

# 循環農業國際趨勢報告

執行單位：台灣農業科技資源運籌管理學會

中華民國 106 年 07 月 01 日

## 目錄

|                        |    |
|------------------------|----|
| 壹、緒論.....              | 1  |
| 一、循環經濟概念起源.....        | 1  |
| 二、何謂循環農業.....          | 2  |
| 三、為何需要循環農業.....        | 3  |
| 貳、循環農業國際發展概況.....      | 6  |
| 一、國際循環農業趨勢與主要投入國家..... | 6  |
| 二、中國大陸.....            | 9  |
| 三、日本.....              | 18 |
| 四、荷蘭.....              | 24 |
| 參、台灣現況.....            | 30 |
| 一、相關法規/背景.....         | 30 |
| 二、實際案例.....            | 32 |
| 三、阻礙與未來發展.....         | 36 |
| 肆、結論與建議.....           | 38 |
| 伍、參考文獻.....            | 39 |
| 一、中文參考文獻.....          | 39 |
| 二、英文及其他參考文獻.....       | 39 |
| 三、網站資源.....            | 40 |

## 圖目錄

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 圖 1  | 循環經濟下資源需求、開採量與垃圾掩埋差別..... | 5  |
| 圖 2  | 基塘農業示意圖.....              | 11 |
| 圖 3  | 豬沼果模式示意圖.....             | 12 |
| 圖 4  | 四位一體模式示意圖.....            | 13 |
| 圖 5  | 西北五配套示意圖.....             | 14 |
| 圖 6  | 蚯蚓循環農業模式與菜地養蚯蚓.....       | 16 |
| 圖 7  | 泰生示範農場廠區照片.....           | 18 |
| 圖 8  | 日本循環政策背景.....             | 20 |
| 圖 9  | 環境保全型農業發展圖.....           | 21 |
| 圖 10 | 合鴨農法實際照片.....             | 22 |
| 圖 11 | 鴨稻魚農業模式示意圖.....           | 22 |
| 圖 12 | 綾町農產品認證基礎標準.....          | 23 |
| 圖 13 | 循環經濟展覽中心.....             | 25 |
| 圖 14 | 一般與樂觀情況之效益差異.....         | 29 |
| 圖 15 | 台灣廢棄物回收資源體系.....          | 32 |
| 圖 16 | 石安牧場再生綠能廠設備.....          | 33 |
| 圖 17 | 東豐里產銷班.....               | 35 |
| 圖 18 | 農民對於循環農業施行前後看法調查.....     | 38 |

## 表目錄

|     |                             |    |
|-----|-----------------------------|----|
| 表 1 | 台灣糧食自給率.....                | 3  |
| 表 2 | 中國與世界資源消耗比較.....            | 9  |
| 表 3 | 崇明世界級生態島發展「十三五」規劃之生態指標..... | 16 |
| 表 4 | 荷蘭廢棄物利用統計表.....             | 26 |
| 表 5 | 生物廢棄物效率處理方式.....            | 27 |
| 表 6 | 生物廢棄物利用方式統計表.....           | 27 |
| 表 7 | 台灣能源依存度.....                | 30 |
| 表 8 | 台灣農業廢棄物處理統計.....            | 31 |

## 壹、 緒論

### 一、 循環經濟概念起源

全球暖化的影響持續在世界各地發生，極端氣候帶來的衝擊讓人類見證全球暖化的嚴重性。台灣垃圾的處理方式從民國八十年代的大量掩埋，到改以焚燒為主要處理方式的九十年代，其中焚燒產生的二氧化碳，就是全球暖化的大宗，更別說許多致命的有毒物質被釋放到大氣中。

經過過往的一連串演進和多元化發展過程後，我們的工業行為仍沒有改變早期工業活動留下來的基本特徵—線性經濟模式，使用資源的方式仍為「提取資源—將資源製造成產品—使用產品—丟棄」。即企業利用資源製造成有價值的商品後賣給消費者，消費者在產品不再能夠提供有價值的服務後，將其丟棄。雖然我們在許多技術都有相當顯著的提升，如資源使用的更有效率、良率更高或生命週期更長，但此種線性、未循環回收的消費模式造成了大量的廢棄物，更增加了處理廢棄物的成本與環境破壞，因此減少廢棄物與垃圾，使資源循環利用變得非常重要。

Pearce & Turner 在 20 世紀時，首次提出循環經濟(Circular Economy)的概念，其在書中指出傳統開放式、未有回收機制的經濟模式，只是將自然環境視為一個大型垃圾儲存場，對比下循環經濟則為一富有反饋性的系統。致力於推動循環經濟的 Ellen Macarthur 基金會更將循環經濟區分為工業循環與生物循環。而歐盟最大的農民團體 Copa-Cogeca 也於 2014 的報告中，提出農、林業需要提高在循環經濟中的貢獻，故可以看到國際中對於農業在循環經濟中扮演的腳色重要性的重視。

最後反觀台灣，雖然已有許多類似於循環經濟的概念套用在農業上，但整體的比率與情況仍可加強。希望可以透過對於國際趨勢的了解，從中觀察到世界主流的現況，了解目前盛行的執行模式與技術，加強台灣與國際接軌的程度，厚實並改善台灣農業，對於家園的土地盡一份心。

## 二、何謂循環農業

循環農業的定義眾說紛紜，目前沒有一個比較明確或統一的定義。可能的原因在於循環農業的概念範圍廣大，和許多舊有的名詞有許多相似、重疊之處，如生態農業(Egroecology)、有機農業(Organic Farming)、再生農業(Regenerative Agriculture)、永續農業(Sustainable Agriculture)等，在概念上或形式上都有類似的部分。比如多數循環農業例子中，將禽畜排泄物收集至沼氣池進行厭氧消化，產生的沼液處理後，做為有機肥料施予農作物，如同有機農業中不使用農藥、以不破壞生態的方式進行施肥的概念；而厭氧消化的其他產物如沼氣，則做為農場、農舍的發電原料。此處將農場資源、禽畜排泄物做最有效率的利用，如美國法典對永續農業的定義，「使不可再生與農場資源做最有效率的運用以及適當地整合天然的生物循環與防治」的概念相似。

而在經過資料搜整之後，此處將循環農業的定義整理，歸納出最相近字面的意思為利用循環經濟的概念，套用在農業的活動上。利用 Ellen MacArthur Foundation 對於循環經濟的定義：「A circular economy is one that is restorative and regenerative by design, and which aims to keep products, components and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles.」，生物循環部分正是可以套用在農業上的部份。產品由生物原料製成，經過一連串價值鏈，最後回到生態圈。農業中的迴圈方式包括對於利用堆肥、厭氧消化等技術，使禽畜排泄物可以有效的利用，回到價值鏈的源頭，不僅在原本無用的廢棄物中取得新的額外價值，也讓養分可以回歸地球，營造一個美好環境；也有透過生物精煉(Biorefinery)的處理，從生質原料或田埂、稻桿等農業廢棄物中提煉藥品、生質柴油等產品，創造新的價值鏈。

### 三、為何需要循環農業

台灣在糧食自給率上，從最新民國一百零四年的資料，和過往民國九十五年度資料相比皆為下降(表1)，可以看出台灣在糧食供給上有偏向進口的趨勢。若以計算方式別來看，台灣和日本相似，依照FAO建議利用貨幣價值(monetary values)或營養價值(nutritive values)的方式延伸，改為分別以價格和熱量為基礎來計算糧食自給率。其中用熱量為基礎計算的方式，台灣的糧食自給率不到三分之一，表示糧食供應的營養來源約有三分之二皆為進口，依賴度高。如此除糧食安全水位不足，恐在國外糧食價格飆漲或供應不穩時可能有缺糧影響，對於糧食貿易及糧食生產，也影響國內農業發展的道路。

而循環農業在此處可以有所幫忙，透過循環農業的概念導入，可以讓相關價值再次進入農業，產生不同的效益，降低部分價值鏈源頭資源的成本開銷，同時導入可替代使用的原料，建立新興的農業模式，有助提高農業上的價值與生產力，進而吸引農業就業人口，增加農產量。

表 1 台灣糧食自給率

| 糧食自給率 \ 年度  | 95   | 96   | 97   | 98   | 99   | 100  | 101  | 102  | 103  | 104  |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 以價格計算(單位：%) | 74.5 | 73.3 | 70.6 | 68.9 | 67.9 | 69.1 | 67.9 | 67.9 | 68.3 | 66.4 |
| 以熱量計算(單位：%) | 32.1 | 30.3 | 32.2 | 31.7 | 31.3 | 33.9 | 32.7 | 32.9 | 34.0 | 31.4 |

來源：行政院農委會-糧食供需年報

此外，由於飲食習慣的改變，過往社會在重大節慶中才會食用肉品以示慶祝，但現在則有部分民眾在飲食上抱持無肉不歡的態度。由於動物需要更多的飼料轉換成相當重量的肉，每公斤的肉品需要投入倍數的穀物資源換取，如以飼料換肉率來看(Feed Conversion Rate, FCR)，每一公斤的豬肉需要三至四倍的飼料資源，每一公斤的牛肉需要七至十公斤的飼料轉換，如此生產同樣單位重量的產品，肉類產品需要耗用更多的土地、能源、水及肥料等資源。且飼養禽畜不僅較耗資源，也會在飼

養的過程中產生大量的廢棄物，以2015年為例，2015年肉類糧食淨供給量為1,831.5千公噸，但同年禽畜糞產生量為2,135.2千公噸，為肉類糧食淨供給量的1.17倍，顯示豬隻排放之廢棄物較國人食用的肉品還多，如未加妥善管理廢棄物，恐造成環境上的汙染。

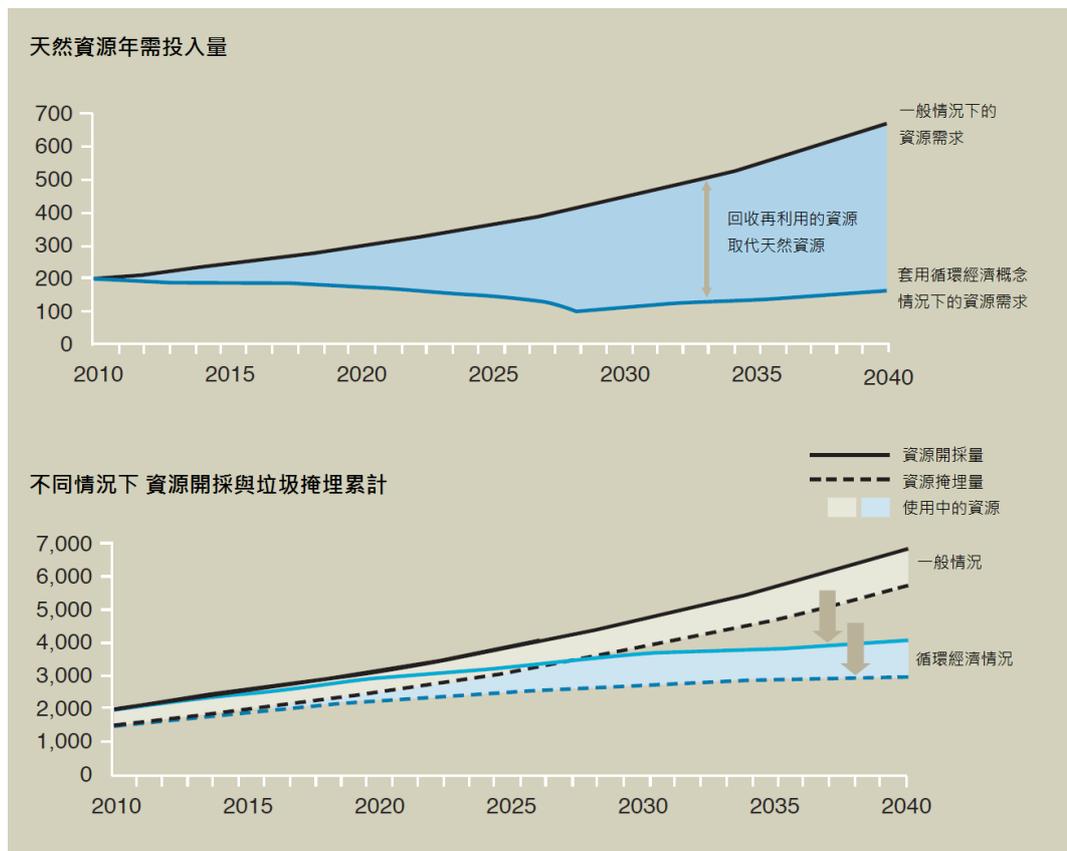
目前有許多廢棄物處理的方式，若套入循環農業的概念，可以使廢棄物不只被妥善處理，還可以產生新的價值。如將禽畜廢棄物收集後，利用沼氣池、發酵池進行厭氧消化，產生的沼液處理後，可做為植物肥料施加在農地上，減少農藥使用與購買成本。其他產物如沼氣，則能夠透過能量轉換成可供應農舍、機具設備電力的燃料。如此套入循環農業的概念，不僅有助處理大量的禽畜糞便，更使原本看似無用的排泄物重新回到價值鏈的源頭，為其他經濟活動產生效益。

最後透過 Ellen MacArthur Foundation 在2013年出版報告書，我們可以看到該基金會建立一物件市場，並比較一般情況(Business-as-usual, BAU)和循環經濟情況(Circular system)下，往後25年後的分析預測(圖1)。分別給予一般情況下和循環經濟情況皆存在產品、資源轉換至下一階段的損失，以及年需求以固定比例成長的假設。而在循環經濟概念的情況中，再假定產品將可以在任何時期被額外的價值鏈接受，並提供其他價值。

由於循環經濟情況下，許多廢棄物都可以藉由回收再利用，取代新天然資源，成為替代資源供給價值鏈使用，相較於一般情況，由於有替代資源可供使用，不需要開採，對於天然資源的需求下降，預估在2040年時，相比一般情況將可節省三分之二左右的原物料需求(圖1上)。而除了可以看到在不同情況下，資源開採量與垃圾掩埋量的差別以外，重點在於各項活動數值成長的速率。一般情況中，因為缺乏將廢棄物再利用，必須開採大量天然資源以供經濟活動運作，也因此必須處理經濟活動後遺留下的大量廢棄物，故對於新資源的開採以及廢棄物的掩埋處理，成長斜率均高於循環經濟系統下的斜率(圖1下)。

現在資源價格不斷攀升，處理廢棄物的顯性與隱性成本也在增加，循環概念可以使每一項物件發揮最大作用，不僅增加新的價值鏈，也以更好的方式處理廢棄物。

基於上述概念與好處，也正是農業為何需要走向循環經濟系統的原因。



圖片來源：Ellen MacArthur Foundation (2013)；本研究編譯

圖 1 循環經濟下資源需求、開採量與垃圾掩埋差別

## 貳、 循環農業國際發展概況

### 一、 國際循環農業趨勢與主要投入國家

國際間對於循環農業的態度與看法，我們可以從一些有代表性的農民團體、環保團體的報告書中窺知一二。歐洲農業貿易協會(Copa-Cogeca)是歐洲最大的農民團體，其在 2014 年的報告中，指出農業應該加強在循環經濟中的貢獻，該協會列出對於循環農業的看法與為什麼要推廣的原因，相關內容列表整理如下：

#### (一)、賦予被視為是廢棄物的產品新的價值

提供廢棄物新的價值是循環經濟的主要層面。相較於丟掉那些無法提供符合市場需求的產品來說，以不同的方式去使用廢棄物是比較常見、也比較環保的做法。處理後的廢棄物可用於動物飼料、生質能源或埋入土壤中增加土壤的有機物含量，提升土壤品質。因此開發可以利用在農業或林業中的新興廢棄物是極為重要的議題。

#### (二)、利用研究和創新來輔助多R思考(multi R approach)

多 R 思考包含重新思考(Rethink)、再設計(redesign)、減量(reduce)、再利用(reuse)、回收(recycle)與恢復資源(recover resources)，透過對於農業部門的研究和創新，研發新的循環模式或擴大舊有相似概念的範圍，可以刺激農業往循環經濟前進。農業組織和合作社對於研究的努力和知識的交流則需要被重視。農民不僅需要取得基本的技術與知識，也需獲得研究與創新的結果。

#### (三)、利用價值鏈的長期策略來推動循環經濟

從初級原料到消費終端中導入循環性思考，需要有整體、長期的策略輔助，完整的價值鏈可以更有效的防止氣候變遷與價格波動帶來的衝擊。面對資源日益稀缺的狀況，完善的策略能將每一單位的資源效用最大化，同時也降低製造的成本與風險。如此可使農民用更少的資源創造更多的產出。

#### (四)、循環農業本是農業中基本概念的強化

農業活動本來就是建立在自然的循環上，水、養分、土壤、風及太陽能都是農業活動的基礎關鍵。帶入循環概念以增加生產力的同時就是將可用的天然資源效用最大化，以獲得巨大的經濟效益。

#### (五)、透過整合農業體系的協同作用來使農業體系自體循環

整合農業體系後帶來的肥料、能源、農藥與植物保護產品等外部投入的減量必定受到重視。如透過將精密技術(Precision technology)運用在循環經濟概念下，達到更有效率的資源利用。而對於水資源妥善使用的義務，包含水資源回收再利用、提高農場畜禽排泄物與副產品的使用效率，也都應該更加積極推廣。

使用油菜籽蛋糕餵養家畜是一個很好的例子。利用跳脫出侷限於農場層級的協同作用，使農作物與家畜單位協作，以最有效率化有機肥料使用與作物的多樣化，在減少對環境影響的同時，還能降低產品成本。

#### (六)、循環經濟不僅是減少廢棄物的產生，更可優化產品和消費系統

對於農夫而言，首要任務就是減少資源浪費。世界對於食物、飼料、燃料和纖維的需求正在上升，但天然資源卻正減少中。以土地而說，減少大量使用柏油、混凝土封閉天然土地，才可以保護肥沃的土地。同時，也應回收廢水與食品廚餘、堆肥中的磷，妥善處理後再利用於土地中。

#### (七)、利用消費者教育減少浪費

都市中增長的人口缺乏對於天然蔬菜、果樹成長的了解，對於這些產品顏色、形狀，甚至是大小先入為主的觀念，造成了浪費食物的現象。而消費者教育是使消費者去了解產品營養成分與味道最重要的環節。在製造和零售的過程中，其實是有很多機會可以減少浪費。譬如一個可以提供消費者資訊、且使消費者了解產品的團體，就可以避免掉不必要的浪費。

#### (八)、新的農業商業模式

優化利用與再利用的過程可以創造出一個新的商業模式。我們應該推

廣利用收成時剩餘殘株與加工過程中產生的副產品做為另一個經濟活動中的新物料。循環經濟可以產生良好的機會，發展出有效管理替代產品與生產過程，並使其打入新的市場。此外，循環經濟必須更具吸引力，以促使中小型企業創新，為其副產品創造更多作用，使該企業更具競爭力，以維持雇用數並創造更多鄉村地區的就業機會。

#### (九)、以生物為利基的經濟體-聰明、永續與包容性的使用再生能源

生物經濟可使在農業產品、副產品中的再生能源利用更有效率。生物經濟可以減少石化燃料的使用，並生產生物產品與生質能源。農民與農業公會應以此為方向，致力於發展替代能源，如沼氣、風力與太陽能。

以上為歐洲農民團體對於循環農業的看法。而在國際上，主要投入循環農業的標竿國家包含中國大陸、日本與荷蘭，本研究將針對上述幾個標竿國家，進行簡要的國家政策、法規介紹，並針對國家循環農業個案做摘譯。

## 二、中國大陸

### (一)、國家背景

一直以來，中國大陸的自然資源消耗都佔世界消費量的多數，如 2014 年中國大陸消耗鋼材約佔世界 50%、水泥約佔 57%、石油約佔 12.5% 以及煤炭約佔 50%(表 2)。雖然使用了大量的自然資源，但資源的利用率卻仍然很低，就壹讀網資料顯示，中國經濟要實現 1 美元 GDP 需要消耗 2.5 公斤的原物料，相較於其他國家，只需要消耗 0.54 公斤即可達到 1 美元 GDP 的增長，擁有非常大的差別。另外，中國在生產產品的背後，代價為產生大量的廢棄物。2014 年全中國企業的固體廢棄物就有 32 億噸，非常龐大。歐盟 28 國在 2012 年時，廢棄物總和僅 25 億噸，其中還已包括生活垃圾、工業垃圾等，對比相當懸殊。

表 2 中國與世界資源消耗比較

| 品項      | 鋼材(單位：百萬噸) | 水泥(單位：百萬噸) | 石油(單位：百萬噸油當量) | 煤炭(單位：百萬噸油當量) |
|---------|------------|------------|---------------|---------------|
| 中國大陸消耗量 | 822.8      | 2480.0     | 520.3         | 1,962.4       |
| 世界消耗量   | 1669.9     | 4100.0     | 4,211.1       | 3,881.8       |
| 中國佔世界比  | 49.3%      | 60.5%      | 12.4%         | 50.6%         |

來源：經濟部能源局-能源統計年報、國際鋼鐵協會年報、中投顧問產業研究中心

因此，處理廢棄物與尋找可替代資源對中國來說變得相當重要。根據《中華人民共和國國民經濟和社會發展\_第十二個五年規劃綱要》，第二十三章-大力發展循環經濟中，政策方向主要分為四大部分，包含推動循環型生產模式、健全資源循環利用回收系統、推廣綠色消費模式和強化政策和技術支持。

推動循環型生產模式部分，要加快清潔生產，在農業推進清潔生產示範，並推動農業廢棄物和其他領域的廢棄物綜合利用率達 72%。且按照循環經濟的概念，規

劃廢物交換利用、能量梯級利用、廢水循環利用和汙染物集中處理，最後達產業資源產出率提高 15%。

健全資源循環體系部分，加速建成城市與鄉村回收站、分揀中心和集散市場”三位一體”的回收網絡，促使回收規模化，健全垃圾回收制度與餐廳廚餘棄物資源利用化及無害化處理。

綠色消費模式部分，鼓勵購買節能節水產品、環保型汽車與住宅；減少一次性用品、限制包裝抑制不合理消費；推動綠色採購，提高節能節水產品與再生利用產品的比例。

最後強化政策與技術支撐部分，加強規劃與財稅金融等支持；建立產品標誌制度，完善循環系統評價制度；開發應用源頭減量、循環利用、再製造、零排放和產業鏈接技術，推廣循環經濟典型模式；組織循環經濟「十百千示範」行動，推動甘肅和青海循環經濟示範試點、山西資源型經濟改革試驗區。

而十三五計畫中，也提出了關於循環經濟的計畫，在第四篇-推進農業現代化中第五節-促進農業可持續發展中，提及計畫大力推展生態友好型農業，實施農藥用量零增長，並配合肥料、農藥的精確施放；實施種養結合的循環農業示範工程，使種養廢棄物資源利用化與無害化處理。

## (二)、個案分享

### 1. 基塘農業

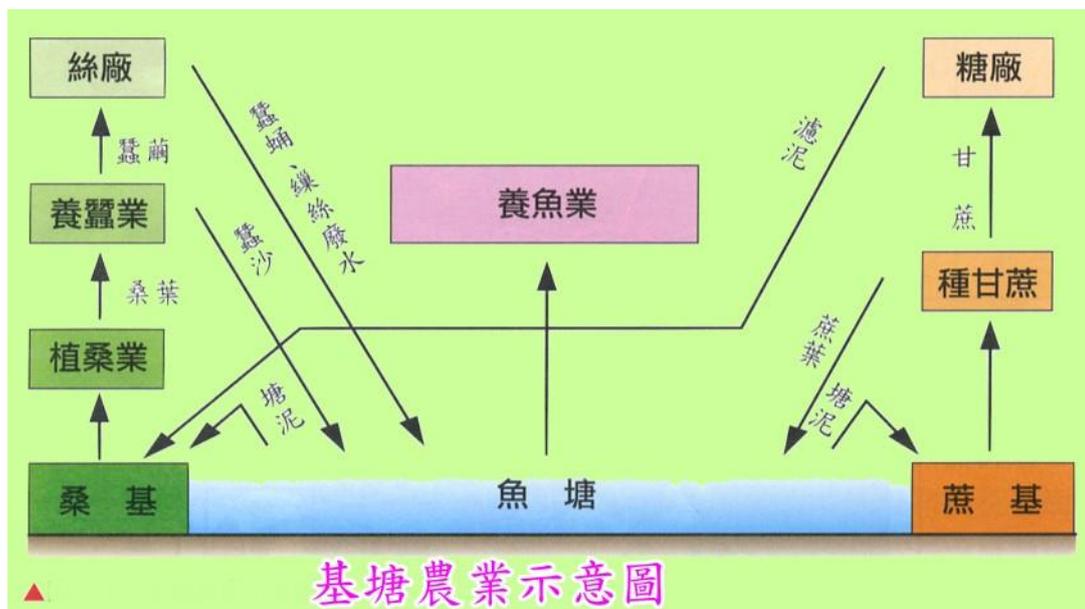
較早且著名的中國循環農業個案，莫過於珠江下游的基塘農業模式。珠江三角洲位於珠江下游，形成原因為長期受珠江從上游帶至下游的泥沙沉積，形成肥沃的沖積扇地形。但也因為位於河口，地勢低窪，飽受水患之苦，故雖然該地氣候宜人，年均溫約在 20 度至 25 度區間，水氣充足，非常適合農作物生長及生產，卻也正因為緯度低，在夏秋之際，常有熱帶氣旋，即颱風的影響，使得水患成為一個阻礙傳統農田運作發展的因素。

而當地居民為了改善此問題，加上清朝廣州貿易興盛，刺激了當地的蠶桑業，

便出現了同時解決水患和種植經濟作物的農業模式-「基塘農業」，興盛程度甚至有「棄田築塘、廢稻數桑」的口號出現。

基塘農業有許多種名稱，以不同種植作物做為區分，如桑基、蔗基或果基，此處以最傳統的桑基魚塘做為介紹。桑基魚塘模式為在塘基上種桑，以桑葉餵蠶，將蠶沙養魚，用魚糞肥塘，最後利用塘泥壅桑(圖 2)。透過一連串的能量循環，將每一階段的產品、副產品及廢棄物做為下一個階段能源的供應，促使農業分工精細，水陸護養，延長土地肥沃期間。

雖然後來魚塘用地多數轉為工業用地與商業用地，種植作物也轉為集中於果樹、蔬菜，但一開始建立此循環農業模式，不僅創造了自身的自體農業循環系統，也解決了水患的威脅，提供魚塘使水患有暫時的宣洩與儲存地區，減少水患的威脅與損失。此種依照當地環境建立的循環農業模式，仍是很值得參考的農業活動模式。



圖片來源：<http://mail.tlsh.tp.edu.tw/~t127/chinasouth/chinasou05.htm>

圖 2 基塘農業示意圖

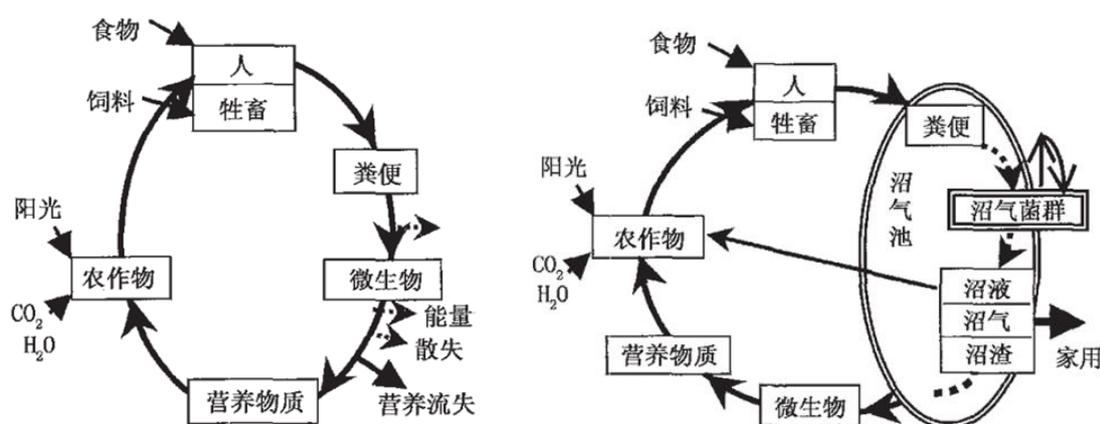
## 2. 沼氣

中國大陸在禽畜廢棄物處理，以沼氣為產出的農業循環模式，大概可以分為南方的「豬-沼-果」(沼氣池、果菜園、豬舍與廁所)、北方的「四位一體」(沼氣池與

太陽能系統、溫室養豬、蔬菜和廁所)和西北的「五配套」(沼氣池、果菜園、日光溫室豬舍、廁所和蓄水池)。起因在為了解決農村能源問題及禽畜排泄物處理，故於 2003 年，大陸利用國債支持沼氣發展，並依照不同地區的條件，逐漸產生上述循環農業沼氣生產模式。

南方的豬沼果是三者中較簡單的模式，單純串聯沼氣池、豬舍與廁所和果菜園，以沼氣池為核心，將種植(果園、菜園)、養殖(牲口)以及家庭生活合為一系統，以戶為單位，處理禽畜廢棄物來產生沼氣及其副產品沼液、沼渣。如圖所示(圖 3)，豬沼果主要概念，在於將人與牲口的排泄物到被微生物分解之間，加入沼氣池階段，使排泄物可以透過沼氣菌群處理成可利用之沼液、沼氣和沼渣，避免直接排放對環境造成危害，且可以加速排泄物自然分解的速率，並減少排泄物中如磷、氮等元素流失。如圖(圖 3 右)所示，除了處理了排泄物，產生的沼氣、沼液和沼渣還可以回饋給其他價值活動，如沼氣可以產生電力供給給家庭，沼液則可以再次處理後，做為肥料灌溉農作物，減少化學肥料使用，而沼渣則可以堆肥使用。

透過沼氣池為紐帶，將傳統種養分離的模式，利用循環經濟的概念串聯，創造出新的效益，不僅是在一價值鏈的末端處理廢棄物問題，更為另一價值鏈的起源提供良好的資源，使物質獲得多層次的使用，具有顯著的經濟、環境與社會效益。



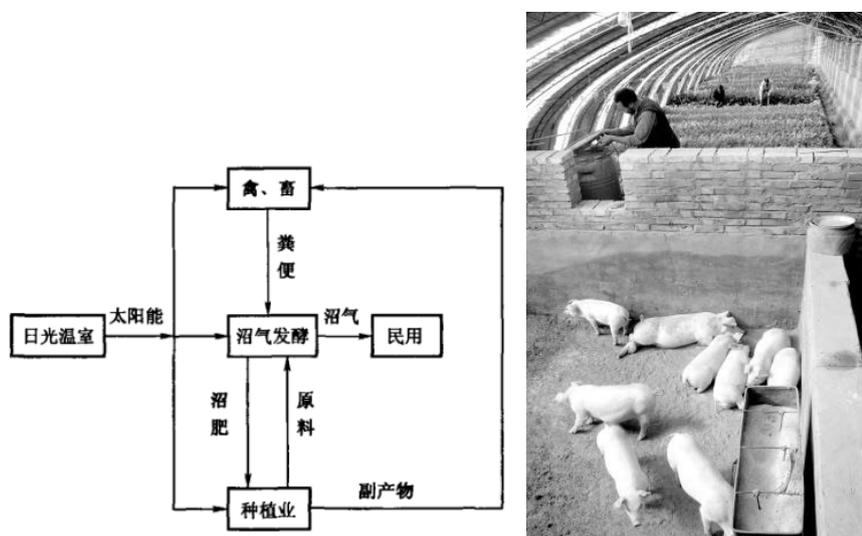
圖片來源：胡振鵬，胡松濤。2006。豬-沼-果 生態農業模式。

圖 3 豬沼果模式示意圖

而北方的四位一體，為南方豬沼果模式的變形。利用沼氣池、日光溫室豬舍、菜園及民用生活四部分組合成一個農業系統。和南方豬沼果模式有些微不一樣，原因在於北方氣溫較低，加入日光溫室可以利用太陽能及延長沼氣池作用時間提高室內溫度，並利用室內外形成的溫差，避免牲口遭到寒害而損失，也可使蔬菜正常生長及保證沼氣發酵的穩定。

新添加的日光溫室部分，以塑料薄膜做為透光與阻散熱性的材質(圖 4 右)，在白天時將日照能轉換成熱能，同時防止熱量和水分的散失，達到保溫且保濕的目的。而由於在溫室內空氣較不流通，因此設置沼氣池與生活能源口，供應蔬菜光合作用時需要的二氧化碳。沼渣和沼液則如同豬沼果模式，透過加工處理過後，提供植物優質的有機肥。

如此，四位一體為以太陽能為主，沼氣池為紐帶，整合其他各項環節，串起成為一個生態循環(圖 4 左)，實現了生態效益，並依照不同地區的環境情況，套入循環經濟的概念，做出最適合當地發展的循環農業模式。



圖片來源：(左)孫貝烈等。2008。北方四位一體生態農業模式標準化結構設計。

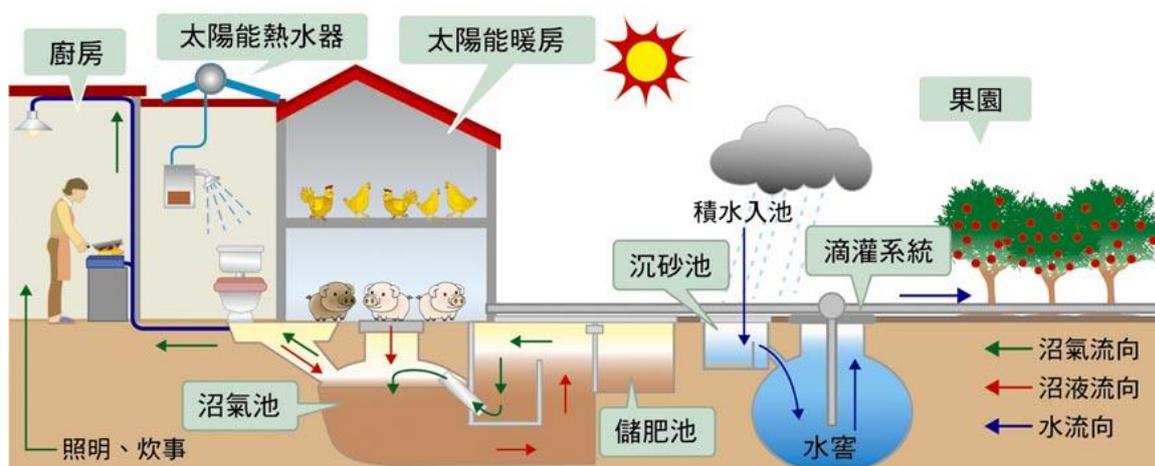
(右)趙海山等。1999。對”四位一體”大棚生態效益的研究。

圖 4 四位一體模式示意圖

最後北方的五配套，是由沼氣池、太陽能暖圈(溫室豬舍、果菜園)、水窖、民生生活(廁所)五部分組成(圖 5)，再相較於前一個模式，此模式多出了水窖的部分，係針對西北這些較乾旱的地區特別設計。

增設之水窖常設於果園較低窪處，可收集雨水或融化的雪水，供應果園、沼氣池以及民生用水之需要，如配合沼氣池中產生的沼液，進行稀釋後供應果菜園所需要的養分，或者提供家庭煮飯、洗澡等用水，甚至是回收後沖洗廁所一併進入沼氣池再次循環。

統整上述三種沼氣模式，都有明顯的特徵，皆以沼氣池串聯各個農業環節，整合成一個新的農業循環模式，使各項物質得到了有效的利用，在節流—處理人畜廢棄物的同時，做到開源—提供其他價值鏈新的意義，創造出因地制宜的農業模式。



圖片來源：[140.128.107.194/wpmu/thuhse014/files/2014/05/ch6.ppt](http://140.128.107.194/wpmu/thuhse014/files/2014/05/ch6.ppt)

圖 5 西北五配套示意圖

### 3. 蚯蚓

牲口排泄物、豬隻糞便的處理除了可以利用前述建置沼氣池生成甲烷提供生質燃料的方式以外，蚯蚓也是一個可以套入的循環農業模式。

蚯蚓擁有 20 多種的胺基酸、脂肪和其他元素，做為魚飼料或豬隻飼料都是非常好的營養來源，且蚯蚓一般食用禽畜排泄物與垃圾有機物，可以利用蚯蚓消化豬隻的糞便以清潔環境。最後產出的蚯蚓又再次回到價值鏈源頭，繼續提供廢棄物處

理或者供給其他牲口做為營養與食物來源。

原本各個農業環節各自獨立，但加入蚯蚓系統之後，將其他農業活動串起成為一個新的農業活動(圖 6 左)。農場中，畜養的禽畜如牛隻、豬隻會產生大量的排泄物，處理不慎很可能影響土地、空氣等環境，但加入蚯蚓，因其以禽畜排泄物為食的特性，可藉此處理禽畜排泄物。此外蚯蚓也以其他有機物質為食，農場在收穫時產生的薯渣和稻稈、池塘裡多出來的塘泥、種養菇類後廢棄的菌棒，都可以透過簡單的加工處理之後，做為蚯蚓的食物，省去原本處理這些最終產品的成本，也可省去養殖蚯蚓可能需要的飼料。而蚯蚓所在的土地上，因為其習性喜居於地下，在其活動時，會產生細小的隧道，增加土壤的排水性與通風性，適合植物根部的發展，故在飼養蚯蚓的土地上，可以種植植物，讓蚯蚓成為天然的翻土機器。除此之外，蚯蚓糞便的營養豐富，富含有機質、腐植酸與微生物菌群，本身又屬自然、非人工添加的肥料，對於植物的生長有很大的助益。

而最終繁衍過剩的蚯蚓並非就已功成身退，還可以成為豬隻與養殖魚的飼料。因為蚯蚓本身也具有豐富的營養成分，繁殖速度也快，在一輪耕作期之後，多出來的蚯蚓可以經過處理，添加進豬隻與魚的飼料中，除了本身種養結合受惠，也連帶帶動養殖漁業的發展。

江西井岡山聖地紅蚯蚓養殖場(圖 6 右)，從 2013 年起開始籌建，現在已發展成 10 個標準棚。該場場主估算以一個 6m\*20m 的標準養殖場來看，投入 120 至 130 斤的蚯蚓，約兩三個月後，可以收取約 600 至 700 斤的商品蚯蚓，期間還可消化大概 70 至 80 噸的豬廢汙水。

但目前遇到的困難是起步需要大量資金挹注，原料成本、租金、水電和人工薪資等都是一筆開銷，目前採收蚯蚓還在人工階段，採收需要大量人力資源協助，也是困難之處。而養殖技術也是難關，比如因為蚯蚓在人工飼養的情況下，同床幾代養殖容易出現品質退化，生長變得遲緩等現象，都需要加以克服。

雖然養殖蚯蚓確實可以產生不少好處，也能夠體現循環農業的精神，透過蚯蚓做為銜接其他農業項目，達成廢棄物效用最大化與開創新的可用資源，唯解決目前

蚯蚓養殖業遇到的困難，是引進此產業首先必須克服的議題。



圖片來源：(左)本研究整理、(右) <https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/1l2lz.html>

圖 6 蚯蚓循環農業模式與菜地養蚯蚓

#### 4.上海崇明生態島

2001 年，崇明島被定位發展成為綜合生態島。2005 年《崇明三島總體規劃》強調發展以環境、生態優先為原則。2010 年則正式提出《崇明生態島建設綱要》，期間為 2010 至 2020 年。同年三月則被中國批准為持續發展區，確立了建設世界生態島的目標。而上海市政府於去年年底，2016 年年底公布了《崇明世界級生態島發展「十三五」規劃》，是崇明島第三輪三年行動計畫，其中訂立許多實體指標(表 3)，預期在計畫結束之後達成該項數值。

表 3 崇明世界級生態島發展「十三五」規劃之生態指標

| 序號 | 指標名稱                | 單位  | 屬性  | 2015 年現狀 | 2020 年標準 |
|----|---------------------|-----|-----|----------|----------|
| 1  | 森林覆蓋率               | 百分比 | 約束性 | 22.53    | 30       |
| 2  | 自然溼地保有率             | 百分比 | 約束性 | 38.07    | 43       |
| 3  | 佔全球種群數量 1% 以上的水鳥物種數 | 種   | 預期性 | 7        | 10       |
| 4  | 地表水環境功能區達標率         | 百分比 | 約束性 | 78       | 95 左右    |
| 5  | 城鎮污水處理率             | 百分比 | 約束性 | 85       | 95       |
| 6  | 農村生活污水處理率           | 百分比 | 預期性 | 16       | 100      |
| 7  | 生活垃圾資源回收利用率         | 百分比 | 預期性 | 28.8     | 80       |
| 8  | 環境空氣質量優良率(以 AQI 計)  | 百分比 | 約束性 | 74.8     | 78       |

|    |                |                 |     |      |             |
|----|----------------|-----------------|-----|------|-------------|
| 9  | 常住人口規模         | 萬人              | 約束性 | 69.6 | 70 左右       |
| 10 | 建設用地總量         | Km <sup>2</sup> | 約束性 | 262  | 265         |
| 11 | 能源消耗總量增速率      | 百分比             | 約束性 | /    | <=2         |
| 12 | 單位生產總值能源消耗降低率  | 百分比             | 約束性 | /    | 17          |
| 13 | 可再生能源裝機量       | 萬千瓦             | 預期性 | 29   | 50          |
| 14 | 千兆網絡覆蓋率(城鎮化地區) | 百分比             | 預期性 | /    | 100         |
| 15 | 綠色交通出行比重       | 百分比             | 預期性 | 76   | >=80        |
| 16 | 綠色食品認證率        | 百分比             | 預期性 | 27.5 | 90          |
| 17 | 居民人均可支配收入增長    | 百分比             | 預期性 | /    | 2010 年的 2 倍 |

資料來源：<http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2319/nw12344/u26aw50776.html>；

對於崇明島的生態低碳循環現代農業，壹讀網中提及上實現代農業開發總經理認為其包含四大循環：

——鴨蛙稻共生系統：水稻為鴨及蛙提供良好生長環境，水稻本身及產生的昆蟲則可為鴨及蛙的天然餌料。如此鴨蛙為稻田除雜草、吃害蟲並為水稻提供養分。

——氣電熱肥循環：將農田生產的秸稈等有機廢物轉化為沼氣、電能、熱能和生物有機肥。沼氣發電的電能用於工程自用及配套項目的日常生產和生活，熱能可以為溫室大棚供熱，有機肥則用於農業種植。

——林下複合經濟共生系統：包括生態林地白山羊養殖和菌菇種植。林地為白山羊提供牧草和放養空間，羊糞尿作為有機肥改善林地土壤。而菌種、菌包經過生產及種植，產品採收後包裝銷售，殘餘的菌渣回到林地提高土壤肥力。

——生態城鎮、綠港農業、濕地公園一體化循環系統：最終大型的崇明循環系統，以濕地為綠港農業和生態城鎮提供生態環境的保障，綠港農業為生態城鎮提供優質農產品，生態城鎮進而帶來終端客戶群，三者形成生態、經濟及永續良性循環。

最後看到崇明島上的泰生示範農場，泰生生態示範農場將農場塑造成觀光農場(圖 7 右上；圖 7 左上)，藉此吸引觀光客前往，但在循環經濟方面也不遺餘力，除利用稻草覆蓋沼氣池(圖 7 左下)，避免有害氣體逸散污染空氣，對於沼氣池的運作流程也有訂定明確的標準(圖 7 右下)，使工作人員對於沼氣池的流程更為熟稔，操

作起來也較為順暢，完善地將觀光與循環農業結合，成為一個新的、優秀的實體案例。



圖片來源：<http://yuchanguo.blog.sohu.com/274703166.html>

圖 7 泰生生態示範農場廠區照片

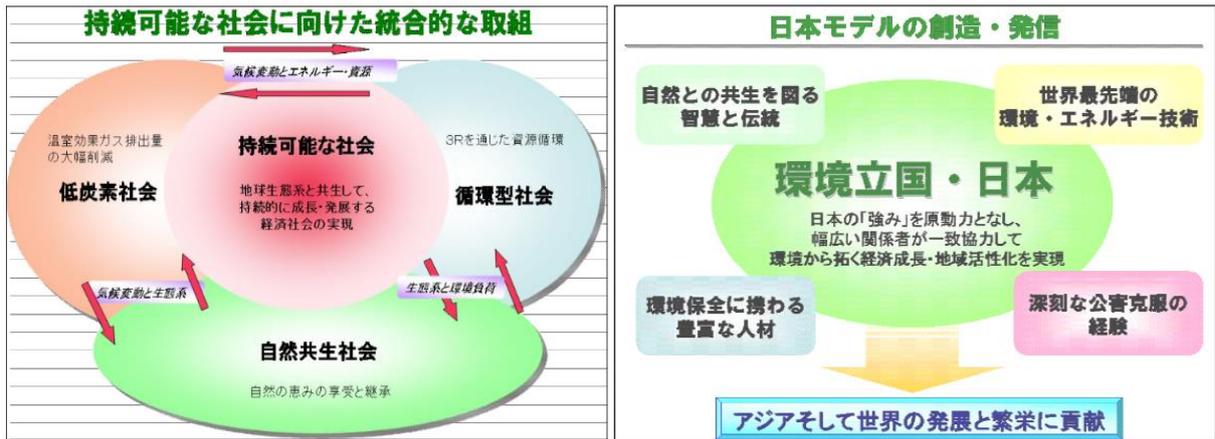
### 三、日本

## (一)、國家背景

日本身為海上島國，多數自然資源倚靠進口，深知如果不尋找有效、永續的資源利用方式，必定無法自力自強。在此前提下，日本環境省在平成 19 年(西元 2009 年)發布《21 世紀環境立國戰略》，提到 21 世紀人類面對的最大課題，就是環境變遷、氣候暖化、生態危機以及資源的浪費，因此《21 世紀環境立國戰略》提出結合低碳、循環及與自然共生等三種社會型態(圖 8 左)，以克服環境變化，朝向永續發展的目標前進。

三個構面分別以以下路徑達成。首先，在石化燃料存量快速遞減的時代，從對全球暖化的問題出發，降低石化能源的消耗，達到世界二氧化碳排放量等於世界二氧化碳自然吸收量的平衡，使二氧化碳的濃度不會再對氣候造成影響，朝向低碳社會努力。其次，著重關於資源開採與生產、物流流通與消費，並至最終的收集和處理環節的環境影響，透過對社會經濟各階段活動所產生廢物加以處理，使用可再生資源做新價值鏈的原料，減少開採新的天然資源，朝向循環型社會發展，以減少對環境的負擔。最後，從保護生態的角度來看，生物多樣性和人類生存的基礎息息相關，大部分社會的經濟活動，包括農業、林業和漁業等都是和自然生態和諧相處的模式，故利用大自然賜予的環境，建立與自然共生的社會是相當重要的。

以上述為基礎，在過往的發展中，即便日本資源匱乏，工業活動及人口相當集中，但透過社會經濟環境與能源技術的進步，已成功與自然共生，並發展出一套智慧與傳統，伴隨日本世界最先進的環保與能源技術、其他公共污染的處理經驗及具備決心與極大能力的豐富人才(圖 8 右)，希望建立日本發展模式，以環境立國為主旨來發展並走向世界。

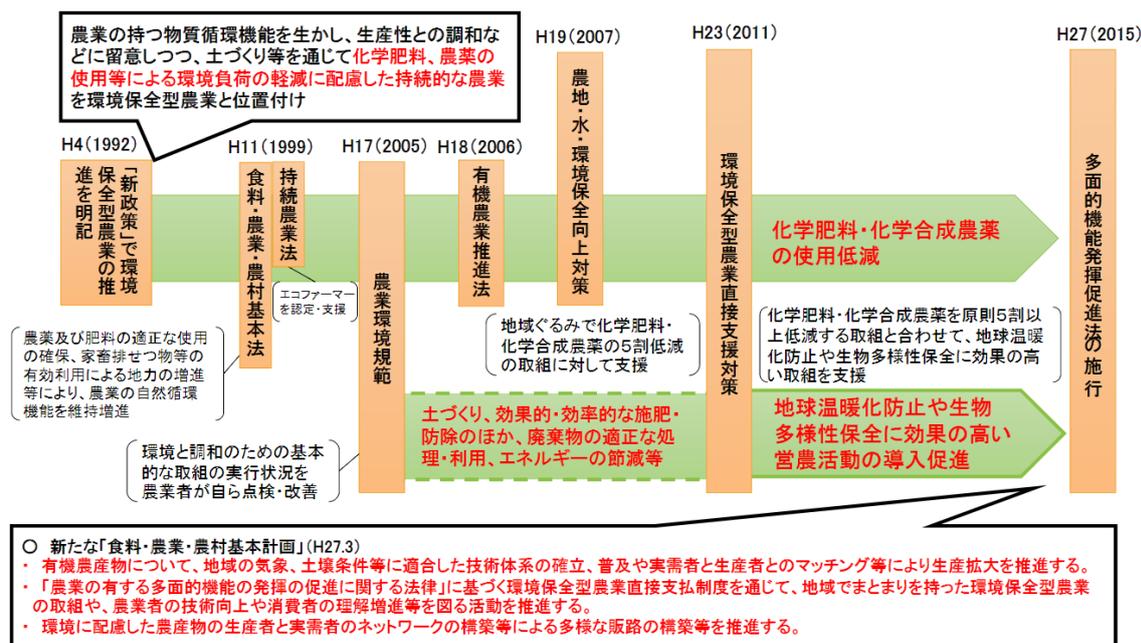


圖片來源：日本國政府環境省-21世紀環境立國戰略

圖 8 日本循環政策背景

在循環經濟套入農業的方面，日本是非常早期投入循環農業概念的國家，早在1970年起，日本政府就訂定了關於廢棄物回收、環境保護等相關法條。而到90年開始，日本建立了一系列相關法規，規範關於循環農業與廢棄物管理的法律(圖9)，如1992年日本政府開始推動環境保全農業概念，希望成為農業活動過程中，減少化學農藥、肥料的使用，在生產之餘，仍可兼顧環境的永續農業，在1999年則分別訂立「永續農業法」和「食品農業農村基本法」，明訂關於化肥農藥使用、家畜廢棄物處理再利用及優惠誘因。

日本政府為鼓勵農民朝向循環農業方向前進，在稅收與信貸上給予農民極大的支持，例如較低或甚至是免息的貸款利息、較大的貸款金額，並於每年編列許多政策預算以供日本農民發展循環農業。國家在研發方面，也鼓勵大專生進行此一研究方向的實驗，並在結果發表後，利用政府力量推廣，將理論和實務做結合，使理論和實務接軌，對於示範的目的啟發良好的作用。最後由於國情本身的不同，且日本政府積極宣導綠色低碳的消費概念，創造出循環農業產品的需求端與穩定市場，使產業得以支撐並加以改革進步。



圖片來源：日本國政府農林水產省-環境保全型農業的振興方案

圖 9 環境保全型農業發展圖

## (二)、個案分享

### 1. 鴨稻共生

Takao Furuno 是一位長期投入發展關於魚稻鴨循環農業系統，並在促進稻米增產的同時，減少農藥及肥料使用的日本農夫，他發明的這種循環農業模式也稱為合鴨農法(Aigamo Method)，這一個農業模式可以使稻米增長約 20%至 50%的產量。

這一個複雜的農業模式需要細心的規畫。在稻米播種之後，鴨子便進入稻田中，以食用新生稻米的昆蟲為食來保護稻米(圖 10)。之後稻米成長的過程中所產生的雜草，可以發揮固氮作用及作為田邊小魚與鴨子的食物。雜草生長過程中固定的氮素及鴨子與魚的排泄物，則全都供給稻米成長時所需要的養分。最後，鴨子在划水的過程中，可以為水打入氧氣，在稻田中行走的時候，也可以幫忙產生翻土的作用。



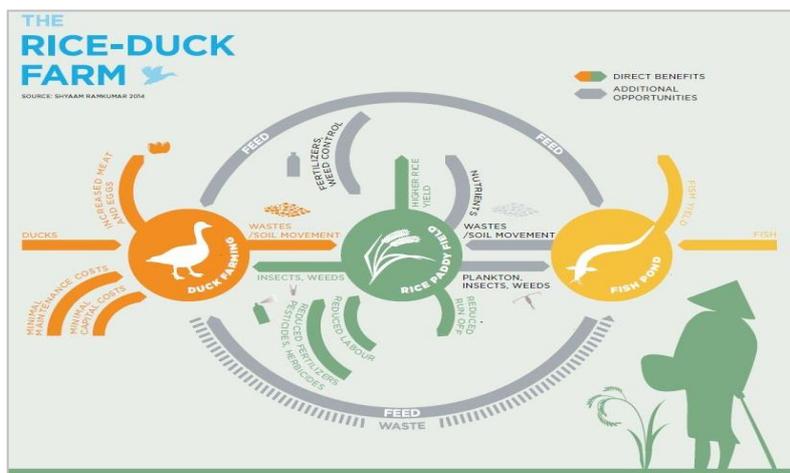
圖片來源：(左) <http://permaculturenews.org/>

(右) [https://en.wikipedia.org/wiki/Takao\\_Furuno](https://en.wikipedia.org/wiki/Takao_Furuno)

圖 10 合鴨農法實際照片

從報告書中圖片可以看到(圖 11)，橘色和綠色為合鴨農法直接作用之處。我們只需要投入鴨子及後續管理鴨子的作業，鴨子和稻米在體系中自然形成共處的系統，其中產生了減少原本需要投入驅逐害蟲的農藥以外，同時降低勞動施藥與害蟲管理的人力資源，鴨子在幫助生產的同時，最終也可以產出鴨肉等農產品。總和來說，合鴨農法帶來下列好處：

- 減少害蟲、雜草，農藥使用量及施藥人力資源
- 省去處理鴨子排泄物問題，直接變相施肥亦減少人工肥料投入
- 鴨子本身在和稻米互動結束後，尚可提供本身作為產出



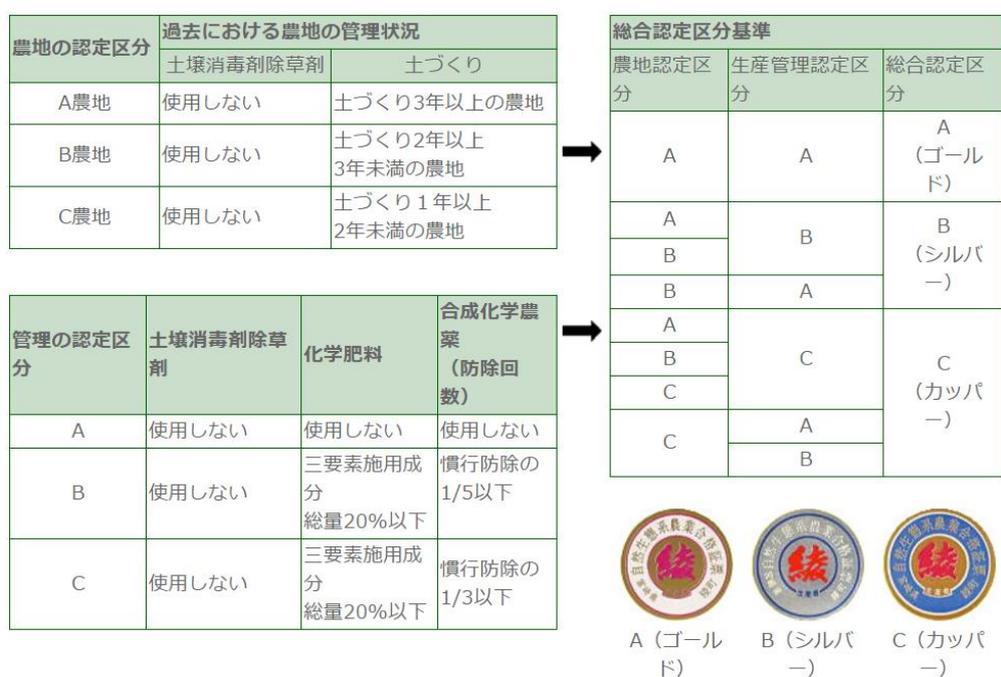
圖片來源：Ellen Macarthur Foundation，2016

圖 11 鴨稻魚農業模式示意圖

## 2.日本綾町循環農業

綾町位於日本宮崎縣，是較早發展有機、循環農業，也較成功的地區，該町在早期就有”農業要自給自足，並整合消費端和生產端”的概念，以至於後來在 1988 年 7 月，制定「綾町自然生態系農業の推進に関する条例」，規定禁止使用農藥、化學肥料以及其他，也建立該鎮特定的產品認證系統、堆肥生產系統，以及一個可以讓農民直接出售農產品給消費者的平台。

所有產品在銷售之前都必須通過「綾町自然生態系農業の推進に関する条例」訂定標準分級後才可以出售(圖 12)，其標準嚴格，優良的產品必須各項得分皆達 A 級水準，才可以在綜合評斷中獲得 A 級的評分，確切的將產品分級，保障消費者和努力投入改善環境的生產者的權益。該地區每戶農民年收入 234 萬日圓，相較宮崎縣其他農民每戶每年 165 萬元的收入高出許多，也吸引大量遊客和新入農戶。而該地成功經營循環農業的模式，也成為日本全國的參考標準，每年約有 250 個團體，3000 人次的專家進行考察研究。



圖片來源：<http://www.town.aya.miyazaki.jp/ayatown/agriculture/>

圖 12 綾町農產品認證基礎標準

## 四、荷蘭

### (一)、國家背景

關於循環經濟，歐洲有許多團體先後發表對於此議題的報告書，如 Ellen MacArthur Foundation 在 2012 年 1 月釋出的報告 *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition* 中，認為舊有的線性消費模式已經使我們的社會不堪負荷，循環經濟才是為何經濟增長可靠的答案。Coara 則在 2015 年出刊 *Definitive Guide to The Circular Economy* 報告，企圖引起消費者注意到拋棄式文化所產生的環境問題。

而歐盟也在 2012 時發表 *Manifesto for a Resource Efficient Europe* 報告，認為在這個天然資源及環境都岌岌可危的世代中，歐盟必須走出舊有經濟活動模式，朝向任何資源有效利用，最終達成完全再製的經濟模式。其中，荷蘭因為從建國開始就一直在和自然對抗，填海造陸、設堤建壩，了解天然資源的可貴與充分利用的必要性，便馬上朝向循環經濟的方向前進，於 2013 年與 Circle Economy, MVO Nederland and the Amsterdam Economic Board 簽訂「Green Deal」，投入循環經濟法規的修正與財務支持。2014 年荷蘭推動循環經濟加速計畫 (*Realisation of Acceleration of a Circular Economy, RACE*)，預計達成下列工作重點：

1. 定義並鼓勵循環性設計
2. 刺激生產高品質的再利用產品
3. 分析循環經濟面對的各種現行、潛在障礙
4. 建置可以作為參考示範的循環經濟個案資料
5. 提升公眾對於循環經濟的意識、重視
6. 鼓勵青年投入循環經濟的轉型

2016 年荷蘭更自許成為循環經濟和歐盟、世界接軌的橋樑，執行循環熱點計畫 (*Circular Hotspot*)，藉由推動一些可以展示循環經濟契機、創造信息網絡的專案，鼓勵各國朝向先前 RACE 計畫的原則。在循環熱點計畫中，荷蘭使循環經濟真正運

作，以己率先投入，誘使他國看到循環經濟的益處，進而跟進。荷蘭在其機場旁建一座循環經濟展覽中心(圖13)，提供國內投入循環經濟的企業，展示本身再設計、再製的產品、服務或技術。並建立網絡平台，包含可以讓各政府單位、民間企業或學術機構等，共同研發各項資源和原材料的利用潛能，也包含中介功能，讓各企業可以尋找自身所產生的廢棄物是否可能成為其他價值鏈中的資源，形成一個共生共享的企業區。

荷蘭經過克服水患及農業上的困難，搖身變成一個對於永續性充滿經驗的國家，其高度的都市化及作為交通主要樞紐的港口，給予荷蘭相當好的條件朝向成為發展循環經濟實踐的實驗室。



圖片來源：<http://www.netherlandscircularhotspot.nl/home.html>

圖 13 循環經濟展覽中心

## (二)、個案分享

### 1. 荷蘭國家應用科學研究院(The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, TNO)廢棄物統計表

荷蘭循環經濟從賦予生物廢棄物價值中獲得許多利益，雖然許多循環經濟模式已經定位，但在彙整現有廢棄物流資料中，可以更仔細的審視每一項廢棄物是否有更好的利用方式，讓其中某些廢棄物再更有效地被利用。故此先依照報告書中，將廢棄物區分成三個等級，分別為初級、次級及第三級廢棄物。初級廢棄物為在採收、儲存或運輸中產生，次級廢棄物為產品初次加工時所產生的廢棄物，第三級廢棄物

則為終端消費者使用後所產生。再歸納出荷蘭現有已再利用的廢棄物，包含現有用途/產出、價格與產量，繪製成表格(表 4)。

表 4 荷蘭廢棄物利用統計表

| 生物廢棄物         | 現在用途/產出         | 價格(€/噸) | 年產量(噸)    | 含水量(%) |
|---------------|-----------------|---------|-----------|--------|
| 廚房、超市廢棄物      | /               | -90     | 100,000   | 30     |
| 肉和骨粉          | 加工(防止普利昂/朊毒體傳染) | -90     | 90,000    | 10     |
| 家庭廢棄物(不包含可降解) | 主要焚燒；金屬萃取；加熱系統  | -80     | 7,600,000 | 30     |
| 汗水汙泥          | 沼氣；發熱           | -50     | 1,500,000 | 78     |
| 羽毛粉           | 發熱              | -50     | 37,000    | 5      |
| 拍賣花朵後殘株       | 堆肥              | -30     | 125,000   | 60     |
| 園藝作物廢棄物       | 堆肥              | -30     | 220,000   | 60     |
| 生物可降解廢棄物      | 堆肥；沼氣           | -30     | 1,297,000 | 55     |
| 洋蔥作物廢棄物       | 沼氣              | -15     | 60,000    | 86     |
| 家禽糞便等         | 加工成肥料           | -15     | 1,160,000 | 30     |
| 牛隻廢水          | 沼氣；土壤添加劑        | -15     | 7,400,000 | 90     |
| 豬隻廢水          | 沼氣；土壤添加劑        | -15     | 8,800,000 | 90     |
| 蘑菇堆肥          | /               | -10     | 780,000   | 30     |
| 甜菜葉           | /               | 0       | 3,000,000 | 87     |
| 魚隻廢棄物         | 貂飼料；沼氣          | 0       | 76,000    | 75     |
| 馬鈴薯莖          | /               | 0       | 1,756,700 | 75     |
| 酵母萃取物         | 牛隻飼料            | +18     | 67,500    | 89     |
| 馬鈴薯皮          | 牛隻飼料            | +20     | 450,000   | 80     |
| 玉米粒、莖及穗軸      | 牛隻飼料            | +30     | 512,000   | 65     |
| 馬鈴薯果肉、漿       | 牛隻飼料            | +36     | 395,000   | 84     |
| 甜菜果肉、漿        | 牛隻飼料；沼氣         | +50     | 445,000   | 76     |
| 可可豆殼          | /               | +50     | 66,000    | 15     |
| 製啤穀物殘渣        | 牛隻飼料；沼氣         | +50     | 500,000   | 78     |
| 稻草(大麥、小麥)     | 生質柴油            | +150    | 1,100,000 | 15     |
| 糧食副產品         | 牛隻飼料；粗糧         | +210    | 250,000   | 13     |
| 甜菜肉乾          | 牛隻飼料            | +240    | 310,000   | 10     |
| 油菜籽粉          | 牛隻飼料            | +300    | 1,105,000 | 13     |
| 向日葵粉          | 牛隻飼料            | +300    | 555,000   | 11     |
| 肉或骨粉          | 寵物飼料            | +300    | 300,000   | 5      |
| 油炸油           | 牛隻飼料；生質柴油       | +450    | 120,000   | 5      |
| 動物脂肪          | 牛隻飼料；寵物飼料；生質柴油  | +450    | 40,000    | 5      |
| 乳清粉           | 牛隻飼料            | +500    | 93,000    | 5      |
| 大豆粉           | 牛隻飼料            | +505    | 2,390,000 | 5      |

資料來源：TNO, 2013

上表以顏色區分廢棄物等級，綠色為初級廢棄物，藍色為次級廢棄物，黑色為第三級廢棄物。而為了達成更有效率的使用，報告中提出透過生物精煉、沼氣發酵，或加強垃圾分類、萃取精華物等方式，改變廢棄物的既有處理方式，利用新的處理

方式提升其價值，並舉例可行作法、舊有產出物和新產物比較以及現金流差別(表 5)。

表 5 生物廢棄物效率處理方式

| 生物廢棄物          | 現在用途/產出         | 價格 (€/噸) | 年產量 (噸)   | 新利用方式           | 新產出                   | 價格 (€/噸) |
|----------------|-----------------|----------|-----------|-----------------|-----------------------|----------|
| 廚房、超市廢棄物       | /               | -90      | 100,000   | 厭氧消化、沼氣發酵       | 沼氣                    | -45      |
| 家庭廢棄物 (不包含可降解) | 主要焚燒。<br>金屬萃取利用 | -80      | 7,600,000 | 加強垃圾分類          | 紙張；玻璃；<br>可降解廢棄物      | -70      |
| 生物可降解廢棄物       | 堆肥；沼氣           | -30      | 1,297,000 | 厭氧消化、沼氣發酵       | 80m <sup>2</sup> 沼氣/噸 | +25      |
| 牛隻廢水           | 沼氣；土壤添加劑        | -15      | 7,400,000 | 厭氧消化、沼氣發酵       | 30m <sup>2</sup> 沼氣/噸 | +5       |
| 豬隻廢水           | 沼氣；土壤添加劑        | -15      | 8,800,000 | 厭氧消化、沼氣發酵       | 30m <sup>2</sup> 沼氣/噸 | +5       |
| 甜菜葉            | /               | 0        | 3,000,000 | 萃取加氧酶 (RuBisCO) | 加氧酶蛋白 (4€/公斤)         | +40      |
| 玉米粒、莖及穗軸       | 牛隻飼料            | +30      | 512,000   | 生物精煉            | C5 + C6 sugars        | +100     |
| 馬鈴薯漿           | 牛隻飼料            | +36      | 395,000   | 生物精煉            | 澱粉；果膠；纖維              | +85      |
| 甜菜漿            | 牛隻飼料；沼氣         | +50      | 445,000   | 生物精煉            | 飲食產品；<br>化妝品；纖維       | +100     |
| 製啤穀物殘渣         | 牛隻飼料；沼氣         | +50      | 500,000   | 生物精煉            | 蛋白質、纖維                |          |
| 稻草(大麥、小麥)      | 生質柴油            | +150     | 1,100,000 | 生物精煉            | C5 + C6 sugars        | +200     |

資料來源：TNO, 2013

除此之外，亦將其他廢棄物一一列表顯示可能的利用方式，包含舊有處理方式與新興效率處理方式(表 6)。

表 6 生物廢棄物利用方式統計表

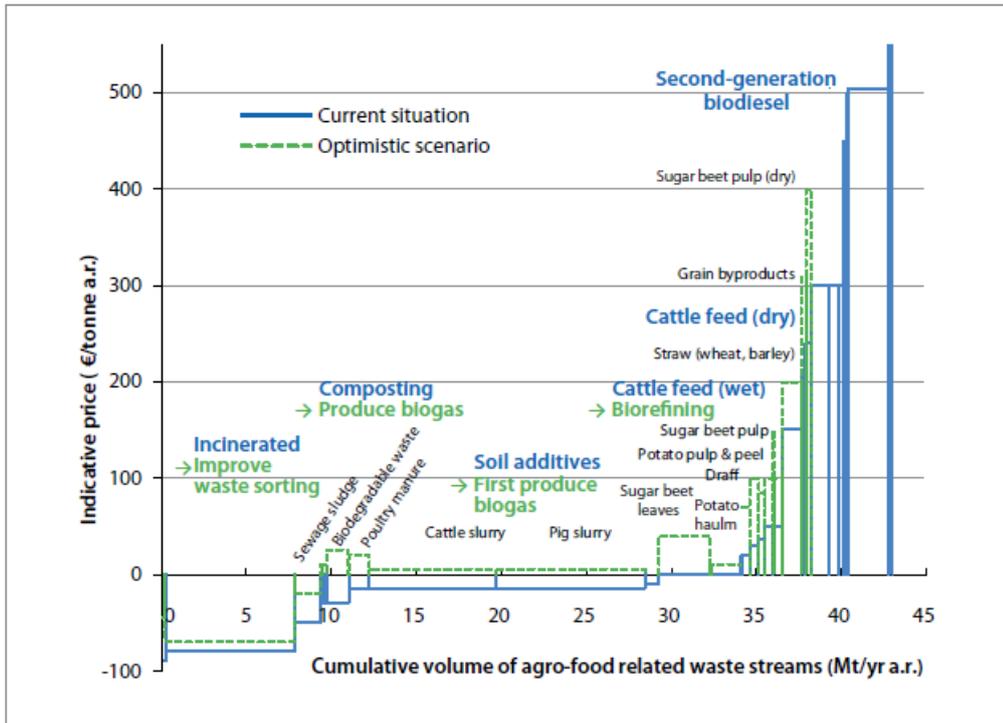
| 生物廢棄物         | 生物精煉 | 寵物飼料 | 飼養昆蟲 | 生產 C5 & C6 糖 | 固體發酵 | 再製紙、<br>生物塑料 | 沼氣 | 土壤<br>添加劑 |
|---------------|------|------|------|--------------|------|--------------|----|-----------|
| 廚房、超市廢棄物      |      | ○    | ○    |              |      |              | ○  |           |
| 家庭廢棄物(不包含可降解) |      |      |      |              |      |              |    |           |
| 汗水汙泥          | ○    |      |      |              |      |              | ○  |           |
| 羽毛粉           | ○    | ○    |      |              |      | ○            |    | ○         |
| 拍賣花朵後殘株       | ○    | ○    | ○    |              |      |              | ○  |           |
| 園藝作物廢棄物       | ○    |      | ○    |              |      | ○            |    |           |
| 生物可降解廢棄物      |      |      | ○    | ○            |      |              | ○  |           |
| 洋蔥作物廢棄物       | ○    |      |      |              |      |              |    |           |
| 家禽糞便等         |      |      | ○    |              |      |              | ○  | ○         |
| 牛隻廢水          |      |      | ○    |              |      |              | ○  | ○         |
| 豬隻廢水          |      |      | ○    |              |      |              | ○  | ○         |
| 蘑菇堆肥          |      |      | ○    |              |      |              | ○  | ○         |
| 甜菜葉           | ○    |      |      |              |      |              |    | ○         |
| 魚隻廢棄物         | ○    |      | ○    |              |      |              | ○  |           |
| 馬鈴薯莖          | ○    |      |      |              |      |              | ○  | ○         |

|           |   |   |   |   |   |   |  |   |
|-----------|---|---|---|---|---|---|--|---|
| 酵母萃取物     | ○ |   |   |   |   |   |  |   |
| 馬鈴薯皮      | ○ | ○ | ○ |   |   |   |  |   |
| 玉米粒、莖及穗軸  |   |   | ○ | ○ | ○ | ○ |  | ○ |
| 馬鈴薯果肉、漿   | ○ |   | ○ | ○ | ○ |   |  |   |
| 甜菜果肉、漿    | ○ |   |   | ○ | ○ |   |  |   |
| 可可豆殼      |   |   |   | ○ | ○ |   |  |   |
| 製啤穀物殘渣    | ○ |   |   | ○ | ○ |   |  |   |
| 稻草(大麥、小麥) | ○ |   |   | ○ | ○ | ○ |  |   |
| 糧食副產品     | ○ |   |   | ○ | ○ |   |  |   |
| 甜菜肉乾      | ○ |   |   |   |   |   |  |   |
| 油菜籽粉      | ○ |   |   |   |   |   |  |   |
| 向日葵粉      |   |   |   |   |   |   |  |   |
| 肉或骨粉      |   |   |   |   |   |   |  |   |
| 油炸油       |   |   |   |   |   |   |  |   |
| 動物脂肪      | ○ | ○ | ○ | ○ |   |   |  | ○ |
| 乳清粉       | ○ |   |   |   |   |   |  |   |
| 大豆粉       |   | ○ |   |   |   |   |  |   |

資料來源：TNO, 2013

許多舊有廢棄物已被再製成牛隻飼料和產生沼氣或生質柴油(表 4)，但荷蘭研究員仍然在研究較現有產出更高附加價值的處理方式(表 5、6)，如同上表顯示的飼養昆蟲、生產 C5 & C6 糖或更有效率的沼氣產生技術。如果在最樂觀的情境下，上述所有廢棄物皆使用相較於現在更有效率的再製技術或附加價值更高的產出，將可以對荷蘭經濟產生每年十億歐元的效益，其中 50% 效益在於增進沼氣產生技術效率，42% 效益在於應用新型生物精煉技術，最後 8% 效益產生於增加確實資源回收量。

我們可以看到(圖 14)，藍線為一般情況(未改變處理方式)，綠線為樂觀情況(所有廢棄物利用更高附加價值處理方式)。大部分廢棄物皆有顯著的效益成長，原本做為堆肥使用的可降解廢棄物、糞水，及做為土壤添加劑的牛豬廢水，在利用沼氣技術後，效益皆由負效益增長至正效益。



圖片來源：TNO, 2013

圖 14 一般與樂觀情況之效益差異

在過往經驗中，使用厭氧作用發酵產生沼氣及改善、確實垃圾分類已顯示非常有效。生物精煉雖也被證明是可行的方法，但多數仍存在實驗階段，尚不足以支撐商業化的生產。撰寫該報告的作者認為，如果需要實現如應用生物精煉等新循環方式，大概需要一次性的投入約四至八億歐元。雖然初期需投入非常高的金額，但之後每年可以產生十億歐元的收入。譬如利用更有效率的處理方式，可以馬上節省進口原物料的開銷。如從甜菜葉中提煉 RuBisCo 蛋白來說，可以減少進口高品質蛋白，利用牲口廢水生產沼氣可以減少天然氣進口，利用玉米製造乙醇則可以降低乙醇的進口數量。

## 參、 台灣現況

### 一、 相關法規/背景

台灣能源依賴度高，不管是進口能源依存度還是單就進口石油依存度，依存度皆在百分之 97% 以上(表 7)。雖然 2014 年開始，石油價格一路下修，但是能源進口佔進口總值仍在 15% 左右，即六分之一的進口花費都花在購買能源。高能源依存度表示在戰爭或者能源耗竭時，台灣無法倚賴本國的能源，可能導致多數產業停擺或面臨崩潰的階段。

表 7 台灣能源依存度

| 項目名稱 / 年度 | 96    | 97    | 98    | 99    | 100   | 101   | 102   | 103   | 104   | 105   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 進口能源依存度   | 97.48 | 97.50 | 97.51 | 97.76 | 97.68 | 97.48 | 97.58 | 97.74 | 97.53 | 97.37 |
| 進口石油依存度   | 99.96 | 99.96 | 99.96 | 99.96 | 99.98 | 99.98 | 99.97 | 99.98 | 99.98 | 99.98 |
| 能源進口佔進口總值 | 19.66 | 25.64 | 21.57 | 19.76 | 22.55 | 25.26 | 23.46 | 23.11 | 15.71 | 13.22 |

資料來源：經濟部能源局

(單位：%)

面對能源依賴度高，卻較不珍惜可以轉換使用的資源。民國 95 年至 104 年的十年間，台灣農業一年產出約 500 萬公噸左右的農業廢棄物，其中分別以畜產廢棄物和農產廢棄物為大宗。這些農業廢棄物富含大量的營養物質如磷、氮等，但因農民習慣就地翻耕掩埋、焚燒，造成約有 30% 的可再利用資源流失、浪費及汙染(表 8)。而其他廢棄物目前多以堆肥使用(表 8)，高成本、低價值的使用方式亦需更精密的技術進入以提高再利用效率。

故在此一前提下，台灣非常需要導入循環經濟的概念，不管是為解決能源依存度高的問題，創造如沼氣等其他發電方式，也為台灣另找可使用的天然資源，降低對特定天然資源的進口依存度。

表 8 台灣農業廢棄物處理統計

| 處理方式/年份 | 95 年  | 96 年  | 97 年  | 98 年  | 99 年  | 100 年 | 101 年 | 102 年 | 103 年 | 104 年 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 堆肥      | 47.98 | 52.53 | 53.13 | 51.21 | 52.97 | 47.73 | 50.38 | 52.41 | 51.77 | 53.75 |
| 就地翻耕掩埋  | 27.77 | 26.05 | 25.21 | 26.14 | 25.16 | 26.42 | 27.53 | 29.09 | 29.50 | 28.31 |
| 焚燒/掩埋   | 6.48  | 5.00  | 5.27  | 4.81  | 4.86  | 4.65  | 4.73  | 2.05  | 1.95  | 2.28  |
| 作物栽培覆蓋  | 2.93  | 2.95  | 3.60  | 4.69  | 4.10  | 4.73  | 4.80  | 3.47  | 3.54  | 3.66  |
| 倉庫墊料    | 0.63  | 0.60  | 0.79  | 0.93  | 0.90  | 1.01  | 1.03  | 1.27  | 1.29  | 1.18  |
| 育苗栽培介質  | 1.94  | 2.03  | 1.90  | 2.13  | 2.06  | 5.01  | 2.34  | 2.99  | 2.89  | 2.28  |
| 飼料/飼料原料 | 3.02  | 3.11  | 3.15  | 3.10  | 3.20  | 3.05  | 2.14  | 2.25  | 2.24  | 2.27  |
| 禽畜舍墊料   | 1.58  | 1.50  | 1.57  | 1.65  | 1.57  | 1.71  | 1.75  | 1.76  | 1.79  | 1.72  |
| 薪材/燃料   | 1.33  | 1.26  | 1.26  | 1.32  | 1.25  | 1.37  | 1.40  | 1.41  | 1.43  | 1.37  |
| 資源回收    | 3.90  | 1.91  | 1.64  | 1.64  | 1.17  | 1.48  | 1.28  | 0.55  | 0.50  | 0.52  |
| 化製原料    | 2.32  | 1.52  | 1.41  | 1.41  | 1.84  | 1.38  | 1.38  | 1.54  | 1.65  | 1.58  |
| 其他      | 0.13  | 1.54  | 1.07  | 0.99  | 0.91  | 1.48  | 1.23  | 1.22  | 1.44  | 1.08  |
| 總處理量    | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |

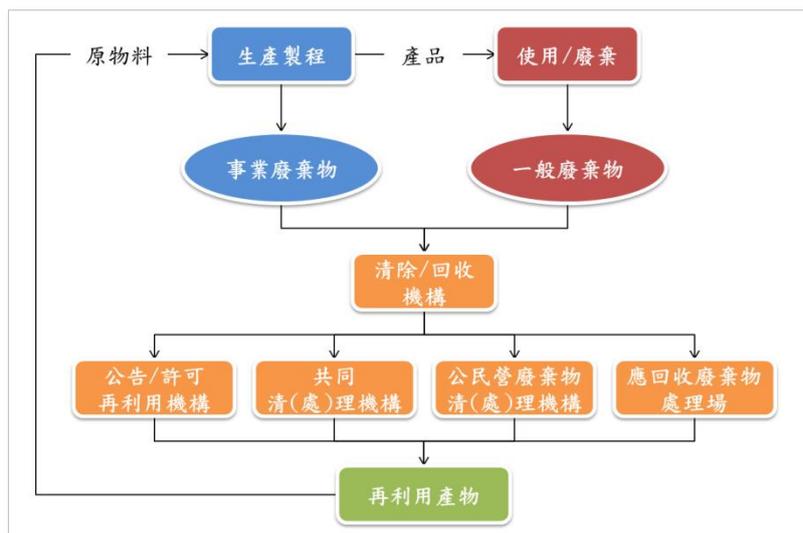
資料來源：行政院農委會-農業統計資料

(單位：%)

台灣在新政府執政後，提出要以「創新、就業、分配」的核心理念發展經濟，利用「結合在地產業」、「國內需求支持產業」、「進入國際市場」三大步驟，瞄準五大產業發展。而行政院也在 2016 年 8 月推出「數位國家、創新經濟」方案，鞏固先前政府提出的「五加二」產業，多出來的兩項產業面，即為新農業和循環經濟。

目前循環經濟概念底下，廢棄物回收方面，環保署在 2003 年提出「零廢棄」的政策目標，行政院也在 96 年 3 月核定「一般廢棄物資源循環推動計畫」，推動各項回收、再利用等政策，諸如大型廢棄物再利用，以提高再利用率與減少掩埋、焚化比例，並預計在最終可完成 37.9 萬噸的巨型廢棄物回收利用。

廢棄物體系架構可分為一般廢棄物和事業廢棄物(圖 15)，透過清除及回收機構，將廢棄物依其特性處理或再製成原物料，回到生產源頭。



圖片來源：張添晉、羅方辰。2015

圖 15 台灣廢棄物回收資源體系

至於鼓勵利用禽畜糞水做沼氣發電，農委會向行政院提「養豬場沼氣發電」，提供低利貸款(利率為 1.04%)，希望透過較低的利率鼓勵農民更換、更新廠區設備，經濟部能源局則公告 106 年生質能（有厭氧消化設備）躉購電價提高為到 5.0087 元/度，且畜牧業沼氣發電可販售綠電。另外也在 2017 年元月一日起開徵水汙費，誘使牧場將廢水做化肥發電等利用，節省課稅金額。

## 二、實際案例

### (一)、石安牧場-再生綠能廠

位於高雄的石安牧場，為了善盡企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR)，將碳排、廢棄物處理等外部效果(external effects)納為己任，在 2013 年開始建置場內再生綠能廠，經過一年時間，在 2014 年 12 月底開始正式營運。石安牧場斥資 3 億 5 千萬元，引進歐洲丹麥先進技術 CSTR 沼氣工程設備，利用雞糞與廢水做為生產沼氣的原料，產生沼氣發電及生產液態有機質肥料。透過廢棄物再利用，結合養大量雞隻的蛋廠，幫助處理大量的雞隻糞便、廢水等廢棄物，生成其他有

價值產物。

再生綠能廠的雞糞沼氣轉化系統包含多項系統設備。其中中央控制室就如同場區的大腦一般，全天候監控全場各項設備運作情形，除可以在設備發生故障或停止運轉時及時搶救，也可使自動控管與設備運作皆達穩定的高水準。

雞糞自動運輸系統，可將原在雞舍的雞糞、排泄物等，透過輸送紐帶，自動運送到雞糞預處理設備系統，並通過秤重系統，記錄每天雞糞的運送量，作為嚴格的控管與存底。雞糞稍後和廠區儲水池中儲存的廠區廢水，透過均漿攪拌機的均勻攪拌，進入進糞池中，經過一連串系統流程，如水解除沙池、水解除沙攪拌機、刮砂機、螺旋提升機等設備促使糞砂分離，就開始準備進入厭氧發酵罐(圖 16 左)中，行厭氧發酵作用。

雞糞進入發酵罐後是另外一個階段的開始，並非單純擺置待其厭氧發酵，在厭氧發酵罐的上方，還會再配置攪拌器，攪拌厭氧消化的雞糞廢水，促使厭氧發酵的生物菌種活化，增加產生沼氣的效率。為避免發酵罐在運作時產生內外壓力差而危害安全，亦設有壓力調節器，調整罐內壓力。

產生後的沼液和沼氣，分別進入不同的系統，沼液運送至沼氣尾氣收集罐，收集殘留於沼液中的沼氣，防堵溫室氣體外洩；沼氣則進入脫硫塔，做純化與可發電用前之準備。



圖片來源：[https://www.youtube.com/watch?v=Y\\_\\_r9OWRI2k](https://www.youtube.com/watch?v=Y__r9OWRI2k)

圖 16 石安牧場再生綠能廠設備

該場透過整套系統引進，每年可以處理該場 2.92 萬噸雞糞及 5.84 萬噸廢水，相當於每日可以處理 80 噸及 160 噸的雞糞與廢水，並產生約 8000 立方公尺的沼氣及 200 多噸的液態肥，肥料中富含花果、植株所需的磷、氮等營養元素，循環使用形成對環境友善的循環農業系統。估計一年節省了場區 75% 溫室氣體的排放，在循環農業施行之餘，仍對地球環境盡一份心力。

## (二)、花蓮東豐產銷班

地產地消在韓國、日本都是很盛行的概念，美國環保人士也提出如百哩飲食(100 Mile Diet)、食物森林(Food Forest)等相似態度的概念，而在台灣花蓮的一個小鄉里中，也有類似的環保、循環聲音正在快速茁壯中。

花蓮東豐里有機米產銷班，產銷班書記曾國旗正是這一循環農業的靈魂人物。東豐里過去因為長期受到農藥的噴灑，不僅對土地產生了傷害，也為周遭居民健康帶來了風險。因此，曾國旗想以更循環的農業活動方式，讓所有活動都在花蓮內完成，往循環農業的夢想前進。

花蓮東豐里附近有許多畜牧業，其中選取牛隻糞便作為自製肥料的原料(圖 17 左上)，因為牛隻相比豬、雞的飲食單純，多以牧草為食。與周遭的畜牧業合作自製肥料，節省了從外地運送人工肥料的成本，運輸過程中產生的大量二氧化碳，也可以因此減少，產生了大量好處。不過並非僅收集及製作肥料而已，在糞水製作成肥料之前，還需要通過化學、重金屬及激素抗生素的檢驗，且不只檢驗糞水，還包含運送的車輛，以保證不因為此項行為產生其他的污染。密閉發酵產生的氨氣，也會利用本身產銷班加工處理稻米過程中產生的稻殼粗糠，與水洗程序加以吸附，減少有害氣體與刺激氣味的排放。因為就在花蓮，周遭產業使得牛糞供應充足，產生當地的新興商業模式，產銷班幫忙處理畜牧業頭痛的牲畜排泄物，剩餘的廢棄米糠、胚芽也可以再次利用製成飼料給予牛隻食用。

最後避免土地因頻繁種植貧乏且產生害蟲，東豐里產銷班施行水旱輪作的農法

(圖 17 左下、右下)，利用水稻和大豆的交替耕作，使害蟲難以生存、杜絕害蟲侵襲。大豆根部特有共生的根瘤菌，也可以在該時期行固氮作用，為土壤增加氮素等營養成分，為下一期的水稻提供養分。



(左)牛糞原料儲存處、(右)曾國旗書記與產品肥料



(左)收成後待種大豆土地、(右)產銷班水稻

圖片來源：<https://www.newsmarket.com.tw/blog/21621/>

圖 17 東豐里產銷班

在東豐里產銷班的努力下，不僅原本存在的害蟲減少了，肥料成本、用量更是減少了三分之一左右，製成的肥料也以便宜的價格出售給附近的農民(圖 17 右上)，建構社區友好、共同發展的行為，即便產量稍有差異，但平均售價高出市面稻米的 1.5 倍，讓花蓮東豐里有機米產銷班，可以在施行循環農業、保護自然環境的同時，得到更多的好處。

### 三、 阻礙與未來發展

歐洲農業創新團體(The European Innovation Partnership for Agricultural productivity and Sustainability, EIP-AGRI)於 2015 年報告中提及之風險，結合台灣發展循環農業情況，綜合整理成以下幾點可能阻礙：

#### (一)、沼氣發電設備初期大量的資金與成本需求

比如石安牧場的再生綠能廠，初期投入資金為 3 億 5 千萬元，對於規模較小的農民，其金額高昂。若改用一般小型的沼氣儲存、發電設備，初期投入的資金流也為一筆開銷。而行政院公布之養豬場沼氣發電計畫，僅針對 5000 頭以上的養豬場優先辦理，對於散戶則較缺乏誘因。

#### (二)、價格競爭力與產品的獲利能力

產品以傳統方式生產，因為其生產歷史長久，技術成熟，相較於循環農業的生產方式價格更具競爭力。即便循環農業生產技術以長期來說較環保、較省錢，但在初期大量投資的前提下，若要使回本期間縮短，產品價格勢必得提高，價格便喪失競爭力。又廠家多半不確定未來市場發展，不願投資期間較長的方案，使推動較為困難。

#### (三)、長期的政府政策支持

政府對於廢棄物的法規，會限制該廢棄物的處理方式與可使用範圍。在國外奧地利的個案當中，由於該政府對於木屑木灰的定義，使其需要使用政府規定的處理方式，侷限其利用在其他價值鏈循環的潛能。

#### (四)、資源的不足

建置沼氣池與沼氣發電設備需要空閒的土地使用，但是由於台灣土地狹小，若需要土地建置大型設備，除本身擁有大量土地可供使用，否則周遭或政府土地的申請或租借，都會衍伸出行政與溝通、租借成本等問題。

#### (五)、消費者價值觀與農民的認同與行動

最後推行有機、循環農業最重要的一環，就是在生產方與消費方的教

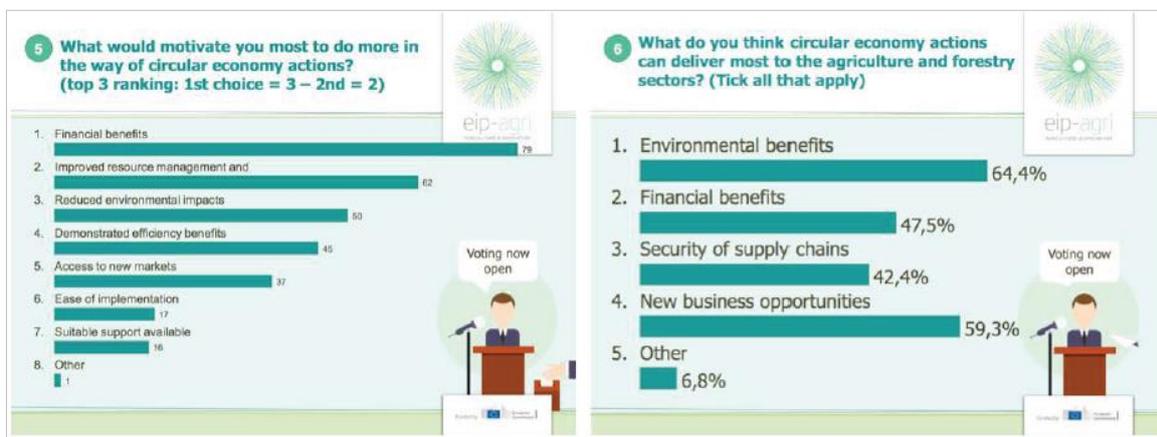
育。在消費方的一端，由於對食物的觀念，認為食物應該有的形狀、色澤或氣味，都會迫使農民使用大量不循環、對環境有害的農藥來保持產品“應有”的樣態，以讓產品可以被消費者選擇。在歐洲荷蘭，剩食餐廳為一種新形態餐館，利用超商所剩的食物，一些不會被消費者選擇，畸形或泛黃但仍可以食用的食物，煮成豐盛的菜餚告訴消費者正確對於食物、不浪費的觀念。而生產方，由於農業仍然是年齡層較高的產業，農民固有的思維，與循環農業新概念的衝突，如何說服農民，傳達環保概念，則是潛在的阻礙，是重要但需要被克服的課題。

## 肆、 結論與建議

循環農業可以帶來許多好處，比如帶來新的合作模式，沼氣系統與農業和養殖業的互利經濟模式，處理廢棄物、產出肥料供應農民等循環利用方式。新的概念可以帶動更多科技、技術上的研究，大量知識的傳播，技術、硬體設備的廣泛使用促使規模經濟。除最基本的節省農藥、人工肥料的成本，帶動地方產業、社區經濟的起飛，更是難能可貴的結果。

歐洲農業創新團體 EIP-AGRI 在歐洲輔導過許多個案，在個案輔導前與輔導後，都有統計對於施行循環農業的態度與看法(圖 18)。一開始(圖 18 左)，該團體訪問受訪農民，是什麼原因驅使你朝向循環經濟、循環農業的方向前進，大部分的農民認為是可以增加產出、提高收入等財務上誘因。但真正身體力行實施循環農業後，多數農民改變了想法(圖 18 右)，循環農業對於環境的益處變成了佔比最高的選項。

我們可以看到，國外農民身體力行實施循環農業後，更珍惜循環農業在環境、環保及健康上帶來的好處。台灣本身土地狹小、資源匱乏，從現有所有材料中找尋可以再利用的資源是非常重要的。台灣本身例子不少，問題是缺乏一個強而有力的整合機構，帶動台灣的農業朝向循環農業前進。我們應該把眼光放得更長遠，非侷限在三、五年回本的單一觀點上，而是帶給後代，一個美好的生長環境與美麗家園。



圖片來源：EIP-AGRI, 2015

圖 18 農民對於循環農業施行前後看法調查

## 伍、 參考文獻

### 一、 中文參考文獻

1. 在坪。2008。國外農業循環經濟的發展。第1卷第11期。再生資源與循環經濟。
2. 余騰耀等。2015。循環經濟的發展趨勢與關鍵議題。財團法人中技社。
3. 林彥好。2012。殘餘生質物再利用之能源潛勢與生命週期評估。碩士論文。台灣大學環境工程學研究所。
4. 張建一。2016。五加二產業內涵與建議。103年8月份。產業雜誌。
5. 張添晉、羅方辰。2015。台灣資源循環經濟之策略發展。第40期。綠基會通訊。
6. 胡振鵬，胡松濤。2006。豬-沼-果生態農業模式。第21卷第4期。自然資源學報。
7. 張聖函。2015。歐盟循環經濟的未來發展規劃-朝向零廢棄物邁進的歐洲。農業生技產業季刊。
8. 黃育徵，陳棗廷，余祁暉。2016。從國際循環經濟趨勢論我國循環農業發展策略。農業生技產業季刊。
9. 經濟部能源局。2015。104年能源統計年報。
10. 趙立欣。2016。循環農業與生物天然氣。中國大陸農業部規劃設計研究院。
11. 趙海山、趙海東、李林、趙海峰。1999。對”四位一體”大棚生態效益的研究。第7期第13卷。中國初級衛生保健。
12. 劉笠楠。2013。日本低碳循環農業經濟研究。世界農業雜誌。
13. 儲丹等。2015。崇明生態島發展模式與經驗研究。GSDR Brief No.4CN。全球可持續發展報告徵文。

### 二、 英文及其他參考文獻

1. 日本政府農林水產省。2017。環境保全型農業の推進について。
2. 日本政府環境省。2009。21世紀環境立国戰略。
3. Marc de Wit, Matthieu Bardout, Shyaam Ramkumar, Ben Kubbinga (Circle Economy). 2016. The Circular Dairy Economy.

4. Stefano Facco. 2014. Unlocking the potential of added value products through circular economy.
5. The Agricultural European Innovation Partnership, EIP-AGRI. 2015. Opportunities for Agriculture and Forestry in the Circular Economy.
6. The COPA and COGECA. 2014. Enhancing the contribution of agriculture and forestry to the circular economy.
7. The Ellen Macarthur Foundation. 2013. Toward the circular economy.
8. The Ellen Macarthur Foundation. 2016. Circular Economy in India: Rethinking growth for long-term prosperity.
9. The International Water Association, IWA. 2016. Water Utility Pathways in a Circular Economy.
10. The Netherland Organisation, TNO. 2013. Opportunities for a circular in the Netherlands.
11. Third World Network, TWN; Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología, SOCLA. 2015. Agroecology: key concepts, principles and practices.
12. World Steel Assotiation. 2016. Steel Statistical Yearbook.

### 三、 網站資源

1. USGS Mineral Resources Program - <https://minerals.usgs.gov/>
2. 每日頭條 - <https://kknews.cc/agriculture/vqzzpq.html>
3. 華人百科 - <https://www.itsfun.com.tw/%E5%9F%BA%E5%A1%98%E8%BE%B2%E6%A5%AD/wiki-3306496-2371376>
4. 綾町報導 - <chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/iten/service/kankyo/pdf/ayamati.pdf>
5. 石安牧場、綠能場、上品王 - [https://www.youtube.com/watch?v=Y\\_\\_r9OWRI2k](https://www.youtube.com/watch?v=Y__r9OWRI2k)
6. 上下游報導 - <https://www.newsmarket.com.tw/blog/21621/>