

Part 02

循環農業



稻穀、木屑、椰殼、乾草，
筍殼、龍眼殼、油茶殼、花生殼……

一些水加一點火，

一些空氣加一點土，

最後放入疼惜這片土地的心，

叫萬事萬物互相效力。

Study

循環農業的概念與潛力

Story

資源循環，大地永續風生水起



循環農業的 概念與潛力

文字：倪禮豐 / 花蓮區農業改良場作物環境課 助理研究員

圖片：花蓮區農業改良場

「循環經濟」的概念由瑞士建築師 Walter Stahel 於 1970 年代末提出，講求資源的「再生與恢復」，透過事前規畫與設計，讓資源能有效地一再被重複利用，是政府近年重要的政策方向。

一起來認識原生野花

目前的主流經濟——線性經濟模式，產品是建立在天然資源無限制取用，經過生產、銷售、使用後，即丟棄不再利用。這種模式不但大量消耗資源，更衍生出後續廢棄物處理的問題。相較之下，循環經濟透過「重新設計」、「循環加值」、「循環農業」、「封閉循環」、「共生共享」等手段，創新商業模式，有機會在永續經營的前提下，與線性經濟競爭。

循環經濟分成「工業循環」與「生物循環」二大範疇，而循環農業屬於後者。筆者於2017年起執行循環農業旗艦型計畫，早期更有幸於2006年及2007年參訪日本MOA協會、山岸幸福會（Yamagishi kai）及韓國Janong自然農法研究協會（Janong Natural Farming Research Institute），學習了農牧一體、全循環、零排放的自然農法推動情形。本文大致依照農林、農畜及農水等循環之技術內容簡單介紹，將循環農業的觀念與讀者分享。

農林的循環

農業與林業，都是以綠色植物為經營主體，因此有許多相類似的特性，尤其農作物果樹類的剩餘資材，其與林業剩餘資材有高度的同質性，因此在本文中歸為同一主題探討。

1. 碳／炭循環

氣候變遷、全球暖化、溫室效應，是近幾十年來全世界最夯的議題，有志之士無不企圖減緩，甚至扭轉這樣的趨勢，以維持人類的永續生存。自1750年代的工業革命開始，人類大量開採使用化石燃料；另一方面，被稱為地球之肺的熱帶雨林也被開發，面積快速縮減。大氣中的二氧化碳濃度從280 ppm直線上升到今日突破400 ppm，一般相信是造成暖化的主

因。而農林業，相較於消耗能源增加碳排的工業，不但可以開源（生質燃料）、節流（固碳、遮蔭），更有機會逆轉（炭化）。農業副產物（廢棄物）經適當的處理方法，或簡易的農業操作，一方面加值再利用，另一方面也能對節能減碳有所貢獻。

生物炭（biochar），是指有機物在不完全燃燒或缺氧環境下，經高溫熱裂解（pyrolysis）後的固體產物。自然界也會製造生物炭，例如森林大火後未燒盡的焦黑殘株即是。人工的炭更是不勝枚舉，凡木炭、竹炭、稻殼炭都算是。因生物炭中的碳，結構穩定，為生物惰性，就算在土壤中也不易為生物分解，一般估計其半衰期為500-2000年。若將有機物燒成生物炭再埋藏於土壤中，可成為長期碳匯，降低碳排放量。

常見於媒體的生質燃料，如生質柴油及生質酒精，因其來源為可食用的作物：大豆及玉米等，或者說其生產所使用的土地、水等資源是與糧食生產相競爭的，在人口爆炸、糧食安全令人擔憂的今日，並非永續可行的作為。與煤炭相比，生質燃料通常具較高含水率，因此熱質較低；密度低，因此收集、運輸、儲存及供應成本較高；材質不均，因此供熱不穩定；含硫與氯等腐蝕性成分，因此機械損耗率較高等等。

稻殼含水量低，燃燒後所產生的腐蝕性氣體（如二氧化硫等）非常少，且數量龐大，又多集中在碾米廠，取得的管道明確，是很好的替代燃料。其灰燼富含矽與鉀，既可提供半導體工業的矽原料，又能提高水稻抗病能力、有機農業鉀肥及酸性土壤改良。目前燃糠爐技術發展成熟，換算烘乾100斤的稻穀約需燃燒13

斤的稻殼，而本身還剩餘 20 斤的稻殼，因此理論與實際都可行，是值得由政策鼓勵採行及協助，也是需要與熱源產業媒合的項目。其他如玉米穗軸或需乾燥脫殼的穀物等，也都是值得炭化操作的副產物。

林木及果樹修枝具高度同質性，目前已有技術將木屑、椰殼、乾草等壓縮造粒再採混煤燃燒的技術，小型者可提供食品等需熱源產業應用，大型者可取代燃煤發電機。未來推動的方式，建議從兩個方向雙管齊下：大者，成立區域炭化中心，收購果樹廢枝條，製成的木炭可出售，或自行產熱發電賣電；小者，研發簡易小型爐具，由農民自行生產木炭。

生物炭可應用於改良土壤，包含供給養分、中和酸性、增加土壤保肥力、增加土壤微生物活性等功能，也可應用於育苗或栽培介質材料、生物膜的載體、肥料包覆材料、微生物製劑之載體等。利用生物炭的多孔性及高比表面積，以及兼具物理化學性之吸附及生物性之分解的功能，可做為水產之養殖水過濾、畜產之廢水處理及廢棄物除臭等用途。

以頭城農場應用為案例說明，農場原本即有柴燒窯三座，每年可再利用 22.5 噸的農林剩餘木質資材，以木材熱質為石油的 1/3 估算，即每年可減少 7.5 噸化石燃料，相當於 19 噸的二氧化碳排放。導入生物炭觀念及技術後，每年可生產 4.3 噸生物炭，等於從空氣中回收 11 噸的二氧化碳，達到真正的「減碳」。所生產的生物炭，已開發做為除臭、土壤改良及栽培介質等用途，並分別應用在客房、禽畜舍、作物生產及伴手禮當中。

市面上還有許多生物炭產品，如竹炭、竹醋液、菱角殼炭等相關產品。有別於傳統的木炭主要用於燃料，這些炭產品則宣稱具有調節溼度、吸附重金屬、遠紅外線及屏蔽電磁波等效果，用於紡織、塗料甚至食用，以生活應用為其主要訴求。未來除了前述的果樹修枝外，油茶殼、筍殼、龍眼殼、花生殼等，都有機會炭化再利用並形成產業。

2. 有機質循環

大自然的規律本身就是循環的：綠色植物（生產者）從空氣及土壤中吸收了沒有能量的二氧化碳、水及礦物質，經由光合作用把太陽能轉換成化學能，儲存成有機物的形態。藉由動物（消費者）的攝食，清除者與分解者等一層一層的消耗能量，絕大部分有機物又回到了二氧化碳、水及礦物質。只有極少部分的有機物經聚合作用，形成難以分解的土壤有機質，長時間存於土壤中，是自然界很重要的碳匯。

一般來說，土壤有機質含量越高，土壤的地力越好。提高土壤有機質的管理方法，除了外加腐熟堆肥這類的有機質肥料之外，較高大的長期作物（如果樹）可採行草生栽培，灌木（如茶）或短期作物則以修剪下的枝葉或乾草做為敷蓋，不但可以防草，更可涵養土壤有機質、防風、保溫、減少土壤沖蝕、保持水分、有助於微生物繁殖、改善土壤通氣性及抑制害蟲。另一方面，耕犁會擾動土壤，加速有機質的分解，所以盡量不用機械過深地耕犁土地。普通機械耕犁的深度最多 20 公分，而且只能保持短時間土壤疏鬆的狀態，下雨或灌溉後，反而因為土壤構造被破壞更容易硬化。相較之下，蚯蚓可以鑽到 4 至 7 公尺深，蚓糞中的微生物



左上及右上：頭城農場將園區裡的農林剩餘資材，加工製作成可再利用於農場營運的生物炭。(頭城農場 / 圖片提供)
中間：日本山岸會以畜產為經濟中心的循環農法村，擁有獨立的汙水場處理廢水，達到村內自體的水循環利用。
下方：日本 MOA 農法以約 10 公分的枯枝落葉敷蓋茶園。

也會幫助土壤形成穩定的團粒，可以長期保持良好的土壤構造。

堆肥材料的來源，一般來說可由動植物的殘體、動物的排泄物、食品加工的下腳料及廚餘等，這些無法再利用的有機剩餘資材，只要不含有害物質，都可以經由堆肥化過程回到自然的物質循環中。

以頭城農場應用為案例說明，該農場之經營特色為休閒遊憩及教育場域，每年吸引大量遊客前來，因此農場裡亦種植蔬菜、水果等作物食材提供遊客享用，同時也產生許多廚餘或剩食問題。農場除了將部分廚餘餵食農場禽畜動物之外，另外應用花蓮農改場研發之廚餘雙槽處理機，協助處理廚餘細碎化、瀝油瀝水、攪拌乾燥等過程，機器每日可將 15 公斤廚餘製作成 0.5-1 公斤的無氣味粉狀堆肥。這些堆肥與有機質肥料混拌後則再度施用於農場的土壤中，供應作物生長養分，此項技術的導入兼具環保及循環利用的意義，將食物和農業兩方面的循環緊密扣合。

3. 生態循環

自然界中生物還存在另外一種循環的關係——生態的循環。植物提供食物及居住的空間給昆蟲，昆蟲除了授粉協助植物傳宗接代之外，肉食性的昆蟲也可以降低害蟲的族群數量。

在頭城農場示範區中，花蓮農改場將兼具食用及生態功能的多樣植物種植在菜園旁，例如馬蘭、仙草、夏枯草、水芹菜、茴香等，除了提供遊客窯燒披薩食用材料或是調製飲品之外，植物花朵可吸引天敵益蟲；農林剩餘資材提供獨居蜂良好的居住環境，都可間接幫助降

低菜園內的害蟲，達成活躍的農業生態循環。

農畜的循環

植物與動物，生產者與消費者，原本就是推動自然循環的兩種力量。在理想的農牧一體的循環農法中，作物所需的營養皆可由自然資材供給，例如廐肥、雜草堆肥、獸骨及蛋殼等。禽畜廢棄物經處理後供給周遭農地所需的養分，而周遭農地所生產的農產品、副產品及廚餘等又成為禽畜食料的一部分，無法直接再利用的廢棄物最後都可做為堆肥的材料，為一幾乎完全零廢棄的循環系統。在這樣的系統中，輸入的是飼料，主要輸出的是肉、蛋、奶等動物性蛋白質產品，農作物若自用（包含人與禽畜）仍有剩餘，也可對外販售。

另外，在果園中放養「工作雞」、「工作豬」，不但可以清除落果，間接減少果實蠅等孳生，也可控制雜草密度，動物的排泄物可以提供作物所需養分，是在非專業生產型的家庭農場相當適合應用的技術。在水田中放養鴨子，也是有異曲同工之妙。

充分循環的農牧合一的農場，可混合養殖不同禽畜以增加食料利用率及減少排泄物的量，其排泄物最終成為堆肥回到農地。至於廢水，韓國趙氏自然農法農場以人工溼地（或是汙水池）處理生活廢水，例如利用布袋蓮強大的生長力與繁殖力把汙水中的養分吸收濃縮，再收集製成堆肥回歸土壤，清潔過的水則可直接用於灌溉，整個農場（連住家）幾乎無廢棄物及廢水。

豐里的實顯地是日本山岸會最大的聚落，擁有獨立的汙水處理設備及禽畜糞堆肥場。經處理後的排放水已完全符合排放標準，可以直接



奇萊美地農場在冬天的時候將魚塢轉化成菜園，歷經整地、育苗到硬質穴盤定位等過程。

進入河川，但為了循環利用水資源，他們投資建設三個大水塔，將這些排放水接管貯存起來，利用於旱季果園灌溉。

又例如在韓國趙氏自然農法的綜合牧場，整個畜舍無使用任何人為熱源及光源，圓弧形有通氣孔的屋頂及開窗的牆，提供了新鮮空氣對流及充足的日照。由土著微生物、稻稈、木屑及土壤混合而成的地板，則提供優良的醱酵環境，當禽畜糞落在其上，隨即便會被微生物所分解，甚至數年內都無需清理，就算使用了多年都不會越積越厚，也不會產生惡臭。當天氣寒冷時，堆肥所產生的熱能可將室內的溫度維持在舒適的範圍內。

然而在台灣，像這樣農畜綜合經營的農場不多，且都是小規模經營，因此政策上推動可從兩個方向來努力：第一，建立養豬循環專區，集中處理豬糞尿，與其他材料如廚餘等共醱酵，產生沼氣發電，銷售電力的所得便可回收成本。醱酵所產生的沼液、沼渣，可供牧草栽培所需的營養源，亦可媒介附近農地使用。

第二，未能集中之專區的中小型畜牧場也推薦以厭氧醱酵處理。畜牧場產生的沼氣，除可家庭自用外，亦可取代部分加熱飼料所需的熱源，達到節能減碳的目的。同樣的，醱酵所產生的沼液、沼渣，目前主要由政府媒介至附近農地使用。

農漁的循環

水產動物也是消費者，只是生長的環境與大部分作物不太一樣。目前國內已有或正在研究中的農漁循環模式，可分為水耕魚菜共生、田間魚 X 共生，以及魚菜輪作，分別說明如下。

1. 水耕魚菜共生

魚產的養殖系統與植物的水耕系統可以合併，也可以獨立運作，運用互相循環再利用的方式以減少浪費。魚池中未被攝食的飼料及排泄物，會使水中無機氮（銨離子、硝酸及亞硝酸鹽）濃度升高，影響動物的健康；相反的，這些無機氮正是植物最需要的氮肥。與農畜綜合經營的精神一致，利用綠色植物「轉化」動物的排泄物，成為生長所需的營養源，各盡其能，各取所需。

2. 田間魚 X 共生

其中「魚」還可以是蝦、蟹、貝等水生動物，「X」則是水稻、茭白筍、芋頭等水田栽培的作物。目前水田作物最大的問題是福壽螺為害，若在田中放養會補食螺類的魚種，的確可以有效降低福壽螺的數量。最大的難點在於水生動物需要有一定的水深、水溫要求，而水生植物也很難長期處於高水位的環境下。中國近年有較多研究，已可用挖魚溝的方式克服這些困難。

3. 魚菜輪作

「夏魚冬菜」這個概念，是由花蓮縣壽豐鄉立川漁場與奇萊美地農場的經營者蔡志峰先生所提出。冬季氣溫低，魚類長得慢，蔡先生便會漸漸縮減魚池數量及面積，順便整理池底的淤泥。另一方面，有機栽培的旱作，除草的人工占了很大的成本比例，職是之故，蔡先生憑藉著兩種領域的知識經驗，試著在冬季放乾休養的魚池種植短期葉菜類，結果可以維持田區三個月不用除草，底泥的養分也可幫助蔬菜生長，相當理想。如前所述，水產加工、料理所產生的下腳料、魚雜及廚餘等，也都可以經由堆肥化過程，或製成液肥，供給作物所需，回到自然的物質循環中。

漁畜的循環

在花蓮的壽豐鄉，水產養殖與養豬業同樣發達，彼此長期間也有緊密的合作關係，是循環農業中很典型的樣態。豬糞尿用來培養藻類，藻類用來餵養蜆，蜆將這些有機碳合成無機碳：碳酸鈣的殼，一年每公頃可以產生 75 噸的蜆殼，固定的碳量比同面積的森林還要多，是相當可觀的碳匯。水產加工、料理所產生的下腳料、蜆粕及廚餘等，較單純的可以餵豬，剩下的也都可以經由堆肥化過程，或製成液肥，回到自然的物質循環中。

結語

有機的重要精神是在對環境友善、永續地利用土地與資源、提供安全與健康的食物，而循環再利用是達到這個目標非常重要的手段。其實循環農業不是個新名詞，早在六、七十年前的日本就出現主打「循環」二字為訴求的山岸幸福會，而且實際的操作上，大自然更一直都是這麼運行的。本文所舉出的各種樣態，只是筆者經驗所及的部分，還有許許多多五花八門的祖先智慧，存在世界各地及自然農法的推動者，待有緣者去實踐，甚至發揚光大。



花改場在頭城農場內協助建置的花草毯，有利於活躍農場內的生態循環。(頭城農場 / 圖片提供)