

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟研究所



碩士論文

Department of Agricultural Economics
College of Bio-resources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis

颱風對臺灣水稻災損之關鍵因子分析及應變策略
Critical Factors of Typhoon Disasters on Rice Production
and Coping Strategies in Taiwan

方人平

JEN-PING FANG

指導教授：張靜貞 博士

Advisor : Ching-Cheng Chang, Ph.D.

中華民國 111 年 6 月

June, 2022

誌謝



時光荏苒、歲月如梭，轉眼間，兩年的碩士生涯即將告一段落。回想起這段時光，無論是在課業的學習或是論文的撰寫皆讓我成長許多，而這一路上也正是受到許多人的幫助，才能讓我走到現在。

感謝張靜貞老師的指導，並時常與我討論論文的方向及架構，當我在研究上遇到瓶頸時，老師也會即時地協助我解決問題，讓我能夠順利地完成此篇論文。同時，很幸運能夠參與老師的研究計畫，讓我對於水稻面臨颱風侵襲的影響有更深入的瞭解，並感謝研究團隊中，泰熒學長、鈺珊學姐、竣菘學長的照顧與教導。而在口試時，也非常感謝口試委員許文科老師與陳淑玲老師所提供的建議，讓此篇論文得以更加完備。

細數碩班求學過程，要感謝當初考研的戰友們，讓我挺過煎熬且疲憊的備考時期，順利考取研究所。也感謝好友們的陪伴，讓我的研究所生活多采多姿，充滿歡樂的回憶。最後，要感謝我最重要的家人們，是你們的鼓勵及支持，讓我在低潮時能夠再站起來，在徬徨無助時能夠有繼續前進的動力。

即將要畢業了，但這並不代表結束，而是要開始迎向人生的下一階段，期許我能帶著在研究所這兩年所吸取的養分，繼續朝著新的目標邁進，在未來的道路上努力發揮自我，毫不畏懼的面對接下來的挑戰。

方人平 謹誌於

國立臺灣大學農業經濟學研究所

中華民國一一一年七月

摘要



根據科技部「台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」所發布「IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告」，近年由於氣候變遷的緣故，使得颱風強度提升，對農作物的威脅也日益增加。水稻為臺灣最主要的糧食作物，其產量及產值皆遠大於其他農作物，經濟價值及地位相當重要，但其災損就有高達七成五的比例是由颱風所導致，故本研究蒐集 2009 年至 2018 年全臺稻作主要產區災損資料及颱風統計資料，建立水稻颱風損失模型，以颱風的主要氣象特徵、影響臺灣時間、縣市別及侵臺路徑作為迴歸分析之解釋變數，探討颱風對臺灣稻作災損之關鍵因子。

研究結果顯示，強風為颱風造成稻作災損最主要的致災因子，而若當水稻處於抽穗期時，承受風雨的能力較弱，除了強風外，颱風所挾帶之短時間強降雨亦會使水稻損率上升，另外，單日累積雨量如超過門檻值 150 毫米，水稻災損會較為嚴重。其他方面，颱風影響台灣時間的長短對水稻災損並未顯著的影響，在臺灣稻作主要產區中，颱風對嘉義縣及臺南市兩地之稻作破壞力較大，而由於稻作產區主要位於中南部，在路徑別上，以第五類及第九類路徑這兩類行經臺灣南部的颱風路徑較具威脅。

在分析颱風對臺灣稻作生產之致災因子後，本研究提出應變措施之建議，包含增加防災措施、調整水稻栽培時間、種植具抗性之水稻品種、強化農民防災意識等事前預防策略，以及水稻保險等事後補救策略。另外，本研究建議未來水稻保險若規劃朝氣象指數型保險的方向發展，可嘗試以颱風的風速及單日最大累積雨量作為設計判賠標準的依據。

關鍵字：颱風、水稻、損失模型、雨量門檻值、稻作抽穗期、農業保險

ABSTRACT

According to the IPCC Sixth Assessment Report Excerpts from Science Highlights and Update Report on Climate Change Review and Analysis in Taiwan issued by The Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, due to climate change the intensity of typhoons has increased in recent decades and the threat to crops has also increased. Rice is the most important food crop in Taiwan, and its production volumes and values are also far greater than other crops. However, about 75% of the disaster damage to rice crops is caused by typhoons, Therefore, this study collects disaster damage data and typhoon statistics in the main rice producing areas in Taiwan from 2009 to 2018, and establishes a typhoon loss model for rice. The explanatory variables of the regression analysis include the typhoon meteorological factors, the landing time of typhoon in Taiwan, counties, and the typhoon tracks.

The results of the study show that strong winds are the main cause of damage to rice crops caused by typhoons. If rice is at the heading stage, its ability to withstand wind and rain is weak which will increase the loss ratio. In addition, if the accumulated rainfall in a single day exceeds the threshold value of 150 mm, the rice damage will be more serious. On the other hand, the length of typhoon impact duration has no significant impact on the damage to rice. Among the main rice producing areas in Taiwan, typhoon has caused greater damages to the rice crops in Chiayi and Tainan counties. Because rice production areas are mainly located in the central and southern parts of Taiwan, the fifth and ninth typhoon tracks passing through southern Taiwan are more threatening than others.

After analyzing the disaster-causing factors of typhoons on rice production in Taiwan, relevant countermeasures were also put forward, including increasing disaster prevention measures, adjusting rice cultivation time, planting resistant rice varieties,

strengthening farmers' awareness of disaster prevention, and post-event remedial strategies such as rice insurance. In addition, if the future typhoon crop insurance will be introduced in the form of index insurance, this study suggests that wind speed and daily cumulative rainfall in typhoon disasters can be used to design the triggers and exit points of the payout.

Keywords: Typhoon, Rice, Loss Function, Rain Threshold, Heading Stage, Agricultural Insurance

目 錄



誌謝.....	i
摘要.....	ii
ABSTRACT.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究架構.....	3
第二章 臺灣水稻生產與災損概況及災損分析.....	6
第一節 臺灣水稻生產現況及地理分布.....	6
第二節 水稻生長特性及影響因子.....	9
第三節 臺灣水稻受天然災害影響概況.....	11
第四節 臺灣水稻災損現況及地理分布.....	13
第三章 實證模型與資料處理.....	20
第一節 水稻颱風損失函數之文獻回顧.....	20
第二節 實證模型與變數設定.....	23
第三節 資料來源與處理.....	32
第四章 實證分析結果.....	34
第一節 敘述統計分析.....	34
第二節 相關性分析.....	45
第三節 迴歸結果分析.....	48
第四節 小結.....	53
第五章 結論與應變策略.....	54
第一節 結論.....	54
第二節 應變策略.....	55
第三節 水稻保險未來發展.....	57
第四節 後續研究建議.....	58
參考文獻.....	59

圖目錄

圖 1-1	研究流程圖	5
圖 2-1	2009 年至 2020 年各縣市稻作種植面積比例	6
圖 2-2	2009 年至 2020 年各縣市稻作產量比例	7
圖 2-3	2009 年至 2020 年兩期稻作種植面積比例	8
圖 2-4	2009 年至 2020 年兩期稻作產量比例	8
圖 2-5	2009 年至 2020 年稻作逐年種植面積趨勢圖	9
圖 2-6	2009 年至 2020 年稻作逐年產量趨勢圖	9
圖 2-7	2009 年至 2020 年天災致水稻災損比例	12
圖 2-8	2009 年至 2018 年颱風導致各縣市稻作災損	16
圖 2-9	2009 年至 2018 年颱風導致各鄉鎮市區稻作面積損率概況	18
圖 2-10	2009 年至 2018 年颱風導致各鄉鎮市區稻作產量損率概況	18
圖 3-1	侵臺颱風路徑走向	27
圖 4-1	水稻抽穗期與颱風侵襲時間分析	41
圖 4-2	颱風影響臺灣時間次數分配圖	43

表目錄

表 2-1	水稻栽培階段.....	10
表 2-2	2009 年至 2020 年天災致水稻災損統計表.....	12
表 2-3	2009 年至 2018 年水稻逐年損失.....	13
表 2-4	2009 年至 2018 年各颱風導致水稻損失表.....	13
表 2-5	2009 年至 2018 年颱風導致之稻作產量損率.....	17
表 2-6	2009 年至 2020 年兩期稻作災損統計表.....	19
表 3-1	水稻災損模型變數整理.....	22
表 3-2	變數說明.....	23
表 3-3	侵臺颱風路徑說明.....	27
表 3-4	2009 年至 2018 年各縣市稻作種植面積及產量排行.....	33
表 4-1	災損模型各項變數之敘述統計表.....	34
表 4-2	稻作主要產區產量損率敘述統計表.....	35
表 4-3	稻作主要產區面積損率敘述統計表.....	36
表 4-4	颱風侵襲稻作主要產區之最大瞬間風風速統計（縣市別）.....	37
表 4-5	颱風侵襲稻作主要產區之最大瞬間風風速統計（颱風別）.....	37
表 4-6	颱風侵襲稻作主要產區之單日最大累積雨量統計（縣市別）.....	38
表 4-7	颱風侵襲稻作主要產區之單日最大累積雨量統計（颱風別）.....	39
表 4-8	颱風侵襲稻作主要產區之總累積雨量統計（縣市別）.....	40
表 4-9	颱風侵襲稻作主要產區之總累積雨量統計（颱風別）.....	40
表 4-10	單日累積最大雨量超過門檻之比例.....	42
表 4-11	各颱風影響臺灣時間統計.....	43
表 4-12	水稻生產前六大縣市樣本個數及佔比.....	44
表 4-13	各颱風路徑分類表.....	44
表 4-14	颱風路徑個數統計.....	45
表 4-15	氣象因素與水稻損率之相關係數統計.....	46
表 4-16	時間因素與損率之相關係數統計.....	46
表 4-17	縣市別與損率之相關係數統計.....	47
表 4-18	颱風路徑別與損率之相關係數統計.....	47
表 4-19	初始模型之實證結果.....	48
表 4-20	加入氣象變數與抽穗期交乘項模型之實證結果.....	50
表 4-21	加入單日雨量門檻值模型之實證結果.....	52
表 5-1	農作物颱風保單種類.....	58

第一章 緒論



第一節 研究動機

稻米為臺灣人民的主食，作為臺灣主要的糧食作物，水稻是栽培面積最大的單項作物，根據行政院農業委員會的統計資料及農委會農糧署臺閩地區農產品生產量值表，於 2020 年水稻的總種植面積約為 26.3 萬公頃。另外，該年水稻的總產量(近 140 萬公噸)與產值(約 388 億元新台幣)也在所有農產品中名列第一，由此可知，水稻的經濟價值與地位對臺灣而言甚為重要。

而臺灣因地理位置位於西北太平洋且四面環海，經常會受到豪雨、颱風的侵襲，近年來又因為氣候變遷的緣故，引發各種極端氣候，例如：乾旱、暴雨等，發生氣象災害種類相當多，對於農業部門而言，常常會因此而造成嚴重的損失，並直接影響到農民的生計。以水稻為例，2020 年災損產量為 7,621 公噸，而損失總金額更是高達 1.7 億元左右。

藉由過往水稻歷史災損做進一步探討，可以發現在各項天然災害中，又屬颱風最為嚴重，稻作因颱風侵襲而造成面積、產量及產值等各項損失皆高達七成五左右。有鑑於此，為了有效評估颱風侵襲對水稻所帶來的風險，並找出颱風對臺灣稻作災損的主要關鍵因子，建立水稻的颱風損失模型是有其必要性的。在探討過往相關的文獻，可得知颱風造成稻作受損的主因為其所挾帶之強風及豪雨，惟大部分文獻中之氣象變數只單純侷限於颱風的風速及雨量來進行分析，故本研究欲將致災因子變數設計得較為多元，像是把「日雨量門檻值」、「稻作抽穗期是否與颱風侵臺時間重疊」等變因納入模型中之氣象變數，透過建立門檻值以及與水稻生長期結合的方式，可深入了解颱風氣象因素所帶來的影響。同時，本研究亦將颱風之降雨量再區分成單日累積雨量及總累積雨量進行細部分析，以探討短時間的強降雨及長時間的累積降雨各自對稻作的致災程度。另外，本研究將研究標

的限縮為全臺稻作主要產區的縣市，且層級細至鄉鎮市區別，使模型最終的結果更具意義，較能反映臺灣稻作主要的災損概況。

而為了降低受災農民的經濟損失，政府亦推行了一系列的措施，依據《農業發展條例》第 60 條第 2 項授權訂定，臺灣於 1991 年通過《農業天然災害救助辦法》，明定農業生產因天然災害受損，政府得辦理現金救助、補助或低利貸款，以協助農民迅速恢復生產。但近年由於氣候變遷，天然災害發生機率與規模逐年上升，使農業天災損失日益嚴重，據行政院農委會（2020）指出，目前的政府現金救助已經無法填補農業損失的虧損，故為了解決上述的困境，並協助農民分散經營風險，行政院農委會提出了農業保險政策，於 2015 年起開始推動各項作物之農業保險，並訂定《農作物天然災害保險試辦補助要點》，鼓勵農民投保農產業保險。接著在 2020 年 5 月 27 日，《農業保險法》完成立法，使得農業保險制度更加完善，也奠定了日後農業保險運作的基礎。其中，臺灣的水稻保險於 2017 年正式推行，屬於區域收穫型保險。而於 2022 年政府更是推出了新制度，開辦政策型水稻收入保險。綜上，水稻保險制度目前已實施五年，制度日益完善，但仍有部分改善空間。目前水稻保險尚未有針對颱風災害所設計的保單，有鑑於臺灣稻作主要的損失係來自於颱風災害，且在查詢行政院農委會及富邦產險之農作物保險資訊後，發現有許多農作物亦有專門針對颱風災害所設計的保險，故本研究欲藉由水稻颱風損失模型的估計，並且參考國內外文獻及市面上其他農作物颱風保險的形式，提出相關建議，以作為未來水稻颱風保險發展之依據。

第二節 研究目的

基於上述之動機，本研究將整理中央氣象局颱風氣象資料以及行政院農委會水稻種植資料及災損資料進行分析，以達到下列之研究目的：

- 
- 一、以颱風事件統計資料以及水稻種植與災損資料，推估臺灣稻作主要產區之水稻颱風損失函數，並探討颱風侵臺時，各項致災因子對稻作損失的相關性及影響程度。
 - 二、依據實證結果，找出颱風對稻作致災影響程度較大的因子，並針對於此提出相關的防範措施。
 - 三、藉由水稻颱風損失函數的推估，作為未來水稻颱風保險發展的參考依據，並給予相關的建議。

第三節 研究架構

為滿足上述之研究動機與目的，本研究架構設計如下：

一、水稻生產現況及災損型態分析

透過歷年水稻的種植資料及損失資料，初步了解水稻的生長特性以及臺灣稻作的生產及災損現況，並分析各項天然災害對水稻的影響程度，進而確立颱風為主要探討之災害事件。

二、水稻致災因子分析

藉由過往的文獻，尋找並歸納出致使水稻受損的相關因素，在後續水稻損失模型的建立時，即以此作為災損因子的參考來進行分析。

三、資料蒐集與整理

自行政院農委會的水稻災損資料當中，篩選出因颱風導致的損害統計資料，並與中央氣象局之颱風事件統計資料合併。而後，為使分析結果更具代表性，本研究再從中選擇臺灣稻作主要產區作為研究標的，且層級細至鄉鎮市區別。

四、研究模型設計

藉由文獻回顧，參考過去國內外研究當中損失函數的設計，從中找出適合的研究方法，以建立水稻的颱風災損模型。



五、推估颱風災損因子對水稻的損害程度

根據災損模型的實證結果分析，探討各項災損變數對水稻的損害程度，以了解颱風對臺灣稻作的影響，進而找出造成稻作受損的關鍵因子。

六、提出建議及相關措施

針對影響程度較為嚴重的致災因子提出可行的建議及相關的防範措施，並以估算出的災損模型，作為未來水稻颱風保險制定的基礎。

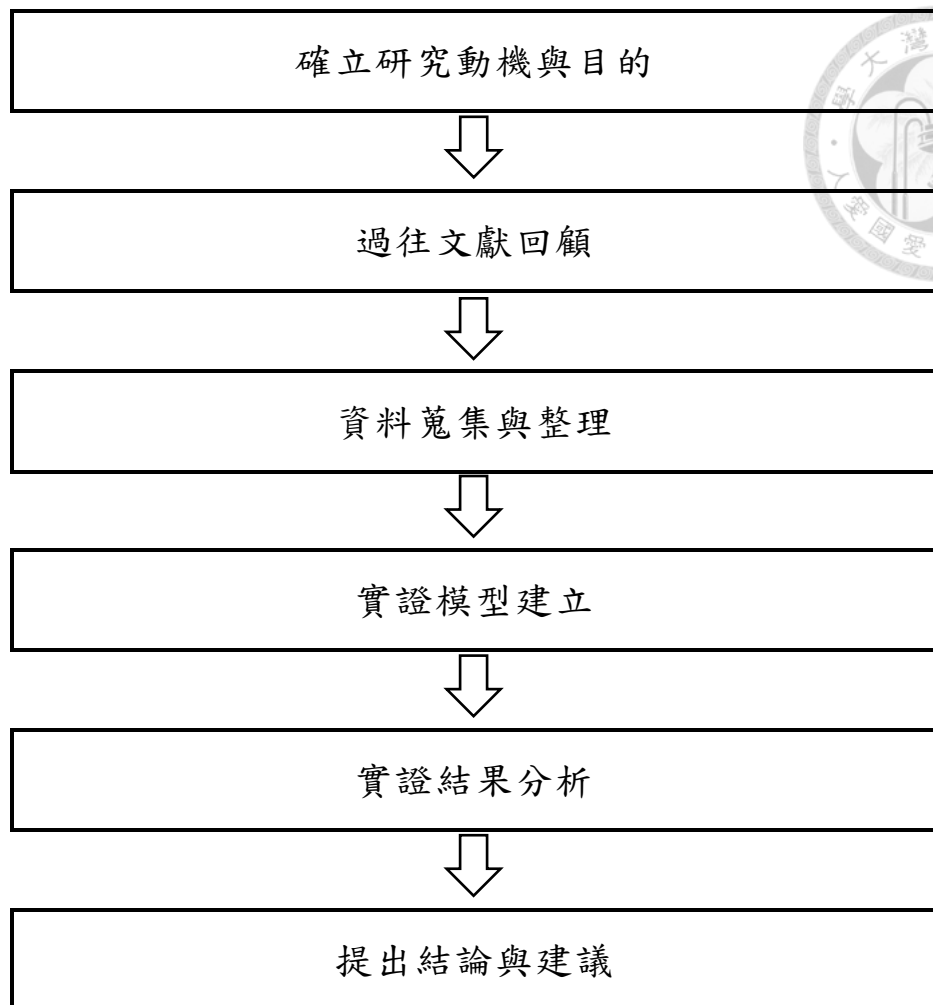


圖 1-1 研究流程圖

資料來源：本研究整理

第二章 臺灣水稻生產與災損概況及災損分析

本章將介紹臺灣水稻生產與災損概況，首先說明臺灣水稻生產現況及地理分布，包含稻作種植面積、產量在縣市別與期作別的比較，以及近年來的變化趨勢，並透過文獻的回顧了解水稻的生長特性以及受各氣候環境影響的概況。接著，探討各項天然災害對臺灣稻作的影響程度，以了解造成稻作損害的主要天災為何，並敘述臺灣水稻災損現況及地理分布。

第一節 臺灣水稻生產現況及地理分布

水稻為臺灣栽培面積最大的農作物，因此在全臺多個縣市皆可看見大片的稻田，並且主要分布在地形以平原為主的中南部地區，如圖 2-1 所示，2009 年至 2020 年間，總種植面積最多的縣市為彰化縣，占了 18%，而居次的雲林縣亦有 17%，而後分別為嘉義縣（12%）、臺中市（10%）、臺南市（9%）以及花蓮縣（6%）。而產量方面，由圖 2-2 可看出稻米生產前六大縣市與種植面積皆相同，一樣是彰化縣（20%）、雲林縣（19%）、嘉義縣（12%）、臺中市（9%）、臺南市（9%）和花蓮縣（5%）。其他像是宜蘭平原、東部縱谷平原等地勢較平緩的地區亦為稻米的主要產區。

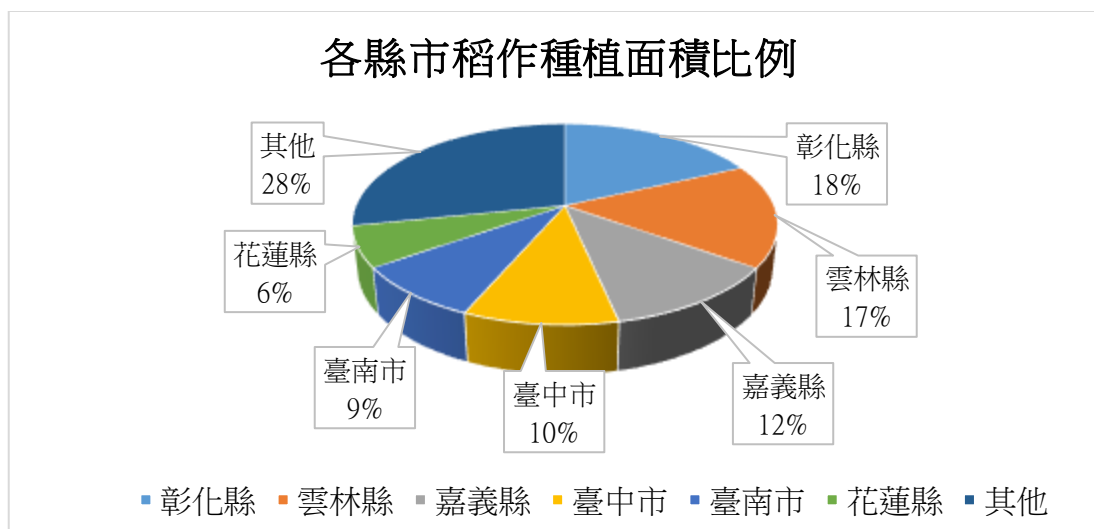
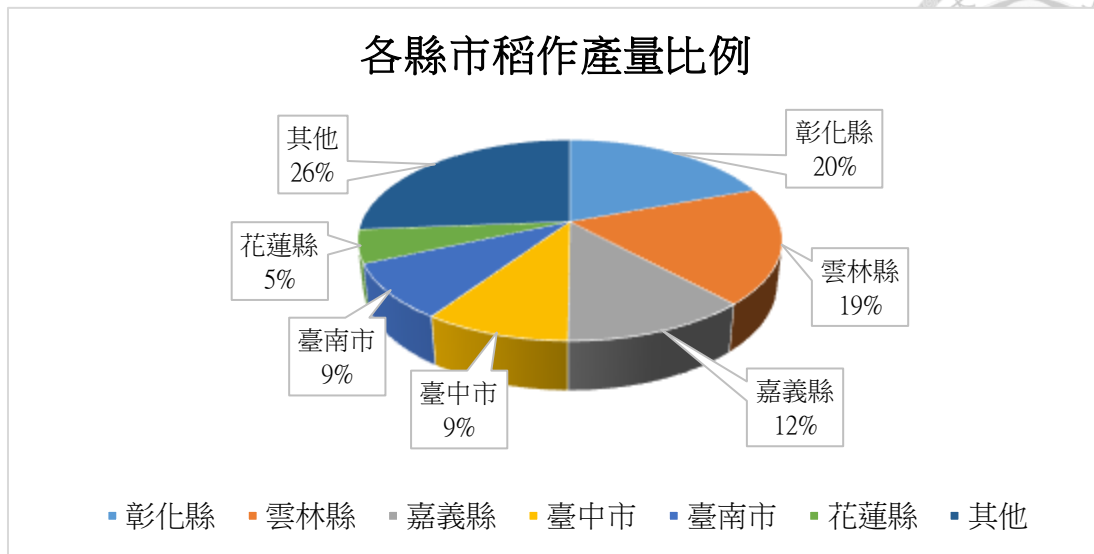


圖 2-1 2009 年至 2020 年各縣市稻作種植面積比例

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理



資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

圖 2-2 2009 年至 2020 年各縣市稻作產量比例

至於在兩期稻作方面，可以透過圖 2-3 以及圖 2-4 觀察到，在 2009 年至 2020 年間，一期稻作與二期稻作在總種植面積的比例大約是 6：4，總產量的部分，一期稻作（66%）與二期稻作（34%）之間的差距則是有稍微擴大。而關於臺灣一期稻作產量較二期作高的原因，主要是因為一期作的生育階段歷程較長，生質量的累積自然也較多，有利於水稻的生長。另外，二期作因為種植時間在夏季，氣溫相對較高，使得生育階段轉換加快，容易導致穀粒充實不足的情況發生，進而造成稻作減產。（姚銘輝、陳守泓，2009）

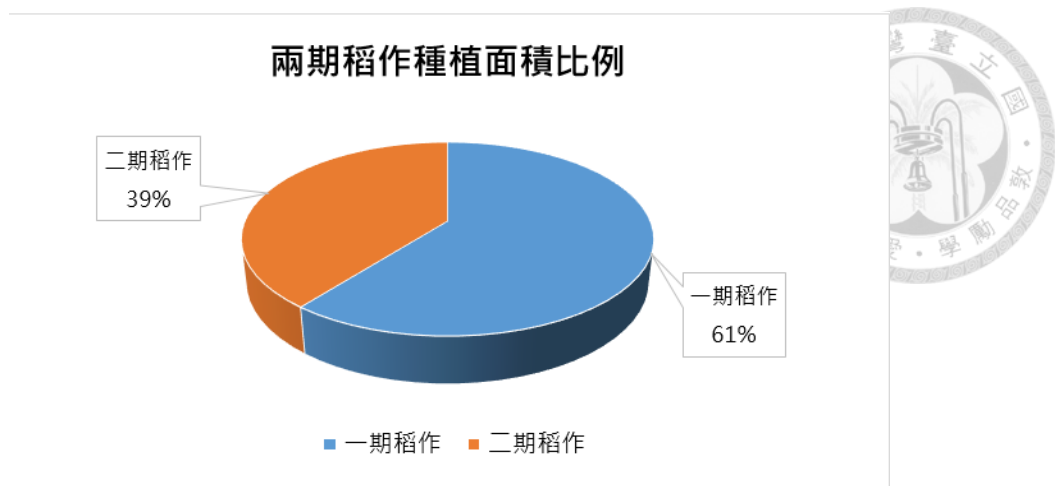


圖 2-3 2009 年至 2020 年兩期稻作種植面積比例
資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

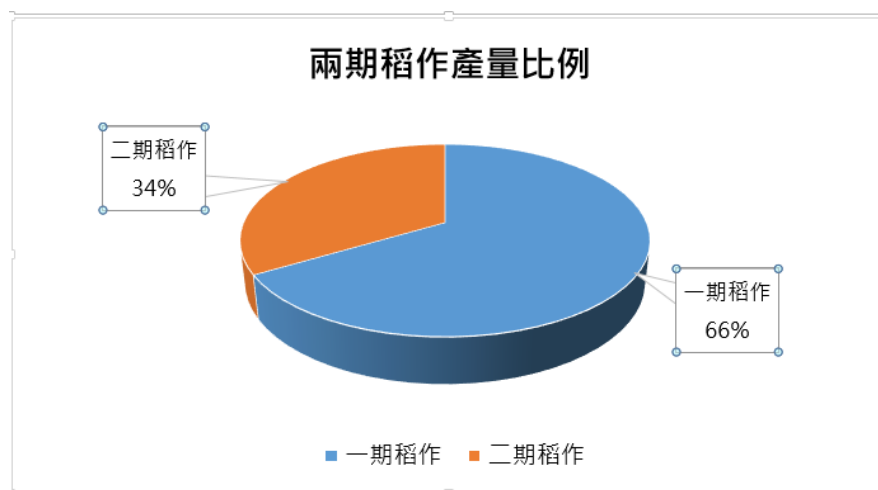


圖 2-4 2009 年至 2020 年兩期稻作產量比例
資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

接著，圖 2-5 與圖 2-6 顯示 2009 年至 2020 年間稻作種植面積與產量的趨勢，可以看到這 12 年來，無論是種植面積還是產量皆很穩定，並有些微上升的趨勢。值得注意的是，總種植面積的趨勢與一期作幾乎呈現一致，可以以此推測臺灣水稻種植面積變化受一期稻作的影響較大。

單位：公頃

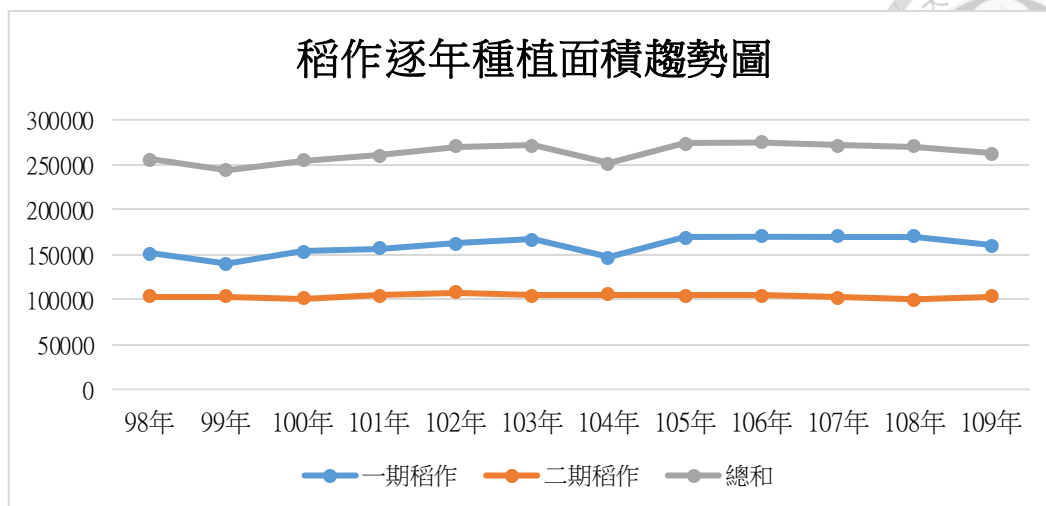


圖 2-5 2009 年至 2020 年稻作逐年種植面積趨勢圖

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

單位：公斤

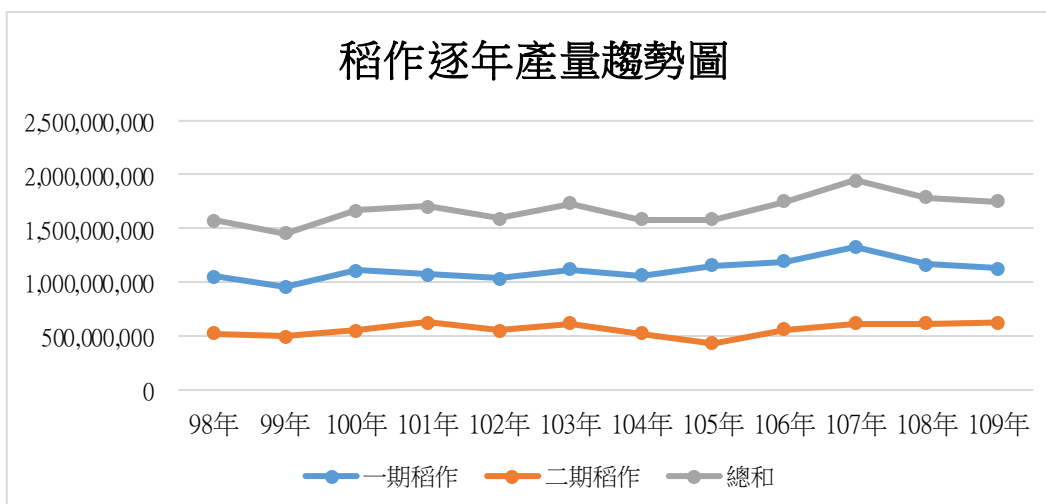


圖 2-6 2009 年至 2020 年稻作逐年產量趨勢圖

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

第二節 水稻生長特性及影響因子

水稻是屬於禾本科 (Gramineae or Poaceae) 稻屬 (Oryza) 植物，好高溫多雨氣候，適合於熱帶及亞熱帶地區生長。在臺灣因為氣候條件良好、無霜期長，

且灌溉系統完善，使得水稻栽培可分為兩期（植物保護圖鑑系列 8—水稻保護，2007）。其中，一期稻作大約在一、二月播種，抽穗期約為五月下旬，直到六月下旬左右稻作成熟即可收穫。而二期稻作的生育階段則是在七月開始種植，至十一月中旬左右收穫。

稻作的栽培過程，共有三個時期，依序分別為營養生長期、生殖生長期以及成熟期，相關介紹如表 2-1：

表 2-1 水稻栽培階段

稻作生長狀態		歷時
營養生長期	發芽至幼穗分化	10 天至 60 天
生殖生長期	幼穗分化至開花	35 天至 45 天
成熟期	開花至穀粒完全成熟	30 天至 35 天

資料來源：農業兒童網（2021）

根據 Funaba et al. (1992)及 Welch et al. (2010)的研究，於生殖生長期中的抽穗期這個階段，水稻面對豪雨及強風的易損性是最大的，因此若正好碰到颱風的侵襲，往往會造成嚴重的損失。在臺灣，二期稻作的抽穗期即時常遇到颱風，也正因為如此，二期稻作的災損往往會較一期來得多。

而水稻生長過程極易受到氣候環境的影響，溫度、雨量、風速、日射量、二氧化碳濃度等眾多因素皆會左右稻作的發育及產量。以溫度來看，因其主要為控制營養生長速率及發育階段的重要氣象因子，因此過高與過低皆不宜。張素貞、賴巧娟(2020)提到氣溫過高($> 35^{\circ}\text{C}$)會導致穀粒充實不足，氣溫過低($< 15^{\circ}\text{C}$)則會使得稻作的生長發育受到阻礙。

而關於雨量，根據農作物災害預警平台上水稻防災栽培曆中記載，颱風與梅雨所帶來的強降雨（單日雨量 $> 150\text{mm}$ ）與連續性降雨（連續三天雨量 $>$

200 mm) 會造成植株倒伏、穗上發芽、空殼等情形發生，使水稻產量減少。侯雅玲 (2017) 亦說明，若大量降雨致使稻田淹水，水稻在泡水的環境下會因為無法有效地進行氣體交換而缺氧，會使得葉片黃化，最嚴重可能會有壞死的情況發生。

風速方面，於水稻防災栽培曆中顯示當強風風速大於每秒 9 公尺，會導致秧苗枯死、葉片破損、黃化。除此之外，強風可能會傳播汙染物質，影響稻作的生長，病蟲害發生的機率也會大大提升。(植物保護圖鑑系列 8—水稻保護, 2007)。

而在日射量與二氧化碳濃度的部分，姚銘輝、陳守泓 (2009) 提到這兩項氣候因子皆與稻作產量成正比關係，因為日射量增加會使得生質量累積越多，而二氧化碳濃度上升則會讓水稻輻射利用效率提高，並減少蒸發散量，對水稻生長發育有所幫助。

第三節 臺灣水稻受天然災害影響概況

前一章已大略提及颱風為造成稻作受損的主要天災，本節將更完整地介紹臺灣水稻受天然災害影響概況。下表 2-2 為 2009 年至 2020 年天災導致水稻損害統計，其中災害種類包含颱風、豪雨、低溫寒害、熱帶低壓水災、乾旱、龍捲風以及地震，可以明顯看出在被害面積、損失面積、損害產量與損失金額這四項災損指標上，颱風皆遠大於其他天然災害。而圖 2-7 則為 2009 年至 2020 年天災致水稻災損比例，無論是被害面積、損失面積、損害產量或是損失金額，颱風占比皆高達 75% 左右，相較之下，造成稻作災損次高的豪雨占比則僅僅不到 20%，第三名的寒害更是低至 7% 而已。藉由這兩張圖表的資訊，顯示颱風對臺灣稻作具有很大的破壞性。



表 2-2 2009 年至 2020 年天災致水稻災損統計表

天然災害	被害面積 (公頃)	損失面積 (公頃)	損害產量 (公斤)	損失金額 (元)
颱風	208,321	52,685	317,871,953	6,617,101,040
豪雨	55,611	10,971	73,735,054	1,511,399,719
低溫寒害	15,959	4,785	35,214,922	666,780,937
熱帶低壓水災	1,568	348	2,232,358	49,081,677
乾旱	543	145	780,895	17,964,210
龍捲風	10	1	6,000	120,000
地震	6	1	4,667	81,730

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

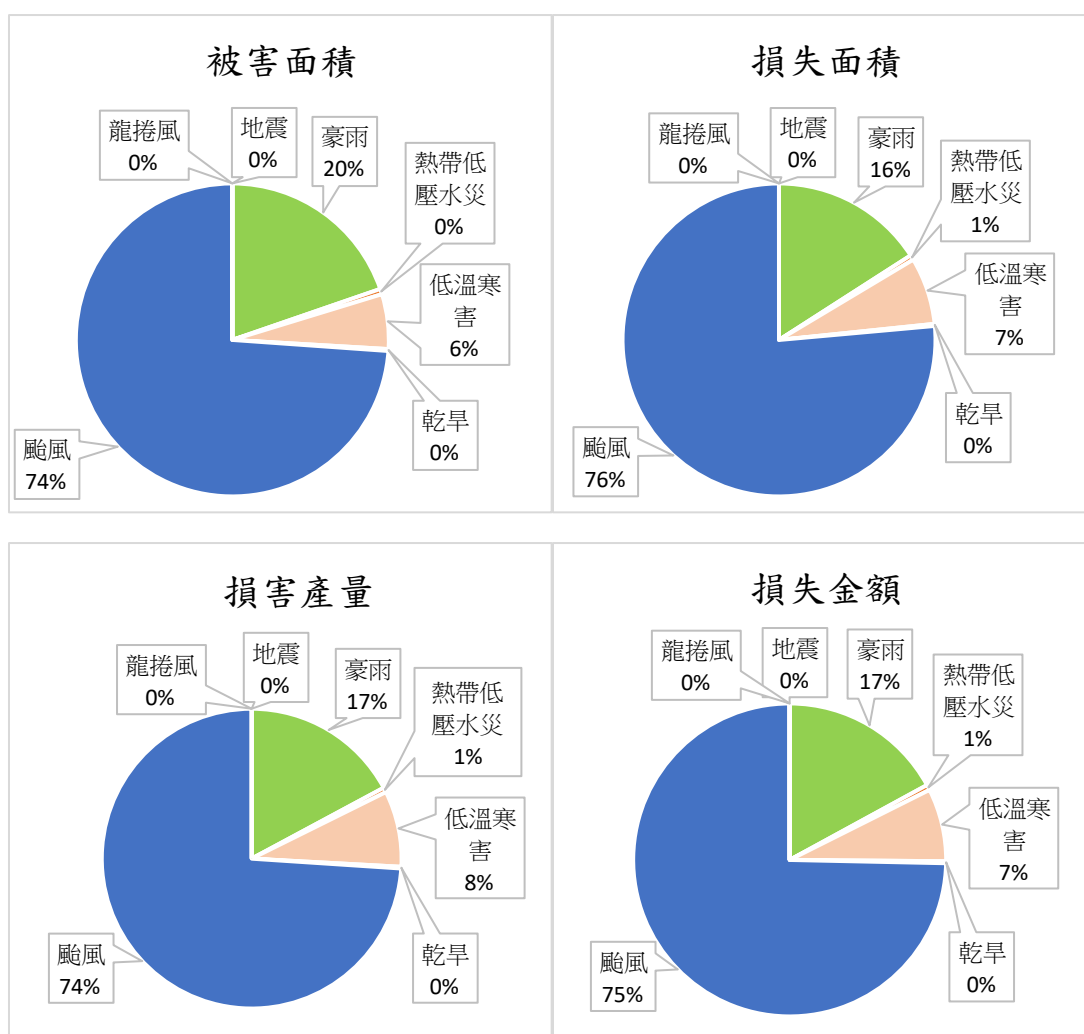


圖 2-7 2009 年至 2020 年天災致水稻災損比例

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理



第四節 臺灣水稻災損現況及地理分布

介紹完臺灣水稻的生產現況，接著來分析稻作的災損情況。表 2-3 為 2009 年至 2018 年水稻逐年的損失，其中以 2009 年、2015 年以及 2016 年的災損較為嚴重，主要原因如表 2-4 所示，在這三個年分水稻因颱風侵襲遭受的損失皆遠大於其他年分，而這也呼應了本章第一節所提到颱風為造成水稻受損最嚴重的氣象災害之敘述，亦表示整年度水稻的損失多寡端看該年颱風致災的情況。另外，歷年來導致稻作受損的各個颱風之中，前三嚴重也正好是這三年所發生的，分別為 2016 年的梅姬颱風、2015 年的杜鵑颱風與 2009 年的莫拉克颱風。

表 2-3 2009 年至 2018 年水稻逐年損失

年分	被害面積 (公頃)	損失面積 (公頃)	損害數目 (公斤)	損害金額 (元)
2009	42,533	10,143	56,993,376	1,071,100,479
2010	20,842	5,347	33,087,814	539,284,386
2011	7,617	1,738	9,286,005	207,479,435
2012	19,707	3,593	23,598,816	451,657,145
2013	21,585	5,518	34,241,638	735,507,722
2014	1,887	192	1,460,840	33,839,337
2015	51,459	13,816	83,546,996	1,853,486,229
2016	74,169	20,571	127,605,014	2,858,527,778
2017	11,009	2,716	19,907,942	448,948,693
2018	4,488	924	6,124,819	136,914,499

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

表 2-4 2009 年至 2018 年各颱風導致水稻損失表

年分	颱風名稱	被害面積 (公頃)	損失面積 (公頃)	損害數目 (公斤)	損失金額 (元)
2009	蓮花	408	46	284,823	5,686,933

	莫拉克	34,703	7,164	40,752,014	708,462,209
	芭瑪	594	119	659,950	14,151,790
	總計	35,705	7,330	41,696,787	728,300,932
2010	莫蘭蒂	100	10	43,000	860,000
	凡那比	19,387	5,081	31,555,181	509,149,942
	梅姬	681	158	779,988	16,568,646
	總計	20,168	5,249	32,378,169	526,578,588
2011	米雷	180	20	140,700	2,543,580
	南瑪都	245	53	226,235	4,042,772
	總計	425	73	366,935	6,586,352
2012	6月豪雨及 泰利	16,953	3,204	20,963,842	398,723,211
	蘇拉	1,120	119	941,719	20,004,583
	天秤	296	125	609,810	13,110,230
	總計	18,369	3,448	22,515,371	431,838,024
	蘇力	4,106	1,277	7,635,708	173,770,452
2013	潭美及康芮	9,102	2,030	11,993,489	248,067,435
	天兔	190	17	103,575	2,428,655
	總計	13,398	3,324	19,732,772	424,266,542
2014	哈吉貝	152	24	129,007	3,354,801
	麥德姆	214	47	460,643	11,767,483
	鳳凰	64	9	54,537	1,217,534
	總計	430	80	644,187	16,339,818
2015	昌鴻	11	1	3,418	76,368
	蘇迪勒	8,284	1,727	11,349,406	267,915,282
	杜鵑	41,003	11,701	69,237,610	1,532,290,650
	總計	49,298	13,429	80,590,434	1,800,282,300
2016	尼伯特	188	44	381,600	9,714,692
	莫蘭蒂	432	92	534,915	12,338,682
	梅姬	69,463	19,545	118,604,817	2,650,765,277
	總計	70,083	19,680	119,521,332	2,672,818,651
2017	尼莎暨海棠	348	53	315,030	7,491,889
	總計	348	53	315,030	7,491,889
2018	瑪莉亞	75	16	90,311	2,107,301
	總計	75	16	90,311	2,107,301

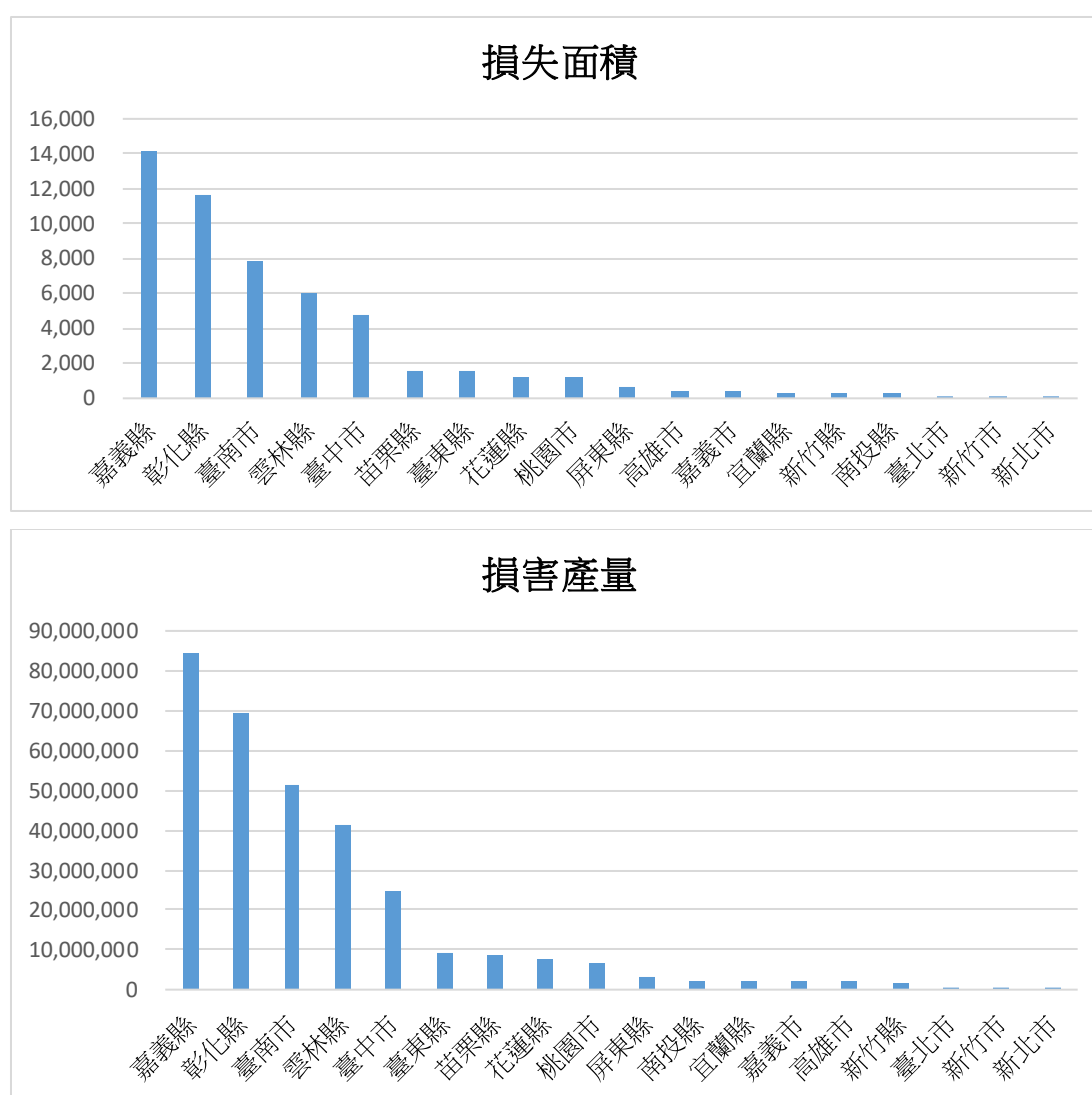
資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

註 1：2012 年泰利颱風發生於梅雨期間，故將該颱風所致之水稻災損與豪雨致災合併計算。

註 2：2013 年潭美及康芮颱風、2017 年尼莎暨海棠因兩個颱風發生期間相近，故分別將其所致之水稻災損合併計算。

而地理分布分面，圖 2-8 為 2009 年至 2018 年颱風導致各縣市稻作災損比較，可以看出無論是損失面積、損害產量或是損失金額，前五多的縣市皆是嘉義縣、彰化縣、臺南市、雲林縣和臺中市，顯示水稻在臺灣中南部區域的災損較為嚴重，經濟影響較大。

單位：公頃、公斤、千元



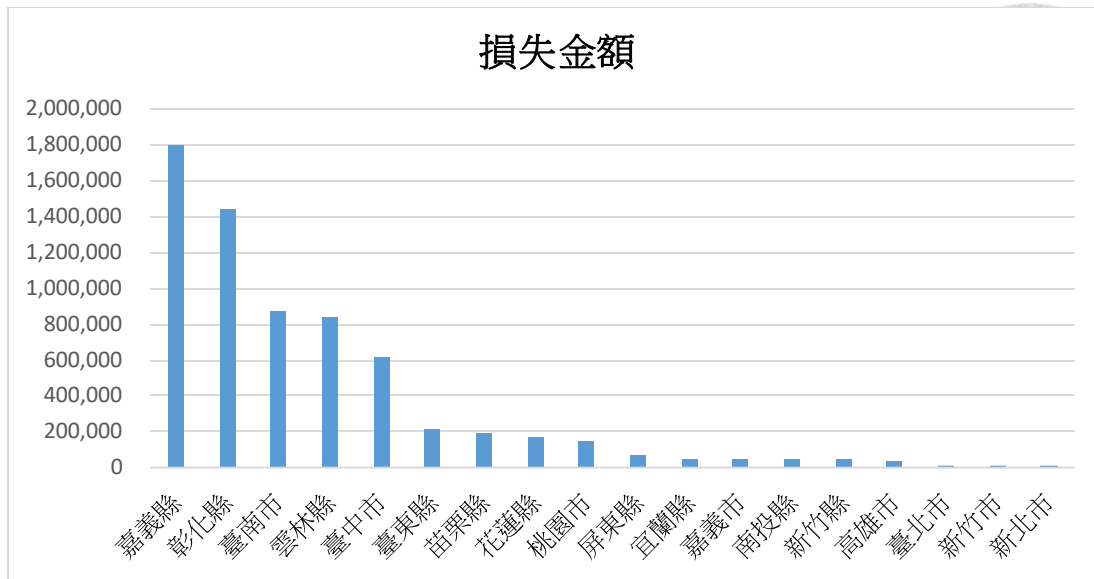


圖 2-8 2009 年至 2018 年颱風導致各縣市稻作災損

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

而接著進一步，本研究將損失面積及損害數目與總種植面積及總產量做對比，探討颱風對水稻的破壞強度，以了解歷年各颱風致水稻受損以及全臺各地稻作產區之損失比率概況。表 2-5 顯示 2009 年至 2018 年間，各颱風導致之稻作產量損率，可知過去造成稻米災損最多的三個颱風事件：2016 年的梅姬颱風、2015 年的杜鵑颱風與 2009 年的莫拉克颱風，無論是面積損率或是產量損率皆在 2.5% 以上，對比其他餘颱風損率大多不足 1%，其破壞力可說是相當驚人。另外，圖 2-9 與圖 2-10 為 2009 年至 2018 年間，各鄉鎮市區受到颱風侵襲的面積損率與產量損率之比較，顏色越深的地區表示損失比率越高，可以發現中南部的面積損率與產量損率皆較高，顯示當颱風來襲時，相較於其他區域，中南部受颱風影響的破壞強度較大。

表 2-5 2009 年至 2018 年颱風導致之稻作產量損率

年分	颱風名稱	面積損率	產量損率
2009	蓮花	0.02%	0.02%
	莫拉克	2.80%	2.52%
	芭瑪	0.05%	0.04%
	總計	2.87%	2.57%
2010	莫蘭蒂	0.00%	0.00%
	凡那比	2.08%	2.13%
	梅姬	0.06%	0.05%
	總計	2.15%	2.18%
2011	米雷	0.01%	0.01%
	南瑪都	0.02%	0.01%
	總計	0.03%	0.02%
2012	6 月豪雨及泰利	1.23%	1.22%
	蘇拉	0.05%	0.06%
	天秤	0.05%	0.04%
	總計	1.32%	1.31%
2013	蘇力	0.47%	0.48%
	潭美及康芮	0.75%	0.75%
	天兔	0.01%	0.01%
	總計	1.23%	1.23%
2014	哈吉貝	0.01%	0.01%
	麥德姆	0.02%	0.03%
	鳳凰	0.00%	0.00%
	總計	0.03%	0.04%
2015	昌鴻	0.00%	0.00%
	蘇迪勒	0.69%	0.71%
	杜鵑	4.65%	4.19%
	總計	5.33%	4.85%
2016	尼伯特	0.02%	0.02%
	莫蘭蒂	0.03%	0.03%
	梅姬	7.14%	6.95%
	總計	7.19%	7.00%
2017	尼莎暨海棠	0.02%	0.02%
	總計	0.02%	0.02%
2018	瑪莉亞	0.01%	0.00%
	總計	0.01%	0.00%

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理



面積損率分布圖

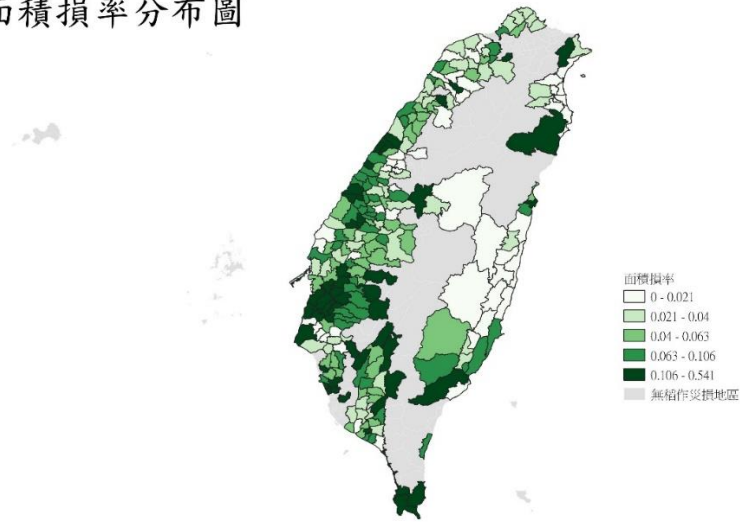


圖 2-9 2009 年至 2018 年颱風導致各鄉鎮市區稻作面積損率概況
資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

產量損率分布圖

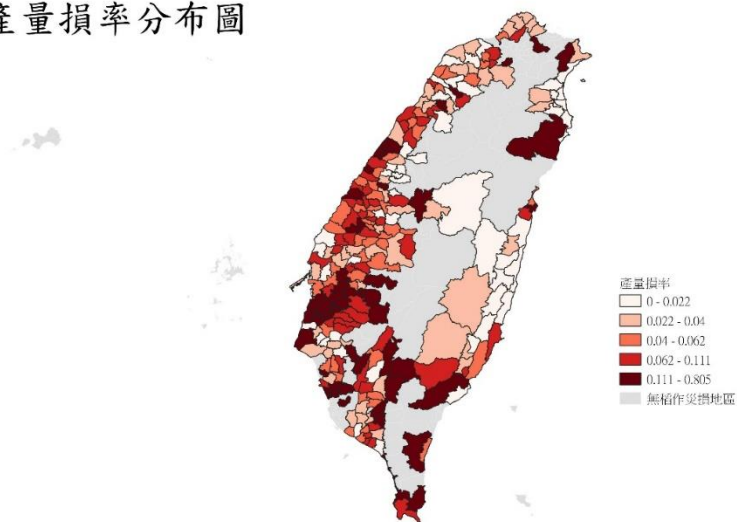


圖 2-10 2009 年至 2018 年颱風導致各鄉鎮市區稻作產量損率概況
資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

接著，在兩期稻作的災損比較上，由表 2-6 顯示，二期稻作的災損遠遠大於一期稻作，而造成此現象主要是因為，二期稻作的生長期在 7 月至 11 月，與颱風好發季節重疊，因此較容易受到颱風的侵襲而造成嚴重的損失。



表 2-6 2009 年至 2020 年兩期稻作災損統計表

稻作期數	影響面積 (公頃)	損失面積 (公頃)	損害數目 (公斤)	損害金額 (元)
一期水稻	22,338	4,699	29,933,671	601,666,427
二期水稻	185,961	47,982	287,917,657	6,014,943,970

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

第三章 實證模型與資料處理



本章首先透過水稻颱風損失函數以及災損模型評估之文獻回顧，找出稻作受颱風侵襲可能的致災因素，了解過往建立作物災損模型常用的評估方法，進而確立本研究所要使用的變數及模型，同時，根據模型中的變數蒐集相關的氣象統計資料與水稻災損資料，並進行資料篩選。

第一節 水稻颱風損失函數之文獻回顧

在所有天然災害中，颱風造成水稻災損的程度最為嚴重，受損產量及損失金額皆高達 75% 左右，為了可以更有效地評估颱風侵襲對稻作所帶來的衝擊，國內外學者紛紛投入水稻之颱風易損性函數的研究，透過建立損失函數模型，推估出颱風的氣象損害因子（累積雨量、最大風速等）、路徑、生成時間、影響天數等等對水稻的影響，可藉此降低水稻損失，提高產能。而有些研究更是結合未來氣候情境模擬，預測未來稻作可能災損的情況，並可以此作為基礎來制定及規劃防災的決策與措施。

當颱風侵臺時，其所挾帶的強風及豪雨是造成稻作受損最直接的致災因素，故過往文獻建立水稻颱風損失函數時，常常會將這兩項氣象變數納入分析，例如：朱蘭芬、陳吉仲與陳星瑞（2007）以臺灣各地區颱風所造成之稻米單位面積損失產量作為被解釋變數，解釋變數則為颱風所挾帶之瞬間最大風速和累積雨量，利用最小平方法、Tobit 模型以及 Truncated 模型來估計稻米的損失函數。研究結果可以發現，颱風之瞬間最大風速對稻作的災損會比累積雨量所造成的損失還大，另外就全臺灣各區域的影響，最大風速對稻米的災損以中南部區域的影響較為顯著，而累積雨量則是對東部的影響較大。潘以甜（2017）亦曾針對臺灣稻作主要產區且受災次數較高的地區：雲林、嘉義以及臺南，先以各鄉鎮市區因豪雨及颱風而造成水稻災損的資料與累積降雨及最大平均風速等氣象因子資料建立水稻的損失函數，再利用未來氣候情境模擬模式，推估未來水稻的損失比率。徐永衡

等 (2015) 將颱風災害各縣市水稻被害程度 (%) 設為模式輸出層的依變數，而模式中輸入層的自變數則有包含近中心最大風速、各縣市平均日累積雨量等六種變數，利用類神經網路 (artificial neural network, ANN) 建立經驗模式，並結合臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 (The Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP) 所模擬之未來颱風情境，進行未來颱風事件水稻損失風險評估。在中國方面，婁偉平、吳利紅與姚益平 (2010) 建立浙江省杭州市余杭區之稻作暴雨災害減產率模型，以此作為水稻保險的氣象理賠指數設計之參考，改善中國傳統農業保險存在基差風險的問題，其中，模型中所設定的參數包含降水量、最大風速。

而颱風造成稻作損害亦受其他相關因素所影響，例如上述所提到徐永衡等人 (2015) 的研究，其模式輸入層中的自變數亦包含份、地區別、侵臺路徑分類與颱風影響臺灣天數等變因。另外，亦有學者將水稻的生長特性納入颱風損失模型之中，Masutomi et al. (2012) 即使用颱風最大風速觀測日期與稻米抽穗期間隔時間以及颱風強度 (颱風最大風速、累積雨量) 作為參數，建立日本稻米颱風易損性函數，以估計稻作的災損面積。之後，Blanc & Strobl (2016) 更以上述研究作為參考，並另外使用地表水源指數以及標準化植被指數來監測稻田的生長階段，建立菲律賓稻米颱風易損性函數，以評估颱風對菲律賓各區域稻作生產可能造成的影響。也有不少模型將地形因素納入考量，像是上述婁偉平等人 (2010) 所建立之稻作暴雨災害減產率模型，其模型參數除了風速及雨量外，亦使用地形與抗洪能力作為分析變數。

綜上所述，可將過去關於水稻之颱風易損性函數的國內外文獻中用於分析災損的相關變數，整理成以下幾個方向，並以此作為後續研究模型變數設定之參考。

表 3-1 水稻災損模型變數整理

類別	相關變數
氣象因素	風速（瞬間最大風速、最大平均風速）、雨量（累積雨量、平均日累積雨量）
時間因素	颱風影響臺灣天數、颱風最大風速觀測日期與稻米抽穗期間隔時間、颱風生成時間
地理因素	侵臺路徑、地區別、地表水源指數以及標準化植被指數、抗洪能力

資料來源：本研究整理

另外，在災損模型的建立上，除了水稻外，近年來由於氣候變遷，使得其他農作物生產亦面臨巨大的威脅，為了能更有效地評估災損，不少學者紛紛針對各項農作物建立災害損失模型。例如，丘媚萍（2011）曾蒐集 1946 年至 2009 年臺灣 12 個縣市之農業氣象災害損失面積資料與氣象資料，以最小平方迴歸模型估計各項天然災害對農業災害損失面積的影響，了解氣候變遷對於農業部門的衝擊。陳慈慧（2020）針對臺灣香蕉主要產區，蒐集 1997 年至 2017 年香蕉產量及氣象資料，並採用固定效果模型評估產出模型，分析各項氣象因子與香蕉產出的關係。簡榮成（2021）蒐集 1989 年至 2018 年臺南、高雄及屏東的芒果災損資料以及氣象資料，使用隨機效果模型推估出芒果之損失函數，以研究各項氣候因素對於芒果產量的影響。

由此可知，過往文獻在農作物災損的評估上，多使用迴歸模型進行分析，而在水稻方面，本節第二段曾提及朱蘭芬等人（2007）的研究亦使用迴歸模型建立臺灣各地區之水稻颱風損失函數。故本研究將以此為依據，作為後續實證模型之研究方法。

第二節 實證模型與變數設定

此節將介紹本研究之實證模型所設定的變數(如表 3-2)，並說明各個變數的意義及相關事項。

表 3-2 變數說明

變數名稱	變數意義	單位
被解釋變數		
PLR	產量損率	
ALR	面積損率	
解釋變數		
氣象因素		
WIND	最大瞬間風風速	公尺/秒
PPD	單日最大累積雨量	毫米
SUMPP	總累積雨量	毫米
WIND × HEADING	最大瞬間風風速 × 抽穗期	
PPD × HEADING	單日最大累積雨量 × 抽穗期	
SUMPP × HEADING	總累積雨量 × 抽穗期	
PPD × PPD TH	單日最大累積雨量 × 門檻值	
時間因素		
TIME	颱風影響時間	小時
縣市別		
CHW	彰化縣	
YUN	雲林縣	
CYI	嘉義縣	
TXG	臺中市	
TNN	臺南市	
颱風路徑別		
PATH2	第二類	
PATH3	第三類	
PATH4	第四類	
PATH5	第五類	
PATH9	第九類	
PATH10	其他類	

資料來源：本研究整理

一、被解釋變數

為了更精準地探討災損情況，本研究採用「損率」而非「損量」來表示水稻的損失，以避免外在因素的干擾，例如：損失面積多僅僅是因為種植面積大而已，而非受到研究模型中解釋變數的影響。除此之外，於 2022 年新上路的水稻收入保險制度，其理赔的條件為減產超過 20%（即各鄉鎮市區每公頃實際產量低於八成基準產量），亦是使用損率的概念（行政院農金局，2022）。因此，本研究選擇「產量損率」以及「面積損率」作為研究模型的被解釋變數，以下將進一步做介紹。

（一）產量損率（PLR）

指水稻因颱風所致之損害產量與總產量之比例。本研究先篩選出全臺稻作種植面積與產量前六多的縣市，並將其各鄉鎮市區之稻作颱風損害數量與總產量相除後，即得出各地區於各颱風事件中水稻的產量損率。

（二）面積損率（ALR）

指水稻因颱風所致之損失面積與種植面積之比例。本研究先篩選出全臺稻作種植面積與產量前六多的縣市，並將其各鄉鎮市區之稻作颱風損失面積與種植面積資料相除後，即得出各地區於各颱風事件中水稻的面積損率。

二、解釋變數

透過過往的文獻，了解到強風及豪雨為颱風主要的致災因子，而其中降雨的部分，在過去的文獻（丘媚萍，2011）可以得知短時間的強降雨與長時間的連續性降雨對農作物有不同的影響，宜將兩者分開來做更細部的探討，因此本研究採用最大瞬間風風速、單日最大累積雨量（短時間強降雨）、總累積雨量（長時間連續性降雨）以作為水稻颱風損失模型的氣象因子變數，來分析各項氣象因子對水稻的損害是否顯著。

而前面文獻回顧中也提到，水稻在發育階段的抽穗期最不易抵抗強風及豪雨，故本研究將稻作在抽穗期階段時是否與颱風侵襲時間重疊納入考量，了解水稻在抽穗期時的易損程度，同時，為了更清楚得知於抽穗期時受風和雨影響與災損之間的關聯性，因此特別將上述所提到的三項氣象因子變數各自與抽穗期的交乘項放入模型解釋變數之中。

此外，張素貞、賴巧娟（2020）與農作物災害預警平台上水稻防災栽培曆中皆提到單日累積雨量超過 150 毫米即達到稻作雨害預警條件，需特別注意並加以防範，因此本研究將單日累積雨量 150 毫米設定為門檻值，以了解單日累積雨量之門檻對水稻損率的影響，並驗證此門檻的有效性。

另外，本研究亦參考徐永衡（2015）之模型，將颱風的影響時間及路徑納入本研究之解釋變數，以探討颱風特性對水稻損失的影響。另外，由於各地區的抗洪能力不一，本研究亦加入了縣市別這項變因，以分析不同縣市受颱風侵襲而造成水稻災損的差異。針對研究模型中的各項解釋變數，以下將進一步做介紹。

（一）氣象因素

1. WIND（最大瞬間風風速）

指颱風事件中各鄉鎮市區之最大瞬間風風速。最大瞬間風風速，意即最大陣風風速，指的是在特定期間內所測得的陣風風速之最大值。

2. PPD（單日最大累積雨量）

指颱風事件中各鄉鎮市區之單日最大累積雨量。單日最大累積雨量，為颱風發生起始至結束，連續 24 小時降雨所累積的雨量總和之最大值。

3. SUMPP（總累積雨量）

指颱風事件中各鄉鎮市區之總累積雨量。總累積雨量，為颱風期間內全部累積的雨量總和。

4. $WIND \times HEADING$ (最大瞬間風風速 $\times$ 抽穗期)、 $PPD \times HEADING$ (單日最大累積雨量 $\times$ 抽穗期)、 $SUMPP \times HEADING$ (總累積雨量 $\times$ 抽穗期)

指各項氣象變數與抽穗期之交乘項。其中，抽穗期這項變數用於表示水稻於抽穗期階段時是否碰上颱風，並將其設為虛擬變數，若稻作抽穗期與颱風侵襲時間重疊設為 1，反之則為 0。而關於判定方法，本研究以臺灣主要稻米生產種類—臺南 11 號的生育日數（一期稻作約 121 天、二期稻作約 110 天）（稻米主題館，2011），對應至各鄉鎮市區水稻的插植日期，推估出該地區稻作大概的抽穗期階段，再與各颱風的侵臺影響日期進行對照。

5. $PPD \times PPD TH$ (單日最大累積雨量 $\times$ 門檻值)

指單日最大累積雨量與日雨量災害預警門檻值之交乘項。其中， $PPD TH$ 這項變數用於表示該鄉鎮市區於颱風事件下的單日累積最大雨量是否有超過門檻值 150 毫米，並將其設為虛擬變數，若單日最大的降雨量大於 150 毫米就設為 1，反之則為 0。

(二) 時間因素

1. $TIME$ (颱風影響時間)

指颱風事件影響臺灣的時間。本研究係根據中央氣象局颱風資料庫中，各個颱風海上警報發布的時間與海上警報解除的時間之間隔，作為該颱風的影響時間。

(三) 縣市別

本研究以稻作種植面積與產量為基準篩選出六個縣市，並花蓮縣作為對照組，將縣市設為虛擬變數，分別為 CHW (彰化縣)、 YUN (雲林縣)、 CYI (嘉義縣)、 TXG (臺中市) 與 TNN (臺南市)。

(四) 颱風路徑別

指颱風的路徑差異，本研究按照中央氣象局的路徑分類，將各個颱風的路徑區分成十類，並將其設為虛擬變數，以第七類路徑作為對照組。下表 3-3 與圖 3-1 為各個路徑的走向及相關說明。

表 3-3 侵臺颱風路徑說明

侵臺路徑分類	說明
第一類	通過臺灣北部海面向西或西北進行者
第二類	通過臺灣北部向西或西北進行者
第三類	通過臺灣中部向西或西北進行者
第四類	通過臺灣南部向西或西北進行者
第五類	通過臺灣南部海面向西或西北進行者
第六類	沿臺灣東岸或東部海面北上者
第七類	沿臺灣西岸或臺灣海峽北上者
第八類	通過臺灣南部海面向東或東北進行者
第九類	通過臺灣南部向東或東北進行者
其他類	無法歸於以上的特殊路徑

資料來源：中央氣象局（2021）

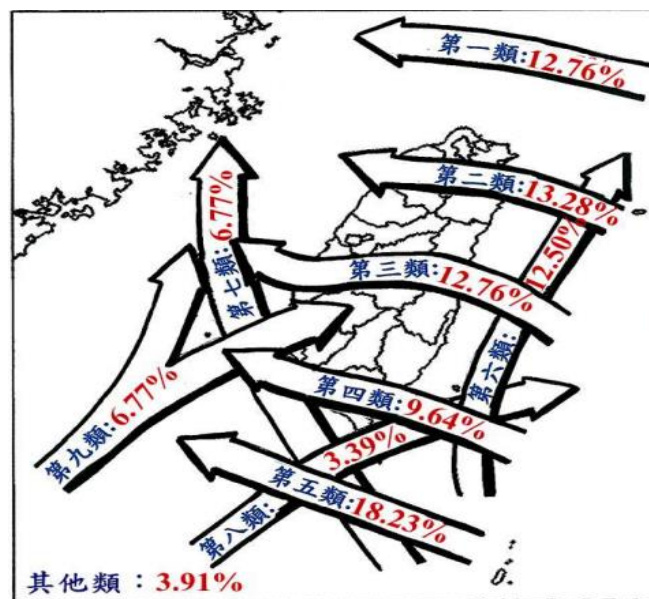


圖 3-1 侵臺颱風路徑走向

資料來源：中央氣象局（2021）

接著由前面小節所介紹的變數，建立實證模型之模型函數式，本研究將以迴歸模型進行颱風對水稻之災損分析，並以最小平方法估計參數。由於單日最大累積雨量與總累積雨量的相關性極高，因此在後續實證分析中，會將這兩項代表降雨量的變數分開來探討。首先，本研究在氣象變數上，先不納入與抽穗期、門檻值的交乘項，單純用最大瞬間風風速、單日最大累積雨量以及總累積雨量進行分析，如(1)、(2)、(3)、(4)式，其中(1)與(3)兩式雨量的代表變數為單日最大累積降雨量，而(2)、(4)兩式則為總累積雨量。

一、初始模型：

(一) 產量損率

$$PLR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH) \quad (1)$$

$$PLR = F(WIND, SUMPP, TIME, COUNTY, PATH) \quad (2)$$

(二) 面積損率

$$ALR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH) \quad (3)$$

$$ALR = F(WIND, SUMPP, TIME, COUNTY, PATH) \quad (4)$$

其中，(1)、(2)、(3)、(4)式變數意義如下

PLR：產量損率。

ALR：面積損率。

WIND：最大瞬間風風速（公尺/秒）。

PPD：單日最大累積雨量（毫米）。

SUMPP：總累積雨量（毫米）。

TIME：颱風影響時間（小時）。

COUNTY：用以判別縣市別之虛擬變數，包含 CHW（彰化縣）、YUN（雲林縣）、CYI（嘉義縣）、TXG（臺中市）、TNN（臺南市）。

PATH：用以判別侵臺颱風路徑別之虛擬變數，包含 PATH2（第二類）、PATH3（第三類）、PATH4（第四類）、PATH5（第五類）、PATH9（第九類）、PATH10（其他類）。

接著，本研究在初始模型當中加入最大瞬間風風速、單日最大累積雨量與總累積雨量三項氣象變數與用以表示稻作抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊之虛擬變數的交乘項。函數形式如下列（5）、（6）、（7）、（8）式，其中（5）、（7）兩式雨量的代表變數為單日最大累積降雨量，而（6）、（8）兩式則為總累積雨量。

二、加入氣象變數與抽穗期交乘項之模型

（一）產量損率

$$PLR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH, WIND \times HEADING, PPD \times HEADING) \quad (5)$$

$$PLR = F(WIND, SUMPP, TIME, COUNTY, PATH, WIND \times HEADING, SUMPP \times HEADING) \quad (6)$$

（二）面積損率

$$ALR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH, WIND \times HEADING, PPD \times HEADING) \quad (7)$$

$$ALR = F(WIND, SUMPP, TIME, COUNTY, PATH, WIND \times HEADING, SUMPP \times HEADING) \quad (8)$$

其中，（5）、（6）、（7）、（8）式新增變數意義如下

HEADING：水稻抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊之虛擬變數。

WIND × HEADING：最大瞬間風風速及水稻抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊之虛擬變數之交乘項。

PPD × HEADING：單日最大累積雨量及水稻抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊之虛擬變數之交乘項。

SUMPP × HEADING：總累積雨量及水稻抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊之虛擬變數之交乘項。

最後，本研究在初始模型當中加入單日雨量門檻值。函數形式如下列（9）、（10）式。

三、加入單日最大累積雨量門檻值之模型

（一）產量損率

$$PLR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH, PPD \times PPD TH) \quad (9)$$

（二）面積損率

$$ALR = F(WIND, PPD, TIME, COUNTY, PATH, PPD \times PPD TH) \quad (10)$$

其中，（9）、（10）式新增變數意義如下

PPD TH：單日累積雨量門檻值之虛擬變數。

PPD × PPD TH：單日最大累積雨量與單日累積雨量門檻值之虛擬變數。

本研究使用迴歸模型進行災損分析，並以最小平方估法估計模型參數，故將上述函數（1）至（10）改寫成下列迴歸式（11）至（20）式：

一、初始模型

$$PLR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \varepsilon_i \quad (11)$$

$$PLR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 SUMPP_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \varepsilon_i \quad (12)$$

$$ALR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \varepsilon_i \quad (13)$$

$$ALR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 SUMPP_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \varepsilon_i \quad (14)$$

二、加入氣象變數與抽穗期交乘項之模型

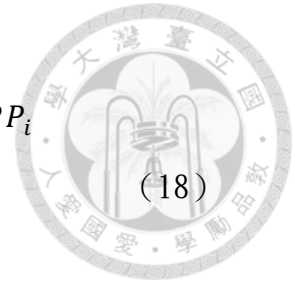
$$PLR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \beta_6 WIND_i \times HEADING_i + \beta_7 PPD_i \\ \times HEADING_i + \varepsilon_i \quad (15)$$

$$PLR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 SUMPP_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \beta_6 WIND_i \times HEADING_i + \beta_7 SUMPP_i \\ \times HEADING_i + \varepsilon_i \quad (16)$$

$$ALR_i = \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\ + \beta_5 PATH_i + \beta_6 WIND_i \times HEADING_i + \beta_7 PPD_i \\ \times HEADING_i + \varepsilon_i \quad (17)$$



$$\begin{aligned}
ALR_i = & \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 SUMPP_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\
& + \beta_5 PATH_i + \beta_6 WIND_i \times HEADING_i + \beta_7 SUMPP_i \\
& \times HEADING_i + \varepsilon_i
\end{aligned}
\tag{18}$$



三、加入單日最大累積雨量門檻值之模型

$$\begin{aligned}
PLR_i = & \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\
& + \beta_5 PATH_i + \beta_6 PPD_i \times PPD TH_i + \varepsilon_i
\end{aligned}
\tag{19}$$

$$\begin{aligned}
ALR_i = & \beta_0 + \beta_1 WIND_i + \beta_2 PPD_i + \beta_3 TIME_i + \beta_4 COUNTY_i \\
& + \beta_5 PATH_i + \beta_6 PPD_i \times PPD TH_i + \varepsilon_i
\end{aligned}
\tag{20}$$

第三節 資料來源與處理

為了分析颱風對水稻災損的影響，本研究自行政院農委會農糧署之農情報告資源網上蒐集了 2009 年至 2018 年水稻生產資料，包含兩期稻作各年各鄉鎮市區的種植面積以及總產量。另外，水稻颱風災損資料及插植日期係由行政院農委會所提供，其中水稻颱風災損資料包括 2009 年至 2018 年間各侵臺颱風造成各鄉鎮市區水稻之被害面積（稻作實際遭受災害之面積）、損害程度（稻作遭受災害之嚴重程度）、換算損失面積（被害面積乘上損害程度換算得之無收穫面積）以及損害產量與估計損失金額。

關於氣象資料的部分，藉由稻作生產分布及海拔高度的關係，本研究先從中央氣象局目前所有測站（人工站共 33 個，自動站共 581 個）中篩選出海拔高度小於 500 公尺的測站，而後整理 2009 年至 2018 年間各侵臺颱風事件在各測站之氣象資料，並利用克利金法內插得出各個鄉鎮市區在颱風事件中之最大瞬間風速、單日最大累積雨量以及總累積雨量以作為氣象參數。另外，本研究亦於氣象

局颱風資料庫上整理各颱風對臺灣的影響時間與侵臺路徑。

而為了更能有效地探討水稻的災損，且使研究結果較具意義，因此本研究特別選擇稻作種植面積與產量較多的縣市作為研究對象，且層級細至鄉鎮市區別，來針對臺灣水稻的主要產區進行分析。表 3-4 為 2009 年至 2018 年全臺各縣市稻作種植面積及產量排行，本研究從中挑選這兩項的前六名為分析標的，分別為彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺中市、臺南市與花蓮縣，這六個縣市的種植面積及產量即占全臺加總的七成以上。另外，在颱風部分，潭美及康芮、尼莎及海棠這兩組颱風因為侵臺時間接近，稻米災損資料因而合併計算，使得氣象資料與災損資料在配對上較為不精確，故這兩組颱風不納入本研究之分析。在經過篩選後，於本研究中颱風事件總共為 18 個，鄉鎮市區為 119 個，總樣本數則為 626 筆。

表 3-4 2009 年至 2018 年各縣市稻作種植面積及產量排行

縣市	種植面積	縣市	產量
彰化縣	572,649	彰化縣	3,903,351,198
雲林縣	526,896	雲林縣	3,777,116,925
嘉義縣	373,607	嘉義縣	2,410,952,899
臺中市	313,212	臺中市	1,886,215,508
臺南市	276,904	臺南市	1,795,954,907
花蓮縣	206,012	花蓮縣	1,070,979,868
桃園市	160,817	臺東縣	862,350,993
臺東縣	151,753	桃園市	820,827,957
苗栗縣	128,109	宜蘭縣	806,648,189
宜蘭縣	126,846	苗栗縣	740,696,649
新竹縣	87,478	屏東縣	558,209,370
屏東縣	81,099	新竹縣	482,757,762
高雄市	60,396	高雄市	418,092,353
南投縣	56,709	南投縣	382,583,424
嘉義市	17,031	嘉義市	107,841,196
新竹市	13,485	新竹市	74,188,016
臺北市	5,798	臺北市	23,607,145
新北市	1,983	新北市	10,375,025

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

第四章 實證分析結果



本章節首先就模型中的被解釋變數及解釋變數進行敘述性統計，接著進行相關性分析以了解被解釋變數與解釋變數之間的關係，最後使用最小平方估計迴歸模型進行分析，透過迴歸的結果以了解各項解釋變數對損率的影響。

第一節 敘述統計分析

本節呈現 2009 年至 2018 年間，各個侵臺颱風對稻作災損分析之各項變數的敘述統計結果，包含平均值、標準差、最小值及最大值，如表 4-1 所示。以下將再針對各項變數做進一步說明。

表 4-1 災損模型各項變數之敘述統計表

變數	平均值	標準差	最小值	最大值
被解釋變數				
產量損率	0.08951	0.11874	0.00002	0.65196
面積損率	0.08809	0.12893	0.00002	0.98039
解釋變數				
氣象因素				
最大瞬間風風速	29.57240	5.98571	16.47098	37.77918
單日最大累積雨量	214.69710	149.28616	14.20586	977.91809
總累積雨量	277.09033	218.47887	22.89518	1,955.62219
最大瞬間風風速 ×抽穗期	16.84654	15.95226	0.00000	37.77918
單日最大累積雨量 ×抽穗期	99.05198	135.17593	0.00000	911.44153
總累積雨量 ×抽穗期	124.22146	185.39952	0.00000	1,955.62219
單日最大累積雨量 ×門檻值	171.13938	185.93475	0.00000	977.91809
時間因素				
颱風影響時間	67.56230	17.29675	48.00000	105.00000
縣市別				



彰化縣	0.25240	0.43473	0.00000	1.00000
雲林縣	0.19808	0.39887	0.00000	1.00000
嘉義縣	0.14217	0.34951	0.00000	1.00000
臺中市	0.12460	0.33053	0.00000	1.00000
臺南市	0.17412	0.37952	0.00000	1.00000
颱風路徑別				
第二類	0.26198	0.44006	0.00000	1.00000
第三類	0.41374	0.49290	0.00000	1.00000
第四類	0.11661	0.32122	0.00000	1.00000
第五類	0.00319	0.05648	0.00000	1.00000
第九類	0.19010	0.39269	0.00000	1.00000
其他類	0.01118	0.10524	0.00000	1.00000

資料來源：本研究整理

一、被解釋變數

(一) 產量損率

在 2009 年至 2018 年間，臺灣稻作主要產區受颱風侵襲所致之產量損率平均值為 8.80%，標準差為 0.12。若按縣市別進行探討，如表 4-2 所示，在稻作生產前六大縣市當中，產量損率之平均值最大者為嘉義縣，約 13.30%；次之為臺南市，為 13.10%；最小則為花蓮縣，僅 4.06%。而產量損率最大值發生於 2016 年梅姬颱風，當時造成臺南市新市區的損失產量占總產量的比例超過六成。

表 4-2 稻作主要產區產量損率敘述統計表

產量損率					
縣市	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
彰化縣	158	0.08474	0.10818	0.00003	0.47108
雲林縣	124	0.06715	0.09754	0.00003	0.42101
嘉義縣	89	0.13299	0.14883	0.00008	0.55008
臺中市	78	0.06981	0.11445	0.00002	0.57149
臺南市	109	0.13097	0.12924	0.00011	0.65196
花蓮縣	68	0.04063	0.08004	0.00006	0.46341

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理



(二) 面積損率

在 2009 年至 2018 年間，臺灣稻作主要產區受颱風侵襲所致之面積損率平均值為 10.40%，標準差為 0.134。若按縣市別進行探討，如表 4-3 所示，在稻作生產前六大縣市當中，與產量損率相同，面積損率之平均值最大者為嘉義縣，約 13.79%；次之為臺南市，為 13.73%；最小則為花蓮縣，僅 3.70%。而面積損率最大值亦發生於 2016 年梅姬颱風，當時造成臺南市新市區的損失面積占總種植面積的比例高達 98.04%。

表 4-3 稻作主要產區面積損率敘述統計表

產量損率					
縣市	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
彰化縣	158	0.08417	0.10741	0.00002	0.42963
雲林縣	124	0.05897	0.08740	0.00005	0.48819
嘉義縣	89	0.13786	0.17293	0.00006	0.85106
臺中市	78	0.06131	0.09930	0.00003	0.41430
臺南市	109	0.13734	0.16647	0.00008	0.98039
花蓮縣	68	0.03694	0.07988	0.00006	0.46225

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

二、解釋變數

(一) 氣象因素

1. 最大瞬間風風速

在 2009 年至 2018 年間，颱風侵臺在稻作主要產區所造成的最大瞬間風風速平均值為每秒 29.572 公尺，標準差為 5.99。按縣市別來看，如表 4-4 所示，在六個縣市當中，臺中市在颱風期間所測得的最大瞬間風風速平均值最大，為 31.489

m/s；最小則為花蓮縣，為 27.157 m/s。而最大瞬間風風速的最大值發生在 2016 年梅姬颱風，當時於臺中市后里區測得每秒 37.779 公尺。若按颱風別，由表 4-5 可看出挾帶的最大瞬間風風速較強的颱風事件之前三名分別是 2016 的梅姬颱風、2009 年的莫拉克颱風以及 2010 年的凡那比颱風。

表 4-4 颱風侵襲稻作主要產區之最大瞬間風風速統計（縣市別）

單位：公尺/秒

最大瞬間風風速					
縣市	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
彰化縣	158	29.938	5.913	18.288	37.102
雲林縣	124	28.554	5.518	19.167	36.549
嘉義縣	89	29.582	5.428	20.023	36.313
臺中市	78	31.489	6.081	17.159	37.779
臺南市	109	30.328	5.505	21.163	36.355
花蓮縣	68	27.157	7.280	16.471	37.623

資料來源：中央氣象局；本研究整理

表 4-5 颱風侵襲稻作主要產區之最大瞬間風風速統計（颱風別）

單位：公尺/秒

最大瞬間風風速						
年分	颱風名稱	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
2009	芭瑪颱風	3	17.9716	0.8181	17.3708	18.9033
2009	莫拉克颱風	77	33.1428	1.0808	31.7639	34.8989
2009	蓮花颱風	11	20.9145	0.6070	19.8841	21.6954
2010	凡那比颱風	62	33.0382	0.3166	32.2712	33.6666
2010	梅姬颱風	4	19.4113	0.4138	18.9589	19.7909
2011	南瑪都颱風	5	20.7677	0.2941	20.3160	21.1199
2012	6 月豪雨及 泰利颱風	104	19.6177	1.4322	16.4710	21.9660
2012	天秤颱風	3	23.7953	0.4253	23.4438	24.2680
2012	蘇拉颱風	34	25.4225	0.5111	24.6871	26.8373
2013	天兔颱風	2	21.8189	0.6916	21.3299	22.3079
2013	蘇力颱風	35	28.3847	2.2963	25.8875	33.1203

2014	麥德姆颱風	13	29.5065	5.3283	22.1281	36.3766
2014	鳳凰颱風	1	19.6514	0.0000	19.6514	19.6514
2015	杜鵑颱風	95	30.9346	2.2097	28.5949	36.0387
2015	蘇迪勒颱風	66	32.3105	1.3740	30.5247	37.3513
2016	尼伯特颱風	6	23.8054	1.8687	21.1631	25.4079
2016	梅姬颱風	103	36.5439	0.5819	35.3833	37.7792
2016	莫蘭蒂颱風	2	26.0188	0.9792	25.3265	26.7112

資料來源：中央氣象局；本研究整理

2. 單日最大累積雨量

在 2009 年至 2018 年間，颱風侵臺在稻作主要產區所降下的單日最大累積雨量平均值為 214.697 毫米，標準差為 149.286。按縣市別來看，如表 4-6 所示，臺南市於颱風期間之平均單日最大累積雨量遠超過其他縣市，高達 324.389 毫米；彰化縣則為 150.598 毫米，為六個縣市當中平均單日最大累積雨量最少者。而單日最大累積雨量之最大值發生在 2009 年莫拉克颱風，當時於臺南市白河區單日所降下的最大累積雨量就有 977.918 毫米。接著，按颱風別來看，如表 4-7 所示，在所有颱風事件當中，單一日所降下最大的累積雨量平均值前三多分別是 2012 年天秤颱風、2009 年莫拉克颱風以及 2016 年莫蘭蒂颱風。

表 4-6 颱風侵襲稻作主要產區之單日最大累積雨量統計（縣市別）

單位：毫米

單日最大累積雨量					
縣市	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
彰化縣	158	150.598	103.463	18.901	453.940
雲林縣	124	181.405	92.667	61.001	463.285
嘉義縣	89	261.100	144.518	71.583	715.398
臺中市	78	184.798	161.073	32.355	570.879
臺南市	109	324.389	189.903	62.583	977.918
花蓮縣	68	222.075	128.042	14.206	485.662

資料來源：中央氣象局；本研究整理

表 4-7 颱風侵襲稻作主要產區之單日最大累積雨量統計（颱風別）

單位：毫米

單日最大累積雨量						
年分	颱風名稱	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
2009	芭瑪颱風	3	284.455	65.795	215.583	346.667
2009	莫拉克颱風	77	425.773	174.610	127.516	977.918
2009	蓮花颱風	11	86.219	15.551	54.933	109.215
2010	凡那比颱風	62	165.853	104.512	18.901	405.060
2010	梅姬颱風	4	115.986	8.565	104.687	123.587
2011	南瑪都颱風	5	216.869	67.363	132.273	279.158
2012	6 月豪雨及 泰利颱風	104	101.788	39.800	26.754	218.449
2012	天秤颱風	3	428.340	58.503	368.723	485.662
2012	蘇拉颱風	34	320.648	114.987	135.456	570.879
2013	天兔颱風	2	302.854	28.019	283.042	322.667
2013	蘇力颱風	35	248.927	149.153	72.360	452.423
2014	麥德姆颱風	13	255.972	148.131	61.001	384.471
2014	鳳凰颱風	1	229.680	0.000	229.680	229.680
2015	杜鵑颱風	95	146.218	82.023	14.206	387.679
2015	蘇迪勒颱風	66	215.370	99.384	61.542	443.408
2016	尼伯特颱風	6	256.822	113.381	99.167	357.201
2016	梅姬颱風	103	213.381	129.767	50.542	566.585
2016	莫蘭蒂颱風	2	355.105	12.900	345.983	364.227

資料來源：中央氣象局；本研究整理

3. 總累積雨量

在 2009 年至 2018 年間，颱風侵臺在稻作主要產區所降下的總累積雨量平均值為 277.090 毫米，標準差為 218.479。按縣市別來看，如表 4-8 所示，與單日最大累積雨量相同，於颱風期間之總累積雨量最高的縣市為臺南市，平均高達 436.662 毫米，比居次的嘉義縣多了超過 100 毫米；最少的則為彰化縣，也是六個縣市中，總累積雨量平均唯一未達 200 毫米的縣市。而總累積雨量最大值發生在 2009 年莫拉克颱風，當時臺南市東山區於颱風期間共降下了 1955.622 毫米的

雨。若按颱風別，由表 4-9 可看出，總雨量平均值前三多的颱風事件分別為 2009 年的莫拉克颱風、2012 年的天秤颱風以及 2016 年的莫蘭蒂颱風。

表 4-8 颱風侵襲稻作主要產區之總累積雨量統計（縣市別）

單位：毫米

總累積雨量					
縣市	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
彰化縣	158	194.134	147.260	22.950	661.071
雲林縣	124	226.878	123.166	64.125	579.709
嘉義縣	89	325.944	195.631	76.917	1,089.730
臺中市	78	232.978	198.933	37.817	735.232
臺南市	109	436.662	329.018	90.042	1,955.622
花蓮縣	68	292.280	168.436	22.895	701.849

資料來源：中央氣象局；本研究整理

表 4-9 颱風侵襲稻作主要產區之總累積雨量統計（颱風別）

單位：毫米

總累積雨量						
年分	颱風名稱	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
2009	芭瑪颱風	3	427.946	88.176	334.833	510.175
2009	莫拉克颱風	77	645.866	312.384	226.935	1,955.622
2009	蓮花颱風	11	105.201	16.817	65.092	126.387
2010	凡那比颱風	62	190.532	119.689	22.950	485.756
2010	梅姬颱風	4	177.607	15.919	160.202	192.136
2011	南瑪都颱風	5	336.980	132.329	170.152	441.171
2012	6 月豪雨及泰利颱風	104	163.723	65.948	39.454	361.434
2012	天秤颱風	3	580.343	46.721	526.444	609.307
2012	蘇拉颱風	34	375.961	143.771	145.741	701.849
2013	天兔颱風	2	480.708	9.899	473.708	487.708
2013	蘇力颱風	35	282.130	155.595	78.723	486.631
2014	麥德姆颱風	13	288.715	169.300	64.125	472.755
2014	鳳凰颱風	1	265.743	0	265.743	265.743
2015	杜鵑颱風	95	163.408	91.553	22.895	418.354
2015	蘇迪勒颱風	66	251.459	115.481	80.058	491.558

2016	尼伯特颱風	6	293.014	113.415	140.375	404.375
2016	梅姬颱風	103	249.119	156.319	53.125	674.595
2016	莫蘭蒂颱風	2	567.080	40.772	538.250	595.910

資料來源：中央氣象局；本研究整理

4. 各項氣象變數×抽穗期

在這一部份，主要著重在抽穗期這項虛擬變數的討論。如圖 4-1 所示，於本研究的所有樣本中，有 55% 的水稻抽穗期會與颱風侵臺時間相互重疊，而在這之中，又有超過八成的比例為二期稻作，一期稻作僅不到兩成，主要的原因如前面章節所提到的，二期稻作的生長期為七月至十一月，與颱風好發的月份（七月至十月）重疊，故二期稻作的抽穗期碰上颱風的風險較大。

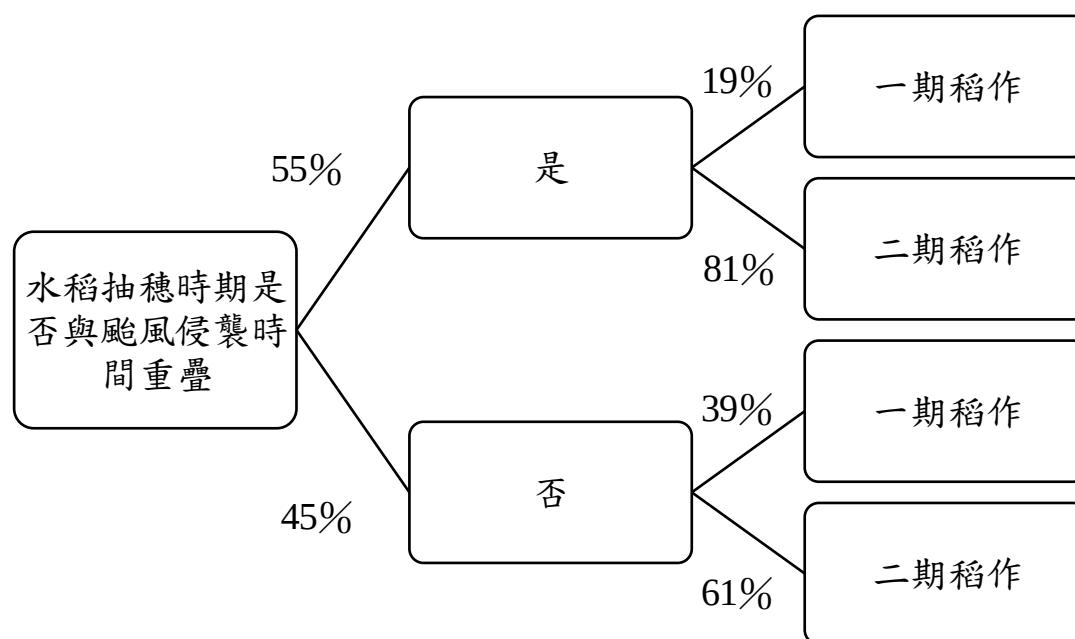


圖 4-1 水稻抽穗期與颱風侵襲時間分析

資料來源：本研究整理

5. 單日最大累積雨量×門檻值

在這一部份，主要著重在門檻值這項虛擬變數的討論，本研究設定單日最大累積雨量的門檻值為 150 毫米。表 4-10 為各縣市單日累積最大雨量超過門檻之比例，在全體樣本中，單日最大累積雨量在門檻值上下約各佔一半。而按縣市分別探討，在臺灣稻作主要產區中，臺南市與嘉義縣的樣本之單日累積最大雨量超過門檻值的比例較高，皆超過七成。

表 4-10 單日累積最大雨量超過門檻之比例

彰化縣	雲林縣	嘉義縣	臺中市	臺南市	花蓮縣	總樣本
0.285	0.548	0.719	0.359	0.798	0.647	0.537

資料來源：中央氣象局；本研究整理

（二）時間因素

颱風影響時間

本研究共有 18 個颱風事件，其平均影響臺灣的時間約為 68 小時，而表 4-11 為各個颱風影響臺灣的時間統計表，當中影響臺灣時間最長的為莫拉克颱風，從海上警報發布到解除共歷時 105 小時；居次的南瑪都颱風，影響臺灣時間亦長達 99 小時。而圖 4-2 為颱風影響臺灣時間的次數分配圖，可看出在 2009 年至 2018 年間本研究所有的颱風事件，影響臺灣的時間集中在 50~59 小時以及 60~69 小時這兩個區間，表示過去颱風侵臺時，影響天數大都在二至三天左右。

表 4-11 各颱風影響臺灣時間統計

單位：小時

年分	颱風名稱	影響臺灣時間
2009	芭瑪颱風	84
2009	莫拉克颱風	105
2009	蓮花颱風	60
2010	凡那比颱風	63
2010	梅姬颱風	69
2011	南瑪都颱風	99
2012	6月豪雨及泰利颱風	48
2012	天秤颱風	60
2012	蘇拉颱風	90
2013	天兔颱風	63
2013	蘇力颱風	63
2014	麥德姆颱風	54
2014	鳳凰颱風	72
2015	杜鵑颱風	57
2015	蘇迪勒颱風	69
2016	尼伯特颱風	66
2016	梅姬颱風	66
2016	莫蘭蒂颱風	60

資料來源：中央氣象局；本研究整理

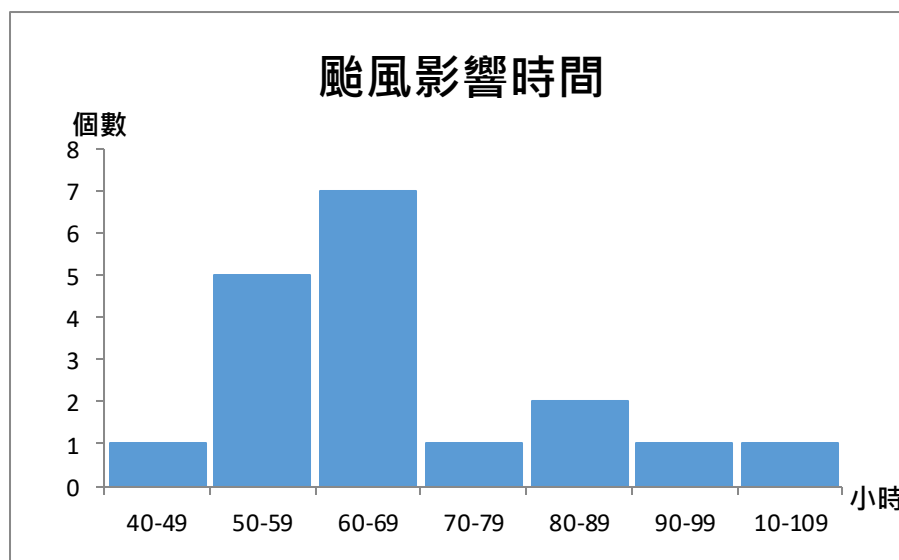


圖 4-2 颱風影響臺灣時間次數分配圖

資料來源：中央氣象局；本研究整理

(三) 縣市別

表 4-12 為水稻生產前六大縣市在本研究中樣本的個數以及佔全體樣本的比例，可看出在 626 個災損觀察值中，彰化縣所佔的比例最高，為 25.2%；次之的雲林縣為 19.8%；而後是臺南市，17.4%、嘉義縣，14.2%、臺中市，12.5%以及花蓮縣，14.2%。

表 4-12 水稻生產前六大縣市樣本個數及佔比

	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	臺中市	臺南市	花蓮縣
樣本數	158	124	89	78	109	68
占比	25.2%	19.8%	14.2%	12.5%	17.4%	10.9%

資料來源：行政院農委會農糧署；本研究整理

(四) 颱風路徑別

表 4-13 為本研究 18 個颱風事件各自的路徑分類。而表 4-14 為颱風路徑個數統計表，在十種路徑當中，以第三類路徑侵台的颱風數量較多，第二類、第四類、第九類、其他類亦各有三次。

表 4-13 各颱風路徑分類表

年分	颱風名稱	颱風路徑
2009	芭瑪颱風	其他類
2009	莫拉克颱風	第三類
2009	蓮花颱風	第九類
2010	凡那比颱風	第四類
2010	梅姬颱風	第九類
2011	南瑪都颱風	第四類
2012	6 月豪雨及泰利颱風	第九類
2012	天秤颱風	其他類
2012	蘇拉颱風	第二類

2013	天兔颱風	第五類
2013	蘇力颱風	第二類
2014	麥德姆颱風	第三類
2014	鳳凰颱風	其他類
2015	杜鵑颱風	第二類
2015	蘇迪勒颱風	第三類
2016	尼伯特颱風	第四類
2016	梅姬颱風	第三類
2016	莫蘭蒂颱風	第七類



資料來源：中央氣象局

表 4-14 颱風路徑個數統計

颱風路徑	個數
第一類	0
第二類	3
第三類	4
第四類	3
第五類	1
第六類	0
第七類	1
第八類	0
第九類	3
其他類	3

資料來源：中央氣象局；本研究整理

第二節 相關性分析

本節將探討各項解釋變數與災損之間的相關性，以了解氣象因素、時間因素、縣市別、颱風路徑別和損率彼此的正負關係。

一、損率－氣象因素

本研究的氣象因素變數為颱風最主要的致災原因－強風及豪雨，包含最大瞬間風風速、單日最大累積雨量以及總累積雨量。透過下表 4-15，可看出各氣

象因素與產量損率及面積損率之間皆為正相關，顯示風力越強、雨量越多，水稻損率也越高，其中，又以最大瞬間風風速的相關係數較大。值得注意的是，單日累積雨量及總累積雨量在與抽穗期交乘過後，和損率之間的相關性皆大幅提升。

表 4-15 氣象因素與水稻損率之相關係數統計

	產量損率	面積損率
最大瞬間風風速	0.491	0.426
單日最大累積雨量	0.183	0.221
總累積雨量	0.140	0.185
最大瞬間風風速×抽穗期	0.484	0.412
單日最大累積雨量×抽穗期	0.471	0.460
總累積雨量×抽穗期	0.402	0.399
單日最大累積雨量×門檻值	0.175	0.205

資料來源：本研究整理

二、損率—時間因素

表 4-16 為颱風在臺灣影響時間與水稻損率之相關性統計，其與產量損率或是面積損率皆為正相關，顯示颱風影響時間越長，損率越高，但之間的相關係數並不高，相關性較為薄弱。

表 4-16 時間因素與損率之相關係數統計

	產量損率	面積損率
颱風影響時間	0.088	0.111

資料來源：本研究整理

三、損率－縣市別

由表 4-17，可得知不同縣市別與水稻損率間的相關性。嘉義縣及臺南市與產量損率皆呈現正相關，彰化縣、雲林縣以及臺中市則呈現負相關，而面積損率亦為如此。

表 4-17 縣市別與損率之相關係數統計

	產量損率	面積損率
彰化縣	-0.023	-0.018
雲林縣	-0.094	-0.112
嘉義縣	0.149	0.157
臺中市	-0.063	-0.078
臺南市	0.160	0.176

資料來源：本研究整理

四、損率－縣市別

由表 4-18，可得知不同颱風路徑別與水稻損率間的相關性，路徑第三類與產量損率及面積損率為正相關，路徑第九類則為負相關，第二類、第四類、第五類及其他類則是與損率間的相關性較小。

表 4-18 颱風路徑別與損率之相關係數統計

	產量損率	面積損率
第二類	-0.091	-0.080
第三類	0.329	2.285
第四類	0.000	0.006
第五類	-0.041	-0.038
第九類	-0.286	-0.248
其他類	-0.051	-0.055

資料來源：本研究整理

第三節 迴歸結果分析

本研究經檢定後發現模型中存在異質變異數問題，故後續在進行 OLS 迴歸估計時將使用穩健標準誤來解決此一問題，使參數估計有效。



一、初始模型

在初始模型中，尚未加入稻作抽穗期及單日雨量門檻值兩項變因進行分析，並將短時間的強降雨與長時間的累積降雨分別代入損失模型，模型結果如表 4-19 所示。本研究發現於此模型，在水稻產量損率上，氣象因素中以最大瞬間風速影響最大，會使損率顯著增加；雨量方面，無論是單日最大累積雨量還是總累積雨量皆無顯著影響。在時間因素方面，颱風影響時間不顯著，顯示當颱風侵襲時，其在臺灣影響時間的長短並非造成損率變化之主要原因。而關於縣市別的差異，在全臺稻作主要產區中，以花蓮縣作為參考組，嘉義縣及臺南市為正向顯著，顯示這兩個縣市在颱風侵襲時相較於參考組所受到的破壞力較強。颱風路徑方面，第五類、第九類、其他類的路徑走向對產量損率為正向顯著效果，即相較於參考組，颱風以這三類的路徑侵臺對水稻會造成極大的損害。另外，在水稻面積損率上，其模型結果與產量損率大致相同，僅在係數上有些微的差異。

表 4-19 初始模型之實證結果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	產量損率	產量損率	面積損率	面積損率
氣象因素				
最大瞬間風速	0.0166*** (0.0015)	0.0166*** (0.0015)	0.0160*** (0.0016)	0.0159*** (0.0016)
單日最大累積雨量	0.0000 (0.0000)		0.0001 (0.0001)	
總累積雨量		0.0000 (0.0000)		0.0001 (0.0000)
時間因素				

颱風影響時間	-0.0002 (0.0003)	-0.0003 (0.0004)	-0.0000 (0.0004)	-0.0002 (0.0004)
縣市別				
彰化縣	0.0172 (0.0147)	0.0179 (0.0146)	0.0241 (0.0150)	0.0252* (0.0149)
雲林縣	0.0174 (0.0149)	0.0179 (0.0149)	0.0146 (0.0150)	0.0154 (0.0151)
嘉義縣	0.0716*** (0.0184)	0.0715*** (0.0184)	0.0775*** (0.0205)	0.0779*** (0.0207)
臺中市	-0.0232 (0.0171)	-0.0228 (0.0170)	-0.0252 (0.0165)	-0.0245 (0.0165)
臺南市	0.0548*** (0.0169)	0.0542*** (0.0171)	0.0590*** (0.0186)	0.0577*** (0.0188)
颱風路徑別				
第二類	-0.0172 (0.0167)	-0.0154 (0.0191)	-0.0059 (0.0173)	0.0025 (0.0203)
第三類	-0.0390* (0.0207)	-0.0371 (0.0226)	-0.0350 (0.0221)	-0.0261 (0.0243)
第四類	-0.0495** (0.0215)	-0.0470* (0.0240)	-0.0353* (0.0210)	-0.0257 (0.0240)
第五類	0.0560*** (0.0097)	0.0565*** (0.0097)	0.0598*** (0.0112)	0.0607*** (0.0106)
第九類	0.0770*** (0.0201)	0.0786*** (0.0212)	0.0937*** (0.0226)	0.0987*** (0.0242)
其他類	0.1060*** (0.0213)	0.1071*** (0.0222)	0.0949*** (0.0195)	0.1014*** (0.0208)
截距	-0.4022*** (0.0491)	-0.4024*** (0.0491)	-0.4205*** (0.0554)	-0.4203*** (0.0550)
R Square	0.3392	0.3392	0.2779	0.2787
Adj R Square	0.3240	0.3241	0.2613	0.2622
樣本數	626	626	626	626

註：* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01；()中為標準差

二、加入氣象變數與抽穗期交乘項之模型

承接初始模型，此部分再另外將稻作抽穗期是否與颱風侵襲時間重疊這項變

因納入考量，以觀察模型結果的變化。如表 4-20 所示，本研究發現於此模型，無論是水稻產量損率或是面積損率，最大瞬間風風速仍是影響最大的氣象變數，單日最大累積雨量與總累積雨量對損率則亦無顯著效果。接著，將焦點放在各項氣象變數與抽穗期之交乘項上，最大瞬間風風速×抽穗期以及單日最大累積雨量×抽穗期在兩項損率上皆呈現正向顯著，而總累積雨量×抽穗期雖不顯著，但係數相較於總累積雨量亦有提升，顯示稻作於抽穗期階段時，若面臨颱風，其挾帶的強風和豪雨皆會造成嚴重的損害，與過去研究所提到，水稻在抽穗期較不易抵抗風雨之觀點相同；另外，亦可從單日最大累積雨量與總累積雨量各自與抽穗期交乘項對於損率的顯著性比較，得知在雨量上，造成稻作災損主要是來自短時間的強降雨之影響。

表 4-20 加入氣象變數與抽穗期交乘項模型之實證結果

	(5)	(6)	(7)	(8)
	產量損率	產量損率	面積損率	面積損率
氣象因素				
最大瞬間風風速	0.0078*** (0.0017)	0.0071*** (0.0017)	0.0085*** (0.0017)	0.0077*** (0.0017)
最大瞬間風風速 × 抽穗期	0.0019*** (0.0006)	0.0026*** (0.0006)	0.0010 (0.0007)	0.0018*** (0.0007)
單日最大累積雨量	0.0000 (0.0000)		0.0000 (0.0000)	
單日最大累積雨量 × 抽穗期	0.0001** (0.0001)		0.0003** (0.0001)	
總累積雨量		0.0000 (0.0000)		0.0000 (0.0000)
總累積雨量 × 抽穗期		0.0001 (0.0001)		0.0001 (0.0001)
時間因素				
颱風影響時間	0.0003 (0.0003)	0.0003 (0.0003)	0.0006 (0.0004)	0.0004 (0.0004)
縣市別				

彰化縣	0.0266* (0.0136)	0.0256* (0.0138)	0.0338** (0.0138)	0.0328** (0.0141)
雲林縣	0.0183 (0.0139)	0.0190 (0.0142)	0.0143 (0.0140)	0.0153 (0.0144)
嘉義縣	0.0668*** (0.0167)	0.0684*** (0.0170)	0.0716*** (0.0188)	0.0740*** (0.0193)
臺中市	0.0015 (0.0160)	-0.0013 (0.0163)	0.0019 (0.0154)	(0.0017) (0.0157)
臺南市	0.0409** (0.0162)	0.0464*** (0.0163)	0.0389** (0.0177)	0.0459** (0.0180)
颱風路徑別				
第二類	0.0565*** (0.0197)	0.0544** (0.0223)	0.0778*** (0.0249)	0.0824*** (0.0301)
第三類	0.0739*** (0.0227)	0.0761*** (0.0247)	0.0809*** (0.0279)	0.0905*** (0.0320)
第四類	0.0271 (0.0233)	0.0252 (0.0258)	0.0511* (0.0269)	0.0564* (0.0321)
第五類	0.0329*** (0.0094)	0.0304*** (0.0081)	0.0411*** (0.0108)	0.0387*** (0.0086)
第九類	0.0994*** (0.0228)	0.0919*** (0.0250)	0.1316*** (0.0286)	0.1282*** (0.0334)
其他類	0.1121*** (0.0259)	0.1091*** (0.0257)	0.1137*** (0.0225)	0.1161*** (0.0247)
截距	-0.3069*** (0.0485)	-0.2893*** (0.0509)	-0.3583*** (0.0554)	-0.3428*** (0.0603)
R Square	0.4255	0.4210	0.3566	0.3486
Adj R Square	0.4104	0.4058	0.3397	0.3315
Num of Obs	626	626	626	626

註：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ ；()中為標準差

三、加入單日雨量門檻值之模型

同樣承接初始模型，此部分另外將單日雨量之門檻值納入考量，以觀察模型結果的變化。如表 4-21 所示，本研究發現於此模型，最大瞬間風風速依然是導致水稻產量損率及面積損率增加的主要氣象變數。而值得注意的是，單日最大累

積雨量門檻值對產量損率及面積損率皆具有正向顯著效果，顯示當單日累積雨量超過門檻值 150 毫米時，會造成水稻損率明顯地增加。



表 4-21 加入單日雨量門檻值模型之實證結果

	(9)	(10)
	產量損率	面積損率
氣象因素		
最大瞬間風風速	0.0172*** (0.0016)	0.0165*** (0.0016)
單日最大累積雨量	-0.0003*** (0.0001)	-0.0002 (0.0001)
單日最大累積雨量×門檻值	0.0003*** (0.0001)	0.0002** (0.0001)
時間因素		
颱風影響時間	-0.0002 (0.0003)	0.0000 (0.0004)
縣市別		
彰化縣	0.0241 (0.0147)	0.0297** (0.0150)
雲林縣	0.0209 (0.0150)	0.0174 (0.0151)
嘉義縣	0.0750*** (0.0185)	0.0803*** (0.0206)
臺中市	-0.0208 (0.0172)	-0.0232 (0.0166)
臺南市	0.0596*** (0.0171)	0.0628*** (0.0187)
颱風路徑別		
第二類	-0.0198 (0.0167)	-0.0080 (0.0173)
第三類	-0.0431** (0.0210)	-0.0383* (0.0222)
第四類	-0.0564** (0.0220)	-0.0409* (0.0214)
第五類	0.0553***	0.0593***

	(0.0094)	(0.0110)
第九類	0.0863***	0.1013***
	(0.0204)	(0.0224)
其他類	0.1077***	0.0963***
	(0.0211)	(0.0189)
截距	-0.3971***	-0.4164***
	(0.0504)	(0.0565)
R Square	0.3475	0.2825
Adj R Square	0.3315	0.2649
Num of Obs	626	626

註：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ ；()中為標準差

第四節 小結

本節將就前一小節三種模型之迴歸結果，從中找出具顯著性的變數進行彙整，並與過去相關文獻進行比較。從估計結果可發現，當颱風侵襲臺灣時，其所挾帶的強風為稻米致災主因，與朱蘭芬等人（2007）所提出颱風之瞬間最大風速對稻作的災損，會比累積雨量所造成的損失還大之結果相符合。另外，如 Funaba et al. (1992)及 Welch et al. (2010)所述，亦可得知水稻於抽穗期抵抗風雨能力不佳，在此生長階段，颱風所帶來的風雨皆會使水稻損率上升，其中，本研究發現在雨量上，造成水稻災損程度較為嚴重主要是來自於短時間強降雨之影響。而本研究亦發現當單日累積雨量超過 150 毫米時，水稻損率確會顯著提高，顯示過往文獻及農作物災害預警平台之水稻防災栽培曆中，所提到的單日累積雨量超過 150 毫米即達到稻作雨害預警條件之論點具有參考價值。

在縣市別上，本研究發現在臺灣稻作主要產區中，當颱風侵襲時，嘉義縣及臺南市這兩個縣市的水稻損率相較於參考組會受到較大的影響。而颱風侵臺路徑上，相較於參考組，則是以行經南部的第五類及第九類路徑會造成水稻較嚴重的災損。

第五章 結論與應變策略



第一節 結論

在臺灣，颱風一直是導致水稻災損最嚴重的天然災害，光是颱風造成的損失就占全部的七成以上，因此本研究蒐集 2009 年至 2018 年水稻的災損資料及颱風的統計資料，透過損失函數的估計，以瞭解當颱風侵襲臺灣時，氣象因素、時間因素、縣市別、颱風路徑別各自對水稻損率的影響，本節將就前一節三種模型之實證分析結果加以統整，將各項因素一一進行探討，以瞭解颱風對於臺灣稻作災損的關鍵因子。

一、氣象因素

透過模型結果，可得知最大瞬間風風速與水稻損率皆呈現正向顯著，單日最大累積雨量與總累積雨量則並無顯著效果，顯示於颱風災害中，強風是導致水稻受損最主要的氣象因素。而當稻作處於生長階段的抽穗期時，若碰上颱風，颱風所挾帶的強風及短時間的強降雨會造成稻作嚴重的災損。另外，當單日累積雨量超過 150 毫米時，亦會使水稻損率有明顯地上升。

二、時間因素

透過模型結果，可得知颱風影響時間對於水稻損率皆不具顯著效果，意即當颱風侵臺時，並沒有證據指出颱風在臺灣影響的時間長短會對水稻損率產生明顯的影響。

三、縣市別

透過模型結果，可得知在臺灣稻作主要產區之中，相較於參考組花蓮縣，颱風對於嘉義縣及臺南市這兩個縣市的稻作破壞力較大。而造成此結果的原因可能與各地區的抗洪能力有關，根據行政院農委會（2009）所發表之《易淹水地區水患治理計畫第 1 階段成果》指出，嘉義縣及臺南市屬於臺灣容易淹水的地區，顯

示其抗洪能力較不佳，且由表 4-6、表 4-8 及表 4-10 亦知臺南市及嘉義縣於颱風期間所測得單日最大累積雨量與總累積雨量之平均值皆較其他縣市多，且其單日累積最大雨量超過門檻值的比例較高，綜上可知臺南市及嘉義縣於颱風期間較容易淹水進而導致稻作受損。

四、颱風路徑別

透過模型結果，可得知相較於參考組，颱風以第五類、第九類及其他類路徑侵臺時，水稻損率會較高，主要是因為第五類與第九類路徑皆行經臺灣南部，自然對位在中南部的稻作主要產區影響較大。

第二節 應變策略

透過前一節，瞭解颱風對水稻災損的關鍵因子後，本節將針對各項致災主因提出相關建議及防範措施，盼能降低災害的嚴重性。應變策略主要包含兩個層面，在生產上，農民可在颱風來臨之前，提升水稻承受強風與豪雨的能力，增加對颱風的抵抗性以減少稻作的損壞；另外，在經濟上，農民可藉由投保水稻保險以降低颱風所帶來的損失。

一、增加防災措施

本研究之實證結果顯示當颱風侵襲時，強風對水稻的致災程度較大，農民須針對其採取應變措施以降低風速太大所帶來的威脅，例如：設置防風網或防風牆、建立防風林、水稻以繩索縛綁支撐、將稻株編結並壓伏等（*植物保護圖鑑系列8—水稻保護*，2007）。另外，實證結果亦顯示單日累積雨量超過 150 毫米對水稻損率會顯著提升，因此，農民可在颱風來臨前參考雨量預報，若達到門檻值 150 毫米，即達雨害預警條件，需特別檢查排水系統是否完善，以防淹水導致植株泡水，使其穗上發芽而受損。（張素貞、賴巧娟，2020）

二、調整水稻栽培時間

本研究之實證結果顯示水稻在生長階段的抽穗期時，承受風雨的能力會明顯降低，因此農民可依各水稻品種的生長時程，推估抽穗期大致落在哪個時間，進而調整插植日期以避開颱風好發季節。(張素貞、賴巧娟，2020)

三、種植具抗性之水稻品種

農民可調整水稻的種植，選擇栽培具有抗性之水稻品種，例如種植「臺南 19 號」或「台梗 8 號」等稻稈較為強韌，具有不易倒伏特性之品種，能夠降低風害及雨害的威脅。而種植「臺南 11 號」或「台梗 16 號」等不易穗上發芽之品種，抗雨害能力較佳。(呂奇峰，2012、行政院農業委員會農業試驗所，2021)

四、強化農民防災意識

政府及農會等有關單位可透過舉辦講座及座談會等方式，向農民實施防災教育，推廣災害相關知識，讓農民可以清楚明白颱風對稻作的主要風險因素。藉由強化農民的危機意識，可使其更能針對颱風採取有效的應變措施，以降低災損的嚴重性。(簡榮成，2020)

五、投保水稻保險

農民可以藉由投保水稻保險，分散經營風險，當稻作因颱風侵襲而造成嚴重的災損，若達到判賠標準，即可獲得理賠，以減少經濟上的損失。目前新上路的水稻收入保險，其保單類型分為「基本型」及「加強型」，基本型保費由農委會全額補助，農民不須繳交，理賠條件為各鄉鎮市區平均產量若減產超過 20%，每公頃即可獲得理賠金額 1.8 萬元。而沒有申報公糧之農民可選擇另外加保加強型保險，農委會會補助二分之一的保費，各縣市政府亦會視情況加碼補助，若一期稻作減產超過 5%、二期稻作減產超過 10% 即可獲得理賠。(行政院農金局，2022)

第三節 水稻保險未來發展

科技部「台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」根據聯合國政府間氣候變遷專業委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）於 2021 年 8 月 9 日所公布的氣候變遷第六次評估報告，發布「IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告」，其內容中提及近年由於全球暖化導致氣候變遷的緣故，將使得未來颱風侵臺機率降低，但颱風強度將會增加。由此可知，一旦颱風來襲，對臺灣稻作的威脅性會大大提升，因此若能特別針對颱風災害設計一套保單，將可使稻農的生產較有保障。

水稻保險在 2017 年剛推出時，係屬於區域收穫型保險，而於 2022 年新發行的則為收入保險。本研究特別蒐集目前專為颱風災害所設計的保單種類，由表 5-1 可看出，幾乎全部為氣象指數型保險，即以中央氣象局所公布之氣象數據作為理賠啟動標準的保險制度，另外根據中國人民大學中國普惠金融研究院（2021）所發表之報告指出，農業氣象指數型保險比起傳統單純以農作物的損失數量或產值為理賠標準的保險制度，具有防範因訊息不對稱所造成逆選擇以及道德風險的問題發生，並降低保險成本等優勢。

而由表 5-1 亦可看出，農作物颱風氣象指數型保單之理賠方式大致依據颱風期間之風速與降水量作為判賠標準。根據本研究之損失模型結果，在兩項氣項因素上，最大瞬間風風速對水稻生產影響最大，另外，日雨量超過 150 毫米亦會導致水稻損率顯著上升

綜上，若政府在未來欲規劃一份水稻颱風保單，以此讓稻農在面臨颱風災害的威脅能夠更有保障，其保單類型可朝向氣象指數型的保險形式設計，理賠標準可以以本研究實證結果所發現之颱風造成稻作災損之關鍵因子中的一颱風之最大瞬間風風速與日雨量超過 150 毫米作為考量依據。另外，在本研究總計 626 筆水稻颱風災損資料中，屬一期稻作約占了 28%，二期稻作則是 72%，顯示二期

稻作面臨颱風的威脅較大。基於上述之原因，一方面為了能吸引種植一期稻作農民選擇投保水稻颱風保險，另一方面也是考量到一期稻作面臨颱風的風險相對較低，所以在水稻颱風保險的保費設定上，一期稻作的保費可訂得較二期稻作低。

表 5- 1 農作物颱風保單種類

保險標的	理賠方式
梨	依據風速與降水量判賠
蓮霧	依據風速與降水量判賠
木瓜	依據風速與降水量判賠
文旦柚	依據風速判賠
香蕉	實損實賠
甜柿	依據降水量判賠
番石榴	依據風速與降水量判賠
棗	依據風速判賠
桶柑	依據風速判賠

資料來源：富邦產險（2021）；本研究整理

第四節 後續研究建議

本研究完成後，提出下列幾點建議供後續研究之參考

- 一、本研究使用颱風之最大瞬間風風速以作為模型中之氣象變數，但其因測站提供資料較少，因此使用內插法得出之數據較不精確。後續研究可考慮使用其他氣象資料以代表風速之變數，例如：最大平均風風速等。
- 二、本研究所規劃的水稻颱風保險僅就保險形式、判賠標準及保費制定提出初步的建議，後續研究可再針對其進行更完整的分析。

參考文獻



- 中國人民大學中國普惠金融研究院 (2021)，發展農業氣象指數保險：優化農村金融服務體系調研報告。
- 丘媚萍 (2011)，氣候變遷與臺灣農業部門氣候災害經濟損失之關聯性研究，國立中興大學應用經濟學系碩士論文。
- 行政院農業委員會 (2020)，臺閩地區農作物災害損失。取自
<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/official/OfficialInformation.aspx>
- 行政院農業委員會 (2020)，臺閩地區農產品生產量值。取自
<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/official/OfficialInformation.aspx>
- 行政院農業委員會農業金融局 (2020)，推動農業保險。取自
<https://www.boaf.gov.tw/boafwww/index.jsp?a=ct&xItem=955232&ctNode=464>
- 行政院農業委員會農業金融局 (2022)，水稻收入保險專區。取自
https://www.boaf.gov.tw/list.php?theme=web_structure&subtheme=3995
- 行政院農業委員會農業試驗所 (2021)，水稻防災栽培曆。取自
https://disaster.tari.gov.tw/ARI/public/crop_disaster
- 行政院農業委員會農業試驗所 (2021)，稻作改良。取自
<https://www.tndais.gov.tw/ws.php?id=271>
- 交通部中央氣象局 (2021)，颱風百問。取自
<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/typhoon/index.html>
- 交通部中央氣象局 (2021)，颱風資料庫。取自
https://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/public/warning_typhoon_list/
- 朱蘭芬、陳吉仲、陳星瑞 (2007)，台灣稻米損失函數之估計及其天然災害保險費率之計算，農業經濟叢刊，13 卷，1 期，37-67。
- 呂奇峰 (2012)，水稻品種 V.S.穗上發芽，臺南區農業專訊，82 期，8-10。
- 林慶元等 (2003)，植物保護圖鑑系列 8—水稻保護，臺北：行政院農業委員會動植物防檢局。
- 科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(2021)，IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告，取自
https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_abstract_one.aspx?kid=20210810134743
- 侯雅玲 (2017)，淹水對水稻生長之影響，臺東區農業專訊，102 期，17-21。

- 姜伟平、吴利红、姚益平 (2010)，水稻暴雨灾害保险气象理赔指数设计，中國農業科學，43 卷，3 期，632-639。
- 姚銘輝、陳守泓 (2009)，氣候變遷下水稻生長及產量之衝擊評估，作物、環境與生物資訊，6 卷，3 期，141-156。
- 徐永衡、劉俊志、鄭兆尊、陳永明 (2015)，氣候變遷下颱風事件之台灣水稻農損受害程度推估，臺北：國家災害防救科技中心。
- 張素貞、賴巧娟 (2020)，稻作生產氣象因子風險評估，苗栗區農業專訊，89 期，5-8。
- 陳勝全 (2009)，易淹水地區水患治理計畫第 1 階段成果，農政與農情，201 期。取自 <https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=19239>
- 陳慈慧 (2020)。評估氣候變遷和收入保險對台灣香蕉之經濟影響，國立中興大學農業經濟與行銷碩士學位學程碩士論文。
- 陳勵勤、羅正宗 (2016)，漫談水稻「臺南 11 號」之貢獻，台南區農業專訊，97 期，12-15
- 富邦產險 (2021)，農作物保險專區，取自 https://www.fubon.com/insurance/b2c/content/farm_insurance/index.html
- 農業知識入口網稻米主題館 (2011)，品種介紹—臺南 11 號。取自 <https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=30394>
- 農業兒童網 (2021)，稻米的栽種與生產，取自 https://kids.coa.gov.tw/view.php?func=knowledge&subfunc=kids_knowledge&category=A11&id=135
- 潘以甜 (2017)，雲嘉南地區水稻災損數據之診斷分析與未來推估，國立師範大學地理學系碩士論文。
- 簡榮成 (2020)。農業氣象災害對芒果產量之影響與調適策略，國立臺灣大學農業經濟學系碩士論文。
- Blanc, E., & Strobl, E. (2016). *Assessing the Impact of Typhoons on Rice Production in the Philippines*. Journal Of Applied Meteorology And Climatology, 55(4), 993-1007. doi:10.1175/jamc-d-15-0214.1
- 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).

- Masutomi, Y., Iizumi, T., Takahashi, K., & Yokozawa, M. (2012). Estimation of the damage area due to tropical cyclones using fragility curves for paddy rice in Japan. *Environmental Research Letters*, 7(1), 014020. doi:10.1088/1748-9326/7/1/014020
- 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

