

良質米栽培的蟲害管理

廖君達^{1*}、黃守宏²、戴淑美³

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場、²行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所、³國立中興大學
*通訊作者信箱：liaoct@tdais.gov.tw

摘 要

水稻栽培期間面臨十數種昆蟲的危害，其中包括刺吸性的飛蟲類(包括褐飛蟲、白背飛蟲及斑飛蟲)、蛀莖性的蛾類幼蟲(包括二化螟、大螟)及取食葉片的瘤野螟等，對於水稻產量才足以造成實質的經濟損失。因此，無論在抗蟲育種過程的檢定作業、害蟲抗藥性研究及防治對策的擬定與執行等，上述害蟲均成為主要考量的標的。臺灣自1968年開始進行水稻抗褐飛蟲育種工作，至今約有40個抗褐飛蟲品種已命名及推廣。然而，臺灣育成之抗褐飛蟲品種與亞洲許多國家一樣，多以*Bph1*及*bph2*為主，造成能適應上述兩個抗蟲基因之相對應生物小種在臺灣已普遍發生。未來應積極引入其他不同之抗性基因，並加強選育具多個抗性基因之水稻品種，以減緩生物小種所造成之為害。二化螟及瘤野螟的水稻抗性品種檢定同樣也積極進行。噴施化學藥劑是防治水稻害蟲的主要策略之一，農藥長期大量使用後，無論是當地發生的水稻二化螟及大螟，或是隨著氣流長距離遷移的飛蟲類均對不同藥劑產生不同程度的抗藥性。例如二化螟與褐飛蟲，均已分別對不同藥劑產超過百倍的抗藥性。因此必須藉著持續性的監測抗藥性發展動態、適時輪替使用防治藥劑與輪作來延緩抗藥性發生與害蟲族群的增加。此外，因應水稻栽培農民年輕化、專業農民栽培面積擴大化的趨勢及稻米產銷專業區的需求，並考量到生產成本及營運風險，促使農民在蟲害管理決策品質的提升更是相形重要。農民經過病蟲害管理課程的訓練後，可以成為善用各項監測技術的專家，主動定期的資訊蒐集，並配合農業環境、害蟲生態學及經濟危害基準的知識，統合相關訊息進行分析，據以作出最佳的病蟲害管理決策及農藥的合理使用。

關鍵詞：水稻、蟲害、抗蟲育種、抗藥性、作決策。

前 言

水稻栽培期間面臨十數種昆蟲的危害，在不同地區或不同水稻生育時期存在明顯地差異性，然而，重要的害蟲包括褐飛蝨(*Nilaparvata lugens* Stål)、白背飛蝨(*Sogatella furcifera* Horváth)及斑飛蝨(*Laodelphax striatella* Fallen)、蛀莖性的蛾類幼蟲，包括二化螟(*Chilo suppressalis* Walker)、大螟(*Sesamia inferens* Walker)及取食葉片的瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guene'e)等，對於水稻產量才足以造成實質的經濟損失。因此，無論在抗蟲育種過程的檢定作業、害蟲抗藥性研究及害蟲防治對策的擬定與執行等，上述害蟲均成為主要考量的標的。

抗蟲育種是蟲害管理常用的策略，水稻品種抗性檢定是抗蟲育種及研究抗蟲機制的基礎。選育出抗病蟲之水稻品種為水稻育種重要目標之一(Khush, 1979; Bonman *et al.*, 1992; Jena and Mackill, 2008)，特別是對許多亞洲地區國家，產量高且抗病蟲之水稻品種，成為維持糧食安全生產不可或缺的要件(Brar *et al.*, 2009)。褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨為臺灣地區水稻的主要害蟲，由於此類害蟲世代短、繁殖快速，成、若蟲均聚集於水稻吸取汁液為害，若疏於防治或防治不當，常導致水稻局部或全部枯萎倒伏，俗稱「蝨燒」，影響水稻生產至鉅，其中又以褐飛蝨之為害性最大(鄭，1986；黃等，2009)。農友為防治此類害蟲，二期作水稻常需噴藥4~6次，才可以有效抑制此蟲為害所造成之損失(鄭，1980)。二化螟蟲在1960年代曾為臺灣水稻之主要害蟲，嚴重為害可造成30~50%產量損失(何及劉，1970；陶，1966a)。其幼蟲潛入葉鞘內為害造成側黃葉，再蛀入稻莖內為害，於分蘖期形成枯心，孕穗期以後造成白穗及半白穗(何及劉，1970；陶，1966b)。由於1970~1980年代水稻耕作制度及稻藁之處理方式改變，加上化學合成藥劑之使用，使其族群大幅下降成為次要害蟲(何及劉，1970；鄭，1986；劉等，1991)。但在1984年來，臺灣勵行稻田轉作，二化螟蟲之為害面積又有逐漸增加之趨勢(鄭及朱，1999；鄭及黃，2003；黃等，2008)。此外，瘤野螟近年來成為二期稻作重要的害蟲，幼蟲

會將水稻葉片縱捲成苞，隱匿其中取食上表皮及葉肉部位，造成18~24%的產損失(鄭等，2002；顏，1981)。

化學防治是農民管理水稻害蟲的基本手段。就臺灣地區而言，截至目前為止登記使用於主要水稻害蟲的防治藥劑超過60種，主要包含有機磷、氨基甲酸鹽、合成除蟲菊、新類尼古丁與其他新穎殺蟲劑。在這些藥劑當中以褐飛蝨的推薦藥劑數量最多，其次是黑尾葉蟬、二化螟與瘤野螟(戴，2011)。在長期大量使用這些藥劑之後，無論是當地發生的水稻螟蟲類或是隨著氣流長距離遷移的飛蝨類均對不同藥劑產生高低不等的抗藥性，致使衍生出害蟲抗藥性的課題。

有關蟲害的管理，整合性防治的觀念(Integrated control concept)最早在1959年被提出來(Stern *et al.*, 1959)。聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization)的專家小組於1974年作出較廣義的定義：整合性害物管理是一種害物管理系統，內容與環境及害物的族群動態有關，應用所有適當的技術及相容可行的方法，來維持害物族群低於造成經濟損失的水平(FAO, 1975)。然而，完整的整合性的害物管理牽涉到極為繁瑣的調查及各項技術的導入，對於臺灣從事水稻栽培的小農而言，不容易落實為實際應用的蟲害管理技術。然而，因應近年來水稻栽培農民年輕化、專業農民栽培面積擴大化的趨勢及稻米產銷專業區的需求，並考量到生產成本及營運風險，促使農民在良質米栽培蟲害管理決策品質的提升相形重要。

水稻品種抗蟲性檢定成果

褐飛蝨

臺灣進行水稻抗蟲育種研究早在1968年開始進行，嘉義農業試驗分所自國際稻米研究所(IRRI)引入抗蟲種原，1975年設置抗蟲檢定圃，進行抗蟲篩檢工作，其中包含一般病圃(初級品系)之秧苗檢定，及統一病圃(高級品系)之秧苗及成株檢定。於1973及1982年選育出第一個抗褐飛蝨之秈稻(嘉農秈11號)及粳稻(臺農68號)品種(張，1982；Chang and Cheng, 1974)。之後，各試驗改良場所也相繼投入抗蟲

育種工作，也陸續選育出其他抗褐飛蟲之品種，至今年(2012)已育成抗飛蟲之水稻品種計有45個，其中秈、粳、秈糯及粳糯稻各有16, 21, 4及4個(表1)。惟分析各抗蟲品種之抗性基因來源，秈稻品種之抗源較廣且多樣，而粳稻則相對較為狹窄。目前臺灣主要栽培抗褐飛蟲之秈、粳稻，大多來自Mudgo之*Bph1*基因及IR9-60之*bph2*基因；臺農69號及臺南糯10號其抗性來自野生稻*O. rufipogon*，但其抗蟲基因有待鑑定；臺農75號除具有Mudgo之*Bph1*基因外，可能尚具有TM抗源(臺農67號疊氮化鈉誘變品系)；臺中秈17號、臺農秈糯2號、臺秈1號、高雄秈糯8號及臺中秈糯2號等可能含有野生稻*O. nivara*之抗蟲基因(陳等，2009)。目前主要栽培之良質米推薦品種中，臺粳16號、臺南11號、臺中秈10號、花蓮21號及臺中192號具抗蟲性(表2)。

表 1.臺灣育成水稻對褐飛蟲、白背飛蟲及斑飛蟲之抗性品種

Table 1. The rice varieties resistant to brown planthopper, white backed planthopper and smaller brown planthopper released in Taiwan during 1973-2012

Variety	Released year	Response		
		Brown planthopper	White backed planthopper	Smaller brown planthopper
Chianung Sen 6	1973	S	R	R
Chianung Sen 8	1973	S	MR	R
Chianung Sen 11	1973	R	R	R
Taichung Sen 3	1976	S	MR	R
Taichung Sen 5	1977	S	MR	R
Kaohsiung Sen 7	1978	R	S	S
Taichung Sen 10	1979	MR	S	R
Tainung Sen 12	1979	R	-	R
Tainan Sen 15	1980	S	S	MR
Taichung Sen 16	1981	MR	R	R
Tainung Sen 14	1982	R	MR	R
Tainung 68	1982	MR	S	S
Taichung Sen 17	1984	R	S	MR

表 1.臺灣育成水稻對褐飛蟲、白背飛蟲及斑飛蟲之抗性品種(續)

Table 1. The rice varieties resistant to brown planthopper, white backed planthopper and smaller brown planthopper released in Taiwan during 1973-2008 (continued)

Variety	Released year	Response		
		Brown planthopper	White backed planthopper	Smaller brown planthopper
Tainung Sen 18	1984	R	MR	MR
Tainung Sen 19	1984	R	MR	R
Taichung Sen Glu. 1	1984	MR	MR	MR
Tainung Sen Glu. 2	1984	R	S	MR
Tainung 69	1984	R	R	MR
Tainung 70	1985	MR	MR	S
Tainung Sen 20	1986	R	S	R
Tainung 72	1987	R	S	R
Taikeng 1	1988	MR	S	S
Taisen 1	1988	MR	S	R
Taikeng 2	1989	MR	MR	S
Taikeng 5	1990	MR	S	S
Taisen Glu. 2	1994	S	MR	R
Taikeng 16	1996	R	R	R
Taisen 2	1998	MR	S	MR
Taitung 30	2002	R	MR	S
Tainan Glu.10	2003	R	S	S
Tainan 11	2004	MR	MR	R
Taoyuan 3	2004	S	MR	MR
Taitung Glu. 31	2004	MR	MR	MR
Tainung Sen 22	2004	MR	S	MR
Kaohsiung Sen Glu. 8	2004	MR	MR	MR
Tainan Glu.12	2005	S	MR	S
Tainung 75	2006	MR	MR	MR
Tainung Sen Glu.2	2006	MR	MR	R
Taichung 192	2007	MR	S	S
Hualien 21	2008	MR	S	S
Kaohsiung 146	2008	S	MR	S
Taichung 194	2009	S	S	MR
Taitung 32	2009	MR	S	MR
Tainan 13	2009	MR	MR	MR
Tainung 84	2010	MR	S	MR

表 2.優良水稻推薦品種對稻飛蝨之反應(101 年 1 期作)

Table 2. Response of the good quality and recommend rice varieties to three rice planthoppers (first rice crop, 2012)

Variety	Brown planthopper		White backed planthopper	Smaller brown planthopper
	Seedling stage	Adult stage		
Taikeng 2	S	S	MR	S
Taikeng 8	S	S	S	S
Taikeng 9	S	S	S	S
Taikeng 14	S	S	S	MR
Taikeng 16	R	MR	S	MR
Tainung 71	S	S	S	S
Tainan 11	R	MR	S	MR
Kaohsiung 139	S	S	S	S
Kaohsiung 145	S	S	S	MR
Taitung 30	S	S	S	S
Hualien 21	MR	MR	S	S
Taichung 192	MR	MR	S	S
Taichung Sen 10	S	MR	S	S

臺灣目前栽植抗褐飛蝨水稻品種(含有*Bph1*及*bph2*抗性基因)之種植面積，佔水稻總裁培面積之51%左右(Agriculture and Food Agency, Taiwan)。偵測於臺灣發生之褐飛蝨生物小種，能適應於具*Bph1*及*bph2*抗性基因之相對應第二型及第三型生物小種，所佔發生比例之80%以上，此情況意味著含此兩種抗性基因之水稻品種可能業已失去原有之抗性成效(黃等，2009)。有關白背飛蝨及斑飛蝨因無政策性之育種計畫進行，故僅有進行統一病圃(高級品系)之秧苗檢定，其真正抗蟲基因來源，有待進一步確定。

二化螟

抗二化螟育種研究於1970年開始進行，惟其主要利用田間自然發生族群進行檢測(林，1971，1972，1973；邱，1971)，此結果易受到環境及田間害蟲族群等因

子之影響。二化螟蟲抗蟲檢定圃於1989年設置於嘉義農業試驗分所，直至1995年，嘉義農業試驗分所成功發展出人工飼料配方(鄭，1995)，可大量培育檢定用蟲源，並利用人工接種方式，篩檢各試驗改良場所篩選之高級品系水稻，所得之抗性結果供該品系命名推廣栽培之參考。惟此計劃執行至2003年，因無持續性計畫經費支持而被迫停止(陳等，2009)。

初步檢定結果顯示梗稻對二化螟之抵抗力較秈稻強，此結果可能因二化螟偏好稻桿較粗之秈稻有關，惟二化螟為害較低之品種係因逃避或真正呈現抗性，有待進一步確認。自1989年以來，臺灣育成之水稻品種並無真正具有抵抗力者(陳等，2009)。

瘤野螟

臺灣的抗瘤野螟檢定始於1978年，田間自然發生族群檢測(陳及王，1978)。廖等(2006)針對良質米推薦品種進行品種抗性檢定，僅有臺梗8號有較佳的抗性。臺中區農業改良場2010年自菲律賓國際稻米研究所(IRRI)取得TKM6、Ptb33、IR5685-26-1、Darukasail、Balam、Gora、Gorsa及Choorapundy等8個對瘤野螟具抗性的水稻品種，另由行政院農業委員會農業試驗研究所(TARI)取得DV85、GEB24、IR74、Ptb9、Tetep9645及Tetep10046等6個對瘤野螟具抗性品種；於99年第一期作種植於行政院農業委員會臺中區農業改良場試驗田進行栽培適應性評估，選出 DV85、IR74、Ptb9、Tetep9645、Tetep10046、IR-5685-26-1及TKM6等7個品種作為後續檢定的試驗材料。2011~2012年於進行為期2年的水稻品種對瘤野螟之抗性檢定，已確認多個穩定的抗性品種(TKM6、轟早生、光復香糯等)。

水稻害蟲抗藥性發展現況

以幼蟲蛀入水稻莖幹危害的螟蟲類為例，1990年代即發現一品松(EPN)、加保扶(Carbofuran)與培丹(Cartap)無法有效的防治臺灣的二化螟。2006~2008年的調查研究證實臺灣嘉義與彰化地區的二化螟已對加保扶產生超過一千倍的抗藥性，而

臺中地區的二化螟也約有400倍的抗藥性(圖1)。另外，嘉義地區的二化螟也對培丹產生約60倍的抗藥性(Cheng *et al.*, 2010)。在中國大陸則發現田間二化螟對阿巴汀等27種藥劑產生2~220倍的抗藥性(圖1)，其中對殺蟲單(Monosultap)的抗藥性最高，三落松(Triazophos)次之，對不同合成除蟲菊殺蟲劑則有5~155倍抗藥性(戴，2011)。近十餘年來，因甘蔗的種植面積大量降低而在臺灣中南部成為最重要水稻蛀心害蟲的大螟(Li *et al.*, 2011)，對二化螟的防治藥劑尚未具發展出顯著性的抗藥性，但對未曾登記使用於水稻的賜諾殺(Spinosad)則產生約17倍的抗藥性(圖2)。此外，對二化螟防治效果優異的芬普尼對大螟則毫無效果(Fang *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2011)。

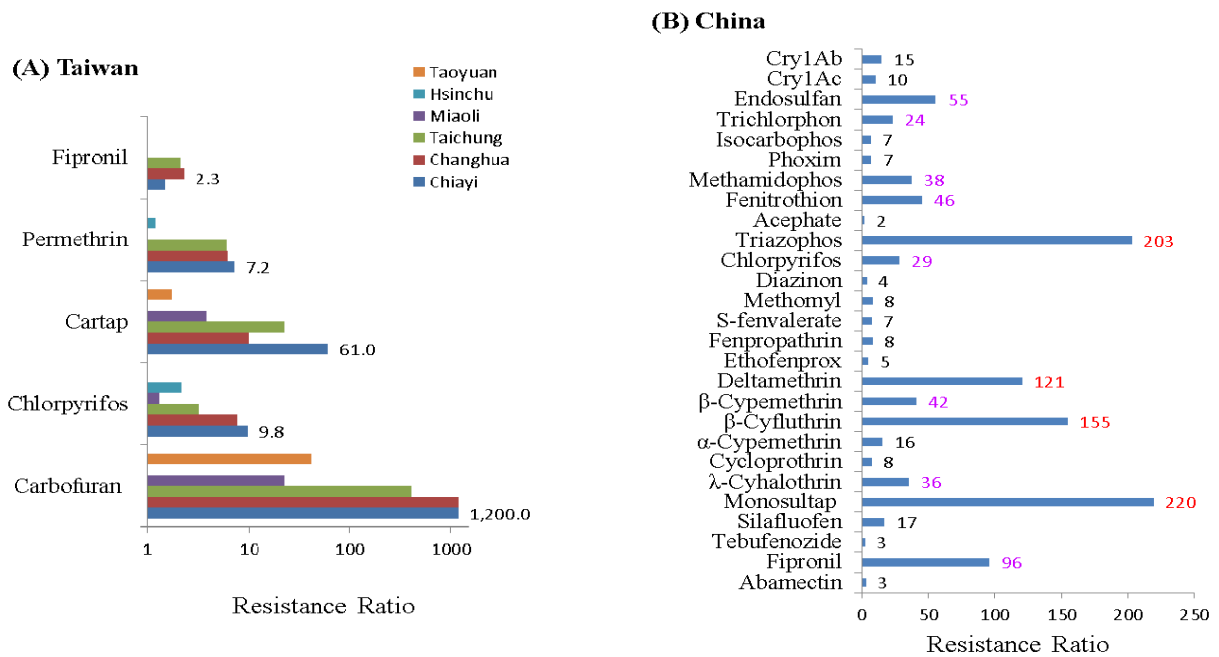


圖 1.臺灣與中國各地區二化螟對不同防治藥劑的最高抗藥性比。(資料整理自 Cheng *et al.*, 2010; Dai, 2011)

Fig. 1. The highest insecticide resistance ratios of stripe stem borers collected from Taiwan (A) and China (B). (Data adapted from Cheng *et al.*, 2010; Dai, 2011)

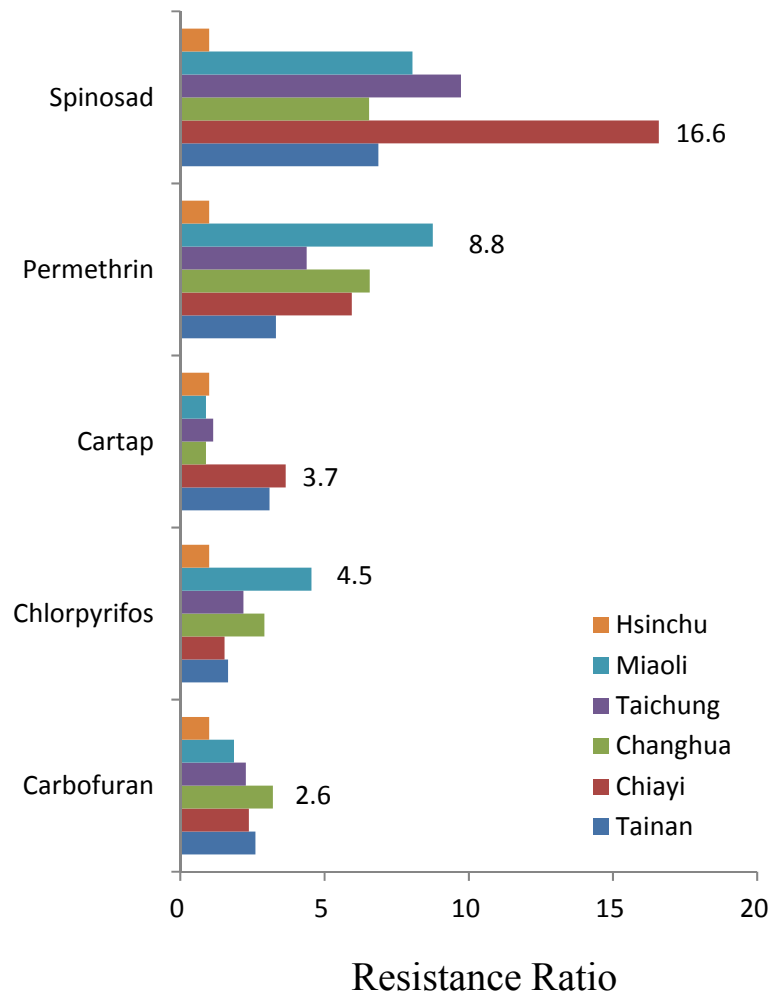


圖 2.臺灣西部地區大螟對不同防治藥劑的最高抗藥性比。(資料整理自 Li *et al.*, 2011)

Fig. 2. The highest insecticide resistance ratios of pink stem borers collected from west coast of Taiwan. (Data adapted from Li *et al.*, 2011)

至於隨著氣流長距離遷移的飛蟲類，早在1980年代即發現臺灣的褐飛蟲對有機磷、氨基甲酸鹽與合成除蟲菊殺蟲劑等有數十到數百倍的抗藥性(Chung *et al.*, 1982; Dai and Sun, 1984)，最高抗藥倍率如圖3所示。Matsumura等人於2006年調查發現臺灣地區的褐飛蟲對BPMC、芬普尼、益達胺與賽速安的抗藥性相對於東南亞

地區較敏感族群分別有3-5, 2-9, 38-71與6-8倍的抗藥性(圖4)。東南亞各地的褐飛蝨對BPMC、芬普尼與賽速安的抗藥性不高，大致在1.2~13倍之間；但是相較於菲律賓地區的褐飛蝨，日本、大陸、臺灣與越南地區的褐飛蝨對益達胺則有24-134倍的抗藥性，其中以越南Long Dinh、Tien Giang的褐飛蝨抗藥性最高，其次是越南Hoa Ninh、Tien Giang的褐飛蝨(Matsumura *et al.*, 2008)。另外，王等人從1996~2006年調查大陸地區褐飛蝨對布芬淨的抗藥性發展情形，發現除了南京地區褐飛蝨於2005年對布芬淨有28.1的抗藥性之外，其他地區褐飛蝨截至2006年對布芬淨的抗藥性均低於10倍(Wang *et al.*, 2008)。

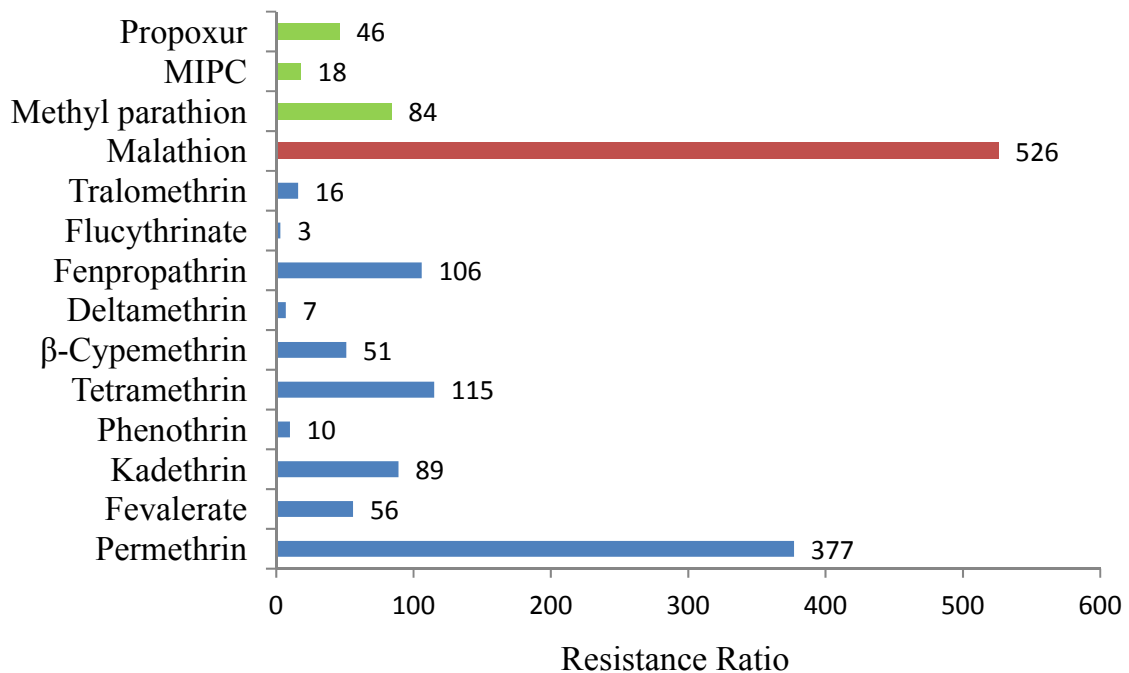


圖 3.臺灣褐飛蝨對馬拉松，胺基甲酸鹽與合成除蟲菊殺蟲劑的最高抗藥性比。(資料整理自 Chung *et al.*, 1982; Dai and Sun, 1984)

Fig. 3. The highest resistance ratio of the brown planthoppers against malathion, carbamates and pyrethroids in Taiwan. (Data adapted from Chung *et al.*, 1982; Dai and Sun, 1984)

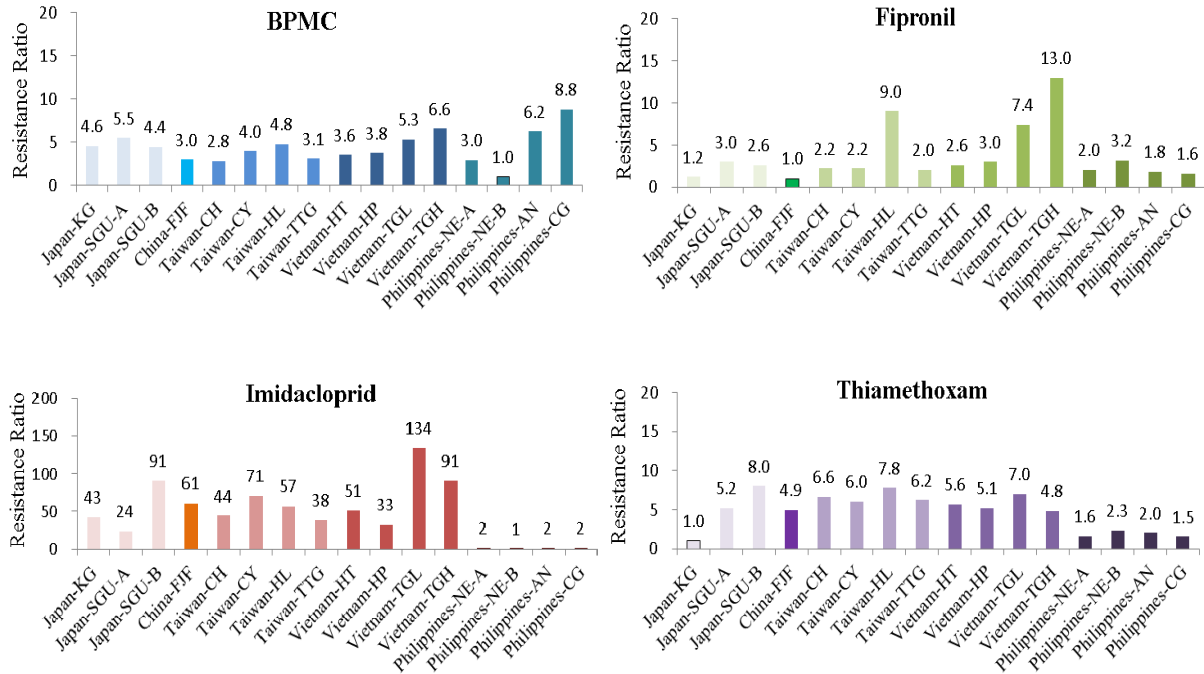


圖 4.亞洲各地褐飛蟲對 BPMC，芬普尼，益達胺與賽速安的相對抗藥性比。(資料整理自 Matsumura *et al.*, 2008)

Fig. 4. The resistance ratios of Asian brown plant hoppers against BPMC, fipronil, imidacloprid and thiamethoxan. (Data adapted from Matsumura *et al.*, 2008)

日本、大陸、臺灣、越南與菲律賓地區的白背飛蟲對BPMC與益達胺的抗藥性不高，對芬普尼則有2-1,693倍的抗藥性(圖5)，其中以越南地區的白背飛蟲對芬普尼的抗藥性最高，319-1,693倍(Matsumura *et al.*, 2008)。Tang *et al.* (2009)進一步利用芬普尼篩選田間抗芬普尼的白背飛蟲，發現抗芬普尼的白背飛蟲不會對益達胺與MPMC產生交互抗性。另外，日本地區的斑飛蟲對芬普尼大約有11倍的抗藥性(Nakao *et al.*, 2011)，大陸地區的斑飛蟲對陶斯松則約有200倍的抗藥性(Wang *et al.*, 2010)。

至於瘤野螟，由於此害蟲不易於實驗室大量繁殖，因此相關的抗藥性資料極其有限，目前僅知中國部分地區的瘤野螟對蘇力菌毒素Cry1Ab與Cry1Ac具有較高的抗藥性(Han *et al.*, 2008)。於2009年調查臺東市、臺南後壁、臺中霧峰、臺中烏

日與南投草屯等地區的瘤野螟成蟲對系統性殺蟲劑加保扶、觸殺兼胃毒劑陶斯松、系統性兼觸殺胃毒的歐殺松與芬普尼，及觸殺劑賽洛寧與第滅寧的感受性資料。結果顯示：芬普尼對田間瘤野螟的防治效果最好，其次依序為陶斯松、加保扶、歐殺松、賽洛寧、第滅寧、培丹(戴，2011)。

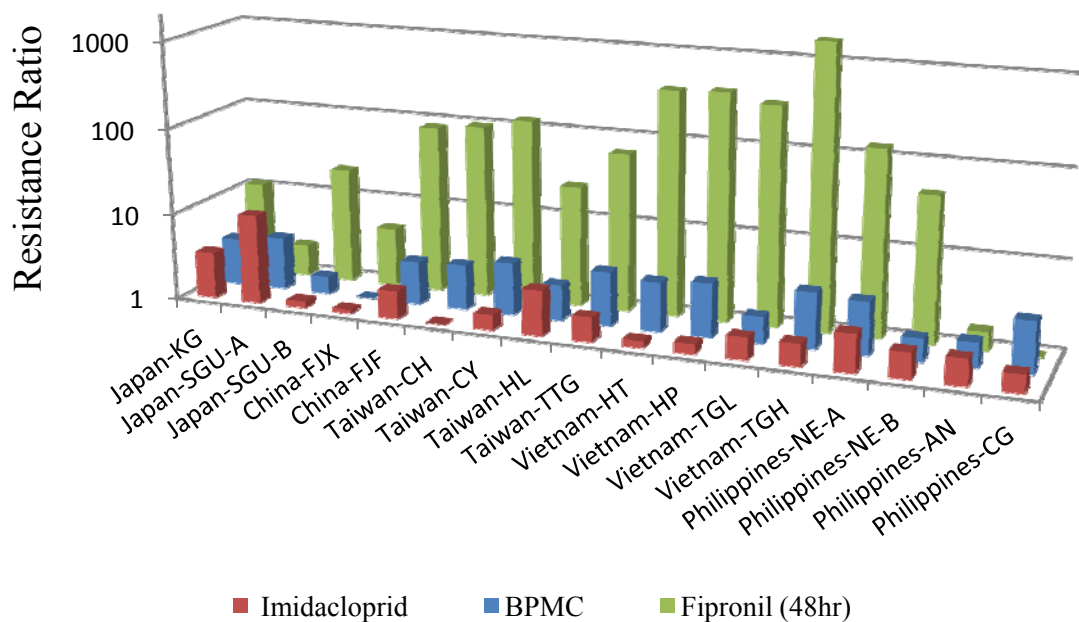


圖 5.亞洲各地白背飛蟲對 BPMC，芬普尼與益達胺相對抗藥性比。(資料整理自 Matsumura *et al.*, 2008)

Fig. 5. The resistance ratios of Asian *Sogatella furcifera* against BPMC, fipronil and imidacloprid. (Data adapted from Matsumura *et al.*, 2008)

因應抗藥性發展的對策

目前對於任何害蟲的管理均無法避免殺蟲劑的使用，因此如何避免或延緩害蟲抗藥性的產生已成為當前最重要的課題之一。現行的害蟲抗藥性管理策略包括：(一)杜絕長期使用同種或相同作用機制的藥劑。(二)監測害蟲抗藥性發展趨勢，適時輪用或混用不同作用機制的防治藥劑。(三)避免不需要的藥劑施用，使用可以

減少抗性害蟲存活的施用比率、時間選擇與實踐。(四)利用輪作避免害蟲、雜草與病原菌的累積。(五)使用非農藥防治方法等。除此之外，完善的害蟲抗藥性管理也應該注意下列兩個問題：(一)相同危害特徵的不同害蟲對相同藥劑的差異性感受性。*Matsumura et al.* (2008)的調查結果即顯示褐飛蝨與白背飛蝨對芬普尼的感受性差異極大，半致死劑量相差364倍(圖3A)。類似的情形也發現於會造成水稻枯心與白穗的大螟與二化螟(*Li et al.*, 2011)。這些具有相同危害特徵的不同害蟲對防治藥劑顯然具有不同的感受性，因此在田間實際防治上必須特別注意是哪一種害蟲危害，才能選用有效的藥劑防治。若這些具有相同危害特徵的不同害蟲同時或先後出現在同一地區，則必須選用對這些害蟲均有效果的藥劑。(二)確認防治對象是否因解毒酵素活性增強或表現量增加而對不同作用機制的藥劑產生交互抗性。

為了避免可用的防治藥劑越來越少，甚至於出現無藥可用的窘境，應該進一步確認害蟲是否會對同一類藥劑(例如除蟲菊殺蟲藥劑)或不同類卻具有相同作用機制的藥劑(例如有機磷與氨基甲酸鹽殺蟲藥劑)產生交互抗性。從圖1大陸二化螟對9種與圖3臺灣褐飛蝨對10種合成除蟲菊劑的抗藥程度來看，害蟲對同一類的藥劑不必然會產生嚴重的交互抗性(cross-resistance)，因為即使是同一類的藥劑，結構上仍有一定程度的差異。對於不同類型卻具有相同作用機制的藥劑來說，引發交互抗性的風險也可能更小。最好的例子是對加保扶具有超過千倍抗藥性的二化螟，對同屬於乙醯膽鹼酯酶抑制劑(acetylcholinesterase inhibitor, AChEI)的陶斯松卻只有低於10倍的交互抗性(*Cheng et al.*, 2010)。類似的情形也發生於使用三落松篩選之二化螟，此品系二化螟對三落松的抗藥性雖然高達200倍，但對納乃得(Methomyl)卻只有8.4倍的交互抗性(*Qu et al.*, 2003)。此二發現無論在害蟲抗藥機制的基礎研究或是在害蟲抗藥性管理策略的實際應用上均具有十分重要的意義。另外，也應該多篩選具有負交互抗性(negative cross-resistance)藥劑，以利於害蟲抗藥性管理。目前已知的負交互抗性藥劑對有蘇力菌的Cry1Ac與Cry1F，合成除蟲菊與dihydropyrazoles或amides (表3)等(*Pittendrigh et al.*, 2008)。

表 3.成對藥劑對於生物具有負相關或負交互抗性的例子(引用自 Pittendrigh et al., 2008)

Table. 3. Examples of organisms where toxin pairs have been observed to cause negatively correlated or negative cross-resistance (Cited from Pittendrigh et al., 2008)

Organism	Toxin pair(s)	References
Insects		
<i>Drosophila melanogaster</i>	DDT and deltamethrin ^a DDT and phenylthiourea ^b	Pedra et al. (2004) Ogita (1961a, b, c)
<i>Plodia interpunctella</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) toxins	Van Rie et al. (1990)
<i>Helicoverpa zea</i>	Bt toxins Cry1Ac and Cry1F	Marcus (2005)
<i>Helicoverpa armigera</i>	Bt toxins	Liang et al. (2000)
<i>Pectinophora gossypiella</i>	Bt toxin and gossypol	Carrière et al. (2004)
<i>Musca domestica</i>	Pyrethroids and dihydropyrazoles ^c Pyrethroids and amides ^d	Khambay et al. (2001) Elliott et al. (1986)
<i>Heliothis virescens</i>	AaIT and pyrethroids ^e	McCutchen et al. (1997)
<i>Haematobia irritans</i>	Pyrethroids and diazinon ^f	Sheppard and Marchiondo (1987)
<i>Nephotettix cincticeps</i>	<i>N</i> -propylcarbamate and <i>N</i> -methylcarbamate ^g	Yamamoto et al. (1993)
<i>Tetranychus urticae</i>	Organo-phosphates and synthetic pyrethroids	Chapman and Penman (1979)
Plants		
<i>Coryza Canadensis</i> and <i>Echinochloa crus-galli</i>	Atrazine and triazine	Gadamski et al. (2000)
<i>Amaranthus hybridus</i>	Pyriithiobac and imazethapyr	Poston et al. (2002)
Fungi		
<i>Ustilago maydis</i>	Benzimidazoles and diethofencarb ^h	Ziogas and Girgis (1993)
<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Venturia nashicola</i> and <i>Venturia inaequalis</i>	Benzimidazole and <i>N</i> -phenylanilines	Josepovits et al. (1992)
<i>Botrytis cinerea</i>	Benzimidazoles and phenylcarbamates ⁱ	Hollomon et al. (1998)
<i>Mycosphaerella graminicola</i>	Triazoles and pyrimidine derivatives/triflumizole ^j	Leroux et al. (2000)

The following alleles, genes, or loci are associated with the respective toxin pairs given above: ^a*para^{ts-1}* (voltage sensitive sodium channel); ^b*Rst(2)DDT* (differential expression of one or more cytochrome 450s); ^c*super-kdr* (super-knock-down resistance); ^{d,e}*kdr* (knock-down resistance); ^fcytochrome P450; ^gAChE(acetylcholinesterases); ^{h,i} β -tubulin (single amino acid changes); and ^jP450 sterol 14!-demethylase.

決策資訊導向的蟲害管理

臺灣水稻栽培農民的平均年齡約為63歲，平均耕地面積為1.1公頃，對於水稻病蟲害的管理作為，多數仍是以噴施化學藥劑為主要的防治手段，少數能夠與由水稻病蟲害防治講習會或向各地區試驗改良場所獲得病蟲害防治的資訊及技術，提升對於病蟲害管理的決策品質。近年來，政府為強化國產米產銷競爭力及提升稻農收益，自2005年起輔導優良稻米產區中具有行銷潛力的農會或業者建置「稻米產銷專業區」。2012年全國建置37處稻米產銷專業區，推行面積15,772公頃。稻米產銷專業區的營運主體考量到產品檢驗出農藥殘留對於品牌及商譽的營運風險，開始重視契作農民的農藥使用情形。另外，截至2102年5月，政府推動的「小地主大佃農」政策，大佃農平均年齡降至42歲，平均耕作耕地已達8.26公頃，計有7,681公頃栽種水稻。這些年輕及專業化的大佃農除了擴大經營規模外，對於降低生產成本更不遺餘力，尤其對於水稻病蟲害的防治時機的掌控著力最深。有鑑於此，如何透過教育訓練，輔導農民成為善用各項監測技術的專家，主動定期的資訊蒐集，並配合農業環境、害蟲生態學及經濟危害基準的知識，統合相關訊息進行分析，據以作出最佳的病蟲害管理決策及農藥的合理使用。

有關決策資訊導向的蟲害管理可區分為下列6個步驟，流程如圖6所示。

- (一)**確認防治對象**：水稻第一期作及第二期作所面臨的害蟲不盡相同，第一期作營養生長期以蛀莖性螟蟲為防治對象，生殖生長期則為螟蟲及斑飛蟲；第二期作營養生長期防治對象包括瘤野螟及螟蟲，生殖生長期則包括瘤野螟、螟蟲、褐飛蟲及白背飛蟲等。
- (二)**蒐集資訊**：多元的資訊可以協助農民作出最佳的決策，相關資訊包括試驗改良場所依據大範圍監測結果及綜合氣候資料所發布的蟲害發生警報、目標害蟲的基礎生態行為、及農民每週一次的定期田間調查以掌握耕作田區的害蟲密度及生育期，並運用包括二化螟性費洛蒙誘餌等監測工具，以掌握害蟲的族群動態。

- (三) **考量面臨風險**：農民依據蒐集資訊進行害蟲管理決策前，需要考量害蟲經濟危害基準、害蟲抗藥性及農藥殘留等可能面臨的風險。經濟危害基準(economic threshold)常用來判斷害蟲是否對作物產量足以造成實質損失的工具，當預測主要害蟲危害可能超越經濟危害基準，於害蟲造成危害前進行必要的防治手段。水稻重要害蟲的經濟危害基準已經全數建立(表4)。而害蟲抗藥性的產生，影響到藥劑對害蟲的防治效果，可能無法有效壓制害蟲族群的增長。此外，若水稻正值生殖生長期，對於防治藥劑的選擇須考量到安全採收期，方能避免農藥殘留的疑慮。
- (四) **作決策**：經過審慎的資訊分析及面臨風險的評估，農民得以作出害蟲管理的決策。若預期害蟲不會對作物造成經濟損失，即可節省當次的防治成本；若決定必須進行防治措施，則須訂定適當的管理時機，並擬定正確的管理方式。
- (五) **行動**：進行必要的害蟲管理手段，包括農藥的施用及栽培管理流程的改善。
- (六) **回饋**：每次執行害蟲管理措施畢，約10~14天後，觀察水稻是否持續受到害蟲的為害，紀錄成功或失敗的情形，並探討成敗的可能因素，作為後續改善的依據。

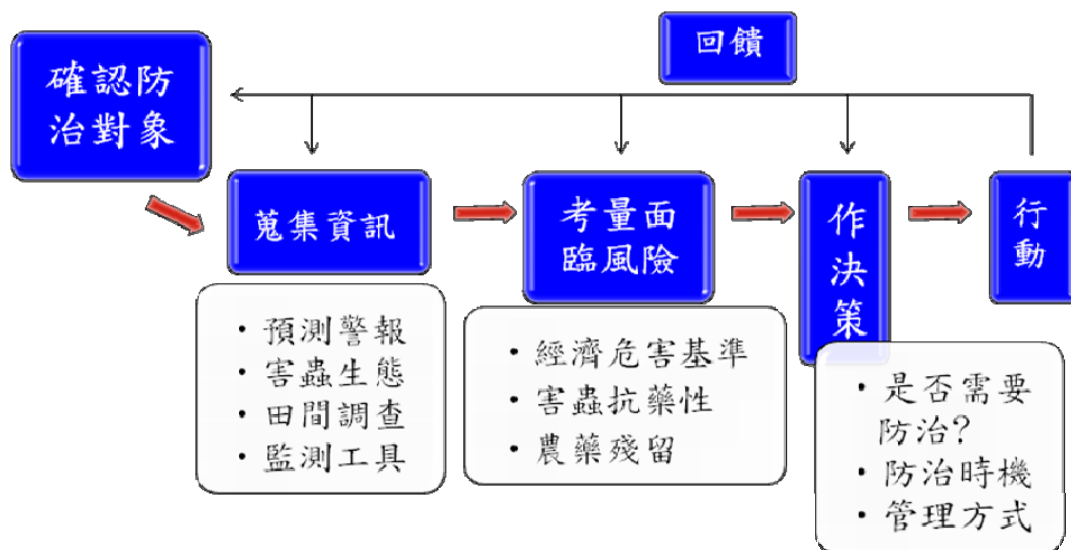


圖 6. 決策資訊導向的蟲害管理。

Fig. 6. Information orientation for decision-making on pest management.

表 4.重要水稻害蟲的經濟危害基準(資料整理自鄭等，2002)

Table 4. The economic threshold of important rice insect pests (Data adapted from Cheng *et al.*, 2002)

Kind of insects	Survey period	Economic threshold
<i>Nilaparvata lugens</i>	Rice booting stage	5-10 / hill
	Rice milking stage	10-20 / hill
<i>Sogatella furcifera</i>	Rice booting to ripening stage	5-10 / hill
<i>Laodelphax striatella</i>	Rice middle booting stage	10-20 / sweep
	After rice heading date	1-2 / spike
<i>Chilo suppressalis</i>	After rice transplanting	12-15% yellow stem
	Rice maximum tillering stage	5-10% dead heart
	After rice heading date	2-3% white head
<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	Rice booting to heading stage	1 larvae / hill or 3 damaged leaves/hill

結論與展望

所謂抗蟲品種並非指害蟲無法在該品種上生存及繁殖，而是指害蟲生存及繁殖受到抑制(抗性)，或是害蟲不喜於在該品種上棲息(抗棲性)，甚至是該品種較其他品種能忍受較多害蟲之為害能力(容忍性) (Painter, 1951; Smith, 1989)。在水稻上，栽植抗蟲品種可大量減少殺蟲藥劑之使用量，隨褐飛蟲發生之情況，每期作可減少1~3次之施用藥劑次數(鄭，1986)。由於栽植抗蟲品種並不增加任何費用於生產者，同時對人、畜及環境不具危險性，更可配合其他任何防治方法使用而獲得相乘的防治效力(Kogan, 1982; Panda and Khush, 1995)。在生態環境品質日益受重視，倡導農業永續經營的今日，抗蟲品種的開發與利用更顯重要。

然而，要選育出抗蟲品種作為害蟲防治的基礎，需有團隊合作且政策及經費的持續支持下方可達成，並非一蹴可幾。加上有關抗褐飛蟲之種原多為秈稻，欲將秈稻之抗蟲基因轉移至粳稻，一般必須先育成粳稻中間親本，再逐漸與粳稻雜

交，才能將抗性基因轉移至梗稻。由於中間親本之育成頗為費時，且其績效並不受肯定，大部分育種者通常以農藝性狀較佳之抗蟲品種做為親本並連續使用，以致目前所育成之抗蟲品種，多為同一抗蟲基因所支配，若有相對生物小種產生，則全部抗蟲品種即將面臨被嚴重為害而瓦解之命運(陳等，2009；黃等，2009)。

由於褐飛蝨係長距離遷移害蟲，主要由中國華南、北越及菲律賓呂宋島等地區遷移進入臺灣(鄭及盧，1990；Huang *et al.*, 2010)，而發生於臺灣之褐飛蝨生物小種，除受當地抗蟲品種之種植造成改變外，海外遷出地區蟲源特性之改變亦可能影響遷入地區生物小種之變遷(黃等，2009；Medrano and Heinrichs, 1985; Rombacher and Gallagher, 1994; Sogawa *et al.*, 1987; Tanaka and Matsumura, 2000)。在臺灣，目前已偵測到水稻褐飛蝨第二型(biotype 2)及第三型(biotype 3)生物小種現已普遍發生，第四型(biotype 4)及第五型(biotype 5)生物小種發生比例也逐漸增加，如何使用水平抗性、容忍抗性及抗性基因交互循環種植之方式，甚至是混植含有不同抗蟲因子之水稻抗性品種，以有效的減緩有害生物小種之演化，成為未來褐飛蝨發生及管理之重要課題(黃及鄭，2008；黃等，2009；Cheng, 1985; Heinrichs, 1994; Panda and Khush, 1995)。

臺灣目前缺乏具其他抗褐飛蝨基因之種原，今後除應加強搜集水稻抗蟲種原外，可配合分子標誌輔助選拔技術之應用，除可在雜交後之早期世代能進行抗蟲選拔，減少人力、物力及時間之花費及提高育種效率與準確性，並可應用於堆疊不同抗性基因於優良水稻品種上，使該品種不僅具有優良特性，更可抵抗害蟲之為害。在國外，目前已有應用分子輔助育種技術於選育出具多種病蟲害抵抗性之品種(Brar *et al.*, 2009)，此方面之發展與經驗，可提供我們學習與借鏡。

化學防治是水稻害蟲的重要防治方法，也是無法避免的手段之一，因此如何合理正確的使用防治藥劑，並避免或延緩害蟲抗藥性的發生，是我們必須持續努力達成的目標。實際的作法，除了落實教育宣導與督導用藥的農民確實遵行指令，也要有完整的學術研究與田間試驗結果做後盾，並注意鄰近國家相關害蟲對不同藥劑的抗藥性發展情形，特別是可隨著氣流長距離遷移的害蟲。若實際操作使用

防治藥劑的農民能落實應用學術研究與田間試驗結果，相信不但能有效控制相關害蟲，也可避免或延緩抗藥性的發生。

蟲害管理作為是一個不斷作決策的過程，農民在這個過程中扮演關鍵的角色。如何讓農民不再只是依賴農藥零售業者來決定水稻蟲害的防治時機及施藥的種類，唯有讓農民成為病蟲害管理決策的專家。近年來，稻米產銷專業區及小地大佃農政策的推動，恰好提供了良好的介面及誘因，期能持續提升水稻栽培過程的病蟲害管理的決策品質，全面地生產安全高品質的稻米。

參考文獻

1. 何火樹、劉達修 1970 臺中地區水稻二化螟蟲之生態研究 臺灣農業 6: 1-21。
2. 林再發 1971 水稻品種對二化螟抵抗性之研究 臺灣農業 7: 163-170。
3. 林再發 1972 水稻品種對二化螟蟲及褐飛蝨抗性之選拔 臺灣農業 8: 213-214。
4. 林再發 1973 水稻品種特性及環境因素對二化螟蟲發生之影響 臺灣農業 9: 59-66。
5. 邱明德 1971 水稻品種對二化螟感受性初步觀察 植保會刊 13: 121-126。
6. 陶家驊 (1966a 臺灣二化螟蟲發生猖獗誘因之研究 植保會刊 8: 407-436。
7. 陶家驊 1966b 水稻害蟲 p.285-302 臺灣植物保護工作-昆蟲篇 劉廷蔚先生六十歲紀念文集。
8. 張萬來 1982 水稻臺農68號 豐年 32: 37-38。
9. 陳隆澤、黃守宏、鄭清煥 2009 水稻病蟲害抗性檢定工作回顧 p.83-103 臺灣水稻保護成果及新展望研討會專刊 農業試驗所印 臺中 臺灣。
10. 黃守宏、鄭清煥 2008 水稻品種抗蟲育種的成果與未來展望 農業世界 300: 34-41。

11. 黃守宏、鄭清煥、陳秋男、吳文哲 2009 臺灣水稻害蟲發生趨勢與防治展望 臺灣水稻保護成果及新展望研討會專刊 p.131-147 農業試驗所印 臺中臺灣。
12. 黃守宏、鄭清煥、楊繡瑛 2008 臺灣中部地區蛀食水稻螟蟲類之發生趨勢調查 植保會刊 50: 37-46。
13. 鄭清煥 1980 可能影響水稻害蟲藥劑防治效果及收益之若干因素 p.89-118 農藥研究專題研論會講稿集。
14. 鄭清煥 1986 臺灣稻作害蟲與防治 p.199-218 四十年來臺灣地區稻作生產改進專輯。
15. 鄭清煥 1995 人工飼料防腐劑之篩選及二化螟蟲在人工飼料上發育之溫度需求 植保會刊 37: 29-40。
16. 鄭清煥、朱耀沂 1999 稻作蟲害及其防治 p.423-466 臺灣稻作發展史 臺灣省農林廳出版 南投 臺灣。
17. 鄭清煥、黃守宏 2003 嚴重危害水稻第一期作之二化螟蟲 技術服務 56: 24-27。
18. 鄭清煥、盧瑞良 1990 褐飛蝨及白背飛蝨由海外遷入嘉南地區之偵測及其氣象條件 中華昆蟲 10: 301-324。
19. 鄭清煥等 2002 水稻保護 植物保護圖鑑系列8 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版 448頁。
20. 廖君達、林金樹、陳啟吉 2006 瘤野螟族群消長、防治適期及水稻品種抗性 臺中區農業改良場研究彙報 91: 31-38。
21. 劉達修、王文哲、王玉沙 1991 臺中地區二化螟蟲多發生地區猖獗因子之研究 中華昆蟲 11: 300-309。
22. 戴淑美 2011 水稻害蟲之抗藥性 有害生物抗藥性研討會專刊: 83-108 臺中 臺灣。
23. 顏福成 1981 水稻瘤野螟之發生與防治適期研究 臺南區農業改良場研究彙報 15: 81-93。

24. Agriculture and Food Agency, Taiwan ([http://www.afa.gov.tw/GrainStatistics_index.asp? CatID=289](http://www.afa.gov.tw/GrainStatistics_index.asp?CatID=289))
25. Brar, D. S., P. S. Virk, K. K. Jena, G. S. Khush. 2009. Breeding for resistance to planthoppers in rice. pp. 401-427. In: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Int. Rice Res. Inst, Los Baños, Philippines.
26. Bonman, J. M., G. S. Khush, R. J. Nelson. 1992. Breeding rice for resistance to pests. Annu. Rev. Phytopathol. 30: 507-528.
27. Chang, W. L., C. H. Cheng. 1974. Sources of resistance and breeding rice for resistance to brown planthopper and bacterial leaf blight. p.14 International Rice Research Conference, IRRI, Philippines.
28. Cheng, C. H. 1985. Interactions between biotypes of the brown planthopper and rice varieties. J. Agric. Res. China 34: 299-314.
29. Cheng, X., C. Cheng, S. M. Dai. 2010. Responses of striped stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae), from Taiwan. Pest Manag. Sci. 66(7): 762-766.
30. Chung, T. C., C. N. Sun, C. Y. Hung. 1982. Pyrethroid Resistance and Synergism in *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. J. Econ. Entomol. 75: 199-200.
31. Dai, S. M., C. N. Sun. 1984. Pyrethroid Resistance and Synergism in *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. J. Econ. Entomol. 77: 891-897.
32. Fang, Q., C. H. Huang, G. Y. Ye, H. W. Yao, J. A. Cheng, Z. R. Akhtar. 2008. Differential fipronil susceptibility and metabolism in two rice stem borers from China J. Econ. Entomol. 101: 1415-1420.
33. Food and Agriculture Organization. 1975. Rep. FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control, 5th, Oct. 15-25, 1974. Rome, Italy: FAO-UN, Meeting Rep. 1975/M/2. 41 pp.

34. Han, L. Z., P. L. Liu, M. L. Hou, Y. F. Peng. 2008. Baseline susceptibility of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis* toxins in China. *J. Econ Entomol.* 101: 1691-6.
35. Heinrichs, E. A. 1994. Impact of insecticides on the resistance and resurgence of rice planthoppers. pp. 571-598. In: *Planthoppers: Their Ecology and Management*. Chapman & Hall, New York, USA.
36. Huang, S. H., C. H. Cheng, C. N. Chen, W. J. Wu, A. Otuka. 2010. Estimating the immigration source of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), in Taiwan. *Appl. Entomol. Zool.* 45(3): 521-531.
37. Jena, K. K., D. J. Mackill. 2008. Molecular markers and their use in marker-assisted selection in rice. *Crop Sci.* 48: 1266-1276.
38. Khush, G. S. 1979. Genetics of and breeding for resistance to brown planthopper. pp. 321-332. In: *Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia*. Int. Rice Res. Inst, Los Baños, Philippines.
39. Kogan, M. 1982. Plant resistance in pest management. pp. 93-134. In: *Introduction to Insect Pest Management*. John Wiley and Sons, New York, USA.
40. Li CX, X Cheng, SM Dai. (2011) Distribution and insecticide resistance of pink stem borer, *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae), in Taiwan. *Formos. Entomol.* 31: 39-50.
41. Matsumura, M., H. Takeuchi, M. Satoh, S. Sanada-Morimura, A. Otuka, T. Watanabe, and D. Van. 2008. Species-specific insecticide resistance to imidacloprid and fipronil in the rice planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in East and South-east Asia. *Pest manag. Sci.* 64: 1115-1121.
42. Medrano, F. G., E. A. Heinrichs. 1985. Response of resistant rices to brown planthoppers (BPH) collected in Mindanao, Philippines. *Int. Rice Res. Newl.* 10: 14-15.

43. Nakao, T., A. Kawase, A. Kinoshita, R. Abe, M. Hama, N. Kawahara, K. Hirase. 2011. The A2#N Mutation of the RDL #-aminobutyric acid receptor conferring Fipronil resistance in *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae). *J. Econ. Entomol.* 104(2): 646-652.
44. Painter, R. H. 1951. *Insect resistance in crop plants*. Macmillan, New York.
45. Panda N, G. S. Khush (1995) *Host Plant Resistance to Insects*. CAB International, Wallingford. 431 pp.
46. Pittendrigh *et al.*, 2008. Negative Cross-Resistance: Past, Present and Future Potential. In “*Insect Resistance Management*” Edited by David W. Onstad 2008. pp305.
47. Rombacher, M. C., K. D. Gallagher. 1994. The brown planthopper: promises, problems, and prospects. pp. 693-709. In: *Biology and Management of Rice Insects*. Wiley Eastern, New Delhi, India.
48. Smith, C. M. 1989. *Plant resistance to insects – A fundamental approach*. John Wiley & Sons, New York.
49. Sogawa, K., Soekirno, Y. Raksadinata. 1987. New genetic makeup of brown planthopper (BPH) populations in Central Java, Indonesia. *Int. Rice Res. Newl.* 12: 29-30.
50. Stern, V. M., R. F. Smith, R. van den Bosch, K. S. Hagen. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29: 81-101.
51. Tanaka, K., M. Matsumura. 2000. Development of virulence to resistant rice varieties in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae), immigrating into Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 35: 529-533.
52. Tang, J., J. Li, Y. Shao, B. Yang, Z. Liu. 2009. Fipronil resistance in the whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*): possible resistance mechanisms and cross- resistance. *Pest Manag Sci.* 66: 121-125.
53. Wang, Y., C. Gao, Z. Xu, Y. C. Zhu, J. Zhang, W. Li, D. Dai, Y. Lin, W. Zhou, J. Shen. 2008. Buprofezin susceptibility survey, resistance selection and preliminary

- determination of the resistance mechanism in *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Pest Manag. Sci.* 64: 1050-1056.
54. Wang, L., Y. Zhang, Z. Han, Y. Liu, J. Fang. 2010. Cross-resistance and possible mechanisms of chlorpyrifos resistance in *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Pest Manag. Sci.* 66: 1096-1100.

ABSTRACT

More than 10 insect pests attacked during rice cultivated period. Among those, sucked planthopper, including brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål), white backed planthopper (*Sogatella furcifera* Horváth), smaller brown planthopper (*Laodelphax striatella* Fallen), moth borer, including stem borer (*Chilo suppressalis* Walker), purple stem borer (*Sesamia inferens* Walker), leaf feeder, rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guene'e), etc. could caused indeed economic injury to rice yield. Therefore, the former pests have be became targets for insect-resistant variety breeding, insects insecticide-resistant research and the outline and practice for different control strategies. Since 1968, varietal resistance to brown planthopper has been conducted in Taiwan, and about 40 varieties have been released for commercial cultivation so far. Because most resistant varieties carried with *Bph1* or *bph2* resistant gene in Taiwan as well as other countries in Asia, as the result, inducing the virulent biotype 2 and 3 became dominant in the population in most paddy fields in Taiwan. Therefore, we need urgently to breed the resistant varieties with polygene in nature to cope with the virulent biotypes for ensuring the rice safety production in the future. Screening of rice varieties resistance to rice stem borer and leaf folder have also been investigated in Taiwan. Chemical control is one of the most important management strategies of rice insect pests, however, it is hard to avoid the development of insecticide resistance after frequent application of insecticides. Some major rice insect pests, like *C. suppressalis* and *N. lugens* have been developed more than 100-folds resistance to certain insecticides. Therefore, it is important to delay the occurrence of insecticide resistance and insect pest population by monitoring the dynamics of insecticide resistance development, alternative use of insecticides with different mode of action and crop rotation. Otherwise, the young and professional farmers increased gradually, they

enhance their cultivation area and would like to decrease the cost for pesticide application. And, the rice production and market areas have considered the risk of management, the enhanced the decision-making quality for pest management is more important than past. We offered the pest management training classes for farmers to become an expert, has facilitated many monitoring techniques, active gather information at regular intervals, then compatible with agricultural environment, insect ecology and the knowledge of economic threshold, to analyze the related information to make a better insect pest management strategy and reasonable application of pesticides.

Key words: Rice, insect pest, variety-resistance, pesticide-resistance, decision-making.