

## 天敵的遺傳改良

何琦琛 羅幹成

臺灣省農業試驗所應用動物系

**摘要：**生物防治中，天敵常不能達成壓制害蟲族群的任務。經由在遺傳上改良天敵或可改善此問題，已有一些利用育種來改進天敵、性比、對不同溫度的適應性及抗藥性的研究。其中最成功的當數西方捕植蟻經抗多種農藥品系的篩選培育。釋放於田間後此抗性捕植蟻品系能在田間立足、持續、並成功發揮抑制葉蟻族群之功能。此外，更在該捕植蟻成功地進行了基因轉殖測試。本文簡介了有關的研究工作。臺灣亦在進行生物防治工作，宜監測大量繁殖的天敵有無不良變異、選育高生殖能力的品系以助益於天敵的大量繁殖、或是培育適於在不同作物或不同季節釋放的天敵品系。而抗藥性之天敵的選育可能為目前最值得進行的工作。在短期作物上，經遺傳改良之天敵在釋放後能持續至作物收割後即可，長期持續之能力或非必要。

**關鍵詞：**天敵、遺傳改良。

### 前 言

大量而普遍地施用農藥所造成的一些負面影響，諸如環境污染、危害野生動物、農藥殘毒等，已經喧嚷多年。由於經濟發展，收入提高而生活富裕後，人類愈來愈珍惜自我的生命健康，主也愈來愈關心生活環境的品質，更突顯了這些負面影響。因此，如何在IPM中盡量利用天敵，減少農藥的使用，也就成了世界上植物保護工作的主流。因為頻繁使用農藥，許多害蟲對多數農藥產生抗性，而新農藥的開發速度又趕不上抗性產生的速度，乃使得可選用的農藥數目日漸減少，更加重了這儘量運用天敵少用農藥的需求。然而雖有此需求，卻往往事與願違，缺乏足夠的可實際運用於農業生態系中的有效天敵。許多在自然界能抑制害蟲族群的天敵在農業生態系中或是所引入釋放的目標區中，因著各種原因，未能如預期地發揮防治功效。而尋求新的有效天敵又非易事，則是否能像人類在過去數千年中以育種方式對家蠶和蜜蜂進行遺傳改良一般來改良天敵呢？乃查閱文獻而完成本文，文中資料有很大的比例來自於M. A. Hoy 博士的研究與文章。

早在1916年Mally即對選育有益昆蟲優良特性有所討論<sup>(35)</sup>。其後，DeBach也論及許多原本在抑制害蟲族群上極為有效的天敵，引入新地區後卻立足失敗，或雖立足但不能有效防治害蟲，可能因為它們原先所適應之環境與引進地不同，經由選育或可培育出能適應引入地區之品系。並建議就天敵對天候的耐受性、與寄主之同步性、辨認寄主能力、卵對濕度的耐受力、生殖力、性比、花粉取食、抗藥性等進行篩選<sup>(10)</sup>。而Sailer更認為"....there is no reason why a wide variety of useful characters cannot be similiary moved from one species to another and combined to form strains of insect parasites or plant pollinators that are superiorly adapted to the environments where they are

needed"<sup>(6)</sup>(筆者僉譯為"沒有理由為什麼恁多的有益特性不能同樣地從一種昆蟲轉移至另一種昆蟲，而結合成一個對需要它們的地區的環境具有卓越適應力的寄生性昆蟲或傳粉昆蟲品系")。

正如他們所認為，生物防治所應用的天敵，不論捕食性或寄生性，均可經由遺傳改良來增進效能，使生物防治或害蟲綜合管理(IPM)工作更實際可行。

## 天敵昆蟲的遺傳改良

天敵遺傳改良研究工作，數十年來一直斷斷續續的進行者。不同的學者基於需要各自進行者研究。最早的應屬Wilkes的研究，他因European spruce sawfly為適應於較低溫度之害蟲，乃對其寄生蜂(*Dahlbominus fuscipennis* (Zett.))就溫度的適應性、生殖力進行篩選，而得到較喜好25°C及9°C的兩不同品系<sup>(52)</sup>。並將不孕性雄蜂數由35%降至約8%，得到生殖力較高的雌蜂，每隻雌蜂所產生的後代數由48隻增至68隻，成蟲壽命亦較長。使用篩出之高產品系後，得於3年中將釋放寄生蜂數自四千七百萬增至二億二千二百萬隻<sup>(53)</sup>。Simmonds經由僅繁殖產生較多雌性後代的蜂群，而將寄生codling moth的*Aenoplex carpocapsae* (Cushman)族群性比提高<sup>(46)</sup>。

Pielou & Glasser則在18代中將寄生蜂*Macrocentrus ancylivorus* Rohwer對DDT抗性提高了5-6倍<sup>(36)</sup>，Robertson更得到12倍之DDT抗性<sup>(40)</sup>，但雙方均未進行田間釋放測試。Allen因為*M. ancylivorus*係利用potato tuberworm為寄主而大量繁殖，乃嚐試發展以potato tuberworm飼養orient fruit moth之寄生性天敵*Horogenes molestae* (Uchida)的方法，期能利用相同配備來繁殖後一天敵。在飼養數十代逐漸改換寄主後，成功的改變了*H. molestae*的寄主喜好，改以potato tuberworm飼育<sup>(5)</sup>。

White *et al.*為能在夏天較高溫冬天較低溫之加州內陸地區施用*Aonidiella aurantii* (Mask.)之寄生蜂*Aphytis lingnanensis* Compere，在實驗室中經100餘代選育後得到同時對36.1°C及1.7°C較適應之品系，且其壽命較長。然而因引進之同屬另一種寄生蜂*A. melinus* DeBach對該地區適應良好，迅速散布侵入試驗區，使田間評估深受影響，無法完成<sup>(52)</sup>。

為防治胡桃蚜蟲Hoy及其同仁在實驗室選育了抗carbaryl之*Chrysoperla carnea* (Stephens)品系<sup>(12,13)</sup>及*Aphytis melinus*品系<sup>(41)</sup>，和抗azinphosmethyl之*Trioxys pallidus* (Haliday)品系<sup>(23)</sup>，後者釋放於加州之五walnut園中，在四園中立足，持續存在於全生長季中，如能越冬即可加入蚜蟲之IPM中。

其它還有一些類似的研究，這些研究大多均止於實驗室中的研究探討，而未進行田間應用評估。而缺乏田間實際應用的肯定，也正是長久以來學者們躊躇於進行這方面的研究的原因之一<sup>(6,19)</sup>。

## 捕植蟎的遺傳改良

捕植蟎遺傳改良工作包括了對三種在生物防治中應用得最多的西方盲走蟎(*Metseiolus occidentalis* (Nesbitt))、法拉斯捕植蟎(*Amblyseius fallacis* (Garman))、智利捕植蟎(*Phytoseius persimilis* Athias-Henriot)等的研究，其中又以對前者的工作最完備、最受矚目。在實驗室經由選汰及品系間的雜交，育成了對多類農藥具抗性的品系，釋放至田間後能成功的立足、繁殖、抑制葉蟎族群、擴散並繼續保有對農藥的抗性。

### *M. occidentalis*

*M. occidentalis* 對農藥的抗性是 Hoyt 在 1969 年首先報導的<sup>(30)</sup>，他發現美國華盛頓州蘋果園中的西方盲走蟎對 azinphosmethlyl 有抗性，能在田間正常施用此藥防治害蟲時繼續存活，並抑制葉蟎族群。此抗性品系被引入加州的蘋果園，並在該地建立族群<sup>(8)</sup>。其後又引至澳洲<sup>(39)</sup>及紐西蘭<sup>(49)</sup>，並在該地立足。

Hoy 等人於 1977-1978 年廣泛調查美國加州田間本蟎族群對農藥之感受性，發現梨園及葡萄園中之此蟎族群普遍對有機磷劑具抗性，唯抗性程度變異甚大<sup>(24,28)</sup>。然而未發現對氨基甲酸鹽劑及合成除蟲菊劑之抗性<sup>(24,42,43)</sup>，乃於實驗室中篩選此蟎對 permethrin 及 carbaryl 之抗性。經兩年之篩選後，從採自華盛頓州之族群中篩得抗 permethrin 品系，採自加州本身之族群則未能篩得此抗性。選汰 18 次後 LC50 提高了 10 倍，並對其它合成除蟲菊劑有輕微抗性；還保留了對 OP 的抗性。釋放此 permethrin-OP 抗性品系於加州蘋果園及杏園、華盛頓州蘋果園及奧勒岡州梨園均能立足，園中一再施用 permethrin 後仍然存活、越冬，並從釋放株散布至鄰近植株。但是，必須以 permethrin 將原來自然存在的感受性族群消滅才能確保其立足。其後因 permethrin 並未參加果園害蟲管理系統而未多做應用<sup>(25,29)</sup>。

*M. occidentalis* 對 permethrin 的抗性由多個基因共同決定，是以在田間容易因與自然界的感受性族群雜交而喪失抗性。在使用時須釋放於無自然族群的園中，或先施用 permethrin 將自然族群消滅後再釋放，才能確保抗性長期持續於田間<sup>(19,25)</sup>。

同一時段也篩得了抗 carbaryl 的品系，一如抗 permethrin 品系，它也保有對 OP 的抗性，能抗 benomyl 及 propoxur。1979 年小面積釋放於杏園中，此蟎成功地立足，抑制葉蟎族群，經歷施用 carbaryl 後依然存續、越冬，並擴散開來<sup>(17,27,42,43)</sup>。此後又將此品系與在葡萄園中發現的抗 sulfur 品系<sup>(26)</sup>交配，選育得抗 carbaryl-OP-sulfur (COS) 品系。與抗 permethrin 品系交配，選育得抗 carbaryl-OP-permethrin 品系。釋放在加州的蘋果、梨、葡萄、杏園及華盛頓州、奧勒岡州之蘋果、梨園，均能立足於不同果園及不同氣候下防治葉蟎。其中 COS 品系經大量繁殖後釋放於杏園中，防治葉蟎的表現不輸自然發生的 *M. occidentalis* 族群。釋夜園每年每英畝因減少施藥可節省 \$24.44 元，調查證實有一半杏農採用此抗藥性捕植蟎，亦即每年因選用此抗藥性品系之天敵防治杏園葉蟎可節約施用農藥經費 \$21,256,000 元<sup>(14)</sup>。經濟效益極為可觀，而此數字僅計算及杏園而已，其它亦釋放本蟎之果園如蘋果，梨，桃，梅，葡萄等尚未計入。目前此多元抗性之捕植蟎已在加州商業生產供應農民，以杏園所用為例，它可抗 carbaryl、sulphur、phosmet、diazinon 及 azinphosmethlyl，使杏農可放心施藥防治其它害蟲，而無葉蟎族群大發生之虞<sup>(18)</sup>。

此外亦篩選了抗 dimethoate 的品系，於 1978 年釋放葡萄園評估其應用性，翌年春天此蟎仍存在於釋放園，但抗性有所衰減。然而主要因其抗性遜於該藥田間推廣濃度，是以終止此品系開發應用<sup>(44)</sup>。相同之狀況亦發生於抗 methomyl 品系上，選汰後 LC50 雖提高 12 倍，仍不足以抗推廣濃度，只得放棄。

其後又從抗 carbaryl-OP 品系再選育出在 19°C 及 8h 光照下不會休眠的複合品系，運用在商業生產之玫瑰溫室中，能在施用農藥情形下仍存活，對二點葉蟎族群產生相當良好之抑制<sup>(11)</sup>。

### *Amblyseius fallacis*

Croft & Meyer 發現採自 Indiana 州的 *A. fallacis* 對 carbaryl 的抗性增加了 25-77 倍，乃在實驗室

對其加壓選育得到兼抗 azinphosmethly 及 carbaryl 的品系。其後未加壓飼育10-25代，抗藥性未消滅<sup>(9)</sup>。另外從玻璃溫室中兩個抗 azinphosmethly 品系篩選12回合後得到兼抗 permethrin 品系，其抗性增加64倍<sup>(47)</sup>。

抗carbaryl-OP品系釋放在Illinois及Michigan 蘋果園中，抗性逐年減退，直至與未釋放園自然發生之法拉斯捕植蟻相同。可能原因之一為與自然發生者雜交，而逐漸喪失抗性。抗 permethrin 兩品系在1980年釋放Michigan 蘋果園中，成功越冬，但其中一品系因施用 fenvalerate 而被消滅。

### *Phytoseiulus persimilis*

Schulten & Klashorst 篩選了對parathion具強抗性的品系<sup>(45)</sup>，同時間內在荷蘭的玻璃溫室中自然篩出了抗性更強的品系，乃未再對前者研究。玻璃溫室中的高溫常限制了本蟻的表現，因此 Voroshilov對不同line的智利捕植蟻選育了6-14代後，提高了它的耐熱力<sup>(50)</sup>。此外，他也將來自加拿大與法國的智利捕植蟻交配選育出更具高生殖力的品系<sup>(51)</sup>。其後Konig & Hassan爲了在玻璃溫室中使用智利捕植蟻，而從事篩選其對pirimicarb的抗性<sup>(32)</sup>。

### 其它

除了對上述工種最著名的捕植蟻的抗藥性品系篩選研究外，也有學者進行對其它捕植蟻的抗藥性品系研究，如Markwick篩選 *Tphlodromus pyri* 對cypermethrin的抗性<sup>(35,48)</sup>、Huang等人對 *A. nicholsi*的抗藥性研究等<sup>(31)</sup>。

## 臺灣的天敵遺傳改良研究

### 捕植蟻

臺灣利用捕植蟻防治葉蟻已有多年，釋放在草莓、茶、桑及木瓜等農作物上<sup>(1,3,4,32)</sup> 都有很好的效果。但是常需在早春甚或冬季釋放捕植蟻，亦即必須在冬季進行大量繁殖工作，在養蟲室中定溫下或溫室中加溫以最快速度大量繁殖捕植蟻，採收後釋放至作物上防治葉蟻。於是暖溫(25-28°C)下繁殖出的捕植蟻釋放於涼(冷)溫下的田園，雖然臺灣寶島的冬季並不寒冷，冬季夜間的冷溫仍可能對暖溫下大量繁殖出的捕植蟻有不利的影響。實需選育可在暖溫下快速繁殖，又能適應冷溫(10-15°C)的捕植蟻品系，釋放田間後才能迅速發揮功效，抑制葉蟻族群。農試所曾試圖在10°C下飼育法拉斯捕植蟻，以選育適合需要的品系，飼育數代後中斷未繼續，相當可惜(李文台，私人通訊)。

以臺灣的害蟲防治現況而言，無法將化學防治完全免除。是以天敵在田間必定會遭逢農藥的洗禮，或因防治相同的害蟲，或因防治它種害蟲。如何在不能避免施用農藥的情形下，在田間保存天敵即成爲極重要的工作目標。欲達成此目標，勢需尋求對天敵較安全選擇性農藥，或是培育抗藥性天敵品系。大量繁殖捕植蟻供田間釋放，首需大量繁殖葉蟻做爲捕植蟻的食物。農試所在大量繁殖葉蟻時，常被溫氏捕植蟻侵入，大量取食葉蟻，使得葉蟻密度低迷不振，影響大量繁殖進度至鉅。初期對策爲篩選出能殺死捕植蟻但對葉蟻影響甚微的 decamethrin 來殺滅侵入葉蟻族群中的捕植蟻，然而此藥劑在數個月內迅即失去功效。而後乃改用 mevinphos，依然在使用數月後失去功效。最後 Ho & Chen 發展出熱水浸泡的方法後才解決問題<sup>(15)</sup>。溫氏捕植蟻爲臺灣農田中最常見的捕植蟻，它的發育速率不輸前述三種捕植蟻，而繁殖力及捕食量不輸法拉斯捕植蟻及

西方盲走蟻<sup>(16)</sup>，極具利用價值。前述狀況顯示它具有發展抗藥性的能力，本文第二作者對其進行了抗藥性品系選育工作，已有極佳結果，將於近日內發表。

### 寄生蜂

農業試驗所陳炳輝博士在研究寄生蜂 *Trichogramma chilonis* 時獲得了一品系，未交尾的雌蜂所產下的具單套染色體的卵能發育成雌蜂<sup>(7)</sup>。也就是一隻未交尾的雌蜂能單獨負擔起散布至新地區，生產繁殖後代建立族群的任務。在完全瞭解它的遺傳機制後，或許可利用生物技術將此特性轉殖至其它天敵，創造出其它天敵的產雌性孤雌生殖品系，大為助益生物防治。

農藥在臺灣施用得相當厚重，對一些主要害蟲如葉蟪、薊馬等農民紛紛發出"有效防治藥劑是什麼"的疑問。這並非農民對農藥或農藥施用技術欠做瞭解，事實上的確有此困擾。筆者等調查推廣殺蟪劑對採自不同地區不同作物上神澤氏葉蟪和二點葉蟪的藥效時，嚇然發現所測試的殺蟪劑在推廣濃度下，有的已全然無效，有的對部分樣品有效，有的在提高至四倍濃度後才有效，只有三種受測殺蟪劑對大多數樣品有毒效<sup>(2)</sup>。在這種背景下，如何針對不同作物發展以天敵為主、農藥為輔的害蟲防治策略，實為刻不容緩的工作。對現有天敵的改良，使其能嵌合適應入這些策略中，乃成為極富潛力的工作。

而臺灣作物種類繁多，各種作物的種植季節與管理方法多有不同。在不同作物上運用同一天敵時，應注意此種因栽培管理不同而造成的作物生態環境條件不同有無影響及天敵的表現，進而影響對害蟲的防治效率。這方面的考量也成為天敵遺傳改良的工作項目，改良出的天敵品系當可發揮更佳的害蟲抑制效能。

## 天敵遺傳改良研究的各階段工作

Hoy 將天敵選傳改良工作分為問題的界定、及應用與功效的實證等三個階段、並列出各階段應進行的工作及可能遭遇到的問題<sup>(21)</sup>，介紹如下。

### 問題的界定

要做的事有兩項：找出有效的天敵及弄清楚為什麼它會失敗、需要改良的性狀是什麼？在這階段中、常因對天敵的生物學及行為所知太少、而不知道應改良什麼性狀、因此多數針對抗藥性及休眠兩性狀進行改良工作。此外、縮短發育期、增加生殖力、改變性比、對溫濕度的耐受性等改良工作、的確對生物防治有利、但是很難去證明在這方面的改善能幫助天敵表現得更好。

### 改良品系的發展

首先需先找出此性狀在自然界有什麼樣的變異情形、若無足夠的變異性供選擇、可能得利用基因突變。而突變性狀、可能在非目標基因上亦有所改變、需經大量比較篩選工作來得到可利用的品系、常較費事。找出可用的形性後可行用選育的方式或 rDNA 轉移的方法來培育所要的品系。而後要在實驗室、溫室或田間的籠子裏來評估此品系的好壞。它的寄主範圍或選好如有改變、會影響天敵的效率、對溫濕度的喜好以及休眠性改變後可能會改變地理分布；改良的特性是否能穩定地遺傳給後代、如為經基因轉殖而改良的性狀、要注意它是否留在原插入的位置。經改良後的天敵、每一案例均應進行以上的評估。

此外，改良後的品系並不一定要在各方面都不輸於原來的品系，端視其需要而定。例如，以

淹沒式 (inundative) 釋放方式應用者，只要能在養蟲室正常交尾，田間是否能正常交尾並不很重要；同時其對棲所的選擇性、散布力及休眠性也不很重要<sup>(20)</sup>。

### 實施並以書面證明

1. 田間小區測試：田間釋放、調查評估改良天敵品系的功效及適應性、需發展取樣及評估的技術、並取得釋放許可。
2. 田間大區測試：此時需能大量繁殖該天敵品系、並發展各項族群監測技術。評估項目包括天敵的功效、適應性、持續性、分散力、安全性等等。  
成功的天敵在田間應能表現出下列各點：(1)、在釋放處立足(2)、散布於釋放株上。(3)、繁衍後代。(4)、安全活過施用農藥。(5)、抑制害蟲。(6)、越冬。(7)、散布於釋放園。(8)、持續保有經改良之特性。
3. 實施：通過前二項測試的天敵可實際予以應用、但需有針對改良天敵品系來研究發展、並教育農民使其能接受利用新天敵品系。更需要從事追蹤研究、田間任何變化諸如新作物品種的推廣、使用農藥的改變以及新害蟲的入侵都會影響到改良天敵的表現、甚或能否繼續有效抑制害蟲族群、這些都需要隨時密切追蹤觀察。
4. 書面證明：當此天敵確能在田間發揮功效後、應進行成本效益評估、並將這些情形均做成書面報告。一方面留下記錄、一方面也成為驗證文件。

## 生物技術的應用

遺傳基因研究得較完善的是果蠅，它的一些基因被拿來在生物技術基因轉殖上利用。當研究得更透澈後，或許可將同樣的資訊與技術應用於天敵身上<sup>(22)</sup>。Presnail & Hoy 以微針注射將 pJKP 2 plasmid 注入有發育初期卵雌 MO 及 *A. finlandicus* 體內(接近卵處)，利用 PCR 檢驗所產生的後代證實基因轉殖成功<sup>(37,38)</sup>。雖然所注射的 plasmid 並未含有實際改善捕植蟻遺傳特性的基因，但此種試驗的成功顯示了將來在昆蟲或生物遺傳的研究上如能把具利用價值的基因(如抗藥性基因)分離出來，可以同樣的方式轉殖給捕植蟻，從而迅速地對捕植蟻進行遺傳改良。更進一步地發展後，可將多種所需特性的基因全部轉殖，創造無數的超優良天敵品系來。不論它可能會遇到多少困難，這種遠景極為令人振奮。

## 結 論

臺灣的農作物種類繁多，而有效天敵資源有限。同一天敵常被應用於不同作物上防治同一種害蟲或近似種害蟲。不同作物或不同季節的農田裏，生態條件不盡相同，溫度、濕度、日照、通風、生物相等等都有不同。這些因子有可能影響及天敵的表現，過去對這方面甚少加以觀察，為了確保天敵能有優良表現，應對此方面予以瞭解。如天敵果因此而表現不良，宜探明確實原因來進行天敵品系選育。如此可使我們能更有效率地應用天敵，減少因觀察不明而導至的挫折。同時，過去對天敵的研究中很少去探討天敵的行為，天敵在田間如何尋找、接近寄主?是否需要棲息空間、補充食物?所釋放的農作物園能否滿足天敵在這方面的需求?這些都對天敵能否發揮功效有很大的影響，應予加強有關的研究。必要時，亦可經由選育來調節天敵的行為，並配合調整作物管理方

法來改善生物防治的成效。

臺灣的農作物害蟲防治對農藥依賴得相當深，同時害蟲種類也相當多，天敵在田間將其目標害蟲族群壓制後，常常另一種重要害蟲的族群會竄升，因而無可避免地要面臨農藥的洗禮。在此情形下，抗藥性天敵的選育乃成爲極重要的工作，現階段裏應該是天敵遺傳改良中第一優先的工作。另外，生物防治通常需大量繁殖天敵來釋放於田間，如能選育出合適的高產天敵品系，供大量繁殖利用，對整個生物防治工作的助益非同小可。

生物技術爲最近的熱門研究項目，在眾多研究人員的努力下，我們可預期有關的知識及技術將迅速地累積。將來或可如Sailer所言，育出有卓越適應力的天敵品系，亦或能更上層樓，製出超級天敵品系來。屆時，或許真能將農藥捨棄，生產無農藥的農產品，讓消費者全無顧慮地食用。

不論育出了(改良了)什麼樣的天敵品系，終需在養蟲室中大量飼養。此時，將一如往昔面臨品質管制(quality control)的問題<sup>(22)</sup>。要將改良的特性穩定地維持住，祇要避免天敵特化適應了養蟲室的環境條件。而應用於田間後，更需注意田間任一因子的改變，如作物的新品種、新害蟲、推廣農藥種類的修改...等，均將影響所育出天敵品系的表現，必須適時的發展出相配合的技術以確保生物防治能持續地在作物園中發揮者功效。

## 參考文獻

1. 何琦琛、陳文華。1991。桑園神澤葉蟻之生物防治。臺灣農業 27: 82-89。
2. 何琦琛、羅幹成、陳文華。1995。臺灣爲害經濟植物之葉蟻種類及12種殺蟻劑對二種主要葉蟻之毒性測試。中華農業研究 44: 157-165。
3. 陳惠藏。1986。茶樹神澤葉蟻(*Tetranychus kanzawai*(Kishida))及其天敵長毛捕植蟻(*Amblyseius longispinosus*(Evans))之生態研究。台灣茶業研究彙報 5: 83-107。
4. 陳惠藏。1988。茶葉蟻生物防治。台灣茶業研究彙報 7: 15-25。
5. Allen, H. W. 1954. Propagation of *Horogenes molestae*, an Asiatic parasite of the oriental fruit moth, on the potato tuberworm. J. Econ. Entomol. 47: 278-281.
6. Beckendorf, S. K., and M. A. Hoy. 1985. Genetic improvement of arthropod natural enemies through selection, hybridization or genetic engineering techniques. p. 167-187 in Hoy, M. A. and D. C. Herzog [eds] Biological control in agricultural IPM systems. Academic Press, New York.
7. Chen, B. H., R. Kfir, and C. N. Chen. 1992. The thelytokous *Trichogramma chilonis* in Taiwan. Entomol. Exp. Appl 65: 187-194.
8. Croft, B. A., and M. M. Barnes. 1971. Comparative studies on four strains of *Typhlodromus occidentalis*. III. Evaluations of releases of insecticide resistant strains into an apple orchard ecosystem. J. Econ. Entomol. 64: 845-850.
9. Croft, B. A., and R. H. Meyer. 1973. Carbamate and organophosphorus resistance patterns in populations of *Amblyseius fallacis*. Environ. Entomol. 2: 691-695.
10. Debach, P. 1958. Selective breeding to improve adaptations of parasitic insects. Proc. 10th Int. Congr. Entomol. 4: 759-767.
11. Field, R. P., and M. A. Hoy. 1986. Evaluation of genetically improved strains *Metaseiulus*

- occidentalis* (Nesbitt) for integrated control of spider mites on roses in greenhouses. *Hilgardia* 54: 1-32.
12. Grafton-Cardwell E. E., and M. A. Hoy. 1985. Intraspecific variability in response to pesticides in the common green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae): *Hilgardia* 53: 1-32.
  13. Grafton-Cardwell, E. E. & M. A. Hoy. 1986. Genetic improvement of common green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae): selection for carbaryl resistance. *Environ. Entomol.* 15: 1130-1136.
  14. Headley, J. C., and M. A. Hoy. 1987. Benefit/cost analysis of an integrated mite management program for almonds. *J. Econ. Entomol.* 80:555-559.
  15. Ho, C. C., and W. H. Chen. 1992. Control of phytoseiids in a spider mite mass-rearing system (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.* 13: 287-293.
  16. Ho, C. C., K. C. Lo, and W. H. Chen. 1995. Comparative biology, reproductive compatibility, and geographical distribution of *Amblyseius longispinosus* and *A. womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 24: 601-607.
  17. Hoy, M. A. 1982. Aerial dispersal and field efficacy of a genetically-improved strain of the spider mite predator *Metaseiulus occidentalis*. *Entomol. Exp. Appl.* 32: 205-212.
  18. Hoy, M. A. 1985a. Integrated mite management for California almond orchards, pp. 299-310. In W. Helle and M. W. Sabelis [eds.] *Spider Mites, Their Biology, Natural Enemies and Control* 1B. Elsevier, New York.
  19. Hoy, M. A. 1985b. Recent advances in genetics and genetic improvement of the phytoseiidae. *Ann. Rev. Entomol.* 30:345-370.
  20. Hoy, M. A. 1986. Use of genetic improvement in biological control. *Agriculture Ecosystems and Environment* 15: 109-119.
  21. Hoy, M. A. 1990. Genetic improvement of arthropod natural enemies: Becoming a conventional tactic? pp. 405-417 in R. R. Baker and P. E. Eunn [eds.] *New directions in biological control: alternatives for suppressing agricultural pests and diseases*. Wiley-Liss, Inc. New York.
  22. Hoy, M. A. 1992. Biological control of arthropods; Genetic engineering and environmental risks. *Biological control* 2: 166-170.
  23. Hoy, M. A., and F. E. Cave. 1988. Guthion-resistant strain of walnut aphid parasite. *Calif. Agric.* 42: 4-5.
  24. Hoy, M. A., and N. F. Knop. 1979. Studies on pesticide resistance in the phytoseiid *Metaseiulus occidentalis* in California, pp. 89-94. In J. G. Rodriguez [ed.] *Recent Advances in Acarology*. Academic Press, New York.
  25. Hoy, M. A., and N. F. Knop. 1981. Selection for and genetic analysis of permethrin resistance in *Metaseiulus occidentalis*: Genetic improvement of a biological control agent. *Entomol. Exp. Appl.* 30: 10-18.
  26. Hoy, M. A., and K. A. Standow. 1982. Inheritance of resistance to sulfur in the spider mite



- predator *Metaseiulus occidentalis*. Entomol. Exp. Appl. 31: 316-323.
27. Hoy, M. A., W. W. Barnett, W. O. Reil, D. Castro, D. Cahn, L. C. Hendricks, R. Coviello, and W. J. Bentley. 1982. Large-scale releases of pesticide-resistant spider mite predators. Calif. Agric. 36:8-10.
  28. Hoy, M. A., D. L. Flaherty, W. Peacock, and D. Culver. 1979. Vineyard and laboratory evaluations of methomyl, dimethoate, and permethrin for a grape pest management program in the San Joaquin Valley of California. J. Econ. Entomol. 72: 250-255.
  29. Hoy, M. A., N. F. Knop, and J. L. Joos. 1980. Pyrethroid resistance persists in spider mite predator. Calif. Agric. 34: 11-12.
  30. Hoyt, S. C. 1969. Integrated chemical control of insects and biological control of mites on apple in Washington. J. Econ. Entomol. 62: 74-86.
  31. Huang, M. D., J. J. Ziong, and T. Y. Du. 1987. The selection for and genetical analysis of phosmet resistance in *Amblyseius nicholsi*. Acta Entomol. Sinica 30: 133-139.
  32. König, K., and S. A. Hassan. 1986. Resistance and cross resistance of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) to organophosphorous insecticides. Z. Ang. Entomol. 101:206-215.
  33. Lo, K. C., W. T. Lee, T. K. Wu, and C. C. Ho. 1990. Use of predators to control spider mites (Acarina: Tetranychidae) in the Republic of China on Taiwan. p.166-178 in O. Mochida, K. Kiritani, and J. Bay-Petersen eds. The Use of Natural Enemies to Control Agricultural Pests. FFTC Book Series. No. 40.
  34. Mally, C. W. 1916. On the selection and breeding of desirable strains of beneficial insects. S. Afr. J. Sci. 13: 191-195.
  35. Markwick, N. P. 1986. Detecting variability and selecting for pesticide resistance in two species of phytoseiid mites. Entomophaga 31: 225-236.
  36. Pielou, D. P., and R. F. Glasser. 1952. Selection for DDT resistance in a beneficial insect parasite. Science 115: 117-117.
  37. Presnail, J. K., and M. A. Hoy. 1992. Stable genetic transformation of a beneficial arthropod, *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae), by a microinjection technique. Proc. Natl. Acad. Sci. 89: 7732-7736.
  38. Presnail, J. K., and M. A. Hoy. 1994. Transmission of injected DNA sequences to multiple eggs of *Metaseiulus occidentalis* and *Amblyseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae) following maternal microinjection. Exp. Appl. Acarol. 18:319-330.
  39. Readshaw, J. L. 1975. Biological control of mites in Australia with an insecticide-resistant predator. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 41: 213-214.
  40. Robertson, J. G. 1957. Changes in resistance to DDT in *Macrocentrus ancylivorus* Rohwer (Hymenoptera: Braconidae). Can. J. Zool. 35: 629-633.
  41. Rosenheim, J. A., and M. A. Hoy. 1986. Intraspecific variation in levels of pesticide resistance in field populations of a parasitoid, *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae): The role of past

- selection. J. Econ. Entomol. 79: 1161-1173.
42. Roush, R. T., and M. A. Hoy. 1981a. Genetic improvement of *Metaseiulus occidentalis*: Selection with methomyl, diemthoate, and carbaryl and genetic analysis of carbaryl resistance. J. Econ. Entomol. 74: 138-141.
  43. Roush, R. T., and M. A. Hoy. 1981b. Laboratory, glasshouse, and field studies of artificially selected carbaryl resistance in *Metaseiulus occidentalis*. J. Econ. Entomol. 74: 142-147.
  44. Roush, R. T., W. L. Pelacock, D. L. Flaherty, and M. A. Hoy. 1980. Dimethoate-resistant spider mite predator survives field tests. Calif. Agric. 34: 12-13.
  45. Schulten, G. G. M., G. van de Klashorst, and V. M. Russell. 1976. Resistance of *Phytoseiulus persimilis* A.-H. (Acari: Phytoseiidae) to some insecticides. Z. Angew. Entomol. 80: 337-341.
  46. Simmonds, F. J. 1947. Improvement of the sex ratio of a parasite by selection. Can. Entomol. 79: 41-44.
  47. Strickler, K., and B. A. Croft. 1982. Selection for permethrin resistance in the predatory mite, *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina: Phytoseiidae). Entomol. Exp. Appl. 31: 339-345.
  48. Suckling, D. M., J. T. S. Walker, P. W. Shaw, N. P. Markwick, and C. H. Wearing. 1988. Management of resistance in horticultural pests and beneficial species in New Zealand. Pestic. Sci. 23: 157-164.
  49. Thomas, W. P., and L. M. Chapman. 1978. Integrated control of apple pests in New Zealand. 15. Introduction of two predaceous phytoseiid mites. Proc. N. Z. Weed and Pest Cont. Conf. 31:236-243.
  50. Voroshilov, H. V. 1979. Heat-resistant lines of the mite *Phytoseiulus persimilis* A.-H. Genetika 15: 70-76.
  51. Voroshilov, N. V., and L. I. Kolmakova. 1977. Heritability of fertility in a hybrid population of *Phytoseiulus persimilis*. Genetika 13: 1496-1497.
  52. Wilkes, A. 1942. The influence of selection on the preferendum of a chalcid (*Microplectron fuscipennis*) and its significance in the biological control of an insect pest. Proc Royal Soc Lond Ser. B 130: 400-415.
  53. Wilkes, A. 1947. The effects of selective breeding on the laboratory propagation of insect parasites. Proc. Roy. Soc. London Ser. B 134: 227-245.
  54. White, E. B., P. DeBach, and M. J. Garber. 1970. Artificial selection of genetic adaptation to temperature extremes in *Aphytis lingnanensis* Compere (Hymenoptera: Aphelinidae). Hilgardia 40: 161-192.

# Genetic Improvement of Natural Enemies

Chyi-Chen Ho and Kang-Chen Lo

Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute

## Abstract

The natural enemies often failed to suppress the pest population. This may be enhanced through genetic improvement on the natural enemies. A few works were carried on the breeding of strains of various natural enemies to improve their fecundity, sex ratio, tolerance to various temperatures, and pesticide resistance. Among these works the selection of multipesticide-resistant strain of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) was most prolific. Released into fields, it survived, persisted, and reduced the spider mite population. In addition, genetic transformation was carried successfully on this mite. These works were briefly introduced. Biological control works have been conducted in Taiwan. It is worthwhile to probe the quality of the mass-reared natural enemies, to improve the fecundity to facilitate the mass-production of natural enemy, to breed strains for the release in various crops or seasons. Currently the selection of pesticide-resistant strain is probably most worthwhile. When crops are harvested within a few months after cultivating, genetic improved strain of natural enemy only needs to last out the harvest for using on these crops. The ability of long-term persistence may not be necessary.

**Key words:** natural enemy, genetic improvement.