

# 綠能屋頂對於畜牧業經營之共效益分析： 以雲林縣為例

陳俊愷<sup>1</sup> 鍾秋悅<sup>2\*</sup>

## 摘 要

因應氣候變遷，世界各國積極投入再生能源開發。再生能源中的太陽能發電為我國首要推廣的綠能。然而，過往文獻對太陽能板發電的探討多著重於技術層面的討論，對於綠能屋頂於企業經營帶來效益的文章付之闕如。因此，本研究將探討畜牧場搭建綠能屋頂，對農企業所產生的共效益效果。本研究以我國畜牧業產值和太陽能板發電量最高的雲林縣作為研究地區，結果將具有指標性意義。本研究利用2018年雲林縣太陽能板設置資料，配合畜產肉品資料等多項政府統計資料，計算出雲林縣畜牧業主搭建太陽能板所產生的發電售電收益與綠能飼養收益。結果顯示，雲林縣20個鄉鎮232筆畜牧場屋頂型太陽能板面積約為657,267平方公尺，相當於雲林縣畜牧用地面積的4.3%。這些太陽能板的年發電量可達75,256,420瓩，相當於可減少40,112公噸的二氧化碳，年發電售電總收益為328,508,267元，平均每年每戶畜牧場(約2,833平方公尺)可得1,415,984元的收益。每年以綠能飼養豬隻的收益可達322,821,122元，平均每個畜牧場每年收益為1,391,470元。其中又以麥寮鄉的發電收入和綠能飼養家禽家畜收益為最高。平均而言，雲林縣每戶畜牧場的綠能屋頂每年有2,807,454元的收益，其中售電收益佔50.46%，稍微高於綠能飼養收益的49.54%。研究結果應證，目前在農產業實施的綠能政策可對我國高碳排的畜牧帶來共效益效果。

**關鍵詞：**太陽能，綠能政策，共效益，畜牧業，雲林縣

## 1. 前 言

近年來氣候變遷對社會、經濟及環境造成的衝擊日益明顯。根據臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)發布的IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱IPCC)氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告(科技部等, 2021)指出，臺灣自1910年至2020年的110年間，平地年均氣溫上升約攝氏1.6°C，高於全

球的1.5°C，且近年來臺灣氣候增溫有加速的情形。再者，未來我國的夏季天數將增加，冬天日數將減少。這意味著我國未來夏季期間將長而炎熱，可能因此改變社會經濟的運作。推究造成我國暖化情形嚴重的主要因為，我國能源部門排放溫室氣體的比例極高，佔整體排放量的90.75%，位居所有部門之冠(行政院環保署, 2018)。這是由於我國能源主要以燃燒化石燃料的火力發電為主，火力發電所產生的二氧化碳是造成氣候暖化最大的來源(Chikkatur et

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學農企業管理系 碩士生

<sup>2</sup> 國立屏東科技大學農企業管理系 副教授

\*通訊作者，電話: 08-7793202#7811, E-mail: [yessicachung@mail.npust.edu.tw](mailto:yessicachung@mail.npust.edu.tw)

收到日期: 2021年08月16日

修正日期: 2021年11月02日

接受日期: 2021年11月17日

*al.*, 2011)<sup>1</sup>。

為降低溫室氣體，世界各國無不積極推動溫室氣體的減緩政策與氣候調適政策來因應暖化帶來的負面影響。聯合國氣候變化綱要公約在2015年第21次締約方大會(COP21)通過「巴黎協定」(Paris Agreement)等溫室氣體減量相關規範。我國為能符合國際規範，也於2015年立法通過「溫室氣體減量及管理法」，並於2017年訂定「能源發展綱領」，作為國家能源相關政策之方針(經濟部，2017)<sup>2</sup>。由此，更確立了我國於2025年達成非核家園的願景。因非核家園中宣示要將再生能源的佔比提升至20%，故促成了我國再生能源投資的蓬勃發展。其中，太陽能光電成長最為迅速，每年達2.03%的成長率(經濟部能源局，2019)。

過去許多文獻支持太陽能發電的發展，文獻指出太陽能發電有許多益處，如其為乾淨且免費的能源、容易取得、更加貼近消費者、友善環境、減少溫室氣體排放、安靜等(Sampaio & González, 2017)。此外，設置綠能屋頂不但可獲得售電收入，亦可使頂樓樓板溫度下降3~4度(陳皇誠與劉光盛，2014)，並減少碳排放量。依據行政院環保署(2019)公告2018年電力碳排放係數，每度綠電約減碳0.533公斤。不僅如此，光電業者、農業綠能發展資訊網、中時新聞皆提出搭建屋頂型太陽能板對於畜舍能發揮降溫作用，業者更提到可降到接近攝氏5度左右(全利能源實業股份有限公司、農業綠能發展資訊網、中時新聞網，2021)。然而，目前探討太陽能板應用於農業經營的文章相對較少。雖有不少農業相關文章指出溫度對於農、畜牧生長有相當重要的影響。例如，豬隻對於熱緊迫特別敏感，因豬隻具有較厚的皮下脂肪，且缺乏汗腺，當其發生熱緊迫時，生殖能力會變差且增加死亡率及發病率(Ross *et al.*, 2015)。同樣的，雞處於高溫環境時，會降低食物攝取量，同時造成體重下降，亦會影響食物的轉化

率(Donkoh, 1989)。而乳牛的熱負荷大於散熱能力時，便會造成熱緊迫，其臨界溫度將取決於幾個因素，如生產速度、體重及飼養溫度等(West, 2003)。然而，目前國內外的文獻對於綠能的相關研究多著重於技術層面的探討，又或以探討太陽能設置對於農地的影響居多。例如，鍾麗娜與鄭明安(2015)於文章中提出，農地上的太陽能板發電在合約簽署完成後，依規定農地於簽訂時間內將無法繼續栽種，而對倚靠農業栽種維生的農民來說，太陽能種電將可能使農業日漸式微。

由目前的文獻可得知，太陽能板對於農業生產似乎百害而無一利，僅帶來權衡(Trade-offs)效果，但太陽能板具降溫效果，是否能在農業的其他部門帶來綜效效果或是共效益效果，目前仍無文獻做完整的探討。故，本文欲彌補文獻上的不足，以太陽能板應用於畜牧業的經營來探討我國發展再生能源對農業的共效益效果，並選擇我國農業大縣，雲林縣作為研究地區。雲林縣不僅為臺灣畜牧業的最大生產縣市，亦為我國太陽能板發展的重要縣市，以此作為研究地區具有指標性的意義。

本研究主要分析雲林縣太陽能板設置對於畜牧業經營的共效益效果。為達此研究目的，本文使用多項政府統計資料，以2018年雲林縣232筆畜牧場綠能屋頂型為例，計算出於畜牧場搭建太陽能板為畜牧業主所帶來的售電收入，以及因太陽能板降低室內溫度，而帶來的家禽、家畜的飼養收益。因此，本文主要貢獻為：1.有別於過去文獻著重於太陽能板對農業帶來的權衡效果，本文為國內外少數探討太陽能板對農業產生共效益的文章；以此篇文章來彌補過去文獻之不足。因此，本文不僅估算了綠能的直接收益，也計算了間接效益，以了解太陽能發電所帶來總收益(共效益效果)。再者，本研究所提出的計算方法和考慮的因子，可供未來相關研究分析其他縣市抑或其他產業

<sup>1</sup>2019年臺灣總發購電量為2,325億度，其中火力發電量佔比79.2% (台灣電力公司，2020)。

<sup>2</sup>此方針為重視能源安全、環境永續與綠色經濟及社會公平得以均衡發展。

時做參考。3.本文分別計算不同溫度下，對不同家禽、家畜，如牛、豬和雞隻所造成的泌乳及增肉效益，此結果可供相關業者做為搭設綠能屋頂時的參考。

本文結構安排如下：第二章以文獻探討我國再生能源發展政策，以及太陽能於畜牧業之間的共效益效果；第三章介紹研究資料及計算方法；第四章為實證結果；第五章則提出結論與建議。

## 2. 文獻探討

### 2.1 前言

本章節將依序介紹臺灣能源產業，並說明臺灣能源的發展歷程。首先說明政府如何透過政策來推行再生能源發展，減少依賴進口能源，使我國能源使用達到安全的原則。在2.3節將說明溫度對於各家畜、家禽的影響。2.4節則介紹氣候治理政策之共效益效果，以及回顧國內外共效益相關文獻。

### 2.2 臺灣再生能源產業介紹

臺灣為高度仰賴進口能源的國家，為避免國際能源波動影響國內能源供需價格，因此在能源政策上，我國特別著重於穩定的能源供應。然而，長期大量仰賴燃煤發電有違國際對抗氣候變遷之公約規範。隨著聯合國氣候變化綱要公約會議的召開，我國迄今共於1998、2005年、2009年及2015年召開了四次的「全國能源會議」，會議的共識皆以達成節能減碳及發展綠色能源為目標，以期我國能源的使用能穩定、永續發展。在法源上，我國於2009年制定了「再生能源發展條例」，2015年通過「溫室氣體減量及管理法」，並於2017年訂定「能源發展綱領」，作為國家能源相關政策之方針。由此，更確立了我國於2025年達到非核家園的目標。

非核家園的目標中，再生能源必須達總

能源使用的20%。再生能源包括了太陽能、風力、地熱能等能源。臺灣在再生能源發展上有先天劣勢，以太陽能為例，臺灣潮濕多雨，一年8,760小時中，能發電時間約為1,000小時，因此必須建構大規模的綠能設備來克服障礙(陳芙萱，2019)。此外，政府更是不遺餘力的推動綠能光電的發展，例如2010年由經濟部公布「再生能源電能躉購費率及其計算公式」，以期透過政策推動與補助來推動再生能源產業(黃公暉等，2010)。近年來，國內太陽能製程技術提升，發電效率得以提高，加上政府積極推動相關計畫如「陽光屋頂百萬座計畫」、「太陽光電2年推動計畫」、「太陽光電6.5 GW達標計畫」等以獎勵再生能源的應用，都促使相關產業快速發展(陳皇誠與劉光盛，2014)。另外，農委會為配合經濟部推動的再生能源發展條例，於2013年在「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」內增定了綠能專章。此專章特別指出，依再生能源發展條例第三條第一項第一款所定太陽能、風力及非抽蓄式水力設施，得設置於農業用地。

在政府各部門與民間上下齊力推動太陽光電發展的同時，探討太陽能效益的文章指出，太陽能板的設置常對農業發展帶來負面的影響。例如吳勁萱(2019)於文章中指出，綠能設施應用於農業時，常出現假農作、真種電的現象。再者，賴美君(2018)研究太陽能板設施對周圍農地價格的影響的文章指出，如將臺南市依農地價格分為五大分區，此五大分區中有四大分區因太陽能板設施使周圍地價上漲。由此可見，農地上的綠能設施不僅將使農地價格高漲，且不利農業發展及危及糧食安全。

然而，一個政策的立意原本應為產業及經濟帶來正面效果，不單只會產生權衡效果。所以，本研究試圖探討太陽能板於畜牧業所帶來之共效益效果，以彌補文獻上之不足。

### 2.3 太陽能板對家畜、家禽之影響

高溫對家畜、家禽的生長具有負面影響。



以豬隻為例，其生長的最佳溫度為20°C左右，在此溫度下每日增重及飼料轉化率將有良好的表現。溫度高於20°C時，平均每日增重減少與飼料消耗的減少呈現正相關(Rinaldo *et al.*, 2000)。高溫環境會直接影響豬隻的採食量；具體而言，溫度從20°C升高至30°C時，豬隻採食量減少40~80g/°C。體重方面，當環境溫度從20°C開始升高時，豬隻的平均日增重開始下降，且隨著溫度的提升越發嚴重，25°C較20°C下降約15%，30°C比25°C下降約19% (郝中禹、高鳳仙，2019)。在國人肉品需求中排名第二的白肉雞方面，其最佳生長溫度同樣為20°C。然當環境溫度升高至為25°C~30°C時，其平均體重較20度時下降約1.6%~21.6% (Donkoh, 1989)。

牛隻方面，荷蘭牛(Holstein)為臺灣最常見的乳牛(中華民國乳業協會)。其特徵為身上具有黑白斑點，牛乳生產效率最高，為世界飼養頭數最多的品種，約佔總頭數的93% (Holstein Association USA)。然而，荷蘭牛最適合的泌乳溫度為4.4~21.1°C，當環境日均溫度達24°C時，產乳性能就會下降，當環境溫度超過32°C，採食量降低約8~12%，產乳量約下降20~30% (許雲麗等，2006)。

上述研究結果顯示，若畜牧場的屋頂能搭建太陽能板，將對家禽、家畜的生長帶來正面的影響。興建太陽能板的首要目標為減少火力發電帶來的二氧化碳排放。而在樓頂設置太陽能板，不僅可獲得太陽能板售電的收入，亦可達到室內降溫效果。由陳皇誠與劉光盛(2014)的研究顯示，建置太陽能板的頂樓，樓板溫度可下降3~4度，並減少碳排放量，每度電約減碳0.612公斤。因此，可推測雲林畜牧業在搭建太陽能板時，不僅可對畜牧業的經營帶來售電的收入，亦可因室內降溫而產生飼養收益增加的正面效果。此效益即為政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change，簡稱IPCC)於AR5 (2014)所提倡之共效益效果。下一節將介紹此效果及相關文獻。

## 2.4 氣候治理政策之共效益效果

IPCC為聯合國組織之一，負責研究與評估氣候變遷。IPCC於AR4 (2007)綜合報告書中開始呼籲各國在研擬氣候變遷政策時，應該重視氣候減緩政策與調適政策間的交互效果，因而對交互作用下的權衡(Trade-offs)效果與綜效(Synergies)效果的提出了詮釋。IPCC AR4 (2007)內定義權衡效果為氣候治理之減緩與調適政策間，無法取得平衡時會產生彼此消長的負面效果。反之，綜效效益則為減緩與調適政策間，互相影響後產生加乘效果，意即兩個政策同時執行所帶來的正向效益會大於兩政策分開執行時的效益。IPCC更於AR5 (2014)報告書中進一步定義共效益效果。其解釋為，在因應氣候變遷制定氣候減緩或調適政策時，可能對其他部門產生正向效果時，則稱為共效益(Co-benefits)效果，也可稱作協生效益、附加效益，反之則為負面效果。IPCC AR5 (2014)鼓勵各國政府應該致力制定能對其他部門共效益效果的氣候治理政策，並減少產生負面效果的政策。

相對於我國，國外在研究氣候政策所引起的共效益分析的文獻不勝枚舉，但多以質性研究居多，量化研究相對不足。量化研究如Lobell *et al.* (2013)將投資於氣候調適政策所減少的溫室氣體定義為共效益，其研究顯示若能減少農耕土地轉換成其他部門使用，將有助於減少溫室氣體的排放。Cao *et al.* (2019)的研究則指出，中國若能減少碳排放量，將可降低嬰兒死亡率；平均減少5%碳排放量，即可減少1,120位因發育不全而死亡的嬰兒。Vandyck *et al.* (2020)則將共效益效果定義為減少空氣污染中溫室氣體的排放能同時促進人體健康。其研究顯示減少能源部門的碳排放，除了可以改善空氣品質以外，更進一步改善人類健康，但此種共效益會因地區的氣候差異、人口密集度和死亡率造成差異，人口數越少的國家，其共效益效果越小。

許多質化研究探討氣候調適與減緩政策間的共效益效果。如Suckall *et al.* (2015)於文章中提到，太陽能滴灌的減緩策略，不僅可以改善水質，也可減少碳排放並提高農民所得。Fleming *et al.* (2019)指出澳洲所實行的減緩政策-固碳耕作，不但提高了農場的生產效率，還改善了農場動物的福利。Wilcock *et al.* (2008)則於文章中提及，紐西蘭將牧草地轉變為森林地的減緩策略，會因為遮陰與溶氧量增加，提升河流水質，進而增加生物棲息的品質，達到共效益。

隨著共效益觀念受到重視，國內對於政策間共效益效果的相關研究也日益增多。例如，蔡育新等人(2021)最近的研究指出，因應氣候變遷所推動的都市重建計畫，不僅可以達到氣候減緩與氣候調適的政策目標，重建計畫可使建物退縮，並讓原有的人行空間與路邊空間得以增加，而達到了共效益的目的。再者，重建計畫將傳統的灰色基底轉化為綠色基底，可搭建多功能屋頂等方式進行設計，將有助於減少溫室氣體的排放達到減緩效益。高珮唯(2021)則以大臺北新五泰地區做為研究個案。其研究指出，若摒除過去工程技術手段進行防洪治理，改以自然為本的解決方案(Nature-based solution)來進行災害風險管理，將能提高對地表逕流的改善，且顯著降低了洪災潛勢效果。意即，以自然為本的調適方案不僅可以減少自然環境對經濟活動之負荷量，也使未來發展更具永續性，因而創造了共效益效果。

同為都市計畫層面，林逸璇(2016)指出近年來都市治水政策中的滯洪公園，不僅能防洪治水，還能提升環境效益。滯洪公園所帶來的共效益包含：水質淨化、調節氣候，補注地下水、灌溉用水，除此之外還提供休閒遊憩、增加生物的多樣性等正向效果。相同的，蕭儀婷(2014)研究臺北都會區之綠色基盤設施所帶來的碳效益與雨水逕流效益。其研究指出綠色基盤不僅對環境生態保育有益處，也有助於減少溫室氣體汙染、雨水造成的地表逕流，提升環

境的品質，可達減碳與保護環境品質的共效益效果。另一方面，龍世俊等(2018)則是以質性研究探討氣候調變遷與健康調適的課題。其研究提出未來四大研究方向，其中如何建構具有減緩氣候變遷與促進健康的共效益健康調適策略，是備受注目的研究議題。

以上研究可看出，目前探討氣候政策共效益的文章多侷限於都市計畫的範疇，氣候政策對農產業及鄉村經濟影響的相關文章付之闕如。故本研究中著眼於此，並以量化分析來探討臺灣的再生能源政策對農業經營的共效益效果。

### 3. 資料與研究方法

#### 3.1 研究地區

本文的研究地點為雲林縣。由行政院農委會農業統計資料查詢系統中的畜禽產品生產量值統計得知，雲林縣於2018年的畜牧業產值達330億元，佔全國畜牧總產值20%，位居全臺第一。其所佔面積達1,521公頃(佔全國面積19%)，亦為全臺之冠。更深入而言，雲林縣的豬隻數量約1,491,233頭，佔全國27%、肉雞數量約10,924,538隻，佔全國20%，皆為我國第一。乳牛數量約14,111頭，佔全國第四(行政院農業委員會，2018)。同時，由臺灣電力公司歷年統計，雲林縣於2017年度太陽光電裝置容量達395,860瓩，佔我國19%，僅次於臺南市(台灣電力公司，2021)。由此而知，雲林縣不僅為臺灣最大畜牧業生產縣市，更是太陽能發電量屬一屬二之縣市，故非常適合作為研究太陽能板於畜牧場之共效益的地區。

為呈現2018年雲林縣232筆搭建太陽能板的地理分布圖，本研究利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)將雲林縣屋頂型太陽能板畜牧場址與土地使用分區、氣象觀測站進行圖層套疊<sup>3</sup>。套疊結果如圖1顯示，雲林縣的畜牧業太陽能板的建置非常密



在溫度變數上，本研究由中央氣象局所提

<sup>3</sup> 本研究將畜牧設施及屋頂型綠能的場址或地號，輸入至國土繪測中心的定位查詢功能，找出其XY座標。再將XY座標資料整理輸入地理資訊系統中，同時輸入中央氣象觀測站XY座標，再與雲林縣鄉鎮市區圖進行圖層套疊，繪製出雲林縣畜牧業的屋頂型綠能設施的位置。



供的雲林縣各鄉鎮的觀測站取得各鄉鎮的日均溫度及天數。由於並非每個鄉鎮皆有氣象觀測站，本文將雲林縣各鄉鎮的地籍圖資與中央氣象局觀測站進行圖層套疊(如圖1)，再依觀測站與鄉鎮中心距離(本研究以各鄉鎮市公所作為中心點)，來選擇距鄉鎮中心較近的測站做為衡量依據<sup>5</sup>。

### 3.3 計算方法

#### 3.3.1 畜牧場設置太陽能板的發電收入

畜牧場設置綠能屋頂型後，將產生兩種效益。第一種效益為太陽能板發電的收入。第二種即為因設置太陽能板後，畜牧場的室內溫度將達到降溫效果，家禽、家畜的飼養效率提高，進而提高經營收入。前者，太陽能板發電收入高低主要受太陽能板本身的特質及其所在區域特性影響。在太陽能板的特質上，裝置容量、裝置數量與裝置型態為主要影響其發電量的因素。太陽能板設置地區的區域特性則以日照程度影響最大。由於迄今僅有鍾秋悅(2021)提出估算太陽能板發電收入的公式，故本文引用其公式來計算畜牧場太陽能板的發電收入。第二種太陽能飼養經營收入則由本研究導出。兩者分別說明如下：

首先，每戶的太陽能板裝置容量乘以裝置數量可得知總容量T(單位為瓩)如式(1)：

$$T = N \times C \dots\dots\dots (1)$$

N為裝置數量；C為每塊太陽能板的容量，雲林縣太陽能板資料庫中並無太陽能板所佔的畜牧場屋頂面積，因此，本研究以太陽能板的總容量來推估所佔之畜牧場的綠能屋頂面積，每個畜牧場屋頂的太陽能板面積(A)如式(2)：

$$A = T \times M \dots\dots\dots (2)$$

M為每塊太陽能板的面積(平方公尺)。裝置型態屋頂型與地面型所需面積並不相同。蕭子訓等(2017)文中提到，屋頂型較地面型節省空間，屋頂型太陽光電模組發電1瓩所需面積為10平方公尺，本研究中所探討之畜牧太陽能板僅屋頂型，故以總容量T每1瓩換算成屋頂型太陽能板面積10平方公尺。

在發電計算上，太陽能光電模組平均發電量為1瓩/小時，但最主要影響太陽能發電量的莫過於日照時數，本研究採用雲林縣綠能推動專案辦公室(2018)內文中所提雲林縣日照時數為3.5小時，再透過折抵天氣影響如下雨造成的損失後，得出太陽能板的總發電量計算公式如式(3)：

$$1 \times ESH \times (1 - F_{loss}) \times 365 \dots\dots\dots (3)$$

ESH為等效日照小時，根據雲林縣綠能推動專案辦公室(2018)資料可得知，雲林縣等效日照為3.5小時，參考蕭子訓等(2017)文章說明Floss<sup>6</sup>為整體的影響與損失係數。以年降雨量對屋頂型太陽能板的折抵影響大約介於10~13%做為Floss損失基準。為換算每個畜牧場業主發電的總瓩數，即是發電計算(3)乘以畜牧場業主

<sup>4</sup>依畜牧法第五條第四款提及，畜牧場主要設施應符合中央主管機關所定之設置標準。標準如下：肉豬每頭所佔面積為一至三平方公尺、乳牛每頭為二十五至五十平方公尺，白色肉雞每百隻為六至三十平方公尺。故本文在計算時，採每頭豬隻飼養面積約為3平方公尺、肉雞為0.3平方公尺、乳牛則為50平方公尺。

<sup>5</sup>本研究以下為各鄉鎮測站選擇：崙背鄉為崙背測站；二崙鄉為二崙測站；西螺鎮為西螺測站；莿桐鄉為莿桐測站；林內鄉為林內測站；臺西鄉為臺西測站；東勢鄉為雲林東勢測站；褒忠鄉為褒忠測站；元長鄉為元長測站；土庫鎮為土庫測站；大埤鄉為大埤測站；虎尾鎮為虎尾測站；斗六市為斗六測站；斗南鎮為斗南測站；古坑鄉為古坑測站；四湖鄉為四湖測站；口湖鄉為宜梧測站；水林鄉為水林測站；北港鎮為北港測站，麥寮鄉並無相對應測站，本研究選擇離麥寮鄉中心點較近的崙背測站為溫度依據。

<sup>6</sup>本研究採用蕭子訓等(2017)之研究，太陽能板的折抵效果(Floss)大約介於10~13%。本文採雨量做為估計Floss的基準計算。全臺年雨量最小值為1066，最大值為1903。本研究將全臺雨量分為三個等級，並以三個等級來計算Floss。別為1,066~1,344毫米以10%估計Floss；1,345~1,623毫米以11%估計Floss；1,624~1,902毫米的Floss值為12%，最大值1,903毫米則以13%計算。雲林縣各測站損失率分別為，崙背鄉10%；二崙鄉10%；西螺鎮10%；莿桐鄉11%；林內鄉11%；臺西鄉10%；東勢鄉10%；褒忠鄉10%；元長鄉11%；土庫鎮10%；大埤鄉11%；虎尾鎮11%；斗六市11%；斗南鎮11%；古坑鄉13%；四湖鄉10%；口湖鄉11%；水林鄉10%；北港鎮10%，麥寮鄉10%。

所擁有之總容量 $T$ (瓩)，可得出畜牧場業主總發電量(瓩)，計算公式如式(4)：

$$1 \times \text{ESH} \times (1 - F_{\text{loss}}) \times 365 \times T \dots\dots\dots (4)$$

為將發電量轉換成實際經濟收益，須將其乘以躉售費率，臺灣政府於2009年提出綠能保證收購制度：躉購制度(FIT)，其用意為鼓勵綠能發展。故年發電售電總收益公式如式(5)：

$$E = 1 \times \text{ESH} \times (1 - F_{\text{loss}}) \times 365 \times T \times \text{FIT} \dots (5)$$

$E$ 為發電總收益。2018年屋頂型太陽能板躉售費率為100 KW以下為4.6885元；100~500 KW為4.3636元；500 KW以上則為4.2429元。總結，以公式(4)計算可以得出雲林縣全鄉鎮畜牧場設置太陽能板所產生的發電量，再乘以相對應的躉售費率，公式(5)則為畜牧場業主設置綠能屋頂型於畜牧場的發電總收益。

### 3.3.2 太陽能板的飼養效益

此節主要說明太陽能板搭建在畜牧場的屋頂，間接帶來的綠能飼養收益效果。因臺灣夏季高溫，不利於豬、雞的肉量增長及乳牛的泌乳量，搭建太陽能板後，可達室內降溫且對家禽家畜的生長有正面效果。本文將計算搭建太陽能板後，不同溫度下對不同物種所帶來的效益。

綠能飼養一隻家禽或家畜的收益計算方式為，家禽、家畜之出生重量或日產乳公斤數( $W$ )乘以因太陽能板降溫可增加肉(乳)量的百分比( $Y$ )，並乘以該鄉鎮高於家禽、家畜適溫生長的天數( $D$ )後，再乘以每公斤家禽、家畜或牛乳

之拍賣及收購價格( $P$ )。公式如式(6)：

$$g = W \times (Y_t - Y_{t-4}) \times D_t \times P \dots\dots\dots (6)$$

$$Y_{t-4} = 0 \text{ if } t = 24$$

$g$ 為每年一隻家禽(或家畜)的綠能飼養收益。其中， $W$ 為家畜(或家禽)的出生平均重量<sup>7</sup>或泌乳量。依據陳儷方(2021)於農家報導中指出，雞雞的體重約為40公克；依趙法清(1980)的研究則顯示，仔豬體重為800公克，故本文假設畜牧場由購入40克的雞雞及800克的仔豬開始飼養。 $t$ 代表溫度， $Y_t$ 則表示在 $t$ 溫度下，家禽或家畜的失重百分比； $Y_{t-4}$ 則為因搭建太陽能板屋頂，使室內空間溫度下降4°C下的家禽或家畜的失重百分比<sup>8</sup>。因此， $(Y_t - Y_{t-4})$ 則為搭建太陽能板後較未搭建時的增肉百分比。

在飼養豬隻的溫度計算上，本文依郝中禹、高鳳仙(2019)的研究結果，即豬隻25°C較20°C下降約15%來估算<sup>9, 10</sup>。因此，以環境溫度為25°C時為例，搭建太陽能板的畜牧場將可降溫至21°C，此溫度的失重百分比僅為3%，故 $(Y_t - Y_{t-4})$ 則為12%。同樣的，依Donkoh (1989)研究顯示，雞隻於25°C較20°C，失重約1.6%，若有搭建太陽能板溫度則降至21度，僅失重0.32%，其 $(Y_t - Y_{t-4})$ 為1.28%<sup>11</sup>。因文獻顯示豬隻、牛隻及雞隻的生長適溫為20度以下，表示若環境溫度為24°C以下時，有搭建太陽能板的畜牧場之家禽、家畜就可以完全不遭受高溫衝擊而失重。因此，當 $t = 24^\circ\text{C}$ 時， $Y_{t-4} = 0$ 。再者， $D_t$ 為該鄉鎮溫度為 $t$ 時的天數； $P$ 則為雲林縣拍賣市場的家禽、家畜或牛乳的平均市場拍賣價格和收購價格。依「財團法人中央畜產

<sup>7</sup>由於出售后不會在畜牧場飼養，並非綠能飼養收益，故本文假設畜牧場買進仔豬和小雞開始飼養。意即綠能飼養收益是由仔豬和小雞飼養至出售為止。

<sup>8</sup>依陳皇誠與劉光盛(2014)研究顯示，太陽能板搭建在樓頂，可使室內溫度下降4°C左右。

<sup>9</sup>本文以直線推估法計算出高於適溫時，每個溫度可能造成的失重及泌乳量的下降。

<sup>10</sup>豬隻最適生長溫度為20°C，因此當環境溫度為25°C時，日增重減少約15%，30°C時減少34%。用二段式直線估計法推估，當溫度為21°C~24°C時，日失重率約分別為3%、6%、9%和12%；當溫度為26°C~19°C時，失重率分別為18.8%、22.6%、26.4%及30.2%。

<sup>11</sup>雞隻在環境溫度為25°C時，體重減少約1.6%，30°C時減少21.6%。因此，當溫度為21°C~24°C時，日失重率約分別為0.32%、0.64%、0.96%及1.28%。當溫度為26°C~19°C時，失重率分別為5.6%、9.6%、13.6%及1.76%。另外，牛隻的泌乳量在環境溫度32°C時，產乳量減少約30%，故當溫度為21°C~30°C時，日泌乳量減少約為2.5%、5%、7.5%、10%、12.5%、15%、17.5%、20%、22.5%及25%。



會－臺灣地區畜禽產品價格調查」顯示雲林縣的豬隻於2011至2020年的平均拍賣價為70.688元/公斤；白肉雞隻的平均拍賣價為27.515元/公斤；牛乳收購價為26.008元/公斤。

再者，為計算雲林縣各鄉鎮畜牧業因設置的綠能屋頂總共增加多少綠能飼養收益，必須將式(6)乘以各鄉鎮太陽能板下畜牧場的家禽、家畜頭數。透過式(2)可得知雲林縣太陽能板下的畜牧場面積(A)，將此面積除以平均每頭家禽、或家畜飼養所佔面積(S)，再乘以式(6)中得出的每隻家禽或家畜的綠能飼養收益(g)，則可得出每戶畜牧場的綠能飼養收益(G)如式(7)：

$$G = (A/S) \times g \dots\dots\dots (7)$$

### 3.3.3 共效益計算

因此，本研究欲探討的太陽能板與畜牧場經營間的共效益則為E(式5)加上G(式7)，如式(8)所示：

$$E + G = ESH \times (1 - F_{loss}) \times 365 \times T \times FIT + A \times g/S \dots\dots\dots (8)$$

## 4. 實證分析

### 4.1 畜牧場綠能屋頂發電收益

表1為畜牧場搭建綠能屋頂型時所產生的發電收益。計算分別是使用第三章的式(1)計算出屋頂型太陽能板的總容量(T)，式(2)算出屋頂型畜牧場太陽能板面積(A)，再由式(3)算出畜牧場年發電量(瓩)。最後以年發電量乘以相對應之躉售費率，得出年售電收益。表1結果顯示，全雲林縣畜牧場屋頂型太陽能板有657,266.95平方公尺(65.7267公頃)，相當於雲林縣2018年畜牧用地面積(1,521公頃)的4.3%。65.7267公頃的屋頂型太陽能板的年發電量達

75,256,420.28瓩，約可減少40,112公噸的二氧化碳，售電總收益為328,508,267元<sup>12</sup>。其中，太陽能板面積及年發電量最大的為麥寮鄉的65,741.75平方公尺和7,558,657.71瓩，其次為西螺鎮60,500.10平方公尺，年發電量6,955,999瓩，水林鄉的58,226.65平方公尺，年發電量6,694,609.08瓩。主因是麥寮鄉和西螺鎮這兩個鄉鎮的太陽能板裝置數量較多。林內鄉和斗六市則是售電收益較少的鄉鎮，探究其原因為這兩個鄉鎮的太陽能板裝置容量較小，意即多為小規模裝設。

### 4.2 綠能屋頂的飼養收益

為計算出太陽能板的綠能飼養效益，必須先計算出各鄉鎮超過豬隻及肉雞最佳飼養溫度的天數。依郝中禹與高鳳仙(2019)、Donkoh(1989)及許雲麗等人(2006)的研究顯示，豬隻、雞隻和乳牛的最適溫度大約為20°C，超過此溫度將會有不同比例的失重率或減乳率，尤其在超過25°C後會有更顯著的下降。本文首先列出雲林縣20個鄉鎮日均溫介於21°C~30°C的天數<sup>13</sup>。本文以最靠近各鄉鎮中心點的氣象觀測站為估算標準，統計出各鄉鎮不適合豬隻、雞隻生長及和乳牛泌乳的天數分配表，如表2。整體而言，雲林縣20個鄉鎮中除了部分鄉鎮外，高溫天數最多的為29°C。整體而言，溫度高於21°C(含)以上的天數介於263天~276天，其中，最多的鄉鎮為北港鎮，最少的為崙背鄉及麥寮鄉，兩者相差了14天。這也意味著單以氣溫來看，目前北港鎮並不適於從事畜牧業，但若搭建綠能屋頂後，其飼養效益可高於崙背鄉及麥寮鄉的效益。

然而，細看每個鄉鎮的21°C~25°C及26°C~30°C的天數分布可以發現，四湖在25°C~30°C的天數有163天，是全縣高溫天數之冠，但其在21°C~25°C天數相對少，僅有110天。由此可知，四湖鄉的天氣差異較大。相反的，林內鄉

<sup>12</sup> 1度電等於1瓩使用1小時。依行政院環保署(2019)公告107年電力碳排放係數每度電約減碳0.533公斤。

<sup>13</sup> 由於日均溫高於31°C(含)以上的天數極少，故本文將其併入30°C內計算。

表1 畜牧場綠能屋頂售電收益(經濟部, 2017)

鄉鎮	裝置容量	裝置數量	總容量(瓩)	太陽能板面積(平方公尺)	年發電量(瓩)	躉售費率註(元)	年發電售電收益(元)
二崙鄉	2.885	8,608	2,246	22,464.30	2,582,832.89	4.3636	11,270,450
口湖鄉	3.595	16,437	4,302	43,019.75	4,891,238.03	4.3636~4.6885	21,379,977
土庫鎮	2.830	14,045	3,718	37,183.85	4,275,213.15	4.2429~4.6885	18,560,423
大埤鄉	5.675	22,375	5,749	57,493.20	6,536,833.11	4.3636~4.6885	28,575,723
元長鄉	5.430	21,356	5,864	58,639.85	6,667,204.35	4.3636~4.6885	29,129,894
斗六市	0.500	1,440	360	3,600.00	409,311.00	4.3636~4.6885	1,811,928
斗南鎮	2.220	7,546	2,079	20,788.20	2,363,566.37	4.3636	10,313,658
水林鄉	6.170	20,124	5,823	58,226.65	6,694,609.08	4.3636~4.6885	29,306,209
北港鎮	2.560	10,028	2,848	28,476.80	3,274,120.08	4.3636	14,286,950
古坑鄉	1.055	6,388	1,659	16,592.45	1,844,126.37	4.2429~4.3636	7,966,565
四湖鄉	4.730	15,099	3,897	38,966.95	4,480,225.08	4.3636~4.6885	19,722,651
西螺鎮	4.605	21,820	6,050	60,500.10	6,955,999.00	4.2429~4.6885	30,096,488
東勢鄉	5.300	17,448	4,631	46,310.60	5,324,561.24	4.3636~4.6885	23,256,164
林內鄉	0.785	1,116	299	2,991.60	340,137.44	4.3636~4.6885	1,534,093
虎尾鎮	2.400	11,835	3,143	31,429.30	3,613,583.77	4.3636	15,768,234
崙背鄉	2.365	10,188	2,726	27,261.40	3,134,379.47	4.3636	13,709,677
麥寮鄉	4.735	23,605	6,574	65,741.75	7,558,657.71	4.3636	32,982,959
莿桐鄉	0.845	3,023	858	8,580.30	975,558.66	4.3636	4,256,948
臺西鄉	1.545	6,518	1,720	17,203.35	1,977,955.17	4.3636	8,631,005
褒忠鄉	1.315	4,456	1,180	11,796.55	1,356,308.34	4.3636~4.6885	5,948,271
合計	61.545	243,455	65,727	657,266.95	75,256,420.28		328,508,267

註：屋頂型的躉售費率100 KW以下4.6885元，100~500 KW為4.3636元；500 KW以上為4.2429元。

表2 2018年雲林縣各鄉鎮溫度天數分布表(中央氣象局觀測資料查詢，本研究彙整)

鄉鎮	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	總計
二崙鄉	30	14	24	25	22	17	28	43	47	16	266
口湖鄉	26	12	12	39	23	19	21	34	65	16	267
土庫鎮	27	16	18	33	21	18	29	42	51	17	272
大埤鄉	26	19	15	34	18	21	29	41	49	20	272
元長鄉	29	13	23	27	24	17	22	43	54	19	271
斗六市	25	19	19	30	19	25	33	47	43	15	275
斗南鎮	25	18	17	33	21	21	32	47	43	16	273
水林鄉	29	15	18	32	24	15	26	35	58	21	273
北港鎮	27	17	16	33	23	20	26	41	54	19	276
古坑鄉	26	19	25	26	21	34	41	54	21	5	272
四湖鄉	31	10	15	31	23	23	28	36	54	22	273
西螺鎮	29	14	17	32	22	20	24	41	52	21	272
東勢鄉	30	13	18	33	23	16	26	38	56	19	272
林內鄉	23	19	23	34	20	31	49	51	17	2	269
虎尾鎮	22	17	13	30	22	21	25	32	55	31	268
崙背鄉	28	9	27	28	21	17	27	54	45	7	263
麥寮鄉	28	9	27	28	21	17	27	54	45	7	263
莿桐鄉	29	13	20	33	20	21	28	49	43	12	268
臺西鄉	25	15	23	33	25	17	22	54	50	5	269
褒忠鄉	29	12	26	28	23	18	26	57	41	7	267

其在21°C~24°C天數有199天，為全縣最多，但25°C~30°C的天數僅有150天，為全縣最少。由此可推測，林內鄉的天氣溫度差異較小。因此，四湖鄉搭設綠能屋頂的效益可能大於林內鄉的效益，因其較高溫天氣為多。

使用表2的高溫天數分布，及依據第三章的公式(7)，此節計算出不同溫度下，畜牧場業主因搭建綠能屋頂可增加的家禽家畜飼養收益。本節分別算出豬隻生長、雞隻生長及乳牛泌乳的收益。綠能飼養豬隻的收益結果如表3。由表可看出雲林縣20個鄉鎮中，有架設綠能屋頂的豬隻畜牧場鄉鎮有14個<sup>14</sup>，畜舍面積達362,437.2平方公尺，相當於雲林縣2018年畜牧用地面積(1,521公頃)的2.4%。其中，綠能屋頂最大的為麥寮鄉，達115,726平方公尺，佔全縣

32%左右，其次為水林鄉的64,254平方公尺，約佔全縣18%，第三則為西螺鎮的36,350平方公尺，佔全縣的10%。面積最小的則為北港鎮的3,750平方公尺，僅佔全縣的1.03%。

在綠能飼養收益方面，14個鄉鎮的綠能飼養較未搭建綠能屋頂的收益高出247,962,399元。其中，以麥寮鄉佔27.46%為全縣最高。隨溫度上升，綠能飼養的收益越高；26°C~30°C的飼養收益較21°C~25°C高了1.27倍。全縣平均每頭豬可增加1,810元的收益，其中以北港鎮的飼養收益最高，可達1,871元/頭，每頭高於全縣61元，最低的則為麥寮鄉的1,765元，平均每頭低於全縣45元。所以，綠能屋頂飼養豬隻的收益，最高及最低每頭可以差距106元。這是由於北港鎮高溫日數較多，而麥寮鄉為全縣高溫日

<sup>14</sup> 未搭建的6個鄉鎮分別為大埤鄉、古坑鄉、林內鄉、虎尾鎮、莿桐鄉、臺西鄉。



表3 綠能屋頂飼養豬隻收益

鄉鎮	禽舍面積 (平方公尺)	估算家畜 數量 (隻)	21°C~25°C 飼養收益 (元)	26°C~30°C 飼養收益 (元)	21°C~30°C 總飼養收益 (元)	21°C~30°C 飼養收益 (元)/隻
二崙鄉	25,226.85	8,409	4,536,551	10,343,717	14,880,269	1,769.58
口湖鄉	15,046.00	5,015	2,841,863	6,380,295	9,222,159	1,838.79
土庫鎮	5,133.00	1,711	954,999	2,189,821	3,144,820	1,838.00
元長鄉	8,263.00	2,754	1,532,665	3,497,716	5,030,381	1,826.35
斗六市	4,479.83	1,493	800,542	1,965,213	2,765,756	1,852.14
斗南鎮	12,951.00	4,317	2,402,220	5,560,261	7,962,481	1,844.45
水林鄉	64,253.79	21,418	12,245,156	27,256,676	39,501,832	1,844.33
北港鎮	3,750.00	1,250	706,173	1,632,610	2,338,783	1,871.03
四湖鄉	15,089.87	5,030	2,662,415	6,681,069	9,343,484	1,857.57
西螺鎮	36,349.62	28,336	15,575,666	36,573,971	52,149,637	1,840.38
東勢鄉	16,847.51	5,616	3,182,130	7,131,527	10,313,657	1,836.53
崙背鄉	18,285.91	6,095	3,340,064	7,420,526	10,760,590	1,765.39
麥寮鄉	115,725.85	38,575	21,138,228	46,962,206	68,100,434	1,765.39
褒忠鄉	21,035.00	7,012	3,984,951	8,463,164	12,448,115	1,775.34
合計	362,437.23	137,032	75,903,625	172,058,774	247,962,399	1,809.52

數最少的鄉鎮。

由上述可知，北港鎮的綠能屋頂在飼養豬隻上面將可獲得最高的利益，但目前因為北港鎮高溫日數較高，飼養豬隻的比例較低。相反的，麥寮鄉為全縣高溫天數最少的鄉，但其綠能屋頂比例高。

表4為綠能飼養雞隻的收益表。結果顯示，雲林縣20個鄉鎮都有搭建綠能屋頂飼養雞隻的畜牧場，總計雞隻畜牧場面積達847,924.65平方公尺，佔畜牧用地面積的5.6%。其中，以四湖鄉的搭設面積達110,961平方公尺，佔全縣的13.09%為最高，其次為大埤鄉的12.67%次之，第三則為東勢鎮的10.93%。反之，最少的為斗六市的5,402平方公尺，僅佔全縣的0.64%。

在綠能屋頂飼養收益上，20個鄉鎮的總收益達63,425,509元，26°C~30°C的飼養收益為60,199,460元，相較21°C~25°C的3,226,049元，高出了18.66倍。以平均飼養收益來看，全縣綠能飼養的雞隻每年每隻可增加22.49元。其中，

虎尾鎮可增加24.07元為最高，最低為林內鄉的17.83元，兩者每年相差了6.24元/隻。

由此可知，雞隻的飼養收益在溫度上升至25°C以上後會急遽上升。四湖鄉因為超過25°C的天數較高，且其飼養隻數較多，故綠能飼養收益最高，相反的，林內鄉因為高於25°C以上的天數較少，故其每年每單位收益最低。

表5為綠能飼養乳牛的收益表。由表可知僅有口湖鄉和斗南鎮有畜牧場搭設牛舍的綠能屋頂，兩個鄉鎮的搭建面積僅有36,674平方公尺，佔雲林縣2018年畜牧用地面積的0.24%。其中以口湖鄉佔57.34%高於斗南鎮的綠能屋頂面積。

綠能飼養的總效益可達11,433,214元，其中26°C~30°C的飼養收益為7,478,730元，相較21°C~25°C的3,954,484元，高了約1.89倍。平均每年每頭收益約為15,577元，其中以斗南鎮的15,670元較口湖鄉的15,507元，每頭高出163元。由此可知，斗南鎮雖然綠能屋頂面積較少，但其單位面積的飼養收益較高。

表4 綠能屋頂飼養雞隻收益

鄉鎮	畜舍面積 (平方公尺)	估算家畜 數量 (隻)	21°C ~25°C 飼養收益 (元)	26°C ~30°C 飼養收益 (元)	21°C ~30°C 總飼養收益 (元)	21°C ~30°C 飼養收益 (元)/隻
二崙鄉	21,477.42	71,591	80,180	1,468,711	1,548,891	21.64
口湖鄉	35,132.95	117,110	137,759	2,565,654	2,703,413	23.08
土庫鎮	49,443.00	164,810	190,967	3,528,541	3,719,508	22.57
大埤鄉	107,466.36	358,221	399,936	7,742,601	8,142,537	22.73
元長鄉	78,602.79	262,009	302,670	5,687,067	5,989,738	22.86
斗六市	5,401.78	18,006	20,039	379,732	399,771	22.20
斗南鎮	17,179.72	57,266	66,153	1,199,826	1,265,979	22.11
水林鄉	49,402.49	158,053	187,591	3,469,035	3,656,625	23.14
北港鎮	24,151.56	80,505	94,416	1,769,387	1,863,803	23.15
古坑鄉	33,289.54	110,965	127,795	1,959,132	2,086,927	18.81
四湖鄉	110,960.82	369,869	406,427	8,204,744	8,611,171	23.28
西螺鎮	68,315.50	227,718	259,850	4,961,609	5,221,458	22.93
東勢鄉	92,687.95	308,960	363,436	6,706,156	7,069,592	22.88
林內鄉	10,340.39	34,468	42,002	572,613	614,615	17.83
虎尾鎮	38,634.76	128,783	137,429	2,962,892	3,100,322	24.07
崙背鄉	23,641.57	78,805	89,647	1,574,101	1,663,748	21.11
麥寮鄉	40,290.48	134,302	152,779	2,682,617	2,835,395	21.11
莿桐鄉	13,155.24	43,851	50,502	883,082	933,584	21.29
臺西鄉	20,177.33	67,258	84,328	1,346,998	1,431,326	21.28
褒忠鄉	8,173.00	27,243	32,143	534,963	567,106	20.82
合計	847,924.65	2,819,793	3,226,049	60,199,460	63,425,509	22.49

表5 綠能屋頂飼養乳牛收益

鄉鎮	禽舍面積 (平方公尺)	估算家畜 數量 (隻)	21°C ~25°C 飼養收益 (元)	26°C ~30°C 飼養收益 (元)	21°C ~30°C 總飼養收益 (元)	21°C ~30°C 飼養收益 (元)/隻
口湖鄉	21,029.00	421	2,285,681	4,242,880	6,528,561	15,507.27
斗南鎮	15,645.00	313	1,668,803	3,235,850	4,904,654	15,669.82
合計	36,674.00	734	3,954,484	7,478,730	11,433,214	15,576.59

### 4.3 小結

由上述結果可知，2018年雲林縣20個鄉鎮232筆太陽能板的年發電售電總收益328,508,267元，平均每戶畜牧場每年發電收益可達1,415,984元。其中，畜牧場的綠能屋頂發電收益前三名的鄉鎮分別為麥寮鄉(佔全縣太陽能板收益的

10%)、西螺鎮(9%)、水林鄉(9%)，反之，發電售電最少的鄉鎮分別為林內鄉，僅佔全縣的0.47%及斗六市佔0.55%。

在綠能屋頂飼養收益方面，2018年全縣20個鄉鎮232筆畜牧場的收益為322,821,122元，平均每個畜牧場每年的綠能屋頂的飼養收益達1,391,470元。其中前三大的鄉鎮分別為麥寮

縣、西螺鎮、水林鄉；21.97%、17.77%和13.34%，三個鄉鎮又以來自綠能飼養豬隻的收益比例佔九成以上為最高。反之，綠能飼養收益較低的為林內鄉每年僅有雞隻的綠能飼養收益614,615元，僅佔全縣綠能飼養收益的0.19%。依物種來看，北港鎮綠能飼養豬的收益最高，每年每頭可達1,871元；虎尾鎮的單位綠能飼養雞隻每隻可增加24.07元為最高；斗南鎮的單位綠能飼養乳牛收益每頭為15,670元較高。

由此可知，232筆的綠能屋頂的每年總收益(發電收益加上綠飼養收益)為651,329,389元。以售電和綠能飼養達的貢獻率來看，兩者約為50.44%和49.56%，差異不大。

## 5. 結論與建議

雲林縣為臺灣最大的畜牧生產縣市，同時也是設置太陽能板最多的縣市。本文以雲林縣探討再生能源的減緩政策與畜牧場經營間的共效益效果。研究結果顯示，雲林縣20個鄉鎮，232個畜牧場的綠能屋頂面積達657,266.95平方公尺，相當於雲林縣畜牧用地面積的4.3%。綠能屋頂的年發電量可達75,256,420.28(瓩)，相當於可減少40,112公噸的二氧化碳，年發電售電總收益為328,508,267元，平均每戶畜牧場約為2,833平方公尺，每戶年發電收益達1,415,984元。再者，因雲林夏季高溫，不適家禽、家畜生長。搭建綠能屋頂於畜牧場上可達室內降溫效果，並使家禽、家畜增肉率提高及泌乳量增加。本研究顯示，232個畜牧場的每年綠能飼養總收益為322,821,122元，平均每年每戶畜牧場綠能飼養收益為1,391,470元。所以，售電和綠能飼養收益各佔50.44%和49.56%，相差不大。

本文結果顯示，我國因應氣候變遷的綠能政策，不僅為減緩二氧化碳排放的政策，更可以達到畜牧經營的共效益效果。目前售電收益和綠能飼養效益差異不大，但若當售電收入大於綠能飼養農業的收入時，恐引發農民棄農種電的效果；若售電收益貢獻過低時，因綠能屋

頂的建置成本和維修成本較高，可能無法引起農民搭建的意願，因此政府在躉售費率FIT的調控上不可不慎。但隨著全球暖化日趨嚴重，尤其我國的農業大縣多集中於位處熱帶的南部地區，在畜牧場上搭建太陽能板的飼養收益可能佔比逐年增加。以雲林縣北港鎮為例，在未搭設綠能屋頂前，其可能成為雲林縣內最不適合從事畜牧業之處，因其夏季高溫天數過多，業主必須花費額外支出於溫控設備上。若搭建太陽能板後，其帶來的效益，會高於其他鄉鎮。因此搭建綠能屋頂於畜牧場上不僅是未來趨勢，亦是兼顧農業生產與綠能發電的好方法。再者，我國食用豬肉及雞肉的比例甚高，當環境溫度上升至25°C以上時，綠能屋頂的飼養效益會呈倍數成長，尤以雞隻最為明顯。因此建議政府在畜牧型太陽能板的設置上，可以加強誘因並輔助業主搭建，以減少在農地上搭建地面型太陽能板所引起的農地地價上漲爭議。另外，臺灣畜牧業高度仰賴進口飼料飼養，且我國民眾偏好食用溫體豬的習慣使我國豬隻成為高碳排的產業(古盛有與鍾秋悅，2021)，若能透過飼養過程中搭設綠能屋頂來中和碳排，將可降低我國畜牧業的碳排放量，有助於提升此產業在未來低碳社會的競爭力。

本文因受資料限制，有以下缺點可供未來研究改進。其一，本文無法得知每個畜牧業的綠能屋頂所面對的地形及環境差異，故在估算時僅能用影響發電的主要因子，即雨量與日照去估算每個太陽能板發電量，故可能有高估之虞。但在估算太陽能板的綠能收益時，因缺乏每個溫度下的家禽、家畜失重率，本研究以直線估計法來估算不同溫度下所對應家禽、家畜失重率。但實際上家禽及家畜的失重率與溫度之間的關係可能為指數型函數，故本文在推估綠能飼養的收益可能有低估的現象。本文乃採用郝中禹、高鳳仙(2019)的研究來計算。依其研究25°C較20°C下降約15%，30°C比25°C下降約19%，因此為兩階段線性關係。意即26°C-30°C是下降19%，但21°C-25°C間只有下



降15%。另外，本研究在資料分析與計算上，鄉鎮層級的資料來推估經濟收益，並沒有依據各畜牧業主不同的特性做推估，這樣不僅忽略了個別畜牧場的經營方式所造成的不同，也將影響共效益的計算。然而，上述限制都必須在未來有更細的個別資料出現時，方能解決。最後，本文僅探討氣候減緩政策中的綠能政策對農企業所帶來粗收益，無法針對各別畜牧業者於經營上所支出的成本，因此無法進一步估算淨效值、本益比等數據。再者，本文並無計算太陽能板的建置成本，故本文中所估算的發電收入不能視為建置太陽能板後的淨收入。

## 參考文獻

- 中華民國乳業協會。乳量乳質優勢乳牛品種簡介，Retrieved from [https://www.holstein.org.tw/Knowledge\\_Cognition.php](https://www.holstein.org.tw/Knowledge_Cognition.php)。
- 中時新聞網，2021。南市牛舍裝太陽能 涼爽又發電。Retrieved from <https://www.chinatimes.com/newspapers/20210408000549-260107?chdtv>。
- 台灣電力公司，2020。109年6月30日，火力營運現況與績效。Retrieved from <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=202&cid=129&cchk=675cea43-9c45-4ae1-80c6-4f18b3b38d8e>。
- 台灣電力公司，2021。110年9月30日，各縣市太陽光電歷年成長情形。Retrieved from <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=207&cid=165&cchk=a83cd635-a792-4660-9f02-f71d5d925911#b03>。
- 古盛有與鍾秋悅，2021。農產品運銷之碳足跡及波及效果分析-以臺灣毛豬產業為例，*農業經濟叢刊*，27(1): 85-131。
- 全利能源實業股份有限公司，農漁畜牧業方案 Retrieved from <http://www.plusrenewable.com/solution4/>。
- 行政院農業委員會，2018。107年農業統計年報。
- 行政院環保署，2018。我國國家溫室氣體排放清冊報告。Retrieved from [https://ghgrule.epa.gov.tw/report/report\\_page/31](https://ghgrule.epa.gov.tw/report/report_page/31)。
- 行政院環保署，2019。107年度電力排碳係數。Retrieved from [https://ghgregistry.epa.gov.tw/Information/Information\\_Pub.aspx?r\\_id=1323](https://ghgregistry.epa.gov.tw/Information/Information_Pub.aspx?r_id=1323)。
- 吳勁萱，2019。太陽能板底下，看得見與看不見的農業生產—雲林發展農業綠能設施的轉變過程。(碩士)。國立臺灣大學，臺北市。Retrieved from <https://hdl.handle.net/11296/294en4>。
- 林逸璇，2016。以生態環境影響觀點探討滯洪公園之共效益。(碩士)。國立成功大學，臺南市。Retrieved from <https://hdl.handle.net/11296/6dtjp7>。
- 科技部、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象局、臺灣師範大學地球科學系與國家災害防救科技中心，2021。IPCC氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告。Retrieved from [https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km\\_abstract\\_one.aspx?kid=20210810134743](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_abstract_one.aspx?kid=20210810134743)。
- 郝中禹與高鳳仙，2019。環境溫度對生長豬生長性能及健康的影響。[Effects of Temperature on Growth Performance and Health for Growing Pigs]。家畜生态学报 (2019年3月)，6-9。
- 高珮唯，2021。以自然為本的都市土地管理對調適極端氣候之功能及共效益分析—以新莊、五股、泰山地區洪災為例。(碩士)。國立臺北大學，新北市。Retrieved from <https://hdl.handle.net/11296/258223>。
- 許雲麗、施正香與韋秀麗，2006。夏季奶牛生產降溫技術的研究與應用現狀。[Research and Current Application of Cooling System in Cow Production in Summer]。黑龙江畜牧兽医(上半月) (2006年7月)，28-30。

- 陳芙萱，2019。我國太陽能產業推動政策之探討。[A Study on Taiwan Solar Industry Promotion Policy]。《中華行政學報》(25)，107-121。doi: 10.6712/jcpa.201912\_(25).0006。
- 陳皇誠與劉光盛，2014。設置太陽能板綠能屋頂之投資效益分析。《東方學報》(35): 1-10。doi: 10.29421/jtd.201412\_(35).0001。
- 陳儷方，2021。土壤找好菌這支枯草桿菌助白肉雞快點長肉飼養成本減3元。Retrieved from <https://www.agriharvest.tw/archives/60739>。
- 雲林縣綠能推動專案辦公室，2018。綠能里程碑-『雲林縣太陽光電設施管理自治條例』通過。Retrieved from <https://renewable.yunlin.gov.tw/latestevent/index-1.asp?Parser=9,3,12,,,17,,,3>。
- 黃公暉、陳彥宏與陳彥豪，2010。太陽能發電系統裝置發展與挑戰。《臺灣經濟研究月刊》，33(11): 39-47。doi: 10.29656/term.201011.0005。
- 農業綠能發展資訊網，畜電共生。Retrieved from <https://age.triwa.org.tw/Page/AgriGreenEnergy?category=Livestock>。
- 經濟部，2017。《能源發展綱領(核定本)》。
- 經濟部能源局，2019。《中華民國107年能源統計手冊》。
- 趙法清，1980。談豬的飼養與管理。Retrieved from <http://www.miobuffer.com.tw/mlfc/198011/13.htm>。
- 蔡育新、徐嘉信、王鈞與林家靖，2021。因應氣候變遷之都市街區規劃設計策略與永續「共效益」—建物重建階段。[Climate Change-oriented Street Level Urban Planning and Design Approaches and Sustainable Development "Co-benefits" -Buildings Rebuilt Phase]。《都市與計劃》，48(1): 27-48。doi: 10.6128/cp.202103\_48(1).0002。
- 蕭子訓、黃孔良與張耀仁，2017。太陽光電年發電量預測模型建置及策略研究。《臺灣能源期刊》，第四卷第四期，第401-430頁。Retrieved from <file:///D:/download/20171220134510.pdf>。
- 蕭儀婷，2014。《綠色基盤設施對因應氣候變遷之共效益分析》。(碩士)。國立臺北大學，新北市。Retrieved from <https://hdl.handle.net/11296/7ezvk7>。
- 賴美君，2018。《再生能源政策對臺南市農地價格的影響——種太陽能板如果種出好地價》。國立臺灣大學，Available from Airiti AiritiLibrary database，2018年。
- 龍世俊、周淑婉、陳正平、溫蓓章、蘇慧貞、蔡宜君與沈育生，2018。「氣候變遷與健康調適」科學計畫。[Science Plan of "Climate Change and Health Adaptation"]。《臺灣土地研究》，21(2): 209-239。doi: 10.6677/jtlr.2018.21.02.209-239。
- 鍾麗娜與鄭明安，2015。農地消失ing—從「種厝」到「種電」剖析農地亂象。《土地問題研究季刊》，14(4): 59-73。
- 鍾秋悅，2021。能源政策及國土計畫下之農業部門氣候政策：城鄉間的權衡與綜效，《都市與計畫》，投稿中。
- AR4, 2007. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>。
- AR5, 2014. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>。
- Chikkatur, A. P., A. Chaudhary & A. D. Sagar, 2011. Coal Power Impacts, Technology, and Policy: Connecting the Dots. *Annual Review of Environment and Resources*, 36(1): 101-138. doi: 10.1146/annurev.enviro.020508.142152.
- Cao, C., X. Cui, W. Cai, C. Wang, L. Xing, N. Zhang, S. Shen, Y. Bai and Z. Deng, 2019. Incorporating health co-benefits into regional

- carbon emission reduction policy making: A case study of China's power sector. *Applied Energy* 253.
- Donkoh, A., 1989. Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. *International Journal of Biometeorology*, 33(4): 259-265. doi: 10.1007/BF01051087.
- Fleming, A., D. Stitzlein, E. Jakku and S. Fielke, 2019. Missed opportunity? Framing actions around co-benefits for carbon mitigation in Australian agriculture. *Land Use Policy* 85: 230-238.
- Holstein Association USA, H. A. Holstein Breed Characteristics. Retrieved from [https://www.holsteinusa.com/holstein\\_breed/breedhistory.html](https://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html).
- Lobell, D. B., U. L. C., Baldos and T. W. Hertel, 2013. Climate adaptation as mitigation: the case of agricultural investments. *Environmental Research Letters* 8: 015012.
- Rinaldo, D., J. Le Dividich and J. Noblet, 2000. Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs. *Livestock Production Science*, 66(3), 223-234. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00181-0).
- Ross, J. W., B. J. Hale, N. K. Gabler, R. P. Rhoads, A. F. Keating and L. H. Baumgard, 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(12): 1381-1390. doi: <https://doi.org/10.1071/AN15267>.
- Suckall, N., L. C. Stringer and E. L. Tompkins, 2015. Presenting triple-wins? Assessing projects that deliver adaptation, mitigation and development co-benefits in rural Sub-Saharan Africa. *Ambio* 44: 34-41.
- Sampaio, P. G. V. and M. O. A. González, 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74: 590-601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>.
- Vandyck, T., K. Keramidas, S. Tchung-Ming, M. Weitzel and R. Van Dingenen, 2020. Quantifying air quality co-benefits of climate policy across sectors and regions. *Climatic Change*, 1-17.
- West, J. W., 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6): 2131-2144. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).
- Wilcock, R., S. Elliott, N. Hudson, S. Parkyn and J. Quinn, 2008. Climate change mitigation for agriculture: water quality benefits and costs. *Water Science and Technology* 58: 2093-2099.



# Analyzing the Co-benefit of Solar Roof Panels in Livestock Production Systems: A Case of Yunlin County

Chun-Kai Chen<sup>1</sup>    Yessica C. Y. Chung<sup>2\*</sup>

## ABSTRACT

Countries worldwide are actively investing in renewable energy development in response to climate change. Among renewable energy sources, solar energy is the most widely promoted energy in the country. Numerous studies have been conducted on solar panels, but most deal with the technology side of things. Little is known of the business advantages of solar panels. This study explores the co-benefits of installing solar roof panels on livestock farms. The study uses Yunlin County, a county with the highest animal husbandry output value and solar panel power generation, as the study area. We used data from Yunlin County solar panel installation in 2018, as well as livestock statistics from several government agencies, and Central Meteorological Bureau temperature observations. Using this data, the study determines the revenue generated by the livestock owners in Yunlin County by selling electricity and green energy generated from roof solar panels. Based on the results, Yunlin County's solar roof panels cover an area of approximately 657,267 square meters, which corresponds to 4.3% of the livestock land area. These solar panels are capable of generating 75,256,420 kW per year, which is equal to a reduction of 40,112 metric tons of carbon dioxide emissions over one year. Electricity sales and production combined generate 8,50,267 yuan in income per year, and animal husbandry households (about 2,833 square meters) can bring in 1,415,984 yuan per year. On the other hand, green energy generates 322,821,122 yuan in revenue annually, and livestock farms generate 1,391,470 yuan on average. Additionally, Mailiao Township earns the most from power generation and raising poultry and livestock. Overall, roof solar panels of Yunlin County livestock farms generate an average annual income of 2,807,454 yuan, and the income from electricity sales accounts for 50.46%, which is slightly higher than the income from biomass energy, which accounts for 49.54 %. Our results show that the green energy policy currently in place in the agricultural industry can benefit the country's high carbon emission livestock.

**Keywords:** Solar energy, Green Energy policy, Co-benefits, Livestock farm, Yunlin County.

---

<sup>1</sup>Masters Student, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology.

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology.

\* Corresponding Author, Phone: +886-8-7793202#7811,  
E-mail: [yessicachung@mail.npust.edu.tw](mailto:yessicachung@mail.npust.edu.tw)

Received Date: August 16, 2021

Revised Date: November 2, 2021

Accepted Date: November 17, 2021