

考量碳中和下之農企業最適經營策略分析 — 以台糖公司造林地為例

陳亭仔*、鍾秋悅**

目前仍少有實證研究探討農企業如何透過土地資源的最適規劃達到自身碳中和並獲取最大經營效益。本文以全臺最大農企業台糖公司為例，利用其於 2003-2012 年間配合政府平地造林政策於 20 年屆期後，來探討此議題。台糖十年造林面積達 9,106.27 公頃，遍及台灣 10 個縣市及種植上達 50 多種樹種。本文採國家及國際層級數據計算碳吸存量，並結合氣候資料及農業生產等多種資料來計算出台糖公司於在持續造林、太陽能光電及做為農業生產的最適選擇。實證結果顯示，台糖公司造林的碳吸存量於植林第 18 年時可抵銷其組織每年類別一及類別二所造成的碳排量 23.2 萬公噸 CO₂e。結果也顯示台糖公司於十年間造林在 2031 年所有造林補助屆期後，平均每公頃碳吸存量為 18.99 公噸 CO₂e。台糖公司在達碳中和後，僅需維持約 6,020 公頃繼續造林（約占總面積的 66%），其餘面積轉為農租或將不利耕作之農地做太陽光電使用。其中，由於太陽能光電每公頃收 35 萬元最高，農租價格次之，碳匯每公頃收入僅有 0.83 萬元，所以台糖公司若無其他考量，最有可能將其不良農地做為光電使用，僅約 28% 的造林地轉為農租。在此選擇下，台糖公司最大年收益約可達 341 百萬元。各縣市的規劃亦呈現差異，台南發電效率及售電收入最高，故其每公頃單位收益可達約

* 台糖公司會計管理師。

** 通訊作者：屏東科技大學農企業管理系教授。本研究僅代表作者的研究結果，不代表台糖公司的立場或意見。E-mail: yessicachung@mail.npust.edu.tw。

投稿日期：2024 年 09 月 02 日；第一次修改日期：2024 年 10 月 16 日；

接受日期：2025 年 01 月 20 日。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 30:2(2024), 1-52。

臺灣農村經濟學會出版

53 萬元；而臺東較適合繼續造林，較少面積轉作農租也無不良農地，因此每公頃收益反而最低。以植林效率來看，以臺東縣和花蓮縣的碳吸存量為最高，尤以臺灣檫木貢獻度最高，碳吸存量最差之地則為雲林縣，其光臘樹的吸碳能力甚差，僅有 1.10 公噸 CO₂e / 公頃。敏感度分析結果顯示，碳價必須成長至每公噸 3,500 元時，農企業方選擇植林造樹方案來獲利。太陽能板發電效率每增加 1%，各縣市的售電收益將成長 5%，台糖公司總收益將成長 3%。

關鍵詞：森林碳匯、碳中和、最大效益評估、農企業

JEL 分類代號：Q12, Q15, Q58

I、前言

全球已進入減少溫室氣體的關鍵十年；各國必須在 2050 年達成淨零（Net Zero）目標，才能免於氣候災難（IPCC, 2021）（註 1）。企業減排在淨零轉型中扮演重要角色，聯合國因此於 2004 年呼籲金融機構在對企業融資時，應考量其環境（Environment）、社會（Social）以及公司治理（Governance）ESG 的表現。爾後，歐盟與美國相繼祭出《碳邊界調整機制》（Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM）及《清潔競爭法案》（Clean Competition Act, CCA）來課徵企業國際貿易的碳關稅。因此，企業減少產品碳足跡及達到組織碳中和（Carbon Neutrality）目標（註 2）已儼然成為其競爭力及成為全球供應鏈一員的重要關鍵因素。

相較於工商服務業，農企業在這波減碳浪潮中，扮演重要的角色卻顯少被談論。農企業的經營較工商服務業更為複雜；農業深受氣候變遷衝擊，但同時農產品生產及加工階段會製造出溫室氣體，農企業也必須進行減碳。農業是所有部門唯一具負碳排特性的產業，可藉由森林碳匯（Forest Carbon Sink）和土壤碳匯等自然碳匯來吸碳及固碳。台灣約為 215 萬公頃，農地約 68 萬公頃，兩者合計占我國國土總面積 360 萬公頃的 78.6%（農業部林業及自然保育署，2020）。因此，若能善用農業經營規劃，農企業不僅可達到自身碳中和，還可透過溫室氣體自願性減量專案（註 3）來獲得減量額度（Carbon Credit，即俗稱：碳權）（註 4），並將碳權售予工商及服務業部門，使我國達到淨零目標。

台灣糖業股份有限公司（以下簡稱台糖公司）為我國最大的農企業，隸屬經濟部所屬的國營事業。國營事業身負促進國家經濟發展、便利人民生活為目的，但同時也具獲利及績效成長的壓力。台糖公司的農產業經營多元化，除了農業一級產業的生產部門如毛豬生產、蘭花外，也有二級產業，如砂糖

事業部。其位於小港廠的砂糖煉製使用大量的化石燃料，單一廠區於 2022 年排放為 6 萬 5 千公噸 CO₂e (環境部事業溫室氣體排放量資訊平台，2024) (註 5)，超過環保署所規範第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源 2.5 萬公噸 CO₂e (註 6)。以整個台糖企業體而言，其 2021 年的類別 1 及類別 2 (註 7) 之碳盤查值為 23.2 萬公噸 CO₂e。因此，台糖公司為台灣最典型且具代表性的農企業，在生產上常因農產品加工而具有排放二氧化碳的特性。

再者，台糖公司因為製糖原料逐漸採由國外進口，從 2000 年代初期即將大面積的休耕蔗田配合政府進行平地造林政策，十年期間造林面積達 1 萬多公頃，截至 2023 年止獲得約 48 億的造林直接給付獎勵金 (台糖公司，2024)。然而，在政府平地造林政策於 2021 年起逐漸走入歷史之際，台糖公司造林的成效一直廣受討論。再者，台糖公司在獎勵金終止後，原有的造林地是否該持續造林，又或轉為農業經營或其他使用 (註 8)，目前台糖公司持續研擬，惟尚未對外公佈。在不清楚造林之林木生態價值下，不僅影響農企業繼續造林之意願 (林俊成、王培蓉、柳婉郁，2010)，農企業也無法規劃出其最適經營方案。因此，本研究欲以台糖公司造林補助 20 年屆期後，探討農企業的最適經營策略選擇，特別是同時考量農企業碳中和下，如何透過土地規劃來達到土地利用及經營收益最大化。因此，本文的研究目的為：(1) 台糖公司配合農業部林業及自然保育署自 2002 年以來，其碳吸存量為何？能否抵銷台糖公司的組織之碳排量，並達到碳中和？(2) 台糖公司配合農業部林業及自然保育署之植林，達碳中和後，以經營收益最大化為目標，在繼續造林、太陽能光電及農業生產之土地利用最適選擇為何？(3) 台糖公司在各縣市的最適經營選擇是否有不同？本文採用了台糖公司 2003 年起至 2012 年止之平地造林面積，並以考慮組織碳中和下之最大利潤的目標函數來回答上述提問。

II、文獻回顧

以下章節將針對農企業在減碳時代中，創造最大經營效益決策時可選擇的要素做為文獻探討的基礎。第一節首先回顧衡量農業經營的最佳模式之文獻；之後各節為探討造林地的利用型態，包括了第二節的農業生產、第三節森林碳匯及第四節的農業綠能。

2.1 農企業最大效益評估模式

農業企業的經營理念是指農業邁向企業化經營時，須遵循市場導向及應用企業管理原則，符合消費者需求及追求最大利潤或最小成本，使其經營提高營運效率（黃萬傳，1996）。農業可以創造生產、生活及生態的三生價值，因此在估計農業與農企業的價值時，應考慮其在三生所創造的價值，也就是衡量農企業時除了衡量其生產的直接價值外，也須衡量其在生活和生態上所創造出的間接價值。

在方法學上，衡量企業價值和其利潤決策時，通常使用利潤最大化或是成本最小化函數，並以線性規劃加上限制式來進行估算，因線性規劃計算方式直覺且計算較方便，目前為最被廣泛使用的方法。王貳瑞與高于涵（2022）以線性規劃分析金目鱸水產加工的成本效益，以總成本最小化函數加上斷貨時間與斷貨次數等加工產業的損失函數來估算原料所需數量。黃允成與賴旻儀（2018）針對生產技術不確定之製程，利用數學規劃模型在利潤最大化下探討最適投料決策，並對利潤函數做敏感度分析，讓管理者能以客觀數據指標做為決策判斷依據。然，除了一般民營企業外，在經營決策上具有特殊性的國營事業，除了應考量利潤最大化的目標式外，還須兼具社會福利的貢獻。李能慧與吳桂森（2018）研究公有獨占公司的兩種經營模式，分

別為採取以營利為導向之公有營業公司，及維持社會福利導向之公有事業公司，研究結果顯示，公有營業公司之最佳決策模式仍必須採取營業獲利為導向之模式，以目標函數推導最大利潤做為決策，而公有事業決策模式應為考慮消費者淨效益，分析比較利潤、價格、產銷量及社會福利貢獻等，做為評估經營型態決策依據。柳婉郁與盧佩淪（2017）則是以農業多功能價值出發，歸納了包括了條件平估法、特徵價格法、市場價值法等12種衡量農業生產所產生的直接使用價值、以及衡量農業的景觀遊憩、生態及糧食安全等間接使用價值及如遺贈及存在等非使用價值的評估方法。其中，作者指出評估農業的直接使用價值時可以採用市場價值法，此方法同時也可用評估農業的碳吸存及空氣淨化效益等間接價值。

因此，若衡量國營的農企業的最大效益時，可以採用線性規劃，式中除了應包含農企業的直接價值及間接價值外，也應考量其兼具社會價值的限制式。特別是在 2050 淨零碳排的浪潮下，農企業的生產除了追求其利潤最大化或是成本最小化，都必須考量到減碳並逐漸達到碳中和的限制條件。

2.2 植林

農企業的生產活動具有藉由碳吸存達到生態平衡的間接價值。企業要達到碳中和前，必須先進行組織碳盤查，鑑別其直接（製程）和間接（外部能源使用）所造成的碳排放，衡量事件或行為對環境帶來傷害的程度，並透過第三方監測、報告與國際間驗證組織完成認證。了解自身基礎年的碳排放量後，企業應該進行溫室氣體減量，減量方法包括了碳抵換、再生能源、低碳燃料轉換、能源效率提升、熱能回收、含氟氣體破壞去除、低碳運輸、廢棄物回收再利用，依環境部認可之減量方法提出專案計畫書，計畫書內容經查驗機構確證並註冊後，執行減量實績經查驗機構查證及環境部審查通過後，就會將減少的碳排放量核發減量額度（碳權）。對農企業而言，除了在製程上以電力及非電力方式獲得減量額度外，可以產生自然碳匯更是與其他產業

不同之處。

植林和森林的永續經營最大效益是可以減緩地球暖化 (Metz et al., 2005)。溫室氣體可由碳吸存 (carbon sequestration)、碳保存 (carbon conservation)、碳替代 (carbon substitution) 三種方式來進行 (註 9)，其中碳吸存指透過森林、海洋和土壤等碳匯 (Carbon Sink) 來吸收和匯集二氧化碳，再以碳庫 (carbon pool) 來保存二氧化碳。碳匯中目前以森林碳匯 (又稱綠碳) (註 10) 的技術和衡量方式最為成熟，森林碳匯中的碳庫包含了生物量、死有機質、土壤。其中生物量是指土壤以上所有活的木本和草本的地上部生物量，以及地下部的生物量 (即活根) (IPCC, 2006)，死有機質則有枯死木和枯落物，土壤則是土有機質。這些碳庫可以用來固定二氧化碳 (Noble, Bolin, Ravindranath, Verardo, & Dokken, 2000)。臺灣森林面積占全島 60.71%，蓄積量約為 5 億 2 百萬立方公尺 (農業部林業及自然保育署，2020)，因此台灣規劃在 2050 年森林碳匯每年移除 22.5 百萬公噸碳排量，以達淨零排放目標 (國家發展委員會，2023)。

目前估算林木碳吸存量方法主要有兩種，分別為實測法及推估法。實測法的量測方式有生長量法和光作用速率計算法，推估法則是利用遙感探測、大氣反演推估來量測 (陳忠義、林亨勳、王經文與王亞男，2017)。實務上以實測法中的生長量法來推估林木固碳量為最常見，因其僅需每木調查即可取得資料，代入材積式並乘上材積轉換係數即可將樹幹的材積轉換為全株 (含幹、根、莖、枝及葉)，並得知碳吸存量 (李國忠、林俊成、陳麗琴，2000)。但 IPCC (2006) 將估算方法修正的更加精準，將材積式乘以生物量轉換與擴展係數，再乘 (1+根莖比) 後，才乘以碳轉換係數求出每公頃森林二氧化碳吸存量。然依劉知好與王兆桓 (2008) 以此公式進一步分析碳吸存，估算後發現，因生長量法是以固定生長率來推算林木蓄積量的增加情形，由於固定生長率為一複率利公式，容易隨著時間增長，長期預測值有遽增的偏誤。另外，在估算碳匯時，依估算的準確率也可分為三個層級的尺

度，分別為準確率最高的第三層級 (Tier 3) 即現地測量；若以國家層級的資料來估算，其準確率為次之的第二層級 (Tier 2)；以及準確率較低的第一層級是以 IPCC、溫室氣體議定書 (GHG Protocol)、國際地方政府溫室氣體排放分析議定書 (IEAP)、溫室氣體查證 (ISO 14064-1) 等應用國際資料來估算 (邱祈榮, 2022)。

由於溫室氣體對環境有負的外部性，因此吸收溫室氣體的碳匯具有非市場價值。為使排放者的二氧化碳排放的外部成本內部化，政府定出碳價格由排放者負擔，此政策工具稱為皮古稅 (pigouvian tax)。政府碳定價 (carbon pricing) 中分為外顯碳價及內顯碳價，其中外顯碳價再細分為兩種，一是碳稅 (carbon tax)、碳費 (carbon fee) (註 11)，另一種則是碳交易 (carbon trading)。前者為以價制量，毋須設置排放上限，後者則為以量制價，以總量管制劃分可交易排放額度，進而產生碳權。2023 年 8 月由臺灣證券交易所及國發會共同成立的台灣碳權交易已正式成立，也將於 2024 年開始徵收碳費，但迄今國內碳權及碳費都仍尚未交易及實施徵收。然而，環境部委託倫敦政經學院所針對臺灣經濟及溫室氣體排放情況進行全面性分析，並衡量可能受影響之關鍵產業，其在 2020 年研究報告中指出，臺灣碳費約為每公噸 300 元 (註 12)。

碳價格會影響造林動機及林地之經營。徐寬與柳婉郁 (2017) 在考量杉木經濟林的土地期望價值與最適輪伐期下，利用碳價格變動敏感度分析計算木材及碳匯收入、碳釋放支出下的碳交易模式。其研究結果顯示，當碳價格超過每公噸 3,573 元，最適輪伐期將開始縮短。這是因為林主為獲取更高收益而提早進行砍伐。另外，柳婉郁、江怡樺與林信維 (2020) 在考慮碳吸存的機會成本下，兩種針葉林 (杉木及臺灣杉) 及兩種闊葉林 (相思樹及大葉桃花心木) 的碳權價格，其以 20 年計畫為例，在設定林木減少收穫比例為 50% 及考量驗證等成本之下，杉木、臺灣杉、相思樹及大葉桃花心木四種樹種之損益兩平的碳權價格分別應為 2,276 元 / ton CO₂、2,061 元 / ton CO₂、

909 元 / ton CO₂ 及 1,697 元 / ton CO₂。林俊成、劉恩妤與邱祈榮（2019）的研究也指出監測頻率越高，需要越大的造林規模，才能使碳權收入與支出達平衡。即使於「溫室氣體抵換專案管理辦法」的實施有助於提高國人造林的意願，但每公頃碳權收入很可能小於委託查驗機構之監測及查驗證等費用。可見以森林碳匯來獲取碳權的成本相當高。

除了碳匯外，森林地經過疏伐後能從事農業生產（稱：林下經濟）。林下經濟是指為不破壞森林環境與組成，維持森林樣貌及功能等原則下，在林業用地從事森林冠層下經營森林副產物之行為（農業部林業及自然保育署，2019），林下經濟是維持森林永續經營的重要手段。巫建成、林佑儒與柳婉郁（2020）研究指出段木香菇、林下養蜂、山胡椒、金線蓮、咖啡與茶等六項是最具發展潛力的林下經濟作物。作者使用事前成本效益分析，估算平均每年每公頃之淨現值，結果顯示林下養蜂及栽植金線蓮具有較高的利潤，且所需投入生產成本相對較低，但技術層面較高，而林蔭咖啡及林下栽種茶樹所投入成本較高，但具有較高之品質，亦有利可圖。

2.3 農業部門之綠能發展

為達 2050 的淨零排碳目標，我國淨零排放路徑及策略首要為推動能源轉型，擴大再生能源設置（國家發展委員會，2023）。再生能源發電因其永續、低汙染及友善環境，且技術可提供電網所不能及的偏遠地區，達到能源多樣性的替代效果。台灣預計於 2025 年達成再生能源設置容量 20GW，2050 年達 40~80GW 的目標。其中，太陽能是目前使用量最高的再生能源之一，隨著設置相關材料成本下降，且光電轉換效率持續提升，將成為再生能源中不可或缺的角色（陳俞婷，2020；蔡毓如，2019），因此政府優先建置技術已成熟之太陽光電（國家發展委員會，2023）。

依據 2022 年國際再生能源總署（The International Renewable Energy Agency, IRENA）統計報告指出，截至 2021 年全球太陽光電累積裝置容量達

840GW，較 2020 年約增加 130GW，占全部再生能源年度增加量 50% 以上，顯示太陽能光電已成為趨勢。在我國，依據經濟部能源局再生能源資料統計，2021 年設置容量及總發電量分別為 11,585 千瓩及 1,700 萬千度，太陽能光電占比分別約為 66% 及 46%，太陽能電也成為臺灣主力自主能源。然而，太陽能板的架設需耗費大量的，再加平坦的土地發電較率較佳，農業部門為了配合政府政策，已陸續盤點出不良農地做為太陽能板的設置區域，八成的地面型太陽能板發電是來自於農地（高銘志、游季葳，2022）（註 13）。

造林地可以移做農作及太陽能板發電之用，但若無法規特定約束下，兩者之間可能有權衡效果。鄭裕財（2010）針對企業以植樹造林及設置太陽能光電板發電兩種減碳方式進行評估，由研究結果得知，雖然太陽能光電板系統設置成本可能高於植樹造林，但隨著發電效率的提升，太陽能光電減碳成本將低於植樹造林。因此，對一般企業而言太陽能光電減碳潛力將優於植樹造林。

III、台糖公司造林政策介紹

台糖公司為全臺占地面積最廣的農企業，截至 2020 年土地面積共計 49,630 公頃（註 14）（立法院，2022）。台糖公司的造林沿革如表 1 所示，自 1987 年起即以自費造林的方式，將大面積之休耕蔗田改種經濟林木，在十年間平原造林面積達 433 公頃。爾後，開始配合政府的造林政策，於 1997 年至 2001 年間分別執行行政院環保署的「環保林園大道計畫」及農業部之「全民造林運動計畫」，分別造林 388 公頃及 499 公頃，共計 887 公頃。2002 年之際，政府為因應加入世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）可能造成我國農地資源流失，因此以扶植平地林業的方式來增加平地綠色資源、減少溫室氣體排放、加強生態保育，因而開始了第一波為期 20 年的大規模「平地景觀造林計畫」。台糖公司配合農業部林業及自然保育署的「平

地造林及綠美化計畫」，於 2002-2008 年間參與造林達 7,664 公頃。參與此計畫可以獲得造林獎勵金的直接給付；新植的第一年為每公頃新台幣 10 萬元，第 2 年至 6 年的撫育期為每年每公頃 3 萬元，第 7 年至第 20 年的管理期則為每年每公頃 1.7 萬元。獎勵補助的樹種包括了柳杉、樟樹、臺灣杉及臺灣欒等十種樹種。

表 1 台糖公司造林沿革

推動單位	政策項目	時間（年）	面積（公頃）
台糖公司	自費桉樹造林	1987~迄今	433
行政院環保署	環保林園大道計畫	1997~2000	388
	全民造林運動	1997~2001	499
農業部林業及自然保育署	平地造林及綠美化計畫	2002~2008	7,664
	綠色造林計畫	2009~2012	3,274
合 計		1987~迄今	12,258

資料來源：立法院第 8 屆第 7 會期第 9 次會議議案文書及台糖網站（2022）。

2008 年農業部制定了「平地造林直接給付及種苗配撥實施要點」，更加強補助力道來推動第二波的 20 年的平地造林計畫，新植期給予每公頃新臺幣 21 萬元，撫育期為 13 萬元，管理期則為 11 萬元。因此，台糖再次配合農業部林業及自然保育署之「綠色造林計畫」，造林 3,274 公頃。2002 年至 2012 年約十年間，二波的 20 年全台造林計畫，全台共計造林超過 1.4 萬公頃，其中台糖造林約占總面積的 78%（10,938 公頃），占其所有造林面積 12,258 公頃之 89.65%，約占全國森林面積（約 220 萬公頃）之 0.5%。2012 年底，政府停止受理新植林的申請，台糖公司的大規模造林活動也停止。

以時間軸和地域（如表 2）台糖公司參與兩波造林計畫，從 2003-2012 年共造林 9,106.27 公頃（註 15）。每年在各地植林狀況，皆以初始年時的新植面積為最大，第一波的 2003 年種植了 3,316.17 公頃及 2009 年的 1,753.59 公頃為最高，逐年遞減至 2012 年的 29.21 公頃。地域上則是在第一波時在花蓮

縣的新植面積最大，第二波時以屏東縣的新植面積最大，其次是花蓮縣，兩波造林中花蓮縣和屏東縣合計造林面積約占整體面積之 60%。但整體而言，造林地遍布全臺。再以台糖公司執行造林業務的農場來看（如附錄表 1），種植面積超過 500 公頃的農場依序為花東區處中原農場 694.83 公頃（占總植林面積的 7.63%）、屏東區處興華農場 579.95 公頃（6.37%）及大響營農場 505.63 公頃（5.55%），超過 100 公頃之農場有 33 個之多。因此，合計植林面積大於 100 公頃的農場計有 37 個，合計面積占總植林面積達 95.34%。植林面積最小的則為高雄的金瓜農場，僅有 0.55 公頃。

表 2 台糖公司於各縣市每年造林面積

年度	屏東縣	花蓮縣	臺南市	高雄市	嘉義縣	臺東縣	臺中市	雲林縣	彰化縣	南投縣	總計
2003	504.65	1,363.03	311.58	194.61	564.70	130.87	45.89	90.32	110.52		3,316.17
2004	526.62	187.07	492.57	60.62	211.62		27.68				1,506.18
2005	472.92		51.83	144.63	7.87			37.24			714.49
2007	396.52		67.86			46.82					511.20
2008	68.62			38.66				2.94	0.70		110.92
2009	864.07	40.67	153.17	280.74	33.44	174.28	132.74	57.46	2.02	15.00	1,753.59
2010	506.47	8.95	22.98	92.29	25.03	67.62	79.90	72.08	2.27		877.60
2011	152.23	11.85	11.81	78.63	29.38			3.02			286.91
2012		10.47		18.74							29.21
總計	3,492.10	1,622.04	1,111.80	908.92	872.04	419.59	286.21	263.06	115.51	15.00	9,106.27

資料來源：本研究整理。

平地造林計畫雖已終止，但 2002 年及 2009 年兩次的大規模造林計畫中，政府投注大量補助獎勵金，迄今已獲得 48 億新台幣之造林直接給付（註 16）。農業部林業及自然保育署在核發台糖公司之造林獎勵之前，會先檢驗其林木存活率、樹種及樹高等。依農業部林業及自然保育署造林補助辦法，林木存活率於造林後第七年必須達 70%，之後每年可扣除 2% 自然死亡率，依此推估 20 年期補助結束時須大於 44%。造林工作除了植林、撫育外，

也需做林地密度控制，適當疏伐避免林木因空間不足及閉鬱性高而徒長，甚至造成林木死亡。然而，台糖公司執行造林相關工作，若欲疏伐補助之造林地，必須先向農業部林業及自然保育署提報疏伐區域及數量，經林管處現勘許可後，方得進行招標伐採作業來進行疏伐（註 17）。

2002 年開始的植林計畫陸續於 2022 年到期，將失去造林獎勵金。因此，台糖公司將面臨將造林地做適當規劃，以達到其最大經營利益下又兼顧政府政策及企業 ESG 績效。目前預計將具棲地與生態價值之平地森林園區維持造林使用，地力肥沃區則應回歸農業使用，林相及地力不佳區可能配合政府發展太陽能光電，以達到土地利用最大化且適地適用（台糖網站，2022）。

IV、資料與研究方法

4.1 資料

本研究所使用的資料包括了台糖造林資料、造林地轉作農業生產的資料及林相不佳之地轉為太陽能光電使用的資料。以下分別介紹此三個資料庫。

4.1.1 台糖造林資料

本文最主要資料來自於台糖公司平地造林撫育執行成果年報表，此報表乃經林務局（現：農業部林業及自然保育署）檢核，符合品質保證（Quality Assurance）和品質控制（Quality Control）的機制（註 18）。從 2016 至 2022 年共計 7 年的年表（註 19）。年報中詳列台糖公司 6 區處之農場別，各數據資料中包含面積、樹種、平均樹高、林木成活率等，皆自種植年度開始累計至 2022 年第一季。造林縣市面積，以屏東區處之 3,492.10 公頃（38.35%）最大，其次為花蓮縣及臺東縣之花東區處 2,041.63 公頃（22.42%）、雲嘉區處 1,135.10 公頃（12.47%）、台南區處（臺南市）1,111.80 公頃（12.21%）、高

雄區處 908.92 公頃 (9.98%) 及中彰區處 (臺中市、彰化縣及南投縣) 416.72 公頃 (4.58%)，面積合計有 9,106.27 公頃。

台糖公司造林十年間所栽種的樹種多達 52 種，造林方式採每公頃 1,500 株栽植。由於有 15 項樹種造林面積占總面積之 93%，具有代表性，本研究將占比不及 1% 之 37 樹種以分類歸入 15 大樹種 (註 20)。歸納後，前 15 大樹種面積如表 3 光臘樹占 17% 為最高，依序為印度紫檀的 15%、桃花心木 14% 及無患子 11% 較多，小葉欖仁僅占 1%，剩餘 37 種樹種各別占比皆不及總種植面積之 1%。

表 3 台糖公司造林樹種占比

排名	樹種名稱	學名	面積 (公頃)	百分比
1	光臘樹	<i>Fraxinus formosana</i>	1,545.67	17%
2	印度紫檀	<i>Pterocarpus indicus</i>	1,408.00	15%
3	桃花心木	<i>Swietenia mahagoni</i>	1,290.66	14%
4	無患子	<i>Sapindus mukorossii</i>	989.57	11%
5	白千層	<i>Melaleuca leucadendron</i>	969.63	11%
6	台灣欖木	<i>Zelkova serrata</i>	881.17	10%
7	茄苳	<i>Bischofia trifoliata</i>	324.62	4%
8	水黃皮	<i>Cytisus pinnatus</i>	299.45	3%
9	苦楝樹	<i>Melia azedarach</i>	294.61	3%
10	楓香	<i>Liquidambar formosana</i>	272.39	3%
11	台灣欖樹	<i>Koelreuteria formosana</i>	189.37	2%
12	樟樹	<i>Cinnamomum camphora</i>	189.01	2%
13	烏柏	<i>Sapium sebiferum</i>	181.15	2%
14	相思樹	<i>Acacia confusa</i>	144.56	2%
15	小葉欖仁	<i>Terminalia boivinii</i>	126.41	1%
合計			9,106.27	100%

資料來源：本研究整理。

4.1.2 農業經營及太陽能光電資料

本研究所使用的農地出租價格及綠能價格也皆來自於台糖公司內部資料。農地出租價格方面，以統計 2022 年底現有農地競標出租的平均租金來計算，若該農場無出租記錄，則以區處平均值列之。各農場的平均租金如附錄表 2。最高平均租金以南投縣的埔里園場 113,026 元 / 公頃，最低則為花蓮縣的大富農場 20,246 元 / 公頃。

為配合政府能源轉型政策，台糖公司於 2022 年擴大盤點林相不佳之土地，評估可設置太陽能光電之區域，包含石礫裸露、表土流失、低窪淹水等每公頃林木蓄積量在 25M³ 以下之地。經盤點後預估設置太陽能光電之面積有 541.2 公頃，分別位於屏東縣的 244.7 公頃、花蓮縣的 149.9 公頃以及臺中市、南投縣、嘉義縣、臺南市、高雄市等五縣市合計 146.6 公頃的土地。台糖公司植林地的太陽能板設置乃採招商方式，與廠商合作設置發電設施，台糖公司每年收取開發權利金及經營權利金。台糖公司所收取的開發權利金為實際開發許可之面積（公頃）×每公頃開發權利金 15 萬元；經營權利金的計算為每年實際發電量（度）×台電公司躉購價格（元）×12%，但實際發電量小於 1,500 度時，以 1,500 度計。

4.2 研究方法

本研究以線性規劃來計算台糖公司於 2023 年造林地陸續屆期後，如何透過土地規劃達到最適經營。因此，其目標函數為收益最大化，可能的經營模式則有農業生產、維持造林地持續造林、以及做為太陽能光電使用（註 21）。以數學式表示如式 (1)。

$$\text{Max } \pi_t = [P_t^1 * X_t, P_t^2 * Y_t] + (P_t^3 + P_t^4) * Z \quad (1)$$

t=2003, 2004, ..., n ; n=2031 其中， π_t 為台糖公司 t 年由造林地的規劃可

獲取的最大收益。 t 代表造林的第 t 年，本研究起始年為 2003 年，2012 年為最後一次植林，其補助將於 2031 年底屆期，故 $n=2031$ 。 X_t 為 t 年選擇繼續造林面積； P_t^1 為 t 年之林木吸碳價值（註 22）； Y 為農業生產面積； P_t^2 為 t 年之農業生產價格。由於台糖公司造林地若移做農業生產，是以出租農友栽種農作物，而台糖公司主要是收取租金。做為太陽能光電將有開發權利金及經營權利金兩種收入；其中 P_t^3 為 t 年收取太陽能光電的開發權利金，經營權利金則為 P_t^4 。 Z 為台糖公司盤點出之太陽能光電面積，此為固定值 541.2 公頃。 P^3 及 P^4 兩種權利金也為固定值。再者，由於台糖公司的平地造林總面積為 9,106.27 公頃，且必須達到碳中和後方能追求最大利潤，故台糖公司之最大收入函數及限制式如式(2)。

$$\begin{aligned} \text{Max}\pi_t &= [P_t^1 * X_t, P_t^2 * Y_t] \\ \text{s.t } X_t + Y_t &= 8565.07 \\ X_t * c_t * f &\geq C_t \end{aligned} \quad (2)$$

其中， c_t 為台糖公司林木的碳貯存量； f 為二氧化碳排放係數，1 公斤的碳貯存量約是吸收了 3.67 公斤之 CO_2e （何郁庭，2021），因此 $c_t \times f$ 為碳吸存量（註 23）。達碳中和式(4)為等式，即 $C_t = X_t^* \times c_t \times f$ ，以 X_t^* 表示達碳中和的面積，則為 $X_t^* = \frac{C_t}{c_t \times f}$ 。代入利潤函數後，得轉作農租面積為 $Y_t = 8565.07 - \frac{C_t}{c_t \times f}$ 。再者， C_t 為台糖公司每年的組織碳排量，此數值於 2021 年（基準年）自主盤查類別 1 和類別 2 時，總碳排量為 23.2 萬公噸 CO_2e ，表示為 $C_{2021}=23.2$ 萬公噸 CO_2e 。

由於台糖公司的造林樹種共有 15 種，分別在 10 個縣市造林所以 t 年之持續造林面積會是每個樹種 i 於 t 年於 j 縣市種植面積的加總，如式(3)。

$$X_t = \sum_{j=1}^{m=10} \sum_{i=1}^{n=15} x_{ijt} \quad (3)$$

要計算 t 年的碳貯存量 c_t 時，本研究依據『2023 年中華民國國家溫室氣體清冊報告』來計算森林的生物量碳庫的計算如式(4)。

$$c_t = \sum_{i=1}^{15} V_{it} \times BCEF_{it} \times (1 + R_{it}) \times CF_{it}$$

$$V_{it} = f(D_{it}, H_{it}) \quad (4)$$

其中， V_{it} 是 i 樹種於林齡為 t 年的林型材積生長量； $BCEF_{it}$ 為 i 樹種於 t 年的生物量轉換與擴展係數（ ton/m^3 ）。生物量轉換與擴展係數（Biomass Conversion and Expansion Factors, BCEF）是指將材積（包括樹皮）轉換為地上部生物量的係數。 R_{it} 為 i 樹種於 t 年的地下部生物量與地上部生物量之比值，即根莖比； CF_{it} 為 i 樹種於 t 年時的乾物質碳含量比例。其中， V_{it} 是樹種 i 於 t 年時胸高直徑 D_{it} 和樹高 H_{it} 的函數。本研究所採用的 V 、 $BCEF$ 、 R 及 CF 依據及準確層級如附錄表 3；15 種樹種的參數值則如附錄表 4。

由造林地轉作農租的順序是以縣市內碳吸存量較低的樹種面積優先轉作農租。轉移做為架設太陽能版的造林地則為固定值，是台糖公司盤點出來的林相不佳的土地，分別分布於臺中市（22.9 公頃）、南投縣（6.4 公頃）、嘉義縣（77.2 公頃）、臺南市（36 公頃）、高雄市（4.1 公頃）、屏東縣（244.7 公頃）及花蓮縣（149.9 公頃）7 個縣市，共計 541.2 公頃的土地面積，以 Z 來表示。由於搭設太陽能必須預留維修通道、隔離設施和緩衝帶等（註 24），太陽能板的搭設面積（建蔽率）約僅占土地面積的 7 成，故約有 378.84 公頃（ $0.7Z$ ）能做為太陽能板發電使用。在此土地面積下的太陽能板可以有多少發電量，是本研究必須求出的值。以蕭子訓、黃孔良與張耀仁（2017）的試算，地面型太陽能板發電裝置容量 1 瓩（kW）（註 25）所需面積約為 15 平方公尺（等於 0.0015 公頃）。因此，以下式(5)可以推算出縣市 j 的不良農地搭設發電裝置容量為 1 瓩（kW）的太陽能板之個數，即 a_j ，亦代表於 j 縣能夠搭設的太陽能板總裝置容量。

$$\frac{0.7Z_j}{0.0015} = a_j \quad (5)$$

其中， a_j 為 j 縣市所搭設，能產生 1 瓩的太陽能板個數，故也為該縣市的太

陽能板的裝置容量。再者， $\sum_{j=1}^{m=7} z_j = Z$ ，各縣市的不良農地 z_j 為固定值，加總後等於 541.2 公頃，亦為固定值。台糖所有搭建之太陽能總裝置容量為 7 個縣市的太陽能光電總裝置容量加總，為 $\sum_{j=1}^{m=7} a_j$ 。

裝置容量必須轉換成發電量「度」(kWh)度，方能知道台糖可能的售電收入。裝置容量是 1kW 的太陽能板發電功率達 100% 的情況下，一小時可以產生 1 度電 (kWh)。然而，太陽能板發電受到設置縣市的日照時數、降雨量等因素影響其發電程度，多數無法達到 100% 發電。故必須依縣市的差異來算出各縣市可能的發電量。因此，本研究參酌台灣科技媒體中心 (Science Media Centre, SMC) (2021) (註 26) 所提出的發電量估算公式來估算各縣市的發電量 e_j ，如式(6)。

$$e_j = a_j \times 1kW \times 365 \text{ 天} \times 24 \text{ 小時} \times b_j \quad (6)$$

其中， b_j 為台電公司 (2023) 所公布的各縣市的平均容量因數。台糖不良農地的總發電量則為 7 個縣市的發電量加總，為 $\sum_{j=1}^{m=7} e_j$ 。台糖售電收入可分為開發權利金 (15 萬元 / 公頃) 及經營權利金。開發權利金是固定值，計算方式為 15 萬元乘以各縣市的不良農地的七成，即 $15 \text{ 萬} \times 0.7z_j$ 。經營權利金的計算則須先算出各縣市發電量是否大於等於最低保證年發電量 1,500 度，若低於門檻值，則台電以 1,500 度保證基準給予經營權利金，若大於門檻值則以該度數來計算，權利金的比率是 12%，如式(7)表示權利金的計算。

$$\text{If } e_j \leq 1,500 \text{ 度, 則權利金收入} = 1,500 * FiT * 0.12 \quad (7)$$

$$e_j > 1,500 \text{ 度, 則權利金收入} = e_j * FiT * 0.12$$

其中，本研究的 FiT 值採用經濟部 (2023) 所訂出太陽能躉購費率 3.868 元。因此，每個 j 縣市綠電售電的收入為式(8)。

$$\text{If } e_j \leq 1,500 \text{ 度, } 1,500 * FiT * 0.12 + 150,000 \times 0.7z_j \quad (8)$$

$$e_j > 1,500 \text{ 度, 則 } e_j * FiT * 0.12 + 150,000 \times 0.7z_j$$

V、實證結果

5.1 敘述統計

本研究 2003 年至 2012 年之平地造林計畫樹種面積共計 9,106.27 公頃。以各縣市造林樹種面積（如表 4）來看，十個造林縣市中，種植面積最大的為屏東縣的 3,492.10 公頃，其中以種植桃花心木占 27.26% 為最多，其次為印度紫檀和無患子，較少種植相思樹（僅占屏東縣造林面積的 0.57%）。造林面積居次的花蓮縣則是集中種植光臘樹，占地 707.09 公頃（占花蓮縣造林面積的 43.59%），其次為台灣欒木和楓香，但花蓮縣沒有種植白千層。最小的造林縣市則為南投縣種植了 15 公頃的楓香。整體而言，若以樹種來看，光臘樹、楓香、樟樹與相思樹主要種植在花蓮縣；印度紫檀、桃花心木、無患子、苦楝及小葉欖仁主要種植於屏東縣；白千層種植在嘉義縣；台灣欒木及台灣欒樹主要種植於屏東縣及花蓮縣，面積合計皆將近 80%，而茄苳、水黃皮與烏柏較平均分布於各縣市。

表 5 為本研究所使用變數的敘述統計表。在計算森林碳匯時，是以每縣市每年各樹種為單位來計算，因此共有 1,205 個樣本數（詳見附錄表 5）。平均每年在 10 個縣市，15 種樹種的造林面積為 3.71 公頃，變異係數（ $100\% * \text{平均數} / \text{標準差}$ ）達 563.34%，表示於各縣市各樹種之造林面積差異甚大。從 2003 年至 2012 年陸續造林後的 20 年，台糖公司的造林樹木平均存活率為 81.17%，最小值也有 50%，大於政府所規範的 44%。樹高平均為 4.01 公尺（最高的為 13.6m 為種植在臺東的桃心花木，最小值為相思樹），推估樹苗僅 0.4m，胸徑平均值為 3.3cm（最大值 12.8cm 為種植在嘉義的樟樹）。51 個農場的每公頃出租金額約為 57,498 元。

臺灣目前仍無碳費及碳權的價格，因此本研究所選擇的碳價乃參考環保署委託倫敦政經學院在 2020 年研究中所建議的每公噸 300 元。

表 4 各縣市平地造林樹種之分布

樹種	單位：公頃						
	屏東縣	花蓮縣	臺南市	高雄市	嘉義縣	臺東縣	
光臘樹	291.51(8.35%)	707.09(43.59%)	118.11(10.62%)	14.79(1.63%)	78.6(9.01%)	218.96(52.18%)	
印度紫檀	656.48(18.80%)	1(0.06%)	337.32(30.34%)	329.47(36.25%)	8.02(0.92%)	0.8(0.19%)	
桃花心木	951.9(27.26%)	0.37(0.02%)	132.08(11.88%)	97.39(10.71%)	39.38(4.52%)	44.83(10.69%)	
無患子	564.62(16.17%)	25.36(1.56%)	48.24(4.34%)	47.59(5.24%)	3.97(0.46%)	7.26(1.73%)	
白千層	124.34(3.56%)		129.61(11.66%)	242.15(26.64%)	457.83(52.50%)	2.51(0.60%)	
台灣欒木	322.76(9.24%)	352.78(21.75%)	15.27(1.37%)	22.88(2.52%)	12.25(1.40%)	108.96(25.97%)	
茄	73.78(2.11%)	48.12(2.97%)	77.89(7.01%)	27.82(3.06%)	71.94(8.25%)	13.53(3.22%)	
水黃皮	84.91(2.43%)	6.97(0.43%)	94.05(8.46%)	6.76(0.74%)	75.91(8.70%)	9.16(2.18%)	
苦楝	179.32(5.14%)	9.29(0.57%)	48.11(4.33%)	26.02(2.86%)	8.25(0.95%)	2.12(0.51%)	
楓香	20.88(0.60%)	178.04(10.98%)	9.08(0.81%)	21.66(2.38%)	17.34(1.99%)	5.75(1.37%)	
台灣欒樹	63.66(1.82%)	85.65(5.28%)	10.78(0.97%)	9.68(1.07%)	7.97(0.91%)		
樟樹	48.27(1.38%)	110.27(6.80%)	5.06(0.46%)	4.99(0.55%)	3.8(0.44%)	3.3(0.79%)	
烏柏	49.59(1.42%)	29.19(1.80%)	20.1(1.81%)	36.24(3.99%)	43.55(4.99%)	1.35(0.32%)	
相思樹	19.97(0.57%)	67.3(4.15%)	25.6(2.30%)	18.22(2.00%)	3.47(0.40%)	0.56(0.13%)	
小葉欖仁	40.11(1.15%)	0.61(0.04%)	40.5(3.64%)	3.26(0.36%)	39.76(4.56%)	0.5(0.12%)	
總計	3492.1(100%)	1622.04(100%)	1111.8(100%)	908.92(100%)	872.04(100%)	419.59(100%)	

表 4 各縣市平地造林樹種之分布 (續)

樹種	臺中市	雲林縣	彰化縣	南投縣	總計
光臘樹	4.53(1.59%)	76.63(29.13%)	35.45(30.69%)		1,545.67
印度紫檀	63.82(22.30%)	0.27(0.10%)	10.82(9.37%)		1,408.00
桃花心木	1.83(0.64%)	9.59(3.65%)	13.29(11.50%)		1,290.66
無患子	163.11(56.99%)	125.32(47.64%)	4.1(3.55%)		989.57
白千層	5.33(1.86%)	0.99(0.37%)	6.87(5.95%)		969.63
台灣欒木	14.53(5.08%)	27.99(10.64%)	3.75(3.24%)		881.17
茄苳	2.05(0.72%)		9.49(8.22%)		324.62
水黃皮	14.02(4.90%)		7.67(6.64%)		299.45
苦楝	4.68(1.64%)	7.63(2.90%)	9.19(7.95%)		294.61
楓香	1.98(0.69%)	2.66(1.01%)		15(100%)	272.39
台灣欒樹			11.63(10.07%)		189.37
樟樹	0.34(0.12%)	11.25(4.28%)	1.73(1.50%)		189.01
烏柏	0.4(0.14%)	0.73(0.28%)			181.15
相思樹	9.44(3.30%)				144.56
小葉欖仁	0.15(0.05%)		1.52(1.32%)		126.41
總計	286.21(100%)	263.06(100%)	115.51(100%)	15(100%)	9,106.27

註：1.()為該樹種在每縣市的面積占比。

2. 空白處代表該縣市沒有種植該樹種。

資料來源：本研究整理。

表 5 敘述統計

變數名稱	定義與計算方式(單位)	樣本數	平均數	標準差
各樹種造林面積	台糖公司每年於 10 個縣市新增樹種之造林面積(公頃)	1,205	3.71	20.90
樹木資料				
存活率	造林實際每公頃存活株數除以 1,500 株所得之比率(%)	2,455	81.17	11.13
樹高	實際量測樹木土壤以上至樹冠枝葉之頂端的高度(m)	2,455	4.01	2.07
胸徑	實際測量出樹的胸圍圓周後除以 π (cm) (漁農自然護理署自然護理分署, 2006)	2,455	3.30	2.44
碳吸存計算參數				
BCEF	生物量轉換與擴展係數(ton/m ³)	2,455	0.85	0.20
1+R	1+地下部與地上部生物量之比值	2,455	1.24	0.02
CF	碳轉換係數	2,455	0.47	0.002
f		1	3.67	0
價格資料				
	農租價格(元)	51	57,497.71	13,956.85
	碳費(元)	1	300	0
	太陽能開發權利金(元)	1	150,000	0
	經營權利金(元)	7		
	2023 太陽能躉購費率(FiT)	1	3.868	0
不良農地	七個縣市林相不佳之面積(公頃)	7	77.31	89.76
容量因數	七個縣市發電之容量因數(%)	7	13.39	0.0088

資料來源：本研究整理。

5.2 碳吸存量結果

由於台糖公司必須先達到碳中和限制式後，再追求利潤最大化，因此本研究先估算其造林地之碳吸存結果。如圖 1 所示，2002 年開始造林初期，由於林苗小吸碳能力較差，成長至 2008 年時也僅吸收了 2.6 萬公噸 CO₂e；

於第 7 年（2009 年）起到 2015 年間的 6 年間，碳吸存量呈現較陡峭的增加幅度，每年約新增 2 萬公噸的 CO₂e。但於 2016 年（即栽種後的第 13 年）碳吸存能力又降低，約吸存 17.5 萬公噸 CO₂e。最終台糖公司十年造林結果將於 2020 年可以吸收 25.3 萬公噸 CO₂e，抵消掉其組織每年約 23.2 萬公噸的碳排放量，並於 2021 年（開始造林第 19 年）達到碳吸存量最大值 29.5 萬公噸 CO₂e。2021 年之後，由於林木生長及碳吸存能力的減緩，每公噸大致維持在 27.9 萬公噸的碳吸存量。若將每年的碳吸存量除以該年度的造林面積，台糖公司從 2003 年（植林開始）至 2020 年（達到碳中和時）平均每公頃林地約有 11.76 公噸 CO₂e 的碳吸存，至 2031 年（所有造林獎勵補助截止年）則每公頃約有 18.99 公噸的碳吸存 CO₂e。



圖 1 台糖公司每年造林所產生之碳吸存量

資料來源：本研究繪製。

2020 年開始台糖公司其造林結果可達到其組織碳中和的目標，再依縣市來看樹種的每公頃碳吸存量數值，則可知每個樹種在各縣市的差異。如表 6 所示，以樹種而言，台灣欒木的平均每公頃的碳吸存最高，達 57.95 公噸 CO₂e。其中以臺東縣的 109.71 公噸 CO₂e 為最高，再依次為高雄市之 74.53 公噸 CO₂e 及花蓮縣之 71.26 公噸 CO₂e 為第二及第三高；最低則為雲林縣之 10.79 公噸，與臺東縣的台灣欒木單位面積吸存量相差 10 倍之多。平均每公

頃吸存量次之的樹種為樟樹的 31.08 公噸 CO₂e，其在嘉義縣之平均每公頃吸存量為 85.23 公噸 CO₂e 為最高，花蓮縣的 38.86 公噸居次，第三則為臺東縣之 38.28 公噸 CO₂e。樟樹吸存量不佳之前三縣市為臺中市、雲林縣及彰化縣。桃心花木為平均每公頃吸存量第三的樹種，且以臺東縣之 114.85 公噸 CO₂e 最為突出，高雄市的 38.41 公噸 CO₂e 雖為次之，但與臺東縣之吸存量差異甚大。桃心花木的碳吸存量不佳縣市為雲林縣、台中市及台南市。碳吸存量普遍不佳的樹種則分別為相思樹，平均僅有 10.20 公噸 CO₂e；再者為水黃皮和無患子。若以縣市別來看，則可得知，臺東和花蓮是造林效果最好的兩個縣市，尤以臺東為佳（76.41 公噸 CO₂e / 公頃）。高雄市（36.30 公噸 CO₂e / 公頃）則是造林效果僅次於花東地區的縣市，是西部地區造林效果最好的縣市。造林效果最差的兩個縣市是雲林縣（3.29 公噸 CO₂e / 公頃）和台中市（4.11 公噸 CO₂e / 公頃）。

若將表 6 配合表 4 各縣市各樹種造林面積分布來看，則可得知每個樹種對碳中和的貢獻（如附錄表 6）。由於光臘樹的造林面積最廣（17%）且每公頃的碳吸存量也高，能吸存 14,139.77 公噸 CO₂e，占總吸存量的 21% 為最高，次之則為台灣欒木可吸存 3,915.44 公噸 CO₂e（20%），雖然其種植面積為第五，但其每公頃碳吸量為所有樹種最高，故貢獻度高於種植面積最廣之桃心花木的 10,192.46 公噸（15%）、印度紫檀 9,795.44 公噸 CO₂e（14%）及白千層 6,713.37 公噸 CO₂e（10%）。以上六大樹種合計貢獻了全部樹種碳吸存量的 80%。貢獻最差的則為相思樹，平均每公頃碳吸存量僅有 10.20 公噸 CO₂e，栽種面積也最少。以縣市來看則是屏東縣的 34.44% 和花蓮縣 28.66% 對碳中和的貢獻最高，兩縣合計貢獻了 63.1% 碳吸存量。

5.3 太陽能光電收益結果

表 7 為 541.2 公頃林相不佳之造林地轉做太陽能光電的收益。依 4.2 研究方法中的式 (6) 計算出七個縣市的發電量，結果顯示皆高於 1,500 度，總發

表 6 2020 年各樹種於各縣市之每公頃碳吸存量

樹種	單位：CO ₂ e/ha										平均
	屏東縣	花蓮縣	臺南市	高雄市	嘉義縣	臺東縣	臺中市	雲林縣	彰化縣	南投縣	
光臘樹	20.17	43.79	3.18	25.77	4.27	60.86	1.10	1.10	15.32	33.58	
印度紫檀	30.66	41.36	7.31	38.44	7.83	56.75	3.28	1.22	30.37	25.54	
桃花心木	27.99	28.97	7.51	38.41	16.81	114.85	3.27	3.21	12.76	28.99	
無患子	16.90	36.67	4.35	19.65	4.86	18.02	3.81	2.94	22.24	12.99	
白千層	26.62		44.31	39.79	12.67	1.74	8.61	3.08	14.12	25.40	
台灣欒木	31.56	71.26	59.21	74.53	46.07	109.71	10.96	10.79	40.78	57.95	
茄苳	22.17	24.19	5.15	33.16	21.77	56.88	4.78		30.55	20.81	
水黃皮	26.49	37.12	4.93	28.59	2.41	30.43	1.14		14.59	12.55	
苦楝	19.36	26.99	7.96	18.06	5.27	44.56	5.51	3.73	11.49	16.55	
楓香	20.23	22.22	2.18	21.75	12.69	23.69	0.50	1.86		20.00	
台灣欒樹	14.59	34.94	9.72	31.98	8.74				34.97	25.40	
樟樹	18.63	38.86	11.76	26.90	85.23	38.28	3.24	3.56	5.24	31.08	
烏柏	11.07	64.38	13.81	23.57	6.35	13.73	7.15	2.41		21.32	
相思樹	0.45	11.22	4.56	22.14	26.05	52.50	7.59			10.20	
小葉欖仁	35.68	35.31	19.23	52.83	8.88	0.30	0.73		19.94	22.06	
平均	25.00	44.79	11.96	36.30	12.12	76.41	4.11	3.29	20.22	14.81	27.82

資料來源：本研究整理。

電量可達 287 百萬度電以上。再依式 (7) 及 (8) 分別算出每個縣市的經營權利金收入及售電收益。結果顯示七個縣市的售電收益高達 190 百萬元以上，相當於每公頃平均售電收入為 35 萬元以上。其中，發電量最高的地區為屏東縣約 132 百萬度電，售電收入約為 87 百萬元（平均每公頃為 35.5 萬元），主因其太陽能板裝置容量最大，日照能力強，因此容量因數也高。臺中市和臺南市也因容量因數高，其每公頃售電收益也高，分別為 376,918 元和 374,443 元。而花蓮縣的容量因素雖然相對較低，但由於其太陽能板裝置容量高，所以其售電售益為居第二高。

表 7 太陽能光電收益

縣市	造林地 面積 (公頃)	太陽能 板裝置 容量 (瓩)	容量 因數	發電度數	經營權利金 (元)	開發權利金 (元)	售電收益 (元)	平均每公頃 收益(元)
臺中市	22.90	10,687	14.33%	13,415,477	6,226,928	2,404,500	8,631,428	376,918.24
南投縣	6.40	2,987	13.08%	3,422,528	1,588,601	672,000	2,260,601	353,218.88
嘉義縣	77.20	36,027	13.93%	43,962,595	20,405,678	8,106,000	28,511,678	369,322.26
臺南市	36.00	16,800	14.20%	20,897,856	9,699,949	3,780,000	13,479,949	374,443.02
高雄市	4.10	1,913	13.22%	2,215,392	1,028,296	430,500	1,458,796	355,803.96
屏東縣	244.70	114,193	13.17%	131,743,551	61,150,086	25,693,500	86,843,586	354,898.19
花蓮縣	149.90	69,953	11.77%	72,125,181	33,477,624	15,739,500	49,217,124	328,333.05
合計	541.20	252,560	13.36%	287,782,579	133,577,162	56,826,000	190,403,162	351,816.63

資料來源：本研究整理。

5.4 最大效益結果

台糖公司於 2003 年開始造林的面積，最早於 2023 年屆期。因此，在 2023 年後方能將不良農地做為太陽光電使用。然，台糖公司十年造林結果，最早可於 2020 年達成碳中和。碳中和後，若存在碳權交易時，則可將剩餘的森林碳匯賣出，多餘的造林地也可以農租，以及林相不佳之處做為太陽能發電使用。由於林相不佳的面積為固定值，所以台糖公司可以在方案 1 繼續造

林以獲得碳權或是方案 2 將多餘林地轉作農租中做選擇。表 8 顯示兩方案選擇之下的最大收益，此表顯示在 2020 年至 2022 年間將碳中和後多餘的林地轉作農租（方案 2）的收益較高。由於 2020 年碳吸存量為 25.35 萬公噸 CO₂e，抵消台糖公司的 23.2 萬公噸 CO₂e 的碳排後，還約有 2.15 萬公噸 CO₂e 為多餘的碳匯。此碳匯可以以每公噸 300 元的碳價賣出，則為 6,436,106 元。若將此多餘碳匯的林地轉作農租，不繼續造林，則約有 2,668 公頃的林地可以出租（註 27），將各縣市出租面積乘以各縣市農場平均租金則為 157,043,954 元。以相同方法計算 2021 年及 2022 年間兩種方案的收益，則兩年分別有 3,802 公頃及 3,189 公頃林地可轉作農租，農租收益分別約為 221 百萬元及 186 百萬元，高於碳匯收益的 19 百萬元及 14 百萬元。在三年間農租約高出碳匯 25 倍及 10.6 倍及 12.3 倍。在碳中和以下，2020 年至 2022 年分別只需維持造林面積為 6,438 公頃，5,304 公頃及 5,917 公頃，即可有約有 157 百萬元、220.5 百萬元和 185.7 百萬元的最大收入。

表 8 中的 2023 年至 2031 年間則是造林地陸續屆期，部份造林地開始無法獲得補助的期間。由於此段時間，造林地的碳吸存量大約介於 27.74 萬公噸 CO₂e 至 28.01 萬公噸 CO₂e 間，皆可抵消台糖公司的 23.2 萬公噸 CO₂e，大約只需保留 6,005 公頃至 6,011 公頃的造林地做為達到碳中和之用，其餘的公頃可做其他使用。但由於在此期間台糖公司已經可以將林相不佳的面積共 541.2 公頃轉作太陽能光電，且售電收入較高，所以台糖公司可能優先將 541.2 公頃做為設置太陽能板之用。扣除維持碳中和面積及扣除售電之用的土地後，台糖公司才可能在方案 1 繼續造林賺取碳權和方案 2 轉作農租收取租金收入中做選擇。但由於農租租金都大於碳匯收入，因此對台糖公司最有利的選擇會是選擇太陽能光電搭配第 2 方案（農租）（註 28）。也就是將 2,454 公頃至 2,560 公頃的造林地全數轉為農租。在此決策下，台糖可以有約 337.6 百萬元至 340.7 百萬元的收入，其中約有 56% 是來自於售電收入，農租收入約為 44%，碳匯收入僅占 3%。

表 8 碳中和下最大收益選擇

年度	限制式	方案 1		方案 2		售電收益 (元)	最大收益 (元)
	碳中和 面積	碳匯收益 (元)	碳匯面積 (公頃)	農租收益 (元)	農租面積 (公頃)		
2020	6,438	6,436,106	2,668	157,043,954	2,668	0	157,043,954
2021	5,304	19,011,191	3,802	220,513,446	3,802	0	220,513,446
2022	5,917	14,162,360	3,189	185,722,969	3,189	0	185,722,969
2023	6,111	10,590,159	2,454	147,228,337	2,454	190,403,162	337,631,499
2024	6,051	11,053,596	2,514	149,742,752	2,514	190,403,162	340,145,914
2025	6,045	11,091,814	2,520	149,896,289	2,520	190,403,162	340,299,451
2026	6,034	11,176,122	2,531	150,566,769	2,531	190,403,162	340,969,931
2027	6,026	11,239,073	2,539	151,050,862	2,539	190,403,162	341,454,024
2028	6,005	11,424,917	2,560	152,312,728	2,560	190,403,162	342,715,890
2029	6,036	11,151,252	2,529	150,467,820	2,529	190,403,162	340,870,982
2030	6,017	11,296,769	2,548	151,579,050	2,548	190,403,162	341,982,212
2031	6,026	11,225,410	2,539	151,031,192	2,539	190,403,162	341,434,354

資料來源：本研究整理。

表 9 以各縣市每公頃的單位收益分析。由表可知，臺南的平均每公頃收益最高 (29,2159 元 / 公頃)，臺東的 43,331 元 / 公頃最低。這是由於臺南的每公頃售電收入高，但臺東沒有不良農地，其碳吸存能力又最高，所有的造林地將會保留做持續造林使用。由表也可知道，由於彰化縣、雲林縣及臺東縣等三個縣市沒有被盤點出不良農地，因此沒有售電收入。彰化縣和雲林縣由於沒有不良農地的面積，因此在 2020 年達到碳中和後，將全移做農租使用，獲取最大收益，分別為 60,986 元 / 公頃及 64,016 元 / 公頃，為所有縣市中最低。

表 9 各縣市的每公頃最大收益

年	臺中	彰化	南投	雲林	嘉義	臺南	高雄	屏東	花蓮	臺東
2020	66,588	60,986	113,026	64,016	54,726	56,819	0	66,941	55,388	37,072
2021	66,588	60,986	113,026	64,016	54,986	55,453	60,575	56,137	60,499	42,364
2022	66,588	60,986	113,026	64,016	54,974	55,453	59,575	55,396	65,100	44,054
2023	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	371,056	76,361	117,042	309,964	44,054
2024	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	371,056	76,361	117,042	243,273	44,054
2025	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	371,101	76,047	117,042	239,892	44,054
2026	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	371,232	73,738	117,042	239,892	44,054
2027	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	370,630	72,352	117,042	239,892	44,054
2028	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	370,630	70,003	116,913	239,892	44,054
2029	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	371,222	74,039	117,042	239,892	44,054
2030	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	370,630	71,008	117,042	239,892	44,054
2031	91,096	60,986	215,508	64,016	83,771	370,630	72,407	117,042	239,892	44,054
平均	84,969	60,986	189,888	64,016	76,552	292,159	71,133	102,644	201,122	43,331

資料來源：本研究整理。

5.5 敏感度分析

因台灣碳費的價格還未定案，而且已知碳費將採逐年增加的方式進行，此節將進行碳費對總收益影響的敏感度分析。再者，售電收益易受各地的容量因數影響，隨著暖化日益嚴重及太陽能板發電效益的改進，容量因素將隨之變動。因此，本節第二部份也將進行容量因數對總收益的敏感度分析。台灣每公噸碳費的起始價格可能為300元至500元間，並於2030年成長至1,800元（陳昭宏，2024），故本文於表10估算出碳費成長至500元時之方案選擇及最大收益。

首先將表10和表8比較結果可知，當碳費成長至500元時，碳匯收益將於2020年的6,436,106成長至10,726,843元，2031年時則由11,225,410元成長至18,709,017元，成長66.67%，但由於相對來說仍小於農租收益，因此

農企業仍將選擇收取農租，最大收益不會改變。同理，若將碳費調整至 1,800 元時，雖然碳匯收益將同步成長 500%，但仍遠遠小於農租收益，選擇方案和最大收益仍保持不變。依此類推，除非碳費成長至 3,500 元至 4,100 元間，否則農企業的選擇方案將不變。換言之，當碳費至少得從每公噸 300 元成長 3,500 元 (1,067%) 時，農企業才會選擇方案 1 的繼續植林。

表 10 碳費價格增加至 500 元之敏感度分析

年	方案 1： 碳匯收益 (元)	方案 2： 農租收益 (元)	售電收益 (元)	最大收益 (元)
2005	-	0	0	0
2010	-	0	0	0
2015	-	0	0	0
2020	10,726,843	157,043,954	0	157,043,954
2021	31,685,319	220,513,446	0	220,513,446
2022	23,603,933	185,722,969	0	185,722,969
2023	17,650,265	147,228,337	190,403,162	337,631,499
2024	18,422,660	149,742,752	190,403,162	340,145,914
2025	18,486,357	149,896,289	190,403,162	340,299,451
2026	18,626,870	150,566,769	190,403,162	340,969,931
2027	18,731,788	151,050,862	190,403,162	341,454,024
2028	19,041,528	152,312,728	190,403,162	342,715,890
2029	18,585,419	150,467,820	190,403,162	340,870,982
2030	18,827,949	151,579,050	190,403,162	341,982,212
2031	18,709,017	151,031,192	190,403,162	341,434,354

資料來源：本研究整理。

在容量因數的敏感度分析上，將每個縣市的容量因數上調 1% 時，各縣市的收益變動將如表 11 所示。整體而言，容量因數上升 1% 時，平均售電收益將成長 5% 左右。其中，臺中市的售電收益成長 5.03%，為七縣市中最低，最高的則為花蓮縣的 5.78%。依此類推，若容量因數下降 1% 時，則各縣市的

售電收入將減少約 5%。容量因數對總收益（匯費收益、農租收益及售電收益相加總）的影響方面，由於售電收益占總收益近六成，所以容量因數每上升 1%，則總收益將約上升 3%。

表 11 容量因數對各縣市售電收益的敏感度分析

縣 市	造林地面積 (平方公尺)	太陽能 板個數	容量 因數	度 數	經營權利金 (元)	開發權利金 (元)	售電收益 (元)	收益 變動
臺中市	229,000	10,687	15.33%	14,351,658	6,661,465	2,404,500	9,065,965	5.03%
南投縣	64,000	2,987	14.08%	3,684,190	1,710,053	672,000	2,382,053	5.37%
嘉義縣	772,000	36,027	14.93%	47,118,560	21,870,551	8,106,000	29,976,551	5.14%
臺南市	360,000	16,800	15.20%	22,369,536	10,383,044	3,780,000	14,163,044	5.07%
高雄市	41,000	1,913	14.22%	2,382,971	1,106,080	430,500	1,536,580	5.33%
屏東縣	2,447,000	114,193	14.17%	141,746,857	65,793,221	25,693,500	91,486,721	5.35%
花蓮縣	1,499,000	69,953	12.77%	78,253,063	36,321,942	15,739,500	52,061,442	5.78%
合 計	5,412,000	252,560	14.39%	309,906,835	143,846,357	56,826,000	200,672,357	5.39%

資料來源：本研究整理。

VI、結論與建議

本研究依線性規劃式計算台糖公司在必須實現組織碳中和下，其於 2003-2012 年配合政府平地造林政策造林 9,106.27 公頃，於 20 年補助金屆期後，善用土地規劃下所能獲得的最大經營效益。研究結果顯示，台糖公司於十年間造林在 2031 年所有造林補助屆期後，平均每年每公頃碳吸存量為 18.99 公噸 CO₂e。台糖公司十年造林結果可以使其於造林 18 年後（2020 年）達成碳中和；抵銷其碳排量 23.2 萬公噸 CO₂e。以其植林地區的效率來看以臺東縣和花蓮縣和碳吸存量較高，尤以其臺灣檫木貢獻度最高，碳吸存量最差之地則為雲林縣，其光臘樹的吸碳能力甚差，僅有 1.10 公噸 CO₂e / 公頃。台糖公司在達碳中和後，僅需維持約 6,020 公頃繼續造林（約占總面積

的 66%)，其餘面積轉為農租或太陽能光電。其中，由於太陽能光電每公頃收入可達 35 萬元以上，農租每公頃價格約 5.7 萬元，碳滙每公頃收入僅有 0.83 萬元，所以台糖公司若無其他考量，最有可能將 541.2 公頃 (5.94%) 的不良農地做為光電使用，約 28% 的造林地則轉為農租，僅保持一定造林地做為碳中和之用。在此選擇下，台糖公司年最大收益約可達 341 百萬元。在縣市差異下，而每公頃單位收益以台南最高約 53 萬元，因其發電效率及售電收入最高，而臺東由於較適合繼續造林，較少面積轉作農租也無不良農地，因此每公頃收益反而最低。本文進一步對碳價及容量因數做敏感度分析，結果顯示，碳價成長至每公噸 3,500 元時，農企業將選擇植林來獲利。容量因數每增加 1% 時，各縣市的售電收益將成長 5%，整體總收益將成長 3%。

本研究結果顯示要抵消從事農產加工業的農企業之碳排放，可能需要較大面積的造林面積，來抵消其組織碳排放。本文顯示台糖公司要抵消其年碳排 23.2 萬公噸，必須造林 9,106.27 公頃長達 18 年。此結果與林俊成、鄭美如、劉淑芬與李國忠 (2002) 等的估計相差甚遠。依林俊成等人 (2002) 評估全民造林運動之經濟性，全臺前三年植林面積約 2 萬公頃，推估當造林至 20 年時，即可累積碳吸存約 458.06 萬公噸 CO₂e，每年新增碳吸存量皆在 14.95 萬公噸 CO₂e 以上，最高甚至高達 28.2 萬公噸 CO₂e。本研究各別樹種的吸碳結果相較於前人的估算也略低，如林俊成等 (2002) 研究中相思樹、光臘樹及台灣欖等闊葉樹種的碳吸存量最佳，可達每公頃 300 公噸 CO₂e，李宣德與馮豐隆 (2008) 估算樟樹的碳吸量為 159.5716 公噸 CO₂e，本研究顯示相思樹的平均碳吸存為 10.2 公噸 CO₂e；光臘樹為 33.58 公噸 CO₂e；台灣欖木為 57.95 公噸 CO₂e 及樟樹為 31.08 公噸 CO₂e。林國銓、黃菊美與杜清澤 (2008) 估算種植於臺東的欖木在樹齡 45 歲時每公頃碳貯量為 67.2 公噸 (相當於碳吸存量為 246.624 公噸 CO₂e)，平均每年每公頃碳吸存為 5.48 公噸 CO₂e；林國銓、杜清澤與黃菊美 (2010) 種植於高雄六龜的光臘樹於樹齡 26 歲時，碳吸存為 257.0835 公噸 CO₂e，平均每年每公頃碳吸存為 9.89

公噸 CO₂e；顏添明、林政融與謝傅凱（2020）估算新化林場的 45 齡桃花心木的碳貯存量是 235.60 公噸（碳吸存量為 864.652 公噸 CO₂e），平均每年每公頃碳吸存量為 19.21 公噸 CO₂e。本研究的估算結果植林（2003 年）至補助金結束（2031 年）平均每年碳吸存量雖約為 18.99 公噸 CO₂e，卻是很接近農業部林業及自然保育署根據 IPCC 建議之方式所換算每公頃林地年 CO₂ 固定量為 7.45~14.9 公噸 CO₂e 的數據（如：蕭棠文等人於 2009 文章所述），也僅略高於 Brilli et al.（2022）估算義大利普拉托（Prato）城市造林所估計闊葉林平均每年碳吸存量為 13.46 公噸 CO₂e。因此，本研究與國內其他學者的估計差異不大，也貼近於農業部和國外數值，結果堪稱合理。此差異應是來自於樹種樣區及林齡、材積公式、其他轉換係數、生長地因子等因素的影響。

由本研究得知，要以森林碳匯來賺取碳權獲利實屬不易。再者，碳權的獲得必須在造林時，經過抵換專案申請、監測、查證和驗證費等，所費不貲。所幸農業部於 2024 年 3 月修正並實施了「獎勵輔導造林辦法」，造林滿 6 年即可領 60 萬元獎勵金。再加上未來碳權交易時，若每公噸碳權淨收益至少能高於農地租金價格，則造林和林地經營的意願將可提升，這映證 Claassen & Morehart（2009）研究指出碳交易價格會影響土地所有者租賃用地的安排。另外，本研究雖未估算林下經濟作物的收益，但林下經濟不僅可以增加作物及林下收益，更可能增加碳吸存效益及環境永續。再者，每個縣市的最適經營狀況有所不同，未來造林規劃中，可挑選各縣市適合種植之樹種，以提高效益。以本研究顯示，花蓮、臺南、高雄、臺中、雲林及彰化等縣市適合種植台灣欒木，於臺東適合種植桃心花木，嘉義適種樟樹，屏東則應種植小葉欖仁。然，本研究也顯示，較適合做為造林之地反而收入最低。在目前仍以售電收入最高下，碳匯中的碳費對農企業而言仍過低之下，農企業很有可能選擇經營光電。因此，未來碳費的高低將可能影響著農地使用和規劃的結果，政策制定者在對碳排大戶課徵碳費時，也應考量其公益效果。

再者，中央統一向碳排大戶徵收碳費後如何讓碳排大戶的所在地，意即受污染的地方得到補償，亦是目前具有爭議的議題。相同的，台糖公司位於高雄市的砂糖事業部小港廠，因精煉糖等所使用之鍋爐排放，致其該廠的類別一及類別二碳排量合計約 10 萬公噸 CO₂e，是為高雄市的碳排大戶。然而，本研究結果顯示台糖公司於高雄市的造林碳吸量僅為 3 萬公噸 CO₂e，不足以抵銷其在當地所產生的碳排量。因此，台糖公司整體雖可透過在 11 個縣市造林來達到組織碳中和，卻在高雄市累積了 7 萬公噸 CO₂e 的污染。因此，目前減碳政策並未考量縣市間碳收支和縣市層級的碳洩漏 (Carbon leakage) 問題，可能造成企業在某些工業區集中的縣市具有高碳排，低碳轉型不易，難以邁向城市淨零。

本研究結果有助於釐清農企業在淨零碳排下的最適經營選擇，並提供具體的政策建議。再者，本研究也可以做為縣市政府規劃縣市內農業達碳中和的參考依據。但本文仍有以下限制：(1) 在資料方面，本研究僅針對台糖公司 2003 年至 2012 年造林補助屆期的面積做規劃；並未考慮 2002 年造林且於 2021 年屆期之面積，此乃因該面積已做其他規劃使用或林木已疏伐完成；(2) 再者，由於台糖公司在造林補助期間疏伐林木須呈報農業部林業及自然保育署，得到合准後方可進行疏伐，推估多數農企業與台糖公司相同，主要在維持其存活率，較少在造林補助期間疏伐，而且各樹種最適疏伐時間之資料有限，因此本研究在計算上並沒有同時考慮疏伐制度各經營期的疏伐面積，在碳吸存量的估計結果上可能有稍微低估的現象，但由於目前綠電收益過高下，本研究的結果應可呈現大部份農企業的選擇；(3) 在計算方面本研究僅取得 2016 年至 2022 年造林撫育執行成果報表，故部份資料如樹高和胸徑等採用推估值；(4) 本研究未估算土壤碳匯，可能因此低估台糖公司的造林效益，此乃因土壤碳匯尚未被臺灣納入溫室氣體排放的移除源，且黃碳的衡量較不穩定，技術也尚未成熟。但若以文獻所提供的數值來看，人工林在 30 公分土層的有機碳貯存量為 5.5kg/m² (胡庭恩，2006)。以此數據來估

算台糖公司之黃碳，估算約有 5,000 公噸碳貯存量，未來若黃碳可做為移除源，台糖公司將提早於 2019 年達成碳中和，並有更多土地面積可供經營使用。最後，農地轉作太陽能光電仍有爭議，也易造成假從農真種電的問題，進而影響國家的糧食安全。故本文所估結果雖以售電收益最高，但此不良農地仍需由地方政府核定後方可轉作光電使用，因此轉作光電之方案並不適用於擁有優良農地農企業之選擇。

附註

- 註 1：IPCC 為 Intergovernmental Panel on Climate Change 之簡稱，AR6 (Sixth Assessment Report) 則為 IPCC 於 2023 年發佈的第六次氣候變遷評估報告。
- 註 2：要達碳中和之前，必須先進行碳盤查 (Carbon Footprint Verification) 針對各種溫室氣體產生的狀態進行分析量化，第二步開始規劃執行節能減量措施及抵換機制，針對碳減量，可搭配森林碳匯、發展負碳技術及低碳農業、使用再生能源、購買碳權等方式，使二氧化碳排放量達成正負抵銷達碳中和 (Chen et al., 2022)。
- 註 3：我國於 2023 年 10 月 12 日實施《溫室氣體自願減量專案管理辦法》，目前與溫室氣體抵換專案管理辦法併行。辦法指出不受總量管制之實體可以申請自願減量專案，在專案取得註冊、實施執行措施並監測減碳量後，則可申請核發額度。減量專案包括了(1)再生能源；(2)森林管理 / 再造林；(3)能源效率提升及(4)燃料替代。所謂受總量管制之實體乃指依據《「氣候變遷因應法」》第 21 條而公告之《事業應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之排放源》內要求之發電業、鋼鐵業、石油煉製業、水泥業、半導體業及薄膜電晶體液晶顯示器業等行業製程別，以及全廠(場)化石燃料燃燒之直接排放產生溫室氣體年排放量達 2.5 萬公噸二氧化碳當量者及全廠(場)化石燃料燃燒之直接排放及使用電力之間接排放產生溫室氣體年排放量達 2.5 萬公噸二氧化碳當量之製造業(即俗稱之碳排大戶)，多數農企業為非受總量管制之實體。
- 註 4：依《氣候變遷因應法》第 26 條，減量額度(碳權)可用於溫室氣體增量換、扣除排放量、扣除排碳差額、抵銷超額量及其他經中央主管機關認可之用途，

意即碳權可用於有環評、減少碳費、減少產品碳排放及總量管制需求之企業。為便於說明，本文將減量額度與碳權互換使用。

- 註 5：以此資訊平台數據庫顯示，台糖的小港廠的溫室氣體排放量於 2017 年時曾高達 10.65 萬公噸 CO₂e，主要來自於類別一製程中所產生直接排放量，占 94.14%。
- 註 6：行政院環保署於 2022 年公告溫室氣體排放量盤查作業指引，規定事業應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之排放源，為每年排碳 2.5 萬公噸以上之企業，且登錄資料以工廠為主體，臺灣淨零策略以國家長期減量為目標，規劃促進產業轉型，並協助國內各企業自行進行溫室氣體量化、減量及抵換之依循。
- 註 7：溫室氣體盤查排放源分為三種類別，類別一指來自於製程或設施之直接排放，類別二指來自於外購電力、熱或蒸汽的能源利用間接排放，類別三指非屬自有或可支配控制之排放源所產生之其他間接排放，因其排放量計算所需之相關數據不易確認準確性，故僅需鑑別出排放源，尚無法規要求需列入排放量計算範圍（行政院環境保護署，2022）。
- 註 8：台糖公司於 2022 年時公告將釋出 549.67 公頃的土地做為發展太陽光電之用。此面積土地為經農業部及內政部評估後，認定不具生態價值及環境敏感範圍，為石礫裸露、表土流失或低漥淹水之區域，每公頃林木蓄積量低於 25 立方公尺，不適合林木生長及農業經營之地。
- 註 9：碳保存是指保存森林資源；碳替代則是指使用再生性林產品來取代鋼鐵水泥等耗能材料，以減少對化石燃料的依賴。
- 註 10：海洋又稱為藍碳；土壤則稱為黃碳。藍碳大約可吸收整體溫室氣體的 25±5%；森林碳滙約吸收 7.5%（IPCC, 2021）。然而藍碳尚未被納入我國的國家溫室氣體排放清冊做為移除源。
- 註 11：台灣擬先收碳費，課徵碳費的主管機管為環境部，課徵碳費的收入只能專款專用於氣候變遷的調適和減緩。碳稅的課徵機關則為財政部，採統徵統支的方式，可運用於綠色財政稅務改革如儲備未來碳債基金。由於碳費較單純，台灣將採碳費先行方式課徵。依碳費收費辦法（草案），從 2025 年開始，直接電力和間接電力排放量達 2.5 公噸的排放者，必須於每年 5 月前完成碳費的申報及繳納。
- 註 12：碳費即將於 2024 課徵，但目前仍未有定論，而以每公噸 300 元為最常被討論之價格。
- 註 13：地面型太陽光電發展之主要困境與解決方案，<https://learnenergy.tw/index>。

php?inter=knowledge&caid=4&id=850。

- 註 14：全臺面積共 3 萬 5,886.8623 平方公里，台糖公司土地面積約占 1.38%（行政院，2023）。
- 註 15：依農業部林業及自然保育署 2022 年之資料顯示，台糖公司被核定之撫育面積為 9107.64 公頃。然而，依台糖公司的報表指出，造林撫育面積為 9106.27 公頃，由於 9106.27 為台糖公司實際造林面積，且兩者差異面積僅為 1.37 公頃（約佔 1.5%），故本文以台糖公司之資料作為計算之基礎。
- 註 16：其經費支出主要用於台糖公司的人事費（55%）及業務費（45%）。人事費做為台糖公司以自有人力執行造林計畫之用人成本，業務費用於委託勞務費、事務、修理及搬運等費用。其中，委託勞務費的使用是由於台糖內部較無林木維護之相關人才，故造林撫育的勞務發包作業，意即將施肥、刈草、修枝、除蔓及病蟲害防治等維護項目委外經營。每月造林撫育作業完成後，再由各台糖公司之農場管理員進行驗收及經費核銷，並填報撫育工作之經費執行狀況表。
- 註 17：農業部雖宣導混農林生產模式，即透過林業與農業共存來增加林地的整體產值。然而，台糖公司若欲在未屆期之造林地發展林下經濟，須先向農業部提報耕區疏伐面積，經同意後方能疏伐並發展對環境永續有利且具經濟價值森林副產品。因此，本研究不包含林下經濟部份的估算。再者，台糖公司之林下經濟並非自營，乃採出租方式，林下經濟的租金是台糖參考周邊土地價格的市價後，以市價的 10%至 15%金額採競標方式出租。鼓勵承租戶於林下種植山藍、油茶樹、咖啡樹及可可樹等作物或養殖牛隻、蜜蜂、肉羊及鹿等。
- 註 18：林務局每年實地抽測每個造林的實際生長狀況，如果實際成長狀況和報表不一致時，則會要求台糖公司更正。
- 註 19：此七年年報可以得知 2003 至 2012 年的植樹造林地過去及到該年度的林木生長狀況。
- 註 20：分類方法是以縣市為單位，占該農場面積比不及 1%的樹種，全歸入該縣市的最大樹種做計算。
- 註 21：考量是否能從事林下經濟並非由台糖公司單方面可決定，故並未將林下經濟納入規畫中。
- 註 22：此為由 t 年之每公頃林木吸碳對於台糖企業（在私有企業利潤極大化概念下）之價值。
- 註 23：莫耳純碳重量為 12 克，1 莫耳二氧化碳重量為 44 克，以 44 除 12 約為 3.67（何郁庭，2021）。

註 24：根據非都市土地開發審議作業規範第 40 條中提及，申請開發案件之土地使用與基地外周邊土地使用不相容者，應自基地邊界線退縮設置緩衝綠帶。

註 25：裝置容量是指該設備出廠時，所設計滿載（百分之百全力發電）時的最大值，不同的設備常用的單位會不同，太陽能多以 kW 來表示。

註 26：SMC 是由國科會計畫補助所成立的中心，其中成員包括了科學的專家學者。在 SMC 網站中提出了此估計太陽能板的發電公式。

註 27：轉為農租的面積計算方式為，優先選擇碳吸存量差的樹種開始疏伐作為農租使用。

註 28：由於無法得知不良農地上是植何種林木及確切位置，故欲將被歸類無不良農地之造林地轉做為農租使用時，本文以各縣市平均租金計算。

參考文獻

- 王兆桓（2010）。建置森林生長量與蓄積量分析系統暨改善碳吸存估計之研究（2/4）。農委會委託之科技計畫研究報告（編號：99 農科-8.3.1-務-e1），台北：行政院農業委員會。
- 王貳瑞、高于涵（2022）。線性規劃在水產深加工成本效益分析與循環經濟之應用。《危機管理學刊》，19（1），37-46。
- 中華民國經濟部（2023）。中華民國一百二十年度再生能源電能躉購費率及其計算公式附表。取自 <https://law.moea.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL001385&kw>。
- 立法院（2022）。台灣糖業股份有限公司 111 年度營業預算評估報告。取自：
file:///C:/Users/acer/Downloads/File_19736342.pdf。
- 台灣科技媒體中心（2021）。能源名詞解釋 SMC 資料庫。取自：<https://smctw.tw/4223/>。
- 台灣電力公司（2023）。再生能源—各縣市太陽光電容量因數。取自：<https://reurl.cc/VzRQzn>。
- 台灣糖業公司（2022）。平地造林解編後資源利用規劃。取自：<https://reurl.cc/QWR14b>。
- 台灣糖業公司（2022）。農經業務平台業務專區—造林。取自：<https://www.taisugar.com.tw/Agribusiness/CP2.aspx?n=12125>。
- 行政院（2022）。行政院第 3832 次院會決議。取自：<https://www.ey.gov.tw/Page/4EC2394BE4EE9DD0/b7389f4c-ccc7-4808-95b6-483be8483ea9>。
- 行政院（2023）。國情簡介—土地。取自：<https://reurl.cc/nDn0yn>。
- 行政院農委會林務局（2010）。育林實務手冊。台北：行政院農委會林務局。
- 行政院環境保護署（2022）。溫室氣體排放量盤查作業指引附件下載。取自：
[https://ghgregistry.moenv.gov.tw/upload/Tools/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E7%9B%A4%E6%9F%A5%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E6%8C%87%E5%BC%95\(2022.05\)-final.pdf](https://ghgregistry.moenv.gov.tw/upload/Tools/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E7%9B%A4%E6%9F%A5%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E6%8C%87%E5%BC%95(2022.05)-final.pdf)。
- 巫建成、林佑儒、柳婉郁（2020）。林下經濟作物之成本效益評估。《林業研究季刊》，

42 (2), 105-117。

何郁庭 (2021)。你一年的碳排放量，要用幾棵樹來抵？單木材積及固碳量計算」。取自：https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=37857#_ftn1。

李宣德、馮豐隆 (2008)。森林碳吸存資源調查推估模式系統-以台灣樟樹為例。臺灣林業科學，23 (S)，s11-s22。

李能慧、吳桂森 (2018)。公有獨占公司之經營與其社會福利決策。國立金門大學學報，8 (1)，1-17。

李國忠、林俊成、陳麗琴 (2000)。台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析。臺灣林業科學，15 (1)，115-123。

邱祈榮 (2014)。建置符合 MRV 原則林業溫室氣體清冊編製機制及試算 (1/2)，農委會委託之科技計畫研究報告 (編號：102 農科-13.4.2-務-e1)，台北：行政院農業委員會。

邱祈榮 (2022)。瞭解森林碳議題的第一步—從正確認識森林碳匯開始」。取自：<https://e-info.org.tw/node/234384>。

林金樹 (2008)。疏伐強度對平地造林林分蓄積及地上部生物量影響之研究，行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列期末報告。嘉義：嘉義大學森林暨自然資源學系。

林金樹、鄭景鵬、王亞男、馬曉恩、劉哲璋 (2012)。九鬮農場大葉桃花心木、印度紫檀及小葉南洋杉人工林的林分初期生長特性。中華林學季刊，45 (2)，151-167。

林俊成、王培蓉、柳婉郁 (2010)。台灣獎勵造林政策之實施及其成效。林業研究專訊，17 (2)，16-21。

林俊成、劉恩好、邱祈榮 (2019)。造林抵換專案方法學研擬與未來展望。林業研究專訊，26 (3)，58-63。

林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠 (2002)。全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估。臺灣林業科學，17 (3)，311-321。

林振榮、鍾智昕、邱志明、林謙佑 (2012)。主要平地造林闊葉樹種的樹輪特徵研究。中華林學季刊，45 (1)，31-41。

林國銓、杜清澤、黃菊美 (2009)。台東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量。林業

- 研究季刊, 31 (3), 55-68。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2010)。光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算。中華林學季刊, 43 (2), 261-276。
- 林國銓、黃菊美、杜清澤 (2008)。櫟木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算。國家公園學報, 45-58。
- 林裕仁、劉瓊霏、林俊成 (2002)。台灣地區主要用材比重與碳含量測定。臺灣林業科學, 17 (3), 291-299。
- 柳婉郁、江怡樺、林信維 (2020)。考慮碳吸存機會成本下碳權價格之經濟分析。綠色經濟期刊, 6, a18-a60。
- 柳婉郁、盧佩渝 (2017)。農業部門多功能效益評估方法之分析。農林學報, 65 (3), 137-164。
- 胡庭恩 (2006)。台灣北部地區主要人工林土壤碳貯存量之估算 (碩士論文)。取自華藝線上圖書館系統。(系統編號 U0001-1007200622492100)
- 徐寬、柳婉郁 (2017)。考量死亡有機物與木製品碳釋放下之土地期望價值與最適輪伐期。農業經濟叢刊, 23 (2), 73-104。
- 氣候變遷因應法 (2023)。全國法規資料庫, 取自: <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020098&kw=%e6%b0%a3%e5%80%99%e8%ae%8a%e9%81%b7%e5%9b%a0%e6%87%89%e6%b3%95>。
- 高裕閔、王兆桓 (2013)。和平事業區森林永久樣區調查與分析 CO₂ 吸存效應。宜蘭大學生物資源學刊 (預刊文章), 1-22。
- 國家發展委員會 (2023)。臺灣 2050 淨零排放。取自: https://www.ndc.gov.tw/sContent_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811。
- 陳忠義、林亨勳、王經文、王亞男 (2017)。植林減碳—淺談森林的碳吸存。自然保育季刊 (99), 4-15。
- 陳昭宏 (2024)。碳費費率每噸 300 至 500 元起徵 2030 年最高每噸 1800 元。取自: <https://e-info.org.tw/node/239874>。
- 陳俞婷 (2020)。能源轉型下, 太陽光電的機會與挑戰。臺灣經濟研究月刊, 43 (6), 30-37。
- 黃允成、賴旻儀 (2018)。生產技術不確定下最適投料決策之研究。品質學報, 25

(6), 414-443。

黃萬傳 (1996)。綜合討論引言-論農業企業化經營之理念與實踐。農業企業化經營研討會專刊。

農業部 (2023)。Taiwan's Net Zero Strategies in Agricultural Sector 中英對照資料下載，取自：https://ccpo.coa.gov.tw/view.php?theme=web_structure&id=160。

農業部 (2002)。農業政策—加入 WTO 農民宣導資料。取自：<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=978>。

農業部林業及自然保育署 (1995)。第三次台灣森林資源及土地利用調查。取自：<https://www.forest.gov.tw/0004450>。

農業部林業及自然保育署 (2019)。林業大變革—林下養蜂種菇可合法經營。取自：<https://www.forest.gov.tw/0000014/0063864>。

農業部林業及自然保育署 (2020)。第四次森林資源調查報告附件下載。取自：<https://www.forest.gov.tw/0002393>。

漁農自然護理署自然護理分署 (2006)。樹木胸徑的測量方法。取自：https://www.afcd.gov.hk/tc_chi/conservation/con_tech/files/common/NCPN_No.02_dbh_chi_ver.2006.pdf。

環境部 (2024)。碳費收費辦法 (草案) 條文架構。取自：<https://enews.moenv.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=7E2C3FFD9B6B4351>。

環境部事業溫室氣體排放量資訊平台 (2024)。下載專區—盤查登錄資訊。取自：<https://reurl.cc/xa1A6V>。

蕭棠文、陳盈如、許富蘭、黃清吟 (2009)。木質廢棄物再資源化對減碳的貢獻。林業研究專訊, 16 (2), 41-46。

經濟部能源局 (2022)。統計專區—再生能源發電量及再生能源裝置容量。取自：<https://reurl.cc/068DNI>。

劉知好、王兆桓 (2008)。以林齡—蓄積量模式估算柳杉級檜木人工林的碳吸存量。宜蘭大學生物資源學刊, 4 (1), 35-45。

蔡毓如 (2019)。國際太陽能電池光電轉換效率研發現況。臺灣經濟研究月刊, 42 (6), 128-134。

鄭裕財 (2010)。評估植樹造林與太陽能光電板發電企業碳匯取得效益 (碩士論文)。

- 取自華藝線上圖書館系統。(系統編號 U0042-2202201313552092)
- 蕭子訓、黃孔良、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*, 4 (4), 401-430。
- 顏添明、林政融、謝傅凱 (2020)。新化林場大葉桃花心木人工林直徑分布量化及碳吸存能力評估。 *林業研究季刊*, 42 (3), 137-146。
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report.
- Brilli, L., Carotenuto, F., Chiesi, M., Fiorillo, E., Genesio, L., Magno, R., ... & Gioli, B. (2022). An integrated approach to estimate how much urban afforestation can contribute to move towards carbon neutrality. *Science of The Total Environment*, 842, 156843.
- Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2277-2310.
- Claassen, R., & Morehart, M. (2009). Agricultural land tenure and carbon offsets. *USDA-ERS Economic Brief*, (14).
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., De Bruin, S., Farina, M., ... & Tyukavina, A. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11(3), 234-240.
- International Renewable Energy Agency. (2022). Renewable Capacity Statistics 2022. Retrieved from <https://irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>.
- Kumekawa, I. (2017). *The first serious optimist. AC Pigou and the birth of welfare economics*. New Jersey, NJ: Princeton University Press.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate*

change, 2(1), 2391.

Metz, B., Davidson, O., De Coninck, H., Loos, M., and Meyer, L. (2005). *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*: Cambridge: Cambridge University Press.

Noble, I., Bolin, B., Ravindranath, N., Verardo, D., and Dokken, D. (2000). Land use, land use change, and forestry, *Environmental Conservation*, 28(3), 284-293.

Stanford-Billington, C., & Cannon, A. (2010). Do farmers adopt a strategic planning approach to the management of their businesses. *Journal of farm management*, 14(1).

The London School of Economics and Political Science. (2020). Carbon pricing options for Taiwan. Retrieved from <https://reurl.cc/XG5yqR>.

United Nations. (2004). The global compact - Who Cares Wins. Retrieved from https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who_cares_wins_global_compact_2004.pdf.

United Nations. (2023). Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

附錄

附表 1 台糖公司平地造林各農場種植面積

縣市	所屬區處	農場別	面積 (公頃)	百分比	縣市	所屬區處	農場別	面積 (公頃)	百分比
花蓮縣	花東	中原	694.83	7.63%	嘉義縣	雲嘉	南靖	145.75	1.60%
屏東縣	屏東	興華	579.95	6.37%	雲林縣	雲嘉	崁腳	140.11	1.54%
屏東縣	屏東	大響營	505.63	5.55%	雲林縣	雲嘉	新興	122.95	1.35%
屏東縣	屏東	新赤	393.52	4.32%	彰化縣	中彰	溪州	115.51	1.27%
花蓮縣	花東	林田	390.85	4.29%	高雄市	高雄	九鬮	107.92	1.19%
屏東縣	屏東	林後	335.74	3.69%	高雄市	高雄	新園	105.92	1.16%
臺東縣	花東	瑞源	328.00	3.60%	臺中市	中彰	山子腳	101.47	1.11%
屏東縣	屏東	四林	304.50	3.34%	屏東縣	屏東	武邊	99.16	1.09%
花蓮縣	花東	大農	298.13	3.27%	高雄市	高雄	白埔	96.88	1.06%
臺南市	台南	南沙崙	295.58	3.25%	臺南市	台南	虎山	94.30	1.04%
臺南市	台南	北沙崙	289.17	3.18%	嘉義縣	雲嘉	大埔美	91.18	1.00%
屏東縣	屏東	南岸	278.07	3.05%	屏東縣	屏東	隘寮溪	89.47	0.98%
嘉義縣	雲嘉	東石	252.36	2.77%	臺東縣	花東	富源	73.72	0.81%
屏東縣	屏東	昌隆	243.02	2.67%	高雄市	高雄	仁梓	54.48	0.60%
花蓮縣	花東	大富	238.23	2.62%	屏東縣	屏東	土庫	42.49	0.47%
嘉義縣	雲嘉	鰲鼓	224.56	2.47%	臺南市	台南	七股	37.32	0.41%
臺南市	台南	白河	218.59	2.40%	屏東縣	屏東	崇蘭	21.58	0.24%
高雄市	高雄	月眉	206.67	2.27%	屏東縣	屏東	海豐	21.00	0.23%
屏東縣	屏東	建功	202.74	2.23%	臺東縣	花東	豐樂	17.87	0.20%
臺南市	台南	新化	176.84	1.94%	屏東縣	屏東	崁頂	16.15	0.18%
臺中市	中彰	外埔	173.09	1.90%	南投縣	中彰	埔里	15.00	0.16%
屏東縣	屏東	太源	172.73	1.90%	屏東縣	屏東	六塊厝	14.84	0.16%
屏東縣	屏東	萬隆	171.53	1.88%	臺中市	中彰	聚興	11.65	0.13%
高雄市	高雄	吊雞林	168.01	1.84%	高雄市	高雄	手巾寮	7.27	0.08%
高雄市	高雄	鳳南	161.20	1.77%	高雄市	高雄	金瓜	0.55	0.01%
嘉義縣	雲嘉	港墘	158.19	1.74%	總計			9,106.27	100.00%

資料來源：本研究整理。

附表 2 台糖公司各區處農地標租年公頃平均租金

區處	縣市	農場名稱	平均租金 (元)	區處	縣市	農場名稱	平均租金 (元)
中彰	臺中	山仔腳農場	70,612	高雄	高雄	月眉農場	56,076
		聚興農場	57,972			金瓜農場	54,463
		外埔農場	64,809			手巾農場	55,939
	彰化	溪州農場	60,986			新園農場	57,852
南投	埔里園場	113,026	九鬮農場			62,541	
雲嘉	雲林	崁腳農場	61,437			吊雞林農場	62,215
		新興農場	66,955			白埔農場	50,963
	嘉義	港墘農場	51,322			鳳南農場	77,729
		東石農場	44,546			仁梓農場	87,508
		鰲鼓農場	62,990			六塊厝農場	52,751
		大埔美農場	57,705	崇蘭農場	50,818		
南靖園場	62,856	海豐農場	54,267				
臺南	臺南	新化農場	58,412	隘寮溪農場	57,493		
		七股農場	64,078	新赤農場	67,491		
		白河農場	44,939	萬隆農場	51,541		
		虎山農場	58,053	四林農場	45,349		
		南沙崙農場	60,374	林後農場	47,299		
		北沙崙農場	61,403	屏東	屏東	土庫農場	50,284
花東	花蓮	中原農場	84,525	崁頂農場	53,673		
		林田農場	42,047	武邊農場	52,674		
		大農農場	38,430	大響營農場	73,647		
		大富農場	20,246	昌隆農場	57,751		
	瑞源農場	56,824	太源農場	53,585			
臺東	富源農場	32,019	建功農場	52,913			
豐樂農場	49,503	南岸農場	50,984				
				興華農場	48,508		

資料來源：本研究整理。

附表 3 推估參數表

變數	數	值	來源	準確層級
V	光臘樹： $0.000222535 \times D^{1.74560} \times H^{0.56023}$ 印度紫檀、桃心花木、無患子、白千層、茄 荖、水黃皮、苦楝樹、楓香、台灣欒樹、烏 柏、相思樹： $0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$ 台灣欒木： $0.000218559 \times D^{1.92770} \times H^{0.30687}$ 樟樹： $0.000041754 \times D^{1.3854} \times H^{1.7350}$ 小葉欖仁： $0.0000199357 \times D^{1.902} \times H^{1.250}$	實測、林金樹 (2008)、林國銓等 人(2009)、林金樹 等人(2012)、王兆 桓(2010)、林振榮 等人(2012)、農業 部林業及自然保育 署(1995)	Tier 3	
BCEF	桃心花木：0.6150 樟樹：0.6850 印度紫檀、無患子、白千層、茄荖、水黃 皮、苦楝樹、台灣欒樹、烏柏、小葉欖仁： 0.7835 楓香：0.8550 光臘樹：1.0110 相思樹：1.1660 台灣欒木：1.4300	高裕閔與王兆桓 (2013)	Tier 3	
1+R	楓香：1.22 光臘樹、台灣欒木：1.23 印度紫檀、桃心花木、無患子、白千層、茄 荖、水黃皮、苦楝樹、台灣欒樹、烏柏、小 葉欖仁：1.24 樟樹：1.29 相思樹：1.30	邱祈榮(2014)； 不足之處，則參考 育林實務手冊採用 IPCC 所載亞熱帶潮 濕林係數值為 1.24 (行政院農委會林 務局，2010)	Tier 3 Tier 1	
CF	苦楝樹：0.4663 茄荖：0.4678 光臘樹：0.4683 無患子、白千層、水黃皮、楓香、台灣欒 樹、烏柏、小葉欖仁：0.4691 印度紫檀：0.4702 樟樹：0.4700 相思樹：0.4717 桃心花木：0.4726 台灣欒木：0.4766	林裕仁等(2002)； 不足之處則採闊葉 樹(Hardwoods)自 產材碳含量平均值 0.4691。	Tier 3	

資料來源：本研究整理。

附表 4 台糖公司平地造林前 15 大樹種碳貯存量參數

排名	樹種名稱	BCEF	1+R	CF	V 單木材積式
1	光臘樹	1.0110	1.23	0.4683	$V_1=0.000222535 \times D^{1.74560} \times H^{0.56023}$
2	印度紫檀	0.7835	1.24	0.4702	$V_2=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
3	桃花心木	0.6150	1.24	0.4726	$V_3=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
4	無患子	0.7835	1.24	0.4691	$V_4=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
5	白千層	0.7835	1.24	0.4691	$V_5=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
6	台灣欒木	1.4300	1.23	0.4766	$V_6=0.000218559 \times D^{1.92770} \times H^{0.30687}$
7	茄 苳	0.7835	1.24	0.4678	$V_7=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
8	水黃皮	0.7835	1.24	0.4691	$V_8=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
9	苦楝樹	0.7835	1.24	0.4663	$V_9=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
10	楓 香	0.8550	1.22	0.4691	$V_{10}=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
11	台灣欒樹	0.7835	1.24	0.4691	$V_{11}=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
12	樟 樹	0.6850	1.29	0.4700	$V_{12}=0.000041754 \times D^{1.3854} \times H^{1.7350}$
13	烏 柏	0.7835	1.24	0.4691	$V_{13}=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
14	相思樹	1.1660	1.30	0.4717	$V_{14}=0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671}$
15	小葉欖仁	0.7835	1.24	0.4691	$V_{15}=0.0000199357 \times D^{1.902} \times H^{1.250}$

註：BCEF 生物量轉換與擴展係數；R 地下部生物量與地上部生物量之比值；CF 碳轉換係數。

資料來源：本研究整理。

附表 5 台糖公司於 2003-2012 年間於各縣市造林的樹種數目分配表

年	屏東縣	花蓮縣	臺南市	高雄市	嘉義縣	臺東縣	臺中市	雲林縣	彰化縣	南投縣
2003	14	14	15	14	15	10	9	10	12	
2004	15	14	15	15	15	10	12	10	12	
2005	15	14	15	15	15	10	12	10	12	
2006	15	14	15	15	15	10	12	10	12	
2007	15	14	15	15	15	11	12	10	12	
2008	15	14	15	15	15	11	12	10	12	
2009	15	14	15	15	15	14	14	10	12	1
2010	15	14	15	15	15	14	14	10	12	1
2011	15	14	15	15	15	14	14	10	12	1
2012	15	14	15	15	15	14	14	10	12	1
合計	149	140	150	149	150	118	125	100	120	4

資料來源：本研究整理。

附表 6 2020 年時各樹種於各縣市之碳吸存量

樹種	單位：CO ₂ e / 公頃											平均每 公頃碳 吸存量
	屏東縣	花蓮縣	臺南市	高雄市	嘉義縣	臺東縣	臺中市	雲林縣	彰化縣	南投縣	總計	
光臘樹	5,878.94	30,963.00	375.88	381.13	335.62	13,325.50	4.99	84.67	543.23		51,893.00	33.58
印度紫檀	20,130.40	41.36	2,465.43	12,665.60	62.83	45.40	209.37	0.33	328.58		35,949.30	25.54
桃花心木	26,645.30	10.72	992.04	3,740.76	662.14	5,148.94	5.98	30.83	169.59		37,406.30	28.99
無患子	9,539.69	929.94	209.92	935.08	19.30	130.84	621.44	368.17	91.20		12,845.60	12.99
白千層	3,309.75		5,742.89	9,636.25	5,798.86	4.37	45.88	3.05	97.03		24,638.10	25.40
台灣欒木	10,186.60	25,140.80	904.07	1,705.34	564.34	11,954.20	159.28	302.15	152.93		51,069.70	57.95
茄苳	1,635.43	1,164.12	400.76	922.60	1,565.81	769.60	9.80		289.93		6,758.05	20.81
水黃皮	2,249.64	258.74	463.41	193.30	182.99	278.70	16.00		111.90		3,754.67	12.55
苦楝	3,471.71	250.77	383.04	469.91	43.49	94.47	25.80	28.48	105.62		4,873.32	16.55
楓香	422.42	3,955.20	19.82	471.04	220.09	136.19	0.99	4.95	0.00	222.11	5,452.81	20.00
台灣欒樹	928.91	2,992.33	104.78	309.60	69.69				406.67		4,811.99	25.40
樟樹	899.19	4,284.98	59.49	134.21	323.88	126.32	1.10	40.04	9.06		5,878.35	31.08
烏柏	549.03	1,879.30	277.60	854.01	276.72	18.53	2.86	1.76			3,859.81	21.32
相思樹	8.99	754.85	116.63	403.41	90.39	29.4	71.64				1,475.30	10.20
小葉欒仁	1,431.12	21.54	778.81	172.23	353.24	0.15	0.11		30.31		2,787.51	22.06
總計	87,287.20	72,647.60	13,294.60	32,994.40	10,569.40	32,062.60	1,175.24	864.43	2,336.07	222.11	253,454.00	27.82

資料來源：本研究整理。

The Analysis of Agribusiness Firms' Choice of Business Strategy Considering Carbon Neutrality: A Case Study of Afforestation of Taiwan Sugar Corporation

Ting-Yu Chen*, Yessica C.Y. Chung**

There is still limited empirical research on how agricultural enterprises can achieve carbon neutrality and obtain maximum operational benefits through optimal land planning. This study takes Taiwan Sugar Corporation, the largest agricultural enterprise in Taiwan, as an example. It examines how, following the government's flatland afforestation policy from 2003 to 2012 and the subsidy period ending in 2022 (the 20th year of afforestation), appropriate land planning can enable the company to achieve carbon neutrality while maximizing operational profits.

Taiwan Sugar's afforestation over the decade reached 9,106.27 hectares, spanning across 10 counties and cities in Taiwan, with over 50 tree species planted. This study uses national and international data to calculate carbon sequestration amounts and employs various data, including single-tree volume equations, growth formulas, climate data, and agricultural production, to calculate how Taiwan Sugar, on its afforested land, can continue afforestation, utilize solar photovoltaic, and opt for optimal choices in agricultural production.

The empirical results show that Taiwan Sugar's afforestation can offset

* Taiwan Sugar Corporation Accounting Administrator.

** Corresponding author: Professor, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology. Email: yessicachung@mail.npust.edu.tw

its annual emissions of categories one and two by 232,000 metric tons of CO₂e in the 18th year of afforestation. The study indicates that over the ten-year afforestation period, Taiwan Sugar's average carbon sequestration per hectare is 18.99 metric tons of CO₂e. The afforestation results enable Taiwan Sugar to achieve carbon neutrality after 18 years of afforestation (by 2020), offsetting its emissions by 232,000 metric tons of CO₂e. After achieving carbon neutrality, Taiwan Sugar only needs to continue afforestation on approximately 6,020 hectares (about 66% of the total area), while the remaining area can be converted to agricultural leases or solar photovoltaic installations. Given that solar photovoltaic installations generate the highest revenue per hectare at 350,000 yuan, followed by agricultural leases, and carbon credits generate only 8,300 yuan per hectare in revenue, Taiwan Sugar is likely to convert all poor agricultural land into solar photovoltaic installations, with only about 28% of afforested land being converted to agricultural leases. Under this scenario, Taiwan Sugar's maximum annual revenue could reach 3.41 billion yuan.

Afforestation planning may vary by county and city, with Tainan having the highest electricity generation efficiency and revenue per hectare, at approximately 530,000 yuan. In contrast, Taitung is more suitable for continued afforestation, with fewer areas converted to agricultural leases and no poor agricultural land. Therefore, the revenue per hectare is the lowest. Looking at the efficiency of afforestation areas, Taitung County and Hualien County have higher carbon sequestration rates, with Taiwan beech contributing the most, while Yunlin County has the lowest carbon sequestration rate, with Chinese tallow tree having very poor carbon sequestration ability, at only 1.10 metric tons of CO₂e per hectare. The sensitivity analysis results indicate that afforestation becomes a profitable option for agribusinesses only if the carbon price reaches NT\$3,500 per ton. Additionally, a 1% increase in solar panel efficiency would boost electricity sales revenue by 5% across each county and increase Taiwan Sugar Corporation's total revenue by 3%.

Keywords: *Forest carbon sink, Carbon neutrality, Maximum benefit assessment, Agribusiness firm*

JEL Classification: Q12, Q15, Q58