

循環農業延伸新農業價值

文 / 莊安華 攝影 / 林韋言、謝進益 圖 / 水產試驗所、台灣農業科技資源運籌管理學會
企劃製作 / 台灣農業科技資源運籌管理學會

在農作物的生命週期與農事運作過程裡，藏著循環商機。政府正計畫導入臺灣產業已有的專長，發展綠電、將廢棄物再生為資源，創造農副產品新價值、建立友善地球的經濟模式，讓農業成為循環經濟的典範。

近年來，「循環經濟」(circular economy) 獲得國際共識，成為經濟轉型的新思惟。蔡英文總統上任後也強調，對各種污染源的控制，政府會嚴格把關，更要讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源。

行政院將循環經濟放入臺灣農業新政的主軸，推動「農業資源循環暨農能共構之產業創新」計畫，並交由農委會的水產試驗所、農業試驗所、林業試驗所、畜產試驗所共同規劃執行。

這項計畫在資源循環永續的前提下，透過「開創永續型農業資源資材循環再利用新產業」、「農業綠能共構共享之技術創新與新產業模式」兩大主軸，將進行農業資源的加值利用與產業創新，預期達成臺灣農業副產物全利用、農電共享經濟起飛，構築活化利用閒置農地、降低農地污染、確保農民收益與建構創新的農業營運模式，進而逐步發揮減廢、零廢、節能與創能的效能。

《豬糞水零廢棄》

發電、養殖、灌溉、沖洗 豬場廢水資源化利用

面對天然資源逐漸枯竭、產品價格不穩定，以及廢棄物不斷增加，造成環境污染、極端氣候，現今人類的生存、企業的永續經營正處在高度風險中。

而且大量消耗天然資源、大量生產、大量消費，然後用完即丟、產生大量廢棄物的「線性經濟」



▲中央畜牧場場長蘇鵬認為，沼氣發電能為養豬場創造最大利基。

(Linear Economy) 發展模式，已經走到盡頭，目前許多國家開始轉型發展「從搖籃到搖籃」的循環經濟模式，揮別過往「從搖籃到墳墓」的線性經濟。

「線型經濟已經是落伍了，農業也要邁向循環經濟，減少廢棄物、提高產值。」畜試所主任秘書程梅萍強調。

實踐「從搖籃到搖籃」的理想

在臺灣畜牧業，已有先驅者實踐循環經濟。位於屏東麟洛的中央畜牧場，將豬隻排放的糞尿，經過厭氧發酵後產出沼氣，再透過脫硫處理，取得高純度甲烷用於發電。

中央畜牧場場長蘇鵬表示，臺灣養豬場周邊缺少隔離綠帶，豬糞尿產生的臭味令人嫌惡，加上畜牧業溫室氣體排放問題已是全球關切話題，因此利用厭氣發酵後的豬糞、尿進行沼氣發電，成了養豬場解決臭味與溫室氣體排放問題的最佳方法。

「養豬不做沼氣發電，實在很可惜！那是可以利用的天然瓦斯！」蘇鵬說，中央畜牧場在 1991 年發展豬糞尿的沼氣發電，雖然發電失敗，但之後陸續與學界專家合作，尋找最佳處理模式、改善設施，直至 2012 年才成功完成沼氣發電。

目前中央畜牧場的沼氣發電，每日生產 3700 至 3800 度電，全數供應場內豬舍的用電，省下每日約 1 萬元的電費，自給自足。而豬糞尿經過厭氣發酵後，不僅可以降低臭味，其沼液含有豐富的營養源，能用於飼養藻類、魚蝦，或是灌溉蔬菜、果樹，沼渣則可製成農作物的有機肥。

蘇鵬認為將時間軸拉長來看，投資沼氣發電，是一件很划算的生意。他正著手在豬糞水放流前的曝氣池上，興建微藻養殖區，未來能將微藻發展成為豬飼料的營養添加物。同時，他也計畫回收飼養微藻後、廢水水質更為澄清，甚至可用於養殖魚蝦，待最後做完所有養殖的利用後，再將廢水用於清洗豬舍，達到零廢水零排放目標。

「這樣子豬糞尿就能完成『從搖籃到搖籃』，完全沒有廢棄物。」蘇鵬強調，養豬場發展沼氣發電，能提升產業形象，為養豬事業推向永續發展，其中所需要的發酵、脫硫、發電、水質再淨化等技術已經相當成熟，透過現代科技的整合，並非難事。

他也打算利用發電後的沼液與沼渣，用於施灌場內農地，發展溫室精緻農業，大量栽種高經濟價值的小黃瓜、美濃瓜、哈密瓜，取得大型通路或海外市場的訂單，希望周邊的農民也能加入生產行列，藉此獲得安家樂業的穩定收益，真正達到農牧循環再利用的目標。

發展沼氣發電機組輸出海外

過去，蘇鵬也與畜試所合作，技轉、種植畜試所研發的「狼尾草台畜草 3 號」，用於飼養豬隻，提高豬糞碳氮比含量，增加沼氣的生成。而今畜試所在輔導農民畜牧場廢水處理管理課程訓練班時，也常帶領學員前往臺灣沼氣發電標竿模範的中央畜牧場取經，讓學員能以實場觀摩方式更了解廢水處理與沼氣發電的發展現況。

「既然是對的事情，就鼓勵大家一起來做。」蘇鵬說。「畜牧第二代願意回鄉幫忙學習，我們就盡量不藏私的教給他們，廢水處理作得好，二、三十年不煩惱，環保局來敲門也不怕。」



▲中央畜牧場斥資興建大型厭氧池、沼氣袋、高壓除氣桶、脫硫裝置、發電機，是台灣較具規模的沼氣發電示範區。

畜試所統籌農業資源循環再利用計畫中，今年先針對農林水畜再利用料源潛量、遭遇問題與技術缺口等進行盤點，將完成農業資源再利用策略報告，其中沼氣發電亦為畜牧業循環發展的重點項目，除了輔導農民了解畜牧業廢水處理相關法規，使其了解最適合自己畜牧場的最佳資源再利用計畫，以及擬訂沼氣發電發展策略的可行模式。未來，將針對農林水畜產業剩餘資材再利用技術缺口進行開發，例如將國產沼氣發電機組、零件設備或感測器等技術產品，推廣至產業，再把國內產業成果輸出到國外參展，或搭配新南向政策，行銷至東協、南亞等國家，將我國農業資源循環再利用技術效益加乘。

《農業廢棄資材再運用》 燒製生物炭 開發創價新用途

碾完米剩下的稻殼、修剪後不要的果樹枝條與竹子、取出果肉的菱角殼等廢棄資材，看似無用，但經過低氧環境燃燒後，形成多孔隙的生物炭，能發揮封存碳素、改良土壤、除臭、提升碳匯儲存量等多樣功能。

「農業炭化零廢棄技術創新與新產業模式」計畫，主要在開發農業剩餘資材炭化的應用，除了解決這些廢棄資材缺乏清運處理、污染環境的問題外，更進一步建立生物炭安全炭化程序、生物炭應用體系，確保生物炭對環境安全無虞，提升土壤碳吸存功能，落實土壤碳匯效益在地化，也有助於提升農民收益，促進環保農民與環保資材服務型產業的興起。

林業試驗所擔任此項計畫主持人的副所長邱祈榮表示，目前林試所規劃透過「生物炭料源供應與回收體系」、「生物炭產製技術精進與整合」、「生物炭產品加值與創新應用」及「生物炭管理與終端利用效益」四項策略，建立材質安全的生物炭供應體系。

計畫團隊現階段先蒐集、研究生物炭的各種燒製法，以及國際檢驗標準，找出最有效率、對環境無污染的燒製方式。燒製生物炭的學問



▲桃園區農改場開發一台殘枝粉碎機，專門處理軟硬材質與長纖維的資材。



▲多孔隙的生物炭，能發揮封存溫室氣體、改良土壤、除臭、提升碳匯儲存量等多樣功能。

很多，像樹幹、樹枝、竹子、稻稈、玉米稈等廢棄資材，須先粉碎才能燒成炭，因此桃園區農改場開發一台殘枝粉碎機，專門處理軟硬材質與長纖維的資材。

邱祈榮指出，計畫團隊今年利用不同料源及不同燒製溫度的生物炭，以不同的酸性土壤進行實驗，觀察哪一種配方可以對青江菜盆栽產生最好的生長效率。同時，林試所正取得農友的共識，納入所有燒製的資料數據，規範燒製方式，將進一步改善田間常見的露天焚燒，並建立燒製防護網、產業化模式。

「生物炭最終還是要埋入土壤，但我們希望生物炭在入土前，可以發揮更多用途與價值。」邱祈榮指出，像生物炭搭配貓砂除臭，或製成除臭包、除濕劑，能促使廢棄資材價值化、產業化，而農民亦能從中獲得更多收益。





◀由光電溫室培育的「台農亞蔬3號」青花菜，解決夏季國內青花菜貨源短缺的問題。

《農業生產與光電設施整合》 研發光電溫室栽培模式 兼顧種菜與發電

農業走向科技化，溫網室屋頂架構太陽能板發電、屋下室內種植農作物的「農業綠電生產共構共享模組」，在台灣發展已有一段時間。

農委會為了避免業者將良地發展賺取綠電收益為主的光電溫網室用途，已經修正「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」，規定申請附設綠能設施的溫網室必須先有農業經營事實，才能申請在設施上搭光電板，且覆蓋面積最多40%，並要求要求光電設施底下的作物生產，至少須達近3年農業統計年報平均產量的7成。

農試所作物組組長楊純明指出，目前國際間將光電溫室所生產出來的太陽能電力，優先供應農用設施使用，電力若有剩餘，才會轉為綠電售予

電力公司，但過去台灣發展農業設施屋頂附屬設置綠能設施，因業者發展腳步走得比較快，有些業者以光電效益為主，在屋頂布滿光電太陽能板，未顧慮光電設施底下的農業使用空間，影響農作物的生產效能。

農試所自接下「農業資源循環暨農能共構之產業創新」計畫後，開始調查國內太陽光電綠能設施共構的農作物溫室設施環境、栽種空間、適種蔬果種類，提出適宜光電溫網室栽培的作物清單、管理方法，提供搭設光電溫室的農民與業者諮詢、參考。

推出耐熱青花菜 強攻夏季市場商機

今年9月下旬，農業試驗所轄下的鳳山熱帶園藝試驗分所發表一款適合光電溫室栽培的「台農亞蔬3號」耐熱青花菜。



▲太陽能板架設不能太密集，最多覆蓋溫室屋頂40%的面積，必須要讓陽光照進屋頂下的菜園。

青花菜喜歡低溫涼爽的生長氣候，在台灣高溫的夏季通常很難生長。而這款新品系的青花菜，突破溫度限制，能在夏季的台灣南部平地順利結球，而且整株口感鮮嫩、味道可口，可重複採收三至四次的花蕾苞，在台灣夏季自產青花菜的市場缺口下，商機湧現、前景看好。

「台農亞蔬3號」耐熱青花菜即是農試所現階段的計畫成果之一，農試所在今年與向陽優能電力公司展開合作，利用向陽位於屏東枋寮的光電溫室，進行蔬菜栽種實驗，並依據法令遮蔽率40%、產出表現須達農業統計年報最近3年平均產量7成以上的條件，以有機栽培順利種植出以47天時間完成生長與結球的「台農亞蔬3號」耐熱青花菜，以及小白菜、萵苣、菠菜等多種適合在光電溫室生長的葉菜類。

綠電優先應供應農用設施

向陽優能電力董事長陳貴光表示，設施農業是未來的主流，向陽買下被八八風災大水淹沒的荒廢魚塢、蓮霧園，進行土壤改良，然後發展光電溫室，展開「屋頂發電、屋頂下種菜」的土地多重利用，這過程中一次又一次突破農業栽培、太陽能發電的困難，創造兼顧農業生產與綠能發電的雙贏價值。

「我們也做光電溫室的栽培實驗，所以很歡迎農試所找我們合作，我們無償提供光電溫室給農試所使用。」陳貴光指出，向陽與農試所展開合作後，也派員協助農試所進行實驗，從中交流光電溫室的栽種作物、田間管理經驗。

楊純明強調，在農業用地行農電共構共享，應以農業生產為主、綠能產電為輔，合適耕作的良地則回歸常態的農業生產用途，擔任生產農作的

場域主角，而農試所將在技術面協助已經設置或未來將要設置光電溫網室的業者，篩檢適種作物、提供栽培調適技術及改善室內光照環境措施，如此將可助益真正落實農電共構共享目的，並打造出創新農業的產業模式。

《漁電共構共享》

漁電共生 提高水產收成表現

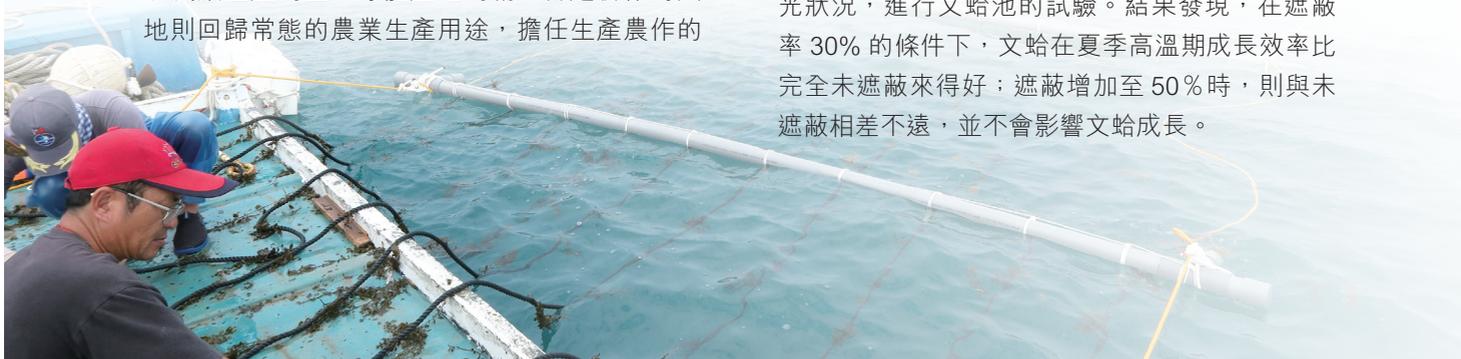
全球高度重視潔淨、環保的綠色能源，政府於去年啟動國家能源轉型，主力發展太陽光電、離岸風電，預計在2025年達成太陽光電20GW、離岸風電3GW的設置目標。

台灣西南沿海的水產養殖區，正好也是日照最充足的地區，目前水試所在「農業資源循環暨農能共構之產業創新」計畫中，針對彰化、雲林、嘉義、台南的水產養殖區，提出文蛤池結合太陽能光電的新養殖模式研發、貝類太陽光電環控溫室及立體養殖經濟模組開發、綠能開發水產養殖新模式的應用，以及調查藻類濃度及種類對文蛤攝食的影響、光電養殖微生態環境監測分析。

光電設施遮光降溫 有助文蛤成長

水產試驗所所長陳君如指出，過去雲林台西的文蛤養殖業者，因為放養密度過高，導致年年幾乎發生文蛤季節性死亡，目前水試所為了解決這項陳年老問題，提出文蛤養殖池結合立架式光電設施的新養殖模式構想，希望藉生產模式的調整，能建立健康的養殖環境，同時農民也能將養殖空間出租架太陽能光電板，增加收租收入。

目前水試所利用蘭花網模擬架設光電設施的遮光狀況，進行文蛤池的試驗。結果發現，在遮蔽率30%的條件下，文蛤在夏季高溫期成長效率比完全未遮蔽來得好；遮蔽增加至50%時，則與未遮蔽相差不遠，並不會影響文蛤成長。



▲離岸風機海藻牧場設置之研究。

由於細微藻類是文蛤浮游苗的食物來源之一，需要陽光照射培育。在模擬試驗顯示，在遮蔽率30%的條件，藻類生長、供應正常。

「從這些資料分析，遮光能為文蛤池在高溫期降溫，減少熱緊迫對文蛤的影響，有助文蛤的成長。」陳君如解釋，傳統飼養所投入的餌料，其實超過文蛤需求，遮光後雖減少食源，但因降溫反而提高文蛤的成長效率。低溫期則需調整藻類培養技巧與供應方式，同時將嘗試添加益生菌與投餵人工飼料的文蛤養殖模式。

水試所在文蛤池架設光電設施的構想，也複製到虱目魚、吳郭魚的戶外養殖區。然而考量養殖魚類的收成採圍網方式，光電設施將會改採漂浮在水面、非固定式的浮動設施。

目前水試所已與光電業者合作，提供台西兩公頃的文蛤池，由光電業者佈設立架式太陽能光電板，目前進入申請建照階段，預定明年初進行。

離岸風機能聚魚 有益漁業資源

海洋離岸風電產業不僅是綠電發展領域，也是海洋經濟的一環，全球擁有海岸線的國家開始全力發展這項產業，開發風場所在的海域。

臺灣適合發展離岸風電的海域從新竹往南延伸至雲林，其中以風場資源集中於彰化外海，可望成為台灣最大資源場域，產出綠色風電。

海域設立離岸風力發電機，漁民擔心會影響漁場生態，導致漁貨減少。「其實像彰化外海的海域為泥沙地質，沒有珊瑚礁，原本就是臺灣沿岸漁業資源最貧瘠的區域。」陳君如解釋，臺灣西海岸因為先天環境條件，導致漁業資源匱乏，卻擁有發展綠色風場的豐厚條件，而且現有法規也禁止在3海浬內拖網作業，所以離岸風力發電機的架設並不會影響在地海域的漁業資源。

然而水試所希望利用「農業資源循環暨農能共構之產業創新」計畫，改善臺灣西海部近海漁業



▲水試所陳君如所長說明在「農業資源循環暨農能共構之產業創新」計畫如何開創出漁電共構新契機。

資源的貧瘠現況，研究離岸風機海藻牧場規劃及設置的可行性、大型海藻藻床形成，以及無線感測網路（WSN）技術應用於澎湖藻礁海域環境監測，準備借力使力，利用離岸風力發電機的設施，在不影響風機維護作業的狀況下，加掛產生聚魚效果的藻床、投餌箱網，或是吊掛單體牡蠣，打造對漁民有利的區域漁場。

目前水試所在彰化外海裝設海水透明度、濁度、溫度等長期監測海洋水文的裝備，收集當地海域的水文資料，探討論設置大型藻床的可行性。

接下來，水試所將派出水試一號、二號試驗船，行駛到臺灣離岸風場的海域，展開全面深入的漁業資源、海洋水文調查。「離岸風機設了，也算是一種魚礁，從未來長遠的眼光來看，對臺灣沿岸的海洋資源希望是有利的。但這需要我們長期調查，用數據佐證。」陳君如強調。

面對國家能源轉型、循環經濟等火熱議題，農業提出創新的解決方案，引領農民在循環農業領域裡，進一步獲得產業升級、取得新商機，更善待臺灣的土地。