

以混合頻率模型估計農作物產量之研究 —以臺灣文旦柚為例

陳威勤¹
台灣大學農業經濟研究所¹

許家勝²
中央研究院經濟研究所²

張靜貞³
中央研究院經濟研究所³

摘要

農業保險是一種能直接保障農民收入的避險工具，政府在進行保險制度規劃與保費計算之前，需先評估氣候因素對作物產量之影響，但是農作物產量資料多半為全年度或是分期作別尺度的統計，故一般生產函數的估計多為年頻率的計量模型，當中氣候變數資料需將每日或每旬頻率的觀測資料進行加總或平均，損失大量訊息。本研究擬採用混合頻率迴歸（Mixed Data Sampling Regression，以下簡稱MIDAS）模型來嘗試對不同頻率之解釋變數與被解釋變數做估計，把高頻率資料之變數轉換成可以對應低頻率資料的變數，減少在時間頻率整合過程中訊息之流失。實證估計之分析品項為臺灣之文旦柚，使用1981年至2016年臺南地區各月別之氣候資料以及文旦柚單位面積產量之年資料，實證結果顯示MIDAS模型可以得到一個良好配適的估計結果，相較年頻率模型更能減少資料於頻率轉換時的流失，進而作為後續計算文旦柚保險指標之基礎，未來可供釐訂保險費率之參考。

關鍵字：農作物保險、混合頻率模型、農作物產量、文旦柚

一、前言

天然災害對農作物損失影響嚴重，由於臺灣位於季風帶，且中央山脈位於臺灣中心，容易因地形造成降雨。北部地區因冬季迎東北季風，南部地區因夏季迎東南季風，皆易形成降雨而釀災（唐琦、徐森雄，2007）。又臺灣位於太平洋東側，四面環海，使農業氣象災害嚴重，包含颱風、水災、乾旱、低溫等，其中颱風造成之損害最為嚴重，故天然災害的發生對於臺灣農作物產量皆有嚴重影響（楊純明，1995；謝信良，1986）。

氣候變遷對農作物產量亦有長期之影響，在全球平均溫度的改變、大氣溫度的上升可能會造成海平面上升、強烈的暴風雨及極端氣候的出現，可知氣候變遷造成天然災害影響甚廣（Salinger，2005）。Gornall等人（2010）指出氣候變遷對於農業部門影響相當嚴重，農作物的產量受到氣候因素影響，包含平均氣候改變，如降雨、溫度，以及極端氣候之發生，如極端高溫低溫、豪雨等。故在氣候變遷下，長期氣候因素對於農作物產量的影響亦不容小覷。

綜上所述，在面臨短期天災發生造成的損失，與長期氣候變遷所造成的產量影響，農民將面臨相當大的產量風險。Tack等人（2018）探討氣候變數對於農作物產量之影響，指出氣候的變化造成農作物生產改變，會增加作物生產之風險，甚至使農作物保險費率提高，並增加政府於保險計畫的支出。而農作物產量之衡量對於相關政策與保險理賠標準指標制定相當重要，收入保險指標中的基準收入為依照基準

產量與基準價格計算，而基準產量是以預期產量作為依據，不能以簡單過去幾年的算術平均數作為計算（徐婷婷、孫蓉、崔微微，2017；Mahul & Wright，2003）。因此在進行保險指標訂定前，需先評估短期與長期氣候因素對作物產量之影響。

其次，本研究擬挑選台南地區的文旦柚作為實證分析的標的，文旦柚於全台各地區域皆有種植，但以台南市為大宗產地，總產量最高，加上台南地區共計有65個氣象觀測站，故本研究挑選台南地區作為分析區域。挑選文旦柚的主要因為文旦柚的產量與氣候關係密切，於每年十一月進入花芽分化期，此時期不宜抽冬梢，因抽冬梢將導致無法開花結果，三月開始抽春梢與開花結果，於中秋節前採收，採收後即賣出，以因應民眾於中秋節消費文旦柚之特性。而台灣夏秋季颱風發生時機多為採收期間，造成全年產量的波動多半發生在此採收期間，因此文旦柚農民面臨的產量風險極高。

根據歷年農業年報中的天然災害損失資料顯示，近年來文旦柚的損失金額相當可觀，如2015年因蘇迪勒颱風造成約4.7億元損失；2016年因兩害再次造成約4億元損失。2018年9月農委會農業金融局陸續推出水稻、釋迦、蓮霧、木瓜、梨、芒果等品項之農作物保險，文旦柚因近年災損嚴重，也被納入規畫未來年度要推廣的保險標的。

過去文獻對於農作物產量之衡量多使用年頻率模型，Lobell 與 Asner（2003）使用年頻率模型進行氣候對產量影響之分析；許家勝等人（2003）使用年頻率模型進行氣候因子對於產量之門檻溫度之分析。而在衡量氣候對於農作物產量之影響時，會面臨時

間頻率不對稱之問題。氣象資料多以為日資料為主，而產量資料依作物生長期不同而有所不同，若農作物為一年一產，須透過加總或平均將資料頻率整合為一致。此時將氣候變數由日資料轉換為年資料，會失去相當多資訊，可能導致結果或模型配適度不佳。

故本研究使用混合頻率模型（Mixed Data Sampling Regression，以下簡稱MIDAS）對農作物產量進行估計，其特色為解釋變數與被解釋變數可為不同的時間頻率，於高頻率資料的解釋變數中結合權重，以對應低頻率資料的被解釋變數，降低在時間頻率轉換上重要訊息之流失。藉由相對精確的模型進行產量估計，得到一個更良好配適之估計結果。本研究分別建立氣候作物產量之年頻率模型與混合頻率模型，並比較兩模型使用不同頻率資料之模型配適度良窳，提供相對精確的氣候產量模型，以強化後續保險指標衡量基礎，供相關政策與研究參考。

二、實證方法與實證步驟

本研究使用之模型包含：（一）年頻率模型；（二）混合頻率模型（Mixed Data Sampling Regression）。本節針對上述兩種模型的理論方法，進行說明與比較。

（一）年頻率模型

果樹之生長因素包含溫度、日照及灌溉（Lentz, 1998）。而Monteith 與 Moss（1997）研究指出溫度與供水等氣候因子為影響果樹生長效率之因素。針對文旦柚生長特性，本研究依陳溪潭（1997）以及臺南農改場負責文旦柚作物之張汶肇副研究員的專家建議，挑選23°C至29°C之累積積溫（growing degree days，以下簡稱GDD）、雨量、風速及累積日照作為氣候變數。

另外，過去文獻指出，農作物產量影響因素除氣候因子外，應須考量其他要素投入，如勞動與資本，以及技術進步對於農作物產出之影響。因此在產量函數估計式中，加入時間趨勢變數以代表要素投入與技術進步對於產量之影響（Just & Pope, 1979; Tao 等人, 2006）。而其中因2009年前產量低估，農糧署於2010年進行產量調整，故加入虛擬變數（dummy variable）控制2010年產量調整部分。

此年頻率模型需將資料頻率做整合，由於被解釋變數單位面積產量為年資料，故將氣候變數皆轉換為年頻率資料。其中將23°C至29°C之GDD加總為年累積積溫，雨量與風速進行年平均轉換，日照時數加總為年累積日照時數。故建立年頻率模型如式（1）：

$$y_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 GDD_ACC_t + \hat{\beta}_2 RAIN_AVG_t + \hat{\beta}_3 WIND_AVG_t + \hat{\beta}_4 SUNHOUR_ACC_t + \hat{\beta}_5 S + \hat{\beta}_6 Trend + \varepsilon_t \quad (1)$$

其中 y_t 為第 t 年之每公頃單位面積產量（公斤）；為第 t 年之介於23°C至29°C之年累積積溫（°C）；第 t 年之年均雨量（mm）；為第 t 年之年均風速（m/s）；為年累積日照時數（小時）； S_t 為代表產量調整之虛擬變數；Trend為時間趨勢項； ε_t 為估計式之殘差項。

（二）混合頻率模型

所謂高頻率與低頻率資料為相對之概念，如月資料之於年資料；日資料之於月資料。當變數為低頻率資料時，研究者無法將低頻率資料直接與高頻率資料結合做分析。常見處理方式為將被解釋變數與解釋變數轉換成相同頻率，然而在轉換過程中，許多具意義之潛在資訊將會流失。故Ghysels et al.（2004）提出混合頻率模型，將高頻率資料做為解釋變數，結合權重加以估計對低頻率資料之影響，以降低資訊在頻率轉換中之流失，同時凸顯高頻率資料特性，呈現其波動。其中權重之計算與該權重參數及落後期數有關。以下式（2）為混合頻率模型：

$$y_t^L = \beta_0 + \beta_1 B(L^{1/m}; \theta) X_t^H + \varepsilon_t^L \quad (2)$$

其中 $B(L^{1/m}; \theta) = \sum_{k=0}^K B(k; \theta) L^{k/m}$ ， $L^{k/m} X_t = X_{t-k/m}$ ，為第 t 年的低頻率資料， X_t^H 為第 t 年高頻率資料， m 為高頻率資料相對低頻率資料之倍數， k 為落後期期數， θ 為權重參數； $L^{k/m}$ 為落後運算元， $B(L^{1/m}; \theta)$ 為第0期至 K 期權重計算方式與落後運算元結合加總之函數。

落後期最大測試期數可以依照研究所探討之議題而設定（Almon, 1965）。因本研究探討之文旦柚生長期為一年，故以月為時間尺度，落後期最大測試期數為十一期。其中對於落後期數之選擇，使用EView所提供之最適落後期判定方式，迴歸平方和（Sum of Squares due to Regression，以下簡稱SSR）作為選擇標準。SSR為被解釋變數的預測值和被解釋變數之平均值之差平方的總和，當SSR越小，即表示此迴歸之變異越小。其SSR公式如式（3）：

$$SSR = \sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - \bar{y}_t)^2 \quad (3)$$

Ghysels et al.（2007）進一步提出權重種類與計算方式，其中包含Exponential Almon Weighting、Beta Weighting、Step Weighting、U-Midas及Almon（Polynomial Distribute Lag，以下簡稱PDL）Weighting。Schlenker與Roberts（2009）指出在氣候變遷下，美國農作物受溫度之損害為非線性關係。Lobell 等人（2011）透過歷史資料分析玉米之於氣候暖化為非線性關係。許家勝等人（2016）透過縱橫資料門檻模型（Panel Threshold Model）指出農作物與氣溫之關係存在非線性關係。而PDL Weighting能捕捉解釋變數落後期對於被解釋變數之非線性關係，

以及自動偵測落後期數，進而分析各月份之影響效果，故使用PDL Weighting作為本研究權重計算方式，以捕捉氣候因子對於產量之非線性關係。Almon (1965)提出每個連續型函數在某特定區間，藉由多項式次方數可以描繪出落後期係數之分布。PDL Weighting模型設計如式(4)：

$$y_t = \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_k X_{t-k} + \varepsilon_t \quad (4)$$

其中 $\beta_k = \theta_0 + \theta_1 k + \theta_2 k^2 + \dots + \theta_p k^p$ ， y_t 為第t年之資料，k為落後期數，p為PDL之多項式次方數， θ_p 為PDL之多項式第p次方之估計參數， X_{t-k} 為第t年落後第k期之資料， β_k 為落後第k期的估計參數。

然而PDL之多項式次方數需為研究者自行選擇，故對於多項式次方數選擇參考Clements (2008)使用均方根誤差 (Root-Mean-Square Error, 以下簡稱RMSE) 作為選擇標準。RMSE為被解釋變數的預測值和被解釋變數實際值之差平方後的總和，除以樣本數再做平方根。主要用來預測模型誤差的大小，以一個量值來衡量預測的能力，用來比較不同模型間某個特定變數的預知誤差，其RMSE公式如式(5)：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (5)$$

以下將PDL權重與MIDAS模型結合應用於文旦柚氣候產量模型，並照年頻率模型之氣候變數選擇，建立混合頻率模型如式(6)：

$$y_t = \hat{\beta}_0 + \sum_{k=0}^{K_1} \hat{\beta}_k GDD_ACC_{t-k} + \sum_{k=0}^{K_2} \hat{\beta}_k RAIN_AVG_{t-k} + \sum_{k=0}^{K_3} \hat{\beta}_k WIND_AVG_{t-k} + \sum_{k=0}^{K_4} \hat{\beta}_k SUNHOUR_ACC_{t-k} + \hat{\beta}_5 S + \hat{\beta}_6 Trend + \varepsilon_t \quad (6)$$

其中 GDD_ACC_{t-k} 為第t年高頻率資料落後第k期之介於23°C至29°C月累積積溫(°C)； $RAIN_AVG_{t-k}$ 為第t年高頻率資料落後第k期之月平均雨量(mm)； $WIND_AVG_{t-k}$ 為第t年高頻率資料落後第k期之月平均風速(m/s)； $SUNHOUR_ACC_{t-k}$ 為第t年高頻率資料落後第k期之月累積日照時數(小時)；S為代表產量調整之虛擬變數；Trend為時間趨勢； K_1 表GDD_ACC之落後期數； K_2 為RAIN_AVG之落後期數； K_3 為WIND_AVG之落後期數； K_4 為SUNHOUR_ACC之落後期數； ε_t 為估計式之殘差項。

三、資料說明

本研究資料來源來自中央氣象局，期間為1981年至2016年。本研究使用臺南地區共計65個氣象觀

測站之氣候變數平均值，作為當日臺南地區之日資料，再將此日資料轉換為月資料及年資料。其中氣候變數包含介於23°C至29°C之累積積溫、平均雨量、平均風速及累積日照時數。

由於氣候變數對於作物生長為累積之影響，故日資料較無法明確看出一段時間作物生長受氣候因素累積之影響，故將資料頻率轉換成月資料。而目前應用於氣候變遷議題分析之時間頻率最高亦為月資料，若未來使用此模型結合氣候變遷做分析，模型資料頻率為月亦較為適宜。

被解釋變數為臺南地區文旦柚之每公頃單位面積產量。資料來源為農業統計年報，期間為1981年至2016年。其中2009年前產量低估，農糧署於2010年進行產量調整，故加入虛擬變數控制2010年產量調整部分。

四、實證結果

(一) 年頻率模型

年頻率之各原始序列資料在10%信賴水準下，檢定結果皆顯著拒絕序列有單根情況的虛無假設，即所有年頻率資料皆為定態序列。故使用原始資料進行後續模型之估計，結果應可以避免假性迴歸之問題產生，故實證模型將使用原始資料做實證分析。表一為年頻率模型使用OLS估計之結果，實證結果顯示在5%信賴水準下，年平均雨量與年累積日照時數顯著異於零，且皆為負面之影響，即當雨量每增加一單位，文旦柚單位面積產量將下降584.504公斤；當年累積日照時數增加一小時，文旦柚單位面積產量將下降5.937公斤。在1%信賴水準下，時間趨勢為正值，即技術進步與要素之投入可帶動文旦柚單位面積產量之提升。

表一、年頻率模型估計結果

Variable	Coefficient	Standard Deviation
constant	19268.370***	7495.528
GDD_ACC	3.450	4.996
RAIN_AVG	-584.504***	277.282
WIND_AVG	464.654	673.868
SUNHOUR_ACC	-5.937***	2.576
S	6623.808***	1178.627
Trend	283.990***	44.938
Adjusted R ²		0.872

資料來源：本研究估算。

(二) 混合頻率模型

混合頻率模型與年頻率模型之不同處在於須計算權重以及落後期數，故進行混合頻率模型估計分為四步驟，第一進行單根(unit root)檢定，第二

進行PDL權重多項式次方數之選擇，第三進行解釋變數落後期之選擇，最後進行結果之估計。

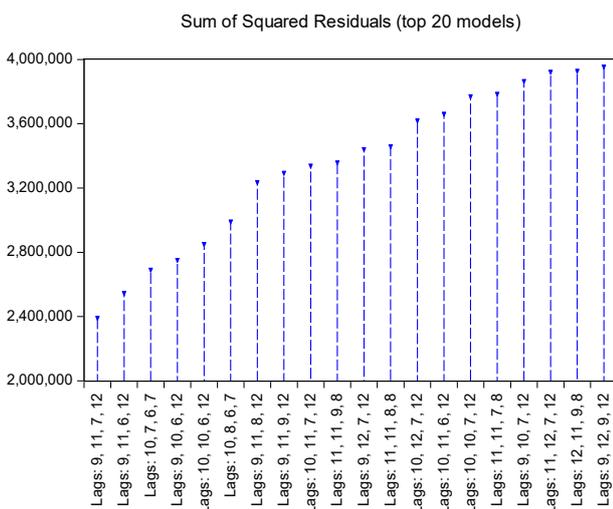
單根檢定結果顯示，月頻率資料之各原始序列資料在1%信賴水準下皆顯著拒絕序列有單根情況的虛無假設，即所有月頻率資料皆為定態序列，故實證模型將使用原始資料做實證分析。

為了計算混合頻率模型之Almon (Polynomial Distribute Lag, PDL) 權重，首先挑選各PDL之多項式次方數估計結果中均方根誤差最小者作為最適多項式次方數，根據表二顯示，均方根誤差最小者為六次方。挑選六次方作為PDL權重計算，依各解釋變數不同落後期之組合，根據圖一挑選殘差平方和最小之組合作為落後期，其中累積積溫落後期為9期、平均雨量落後期為11期、風速落後期為7期及累積日照時數落後期為11期，進行權重之計算後，可得出各解釋變數之各落後期係數與整體估計結果。

表二、各PDL之多項式次方數調整後R²與RMES

degree	Adj R ²	RMSE
1	0.917	2073.213
2	0.962	1704.528
3	0.968	1860.646
4	0.984	1409.854
5	0.992	1318.334
6	0.997	738.153
7	0.999	1993.332

資料來源：本研究估算。



圖一、PDL之多項式次方數為6時各解釋變數不同落後期組合之SSR

資料來源：本研究。

表三、混合頻率模型估計結果

Variable	Coefficient	Standard Deviation
C	19078.990***	5199.460
S	3872.640***	961.860
Trend	251.340***	29.990

GDD_ACC		RAIN_AVG		WIND_AVG		SUNHOUR_ACC	
Lag	Coefficient	Lag	Coefficient	Lag	Coefficient	Lag	Coefficient
0	-262.460	0	-1436.150	0	3516.770	0	18.160
1	-135.430	1	117.610	1	-3997.620	1	-7.330
2	-35.830	2	333.120	2	-1928.330	2	9.710
3	0.540	3	135.820	3	1589.170	3	23.310
4	-7.720	4	-33.370	4	2053.770	4	16.720
5	-18.210	5	-74.410	5	-498.230	5	-6.600
6	4.670	6	-84.480	6	-590.040	6	-32.010
7	59.120	7	-214.360			7	-42.680
8	75.360	8	-524.740			8	-28.650
		9	-842.590			9	4.180
		10	-617.530			10	25.020
						11	-30.810

資料來源：本研究估算。

註1：其中 ***, **, *分別表示在1%，5%，10%信賴水準下拒絕虛無假設。

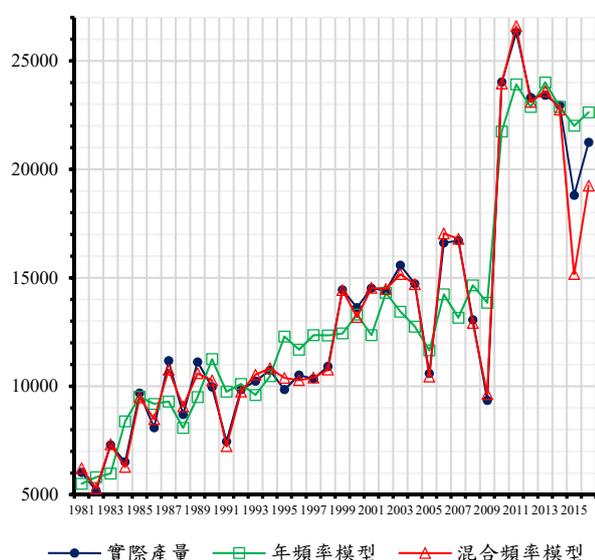
根據表三顯示，在1%信賴水準下，時間趨勢為正值，即技術進步可帶動文旦柚單位面積產量之提升。於累積積溫各項落後期中，落後第零期至第二期為12月、11月及10月，其對於文旦柚單位面積產量的影響為負。文旦柚約於11月進入花芽分化期，若於花芽分化期抽冬梢，此時抽出的冬梢將不會開花，不會開花即不會結出果實。故依估計結果顯示，當文旦柚在適合其生長之累積積溫增加，將使其抽梢導致無法開花結果，造成產量減少。而落後第六期至第八期為6月、5月及4月，其對於文旦柚單位面積產量的影響為正。文旦柚約於3月開始抽春梢，接著開花結果，此時需要足夠的養分與適合的生長氣候。

估計結果顯示，當文旦柚在此適合其生長之累積積溫增加，將造成其順利抽梢與開花結果，進而造成產量增加。此與陳溪潭 (1997) 提及之生長特性符合。於雨量落後期中，落後第零期與第十期，分別為12月與10月，此期間亦為花芽分化期，故雨量與產量亦為負相關，且捕捉到12月雨量對於文旦柚產量影響最大。於累積日照時數落後期中，落後第一期與十一期分別為11月與1月，此期間亦為花芽分化期，故累積日照時數與產量亦為負相關。而風速之各項落

後期中，落後第五期至第六期為7月與6月，其對於文旦柚單位面積產量的影響為負。文旦柚約於6月進入果實肥大期，此時果實已有重量，當遇到風時將容易造成落果。故依估計結果顯示，當風速於果實肥大期增加，將造成落果，導致產量減少。

(三) 年頻率模型與混合頻率模型之比較

為比較年頻率模型與混合頻率模型兩者之分析結果與配適度，本研究使用1981年至2014年進行樣本內預測，使用2015年至2016年進行樣本外預測。由圖二顯示，於2014年前之樣本內預測，年頻率模型之預測值與實際產量有明顯落差，且部份產量變動方向不一致；混合頻率模型之預測值與實際產量相對吻合，且大部份產量變動方向相同。於2015年後之樣本外預測，年頻率模型與混合頻率模型預測值與實際結果皆有落差，而兩者產量變動方向皆與實際變動相同。顯示混合頻率模型相較於年頻率模型配適度更佳，使用混合頻率模型確實可以減少資料在頻率轉換時的流失，使模型預測更佳精準。



圖二、年頻率模型與混合頻率模型之模型配適圖
資料來源：本研究。

五、結論與建議

本研究分別以年頻率模型與混合頻率模型估計氣候因子對於農作物產量之影響。就年頻率模型而言，估計結果顯示雨量與累積日照時數對於文旦柚單位面積產量影響顯著為負相關。當雨量每增加一單位，文旦柚單位面積產量將下降584.504公斤；當年累積日照時數增加一小時，文旦柚單位面積產量將下降5.937公斤。

就混合頻率模型而言，於累積積溫各項落後期中，落後第零期至第二期為花芽分化期，對於文旦柚單位面積產量的影響為負。而落後第六期至第八期

為抽春梢與開花結果期，其對於文旦柚單位面積產量的影響為正。於雨量落後期中，落後第零期與第十期為花芽分化期，故雨量與產量為負相關，且捕捉到12月雨量對於文旦柚產量影響最大。於累積日照時數落後期中，落後第一期與十一期為花芽分化期，故累積日照時數與產量亦負相關。而風速之各項落後期中，落後第五期至第六期為果實肥大期，此時果實已有重量，當遇到風時將容易造成落果。

實際上在農作物各個生長期中，氣候因子對於產量之影響皆不同。如文旦柚於花芽分化期不宜抽梢，氣候條件若較佳將使其抽冬梢，導致無法開花結果，此時氣候因子對於產量為負相關；進入春天後開始抽春梢並開花結果，此時氣候因子對於產量為正相關。而混合頻率模型優點為可以估計每月對於產量之關係，以對應各生長期之生長狀況；而年頻率模型，只能估計整體而言整年的氣候變數對於產量之平均影響，無法估計出氣候變數對於產量每月之關係。

綜合兩模型樣本內與樣本外之預測結果，於樣本內預測顯示，混合頻率模型相較於年頻率模型配適度較佳。表示混合頻率模型確實可以減少資料在進行頻率整合時的流失，運用更多的資訊加以估計，使預測結果相較年頻率模型更加準確。於樣本外預測顯示，混合頻率模型與年頻率模型之預測值與實際產量皆有落差，但產量變化方向皆相同，因此兩模型皆可捕捉到未來產量變化趨勢。

綜上所述，本研究將混合頻率模型應用在文旦柚之氣候與產量間之分析，結果顯示此模型配適度相較於過往使用年頻率模型佳，且能估計出各高頻率資料對於被解釋變數影響。過去文獻將混合頻率模型應用於總體經濟與財務金融領域，以分析高頻率資料對於低頻率資料之影響，尚未有文獻將混合頻率模型應用於農業領域中。而農業領域中氣候因子之於產量的關係，如總體經濟領域中消費之於國民生產所得的關係；如財務金融領域中股價對於權益報酬的關係。經本研究顯示，混合頻率模型亦可應用在農業領域中生長特性明顯的氣候作物中。

產量的預估對於相關政策或研究分析相當重要，本研究可供作為農業保險中產量衡量之參考，以及供擬定氣候變遷與天然災害造成農作物損失之調適措施參考。過去使用年頻率模型分析可能造成資料在頻率轉換上流失，導致分析結果不佳。而混合頻率模型能夠提供更好的估計結果，可用以強化後續計算保險理賠指標之研究基礎，進而提供給相關政策或研究之參考。而使用不同生產模型對農作物產量進行分析，所估計出的風險程度是不同的(Sherrick, 2004)。故在分析農作物產量風險時，應審慎挑選模型。

後續研究方向建議能將全球氣候模式（Global Climate Model, GCM）與此模型估計結果結合，模擬未來氣候變化對於文旦柚產量之影響，俾為農作物保險之指標設計參考。亦可結合價格彈性以估算未來文旦柚農民收入之變化，進而作為收入保險指標之設計。

參考文獻

- 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。
- 徐婷婷、孫榮、崔微微，2017。「經濟作物收入保險及其定價研究—以陝西蘋果為例」，『保險研究』。11期，33-43。
- 張文肇，2018。臺南農改場電話訪問，9月7日。
- 許家勝、何耀廷、陳吉仲，2016。「氣候條件對全球糧食作物生產影響—縱橫資料模型的應用」，『農業經濟叢刊』。22卷，1期，1-41。
- 陳奚潭，1997。「麻豆文旦栽培管理」，『臺南區農業專訊』，20期，17-20。
- 楊純明，1995。「臺灣地區農業氣象災害（1945-1993）及因應之研究方向」，『中華農業氣象』。2卷，1期，31-35。
- Almon, Shirley, 1965. "The Distributed Lag between Capital Appropriations and Expenditures." *Journal of the Econometric Society*. 33(1): 178-196.
- Clements, P Clements, and A. B. Galvão, 2008. "Macroeconomic Forecasting with Mixed-Frequency Data: Forecasting Output Growth in the United States." *Journal of Business & Economic Statistics*. 26(4): 546-554.
- Ghysels, Eric, A. Sinko, and R. Valkanov, 2007. "MIDAS Regressions: Further Results and New Directions." *Econometric Reviews*. 26: 53-90.
- Ghysels, Eric, S. Pedro, and R. Valkanov, 2004. "The MIDAS Touch: Mixed Data Sampling Regression Models." Working Paper, UNC and UCL.
- Gornall, Jemma R. Betts, E. Burke, R. Clark, J. Camp, K. Willett, and A. Wiltshire, 2010. "Implications of Climate Change for Agricultural Productivity in the Early Twenty-first Century." *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*. 365(1554): 2973-2989.
- Just, Richard E., and R. D. Pope, 1979. "Production Function Estimation and Related Risk Considerations." *American Journal of Agricultural Economics*. 61(2): 276-284.
- Lentz, W., 1998. "Model Applications in Horticulture: A Review." *Scientia Horticulturae*. 74(1-2): 151-174.
- Lobell, David B., and G. P. Asner, 2003. "Climate and Management Contributions to Recent Trends in US Agricultural Yields." *Science*. 299(5609): 1032-1032.
- Lobell, David B., B. Marianne, M. Cosmos, and V. Bindiganavile, 2011. "Nonlinear Heat Effects on African Maize as Evidenced by Historical Yield Trials." *Nature Climate Change*. 1: 42.
- Mahul, Oliver, and B. D. Wright, 2003. "Designing Optimal Crop Revenue Insurance." *American Journal of Agricultural Economics*. 85(3): 580-589.
- Monteith, J. L., and C. J. Moss, 1977. "Climate and The Efficiency of Crop Production in Britain." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 281(980): 277-294.
- Salinger, M James, 2005. "Climate Variability and Change: Past, Present and Future – An Overview," *Climatic Change*. 70(1-2): 9-29.
- Schlenker, Wolfram, and M. J. Roberts, 2009. "Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to US Crop Yields under Climate Change." *Proceedings of the National Academy of sciences*. 106(37): 15594-15598.
- Sherrick, Bruce J., F. C. Zanini, G. D. Schnitkey, and S. H. Irwin, 2004. "Crop Insurance Valuation under Alternative Yield Distributions." *American Agricultural Economics*. 86(2): 406-419.
- Tack, Jesse, K. Coble, and B. Barnett, 2018. "Warming temperatures will likely induce higher premium rates and government outlays for the US crop insurance program." *Agricultural Economics*. 49(5): 635-647
- Tao, Fulu, M. Yokozawa, Y. Xu, Y. Hayashi, and Z. Zhang, 2006. "Climate Changes and Trends in Phenology and Yields of Field Crops in China, 1981-2000." *Agricultural and Forest Meteorology*. 138(1-4): 82-9.