

以無人機影像分析颶風 最大陣風及持續風速 與香蕉倒伏率之關聯

攝影：齊元義

文／齊元義 任職於財團法人農業保險基金
劉力瑜 國立臺灣大學農藝學系教授

壹、前言

香蕉為我國最具代表性且產值極高的經濟作物，不僅支撐廣大果農生計，更在臺灣農業經濟中扮演舉足輕重的角色。為因應災害帶來的財務衝擊，我國民間產險業者與政府相繼推動「香蕉植株保險」與「香蕉收入保險」。推行過程中，受限於勘災成本高昂、產量數據取得不易等原因，既有險種在覆蓋率仍有提升空間。

觀察近年我國農業保險發展趨勢，民國114年「釋迦收入保險」由收入型保險轉型為氣象參數型保險具有指標性意義，氣象參數型保險具理賠客觀、程序簡化及資訊透明等優勢，能有效降低行政負擔。然其主要難題及關鍵在於「氣象因子」與「實質災損」需具備明確的關聯性，不僅是商品設計層面的挑戰，更是法規合規的必要條件。為配合國際財務報導準則第17號（IFRS 17）之實施，金融監督管理委員會於114年增修財產保險商品審查應注意事項第61點之2，明確規範氣象參數型商品之理賠條件，必須與歷史損失經驗具備顯著關聯性，若無法明確界定

風速與災損的量化門檻，參數型保險將缺乏精算基礎與法規合規依據。

本研究之核心價值即在回應上述實務與法規的迫切需求，透過無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）實際紀錄蕉園災損影像，並彙整鄰近測站氣象因子與香蕉災損進行實證分析，期能為未來香蕉氣象參數型保險的商品設計提供數據基礎。

貳、探討議題

香蕉常見天然災害包含颱風、水害、寒害及雷擊等，根據歷年香蕉災損統計資料與學術文獻，93年至112年天災所對香蕉造成的被害面積，颱風造成的損害約占85%，且發生頻率也居首位（蔡雲鵬，2003；農業部農糧署，2007-2023）。香蕉植株的支撐力主要依賴葉柄基部緊密包疊而成的假莖，且缺乏木本果樹的主根、支根，在強風侵襲下極易產生損傷，甚至倒伏或折斷（朱慶國，1987）。即便近年政府積極推廣鈺管等固定設施，但在極端強勁的陣風下，仍常出現連同固定設施一同吹斷的景象，顯示其

抗風韌性存在物理臨界點。

對於香蕉植株損害、產量減少與颱風風速的關聯，財團法人台灣香蕉研究所及相關產業單位已做過許多學術研究分析。如朱慶國（1987）認為一般風速超過每秒15公尺，會造成葉片吹裂或葉柄折斷；風速達每秒20公尺植株有吹倒風險；達每秒30公尺則有可能對未立支柱蕉園造成全部損毀。陳慈慧（2020）也透過模型分析往年颱風及產量資料，當颱風最大平均風速每增加1公尺／秒，每公頃將減少308.5公斤的產出。產業專家與學術界普遍認同風速與植株損害呈正相關，但在實務上受限於各地蕉園地形地貌、生長階段及植株各部位對風的反應不同，對於「臨界風速」與「損失率」之間缺乏精確的量化門檻。綜觀有關颱風造成香蕉災損的研究（陳慈慧，2020；毛宏崑，2022），多以產量調查或災損資料作為損失率依據，而非個別蕉園實際受損情形；並主要以最大風速作為致災因子，較少考量風速及時間的綜合效應。

本文為找出香蕉在不同風速及時間效應下對應的損害程度，且同時符合氣象因子與災損關聯的可驗證性，將聚焦在颱風風速因子對香蕉植株的危害。透過無人機影像量化廣泛及多個蕉園倒伏比例（Y）作為災損因子，分別與蕉園臨近測站之最大

陣風（X1）及持續風速（X2）進行擬合，旨在界定香蕉植株在不同級風下的反應，期能補足實務操作中缺乏精確量化指標的缺口。

參、研究方法與資料取得

一、研究方法

挑選颱風風速為主要致災因子，並分析最大陣風與持續風速對香蕉的影響，以瞭解並量化颱風風速對香蕉植株的致災機制。

針對最大陣風與倒伏的關聯，觀察到兩者並非單純的正比關係。當最大陣風達某一門檻後，災損會快速升高、隨後趨緩。為精確擬合此關係，使用四參數邏輯斯模型（Four-parameter Logistic Model）進行非線性迴歸分析，期能有效識別出致災率快速攀升的反曲點（ED50，即致災機率50%之風速值），藉此定義香蕉植株在承受強烈陣風時的物理耐受極限，此部分採用R version 4.3.3之drc套件中的L4函式進行分析（Ritz et al., 2015）。

持續風速則是為探討植株受風的時間累積效應，採用以下分析方法：設定「持續時數」（Window Width, W）與「風速門檻」（Wind Threshold, T）兩項變數，以評估不同風速及時間因子

對倒伏影響。透過滑動視窗法（Sliding Window），以每1小時對颱風陸上警報期間逐時風級資料進行檢索，若持續W小時的風速皆達到門檻T，則計為一次「持續風速事件」。由於研究樣本所涵蓋的颱風總陸上警報時長（小時）不等（如表1），為消除觀測時長對事件計數之干擾，進行標準化處理，將其定義為標準化致災頻率 $F = \text{「持續風速事件」次數} / \text{陸上警報時長}$ ，進行標準化後之相關性確也較標準化前高（如表5）。

本研究設定的組合搜尋範圍為 $W \in [1,9]$ 小時及 $T \in [6,16]$ 級風。針對每一組合條件的標準化致災頻率（F）與倒伏率

（Lodging Rate），進行皮爾森相關性分析（Pearson Correlation），藉此篩選出最高相關係數且顯著性（ $p < 0.05$ ）之關鍵致災參數組合。

二、研究樣本與影像判釋

本研究所使用蕉園觀測樣本來源主要有二（如表2）。

- （一）財團法人農業保險基金（下稱農險基金）於114年7月丹娜絲颱風過後，擇定雲林縣與嘉義縣轄內最大級風測得8級至16級陣風之測站，隨機挑選鄰近蕉園，委託專業遙測公司利用無人機拍攝23處樣區，

表 1、本研究樣本涵蓋颱風（112 年至 114 年首個影響臺灣颱風）之相關資料

年份及當年首個影響臺灣之颱風	登陸地點	路徑	近中心最大風速（公尺/秒）	陸警期間及時長
112年杜蘇芮	未登陸	第7類：沿臺灣西岸或臺灣海峽北上	48	7月25日14時30分至7月28日14時30分，約75小時
113年凱米	宜蘭南澳	第2類：通過臺灣北部向西或西北進行	53	7月23日11時30分至7月26日8時30分，約69小時
114年丹娜絲	嘉義布袋	第9類：通過臺灣南部向東或東北進行	40	7月5日20時30分至7月7日11時30分，約39小時

資料來源：整理自中央氣象署氣候觀測資料查詢服務



透過無人機產製正射影像圖並繪製香蕉植株倒伏範圍，紅框範圍為香蕉倒伏範圍。圖片來源：財團法人農業保險基金

並產製高解析度正射影像圖（地面採樣距離Ground Sample Distance, $GSD < 3 \text{ cm}$ ）後，區劃香蕉倒伏範圍占比取得倒伏量化資料。

(二) 考量單一事件樣本數與地理分布局限，另整合產險公司於112年至114年間，於高屏地區推行香蕉植

株保險之資料。當颱風警報期間內測得最大風速超過17.2公尺／秒，則會啟動勘損機制，針對各投保鄉鎮蕉園進行抽樣，並同樣利用無人機拍攝並計算損失率。為避免同年度、不同颱風影響損失程度，僅選取各年度首個影響的颱風造成的損

表 2、本研究所使用樣本概覽

樣本來源	涵蓋颱風	拍攝地點	樣本數	級風分布
農險基金	114年丹娜絲	雲林、嘉義	21	8-16級
產險公司植株保險資料	112年杜蘇芮 113年凱米 114年丹娜絲	高雄、屏東	66	8-10級

資料來源：本研究整理

失程度數值併同分析，以強化模型代表性。

結合前述兩樣本來源，本研究使用樣本資料共計87筆，分布於雲林縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣。

損害指標方面，香蕉受災樣態多元（如裂葉、根部受損等）。如前所述香蕉植株不具木本果樹木質化樹幹及樹根，大雨造成土壤鬆軟或種植後的浮頭現象，皆促使後續強風易造成根部斷裂、假莖倒伏或折斷等，導致香蕉收成產量減少甚至無法收成。考量影像辨識之可行性，最終選取「倒伏（含折斷）」作為災損指標。倒伏率定義為：倒伏率＝倒伏面積／蕉園總面積。透過地理資訊系統（GIS）人工判釋該區塊正射影像中，所有蕉園涵蓋範圍定義為蕉園總面積，其中植株倒伏或折斷之區域計算為倒伏面積，並將所得倒伏率作為後續統計分析之依變數（Y）。

三、氣象資料來源

氣象觀測數據取自中央氣象署氣候觀測資料查詢服務（CODiS）（中央氣象署，2026）。挑選各蕉園直線距離最近之氣象站作為風速資料來源，最大陣風取颱風陸上警報發布期間，測站紀錄之最大瞬間風速（m/s）及其對應之風力等級（蒲福風級）；

持續風速分析則取陸上警報期間之逐時風力等級資料。

四、研究限制及假設

受限於時間及空間等採樣問題，本研究及分析數據時所遇到的研究限制及假設彙整如下：

（一）植株性狀與區域代表性之局限

香蕉分布遍及全臺，不同品種（如北蕉、台蕉、芭蕉等）、植株高度、生育階段（幼苗期、抽穗期、結果期等不同階段植株對同樣風速的反應不一）、栽植方式、健康狀況，皆會影響植株抗風性。另本次取樣地點雖涵蓋雲嘉與高屏兩香蕉主產區，但高屏地區樣本數及涵蓋年份較多（如表2），可能導致分析結果較偏向特定區域的栽種特性。本研究假設不同區域、品種及生長階段之香蕉植株，對於風速之物理反應皆為一致。

（二）颱風特性之差異

本研究整合112年杜蘇芮、113年凱米及114年丹娜絲3次颱風數據（如表1），不同路徑的颱風可能引發不同的盛行風向及地形交互作用，導致同一測站即便記錄到同風級，也可能產生不同的致災

結果。特別是114年丹娜絲颱風由嘉義登陸，該颱風陸警期間風速具高強度、短持續等特徵，且與一般路徑颱風迥異。綜上考量，本研究假設不同颱風下的同樣風速，對所有植株皆造成相等的倒伏情形。

（三）氣象站與蕉園實際受風情形

本研究採直線距離最近氣象站數據作為蕉園風速依據，惟測站大多設立於在無遮蔽之區域，可能與各別蕉園受風情形有所差異。蕉園周邊之建築物屏蔽、地形起伏或自然防風林之緩衝，可能也使實際承受之瞬間風速不同於測站紀錄，本研究尚無法針對此上述變異進一步模擬，仍以目前方法進行分析及討論。

肆、研究結果

一、蕉園受災情形之初步影像觀測

初步觀察農險基金114年於丹娜絲颱風

風後所產製的蕉園正射影像圖，倒伏程度隨風力等級呈現明顯差異（如表3）。當鄰近測站測得最大風級達12級以上時，蕉園幾乎呈現90%至全損之倒伏。即便農戶採取鋸管、竹子等支撐設施進行加固，仍多遭吹倒或攔腰折斷，說明12級風約達到現行防護設施之極限。10級至11級風區間之倒伏情形變異度大，從近乎完好到全區倒伏之案例皆有。觀察此區間之正射影像圖，除風力因子外，實際倒伏程度也受許多非氣象因子影響，包括：種植密度、周邊建物遮蔽、周遭樹林及支撐設施等，小苗的抗風性也遠優於成株或已套袋植株，皆可能造成倒伏變異較大的成因。風速小於9級風之樣本，最大倒伏率多在30%以下，代表在無強風吹拂下，多數蕉園具備基本的抗風能力。

二、最大陣風與倒伏率之非線性擬合分析

表 3、農險基金於丹娜絲颱風航拍蕉園倒伏率及鄰近測站風級資料

鄰近測站測得最大蒲福風級	8	9	10	11	12	13	14	16
樣本倒伏比例（%） 分布區間	4-24	1-7	1-90	37-97	88	93-100	100	100

資料來源：本研究整理



鄰近蕉園可能受風路等其他因子導致不同的倒伏情形。栽植及生長階段相近下，左上方之蕉園可見香蕉植株倒伏及顏色較淺之葉背，右側則較少倒伏情形。圖片來源：財團法人農業保險基金

根據上述結果得知，風速對倒伏的影響確為非線性關聯。為進一步量化最大陣風與災損之關係，採用四參數邏輯斯模型進行擬合，該模型具備良好的S型增長特徵，能描述倒伏率（Y，單位：%）在風速（X，單位：m/s）提高時增長的過程：

$$Y = C + \frac{d - c}{1 + \exp(b(X - e))}$$

配適所得模型（如圖1）及各參數如下：

$$Y = -0.001 + \frac{1.011}{1 + \exp(-0.271 * (X - 26.802))} \quad (\text{式1})$$

（一）上限與下限（d, c）：模型估計倒伏率之上限值d為100%，顯示在極端風速下趨於全毀；下限值c為0.1%，符合無風即無災之物理實況。

（二）致災拐點（e, ED50）：26.802。此數值代表當最大陣風達26.802 m/s時（約10級風），預期倒伏率為50%，且隨後的倒伏情形將隨風速增加明顯上升。

（三）斜率參數（b）：-0.27。此參數決定致災區間的陡峭程度，反應出香蕉對風速變化的敏感區間。

依上述模型（式1、圖1），達不同蒲福風級門檻之預期倒伏率如表4所示。結果表明，當最大陣風未達8級風時，即有可能造成小範圍的倒伏，這也說明非颱風期間的強陣風可能也會對香蕉造成危害。當最大陣風介於8級到9級風區間，除少數樣本實際倒伏率較高，模型預估倒伏率小於35%。當最大陣風達到10級風，蕉園反應的倒伏變異大，邏輯斯模型顯示10級風範圍的倒伏率介於35%到62%，且轉折點也在此區間，再次表明

10級風造成的倒伏率變異大且風速增加時的破壞力也快速上升，而11級風及以上所造成的倒伏變化趨緩。

三、持續風速與蕉園倒伏之參數化分析

考量最大陣風僅能代表強風瞬間的影響，透過不同「風速門檻」（T）與「持續時數」（W）組合，進一步探討時間因子與倒伏之相關。根據相關係數熱圖與符合P_Value < 0.05的組合，可觀察到

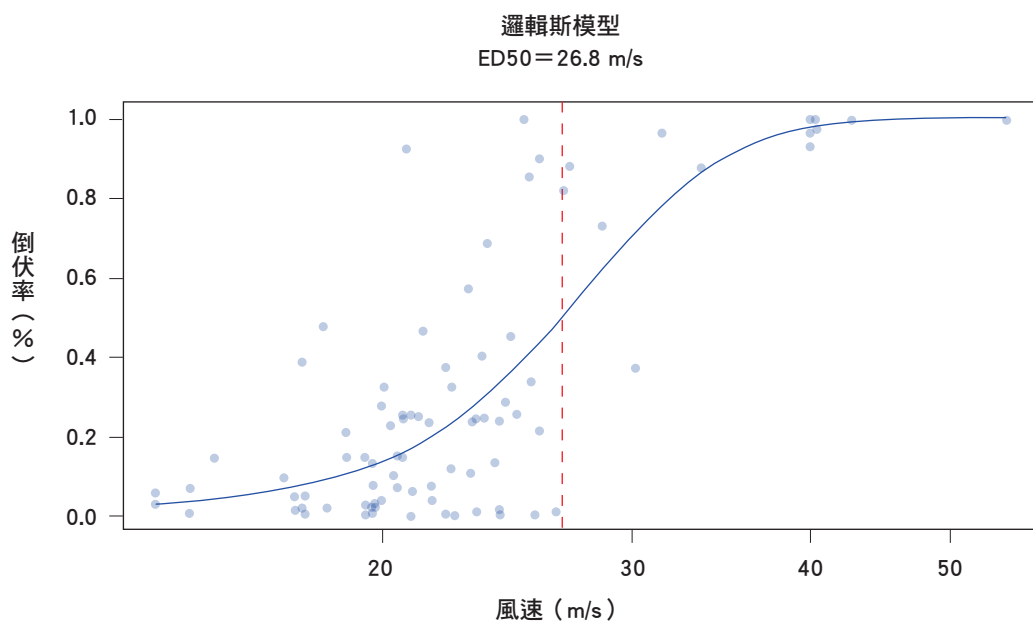


圖 1、以邏輯斯模型擬合最大風速與倒伏率之關聯

藍色圓點為各筆樣本之分布，藍色曲線為最佳擬合邏輯斯模型函式（式1），紅色虛線為損失率50%所對應之風速。
資料來源：本研究整理

以下結果（圖2、圖3、表5）：

（一） 在不同風級門檻之比較中，當持續時數（W）均為1小時，以10級風作為門檻之相關性最為顯著（ $r = 0.75$ ）。當門檻下修至9級或8級風時，相關係數分別降至0.5與0.24。儘管目前樣本中超過10級風之紀錄較少，但初步數據傾向顯

示，10級風可視為香蕉致災的轉折點；低於此門檻之倒伏往往具備較高之隨機性，而一旦風力達標，倒伏程度則與標準化致災頻率（F）展現較為穩定之線性關聯。

（二） 在固定各級風門檻條件下，持續時數（W）增加，也對解釋力產生不同影響：

1. 門檻為10級風時，解釋力隨持續時數增加而衰減。此現象或可推論香蕉倒伏主要受植株首次承受強風衝擊之物理極限所決定，一旦植株發生倒伏，後續持續的強風對於蕉園倒伏無額外影響。
2. 門檻為9級風時， $W = 1$ 與 $W = 2$ 的解釋力相近（ $r = 0.50$ 、 0.46 ），這也反映即使9級風持續發生2小時或以上，對於倒伏的解釋力無明顯增加，且累積時間的影響仍遠不及10級風的1小時。
3. 門檻為8級風時， $W = 2$ 時的相關性略大於 $W = 1$ （ $r = 0.238$ 、 0.237 ），惟相關性小，說明8級風即使具備一定之持續時間，其對香蕉假莖結構仍不具備統計意義上之顯著破壞力。

綜上所述，持續風速分析結果支持「10級風、持續1小時」為樣本最適之致災指標，同時說明香蕉致災之核心機制在

表 4、依據邏輯斯模型預估各級風倒伏率

蒲福風級	風速下限 (m/s)	倒伏率 (%)
6	10.8	1
7	13.9	2
8	17.2	7
9	20.8	16
10	24.5	35
11	28.5	62
12	32.7	84
13	37	95
14	41.5	99
15	46.2	100
16	51	100
17	56.1	100

資料來源：本研究整理

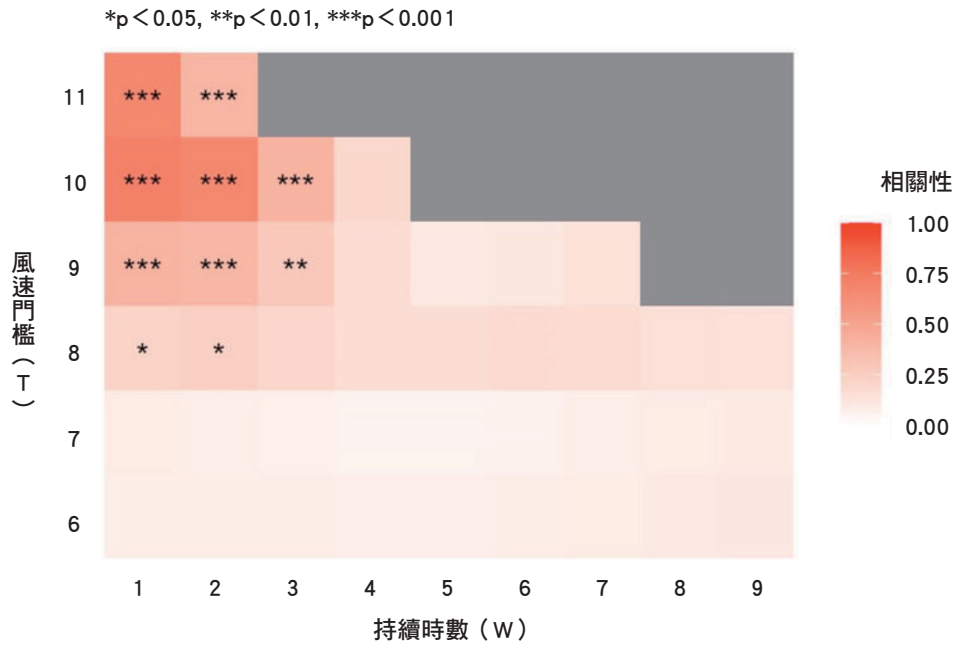


圖 2、相關係數分析熱圖

資料來源：本研究整理

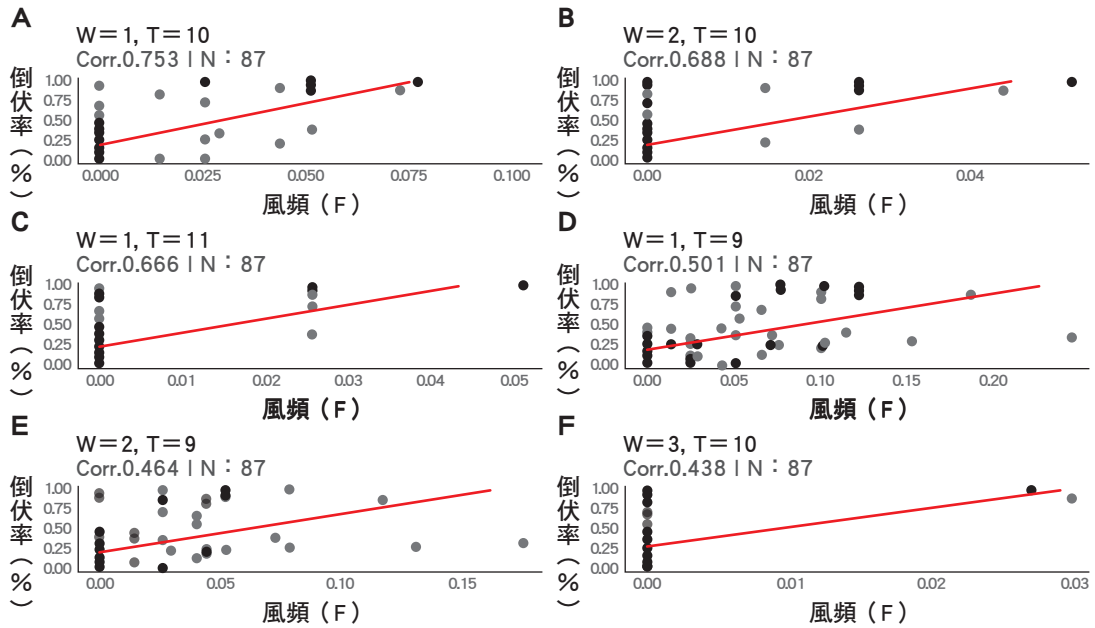


圖 3、持續風速與倒伏關聯相關性大於 0.4 之組合

資料來源：本研究整理



攝影：齊元義

表 5、不同風速門檻及持續時數組合與倒伏關聯分析
(依相關性排序, P_Value < 0.05)

單位：級風、小時

風速門檻 (T)	持續時數 (W)	相關係數 (r)	
		標準化後	標準化前
10	1	0.75	0.71
10	2	0.69	0.66
11	1	0.67	0.67
9	1	0.50	0.41
9	2	0.46	0.39
10	3	0.43	0.41
11	2	0.40	0.39
9	3	0.33	0.29
8	2	0.24	0.24
8	1	0.24	0.22

資料來源：本研究整理

於瞬間強風導致假莖無法支撐，而非長時間中等風速之累積效應。

伍、結語

本研究利用無人機高解析正射影像與氣象觀測資料，透過量化蕉園倒伏率，分析颱風期間「最大陣風」與「持續風速」對香蕉致災之影響。研究證實，無人機影像可克服傳統現地勘災之局限，並建立具科學實證之風速與作物損害定量模型。主要研究結果歸納如下：

(一) 最大風速與災損的關聯，透過邏輯斯迴歸模型分析，當最大陣風達

26.8 m/s（約蒲福風級10級）時，蕉園將面臨50%的損毀。進一步觀察不同級風的受損程度：7級風僅造成約2%的倒伏；輕颱門檻的8級風倒伏提升至7%；中颱門檻12級風，倒伏率則驟增至85%。

(二) 在持續風速分析中，亦驗證10級風為致災門檻（ $T=10$ ）時與倒伏率具最高相關性，且以持續1小時（ $W=1$ ）最為顯著；當風速未達10級時，增加吹拂時間對倒伏率並無顯著影響。

這說明颱風風速主要的致災核心仍在於植株所承受的最大風速，而非長時間持續吹拂，在評估對蕉園造成的危害程度時，可以最大陣風為主要考量因子。研究亦觀察到除風速因子外，颱風路徑、蕉園區位之微氣候、周邊遮蔽環境、栽植密度與植株生長階段等非氣象變因，均可能對田間受損程度產生不同程度之影響。受限於現有資料型態與影像判釋方法，上述所列各項因子尚未能完全納入模型進行校正。

本文透過颱風實際災損影像數據及統計模型，歸納蕉園在不同最大陣風下的倒伏程度，可作為預期災害損失有效的實證，並可作為規劃開發香蕉氣象型保單參



攝影：齊元義



攝影：齊元義

考依據。惟考量氣象測站數據與實際倒伏間存在客觀的基差風險，及本文前述所列之研究假設，認為在保險商品設計實務上，不宜直接以各級風對應倒伏率作為保險理賠時的賠付比例，仍需評估保險費率、區域化差異並配合更多災損案例進行校準與優化。

整體而言，本研究建立的風速與倒伏率模型及物理機制，對於農業災損風險評估與未來香蕉氣象參數型保險指標設計具參考價值，同時也符合IFRS 17及金融監督管理委員會要求理賠條件需與實際損失有所關聯。後續若能擴增不同颱風事件與多區域樣本資料，將有助於進一步驗證模型穩定性與適用範圍。

參考文獻

- 中央氣象署（2026）。CODiS 氣候觀測資料查詢服務。2026年1月17日，取自<https://codis.cwa.gov.tw/StationData>
- 毛宏崑（2022）。颱風對於臺灣香蕉災損的關鍵因子分析與調適策略（碩士論文）。國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟研究所。
- 朱慶國（1987）。颱風季節談香蕉防風（上、下）。台灣香蕉研究所。
- 金融監督管理委員會（2025）。財產保險商品審查應注意事項。2026年2月12日，取自<https://law.fsc.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL004067>
- 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（碩士論文）。國立中興大學農業經濟與行銷碩士學位學程。
- 農業部農糧署（2004-2023）。香蕉天然災害現金救助。
- 蔡雲鵬（1993）。香蕉天然災害防範之道。台灣香蕉研究所。
- Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C., Gerhard, D. (2015) Dose-Response Analysis Using R. PLOS ONE, 10(12), e0146021