

農作物天然災害損失之空間分析

蘇怡如^{*}、鄭美嬾^{**}、王俊豪^{***}

本研究旨在分析臺灣地區農作物產量和天然災害損失狀況之空間相依情形，以釐清農作物生產遭遇天然災害威脅的潛在系統性風險。故先行以各縣市地區為分析單位，分別探討稻米、蔬菜、水果與加總所有種類農作物之空間相依性；其次，再縮小至鄉鎮地區資料，以農作物產量最豐富的雲嘉彰地區為例，進行不同年度農作物產量和天然災害損失的空間相關分析。本研究為探討農作物產量與災害損失空間相依性的時空分布變化，分別使用三種空間統計方法，包括(1)計算全區域產量與災害損失的空間自相關程度，以評估全區域加總的系統性風險程度之大小。(2)偵測農作物產量與災害損失高度相關的熱點地區，以辨識區域內系統性風險高度聚集的災害損失地點。(3)計算農作物產量與災害損失空間相依性的遞減情形，亦即該空間相依性如何隨距離的增加而消失，此估計區域範圍外之系統性風險小，故可提供未來研究風險分攤之規劃。研究結果顯示，臺灣各縣市地區和雲嘉彰鄉鎮地區各類農作物產量，均有顯著的空間自相關現象。以臺灣各縣市地區農作物災害損失的空間相依性分析結果而言，相鄰地區各類農作物災害損失的系統性風險並不高，且系統性風險程度和空間分布逐年皆不穩定。然而，雲嘉彰鄉鎮地區在面臨天然災害時，其農作物災害損失存在時間和空間較穩定之系統性風險，但此系統性風險隨著距離的增加而消失，約 15-20 公里或 2-3 個相鄰地區左右，農作物災害損失便不存在空間聚集現象。因此，本研究推測農作物災害損失，應可藉擴大不同地區和種類的農作物風險組合來進行有效的風險分攤。

關鍵詞：天然災害、系統性風險、空間相依性、空間統計、農作物保險

* 國立臺灣大學農業經濟系博士生。

** 國立中興大學應用經濟系助理教授。

*** 國立臺灣大學生物產業傳播暨發展學系副教授。本文之通訊作者。

本研究感謝行政院國家科學委員會專題計畫(NSC 98-2410-H005-003)之經費補助。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 18:2 (2013), 73-119。

臺灣農村經濟學會出版

I、前言

世界銀行 (World Bank) 分析全球災害熱點 (disaster hotspots) 時，指出臺灣是最容易受天然災害衝擊的地方 (Dilley *et al.*, 2005)。近年來，氣候變遷所造成的極端天氣事件 (extreme weather events)，使農作物生產更面臨難以預期之天然災害，故如何強化農作物災害之風險管理與因應機制，有其政策急迫性，特別是如何引進適切的農作物天然災害保險，為我國亟需積極研議的重要課題 (朱蘭芬、陳吉仲、陳星瑞，2007)。進言之，由於我國尚未實施農作物保險制度，取而代之的是以「農業天然災害救助」來減輕農民的災害損失 (行政院農業委員會，2011)，亦即當天然災害損失達到特定損失金額時，由政府提供現金補助或低利貸款等方式，協助農民復耕或降低其受災損失，故農政單位每年需花費龐大的財政支出在農業天然災害補助上。

依據行政院農業委員會農糧署 (2012) 統計資料顯示，行政院農業委員會 (以下簡稱農委會) 自 1991 至 2012 年 2 月止，總計辦理 87 次颱風、豪雨、寒害等天災救助工作，累計發放天災救助金額高達近 310 億元，協助超過 193 萬農戶進行災後損失救助。儘管農業天然災害救助制度可減輕農民的農業災害損失，但長久而言，政府將難以負擔龐大的天災救助財政支出 (唐琦、徐森雄，2007)。由於政府無法全面瞭解農業生產成本，不僅難以正確計算災害損失賠償金額，同時也經常引發補助金額過高或不足的爭議 (陳吉仲、張靜貞，2009)。另一方面，現行「農業天然災害救助辦法」的制度設計上，因本身存在著保障的缺口，而無法照顧到全體受災農戶，特別是災害損失金額較小，或是非政府公告災區之受災農民，則無法申請天災救助的保障，諸如從過去的統計資料中，可發現天然災害補助金額只占天災總損失金額的 10% (林幸君、高慈敏、張靜貞，2008)。相對的，若天災救助對象的限制較寬鬆或是救助金額偏高時，則可能導致高危險災害潛勢地區的農民，降低事前防

災工作之意願。綜合上述，如何建立有效農作物災害的風險管理機制，鼓勵市場經濟提供更多的避險工具選擇，包括天然災害商業保險、共同保險、再保險，或提撥農業保險基金，除可協助農民自行避險外，同時也可紓解政府天災救助經費之龐大支出（李珍穎、張瑞益，2003；黃美玲、王財驛，2011）。有鑑於農作物保險是世界各國普遍實行的農業災害風險管理措施，如美國、日本等先進國家，早已實施農作物災害保險（董淑娟、凌氫寶，2001；黃英君，2004、2009；王俊豪、黃秋蓮，2009），甚至印度、菲律賓、泰國等發展中國家，也已陸續辦理農作物保險（董淑娟、凌氫寶，2001）。進言之，各國政府建立農作物保險機制時，係以分散災害風險為第一目的，借鏡已實施農作物保險的國家，多先由商業保險公司承保災害保險業務，再由保險公司向再保險公司進行再保業務，最後若無法負擔巨額災害損失賠償金，始由政府適時給予商業保險公司補助，以減少賠償金額過高的問題（董淑娟、凌氫寶，2001）。

所謂農業保險係對培育或生產過程中的農作物或禽畜，受到天然災害或意外傷害損失來提供經濟保障，主要可分為農作物保險和養殖或禽畜業保險。目前我國已施行家畜保險，包括乳牛死亡保險、豬隻運輸死亡保險及豬隻死亡保險（羅元鴻，2010），但是農作物保險則仍停留在研議的階段中。進言之，農作物保險作為重要的風險管理措施，傳統保險的做法是透過繳納一定的費用，聚集一群存在潛在損失的群體，當有被保險人遭遇損失時，由所有的人共同分攤其損失，並以貨幣形式作為分攤風險的轉嫁機制，其主要的制度規劃理念係聚集大量獨立的損失單位，因此每個時間點發生的損失單位僅占所有投保單位極小的比例，故可利用風險分攤的方式來降低風險事件所造成的損失（Meuwissen *et al.*，2001）。然而，系統性風險之存在表示各風險事件間並非獨立，而是各風險事件於同一時間點造成各種損失之同時發生。農業災害風險是一類具有獨特性的風險，根據風險理論要求承保風險必須是獨立的隨機事件（independent random events），但就農業災害風險而言，由於農作物生

長需配合特定的地理與氣候環境條件，加上地區的氣候、環境和土壤條件等具高度相關性，因此具有高度的集中性，颱風、豪雨等天然災害經常會在短時間內造成大範圍相鄰地區的農業損失，故農業災害風險單位在災害事故及災害損失中，常常具有高度的時間與空間相關性，系統性風險主要源自於農作物生產的空間相依性 (spatial dependence)，而此系統性風險(systemic risk)問題，則是農作物保險難以發展的重要原因 (Miranda & Glauber, 1997; Skees & Barnett, 1999)。

進言之，農業天然災害風險事件間並非獨立存在，而經常是各種損失於同一時間點同時發生，且因災害發生地點與期間內的損失規模較大，常導致多數被保險人同時申請提出理賠情形，故此系統性風險難以通過投資組合來進行有效的風險分散，故被視為不可分散風險 (undiversifiable risk)。劉世強與陳愛東(2008)估計美國農作物保險的系統性風險為一般災害風險的十倍左右。相似的，國外研究成果均指出系統性風險為農作物保險市場失靈 (market failure) 的主要原因 (Miranda & Glauber, 1997; Duncan & Myers, 2000; Glauber, 2004)，故釐清農作物災害損失的空間相關性，及其可能導致的高度系統性風險問題，為順利推展農作物保險之首要工作。

一般而言，商業保險在因應系統性風險時，多會採取再保險、擴大承保之地理範圍，或是增加不同災害種類來移轉分散原有的承保風險 (王俊豪、黃秋蓮, 2009)。事實上，農業天然災害的特性，亦多為短時間內造成廣泛地區的巨大損失，再加上災害損失地區的集中性，故有必要藉由運用空間的分散 (spatial spread)、危險的分散 (hazard spread)、及險種間的分散 (diversification)，將不同的巨災視為一個綜合的承保事故或保險組合來分散風險，一方面增加危險單位及保費數量；另一方面，結合政府、保險市場與資本市場來提供財務支援，始能提高農作物天然災害保險的可行性 (李珍穎、張瑞益, 2003; Mason, Hayes & Lence, 2003)。基此，本研究擬以空間分析方式來探討臺灣農業災害所面臨的系統性風險問題，以利於未來規劃農作物

保險制度之參考依據。回顧近年來國內農業保險的研究成果(林尚平, 2009; 羅元鴻, 2010、2011), 指出臺灣發展農作物保險主要的限制因素, 在於農業災害風險損失過大, 難以在鄉鎮或縣市空間內得到有效分散。相對的, 若農作物天然災害損失不具有高度之系統性風險時, 則表示可能區分出不同的空間範圍或是根據不同種類的農作物特性, 發展出差異化的農作物天然災害保險。換句話說, 擴大災害風險組合為解決災損空間自相關或系統性風險的可行因應策略, 諸如聚集更多農業生產風險低度相關的風險單位, 或是依不同地區和種類的農作物作為承保對象, 均可以多樣化承保方式達到風險分散之目地。

事實上, 根據氣象歷史的觀察資料, 臺灣天然災害發生的頻率與造成損失的程度, 各地區仍存在有明顯的差異(交通部中央氣象局, 2012)。依中央氣象局過去的氣象資料顯示, 颱風若由臺灣東部登陸, 穿越中央山脈向臺灣西部前進時, 其威力都會受到地形破壞而驟減, 進而減少颱風對西部地區造成之威脅, 此顯示颱風對各地區農作物所造成的影響, 將因其行進路徑與作物空間分布的不同而有所差異。林學詩(2007)以歷年來造成臺灣農作物災害損失最嚴重之颱風為例, 如2005年三個從東部登陸的強烈颱風(含海棠、泰利、龍王颱風), 發現即使臺灣土地面積狹小, 但由於地形特殊使然, 天然災害的損失情形, 存在明顯的地區性差異, 亦即花蓮縣鳳林鎮以北的災情較嚴重, 但鳳林鎮以南地區則僅有輕微損害。相似的; 陳吉仲與張靜貞(2009)以2009年重創臺灣的莫拉克颱風為例, 發現其造成的農業災害集中於南部和東部, 但位於中北部的農漁業, 則受災影響甚為輕微, 甚至因颱風過後農產品價格上漲而獲利。此外, 由於臺灣農作物栽種時期與地區分布的差異, 若考量不同農作物種類和栽種地區的災害損失系統性風險時, 則可能進一步規劃出有效風險分攤的多樣化保險組合。綜合上開說明, 評估災害損失之系統性風險, 為研發農作物保險可行性的重要關鍵。故本研究在探討農業災害系統性風險時, 將同時分析農作物生產與災害損失的空間自相關程度, 以掌握與

評估農作物災害之潛在系統性風險，期能據以研擬出適合臺灣地區的農業災害風險管理策略。

回顧我國農作物保險的前人研究，多著墨在保險費率或制度之探討（程家慶，1995；凌氫寶，1999；董淑娟、凌氫寶，2001；陳星瑞，2003；黃美玲、王財驛，2011），較少關注於農作物產量和災害損失的空間分布情形，及其地區間的關聯性。相對的，外國文獻則以空間分析方式，進行農業災害系統性風險的實證研究，如 Wang 與 Zhang (2003) 分別以美國小麥、大豆、玉米為研究標的，發現三大農作物在鄰近的區域範圍內存在有空間相依現象。若兩地區相距較遙遠，而其空間相關數值為零，則符合空間相關獨立的特性，因而推論可藉由更大範圍的地理區域將風險有效地分攤，故建議可利用農作物生產與天然災害損失之間的空間特性，應用於農作物保險費率之釐訂。相同的，Ozaki、Goodwin 與 Shirota (2008) 以巴西 Parana 地區的大豆、稻、小麥生產為例，使用各縣農產品分布密度及產量，估算農產品生產的空間依存度，並發現農產品損失幅度之差異，主要是因為各縣農產品產量不同而造成的，故建議利用農產品產量與損失幅度的空間相關性，據以計算各縣的農作物保險費率，農作物產量係利用各縣/地區的不同農作物產量的密度，設定各地區不同的保險等級，亦即考慮農作物分布密度及距離來計算保險費率。此外，除了考慮農業生產的空間分布特性，部份研究則建議應加入時間因素，以進一步掌握災害發生於不同時間點所造成之影響，故有必要結合天然災害事件之空間與時間特徵，始能提高精算保險費率的準確度 (Ozaki, 2009; Rothschild & Stiglitz, 1976)。

綜合而言，本研究考量到農作物種植地區，將與當地的氣候、土壤和環境條件，以及與農業災害損失之間，具有高度相關性。因此，在釐清農業天然災害的系統性風險時，本研究擬先透過農作物產量或產值的空間自相關分析，以檢測農業生產的變化是否存在地理分布的空間相依性，繼而再進行農作物生產和農作物天然災害損失分布的空間自相關程度，以進一步評估農作

物災害之潛在系統性風險。進言之，本研究在檢視臺灣不同種類農作物生產與其受天然災害損失時，將使用不同年度農委會農業統計年報中「農作物災害損失狀況」和「農作物生產」的資料，分別以稻米、蔬菜、水果與加總所有類別農作物（即加總稻米、蔬菜、水果及其他種類作物）為例，分析時間點取自 1999-2008 年的十年期資料，以縣市為分析單位，分析四類農作物之產量與其天然災害損失的空間自相關情形。此外，為進一步釐清農作物生產是否與農作物災害損失關係之地區性特性，再以農作物產量最豐盛的彰化縣、雲林縣、嘉義縣三個地區，將分析單位細分至鄉鎮層級，並採用 2004-2008 年的五年期資料，進行重要農業產區內的農作物產量與天然災害損失之空間自相關情形。

本研究目的可分為三部份來加以闡述：(1)分析臺灣地區農作物產量和天然災害損失的系統性風險，計算全區域空間自相關程度來衡量全區域總系統性風險的規模。(2)偵測全區域中農作物產量與天然災害損失的熱點區域(Hot Spot)，進而辨識全區域中具有顯著聚集的高度系統性風險之地區。(3)延續上開稻米、水果、蔬菜等農作物生產與災害損失的空間自相關特性後，進一步分析上開農作物災害風險的空間自相關程度，如何隨著地理距離的增加而減少或消失，以提供特定區域範圍之系統性風險資訊，作為未來研擬天然災害風險分攤的管理策略。本研究的分析架構，分別使用兩類分析資料，包括臺灣縣市別 1999-2008 年的農業資料，以及個案進階分析使用的 2004-2008 年雲林、嘉義、彰化三縣市的鄉鎮地區資料，茲繪製如圖 1 所示。

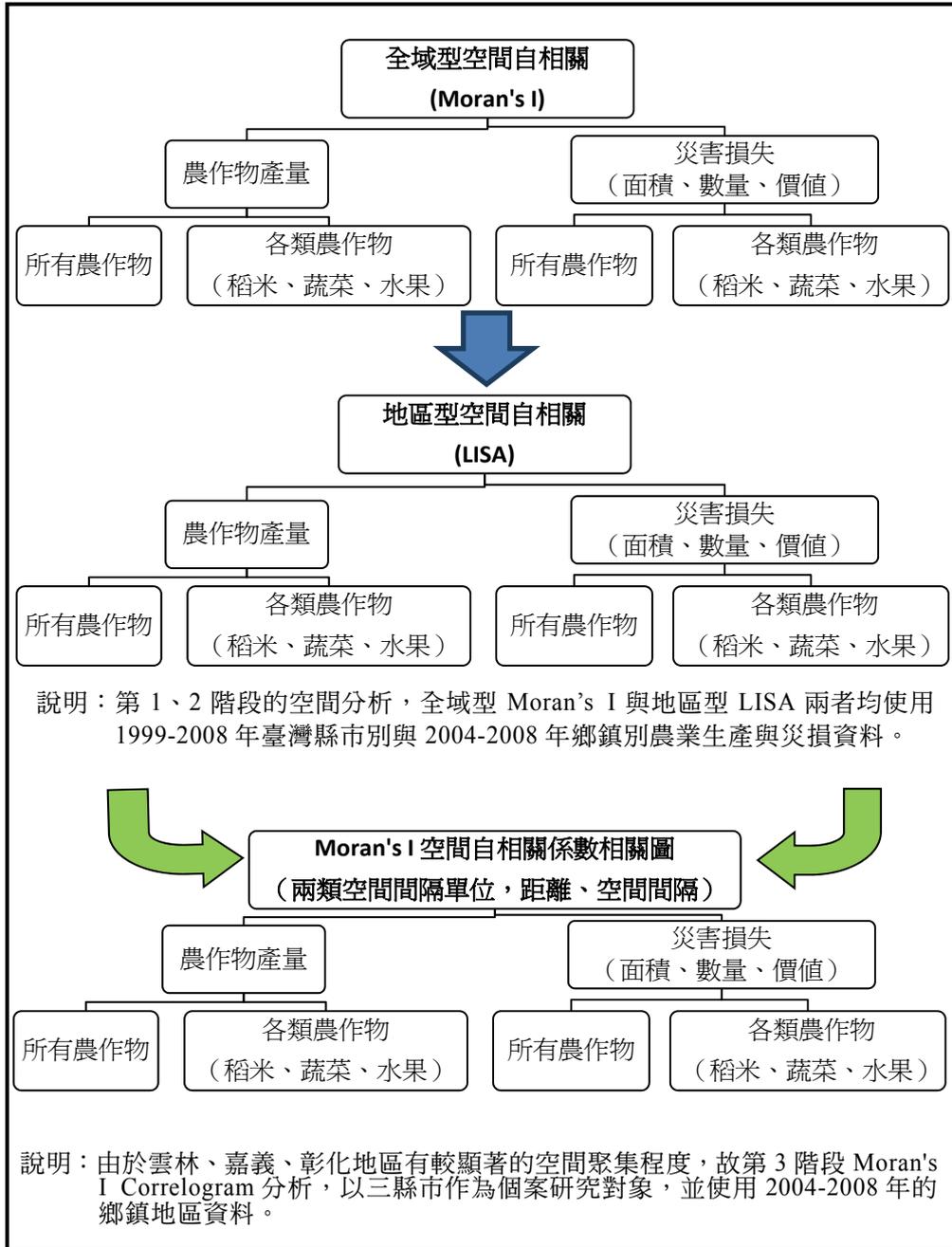


圖 1 研究架構圖

資料來源：本研究。

II、實證模型

有鑑於農作物生產與遭遇天然災害損失可能有空間群聚情形 (spatial cluster)，而空間自相關 (spatial autocorrelation) 則是偵測不同地理空間的相關程度的重要量化指標，亦即空間自相關乃是探究特定地理範圍內，某空間單元與其周圍單元間的特徵值，透過統計方法來計算空間自相關數值，以分析空間單元在地理分布上，是否具有分散或聚集的空間特性(陳慈仁，2001)。因此，本研究將採用不同的空間統計方法，探討各類農作物在不同空間區位之空間自相關情形，諸如計算特定現象所在地與其相鄰地區之間的空間相似程度，藉以判別空間聚集特性，或是特定地理現象潛在的空間相依性 (Anselin, 1988；胡立諄、賴進貴，2006)。

依據前述研究目的，本研究分別使用 Geoda、SAM (Spatial Analysis in Macroecology) 和地理資訊系統 (Geographic Information System，以下簡稱 GIS) 等空間計量軟體中的空間統計方法，包括：(1) 全域空間相關分析 (Global Spatial Autocorrelation)：使用 Moran's I 分析指標，計算農作物產量與災害損失狀況的空間分布情形，以瞭解全區域總系統性風險的規模。(2) 地方空間相關分析 (Local Indicator of Spatial Association，以下簡稱 LISA)：主要在找出具有高系統性風險的區域，亦即災害損失的熱區 (hot spot)。(3) 繪製空間自相關係數相關圖 (Spatial Autocorrelation Coefficient Correlogram)：利用 Moran's I 相關係數的分布圖 (Moran's I Correlogram)，找出空間相關性趨近於零的距離，藉以分析農作物產量與其天然災害損失的空間自相關程度，如何隨地理距離的增加而減少，以作為天然災害風險管理策略規劃之參考依據。

在上述實證估計方法中，首先利用 Moran's I 估計出整個地區的系統性風險規模，但僅得知估計區域的總系統性風險，卻無法得知那些地區為系統性風險集中的區域。因此，進一步利用 LISA 分析，利用各個地區及鄰近地區的

空間相關性分析，便可找到高系統性風險集中的熱區、冷區、熱冷區、冷熱區，使用 LISA 分析有助於瞭解各個地區與鄰近地區之空間相關特性。最後，以 Moran's I 相關係數的分布圖，藉以找到天然災害的空間相關程度趨於獨立的地理距離，超過距離的地區，便符合空間相關趨於獨立的條件，因此該估計結果有助於提供未來規劃天然災害風險管理之參考資料。

2.1 全域空間自相關

Cliff 與 Ord (1973) 將空間自相關定義為一個地區與其鄰近地區的表現為相似或相異的程度。換言之，空間自相關包含兩種不同的情況：(1)若特定地區與鄰近地區的差異程度小，且與非鄰近地區的差異性大，則屬於正向的空間自相關。(2)若特定地區與鄰近地區的差異程度大，且與非鄰近地區的差異性小，則屬於負向的空間自相關(劉君雅、鄧志松、唐代彪，2009)。Moran's I 是計算全域空間自相關程度 (global spatial autocorrelation) 最常用的指標，主要在描述相鄰空間中特定變數的分布狀況，並可判斷該變數在空間是否有聚集特性的存在，其值域介於-1 與 1 之間。Moran's I 值計算公式如下 (Cliff & Ord, 1973、1981)：

$$I_t = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_{it} - \bar{x}_t)(x_{jt} - \bar{x}_t)}{S_0 \sum_i (x_{it} - \bar{x}_t)^2} \quad (1)$$

其中， n 為區域內的空間單位， x_{it} 為 i 空間單元屬性資料值，在 t 時間的變數， x_j 為其他 j 空間單元屬性資料值的變數， \bar{x}_t 為變數的平均值， S_0 為 $\sum_i \sum_j w_{ij}$ ，其中 w_{ij} 為區位相鄰矩陣 (spatial weight matrix)。

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

區位相鄰矩陣 w_{ij} 係用來計算第 i 區與第 j 區之空間權重。 w_{ij} 是由0與1所組成的 n 階對稱矩陣，用來呈現各區域空間單元的相鄰情形。若將鄰區定義為空間位置上是否相鄰 (spatial contiguity) 之標準，則第 i 區與第 j 區共享邊界時的數值為1，反之為0。本研究採用一階鄰近關係 (order=1)，將共享邊界者視為鄰近地區；相似的，鄰區也可以特定的距離來界定是否相鄰，如 i 區與 j 區間的距離在特定範圍內時，則其相鄰數值為1，反之則為0，如地區本身可視為鄰區，相鄰數值為0。有關空間權數矩陣係以虛擬變數的概念來衡量兩個地區是否相鄰，若衍生至數個相鄰地區時，則以平均加權數代表之，例如相鄰地區有五個，則各個相鄰地可分配到0.2 (1/5) 的權數；若相鄰數為四個，各相鄰地則分配到0.25 (1/4) 之權數，以此類推 (許禎育、張宏浩，2010)。

Moran's I 值介於 -1-1 之間，正負主要由 $(x_i - \bar{x})$ 與 $(x_j - \bar{x})$ 兩組離均差的關係所決定，當兩組均為正或均為負時，則相乘值為正。若 $(x_i - \bar{x})$ 與 $(x_j - \bar{x})$ 分別為一正一負時，則相乘值為負，代表與鄰近地區為負的自相關。此外，Moran's I 值越大，表示該地區與鄰近區域的正相關性越強，存在有空間聚集的現象；接近 0 則表示該地區和鄰近地區獨立無相關，呈現隨機與獨立分布情形；若小於 0 則表示該地區與鄰近區域為負相關，其數值變化的方向不同，表示該地區與鄰近地區呈現對比的關係 (Cliff & Ord, 1981; Anselin, 1995、1996)。

對有關 Moran's I 值的顯著性檢定，可利用 Z 值式 (2) 來檢定虛無假設 (亦即沒有空間自相關，Moran's I 值接近零)，對立假設則是兩地區存在有空間自相關情形 (Moran's I 值不等於零)。進言之，Moran's I 的抽樣分布，在標準化後會接近 Z 分布 (即標準常態分布)，故可顯著性檢定的依據。在 5% 顯著水準下，若 $Z(I)$ 大於 1.96 時，表示研究範圍內的空間現象分布，有顯著的關聯性，亦即不同空間單元彼此間具有空間自相關性。若 $Z(I)$ 介於 1.96 與 -1.96 之間，則表示研究範圍內的空間現象分布之關聯性不明顯，其空間自相關性較弱。當 $Z(I)$ 小於 -1.96 時，表示研究範圍內的空間現象分布情形，呈現負的空間自相關性。

$$Z(I) = \frac{[I - E(I)]}{\sqrt{Var(I)}} \quad (2)$$

2.2 地方空間相關分析

由於全域型 Moran's I 僅可以描述整體的空間分布狀況，但無法確切地指出聚集在哪些地區。因此，Anselin (1995) 提出地區性空間自相關的分析方法，透過 LISA 可將大範圍的研究區域，劃分出數個空間關聯性高的小區域，便可進一步瞭解細部的空間變化，並顯示聚集區域的位置。基此，本研究在探討臺灣哪些地區是屬於災害損失的聚集區時，採用 LISA 作為空間聚集之檢定統計量，以判別出空間聚集點或熱區 (spatial hot spot)。有關 LISA 之計算公式如下：

$$I_{it} = \frac{(x_{it} - \bar{x}_t)}{m_0} \sum_j w_{ij}(x_{jt} - \bar{x}_t), \text{ where } m_0 = \frac{\sum_i (x_{it} - \bar{x}_t)^2}{n} \quad (3)$$

上式中各變數之定義與 Moran's I 相同， x_{it} 為 i 空間單元屬性資料值，在 t 時間下的變數， x_j 為其他 j 空間單元屬性資料值的變數， \bar{x}_t 為變數的平均值， w_{ij} 為區位相鄰矩陣， I_i 的平均值即為 Moran's I 值式(1)。其中， I_i 可視為區域 i 的觀察值與周圍地區觀察值之相關係數。若 I_i 大於零，表示區域 i 的觀察值與周邊區域的觀察值呈正相關，小於零則呈負相關。除了單一地區的相關係數外，LISA 更可顯示出區域的特性，例如 I_i 是處於高於或低於平均值的區域。因此，LISA 分析透過 Z 檢定顯著性的判定後，可呈現五種空間相關之特性 (陳奕奇、劉子銘，2008)：(1) 檢定結果不顯著，表示無空間自相關的區域。相對的，若檢定結果顯著時，則有兩種可能情況，包括當 $Z(I_i) \geq Z_{\alpha/2}$ 統計量為正值的空間聚集現象；或當 $Z(I_i) \leq -Z_{\alpha/2}$ 統計量為負值的空間例外情形 (spatial outlier)。其中，空間聚集又可細分為 (2) 當 X_i 高於平均值，且週邊區域 j 亦高於平均值時，即可界定為熱區，以 High-High (HH) 表示。(3) 當 X_i 低於平均值，且週邊區域 j 亦低於平均值時，則可標示為冷區 (cold spot)，以

Low-Low (LL) 表示。至於空間例外情形，亦可區分為(4)當 X_i 高於平均值，但週邊區域 j 低於平均值時，其空間相關特性為本身觀察值高，且周圍的觀察值低，以High-Low (HL) 表示。(5)當 X_i 低於平均值，但週邊區域 j 高於平均值時，其空間相關特性為本身觀察值低，但周圍觀察值高，則可編碼為Low-High (LH)。

2.3 Moran's I 空間自相關係數相關圖

由於空間自相關分析時，會因鄰近地區設定的方式不同，而影響 Moran's I 值的大小。因此，可藉由界定鄰近性的距離之不斷擴大，依序算出不同距離的 Moran's I 值，據以觀察不同的鄰近定義，對於 Moran's I 值的影響。通常隨著判斷鄰近性距離的增加，Moran's I 會依序遞減而接近於零。此繪製出的 Moran's I 相關係數圖，亦可據以瞭解空間聚集的情形(鄧志松, 2006; Haining, 2003)。例如：當空間間隔依序增加時，如相關係數曲線之圖形非依序遞減，而是呈現波浪型曲線時，即可推知該空間中應不只存在一個空間聚集的區域。

一如前述鄰近地區(w_{ij})的定義，每個 w_{ij} 都代表一個空間單元，若以一定距離所涵蓋的範圍作為矩陣運算的範圍，則 w_{ij} 可以改寫為 $w(d)_{ij}$ ，其中 d 表示距離。若將 d 的單位設成空間單元的邊長，則每一個 d 的基本單位可視為一個空間間隔。有關繪製空間自相關係數相關圖，係將鄰近地區定義的距離逐漸擴大，計算各個距離定義下的 Moran's I 值，再把每個對應空間間隔順序的值連成一線，即可繪出 Moran's I 空間自相關係數相關圖。本研究將利用 Moran's I 相關係數圖，找出農作物災害損失空間相關性趨於零的距離，以供未來劃分適當的災害風險組合之地理區域。

III、實證資料來源

本研究所蒐集農作物生產產量與災害損失的數據資料，包括臺灣各縣市地區，以及雲林、嘉義、彰化三個農業產區的鄉鎮地區資料。根據農委會之臺灣農產品標準分類編碼系統，本研究將農作物種類重新歸類稻米、蔬菜、水果及其他作物四類，其他作物則包含稻米以外的糧食作物、特用作物及花卉等。本研究首先將所有農作物種類加總並進行分析。進一步針對各類別農作物進行討論，但由於其他作物涵括項目繁雜，不納入各類別農作物分析中，因此各類別作物部分，僅針對稻米、蔬菜及水果進行分析。

3.1 臺灣農作物災害損失狀況（1999-2008 年）

本研究使用的實證分析資料，取自行政院農業委員會 1999-2008 年出版的「農業統計年報」之農業災害部分（行政院農業委員會，1999-2008），並整理出不同農作物被害狀況的數據資料，包含每年的被害作物、災害種類、被害面積（指農作物實際遭受災害之面積，單位為公頃）、被害程度（為農作物遭受災害之嚴重程度，單位為百分比）、換算面積（係以農作物被害面積乘被害程度而換算之無收穫面積，單位為公頃）、估計的損失數量（單位：公噸），及估計的損失價值（單位：千元）。

由表 1 可知，若依災害損失換算面積，則以水果（92.9 千公頃）災害累積損失最多，之後依序為稻米（82.8 千公頃）、蔬菜（64.2 千公頃），及其他作物（38 千公頃）累積災害損失最少。在估計損失數量部分，以水果（149.9 萬公噸）為最多，之後依序為蔬菜（141.5 萬公噸）、其他作物（51.8 萬公噸），而稻米（47.4 萬公噸）之估計損失數量最少。值得注意的是，在災害損失價值上，則以水果（383.2 億元）累積金額最多，其次為蔬菜（195.7 億元），而

其他作物（93 億元），稻米（87.3 億元）累積金額為最少。由於水果單價較其他作物高，故水果損害累積金額位居災害損失價值之首位。

表 1 1999-2008 年臺灣地區農作物天然災害總損失狀況

年	災害損失面積（千公頃）				損失數量（萬公噸）				損失價值（億元）			
	稻米	蔬菜	水果	其他	稻米	蔬菜	水果	其他	稻米	蔬菜	水果	其他
1999	1.2	5.7	11.4	2.2	0.6	5.3	8.8	1.7	1.2	8.3	32.4	9.2
2000	5.7	7.4	14.6	7.0	3.0	46.4	31.9	17.5	5.3	21.2	62.2	15.2
2001	4.8	6.8	6.6	3.8	2.2	11.3	12.2	9.0	4.0	19.9	18.1	4.1
2002	0.2	0.2	1.9	1.4	0.1	0.5	2.9	2.2	0.2	0.6	9.2	7.0
2003	0.4	1.8	6.0	1.2	0.2	3.9	10.4	1.3	0.3	6.5	27.9	5.9
2004	4.2	6.4	7.2	3.7	2.6	11.5	10.8	2.1	4.2	14.4	26.1	7.8
2005	25.4	12.9	19.0	6.5	15.3	22.9	30.4	7.3	25.4	51.5	84.8	19.7
2006	1.6	2.8	3.6	1.1	1.0	5.2	4.8	0.6	1.8	10.4	17.5	1.8
2007	17.1	8.7	12.0	5.1	9.7	14.9	21.1	4.4	18.7	25.8	54.2	9.3
2008	22.3	11.5	10.5	6.1	12.6	19.5	16.4	5.8	26.2	37.1	50.8	12.9
總計	82.8	64.2	92.9	38.0	47.4	141.5	149.9	51.8	87.3	195.7	383.2	93.0

資料來源：本研究整理自行政院農業委員會 (1999-2008)。

3.2 臺灣各縣市農作物生產情形（1999-2008 年）

臺灣縣市別的農作物生產資料，亦取自農業統計年報中的縣市行政單位統計，資料時間為 1999-2008 年。有關農作物生產資料內容，包含各縣市每年的耕種面積（單位：公頃）、收穫面積（單位：公頃）及總產量（單位：公噸）。本研究使用的分析資料為總產量（單位：公噸）。如表 2 所示，臺灣於 1999-2008 年間，各種農作物的總產量，依序為蔬菜(2,994 萬公噸)，水果(2,665 萬公噸)，而稻米（1,628 萬公噸）所占比例最少。

表 2 1999-2008 年臺灣縣市地區農作物產量

縣市	總產量 (萬公噸)				總計
	稻米	水果	蔬菜	其他	
彰化縣	300.2	166.4	435.6	279.5	1,181.8
雲林縣	268.9	193.3	845.7	557.3	1,865.1
嘉義縣	189.7	200.0	227.8	413.3	1,030.7
台中縣	162.5	252.4	111.1	63.5	589.4
台南縣	154.2	427.4	299.1	402.4	1,283.1
桃園縣	77.0	10.9	54.2	4.9	146.9
花蓮縣	70.9	64.1	88.0	84.1	307.1
苗栗縣	70.8	100.4	61.2	14.4	246.8
台東縣	67.5	117.3	35.2	32.5	252.5
宜蘭縣	62.0	48.7	113.4	4.6	228.6
屏東縣	48.6	440.4	237.0	228.3	954.4
新竹縣	44.2	55.1	38.3	7.3	144.9
高雄縣	41.1	292.9	143.0	148.4	625.3
南投縣	29.0	246.8	178.9	73.8	528.5
台中市	13.4	5.7	7.5	5.9	32.5
嘉義市	9.4	6.7	2.8	3.3	22.2
新竹市	9.2	2.3	1.9	0.5	13.9
台南市	3.8	4.8	29.7	28.0	66.3
台北市	2.3	3.4	18.5	1.7	25.9
台北縣	2.1	21.7	57.9	10.6	92.3
高雄市	1.0	2.6	1.1	0.1	4.7
基隆市	0.0	0.9	2.1	0.5	3.5
總計	1,627.7	2,664.5	2,993.5	2,366.1	9,651.7

資料來源：同表 1。

如表 2 所示，臺灣於 1999-2008 年間，以雲林縣農作物產量最豐，約 1,865 萬公噸，其次為台南縣 (1,283 萬公噸)，排名第三為彰化縣 (1,182 萬公噸)，第四為嘉義縣 (1,031 萬公噸)。因此，本研究將選擇以臺灣農業產量最豐富的縣市為例，並將空間分析單位細分至鄉鎮地區，以進一步探討較小空間範圍內的農作物生產與其天然災害損失之空間相關情形。

3.3 雲嘉彰鄉鎮地區農作物被害狀況（2004-2008年）

有關雲林、嘉義與彰化的鄉鎮級農作物被害狀況資料，主要取自行政院農業委員會農糧署農業統計中的鄉鎮行政單位統計，資料時間為 2004-2008 年。儘管原公務統計資料內容，包括災害名稱、災害情況、被害面積、被害程度和換算面積。但是農糧署僅願釋出換算面積資料，故本研究僅能退而求其次，使用換算面積（單位：公頃）來分析雲嘉彰鄉鎮地區農作物災害損失的空間相關性。

3.4 雲嘉彰鄉鎮地區農作物生產情形（2004-2008年）

有關雲嘉彰鄉鎮地區農作物的生產資料，分別取自彰化縣政府、雲林縣政府及嘉義縣政府主計處的農林漁牧統計，資料時間為 2004-2008 年之農產品產量及收穫面積資料（雲林縣政府主計處，2004-2008；彰化縣政府主計處，2004-2008；嘉義縣政府主計處，2004-2008）。其中，農作物生產資料包含每年的耕種面積（單位：公頃）、收穫面積（單位：公頃）及總產量（單位：公噸）。本研究使用分析之資料為總產量（單位：公噸），並根據農委會之臺灣農產品標準分類編碼系統，將農作物種類，重新歸類稻米、蔬菜、水果及其他作物四類，其他作物則包含稻米以外的糧食作物、特用作物及花卉等。

IV、實證結果

4.1 臺灣農作物災害損失空間分析

4.1.1 臺灣全域型空間自相關分析結果

本研究先行以全臺灣為範圍，以 Moran's I 分析 1999-2008 年間稻米、蔬菜、水果三類農作物的災害損失面積（公頃）、損失數量（公噸）和損失價值

(千元)之空間相關性災害損失。圖 2 所示為臺灣稻米、蔬菜、水果，及所有作物加總產量之空間相關性估計結果，其中，蔬菜 (Moran's I 約 0.28) 與稻米 (Moran's I 約 0.25) 的空間相關性較高，表示在臺灣縣市地區中，蔬菜和稻米分布的聚集程度較高；而水果 (Moran's I 約 0.1) 之空間相關性最低，表示水果的空間聚集程度較小，故可推論水果產量相較其他類別農作物產量的聚集情形較為分散。最後，同時將臺灣生產的所有種類農作物納入估計中，並使用相同的方法估計所有種類農作物產量之空間相關性，結果顯示所有農作物產量的空間相關性高 (Moran's I 約 0.2-0.3)，表示臺灣地區所有農作物產量的空間聚集程度是偏高的。從圖 2 中可得知每年所有農作物產量之空間相關程度約略相同，且十分穩定。

另以所有作物產量之空間相關性為例，加總所有種類農作物產量的空間聚集性高，可知臺灣農業耕種地區較為鄰近，特別是蔬菜和稻米之空間相關性偏高，表示蔬菜和稻米耕種地區較集中在鄰近縣市。相較而言，水果產量的空間相關性為所有類別中最低者，表示臺灣地區水果產量較零散，較少數集中在鄰近縣市，但由於臺灣水果種類多元，各種類水果適合栽種的地區不同，因此使得水果產量之空間聚集程度較低。由於農作物生產必須依賴適當的土地、氣候、環境等地域性因素，因此當天然災害侵襲時，經常會造成適合作物生長的產區，同時遭受損失的現象，故有必要先瞭解臺灣農作物產量之空間相關性，亦即評估臺灣農作物栽種之空間聚集程度，始能針對每年的農業災害損失情形，實際評估農作物災害損失的空間聚集程度。基此，本研究將先分析農作物產量及其災害損失之空間相關程度，再納入不同時間資料進行比對，以探究近十年臺灣地區農作物產量與災害損失之空間相關程度。

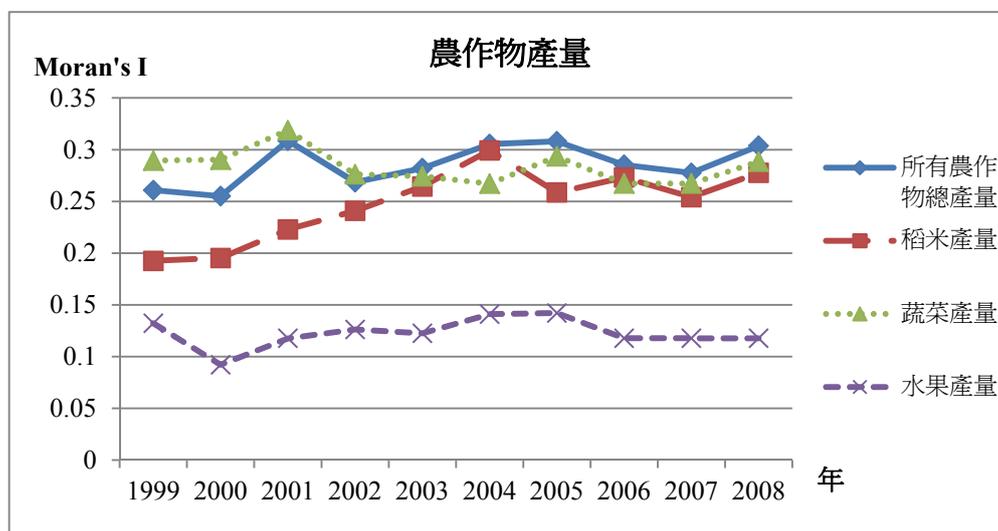


圖 2 1999-2008 年臺灣農作物產量狀況之全域型空間自相關分析

資料來源：本研究。

圖 3 所示為 1999-2008 年間稻米、蔬菜、水果三類農作物之災害損失面積、損害數量與損害價值的 Moran's I 值。三種災害損失資料（含損害面積、損害數量、損害價值）之估計結果，皆顯示每年災害損失之 Moran's I 值皆不相同，且數值的波動無一定的規則，此表示每年災害損失的空間聚集程度有所差異。其中，以 1999 年與 2002 年的數值普遍偏低，亦即該兩年度的農作物災害損失面積的空間相關性較低；例如蔬菜在 2002 年的 Moran's I 值趨近零，表示若某縣市栽種蔬菜的土地損害程度高而鄰近縣市的土地並無損害，其並不存在空間相關性，空間聚集程度趨於隨機獨立。此外，農業災害損失的嚴重程度排名第二的 2000 年（請參見表 1），但其災害損失面積、損害數量、損害價值的 Moran's I 值，並沒有明顯高於其他年度。相似的結果，亦可見蔬菜與水果兩項之分析結果，如 2000 年蔬菜的損失數量最多，但該年度蔬菜的 Moran's I 值卻為所有年度中最低；相同的，2005 年水果災害損失的面積和損失價值最高，但該年度水果的 Moran's I 值卻非常低，意味著農作物災害

損失面積、損失數量或損失價值較大，並不表示災害損失面積會有較高的空間聚集現象，反之亦然。

有關農作物災害損失面積、損失數量或損失價值的空間聚集之差異化現象，諸如 2006 年稻米災損面積和損害價值的 Moran's I 值偏高，但是該年度的稻米累積受災面積與災害損失估計價值並不嚴重；又如 2001 年水果損害價值的 Moran's I 值偏高，但是該年度水果累積災害損失估計價值並不高；同樣的，2003 年度各類農作物也是災害損失面積較為輕微，但該年度災害損失面積之 Moran's I 值卻偏高。綜合上開分析結果，顯示災害損失面積與 Moran's I 值（即全域型空間自相關程度）之間，不具有必然性的關係。簡言之，災損面積較嚴重者，不一定具有高度的空間相關性，亦即災害損失面積、數量或是損失的價值，並沒有同時集中發生在特定地區內。

值得注意的是，從圖 3 全域型空間自相關的分析結果，在三種類農作物（含稻米、蔬菜、水果）中，僅稻米該類農作物在三種災損數值（損害面積、損害數量、損害價值）所估計的全域型空間自相關結果較為相似，亦即無論利用何種損害數值進行評估，稻米損害的空間相關結果差異不大。但是在蔬菜、水果的三種全域型空間自相關評估指標，則呈現不盡相同的結果。例如水果在 2000 年、2003 與 2004 年的損害價值、損害面積與損害數量之全域型空間自相關計算結果，有明顯的差別。推測可能的原因為水果屬於高經濟價值作物，即使損害面積範圍不大，仍會有較高的災害損害價值。此外，由於臺灣蔬菜及水果種類繁多，且不同蔬果種類的經濟價值和栽種地區都不相同，此亦可能導致災損價值空間自相關程度，呈現差異較大的結果。

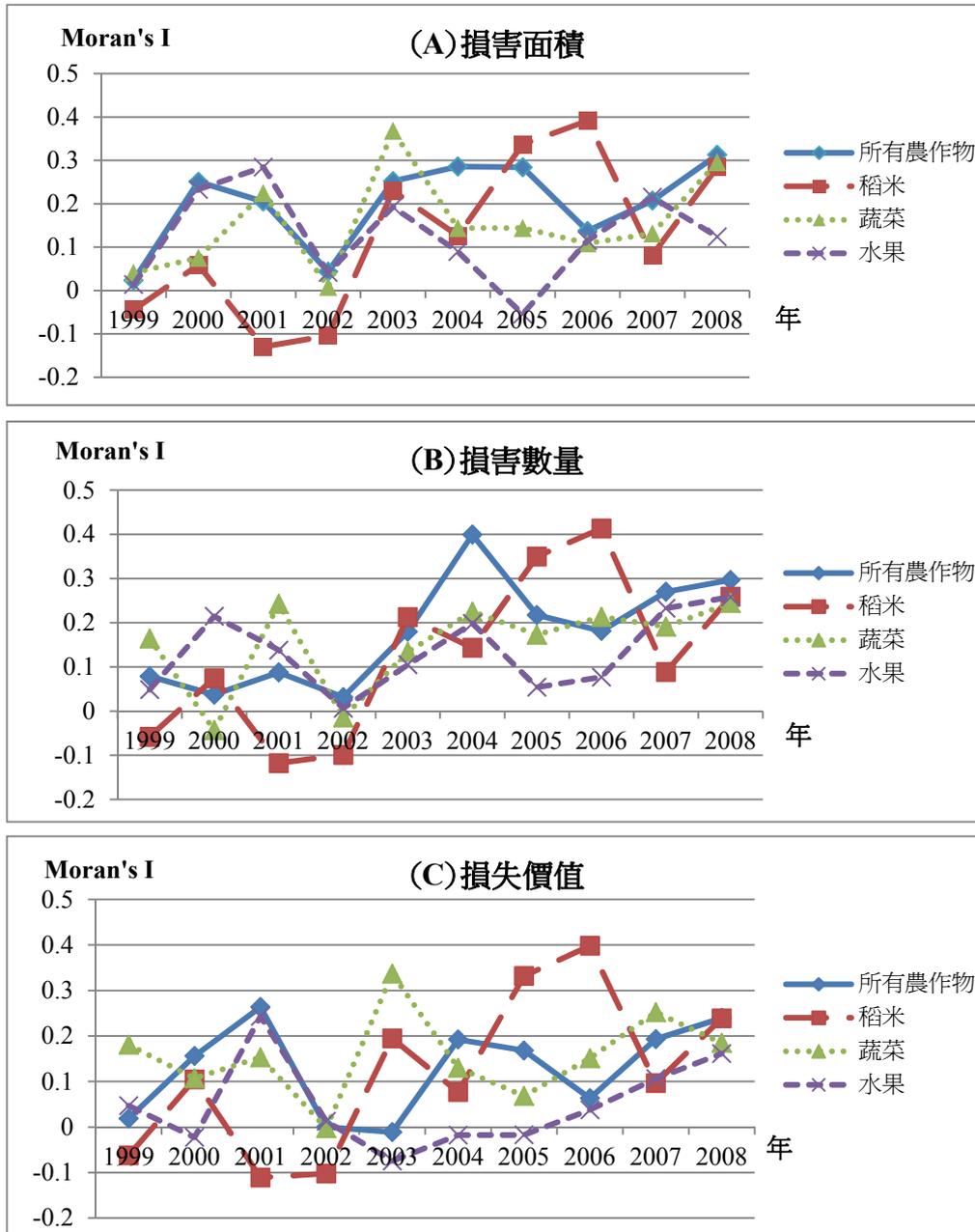


圖 3 1999-2008 年臺灣農作物天然災害損失之全域型空間自相關分析
資料來源：本研究。

4.1.2 臺灣縣市地區型空間自相關之分析結果

有鑑於臺灣全區域空間自相關程度之分析，無法確切得知空間聚集現象發生在哪些縣市地區，故本研究進一步利用地區型空間自相關分析方法（即 LISA），藉以偵測出災害集中的熱點地區。所謂農作物產量熱區之意義，表示該地區的農作物產量不僅有顯著的空間聚集效果，且該地區與其鄰近地區的產量皆大於平均產量且達顯著水準。有關 1999-2008 年間，臺灣各縣市三類農作物產量的空間聚集熱區，大致相同（詳如表 3 所示），大多數農作物產量之熱區，多集中在南投、雲林、嘉義與彰化縣。其中，蔬菜產量的熱區為南投、雲林、嘉義與彰化縣，而稻米產量的熱區則座落於彰化縣及雲林縣，水果產量熱區則位於嘉義縣及高雄縣。值得一提的是，台東縣雖然於 1999、2002、2004 至 2008 年間為水果產量的熱區，但是在 2000、2001 與 2003 年，則不具有空間聚集的特性，可能原因為台東縣在上開年度曾遭受到嚴重之災害損失，如 2000、2001 與 2003 年度台東縣水果之災害損失面積和數量皆為災害損失之熱區，使其水果大量減產，因而造成當年之產量受到影響。

前人研究認為農作物生產聚集的地區，較容易成為災害損失的發生地區，故經常使用農作物產量或減少的產量來作為釐訂保險費率之依據，例如美國保險金額即為農作物保險產量之 75%（董淑娟、凌氫寶，2001；黃美玲、王財驛，2011）。然而，本研究除了分析農作物產量的空間聚集地區之外，將同步探討農作物災害損失的空間聚集程度，以比對兩者空間聚集的熱點地區是否一致，亦即瞭解災害損失是否如同產量一樣，因集中在特定地區而存在系統性風險問題。

根據地方性空間自相關 (LISA) 估計結果顯示，臺灣各縣市不同年度的農作物產量的熱點，大致相同。然而農作物災害損失的熱區，卻呈現每年分歧、無固定的現象，意即農作物生產聚集的地區，卻不一定是天然災害損失的聚集地區。例如：花蓮縣的蔬菜與水果為高災損的熱區，雖然花蓮縣的蔬菜與水果產量，占臺灣整體產量的比例不高，但其受災數量與災害損失價值，

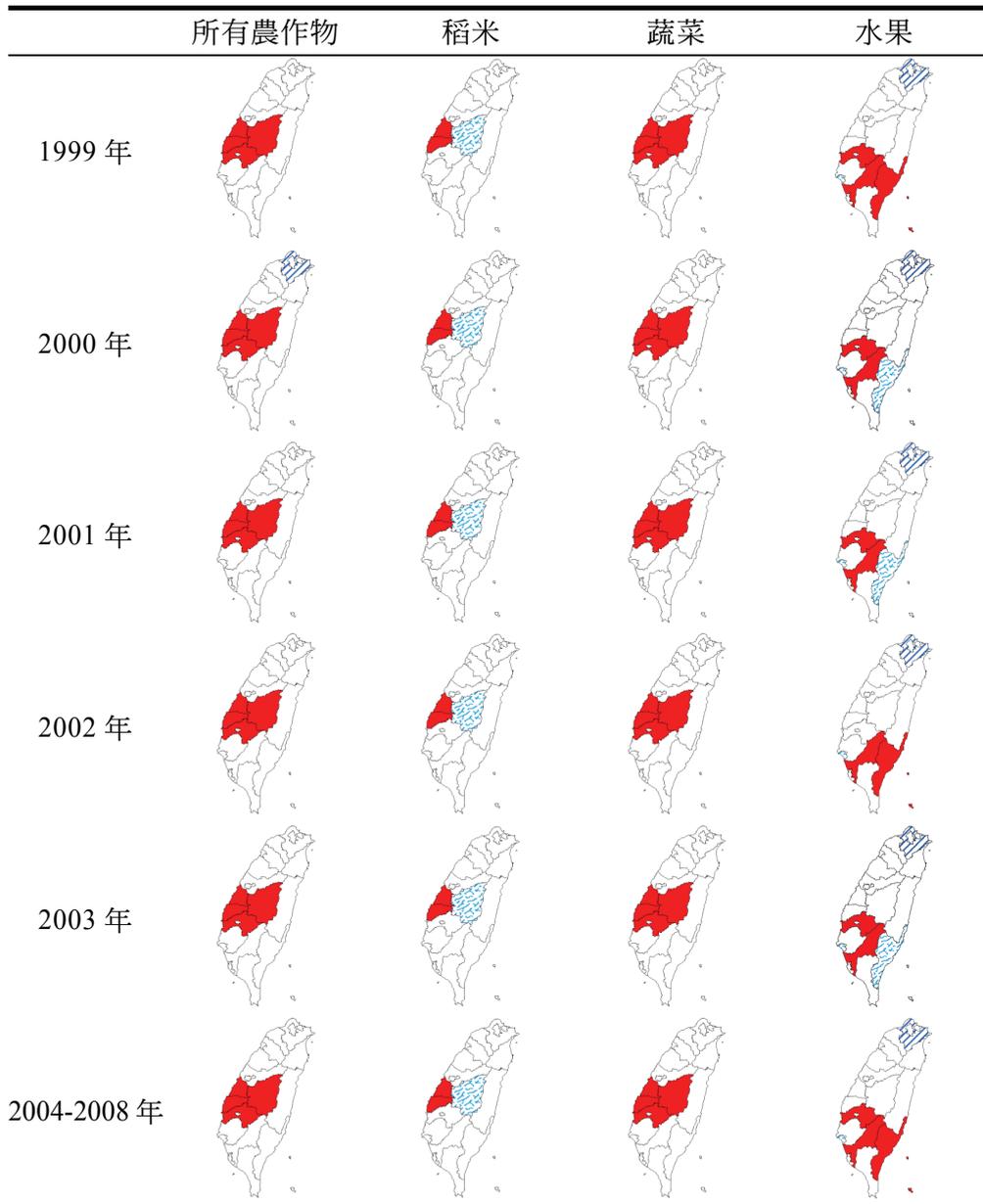
卻是占有所有縣市之首。此結果可能與歷年颱風行經路徑有密切相關，尤其是東部地區經常為颱風侵襲之首，因而造成東部地區之農作物災害損失高於其他地區，呈現高度空間聚集的現象。

有鑑於 2000 與 2005 年為本研究期間農作物災害損失最嚴重者，故以此兩年度為例，針對各類農作物災害損失面積、數量與價值等狀況，進一步分析其地方性空間自相關 (LISA) 情形，以瞭解不同災害損失熱區的分布情形。表 4 分析結果顯示，2000 年度的農作物災損熱區，大多發生於臺灣東部與中部地區，但是 2005 年的災損熱區，卻多發生在臺灣西部與中部地區。另外，其他年度之 LISA 估算結果，則發現 1999-2008 年的十年期間，臺灣各類農作物災害損失的熱區，每年的災損高聚集地區都不盡相同。此結果表示災害損失的熱點地區，並非固定發生於特定的縣市地區，同時災害損失與農作物產量的熱點地區，也有明顯的差異。換言之，以不同年度來看，雖然農作物產量穩定聚集於相同的地區內，但災害損失並非發生在農作物生產聚集的地區，故可推知臺灣縣市別農作物的災害損失，並非如前人研究所主張的農業災損過大而無法在不同地理空間中分散其系統性風險（林尚平，2009；羅元鴻，2010、2011）。

有關地方性空間自相關的 LISA 分析結果的說明圖例，白色表示不具顯著性 (not significant)，表示無空間自我相關現象。若 $p\text{-value} < 0.05$ 代表具顯著性，具顯著性之結果分為四類，分別為：

- ：High-High（熱區，hotspots），表示LISA值本身高，周圍者亦高（正的區域空間自相關）。
- ：Low-Low（冷區，coldspots）：表示LISA值本身低，周圍者亦低（正的區域空間自相關）。
- ：Low-High（空間例外，spatial outliers）：表示LISA值本身低，但周圍者高（負的空間自相關）。
- ：High-Low（空間例外，spatial outliers），表示LISA值本身高，但周圍者低（負的空間自相關）。

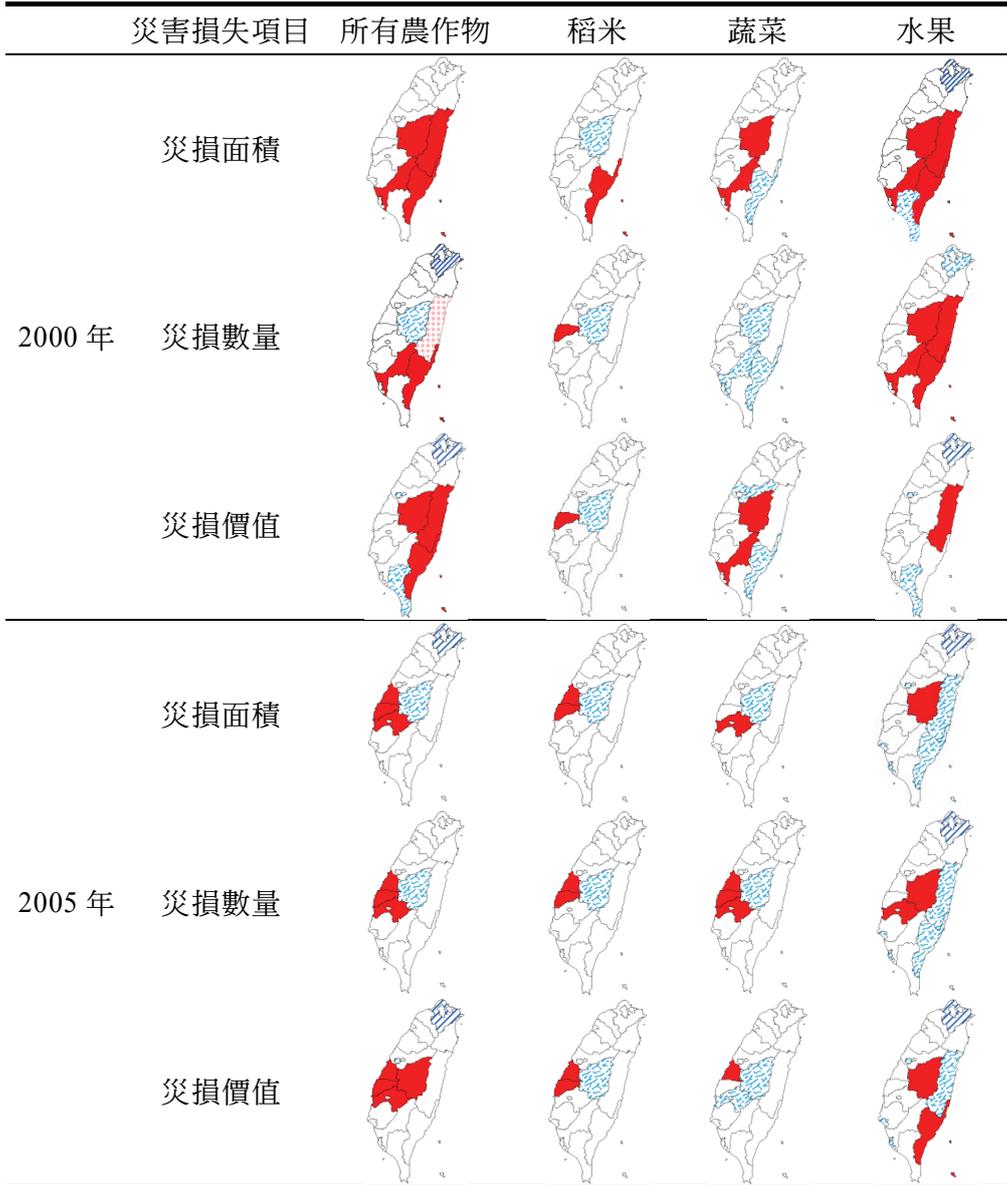
表3 1999-2008年間臺灣各縣市農作物產量之地方性空間自相關



資料來源：本研究。

註：圖例說明 ：H-H（熱區）、：L-L（冷區）、：L-H、：H-L。

表 4 2000 年與 2005 年臺灣各縣市農作物天然災害損失狀況之地方性空間自相關



資料來源：同表 3。

註：同表 3。

4.2 彰化、雲林、嘉義鄉鎮農作物災害損失

4.2.1 雲嘉彰全域型空間自相關分析結果

本研究為進一步探討不同空間尺度下，農作物災害損失的空間聚集情形，故選擇彰化、雲林、嘉義縣市的三個重要農業生產區，並將空間分析單位細分至鄉鎮層級，應用全域型空間自相關指標 (Moran's I)，估計該地區農作物產量與產區災害損失面積的空間自相關程度。圖 4 為彰化、雲林與嘉義縣農作物產量之 Moran's I 值估計結果，可發現 5 個年度各類農作物的 Moran's I 均偏高，表示三個縣市內鄉鎮地區與各種類農作物的產量，具有明顯的空間聚集現象。其中，以蔬菜產量的空間自相關性最高，2006 年以前約為 0.3，2007 年後則上升至 0.5，亦即蔬菜生產的空間，有逐漸聚集的現象。此外，水果與稻米之 Moran's I 值介於 0.2-0.3 之間，有輕度的空間自相關性，且各年度間的變化不大。若同時估計不分種類之所有作物產量的空間相關性，於圖 4 中，顯示其空間相關性偏高，Moran's I 值介於 0.3-0.5 之間。

值得一提的是，若將雲嘉彰鄉鎮地區（參見圖 4）與臺灣縣市地區（參見圖 2）之農作物產量的空間相關程度進行比較時，可發現雲嘉彰鄉鎮地區之農作物產量的空間聚集程度，普遍高於臺灣縣市的空間聚集程度；以水果為例，臺灣縣市的 Moran's I 值介於 0.1-0.15 之間，而雲嘉彰鄉鎮的 Moran's I 值介於 0.2-0.25 之間；而在蔬菜部分，臺灣縣市的 Moran's I 值介於 0.25-0.35 之間，而雲嘉彰鄉鎮的 Moran's I 值皆在 0.35 以上，且自 2006 年以後呈現上升的趨勢，表示蔬菜的空間聚集情形，自 2006 年以後有逐年增加的現象。

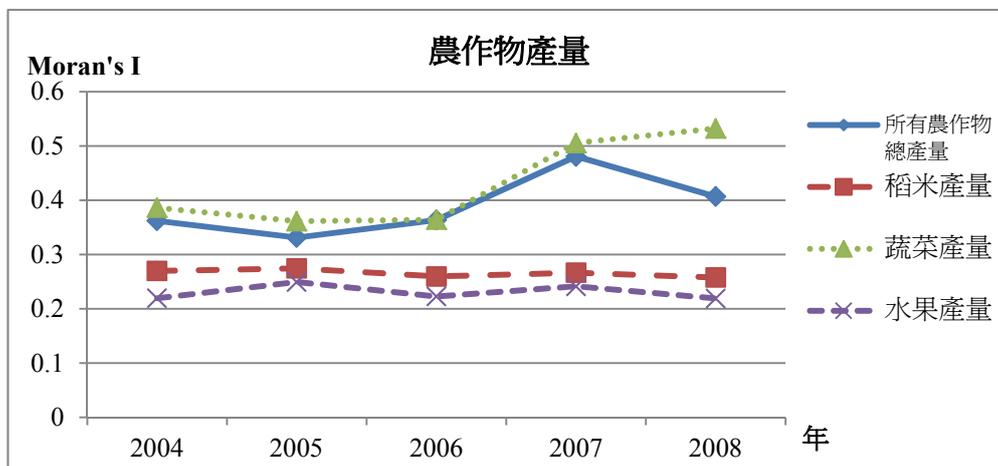


圖 4 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮農作物產量之全域型空間自相關

資料來源：本研究。

圖 5 為雲嘉彰鄉鎮地區農作物災害損失面積的 Moran's I 值估計結果，可發現加總所有農作物災害損失面積之 Moran's I 值，在 2006 年、2007 年與 2008 年度皆不存在顯著的空間相關性，而 2004 年雖然為有正向的空間聚集情形，但其空間相關性亦偏低。再者，2006 年與 2007 年之稻米、蔬菜、水果的 Moran's I 值估計結果，皆顯示存在有較高的空間相關性，表示三類農作物的災害損失面積，有明顯的系統性風險。另外，對於加總所有種類農作物的分析結果中，災害損失面積的空間相關程度減少，例如 2006 年、2007 年及 2008 年中，災害損失的 Moran's I 值近似於零，表示空間相關程度趨近隨機無相關。一般認為當年度發生天然災害越高，則損害越有可能存在空間聚集性，但在本研究的數據中，發現即使當年度累積災害損失面積高，卻不代表災損一定存在高度的空間聚集。以 2008 年水果為例，水果的損害面積為五年內損害累積第二高者，然而其空間聚集程度卻為各年度中最低者；同樣在 2005 年的蔬菜損害面積為五年內損害第二高者，然而其空間聚集程度卻為各年度中最低者。

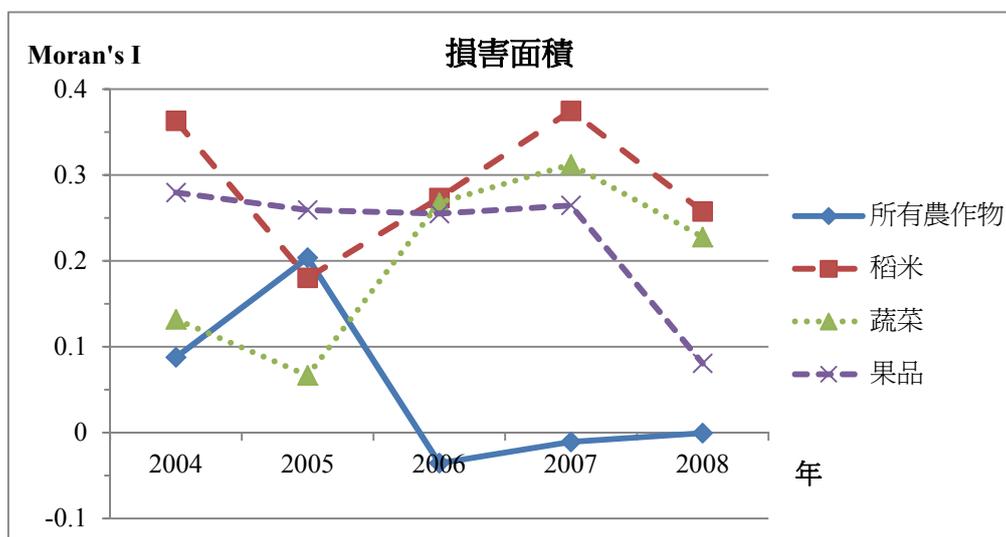


圖 5 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮農作物天然災害損失面積之全域型空間自相關
資料來源：本研究。

4.2.2 雲嘉彰鄉鎮地區農作物產量與災損的地方性空間自相關分析結果

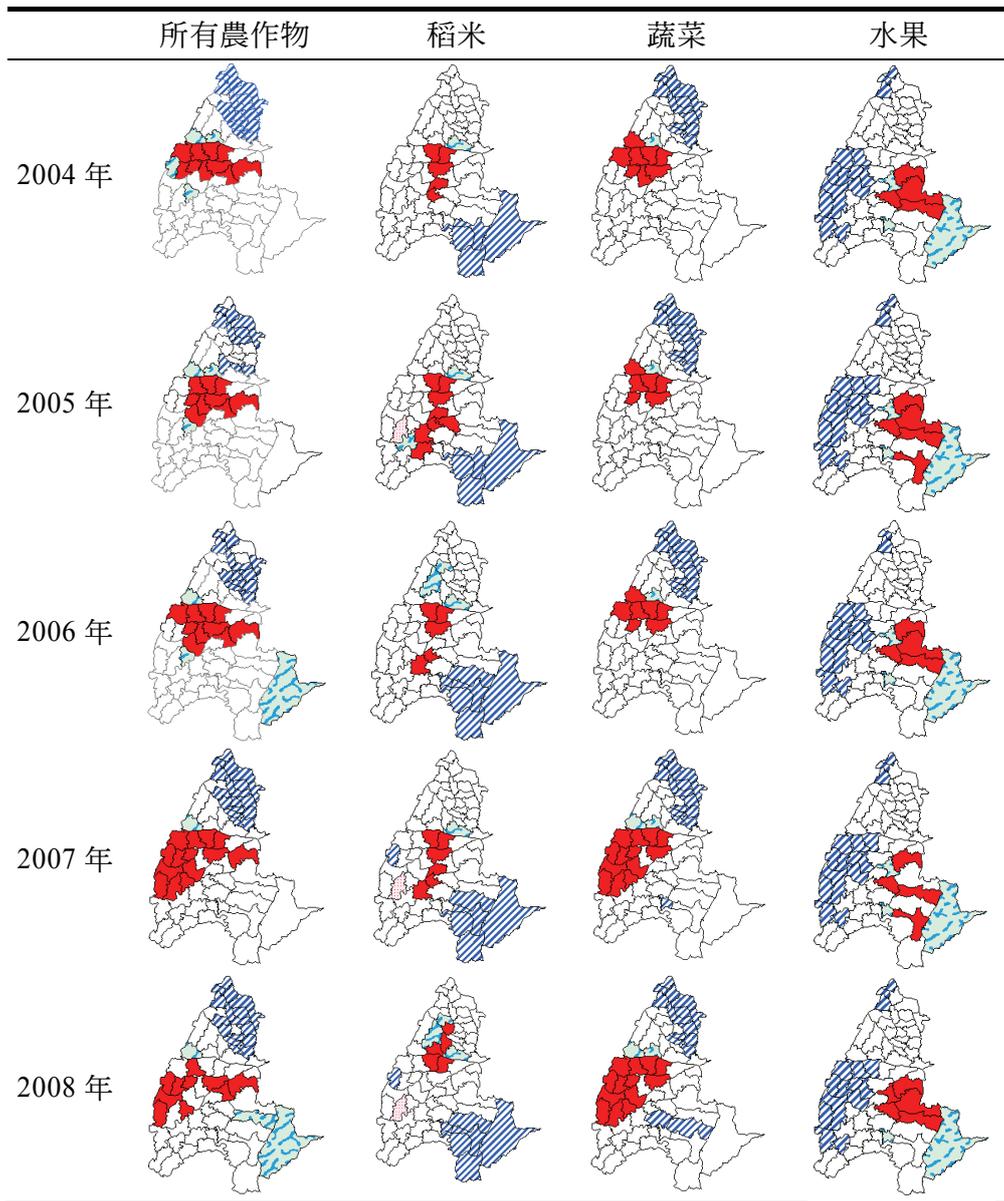
有關 2004-2008 年彰化、雲林、嘉義縣鄉鎮地區的農作物產量之地方性空間自相關情形，根據表 5 的 LISA 分析結果，顯示農作物產量之系統性風險每年聚集的地區約略相同，例如所有種類農作物的地方性空間自相關的估計結果，顯示生產熱區集中在雲林地區，稻米的生產熱區集中在雲林中部地區，蔬菜產量則聚集在雲林地區，水果產量集中在雲林東部和嘉義東北部地區，根據此估計結果，可得知各種類農作物的熱點地區皆不相同。綜合而言，雲嘉彰鄉鎮地區農作物的生產存在顯著的空間聚集情況，亦即表示農作物產量在該地區及其相鄰地區不僅存在顯著的空間聚集效果，且這些地區的農作物產量皆高於平均的產量，表示在雲嘉彰鄉鎮地區，農作物生產每年穩定聚集在這些熱點地區。

除上述農作物產量的地方性空間自相關分析之外，本研究進一步使用 LISA 方法繪製出雲林、嘉義、彰化鄉鎮地區農業災害損失的冷熱區。進言之，農作物損害熱區表示：該地區及其相鄰地區的農作物損害，不僅存在顯著的空間聚集效果，並且在農作物損害估計面積皆高於平均的損害面積。對照表 6 雲嘉彰鄉鎮之農作物災害損失的 LISA 分析圖，可發現各類農作物中，災害損失的熱區與農作物高產量的熱區，存在有明顯之關聯性，表示雲嘉彰鄉鎮的稻米、蔬菜和水果產量集中的地區，當天然災害來襲造成損失的面積較集中在這些產量的熱區地區，表示個別農作物之系統性風險較為明顯。例如蔬菜在 2006、2007 及 2008 年的熱點皆位於雲林縣，皆屬於蔬菜產量集中的熱點地區；又如水果在 2004、2005、2007 年的熱點皆位於雲林東部和嘉義東北部地區，同樣屬於水果產量集中的熱點地區。然而，若將所有種類農作物同時納入估計中，明顯發現農作物產量的熱區，雖然集中在雲林地區（參見表 5），然而災害損失卻並非固定在雲林地區內，而是散佈在各個鄉鎮地區中，且每年災害損失熱點聚集地區皆不相同（參見表 6）。

綜合雲嘉彰鄉鎮地區的分析結果，可發現即使個別農作物存在較高之系統性風險，若擴大風險組合將不同種類農作物聚集，結果顯示熱點聚集較分散，不存在高的系統性風險。因此，若將不同種類農作物在不同地區中，仍具有實施農作物保險的可行性，如能將具可保性的農作物種類，予以適當地進行風險組合，並聚集災損風險相關性不高的風險單位，則有助於透過多樣化承保的方式，達到風險分散之目的。

延續前述分析內容，本研究擬採用不同農作物種類與不同空間距離的風險相關性，進一步探討風險分散的可能性，亦即以計算並繪製出空間自相關係數相關圖的方式，分析空間距離增加與風險分散效果之關係。

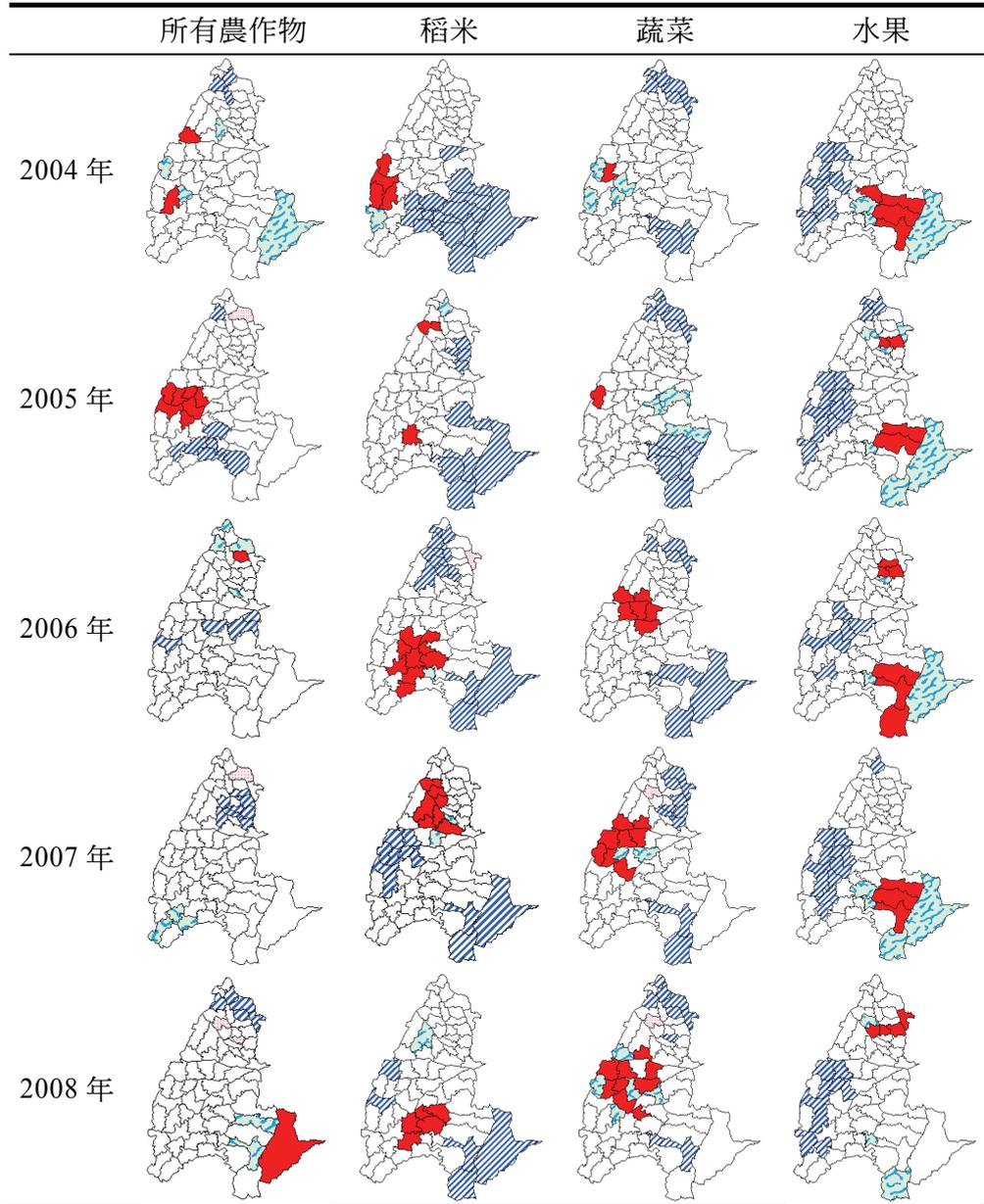
表 5 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮農作物產量之地方性空間自相關



資料來源：同表 3。

註：同表 3。

表 6 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮農作物天然災害損失狀況之地方性空間自相關



資料來源：同表 3。

註：同表 3。

4.3 Moran's I 空間自相關係數相關圖

本研究為瞭解臺灣農作物產量及其天然災害損失的空間自相關程度，如何隨地理距離的增加而減少，故著手繪製 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮地區農作物產量與災害損失之 Moran's I 值相關圖。進言之，在繪製空間自相關係數相關圖時，係採用兩類的空間間隔單位來進行分析，一類是以實質距離作為空間單位，第二類則是以空間上第幾個相鄰地區為單位(如本研究設定為鄉鎮)，而藉由繪製 Moran's I 相關圖，則可推出距離達多遠或是多少個相鄰地區單位，才能使研究對象的空間聚集性消失，或是近似隨機的發生(即 Moran's I 值趨近於零)。兩種不同空間間隔的估計方法，各有其實用性，利用距離估計能夠準確計算實際距離，然而利用不同鄰近鄉鎮，則有利於未來直接利用行政區域進行風險規劃。

圖 6 (A1) 至 (A4) 為雲嘉彰鄉鎮地區農作物產量之 Moran's I 相關圖。當以距離為空間間隔單位繪製時，(A1) 顯示加總所有種類農作物產量到達約 20 多公里遠的距離之後，空間自相關程度趨於零，表示到達這個距離後，便不再具有空間聚集性；(A2) 則表示稻米產量在距離增加至 18 公里遠處，空間聚集現象就會消失；(A3) 與 (A4) 分別顯示蔬菜與水果產量，均在距離為 23 公里處，則不具有空間聚集情形。總體而言，雖然相鄰的鄉鎮之間所種植的農作物，在地理位置上可能會聚集在鄰近地區內，但高度的空間聚集現象，卻在大約 20 多公里處，空間聚集現象便消失。由於到達該距離便不存在聚集現象，因而符合風險單位之間必須隨機獨立之條件，將此結果提供未來農作物保險規劃之參考。

相同的分析方法，但本研究改以相鄰第幾個地區，作為空間間隔的單位時，從圖 6 (B1 至 B4) 的雲嘉彰化鄉鎮地區農作物產量之 Moran's I 相關圖，可看出加總所有種類農作物產量與稻米產量到第 4 個相鄰地區時，便不存在空間聚集現象(請參閱 B1、B2)；相同的，(B3) 與 (B4) 則分別顯示蔬菜產量

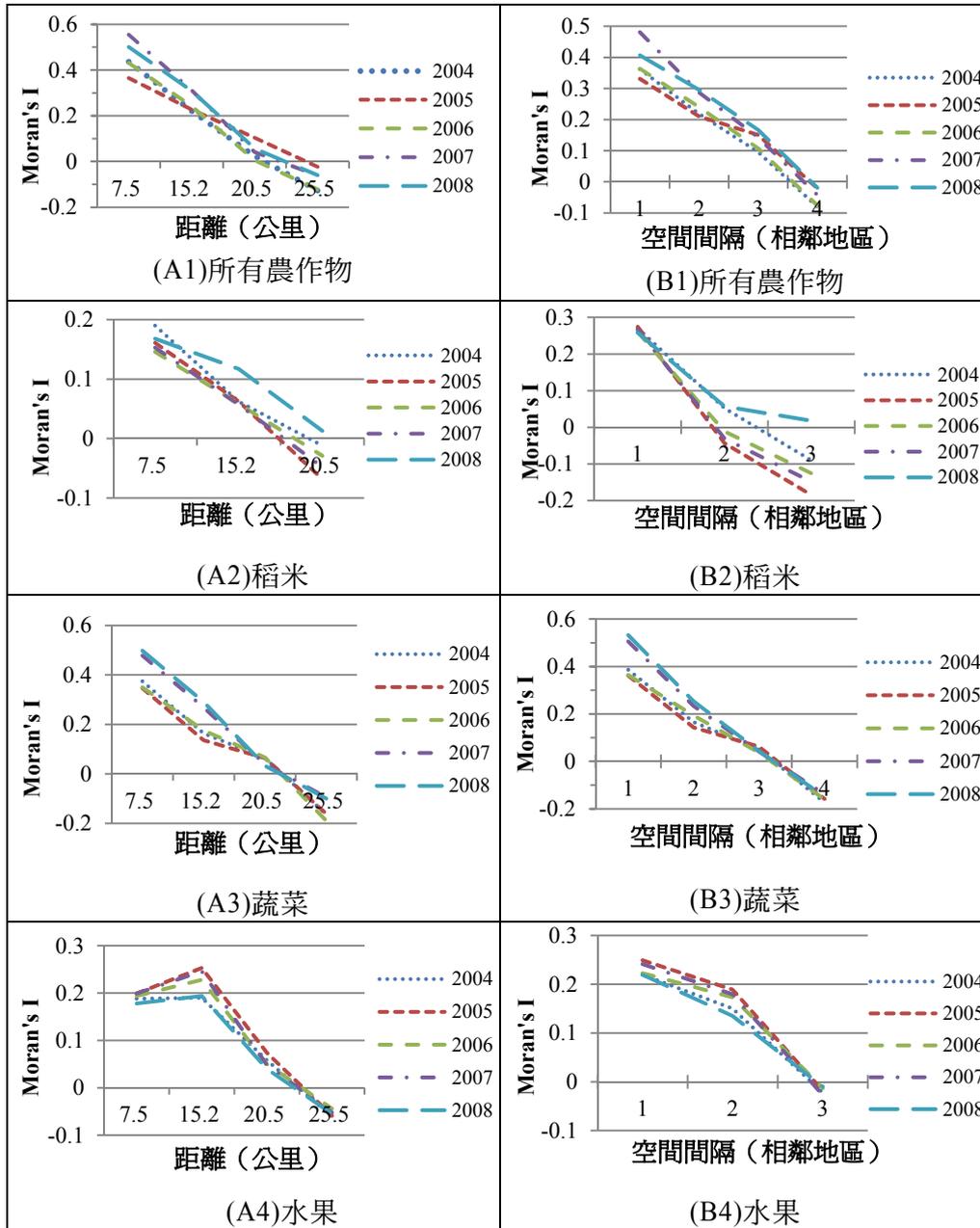


圖 6 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮地區農作物產量之 Moran's I 空間自相關係數相關圖

資料來源：本研究。

與水果產量，在間隔距離擴大至第 3 個相鄰地區處，農作物產量的空間相關性即隨之消失。總體而言，雖然雲嘉彰相鄰的鄉鎮地區之間，農作物產量聚集在鄰近地區，然而當擴大範圍大約第 4 個相鄰的鄉鎮地區處，空間聚集現象便會消失。由於該距離以外的地區便不存在空間相關性，因此可利用風險制度規劃中，聚集大量獨立的損失單位進行有效風險管理。此分析結果可提供未來規劃不具相關性之風險組合時，可參考此距離範圍，將不具相關性的地區單位作為一風險組合，進行有效之風險分散管理。

其次，就雲嘉彰鄉鎮地區農作物災害損失換算面積之 Moran's I 相關圖而言，圖 7 (C1 至 C4) 係以距離作為空間間隔單位，(C1) 顯示加總所有農作物之災害損失換算面積，在距離增加至 15 公里處，始不具有空間聚集現象；(C2) 至 (C4) 則分別顯示稻米、蔬菜、水果之災害損失換算面積，在距離分別增加至 18 公里、15 公里、20 公里處，其災害損失換算面積的空間相關性，便會隨之消失。總體而言，在農作物災害損失換算面積估計結果中，可知雖然相鄰的鄉鎮間的農作物受天然災害損害的換算面積存在高度的空間聚集現象，然而，卻在距離約 20 公里空間聚集現象便隨之消失，亦即符合風險單位之間必須隨機獨立之條件，此結果分析可作為未來規劃農作物保險之參考。

同樣的，本研究改以相鄰第幾個地區作為空間間隔的單位時，圖 7 (D1 至 D4) 所示為雲嘉彰鄉鎮地區的災害損失之 Moran's I 相關圖。(D1) 顯示加總所有農作物災害損失換算面積，由於所有農作物災損換算面積的 Moran's I 值僅於 2004 及 2005 年為正數，故僅能繪製出 2004 及 2005 年之 Moran's I 相關圖。分析結果顯示這兩年所有種類農作物的災害損失換算面積大約到第 2 個相鄰地區時，便不存在空間相關性；(D2) 與 (D3) 分別顯示稻米及蔬菜的災害損失換算面積，均在 2 個相鄰地區時，則不存在空間相關性；(D4) 顯示水果，約 3 個相鄰地區開始，災損換算面積便不存在空間聚集。同上敘述，雖然雲嘉彰相鄰的鄉鎮地區之間，農作物災害損失換算面積聚集在鄰近地區，然而當擴大範圍大約第 2-3 個相鄰的鄉鎮地區處，空間聚集現象便消失。同

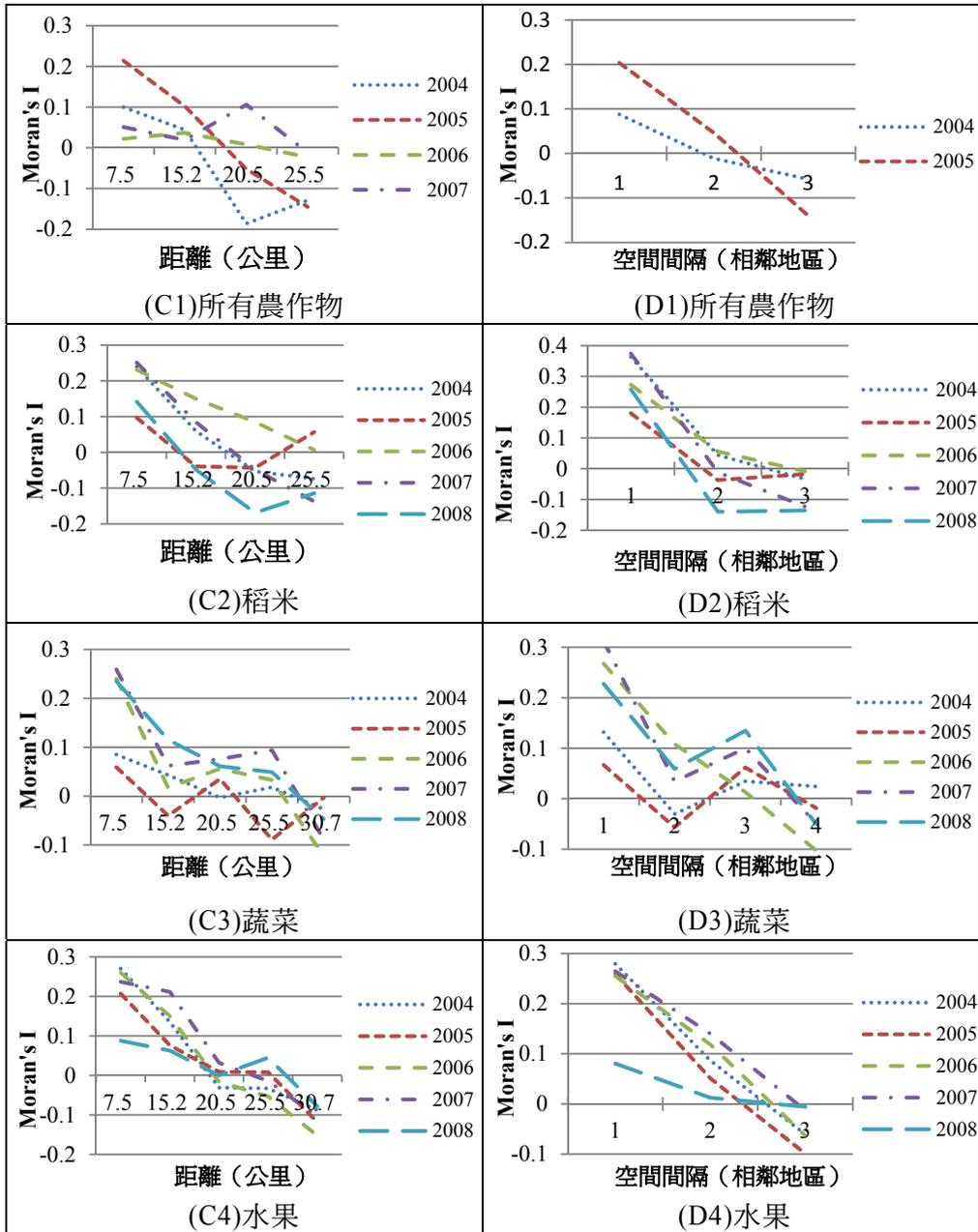


圖 7 2004-2008 年雲嘉彰鄉鎮地區農作物災害損失面積之 Moran's I 空間自相關係數相關圖

資料來源：本研究。

上所述，此鄉鎮間隔範圍之外便不存在空間相關性，因此符合風險理論中，要求承保單位為隨機獨立之條件，因此可參考此間隔範圍，將不存在空間聚集之地區設計風險組合，亦即利用聚集相關性低的風險單位將風險分散，因此分析結果可提供未來規劃不具相關性之風險組合，將有利於風險分散管理之規劃。

V、結論

臺灣為世界銀行所評定全球最易遭受天然災害侵襲的災害熱點之一，尤其是農業為抗災脆弱性最低的產業部門 (Dilley *et al.*, 2005)，由於農作物最直接受到天然災害侵襲而遭受損失，故如何規劃與實施農作物保有其急迫性與重要性。然而，我國目前尚無農作物保險機制來因應巨災風險；相對的，採行較為消極的農業天然災害救助來減少農民的受災損失；另一方面，則以災後補助或低利貸款來協助受災農民進行復耕。

有鑑於極端氣候災害的常態化，以及政府每年需花費龐大的財政支出在農業天然災害救助上，故近年來農政單位已積極探討引進農作物保險的可行性。惟既有的前人研究成果，均指出臺灣農作物種類繁多且栽種規模小，無法符合保險大數法則之運用，且地理環境及氣候造成災害頻仍與範圍廣，不易透過保險來分散風險 (林尚平，2009；羅元鴻，2010、2011)。從風險管理的角度，農作物災害損失的系統性風險，確為阻礙農作物保險市場發展的限制因子，在各國農作物保險發展過程中都存在，故評估農業生產和災害損失的系統性風險，為農業災害風險管理的重要課題。美國的農作物保險歷史比較悠久且發展快速，透過再保險政策的規劃，加上政府補貼和委託私人商業性公司經營等制度，在一定程度上解決了系統性風險的問題。Wang 與 Zhang (2003) 則更進一步的實證分析美國本土的「郡級」資料中 (相當於我國的縣市層級) 小麥、大豆、玉米等產量的空間相關性，並指出這三種美國

境內的主要作物，其產量在分散風險的時間上和空間上，皆有足夠分散風險的能力和範圍可降低系統性風險，因此透過在商業性的保險市場來規避農業保險人所面臨的系統性風險是有可行的。

相對於美國的廣大農業土地，台灣相對狹小之海島型農業，要藉由廣大範圍的地理區域將風險有效地分攤仍令人存疑。然而如何分攤天然災害風險的問題思考，對於了解與規劃農作物保險，扮演著不可或缺的角色，更有鑑於農作物生產與災害損失狀況，可能因台灣特殊的天候和地理條件的不同而有所差異。若是農作物生產與災害損失的系統性風險，並非是過高而無法分散時，農作物保險仍是臺灣因應天然災害威脅的風險管理工具選項之一。基此，本研究試圖分析臺灣農作物生產在面臨天然災害侵襲時，利用空間分析方法估計其系統性風險大小，而系統性風險又能否藉由擴大不同地區範圍，或是針對不同農作物種類來進行風險組合，以達到有效分攤農作物災害損失風險之目的，此研究結果可視為臺灣能否施行農作物保險的關鍵所在。不同於 Wang 與 Zhang (2003) 僅實證分析作物產量，其並沒有實際的災損資料分析，本研究使用資料除了包含農業生產資料外，另外更分析歷年天然災害損失的系統性風險，由天然災害損失的空間相關分析研究，可推論國外文獻無法回答的問題。簡言之，台灣之海島型農業土地雖為狹小，但以農作物保險來分攤天然災害風險仍有其可行性。

本研究應用不同的空間統計方法，分析農作物生產與其災害損失狀況的空間聚集情形，並檢視農作物生產與其災害損失空間相關性之時間變動狀況，藉以評估農作物生產與災害損失的系統性風險。首先，本研究以縣市為空間分析單位，進行農作物產量與災害損失狀況的空間系統性風險。根據全域空間自相關指標 Moran's I 的分析結果，發現稻米、蔬菜、水果與所有種類作物產量的 Moran's I 值，每年呈現穩定且數值非常接近；相對的，農作物災害損失狀況的 Moran's I 估計結果，卻呈現每年數值極為相異的情形，亦即不同年度與不同農作物災損的 Moran's I 值，波動頗大且無一定的規律性。重要的是，

對照農作物產量與災損的 Moran's I 值，並無明顯的關連性。上開分析結果顯示，臺灣農作物產量的確存在有相當程度的空間自相關現象，但是每年的農作物災害損失狀況，卻不一定具有空間聚集的系統性風險特性。

其次，本研究使用地方空間自相關的 LISA 分析圖，藉以偵測農作物產量與災損的熱區時，發現臺灣縣市別的農作物產量，其空間自相關的熱區分布是相當穩定，亦即高產量的農作物產區有集中的情形，此結果可能因為農作物生長需配合特定的地理與氣候環境條件，故具有高度空間分布的集中性。相對的，在臺灣縣市別農作物災害損失狀況的 LISA 圖中，分析結果顯示農作物災害損失高度相關的聚集區，則是每年都有不同的熱區，且災害損失並非集中在產量的熱點地區。此分析結果顯示，雖然每年農作物產量穩定聚集於相同地區，然而災害損失並非發生在農作物生產聚集的地區，可推論臺灣縣市農作物的災害損失並非過大而無法在不同地理空間中分散其系統性風險。

第三，本研究以臺灣的重要農業生產區為例，將空間分析的尺度聚焦至雲林、嘉義、彰化三個縣市的鄉鎮地區，進行農作物產量與災害損失的空間分析。根據全域空間自相關指標 Moran's I 的分析結果，發現不同年度雲嘉彰鄉鎮地區各類農作物產量，其 Moran's I 值均相當接近且偏高，表示三個縣市內鄉鎮地區與各種類農作物的產量，具有明顯的空間聚集現象。相對的，雲嘉彰鄉鎮在農作物災害損失狀況的 Moran's I 估計結果，卻呈現不同年度農作物災損的 Moran's I 值極為相異，波動頗大且無一定的規律性。除此之外，對照農作物產量與災損的 Moran's I 值，並無明顯的關連性。上述分析結果中，顯示臺灣農作物產量的確存在相當程度的空間自相關現象，但是每年的農作物災害損失狀況，卻不一定具有空間聚集的系統性風險特性。

此外，本研究進一步使用地方空間自相關的 LISA 分析圖，藉以偵測農作物產量與災損的熱區時，在 LISA 分析圖中，則偵測到所有農作物加總之產量高度聚集的熱點地區中，發現各年度雲嘉彰地區的高產量熱區，其空間聚集的鄉鎮分布，相當穩定，此亦為農作物生長地理與氣候環境條件而造成農作

物產區集中的主因。相對的，在雲嘉彰地區的農作物災害損失面積之地方空間自相關的 LISA 分析結果，皆顯示稻米、蔬菜、水果的災害損失熱點地區，多數位於產量聚集的熱點地區，此可推論稻米、蔬菜、水果的系統性風險較為明顯。此外，在所有種類農作物的部份，當同時將所有種類農作物同時納入估計中，明顯發現農作物產量的熱區雖然集中在雲林地區，然而災害損失的熱點地區，卻是散佈在各個地區，且每年熱點聚集地區皆不相同。故可推論在雲嘉彰鄉鎮地區的個別農作物之系統性風險較為明顯，然而所有類別農作物加總，卻不一定存在空間聚集的系統性風險特性。

由於雲嘉彰鄉鎮地區的個別農作物存在較明顯之系統性風險，故可進一步利用 Moran's I 相關圖，估計此空間聚集隨著距離增加之變化，以偵測空間自相關近似隨機的空間距離。分析結果顯示，農作物產量的空間聚集現象，需到距離約 18-23 公里或 3-4 個相鄰地區，其產量的空間聚集現象，才會轉為近似隨機分布的狀態。然而，農作物災害損失的空間聚集現象，卻會隨著距離的增加而消失，約 15-20 公里或 2-3 個相鄰地區後，便不存在各類農作物災害損失之空間聚集現象，亦即農作物災害損失，將會轉為近似隨機的空間分布。相較之下，農作物災害損失比農作物產量，在更短的距離，空間聚集現象便消失，表示雖然雲嘉彰鄉鎮地區的農作物損害存在較明顯之系統性風險，但在較短的距離便消失。換言之，雖然雲嘉彰鄉鎮地區之個別農作物災害損失存在較高之系統性風險，然而此系統性風險卻會隨著空間擴大而消失，此意味著仍可利用不同地理範圍的擴大來降低農作物之系統性風險。因此，臺灣未來若規劃施行農作物保險時，則可應用擴大不同地區或空間範圍的方式來進行風險組合，研發適用於臺灣之農作物保險。

整體而言，本研究發現臺灣縣市地區和雲嘉彰鄉鎮地區各類農作物產量，具有相當程度的空間聚集性，且歷年來聚集分布的情形相當穩定。然而，在農作物災害損失之系統性風險分析中，則發現相鄰地區各類農作物的災害損失，其空間自相關的程度不高，且災害損失的系統性風險規模，每年皆不

盡相同。類似的分析結果，臺灣縣市別的災損熱點分布地區，也因年度而有差異，且與農作物產量並無顯著的空間相關性。雖然雲嘉彰鄉鎮地區的個別農作物的損害面積，較明顯聚集在農作物產量集中的地區，其存在明顯的系統性風險，但此系統性風險卻在約 2-3 個相鄰地區或 15-20 公里後，即會隨之消失。

雖然臺灣佔地狹小，但臺灣地形特殊，使得各地區遭受天然災害之影響各不相同，加上臺灣耕種之農作物種類繁雜，且各地區適合耕種不同種類的農作物，因此可將各地區災害損失相關性低的作物，作為一組農作物風險組合。由於該研究取得之資料有限，僅就雲林、嘉義、彰化鄉鎮地區進行討論，根據研究，雲嘉彰鄉鎮地區之系統性風險約 2-3 個相鄰地區或 15-20 公里後便減弱，配合雲嘉彰地區耕種之特性，稻米的生產熱區集中在雲林中部地區，水果產量集中在雲林東部和嘉義東北部地區，因此多數稻米及水果耕種地點相距較遠，就上述之空間分析結果，初步建議可將雲嘉彰地區之稻米和水果可作為一農作物風險組合。

臺灣不僅擁有歷年之農作物生產量數據，同時擁有天然災害的損失資料，因此有助於實際進行天然災害之分析研究。若未來實際規劃農作物災害損失之風險管理，必須考量臺灣地區繁雜之農作物種類，可進一步根據個別農作物之生長特性（例如：生長氣候、季節、時間、地點等），並配合歷年詳細記錄遭受損害的時間及地點等資料，進行更細緻之研究估計，然而本研究僅就取得之資料，進行臺灣縣市地區及雲嘉彰鄉鎮地區作空間分析，已得到之分析結果顯示，臺灣縣市別農作物損害並非具有高度之系統性風險，而在雲嘉彰鄉鎮地區能在 20 公里以外的距離便降低風險之相關性，因此藉由風險相關性低的農作物規劃風險組合，將有助於臺灣未來天然災害風險管理之規劃。

綜合分析結果，本研究發現臺灣農業災害損失空間相依性和發生聚集的地區不同年度有所差異，且縣市別農作物災害損失情形，並非具有高度的系

統性風險，故臺灣未來在規劃施行農作物保險時，仍可參考運用擴大不同地區、距離和種類的農作物風險組合方式，研發出地區別與作物別組合的農作物保險。例如將風險相關性低的 20 公里以外的地區，並配合不同種類的農作物進行各種風險組合規劃，據以規劃出跨地區同一農作物或是相同地區但不同農作物組合的農作物保險，即能有效地進行風險分散。未來研究如能針對更多不同農作物標的與災害類別進行分析時，則有助於引進商業保險機制專業化控管天然災害風險，以健全發展臺灣農作物經營的風險管理。

參考文獻

- 王俊豪、黃秋蓮，2009。「歐盟農業保險體系之比較」，『行政院農業委員會 98 年農業政策』。台北：行政院農業委員會。取自 <http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=18737>。
- 交通部中央氣象局，2012。「颱風資料庫」。台北：交通部中央氣象局。取自 <http://61.56.13.28/>。
- 朱蘭芬、陳吉仲、陳星瑞，2007。「臺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。
- 行政院農業委員會，1999-2008。「農業統計年報」。台北：行政院農業委員會。取自 <http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=207>。
- 行政院農業委員會，2011。「農業天然災害救助辦法」，『法規內容』。台北：行政院農業委員會。取自 <http://law.coa.gov.tw/GLRSnewsout/LawContentDetails.aspx?id=FL014287>。
- 行政院農業委員會農糧署，2012。「辦理農作物農業天然災害救助」，『行政院農業委員會 2012 年重大政策』。台北：行政院農業委員會。取自 http://www.afa.gov.tw/Policy_index.asp?CatID=3。
- 李珍穎、張瑞益，2003。「臺灣地區綜合天然災害保險規劃之探討」，『中華技術學院學報』。26 期，343-359。
- 林尚平，2009。「規劃農漁民福利制度之研究—台灣農業保險之研究」。行政院農業委員會委託研究計畫。PW9611-1726。國立雲林科技大學。
- 林幸君、高慈敏、張靜貞，2008。「天然災害農作物損失對區域經濟之影響分析」，『2008 年臺灣災害管理研討會論文集』。台北：財團法人臺灣災害管理學會。
- 林學詩，2007。「蔬菜農業氣象災害與因應策略」，『作物、環境與生物資訊』。4 卷，1 期，23-34。
- 胡立諄、賴進貴，2006。「臺灣女性癌症的空間分析」，『臺灣地理資訊學刊』。4 期，39-55。
- 凌氤寶，1999。「銀行跨業保險經營之探討」，『華信金融季刊』。6 卷，115-120。

- 唐琦、徐森雄，2007。「臺灣南部地區農業氣象環境與災害發生潛勢」，『作物、環境與生物資訊』。4卷，1期，11-22。
- 許禎育、張宏浩，2010。「臺灣農家之農家所得的空間依存性分析」，『農業經濟叢刊』。16卷，1期，79-108。
- 陳吉仲、張靜貞，2009。「建立農業災害風險分攤機制」，『中國時報』。8月25日，A14版。
- 陳奕奇、劉子銘，2008。「教育成就與城鄉差距：空間群聚之分析」，『人口學刊』。37期，1-43。
- 陳星瑞，2003。「颱風對臺灣稻米損失函數之估計及天然災害保險之費率計算」。碩士論文，國立中興大學應用經濟研究所。
- 陳慈仁，2001。「台北市資訊軟體業與網際網路服務業區位分布之研究」。碩士論文，國立臺灣大學建築城鄉研究所。
- 程家慶，1995。「臺灣稻作災害純保險費率之研究」。碩士論文，國立中興大學農業經濟學研究所。
- 雲林縣政府主計處，2004-2008。「農產品產量及收穫面積」。2004-2008年『雲林縣政府統計要覽』。雲林：雲林縣政府。
- 黃美玲、王財驛，2011。「以保險經營模式與保險費率探討我國實施政策性花卉保險之可行性」，『國立虎尾科技大學學報』。30卷，2期，47-62。
- 黃英君，2004。「農民買保險消費者受益」，『國際金融報』。10月15日，18版。
- 黃英君，2009。「我國農業保險發展的市場運行機制研究」，『保險研究“三農”專刊』。11期，44-51。
- 董淑娟、凌氫寶，2001。「臺灣實施農作物保險之研究－精算收支平衡模式之應用」，『保險專刊』。66期，116-154。
- 嘉義縣政府主計處，2004-2008。「農產品收穫面積及生產量」。2004-2008年『嘉義縣政府統計要覽』。嘉義：嘉義縣政府。
- 彰化縣政府主計處，2004-2008。「農產品收穫面積及生產量」。2004-2008年『彰化縣政府統計要覽』。彰化：彰化縣政府。
- 劉世強、陳愛東，2008。「農作物系統性風險實證研究」，『中國海洋大學學報』。1期，48-49。

- 劉君雅、鄧志松、唐代彪，2009。「臺灣低生育率之空間分析」，『人口學刊』。39期，119-155。
- 鄧志松，2006。「選舉的空間因素：以三次總統選舉為例」，『國家發展研究』。6卷，1期，89-144。
- 羅元鴻，2010。「農業保險制度之分析」，『農政與農情』。215期，71-73。取自 <http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=21404>。
- 羅元鴻，2011。「農業金融與農貸服務」，『豐年半月刊』。56卷，23期，21-22。
- Anselin L., 1995. "Local Indicators of Spatial Association—LISA," *Geographical Analysis*. 27: 93-116.
- Anselin, L., 1996. "The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association," In *Spatial Analytical Perspectives on GIS in Environmental and Socio-Economic Sciences*. Edited by M. Fischer, H. Scholten, and D. Unwin, London: Taylor and Francis.
- Anselin, L., 1988. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Cliff, A. D. and K. J. Ord, 1973. *Spatial Autocorrelation*. London: Pion.
- Cliff, A. D. and K. J. Ord, 1981. *Spatial Processes: Models and Applications*. London: Pion.
- Dilley, M., R. S. Chen, U. Deichmann, A. L. Lerner-Lam, and M. Arnold, 2005. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington, DC: World Bank and Columbia University.
- Duncan, J. and R. J. Myers, 2000. "Crop Insurance under Catastrophic Risk," *American Journal of Agricultural Economics*. 82(9): 842-848.
- Glauber, J. W., 2004. "Crop Insurance Reconsidered," *American Journal of Agricultural Economics*. 86(5): 1179-1195.
- Haining, R. P., 2003. *Spatial Data Analysis: Theory and Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mason, C., D. J. Hayes, and S. H. Lence, 2003. "Systemic Risk in U.S. Crop Reinsurance Programs," *Agricultural Finance Review*. 63: 23-40.

- Meuwissen, M. P. M., J. B. Hardaker, R. B. M. Huirne, and A. A. Dijkhuizen, 2001. "Sharing Risk in Agriculture: Principles and Empirical Results," *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 49: 343-356.
- Miranda, M. J. and J. W. Glauber, 1997. "Systemic Risk, Reinsurance, and the Failure of Crop Insurance Markets," *American Journal of Agricultural Economics*. 79(1): 206-215.
- Ozaki, V. A., B. K. Goodwin, and R. Shirota, 2008. "Parametric and Nonparametric Statistical Modelling of Crop Yield: Implications for Pricing Crop Insurance Contracts," *Applied Economics*. 40(9): 1151-1164.
- Ozaki, V., 2009. "Pricing Farm-Level Agricultural Insurance: A Bayesian Approach," *Empirical Economics*. 36(2): 231-242.
- Rothschild, M. and J. Stiglitz, 1976. "Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information," *The Quarterly Journal of Economics*. 90(4): 629-649.
- Skees, J. R. and B. J. Barnett, 1999. "Conceptual and Practical Considerations for Sharing Catastrophic/ System Risks," *Review of Agricultural Economics*. 21(2): 424-441.
- Wang, H. H. and H. Zhang, 2003. "On the Possibility of a Private Crop Insurance Market: A Spatial Statistics Approach," *Journal of Risk and Insurance*. 70(1): 111-124.

Spatial Analysis of Crop Losses Caused by Natural Disasters

Yi-Ju Su^{*}, Mei-Luan Cheng^{**}, and Jiun-Hao Wang^{***}

This study thus investigates the spatial dependence of crop yields and losses caused by natural disasters to analyze potential systemic risk in Taiwan. The study takes a spatial statistics approach to conducting an exploratory time-space data analysis for understanding spatial dependence patterns of crop yields and losses at both the county and the township level. Crops are classified into four groups: rice, fruits, vegetables, and all crops. Three spatial aspects will be analyzed, including (1) extent of spatial dependence of crop yields and losses over the entire region, as a predictor of the magnitude of aggregated systemic risk in the region; (2) geographic hotspots of highly correlated crop yields and losses, which identify the locations in the region under significant systemic risks; (3) the rate of spatial dependence decay over space, to explore how to bound geographic areas for effective risk pooling. The results show certain degree of the overall spatial dependence in crop yields at both the county and township level. In addition to steady aggregated systemic risk in crop yields, the clustered hotspots of crop yields are distributed similarly over time and space. On the other hand, the aggregated systemic risk of crop losses is highly fluctuated over time

* Ph. D. Student, Department of Agricultural Economics, National Taiwan University.

** Assistant Professor, Department of Applied Economics, National Chung Hsing University.

*** Associate Professor, Department of Bio-Industry Communication and Development, National Taiwan University. (Corresponding Author)

The authors acknowledge the funding support from the National Science Council of Taiwan under Grant No: NSC 98-2410-H005-003.

at the county level, and the positive dependency quickly dies off when the distance increases at the township level. The spatial dependence patterns of crop losses look pretty random, implying the possibility of effective risk pooling through the combinations of different crops and production areas.

Keywords: *Natural Disaster, Systemic Risk, Spatial Dependence, Spatial Statistics, Crop Insurance*

