

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

水稻田農事經營對水生動物多樣性之影響

Effects of Rice Paddy Management on Diversity of Aquatic Animals

王正安

Zheng-An Wang

指導教授：丁宗蘇 博士

Advisor: Tzung-Su Ding, Ph.D

中華民國 111 年 6 月

June, 2022

謝誌

＝～＝”聽說謝誌可以很隨興，那我就狂列感謝跟加一堆表情符號啦 XDD

首先想先感謝丁宗蘇老師的指導，猶記好幾年前剛到田鰲米就職時，老師叮嚀很多現地保育的現實，讓我能有較好的心理狀態面對鄉村的總總。也在工作好幾年後，萌生想做田間研究的念頭時，願意收留我這離校許久的學生。非常感謝這兩年來老師的總總提點與幫助，讓這疫情下的求學生涯能順利度過。

感謝林宜穎女士這十幾年來的陪伴，從高中、大學、兵役到出社會，雖然你都沒有明說，但總是在行動上支持我的各種選擇，願意放我到山林間服兵役，陪我住炎熱的三合院，聽我說這條保育路上的抱怨與牢騷。更感謝在婚後支持我往研究所進修，忍受我廢寢忘食的分析資料及撰寫論文。是因為有你，我更有進步的動力，我想在這肉麻的說：老婆我愛你<3~~~~

感謝我的父母王文俊及呂月秋，從小到大的支持與鼓勵，讓我在人生的路上自由選擇，你們不僅是我的父母，更像是我的良師益友，與你們相處我總能學習到很多。很抱歉這幾年南漂苗栗，有時候忙碌起來好幾個月沒回家，未來我會多撥點時間回家的>~<。

感謝田鰲伯劉定峯先生、田鰲嬭林春蘭女士，教導我如何跟這塊山林討生活，讓我和你們進入鄉村，甚至更進一步認識鄉村。這幾年跟你們相處的時光多不勝數，我們在這樣的過程中彼此都成長了好多，雖然阿伯您在途中離開了，但您的精神總是於我們同在。也謝謝阿伯阿嬭的家人們，你們待我像自己人，我也是感激於心。

感謝觀察家的夥伴們。其中我想特別感謝劉威廷先生與陳柏豪先生，謝謝你們在我初入社會時給予諸多的包容，前一段時間翻到剛到職的信件，看著自己天真的文字覺得有點無帝雉容（故意錯別字），感謝打下這麼好的基礎，讓我能在這恣意的學習與成長。

感謝保育社上的夥伴們，大學時代跟你們共事經歷的種種，是我現今繼續走在這條路上的動力，我還是常常會懷念起當初一起瘋狂出野外的日子。謝謝哲安時不時還是會嗆我，給我諸多叮嚀跟建議；謝謝阿明、立中指導我論文上的疏漏；感謝林杰、彥伯提供過來人的心境分享。

感謝實驗室的夥伴，感謝好蓮、思辰這兩年來的照顧，很抱歉我很少進實驗室，沒能提供兩位適當的支援，但你們還是很熱心地叮嚀提醒我很多疏漏的細節，讓我的研究生涯沒出什麼大毗漏。感謝俊傑鼓勵我讀書進修、感謝淑瑋學姊提出很多中壘的問題及建議、感謝博偉、琪睿幫我再三調整文句。

感謝各個教導過我的老師，謝謝你們包容我這混混的學生。感謝一路上的朋友與前輩，謝謝你們豐富了我的人生，再我低潮的時候給予支持與鼓勵。以上我想應該漏了不少名字，但我想用分組的方式感謝，只要您有關聯，那怕只有一點點，請記得都有我的一份感激！（我想這樣應該不會出錯吧 XD？

最後，感謝森川里海間的各種生態系，非常謝謝 Orz。



摘要

農田生物多樣性隨著綠色革命的發展而廣泛降低，如何進行水稻田生物多樣性保育已成為農田永續利用的重要課題。地景組成與農事經營是農田生物多樣性保育的重要因子，然而如何透過農事操作提高農田生物多樣性，同時兼顧農作產量仍需更多研究探討。本研究在 2021 年一期稻作期間，於苗栗縣通霄鎮的田驚米農場設置 36 個 3×3m 樣區，設計不同秧距、掌草頻度、及封壟時湛水與否樣區，透過 18 目方網底拖採集水生動物及直接採樣稻穗，比較不同農事操作在秧苗分蘖最盛之封壟前後期對水生動物多樣性的差異和稻穀產量的影響。結果顯示在大多情況下，水生動物多樣性與插秧後天數、秧距、水深、雜草覆蓋度、及封壟時湛水呈正相關。在農事操作部分，後期秧距較疏、封壟時湛水有較高的水生動物多樣性；前期秧距較密、掌草頻度較低、後期秧距較疏、封壟時湛水有較高的福壽螺族群量；而秧距較疏、掌草頻度較高、封壟時湛水則會有較低的稻穀產量。藉由釐清不同操作對生物多樣性和產量的影響，農人可仔細評估農事操作，以建立合適的農事經營模式。本研究建議於水稻田間保留部分缺秧嚴重的區塊不進行補秧，提供後期秧距較疏的空間；安排封壟前適量的 1–2 次掌草，以幫助抑制福壽螺族群量；並在水稻田與田埂交界處配置排水溝渠，做為維持低擾動、水深較深且長期湛水空間。此操作有助於提高水生動物多樣性，節省勞力付出，並能兼顧稻穀的生產品質與產量。

關鍵字：農田保育、秧苗間距、掌草、曬田、福壽螺、水生昆蟲

Abstract



While the Green Revolution developing, farmland biodiversity has decreased globally and biodiversity conservation of rice paddies has become an important issue for environmental sustainability of farmland. Landscape composition and farming management have been considered the most dominant factors in farmland biodiversity conservation. However, it is remained understudied on how to implement farming practices that benefit both biodiversity and yield. I conducted a field experiment in the 2021 summer in Tianbei Rice field, Tongsiao, Miaoli County. A total of 36 3×3m plots were established to examine the effects of seedling spacing, frequency of weeding, and watering at rice canopy closure on aquatic animal diversity and rice yield, before and after the highest tillering time. I collected aquatic animals through 18 mesh square net dragging and sampled rice ears to compare the effects of different farming practices. Results show that most aquatic animal diversity indices were positively correlated with days after transplanting, seeding spacing, water depth, weed presence, and watering at rice canopy closure. Larger seedling spacing at later stage and the watering at rice canopy closure had higher diversity of aquatic animals; while smaller seedling spacing at early stage, lower frequency of weeding, larger seedling spacing at later stage, and watering at rice canopy closure had higher density of apple snails; larger seedling spacing, watering at rice canopy closure had lower rice yields. Therefore, farmers could evaluate their farming practice carefully and establish proper farming management. It is suggested to select some spare areas without filing up seedlings to create larger seedling spacing area, arrange an appropriate amount of weeding 1-2 times to control apple snails population, and set up drainage ditches between rice field and ridge to maintain low disturbance, deep water depth and long-time watering place. These practices could help improve the biodiversity of aquatic animals, save labor and meanwhile benefit rice yield and quality.

Keywords: farmland conservation, seedling density, paddy tilling, dry out field, apple snails, aquatic insects

目錄



摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
前言.....	1
材料方法.....	7
(一) 研究區域.....	7
(二) 研究方法.....	8
結果.....	12
(一) 農事操作對水生動物多樣性之影響.....	12
(二) 農事操作對福壽螺族群及生物量之影響.....	13
(三) 農事操作對稻米品質及產量之影響.....	14
(四) 農事操作逐步選擇.....	14
討論.....	16
結論.....	22
引用文獻.....	23
附錄.....	48

圖目錄

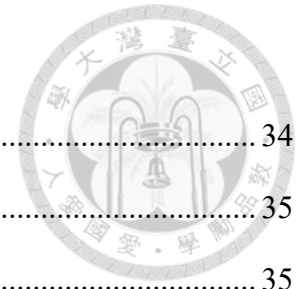


圖 1、苗栗通霄月均溫與月累積雨量分布圖.....	34
圖 2、樣區設計—茅草方式與曬田灌水施作.....	35
圖 3、樣區設計—秧距疏密與曬田灌水施作.....	35
圖 4、水田調查生物科別及各科生物隻數.....	36
圖 5、水田調查前後期各科生物隻數.....	36
圖 6、不同農事操作對水生動物科數影響關係圖.....	37
圖 7、不同農事操作對水生動物隻數影響關係圖.....	38
圖 8、不同農事操作對福壽螺隻數影響關係圖.....	39
圖 9、不同農事操作對福壽螺濕重影響關係圖.....	40
圖 10、不同農事操作對水稻百粒重影響關係圖.....	41
圖 11、不同農事操作對水稻產量影響關係圖.....	42

表目錄

表 1、樣區一覽表.....	43
表 2、田間各因子的廣義線性迴歸分析.....	44
表 3、農事操作對稻米產量的單因子獨立變異數分析.....	45
表 4、水稻生長前期 (<50 天) 逐步分析模型選擇.....	46
表 5、水稻生長後期 (>50 天) 逐步分析模型選擇.....	47




前言



棲地破壞是生物多樣性保育最大的威脅 (Wilcove *et al.*, 1998)，而農田地景被認為是許多生物重要的補充棲地，並提供多樣的生態系服務 (ecosystem service) (Altieri, 1999; Li *et al.*, 2013)。然而在 1950 年綠色革命 (Green Revolution) 後，農田大規模且均質地集約化，伴隨農田棄耕及都市化加劇，使得農田生物多樣性廣泛降低 (Krebs *et al.*, 1999; Benton *et al.*, 2003; Henle *et al.*, 2008; Dudley and Alexander, 2017)。為減緩生物多樣性降低的速率，第十屆生物多樣性公約締約方大會 (COP10)，提出里山倡議 (Satoyama Initiative)，藉由提倡均衡發展社會-生態-生產地景與海景 (Socio-Ecological Production Landscapes and Seascapes, SEPLES)，試圖永續利用農田地景的自然資源 (Takeuchi, 2010)。第十五屆生物多樣性締約方大會 (COP15) 提出後 2020 年的全球生物多樣性框架 (Post-2020 Global Biodiversity Framework, GBF)，期望透過具體向量化的行動目標，達成 2050 年人與自然和諧共生之願景 (Phang *et al.*, 2020)。行動目標中更明確提及須確保生產系統的生產力及回復力，以生態系基礎取徑方式 (Ecosystem-based Approach, EbA) 永續利用農田地景的自然資源 (Wanger *et al.*, 2020)。藉由健全農田生態系食物網，增加掠食者及授粉者，促進生物防治及作物生長，增進抵抗環境衝擊之韌性 (resilience)，甚至減緩氣候變遷的速率及降低自然災害的風險 (Costanza *et al.*, 1997; Östman *et al.*, 2001; Hopwood, 2008; Carvalheiro *et al.*, 2011)。因此如何保育農田生物多樣性，是近年農業轉型及科學研究的重要課題 (Knowler and Bradshaw, 2007; Norris, 2008)。Weibull *et al.* (2003) 回顧近年農田生態系之研究，農田環境中的「地景組成」與「農事經營」，被認為是農田生物多樣性保育的重要因子。

有關農事經營方面，研究多集中在探討農法。Garibaldi *et al.* (2017) 透過文獻回顧將農法整理為 6 類，並比較其異同：慣行農法 (conventional farming)、多樣化農法 (diversified farming)、永續集約農法 (sustainably intensified farming)、生態集約農法 (ecologically intensified farming)、生態農業農法 (agroecological farming)、及有機農法 (organic farming)。其中比較慣行農法及有機農法的文獻最為豐富，研究指出有機農法



大多比慣行農法有較高的生物多樣性，僅少數因環境背景特殊而導致無差異，甚至負面的影響 (Rahmann, 2011; Tuck *et al.*, 2014; Froidevaux *et al.*, 2017)。而有機農法生物多樣性較高的原因，可能來自禁止或減少化學資材使用、和諧管理非作物棲地與保存混合農業地景 (Hole *et al.*, 2005)。另一方面，農法由眾多農事操作構成，Benton *et al.* (2003) 指出會直接或間接影響鳥類族群數量的農事操作包括：作物種類 (crop type)、播種時節 (sowing season)、作物排列與密度 (crop seed set and density)、田間管理 (management)、肥培管理 (fertilizer input)、農藥管理 (pesticide input)、土壤夯實 (soil compaction)、自然棲地狀態 (non-cropped habitat)。Martin *et al.* (2020) 透過訪談農人獲取農事操作資訊，對農事操作進行比較，結果顯示改作多年生作物、降低翻耕強度有較高的生物多樣性，同時也指出農事操作會對不同生物類群有不同程度的影響。Billaud *et al.* (2021) 則透過公民科學監測農田長期趨勢，指出殺蟲劑與化學肥料使用會對生物多樣性造成負面影響，而降低翻耕次數也會提高生物多樣性。但因農事操作與生態反應存在高度不確定性，建議須因當地特性發展適性經營 (adaptive-management)，專注於計畫與監測，以達預期的生態系服務效益 (Duru *et al.*, 2015)。

農人管理了全球除荒原、沙漠、及冰川外的一半土地 (Tilman *et al.*, 2001)，農人的經營選擇常同時改變農田經營及地景組成，故農人是農田保育中最重要的角色 (Knowler and Bradshaw, 2007)，而作物的選擇影響最為深遠。在眾多作物中，水稻 (*Oryza sativa*) 是全球最重要的糧食作物之一 (Elphick *et al.*, 2010)，農田地景中水稻田因其廣大的面積及固定的耕種經營模式，造就特殊的動態水文交換環境 (dynamic hydrological regime)，提供半天然溼地環境，吸引眾多水生生物作為覓食及棲息的重要替代棲地，故水稻田被認為是對水生動植物最友善的糧食作物 (Bambaradeniya and Amerasinghe, 2004)。水稻田的棲地配置多元，能提供良好的生態系服務，如田埂保持雜草植被生長，田間的生物多樣性會提高，但水稻害蟲的數量能透過食物鏈抑制而不會跟著提升 (Horgan *et al.*, 2019)。若水稻田棄耕，開始進入自然演替，則使 28%—44% 的物種豐度及豐富度下降，且喪失的生物多樣性需較長的時間回復，尤其劇烈影響與水域環境緊密連結的生物 (Koshida and Katayama, 2018)，故維持良好的經營管理是保育水稻田生物多樣性的關

鍵。在某些地區水稻田成為僅存的濕地，環境品質較高的水稻田甚至成為水生動物的庇難所，大幅提高水稻田的保育價值，成為急需投入保育資源的區域 (Wilson *et al.*, 2008; Elphick *et al.*, 2010)。

秧距、掌草及湛水是水稻生產過程中的重要農事操作。水稻的秧距設計被認為是影響產量的關鍵，適中的秧距對產量、分蘗數都有顯著的提升，也能抑制雜草與降低維護及管理強度 (Chauhan and Johnson, 2011; Alam *et al.*, 2012; Mondal *et al.*, 2013; Sihag *et al.*, 2015)。水稻田的雜草可能造成 10%—35% 的產量減損 (Karim *et al.*, 2004)，一般可將雜草控制分為傳統、機械、生物、化學、及綜合防治法 (Rodenburg and Johnson, 2009)，在生態農法的田區大多會避免使用化學防治方式，改以掌草的方式進行，透過勞力、機械力及水位控制來抑制雜草生長。灌溉系統與周邊水環境能助益水稻田生物多樣性，建議保持部分稻田在休耕期維持淹水或湛水 (Maltchik *et al.*, 2017)，並提供適切的淹灌與經營 (McIntyre *et al.*, 2011)；而另一方面，節水及曬田等施作能增加稻米的產量與品質，並能減少 28% 的水資源損耗 (李健鋒等., 1996; Chapagain and Yamaji, 2010; 吳永培等, 2020)。水稻田間的減少用藥、粗放經營、草生田埂、及維護周邊環境，皆能增進物種多樣性 (Luo *et al.*, 2014; Maltchik *et al.*, 2017; Katayama *et al.*, 2019)。農事操作是農人在農業經營上首要權衡的要件，如何適地適物的調整農事操作，才能彙整提供具體的農法論述，以便保育策略的宣導及落實。

水稻田的農事操作有一部分與病蟲害防治有關，其中福壽螺 (*Pomacea canaliculata*) 是危害最嚴重的生物之一。福壽螺在 1979 年人為引入台灣，並於 1982 年開始有危害水稻之情形 (林金樹, 1985)，在各地造成農業生產損失 (Halwart, 1994; Naylor, 1996)，也對水域生態系帶來負面影響 (Carlsson *et al.*, 2004; Burlakova *et al.*, 2009)。陳威廷 (2004) 指出台灣稻農若不進行防治，平均每年因福壽螺危害約會有 10.80% 的經濟損失。因此近年有許多研究探討如何防治福壽螺，如：開發引入魚類進行生物防治 (廖君達, 2004)、施用苦茶粕等含皂素資材進行藥劑防治 (張浣筑、葉一隆, 2013)、透過誘餌及陷阱進行物理防治 (陳威承, 2020)。然而引入外來魚類或透過苦茶粕對福壽螺進行防治，卻可能危害其他水生動物，造成生物多樣性下降 (葉大詮等, 2009; 陳威承, 2020)。

另一方面，可透過移植育成較久的秧苗，藉茁壯的葉莖對福壽螺啃食的抵抗力，減少福壽螺所造成農業損失的危害 (Litsinger and Estano, 1993)。如何防治危害物種，降低其造成的危害，同時兼顧與生態保育，是生態農業應用的一大課題。

為了解農田生物多樣性與生態系服務之關連，可透過指標生物 (indicator species) 的複合種群進行監測，指認特定生態系功能 (Birkhofer *et al.*, 2018)，如線蟲可對應土壤生態功能 (Yang *et al.*, 2021)、蝴蝶對應授粉功能 (Munyuli, 2012)。亦有研究透過節肢動物 (Alvarez *et al.*, 2001)、蜻蛉目 (Odonata) 昆蟲 (吳姿宜, 2019)、鞘翅目 (Coleoptera) 昆蟲 (Chouangthavy *et al.*, 2021)、及植物 (Goded *et al.*, 2019) 對不同的農田與水域環境進行生物多樣性的探討，以種為單位指認適合的指標生物。指認農田指標生物能幫助農人聚焦，以了解農事經營對生物多樣性的影響，進而應用於農田生態保育及永續經營。水生昆蟲因為廣泛分布與對環境敏感的特性，被認為是水域環境中良好的生物指標 (bioindicator)，能追蹤生物累積效應 (bioaccumulation) 與檢驗生態系穩定性 (Cain *et al.*, 1992; Dijkstra *et al.*, 2014)。透過指標生物建立監測方式，能為適性經營提供評估依據，以設定更適切在地環境的經營計畫。

隨著農田生態研究的蓬勃發展，學界對農田地景組成的保育原則性建議已趨於一致，卻與農人實際經營有差距，不易落實於農田間 (Duru *et al.*, 2015)，如何提高農作產量及生物多樣性保育誘因，仍需更多研究投入探討 (Salazar-Ordóñez *et al.*, 2021)。有機農法依當地環境及作物類別不同，較慣行農法約有 5%—34% 的產量減損 (Hodgson *et al.*, 2010; De Ponti *et al.*, 2012; Ponisio *et al.*, 2015)，產量會直接影響農人收益，而降低接受有機農法的意願。有機農法所造成的產量減損，也可能會造成所需的耕種面積擴張，進而減少天然棲地的面積，導致整體生物多樣性下降 (Balmford *et al.*, 2018; Jeanneret *et al.*, 2021; Tschardtke *et al.*, 2021)。Hodgson *et al.* (2010) 指出，若有機農法產量若低於慣行農法 87% 的產量，建議直接以慣行農法經營農田，並劃分部分保留區，對蝴蝶生物多樣性會有較高的助益。將高產量的農業耕種，透過土地使用分區、經濟補貼、空間技術策略、標準與認證等機制達成農田生物多樣性的保育 (Phalan *et al.*, 2016)。更有文獻對有機農法提出質疑，有機田區的生物多樣性來自其對農田地景空間異質度的經營，而非

農事施作與農法本身 (Martin *et al.*, 2020)。由於各項農法之定義繁雜，各區域因地制宜的農事操作皆有不同，考量當地的生產經營模式及生態保育急迫性，投入更多研究資源及廣納多元權益關係人意見，謀求雙贏的永續利用將是農田保育的關鍵。

近年臺灣致力發展生態服務給付 (Payment for Ecosystem Service, PES) 及國土生態保育綠色網絡 (ecological network) 等政策 (謝敬華等, 2021)，皆需透過農人做為連結，促進生態友善農耕的進行，尋求環境永續經營的自然解方 (Natural-based Solution, NbS)。民間亦有綠色保育標章，透過參與式驗證系統 (Participatory Guarantee System, PGS)，引領各權益關係人進入產區查驗，作為提供消費者購買農產品的選擇依據 (陳榮宗等, 2018)；新北市貢寮水梯田建立和禾米的生態品牌，透過林務局支持的生態保育計畫及保育合夥人制度，提供農人管理水梯田所需的生態系服務給付 (謝傳鎧, 2017)。研究方面，花東縱谷有專注於農事經營與生物多樣性比較的研究 (范美玲等, 2013; 林立等, 2015; 蔡思聖等, 2018)、蘭陽平原有專注水鳥對水稻田不同地景及操作的使用偏好 (呂立中, 2019)、嘉南平原則有鳥類對鑲嵌地景偏好與鳥害防治的討論 (方蕙菁等, 2012)，皆對該地區農事應用提出適地的具體建議，以保全農田生態系的功能及服務。故釐清不同地區農田的環境背景、農事操作、生物組成及保育物種，探討農事操作對生物多樣性之影響，建立適性經營的框架，提供適切且具體的農事經營計畫，並利用指標生物進行監測，以評估經營計畫的成效，建立永續經營與生態系服務的連結，是農田生態保育仍待努力補足的領域。

本研究於施行友善農耕多年的田驚米農場進行現地實驗，探討水稻田中不同的農事操作對目標水生動物的影響，也比較對水稻主要危害物種福壽螺及水稻生產品質與產量的影響，提供符合現地生態背景的可行農事經營建議，及農人應關注的農事操作順序，謀求適合現地，且兼顧生產及生態的保育對策。此外，本研究亦探討水生昆蟲於水稻田的微棲地偏好差異，提出適切且易於觀察的指標物種，以利監測水稻田之環境變化。

綜觀上述，本研究將檢驗以下 3 個目的與 14 點假說：

1. 了解不同農事操作，對水生動物多樣性之影響

1-1. 稻株間距較寬有較高的水生動物多樣性



- 1-2. 茅草強度低有較高的水生動物多樣性 (輕機械施作)
- 1-3. 維持湛水不曬乾之田區有較高的水生動物多樣性
- 1-4. 田間水位較深時有較高的水生動物多樣性
- 1-5. 雜草數量覆蓋度高有較高的水生動物多樣性
2. 了解各不同農事操作，對主要害蟲—福壽螺族群數量之影響
 - 2-1. 稻株間距較寬有較高的福壽螺族群量
 - 2-2. 茅草強度低有較高的福壽螺族群量 (輕機械施作)
 - 2-3. 維持湛水不曬乾之田區有較高的福壽螺族群量
 - 2-4. 田間水位較深時有較高的福壽螺族群量
 - 2-5. 雜草數量覆蓋度高有較高的福壽螺族群量
3. 了解各不同農事操作，對作物產量之影響
 - 3-1. 秧距適中有較高的水稻產量
 - 3-2. 茅草強度高有較高的水稻產量
 - 3-3. 實施曬田有較高的水稻產量
 - 3-4. 無雜草覆蓋有較高的水稻產量

材料方法



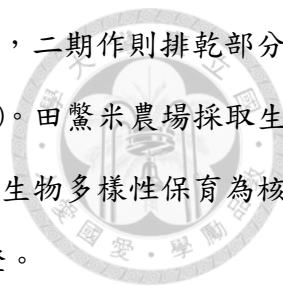
(一) 研究區域

研究進行於田驚米農場，其位於苗栗縣通霄鎮福龍里柳樹窩 (24°31'06.6"N 120°43'30.0"E)，根據 2012—2021 年中央氣象局通霄地區資料統計，年均溫 22.8 °C，年平均降雨量為 1482 mm (圖 1)。氣候為亞熱帶夏雨冬乾型，主要降雨集中在春季的梅雨與夏季的颱風，仲夏平均氣溫接近 30°C，氣候溫暖潮濕；秋季與冬季大多維持乾燥，平均氣溫低於 20 °C，並盛行東北季風。

田驚米農場四周圍繞丘陵，為一谷津田 (Yatsuda)，系指稱在谷地裡開闢水梯田的環境類型，其土地所有權屬大多為私有土地，使用分區為山坡地保育區，土地類別為農牧用地。丘陵部分海拔皆低於 100 公尺，以人為種植之相思樹 (*Acacia confusa*)、樟樹 (*Cinnamomum camphora*)、桂竹 (*Phyllostachys makinoi*) 等竹闊人工林為主，並交雜著天然下種之山黃麻 (*Trema orientalis*)、野桐 (*Mallotus japonicus*)、苦楝 (*Melia azedarach*) 等次生樹種。而谷地中的田區以種植水稻為主，並於水田上游設置埤塘作為儲水及灌溉之用。稻田與丘陵間之畸零地、住宅周邊則種植各式蔬果或旱作。由於山谷中不利大型機具耕種，近年大部分田區已棄耕，演替為以芒草 (*Miscanthus sinensis*)、及外來種如大黍 (*Panicum maximum*) 和大花咸豐草 (*Bidens pilosa*) 等構成之草生地，更有部分已演替為次生林，構成多樣棲地緊密相鄰的鑲嵌式地景 (mosaic landscape)。

2012 年觀察家生態顧問有限公司於田區埤塘內發現近三十年間採集紀錄稀少的水生昆蟲—印度大田驚 (*Lethocerus indicus*) (董景生等, 2015)，遂與在地農民合作展開生態友善的保育行動，發展生態友善品牌—「田驚米」，從最初的保價收購演變為契約耕作，再到後續駐派專員協助農作及實地租地農耕。同時執行各物種生態調查，累積田區基礎生態資料 (附錄 1)。透過「穀東認購」進行計畫生產，搭配農事活動補充農村勞力缺口，透過參與和穀東進行交流與學習，了解市場喜好與調整商業模式；同時結合生態監測持續調整農事施作，並積極進行棲地經營及改善。目前田驚米農場管理總面積約 2.1 公頃：分別為水稻生產約 1.2 公頃，菜園旱作約 0.2 公頃，廢耕地約 0.4 公頃、埤塘約

0.3 公頃。其中水稻生產區以水旱輪作，一期作淹灌全區種植水稻，二期作則排乾部分種植大豆、地瓜與蘿蔔，部分休耕施灑綠肥如田菁與油菜（附錄 2）。田鱉米農場採取生態農業農法，禁止使用化學資材及會危害水生動物之有機資材，以生物多樣性保育為核心進行管理，並取得有機標章、綠色保育標章及石虎保育標章認證。



（二）研究方法

A、名詞釋義

（i）擘草：舊為在田間以雙手搓摸田土，並使田水混濁，以移除或抑制雜草生長之農事操作。本研究將透過器具攪動田土，以移除或抑制雜草的行為皆稱為擘草，包括使用水田中耕機、水田熊手、雜草鋤及掃帚等工具。

（ii）封壟：又稱封行，係指水稻植株茁壯後，稻葉互相銜接，將稻株間距完全遮蓋，從上方俯視看不見田土的狀態。一般發生在插秧後 50 天左右，象徵田間空間被充分利用，稻田完全鬱閉。

（iii）曬田：將田水排除並維持長時間乾燥，使土壤產生約 2 公分裂痕的農事操作。一般執行於插秧後 50 天左右，封壟發生的時期，其目的是抑制水稻分蘖、穩定植株，並促進土壤與空氣接觸。

（iv）湛水：將田水注滿並使其不流失，維持田區常有水的農事操作。能避免土壤與空氣接觸，使草籽不易萌發，以達抑制雜草生長的目的。本研究的定義為插秧後 50 天左右，相反於曬田的農事操作。

（v）分蘖：水稻在莖基部節上所萌發不定芽所長成之分生莖，其叢生莖的總數被稱之為分蘖數。一般水稻分蘖數介於 15–30 之間，並依能否結穗區分為「有效分蘖」及「無效分蘖」。

（vi）百粒重：即為 100 粒種子的重量，能表現種子大小與充實程度。本研究以直接採收的濕穀計算百粒重。

B、樣區設計

本研究為探討一期稻作期間各農業經營操作對水生動物多樣性之影響，於田間設立

長寬各 3m 的正方形樣區，於樣區四角插立 PVC 管以界定樣區邊界，分別設計秧苗間距 3 個層次、掌草頻度 3 個層次、及封壟時曬田湛水 2 項處理（圖 2、圖 3），以埤塘為界分 2 組重複操作，每組重複操作包含 2 塊田區，每個田區內設計 9 個樣區，共在 4 塊田區內設置 36 個樣區（表 1）。樣區設置自 2021 年 3 月 8 日插秧日起為期一周，盡可能隨機配置不同處理，並將樣區與田埂至少間隔 1.5 m，以避免受田埂植被及邊緣效應（edge effect）影響。灌溉水源統一以地下水為主，不使用跨田區連通方式引水，各田區排水直接進入溝渠，以避免水生動物往下游田區集中。研究過程中，排除非試驗設計的農事操作及活動於樣區中進行。以下說明不同處理的操作細節：

(i)、秧苗間距：

先以機械方式固定行距 30 cm，株距 18cm 進行插秧，並視其為中秧距。而後透過人工拔除、補插秧苗方式調整秧苗間距，使其成為 3 個層次的處理：疏秧距（40 株秧、最小秧距 36 cm）、中秧距（160 株秧、最小秧距 18 cm）、密秧距（320 株秧、最小秧距 9 cm）（圖 3、附錄 C）。為確保調查期間樣區皆維持相同秧距，於水生動物調查時巡視秧苗狀況，若有缺漏則進行補植。

(ii)、掌草頻度：

掌草施行於封壟前，使用三行式水田中耕機（竹下農機 MJ-36）以機械物理方式於插秧 10 天後開始進行，每次掌草至少間隔 10 天，並將樣區範圍內完全掌草。本研究將掌草頻度分成 3 個層次的處理，以不同次數的機械掌草，代表不同的擾動頻度：掌草 0 次（完全不掌草）、掌草 2 次（掌草間隔天數 20 天）、掌草 4 次（掌草間隔天數 10 天）（圖 2）。

(iii)、封壟時曬田或湛水：

以水稻分蘖最盛期（插秧後 50 天）的排水差異做為區別，曬田組直接將水排入溝渠中，並維持 10 天乾燥至田土乾裂，以阻斷水稻繼續分蘖，抑制過度生長及健化植株；湛水組則持續補水，使水深維持在 3 - 6 cm 之間，避免田土乾裂及氧化。作 2 個處理：曬田（土壤乾裂）、湛水（土壤泥質）（圖 2、圖 3）。

C、調查方法


水生生物調查從 2021 年 3 月 24 日起，至 2021 年 7 月 3 日止，每兩周調查一次，共調查 7 次。每次調查於 2 個工作天內完成，且避免於雨天進行調查，以排除氣候所導致的調查誤差。調查時以 18 目（1 mm）細網目方網底拖田土，沿水稻行列方向徹底拖網（蔡思聖等, 2019），隨即掏洗田土及挑除殘枝落葉，將捕獲的生物依樣區各別放置於裝有 95%酒精溶液的採樣瓶中保存。在插秧後 85 天水稻抽穗時，減少每次調查的樣區數量，以避免過度頻繁進入田區而影響水稻授粉及結穗狀況，且由於此時水稻密集，在秧距密集樣區，輔以小型水族網進行調查。每次調查前於固定位置測量水位深度，將直尺抵於田土表層，以 0.5cm 為單位記錄水深。雜草覆蓋度以目視判定，僅記錄雜草植株挺立部分，若雜草枯萎則不列入計算，單位為百分比記錄之，由於雜草覆蓋低於 5% 將無法與水稻競爭，故以 5% 為分界劃分為有雜草覆蓋及無雜草覆蓋兩種類別進行統計分析。

調查採樣完成後，於兩周內清點捕獲的水生動物，將其鑑定至科級，並記錄可能的屬、物種、隻數、濕重及生長型態，記錄完畢後將其置於分類盒中，浸泡 95%酒精溶液中保存。其中由於細蟪科及琵琶科稚蟲形態及棲位相近，以及採樣時樣本部分破損，故將兩科資料合併記錄。濕重則統一記錄浸泡於 95%酒精中之重量，以克為單位記錄至小數點下 3 位。除水生動物調查資訊，同時記錄各樣本的詮釋資料及環境資訊，包括調查日期、樣區名稱、秧距、掌草次數、曬田湛水、雜草覆蓋及水深。

至於稻穀產量的計算，於 2021 年 7 月 12 日清晨以人力收割，各樣區各採樣 3 組稻株，放置於夾鏈袋中保存，並於一周內計算其單穗粒數、稻樁分蘗數及百粒重，同時記錄樣區名稱、秧距、掌草次數、曬田湛水、雜草覆蓋等資訊。再透過樣區設計資料可獲取各樣區稻樁數量，以計算各樣區之生產量，樣區稻米產量計算公式為：

$$\text{樣區稻米產量} = \text{單穗粒數} \times \text{分蘗數} \times \frac{\text{百粒重}}{100} \times \text{樣區稻樁數}$$

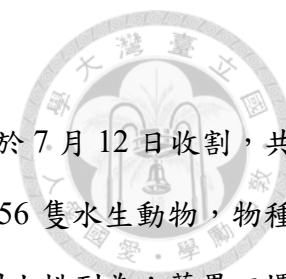
D、資料分析



原始資料以 Microsoft Excel 建檔計算，單因子獨立變異數分析 (One-way ANOVA)、杜凱確實差異檢定 (Tukey HSD test)、廣義線性迴歸 (generalized linear regression)、向前逐步迴歸選擇法 (stepwise forward selection) 以 R 4.0.2 軟體進行 (R Core Team, 2020)。由於一期稻作水稻生長前後期差異大，前期植株高度低於 50 cm，稻樁尚未茁壯，行距尚未鬱閉，後期植株高度高於 50 公分，稻樁茁壯準備孕穗，行距已然鬱閉，故將前期與後期以行距鬱閉初發生的封壟時 (插秧後 50 天) 拆分處理。再者，將每次樣區採樣作為一筆樣本進行分析，共計前期 108 筆，後期 109 筆。進行水生動物對各操作分析時排除福壽螺，以避免分析結果受福壽螺偏好影響，並將福壽螺另外進行分析探討。

為比較不同秧距、茅草頻度及封壟時曬田湛水等農事操作，對水稻田間水生動物多樣性的差異，使用水生動物的科數及隻數、福壽螺的隻數及濕重的資料，以杜凱確實差異檢定進行。而不同樣區環境因子對水生動物多樣性的顯著性檢測，先透過皮爾森相關性分析 (Pearson correlation) 選列彼此間相關性低於 0.5 之變因，執行廣義線性迴歸，水生動物科數及隻數資料以較符合的卜瓦松分布進行分析，而福壽螺的濕重則進行對數轉換後較符合的高斯分布進行分析，同時分別對具指標性的水生昆蟲，如：仰蝽科、蜻蜒科、龍蝨科做進一步廣義線性迴歸分析，以了解各類水生昆蟲對環境變化的敏感度，及其對不同農事操作的反應與微棲地的偏好。同時做向前逐步迴歸選擇法，選擇最重要的解釋因子以獲得最佳的廣義線性迴歸模型，可作為農人經營應關注的操作重點。

結果



本研究進行於 2021 年一期稻作期間，始於 3 月 8 日插秧，終於 7 月 12 日收割，共計 127 天。對田間 36 個試驗樣區進行調查，共記錄到 21 科，7,556 隻水生動物，物種包括腹足綱、昆蟲綱、蛛形綱、軟甲綱、及兩生綱。依數量由大到小排列為：蘋果田螺科 (Ampullariidae, 3,285 隻)、仰蝽科 (Notonectidae, 2,153 隻)、蜻蜓科 (Libellulidae, 811 隻)、龍蝨科 (Dytiscidae, 418 隻)、黽蝽科 (Gerridae, 246 隻)、狼蛛科 (Lycosidae, 140 隻)、樹蛙科 (Rhacophoridae, 131 隻)、牙蟲科 (Hydrophilidae, 90 隻)、細/琵琶蟪科 (Coenagrionidae /Platynemididae, 62 隻)、蟾蜍科 (Bufonidae, 57 隻)、叉舌蛙科 (Dicroglossidae, 31 隻)、四節蜉蝣科 (Baetidae, 26 隻)、小划蝽科 (Micronectidae, 23 隻)、狹口蛙科 (Microhylidae, 21 隻)、划蝽科 (Corixidae, 20 隻)、蚊科 (Culicidae, 19 隻)、赤蛙科 (Ranidae, 12 隻)、蠍蝽科 (Nepidae, 5 隻)、晏蜓科 (Aeshnidae, 4 隻)、及匙指蝦科 (Atyidae, 1 隻) (圖 4)。

前期調查平均每樣區有 4.12 ± 2.27 科， 16.70 ± 20.54 隻水生動物，數量上前五名依序為：仰蝽科 (396 隻)、龍蝨科 (371 隻)、蘋果田螺科 (303 隻)、黽蝽科 (178 隻) 及蜻蜓科 (99 隻) (圖 5)。後期調查平均每樣區有 3.61 ± 2.06 科， 52.77 ± 87.43 隻水生動物，數量上前五依序為：蘋果田螺科 (2981 隻)、仰蝽科 (1757 隻)、蜻蜓科 (712 隻)、黽蝽科 (68 隻) 及龍蝨科 (47 隻) (圖 5)。

(一) 農事操作對水生動物多樣性之影響

農事操作對水生動物科數影響，使用杜凱確實差異檢定，結果顯示封壟時湛水較曬田施作有顯著較高的水生動物科數 ($p < 0.001$)，而前期秧距 ($p = 0.780$)、後期秧距 ($p = 0.660$)、掌草頻度 ($p = 0.753$) 之間則沒有顯著差異 (圖 6)。另使用廣義線性迴歸將水稻前後期農事操作對水生動物科數進行分析，結果顯示水生動物科數在稻作前期與天數 ($p < 0.001$)、雜草 ($p = 0.036$) 呈顯著正相關；在稻作後期與封壟時湛水 ($p = 0.003$)、水深深度 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關 (表 2)。

農事操作對水生動物隻數影響，使用杜凱確實差異檢定，結果顯示水生動物在水稻後期疏秧距較中秧距 ($p = 0.044$) 及密秧距 ($p = 0.031$) 有顯著較高的隻數；封壟時灌水較曬田施作有顯著較高的水生動物隻數 ($p < 0.001$)；而不同掌草頻度之間則沒有顯著差異 ($p = 0.523$) (圖 7)。另使用廣義線性迴歸將水稻前後期操作對水生動物隻數進行分析，結果顯示水生動物隻數在稻作前期與天數 ($p < 0.001$)、水深 ($p < 0.001$)、雜草 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與秧距呈顯著負相關 ($p < 0.001$)；在稻作後期與天數 ($p < 0.001$)、秧距 ($p < 0.001$)、封壟時灌水 ($p < 0.001$)、及水深 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與雜草 ($p < 0.001$) 呈顯著負相關 (表 2)。

透過廣義線性迴歸將稻作前期農事操作對各指標性水生昆蟲進行分析，結果顯示龍蝨科隻數與掌草次數 ($p = 0.004$)、水深 ($p < 0.001$)、雜草 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關；蜻蜓科隻數與天數 ($p = 0.010$) 呈顯著正相關，與掌草次數 ($p = 0.004$) 呈顯著負相關；仰蝽科隻數與天數 ($p < 0.001$)、水深 ($p = 0.015$) 呈顯著正相關，與秧距 ($p < 0.001$)、掌草次數 ($p = 0.014$)、雜草 ($p < 0.001$) 呈顯著負相關 (表 2)。透過廣義線性迴歸將稻作後期農事操作對各指標性水生昆蟲進行分析，結果顯示龍蝨科隻數僅與水深 ($p = 0.003$) 呈顯著正相關；蜻蜓科隻數與秧距 ($p < 0.001$)、封壟時灌水 ($p < 0.001$)、水深 ($p = 0.002$) 呈顯著正相關，與天數 ($p < 0.001$) 呈顯著負相關；仰蝽科與天數 ($p < 0.001$)、秧距 ($p < 0.001$)、封壟時灌水 ($p < 0.001$)、水深 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與雜草呈顯著負相關 ($p = 0.005$) (表 2)。

(二) 農事操作對福壽螺族群及生物量之影響

農事操作對福壽螺隻數之影響，使用杜凱確實差異檢定，結果顯示福壽螺在水稻前期密秧距較疏秧距有顯著較高的隻數 ($p = 0.006$)；掌草次數在 0 次時較 2 次有顯著較高的隻數 ($p = 0.036$)；封壟時灌水較曬田施作有顯著較高的福壽螺隻數 ($p = 0.006$)；而後期不同秧距之間則沒有顯著差異 ($p = 0.239$) (圖 8)。另使用廣義線性迴歸將水稻前後期操作對福壽螺隻數進行分析，結果顯示福壽螺隻數在稻作前期與水深 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與天數 ($p < 0.001$)、秧距 ($p < 0.001$)、掌草次數 ($p < 0.001$)、及雜草

($p = 0.016$) 呈顯著負相關；在稻作後期與天數 ($p < 0.001$)、封壟時湛水 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與水深 ($p < 0.001$)、雜草 ($p < 0.001$) 呈顯著負相關 (表 2)。

農事操作對福壽螺濕重影響，使用杜凱確實差異檢定，結果顯示在水稻後期疏秧距較中秧距 ($p = 0.003$) 及密秧距 ($p = 0.042$) 皆有顯著較高的濕重；封壟時湛水較曬田施作有顯著較高的福壽螺濕重 ($p < 0.001$)；而在前期秧距 ($p = 0.816$) 與掌草頻度 ($p = 0.068$) 間則沒有顯著差異 (圖 9)。另使用廣義線性迴歸將水稻前後期操作對福壽螺濕重進行分析，結果顯示福壽螺濕重在稻作前期與水深 ($p < 0.001$) 呈顯著正相關，與秧距 ($p = 0.002$) 呈顯著負相關；在稻作後期與秧距 ($p = 0.029$)、插秧後天數 ($p < 0.001$)、封壟時湛水 ($p < 0.001$)、水深 ($p = 0.012$) 呈顯著正相關 (表 2)。

(三) 農事操作對稻米品質及產量之影響

農事操作對稻米百粒重之影響，使用單因子獨立變異數分析，結果顯示在秧距 ($p < 0.001$)、掌草次數 ($p = 0.005$)、曬田湛水 ($p = 0.019$) 皆有顯著差異，在雜草覆蓋則沒有顯著差異 ($p = 0.145$) (表 3)。透過杜凱確實差異檢定對秧距及掌草次數做事後檢定，結果顯示在疏秧距較密秧距 ($p < 0.001$) 及中秧距 ($p < 0.001$) 有顯著較低的百粒重；掌草次 0 次較 4 次 ($p = 0.005$) 有顯著較高的稻米百粒重，實行曬田有顯著較高的稻米百粒重 ($p = 0.019$) (圖 10)。

農事操作對稻米產量之影響，使用單因子獨立變異數分析，結果顯示在秧距 ($p < 0.001$)、曬田湛水 ($p = 0.031$) 有顯著差異，而在掌草次數 ($p = 0.335$)、雜草覆蓋 ($p = 0.776$) 則沒有顯著差異 (表 3)。透過杜凱確實差異檢定對秧距做事後檢定，結果顯示在疏秧距較中秧距 ($p = 0.021$)、密秧距 ($p < 0.001$) 有顯著較低的稻米產量，實行曬田有顯著較高的稻米產量 ($p = 0.031$) (圖 11)。

(四) 農事操作逐步選擇

透過逐步迴歸選擇法，以向前選擇方式增加重要的解釋因子，以獲得最佳的廣義線性迴歸模型。在稻作前期，對水生動物科數逐步增加的因子依序為：天數、雜草覆蓋、

及水深變因；對水生動物隻數逐步增加的因子依序為：天數、水深、秧距及雜草覆蓋變因；對福壽螺隻數逐步增加的因子依序為：秧距、水深、天數、掌草次數及雜草覆蓋；對福壽螺濕重逐步增加的因子依序為：水深及秧距（表 4）。


在稻作後期，對水生動物科數逐步增加的因子依序為：水深、曬田湛水、天數；對水生動物隻數逐步增加的因子依序為：曬田湛水、秧距、水深、天數及雜草覆蓋；對福壽螺隻數逐步增加的因子依序為：天數、曬田湛水、水深及雜草覆蓋；對福壽螺濕重逐步增加的因子依序為：水深、天數、曬田湛水、秧距、及雜草覆蓋（表 5）。

討論

實驗結果顯示，各科水生動物在農事前後期數量有所差異，推測可能與不同水生動物的生活史有關。前期各科的隻數較為平均，水生昆蟲中以仰蝽科及龍蝨科數量最大；而後期隻數則較集中在幾個科中，昆蟲綱中以仰蝽科及蜻蜓科數量最大。仰蝽科體型大多較小，而龍蝨科與蜻蜓科體型較大，且大多為幼蟲或稚蟲之型態，是主動捕食的較高階消費者。龍蝨科前期數量較多，推測原因為龍蝨科中的灰色龍蝨 (*Eretes sp.*) 播遷進入田間的速度較快，能在前期較早建立族群，並較快蛻變為成蟲 (Kingsley, 1985)。而蜻蜓科數量則後期較多，隨氣溫升高而開始活動，並開始交配繁殖 (葉文琪, 2009)，其稚蟲在體型及狩獵器官的特化上較龍蝨科更有優勢，使其在後期有較高的生物量。

另外，各水生動物中以福壽螺的數量最多，佔約總水生動物隻數的 43%，顯示福壽螺為水稻田中的優勢的物種。前期福壽螺數量較少，可反映試驗田區水旱輪作對福壽螺數量的抑制；後期福壽螺數量則上升十倍，可反映福壽螺為世界百大外來入侵種 (Lowe *et al.*, 2000)，具有驚人的繁殖力且無明確天敵抑制數量，故仍需透過農人積極防治，以免造成水稻危害。台灣在生態較友善田區的福壽螺防治，一般會先阻隔灌溉水流的引入再進行移除，移除方法包含：(1) 主動撿拾、(2) 誘集撿拾、(3) 撈網捕捉、(4) 陷阱捕捉、(5) 生物防治、(6) 施用苦茶粕 (廖君達, 2004; 葉一隆等, 2010; 張浣筑、葉一隆, 2013)。除撿拾具專一性外，撈網及陷阱常會捕獲其他水生動物，而使用生物防治及苦茶粕則會造成整體水生動物多樣性下降，故不易應用於以水生動物保育為目標的田區 (陳威承, 2020)。葉大詮等 (2009) 更指出原生水生動物如柴棺龜會攝食福壽螺，可能於未來達成新的動態平衡，維持水生動物多樣性也可能是抑制福壽螺的契機。目前田鱉米產區採用配合調查的換工活動，招募「穀東」以主動撿拾及使用撈網移除福壽螺，同時進行水稻田間水生動物之監測，以維護水稻田間生物多樣性平衡。近年對福壽螺的研究，逐漸轉向如何減少作物危害，如放低水位、水旱輪作、乾式植播及種植大秧 (Litsinger and Estano, 1993)，謀求與螺共存的模式。

水稻秧距在前期與後期對田間生物有不同的影響。在前期對水生動物隻數及福壽螺



隻數呈負相關；後期則與水生動物隻數及福壽螺濕重呈正相關。前期稻秧較小，田間植被稀疏且水面開闊，對水生動物而言，密秧距能提供較多的水稻植株作為棲息及躲藏的空間，也對福壽螺有較多的食物源，而吸引福壽螺集中；至於後期則因為秧苗茁壯，田間植被密布，行距間有足夠的稻葉作為掩體，水生動物則主要利用稻株間的底泥或水體棲息及覓食，故疏秧距提供足夠的水生動物活動空間，反而比密秧距有較高的生物量。稻米收成方面，疏秧距有較低的產量及百粒重，顯示空間充足卻無法有效率利用空間，也缺少競爭等健化機制；而密秧距則較中秧距在產量及百粒重上沒有差異。其結果反應在空間及肥力上利用的效率差異，Alam *et al.* (2012) 研究顯示在 15×25 的秧距水稻有最佳的產量，與本研究結果一致。然而在 Alam *et al.* (2012) 10 – 25 公分秧距差異中，每公頃產量的差異不超過 1 公噸，故推測若秧苗疏漏不嚴重，擁有較多空間的秧苗會有較多的分蘗數、單穗粒數及百粒重，在產量上應不會產生如本研究嚴重的產量差異。田間水位深處通常福壽螺對秧苗的危害較大，容易造成秧苗死亡，而造成有較寬的秧距，本研究建議在於田間水位較深處先密集或以小秧片形式補秧，容許部分秧苗被福壽螺啃食造成損失，除節約田間後期的勞力付出，也可自然創造疏秧距的空間，營造出微棲地上的空間異質度。

掌草次數被視為水稻田前期最大的擾動，但掌草次數卻不影響水生動物的科數及隻數，僅與福壽螺隻數呈負相關。根據中度干擾假說，水生動物隻數應隨擾動次數有不同變化，並在中度擾動狀態下有最高的物種多樣性 (Townsend *et al.*, 1997)，但本研究結果卻與其不符，推測水稻為短期且多擾動之作物，使用水稻田的生物對擾動容忍度較高 (Bambaradeniya and Amerasinghe, 2004)，在擾動後周圍水生動物族群能快速補充進樣區中，且各物種對掌草的擾動有不同反應，導致合計分析時沒有趨勢變化。結果也顯示掌草對移動速度較慢的福壽螺影響較大，機械攪動可能會造成福壽螺傷亡，有助於降低田間福壽螺數量，然而福壽螺隻數從 2 次掌草與 4 次掌草則沒有顯著差異。在稻米收成方面，百粒重於不同掌草次數有顯著差異，在次數最大的狀況下反而沒有最佳的品質表現，推測為過多的水田中耕，會對水稻根系造成過多的損害，使稻株需花費更多能量進行修復，而失去健化的功效。機械掌草是稻作前期較大規模的擾動，也是較費工的農事

操作，過去對於茅草對農田生態及生產的影響了解甚少，若能減少茅草的時間及次數，便能節省人力成本的支出。本研究建議僅需視田間雜草狀況安排 1—2 次茅草，可同時兼顧水生動物多樣性及水稻品質，亦可降低福壽螺數量；反觀過度茅草需耗費大量勞力，不僅無法提升稻米品質，也無助於降低福壽螺數量。

封壟時將田區排乾進行曬田，主要目的是控制水稻無效分蘖，並進行根系健化，使水稻有較好的結穗狀態(李健鋒等, 1996)。然在臺灣北部的山間水梯田，由於梯階較陡，放水曬乾容易造成土壤龜裂，使得田埂破損，故在操作上只能長期維持湛水(謝傳鎧, 2017)，更有農友認為在低肥力的田區可直接透過肥力不足來限制水稻分蘖，不需經過曬田操作處理。在田間實驗結果顯示，曬田操作在水稻百粒重及產量都有顯著的提高，充分反應農業長期試驗的成果—若要使水稻健壯豐產，需力行排水曬田。但對水生動物而言，田間保持湛水狀態，因土壤仍維持泥質，可提供水生動物較為穩定、易取食及易躲藏的環境，使水生動物科數及隻數有顯著的提升，湛水亦對福壽螺有數量及重量上的正相關。就農業觀點需要力行曬田，就水生動物多樣性觀點需維持湛水，本研究建議可由經營不同空間配置，於田間建立小規模的穩定湛水區域，作為水生動物的生物庇護所，也能增進田間灌排的穩定，如於農田外圍設立排水溝渠、於田埂邊緣挖排水溝，以兼顧生產及生態面向(Maltchik *et al.*, 2011)。

田間的水深是農人在種植水稻最重要的管理因子，過淺的水位易造成雜草孳生，過深的水位會使得福壽螺容易啃食秧苗(林金樹, 1985)，適時適切的水位深度能使水稻經營事半功倍。而在水生動物科數、隻數對水深大多具有正相關，在後期則更為顯著，可解釋為水深提供水生動物更多的立體結構棲息(Bambaradeniya and Amerasinghe, 2004)，尤其在較善泳的物種上更有顯著提升。福壽螺在前期隻數與濕重上與水深呈正相關，喜歡集中在低窪處覓食(葉一隆等, 2010)，而後期的隻數則與水深呈負相關，推測可能本期新生的小福壽螺集中在淺水處取食草芽所致。而在天數部分，隨著天數增加，田間氣溫及濕度逐漸增加，湛水的時間也更長，適宜水生動物生長，在各類水生動物上都有數量增加的趨勢，故建議農事操作盡可能提早執行，以減少擾動，避免造成水生動物傷亡。另如果在慣行田區能減少在生物繁殖高峰的稻作後期用藥，將能有助於增進生物多樣性

維護 (Morris *et al.*, 2005)，以達分享棲地 (land share) 的效果。雜草覆蓋能提供某些水生動物棲息與躲藏的空間，然而本實驗田間雜草主要為莎草科 (Cyperaceae) 植物，結構上較為鬆散，且後期多數植體會枯死，對於善泳的水生動物及福壽螺較不具吸引力，也對水稻的產量較不構成影響。

水生昆蟲被視為環境監測的指標，他們的反應可做為環境改變的預警，在藥物廣泛使用的田區不易觀察到其蹤跡 (Meneghel *et al.*, 2022)。本研究將田間數量最大的龍蝨科、蜻蜓科及仰蝽科對各操作變因做廣義線性迴歸分析。龍蝨科隻數僅對水深與前期掌草次數有顯著相關性；蜻蜓科隻數前期僅與掌草次數有顯著相關性，後期則與湛水、秧距、水深及雜草有顯著相關；仰蝽科則對所有變因都有顯著的相關性。因仰蝽科具有播遷速度快、族群數量充足、生活史侷限水域、對環境變化敏感的特性，且作為雙翅目的掠食者，能抑制田間的蚊蟲數量 (Eitam *et al.*, 2002)，故建議可透過撈網調查仰蝽科，做為長期監測水稻田間環境之指標生物 (indicator species)。而龍蝨科及蜻蜓科由於成蟲體型較大，有較高的食物鏈階層 (Ohba, 2009; 吳姿宜, 2019)，及易於觀察調查的特性，可作為農人或查驗員抽樣或補充的重要觀察紀錄。


由逐步迴歸選擇法可得知插秧後天數及水深是影響水生動物多樣性的重要因子，前期增加田間植被密度，後期盡量維持開闊及泥質，皆能提高水生動物多樣性。綜觀上述，農田水生動物多樣性隨著秧距加大、水深加深、擾動降低、維持湛水而增加；而主要危害生物福壽螺也隨著秧距加大、擾動降低、及維持湛水而增加；稻作產量則隨著秧距加大及維持湛水而減少。故建議以水生動物做為保育標的之水稻田區，在與田埂交界的四周讓出兩行稻秧的空間，可以避免田埂雜草與水稻過度交疊，保持田區通風良好，減少高溫潮濕發生病害的機會；開挖 5—10 公分深的水溝，以方便田區均勻灌溉，在曬田期間也能加速排水，減少田區不平整對水位管理的困難；同時也營造出疏秧距較疏、干擾較少、水位較深的場域，更可在曬田時維持該區域長期湛水，提供水生動物棲息。另田埂邊又是農人防治危害生物福壽螺最常巡顧的區塊，也可以方便進行移除，也避免田埂雜草往田間過度蔓延。另外農人也能透過水田中耕機來疏開秧距、減少雜草，透過秧距及雜草覆蓋度不同影響田間生物多樣性，因此可要求插秧機業者提高在來回與邊角處秧

苗交疊的數量，在插秧後 10 天的初次水田中耕時，跳過機器插秧因交疊而導致秧苗較密的區塊，待曬田前再透過水田中耕機的固定行距，將過度密集的秧苗翻攪進水田中。如此，可營造出前期植被較密、後期植被疏開的環境，也能保留秧苗以供後續補秧。

過去研究多探討農法對生物多樣性保育的影響，其中又以有機農法與集約慣行農法的比較佔多數 (Rahmann, 2011)，然由於農業生產過程複雜，很難明確定義農法，造成農人不易聚焦應用，而農法衍生的眾多認證標章也不易消費者辨識。田驚米農場是由保育行動發展而成農業品牌，有較高的生物多樣性、鑲嵌森林及無鄰田污染的優勢，故能較順利取得有慈心有機標章、綠色保育標章、友善石虎農作標章認證。南投石虎友善農作明確規範禁止使用獸夾及滅鼠藥，以保障石虎棲地品質，並透過生態系服務給付、品牌及通路建立，提高農人參與的誘因 (林育秀、莊書翔, 2021)。建議農田保育相關機構，可以生物多樣性為評估基礎，先以減少藥物使用、適量肥培管理及降低翻耕頻度 (Martin *et al.*, 2020; Billaud *et al.*, 2021) 的原則性管理方向著手，再因應在地環境及農事操作，建立監測及調整機制，歸納出適切當地的生態農法。本研究結果可作為生態系服務給付的基礎，以農事操作為查驗標準提供生態補償，提供農人明確的應用指引，發展兼顧生產及生態的穩定經營模式。

在農田地景組成中，生物多樣性的多寡主要受空間異質度 (spatial heterogeneity) 影響 (Fahrig *et al.*, 2011)。而異質度在不同的空間尺度下會產生不同的保育建議及詮釋：在區域 (regions) 地景尺度中，建議以土地節約方式，劃設生態補償區 (ecological compensation area) 或建立植物種源帶 (seed-rich strip)，並保留其中的木本植物 (Aviron *et al.*, 2009; Fischer *et al.*, 2010; Desquilbet *et al.*, 2017; Šálek *et al.*, 2022)。在農場間 (between-field) 尺度中，建議縮小每塊農田區塊 (patch) 的大小並增加作物種類數 (Fahrig *et al.*, 2015; Šálek *et al.*, 2018; Martin *et al.*, 2020)。在農場內 (In-field) 尺度則建議增加與周邊環境連結度 (Frey-Ehrenbold *et al.*, 2013)、維持灌溉溝渠系統 (Herzon and Helenius, 2008) 及增進植群多樣性 (Lin *et al.*, 2019)，甚至引入蜜源植物提高生物防治功效 (Kopta *et al.*, 2012)。以上地景異質度規劃，除增進生物多樣性外，也建議兼顧生產收益，近年各國政府皆致力於建立相關的補償政策框架及經營方式，期待透過經營異質度方式，保

育農田生物多樣性。



臺灣地狹人稠，農田大多破碎狹小，常鑲嵌著不同的棲地類型，與國際在農田管理的面積及規模上相差甚遠（方蕙菁等,2012）。一般認為，在農田地景上盡量建立自然棲地，配置上增加空間異質度是最有效的保育施作，故須先保留地景中的森林，再適地建立補償區。然農田地景配置仍需仰賴國土計畫確立各地功能分區、國土生態綠色網絡指認優先的保育軸帶，提供土地權益關係人合理的誘因及明確的經營方法，提高地景面對衝擊的韌性，以追求永續發展之願景。而小面積的農業鑲嵌地景，由於周邊棲地的連結度及品質較高，對生物多樣性增加有幫助（葛兆年等,2018）。在本研究試驗田區的經驗中，從既有埤塘、溝渠、農路、田埂、綠籬及菜園著手，會是最節省成本的保育方式：埤塘與溝渠建議盡可能提高與周邊棲地的連結度，包括橫向及縱向的連結；農路與田埂建議以土堤方式營造，可適量提升其所佔比例並將田區畫分細緻，除草以草生植栽方式保留部分植被；綠籬與菜園則建議可透過引入蜜源植物或原生植物復育，營造農田間的植群多樣性。在兼顧「地景組成」及「農事經營」的情況下，才能維持農田生物多樣性，以確保農田生態系的生產力及回復力。

農田生物多樣性是當代的重要保育議題，在棲地逐漸消失的情況下，農田中發展兼具生產、生態及生活共存的永續經營是未來的趨勢。近代集約的農業發展，使許多棲息在農田的生物大量消失，故應該更該關注農田地景生物多樣性保育，永續利用自然資源，串聯並縫合高山到海洋的藍綠帶，讓農田提供生態系服務，以自然為導向解決環境問題，達成與自然和諧共生之願景。

結論

本研究在苗栗淺山對農事經營對水生動物多樣性影響進行試驗及調查，結果發現水生動物偏好在後期疏秧距及湛水施作的區域，福壽螺則於前期偏好密秧距，孳草次數較少，後期則偏好疏秧距及湛水施作的區域，而在水深越深處水生動物及福壽螺的多樣性都會較高，而水稻產量則需施以曬田施作及適中的秧距。以上皆可作為農事經營的參考依據，另若欲於田間營造適合水生動物棲息的空間，則福壽螺也會聚集於此，故建議在農人於田埂周圍施作，以方便維護管理及移除福壽螺。另一方面，仰蝨科對環境變化反應明顯，對水域依存度高，適合做為水稻田地景中環境監測的指標生物。為維持農田所提供的生態系服務，應以生物多樣性為出發點，讓農田作為與周邊棲地的連結，建立當地適切的農事經營系統與框架，提供農人適量的誘因，永續經營資源，與自然和諧共存。

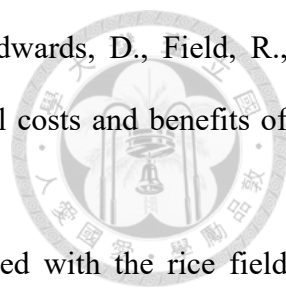
引用文獻



- 方蕙菁, 賴肅如, 許富雄, 2012. 田與邊緣棲地的鳥類相組成-兼談物理性防治對種食性鳥類的驅除效果. 植物保護學會會刊 54, 29-46.
- 吳永培, 廖大經, 周思儀, 2020. 優質水稻栽培管理技術 (下). 農業試驗所技術服務季刊 122, 15-20
- 吳姿宜, 2019. 臺灣島蜻蛉目物種之分布及水質指標應用性. 碩士論文. 國立臺灣大學
- 呂立中, 2019. 建物擴張與棲地管理對宜蘭休耕水稻田鳥類多樣性及棲地偏好的影響. 碩士論文. 國立臺灣大學.
- 李健擇, 宋勳, 陳世雄, 1996. 營養生長期提早斷水對水稻生育之影響. 臺中區農業改良場研究彙報 50, 1-9.
- 林立, 翁崧夏, 沈恕忻, 陳任芳, 游之穎, 楊大吉, 2015. 有機農田生態工法應用實例. 臺中區農業改良場特刊, 66-79.
- 林育秀, 莊書翔, 2021. 和農民一起守護石虎棲地—友善石虎農作認證之發展. 臺中區農業改良場特刊, 136-143.
- 林金樹, 1985. 福壽螺為害水稻產量之損失估計. 臺中區農業改良場研究彙報 11, 43~52.
- 范美玲, 蔡思聖, 林泰佑, 倪宇亭, 黃鵬, 李光中, 2013. 不同農業操作對台灣東部水稻田無脊椎動物多樣性之影響. 花蓮區農業改良場研究彙報, 53-63.
- 張浣筑, 葉一隆, 2013. 苦茶粕與無患子劑量之 pH 值特性與對福壽螺防治成效. 農業工程學報, 92-101
- 陳威廷, 2004. 有害生物對臺灣農業生態環境影響之經濟分析-以福壽螺, 果實蠅為例. 碩士論文. 國立臺灣大學
- 陳威承, 2020. 以生態友善法防治水田中福壽螺之研究. 碩士論文. 國立宜蘭大學.
- 陳榮宗, 溫婷安, 張慧婷, 李芄, 蘇慕容, 2018. 綠色保育友善耕作查證系統. 臺中區農業改良場特刊, 71-84.
- 葉一隆, 李怡賢, 陳庭堅, 2010. 福壽螺習性與阻隔防治探討. 農業工程學報 56, 57-62.



- 葉大詮, 林春富, 吳和瑾, 2009. 柴棺龜的食性探討. 自然保育季刊, 55-58.
- 葉文琪, 2009. 台灣蜻蜒目昆蟲的多樣性. 林業研究專訊 16, 25-29.
- 葛兆年, 許詩涵, 蘇聲欣, 鍾智昕, 王相華, 2018. 山村地景對鳥類多樣性的影響初探——以金山兩湖社區為例. 臺灣林業科學 33, 319-332.
- 董景生, 張德斌, 黃嘉龍, 李璟泓, 楊平世, 2015. 台灣產印度大田鱉基礎生物學. 台灣昆蟲 34, 251-261.
- 廖君達, 2004. 魚類在福壽螺生物防治上的應用. 臺中區農業改良場特刊, 32-32.
- 蔡思聖, 許宏昌, 徐仲禹, 黃國靖, 2019. 農業地景組成對稻田無脊椎動物群集結構與生態功能的影響. 花蓮區農業改良場研究彙報, 53-67.
- 蔡思聖, 許宏昌, 徐仲禹, 黃國靖, 吳文欽, 黃佳興, 范美玲, 2018. 乾溼交替節水灌溉方法對水稻田稻叢及水域無脊椎動物群集功能多樣性的影響. 花蓮區農業改良場研究彙報, 13-29.
- 謝傳鎧, 2017. 貢寮水梯田耕作社群之傳統生態知識變遷: 以灌溉水管理為例. 碩士論文. 國立臺灣大學.
- 謝敬華, 陳添水, 柳婉郁, 2021. 農地生態系 服務評估架構與方法. 自然保育季刊, 34-43.
- Alam, M., Baki, M., Sultana, M., Ali, K., Islam, M., 2012. Effect of variety, spacing and number of seedlings per hill on the yield potentials of transplant aman rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 2, 10-15.
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In, *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes*. Elsevier, pp. 19-31.
- Alvarez, T., Frampton, G.K., Goulson, D., 2001. Epigeic Collembola in winter wheat under organic, integrated and conventional farm management regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83, 95-110.
- Aviron, S., Nitsch, H., Jeanneret, P., Buholzer, S., Luka, H., Pfiffner, L., Pozzi, S., Schüpbach, B., Walter, T., Herzog, F., 2009. Ecological cross compliance promotes farmland biodiversity in Switzerland. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 247-252.

- 
- Balmford, A., Amano, T., Bartlett, H., Chadwick, D., Collins, A., Edwards, D., Field, R., Garnsworthy, P., Green, R., Smith, P., 2018. The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nature sustainability* 1, 477-485.
- Bambaradeniya, C.N., Amerasinghe, F.P., 2004. Biodiversity associated with the rice field agroecosystem in Asian countries: a brief review.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in ecology & evolution* 18, 182-188.
- Billaud, O., Vermeersch, R.I., Porcher, E., 2021. Citizen science involving farmers as a means to document temporal trends in farmland biodiversity and relate them to agricultural practices. *Journal of Applied Ecology* 58, 261-273.
- Birkhofer, K., Rusch, A., Andersson, G.K., Bommarco, R., Dänhardt, J., Ekbom, B., Jönsson, A., Lindborg, R., Olsson, O., Rader, R., 2018. A framework to identify indicator species for ecosystem services in agricultural landscapes. *Ecological Indicators* 91, 278-286.
- Burlakova, L.E., Karatayev, A.Y., Padilla, D.K., Cartwright, L.D., Hollas, D.N., 2009. Wetland restoration and invasive species: apple snail (*Pomacea insularum*) feeding on native and invasive aquatic plants. *Restoration Ecology* 17, 433-440.
- Cain, D.J., Luoma, S.N., Carter, J.L., Fend, S.V., 1992. Aquatic insects as bioindicators of trace element contamination in cobble-bottom rivers and streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 2141-2154.
- Carlsson, N.O., Brönmark, C., Hansson, L.-A., 2004. Invading herbivory: the golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology* 85, 1575-1580.
- Carvalho, L.G., Veldtman, R., Shenkute, A.G., Tesfay, G.B., Pirk, C.W.W., Donaldson, J.S., Nicolson, S.W., 2011. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. *Ecology letters* 14, 251-259.
- Chapagain, T., Yamaji, E., 2010. The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and*

Water Environment 8, 81-90.

Chauhan, B.S., Johnson, D.E., 2011. Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. *Field Crops Research* 121, 226-231.

Chouangthavy, B., Sanguansub, S., Das, A., 2021. Sustainable organic farming supports diversity of Coleopteran beetles as a good indicator taxon: a case study from central Lao PDR. *Organic Agriculture* 11, 615-624.

Costanza, R., dArge, R., De Groot, R., Farber, S., Gras so, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., 1997. The value of the worlds ecosystem services and natural capital. *nature* 387, 253-260.

De Ponti, T., Rijk, B., Van Ittersum, M.K., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems* 108, 1-9.

Desquilbet, M., Dorin, B., Couvet, D., 2017. Land sharing vs land sparing to conserve biodiversity: How agricultural markets make the difference. *Environmental Modeling & Assessment* 22, 185-200.

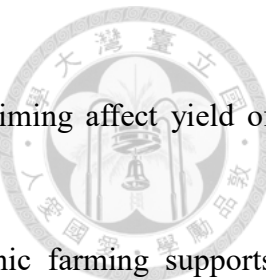
Dijkstra, K.-D.B., Monaghan, M.T., Pauls, S.U., 2014. Freshwater biodiversity and aquatic insect diversification. *Annual review of entomology* 59, 143-163.

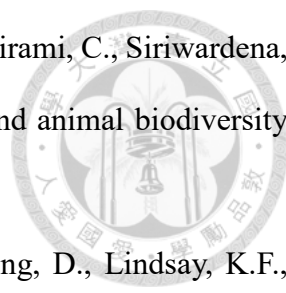
Dudley, N., Alexander, S., 2017. Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity* 18, 45-49.

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for sustainable development* 35, 1259-1281.

Eitam, A., Blaustein, L., Mangel, M., 2002. Effects of *Anisops sardea* (Hemiptera: Notonectidae) on oviposition habitat selection by mosquitoes and other dipterans and on community structure in artificial pools. *Hydrobiologia* 485, 183-189.

Elphick, C.S., Baicich, P., Parsons, K.C., Fasola, M., Mugica, L., 2010. The future for research on waterbirds in rice fields. *Waterbirds* 33, 231-243.



- 
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology letters* 14, 101-112.
- Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A., Javorek, S., King, D., Lindsay, K.F., Mitchell, S., Tischendorf, L., 2015. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 219-234.
- Fischer, J., Zerger, A., Gibbons, P., Stott, J., Law, B.S., 2010. Tree decline and the future of Australian farmland biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 19597-19602.
- Frey-Ehrenbold, A., Bontadina, F., Arlettaz, R., Obrist, M.K., 2013. Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices. *Journal of Applied Ecology* 50, 252-261.
- Froidevaux, J.S., Louboutin, B., Jones, G., 2017. Does organic farming enhance biodiversity in Mediterranean vineyards? A case study with bats and arachnids. *Agriculture, ecosystems & environment* 249, 112-122.
- Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., Breeze, T.D., 2017. Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology & evolution* 32, 68-80.
- Goded, S., Ekroos, J., Azcárate, J.G., Guitián, J.A., Smith, H.G., 2019. Effects of organic farming on plant and butterfly functional diversity in mosaic landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 284, 106600.
- Halwart, M., 1994. The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. *International Journal of Pest Management* 40, 199-206.
- Henle, K., Alard, D., Clitherow, J., Cobb, P., Firbank, L., Kull, T., McCracken, D., Moritz, R.F., Niemelä, J., Rebane, M., 2008. Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe—A review. *Agriculture, Ecosystems*

& Environment 124, 60-71.

Herzon, I., Helenius, J., 2008. Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biological conservation* 141, 1171-1183.

Hodgson, J.A., Kunin, W.E., Thomas, C.D., Benton, T.G., Gabriel, D., 2010. Comparing organic farming and land sparing: optimizing yield and butterfly populations at a landscape scale. *Ecology Letters* 13, 1358-1367.

Hole, D.G., Perkins, A., Wilson, J., Alexander, I., Grice, P., Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological conservation* 122, 113-130.

Hopwood, J.L., 2008. The contribution of roadside grassland restorations to native bee conservation. *Biological conservation* 141, 2632-2640.

Horgan, F.G., Crisol Martínez, E., Stuart, A.M., Bernal, C.C., de Cima Martín, E., Almazan, M.L.P., Ramal, A.F., 2019. Effects of vegetation strips, fertilizer levels and varietal resistance on the integrated management of arthropod biodiversity in a tropical rice ecosystem. *Insects* 10, 328.

Jeanneret, P., Lüscher, G., Schneider, M.K., Pointereau, P., Arndorfer, M., Bailey, D., Balázs, K., Báldi, A., Choisis, J.-P., Dennis, P., 2021. An increase in food production in Europe could dramatically affect farmland biodiversity. *Communications Earth & Environment* 2, 1-8.

Karim, R.S., Man, A.B., Sahid, I.B., 2004. Weed problems and their management in rice fields of Malaysia: an overview. *Weed Biology and Management* 4, 177-186.

Katayama, N., Osada, Y., Mashiko, M., Baba, Y.G., Tanaka, K., Kusumoto, Y., Okubo, S., Ikeda, H., Natuhara, Y., 2019. Organic farming and associated management practices benefit multiple wildlife taxa: a large-scale field study in rice paddy landscapes. *Journal of Applied Ecology* 56, 1970-1981.

Kingsley, K.J., 1985. *Eretes sticticus* (L.) (Coleoptera: Dytiscidae) : life history observations and an account of a remarkable event of synchronous emigration from a temporary



desert pond. *The Coleopterists Bulletin*, 7-10.

Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food policy* 32, 25-48.

Kopta, T., Pokluda, R., Psota, V., 2012. Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Horticultural Science* 39, 89-96.

Koshida, C., Katayama, N., 2018. Meta-analysis of the effects of rice-field abandonment on biodiversity in Japan. *Conservation Biology* 32, 1392-1402.

Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M., 1999. The second silent spring? *Nature* 400, 611-612.

Li, D., Chen, S., Lloyd, H., Zhu, S., Shan, K., Zhang, Z., 2013. The importance of artificial habitats to migratory waterbirds within a natural/artificial wetland mosaic, Yellow River Delta, China. *Bird Conservation International* 23, 184-198.

Lin, D.-L., Fu, S.-W., Yuan, H.-W., Ding, T.-S., 2019. Bird species richness in relation to land-use patch structure and vegetation structure in a forest-agriculture mosaic. *Ornithological Science* 18, 135-147.

Litsinger, J., Estano, D.B., 1993. Management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice. *Crop Protection* 12, 363-370.

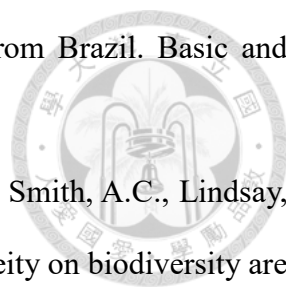
Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M., 2000. 100 of the worlds worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. *Invasive Species Specialist Group Auckland*.

Luo, Y., Fu, H., Traore, S., 2014. Biodiversity conservation in rice paddies in China: toward ecological sustainability. *Sustainability* 6, 6107-6124.

Maltchik, L., Rolon, A.S., Stenert, C., Machado, I.F., Rocha, O., 2011. Can rice field channels contribute to biodiversity conservation in Southern Brazilian wetlands? *Revista de Biologia tropical* 59, 1895-1914.

Maltchik, L., Stenert, C., Batzer, D.P., 2017. Can rice field management practices contribute to



- 
- the conservation of species from natural wetlands? Lessons from Brazil. *Basic and Applied Ecology* 18, 50-56.
- Martin, A.E., Collins, S.J., Crowe, S., Girard, J., Naujokaitis-Lewis, I., Smith, A.C., Lindsay, K., Mitchell, S., Fahrig, L., 2020. Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 288, 106698.
- McIntyre, S., McGinness, H., Gaydon, D., Arthur, A., 2011. Introducing irrigation efficiencies: prospects for flood-dependent biodiversity in a rice agro-ecosystem. *Environmental conservation* 38, 353-365.
- Meneghel, R.E., Pires, M.M., Stenert, C., Maltchik, L., 2022. Intensification of the rice cultivation cycle reduces the diversity of aquatic insect communities in southern Brazilian irrigated rice fields. *Journal of Insect Conservation*, 1-10.
- Mondal, M.M.A., Puteh, A.B., Ismail, M.R., Rafii, M.Y., 2013. Optimizing plant spacing for modern rice varieties. *International Journal of Agriculture and Biology* 15.
- Morris, A.J., Wilson, J.D., Whittingham, M.J., Bradbury, R.B., 2005. Indirect effects of pesticides on breeding yellowhammer (*Emberiza citrinella*). *Agriculture, ecosystems & environment* 106, 1-16.
- Munyuli, T., 2012. Assessment of indicator species of butterfly assemblages in coffee–banana farming system in central Uganda. *African Journal of Ecology* 50, 77-89.
- Naylor, R., 1996. Invasions in agriculture: assessing the cost of the golden apple snail in Asia. *Ambio*, 443-448.
- Norris, K., 2008. Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation letters* 1, 2-11.
- Ohba, S.-y., 2009. Feeding habits of the diving beetle larvae, *Cybister brevis* Aubé (Coleoptera: Dytiscidae) in Japanese wetlands. *Applied Entomology and Zoology* 44, 447-453.
- Östman, Ö., Ekblom, B., Bengtsson, J., 2001. Landscape heterogeneity and farming practice

- influence biological control. *Basic and Applied Ecology* 2, 365-371.
- Phalan, B., Green, R.E., Dicks, L.V., Dotta, G., Feniuk, C., Lamb, A., Strassburg, B.B., Williams, D.R., Ermgassen, E.K.z., Balmford, A., 2016. How can higher-yield farming help to spare nature? *Science* 351, 450-451.
- Phang, S.C., Failler, P., Bridgewater, P., 2020. Addressing the implementation challenge of the global biodiversity framework. *Biodiversity and Conservation* 29, 3061-3066.
- Ponisio, L.C., MGonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., De Valpine, P., Kremen, C., 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282, 20141396.
- Rahmann, G., 2011. Biodiversity and organic farming: what do we know? *vTI Agriculture and Forestry Research* 3, 189-208.
- Rodenburg, J., Johnson, D., 2009. Weed management in rice-based cropping systems in Africa. *Advances in agronomy* 103, 149-218.
- Salazar-Ordóñez, M., Rodríguez-Entrena, M., Villanueva, A.J., 2021. Exploring the commodification of biodiversity using olive oil producers' willingness to accept. *Land Use Policy* 107, 104348.
- Sihag, S., Singh, M., Meena, R., Naga, S., Bahadur, S., Gaurav, Y.R., 2015. Influences of spacing on growth and yield potential of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Ecoscan* 9, 517-519.
- Šálek, M., Bažant, M., Žmihorski, M., Gamero, A., 2022. Evaluating conservation tools in intensively-used farmland: Higher bird and mammal diversity in seed-rich strips during winter. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 327, 107844.
- Šálek, M., Hula, V., Kipson, M., Daňková, R., Niedobová, J., Gamero, A., 2018. Bringing diversity back to agriculture: Smaller fields and non-crop elements enhance biodiversity in intensively managed arable farmlands. *Ecological Indicators* 90, 65-73.
- Takeuchi, K., 2010. Rebuilding the relationship between people and nature: the Satoyama

Initiative. *Ecological research* 25, 891-897.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., Dantonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., Swackhamer, D., 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *science* 292, 281-284.

Townsend, C.R., Scarsbrook, M.R., Dolédec, S., 1997. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnology and oceanography* 42, 938-949.

Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T.C., Westphal, C., Batáry, P., 2021. Beyond organic farming—harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology & Evolution* 36, 919-930.

Tuck, S.L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L.A., Bengtsson, J., 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of applied ecology* 51, 746-755.

Wanger, T.C., DeClerck, F., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Kleijn, D., Klein, A.-M., Kremen, C., Mooney, H., Perfecto, I., Powell, L.L., 2020. Integrating agroecological production in a robust post-2020 Global Biodiversity Framework. *Nature Ecology & Evolution* 4, 1150-1152.

Weibull, A.-C., Östman, Ö., Granqvist, Å., 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity & Conservation* 12, 1335-1355.

Wilcove, D.S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A., Losos, E., 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48, 607-615.

Wilson, A., Watts, R., Stevens, M., 2008. Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate diversity in Australian rice fields. *Ecological Research* 23, 565-572.

Yang, B., Banerjee, S., Herzog, C., Ramírez, A.C., Dahlin, P., van der Heijden, M.G., 2021. Impact of land use type and organic farming on the abundance, diversity, community composition and functional properties of soil nematode communities in vegetable

farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 318, 107488.



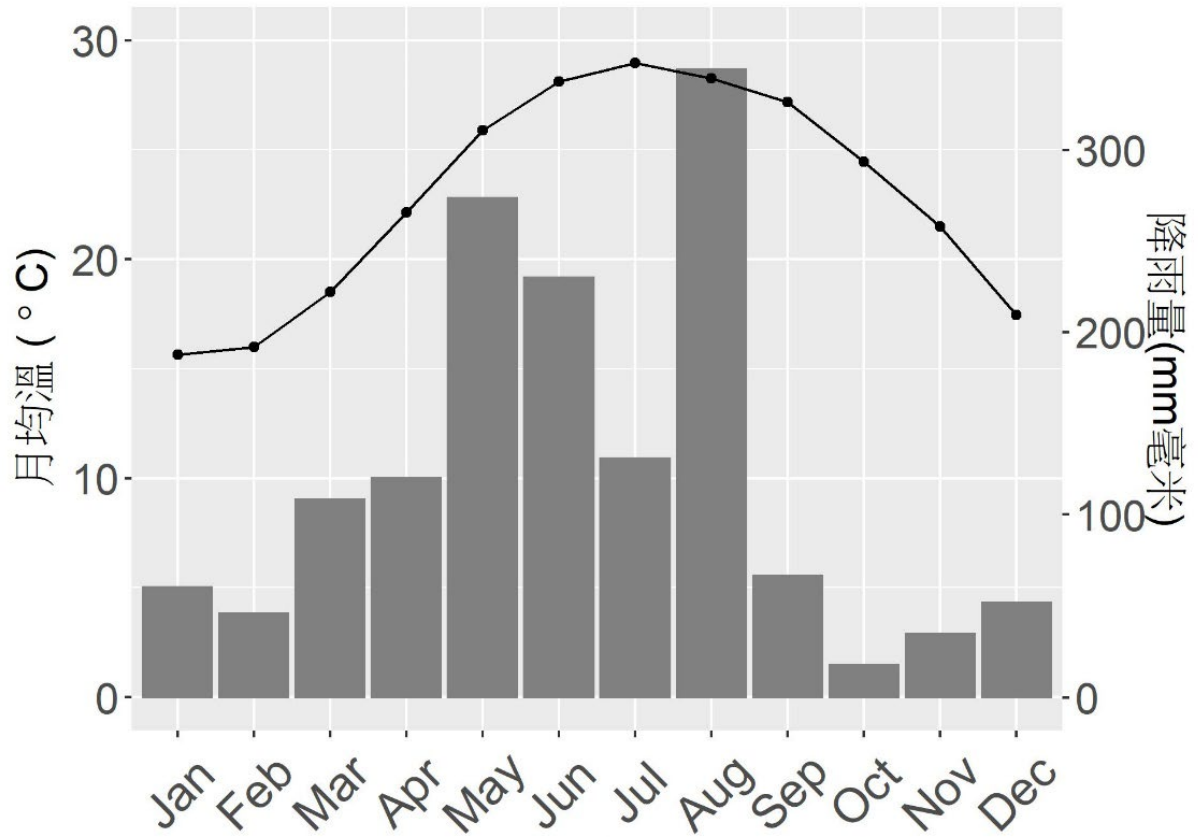


圖 1、苗栗通霄月均溫與月累積雨量分布圖。由 2012—2021 年中央氣象局資料製圖

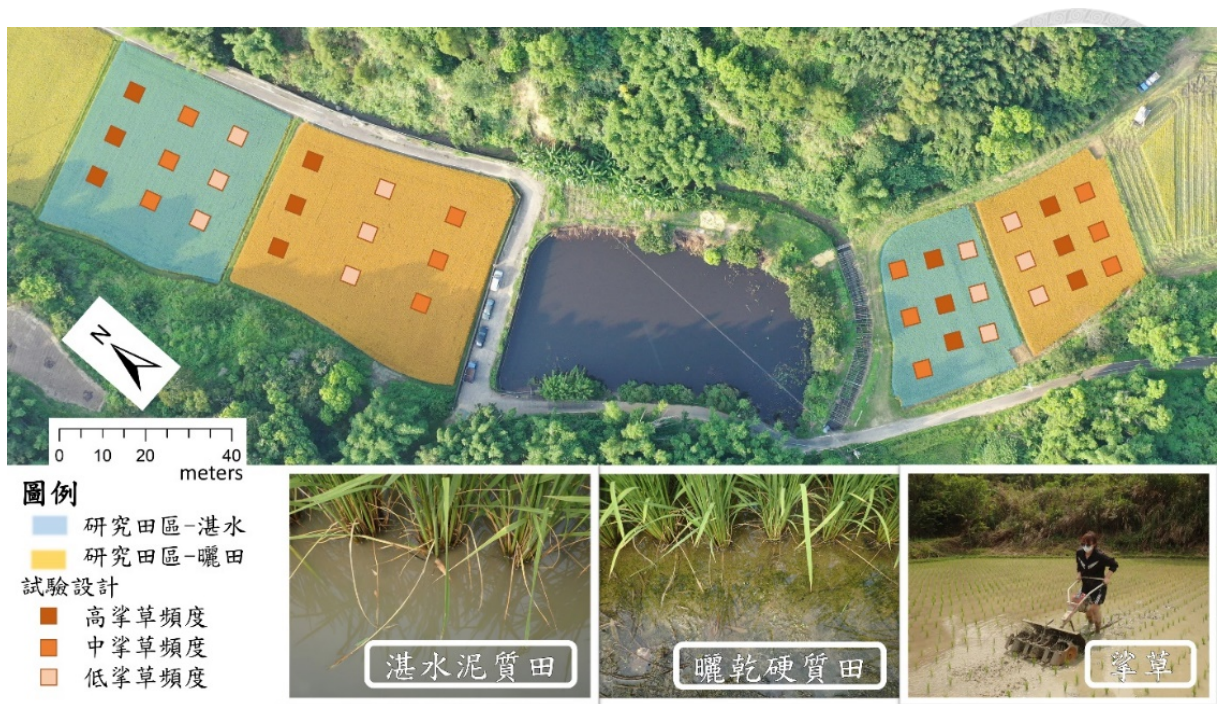


圖 2、樣區設計—孳草方式與曬田港水施作。設計孳草頻度 3 層次，每行列有同樣的孳草頻度。曬田港水 2 層次，每一田區有同樣的港水或曬田施作。。



圖 3、樣區設計—秧距疏密與曬田港水施作。設計秧距為 3 層次，隨機安排於田間。曬田港水 2 層次，每一田區有同樣的港水或曬田施作。。

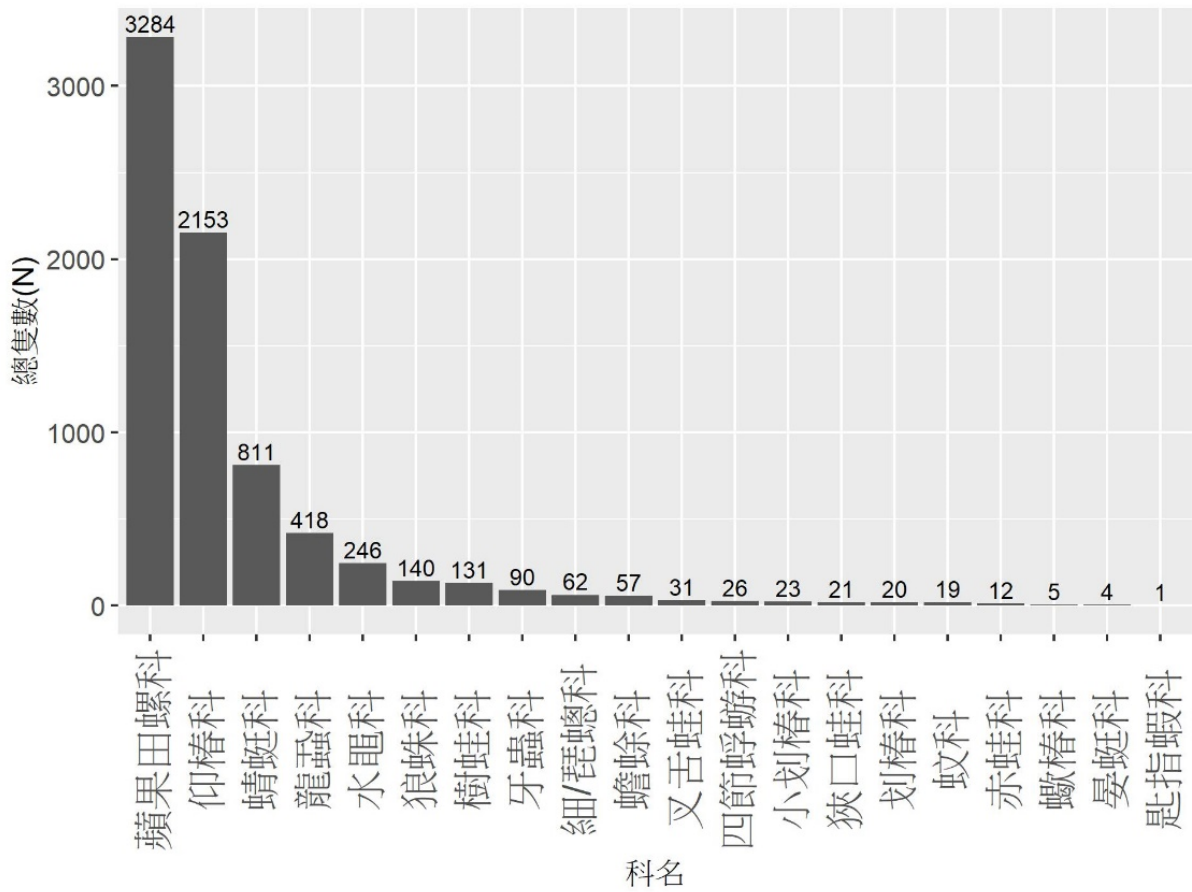


圖 4、水田調查生物科別及各科生物隻數

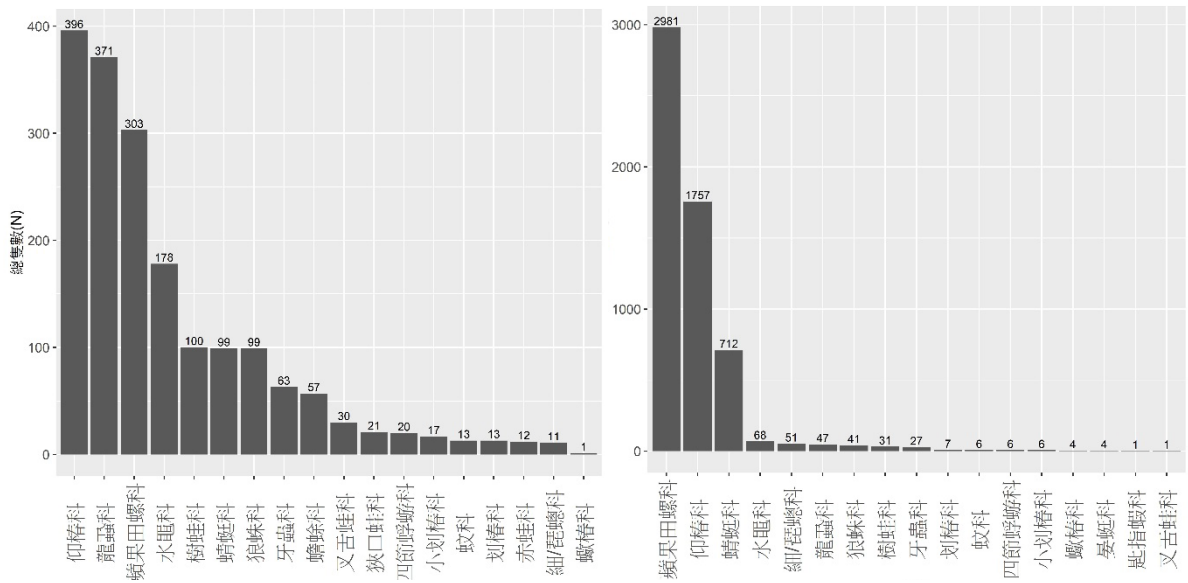


圖 5、水田調查前後期各科生物隻數。插秧後 50 天時水稻封壟，停止補秧、掌草、撿螺等農事，並開始進行排水曬田，故以 50 天為界區分前期、後期。

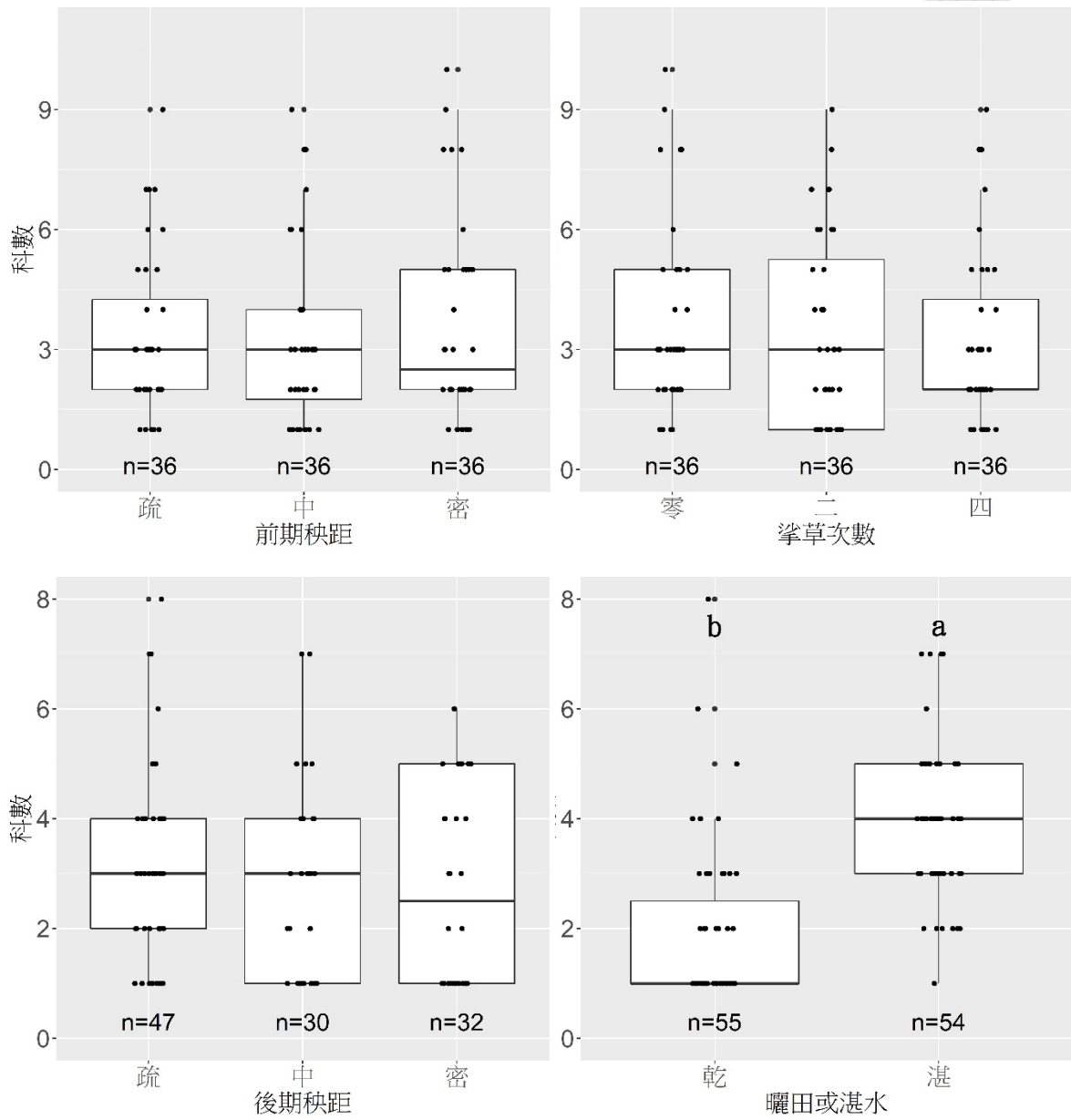


圖 6、不同農事操作對水生動物科數影響關係圖

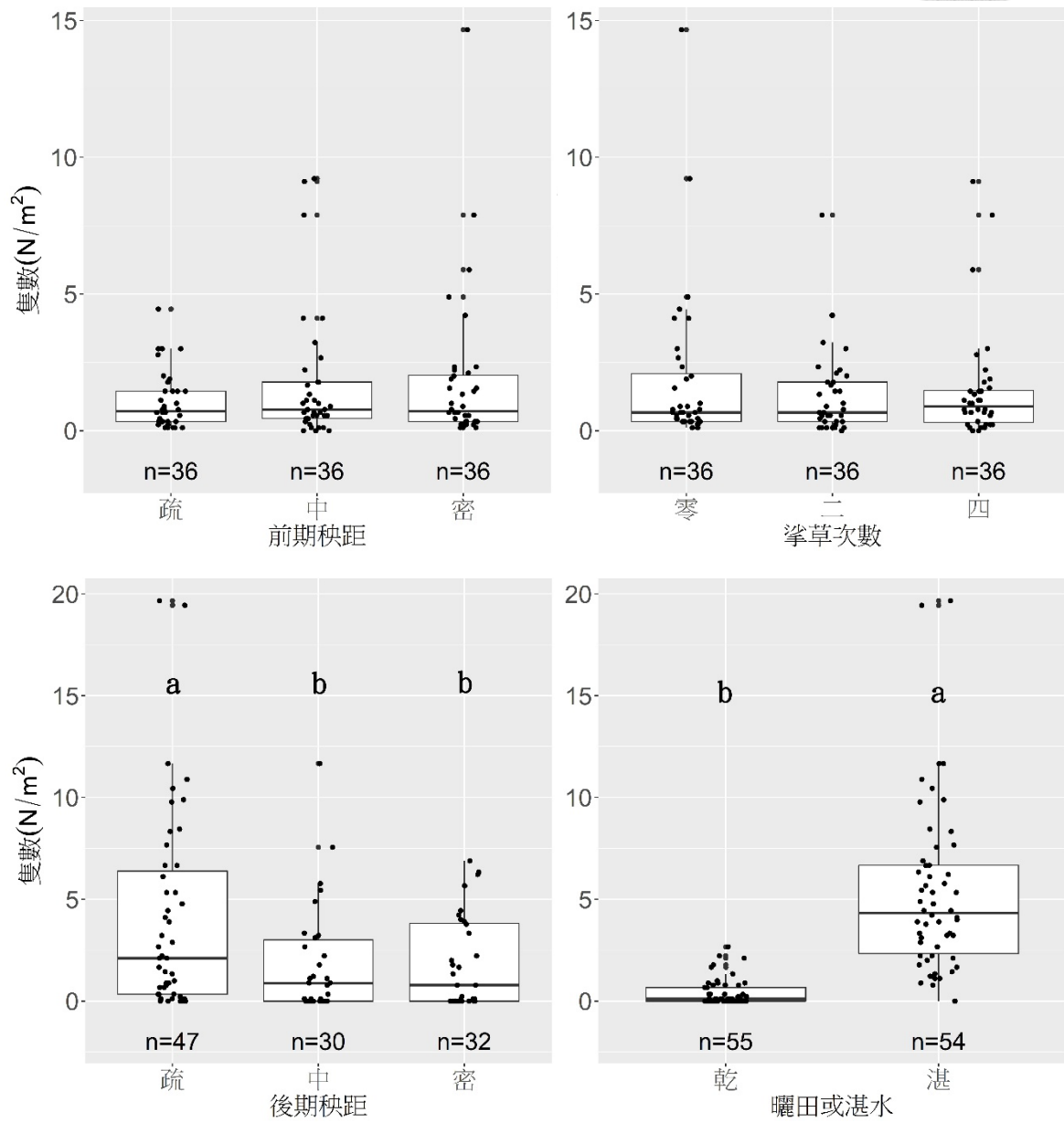


圖 7、不同農事操作對水生動物隻數影響關係圖

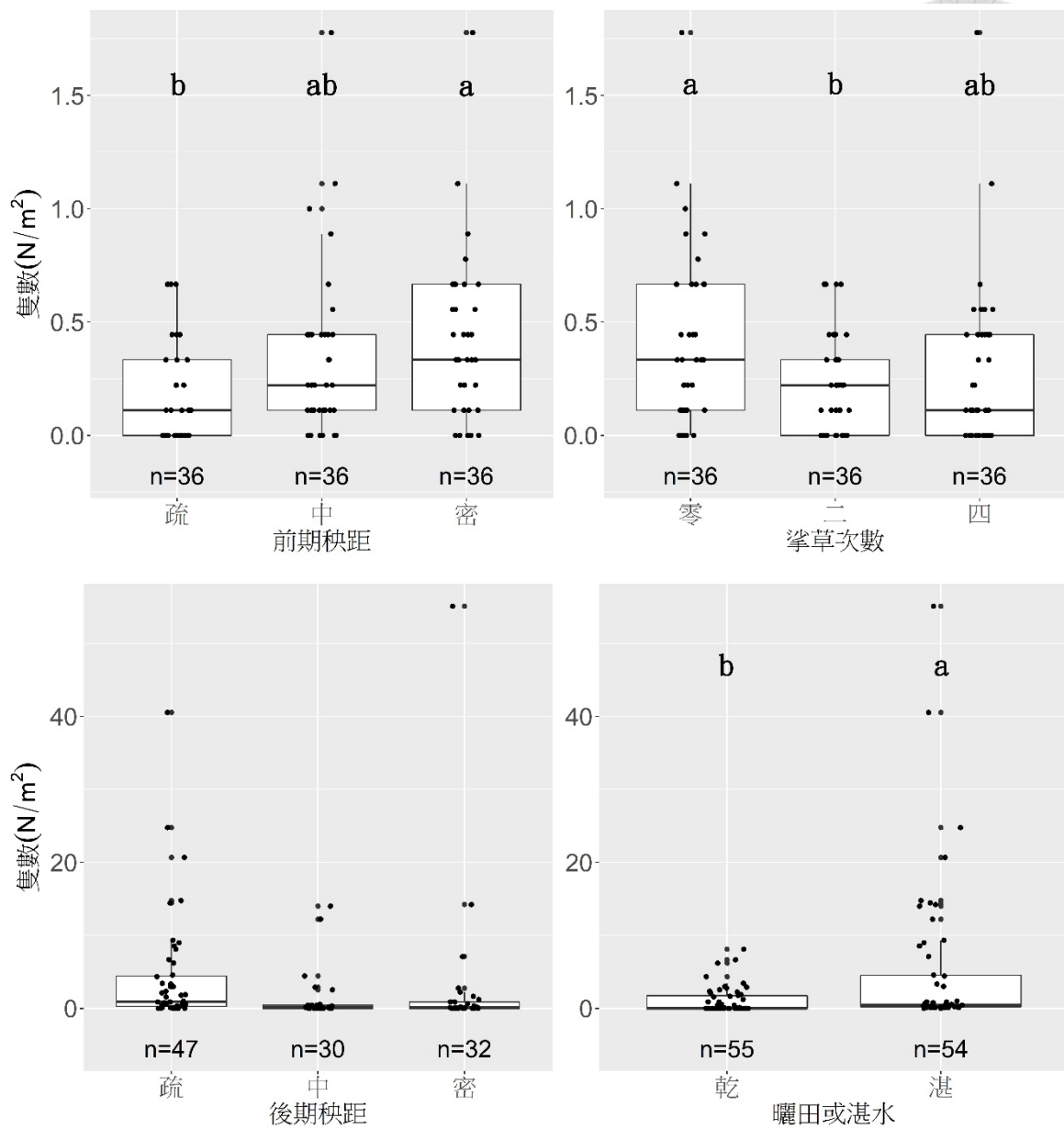


圖 8、不同農事操作對福壽螺隻數影響關係圖

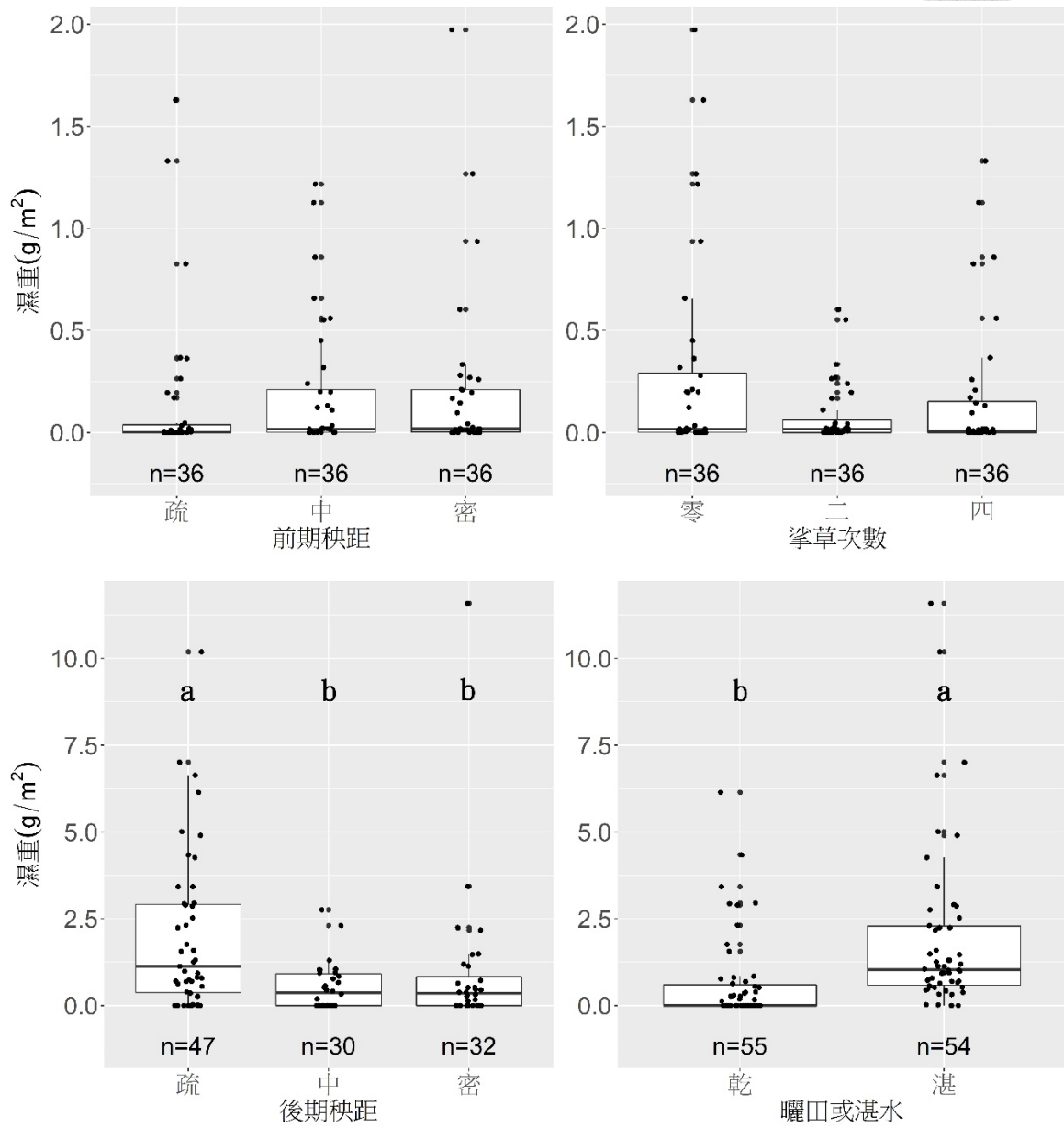


圖 9、不同農事操作對福壽螺濕重影響關係圖

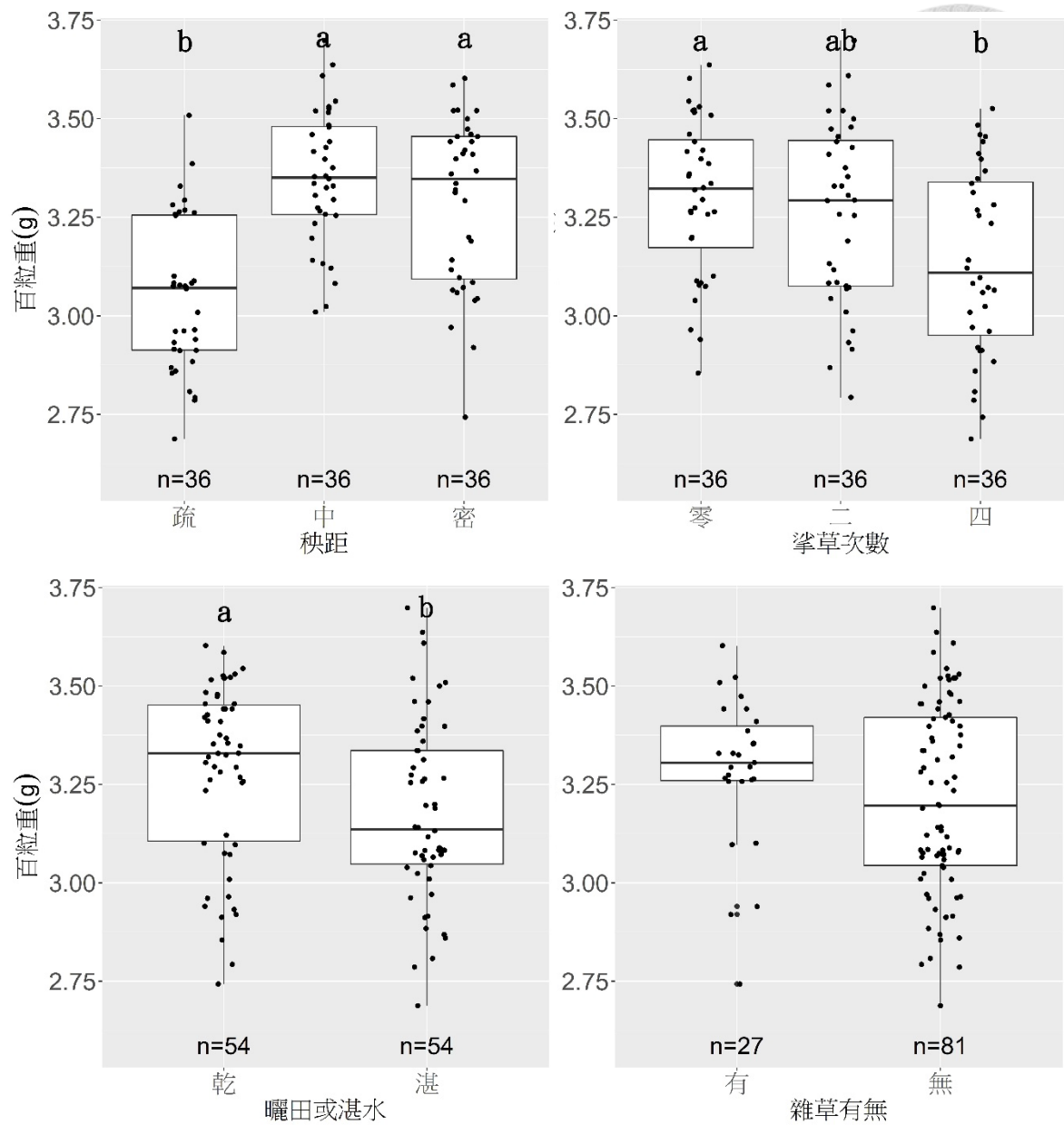


圖 10、不同農事操作對水稻百粒重影響關係圖

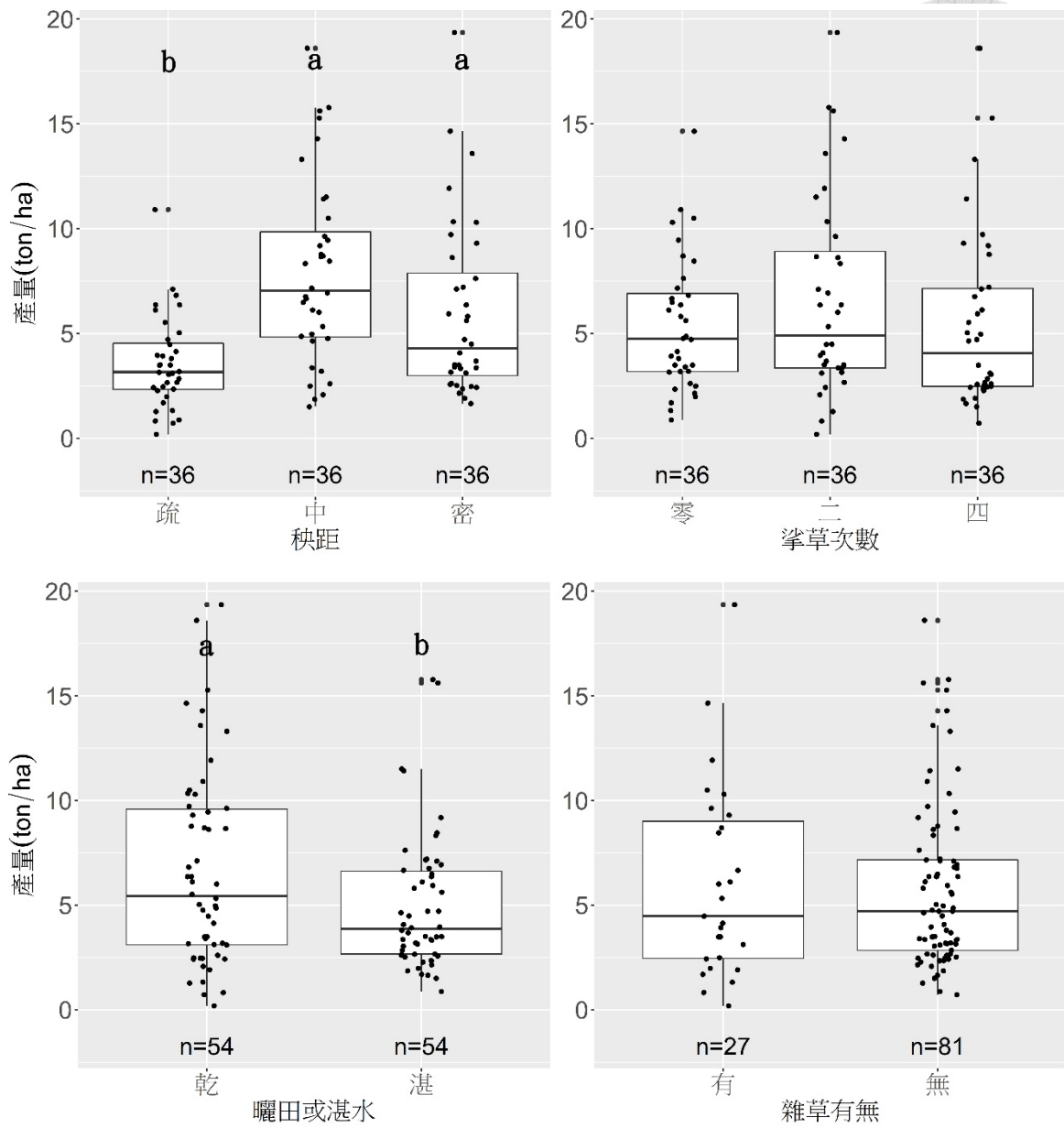


圖 11、不同農事操作對水稻產量影響關係圖

表 1、樣區一覽表

樣區	秧距 (cm)	拔草次數	曬田湛水	平均水深 (cm)	雜草覆蓋
2-1.	9	0	1	4.58	0
2-2.	36	0	1	2.32	1
2-3.	18	0	1	2.62	1
2-4.	36	2	1	3.81	0
2-5.	18	2	1	3.03	0
2-6.	9	2	1	2.39	0
2-7.	18	4	1	3.96	0
2-8.	9	4	1	2.95	0
2-9.	36	4	1	4.08	0
3-1.	9	2	0	2.23	1
3-2.	18	2	0	4.50	1
3-3.	36	2	0	1.98	1
3-4.	9	0	0	1.36	1
3-5.	36	0	0	3.43	1
3-6.	18	0	0	3.68	1
3-7.	36	4	0	2.42	0
3-8.	9	4	0	3.55	1
3-9.	18	4	0	2.90	0
4-1.	18	0	1	5.93	0
4-2.	9	0	1	3.57	0
4-3.	36	0	1	5.69	0
4-4.	9	4	1	4.62	0
4-5.	18	4	1	3.63	0
4-6.	36	4	1	5.03	0
4-7.	36	2	1	5.23	0
4-8.	9	2	1	4.48	0
4-9.	18	2	1	4.57	0
5-1.	9	2	0	7.36	0
5-2.	18	2	0	5.65	0
5-3.	36	2	0	6.19	0
5-4.	18	4	0	6.90	0
5-5.	36	4	0	5.74	0
5-6.	9	4	0	5.42	0
5-7.	36	0	0	6.78	0
5-8.	9	0	0	5.17	0
5-9.	18	0	0	6.03	0



表 2、田間各因子的廣義線性迴歸分析。插秧後 50 天時水稻封壟，停止補秧、掌草、撿螺等農事，並開始進行排水曬田，故以 50 天為界區分前期、後期。

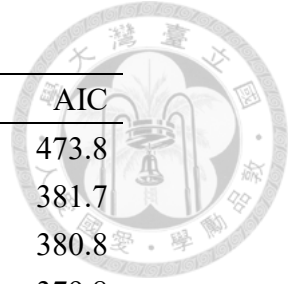
	天數	秧距 (cm)	掌草次數	曬田湛水 (0,1)	水深 (cm)	雜草
前期						
水生動物科數	+++					+
水生動物隻數	+++	---			+++	+++
龍蝨科隻數			++		+++	+++
蜻蜓科隻數	+		--			
仰蝽科隻數	+++	---	-		+	---
福壽螺隻數	---	---	---		+++	-
福壽螺濕重		--			+++	
後期						
水生動物科數				++	+++	
水生動物隻數	+++	+++		+++	+++	---
龍蝨科隻數					++	
蜻蜓科隻數	---	+++		+++	++	
仰蝽科隻數	+++	+++		+++	+++	--
福壽螺隻數	+++			+++	---	---
福壽螺濕重	+++	+		+++	+	

註:符號 + 及 - 代表與變因呈正相關與負相關。符號數量則表示不同 P 值 (+ : 0.01 < P value < 0.05 ; ++ : 0.001 < P value < 0.01 ; +++ : P value < 0.001)。

表 3、農事操作對稻米產量的單因子獨立變異數分析

	df	Sum.sq	Mean sq	F value	P value
稻米百粒重					
秧距	2	1.8	0.90	24.17	<0.001
茅草次數	2	0.5	0.27	5.47	<0.010
曬田湛水	1	0.3	0.29	5.65	<0.050
雜草有無	1	0.1	0.11	2.16	0.145
稻米產量					
秧距	2	341.2	170.61	12.38	<0.001
茅草次數	2	36.8	18.41	1.10	0.335
曬田湛水	1	77.3	77.26	4.79	<0.050
雜草有無	1	1.4	1.37	0.08	0.776

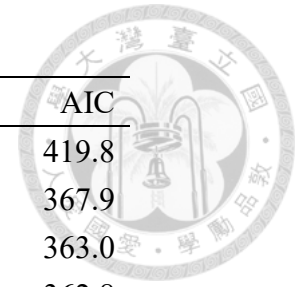
表 4、水稻生長前期 (<50 天) 逐步分析模型選擇



應變數	逐步增加變因	AIC
水生動物科數	空模型	473.8
	— 天數	381.7
	— 雜草	380.8
	— 水深	379.8
	增加後模型	天數 + 雜草 + 水深
水生動物隻數	空模型	2356.8
	— 天數	1573.5
	— 水深	1498.0
	— 秧距	1413.0
	— 雜草	1348.3
	增加後模型	天數 + 水深 + 秧距 + 雜草
福壽螺隻數	空模型	579.1
	— 秧距	548.7
	— 水深	524.3
	— 天數	507.3
	— 茅草次數	500.2
	— 雜草	495.7
	增加後模型	秧距 + 水深 + 天數 + 茅草次數 + 雜草
福壽螺濕重	空模型	566.6
	— 水深	557.8
	— 秧距	549.9
增加後模型	水深 + 秧距	

表 5、水稻生長後期 (>50 天) 逐步分析模型選擇

應變數	逐步增加變因	AIC
水生動物科數	空模型	419.8
	—水深	367.9
	—曬田湛水	363.0
	—天數	362.8
增加後模型	水深 + 曬田湛水 + 天數	
水生動物隻數	空模型	4600.3
	—曬田湛水	2138.3
	—秧距	1757.4
	—水深	1445.2
	—天數	1312.9
	—雜草	1272.0
增加後模型	曬田湛水 + 秧距 + 水深 + 天數 + 雜草	
福壽螺隻數	空模型	9020.3
	—天數	3796.1
	—曬田湛水	2366.9
	—水深	2253.4
	—雜草	2221.9
增加後模型	天數 + 曬田湛水 + 水深 + 雜草	
福壽螺濕重	空模型	632.2
	—水深	588.6
	—天數	562.6
	—曬田湛水	536.3
	—秧距	533.4
	—雜草	532.4
增加後模型	水深 + 天數 + 曬田湛水 + 秧距 + 雜草	





附錄 1、田鱉米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
哺乳類	鼬獾	<i>Melogale moschata subaurantiaca</i>
	白鼻心	<i>Paguma larvata</i>
	食蟹獾	<i>Herpestes urva formosanus</i>
	石虎	<i>Prionailurus bengalensis</i>
	台灣野兔	<i>Lepus sinensis formosus</i>
	巢鼠	<i>Micromys minutus</i>
	台灣刺鼠	<i>Niviventer coninga</i>
	亞洲家鼠	<i>Rattus tanezumi</i>
	赤腹松鼠	<i>Callosciurus erythraeus taiwanensis</i>
	臭鼩	<i>Suncus murinus</i>
	台灣鼯鼠	<i>Mogera insularis insularis</i>
	台灣小蹄鼻蝠	<i>Rhinolophus monoceros</i>
	堀川氏棕蝠	<i>Eptesicus serotinus horikawai</i>
	東亞摺翅蝠	<i>Miniopterus fuliginosus</i>
	鼠耳蝠屬	<i>Myotis sp.</i>
	台灣毛腿鼠耳蝠	<i>Myotis fimbriatus taiwanensis</i>
	家蝠屬	<i>Pipistrellus sp.</i>
	高頭蝠	<i>Scotophilus kuhlii</i>
	鳥類	台灣竹雞
小鸕鷀		<i>Tachybaptus ruficollis</i>
栗小鷺		<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>
蒼鷺		<i>Ardea cinerea</i>
大白鷺		<i>Ardea alba</i>
中白鷺		<i>Ardea intermedia</i>
小白鷺		<i>Egretta garzetta</i>
黃頭鷺		<i>Bubulcus ibis</i>
夜鷺		<i>Nycticorax nycticorax</i>
黑冠麻鷺		<i>Gorsachius melanolophus</i>
埃及聖鸛		<i>Threskiornis aethiopicus</i>
魚鷹		<i>Pandion haliaetus</i>
東方蜂鷹		<i>Pernis ptilorhynchus</i>
大冠鷲		<i>Spilornis cheela</i>

附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
鳥類	灰面鵟鷹	<i>Butastur indicus</i>
	鳳頭蒼鷹	<i>Accipiter trivirgatus</i>
	赤腹鷹	<i>Accipiter soloensis</i>
	松雀鷹	<i>Accipiter virgatus</i>
	紅冠水雞	<i>Gallinula chloropus</i>
	灰腳秧雞	<i>Rallina eurizonoides</i>
	白腹秧雞	<i>Amaurornis phoenicurus</i>
	小環頸鴿	<i>Charadrius dubius</i>
	白腰草鴿	<i>Tringa ochropus</i>
	燕鴿	<i>Glareola maldivarum</i>
	野鴿	<i>Columba livia</i>
	金背鳩	<i>Streptopelia orientalis</i>
	紅鳩	<i>Streptopelia tranquebarica</i>
	珠頸斑鳩	<i>Streptopelia chinensis</i>
	翠翼鳩	<i>Chalcophaps indica</i>
	番鴿	<i>Centropus bengalensis</i>
	領角鴉	<i>Otus lettia</i>
	南亞夜鷹	<i>Caprimulgus affinis</i>
	小雨燕	<i>Apus nipalensis</i>
	翠鳥	<i>Alcedo atthis</i>
	五色鳥	<i>Psilopogon nuchalis</i>
	小啄木	<i>Dendrocopos canicapillus</i>
	八色鳥	<i>Pitta nympha</i>
	紅尾伯勞	<i>Lanius cristatus</i>
	大卷尾	<i>Dicrurus macrocercus</i>
	黑枕藍鶺鴒	<i>Hypothymis azurea</i>
	樹鶺鴒	<i>Dendrocitta formosae</i>
	家燕	<i>Hirundo rustica</i>
	洋燕	<i>Hirundo tahitica</i>
	赤腰燕	<i>Cecropis striolata</i>
	白頭翁	<i>Pycnonotus sinensis</i>
	紅嘴黑鵯	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>
	黃眉柳鶯	<i>Phylloscopus inornatus</i>
	黃腰柳鶯	<i>Phylloscopus proregulus</i>
極北柳鶯	<i>Phylloscopus borealis</i>	
遠東樹鶯	<i>Horornis canturians</i>	



附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名	
鳥類	灰頭鷓鴣	<i>Prinia flaviventris</i>	
	褐頭鷓鴣	<i>Prinia inornata</i>	
	黃尾鷓	<i>Phoenicurus aureus</i>	
	白氏地鸚	<i>Zoothera aurea</i>	
	白腹鸚	<i>Turdus pallidus</i>	
	山紅頭	<i>Cyanoderma ruficeps</i>	
	大彎嘴	<i>Megapomatorhinus erythrocnemis</i>	
	小彎嘴	<i>Pomatorhinus musicus</i>	
	台灣畫眉	<i>Garrulax taewanus</i>	
	斯氏繡眼	<i>Zosterops simplex</i>	
	白尾八哥	<i>Acridotheres javanicus</i>	
	赤腹鸚	<i>Turdus chrysolais</i>	
	白腹鸚	<i>Turdus pallidus</i>	
	野鷓	<i>Calliope calliope</i>	
	黃尾鷓	<i>Phoenicurus aureus</i>	
	樹鸚	<i>Anthus hodgsoni</i>	
	灰鵲鴿	<i>Motacilla cinerea</i>	
	黑臉鵲	<i>Emberiza spodocephala</i>	
	麻雀	<i>Passer montanus</i>	
	斑文鳥	<i>Lonchura punctulata</i>	
	白腰文鳥	<i>Lonchura striata</i>	
	兩棲類	盤古蟾蜍	<i>Bufo bankorensis</i>
		黑眶蟾蜍	<i>Duttaphrynus melanostictus</i>
中國樹蟾		<i>Hyla chinensis</i>	
澤蛙		<i>Fejervarya kawamurai</i>	
虎皮蛙		<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>	
小雨蛙		<i>Microhyla fissipes</i>	
貢德氏赤蛙		<i>Hylarana guentheri</i>	
拉都希氏赤蛙		<i>Hylarana latouchii</i>	
長腳赤蛙		<i>Rana longicrus</i>	
面天樹蛙		<i>Kurixalus idiootocus</i>	
布氏樹蛙		<i>Polypedates braueri</i>	
斑腿樹蛙	<i>Polypedates megacephalus</i>		
爬蟲類	柴棺龜	<i>Mauremys mutica</i>	



附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
爬蟲類	斑龜	<i>Mauremys sinensis</i>
	紅耳龜	<i>Trachemys scripta elegans</i>
	鉛山壁虎	<i>Gekko hokouensis</i>
	疣尾蝎虎	<i>Hemidactylus frenatus</i>
	古氏草蜥	<i>Takydromus kuehnei</i>
	蓬萊草蜥	<i>Takydromus stejnegeri</i>
	麗紋石龍子	<i>Plestiodon elegans</i>
	鈎盲蛇	<i>Ramphotyphlops braminus</i>
	花浪蛇	<i>Amphiesma stolatum</i>
	大頭蛇	<i>Boiga kraepelini</i>
	青蛇	<i>Cyclophiops major</i>
	王錦蛇	<i>Elaphe carinata</i>
	白梅花蛇	<i>Lycodon ruhstrati</i>
	赤背松柏根	<i>Oligodon formosanus</i>
	台灣黑眉錦蛇	<i>Orthriophis taeniura friesi</i>
	細紋南蛇	<i>Ptyas korros</i>
	南蛇	<i>Ptyas mucosus</i>
	草花蛇	<i>Xenochrophis piscator</i>
	鉛色水蛇	<i>Enhydris plumbea</i>
	雨傘節	<i>Bungarus multicinctus</i>
眼鏡蛇	<i>Naja atra</i>	
龜殼花	<i>Protobothrops mucrosquamatus</i>	
赤尾青竹絲	<i>Trimeresurus stejnegeri</i>	
昆蟲	白痣珈蟪	<i>Matrona cyanoptera</i>
	紅腹細蟪	<i>Ceriagrion auranticum ryukyuanum</i>
	青紋細蟪	<i>Ischnura senegalensis</i>
	短腹幽蟪	<i>Euphaea formosa</i>
	環紋琵琶蟪	<i>Copera ciliata</i>
	脛蹼琵琶蟪	<i>Copera marginipes</i>
	朱背樸蟪	<i>Prodasineura croconota</i>
	烏點晏蜓	<i>Anax guttatus</i>
	麻斑晏蜓	<i>Anax panybeus</i>
	綠胸晏蜓	<i>Anax parthenope julius</i>
	長鈹晏蜓	<i>Gynacantha hyalina</i>



附錄 1 (續)、田鱉米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
昆蟲	倭鉞晏蜓	<i>Gynacantha japonica</i>
	慧眼弓蜓	<i>Epophthalmia elegans</i>
	聯紋春蜓	<i>Gomphidia confluens</i>
	粗鉤春蜓	<i>Ictinogomphus rapax</i>
	細鉤春蜓	<i>Sinictinogomphus clavatus</i>
	粗腰蜻蜒	<i>Acisoma panorpoides panorpoides</i>
	橙斑蜻蜒	<i>Brachydiplax chalybea flavovittata</i>
	褐斑蜻蜒	<i>Brachythemis contaminata</i>
	猩紅蜻蜒	<i>Crocothemis servilia servilia</i>
	侏儒蜻蜒	<i>Diplacodes trivialis</i>
	硃紅蜻蜒	<i>Hydrobasileus croceus</i>
	廣腹蜻蜒	<i>Lyriothemis elegantissima</i>
	善變蜻蜒	<i>Neurothemis ramburii</i>
	金黃蜻蜒	<i>Orthetrum glaucum</i>
	呂宋蜻蜒	<i>Orthetrum luzonicum</i>
	灰黑蜻蜒	<i>Orthetrum melania</i>
	霜白蜻蜒	<i>Orthetrum pruinosum neglectum</i>
	杜松蜻蜒	<i>Orthetrum sabina sabina</i>
	薄翅蜻蜒	<i>Pantala flavescens</i>
	黃幼蜻蜒	<i>Pseudothemis zonata</i>
	彩裳蜻蜒	<i>Rhyothemis variegata arria</i>
	焰紅蜻蜒	<i>Sympetrum eroticum ardens</i>
	夜遊蜻蜒	<i>Tholymis tillarga</i>
	海霸蜻蜒	<i>Tramea transmarina euryale</i>
	大華蜻蜒	<i>Tramea virginia</i>
	紫紅蜻蜒	<i>Trithemis aurora</i>
	樂仙蜻蜒	<i>Trithemis festiva</i>
	纖腰蜻蜒	<i>Zyxomma petiolatum</i>
	印度大田鱉	<i>Lethocerus indicus</i>
	大紅娘華	<i>Laccotrephes pfeifferiae</i>
	水螳螂	<i>Cercotmetus brevipes</i>
	水螳螂	<i>Ranatra longipes</i>
	小仰蝽	<i>Anisops sp.</i>
小划蝽	<i>Micronecta sp.</i>	



附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
昆蟲	大黽蝽	<i>Aquarius sp.</i>
	毛足大龍蝨	<i>Cybister limbatus</i>
	橙斑大龍蝨	<i>Cybister rugosus</i>
	點刻三線大龍蝨	<i>Cybister tripunctatus</i>
	紅邊大龍蝨	<i>Cybister sugillatus</i>
	姬龍蝨	<i>Rhantus suturalis</i>
	姬麗龍蝨	<i>Hydaticus rhantoides</i>
	擬姬龍蝨	<i>Rhantaticus congestus</i>
	灰色龍蝨	<i>Eretes sticticus</i>
	太平洋麗龍蝨	<i>Hydaticus conspersus</i>
	黃紋麗龍蝨	<i>Hydaticus vittatus</i>
	球龍蝨	<i>Hyphydrus sp.</i>
	姬牙蟲	<i>Sternolophus rufipes</i>
	貝水龜	<i>Berosus sp.</i>
	圓花蚤	<i>Scirtidae sp.</i>
	小黃星弄蝶	<i>Ampittia dioscorides etura</i>
	白斑弄蝶	<i>Isoteinon lamprospilus formosanus</i>
	黑星弄蝶	<i>Suastus gremius</i>
	蕉弄蝶	<i>Erionota torus</i>
	黃斑弄蝶	<i>Potanthus confucius angustatus</i>
	淡黃斑弄蝶	<i>Potanthus pava</i>
	墨子黃斑弄蝶	<i>Potanthus motzui</i>
	竹橙斑弄蝶	<i>Telicota bambusae horisha</i>
	禾弄蝶	<i>Borbo cinnara</i>
	褐弄蝶	<i>Pelopidas mathias oberthueri</i>
	尖翅褐弄蝶	<i>Pelopidas agna</i>
	巨褐弄蝶	<i>Pelopidas conjuncta</i>
	黃紋孔弄蝶	<i>Polytremis lubricans kuyaniana</i>
	黯弄蝶	<i>Caltoris cahira austeni</i>
	多姿麝鳳蝶	<i>Byasa polyeuctes termessus</i>
	長尾麝鳳蝶	<i>Byasa impediens febanus</i>
	麝鳳蝶	<i>Byasa alcinous mansonensis</i>
	青鳳蝶	<i>Graphium sarpedon connectens</i>



附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
昆蟲	木蘭青鳳蝶	<i>Graphium doson postianus</i>
	花鳳蝶	<i>Papilio demoleus</i>
	柑橘鳳蝶	<i>Papilio xuthus</i>
	黑鳳蝶	<i>Papilio protenor</i>
	台灣鳳蝶	<i>Papilio taiwanus</i>
	大鳳蝶	<i>Papilio memnon heronus</i>
	白粉蝶	<i>Pieris rapae crucivora</i>
	緣點白粉蝶	<i>Pieris canidia</i>
	纖粉蝶	<i>Leptosia nina niobe</i>
	遷粉蝶	<i>Catopsilia pomona</i>
	黃蝶	<i>Eurema hecabe</i>
	凹翅紫灰蝶	<i>Mahathala ameria hainani</i>
	燕灰蝶	<i>Rapala varuna formosana</i>
	虎灰蝶	<i>Spindasis lohita formosana</i>
	波灰蝶	<i>Prosotas nora formosana</i>
	雅波灰蝶	<i>Jamides bochus formosanus</i>
	豆波灰蝶	<i>Lampides boeticus</i>
	藍灰蝶	<i>Zizeeria maha okinawana</i>
	黑點灰蝶	<i>Neopithecops zalmora</i>
	黑星灰蝶	<i>Megisba malaya sikkima</i>
	靛色疏灰蝶	<i>Acytolepsis puspa myla</i>
	虎斑蝶	<i>Danaus genutia</i>
	淡紋青斑蝶	<i>Tirumala limniace</i>
	小紋青斑蝶	<i>Tirumala septentrionis</i>
	絹斑蝶	<i>Parantica aglea maghaba</i>
	斯氏絹斑蝶	<i>Parantica swinhoi</i>
	漪斑蝶	<i>Ideopsis similis</i>
	雙標紫斑蝶	<i>Euploea sylvester swinhoi</i>
	異紋紫斑蝶	<i>Euploea mulciber barsine</i>
	小紫斑蝶	<i>Euploea tulliolus koxinga</i>
	黃襟蛺蝶	<i>Cupha erymanthis</i>
	眼蛺蝶	<i>Junonia almana</i>
	黃鈎蛺蝶	<i>Polygonia c-aureum lunulata</i>
	琉璃蛺蝶	<i>Kaniska canace drilon</i>
	雌擬幻蛺蝶	<i>Hypolimnas misippus</i>



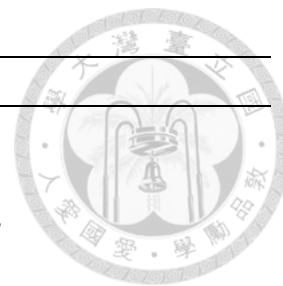
附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
昆蟲	幻蛺蝶	<i>Hypolimnas bolina kezia</i>
	豆環蛺蝶	<i>Neptis hylas lulculenta</i>
	小環蛺蝶	<i>Neptis sappho formosana</i>
	細帶環蛺蝶	<i>Neptis nata lutatia</i>
	網絲蛺蝶	<i>Cyrestis thyodamas formosana</i>
	白裳貓蛺蝶	<i>Timelaea albescens formosana</i>
	紅斑脈蛺蝶	<i>Hestina assimilis formosana</i>
	方環蝶	<i>Discophora sondaica tulliana</i>
	小波眼蝶	<i>Ypthima baldus zodina</i>
	密紋波眼蝶	<i>Ypthima multistriata</i>
	長紋黛眼蝶	<i>Lethe europa pavida</i>
	褐翅蔭眼蝶	<i>Neope muirheadi nagasawae</i>
	眉眼蝶	<i>Mycalesis francisca formosana</i>
	淺色眉眼蝶	<i>Mycalesis sangaica mara</i>
	稻眉眼蝶	<i>Mycalesis gotama nanda</i>
	切翅眉眼蝶	<i>Mycalesis zonata</i>
	暮眼蝶	<i>Melanitis leda</i>
森林暮眼蝶	<i>Melanitis phedima polishana</i>	
藍紋鋸眼蝶	<i>Elymnias hypermnestra hainana</i>	
蜘蛛類	中形金蛛	<i>Argiope aetheroides</i>
	長圓金蛛	<i>Argiope aemula</i>
	人面蜘蛛	<i>Nephila pilipes</i>
	臺灣綠貓蛛	<i>Peucetia formosensis</i>
	長腳蛛	<i>Tetragnatha sp.</i>
	波紋長紡蛛	<i>Hersilia striata</i>
	眼鏡擬黑條蠅虎	<i>Phintelloides versicolor</i>
	白條跑蛛	<i>Nilus phipsoni</i>
	水狼蛛	<i>Pirata sp.</i>
螺貝類	福壽螺	<i>Pomacea canaliculata</i>
	囊螺	<i>Physella acuta</i>
	瘤蜷	<i>Tarebia granifera</i>
	圓田螺	<i>Cipangopaludina chinensis</i>



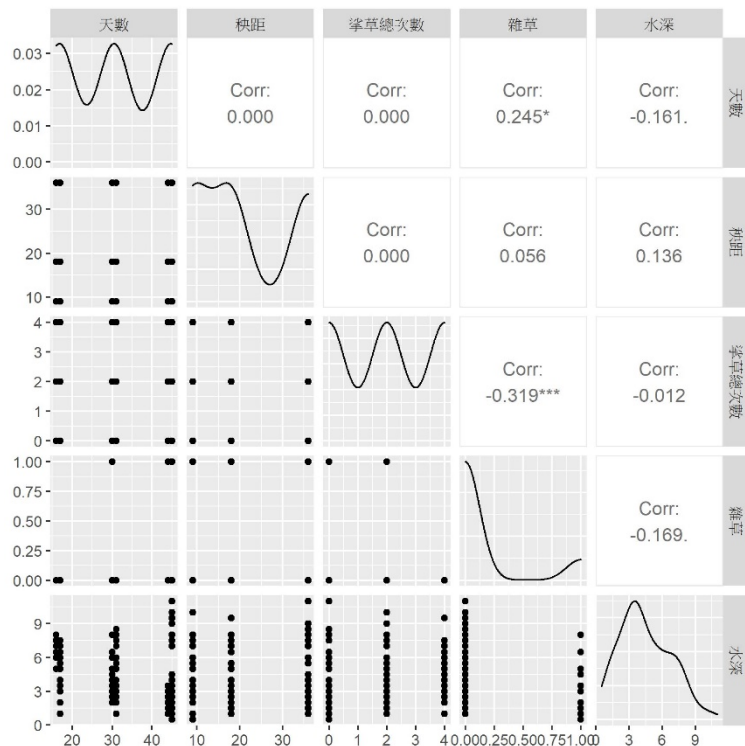
附錄 1 (續)、田鰲米淺山動物調查名錄

類群	物種名	學名
魚蝦類	食蚊魚	<i>Gambusia affinis</i>
	泥鰍	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>
	粗糙沼蝦	<i>Macrobrachium asperulum</i>
	擬多齒米蝦	<i>Caridina pseudodenticulata</i>
	黃綠澤蟹	<i>Geothelphusa olea</i>

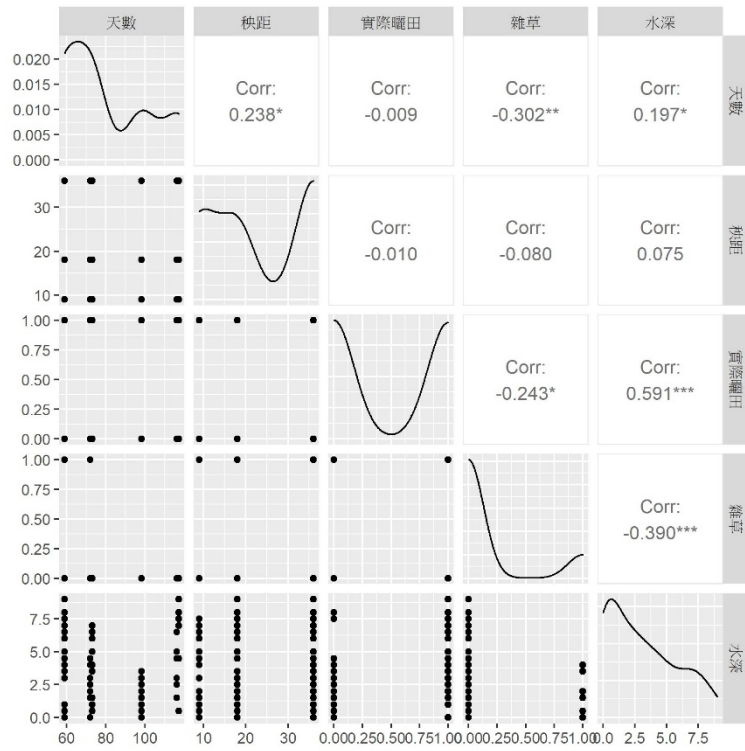


附錄 2、田鱉米水稻生產區規劃

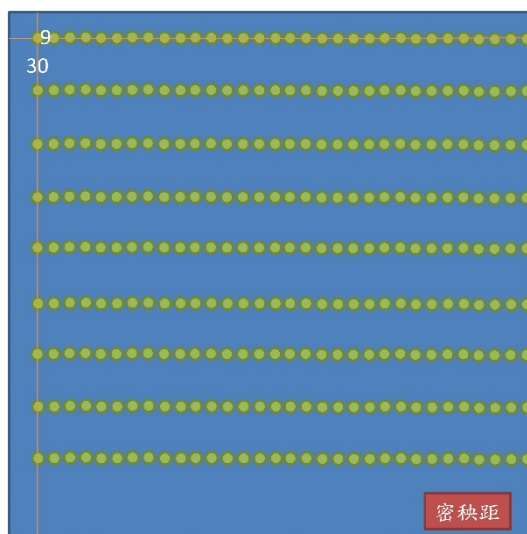
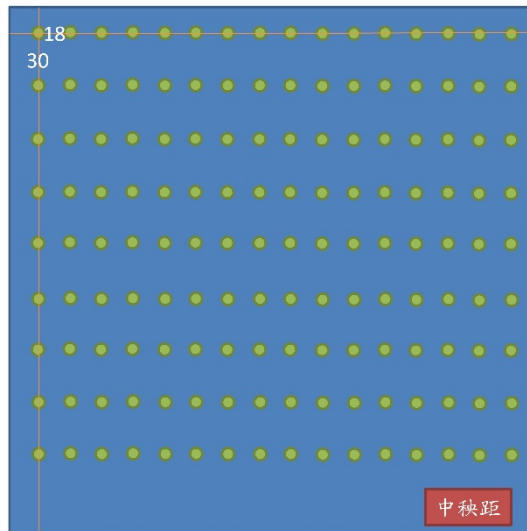
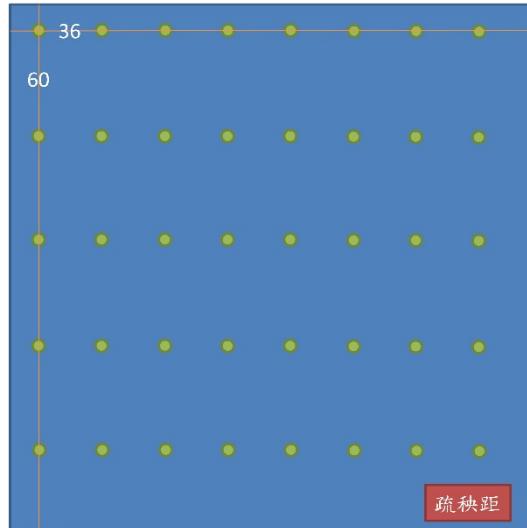
	A1	A2	A3	A4	P1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	P2	C1
Dec						除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草
Dec														
Jan.		補強	補強	補強				補強	重整理		補強	補強		新作
Jan.					除草								除草	
Feb.		翻耕	翻耕	翻耕		翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕		
Feb.		一期稻	一期稻	一期稻		一期稻	一期稻	一期稻	一期稻	一期稻	一期稻	一期稻		
Mar.														
Mar.					灌水								灌水	焚燒
Apr.														梅雨季
Apr.														
May	工程													
May														
Jun														新作
Jun														埋管
Jul		翻耕	翻耕	翻耕		翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕	翻耕		
Jul		田菁		田菁		作壟 地瓜	田菁	田菁	田菁	二期豆	再生稻	二期豆		
Aug.														
Aug														
Sep														
Sep														
Oct		油菜	大哥 地瓜	油菜			油菜	油菜	油菜					
Oct														
Nov														
Nov														
Dec	除草	除草		除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草	除草
Dec														



附錄 3、各前期農事操作變因之相關性分析圖



附錄 4、各後期農事操作變因之相關性分析圖



附錄 5、樣區秧距操作排列示意圖



附錄 6、機器插秧交錯處秧距較為密集



附錄 7、在田埂周圍開溝，建立秧距較開、干擾較少、水位較深且維持湛水的空間