

天主教輔仁大學金融與國際企業學系

金融碩士班碩士論文

指導教授：胡聚男博士

穀物期貨的價格動態分析：

聖嬰指數驅動與市場間連動性研究

研究生：林辰睿 撰

中華民國 114 年 7 月

# 摘要

這裡是摘要內容。

# **abstract**

This is abstract (English version).ion).

# 謝辭

謝辭內容

# 目錄

摘要	i
abstract	ii
謝辭	iii
圖目錄	v
表目錄	vi
一 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究架構	4
二 文獻回顧	6
2.1 全球黃豆、玉米、小麥之生長概況	6
2.2 聖嬰對各地氣候的影響	6

2.3	聖嬰對農作物產量、價格、波動的影響 . . . . .	16
2.4	穀物期貨市場的概況 . . . . .	19
2.5	穀物價格對其他市場的連動性 . . . . .	23
三	研究方法 . . . . .	28
3.1	研究樣本和資料來源 . . . . .	28
3.2	研究變數選擇與定義 . . . . .	28
3.3	研究模型 . . . . .	34
四	實證結果 . . . . .	42
4.1	敘述性統計 . . . . .	42
4.2	模型估計結果和分析 . . . . .	44
五	結論 . . . . .	49

# 圖目錄

## 表目錄

1	ENSO 對各地氣候影響之文獻回顧 . . . . .	6
2	ENSO 對北美地區氣候影響之文獻回顧 . . . . .	8
3	ENSO 對其他地區氣候影響之文獻回顧 . . . . .	12
4	文獻回顧 . . . . .	15
5	ENSO 對農作物產量、價格、報酬率、波動之文獻回顧 . .	17
6	穀物期貨與其他市場連動性之文獻回顧 . . . . .	26
7	ENSO 之強度分級 . . . . .	30
8	變數表 . . . . .	33
9	敘述性統計 . . . . .	42
10	聖嬰影響穀物產量之門檻檢定 . . . . .	45
11	玉米產量分析結果 . . . . .	47
12	小麥產量分析結果 . . . . .	47
13	大豆產量分析結果 . . . . .	48



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

農業生產素以「看天吃飯」著稱，對氣候條件的依賴極高。全球暖化推升極端氣候事件的頻率與強度，尤以聖嬰—南方震盪（El Niño—Southern Oscillation, ENSO）所觸發的聖嬰（El Niño）與反聖嬰（La Niña）現象為最。氣候波動的加劇不僅增添農業營運的不確定性，也使穀物期貨價格成為市場關注焦點。當地區性乾旱或洪澇導致產量劇烈波動時，農戶、政府與投資者往往難以即時評估風險並制定對衝策略。實證亦證明氣候衝擊對農業生產力造成顯著損失——Ortiz-Bobea 等（2021）估計，自 1961 年以來，全球農業全要素生產率已因氣候變遷而減少約 21%，其中非洲與南美洲等暖熱地區跌幅更為嚴重；相關研究亦揭示氣候不確定性帶來的潛在經濟損失與配置效率下降（Calzadilla et al., 2010；Stevanović et al., 2016）。

ENSO 是主導年際氣候變率的關鍵機制。平常（中性期）東信風將暖海水推向西太平洋，造成「西暖東冷」的海溫分布；聖嬰事件則因東信風減弱甚至反轉，暖水東移，促使東太平洋對流與降雨增強，而西太平洋轉為乾燥；反聖嬰事件則呈現冷暖差異的「放大態」。雖然 ENSO 發端於熱帶太平洋，其「遙相關」（teleconnection）可透過行星波與季風環流影響全球降水與溫度格局，從而衝擊主要穀物產區的生

長條件與供應預期。隨著海洋增暖與大氣環流調整，ENSO 的統計特性亦可能改變。Yang 等（2018）指出，21 世紀 ENSO 的氣候表現已與 20 世紀顯著不同；多項模擬預測極端聖嬰事件將因信風持續減弱而更為頻繁且持久（Cai et al., 2015；Latif et al., 2015；Ham, 2018；Collins et al., 2010；Yeh et al., 2009）。此種變化勢將透過降雨異常與極端溫度對全球糧食安全、經濟活動及生態系統造成深遠影響（Latif et al., 2015；Zhai et al., 2016；Goddard et al., 2005）。

上述脈絡顯示，隨氣候風險上升，探索 ENSO 衝擊下穀物期貨價格的動態行為與跨市場連動機制，已成為學術與實務領域亟待深化的議題。

## 1.2 研究動機

黃豆、小麥、玉米作為人類的主要糧食，是人類歷史中不可或缺的一部份，它們也可以做為家畜的飼料，近年來隨著科技的進步，這些糧食作物作用也更加多元化，像是做為替代能源的原料，故這些大宗穀物除了影響到飲食及飼料成本之外，也可能對於企業的生產成本造成影響 (Fan et al., 2017)。

近年來因為全球暖化的影響，氣候變數對於農產品價格的影響已然成為學術界以及實務界關注的焦點。而過往的研究多採用線性化模型來分析農業期貨價格波動，但是聖嬰現象和反聖嬰現象對於農作物

的影響不同，且糧食作物對於環境變化有一定程度的耐受性，使得期貨價格受氣候變數之影響可能存在非線性以及狀態的變化，因此需要使用更具適應性的模型來捕捉這些特徵。

此外，隨著能源市場和農業市場的關聯性日益增強，原油價格可能透過生產成本、運輸成本等渠道影響穀物期貨的價格；穀物價格則可能會影響到生質能價格，進而反向影響油價。畜牧業和穀物市場則存在供需關係。因此深入探討這些市場的關聯性，有助於理解氣候變數如何影響到整體期貨市場的運行機制。對於投資者以及政策制定者而言，準確預測穀物價格變化以及評估氣候風險對穀物市場的衝擊，具有非常重要的價值。所以本研究希望透過門檻向量自我迴歸模型 (Threshold Vector Autoregression, TVAR) 提供更精確地分析方式，為市場參與者提供決策支持，並為相關政策制定提供理論依據。

### 1.3 研究目的

本研究旨在探討聖嬰現象如何動態的去影響穀物期貨市場價格，目前關於氣候變數對穀物期貨市場的影響主要集中在線性模型分析，這些方法很難去捕捉聖嬰現象的非線性影響；並且更進一步分析穀物期貨市場對能源和畜牧期貨市場的關聯性，在這方面雖有部分文獻探討，但仍缺乏氣候變數在此類連動中作用的分析。

具體而言，本研究的目的如下：

1. 檢驗 ENSO 衝擊之非線性效應分析不同 ENSO 相位（聖嬰、反聖嬰、中性）對主要穀物期貨——黃豆、小麥與玉米——價格波動的衝擊方向、幅度與持續性，驗證其不對稱與狀態依賴特性。
2. 剖析跨市場價格傳遞機制探討穀物期貨與能源期貨（原油）、畜牧期貨（活牛、瘦豬）之間的價格連動與資訊傳遞途徑，並比較 ENSO 不同階段下跨市場共動強度與傳遞方向，藉此闡明氣候衝擊如何在商品鏈條中擴散。
3. 評估預測效能與風險管理意涵比較 TVAR 與傳統線性向量自我迴歸模型（Vector Autoregression, VAR）在穀物期貨價格預測準確度與氣候風險量化上的差異，進一步提出對避險策略、投資組合配置與政策制定之實務建議，以強化市場參與者在極端氣候風險下的決策品質。

## 1.4 研究架構

本研究旨在探討聖嬰與反聖嬰事件對主要穀物期貨價格之非線性衝擊，並進一步分析穀物期貨與能源及畜牧期貨之跨市場連動機制。第二章系統性梳理穀物期貨價格預測模型之演進，ENSO 對農業生產與期貨市場影響之實證結果，以及穀物、能源與畜牧期貨價格連動性的相關研究，藉以建立本研究之理論基礎與研究縫隙。第三章介紹研究所採用之期貨價格資料、聖嬰指數與控制變數之來源與處理方式；

隨後說明門檻向量自迴歸（TVAR）模型之設定、估計步驟與檢定程序。第四章依據既定假設，檢視不同 ENSO 相位下穀物期貨價格的非對稱反應，並解析穀物、能源與畜牧期貨在各氣候狀態中的價格傳遞與連動強度；同時與線性 VAR 模型之結果進行比較，以驗證 TVAR 架構之優勢。第五章結論部分綜合實證發現，闡述研究貢獻與政策涵義；建議部分則提出未來研究方向與實務應用建議。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 全球黃豆、玉米、小麥之生長概況

### 2.2 聖嬰對各地氣候的影響

聖嬰現象是地球上最顯著的年際氣候循環之一，一個週期需要 3 年到 7 年不等的時間，對於季節至十年尺度的氣候預測至關重要。聖嬰現象的發生主要是根據熱帶太平洋海域的海表溫度異常程度來判別，當海表溫度異常溫暖時，為聖嬰現象；異常偏冷則為反聖嬰現象。Yeh et al(2018) 寫道，聖嬰現象會透過大氣遙相關 (teleconnections) 來影響全球的氣候，進而造成各地的極端事件，接下來本文會依照地區，分別探討聖嬰現象對於各地之影響。

Table 1: ENSO 對各地氣候影響之文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
Yeh et al. (2018)	整合 ENSO 大氣遙相關的物理機制，並評估其對人為溫室氣體增加時的敏感度以及未來變化。	在 1990 年後，ENSO 和熱帶太平洋地區大氣背景的變化已經改寫了遙相關的可預測性；即使 ENSO 的本身強度不變，仍會重新塑造全球降水和溫度的遙相關格局。。

#### 2.2.1 聖嬰對美國的影響

聖嬰對於美國的影響主要是在以南部地區為主，在有聖嬰訊號的秋冬季節，墨西哥灣沿岸容易有降水增加、氣溫下降傾向；在春夏季

時期，則美國西南部容易觀測到降水增加 (Ropelewski & Halpert,1986)；美國的北部地區以及阿拉斯加的溫度會高於正常情況 (Ropelewski & Halpert,1992)；Weng et al(2009) 發現美國西部更可能在中太平洋聖嬰現象期間出現北乾南濕的模式，而大部分美國西部在東太平洋聖嬰現象期間則為潮濕狀態。比起學者們已經對聖嬰對美國冬季的影響，對於聖嬰對夏季的影響仍然是一個有爭議的議題，Ting & Wang (1997) 使用 1950 年-1990 年的資料，發現美國中部夏季的降雨和與聖嬰現象有關的海水表面溫度異常值 (SSTA) 有高度相關。但是 Ropelewski & Halpert(1986) 使用不同時間 (1875-1980 年) 的資料，卻發現了北美夏季降雨變化和聖嬰指數存在不一致的關係。在上述的研究中，主要使用的工具為相關性及迴歸分析，代表在這些文獻中認為聖嬰現象的影響是線性的，也就是說，在這些研究中設定聖嬰和反聖嬰現象造成的氣候異常是完全相反的。Montroy et al.(1998) 發現熱帶太平洋的 SSTA 和美國中東部地區的降水之間有非線性的特徵；Wu et al. (2005) 發現位於 500 百帕位勢高度的擾動和北半球冬季東太平洋地區的 SSTA 的平方有很好的相關性。

Table 2: ENSO 對北美地區氣候影響之文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
Ropelewski & M. S. Halpert (1986)	系統性的分析整個北美地區在典型的 ENSO 事件過程中，各地的氣溫和降水及季節性的變化，來描繪 ENSO 對北美氣候的整體影響。	在聖嬰訊號時，春夏季北美西南部容易觀測到降水增加的情況。在秋冬季節墨西哥灣出現降水增加、氣溫下降的訊號；北部則氣溫顯著偏高，降水變化則不顯著。
Ropelewski & M. S. Halpert (1992)	系統性分析 ENSO 在聖嬰和反聖嬰期間，對全球陸地區域地表氣溫造成的影響。	美國的北部地區以及阿拉斯加的溫度會高於正常情況，墨西哥灣沿岸則變冷。
Ting & Wang (1997)	系統性的剖析 1950 1990 北美大平原的夏季降水變化和熱帶太平洋海表溫度的異常與大尺度大氣環流機制三者之關聯。	發現美國中西部降雨和 ENSO 高度相關，當聖嬰發生時，美國大平原北部的夏季降水顯著增加，反聖嬰時則相反。
Weng et al(2009)	比較中太平洋聖嬰現象和東太平洋聖嬰現象對太平洋沿岸氣候異常的影響，解析 2 現象在 SST、降水、遙相關上的差異。	發現美國西部更可能在中太平洋聖嬰現象期間出現北乾南濕的模式，而大部分美國西部在東太平洋聖嬰現象期間則為潮濕狀態。
Montroy et al. (1998)	將 SSTA 區分為暖事件和冷事件，並檢驗其遙相關關係是否為線性，並依據 SSTA 位置分成不同模式，並探討遙相關對各模式的敏感度。	發現不論是那種模式，非線性皆為常態而非例外，並且各模式的遙相關型態差異顯著。
Wu et al. (2005)	利用神經網路非線性投影 (NN projection) 方法，系統性探討 ENSO 對北美冬季的地表氣溫和降水非線性影響，並評估該訊號對季節性預報的潛在貢獻。	發現在強聖嬰/反聖嬰時，溫度降水變化均以二次向為主。



### 2.2.2 聖嬰對其他地區的影響

由於南美洲位在聖嬰現象的發源地—南太平洋附近，南方震盪對於此地區的影響也較為明顯。近年來許多研究針對 ENSO (El Niño—Southern Oscillation) 對南美地區氣候的影響進行探討。Sun et al. (2017) 發現，南方震盪現象顯著影響南美地區的極端降水模式。在反聖嬰期間，南美北部發生極端降水的風險遠高於聖嬰期間；而在南美南部，則呈現相反現象，聖嬰年份的極端降水風險為反聖嬰年份的兩倍以上。Magaña & Ambrizzi (2005) 指出，聖嬰現象期間，巴西東北部受到強烈下沉氣流影響，導致降水顯著減少；而在冬季，巴西東南部及阿根廷北部則較常觀察到降水增加，但巴西南部部分地區仍可能出現降水負異常。Tedeschi et al. (2016) 進一步探討聖嬰高峰後季節（通常為秋冬）對南美降水型態的影響，結果顯示秋季時南美東南部降水增加、巴西東北部降水減少；冬季時南美東南部亦持續出現降水增加的情形，且極端降水事件的頻率變化範圍顯著。綜合回顧文獻的 Cai et al. (2020) 則指出，ENSO 對南美的影響是高度區域化、非線性且受到多種氣候循環交互作用的複雜現象，在聖嬰事件發生時，亞馬遜地區經常出現乾旱現象，並伴隨溫度上升，而東南部地區則通常有降雨增加，但溫度變化則不甚顯著。

再來探討 ENSO 對於亞洲地區的影響，早期研究如 Wyrski (1975) 指出，聖嬰事件發生時，西太平洋海水異常冷卻，導致該區域上空氣

壓上升，抑制對流活動並造成降水減少。這項發現揭示了聖嬰現象不僅改變海洋溫度分布，還對大尺度大氣環流系統產生直接影響。

進一步探討 ENSO 與區域性降水變異的關聯，Shukl & Paolino (1983) 專注於南方震盪與印度夏季季風之間的互動。他們發現，南方震盪的強度與當年印度季風降雨量有顯著相關：聖嬰現象通常伴隨印度降水減少，而反聖嬰時則傾向降水增加。這項結果表明 ENSO 現象能透過大氣遙相關機制，跨越整個太平洋甚至影響至南亞地區的季節性降水。

關於東亞地區的氣候反應，Wang et al (2000) 聚焦於聖嬰與反聖嬰事件下，中太平洋與東亞之間的遙相關過程。他們發現，聖嬰年期間，西北太平洋上空會形成異常反氣旋，而反聖嬰年則出現異常氣旋。這些異常氣旋系統通常從秋末開始發展，持續至翌年春季或初夏，並引起東亞極鋒帶（涵蓋中國南部至日本以東地區）降水分布的顯著異常：聖嬰年東亞地區降水增加，反聖嬰年則降水減少。進一步地，Wu et al (2003) 探討了 ENSO 從發展到衰退整個階段對東亞降水異常的影響。他們指出，在聖嬰發展時期，中國南部及華中東部地區的降水量增加，而中國北部則傾向乾旱。他們還量化了 ENSO 對降水變異的貢獻比例：南中國地區在秋冬季受 ENSO 影響的降水變異可達 20—30%，長江中下游春季的降水變異約為 20%，北中國夏秋季則約為 15—20

過去二十年來，越來越多研究指出，儘管 ENSO 主要為熱帶太

平洋的海氣互動現象，其氣候遙相關效應亦可延伸至歐洲地區，尤其在冬季和過渡季節表現顯著（Brönnimann, 2007）。Brönnimann 等人（2006）運用重建氣候資料探討 ENSO 對過去五百年間歐洲氣候的影響，發現此種遙相關至少在過去三百年間持續存在。研究指出，聖嬰年期間，北歐地區傾向經歷較冷氣候，地中海則偏暖，並在緯度約 45°N 一帶出現降水增加、北歐則降水減少的情況，顯示 ENSO 對歐洲氣候的影響具有明顯的空間分異與季節性變化。

Brönnimann（2007）進一步指出，ENSO 的氣候訊號在歐洲主要出現在冬季，東北歐氣溫下降，氣旋路徑南移，導致北歐地區降雨減少，而法國與地中海地區的降雨則呈現增加的趨勢；然而，反聖嬰（La Niña）事件並不總是表現為聖嬰的鏡像，反映出歐洲對 ENSO 的反應具有不對稱性與非線性特徵。King et al.（2020）進一步區分強聖嬰與極端聖嬰事件對歐洲水文異常的影響，發現強聖嬰時期南歐與西歐偏濕、北歐偏乾；然而極端聖嬰事件則呈現相反趨勢，西歐與中歐反而偏乾，顯示 ENSO 事件強度改變會導致影響機制與氣候反應的非線性轉換。

ENSO 的影響亦呈現年代與季節上的異質性。Martija-Díez et al.（2021）探討 ENSO 對西歐極端氣溫的關聯，結果顯示在 1950—1975 年間夏季，反聖嬰與氣溫上升相關，而在 1990—2016 年秋季，則是聖嬰與氣溫上升呈現顯著關聯，凸顯 ENSO—歐洲氣候的關係不僅具季節

性，也會隨年代變化產生不同型態的氣候反應模式。作者認為此結果亦提示 ENSO 在預測歐洲氣候變異上的潛在價值，惟其預測性受限於事件強度與背景氣候狀態的互動。

綜上所述，ENSO 對全球氣候具有顯著的遙相關影響，尤其在南美、亞洲與歐洲地區展現出明確的區域性與季節性差異。南美地區受影響最為直接，降水變異顯著；亞洲則透過對季風與環流的調控影響南亞與東亞的降水型態；而歐洲則反映出較複雜的非線性與年代異質性反應。此顯示 ENSO 不僅為熱帶太平洋的氣候現象，其外溢效應亦構成全球氣候系統中重要的變異來源。

Table 3: ENSO 對其他地區氣候影響之文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
南美地區		
Cai et al. (2020)	全面檢視南方震盪對南美洲氣候的影響，特別聚焦於對於對各區域的氣溫降水影響、和其他氣候循環的交互作用以及氣候變遷下，ENSO 對南美氣候未來影響的未來變化趨勢。	在聖嬰發生時，通常會造成亞馬遜和南美東北部乾旱，然而西南和東南部卻會有強降水和洪災
Magaña & Ambrizzi (2005)	探討聖嬰期間，異常的熱對流如何透過準靜止 Rossby-wave 和 Kelvin wave，影響南北半球的副熱帶美洲地區的垂直運動和降水，並分析這些動態如何造成區域氣候異常。	聖嬰時期，南美的東南部會出現顯著的上升運動和降水增加；在巴西東北部則會受到下沉氣流影響，導致降水減少或乾旱。

續下頁

作者	研究目的	研究發現
Tedeschi et al. (2016)	探討不同型態的聖嬰現象對南半球秋冬兩季極端降水事件的影響。	聖嬰時期，南美東南的降水會增加，而東北降水會減少。比起東太平洋聖嬰現象 (EEN)，中太平洋聖嬰現象 (CEN) 對降水的影響為同向，但是降水增加的程度較弱。
Sun et al. (2017)	評估聖嬰現象和區域性氣溫變化對全球極端降水風險的影響，探討極端降水與氣候變數之間的關聯性。	聖嬰期間，南美南部 (阿根廷、烏拉圭、巴西南部) 的極端降水發生機率大幅上升；反聖嬰期間，南美北部 (哥倫比亞、委內瑞拉、亞馬遜盆地) 極端降水事件更為頻繁。在全球暖化的背景下，南美南部地區的極端降水將明顯上升，但是南美北部的極端降水風險因子反而有所下降。
亞洲地區		
Wyrski (1975)	探討聖嬰與南方震盪對熱帶海面溫度與風場的影響。	聖嬰發生時西太平洋海水會異常冷卻，造成上空的氣壓上升，對流減弱，降水因此減少。
Shukla & Paolino (1983)	探討南方震盪與印度夏季季風降雨之間的關聯性。	南方震盪強度跟當年的印度夏季季風降雨量有顯著關聯。聖嬰現象時，通常伴隨著印度降雨減少；反聖嬰時則傾向於印度降雨增加。
Wang et al. (2000)	探討 ENSO 如何影響東亞氣候，特別是在聖嬰或反聖嬰極端事件發生時，中太平洋與東亞地區之間的遙相關機制。	在西北太平洋上空形成的異常反氣旋（聖嬰年）或異常氣旋（反聖嬰年），導致東亞極鋒帶降水異常：聖嬰年多雨，反聖嬰年少雨。
Wu et al. (2003)	探討 ENSO 從發展到衰退整個過程對東亞地區降水異常的影響及其隨 ENSO 演進的變化。	聖嬰發生時，中國南部、華中東部降雨量增加，北部偏乾。降水變異可由 ENSO 解釋的比例：秋冬在南中國可達 20—30%，春季長江中下游約 20%，北中國夏秋約 15—20%。
歐洲地區		

續下頁

作者	研究目的	研究發現
Brönnimann (2007)	探討聖嬰—南方震盪對歐洲氣候的影響。	ENSO 對歐洲氣候的影響主要在冬季：東北歐溫度下降，氣旋路徑南移，北歐降雨減少，地中海與法國降雨增加。反聖嬰時影響並非完全反向。
Brönnimann et al. (2006)	探討聖嬰現象（ENSO）對過去 500 年間歐洲氣候的影響。	在冬末與春季，ENSO 對歐洲的氣候影響在過去 300 年是穩定存在的。聖嬰年北歐偏冷、地中海偏暖，降水在 45°N 附近增加，在北歐減少。
Martija-Díez et al. (2021)	了解 ENSO 如何影響西歐的最高、最低溫，並評估其預測性。	1950—1975 年夏季，反聖嬰與氣溫上升相關；1990—2016 年秋季，聖嬰傾向讓氣溫上升，有助預測。
King et al. (2020)	檢視 ENSO 對歐洲水文的影響，特別是強聖嬰與極端聖嬰對乾濕異常的差異。	強聖嬰時，南歐與西歐偏濕、北歐偏乾；極端聖嬰則導致西歐與中歐偏乾，顯示 ENSO 影響具非線性。

從過去的研究，我們可以發現，聖嬰的影響主要比較集中在**低緯度地區**低緯度地區，對於中緯度地區的影響相對有限，比較有季節性的問題，以**冬季**的影響較為顯著；低緯度地區則是較不受到季節的限制。

許多研究指出，聖嬰與反聖嬰事件對全球氣候系統的影響並非具有完全對稱性。Wang et al. (2021) 針對太平洋—北美地區進行分析，發現聖嬰年時北美上空的高空環流系統（upper-level circulation）會明顯東移，進而導致副熱帶噴流（subtropical jet stream, STJ）東移且增強；反之，反聖嬰年則表現出環流偏西與 STJ 西移且減弱的現象，顯示環

流結構在不同事件下產生顯著差異，是造成兩者氣候效應不對稱的主因之一。早期的研究亦有相似發現，例如 Ropelewski & Halpert (1992) 透過觀測資料指出，聖嬰與反聖嬰事件雖分別伴隨特定的全球溫度異常分布，但在多數地區的異常型態並非呈現鏡像對稱，顯示其氣候反應具有非對稱性。此外，Sardeshmukh et al. (2000) 進一步以機率分布方式檢視與聖嬰相關之大氣變數，結果顯示該類變數在正負相位事件中的遙相關反應 (teleconnection responses) 亦表現出明顯的不對稱特徵。

整體而言，相關文獻普遍認為，聖嬰與反聖嬰事件對大氣環流與區域氣候的影響不僅在強度上有所差異，其空間結構與傳導機制亦存在顯著不對稱，因而應避免以對稱性前提簡化雙方氣候效應之解釋。

Table 4: 文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
Wang et al. (2021)	探討 ENSO 對太平洋-北美遙相關模式的影響呈現非線性的原因，特別關注副熱帶急流在其中扮演的角色。	在聖嬰年時，冬季北美上空的高空環流系統會明顯東移，並且 STJ 也會增強且東移，對北美中部東部影響較強；反聖嬰時期，STJ 會減弱跟西移，對北美西部影響較大。
Sardeshmukh et al. (2000)	評估 ENSO 對全球大氣變數的機率密度分布變化，特別關注於聖嬰、反聖嬰是否的變動是否對稱。	發現聖嬰反聖嬰的機率分布變化非對稱，聖嬰對中高緯度的地區影響較反聖嬰強；變異數的改變顯著，聖嬰 (反聖嬰) 會導致大氣變數的季節性變異增加 (減少)，幅度可達 25%。

## 2.3 聖嬰對農作物產量、價格、波動的影響

聖嬰現象 (El Niño) 作為熱帶太平洋區域的重要氣候變異，已被廣泛證實對全球農業產出與穀物價格產生深遠影響。多數文獻指出，聖嬰往往透過改變降雨與溫度分布，進一步影響作物生產與市場價格行為。Iizumi et al. (2014) 以全球尺度量化 ENSO 對四大主要作物（玉米、小麥、稻米、大豆）產量的平均場異常影響，發現聖嬰時期對玉米、小麥與稻米多表現為負向影響，而對南美地區的大豆則有正面作用。Anderson et al. (2018) 進一步指出，聖嬰年通常對美國與阿根廷的玉米和大豆產出有利，但卻對中國北方與巴西等地形成不利條件，顯示 ENSO 影響具有地域性與作物異質性。Heino et al. (2018) 則從全球耕地尺度出發，發現聖嬰時期東南亞、南亞及南美北部通常經歷乾燥高溫天氣，進而抑制作物生長，增加糧食安全風險。

在作物價格層面，部分研究支持聖嬰導致價格波動上升與報酬下降的觀點。Brunner (2002) 指出，聖嬰造成亞洲與南美乾旱，導致黃豆供應減少，其價格變異可由 ENSO 解釋達 13.7%；小麥與玉米分別為 6.6% 與 8.5%。Keppenne (1995) & Lou et al. (2011) 亦發現聖嬰與黃豆及小麥期貨價格存在顯著相關性，他們認為 ENSO 與小麥價格呈現負相關，並且對價格波動具有持續性與顯著性影響。Ubilava (2018) 強調 ENSO 對熱帶作物價格有非線性影響，但對於黃豆、玉米、小麥等主要穀物的影響相對不穩定，價格預測性亦有限。



從波動性角度來看，Su et al. (2022) 運用趨勢分解模型分析穀物期貨市場的反應，發現聖嬰對黃豆與玉米價格波動影響不顯著，但在小麥市場中，聖嬰導致因減產而波動上升。然而，部分研究對聖嬰與報酬間的直接關係提出質疑。例如，Lou et al. (2011) 指出雖然 ENSO 對小麥報酬的影響並不顯著，但其對波動性影響卻具統計上的顯著性。兩人對於聖嬰影響小麥產量的研究結果並不一致。

綜合上述文獻，儘管 ENSO 對農作物價格與產量的影響具備區域與作物特異性，整體而言，聖嬰現象傾向對穀物期貨市場帶來負面供給衝擊與價格波動增加的風險，特別是在小麥與玉米等敏感作物市場。由此引出本研究的第一個假設：

### H1. 聖嬰現象對穀物期貨報酬率下降

### H2. 反聖嬰現象對穀物期貨報酬率上升

Table 5: ENSO 對農作物產量、價格、報酬率、波動之文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
Li et al. (2019)	探討聖嬰與反聖嬰事件對中國糧食生產的影響，並強化糧農領域的早期預警系統。	反聖嬰事件對於中國的農產量竟有淨正面影響。ENSO 的影響有地域性，反聖嬰對湖南、江西、東北傾向正面影響；對華北、西北傾向負向影響。

續下頁

作者	研究目的	研究發現
Iizumi et al. (2014)	建立一張 ENSO 對主要作物產量影響的地圖，量化 ENSO 對全球作物平均場量異常的影響。	聖嬰現象對全球大豆產量有正面影響，但對玉米、小麥、稻米有負向或中性影響；反聖嬰年則是對 4 種作物都有負向影響。聖嬰時，美國、東亞、非洲、澳洲的玉米、小麥、稻米會有負向影響，但是南美的玉米和大豆反而表現良好；反聖嬰的影響主要集中在北美和非洲部分地區。
Anderson et al. (2018)	分析 ENSO 氣候遙相關，如何對全球農業產出造成風險。	聖嬰年會對美國、阿根廷的玉米和大豆有利，但對中國北方、巴西和墨西哥不利；反聖嬰年的情況則相反。小麥的情況較為複雜，會受到當季和前季大氣遞延效應的共同影響。
Anderson et al. (2019)	聚焦於全球主要氣候變異型態對三大糧食作物產量波動與同步歉收風險的影響與貢獻度。作者希望量化這些氣候訊號在區域與全球尺度上對糧食安全構成的系統性風險。	發現玉米最脆弱，ENSO 對全球產量變異的解釋度玉米 18%，高於大豆的 7% 和小麥的 6%，其主因在於玉米主要種在 ENSO 較敏感的區域，並且受影響區域往往同相位，較無法正負抵銷。
Heino et al. (2018)	評估 ENSO 在 1961-2010 對全球主要糧食作物生產的空間和年際影響。	在研究期間，全球 28% 的耕地受到 ENSO 影響呈顯著；並且對東南亞、南亞、南美北部及北非影響較大。通常來說反聖嬰會比較濕潤，促進農業生長；聖嬰會比較乾燥高溫，產量下滑。
Ubilava (2018)	探討 ENSO 是否會以非線性的方式去影響全球初級商品的現貨價格，以及 ENSO 是否可以提升商品價格的可預測性。	ENSO 對商品現貨價格的影響具有非線性特徵；ENSO 對熱帶農產品價格影響最顯著，對黃豆、玉米及小麥的影響較不顯著，價格關聯性也不高。
Keppenne (1995)	探討 ENSO 是否對黃豆期貨價格有顯著影響。	發現黃豆期貨價格與 ENSO 存在顯著的相關性。

續下頁

作者	研究目的	研究發現
Brunner (2002)	探討 ENSO 循環對全球初級商品價格、G7 通膨率和 GDP 成長的影響。	<p>對黃豆：海溫異常對未來 4 季價格變異的解釋力 13.7%，因為聖嬰造成亞洲、南美乾旱，黃豆產量減少，價格上升。</p> <p>小麥：解釋力 6.6%，聖嬰年澳洲和美國因旱災導致小麥減產，推高價格。</p> <p>玉米：解釋力 8.5%，美國和亞洲部分地區乾旱導致減產，價格因此波動。</p>
Su et al. (2022)	探討 ENSO 的變動是否能有效預測穀物期貨市場的價格波動，其中又是哪個部分 (趨勢、季節性、殘差) 最具預測力	<p>對玉米：聖嬰對價格波動影響不顯著；反聖嬰因減產波動會上升。</p> <p>對黃豆：聖嬰的影響不顯著，反聖嬰因減產，波動上升。</p> <p>對小麥：聖嬰時因減產，波動上升；反聖嬰增產，波動下降。</p>
Lou et al. (2011)	探討 ENSO 對美國小麥期貨價格、報酬和波動性的影響。	<p>ENSO 與小麥價格呈現高度負相關，聖嬰通常會造成美國東小麥增產，導致價格下降；</p> <p>對於報酬和波動性，發現 ENSO 對報酬的影響不顯著，但對波動性有顯著且持續的影響。</p>

## 2.4 穀物期貨市場的概況

近 20 年來的穀物期貨價格呈現上漲的趨勢，這樣子的上漲趨勢涵蓋了大部分得糧食與飼料作物。深究其原因，可以分為長期和短期因素來加以說明：

長期原因：

1. 農地及農業人口的減少：根據聯合國農糧組織 (FAO) 在 2024 年的報告書中統計，相比 2000 年時，農業用地於 2022 年減少了 9100 萬公頃；2021 年農業從業人口占全球 39.2%，相比起 2000 年的 52.6% 有所下降，減少人口達 1.33 億。其中亞洲的減少人口最多，從 7.86 億下降到 5.92 億；歐洲的降幅最大，比例高達 47%。亞洲地區在人口不斷成長的情況下，農業人口卻不增反減，使其對於糧食進口的需求增加，造成穀物期貨價格持續高漲。
2. 中國及印度的飲食水準改善：世界平均膳食能量供應一直在穩步增長，根據 FAO 在 2024 年報告書統計，2022 年比起 2010 年，全球平均增長了 5%，其中又以亞洲國家成長最多，自 2010 年以來上升了 9%；蛋白質的攝取量，在 2010 至 2022 年期間，亞洲的增長為 14%，遠高於世界平均 8%，根據農糧組織統計數據庫 (FAO STAT) 資料，人類直接食用的糧食作物比例逐年下降，從 2010 年的 47% 下降到 2022 年的 43%；更多的糧食被用做飼料，生長 1 公斤牛肉約需要 8 公斤的穀物，1 公斤的雞肉需要 2 公斤的穀物，而餵食牲畜占生產比例則是從 2010 年 29.8% 上漲到 2022 年的 35.2%，這加劇了原本就緊張的糧食供需關係，使得大宗穀物期貨價格進一步上漲。
3. 生質燃料的發展：生質能屬於低碳能源，因為燃燒生質能產生的碳

排放，本身就是植物經由光合作用吸收空氣中的碳，所以並不會有額外的碳排放。隨著環保意識的抬頭，各國政府的政策傾向於支持使用較低碳排放的生質能，儘管生質能的生產技術有發展出以農業廢棄物為燃料的第二代生質能以及以藻類為燃料的第三代生質能，但是以玉米、甘蔗為主要燃料的第一代生質能仍為主流。生質能使用量的增加，也增加大宗穀物的需求，使全球穀物價格受生質燃料影響越來越大。

4. 全球人口的增加：根據聯合國的統計，世界人口的成長率雖然不斷下降，但人口總數增加的趨勢依然沒有改變，截至 2025 年 2 月，世界人口已經突破 81 億人，對於大宗穀物的需求亦會持續增加。
5. 總體經濟面的影響：總體經濟因素，包括但不限於通膨、股市表現、金融市場的波動和國際貿易環境的改變，都會對穀物期貨的價格產生影響。Li (2023) 指出 S&P500 index 和匯率會對玉米期貨價格有負向的影響；Hachula & Rieth (2020) 研究金融投資對農產品期貨的影響，發現巨觀經濟基本面和金融市場波動才是價格變動的主要原因，這件事情在長期趨勢中尤為重要。

短期因素：

1. 戰爭因素：戰爭對於穀物期貨價格可以體現在幾個面向，供應鏈中斷、生產能力下降、運輸成本上升等。以烏俄戰爭為例，烏克蘭和俄羅斯皆為全球主要的農業產出國家，因為戰爭導致港口封鎖、農

田被破壞、人民流離失所，不事生產，造成全球的小麥及玉米供應減少，價格飆升。戰爭還會導致基礎農業設施的破壞，導致國內糧食供應減少，對於糧食進口的需求增加，也可能促使價格上升。戰爭也會導致能源價格上升，例如波斯灣戰爭或烏俄戰爭，導致運輸成本增加，造成價格上升。

2. 消息面的影響：消息面對穀物期貨價格的影響主要來自於避險者、投機者對於未來供需變化的預期，這些消息會通過影響市場預期、資金流動及供需層面來影響穀物期貨價格。Mattos & Silveira (2016) 研究農業報告對玉米和大豆期貨價格的影響，美國農業部發布的報告比巴西糧食供應公司更為顯著，並且在生長季或是收穫季的報告會受到更多的關注；Zhou et al.(2024) 將玉米相關新聞分成七個主題，其中生物燃料新聞對於玉米價格影響顯著，出口、天氣、小麥新聞對訂價不確定性有重大影響。
3. 氣候異常：全球氣候異常造成乾旱、洪水、暴雪等自然災害頻發，氣候的不確定性越來越大，對於世界主要的產糧國構成了威脅，導致農作物減產，進而推高穀物期貨的價格。2010 至 2011 年，俄羅斯因為熱浪的緣故，導致小麥減產 25%，暫停小麥出口；2012 年美國中西部發生嚴重的乾旱，造成了玉米產量下降 27%；2022 年，歐洲因為熱浪，造成小麥、葡萄、橄欖產量大幅下降，加劇了穀物期貨的上漲趨勢。聖嬰現象也會對全球農業造成影響，2015

至 2016 年發生強烈聖嬰現象，導致全球農作物都減產；2020 至 2021 因為反聖嬰現象，致使巴西和阿根廷降雨減少，大豆產量下降 10%，造成了穀物價格的不確定性更進一步。

自 2000 年起，穀物期貨有 3 次價格不正常的飆漲，分別是在 2008 年、2013 年以及 2022 年。在 2008 年全球因為乾旱，糧食供應短缺，部分國家實施出口限制；並且油價創歷史新高，增加運輸成本；大量糧食用作生質能也減少市場上的糧食供應。2012 年，美國中西部發生嚴重乾旱，造成糧食作物減產，進一步影響到 2013 年的穀物期貨市場。2022 年，烏克蘭和俄羅斯為全球主要的玉米、小麥出口國家，戰爭導致黑海地區的農產品出口受阻，全球糧價暴漲；此外，2022 世界各地皆有高溫 and 乾旱發生，歐洲、中國、印度等地作物產量下降，造成供應進一步緊張。這三次的糧食作物價格飆升，都可以看到天氣災害對於糧價的影響，天氣現象在穀物期貨價格變動中扮演重要的角色，極端天氣往往會對市場上的供需關係造成巨大的衝擊。未來隨著氣候變遷加劇，氣候因素對於穀物期貨市場的不確定性還可能會進一步提升，值得繼續研究探討。

## 2.5 穀物價格對其他市場的連動性

商品期貨市場的連動性（comovements）一直是國際農產品與能源金融文獻關注的核心議題。早期效率觀點的研究已隱含不同部門商

品間可能存在非同步或非對稱的價格傳遞機制。Kristoufek & Vosvrda (2014) 以效率指數 (Efficiency Index, EI) 比較 25 種期貨商品後指出，原油市場最接近理想隨機過程，而主要穀物（小麥、玉米、黃豆）則屬中度效率、畜牧商品（瘦豬、活牛）最不效率；此種效率分層意味著高效率市場的資訊可能先行，並對較低效率市場產生外溢影響。

從跨部門角度出發，Adhikari & Putnam (2019) 使用過度連動性指標 (excess co-movement) 檢驗能源、穀物與畜牧三大部門之連動性，發現部門內連動性顯著高於跨部門，但能源與畜牧部門之未平倉量變化與報酬呈正向顯著關係，顯示當部門間存在共同投資或避險動機時，價格仍可能同步波動。

能源價格對穀物價格的影響機制，一方面與生質能源需求及替代效應相關，另一方面亦受氣候衝擊所放大的不確定性影響。Cartwright & Riabko (2014) 利用協整分析證實原油與小麥期貨價格存在顯著統計關聯；Zhan 等 (2019) 則指出原油與玉米報酬在總體線性框架下呈雙向格蘭傑因果，然在非線性檢定中僅有玉米單向影響原油，並顯示玉米在價格發現中貢獻度（約 85%）高於原油（約 15%）。Wang 等 (2025) 的多尺度 GARCH—資訊份額模型進一步證明：在短期至中期中，原油與玉米／黃豆波動呈雙向溢出，小麥則主要受到原油單向衝擊；長期而言，能源市場對穀物呈主導地位。

氣候要素亦為能源—穀物連動的重要外生衝擊。Demirer 等 (2022)



探討聖嬰指標（SOI）對 WTI 報酬與波動之非線性影響，顯示 SOI 在中等市場狀態及低波動區間具有顯著因果效果，此結果佐證氣候衝擊會透過能源市場間接影響農產品價格。

至於穀物與畜牧價格間的互動，Monteiro & Jammer (2024) 在南非市場發現黃玉米與大豆價格能影響幼牛價格，牛肉價格亦反向影響黃玉米；短期價格調整速度緩慢，說明傳遞存在顯著滯後。Just (2018) 亦指出在 2008—2013 次貸風暴及油價劇烈波動期間，小麥—玉米、玉米—大豆之相關性大幅升高，顯示風險加劇時穀物與畜牧市場間的連動性會顯著強化。

綜合上述文獻，可歸納三點共識：(1) 能源、穀物與畜牧市場雖存在效率差異，但價格訊息可透過套利、替代或共同需求機制跨部門傳遞；(2) 能源價格—特別是原油—在不同時間尺度上對穀物價格具有主導或雙向溢出關係；(3) 當宏觀風險或氣候衝擊加劇時，穀物與畜牧市場的價格聯動性明顯上升。

基於此，本研究提出以下研究假設，以檢驗穀物期貨價格是否與能源及畜牧期貨市場存在顯著連動性：

### **H3. 穀物期貨價格和能源期貨、畜牧期貨之間具有連動性**

Table 6: 穀物期貨與其他市場連動性之文獻回顧

作者	研究目的	研究發現
Cartwright & Riabko (2014)	分析原油價格變動對小麥期貨價格的影響。	發現原油和小麥期貨價格有顯著的統計關聯性，但不等同於有因果關係。
Adhikari & Putnam (2019)	探討商品期貨報酬之間的過度連動性，主要分析能源、穀物和畜產品之間是否有跨部門連動性。	部門內的期貨商品連動性顯著高於跨部門。能源和畜產品跨市場的未平倉變化和期貨報酬有正向顯著關係，穀物的跨市場變數大都不顯著。
Kristoufek & Vosvrda (2014)	分析 25 種商品期貨市場的市場效率，並根據三個統計性質：長期記憶性、碎形維度、近似熵，綜合計算出一個 Efficiency Index (EI)，進行商品市場效率的排名。	原油的 EI 為 0.031 最有效率；小麥為 0.045；玉米為 0.074；黃豆為 0.121；瘦豬為 0.216；活牛為 0.299 最沒有效率。原油非常接近理想市場，玉米和小麥接近理想隨機市場；活牛和瘦豬的特性和非效率市場一致。
Just (2018)	探討小麥、玉米、大麥和大豆之間的關聯性在次貸風暴以及油價大幅波動的背景下是否固定，是否會隨時間變動。	小麥-玉米、玉米-大豆的關係比較強；這些市場間存在若到中等的正相關，並且會隨時間改變。在 2008 2013 次貸風暴時期，這些市場的連動性明顯加強。
Monteiro & Jammer (2024)	探討南非穀物市場和畜牧市場間的價格關聯性和溢出效應。著重於分析 2 大農業的價格傳遞、長期均衡和短期動態。	黃玉米在價格傳導過程中扮演重要的角色：黃玉米和大豆會影響仔牛價格；牛肉價格會影響黃玉米價格。短期價格調整緩慢，顯示價格對衝擊反應有滯後性。大豆對黃/白玉米格蘭傑因果關係。
Wang et al. (2025)	探討原油期貨和穀物期貨之間在不同層級下的波動溢出效應。 GARCH、資訊份額模型。	原油期貨在價格發現中佔據主導地位。短期：原油與玉米/黃豆為雙向溢出，小麥為單向（原油 → 小麥）。中期：三者皆呈現雙向溢出。長期：原油對穀物呈單向溢出，顯示原油主導長期趨勢。

續下頁

作者	研究目的	研究發現
Zhan et al. (2019)	探討能源價格和穀物價格之間的連動性和非對稱互動關係。	原油和玉米價格之間具有高度正相關。線性格蘭傑因果顯示為雙向因果，但非線性格蘭傑只有玉米對原油單向因果關係。玉米市場在價格發現上的貢獻遠大於原油市場。
Demirer et al. (2022)	探討聖嬰現象是否對 WTI 原油的真實價格報酬率和波動率產生影響。	線性 Granger 檢定無顯著因果關係，但非線性 BDS 檢定顯示明確的非線性與結構變動。SOI 對油價報酬率與波動性均有顯著因果效果，但在報酬率方面，處於中位數區間時，效果最好；波動性方面，低波動時效果最好。

## 第三章 研究方法

### 3.1 研究樣本和資料來源

本研究期貨資料來自 Yahoo Finance，Yahoo Finance 為全球知名免費平台，提供資料，涵蓋 CME 等交易所期貨。提供玉米、小麥、原油、黃金期貨即時行情、歷史數據、未平倉量、合約規格與新聞，支援 CSV 下載及 API 擷取，便於研究價格波動與風險管理等分析。能完整提供本文所需之數據；聖嬰指數則取自澳洲氣象局。本文的研究期間為 2001 年 4 月至 2024 年 9 月。聖嬰指數為月頻率資料，其餘則為日頻率資料。

### 3.2 研究變數選擇與定義

#### 一、主要變數

本文探討南方震盪的發生是否會對穀物、畜牧、能源期貨市場造成影響以及三者之間彼此的連動性。因此，主要變數包括穀物、畜牧、能源期貨代表商品的價格以及聖嬰指數，後文將詳細介紹變數之定義。

## 1. 聖嬰指數

聖嬰現象強度的衡量主義依據聖嬰指數，聖嬰指數通常有兩種衡量標準，分別衡量大溪地和達爾文兩地的氣壓差，如 SOI(South Oscillation Index)，或是衡量太平洋地區的海表溫度異常值 (Sea Surface Temperature Anomaly)，如 Niño3(東太平洋)、Niño3.4(中東太平洋)、Niño4(中太平洋) 等等，本文使用的聖嬰現象衡量指標為 ONI(Oceanic Niño Index)，ONI 為 Niño3.4 的 3 個月滑動平均，他有以下優點，因為有做滑動平均，**可以將雜訊平滑掉**，留下真正的冷暖異常。其次 **ONI 採用 Niño3.4 區域的資料**，此區域位於東太平洋和中太平洋交界，統計上對北美、東亞、南美等地區的降水/溫度異常關聯度最高。再來**對於聖嬰現象有明確定義**，當  $ONI \geq 0.5 / \leq -0.5$  持續超過 5 個月，則定義該年有聖嬰現象/反聖嬰現象，也有明確標準可以 ONI 指數的大小，可以判斷 ENSO 的強弱，美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 同時會每年根據此標準，每年更新 ENSO 事件清單，在進行研究時會更佳方便。基於以上的優點，本文選擇以 ONI 作為聖嬰現象之衡量基準，並作為本研究之解釋變數。

Table 7: ENSO 之強度分級

ONI 數值	聖嬰事件強度
1.5°C ~ 1.9°C	強 (strong) 聖嬰
1.0°C ~ 1.4°C	中等 (moderate) 聖嬰
0.5°C ~ 0.9°C	弱 (weak) 聖嬰
-0.4°C ~ 0.4°C	中性 (Neutral)
-0.5°C ~ -0.9°C	弱反聖嬰
-1.0°C ~ -1.4°C	中等反聖嬰
-1.5°C ~ -1.9°C	強反聖嬰

資料來源：本研究整理自Midwestern Regional Climate Center (MRCC)

要將一個事件分類為弱、中等、強聖嬰/反聖嬰事件，該事件必須至少連續三個 ONI 指數超過相應之門檻值。

## 2. 穀物、畜牧、能源期貨報酬率

本文的穀物、畜牧、能源期貨選自 Yahoo Finance，穀物期貨的代表為黃豆、玉米、小麥期貨，上述三種穀物是美國最主要的糧食作物，資料取自芝加哥期貨交易所 (CBOT)，為農產品期貨交易的主要交易

所。畜牧業期貨則選擇活牛期貨和瘦豬期貨，資料取自芝加哥商業交易所 (CME)，CME 主要專營畜牧及奶製品。能源期貨為原油期貨，價格資料為西德州中級原油 (WTI) 價格，以上 6 種期貨為本研究的被解釋變數。由於聖嬰指數是越頻率資料，顧會將日資料都作月平均，並進行差分轉換成報酬率的形式。

### 3. 穀物、畜牧、能源期貨產量

#### 二、控制變數

本文參考關於商品期貨的相關文獻，根據其內容引用恰當之控制變數於模型中，以避免忽略掉重要解釋變數，本文的控制變數包含 S&P500 指數以及匯率。

##### 1. S&P500 指數

本文參考 Brignoli et al. (2024)、Li (2023)、Makkonen et al. (2021) 的文獻，以 S&P500 指數作為研究期貨報酬之重要控制變數。S&P500 指數是由美國 500 家上市公司所組成，其包含科技、金融、醫療、工業、消費品等不同面向的產業，不僅可以反映美國股市的整體狀況，也被廣泛視為衡量總體經濟狀況的重要指標。Li (2023) 認為玉米期貨是一種低報酬低風險的投資產品，玉米價格會和 S&P500 指數呈負相

關，認為在總體經濟情況好時，投資人會傾向投資高報酬的商品，進而造成故物期貨價格下降。Simon (2013) 研究商品指數和股票指數之關係，發現 S&P500 指數和能源商品在大多數時期都呈現正相關；而穀物商品在極端市場環境時，會出現明顯的正相關，充分展現出穀物期貨作為避險商品之特質。

## 2. 匯率

本文參考 Orden (2002)、Li (2023) 的研究，以匯率作為研究期貨報酬之重要控制變數。另外亦有 Brignoli et al.(2024)、Makkonen et al. (2021)、Chambers & Just (1981) 更是以美元指數做為衡量匯率之變數，相較單一雙邊匯率，此類綜合型指標是更為公允的匯率評價方式。

$$\begin{aligned} \text{USDX} = & 50.14348112 \times \text{EURUSD}^{-0.576} \times \text{USDJPY}^{0.136} \times \text{GBPUSD}^{-0.119} \\ & \times \text{USDCAD}^{0.091} \times \text{USDSEK}^{0.042} \times \text{USDCHF}^{0.036} \end{aligned} \quad (1)$$

美元指數以美元對歐元、日圓、英鎊、加幣、瑞典克朗及瑞士法郎 6 種主要貨幣之匯率的加權平均，Orden (2002) 認為當美元升值，造成現貨出口減弱，使得庫存增加，進而令期貨價格下跌。Makkonen et al. (2021) 認為美元走強普遍會抑制農業期貨之報酬。綜合上述文獻之結果，本文預期匯率與期貨價格呈現負相關關係。



Table 8: 變數表

變數名稱	代號	變數定義
被解釋變數		
玉米產量	$Y_{Corn}$	玉米單位面積產量變化率
小麥產量	$Y_{Wheat}$	小麥單位面積產量變化率
大豆產量	$Y_{Soybean}$	大豆單位面積產量變化率
玉米期貨報酬率	$R_{Corn}$	玉米價格作月平均後算報酬率
小麥期貨報酬率	$R_{Wheat}$	小麥價格作月平均後算報酬率
大豆期貨報酬率	$R_{Soybean}$	大豆價格作月平均後算報酬率
活牛期貨報酬率	$R_{LiveCattle}$	活牛價格作月平均後算報酬率
瘦豬期貨報酬率	$R_{LeanHog}$	瘦豬價格作月平均後算報酬率
原油期貨報酬率	$R_{CrudeOil}$	原油價格作月平均後算報酬率
解釋變數		
聖嬰指數	ENSO	中東太平洋之海表溫度異常值的 3 個月滑動平均
控制變數		
S&P500 指數	$R_{S\&P500}$	S&P500 指數取月平均後算報酬率
美元指數	$R_{USD\&X}$	美元指數取月平均後算報酬率

### 3.3 研究模型

本研究採用 TVAR 模型作為主要分析工具，以探討氣候異常現象對商品期貨市場之非線性影響。然而，在進入 TVAR 模型建構之前，為建立理論基礎與比較基準，本文首先介紹 VAR 模型之架構與特性。透過 VAR 模型可初步掌握各變數間之線性動態關係，進而作為 TVAR 模型設定與解釋之基礎。此漸進式的建模策略有助於釐清非線性轉換是否存在於特定門檻條件下，並驗證市場反應在不同聖嬰強度階段是否具有顯著差異。

#### 3.3.1 自迴歸模型

在本研究中，為探討 ENSO 對玉米產量變化率之影響型態，本文設計數個動態迴歸模型進行實證檢驗。首先，考量產量本身的動態調整，模型納入玉米產量變化率之自迴歸項。其次，為分析 ENSO 指數對玉米產量的線性與非線性影響，分別將 ENSO 指數及其平方項（ $ENSO^2$ ）作為外生解釋變數，並進一步透過門檻迴歸（threshold regression）設定，以探討 ENSO 在不同強度區間對玉米產量變化率的差異性影響。

具體而言，本研究所估計之模型有以下幾種，線性模型、多項式

模型以及門檻模型。模型如下：

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t \quad (2)$$

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + b_3 ENSO^2 + \epsilon_t \quad (3)$$

$$Y_t = \begin{cases} b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \geq 0.5 \\ b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \leq -0.5 \end{cases} \quad (4)$$

$$Y_t = \begin{cases} b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \geq ? \\ b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \leq -? \end{cases} \quad (5)$$

線性模型僅納入聖嬰指數作為解釋變數，以檢驗 ENSO 對穀物產量變化率之線性關聯。多項式模型則進一步加入 ENSO 之平方項，以評估 ENSO 對穀物產量會有是否存在拋物線關係。門檻模型則是將資料劃分成不同狀態，本煙就會先依照 NOAA 定鄧之標準，一朝聖嬰狀態 ( $ENSO \geq 0.5$ ) 及反聖嬰狀態 ( $ENSO \leq -0.5$ )，再來會透過網格搜索 (Grid Search) 找出殘差平方合最小之門檻 (式 6 即式 7)，分別檢驗不同狀態時穀物產量變化率對聖嬰指標之敏感度，檢驗是否存在顯著門檻效應。即當 ENSO 現象超過一定強度時，是否會讓穀物產量發生結構性的變化。

為求完整呈現 ENSO 對農業之衝擊，本文除研究穀物產量變化率，亦同步檢驗穀物期貨報酬率之動態反應。故本節同樣會建構帶有外生

變數聖嬰指數之自回歸模型，以此來剖析 ENSO 對穀物期貨價格變化率之影響型態。

具體而言，模型如下：

$$R_t = b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t \quad (6)$$

$$R_t = b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + b_3 ENSO^2 + \epsilon_t \quad (7)$$

$$R_t = \begin{cases} b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \geq 0.5 \\ b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \leq -0.5 \end{cases} \quad (8)$$

$$R_t = \begin{cases} b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \geq ? \\ b_0 + b_1 R_{t-1} + b_2 ENSO + \epsilon_t, & \text{if } ENSO \leq -? \end{cases} \quad (9)$$

經由比對  $b_2$  和  $b_3$  的統計顯著性，本研究得以判斷 ENSO 對穀物期貨報酬率的影響是呈線性效應、拋物線式非線性效應或是在特定 ENSO 的強度下會出現結構性轉折。

### 3.3.2 向量自我迴歸模型

VAR 模型為 Sims (1980) 所提出的計量經濟模型，此模型廣泛應用於多變數時間序列模型之動態資料分析。相較於傳統的單變量自回歸模型，VAR 模型允許所有內生變數同時作為解釋變數與被解釋變數，進而捕捉系統中各變數間之交互影響與時間動態。本研究使用之模型

如下：

$$Y_t = c + A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + B_1 ENSO_{t-1} + \dots + B_p ENSO_{t-p} + C * Z_t + \epsilon_t \quad (10)$$

其中  $t$  為期數， $Y_t$  為被解釋變數矩陣，在本文中為穀物、畜牧、能源期貨之報酬率。

$$Y_t = \begin{bmatrix} R_{Corn,t} \\ R_{Wheat,t} \\ R_{Soybean,t} \\ R_{LiveCattle,t} \\ R_{LeanHog,t} \\ R_{CrudeOil,t} \end{bmatrix}$$

$A_n$  矩陣為係數矩陣，為 1 個  $6*6$  的矩陣， $n$  為落後之期數，係數代表穀物、畜牧、能源期貨彼此互相影響的情況，其中  $C_{Corn,Wheat,n}$  代表  $n$  期前的玉米報酬率對當期的小麥報酬率之影響。

$$A_n = \begin{bmatrix} C_{Corn,Corn,n} & C_{Wheat,Corn,n} & \dots & C_{CrudeOil,Corn,n} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ C_{Corn,CrudeOil,n} & \dots & & C_{CrudeOil,CrudeOil,n} \end{bmatrix}$$

ENSO 是聖嬰指數，在本文為外生解釋變數。 $B_n$  為聖嬰指數的係數矩陣，代表每種期貨在單位聖嬰指數變化的情況下報酬率的變化，即每

種期貨受到 ENSO 影響的程度，為 6\*1 的矩陣。

$$\mathbf{B}_n = \begin{bmatrix} ENSO_{Corn,n} \\ ENSO_{Wheat,n} \\ ENSO_{Soybean,n} \\ ENSO_{LiveCattle,n} \\ ENSO_{LeanHog,n} \\ ENSO_{CrudeOil,n} \end{bmatrix}$$

$Z_t$  為外生控制變數矩陣，在本文中用於控制總體經濟因素對期貨市場之影響。

$$\mathbf{Z}_t = \begin{bmatrix} R_{S\&P500,t} \\ R_{USD\&X,t} \end{bmatrix}$$

### 3.3.3 門檻向量自我迴歸模型

TVAR 模型是在 VAR 模型的架構上引入門檻機制的線性擴充，當設定之門檻變數跨越臨界值時，系統得以在不同的狀態 (regime) 之間切換。TVAR 最早是 Tong (1983) 對單變量序列提出的閾值自迴歸 (TAR) 模型；該模型以分段線性結構精準捕捉經濟與金融時間序列常見的躍遷與不對稱特徵。Tsay (1998) 進一步將 TAR 推廣至多變量體系，提出基於預測殘差的門檻檢定與極大概似估計程序，使研究者得以在向量框架中識別並估計跨狀態之參數矩陣，從而系統性地分析變

數間的非線性聯動。後續文獻則圍繞門檻內生性、平穩性充分條件與自助法推論等議題（如 Christopoulos 等，2023）深化討論，持續拓展 TVAR 的理論基礎與實證應用疆界。

相較於線性 VAR，TVAR 具備三項主要優勢：第一，能夠顯式模擬狀態轉換或氣候門檻（例如  $ONI \geq 0.5$  或  $\leq -0.5$ ）觸發的動態異質性，捕捉線性 VAR 難以辨識的非對稱衝擊傳遞與調節效果；第二，各子狀態內仍維持 VAR 的線性與閉式表示，估計、預測及衝擊反應（IRF）分析可沿用既有工具箱，兼具可解釋性與彈性；第三，門檻機制可有效降低參數維度的「均值偏誤」，在結構突變或區域穩定性存在的情境下，常呈現更佳之外樣本預測能力與政策情境擬合精度。因此，當研究關注 ENSO 強弱跨域對穀物、畜牧和能源期貨商品報酬率的異質衝擊時，TVAR 為捕捉「氣候—市場」非線性耦合關係提供了一個理論一致且操作便捷的實證框架。

本文的 TVAR 模型預設如下：

$$\mathbf{Y}_t = \begin{cases} c^{(1)} + A_1^{(1)}Y_{t-1} + \cdots + A_p^{(1)}Y_{t-p} + B_1^{(1)}ENSO_{t-1} + \cdots + B_p^{(1)}ENSO_{t-p} + C^{(1)}Z_t + \epsilon_t^{(1)}, & \text{if } q_t \geq \gamma_2, \\ c^{(2)} + A_1^{(2)}Y_{t-1} + \cdots + A_p^{(2)}Y_{t-p} + B_1^{(2)}ENSO_{t-1} + \cdots + B_p^{(2)}ENSO_{t-p} + C^{(2)}Z_t + \epsilon_t^{(2)}, & \text{if } \gamma_1 \leq q_t < \gamma_2, \\ c^{(3)} + A_1^{(3)}Y_{t-1} + \cdots + A_p^{(3)}Y_{t-p} + B_1^{(3)}ENSO_{t-1} + \cdots + B_p^{(3)}ENSO_{t-p} + C^{(3)}Z_t + \epsilon_t^{(3)}, & \text{if } q_t \leq \gamma_1. \end{cases} \quad (11)$$

其中  $q_t$  為門檻變數，本文以聖嬰指數來做為門檻變數，決定不同氣候型態。 $\gamma$  為門檻值，決定劃分狀態的臨界值。鑒於 ENSO 可以區分為聖嬰已、反聖嬰以及中性 3 類，本文先假設在聖嬰以及反聖嬰狀態個

存在一門檻，從而形成三個結構回歸方程式以示範不同 regime 下之差異。

### 3.3.4 估計門檻值以及檢驗門檻之顯著性

本文依循 Hansen (1999) 所提出的固定效果面板 (panel) 門檻回歸程序，對門檻值的辨識和顯著性進行三階段檢定。第一階段為**最小殘差平方法估計門檻值**，本文會對門檻變數  $q_t$  實施網格搜尋 (grid search)，Chan (1993) 和 Hansen (1999) 推薦以最小殘差平方  $S_1$  和找出門檻值  $\gamma$  以及分段迴歸係數。

$$\hat{\gamma}_1 = \arg \min S_1(\gamma_g) \quad (12)$$

第二步則是利用 LR Test 來檢驗門檻是否有用，以下為 LR Test 之統計量：

$$F_1 = \frac{S_0 - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}^2}, \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{S_1(\hat{\gamma})}{n(T-1)} \quad (13)$$

其中  $S_0$  和  $S_1(\hat{\gamma})$  分別代表沒有門檻和有門檻時的殘差平方和，用以檢定 LR Test 之虛無假設「門檻沒有效果」，若  $F_1$  顯著則至少存在一門檻。在確立單門檻後，為了減少計算上的負擔，Bai (1997) 證明可以將資料當成單門檻來估計，先估計一個門檻  $\hat{\gamma}_1$ ，再固定  $\hat{\gamma}_1$  後對其他點進



行搜尋，就能極大幅度將低運算成本。具體方法如下：

$$\mathbf{S}_2^*(\gamma_2) = \begin{cases} S(\hat{\gamma}_1, \gamma_2), & \hat{\gamma}_1 < \gamma_2 \\ S(\gamma_2, \hat{\gamma}_1), & \gamma_2 < \hat{\gamma}_1 \end{cases} \quad (14)$$

再來已最小殘差平方和將得到的  $\hat{c}_2$  固定，回頭重新估計  $\gamma_1$ ，取得一個改良的  $\tilde{\gamma}_1$ ，此為 Bai (1997) 之三階精煉 (third-stage refinement) 策略。

$$\mathbf{S}_1^*(\gamma_1) = \begin{cases} S(\gamma_1, \hat{\gamma}_2), & \gamma_1 < \hat{\gamma}_2 \\ S(\hat{\gamma}_2, \gamma_1), & \hat{\gamma}_2 < \gamma_1 \end{cases} \quad (15)$$

在完成估計後，以

$$F_2 = \frac{S_1(\tilde{\gamma}_1) - S_2^*(\hat{\gamma}_2)}{\hat{\sigma}^2} \quad (16)$$

作單門檻對雙門檻的似然比統計 (likelihood ratio test)。由於  $\gamma_2$  和門檻所造成的斜率差在  $H_0$  的情況下未識別， $F_2$  也沒有閉式分布，Hansen (1996) 認為需要使用 bootstrap 的方式，重新抽樣來趨近樣本的真實分布情況。按照前述的步驟，重新得到  $F_2^*$

$$F_2^* = \frac{S_1^*(\tilde{\gamma}_1) - S_2^*(\hat{\gamma}_2^*)}{\hat{\sigma}^{2*}} \quad (17)$$

以 p-value 的估計

$$\hat{p} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \mathbf{1}(F_2^* \geq F_2). \quad (\text{B})$$

來判斷顯著性。

## 第四章 實證結果

### 4.1 敘述性統計

Table 9: 敘述性統計

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Mim	Max
$Y_{Corn}$	62	0.0263	0.1388	-0.2940	0.3763
$Y_{Wheat}$	62	0.0147	0.0821	-0.1372	0.2607
$Y_{Soybean}$	62	0.0161	0.0999	-0.2035	0.2676
$R_{Corn}$	281	0.0047	0.0683	-0.2356	0.2887
$R_{Wheat}$	281	0.0054	0.0753	-0.2077	0.3956
$R_{Soybean}$	281	0.0048	0.0592	-0.2262	0.1801
$R_{LiveCattle}$	281	0.0039	0.0417	-0.1396	0.1221
$R_{LeanHog}$	281	0.0053	0.0884	-0.2496	0.3444
$R_{CrudeOil}$	281	0.0084	0.1012	-0.4515	0.7083
$R_{S\&P500}$	281	0.0063	0.0373	-0.2040	0.1202
$R_{USD\&X}$	281	-0.0003	0.0180	-0.0500	0.0620
ENSO	281	-0.0071	0.8260	-1.6	2.6

表 9 為本研究之敘述性統計，包含平均數、標準差、最大值、最小值等資料，包括黃豆、小麥、玉米的單位面積產量變化率、各項期貨和指數之報酬率以及聖嬰指數。

產量變化率的樣本期間為 1962 年至 2023 年，總共 62 年，共計 62 比資料，平均分別為 0.0263、0.0147、0.0161，代表單位面積之產量整體來說是逐年增加的趨勢，標準差分別為 0.1388、0.0821、0.0999，顯示不同作物產量的變動程度存在差異。

期貨和指數報酬率的樣本期間為 2001 年 5 月至 2024 年 9 月，總共 23 年 5 個月，共計 281 筆資料，期貨商品的月平均報酬普遍接近 0，雖然皆在 0.01 以下，仍然可以看到隨著時間緩慢成長的趨勢，穀物期貨在報酬率的平均數以及標準差方面皆是以小麥最大，平均數最小者是玉米，標準差最小為大豆。在其他的期貨商品和指數報酬率的平均報酬率以及標準差皆為原油最大，顯示其價格波動較為劇烈，美元指數之平均報酬與標準差皆為最小。

聖嬰指數（ENSO）之平均值為-0.0071，整體偏向中性，標準差為 0.8260，最小值與最大值分別為-1.6 及 2.6，顯示 ENSO 現象於觀察期間呈現顯著變異。

## 4.2 模型估計結果和分析

### 4.2.1 ENSO 對產量影響之實證

表 10 為 ENSO 對穀物產量影響之門檻檢定表，研究穀物產量是否會因為 ENSO 的狀態改變而產生非線性之影響，表中整理了黃豆、玉米以及小麥，分別在無門檻、一門檻與雙門檻 3 種不同情況下的最小殘差平方和 (SSE)、變異數 ( $\sigma^2$ )、檢定統計量 (F) 以及 P 值。雖然檢定統計量寫作 F，但是因為樣本的分布是非標準 (non-standard)，不能由查表得得到 P 值，而是要透過 bootstrap 利用重複抽樣得到 P 值。

玉米產量在無門檻的情況下，SSE 為 2.024，在單一門檻的情況下，可以找到最佳門檻為-0.539，此時的 SSE 降低到 1.623，此時的統計檢定量為 15.064，P 值為 0.097，在 10% 顯著水準下是顯著的，顯示-0.539 這個門檻具有顯著性，緊接著檢測雙門檻模型，得到的最佳門檻為-0.567 和-0.261，此時雖然 SSE 更進一步降到 1.363，但是由於統計檢定量之 P 值為 0.113，未達到顯著水準，表示在現有資料下，增加第二個門檻雖可進一步改善模型，但統計上未達顯著，故玉米產量之研究模型採用單門檻模型。

小麥產量線性模型之 SSE 為 0.823，在單一門檻模型下，最佳門檻為 0.312，SSE 降到 0.766，但檢定統計量為 4.561，P 值僅為 0.860，

顯示小麥產量並未呈現出明顯的門檻效性，門檻模型並未帶來顯著之提升。大豆產量線性模型 SSE 為 0.438，在單一門檻模型之最佳門檻為 0.341，SSE 降至 0.393，檢定統計量為 6.342，P 值為 0.617 結果不顯著，顯示大豆產量的門檻效應不顯著，故小麥和大豆使用無門檻之模型。

Table 10: 聖嬰影響穀物產量之門檻檢定

門檻數量	門檻位置	SSE	$\sigma^2$	F	P value
玉米產量					
0		2.024			
1	-0.539	1.623	0.027	15.064	0.097*
2	-0.567 & -0.261	1.363	0.022	11.640	0.113
小麥產量					
0		0.823			
1	0.312	0.766	0.013	4.561	0.860
大豆產量					
0		0.438			
1	0.341	0.393	0.006	6.342	0.617

表 11 為玉米產量的回歸結果，利用不同模型進行迴歸分析，在線

性以及加入二次項的模型中，產量皆只對滯後項顯著為負，說明產量成長具有自我調整的負向動態。聖嬰指數項皆為不顯著，顯示聖嬰現象對玉米產量沒有線性或 2 次項之影響。用聖嬰以及反聖嬰的條件來作為分群依據時，不論是滯後項或是聖嬰指數皆呈現未顯著影響，顯示弱聖嬰/反聖嬰強度，皆無法對玉米的產量造成顯著影響。

用前述之方法找到的-0.539 作為門檻時，可以明顯觀察到門檻兩側產量有結構性的差異，在  $>-0.539$  得區間中玉米產量的滯後項-0.655，P 值為  $5.74 \times 10^{-6}$ ，對本期變化率具有高度顯著的負向影響，顯示該時期玉米產量具有強烈的自我調整特性。此外，常數項同樣顯著為正，模型整體的解釋力也達到 0.437，在各模型中表現再好。在氣候指標部分，CornONI 的係數為 -0.0851，其 p 值為 0.113，雖未達傳統 10% 顯著水準，但已相當接近。此結果顯示，聖嬰指數在門檻值 -0.539 之上的直接影響呈現邊際顯著，暗示當聖嬰現象強度較高時，氣候條件對玉米產量變化率可能存在一定的負向影響。換言之，在聖嬰現象明顯期間，玉米產量不僅展現出強烈的動態慣性，亦可能受聖嬰指數本身影響，儘管此效果尚未達到統計上明確顯著，仍具備進一步驗證與關注的政策與實務意涵。相較之下，在  $\text{CornONI} < -0.539$  的區間，產量滯後項與氣候指標皆不顯著，且模型解釋力顯著下降，顯示在反聖嬰或聖嬰現象較弱時期，產量決定機制更受隨機擾動或其他未觀察因素主導。

Table 11: 玉米產量分析結果

	Linear	Squard	El Nino	La Nina	>-0.539	<-0.539
Corn(-1)	-0.475*** (0.000123)	-0.484*** (9.25 * 10 <sup>-5</sup> )	-0.396 (0.290)	-0.0122 (0.958)	-0.655*** (5.74 * 10 <sup>-6</sup> )	-0.0122 (0.958)
CornONI	-0.0276 (0.514)	-0.0171 (0.691)	0.0782 (0.727)	0.157 (0.625)	-0.0851 (0.113)	0.157 (0.625)
<i>CornONI</i> <sup>2</sup>		-0.0815 (0.206)				
Constant	0.0644** (0.0106)	0.0914*** (0.00620)	-0.0690 (0.712)	0.130 (0.599)	0.0966*** (0.00106)	0.130 (0.599)
Obs	61	61	14	14	47	14
R-squared	0.240	0.261	0.107	0.023	0.437	0.023

pval in parentheses,\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

() 內為 P-value

Table 12: 小麥產量分析結果

	Linear	Squard	El Nino	La Nina
Wheat(-1)	-0.362*** (0.00249)	-0.341*** (0.00430)	-0.594* (0.0527)	-0.123 (0.577)
WheatONI	0.0353*** (0.00295)	0.0322*** (0.00719)	0.104** (0.0244)	0.0312 (0.578)
<i>WheatONI</i> <sup>2</sup>		0.0153 (0.189)		
Constant	0.0199** (0.0404)	0.00919 (0.463)	-0.0539 (0.257)	0.0242 (0.664)
Obs	61	61	17	19
R-squared	0.243	0.266	0.409	0.042

pval in parentheses,\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

() 內為 P-value

Table 13: 大豆產量分析結果

	Linear	Squard	El Nino	La Nina
Soybean(-1)	-0.525*** (1.64e-05)	-0.532*** (1.41e-05)	1.528e+08 (0.528)	-8.515e+08* (0.0639)
SoybeanONI	0.0265 (0.122)	0.0317* (0.0810)	-3.805e+07 (0.401)	-6.664e+07 (0.542)
<i>SoybeanONI</i> <sup>2</sup>		-0.0192 (0.360)		
Constant	0.0250** (0.0299)	0.0334** (0.0246)	5.572e+07 (0.283)	6.067e+06 (0.946)
Obs	61	61	11	14
R-squared	0.285	0.296	0.147	0.319

pval in parentheses,\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

() 內為 P-value



## 第五章 結論