畜牧養殖是氣候變遷的大元兇——這筆帳怎麼算？

文／王淑音

近年來，因為全球各地溫室氣體排放的不斷增加，造成全球的氣候變遷效應，引發很多極端氣候的現象，世界各國都絞盡腦汁在想辦法減緩各個部門的溫室氣體排放量，甚至紛紛設定淨零排放的目標期程。蔡英文總統於 2021 年 4 月 22 日世界地球日當天宣示，2050 淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標。當大家都在檢討哪些部門排放較多的溫室氣體？那些部門該大幅度減排？畜牧養殖業曾經多次被提出來討論。然而，畜牧養殖業真的是氣候變遷的大元兇嗎？事實的真相還有待檢視。民眾會有這樣的印象，其實主要起因是在 2006 年的時候，聯合國的糧農組織（FAO）發表了一篇文章-家畜的巨大陰影（Livestock’s Long Shadow），當時他們估計全球的溫室氣體排放裡面，畜牧業佔了 18%。如果這是真的，那就表示全球的溫室氣體有將近 1/5 是由畜牧業排放的。這個邏輯很怪，大家用腦筋想想，街上在跑的汽車和摩托車這麼多，人類燒煤炭、天然氣來發電，這些排出來的二氧化碳怎麼可能比動物排放的還少？更甚者，世界觀察組織（Worldwatch）在 2009 年的報告中，甚至指出 2006 年 FAO 提出的 18%還過於低估，他們提出另外一個估計的方式，認為畜牧業的碳排佔了 51%。到底是甚麼原因，讓這些報告把畜牧養殖的碳排估得離譜的高？接下來，我們就來探討一下期高估的原因。

首先我們先來了解，溫室氣體的定義及種類？溫室氣體是指大氣中促成溫室效應的氣體成分。從下表我們可以看到，溫室氣體包含二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、還有很多的人造溫室氣體氫氟碳化物（HFCs），含氯氟烴（HCFCs）及六氟化硫（SF6）等，這些氣體都可以造成溫室效應。表一有一個數值稱為全球暖化潛力（Global Warming Potential, GWP），可以用來把所有的溫室氣體的潛能，都換算成二氧化碳當量。GWP 是指某一單位質量的溫室氣體在一定時間內相對於 CO2 的累積輻射力，會因為設定的時間長度有關。例如甲烷如果在大氣層中存留 20 年或 100 年，它的累積輻射力分別相當於是二氧化碳的 72 或 25 倍。

氣體名稱	化學式	壽命(年)	特定的時間跨度的全球變暖潛能值 (GWP) IPPC2006AR4		
			20年	100年	500年
二氧化碳	**CO2**		**1**	**1**	**1**
甲烷	CH_4	12	72	25(28AR5)	7.6
氧化亞氮	N_2O	114	289	298(265AR5)	153
二氯二氟甲烷	CCl_2F_2	100	11,000	10,900	5,200
二氯一氟甲烷	$CHClF_2$	12	5,160	1,810	549
四氟化碳	CF_4	50,000	5,210	7,390	11,200
六氟乙烷	C_2F_6	10,000	8,630	12,200	18,200
六氟化硫	SF_6	3,200	16,300	22,800	32,600
三氟化氮	NF_3	740	12,300	17,200	20,700

圖 1、溫室氣體的種類及其壽命與全球變暖潛能值（GWP）

▎本表依據 IPPC AR4 公布的 GWP，另提供 AR5 公布的 GWP

接下來要說明的就是：畜牧到底背負了什麼樣的原罪？簡單來說，溫室氣體的排放計算方法有很多種，到底排放了多少量，用不同方法學，算出來就都不一樣。以下簡單說明幾種常見的算法以及各種方法不同的地方。

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC） 計算方法

IPCC 主要工作是發表與執行《氣候變遷綱要公約》有關的專題報告。IPCC 於 2006 年發表國家溫室氣體排放清冊指南（2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories），全球會員國家在計算各國的溫室氣體排放量，都是依據其提供之方法中的係數與公式來計算各部門的溫室氣體排放量，各部門包括能源部門（第三章）、工業製程及產品使用部門（第四章）、農業部門（第五章）、土地利用及變化及林業部門（第六章）、廢棄物部門（第七章）。此外，至今已發表六次「氣候變化評估報告」（AR1~AR6），除了提供有關氣候變化的科學知識與評估之外，也會針對 GWP 的估計值做調整。IPCC 的計算方法特色就是只計算各部門的直接排放，並不會有重複計算到不同部門的情形，這樣才能把各部門的排放量加總成為總排放量。

依據 IPCC 的計算方法，畜牧養殖是屬於農業部門，而被計算進去的是直接的排放，分屬腸胃發酵（enteric fermentation）與糞尿處理（manure management）。腸胃發酵是指動物（尤其是反芻動物如牛、羊）攝取食物後在腸胃道消化過程的自然現象，食物經微生物分解和發酵後，會產生甲烷。糞尿處理是指飼養動物過程中收集、處理、儲存和應用動物排泄物，會因處理方式的不同（如製作堆肥、三段式廢棄物處理等），排

放不同程度的溫室氣體，其中主要是氧化亞氮與甲烷。依據我國最新的「2023 年國家溫室氣體排放清冊報告」，農業部門的溫室氣體排放佔全國排放之 1.84%；其中畜牧的糞尿處理在農業裡面佔了 27.78%，腸胃發酵佔了 18.36%，加總畜牧業的排放佔農業的 46.14%，佔全國排放量的 **0.85%**；遠低於 FAO 與 Worldwatch 所估計的 18%及 51%。異這麼大，最主要還是差別在算法的不同。以下我們就再說明另一種方法學：生命週期評估（Life-cycle assessment, LCA）。

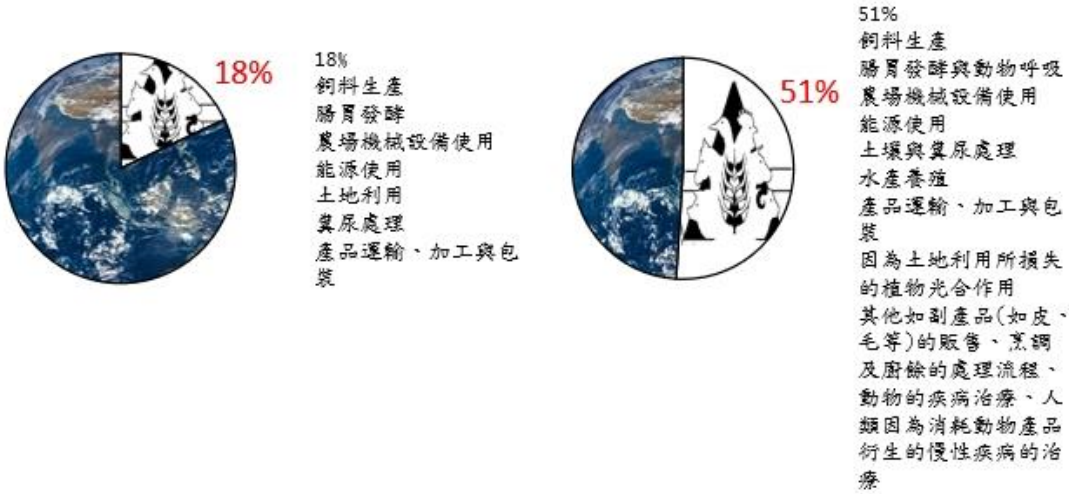
生命週期評估（Life-cycle assessment, LCA）

LCA 是透過計算一件產品或服務，由生產、組裝、運輸、銷售、使用、維修、拋棄或回收的整個生命週期中、所產生的環境影響。以畜牧養殖的豬肉生產為例，從飼料的生產、動物的養殖、土地的利用、能源的使用、動物的運輸、屠宰、加工、包裝等等通通都可能被算在內。因為範圍實在太廣了，因此應用 LCA 方法學計算時，範疇的定義便會決定數值的大小，而 FAO 與 worldwatch 所估算的數值，就是因為定義範疇不同，所以數值也不同。以下針對該兩種範疇做說明，並說明其不合理之處。

聯合國的糧農組織： FAO 的估算值（18%）除了 IPCC 所計算的動物直接排放（腸胃發酵與糞尿處理）以外，還包含飼料的生產、農場機械設備使用、能源使用、土地利用、產品運輸、加工與包裝。這樣的算法，如果應用在碳足跡的計算是合理的；但是如果算在畜牧養殖部門，把許多因養殖所間接排放的溫室氣體也算在內，就不公平了。因為這些都屬於其他部門（如能能源、工業製程及產品使用部、土地利用、廢棄物等等）。而 18%的母數是全部部門的加總，算在畜牧的部分也重覆計算在其他部門，這樣母數就超過 100%了，18%也不會是 18%了。況且，如果畜牧養殖不再存在，人類的糧食必須仰賴其他的食物（如增產蛋白質食物及能量食物），一樣也會用到設備、能源、土地；一樣會產生廢棄物，這時候這些間接排放源就會加諸在其他的糧食生產了。

世界觀察組織： Worldwatch 的估算值（51%）更是誇張，除了 FAO 所納入的計算範疇之外，worldwatch 還納入計算的有： 水產養殖、副產品（如皮、毛等）的販售、因為土地利用所損失的植物光合作用（把光合作用所減少吸收的二氧化碳算成是畜牧養殖的排放）、烹調及廚餘的處理流程、動物的疾病治療、人類因為消耗動物產品衍生的慢性疾病的治療等等，以上這些很遙遠的間接排放關係也都被納入畜牧養殖的排放，實在是畜牧業沉重的負擔與指控。

不同生命週期計算範疇定義下之畜牧業溫室氣體排放



關於土地利用所損失的植物光合作用的說法，其實是不恰當的，「livestock’s Long Shadow」一書指出：畜牧業因為要餵動物吃飼料（主成分是穀物），所以要砍伐森林來種這些植物，因為多砍伐了森林，讓森林的數量變少，所以原本森林可以吸收的二氧化碳變少，這筆帳要算在畜牧養殖。世界觀察組織還指出： FAO 低估牧草與作物用地，這些用地若改種植可以生產生質燃料的作物，可以替代燃料的使用而減少 80%的二氧化碳排放，因此把這未能取代燃料的帳也算到畜牧業，占 4.2%。但是，即便不種植動物需要的植物，也不可能全部拿去生產生質燃料作物，假如不畜養農場動物，人類就必須種植更多的優質植物如稻米、小麥、玉米、大豆等等來餵飽人類，還是需要很多農地，並未減少土地的利用。更何況，其實動物所吃的食物多半是人類所不能或不喜歡的食物，它們把人類不吃的食物轉變成優質的動物性蛋白讓人類消費。

Worldwatch 還認為 FAO 低估了畜牧部門甲烷的潛勢力。他的論點是甲烷在大氣層中的半衰期只有 8 年，而 CO_2 至少有 100 年。一般 FAO/IPCC 以 100 年期計算甲烷的 GWP 為 CO_2 的 25 倍，但 Worldwatch 建議用 20 年期計算，則甲烷的 GWP 變成 72 倍。所以重新估算以後，畜牧排放的甲烷會比原來估算的增加 3 倍。但是這是很不合數學邏輯的，因為如果畜牧部門 GWP 計算方式改變，增加 3 倍，那其他部門的甲烷難道就不用乘上 3 倍嗎？在大家同時都改用 20 年的 GWP，各部門占比是不會變的，不是只有畜牧部門使用 GWP=72，，其他部門維持 GWP=25。

其實畜牧業不只是排放碳，在減碳的部分也有貢獻。例如動物排出的糞尿可回收處理後再利用，畜牧糞尿厭氧發酵會產生沼氣，其中 60%是甲烷，可以收集後再利用，不僅可以減少溫室氣體排放，經純化回收可用來發電、作為熱源或車用燃氣，可視為生質

能源。另外厭氧發酵產生的沼液及沼渣，也可當作肥料，可減少化學肥料的使用。動物的糞尿也可以製作成有機肥料，同樣也能減少化肥的使用。

最後要說明的就是氣候變遷與糧食安全的矛盾，畜牧產業提供了人類寶貴的動物性產品，其所提供的高品質營養成分，尤其是動物性蛋白質與必需脂肪酸，並非單一其他植物性食品可替代的，它尤其還可以將人類所無法利用或口感不佳，不願意食用的物質轉化為營養可口的肉、乳、蛋等產品。假如我們減少農產品的生產，不管是農作物的種植或是畜禽的養殖，我們的食物就要仰賴進口，如此一來，還要增加加工、包裝、運輸的碳排，食物的碳足跡就更加的高了。所以在糧食盡量自給自足，在地消費的前提下，面對溫室氣體排放的議題，其實畜牧業還是可以用符合永續生產的「低碳畜牧」來生產動物性產品。聯合國糧食及農業組織（FAO）於 2019 年提出「低碳畜牧業的五項實際行動」，1. 提高牲畜生產和資源利用效率； 2. 加強回收再利用的力度，減少循環生物經濟的損失； 3. 利用基於自然的解決方案來增加碳中和； 4. 追求健康、永續飲食並考慮蛋白質替代品； 5. 制定政策措施以推動變革。面對全球共同推動之「2050 淨零排放」目標，農業部門同樣也是責無旁貸，但如何在滿足人類的糧食以及降低溫室氣體的排放之間取得平衡，已是當務之急，因此「低碳畜牧」應該是畜牧業面對淨零排放所設定的願景。

王淑音
中國文化大學副校長
sywang@ulive.pccu.edu.tw