

循環農業與林業：從資源物質零廢棄開始

◎林業試驗所所長室・張彬 (chbin@tfri.gov.tw)

從線形經濟到循環經濟

一直以來，我們社會依賴線形的經濟模式在運行，亦即採取、使用、丟棄的直線方式，這樣的模式不僅造成了對自然資源的壓力、使用的成本上升，且對資源的需求量也越來越高，同時也造成了環境、氣候、資源短缺的壓力，這種線形經濟對農業及林業部門所造成的影響更是重大，因為自然資源如土地、水、養分(如氮磷鉀)、生物多樣性這些本身就是資源，卻同時被利用做為生產投入的資源，導致雙重的使用及支出。如何有效的使用及再使用這些基礎資源，減少對自然資源的壓力，以達成資源永續的目的，而循環經濟這種強調使用及再使用資源、增加重複使用圈、異業結合(農業與農業、農業與工業)的概念便應運而生。

農業與林業在循環經濟下的機會

參酌歐盟出版的〈農業與林業在循環經濟下的機會〉一文，農業及林業在以資源效率為中心的循環經濟架構中，必須達到(1)藉由平衡可更新再生資源流來保存及增加自然資本、(2)藉由循環產品、組件、及材料的方式來獲取最佳化(非最大化)的自然資源量、(3)藉由揭露與降低廢棄物及有毒物質的設計以增加效能、(4)鼓勵大眾交流互動以了解我們的資源及降低無法避免的廢棄物量。以林木砍伐為例，瑞典林業部門推動一項林木灰分循環的計畫(Regular recycling of wood ash to prevent waste production, RecAsh)，在林木砍伐過程中會產生多種剩餘物(如枝梢材)，將這

些剩餘物質在砍伐過程中集中起來，作為生質能來運用(如發電、發熱、蒸氣)後，所殘留的灰分再撤回到林地中，在2002~2006年間，瑞典林木砍伐後收集再利用剩餘物的比例從16%增加到38%，大約是2萬7千公頃的林地，所代表的能源價值大約是減少27萬立方的石油使用及99萬噸的二氧化碳排放，而這些撤回到松木林地的灰分，每公頃約4噸灰分的使用，可增加每年2~4立方的材積生長量，而這效能約可持續30年，比目前使用在林木生長的人工肥料之促進生長效果更好；如果是每公頃林地施用混合灰分(2噸灰分及2噸白雲石石灰)，則可增加每年14%的林木生長，如此一來，30年後之總材積約為10.5萬立方公尺，大約是2百萬歐元的價值，但背後所代表的資源零廢棄、減少碳排放的意義卻更重大。

國際趨勢走向循環經濟，我國自然資源相較歐亞大陸更為珍貴也更脆弱，誠如蔡總統就職演說所提，我們也不能再像過去無止盡的揮霍自然資源，應該反思如何藉由創新技術與觀念翻轉來考量我們對自然資源使用的方式與態度。除了增加廢棄物再利用外，更應該思考重新設計對資源的使用方式，尤其是關鍵資源的運用，以達永續利用之目標。本文將嘗試由循環經濟的角度來討論農業及林業的未來可行的發展方向，提供建言。

循環農業在臺灣

行政院農業委員會(農委會)在2017年成立循環農業工作小組由本人擔任召集人，企劃處為幕僚單位，對農業項目中產生副產物(廢

表1 我國主要農業副產物項目及產量

單位：公噸

	稻稈	廢菇包	豬糞	雞糞	雞羽毛	牡蠣殼	竹木材
年產生量	1,587,776	178,202	595,940	1,036,384	47,903	123,966	900,000
處理量	1,587,776 (100%)	178,202 (100%)	592,961 (99.5%)	1,031,202 (99.5%)	47,903 (100%)	111,569 (90%)	571,860 (63.54%)
就地乾耕掩埋	1,266,132 (79.74%)						
作物栽培覆蓋	143,789 (9.06%)						
焚燒掩埋	61,255 (3.86%)						441,900 (49.10%)
倉庫墊料	36,071 (2.27%)						
育苗栽培介質	30,117 (1.90%)					14,504 (11.70%)	
堆肥	35,486 (2.23%)	178,202 (100%)	591,829 (99.31%)	1,029,232 (99.31%)	15,056 (31.43%)	24,000 (19.36%)	
飼料或原料					29,159 (60.87%)	48,000 (38.72%)	
資源回收			1,132 (0.19%)	1,970 (0.19%)			47,970 (5.33%)
廢棄							328,140 (36.46%)
其他	14,926 (0.94%)				3,688 (7.69%)	25065 (20.22%)	81,990 (9.11%)

棄物)量大、汙染性高的項目進行盤點工作，並盤點出41種可再利用之技術，據以規劃循環農業十項重點項目進行副產物去化及再利用，積極推動產業化工作。

依照2017年的農業副產物(廢棄物)調查結果(表1)，主要之農業副產物(廢棄物)每年約447萬噸，主要的項目有稻稈、廢菇包、禽畜糞等7項。其中：

(一) 稻稈主要用途為就地乾耕掩埋(79.7%)，露天燃燒比例僅3.8%，惟因其影響空氣品質，反而成為輿論注意焦點。目前農委會規劃將稻稈做更有效運用，短期規劃應用於燃料棒、肥料、沼氣發電及雞舍墊料等產業。

(二) 廢菇包則因為菇類生產時程幾乎相同，廢包清運的時間點重疊，導致處理廢菇包高峰期過度集中，難以清運處理。考



沼氣發電—厭氧發酵。(黃志堅 攝)



竹木廢棄物製作生質顆粒。(黃志堅 攝)

量太空包廢菇包富含有機物質，農委會將導入快速堆肥製作技術，提升堆肥化效率以縮短產製時程，協助處理場快速去化和製成高品質堆肥。

(三) 利用豬糞尿產生之沼氣以發電，除可回饋給豬舍使用外，發電完之沼渣亦可作

為有機質肥料原料、沼液可再回灌農田或是做為石化業廢水處理系統所需的植種污泥。

(四) 目前雞糞約99%回收做為生雞糞肥，但所產生的環境汙染(惡臭、蒼蠅)問題，讓人反感。農委會輔導開發乾燥雞糞製粒產品，除本地使用外，亦進行試銷韓國及東南亞地區。

(五) 雞羽毛目前雖已有去化管道，但避免惡臭等環保防制設備成本高昂，導致再利用成本高，農委會已進行羽毛分解菌技術研發，以解決羽毛水解液肥成品臭味問題，提高羽毛處理量，增加廢棄羽毛處理效能。

(六) 廢棄牡蠣殼去化利用管道多元，除作為飼料添加物、栽培介質、堆肥添加料

外，亦可做成保健品、人工骨粉等。農委會正與臺灣糖業股份有限公司合作，建置生產碳酸鈣之生技材料工廠，除可減少國外進口之碳酸鈣數量以減少碳足跡，並解決廢棄牡蠣殼之環境污染及衛生問題。

(七) 木竹材廢料則是有較高比例之廢棄未利用、焚燒掩埋情形，再利用率仍不高。除可發展木竹手工藝等文創事業外，亦可將這些廢料製成顆粒燃料，發展社區型木材汽化發電模組、建置社區木竹材再生綠能中心。

未來，農委會將從傳統的農業副產物循環利用逐漸轉向永續物質及資源管理，從源頭減量及促進再使用等方面著手，推動農業資源循環及產業永續經營。

循環林業的腳色何在？

我國林業在禁伐天然林政策實施後，基本上只剩造林撫育作業，能夠展現成果的機會受到侷限，在循環經濟架構下的臺灣林業，如



竹木生質顆粒成品可依需求製作不同尺寸。(黃志堅 攝)

何發揮功能，值得省思。目前藉由國有人造林疏伐作業的執行，可望提升我國木材自給率至3%，但這些砍伐下來的疏伐木材，是否能有較好的利用，需要配合市場需求或是創造市場需求。配合市場需求是指採取較高價值的某些徑級林木，不一定是大徑木，如板模所需木材並不需要特別的大徑木，反而是需要原生臺灣杉木，才能具有較佳的形質展現；創造市場需求則是統籌規劃現有成林人造林之數量、區位，以生產專區概念來設計這些材料(木材)的利用，並將消費及回收再使用等因素考量進去，以減少收集及運輸成本、碳足跡。

以國有林生產專區為基礎，配合造林獎勵期滿的平地造林、製材廠之位置，除生產木材以供利用外，更應將全株利用納入規劃，如與臺糖公司養豬專區合作，在養豬專區周邊

廣植境界林，除可維持空氣品質外，亦可提供森林療育功能；成材砍伐利用則依樹種可提供不同需求使用，如家具、裝潢、菇包資材、精油提煉等；枝梢材則可配合社區木竹材再生綠能中心之概念製作成顆粒燃料，作為儲存或發電使用，燃燒後所產生的灰分則可依性質及需求再回歸到林地或農地裡，或是製作成生物炭，作為改善土壤性質之用，如增加土壤中碳吸存量、增加土壤肥力、吸附土壤中有機汙染物等，形成封閉式循環。

林業本身就是一個再生循環產業，幾乎所有的林產品都能夠再回收利用，不會產生廢棄物質。除了生產林木以外，還能夠生產油料、纖維、染料、食用色素、中草藥、辛香料等特用林產物，只要在種植前做好全程規劃，發展如農作物生物精煉產品(如玉米、甘蔗)的林業生物循環經濟是相對可行的。舉例來說，林木經提煉作為醫藥或精緻化學品的產量雖然低，但相較作為燃料(如電能、熱能)所能創造的價值，卻是以千百倍計，而這其中的關鍵就是循環經濟概念所強調的重新思考、設計產品。

臺灣林業從早期支撐社會經濟的角色轉變為扮演自然保育的搖籃，一直適時地調整角色與定位，在循環經濟的氛圍下，將再一次找尋自己的定位。背負低木材自給率的壓力及國際林業的競爭，循環林業提供一條可行的選項，全株利用除可反轉低木材自給率、浪費木材的形象外，更能將木材利用從消耗式的直線利用(原料-生產-利用-廢棄)，如木材、燃料，提升為多面向的利用，如遊憩、療育、環境保護、醫藥生化、特用林產物等，大大地增加林業總產值，亦兼顧經濟發展、資源永續等面向，達成永續目標。◎