



第六屆國土空間圖資競賽

鹽水哀-彰化水稻受小犬颱風帶來的鹽塵害影響



指導教授：王素芬 教授

參賽學生：鍾雨潔、黃麒家、曾柔家

學校：國立彰化師範大學地理學系

中華民國 113 年 3 月 30 日

壹、前言

颱風，是世界上最主要的災害之一，全球平均每年約有 80 個颱風生成(中央氣象署)，尤以西北太平洋和南海區域的颱風生成數較多、強度也較強，對於位處颱風生成區域與移動路徑上的台灣而言，颱風除了帶來充沛的降雨，可補足水庫蓄水量外，其帶來的強風、豪雨、土石流、焚風等災害更是我們不可輕忽的。像是 2005 年的龍王颱風，登陸時最大陣風達 17 級，不僅吹倒忠烈祠牌樓，部分地區更停電長達兩週，2009 年的莫拉克颱風，受到短延時強降雨影響，造成全台各地淹水、河川水位暴漲，進而沖毀橋墩與堤防，大量雨水快速滲入土壤與岩石中形成流體，釀成高雄市小林里數百人的傷亡。

小犬颱風於 2023 年 10 月 2 日至 6 日向台侵襲，近颱中心最大風速達到 48m/s，相當接近強烈颱風等級，不僅重創了蘭嶼地區，也在東部地區帶來局部短延時的強降雨。根據中央氣象署統計，小犬颱風於 10 月 2 日至 5 日影響台灣期間，彰化地區皆沒有降水，如圖 1 所示。

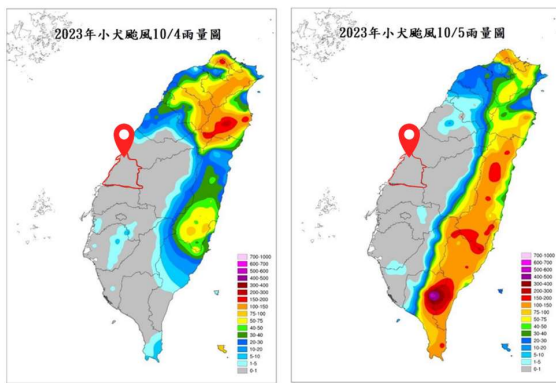


圖 1 小犬颱風 10 月 4、5 日累積雨量圖
資料來源：中央氣象署

圖 2 為颱風中心最接近台灣時的 10 月 5 日環流影響範圍示意圖，逆時針旋轉的氣流受到中央山脈的抬升，於背風側沉降並增溫，在埔里局部地區出現焚風，氣溫甚至一度飆升至 38.7℃ 高溫(中央氣象署，2023)，由此可知小犬颱風的暴風半徑在 10 月 5 日通過中央山脈後，於西半部地區產生沉降氣流，乾燥且高溫的空氣，加速大氣中海水蒸發、析出鹽分，透過乾沉降掉落到地表，附著於作物之上，進而加速產生鹽塵害，沉降氣流也正是彰化地區在此次颱風事件僅有少量降水的主因。另外，外圍環流經過台灣後，繞過北部陸地，沿著台灣海峽和西部陸地南下，為西半部地區帶來強風。綜上因素構成小犬颱風強風少雨特性，使本研究排除降水對水稻造成的損害。對於糧食自給率偏低的台灣而言，鹽塵害這樣的氣象災害無疑是造成糧食安全的一大風險。故接下來以此次事件造成二期水稻最嚴重的彰化縣為研究對象，集中討論「風」這項因子和鹽塵害造成水稻農損的關聯，希望藉由了解災害的發生，提供未來減少災損、提前預防之方向。研究目的如下：

- 一、彰化二期水稻的農損狀況與空間分布。
- 二、颱風風向之於彰化水稻受損的關聯性。
- 三、颱風風速之於彰化水稻受損的關聯性。

台灣自 2020 年起連續 3 年的時間未有颱風登陸，而小犬颱風不僅刷新台灣氣象史上最強陣風紀錄、吹壞蘭嶼氣象站風速計(中央氣象署，2023)，強風少雨情況下，使得在颱風登陸前，位於背風側的彰雲嘉等沿海區域，受到強風拍打海浪作用，鹽粒隨風飄到陸地並附著於當地的建築物、電線桿和作物上，導致電力系統受損、農作物枯萎，為颱風帶來的強風所造成的嚴重「鹽塵害」事件。經蒐集資料統計，過往 20 年，有 9 個以相同路徑襲台的颱風所造成的災損中，造成最多的是豪大雨(7)，其次為淹水(6)和暴潮(4)，鮮少有人提及颱風造成的鹽塵害事件(自行統計)。

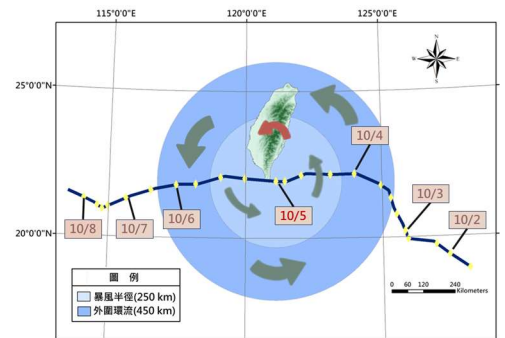


圖 2 小犬颱風環流影響範圍示意圖
資料來源：改繪自中央氣象署

貳、文獻回顧

一、颱風對水稻生長的影響

鹽害在颱風的影響中是經常被人們忽略的災害，颱風帶來的強降雨可能導致土石流、淹水等災情，來自海上帶有鹽分的風對於輸電系統是一大威脅，而對農業來說，特別是位於西部沿海的農業區，鹽塵害的破壞性不容小覷，可能會對農作物造成嚴重的災損。鹽塵害為鹽害與塵害的並稱，泛指因含有海水鹽分(指鹽害)及其他有機電解物質之塵埃(指塵害)，皆會附著於電力設備或農作物時所引起之損害。引發鹽塵害的因素主要為二，其一為颱風，颱風侵襲常伴隨強風，激起海水並產生大量的浪花，這些浪花與被潑濺起的水滴中含有海水中的鹽分，當風力強勁時，這些鹽分便會隨風吹向陸地並附著在農作物上，農作物表面含有鹽分的海水受到太陽照射或焚風吹拂而逐漸蒸發後，便留下了鹽分，鹽塵害因此發生(白銀隆，2002)。此外，台灣西部海岸線呈東北-西南向傾斜，由颱風逆時針旋轉帶來的北風所捲起的浪花，可能因為海岸線傾斜的緣故而更容易撞擊到岸邊，進而對內陸地區產生鹽塵害。

除了颱風引起的鹽塵害，台灣的地形、氣候與地理環境也使得鹽塵害的影響普遍存在。台灣四面環海屬於海島型氣候，每逢秋冬季節受強勁的東北季風影響，海上富含鹽分之鹽霧伴隨著陸地上的海砂，附著沉積於供電線路與設備表面(白銀隆，2002)。本研究針對颱風所引起的鹽塵害進行彰化水稻的災損分析。

水稻的生長期程具有不同階段與時期，若水稻於生殖生長期中的抽穗期這個階段，面對颱風帶來的豪雨或強風的易損性是最大的(Funaba et al., 1992、Welch et al., 2010)。而當水稻植株遭受到鹽害的影響時，通常會呈現葉片尖端捲縮、白化現象、由上而下呈一倒V型往葉柄擴散(丁文彥，2008)；若遇到海水倒灌或是颱風刮起的鹽風，極有可能導致整個葉片全株枯死的情形。此外，若水稻在生育期間越早遭受到鹽害影響，其受影響程度就越嚴重(丁文彥，2008)。依照彰化平原地區二期稻作的插秧日期做計算，抽穗期恰巧碰到颱風最易形成並且侵台的7~10月，故往年台灣西半部稻作區域的二期水稻時常受到颱風影響，產量相較於一期水稻減少許多，如：1986年艾貝、2005年三連颱風海棠、龍王、泰利、2006年薔蜜、莫拉克與2015年的蘇迪勒，皆對台灣西部的二期稻作產生嚴重破壞，電路絕緣受影響而停電等災害發生(統計自農糧署、經濟部)。

二、常態化差異植生指標(Normalization Difference Vegetation Index, NDVI)

常態化差異植生指標為近紅外光波段與紅光波段之差與這兩波段之和的比值。一般植物中皆含有葉綠體，使植物葉子呈現綠色，在太陽照射下將光譜中的綠光波段反射，並且吸收藍光與紅光波段。而因綠色植物藉由吸收藍光及紅光以行光合作用累積生物量，其綠葉具有較強反射紅外光之特性，其吸收之紅光越多，反射之紅外光也越強，紅光及近紅外光之差即越大，因此可見光中之紅光與紅外光常被用來測定植物之生產力(劉名翔，2010)。常態化差異植生指標值是介於-1至+1之間，當數值愈大，即愈趨近於+1時，表示該地區植生覆蓋情形，愈為良好(Deering, 1978)。

NDVI 定義為：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

國內使用 NDVI 進行氣象災害判釋輔助之相關研究許多，施淑琪(2006)利用不同時期之 SPOT 衛星影像，計算台灣中部的蓮華池試驗林各期的 NDVI 及其變化率，以了解低溫干擾所造成的植生之時空變動，並且分析極端氣候事件對植物生長與分布的影響。康若蘭(2005)利用颱風前後三期的 SPOT 衛星影像，計算各期的 NDVI 及其變遷，以了解碧利斯颱風干擾所造成的植生之時空變動，並比較不同空間尺度範圍所分析的結果是否一致。陳麒文等(2011)以 1996 年至 2008 年間於頭前溪上游內所造成豪大雨的 6 次颱風事件，探討颱風帶來的大雨影響地層滑動以及植生分布之間的關聯性，並且利用 NDVI 的差值輔助判釋該

區域植生覆蓋的分布狀況。但國內目前較少使用 NDVI 進行水稻受氣象災害破壞之研究，希冀本研究得以協助台灣農業氣象災害之調適與災後恢復工作。

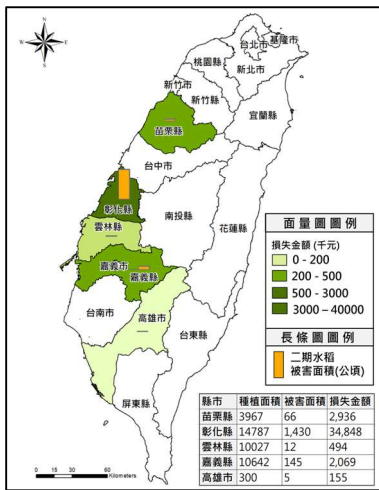


圖 3 小犬颱風造成各縣市二期水稻農損比例
資料來源：自農糧署統計資料繪製

2023 年第 14 號小犬颱風具有罕見的「強風少雨」氣象特性，儘管沒有大量降水或強降雨對台灣西部農作物直接產生破壞，強風仍然對農作物造成損害；無雨的特殊狀況，使得鹽粒透過乾沉降落在農作物表面與電線桿時，難以藉由雨水及時把葉片上的鹽分給沖刷掉，對於西部農業大縣造成可觀的損害，同時導致輸電系統大受影響，部分縣市停電數天。

小犬颱風所造成的農業產物及民間設施估計損失計 5 億 7,595 萬元，其中以雲林縣損失最為嚴重，占總損失金額 45%，彰化縣次之，占總損失金額 35%，接著依序是嘉義縣 5%、台東縣 4%、屏東縣 3%。圖 3 根據農業部農糧署統計，針對二期水稻所造成的災損又以彰化縣最嚴重，被害面積為 1430 公頃，災損金額高達 34848 千元，佔被害面積 86.2%，其次依序是嘉義縣 8.73%、苗栗縣 3.98%、雲林縣 0.72%和高雄市 0.30%(農業部，2023)。

參、分析材料與方法

一、研究區域

本研究選定此次颱風事件農損最嚴重的彰化縣作為研究區域(如圖 4)。彰化縣位居濁水溪與大肚溪之間，以河流沖積的廣袤平原為主，土壤肥沃、濁水溪富含無機礦物質，提供農作物生長必需的養分。全縣平原區約 94,240 公頃，佔全區土地面積的 87.71%，其次為山坡地，坡度在 5%以上的丘陵和淺山區域，佔 9.3%。氣候方面，暖季 6~10 月平均氣溫約 28.5℃，涼季 12~3 月平均氣溫約 17.5℃，全年平均溫度約為 23℃，氣候溫和宜人，降水量主要由夏季西南季風與颱風帶來，特別是位居颱風移動主要路徑，降雨量以 8 月最多(統計自中央氣象署)。



圖 4 研究區域範圍

彰化縣平坦的地形、充沛的水源和適宜的溫度，皆符合水稻的生長要求。111 年全台稻米種植面積約 238,675.8 公頃，總產量約為 109.08 公噸，彰化縣稻米種植面積 44,216.3 公頃，佔全台 18.5%，總產量達 224.01 公噸，佔全台水稻總產量 20.5%，全縣農作物種植面積 54.35%，為台灣水稻種植面積和產量第一的縣市。水稻的類型主要可分梗稻、私稻和糯稻，彰化縣尤以梗稻種植為主，佔全縣水稻種植面積比例 84.5%，總產量約 271,744 公噸，是全台梗稻重要來源(數據資料來源：農情報告資源網)。

根據台灣的自然資源與生態資料庫一書和台中農業改良所水稻資料顯示，水稻生長主要可分成三個階段：營養生長期(10~60 天)、生殖生長期(35~45 天)和成熟期(30~35 天)。第一期稻作在 1~6 月生長，第二期的稻作在 7~11 月生長，單位面積產量受到氣候條件影響，較第一期低約 20~50%。彰化二期水稻的育苗期到長出秧苗約需要 20 天，並在 7 月中旬至 8 月中旬插秧，成活後平均約需要 35 天的營養生長期和生殖生長期。水稻受土壤溫度與水溫影響，氣溫愈高，愈早收割(農業知識入口網，2007)，二期水稻約在 11 月初由彰化南部一路往北進行收割工作。

二、研究圖資

使用圖資	圖資用途	資料來源
國土利用現況調查成果圖	得知農業利用土地分類表中劃分為水田的區域	國土測繪中心
農田坵塊圖	將劃分為水田的區域，分割為水田坵塊	農業部資訊司
縣市界線	作為裁切研究範圍依據	國土測繪中心
河流位置圖	繪製研究區域彰化縣地理環境	經濟部水利署
哨兵二號 L2A 衛星影像 2023 年 10 月 2 日及 2023 年 10 月 12 日	運用衛星影像中的近紅外光與紅光波段 計算植物的 NDVI 值及兩張衛星影像 NDVI 值之變化率	歐洲太空總署

三、研究流程與方法

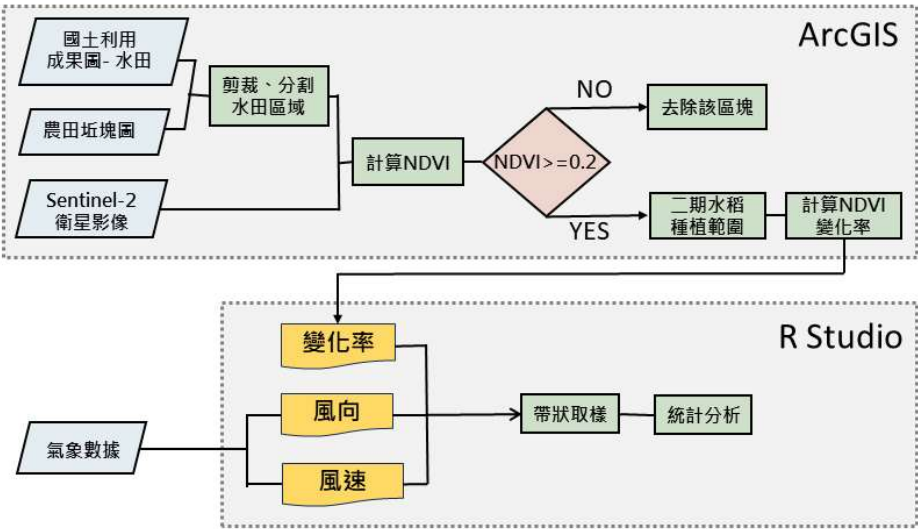


圖 5 研究流程圖

本研究將利用颱風影響前後兩期的衛星影像資料，計算彰化平原地區常態化差異植生指標 NDVI 的變化率，並運用 NDVI 的變化率搭配氣象資料作進一步的分析。

(一)水稻田坵塊篩選與前後期 NDVI 變化率計算

為了解彰化水稻田在小犬颱風前後的災損變化，本研究採用歐洲太空總署 Sentinel-2 L2A 之產品，已經過幾何校正、大氣校正，並選擇 2023 年 10 月 2 日及 2023 年 10 月 12 日(本研究後以前期標示 10 月 2 日、後期標示為 10 月 12 日)、雲遮量小於 10% 的影像。為提高判釋水稻田的準確性，本研究將以坵塊為單元計算 NDVI 與變化率，而非使用衛星影像的像素(Pixel)。套疊衛星影像及國土利用調查圖水田類別後，將其按照農田坵塊圖分割，如圖 6 所示。由於彰化地區作物變化頻繁，需排除部分休耕、種植其他作物之田地，且小犬颱風影響日期距離二期水稻插秧期已超過兩個月，並落在收成前，經過比對前期衛星影像 NDVI 及當月 Google Earth Pro 影像後，發現水稻的 NDVI 大多呈現 0.2 以上，故將 $NDVI \geq 0.2$ 設為門檻值，視為彰化縣當季有種植二期稻作之範圍(篩選過後的坵塊數量與區塊如附錄一、圖 7)，再根據篩選過後之坵塊計算 NDVI 值與變化率，其定義為：

$$\text{變化率} = \frac{\text{後期}NDVI - \text{前期}NDVI}{\text{前期}NDVI} \times 100\%$$

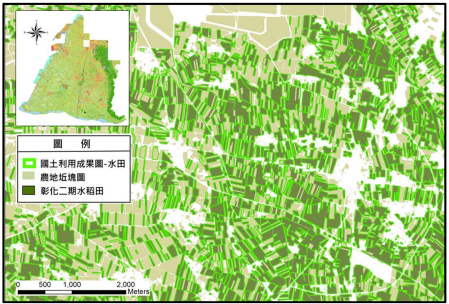


圖 6 國土利用調查圖套疊坵塊圖

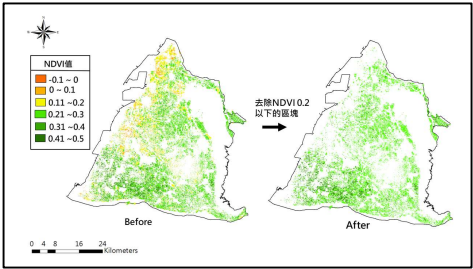


圖 7 以 $NDVI \geq 0.2$ 為門檻值篩選彰化二期水稻田分布

(二)統計平均風向作為帶狀取樣依據

本研究挑選小犬颱風中心距離台灣最近的 10 月 5 日，因風向在本研究區域尺度下的變化差異較小，故自中央氣象署的觀測資料中，沿著台中與彰化海線的北、中、南挑選各一個測站，以及彰化縣內陸由北到南挑選三個測站，依序為松柏、清水、梧棲、線西、福寶、三豐、秀水、溪湖、埤頭共九個氣象測站(如圖 8)，繪製 10 月 5 日的風花圖，統計不同風向的出現頻率(如附錄二)，以頻率最高的風向作為平均風向，提供帶狀取樣依據。

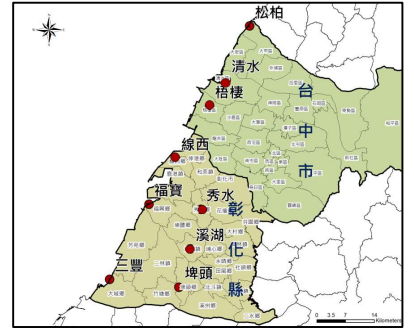


圖 8 平均風向取樣測站位置
(紅圈處)

(三)南北向與東西向農損空間分布取樣

因彰化縣東側八卦台地隆起，受地形因素影響而較少水稻田資料，而其西側水稻田資料較密集，故本研究分析的區域範圍界定在八卦台地以西。首先為南北向取樣方法。將坵塊的面資料轉換為點資料，並空間連結(Spatial Join)變化率資料，再來使用近鄰分析工具(Near)，計算點與最近線段之垂直距離，將點資料位移至最近鄰座標(Snap to point)，形成數條帶狀區域(Zone)進行帶狀取樣。接著，將彰化縣最北處(120.48°E, 24.19°N)作為基準點，平行 10 月 5 日平均風向、通過基準點繪製帶狀區域 1，以此向東每 1500 公尺帶狀取樣數次，再經過基準點繪製垂直風向之基準線，帶狀區域上的取樣點以此為基準計算距離。最後利用統計方法解釋 NDVI 變化率與距基準線之距離的關係。

第二為東西向取樣方法。延續使用基準線與帶狀取樣為範圍，將數條帶狀取樣範圍依照帶狀區域 1 之總長均分為四個區塊(Region)，再計算各區塊 NDVI 變化率之平均值，繪製成折線圖，比較同一個區塊當中，帶狀區域間是否具連續性變化。

(四)風速與 NDVI 變化率之關聯

本研究以小犬颱風事件時，中央氣象署發布陸上颱風警報的起迄時間作為風速資料蒐集的期間，即 2023 年 10 月 3 日 11:30 至 2023 年 10 月 6 日 02:30(中央氣象署，2023)。為分析在陸上颱風警報期間的風速空間分布狀況，蒐集在陸上颱風警報期間彰化縣內所有測站的風速資料，排除無資料與小犬颱風過後才設立之測站後，共計 24 個測站(測站位置如圖 9)，計算各測站在此期間內的平均風速(整理於附錄三)。鑒於前段得知的平均風向，本段續以前文繪製之基準線，測量各測站距此基準線距離，將其與平均風速資料繪製出散佈圖並進行迴歸分析。最後計算各測站平均風速與此距離的相關係數，並結合帶狀區域 1 之迴歸分析，探討颱風期間彰化水稻田平均風速與 NDVI 變化率的關聯。

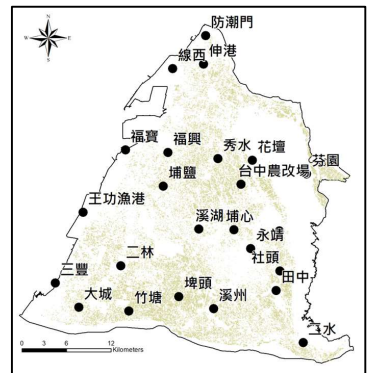


圖 9 挑選之氣象測站位置

肆、研究結果

一、以 NDVI 變化率評估颱風造成的農損狀況

計算前後期水稻田之 NDVI 與變化率，發現前期(圖 10 左)彰化水稻田整體的 NDVI 值較一致，唯西南方的 NDVI 值較高，且具有西南向東北遞減的狀況，值域落在 0.20003~0.469449 之間，平均值為 0.288502。後期(圖 10 中)彰化水稻田整體的 NDVI 值普遍有減少的現象，值域為 0~0.468961，平均值為 0.2880474，同樣呈現西南方的 NDVI 值較高並向東北遞減的狀況，不同於前期的是，八卦台地中段西側的 NDVI 值下

降較多。綜整前後期結果計算 NDVI 變化率(圖 10 右)，領域落在-53.1039%~-100%，平均值為-71.19526%，初步觀察到西南方的 NDVI 變化率較低，且具有由東北向西南遞減的情況。比較前後期的 NDVI 變化率發現，普遍有下降的現象，表示彰化水稻田在小犬颱風期間的作物生長狀況受到負面影響。接下來，本文將探究水稻受損的空間分布是否具有連續性的變化。

二、探究風向與彰化水稻農損空間分布的關聯

因小犬颱風強風少雨的特性，西半部地區在颱風期間受強風帶來的鹽塵害影響，鹽分附著在水稻上，且缺乏降雨將鹽分沖刷掉，加上乾燥高溫的沉降氣流加速水分蒸發，使彰化水稻田在短時間內(10月2日~10月12日)NDVI 變化率平均減少高達 71.2%，被害面積達 1,430 公頃，為全台二期水稻受損量最多的縣市。故接下來將進一步探究彰化二期水稻受鹽塵害影響的空間分布與風向之關聯性。

透過圖 11 與附錄二得知，10月5日風向出現頻率最高為北北東風，佔比 37.9%，再來依序是北風(25.2%)、東北風(8.4%)，故本研究將以北北東風作為平均風向，利用此平均風向作為討論彰化二期水稻農損空間分布的依據，並且分析其與風向之間的關聯性。

1. 南北向之農損空間分布與風向的關聯性

圖 12 根據平均風向與彰化縣最北處所繪製出的基準線與帶狀取樣範圍，得出圖 13 的五條平滑曲線，從曲線中發現，距基準線 0~30 公里處的 NDVI 變化率具有從東北向西南遞減的趨勢、30~40 公里處有快速下降再回升的現象。接著觀察各區之農損與風向相關係數，最接近海岸線的帶狀區域 1 相關係數為 0.543755，呈中度相關，帶狀區域 2~4 的相關係數如圖 14 表中所示，整體為正相關；由圖 14 可知迴歸線呈現正斜率，即距基準線之距離與變化率為正相關，且附錄四統計報表中表示，距基準線係數之統計檢定 p-value<0.001，得出的係數為顯著，故距離基準線越遠(即越西

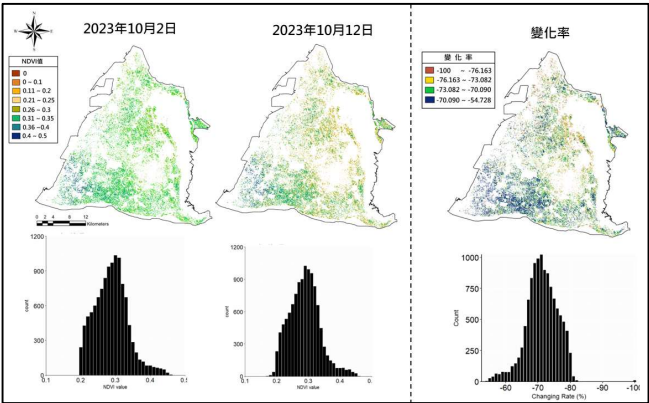


圖 10 前、後期 NDVI 值與變化率和直方圖 (左：前期、中：後期、右：變化率)

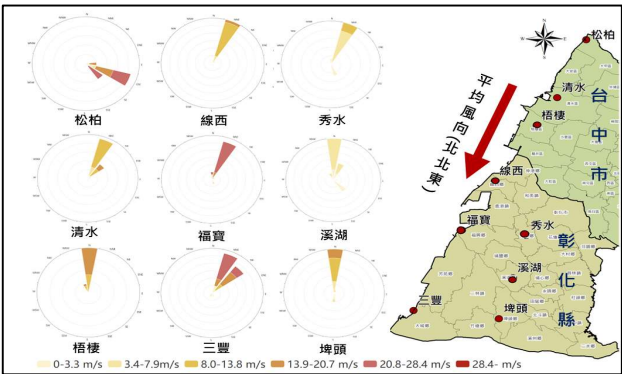


圖 11 中彰地區 10 月 5 日九個取樣測站風花圖

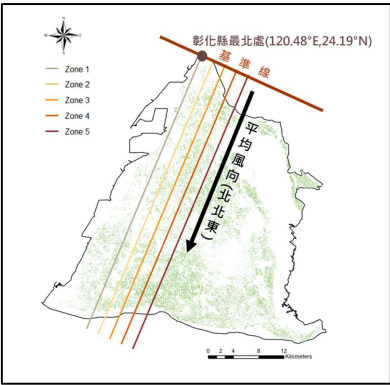


圖 12 基準線與帶狀取樣範圍

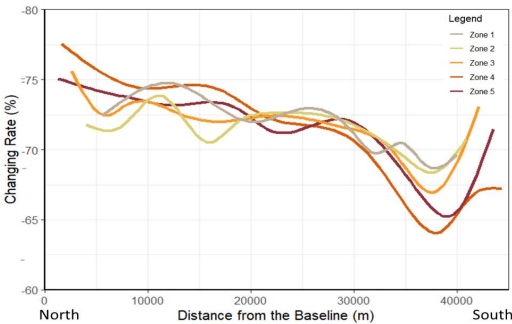


圖 13 NDVI 變化率與距基準線之平滑曲線

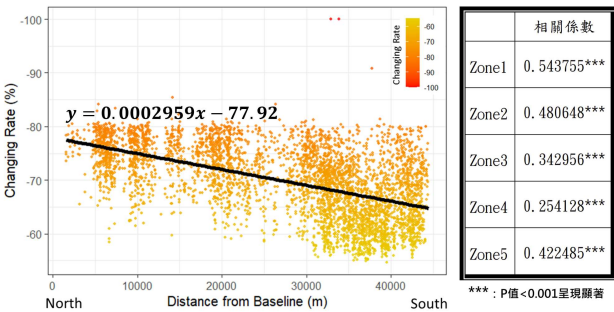


圖 14 帶狀區域 1 之迴歸分析與相關係數

南方)，NDVI 變化率有遞減的趨勢。綜上所述，利用平均風向討論 NDVI 變化率的空間分布，發現 NDVI 變化率的空間分布趨勢與平均風向一致，由此可證彰化二期水稻 NDVI 變化率的南北向空間分布與風向相關。

2. 東西向之農損空間分布與風向的關聯性

圖 15 以北北東風為平均風向，針對帶狀區域 1 到 5 由北至南切分出四個區塊。從表 1 及圖 16 發現以下兩個現象，其一，各區塊間 NDVI 變化率的平均值從北往南(區塊 1~4)有下降趨勢，符合第一段彰化二期水稻 NDVI 變化率有南北向遞減的論點；其二，以相同區塊來看帶狀區域間東西向的數值變化，觀察東西向 NDVI 變化率未呈現連續下降或上升的狀況，在圖 16 中區塊 1 跟 2 呈現下降後微幅上升、區塊 3 與 4 的趨勢特徵為遞增，因四個區塊特徵未全然一致，且東西向 NDVI 變化率小，故 NDVI 變化率的東西向空間分布與距海岸線遠近較無關。

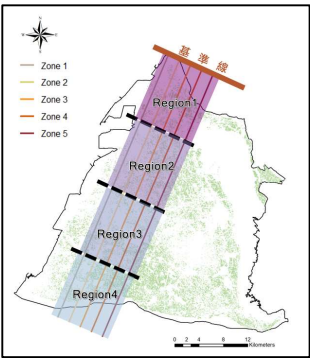


圖 15 由北向南區塊劃分示意圖

表 1 各區塊在不同帶狀區域中 NDVI 變化率之平均值

	Region1	Region2	Region3	Region4	ZoneAverage
Zone1	-75.0103	-74.1096	-71.6984	-66.5994	-57.4835
Zone2	-74.1007	-73.0902	-71.6811	-67.0071	-57.1758
Zone3	-72.9295	-72.4036	-72.1984	-69.0512	-57.3166
Zone4	-71.8036	-71.7688	-72.6926	-69.3717	-57.1273
Zone5	-73.5114	-73.0951	-72.4308	-69.6559	-57.7386
RegionAverage	-73.47111	-72.8934	-72.1402	-68.3371	-71.7105

三、探究風速與鹽塵害之間的關聯性

從第二段可知，風的方向與水稻農損的南北空間分布具有關聯性，但與東西向分布較無關，風向得以解釋彰化水稻農損具有東北至西南的連續變化趨勢，但無法解釋此趨勢為遞減，故必須將風速納入考量。在本研究區域的空間尺度下，風的強度是否會影響到鹽粒的傳輸距離、進而導致水稻農損的空間分布具有連續性的變化？以圖 17 各測站在陸上颱風警報期間的平均風速套疊 NDVI 變化率可初步觀察到，距基準線越近的測站平均風速較強、其 NDVI 變化率較高；距基準線越遠的測站平均風速較弱、其 NDVI 變化率較低。各測站平均風速與距基準線距離的相關係數為 -0.249，可知兩者呈低度負相關，表示距基準線越遠、平均風速越小。圖 18 綜合分析風速與帶狀區域 1 迴歸分析，下文將風速與距基準線距離迴歸線稱為 y_1 、帶狀區域 1 距基準線距離與 NDVI 變化率迴歸線稱為 y_2 。 y_1 與 y_2 呈正相關，換言之，呈現距基準線越遠，平均風速越弱、NDVI 變化率下降也越少。最後，結合第一段得出 NDVI 變化率有自東北往西南變化，以及表 1 帶狀區域 1~4 的 NDVI 平均變化率從北向南減緩，可知颱風期間彰化水稻田的平均風速空間分布，風速自東北往西南大致呈現出由強漸弱的情況，以此證明風速的強弱與鹽塵害造成水稻的農損程度有關。

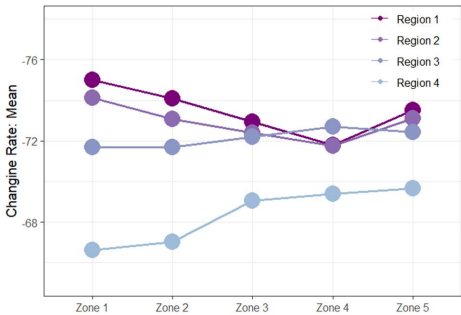


圖 16 各區塊東西向 NDVI 變化率折線圖

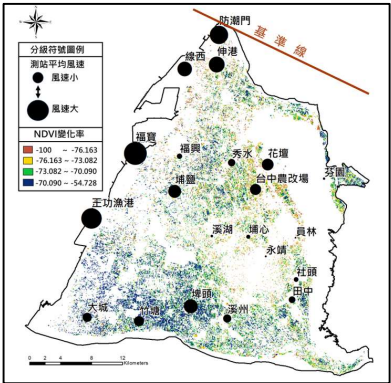


圖 17 彰化地區各測站平均風速
底圖為 NDVI 變化率

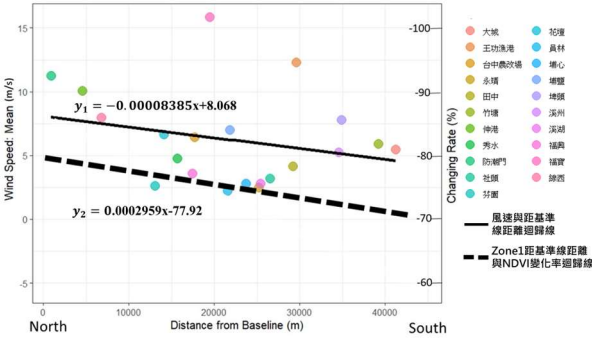


圖 18 風速與 NDVI 變化率綜合分析圖
實線：風速與距基準線距離與 NDVI 變化率迴歸線
虛線：帶狀區域 1 距基準線距離與 NDVI 變化率迴歸線

伍、總結與討論

一、小犬颱風造成彰化二期水稻的農損狀況與空間分布

本研究使用彰化二期水稻在小犬颱風事件前後期的 Sentinel-2 L2A 之衛星影像，計算兩期的常態化差異植生指標與變化率。圖 10 與統計量顯示，全區的 NDVI 皆下降超過 50%，由此可知鹽塵害事件對於彰化地區的水稻田帶來可觀的破壞。再來從圖 19 得知，農損相對嚴重的鄉鎮為秀水、花壇、大村，受損程度較低的為大城、竹塘、二林。接著以統計分析彰化二期水稻受損的空間分布狀況，由圖 13 與 14 發現，彰

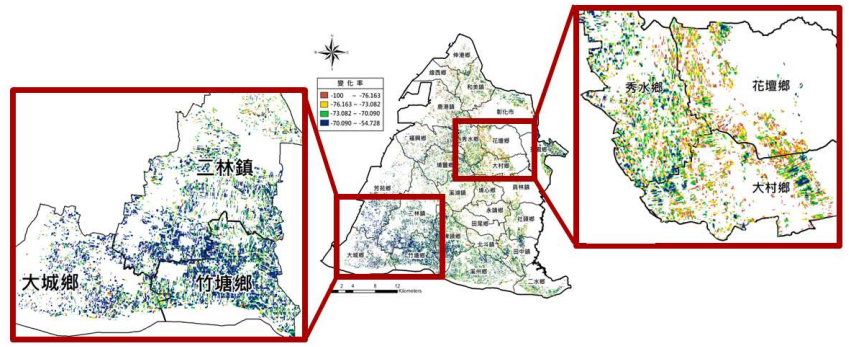


圖 19 NDVI 變化率套疊彰化鄉鎮界線圖

化水稻 NDVI 變化率具有自東北向西南遞減的現象，越東北方變化越多、越西南方的變化越少，且圖 14 線性迴歸統計報表(如附錄四)中可知距離基準線越遠(即越西南方)，NDVI 變化率遞減的趨勢顯著。此外，在距離基準線 30~40 公里處，大城、二林和竹塘鄉等區域有快速下降再回升的現象發生，下降的部分本研究推論與風攜帶鹽粒子的最大傳輸距離相關，受地表摩擦力、小尺度天氣現象或鹽塵粒子大小等因素而無法傳輸更遠的距離；再回升的情況推測可能因鹽粒子的來源不同有關，彰化東北方的鹽粒來源為台中沿海，較少飄散到彰化西南部，西南方的鹽粒源自於南彰化沿海，重新提供鹽粒子增強鹽塵害，而發生二次的高峰。

二、風向與彰化二期水稻受損空間分布的關聯性

因彰化縣受到中央山脈阻擋且位於暴風半徑背風側，以沉降氣流為主，颱風期間僅有 10 月 6 日帶來少量的降雨，推測降水因子對彰化二期水稻產生損害的可能性較低，故本研究以強風進行分析，依序討論風向、風速兩個因子與彰化水稻受損之空間分布的關聯性。透過圖 11 之風花圖對照彰化二期水稻 NDVI 變化率的連續變化趨勢，10 月 5 日的平均風向為北北東、彰化二期水稻 NDVI 變化率呈現由東北向西南遞減，以此說明水稻由南往北受損的連續變化趨勢與風向相關。再來以圖 16 和表 1 討論東西向的水稻農損變化，發現東西向的 NDVI 變化率未呈現連續上升或下降的情形，以此可證小犬颱風造成的農損在東西向變化較低，與海陸風風向較無關聯、也未受到距海遠近的影響，推論可能和此次挑選日期平均風向為北北東風、風速強勁，鹽分的來源主要由北側往南攜帶，使得東西向的農損變化未具有自海岸線向內陸遞減的現象，顯示適當的風向對作物生長具有影響。至於風速強勁程度的臨界值為多少能不影響海風造成東西向農損空間分布，有待我們未來持續研究。

三、風速與彰化二期水稻受損空間分布的關聯性

將風速與距基準線距離迴歸線、帶狀區域 1 距基準線距離與 NDVI 變化率迴歸線進行綜合分析，發現在上風處(東北方)的平均風速較強、NDVI 變化率也越高，反之，在下風處(西南方)的平均風速較弱、NDVI 變化率也較低。本研究推測因風速較強，能攜帶較多的鹽塵附著在水稻上，使得發生鹽塵害的機率較高。至於此風速與 NDVI 變化率關聯性的邊界為何？風速大小是否與圖 13 中距基準線 30~40 萬公里處平滑曲線快速下降後回升相關？亦或是在不同尺度、地理空間能否呈現一樣的趨勢，可再進一步討論。

伍、研究限制與建議

一、判識彰化二期水稻真實種植範圍

本研究套疊衛星影像及國土利用調查圖水田類別後，將其按照農田坵塊圖分割，再以 $NDVI \geq 0.2$ 設為門檻值，視為彰化縣當季有種植二期水稻之範圍。第一，國土利用調查成果為國土測繪中心提供最新版之圖資，產製日期為 111 年下半年，唯彰化作物變化頻繁，農友可能會隨著地力、市場價格、極端天氣事件等而更換類別，故該圖資不能完全代表 113 年 10 月初水稻田實際種植區域；第二，將 $NDVI \geq 0.2$ 作為本研究區篩選水稻田的門檻值，然而水稻種植期程由南往北種植，且每塊水稻田有品種、種植時間、施肥方式不同，可能會造成水稻在不同生長週期中計算出的 NDVI 值有些許差異。

建議後人能嘗試運用國土利用調查成果、農田坵塊圖，輔以機器學習、深度學習影像判識水稻田紋理，或以生長週期為依據，分析多時期衛星影響，找出彰化稻作長時間的變化模式，提升水稻田篩選的精準度。

二、考慮多項因子與變化率之間的關聯

僅於文中依序討論風向、風速與二期稻作變化率的關聯性，但風的影響範圍是全面的，難以完全分割風向、風速對鹽害受損的貢獻程度。本研究從大尺度空間範圍，討論風向、風速因子對於鹽塵害產生農損的空間分布，若能使用雷達回波反演風場，便能產製高解析度且較貼近實際的風速、風向資料，弭平氣象測站空間分布不均，以及微地形變化，受到內陸地區建築物與植被，產生較大的摩擦力，使得風向受摩擦力偏轉的影響力。最後，可將量化的距離、經緯度座標、風向、變化率等多項因子，依序放入迴歸模型進行複迴歸分析，找出影響本次災害因子的迴歸式，並考量其差異與顯著程度，得以更廣泛探討此議題。

三、融入質性資料於議題討論當中

本研究以空間與氣象觀測資料作為研究材料，未透過訪談農友或實地考察的方式，了解水稻田有無輪休、農友是否改種植其他作物和其栽種習慣等，皆會影響 NDVI 的計算。此外，強風可能造成水稻倒伏，進而影響水稻品質、單位面積產量下降，從資料上難以得知倒伏之於 NDVI 的影響力，以及實際上農損受鹽塵害和強風倒伏的比例。因 Sentinel-2 衛星影像的時間解析度為 5 日，自小犬颱風襲台後，最快能取得彰化縣上空雲遮率 10% 以下的衛星影像為 10 月 12 日，距離颱風離開已過了近一週，農友在這段期間若有進行災後恢復，可能會影響 NDVI 的代表性。未來若能結合本研究材料與質性資料，互補資料特性的短處，期許能更全面提升水稻未來在面對颱風事件產生鹽塵害之相關知識，以維持台灣糧食安全與農業永續發展，並因應氣候變遷加強水稻的韌性。

附錄一、坵塊處理統計表

	個數(塊)	面積(平方公尺)
坵塊	300855	6.43E+08
水田坵塊	125801	2.72E+08
實際種植二期水稻之水田坵塊數	93484	1.95E+08

附錄二、各測站風向頻率統計表

風向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	TOTAL
頻率	53	81	18	4	5	13	11	9	11	2	0	0	0	2	0	4	216
比例	25.2	37.9	8.4	1.9	2.3	6.1	5.1	4.2	5.1	0.9	0	0	0	0.9	0	1.9	100

附錄三、彰化地區測站 10 月 5 日平均風速統計表

測站	二水	二林	三豐	大城	王功漁港	台中農改場	永靖	田中	竹塘	伸港	秀水	防潮門
平均風速m/s	1.965714286	9.847887324	13.71830986	5.490140845	12.29	6.453521127	2.47826087	4.152112676	5.916901408	10.05633803	4.767647059	11.27323944
緯度	23.8107	23.9033	23.882	23.8525	23.9682	24.003	23.9247	23.8738	23.8483	24.1489	24.0341	24.1835
經度	120.6173	120.3761	120.2895	120.3209	120.3259	120.5344	120.5475	120.5813	120.3868	120.4844	120.5039	120.4871
測站	社頭	芬園	花壇	員林	埔心	埔鹽	埤頭	溪州	溪湖	福興	福寶	線西
平均風速m/s	3.201428571	2.63943662	6.663768116	2.235714286	2.814706	7.016901408	7.78059702	5.236619718	2.814285714	3.602857143	15.82957746	7.950704225
緯度	23.8976	24.0157	24.0321	23.9465	23.9476	24.0004	23.866	23.8516	23.9484	24.0413	24.0443	24.1434
經度	120.5862	120.6213	120.5495	120.5856	120.5255	120.4317	120.4528	120.4991	120.4791	120.4377	120.3814	120.4435

附錄四、圖 14 迴歸分析之統計報表

Min	1Q	Median	3Q	Max
-32.110	-3.805	-0.226	4.152	17.531
Formula : $y=(2.959e-04)x-77.92$				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 5.513 on 4343 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.2957, Adjusted R-squared: 0.2955				
F-statistic: 1823 on 1 and 4343 DF, p-value: $< 2.2e-16$				

附錄五、圖 18 風速與距基準線距離與 NDVI 變化率迴歸線之統計報表

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.3331	-3.0067	-0.1331	1.1327	9.3923
Formula : $y=(-8.385e-05)x+8.068$				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 3.621 on 19 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.06224, Adjusted R-squared: 0.01289				
F-statistic: 1.261 on 1 and 19 DF, p-value: 0.2754				

附錄六、參考資料

一、期刊論文類

1. 施淑琪(2006)。2005 早春低溫對蓮華池試驗林 NDVI 影響之研究。國立彰化師範大學地理學系碩士班：碩士論文。
2. 康若蘭(2005)。福山地區碧利斯颱風前後 NDVI 變動之空間差異。國立彰化師範大學地理學系碩士班：碩士論文。
3. 陳麒文(2009)。新竹頭前溪上游集水區地層滑動與植生分布在颱風事件中之關係。國立台灣大學地質研究所：碩士論文。
4. 丁文彥(2008)。水稻的生長與分化。《臺東區農業專訊》第 66 期，p8-10。
5. 白銀隆(2002)。鹽塵害之風險分析與防阻-以台電雲林區處為例。國立政治大學經營管理碩士學程風險管理與保險組：碩士論文。
6. Funaba M., Izumi S., and Nishimura K. (1992). Damage of rice plants by typhoons and its ecological analysis in Nagasaki Prefecture in 1991. 2. Relationship between developmental stage at the time of typhoon 9117, 9119 and damage on grain quality and yield of rice plants. Rep. Kyusyu Br. Crop Sci. Soc. Japan 59 6-8, (in Japanese with English title)
7. Welch, J., Vincent, J., Auffhammer, M., Moya, P., Dobermann, A., & Dawe, D. (2010). Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, 107(33), 14562-14567. doi : 10. 1073/pnas.1001222107
8. Deering, D. W. (1978) Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors, ph.D. Dissertation, Texas A & M University, College Station, TX, 338p.

二、網路資料

1. 高溫資訊(2023 年 10 月 5 日)。交通部中央氣象署。
2. 颱風氣候分析全書。交通部中央氣象署。
網址：https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/climate/climate5_all.html
3. 農情調查資訊，農業部農糧署農情報告資源網。
網址：https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp
4. 農業知識入口網-水稻(2007 年 12 月 5 日)。農業部。
5. 112 年小犬颱風農業災情報告(2023 年 10 月 12 日)。農業部統計處。