



# 糧食循環經濟

蘇美惠

淡江大學企業管理學系 兼任助理教授 編譯

## 摘要

近年來循環經濟在國際上已成為重要的發展議題，將自然資源使用的時間拉長，同時又可避免浪費和減少環境污染，正為循環經濟的重要精神，其宗旨為充分利用自然資源、原材料和產品並重新使用它們，意味著所有資源可採某種方式再次使用，對經濟發展的貢獻可達最大化，並且儘可能降低對環境造成的損害。循環經濟轉型需要從根本來改變生產供應鏈，而食物鏈只是其中一部分，例如農業、環境與貿易，都可透過創新或轉變附加價值的方式，來實現循環經濟模式。

現階段許多國家都正轉型為循環型糧食系統，由荷蘭環境評估署所出版的「糧食循環經濟」報告，歸納出循環經濟發展框架的三個要件，首先在循環經濟中，必須有效利用和管理自然資源，包括土壤、水、礦物質與生物多樣性，其中礦物質對生產再生資源至關重要；其次，必須將食物的利用達到最大化，荷蘭於 2009 年提出在 2015 年要減少 20% 食物浪費的政策目標，但浪費食物依然存在，未有顯著成效，而減少食物廢棄物只是一項重要的開端，應盡量減少食用加工食品，且同時增加植物性蛋白質的攝取；最後則是應減少對自然資源利用及降低環境壓力，儘可能的利用農作物的殘留物，以大幅減少生物質的流失。

目前，歐盟和荷蘭皆處於邁向循環經濟的過渡期，由荷蘭環境評估署所出版的「糧食循環經濟」報告，闡述荷蘭循環經濟推動現況、糧食循環經濟系統的發展要件，以及永續、安全、健康食品政策。本文將針對該報告中，闡述關於各項循環經濟推動的要件，包含資源永續管理和有效利用、封閉的礦物質循環、有效防止食物浪費、減少攝取加工食品避免造成殘留物及充分利用殘留物等，介紹荷蘭在這些要項的推動現況及後續推動建議。

**關鍵詞：**循環經濟(Circular Economy)、高值化(High-Value)、礦物質循環(Mineral Cycles)、永續管理(Sustainable Management)





# 糧食循環經濟

## 壹、前言

近年，循環經濟(Circular Economy)在國際上已成為重要的發展議題，將自然資源使用的時間拉長，同時又可避免浪費和減少環境污染，正為循環經濟的重要精神，其宗旨為充分利用自然資源、原材料和產品並重新使用它們，意味著所有資源可採某種方式再次使用，對經濟發展的貢獻可達最大化，並且儘可能降低對環境造成的損害。循環經濟轉型需要從根本來改變生產供應鏈，而食物鏈只是其中一部分，例如農業、環境與貿易，都可透過創新或轉變附加價值的方式，來實現循環經濟模式。

在循環經濟的發展架構下，原材料和產品可以得到最佳化的使用，讓自然資源得以再次被利用，並賦予其經濟價值，對環境的損害降到最低，此發展模式不僅適用於再生資源，如農產品和木材等生物原料，也適用於不可再生資源，如化石燃料和金屬。換言之，循環經濟旨在針對生產鏈中所投入的自然資源，儘可能的拉長其利用的時間，同時減少使用新的自然資源與能源，防止對土壤、空氣和水的破壞以及降低產生有害物質與廢物排放。因此，推動循環經濟的驅動力，主要包含降低環境壓力、創造就業機會與產值和確保自然資源的永續。

將糧食生產系統轉變為循環經濟的方向，符合聯合國所通過的 17 項永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)<sup>1</sup>。糧食為 SDG 中重要的主題，藉由在糧食生產體系中推動循環經濟，將可促成 SDG 的實現。舉凡來說，結束世界飢荒、實現糧食安全和永續農業、確保身體健康福利、降低 50% 食物浪費、有效管理消費和生產中的自然和其他資源、減少海洋污染，以及停止全球土地退化等 SDG，都可透過推動糧食循環經濟予以落實。

循環經濟的知識主要建立在三個經濟觀點，一、清潔生產；二、工業生態；三、搖籃到搖籃的資源利用。過去荷蘭施政著重於廢棄物減量與再利用，如綠色增長、資源效率和生物經濟等政策，這些政策與循環經濟的

---

<sup>1</sup> 聯合國 193 個會員國於 2015 年通過了 2030 年永續發展議程(Agenda 30)的 17 項永續發展目標，這些全球性目標將引導國際社會於 2016-2030 年的行動。



觀點是一致的，也成為荷蘭推行循環經濟的重要基礎。近幾年荷蘭政府對循環經濟更加重視，以「從廢物到資源(From Waste to Resource, VANG)計畫」為例，荷蘭政府鼓勵企業與民間組織參與，簽訂綠色交易協議，加速實現循環經濟。歐洲聯盟執行委員會(European Commission，簡稱歐盟執委會)在 2015 年也曾提出循環經濟的重要性，認為該經濟型態的轉變，可為歐洲創造新的持續性之競爭優勢。因此，2015 年 12 月歐盟執委會公佈一項循環經濟行動計畫，其中包含削減食物廢棄物的計畫。

循環經濟的政策必須跨越不同的部門和領域，為能順利推行需要政府部門、企業和民間組織緊密合作，歐盟和荷蘭目前皆處於邁向循環經濟的過渡期，荷蘭正在全面推行循環經濟計畫，由荷蘭環境評估署(Planbureau voor de Leefomgeving, PBL)於 2017 年所出版的「糧食循環經濟」報告，闡述荷蘭循環經濟推動現況、糧食循環經濟系統的發展要件，以及永續、安全、健康食品政策。

本文將針對「糧食循環經濟」報告中，所闡述關於各項循環經濟推動的要件，包含資源永續管理和有效利用、封閉的礦物質循環、有效防止食物浪費、減少攝取加工食品避免造成殘留物及充分利用殘留物等，介紹荷蘭在這些要項的推動現況及後續推動建議。

## 貳、農業糧食系統之商機

### 一、農業糧食部門在循環經濟體系之商機

艾倫麥克阿瑟基金會(The Ellen MacArthur Foundation, EMF)<sup>2</sup>評估，若依據循環經濟的發展路徑規劃，將有助於歐洲 GDP 增加 11%，並於 2030 年減少 50% 二氧化碳排放量。荷蘭國家應用科學院(Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, TNO)則分析荷蘭發展循環經濟的潛在效益，在經濟面將可創造 70 億歐元的產值、提供 5 萬人以上的就業機會，環境面可減少 10% 二氧化碳排放、降低 20% 工業用水消費，至於資源利用部分，將可減少 25% 主要原物料進口(如圖 1 所示)。

農業部門所產生的殘留物可以轉化為生質沼氣或其他高價值產品，如

---

<sup>2</sup> EMF (2015). Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe. Ellen MacArthur Foundation, Isle of Wight.



堆肥、動物飼料、生質燃料或生質塑膠。預估在循環經濟發展下，將可創造 9.3 億歐元的產值<sup>3</sup>；而生質沼氣的利用將有助於減少約 15 萬公噸二氧化碳排放量，土地面積使用也可減少超過 2,000 平方公里。

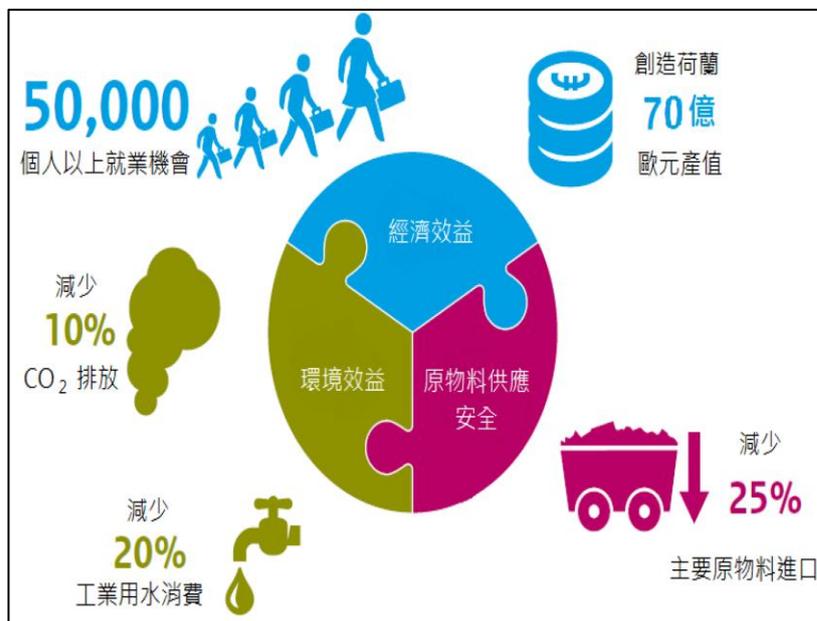


圖 1 循環經濟的驅動力

資料來源：TNO；PBL 整理。

## 二、農業部門的封閉循環

自然循環一直是農業的核心，因為水、養分和土壤對農業生產至關重要，當農業朝產業化發展後，雖然使生產作業更有效率，但也逐漸脫離自然循環發展。因此，農業部門可透過封閉的外部循環、內部循環和多功能農業，為循環經濟的發展做出貢獻。

封閉的外部循環係指透過外部應用提供再利用殘留物的機會，同時也作為資源進一步加工產製生物塑膠材料和能源，未來化學工業將使用更多的生物質為原料，農業食品部門也將有更多機會參與生質精煉之生產，創造新的跨部門合作模式，如亞麻種子可用於糧食生產，纖維則可作為紡織、建築和複合材料的料源；牧草種植可跨越不同的產業，除了做為動物飼料外，亦可作為紙板的主要原料。

<sup>3</sup> Bastain T and Roelofs E et al. (2013). Kansen voor de circulaire economie in Nederland [Opportunities for a circular economy in the Netherlands]. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO).



封閉的內部循環係指將農企業的殘留物在企業內部達到再利用，如過去視為廢棄物排放的二氧化碳、氮氣和磷酸鹽，可以將其回收循環再利用，達到減少額外的資源投入和廢棄物排放。這種從事內部循環的企業稱為「生態回收企業」，藉由生態回收企業將動植物的產出進行整合，產出的殘留物將成為另一循環的開端，如畜禽養殖的糞便可做為作物種植的肥料，而作物種植所產生的殘留植株，又可作為動物飼料。

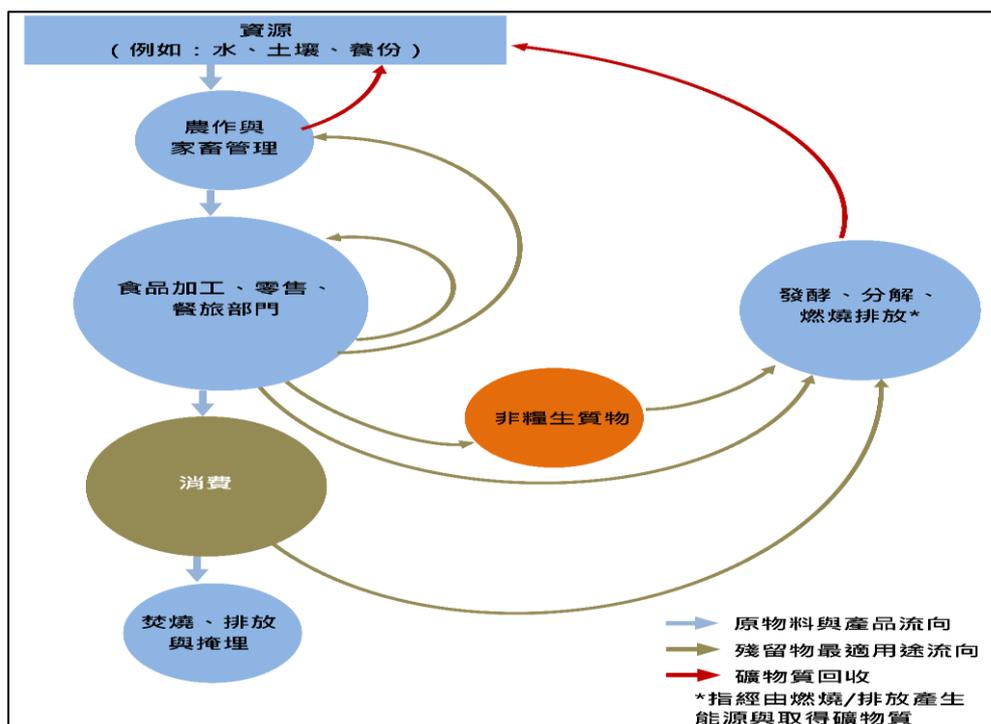
在多功能農業中，農業收入也可來自非農業活動(例如保健和娛樂)。舉例來說，透過咖啡研磨後的殘渣種植蘑菇，收成後的蘑菇其成分具有醫療保健效果；在荷蘭阿姆斯特丹的奧斯特，很多鄰里的花園都提供當地居民種植蔬菜、水果或香草，提供農業的另一種休閒功能。

### 三、荷蘭發展農業循環經濟的契機

荷蘭是人口稠密的三角洲的農業超級大國，意味著作物種植處於非常高的環境壓力；同時做為全球交易的中樞，原物料的流動和相關基礎設施非常密集。因此，過去政府一直致力於殘留物的再利用、推動生物經濟，而這樣的背景提供了荷蘭從線性經濟(Linear Economy)轉型到循環經濟良好基礎。

在循環經濟的發展中創新是必要的，包含開發替代資源、最大化利用自然資源與延伸封閉循環，同時也包括飲食習慣的調整、如何增加蔬菜攝取和減少食用動物性蛋白質，相當重要；以豆類為例，植物性蛋白的生產過程比動物性蛋白質更有效率，意味著自然資源的使用效率更高，若能減少動物性蛋白質攝取，將有助於減少資源消耗。此外，不同的設計、製程與材料的創新也相當重要，目前荷蘭正在研發 3D 列印食品，和開發可修復紡織品和油漆之真菌產品，就是希望能找出創新的設計、製程與材料。

在糧食生產系統中，搭配各種創新的機會，使得循環經濟的發展存在著龐大商機，但循環經濟的發展需要具備多項要件，才能發揮其最佳效益(如圖 2 所示)，這些要件將在以下章節中逐一進行說明。



資料來源：PBL。

圖 2 糧食生產系統之循環經濟示意圖

### 參、資源永續管理和有效利用

#### 一、資源的最佳利用和管理對循環經濟十分重要

自然資源的永續管理對循環型糧食生產系統非常重要，為糧食生產的基礎，包含土壤、水、生物多樣性、植物種子與魚類種群等自然資源，憑藉永續資源管理，可確保糧食生產長達幾個世紀；另一方面，為了恢復因為非永續資源管理所造成的問題，可能也需要幾十年甚至幾個世紀才能修復，就如同農地的復原一樣。

在荷蘭，只有小部分自然資源支撐其食品和消費，大部分來自其它國家供應。因此，荷蘭循環經濟的發展涉及全球供應荷蘭所需的作物(如穀物、米、水果、咖啡、葡萄酒和油脂)、動物飼料(如歐洲的穀物、北美和南美的大豆)所需的土地和資源，甚至礦物質(如磷)和魚類種群都會有所影響，透過經濟鏈發展趨向永續化，包含國際性流通產品的認證制度，都可讓荷蘭政府確保海外資源的永續管理。

#### 二、荷蘭農業生產之永續土壤管理

聯合國永續發展目標中有關「停止全球土地退化」之中心原則便是永



續土地管理，其目標為：至 2030 年需防治荒漠化，並復原退化土地和土壤，包括受荒漠化、旱災和洪水影響的土地，努力實現土地退化中性(land degradation-neutral)的世界，由於土地永續管理涉及化學、生物質量及土壤結構等不同層面，且又不易測量，再加上變化往往是漸進式(如某些物質的積累無法在短時間被量測出來)，同時因空間異質性很大，監控網絡必須相當嚴謹。因此，荷蘭農業土地的永續性管理該如何進行，目前還沒有明確的答案，尤其是涉及到農業土壤的品質，以及提供糧食生產等生態系統服務的能力。

歐盟土壤保護專題策略指出土壤退化過程和威脅，包含侵蝕、有機物質的下降、局部和瀰漫性污染、密封、壓實、生物多樣性下降、鹽鹼化、洪水和山體滑坡等。荷蘭除了存在上述部分的威脅外，尚有土壤氧化和泥炭地縮減的問題。其中一部分土地退化是政策規劃所導致的結果，例如將農地轉為商業區、休閒區或集水區等其他形式的用途；另一部分雖非蓄意，但卻漸進式地發生，如農業土壤的壓實和重金屬的積累。

荷蘭國家公共衛生與環境研究院(National Institute for Public Health and the Environment)有監測網絡，以確定土壤有機質損失和瀰漫性土壤污染的規模，但因這些變化緩慢，故只能透過長期的測量，而有關重金屬污染、土壤生物多樣性的下降和土壤壓實等，則無法從監測網絡量測。學者提出近年來農業土壤中，土齡較年輕的土壤有機層比例有逐漸增高之疑慮，相對地性質穩定的高土齡土壤有機層正逐漸流失<sup>4</sup>，然而這類的有機物質更容易分解，一旦供應量減少，並隨著時間推移，土壤中有機物含量將會明顯下降。土壤壓實程度也對荷蘭農地有一定程度的影響，但其性質和規模尚不清楚，壓實原因主要來自在土壤潮濕下使用重型農機具。此外，雖然荷蘭已有針對動物飼料配方加以管制，但重金屬仍在持續在土壤中累積，只是累積速度受到控制。

在 1985~2012 年期間荷蘭農業用地面積減少 14.5 萬公頃(約減少 6%)<sup>5</sup>，部分農業用地因城市化被轉變為娛樂與休閒用地，進而影響農地的

<sup>4</sup> TCB (2016). Advies Toestand en dynamiek organische stof in Nederlandse landbouwbodems [Advisory Report: The state and dynamics of organic material in Dutch agricultural soils]. Soil Protection Technical Committee (TCB), The Hague.

<sup>5</sup> CBS (2012). Statline. Statistics Netherlands, The Hague.



品質。因此，政府機構應透過更嚴格的空間規劃，並針對農民、動物飼料供應商(涉及重金屬污染)、乳品業者和零售商等利害關係人進行規範，同時提升監測土壤品質和相關威脅的能力，以確保管理方式導向永續的土地利用。

#### 肆、封閉的礦物質循環

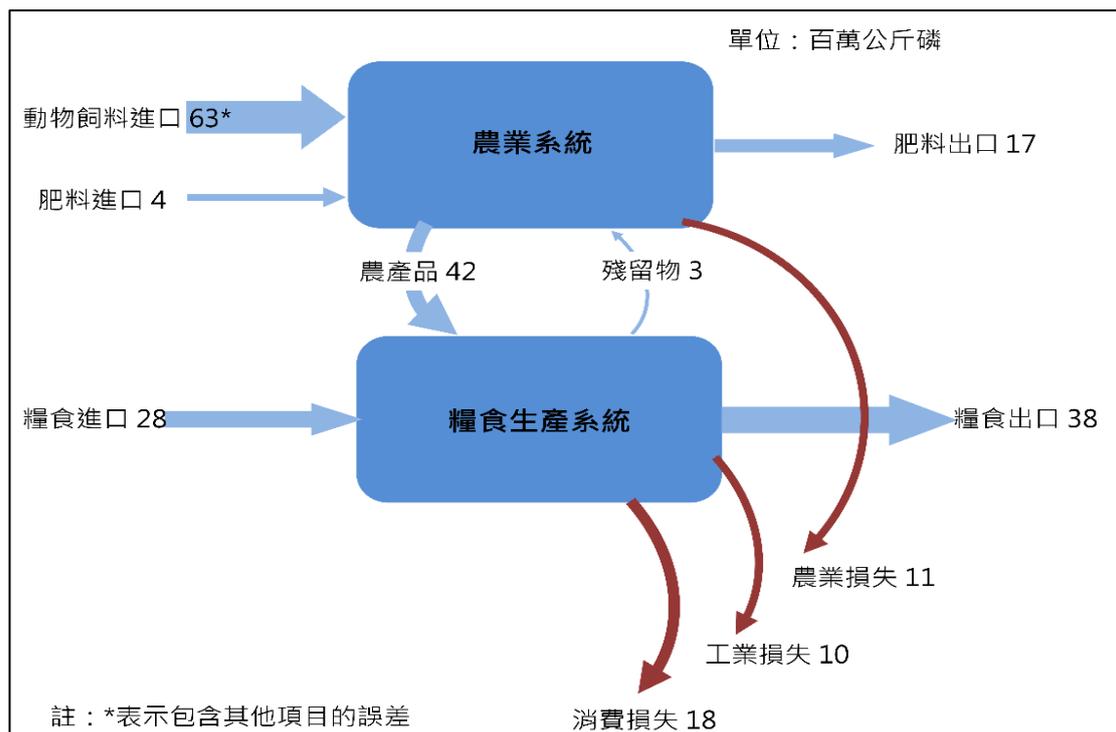
##### 一、有效管理和回收營養成分對循環經濟的重要性

營養物質如磷酸鹽、鉀和硫，對於動植物生產及人類健康相當重要。除土地和水之外，營養物質也會透過產品食物鏈，最終呈現在糧食中。為此，荷蘭主要有兩種礦物質流：農業系統和糧食生產系統(包括食品加工業)，詳如圖 3。

礦物質經由與人造肥料連結而進入荷蘭農業系統，包含礦物質做為動物飼料添加劑(即磷、銅、鋅和硒)與由進口而來的動物飼料；另一方面，荷蘭糧食生產系統中的殘留物，也會回流至農業系統，包含礦物質與殘留物構成農業系統的流入項，從荷蘭農業系統流出的項目則為農產品，如奶製品與動植物產品(如圖 3)。荷蘭農業系統有大量礦物質流動，如在可耕地種植牧草和玉米作為畜禽飼料，再將畜禽糞便作為肥料，回歸田間利用。因此，部分由荷蘭出口的農產品，亦含有礦物質的流動。

荷蘭「肥料法」(Fertiliser Act)規範農業系統中氮和磷酸鹽的使用，以減少環境污染，在肥料法、牛奶配額限制及農民意識提高下，1986 年至 2013 年期間荷蘭氮肥使用下降 62%，磷酸鹽則下降 88%<sup>6</sup>。礦物質的減量主要是透過減少動物飼料中礦物質的添加，以及減少化肥的使用。然而長期的過度使用，已導致荷蘭相當比例的土壤變得磷酸鹽飽和，部分還含有相對大量的鋅和銅。

<sup>6</sup> CBS and PBL (2014). 'Stikstof- en fosfaatbalans voor landbouwgrond, 1980–2013' [Nitrogen and phosphate balance in agricultural soil, 1980–2013]. Environmental Compendium, retrieved 6 June 2016 from <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl>.



資料來源：PBL。

圖 3 荷蘭農業系統與糧食生產系統中磷的物質流

荷蘭的糧食生產系統則廣泛定義為涵蓋食品加工業及消費者間的流動，進入荷蘭糧食生產系統的流量包括荷蘭生產的農產品與國外進口的糧食(如圖 3)。礦物質的流動主要為大豆和大麥加工製造過程所產生，壓榨後的大豆油作為食品或其他產品的添加成分，而大豆粉則作為動物飼料。此外，除了國內加工所產生的大豆粉，荷蘭還進口大量的大豆粉做為飼料。

荷蘭農業釋放大量的礦物質，但部分礦物質最終沒有成為食物，也沒有回到農業循環中，像是屠宰場所焚燒廢棄物中的礦物質以及部分食品加工業的礦物質流入污水污泥裡。進入家庭中的礦物質，約有 2/3 經由排泄物(超過 1.2 萬公噸的磷)在下水道中排放，其餘的 1/3 則以其他生活垃圾(例如果皮或廚餘)形式排放，其中部分透過焚燒，部分透過堆肥回到田間土壤。

農業系統與糧食生產體系是密切連結的。荷蘭農產品進入糧食生產系統中加工，並產生各種回流，如來自釀造的酒粕、來自甜菜的廢石灰以及乳製品生產的乳清粉等，皆回流到農產品系統。此外，進口農產品也進入荷蘭的糧食生產系統中加工(如前面提到的大麥和大豆)，其副產品則回流



到荷蘭農業系統。

而在循環經濟中，若將氮、磷、鉀等營養素有效進行管理，可確保糧食生產的永續性，但許多較容易提煉的元素(如磷酸鹽、鉀)儲量甚少，且蘊藏量僅集中在少數幾個國家或地區(摩洛哥、西撒哈拉和中國)，進而形成地緣政治風險。氮素則較為不同，空氣中的氮氣可以透過能源(通常天然氣)轉化成氨或硝酸鹽來提煉，因此蘊藏量的風險較低。此外，因農業和糧食生產系統所產生的礦物質損失(例如氨、硝酸鹽和磷酸鹽)，正引發各種環境問題，故封閉的礦物質循環利用相當重要。

## 二、政策以磷酸鹽為主軸

因磷酸鹽大部分都是從肥料或食品加工產生的(肥料的主要成分：氮磷鉀，其中磷就是磷酸鹽)，故荷蘭除了制定「肥料管理政策」防止土壤、水和空氣之污染外，亦宣布「磷酸鹽循環協議(Phosphate Cycle Agreement)政策」，以有效管理磷酸鹽流向，其對糧食生產系統尤為重要，包括從污水污泥中回收磷酸鹽，再以磷酸二氫鹽(secondary phosphate)作為肥料和動物飼料的來源，以有效控制對環境的污染。然而現階段礦物質回收，仍存在重金屬污染、藥物和抗生素殘留，以及病原體的風險等瓶頸。因此，後續仍需投入相關的研究，以釐清立法管理可能存在的障礙。

## 伍、有效防止食物浪費

根據估計全球約有 1/3 的食物被浪費，2013 年荷蘭的食物廢棄物總量約 180 至 270 萬噸<sup>7</sup>，相當於淘汰約 44 億歐元的食物<sup>8</sup>。循環經濟的目標是希望能達到最適化的自然資源利用，從另一種角度防止和減少食物浪費。

### 一、改變消費者行為

由於在荷蘭食物浪費現況嚴重，國民也能認同應減少食物浪費，認為這將可使糧食生產系統更具永續性，但落實食物廢棄物減量的成效卻不顯

<sup>7</sup> Bos-Brouwers H and Soethoudt H et al. (2015). Monitor voedselverspilling – update monitor voedselverspilling 2009–2013 & Mogelijkheden tot (zelf)monitoring van voedselverspilling door de keten heen [Food waste monitor, update 2009–2013 & Opportunities for monitoring food waste along the chain]. Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen.

<sup>8</sup> Wageningen UR. (2016). 'Infographic Voedselverspilling op weg naar de helft minder' [Infographic on Reducing Food Waste by half]. Retrieved 6 June 2016, from <http://www.wur.nl/nl/infographic>.



著。因為他們難以購買和烹飪正確的數量，導致常購買或烹煮過多；或者他們不知道如何烹調剩飯。另外，當他們無法判斷這些食品是否仍然可食用時，亦或「賞味期間」(best before date)到期之前，他們就將食品丟棄；因此，法定要求標示賞味期間可能反而導致食物被浪費。所以，透過強調不浪費食物對減少家庭支出的好處，並教育消費者正確的飲食與不浪費概念，將有助於消費者行為的改變。

## 二、創造損壞食品與殘留物不同的經濟價值

除了消費者浪費的食物外，食品加工和貿易過程中也會發生食物損壞和殘留物，若能有效利用這些損壞食物或殘留物，將可顯著的減少經濟損失和環境污染，可應用工具如 Moerman 梯形概念(Moerman's Ladder)或價值金字塔(Value Pyramid)。根據 Moerman 梯形概念，用於人類消費的用途在經濟面具有最大的價值，應用在動物飼料則次之，採用焚燒處理的價值最低。然而，約有 40%的糧食因焚燒而損失，約 25%用於動物飼料，這些損壞食物和殘留物流向食物銀行的比例不到 1%。因此，更好地利用這些殘留物，將為損壞的食物與殘留物提供新的機會。

2009 年荷蘭農業、自然和食品品質部(Department of Agriculture, Nature and Food quality)提出至 2015 年底食品廢棄物需減少 20%的政策目標，商業部門已經開始採取各種配合措施，但食品廢棄物數量仍未顯著減少，若能推動民間企業增加食物廢棄物統計的透明度，可讓其清楚相關的損失金額與數量，並減少殘留物和增加使用效率。此外，透過政府循環經濟計畫，與生質能、創新和前瞻領域等政策的合作，也可為減少食物損失提供創新的機會。

### 陸、減少攝取加工食品避免造成殘留物

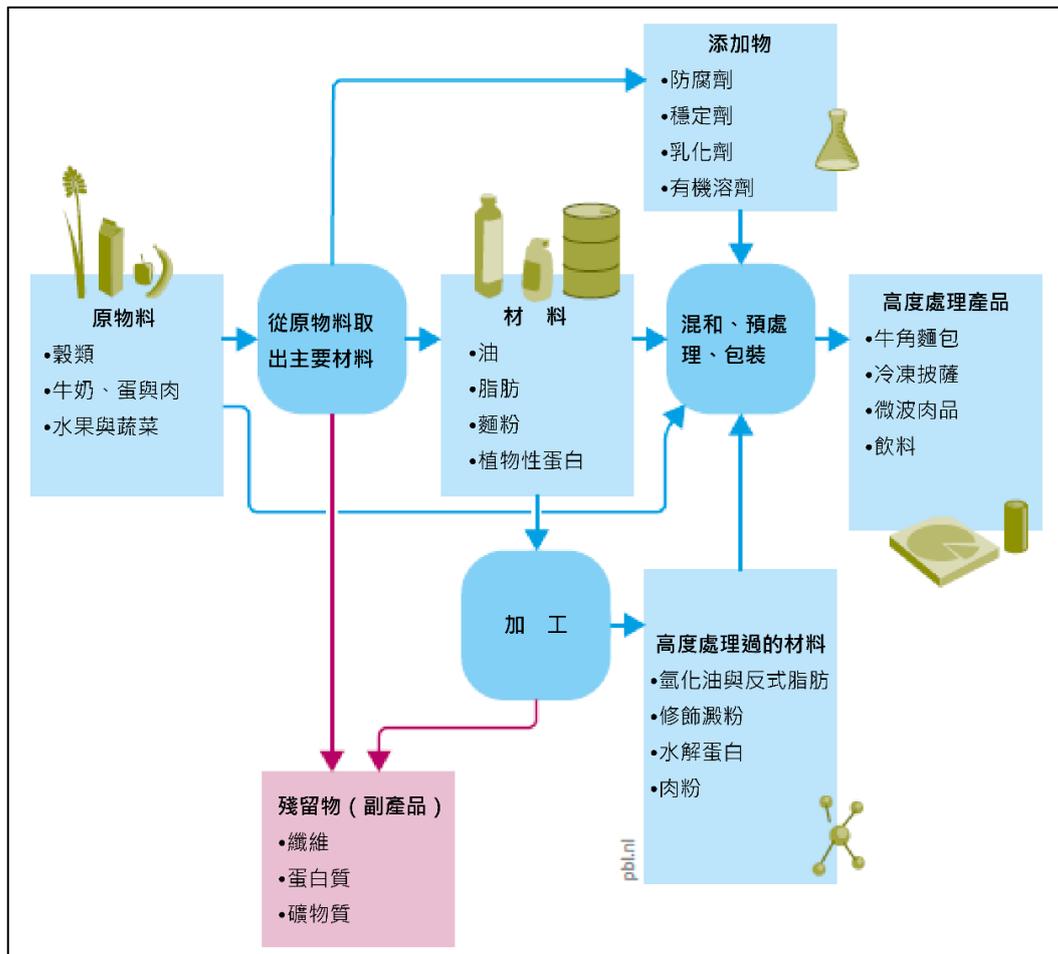
西歐人攝取加工食品數量越來越高，1999 年以來人均購買未加工食品的數量逐漸下降，對於餅乾、點心、速食餐和飲料等高度加工食品，則大幅增加，但食用高度加工的食品，對健康並無益處。

食品產業加工所產生的殘留物流，會在生產階段和消費後出現(如

圖 4)。生產階段的殘留物，如當牛奶加工生產奶酪時，會產生富含蛋



白質的乳清，可用來作為動物飼料；啤酒製造過程產生啤酒粕。而消費後產生的殘留物，則有包裝材料。這些食品加工的過程所產生的殘留物(如蛋白質、礦物質和維生素等)，不但可做為動物飼料，數量還甚多。另外，豆餅占大豆經濟價值的 60%，甚至超過大豆油，所以豆餅不能再被認為是生產大豆油的副產品。為實現循環經濟，希望這些殘留物可做為更具經濟價



值的副產品，不再有廢棄物和殘餘物。

圖 4 食品加工的殘留物物質流

資料來源：Monteiro CA. (2013). Specific policies to tackle diet-related NCD in Europe. WHO European Ministerial Conference on Nutrition and Noncommunicable Diseases in the context of Health 2020, Vienna; PBL 整理。

經加工步驟產生的產品通常比未加工的產品不健康，其珍貴的營養物質如蛋白質、纖維和微量元素，在加工過程中消失成為動物飼料，而脂肪



和糖則被遺留下來；從公共衛生角度來看，人們應降低攝取高加工食品。因這類的食品政策涉及公共衛生政策，使得循環經濟政策與公共衛生政策也有所連結。

逐漸增加的加工食品攝取趨勢，也構成促進糧食循環生產系統的一部分。因為植物性蛋白所需投入的自然資源較少，若飲食中能增加植物蛋白質、減少動物性蛋白質的攝取，才能符合糧食循環生產系統的精神。將植物產品轉化為動物產品過程，大量的能量和蛋白質都會損失，需要約 2 至 15 公斤動物飼料才能生產 1 公斤的肉、奶酪或雞蛋<sup>9</sup>，顯示減少動物性蛋白質的消費，有助於使自然資源的使用更有效率。此外，部分副產品是因為將基本食品加工變成「高度加工食品」而出現，如壓榨柳橙汁所產生的柑橘果皮與果肉；若能減少高度加工食品攝取，相對也可減少能量損失與殘留物產出。

## 柒、充分利用殘留物

### 一、殘留物的高價值使用

糧食的生產都會有殘留物，如種植小麥會有麥稈（除收成穀物外），生產啤酒則為酒粕。這些殘留物不會被丟棄，而是被作為動物飼料、肥料或另一種產品的原料；循環經濟正是建立在這樣的基礎上。TNO 估計荷蘭 34 項最重要的殘留物，目前經濟價值為 35 億歐元<sup>10</sup>。但如何提升殘留物的傳統價值，及是否有創新處理殘留物的方法，已開始受到廣泛討論，如製糖和馬鈴薯產業正在積極尋找極大化殘留物價值的方法。在乳製品和養豬業中，部分副產品和殘留物已做為人類食物中高附加價值的用途，但部分仍是以低附加價值方式使用，如畜禽糞採焚燒或發酵應用、如何有效進行封閉型營養循環，將會是這兩個產業重要的挑戰。

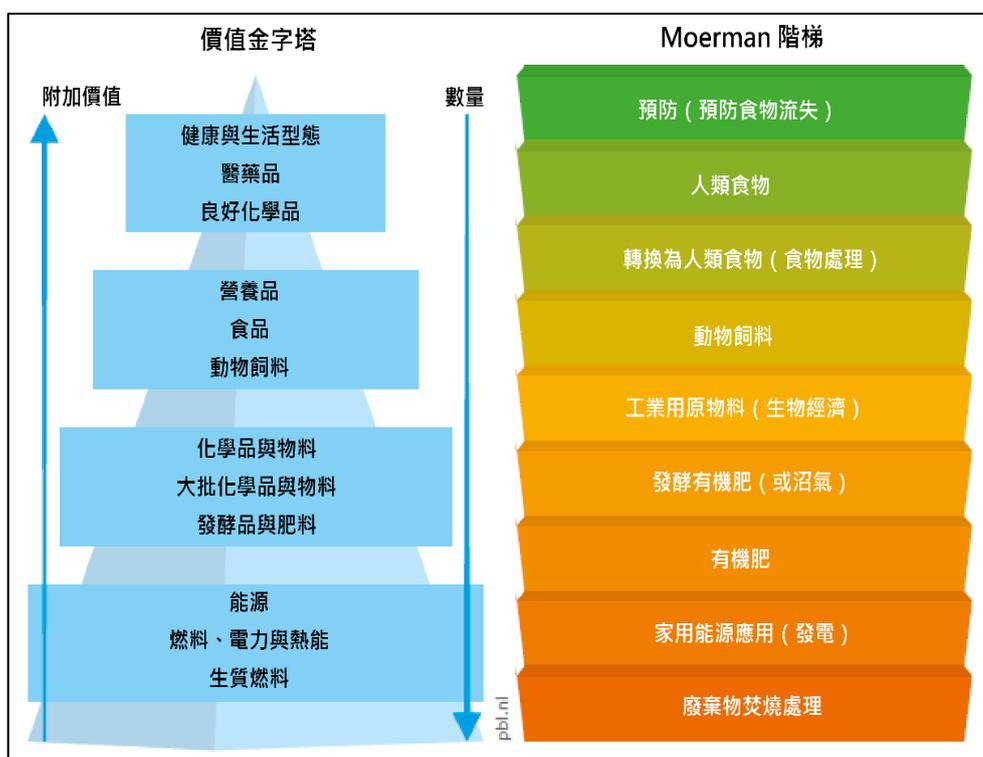
荷蘭糧食生產之殘留物流再利用，是以級聯(cascading)的形式進行，符合價值金字塔或 Moerman 梯形概念的發展架構(如資料來源：PBL)。

<sup>9</sup> PBL (2011). The protein puzzle. The consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

<sup>10</sup> Bastein T and Roelofs E et al. (2013). Kansen voor de circulaire economie in Nederland [Opportunities for a circular economy in the Netherlands]. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO).



圖 5)，但有時殘留物的再利用，受到缺乏基礎建設、殘留物數量規模太小、法規限制和不同政策領域權衡等因素影響，可能會選擇價值較低的發展應用。



資料來源：PBL。

圖 5 高值化再利用的工具

目前用作肥料或焚燒的殘留物，也可作為生物精煉的原料，或用於沼氣生產製程的改善，但相關技術都還未進入商業化應用。有了創新技術後，後續應思考這些糧食作物在循環經濟如何扮演其角色，如玉米是人類消費的糧食，若要將其作為生質燃料，那麼是否作為糧食用途供應量就必須減少，這仍需進一步討論並找出對循環經濟最友善的做法。

## 二、發展循環經濟層次超過能源利用

處理生質殘留物，發酵是最常應用於能源領域的技術。荷蘭的永續能源生產計畫(Sustainable Energy Production scheme, SDE)透過補貼，讓沼氣在市場上具備相當的吸引力；另一種應用則是透過生質物協議來支持生質能發展，因為荷蘭至 2020 年再生能源配比目標須達 14%，故荷蘭生質物混燒化石燃料，允許納入再生能源配比目標的計算。因此，SDE 補貼計畫



和生質物供應協議，為 Moerman 梯形概念架構中最低級別的發酵或焚燒生物質提供推動的誘因，可見在荷蘭將殘留物作為能源應用的永續能源政策，與推動循環經濟政策似乎也存在衝突，所以如何權衡短期和長期的發展目標，顯得相當重要。

類似的事情在二氧化碳減量目標的推動相繼出現，雖然碳排放減量可以透過各種方式達成，但並非所有工具都有助於循環經濟，如生質能法規。此外，在企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR)政策，也可能存在衝突，像是一方面要實現氣候中立(climate-neutral)企業的目標；另一方面又需兼顧導入循環經濟，如何權衡對企業亦為一項重要課題。

### 三、應用級聯工具

循環經濟的目的為充分使用和再利用所有殘留物，讓系統中幾乎沒有浪費。其中對於再生資源(如生質物或糧食損失)，已經有許多發展概念框架，可確保最佳或最高的應用價值，最常見的為 Moerman 梯形概念和價值金字塔，Moerman 梯形概念用於防止食物浪費，價值金字塔則列出最高價值的應用；而荷蘭政策文件「來自生物質通過級聯的更多價值(More Value From Biomass Through Cascading)」，即為使用價值金字塔的概念框架。

Moerman 梯形概念和價值金字塔在概念框架上基本一致，都認同作為人類糧食的利用是較好的，其次是動物飼料，然後是用作生物經濟中的資源，最後才是將殘留物製造肥料或焚燒產生能源。但在價值金字塔中考量商業價值下，藥品、草藥和特種化學品之價值會高於人類的食物。在這類的概念框架或分析工具下，提供瞭解級聯生質材料作法，隨著梯級或金字塔的每一階下降，原料或殘渣的使用價值就逐漸降低。生質材料為非消耗性的產品，在有限的範圍內可以被使用、再利用或再循環(在圖 2 中清楚呈現)，但屬於消耗性的食品，為循環線的末端，後端的流向即為糞肥。

此一概念框架透過經驗法則作為分析的工具，易於使用且可提供決策者做為評估殘留物使用之優先順序，及商業案例或執行方案是否符合循環經濟的目標，但在評估創新技術應用的優先順序時，仍需考量多方面的效益。舉凡來說，應同時考量市場價值與政策規劃方向，依照不同的生產製程，分析何種應用可使殘留物能以較高價值的形式來發展。而政策工具也



應適當的給予激勵措施，鼓勵殘留物能以較適當的形式被再利用。

## 捌、結論

依據循環經濟的發展架構下，生產鏈中所投入的自然資源，將儘可能的延伸其利用的時間或再次被利用，以減少新的自然資源與能源的投入，在生產系統中，原材料和產品得以最佳化的使用，以增加其經濟價值，並儘可能降低對環境造成的傷害。因此，透過推動循環經濟，將可同時達到降低環境壓力、創造經濟發展，與確保自然資源的永續發展。

循環經濟的發展要能發揮其最佳效益，本文提出六項重要的關鍵因素：一、必須做好資源永續管理與最佳化利用，以確保糧食永續生產；二、封閉的礦物質循環，能讓礦物質在農業系統和糧食生產系統中，充分的被再利用；三、將糧食生產過程中產生的殘留物，回歸農業生產系統中，得以減少新的礦物質投入或對環境造成污染，而改變消費者行為、防止食物浪費則為根本；四、將循環經濟計畫與生質能、創新和前瞻領域等政策結合，將可提供糧食剩餘物創新的機會；五、應鼓勵消費者減少攝取加工食品以避免產生過多能源投入與殘留物產出；六、對於糧食生產或加工過程所產生的殘留物，應儘可能充分加以利用，並加以提高其附加價值。

我國農業推動之合理化施肥、台灣良好農業規範(Taiwan Good Agricultural Practice, TGAP)、農業廢棄物回歸田間等，皆為發展糧食循環經濟中的重要一環，符合資源永續管理與最佳化利用，及封閉礦物質循環之重要精神。然而，我國最大宗農業廢棄物稻稈，一年產量約達 150 萬公噸左右，除了回歸田間外，朝向生質發電、生質燃料、或生質塑膠材料等高值化利用，亦應為農業部門可加以著墨之創新發展模式。循環經濟的推動，需要跨領域與跨部門之整合，因此，農業部門若能與我國再生能源政策、二氧化碳減量政策等，加以整合形成糧食循環經濟推動計畫，相信將可發揮最大之政策效益。

## 玖、參考文獻



1. Trudy Rood, Hanneke Muilwijk and Henk Westhoek (2017). *Food for the Circular Economy*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague. Retrieved from <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL-2017-Food-for-the-circular-economy-2878.pdf>