

# 因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適

賴柏羽<sup>1</sup> 黃毓斌<sup>2</sup> 董耀仁<sup>2</sup> 吳立心<sup>3</sup> 黃守宏<sup>4,\*</sup>

## 摘要

賴柏羽、黃毓斌、董耀仁、吳立心、黃守宏。2023。因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適。台灣農業研究 72(4):277–287。

近年來全球溫度上升、二氧化碳濃度增加以及降雨頻率與強度異常變化等，對昆蟲造成分布、生理、物候學及族群變動等直接影響，亦會影響與昆蟲有關的營養階層，再間接影響蟲體表現，各因子與昆蟲間之關係錯綜複雜且難以預測。全球氣候暖化將使台灣環境變成熱帶氣候，並使一年多世代的水稻害蟲更適合發育與繁殖。諸多研究已建立氣候變遷對害蟲之生態學、物候學及監測預警等模擬系統，並進行因應氣候變遷對農業生產之影響評估。對台灣水稻蟲害管理策略調適之建議，除加強長期監測水稻害蟲族群動態外，需依各地區環境生態，發展適合當地種植之水稻品種與栽培模式等，選育具氣候韌性之抗性品種，保育與創造適合天敵之棲所環境，使用對環境安全、對目標害蟲有效且對天敵無害(低毒)之藥劑種類，篩選具新且多重作用機制的藥劑等方法，以因應未來氣候變遷過程，能提高蟲害管理的效能，達到抑制害蟲族群密度於經濟為害基準之下。

**關鍵詞：**氣候變遷、台灣、水稻、蟲害管理。

## 前言

氣候急遽變遷與社會經濟、人口成長、政治及文化興衰彼此間密切相關。依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 第6次評估總結報告指出，2011–2020年全球地表平均溫度較1850–1900年高1.09°C (0.95–1.20°C)，若未能加強因應氣候變遷相關調適措施的執行，本世紀末溫度可能上升達3.2°C (2.2–3.5°C)；至2019年大氣中二氧化碳濃度(410 mg L<sup>-1</sup>)為過去200萬年來最高，並可能持續上升，包含甲烷(1,866 mg L<sup>-1</sup>)與一氧化二氮(332 mg L<sup>-1</sup>)等溫室氣體濃度亦為歷年來最高，且據可信證據顯示上述由人類影響所導致全球暖化與

極端天氣事件發生的關聯性，特別是極端降雨、乾旱、熱帶氣旋及複合極端事件等 (IPCC 2023)，其中『降雨量』雖然為台灣氣候變遷災害最主要的驅動因子，但未來在台灣總體降雨量沒有明顯的變化下，降雨頻率與強度增加，由極端暴雨事件所造成的淹水災害風險也可能因此增加，同時連續不降雨的最大日數(降雨量少於1 mm)平均將增加5.3 d，將導致我國乾旱的災害風險增加，據此台灣正逐漸朝向平均溫度高與降雨不平均之極端氣候趨勢發展 (Hsu *et al.* 2011; Shih *et al.* 2011)。

農業生產特別容易受到溫度上升、降水模式改變及二氧化碳濃度增加等氣候因子變化所影響，從作物生長乃至於農業生態系統層面皆影響甚鉅，使農業活動增加各種不確定性，在

投稿日期：2023年7月17日；接受日期：2023年8月22日。

\* 通訊作者：shhuang@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系助理研究員。台灣 嘉義市。

<sup>2</sup> 農業部農業試驗所應用動物組副研究員。台灣 台中市。

<sup>3</sup> 國立屏東科技大學植物醫學系副教授。台灣 屏東縣。

<sup>4</sup> 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系副研究員。台灣 嘉義市。

氣候變遷衝擊下，未來全球農作物生產可能朝向農地減少、水資源短缺及農產品價格波動加大等負面趨勢發展，衝擊人類糧食生產潛能，進而將影響全球的糧食供應體系，加上未來全球人口增長而糧食供給短缺的可能性，更將使得氣候變遷與糧食安全兩項議題密不可分 (IPCC 2019)。近年國內糧食作物生產屢受氣象災害侵襲，另因耕地面積破碎、國人飲食習慣改變及農業勞動力不足等諸多因素，多數糧食仍依賴進口，糧食自給率僅 33.5%，其中水稻為國內目前仍可自足生產的重要糧食作物，因此除維持現有農作物生產面積與生產能力，增加單位面積產量外，尚需評估現有糧食生產現況與未來所面臨之問題，尤其是針對氣候變遷趨勢下，研擬糧食安全所需之調適策略，以減少災害所造成之損失，並確保糧食安全與農業永續發展 (Huang *et al.* 2009)。

作物害蟲為氣候變遷衝擊下影響作物生產之重大限制因子之一，作物與其相應的害蟲均受氣候變化的直接與間接影響，直接影響包含分布範圍、生理 (physiology)、物候學 (phenology)、族群變動 (population dynamics) 及生活史 (life history) 等，其中溫度可能是影響昆蟲行為、分布、發育及繁殖的最重要環境因素；其他如二氧化碳濃度增加與土壤水分的減少等，則可能影響害蟲的族群動態，提高作物受害程度。另外，氣候變化創造新的生態棲位 (niche)，使害蟲在新的地理區域轉移並建立族群提供機會。昆蟲直接受到影響之外，更進一步影響到與昆蟲本身有關的營養階層關係，如寄主植物、昆蟲及其天敵 (包含蟲生病原等)，再間接影響蟲體表現，各因子與昆蟲間之關係錯綜複雜。

氣候變遷使害蟲威脅糧食安全，是所有國家與地區共同面臨的全球性問題，可預期未來將持續面臨新的蟲害問題。國內外諸多研究已建立氣候變遷對農業害蟲之生物學、生態學、物候學及監測預警制度等研究，並進行因應氣候變遷對農業生產之影響評估等，為研擬氣候變遷的相關調適作為奠定科學論述基礎。本文除綜合整理氣候變遷各因子對害蟲的可能影響，並分析害蟲對作物為害的情況，從中提出

台灣未來水稻蟲害管理調適策略，以作為研擬因應氣候變遷之水稻有害生物調適作為提供政策所需的科學論述參考。

## 氣候變遷對昆蟲的可能影響

### 溫度對昆蟲的影響

#### 昆蟲生理表現

昆蟲為變溫動物 (poikilothermic animal)，在適存範圍內隨溫度變化而調節體溫，溫度變化也會影響昆蟲行為、發育、存活及生殖 (Chu & Chao 2000)，而昆蟲的不同發育策略亦隨著溫度改變而有所調整 (Bale *et al.* 2002)。全球平均溫度逐漸升高，對生存於發育適溫以下之昆蟲種類而言，其有效發育溫度快速累積達到有效積溫 (effective accumulated temperature; K)，將有利於族群增長，但 1 年 1 世代與多年 1 世代的種類，或世代數受光週期限制的種類，則大多維持不變；1 年可繁殖 2-3 代的種類，雖然其生長與繁殖速率略有增加，但受臨界溫度 (temperature thresholds;  $T_0$ )、有效溫度及光週期長度適應等問題所限制，其發育則無明顯變化 (Pullin 1986; Bale *et al.* 2002)。

溫度上升對多數昆蟲而言，特別是無需進入滯育 (diapause) 的種類，可使其持續發育與繁殖，並刺激其族群加速增長 (Harrington *et al.* 2001; Kiritani 2006)；但對某些在森林落葉堆中的越冬昆蟲種類而言，可能因冬季溫度上升，積雪厚度下降而提高族群死亡率 (Ayres & Lombardero 2000)。

總結，溫度的上升直接影響昆蟲有效發育溫度的快速累積，對於族群發育較不受環境因子限制的 (亞) 熱帶昆蟲且發育臨界溫度 ( $T_0$ ) 低的  $r$  型昆蟲 (指個體小與世代短的昆蟲類群) 有利。

#### 分布範圍

特別是對於不受寄主分布限制，但受低溫限制且生活史無需進入滯育的熱帶與亞熱帶物種，溫度的上升促使其分布向高海拔與高緯度等低溫地區擴散，如 Musolin (2007) 報告指

出普遍分布於熱帶與亞熱帶地區的南方稻綠椿 (*Nezara viridula* (Linnaeus))，在日本之分布範圍已由九州向北擴散至本州的大阪地區。

害蟲逐漸向外擴展其地理分布範圍的同時，相對會造成外來種入侵的危機，為另一個需注意的隱憂 (Sharma *et al.* 2005, 2010; Petzoldt & Seaman 2010)；溫帶地區的昆蟲，特別是需進入滯育階段才能完成生活史的種類影響最大，此等昆蟲將無法順利擴大其分布範圍。再者，昆蟲之寄主若無法隨著溫度上升隨之迅速擴散者，其分布也會因而受限，族群成長也隨之受影響 (Chu & Chao 2000; Sutherst *et al.* 2011)。

對於遷移性昆蟲 (migratory insect) 種類，其適應氣候變遷之能力遠較其寄主強，也有較高的生存機率，氣候暖化也提高在早期遷移的可能性 (Zhou *et al.* 1995; Cannon 1998; Laštůvka 2009)，或因地區降水與風場形態的變化，而改變遷移性昆蟲之入侵模式 (Lv *et al.* 2023)，伴隨著遷移性昆蟲所媒介的病害種類，也就顯得越來越重要 (Kiritani 1999, 2006)。以玉米普遍發生且由蚜蟲媒介的病毒病害 (barley yellow dwarf virus; BYDV) 為例，玉米在英國並非為主要作物之原因，是由於溫度太低不適合玉米生長，但在全球暖化情況下，英國的環境可能越來越適合種植玉米，導致蚜蟲族群發生量變多，其所媒介的病毒病害有可能因此普遍發生，加上其媒介的病毒可同時感染英國重要的小麥與大麥等糧食作物，預期將造成嚴重產量損失，進而引發糧食短缺的危機 (Lucio-Zavaleta *et al.* 2001)。

### 物候學 (phenology) 發生改變

部分昆蟲種類與其寄主間經長期共同演化，兩物種間形成緊密且微妙的物候學關係，但在全球氣候變遷情況下，可能打破此關係而形成物候學不同步 (phenological asynchrony) 之現象，進而造成一(或雙)方發育不利之影響 (van Asch & Visser 2007)，特別是對於1年1世代的種類影響最大，如尺蠖蛾 (*Operophtera brumata* (Linnaeus)) 在春天幼蟲孵化時間與寄主 (橡樹) 新芽抽出時間相互配合，幼蟲可

以正常取食與成長；反之，幼蟲太早或太晚孵化，在沒有或適合取食之寄主葉片情況下，將導致死亡率大增 (Dewar & Watt 1992; Chu & Chao 2000; Visser & Holleman 2001)。但也有學者指出全球氣候變遷下，溫度逐漸上升對於昆蟲與其寄主間發生同步性影響不大，選汰壓力才將是扮演昆蟲與寄主發生同步性的關鍵因子 (Watt *et al.* 1990)。

### 害蟲與天敵之交互作用

氣溫升高將會影響害蟲天敵的生活史、行為及生理參數，從而對害蟲生物防治效果產生不同程度的影響，導致天敵對寄主 (食餌) 控制效果發生改變 (Chidawanyika *et al.* 2019; Yang *et al.* 2022)。熱性能曲線 (thermal performance curve; TPC) 代表特定溫度耐受範圍內對昆蟲性能特徵的熱效應 (Angilletta 2009; Furlong & Zalucki 2017)，昆蟲性能在最佳溫度下可達到最大值，超過此溫度將導致性能下降 (Chidawanyika *et al.* 2019)。對於相互作用的物種，如害蟲-寄生蜂之影響非常重要，因為 TPC 中的差異反應可能導致物候週期不一致，研究顯示與寄主害蟲相比，各種寄生蜂的估計最佳溫度一直較低，這表明寄生蜂可能更容易受到氣候暖化的影響，隨著溫度升高寄生蜂生物防治效能降低，從而導致寄生蜂調節害蟲族群的基本生態功能喪失 (Hance *et al.* 2007; Furlong & Zalucki 2017; Machekano *et al.* 2018; Boukal *et al.* 2019)。

相對於寄主昆蟲，寄生蜂個體更小，有效積溫更低，許多報告指出高溫有利於其族群繁殖與擴展，如世代數增加與越冬族群提早出現等 (Cammell & Knight 1992; Davis *et al.* 1998; Yamamura & Kiritani 1998; Yamaguchi *et al.* 2001; Kiritani 2006)。然而，極端溫度可能會抵消這些特性，對生物防治產生負面影響 (Boukal *et al.* 2019; Chidawanyika *et al.* 2019)。過高的溫度對寄生蜂將造成致死影響，這可能是對細胞造成不可逆轉損害所造成 (Chown & Nicolson 2004)，瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)) 是亞洲地區水稻重要害蟲之一，赤眼卵蜂 (*Trichogramma* spp.)

則是被應用於防治瘤野螟的重要天敵，Tian *et al.* (2017) 指出 4 種赤眼卵蜂在不同溫度對瘤野螟卵的寄生率，其中在 36°C 的寄生率均為 0，顯示未來溫度逐漸升高情境下，將顯著影響赤眼卵蜂對瘤野螟卵的防治效果。寄生蜂發育過程中，溫度過高或過低的情況下，皆會干擾性別比例，導致成蟲性比偏向雄性，並降低任一性別的活動能力，從而降低尋找配偶與寄主的效率 (Denlinger & Lee 1999; Moiroux *et al.* 2014)。

除了寄生性天敵外，在氣溫逐漸升高的情境下，亦可能影響稻田的瓢蟲等捕食性天敵的存活，進而影響對害蟲的防治效果 (Lumbierres *et al.* 2021)，Jalali *et al.* (2014) 比較 *Exochomus nigripennis* (Erichson) 等 5 種瓢蟲，其卵、幼蟲及蛹於不同溫度之死亡率，以及是否能成功發育為成蟲階段，結果顯示僅 65% 的 *E. nigripennis* 個體，能於 35°C 發育至成蟲階段，即使在 32.5°C 亦有 1 種瓢蟲完全無法發育至成蟲階段，顯示不同瓢蟲物種在高溫環境的存活率具有差異。

因應氣候變遷溫度升高對害蟲天敵的影響，使用對溫度耐受性高的天敵，為可能的應用策略。Bai *et al.* (2022) 研究顯示黑肩綠盔盲椿象 (*Cyrtorhinus lividipennis* Reuter)，為亞洲地區水稻飛蟲與葉蟬類害蟲的優勢捕食性天敵，其抗熱性 (heat resistance) 顯著低於其食餌水稻褐飛蟲 (*Nilaparvata lugens* (Stål))；而同一生態棲位的中華淡翅盲椿象 (*Tytthus chinensis* (Stål))，在相同高溫則較黑肩綠盔盲椿象，具有較高的熱忍受性、適應性及捕食能力，顯示其在未來高溫情境下，適合作為水稻褐飛蟲重要天敵的防治潛力。

## 二氧化碳對昆蟲的影響

二氧化碳對昆蟲的影響並非直接性，多為間接作用在其寄主植物上，再影響昆蟲本身。二氧化碳濃度的增加，可加速植物光合作用效率，提高作物產量 (Bazzaz 1990; Chu & Chao 2000)，但卻對植物品質 (C : N, 碳氮比值) 產生重大影響，降低對植食性昆蟲的營養價值 (Nicolas & Sillans 1989)，導致昆蟲必須取食更多葉片才能補足所需營養 (Coviella &

Trumble 1999; Hunter 2001)，間接致使昆蟲生長發育變差與發育期變長，使之更容易受到天敵攻擊 (Fajer *et al.* 1989; Coviella & Trumble 1999)。

二氧化碳濃度升高會影響植物的光合作用與呼吸作用，間接改變植物組織之胺基酸的組成種類與其含量 (Stacey & Fellowes 2002)，進而影響植食性昆蟲的發育；相同情況下，植物體碳氮濃度的變化促使植物體內胺基酸濃度增加，有利於刺吸式口器昆蟲的取食，但也有可能因為植物二次代謝物濃度的改變，影響植物對昆蟲的誘引性 (Harrington *et al.* 2001)。此外，二氧化碳濃度的增加，可導致植物體內以氮 (如生物鹼 (alkaloid)) 或碳 (如單寧 (tannins)) 為主的防禦物質比例下降或增加，進而影響植物的抗蟲性表現 (Sharma 2016)。亦有報告指出在二氧化碳濃度高與土壤水分含量低的多重逆境下，會抑制植物體內防禦機制之茉莉酸 (jasmonic acid)、水楊酸 (salicylic acid) 及乙烯 (ethylene) 合成途徑，致使植物提高對害蟲為害的敏感性與造成嚴重為害損失 (Andrew & Hill 2017)。

## 降雨對昆蟲的影響

大多數昆蟲生存的最適濕度範圍在 70–95% 之間，適度降雨對昆蟲的生長與發育均有利，但大雨 (heavy rain) 會將昆蟲打落並造成死亡 (Cheng 1998)；乾旱情況下，植物缺水也會降低部分昆蟲種類的發育 (Pons & Tatchell 1995)。

植物在溫度與土壤濕度等多重逆境因子下，其防禦系統會呈現弱化現象，增加對害蟲為害的敏感性，導致害蟲猖獗為害與作物損失 (Volney & Fleming 2000; Logan *et al.* 2003)。Sharma *et al.* (2005) 指出高粱在高溫與乾旱的環境下，對癭蚧 (*Stenodiplosis sorghicola* (Coquillett)) 與斑點螟蛾 (*Chilo partellus* Swinhoe) 的抗蟲性降低，造成印度地區的高粱受此類害蟲嚴重危害。

氣候變遷造成許多環境因子改變，其對害蟲與其寄主間的影響相當複雜，單一層面分析難以清楚說明整體的影響變化 (Gregory *et al.* 2009)。預測氣候變遷對昆蟲的影響，其中包

含直接或間接對昆蟲、天敵及寄主植物之間的交互作用，包含許多複雜性與不確定性 (Parmesan 2006; Araújo & Luoto 2007; Bradshaw & Holzapfel 2008)，長期監測既為基礎工作，也可為氣候變遷對昆蟲的影響程度，提供重要資訊 (Cannon 1998; Bale *et al.* 2002; Dukes *et al.* 2009; Thomson *et al.* 2010)。

## 氣候變遷對台灣水稻害蟲之影響

台灣一般常見的農作物害蟲其發育適溫大多介於 20–30°C，於適溫範圍內的害蟲發育速率，隨溫度增高而上升，一旦超過發育臨界高溫，發育與存活則大受影響 (Cheng 1998)。當平均溫度因氣候變遷升高 2.5°C 時，1 年約可增加害蟲的有效積溫達 912.5 日度 (degree-day)，以此估算台灣水稻害蟲發生世代的可能變化，則二化螟 (*Chilo suppressalis* (Walker)) 與三化螟 (*Scirpophaga incertulas* (Walker)) 等中間型 (介於 *r* 型與 *k* 型) 害蟲，每年至少可增加 1 個世代；斑飛蝨 (*Laodelphax striatellus* (Fallén)) 與偽黑尾葉蟬 (*Nephotettix cincticeps* (Uhler)) 等 *r* 型害蟲，則可增加 2–3 個世代，只是繁殖世代的增加，並不代表其發生密度與為害程度隨之增加 (Cheng 1998)。

隨著溫度逐漸上升，台灣平原地區逐漸由溫帶與亞熱帶氣候，轉變為 (亞) 熱帶氣候，對以台灣為分布南界的水稻負泥蟲 (rice leaf beetle; *Oulema oryzae* (Kuwayama))、水稻水象鼻蟲 (*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel) 及斑飛蝨等溫帶害蟲種類，預估其族群分布範圍將逐漸往北部或高海拔地區移動，對台灣水稻為害程度將漸減；反之，以台灣為分布北界之褐飛蝨、白背飛蝨 (*Sogatella furcifera* (Horváth)) 及台灣黑尾葉蟬 (green rice leafhopper; *Nephotettix virescens* (Distant)) 等種類，在適當的寄主植物存在的狀況下，其族群越冬存活率可能提高，發生時期也將提早，害蟲族群量與其為害性可能隨之大增。近年報告指出，因氣候變遷而嚴重發生與為害的種類有褐飛蝨 (*N. lugens*)、亞洲水稻癭蚧 (*Orseolia oryzae* (Wood-Mason))、大螟 (*Sesamia inferens* (Walker)) 及 *Nephotettix* 屬葉蟬等 (Sharma

2016)，例如在 2008 年，褐飛蝨於印度北部危害 33 萬公頃稻田 (IARI 2008)。

未來台灣水稻栽培環境隨全球暖化，有可能逐漸適合馬來亞黑椿象 (*Scotinophara coarctata* (Fabricius))、2 種黑尾葉蟬 (*Nephotettix malayanus* Ishihara & Kawase 與 *N. parvus* Ishihara & Kawase)、亞洲水稻癭蚧 (*O. oryzae*)、水稻白螟 (*Scirpophaga innotata* (Walker)) 及水稻黑頭條螟 (*Chilo polychrysus* (Meyrick)) 等南洋熱帶區系水稻重要害蟲的生存。由於東南亞地區馬來亞黑椿象有逐漸往北擴散現象，台灣應持續關注上開國外害蟲的疫情發生狀況，(Cuaterno 2007; Huang *et al.* 2010)，杜絕任何可能的入侵途徑，以保護台灣水稻產業安全。

由海外地區長距離遷移進入台灣水稻產區之害蟲種類，如褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等，害蟲族群的發生時間可能提早，或世代數可能增加的情況下，此類遷移性害蟲族群伴隨著適當氣流，對於遷入地區的水稻生產與管理，將是新挑戰 (Huang *et al.* 2010)。另此類遷移性害蟲當中，部分為水稻病毒病害的媒介昆蟲，如褐飛蝨可傳播的水稻皺縮矮化病 (rice ragged stunt virus; RRSV) 與水稻草狀矮化病 (rice grassy stunt virus; RGSV)；白背飛蝨可傳播的南方型水稻黑條矮化病 (southern rice black streaked dwarf virus; SRBSDV)；斑飛蝨可傳播的水稻縞葉枯病 (rice stripe virus; RSV) 與水稻黑條矮化病 (rice black streaked dwarf virus; RBSDV) 等，此些蟲媒水稻病毒病害皆有可能因其遷移性的媒介昆蟲大發生，造成台灣水稻安全生產之嚴重威脅 (Huang *et al.* 2010)。

## 因應氣候變遷之調適策略

隨著全球溫暖化，害蟲發生時期提早且世代數可能隨之增加的情況下，對未來水稻害蟲為害之因應策略應及早建立以防患未然，建議應注意之重點如下：

持續監測與建立氣候因子對害蟲族群發生與危害之關聯性

當務之急仍以加強偵 (監) 測水稻害蟲發

生狀況，且必須特別關注從海外遷入的害蟲種類。為建立氣候變遷下可能改變不同農業生態系與生態區 (ecological zone) 之害蟲發生情形，同時為建立未來預測水稻害蟲發生的重要基礎資訊，我國與鄰近國家歷來皆有系統且持續監測水稻害蟲的族群動態，包括日本之水稻害蟲監測資料 (Yamamura *et al.* 2006)、中國的褐飛蟲與飛蝗長期監測 (Tian *et al.* 2011; Lv *et al.* 2023) 以及台灣水稻害蟲長期監測資料 (Cheng & Huang 2009)。

### 發展軟體預測氣候變遷與模擬對昆蟲之影響

國外研究報告內容包含運用電腦模擬氣候變遷條件下，逐步建立害蟲與其寄主植物適合生長發育之區域，例如以生態棲位模擬 (ecological niche modelling; ENM) 評估適於水稻但不適於其害蟲發生之區域。其他分析生物適應性有關軟體，尚包括 CLIMEX、BIOCLIM、DOMAIN 及 MaxEnt 等，其預測結果可與地理資訊系統 (geographic information system; GIS) 搭配，呈現目標害蟲之潛在分布區範圍。以褐飛蟲為例，Guru-Pirasanna-Pandi *et al.* (2021) 使用氣候變量的 MaxEnt 來預測褐飛蟲在印度的現在與未來潛在分布，結果顯示地理分布主要受溫度變量所影響 (68.7%)，其餘則受到降水因子影響；所有預測都顯示在不斷變化的氣候條件下，到 2090 年，高度適宜的地區面積將增加，而低風險地區則相對減少。而以 CLIMEX 搭配我國褐飛蟲為害紀錄，CLIMEX 使用的台灣近 30 年的氣象高解析度圖層，依據預測結果，並且觀察其最高溫、最低溫、降雨量及溫濕度指數，瞭解褐飛蟲在不同月份的增長指數，屏東地區主要受到濕度指數所影響，且由春季進入夏季的 2-5 月其濕度指數上升，害蟲增長指數也隨之上升。平均氣溫約 28°C 以上與相對濕度 80% 以上，可能引起褐飛蟲大量危害 (第四作者未發表資料)。

害蟲攻擊指數 (pest aggression index; PAI) 用於評估具入侵潛力病蟲害對農業造成之可能為害損失；並提出水稻種植與害蟲共同發生時，可造成最大損害之量化損失評估。此等模式之建立，提供當局未來害蟲防疫與為害

損失評估之參考，進而研擬適當農業因應政策 (Fand *et al.* 2012; Karuppaiah & Sujayanad 2012; Iannella *et al.* 2021)。

### 調整與發展氣候變遷下適用之害蟲綜合管理技術

藉由往昔田間害蟲管理經驗，並參考鄰近地區蟲害發生與防治相關結果，可知目前仍以整合多種防治方法於一體之綜合防治為最佳防治策略 (Hajjar *et al.* 2023)，配合選育具氣候韌性 (climate-resilient) 與抗蟲特性之優良水稻品種 (系) 為首要策略 (Catindig *et al.* 2009)，再依各地區環境選擇適合當地種植之品種 (系)，配合合理化施肥、水分管理制度及輪作等耕作防治建立作物最適生長模式，以因應氣候變遷過程病蟲害發生可能帶來的衝擊，減緩害蟲族群快速建立，將之控制於經濟為害基準之下 (Fand *et al.* 2012; Sharma 2016; Kuang *et al.* 2021)。除調整耕作模式外，營造不適於害蟲之棲息環境，保育與創造適合天敵之棲所環境 (地景操作)，除可強化生物防治效能，尚能有效抑制害蟲族群建立與增長 (Gurr 2009; Sharma 2016)；並在必要情況下，使用對環境安全、對目標害蟲有效且對天敵無害之藥劑種類，甚至篩選具新且多重作用機制的藥劑，諸如可防治刺吸式口器害蟲的新尼古丁類 (neonicotinoid) 藥劑，並可誘導如水楊酸之植物防禦反應物質的產生，增強作物活力與對非生物逆境的容忍性之新型藥劑 (Fand *et al.* 2012)，同時可運用佐劑 (adjuvant) 來改善藥劑轉移 (translocation) 或減少藥劑代謝，甚至是利用高科技技術 (如奈米粒子與微膠囊) 提高藥劑功能 (pesticide functionality) 等方式 (Karuppaiah & Sujayanad 2012)，以因應未來氣候變遷下，可提高蟲害管理效能，達到抑制害蟲族群密度於經濟為害基準之下的整合管理策略。

### 結語與未來展望

氣候變遷對昆蟲之影響，需從多重因子探討，現階段有關氣候變遷對於害蟲影響的研究資料仍相當有限。單就害蟲而言，主要直接影

響分布、多樣性、族群數、生長發育及物候學，雖然對於部分害蟲族群可能不利於生存，但對特定的害蟲族群仍可能擴大其地理分布與提高越冬存活率，並發展出更多世代的能力；新入侵的害蟲更容易在新的地區建立族群，屬於媒介昆蟲者更有利於傳播植物病害。氣候變遷可能導致的另一個主要問題，是作物耕作管理方式之改變以及防治資材與天敵昆蟲的有效性降低，尤其在害蟲與作物及天敵間之交互作用影響更為複雜，其間接對害蟲影響可能較直接影響來得大，是未來害蟲管理的一大挑戰。因此長期監測害蟲族群，並依據資料建立害蟲預測模型，提供防治決策參考，同時在因應氣候變遷而改變之耕作模式下，持續調整與發展適用之害蟲綜合管理技術，才能達到糧食生產安全的最終目標 (Cheng 1998; Skendžić *et al.* 2021)。

## 引用文獻

- Andrew, N. R. and S. J. Hill. 2017. Effect of climate change on insect pest management. p.197–223. *in*: Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers. (Coll, M. and E. Wajnberg, eds.) John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. 448 pp. doi:10.1002/9781119255574.ch9
- Angilletta, M. J. 2009. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. Oxford University Press, Oxford, UK. 289 pp. doi:10.1093/acprof:oso/9780198570875.001.1
- Araújo, M. B. and M. Luoto. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 16:743–753. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00359.x
- Ayres, M. P. and M. J. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Sci. Total Environ.* 262:263–286. doi:10.1016/s0048-9697(00)00528-3
- Bai, Y., M. K. Quais, W. Zhou, and Z. R. Zhu. 2022. Consequences of elevated temperature on the biology, predation, and competitiveness of two mirid predators in the rice ecosystem. *J. Pest. Sci.* 95:901–916. doi:10.1007/s10340-021-01414-y
- Bale, J. S., G. J. Masters, I. D. Hodkinson, C. Awmack, T. M. Bezemer, V. K. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J. C. Coulson, J. Farrar, J. E. G. Good, R. Harrington, S. Hartley, T. H. Jones, R. L. Lindroth, M. C. Press, I. Symrnioudis, A. D. Watt, and J. B. Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol.* 8:1–16. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
- Bazzaz, F. A. 1990. The response of natural ecosystems to the rising global CO<sub>2</sub> levels. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21:167–196.
- Boukal, D. S., A. Bideault, B. M. Carreira, and A. Sentis. 2019. Species interactions under climate change: Connecting kinetic effects of temperature on individuals to community dynamics. *Curr. Opin. Insect Sci.* 35:88–95. doi:10.1016/j.cois.2019.06.014
- Bradshaw, W. E. and C. M. Holzapfel. 2008. Genetic response to rapid climate change: It's seasonal timing that matters. *Mol. Ecol.* 17:157–166. doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03509.x
- Cammell, M. E. and J. D. Knight. 1992. Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests. *Adv. Ecol. Res.* 22:117–162. doi:10.1016/S0065-2504(08)60135-X
- Cannon, R. J. C. 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Glob. Change Biol.* 4:785–796. doi:10.1046/j.1365-2486.1998.00190.x
- Catindig, J. L. A., G. S. Arida, S. E. Baehaki, J. S. Bentur, L. Q. Cuong, M. Norowi, W. Rattanakarn, W. Sriratanasak, J. Xia, and Z. Lu. 2009. Situation of planthoppers in Asia. p.191–220. *in*: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia (Heong, K. L. and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 460 pp.
- Cheng, C. H. 1998. Impact of global climate change on crop insect pests in relation to pest control strategies in Taiwan. p.73–85. *in*: Effects of Climate Change on Crop Production (Lin, C. Y. and C. M. Yang, eds.) Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan. 212 pp. (in Chinese with English abstract)
- Cheng, C. H. and S. H. Huang. 2009. Reconsideration of the rice insect pests control in Taiwan. p.65–82. *in*: Proceedings of Symposium on Achievements and Perspectives of Rice Protection in Taiwan. (Ni, H. F. and H. R. Yang, eds.) July 9, 2009. Chiayi, Taiwan. Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Chidawanyika, F., P. Mudavanhu, and C. Nyamukondwi. 2019. Global climate change as a driver of bottom-up and top-down factors in agricultural landscapes and the fate of host-parasitoid inter-

- actions. *Front. Ecol. Evol.* 7:80. doi:10.3389/fevo.2019.00080
- Chown, S. L. and S. Nicolson. 2004. *Insect Physiological Ecology: Mechanisms and Patterns*. Oxford University Press. Oxford, UK. 256 pp. doi:10.1093/acprof:oso/9780198515494.001.0001
- Chu, Y. I. and J. T. Chao. 2000. The impact of global change on insects. p.341–366. *in: Applied Entomology*. (Wang, T. C. and W. J. Wu, eds.) National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 401 pp. (in Chinese)
- Coviella, C. E. and J. T. Trumble. 1999. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conserv. Biol.* 13:700–712.
- Cuaterno, W. R. 2007. Current status of rice black bug and its management in the Philippines. p.653–660. *in: Rice Black Bugs: Taxonomy, Ecology, and Management of Invasive Species*. (Joshi, R. C., A. T. Barrion, and L. S. Sebastian, eds.) Philippine Rice Research Institute. Nueva Ecija, Philippines. 793 pp.
- Davis, A. J., L. S. Jenkinson, J. H. Lawton, B. Shorrocks, and S. Wood. 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature* 391:783–786. doi:10.1038/35842
- Denlinger, D. L. and R. E. Lee. 1999. Physiology of cold sensitivity. p.55–96. *in: Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management*. (Hallman, G. J. and D. L. Denlinger, eds.) CRC Press. Boca Raton, FL. 311 pp.
- Dewar, R. C. and A. D. Watt. 1992. Predicted changes in the synchrony of larval emergence and budburst under climatic warming. *Oecologia* 89:557–559. doi:10.1007/BF00317163
- Dukes, J. S., J. Pontius, D. Orwig, J. R. Garnas, V. L. Rodgers, N. Brazee, B. Cooke, K. A. Theoharides, E. E. Stange, R. Harrington, J. Ehrenfeld, J. Gurevitch, M. Lerdau, K. Stinson, R. Wick, and M. Ayres. 2009. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Can. J. For. Res.* 39:231–248. doi:10.1139/X08-171
- Fajer, E. D., M. D. Bowers, and F. A. Bazzaz. 1989. The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant- Insect herbivore interactions. *Science* 243:1198–1200. doi:10.1126/science.243.4895.1198
- Fand, B. B., A. L. Kanble, and M. Kumar. 2012. Will climate change pose serious threat to crop pest management: A critical review? *Int. J. Sci. Res. Publ.* 2(11):1–11.
- Furlong, M. J. and M. P. Zalucki. 2017. Climate change and biological control: The consequences of increasing temperatures on host-parasitoid interactions. *Curr. Opin. Insect Sci.* 20:39–44. doi:10.1016/j.cois.2017.03.006
- Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton, and J. S. I. Ingram. 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *J. Exp. Bot.* 60:2827–2838. doi:10.1093/jxb/erp080
- Gurr, G. M. 2009. Prospects for ecological engineering for planthoppers and other arthropod pests in rice. p.371–388. *in: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia*. (Heong, K. L. and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 460 pp.
- Guru-Pirasanna-Pandi, G., J. S. Choudhary, A. Chemura, G. Basana-Gowda, M. Annamalai, N. Patil, T. Adak, and P. C. Rath. 2021. Predicting the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) potential distribution under climatic change scenarios in India. *Curr. Sci.* 121:1600–1609.
- Hajjar, M. J., N. Ahmed, K. A. Alhudaib, and H. Ullah. 2023. Integrated insect pest management techniques for rice. *Sustainability* 15:4499. doi:10.3390/su15054499
- Hance, T., J. van Baaren, P. Vernon, and G. Boivin. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 52:107–126. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091333
- Harrington, R., R. A. Fleming, and I. P. Woivod. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted? *Agric. For. Entomol.* 3:233–240. doi:10.1046/j.1461-9555.2001.00120.x
- Hsu, H. H., C. Chou, Y. C. Wu, M. M. Lu, C. T. Chen, and Y. M. Chen. 2011. *Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011 (Summary)*. National Science Council. Taipei, Taiwan. 67 pp.
- Huang, C. T., T. Y. R. Fu, and S. S. Chang. 2009. Crops and food security- Experiences and perspectives from Taiwan. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 18:520–526.
- Huang, S. H., C. H. Cheng, and W. J. Wu. 2010. Possible impacts of climate change on rice insect pests and management tactics in Taiwan. *Crop, Environ. Bioinform.* 7:269–279.
- Hunter, M. D. 2001. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Agric. For. Entomol.* 3:153–159. doi:10.1046/j.1461-9555.2001.00108.x
- Iannella, M., W. De Simone, P. D'Alessandro, and M. Biondi. 2021. Climate change favours connectivity



- between virus-bearing pest and rice cultivations in sub-Saharan Africa, depressing local economies. *PeerJ* 9:e12387. doi:10.7717/peerj.12387
- Indian Agricultural Research Institute (IARI). 2008. Brown planthopper outbreak in rice crop. *IARI News* 24(4):1–2.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. Summary for policymakers. *in: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/> (visit on 06/18/2023)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. Summary for policymakers. *in: Climate Change 2023: Synthesis Report*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf) (visit on 06/10/2023)
- Jalali, M. A., M. R. Mehrnejad, and D. C. Kontodimas. 2014. Temperature-dependent development of the five psyllophagous ladybird predators of *Agonosce-na pistaciae* (Hemiptera: Psyllidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107:445–452. doi:10.1603/AN13112
- Karuppaiah, V. and G. K. Sujayanand. 2012. Impact of climate change on population dynamics of insect pests. *World J. Agric. Sci.* 8:240–246.
- Kiritani, K. 1999. Shift of IPM strategy for rice under global warming in temperate areas. p.235–244. *in: Integrated Pest Management in Rice-Based Ecosystem*. (Zhang, R., D. Gu, W. Zhang, C. Zhou, and Y. Pang, eds.) Zhongshan University Press. Guangzhou, China. 288 pp.
- Kiritani, K. 2006. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Popul. Ecol.* 48:5–12. doi:10.1007/s10144-005-0225-0
- Kuang, Y. H., Y. F. Fang, S. C. Lin, S. F. Tsai, Z. W. Yang, C. P. Li, S. H. Huang, S. L. Hechanova, K. K. Jena, and W. P. Chuang. 2021. The impact of climate change on the resistance of rice near-isogenic lines with resistance genes against brown planthopper. *Rice* 14:64. doi:10.1186/s12284-021-00508-6
- Laštůvka, Z. 2009. Climate change and its possible influence on the occurrence and importance of insect pests. *Plant Protect. Sci.* 45:S53–S62. doi:10.17221/2829-PPS
- Logan, J. A., J. Régnière, and J. A. Powell. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Front. Ecol. Environ.* 1:130–137. doi:10.1890/1540-9295(2003)001[0130:ATIOG-W]2.0.CO;2
- Lucio-Zavaleta, E., D. M. Smith, and S. M. Gray. 2001. Variation in transmission efficiency among *barley yellow dwarf virus*-RMV isolates and clones of the normally inefficient aphid vector, *Rhopalosiphum padi*. *Phytopathology* 91:792–796. doi:10.1094/PHYTO.2001.91.8.792
- Lumbierres, B., F. Madeira, M. Roca, and X. Pons. 2021. Effects of temperature and diet on the development and reproduction of the ladybird *Oenopia conglobata*. *Entomol. Gen.* 41:197–208. doi:10.1127/entomologia/2020/1077
- Lv, H., M. Y. Zhai, J. Zeng, Y. Y. Zhang, F. Zhu, H. M. Shen, K. Qiu, B. Y. Gao, D. R. Reynolds, J. W. Chapman, and G. Hu. 2023. Changing patterns of the East Asian monsoon drive shifts in migration and abundance of a globally important rice pest. *Glob. Change Biol.* 29:2655–2688. doi:10.1111/gcb.16636
- Machekano, H., B. M. Mvumi, and C. Nyamukondiwa. 2018. Loss of coevolved basal and plastic responses to temperature may underlie trophic level host-parasitoid interactions under global change. *Biol. Control* 118:44–54. doi:10.1016/j.biocontrol.2017.12.005
- Moiroux, J., J. Brodeur, and G. Boivin. 2014. Sex ratio variations with temperature in an egg parasitoid: Behavioural adjustment and physiological constraint. *Anim. Behav.* 91:61–66. doi:10.1016/j.anbehav.2014.02.021
- Musolin, D. L. 2007. Insects in a warmer world: Ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Glob. Change Biol.* 13:1565–1585. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01395.x
- Nicolas, G. and D. Sillans. 1989. Immediate and latent effects of carbon dioxide on insects. *Annu. Rev. Entomol.* 34:97–116. doi:10.1146/annurev.en.34.010189.000525
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37:637–669. doi:10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100
- Petzoldt, C. and A. Seaman. 2010. Climate change effects on insects and pathogens. p.6–16. *in: Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*. (Petzoldt, C. and A. Seaman, eds.) Geneva, NY. 616 pp.
- Pons, X. and G. M. Tatchell. 1995. Drought stress and cereal aphid performance. *Ann. Appl. Biol.* 126:19–31. doi:10.1111/j.1744-7348.1995.tb05000.x
- Pullin, A. S. 1986. Effect of photoperiod and temperature on the life-cycle of different populations of the peacock butterfly *Inachis io*. *Entomol. Exp.*

- Appl. 41:237–242. doi:10.1111/j.1570-7458.1986.tb00534.x
- Sharma, H. C. 2016. Climate change vis-a-vis pest management. p.17–25. *in*: Conference on National Priorities in Plant Health Management. February 4–5, 2016. Tirupati, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, India.
- Sharma, H. C., M. K. Dhillon, J. Kibuka, and S. Z. Mukuuru. 2005. Plant defense responses to sorghum spotted stem borer, *Chilo partellus* under irrigated and drought conditions. *Int. Sorghum Millets Newsl.* 46:49–52.
- Sharma, H. C., C. P. Srivastava, C. Durairaj, and C. L. L. Gowda. 2010. Pest management in grain legumes and climate change. p.115–139. *in*: Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops. (Yadav, S. S., D. L. McNeil, R. Redden, and S. A. Patil, eds.) Springer. Dordrecht, The Netherlands. 460 pp. doi:10.1007/978-90-481-3709-1\_7
- Shih, H. T., Y. B. Huang, F. C. Lin, S. H. Huang, Y. S. Hsieh, C. J. Chang, S. C. Chang, M. Y. Chiang, and C. H. Kao. 2011. Adaptation of crop pest managements for coping with climate change. p.37–46. *in*: Proceedings of the Workshop on Agricultural Production and Environmental Adaptations for Coping with Climate Change. October 25, 2011. Taichung, Taiwan. Chinese Society of Agrometeorology, Changhua, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- Skendžić, S., M. Zovko, I. P. Živković, V. Lešić, and D. Lemić. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects* 12:440. doi:10.3390/insects12050440
- Stacey, D. A. and M. D. E. Fellowes. 2002. Influence of elevated CO<sub>2</sub> on interspecific interactions at higher trophic levels. *Glob. Change Biol.* 8:668–678. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00506.x
- Sutherst, R. W., F. Constable, K. J. Finlay, R. Harrington, J. Luck, and M. P. Zalucki. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *WIREs Clim. Change* 2:220–237. doi:10.1002/wcc.102
- Thomson, L. J., S. Macfadyen, and A. A. Hoffmann. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol. Control* 52:296–306. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.01.022
- Tian, H., L. C. Stige, B. Cazelles, K. L. Kausrud, R. Svarverud, N. C. Stenseth, and Z. Zhang. 2011. Reconstruction of a 1,910-y-long locust series reveals consistent associations with climate fluctuations in China. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108:14521–14526. doi:10.1073/pnas.1100189108
- Tian, J. C., Z. C. Wang, G. R. Wang, L. Q. Zhong, X. S. Zheng, H. X. Xu, L. S. Zhang, and Z. X. Lu. 2017. The effects of temperature and host age on the fecundity of four *Trichogramma* species, egg parasitoids of the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* 110:949–953. doi:10.1093/jee/tox108
- van Asch, M. and M. E. Visser. 2007. Phenology of forest caterpillars and their host trees: The importance of synchrony. *Annu. Rev. Entomol.* 52:37–55. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091418
- Visser, M. E. and L. J. M. Holleman. 2001. Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 268:289–294. doi:10.1098/rspb.2000.1363
- Volney, W. J. A. and R. A. Fleming. 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82:283–294. doi:10.1016/S0167-8809(00)00232-2
- Watt, A. D., L. K. Ward, and B. C. Eversham. 1990. Invertebrates. p.32–37. *in*: The Greenhouse Effect and Terrestrial Ecosystems of the UK. (Cannell, M. G. R. and M. D. Hopper, eds.) Institute of Terrestrial Ecology Research Publication, No. 4. His Majesty's Stationery Office. London, UK. 56 pp.
- Yamaguchi, T., K. Kiritani, K. Matsuhira, and K. Fukuda. 2001. The influence of unusual hot weather on the occurrence of several arthropod crop pests. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 45:1–7. (in Japanese with English abstract) doi:10.1303/jjaez.2001.1
- Yamamura, K. and K. Kiritani. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Appl. Entomol. Zool.* 33:289–298. doi:10.1303/aez.33.289
- Yamamura, K., M. Yokozawa, M. Nishimori, Y. Ueda, and T. Yokosuka. 2006. How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields. *Popul. Ecol.* 48:31–48. doi:10.1007/s10144-005-0239-7
- Yang, Q., J. Liu, K. A. G. Wyckhuys, Y. Yang, and Y. Lu. 2022. Impact of heat stress on the predatory ladybugs *Hippodamia variegata* and *Propylaea quatuordecimpunctata*. *Insects* 13:306. doi:10.3390/insects13030306
- Zhou, X., R. Harrington, I. P. Woiwod, J. N. Perry, J. S. Bale, and S. J. Clark. 1995. Effects of temperature on aphid phenology. *Glob. Change Biol.* 1:303–313. doi:10.1111/j.1365-2486.1995.tb00029.x

# Climate Change Mitigation Strategies of Rice Insect Pests in Taiwan

Po-Yu Lai<sup>1</sup>, Yu-Bing Huang<sup>2</sup>, Yaw-Jen Dong<sup>2</sup>, Li-Hsin Wu<sup>3</sup>, and Shou-Horng Huang<sup>4,\*</sup>

Lai, P. Y., Y. B. Huang, Y. J. Dong, L. H. Wu, and S. H. Huang. 2023. Climate change mitigation strategies of rice insect pests in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 72(4):277–287.

## Abstract

The onset of climate change is evidenced by increases in global average temperature and CO<sub>2</sub> concentrations, changes in precipitation patterns, and extreme climatic events. These changes directly affect the distribution, physiology, phenology, and population dynamics of insect species, while the abundance of individual species may also be indirectly affected through tritrophic interactions. The effects of these factors on insects remain complex and unpredictable. The ongoing warming trend may shift Taiwan's climate towards tropical conditions, creating a more favorable environment for multivoltine rice insect pests. Various prediction models have been developed to estimate each insect species' potential impact and yield loss under climate change conditions, based on their ecology and phenology. However, it is crucial to prioritize and continuously monitor changes in species composition and pest populations in rice fields. In Taiwan, implementing effective pest control measures involves developing appropriate varieties and cropping patterns for different ecological zones, breeding resistant varieties with resilient genes, creating suitable habitats for natural enemies, using bio- and low-toxicity pesticides to control insect pests, protecting natural enemies, and screening new and multifunctional pesticides to keep pest populations below economically damaging levels.

**Key words:** Climate change, Taiwan, Rice, Pest management.

---

Received: July 17, 2023; Accepted: August 22, 2023.

\* Corresponding author, e-mail: shhuang@tari.gov.tw

<sup>1</sup> Assistant Research Fellow, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Associate Research Fellows, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Plant Medicine, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung County, Taiwan, ROC.

<sup>4</sup> Associate Research Fellow, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.