

釋迦收入保險費率釐訂之研究：應用 Copula 聯合機率密度函數

楊明憲*、晁娜娜**、楊汭華***

摘要

作物收入保險是農業保險發展的新趨勢，但傳統上只針對產量減損理賠的農業保險，因無法掌握產量與價格之量價關係而影響保費釐訂，且在有限資料量下依歷史模擬法估算保費，恐不能反映真實發生損失機率與幅度，從而影響保單設計與賠付率管控。釋迦收入保險為臺灣第一個作物收入保險，由於 copula 主要以機率的角度探討量價變數間相關與依賴關係，有助於收入保險保費之釐訂，而在臺灣農業保險文獻上卻尚未有應用此法研究，故本文即運用 copula 聯合機率密度函數釐訂不同保障收入和保障程度的保險費率，並與歷史模擬法進行比較分析，以期改善臺灣釋迦收入保險之設計，並提供費率釐訂之精算涵義。估計結果顯示保障程度愈高，保險費率也愈高。以 100% 保障而言，各地純費率均介於 2.22%~8.12% 之間，依基準收入換算，則每公頃保費為 25,303 元~95,463 元。建議歷史模擬法之保費釐訂可參酌 copula 法在保費安全係數上予以彈性調整，即高風險地區的安全係數宜調高，而低風險地區的安全係數宜調降，以避免逆選擇並有利於作物收入保險之長期推動。

* 逢甲大學商學院國貿系教授，本文通訊作者。

** 山西財經大學金融學院保險教研室副教授。

*** 中國農業大學經濟管理學院農經系教授。

DOI：10.3966/054696002021060109003

關鍵詞：農業保險、收入保險、Copula 機率分配、保險費率

JEL 分類代號：Q18

釋迦收入保險費率釐訂之研究：應用 Copula 聯合機率密度函數

楊明憲、晁娜娜、楊沛華

壹、前言

農業生產普遍存在自然風險，產量容易受到颱風、豪雨或低溫寒害等不利天候的影響，故傳統的農業保險多採產量實損實賠方式，以確保投入成本不致於血本無歸。尤其在氣候變遷及全球暖化之趨勢下，農業生產所面臨的挑戰更為嚴峻。不過，農業產出之後也經常面臨價格波動的風險，往往在風調雨順之後，卻發生價格慘跌，並無法保障農民正常收入。特別是農產貿易自由化所帶來的價格衝擊，更受農民關切。傳統上，雖認為農產價格在市場間傳遞亟易引發系統性風險，故價格風險不具可保性（庹國柱與朱俊生，2016）¹，然而因為收入保險同時覆蓋產量風險及價格風險，二者可因負相關性而使風險得以對沖，故提高作物收入保險的可行性，再加上農產品因品質與品種分級之價格差異化、保單設計不同的保障程度，以及建立共保與再保之風險分攤機制之後，因此，作物收入保險已是農業保險發展的新趨勢。

國外有關作物收入保險日趨普及（楊明憲，2017），因為作物收入保險可以確保農民收入，也是農民與農業政策上所關心的終極目標，於是在政策上受到矚目。例如：美國農作物保險在 1994 年進行改革之後，已開始推出涵蓋產量減產及價格下跌風險之保險，

¹ 此即說明為何美國主要的作物保險產品是產量保險和收入保險，而沒有實施價格保險（朱俊生與庹國柱，2016）。

至今作物收入保險已成為最受農民喜愛投保的保險 (Dismukes and Coble, 2006; Glauber, 2013)。韓國與日本亦分別在 2015 年、2019 年開始導入作物收入保險或農場收入保險 (農林水產省, 2016; 楊明憲與周孟嫻, 2017; Nonghyup Property & Casualty Insurance, 2018; 楊明憲, 2018), 中國大陸也在 2017 年中央一號文件更加明確地提出要探索建立農產品收入保險制度 (張君, 2018)。相對於國外發展, 臺灣發展農業保險的起步較慢, 直到 2015 年始由民間保險公司辦理高接梨保險, 屬於天災損害填補型保單, 而在 2017 年起試辦的釋迦收入保險則為政府主導規劃, 並交由各級農會辦理, 定位為政策型保險²。釋迦為臺灣代表性水果之一, 主要產地在臺東縣, 也是當地的重要經濟作物, 但因釋迦生產經常遭受颱風損害, 尤其是 2016 年的尼伯特颱風嚴重災損, 而且外銷高度集中在中國大陸, 也有可能出口減少導致臺灣本地市場價格下跌的隱憂。因此, 政府即決定在 2017 年推行釋迦收入保險, 以保障釋迦農民的收入 (楊明憲, 2017)。

由於收入保險可以同時覆蓋產量和價格風險, 因此, 在理論研究和實證中最重要問題是如何釐訂收入保險之保費。依保險原理, 保費係依風險造成損失頻率與損失程度計算而得, 故產量與價格的資料品質與機率分配即為關鍵所在; 進一步言, 因產量與價格具有負相關性, 如何導出產量和價格的聯合機率密度函數 (joint probability density

² 臺灣的農業保險運作分為商業保險與政策性保險雙軌制, 商業保險完全由民間保險公司規劃設計保單, 自負盈虧, 而政策性保險則由政府主導規劃, 並交由各級農會辦理, 由政府承擔最後風險及損失。目前已開辦實損實賠型 (梨、香蕉植株)、政府災助連結型 (梨及芒果)、收入保障型 (釋迦、香蕉)、區域收穫型 (鳳梨、水稻及芒果)、天氣參數型 (蓮霧、木瓜、文旦柚、甜柿、番石榴、梨、荔枝、棗、桶柑、養殖水產、石斑魚、虱目魚、鱸魚及吳郭魚)、撲殺補償型 (雞、火雞、鴨、鵝禽流感), 及農業設施等保單, 提供農漁民選擇投保。在這些保單中, 僅有釋迦及香蕉為收入保險, 屬於政策性保險, 其他均為商業保險。(資料來源: 行政院農業委員會農業金融局, 2020, 農業保險專區, 取自 <https://www.boaf.gov.tw/boafwww/index.jsp?a=np&ctNode=1102>, 檢索日期: 2020/12/31。)

function)，對保費的高低將有重要的決定。關聯結構法 (copula) 概念的提出及其理論的完善，使得保費釐訂的問題獲得適當解決。由於 copula 主要以機率的角度探討變數間相關與依賴關係，非常適合應用在收入保險處理有關產量與價格波動之間的關係，故為本文研究之主要方法。實務上，探討變數之間的相依性 (dependence) 也是保險上普遍受到重視的議題之一，因為保險強調變數 (或事件) 之獨立性，才不會導致巨災損失，但本文以量價之間之相關性，卻有助於保費釐訂，自有不同的涵義。此外，應用 copula 進行保費釐訂之研究，在國外已發展的相當普遍，也對於費率釐訂或分散風險策略有所貢獻 (Embrechts et al., 2003)，但尚未有關臺灣農業保險之研究文獻。

不過，農業保險卻經常面臨資料有限的問題，無法以充分資料認識發生損失頻率、損失程度與機率分配之特性，故只能依歷史模擬法估算保費，將有可能會影響保費的適當釐訂。當欠缺充分資料時，一般的作法乃是經由傳統迴歸取得估計的資訊。但近年來，除了以往所用的傳統迴歸統計方法外，許多新的數學統計方法都被重新發展，並使用於在實務應用之上；其中，copula 函數即為一種相當實用的工具 (周國端，2005)。

因此，本文研究即考量產量與價格的資料特性及限制，旨在針對臺灣釋迦收入保險之量價變化，運用 copula 聯合機率密度函數釐訂不同保障收入和保障程度之保險費率，並與歷史模擬法進行比較分析，以期改善臺灣釋迦收入保險之設計，並提供費率釐訂之精算涵義。

貳、文獻回顧

一、量價分配與關係

作物收入保險係依作物產量與價格來計算收入，從而依實際收入與保障收入之差額

進行理賠。因此，有關產量與價格之資料特性，尤其是產量與價格之間的相關程度，即成爲在決定保險費率最重要的關鍵。

爲公平精算保險費率，必須對作物產量和價格的隨機變數進行精確建立模型，基本上可分爲參數法 (parametric methods)、非參數法 (nonparametric methods)，以及將參數法和非參數法之要素結合的半參數法 (semi-parametric methods) (Duarte and Ozaki, 2019)。

參數法是基於已知的參數分配，大多假定產量服從某一機率分配，早期研究中學者們多假定作物產量服從常態分配 (normal distribution) (Botts and Boles, 1958)，但是農作物的產量受到自然氣候、生產技術等多方面影響，假定其爲常態分配並不合理。因此，國外學者進一步研究提出其他的分配模型，主要包括 Gamma、Beta、Weibull、對數常態 (log-normal) 和 Burr 分配等。在收入保險中，國外學者多認爲產量服從 Beta 和 Weibull 分配 (Goodwin and Hungerford, 2015)。對於參數分配，Just and Weninger (1999) 建議使用常態分配來模擬產量。但是 Ramirez et al. (2003) 在研究中卻發現了反對常態性的證據。Duarte et al. (2018) 曾比較巴西帕拉納州 (Parana State) 四個地方的常態、Beta、偏常態 (skew normal)、偏態 t 分配 (skew- t distributions)，以及奇對數邏輯常態 (odd log-logistics normal distribution, OLLN) 等機率分配來模擬大豆產量。在這些地方，OLLN 分配最適合於雙峰資料特性，並發現依 OLLN 機率分配計算出的保險費率，低於該國保險公司所採用的商業費率。

由於價格是非負的，因此學者常假設價格分配爲對數常態機率分配 (Bielza et al., 2004; Cole and Gibson, 2010)。在對價格進行建立模型時，對數常態分配已廣泛用於作物保險研究 (Goodwin et al., 2000)。由於美國農產品期貨市場較爲成熟，多採用歷史產量及期貨價格配適產量風險和價格風險，故美國在設計收入保險的過程，例如作物收入保障保險 (crop revenue coverage, CRC) 即假設價格服從常態分配，而收入保證保險 (revenue assurance, RA) 則假設作物價格服從對數常態分配 (晁娜娜等，2017)。

相對於應用參數法的對數常態分配，半參數法和非參數法也已被經常採用。雖然學者們爲矯正假設常態分配的不合理性而提出諸多形式的分配，但提前假設符合某一分

配，本身就不合理。因此，非參數法於是受到學者們的關注與重視。

非參數法因不需要事先指定分配設計，“資料可以說明一切” (data speak for themselves)，故相對上具有優勢。如此可顯示一些分配特徵，例如：正負不對稱性 (positive-negative asymmetry) 或雙峰性 (bimodality)。儘管描述各種機率密度形狀具有更大的靈活性，但此方法仍需要大量樣本 (Goodwin and Mahul, 2004)。在釐訂費率時，如果樣本數少於 30 以下時，則參數法可能較為合適。

二、美國作物收入保險之費率釐訂經驗

美國作物收入保障保險 (CRC) 係以參數法釐訂費率，假設作物單產及農產品價格相互獨立，以作物多重災害保險 (multiple peril crop insurance, MPCI) 的單產風險為基礎，綜合考慮農產品價格上漲風險及收入風險，將三者相加計算費率。其中，農產品價格上升風險是指由於單產降低導致收穫期價格高於種植期價格引起的賠付，而收入風險是指收穫期的農產品價格低於種植期，實際收入少於保險契約保障收入引起之風險。收入保證保險 (RA) 係利用現行年份期權價格與現行期貨契約價格的偏離情況衡量價格波動，並利用收穫期期貨契約種植前的價格做為預期價格，此預期價格與相關期權契約的差異作為測量價格風險的資料基礎，並假設價格服從 Lognormal 分配、作物單產服從 Beta 分配，以這兩個分配做為邊際分配從中抽取隨機變數，利用 Johson and Tenenbein (1981) 的方法形成收入的二維連續機率密度分配函數，這種聯合分配下兩變數間的相關性通過 Spearman- ρ 及 Kendall- τ 來測量。不過，相關研究的作物產量分配至今沒有一致的參數分配形式，若假設其服從 Beta 分配，參數的估計結果會因為最大值及最小值的不同產生明顯的差異。利用某一特定時期的作物單產為基礎測量作物產量風險，可能會因為這個時期內極高或極低產量的發生引起風險測定的不準確性 (謝鳳傑等，2011)。此外，所得保護保險 (income protection, IP) 則採用非參數模型估計作物單產及價格分配，並以此為基礎估計作物收入分配。

IP 及 RA 均考慮作物價格與其單產之間的相關性，以及農業生產、農產品市場變化所帶來的系統風險，但 CRC 設計過程中則沒有考慮價格與單產間的相關關係 (United States General Accounting Office, 1998)。近年來，國外不少研究開始將這種可能存在的相互關係考慮到保險設計的過程中，多採用 Copula 方法建立聯合分配概率模型 (Ramsey et al., 2020)，並以此為基礎完成保險費率之測定。

三、應用 copula 釐訂費率

根據 Goodwin and Ker (2002) 的觀點，對作物收入進行建立模型的主要困難在於需要確訂價格與產量之間的相關程度，因為量價兩者很少是獨立的。變數之間的依賴性可以藉由 copula 的依賴性結構 (dependency structure) 來研究。copula 理論經常被用來分析金融系列和風險因素。在農作物保險方面的應用，也已經開始進行受到重視，例如 Miqueleto (2011)、Ahmed and Serra (2015)、謝鳳傑等 (2017)。

如何得出產量和價格的聯合機率分配至關重要，copula 概念的提出及其理論的完善，使得這一問題得到解決。Coble et al. (2010) 認為，收入保險訂價過程可以分為四個步驟：(1) 計算單產風險和價格風險的邊際分配；(2) 估計單產風險與價格風險的相關性；(3) 模擬相關的單產和價格情況；(4) 在不同保障水準下計算收入保險費率。

Copula 作為邊際機率分配函數及其聯合機率分配函數之間的連接函數，包含許多形式的分配群，在諸多分配之中，以橢圓分配群 (Elliptical copula) 和阿基米德性質分配群 (Archimedean copula) 最為常見，其中橢圓分配群中包括 Gaussian copula 和 t copula 兩大類，而阿基米德性質分配群最常用的三種為 Clayton copula、Gumbel copula 和 Frank copula，因其具有厚尾的分配特性，故在金融領域有大量的應用。在實證研究中，copula 的選擇取決於特定問題的目標或資料的配適度檢驗。例如：美國的收入保險訂價程式設定利用 Gaussian copula 來表示產量和價格之間的關係。有學者嘗試用混合 copula 進行費率測算 (Ghosh et al., 2011; Ramsey et al., 2019)，與傳統作物保險相比較，收入保險對產

量、價格風險的測算要求更高，需要合適的資料支撐。

由於作物收入保險已成爲一種重要的風險機制，但需要進行更全面的研究，依調查所分析的產量與價格兩個變數之間的依存關係，從而切實反映出收入保險的保險費率。Duarte and Ozaki (2019) 應用聯合機率分配的不同參數組合，並考慮非參數法和 OLLN 機率分配的參數法，來最佳配適 (goodness of fit) 產量和價格資料特性。此外，使用 copula 方法將計算出的保險費率與保險市場通常依雙變數常態分配所得的商業費率進行比較。該研究結果指出保險公司計算出的平均費率是低估的，特別是一旦認爲風險低於應考慮的範圍時，不足的費率可能導致保險公司蒙受嚴重損失。

Ahdika et al. (2019) 指出作物收入保險是一項潛在的發展業務，這種類型的保險，其損失可以定義爲由於作物產量或價格造成的收入不足。該文的目的是藉由對農作物產量和價格實施時變 (time-varying) copula 來表示農業收入損失的可變性，並估算基於收入的農作物保險的賠償額。該分析同時使用靜態和時變的常態和阿基米德性質 (Archimedean) copula，以建立作物產量和價格之間的依存關聯式結構，以提出一種簡單的演算法來估算基於收入的損失和對收入的賠償。

參、研究方法與步驟

一、Copula 函數

Copula 函數已是近來利用非常廣泛的聯合機率分配模型 (Goodwin and Hungerford, 2015)，最早由 Sklar (1959) 提出，主要是將多個變數的邊際機率分配連結起來，並映射到均勻分佈的函數。Johnson and Tenenbein (1981) 認爲 copula 函數是一種描述相依性市場風險的方法，非線性 copula 包含一系列隨機變數相互依賴的所有資訊，可以捕捉到變

數間非線性及非對稱的相互關係。

依 Sklar 定理 (Sklar theorem)：若 $F(\cdot)$ 為 n 維的機率分配函數， F_1, \dots, F_n 為其邊際函數，若 F_1, \dots, F_n 連續，則存在唯一的 n 維 copula 函數 C 使得 $F(x_1, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$ 。

Nelsen (1998) 進一步對 $F(x_1, \dots, x_n)$ 求偏微分：

$$F(x_1, \dots, x_n) = \frac{\partial F(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1 \dots \partial x_n} = \frac{\partial C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))}{\partial x_1 \dots \partial x_n} = c(u_1, \dots, u_n) \times \prod_i f_i(x_i) \quad (1)$$

所導出的 (1) 式聯合機率密度，可分為兩部分乘積：第一部分 $c(u_1, \dots, u_n)$ 即為 copula 的機率密度函數，表示 X_1, X_2, \dots, X_n 的關聯結構；第二部分 $\prod_i f_i(x_i)$ 為單變數邊際機率密度的乘積。因此，copula 函數具有關於變數間相關結構的所有資訊，這些資訊皆可由不同的相關係數來表示。

二、Copula 模型之估計

多變數機率密度函數進行估計的過程，可以分解為兩個步驟：(1) 估計變數的邊際機率分配；(2) 選擇合適的 copula 函數。

假設樣本資料為 $S = \{x_{1l}, x_{2l}, \dots, x_{nl}\}_{l=1}^T$ ，則最大概似估計式 (maximum-likelihood estimators, MLE) 可寫為：

$$l(\theta) = \sum_{l=1}^T \ln c(F_1(x_{1l}), F_2(x_{2l}), \dots, F_n(x_{nl})) + \sum_{l=1}^T \sum_{j=1}^n \ln f_j(x_{jl})$$

其中， θ 代表邊際機率分配參數及 copula 參數組成的參數集。

因此，在給定邊際機率密度函數及 copula 參數的情況下，最大概似估計式可寫成如

下形式：

$$\hat{\theta}_{IFM} = \max_{\theta \in \mathcal{O}} l(\theta)$$

當邊際機率分配為多維時，直接採用最大概似估計法在計算上可能過於複雜，另可採用兩階段邊際推論法 (inference for the margins, IFM) 進行 copula 模型參數估計，步驟如下：

第一階段：通過單變數密度估計法對每一個邊際分配的參數 θ ，進行估計：

$$\hat{\theta}_1 = \text{ArgMax}_{\theta_1} \sum_{l=1}^T \sum_{j=1}^n \ln f_j(x_{jl}; \theta_1) \quad (2)$$

第二階段：在估計出 θ_1 的基礎上，估計 copula 的參數 θ_2 ：

$$\hat{\theta}_2 = \text{ArgMax}_{\theta_2} \sum_{l=1}^T \ln c(F_1(x_{1l}), F_2(x_{2l}), \dots, F_n(x_{nl}); \theta_2, \hat{\theta}_1) \quad (3)$$

其中， $\hat{\theta}_{IFM} = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2)$

以 l 表示整體的最大概似函數， l_j 代表第 j 個邊際的概似函數， l_c 表示 copula 的最大概似函數，則邊際推論法之統計量為：

$$\left(\frac{\partial l_1}{\partial \theta_{11}}, \frac{\partial l_2}{\partial \theta_{12}}, \dots, \frac{\partial l_n}{\partial \theta_{1n}}, \frac{\partial l_c}{\partial \theta_2} \right) = 0'$$

與一般以最大概似估計法所求解的結果 $\left(\frac{\partial l}{\partial \theta_{11}}, \frac{\partial l}{\partial \theta_{12}}, \dots, \frac{\partial l}{\partial \theta_{1n}}, \frac{\partial l}{\partial \theta_2} \right) = 0'$ 比較，這兩個統計量不太一樣。但可以秩相關係數 (rank correlation coefficient) Kendall- τ 進行與 copula 之間的變換，轉換如下：

$$\tau = 4 \int \int_2 C(u, v) dC(u, v) - 1$$

三、作物收入保險費率之釐訂

本文應用二維 copula 函數，以釐訂釋迦收入保險費率，進行步驟如下 (Ghosh et al., 2011；晁娜娜等，2017)：

1. 模擬產量和價格風險以求得邊際機率分配。其中，以 x_1 和 x_2 分別代表釋迦產量風險與價格風險，對應的分配函數為 $F_1(x_1)$ 與 $F_2(x_2)$ 。
2. 建立產量與價格風險的聯合機率分配。以最大概似法估計 copula 函數，藉由 A-D 檢驗、K-S 核對總和卡方檢驗，依歐氏距離 (Euclidean distance) 最短的原則，在 Gaussian copula、t copula、Clayton copula、Gumbel copula、Frank copula 中選擇最佳配適的 $C(F_1(x_1), F_2(x_2))$ 。
3. 應用蒙地卡羅法擴大樣本數。以 $C(F_1(x_1), F_2(x_2))$ 作為亂數發生器，進行 10,000 次蒙地卡羅 (Monte Carlo) 隨機抽樣，生成在 [0,1] 均勻分配的 10,000 對產量風險與價格風險的隨機類比資料，以 (u_1, u_2) 表示。
4. 建立收入分配數列。依 (u_1, u_2) 計算產量與價格的原函數值 $x_1 = F_1^{-1}(u_1)$ ， $x_2 = F_2^{-1}(u_2)$ ，取得產量和價格的 10,000 對類比資料，從而得到類比的收入分配數列。
5. 釐訂保險費率。依類比的收入分配數列，進一步計算實際收入與保障收入。由於收入保險的理賠係依保險期間內因產量或價格變化或兩者同時變化造成實際收入低於約定的保障收入時，保險人應賠償農民的差額；若實際收入高於約定的保障收入時，則無需賠付。將每公頃保障收入約定為 $\alpha \hat{Y}$ ， α 為保障程度 $\alpha \in (0, 1]$ ， α 為 70%、75%、80%、85%、90%、95%、100%。因此、當實際收入低於保障收入時，可獲得理賠 L 為：

$$L = \text{prob}(y < \alpha \hat{Y})[\alpha \hat{Y} - E(y | y < \alpha \hat{Y})] \quad (4)$$

進一步，測算不同 α 下的收入保險純費率 (pure premium rate, PR) 為：

$$PR = \frac{L}{\alpha \hat{Y}} \quad (5)$$

純費率再考量安全係數、管銷費用率，以及預定結餘率等附加費率後，即得毛費率 (gross premium rate, GR)：

$$GR = \frac{PR \times (1 + \text{安全係數})}{1 - (\text{管銷費用率} + \text{預定結餘率})} \quad (6)$$

根據毛費率，即可得出不同保障程度下的每公頃保費，即：

$$\text{收入保險每公頃保費} = \alpha \hat{Y} \times GR \quad (7)$$

肆、實證分析

一、資料來源和處理

為釐訂釋迦收入保險費率，需要具備釋迦每公頃產量 (單產) 和價格時間數列資料 (time series data)，此為釋迦收入風險模擬和費率精算的基礎，也是擬定收入保險保額的基本參考。

(一)釋迦單產數列

臺灣為全世界釋迦栽植面積最多的地方，尤其以臺東縣所種植的釋迦最多，依農業

年報統計，2019 年全臺栽植面積為 5,560 公頃；其中臺東縣為 5,280 公頃，占全臺栽植總面積之 95%，故臺東縣為全臺釋迦的主要產地，亦為臺東縣的重要經濟作物。近 10 年來釋迦種植面積多相當穩定，約在 5,500 公頃左右，每公頃平均產量為 10 公噸，故產量也穩定在 5.5 萬公噸左右。但在 2016 年因尼伯特颱風的肆虐摧毀，當年產量減少一半以上，政府才開始推動釋迦收入保險。

釋迦單產時間數列期間為 1997-2018 年，資料來源為農糧署針對各產地農情調查的結果。臺東縣釋迦主要產地為臺東市、卑南鄉、太麻里鄉、鹿野鄉、東河鄉等 5 個地方。由於各地的環境及氣候條件不同、農民個別栽培管理方式差異，都將影響各地釋迦的每公頃產量。表 1 即顯示臺東縣主要釋迦產地之單產資料特性，尤其是受颱風災損與災後復育的產量也相當不同，隱含各地有不同的生產風險。

為確保釋迦單產分配模擬結果的可靠性，需要通過單根檢定 (unit root test) 以確定資料為定態 (stationary)，結果發現單產數列在 5% 的顯著性水準上含有一個單根，在藉由一階差分處理後，使單產數列達到定態。另考量單產因技術進步而有逐年增加之趨勢，故採用直線滑動平均法去趨勢化，以掌握資料的基本特性，即將單產 Q_t 分為兩個部分：趨勢量 \hat{Q} 和隨機波動量 e_t ，即 $Q_t = \hat{Q}_t + e_t$ 。為使得單產具有可比性，將各年單產加以標準化處理，調整為最新年度的單產水準，即： $Q_t = \hat{Q}_{2018} + (e_t / \hat{Q}_t) \times \hat{Q}_{2018}$ ， $t = 1997 \sim 2018$ 。

由於釋迦單產數列較短，故採用參數法進行機率分配測度。早期研究的學者大多假設作物單產服從常態分配 (Botts and Boles, 1958)，但是農作物的單產受到自然氣候、生產技術等多方面影響，主觀地假定其為常態分配並不一定恰當。前述文獻已指出常見的作物單產機率分配主要包括 Normal、Gamma、Beta、Weibull、Lognormal、Burr、Logistic 等。因此，對於釋迦單產波動數列，本文即運用 Easyfit5.4 配適，以 A-D、K-S 及 χ^2 統計量為篩選標準，從常見分配中選擇最佳模式。在三種標準中，A-D 檢驗最為穩健，該統計量越小，模型配適越好。

各地釋迦單產分配之模型選擇結果，如表 2 所示。顯示除臺東市單產為常態分配外，其餘各地並非如此。選擇適當的機率分配形態，有助於對風險認知及保險費率的精算。

表 1 臺東縣主要釋迦產地之單產與價格敘述統計

單位：公斤/公頃、元/公斤

年	臺東市	卑南鄉	太麻里鄉	鹿野鄉	東河鄉	批發價格
最大值	17,764	17,280	18,810	15,626	17,070	117.72
最小值	3,920	3,600	3,600	4,940	4,872	31.78
標準差	3,375	3,257	3,200	3,240	3,217	21.78
平均數	10,868	10,188	11,461	10,601	9,790	59.63
變異係數	0.31	0.32	0.28	0.31	0.33	0.37

資料來源：行政院農業委員會農糧署 (2020)，農情報告資源網，取自 https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp，檢索日期：2021/05/17。

(二)釋迦價格數列

釋迦價格時間數列期間一樣為 1997-2018 年，資料來源為臺北市第一果菜市場釋迦批發價格，用以模擬釋迦價格變動的邊際機率分配。由於釋迦係經由市場公開競價拍賣，故理論上應可完全反映市場中所有訊息，以符合效率市場 (efficient market) 的特性，但本文仍針對每日交易價格進行 ADF (augmented dickey-fuller) 單根檢定。檢定結果顯示批發價格的數列不具有單根為定態，呈現隨機漫步 (random walk)，滿足效率市場假說。

價格機率分配之模型選擇結果，亦如表 2 所示。

二、單產與價格風險相關性分析

風險管理實務中最常見的 copula 有五種，其中 Gaussian-copula、t-copula 和 Frank-copula 的分佈具有對稱性，Gumbel-copula 和 Clayton-copula 的分佈具有非對稱性。Gumbel-copula 和 Clayton-copula 只能針對變數之間的非負相關性，而 Frank 則可以測定

變數間的負相關性。基於中立觀點，本文運用 MATLAB R2014a 測試五種常用的 copula，並以歐式距離最小的原則，選擇各地區的最佳的 copula 模型，結果如表 3 所示，均具有對稱性分佈之特性。

表 2 各地釋迦單產及價格機率分配之參數模型選擇

地區	單產機率分配	參數	價格機率分配	參數
臺東縣	Logistic	$\sigma = 786.47$ $\mu = 61.1$	Normal	$\sigma = 2.5599$ $\mu = -0.28861$
臺東市	Normal	$\sigma = 1964.9$ $\mu = 137.16$	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.38077$ $\mu = 2.7191$ $\gamma = -16.67$
卑南鄉	Logistic	$\sigma = 1009.1$ $\mu = 97.071$	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.38077$ $\mu = 2.7191$ $\gamma = -16.67$
太麻里鄉	Logistic	$\sigma = 1348.9$ $\mu = 45.646$	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.38077$ $\mu = 2.7191$ $\gamma = -16.67$
鹿野鄉	Weibull (3P)	$\sigma = 2.8018$ $\beta = 5166.6$ $\gamma = -4565.6$	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.38077$ $\mu = 2.7191$ $\gamma = -16.67$
東河鄉	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.11608$ $\mu = 9.7944$ $\gamma = -7929.0$	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.38077$ $\mu = 2.7191$ $\gamma = -16.67$

表 3 各地區釋迦單產風險及價格風險相關性之 copula 模型選擇

地區	copula 模型	參數 θ	Kendall- τ	Spearman- ρ	歐式距離
臺東縣	t-copula	-0.4708	-0.3121	-0.4269	0.0204
臺東市	Frank-copula	-2.3936	-0.2521	-0.3715	0.0286
卑南鄉	Frank-copula	-3.4963	-0.3490	-0.5055	0.0261
太麻里鄉	t-copula	-0.6844	-0.4798	-0.6417	0.0054
鹿野鄉	Frank-copula	-2.8771	-0.2964	-0.4337	0.0171
東河鄉	Frank-copula	-1.5066	-0.1637	-0.2438	0.0120

Kendal- τ 測度單產波動與價格波動變化的一致性程度，如果運動方向一致，將很難實現風險分散。Spearman- ρ 秩相關係數 (Spearman's rank correlation coefficient) 則考察量價變化的協調性，即當單產波動發生變化時，價格波動是否也會發生變化，以及變化方向與變化幅度如何。依 Kendal- τ 和 Spearman- ρ 秩相關係數而言，各地區釋迦的單產波動和價格波動之間皆存在負向相關，即單產風險和價格風險之間具有抵消關係。

三、收入風險模擬

收入風險同時受產量風險和價格風險之影響。臺東縣釋迦主要產地之每公頃收入敘述統計如表 4 所示。由表中很清楚得知歷年各地每公頃收入的高低值變動甚大，介於 19 萬至 118 萬元之間，顯示收入保障的重要性。

由於依有限的量價資料進行費率釐訂，恐不能反映真實發生損失機率與幅度，故在確定單產風險、價格風險邊際機率分配之後，以及在量價聯合機率分配的基礎上，以蒙地卡羅法分別抽樣 10,000 次，得到 10,000 個單產波動、價格波動數列，即可模擬求得 10,000 對產量和價格資料，將二者相乘即得 10,000 對收入資料，以此作為釋迦收入保險的收入樣本。以類比收入的平均值作為單位面積期望收入，反映產量和價格共同波動情況下農民獲得的收入平均值。

表 4 臺東縣主要釋迦產地每公頃收入敘述統計

單位：元/公頃

統計	臺東市	卑南鄉	太麻里鄉	鹿野鄉	東河鄉
最大值	929,713	895,316	1,128,280	1,175,367	1,102,502
最小值	239,175	236,538	326,389	170,833	194,210
標準差	209,953	231,674	253,078	310,368	215,875
平均數	620,870	592,787	659,094	650,184	566,808
變異係數	0.34	0.39	0.38	0.48	0.38

四、保險費率釐訂

為釐訂不同保障程度之釋迦收入保險費率，設定 80%、85%、90%、95%、100% 等五級保障程度。各地區收入保險純費率釐訂結果，如表 5 所示。表中除五個主要釋迦產地外，因這些產地均位於臺東縣，故在農糧署農情調查資料中也有以縣為單位的產量，同時考量目前釋迦收入保險係採不分地區的單一保費，因此，本文除釐訂各地保費之外，也呈現整個縣級的保費。

純保費，又稱為公平保費，總理賠等於總保費，是真實反映風險訂價情形。由表 5 得知：保障程度愈高，純費率也愈高，因發生理賠機率及理賠金額也較高之故。五個產地中，臺東市、卑南鄉、太麻里鄉的純費率明顯高於鹿野鄉、東河鄉，由於不同產地均面臨共同的價格，故費率差異係來自產量的不同；換言之，臺東市、卑南鄉、太麻里鄉受到颱風豪雨或焚風等天災造成產量損害頻率或損害程度都較高，隱含此三地的自然風險較高。此外，針對整體臺東縣而言，其純費率則介於三地高風險與其餘兩地低風險之間。不分地區別的單一費率，將會出現吸引高風險地方來投保之逆選擇問題，而且因以縣級單產為計算基礎，恐也與各地的單產有較明顯的出入，將發生基差風險的問題。或許仍以回歸至各地的差異費率為宜，但也要政府同時配合高保費高補助之支持措施，以兼顧農民負擔與保險原理，有助於農業保險的推行。

此外，鹿野鄉與東河鄉因自然風險較低，純費率也低，鹿野鄉甚至在保障程度 90% 以下時純費率為 0%，表示不會出現理賠情形。

綜合考量各地費率之調和性，建議臺東市、卑南鄉、太麻里鄉三地的保障程度最多不高於 90%，而鹿野鄉與東河鄉的保障程度至少不低於 90%，以降低各地保費差異性及減輕政府補助負擔。

基於實務考量，依安全係數將純費率提高 10%，因釋迦收入保險不必至現場勘災定損，管銷之附加費用可降至 10% 保費，且因此保險定位為政策性保險無盈無虧，故預定

結餘率為 0%³，則得毛費率如表 6 所示。保費即依毛費率乘上基準收入及保障程度求得。

表 5 不同保障程度下釋迦收入保險費率釐訂：純費率

保障程度	80%	85%	90%	95%	100%
臺東縣	0.4866	0.9019	1.6368	2.8759	4.7592
臺東市	2.2254	3.2251	4.5395	6.1732	8.1207
卑南鄉	2.0082	2.8285	3.9526	5.4638	7.3809
太麻里鄉	2.3418	3.2218	4.4007	5.9125	7.7889
鹿野鄉	-	-	0.0016	0.3395	2.2271
東河鄉	0.0036	0.0537	0.3368	1.2436	3.1838

表 6 不同保障程度下釋迦收入保險費率釐訂：毛費率

保障程度	80%	85%	90%	95%	100%
臺東縣	0.5947	1.1023	2.0005	3.5150	5.8168
臺東市	2.7199	3.9418	5.5483	7.5450	9.9253
卑南鄉	2.4545	3.4571	4.8310	6.6780	9.0211
太麻里鄉	2.8622	3.9378	5.3786	7.2264	9.5198
鹿野鄉	-	-	0.0020	0.4149	2.7220
東河鄉	0.0044	0.0656	0.4116	1.5200	3.8913

註：安全係數 10%、附加費用 10%、預定結餘率 0%。

³ 基本上，釋迦收入保險定位為政策性保險，由政府主導規劃，與其他農業保險係以獲利為考量之商業保險有所不同。因此，本文在釐訂費率時即假設預定為結餘率 0%，確保無盈無虧，且設定附加費用 10% 亦低於一般保險公司至少為 22%。因此，政策性保險之保費會低於商業保險。

其中，基準收入為基準產量與基準價格之乘積，基準產量為該地方過去 5 年之單產奧林匹克平均值，基準價格亦為過去 5 年之批發價格奧林匹克平均值。因此，各地不同保障程度之保障收入如表 7 所示。各地因地勢、位置的不同，單產差異明顯，例如東河鄉每公頃僅 8,013 公斤，而鹿野鄉及太麻里鄉則超過 12,000 公斤，故影響各地的基準收入。將此基準收入與不同的保障程度相乘，即為各地不同的保障收入，是農民參與釋迦收入保險之後至少確定的預期收入。雖因資料限制，無法以個人產量與價格為計算基礎，然其所代表的意義是農民個人收入不會低於地區的平均收入，故收入保險具有保障地區平均收入水準的涵義。

將表 6 的毛費率與表 7 的保障收入相乘，即得各地的保險費，如表 8 所示。依保障程度 100% 而言，各地保費相差相當大，東河鄉的 25,303 元與太麻里鄉的 95,463 元，相差達 3.77 倍，若以整個臺東縣折衷來看，則每公頃保費也要 47,695 元，並不便宜。當然，農民也不一定要選擇百分百的收入保障，若個人願意承擔部分損失（即自負額），則保費相對較為便宜，例如太麻里鄉農民選擇 90% 保障程度，則保費明顯減少一半至 48,543 元，或選擇 80% 保障程度，則保費再降為 22,961 元。不同的保障程度對應不同的保費，可讓農民依其風險態度、保險需求及負擔能力來進行選擇，各取所需。

表 7 2019 年各地不同保障程度之釋迦保障收入

保障程度	單位：元/公頃				
	80%	85%	90%	95%	100%
臺東縣	655,961	696,959	737,957	778,954	819,952
臺東市	599,824	637,313	674,802	712,291	749,780
卑南鄉	650,978	691,664	732,350	773,036	813,722
太麻里鄉	802,232	852,371	902,511	952,650	1,002,790
鹿野鄉	819,305	870,511	921,718	972,924	1,024,131
東河鄉	520,193	552,706	585,218	617,730	650,242

表 8 不同保障程度下釋迦收入保險費：Copula 法

單位：元/公頃

保障程度	80%	85%	90%	95%	100%
臺東縣	3,901	7,683	14,763	27,380	47,695
臺東市	16,315	25,122	37,440	53,742	74,418
卑南鄉	15,978	23,911	35,379	51,623	73,407
太麻里鄉	22,961	33,564	48,543	68,842	95,463
鹿野鄉	-	-	18	4,037	27,877
東河鄉	23	363	2,409	9,389	25,303

不過，因為農業保險的保費多不便宜，各國政府也多會補助保費以減輕農民負擔，例如農委會即對釋迦收入保險的保費補助 50%，地方政府也共襄盛舉再補助 5%，故農民只需負擔 45% 的保費。

依前述綜合考量各地保費之調和性，建議臺東市、卑南鄉、太麻里鄉三地提供保障程度 80%、85%、90% 三級保障選擇，而鹿野鄉與東河鄉提供保障程度 95%、100% 二級保障選擇，則每公頃保費均落在 50,000 元以內，扣除政府補助，農民負擔最多 21,844 元。

五、比較

如前所述，臺灣從 2017 年開辦釋迦收入保險，然其實際費率係依歷史資料模擬法計算求得，即依各地單產過去 5 年奧林匹克平均值為基準產量，與過去 5 年批發價格奧林匹克平均值為基準價格，將基準產量與基準價格相乘所得的基準收入，再乘上不同保障程度，即為不同保障程度之下的保障收入，依此與實際收入相比，即為收入損失情形。韓國及美國的作物收入保險亦循此方式決定理賠（楊明憲，2017）。因釋迦經濟作物生長年限為 15 年，故以過去 15 年的發生收入損失頻率與損失幅度相乘所得的純保費，確保 15 年週期無盈無虧。採用與 copula 相同的安全係數 10%、附加費用 10%、預定結餘率

0%，計算所得保費如表 9 所示。

比較表 8 與表 9，就整體臺東縣而言，以歷史模擬法所得保費較 copula 法有高有低，但平均低約 1,431 元。但若細看各地保費，則保費差異較為明顯，以保障程度 100% 而言，臺東市、卑南鄉及太麻里鄉均屬於高保費地區，依歷史模擬法所得保費均明顯較 copula 法為低，每公頃低約 8,528 元至 30,407 元之間。但隨保障程度下降，不同保費求算法的結果差異性即縮小，甚至卑南鄉在 95% 保障程度以下的保費以 copula 法較低。反觀鹿野鄉與東河鄉屬於低保費地方，依歷史模擬法所得保費較高，但不同保障程度的差異性較小。綜合而言，以 copula 法釐訂保費具有變動較大之特性，即高保費較高、低保費較低。此即說明若在有限的量價資料僅依歷史模擬法進行費率釐訂，恐不能反映真實發生損失機率與幅度，而使得高風險地區的保費有低估、而低風險地區的保費又有高估的問題，從而不一定可確保無盈無虧之收支平衡。因此，依歷史模擬法可參酌 copula 法在保費安全係數上予以彈性調整，即高風險地區的安全係數宜調高，而低風險地區的安全係數宜調降，以使合理的賠付獲得理論實證結果的支持，而非僅是經驗猜測，並可避免逆選擇問題，有利於收入保險的長期推動。

表 9 不同保障程度下釋迦收入保險費：歷史模擬法

保障程度	單位：元/公頃				
	80%	85%	90%	95%	100%
臺東縣	3,044	9,252	15,560	27,117	39,294
臺東市	7,108	12,884	21,667	31,461	45,308
卑南鄉	24,227	33,544	42,862	52,396	64,879
太麻里鄉	18,300	23,976	34,820	49,277	65,056
鹿野鄉	13,053	17,738	26,127	35,739	45,351
東河鄉	1,778	4,532	9,720	17,420	29,044

六、政策涵義與建議

釋迦收入保險為政策性保險，與政策所要保障農民收入的目標一致，但保費是保險中最為關鍵項目。copula 法善用資料之量價關係及聯合機率分配特性，有助於調整歷史模擬法所釐訂之保費，使不同風險地區的保費差異化，可避免逆選擇問題。同時，因為釋迦收入保險係採用地區產量及市場價格，可防止道德風險。如此保費釐訂與保單設計將可有效解決保險在逆選擇與道德風險之兩個基本問題。至於農民所負擔的保費，則需要政府補助；依保險原理，建議自負額較高（即保障程度較低）的保費可提高保費補助比例，以及考慮各地保費調和性，高風險地區之保障程度也宜低於低風險地區。如此可確保長期的保險財務收支平衡，賠付率在合理範圍內。惟為避免基差風險，依農情調查所採用的地區產量資料，建議仍宜縮小調查區域，或設計不同的產量係數的保費，以符合農民實際生產情形。

此外，因為臺灣已有天災救助機制，考量與農業保險之間的競合關係，實有必要釐清。當初在規劃釋迦收入保險時，政府即打算將天災救助金額從保費補助中扣除，但因農民反對而作罷，也因此形成農業保險與天災救助雙軌並行的方式。基本上，依美國經驗可將天災救助視為保險不保事項才列入救助，或是屬於保險不賠的巨災才列為政府承擔，但因臺灣天災救助的定位為災後復原，金額不大，可定位為基本保障，故依國外經驗可整合為兩層式保險，也就是天災救助作為底層的基本保障，上層再疊加現有的農業保險（含作物收入保險），此即將天災救助與農業保險結合，以建構完整的農業所得保障機制。但不論天災救助與農業保險如何結合，並不影響上述應用 copula 模型之費率釐訂。未來可另文研究有關天災救助與農業保險之制度整合。

伍、結論

由於作物收入保險是農業保險發展的新趨勢，本文即以產量與價格之間的負相關性，應用 copula 聯合機率密度函數，以釐訂釋迦收入保險費率。臺灣釋迦產地集中在臺東縣，以臺東市、卑南鄉、太麻里鄉、鹿野鄉、東河鄉等五地為主。結果顯示：臺東市、卑南鄉、太麻里鄉的保險費率明顯高於鹿野鄉、東河鄉，代表各地因位置與生產環境的不同而有不同風險。另針對整體臺東縣而言，其費率則介於三地高風險與其餘兩地低風險之間。若不分地區別的單一費率，將會出現吸引高風險地方來投保之逆選擇問題，而且因以縣級單產為計算基礎，恐也與各地的單產有較明顯的出入，將發生基差風險的問題。建議仍以回歸至各地的差異費率為宜，但也要政府同時配合高保費高補助之支持措施，以兼顧農民負擔與保險原理，有助於農業保險的推行。綜合考量各地費率之調和性，建議臺東市、卑南鄉、太麻里鄉三地的保障程度最多不高於 90%，而鹿野鄉與東河鄉的保障程度至少不低於 90%，以降低各地保費差異性及減輕政府補助負擔。

針對 copula 法保險費率釐訂結果，進一步與目前依歷史模擬法的實際保費比較，因歷史模擬法的有限量價資料恐不能反映真實發生損失機率與幅度，而使得高風險地區的保費有低估、而低風險地區的保費又有高估的問題，從而不一定可確保無盈無虧之收支平衡。因此，依歷史模擬法可參酌 copula 法在保費安全係數上予以彈性調整，即高風險地區的安全係數宜調高，而低風險地區的安全係數宜調降，以使合理的賠付獲得理論實證結果的支持，而非僅是經驗猜測。

本文所引用的單產及價格資料為政府及市場公開資料，並非農民個人資料，可避免道德風險，但為縮小基差風險，可考量將農情調查範圍由鄉鎮縮小為較小區域；而逆選擇問題，主要在差異保費，故以各鄉鎮釐訂不同保費而非單一費率，並參酌 copula 法將保費安全係數予以調整，則將可避免此問題。

惟單產係以地方鄉鎮為範圍調查所得平均產量，若能縮小調查範圍至村里，將更貼近農民個別的實際產量，而價格係批發價格，亦與農民直接銷售的產地價格有所不同，

故依此所得保障收入將有所高估，從而保費亦較高，但因理賠仍依批發價格計算實際收入，故不影響理賠金額。

依產量與價格之負相關性而形成的聯合機率分配，為本研究之特色，亦適合應用在收入保險費率之探討。不過，進一步探討量價負相關，其中的量應為供應市場的總產量，而非單產，但若在種植面積變化不大的情形下，單產與總產量具有高度相關，因此單產與價格也會顯現負相關的特性。本文的相關係數已經由 Kendal- τ 及 Spearman- ρ 計算檢定確認為負相關，故保險費率具有相當的可靠性。此外，為確保量價之間的負相關，政府對於市場機制的運作亦不宜介入，以使 copula 法正確釐訂保險費率。

農業為高風險的產業，不僅經常面臨生產過程中的自然風險，也必須面對產出的價格風險，由於產量與價格具有負相關，自然風險與價格風險可能相互部分抵銷，而使得收入波動程度相對較低，即收入保險的保費較傳統的產量保險為低⁴。因此，保費較低、又可涵蓋自然風險與價格風險，並可確保最後的生產收入，難怪收入保險已成為政策上積極推動的險種。期望本文在保費釐訂的研究，有助於釋迦收入保險之持續推動，以落實保障農民收入之政策目標。

(收件日期為民國 109 年 3 月 31 日，接受日期為民國 110 年 4 月 1 日)

⁴ 收入保險不同於傳統的天災保險，楊明憲 (2017) 即曾試算保費比較，若以保險覆蓋率 100% 而言，整體臺東縣每公頃保費即要 71,824 元。由於天災保險只針對產量減少的風險，而收入保險尚包括價格下跌的風險，在相同保險程度下，收入保險的保費明顯低於天災保險，每公頃保費至少減少 6,258~31,047 元之間。

參考文獻

一、中文部分

- 朱俊生與庾國柱，2016，「農業保險與農產品價格改革」，中國金融，20：73-75。(Zhu, J. S. and G. Z. Tuo, 2016, "Agricultural Insurance and Agricultural Product Price Reform", *China Finance*, 20: 73-75.)
- 周國端，2005，「臺灣社會保險制度之實證研究-財富重分配效果分析」，臺大管理論叢，15：43-70。(Jou, D. G. D., 2005, "Empirical Study on the Taiwan's Social Security System-Analyzing the Effects of Wealth Redistribution", *NTU Management Review*, 15: 43-70.)
- 庾國柱與朱俊生，2016，「論收入保險對完善農產品價格形成機制改革的重要性」，保險研究，6：3-11。(Tuo, G. Z. and J. S. Zhu, 2016, "Revenue Insurance: An Important Means to Perfect the Farm Produce Price Formation Mechanism Reform", *Insurance Studies*, 6: 3-11.)
- 張君，2018，「我國農業收入保險及其訂價研究」，吉林財經大學金融學院碩士論文。(Zhang, J., 2018, *Agricultural Income Insurance and The Research of Pricing in China*, Master's Thesis, School of Finance, Jilin University of Finance and Economics.)
- 晁娜娜、楊訥華與羅少凡，2017，「基於 Copula 模型的棉花收入保險費率測算研究」，統計研究，34：92-99。(Chao, N. N., R. H. Yang, and S. F. Luo, 2017, "A Study on Estimation of Premium for Cotton Revenue Insurance based on Clayton Copula Function", *Statistical Research*, 34: 92-99.)
- 楊明憲，2017，「強化農業收入保險之推動規劃研究」，行政院農業委員會研究計畫，臺北：行政院農業委員會。(Yang, M. H., 2017, "Study on Promoting and Planning for

- Strengthening Agricultural Revenue Insurance”, Research Report of the Council of Agricultural, Executive Yuan, Taipei: Council of Agriculture, Executive Yuan.)
- 楊明憲，2018，「韓國農業收入保險之探討與分析」，農政與農情，315：78-86。(Yang, M. H., 2018, “Discussion and Analysis of Agricultural Revenue Insurance in Korea”, *Agricultural Policy & Review*, 315: 78-86.)
- 楊明憲與周孟嫻，2017，「日本農業收入保險規劃之探討與分析」，農政與農情，300：72-78。(Yang, M. H. and M. X. Zhou, 2017, “Discussion and Analysis of Japan’s Agricultural Revenue Insurance Planning”, *Agricultural Policy & Review*, 300: 72-78.)
- 農林水產省，2016，收入保險制度和農業災害賠償制度的問題和應對措施，東京：農林水產省，取自：https://www.maff.go.jp/j/study/syunyu_kento/03_shiryo/attach/pdf/kento_03-3.pdf，檢索日期：2016 年 11 月 30 日。(Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2016, Issues and Directions of the Revenue Protection System and the Compensation System for Agricultural Disasters, Tokyo: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Retrieved November 30, 2016, from https://www.maff.go.jp/j/study/syunyu_kento/03_shiryo/attach/pdf/kento_03-3.pdf.)
- 謝鳳傑、王爾大與朱陽，2011，「基於 Copula 方法的作物收入保險訂價研究—以安徽省阜陽市為例」，農業技術經濟，4：41-49。(Xie, F. J., E. D. Wang, and Y. Zhu, 2011, “Crop Revenue’s Insurance Pricing based on Copula Method—Case Study of Fuyang City, Anhui Province”, *Journal of Agrotechnical Economics*, 4: 41-49.)
- 謝鳳傑、吳東立與趙思喆，2017，「基於 Copula 方法的大豆收入保險費率測定：理論與實證」，農業技術經濟，2：111-121。(Xie, F. J., D. L. Wu, and S. Z. Zhao, 2017, “Measurement of Soybean Revenue Insurance Premium Rate Based on Copula Method: Theory and Empirical Research”, *Journal of Agrotechnical Economics*, 2: 111-121.)

二、英文部分

- Ahdika, A., D. Rosadi, A. R. Effendie, and Gunardi, 2019, “Modeling Indemnity of

- Revenue-Based Crop Insurance in Indonesia using Time-Varying Copula Models”, in *Proceedings of the 8th SEAMS-UGM International Conference on Mathematics and Its Applications*, Yogyakarta, Indonesia.
- Ahmed, O. and T. Serra, 2015, “Economic Analysis of the Introduction of Agricultural Revenue Insurance Contracts in Spain Using Statistical Copulas”, *Agricultural Economics*, 46: 69-79.
- Bielza, M., A. Garrido, and J. M. Sumpsi, 2004, “Revenue Insurance as an Income Stabilization Policy: An Application to the Spanish Olive Oil Sector”, *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 70: 5-27.
- Botts, R. R. and J. N. Boles, 1958, “Use of Normal-Curve Theory in Crop Insurance Ratemaking”, *Journal of Farm Economics*, 40: 733-740.
- Coble, K. H., T. O. Knight, B. K. Goodwin, M. F. Miller, and R. M. Rejesus, 2010, *A Comprehensive Review of the RMA APH and COMBO Rating Methodology Final Report*, United States Department of Agriculture, Risk Management Agency.
- Cole, J. B. and R. Gibson, 2010, “Analysis and Feasibility of Crop Revenue Insurance in China”, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1: 136-145.
- Dismukes, R. and K. H., Coble, 2006, “Managing Risk with Revenue Insurance”, *Amber Waves: The Economics of Food, Farming, Natural Resources, and Rural America*, 4: 22-27.
- Duarte, G. V., A. Braga, D. L. Miquelluti, and V. A. Ozaki, 2018, “Modeling of Soybean Yield Using Symmetric, Asymmetric and Bimodal Distributions: Implications for Crop Insurance”, *Journal of Applied Statistics*, 45: 1920-1937.
- Duarte, G. V. and V. A. Ozaki, 2019, “Pricing Crop Revenue Insurance Using Parametric Copulas”, *Revista Brasileira de Economia*, 73: 325-343.
- Embrechts, P., F. Lindskog, and A. McNeil, 2003, “Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management”, in Rachev, S. T., eds., *Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance*, 329-384, Amsterdam: Elsevier.
- Ghosh, S., J. D. Woodard, and D. V. Vedenov, 2011, “Efficient Estimation of Copula Mixture Models: An Application to the Rating of Crop Revenue Insurance”, in *Proceeding of*

- Agricultural & Applied Economics Association's 2011 AAEA & NAREA Joint Annual Meeting*, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Glauber, J. W., 2013, "The Growth of the Federal Crop Insurance Program, 1990-2011", *American Journal of Agricultural Economics*, 95: 482-488.
- Goodwin, B. K. and A. Hungerford, 2015, "Copula-Based Models of Systemic Risk in US Agriculture: Implications for Crop Insurance and Reinsurance Contracts", *American Journal of Agricultural Economics*, 97: 879-896.
- Goodwin, B. K. and A. P. Ker, 2002, "Modeling Price and Yield Risk", *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in U.S. Agriculture*, 23: 289-323.
- Goodwin, B. K. and O. Mahul, 2004, *Risk Modeling Concepts Relating to Design and Rating of Agricultural Insurance Contracts*, Washington, DC : World Bank Publications.
- Goodwin, B. K., M. C. Roberts, and K. H. Coble, 2000, "Measurement of Price Risk in Revenue Insurance: Implications of Distributional Assumptions", *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 25: 195-214.
- Johnson, M. E and A. Tenenbein, 1981, "A Bivariate Distribution Family with Specified Marginal", *Journal of the American Statistical Association*, 76: 198-201.
- Just, R. E. and Q. Weninger, 1999, "Are Crop Yields Normally Distributed?", *American Journal of Agricultural Economics*, 81: 287-304.
- Miqueleto, G. J., 2011, *Contributions to the Development of Agricultural Revenue Insurance for Brazil: Theoretical and Empirical Evidence*, Doctoral Dissertation, Luiz de Queiroz College of Agriculture, University of São Paulo.
- Nelsen, R. B., 1998, *An Introduction to Copulas*, New York: Springer.
- Nonghyup Property & Casualty Insurance, 2018, *Korea Crop Annual Report*, Seoul: Nonghyup Property & Casualty Insurance.
- Ramirez, O. A., S. Misra, and J. Field, 2003, "Crop-Yield Distributions Revisited", *American Journal of Agricultural Economics*, 85: 108-120.
- Ramsey, A. F., S. K. Ghosh, and B. K. Goodwin, 2020, "Rating Exotic Price Coverage in Crop Revenue Insurance", *Agricultural Finance Review*, 80: 609-631.
- Ramsey, A. F., B. K. Goodwin, and S. K. Ghosh, 2019, "How High the Hedge: Relationships

between Prices and Yields in the Federal Crop Insurance Program”, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 44: 227-245.

Sklar, A., 1959, “Fonctions de Répartition à n Dimensions et Leurs Marges”, *Publications de l’Institut Statistique de l’Université de Paris*, 8: 229-231.

Tolhurst, T. N. and A. P. Ker, 2015, “On Technological Change in Crop Yields”, *American Journal of Agricultural Economics*, 97: 137-158.

United States General Accounting Office, 1998, *Crop Revenue Insurance: Problems With New Plan Need to Be Addressed*, Washington DC: United States General Accounting Office.

A Study on the Determination of the Revenue Insurance Premium Rate of Sugar Apple: Application of Copula's Joint Probability Density Function

Min-Hsien Yang *, Nana Chao **, and Ruihua Yang ***

Abstract

Crop revenue insurance is a new trend in the development of agricultural insurance. Since crop revenue insurance can avoid natural risks and price risks to ensure the stability of farmers' income, it has become increasingly popular abroad recently. Due to the negative correlation between output and price, this article based on the yield and price changes of Taiwanese sugar apple revenue insurance, uses the copula joint probability density function to determine the insurance premium rates at different revenue-base and degree of protection, and compares with the empirical results of historical simulation method. It is expected that findings of this article would improve the design of Taiwanese sugar apple revenue insurance, and provide the actuarial meaning of rate determination. The estimated result shows that the higher the degree of protection, the higher the insurance rate. In terms of 100% protection, the pure premium rate of each region is between 2.22% and 8.12%. Based on different revenue-base, the premium per hectare is 25,303 NT dollar to 95,463 NT dollar. The result of the copula method insurance premium rate determination is further compared with the current actual premium estimated by

* Professor, Feng Chia University, Taiwan. Corresponding Author.

** Associate Professor, Shanxi University of Finance and Economics, China.

*** Professor, China Agricultural University, China.

DOI: 10.3966/054696002021060109003

the historical simulation method. Because the limited yield and price data of the historical simulation method may not reflect the true probability and magnitude of loss, the premiums in high-risk areas are underestimated and low-risk areas have the problem of overestimating premiums, which may not necessarily ensure financial balance.

Keywords: Agricultural Insurance, Revenue Insurance, Copula Probability Distribution, Premium Rate

JEL Classification: Q18