 (Byers 2000)。近來關於外來種的研究主要在探討其族群生物學與群落生態學，另也有轉向以遺傳變異與演化的觀點更深入研究，結合這些研究除可幫助發展出有效阻斷外來種繼續入侵至新地區的防治方法外 (Kolar and Lodge 2001)，更可深入了解外來種入侵新地區成功的關鍵因素 (Hanfling and Kollmann 2002, Lee 2002)。

### 三、文獻探討

1860 年白粉蝶被意外自歐洲引入北美洲，在三十年內即快速從大西洋岸成功擴散至太平洋岸 (日浦 1973)；大洋洲之紐西蘭在 1930 年受到白粉蝶入侵，1939 年在澳洲首次有本種之記錄，四年後進入澳洲北部 (Williams 1958)。白粉蝶的分布除受到寄主植物分布的影響 (Ohsaki 1979)，亦與其生活史各階段的行為相關，雌蝶交尾後，會先於棲地內的寄主植物上產卵，待其地內植株負卵密度高時，會轉向棲地外的植株產卵 (Dimock and Renwick 1991, Naota 1999)，或甚至會進行長距離的移動 (250-600 m/ day) 去尋找適合產卵的寄主植物 (Jonse et al, 1980, Ohsaki 1980)。因寄主植物為農作物，成蝶偏好棲息於受人為活動影響豐富的開闊耕作地，由於此特性推測是白粉蝶族群擴散快速的原因之一 (Chu and King 1973, Ohsaki 1979, Blair and Launer 1997)。

緣點白粉蝶與白粉蝶於臺灣的早期記錄略述如下：

- (1) 緣點白粉蝶，在臺灣的採集記錄以三宅 (1906) 於動物學雜誌的“臺灣產蝶類目錄”中記載之 1905 年三宅的紀錄為最早。據白水 (1960) 之描述可知，緣點白粉蝶在 1960 年之前於臺灣

山地及平地為相當普遍之蝶種。另依 1945-1996 年間臺灣蔬菜主要害蟲重要性之變遷表 (貢 1996) 的記錄, 在 1960 年前原本具中度危害、發生普遍、需防治行動之種類, 在 1960 年後數量遽減成為無造成損失、無經濟影響、不需防治的物種。

- (2) 白粉蝶, 在臺灣的早期採集記錄之中, 1932 年楚南於台南採得的樣本為台灣最早的採集記錄 (Chu and King 1973)。在 1960 年代以前, 本種一直被視為珍稀種類 (陶 1964, Chu and King 1973), 因此岡野與大藏 (1959) 以及白水 (1960) 在有關台灣蝶類的論述中皆無白粉蝶的紀錄。但 1960 年間, 本種在蔬菜害蟲記錄中由原本不見記錄的種類數量遽增且成為春夏之交危害頗為嚴重、發生極為普遍、應予防治的種類 (貢 1996, 陶 1964)。濱野 (1987) 與陳 (1974) 認為, 白粉蝶原本不棲息於台灣, 後來可能是由人為因素自日本隨著甘藍菜一起輸入臺灣。

臺灣原生種緣點白粉蝶與外來種白粉蝶在族群數量上的波動影響了兩者在台灣病蟲害防治中佔有的地位, 兩者角色互換的歷史並不長。這樣族群數量的波動是否反映在族群遺傳結構上, 是值得探討之議題。王等 (1998) 以同功異構酶初步檢測兩物種的遺傳變異, 緣點白粉蝶與白粉蝶皆僅有北部樣本的採集, 發現兩個種的遺傳變異並不大, 分別為  $H_e < 0.06$  以及  $H_e = 0.076$ , 推測白粉蝶遺傳變異度偏低可能受到創始者效應的影響, 而緣點白粉蝶則因取樣點過少所致。

綜上所述之資料, 緣點白粉蝶與白粉蝶在 1960 年代前後數量的變化是否影響兩物種的族群遺傳結構, 台灣的白粉蝶族群是否受到創始者效應的影響均是值得探討的問題。

#### 四、問題與假設

本研究利用粒線體 DNA 之 *COI* 部分基因片段區間定序之方法，藉了解臺灣島內緣點白粉蝶與白粉蝶之族群遺傳結構，同時藉由與鄰近地區樣本共同分析，希望能判斷兩種白粉蝶是原生或外來物種，而如果是外來物種，期能判斷其可能之起源地區。

本文就兩種白粉蝶提出以下幾項問題與假設：

1. 兩物種在臺灣島內族群間之基因交流與分化程度現況為何？

2. 白粉蝶是否受創始者效應影響？

若白粉蝶為人為意外引入之外來種，應會受到創始者效應的影響，在臺灣之族群間遺傳變異應明顯較緣點白粉蝶為小。

3. 臺灣島內白粉蝶是否單一來自日本？