

酪農業碳足跡大小事

臺北市立動物園 陳怡璇

氣候變遷議題在國際上的討論越來越熱烈，酪農業的溫室氣體 (Greenhouse Gas) 排放也成為乳製品生產過程中越來越受重視的一環，也被視為全球溫室氣體排放的主要來源之一，即使是小規模飼養也面臨同樣的情況。知己知彼，百戰百勝，我們可以先瞭解國際對這議題的趨勢，提早準備本土在將來可能面臨的挑戰。

一、什麼是碳足跡？

碳足跡 (carbon footprint) 是指一個人活動或使用一個產品或裝置在其整個生命週期中所釋放的溫室氣體總量。每個人在日常活動包括食、衣、住、行中直接或間接都釋放溫室氣體，用足跡的概念說明我們每個人都在大氣層不斷增加的溫室氣體，留下自己的痕跡，用以衡量人類活動對環境的影響。大氣中主要的溫室氣體包括：水蒸氣(H₂O)、臭氧(O₃)、二氧化碳(CO₂)、氧化亞氮(N₂O)、甲烷(CH₄)、氫氟氣碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)及三氟化氮(NF₃)等。工業化時代之來，溫室氣體二氧化碳、甲烷和氧化亞氮的濃度已經分別增加了

約 50%、150% 和 22% (US EPA, 2021)。

二、酪農業的碳足跡

我們可以根據國外農業新聞平台 (Global Ag Media) 提供的分析資料作為參考。國外早在 2010 年就開始估算傳統乳製品生產系統的溫室氣體排放量。再者，乳牛被視為全球溫室氣體排放的主要來源，因此試圖估算其在全球溫室氣體排放總量中佔的比例，2004 與 2019 年不同產業的人為溫室氣體總排放量佔比可參考圖 1。以下是這項分析的方法與相關結果，旨在了解酪農業中各區塊碳足跡，用來訂立可能減少碳足跡的方法，並不在於精準計算碳足跡。

(一) 分析方法

根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 和聯合國糧農組織 (FAO) 的報告，並參考國際乳業聯盟 (International Farm Comparison Network, IFCN) 資料庫，分析 38 個國家中的 46 間乳牛場，估算酪農業溫室氣體排放量對全球的影響。其中評估的影響因素包含：乳牛數、女牛數、產乳量、土壤肥料、電力燃料和購買飼料原料的使用量、乳牛體重等

光泉廠農通訊(119)

<https://www.kuangchuan.com/FacInfo/Dairy>

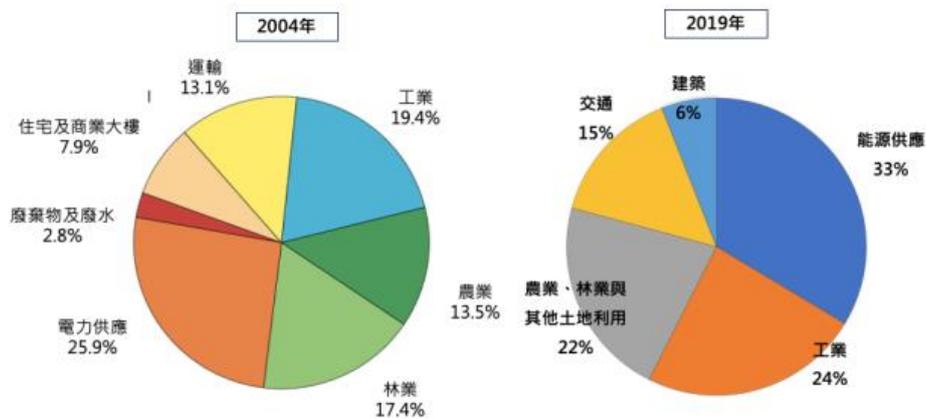


圖 1. 2004 與 2019 年不同產業人為溫室氣體在全球總排放量之比例 (以二氧化碳當量為單位) (林業包含森林砍伐) (IPCC, 2007, 2022)

因素。然後從這些數字中得出每 100 公斤生乳使用的能源燃料或配合飼料的比例。接下來，估算二氧化碳、甲烷和氧化亞氮的排放量，其中瘤胃甲烷產出量(kg)根據函數： $55 + 4.5 * \text{每天產乳量 (公斤/牛/天)} + 1.2 * \text{代謝體重}$ (Kirchgessner 等人, 1992 年)。此外也計算來自糞便管理、精料、燃料和能源使用、土壤肥料、設備等的溫室氣體排放量。另外，該分析將乳牛場的仔公牛和肉牛產出也列入計算。本分析未考慮來自長途原物料的運輸、其他農場飼養的小女牛產生的溫室氣體。最後，將不同氣體的排放量轉換為二氧化碳當量(CO₂ equivalents, CO₂e)進行比較。

(二) 相關結果

1. 全球生乳生產過程的碳足跡

IFCN 根據 IPCC 和 FAO 資料評估，2004 年乳牛場溫室氣體排放總量約占全球的 2.2 至 2.5%(圖 2)，這些資料並未包含為了設置乳牛場而砍伐森林的影響。

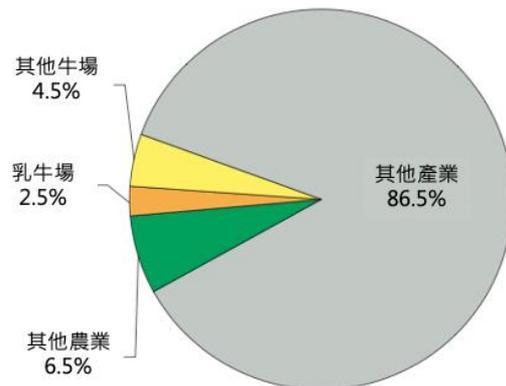


圖 2. 2004 年乳牛場溫室氣體排放總量約占全球的 2.5% (IFCN, 2008)

2. 各區農場溫室氣體排放量比較

本分析將德國傳統的 80 頭泌乳牛場生產每 100 公斤生乳的排放量作為參考點 (= 100)，分析其他農場類型中有一半以上的碳足跡為 ± 20 個百分點，其中非洲與南亞的較低效率生產的農業系統每 100 公斤生乳生產的碳足跡最高，而較高效率生產的農業系統的排放量明顯較低。

3. 溫室氣體排放種類比較

溫室氣體中影響最重要的氣體是甲烷，它佔溫室氣體排放量的 50% 到 70%，氧化亞氮和二氧化碳的排放量合計佔總排放量的 30% 至 50%。氧化亞氮和二氧化碳排放量會取決於管理者如何處理糞便以及購買的飼料、化肥和能源的使用量。

4. 酪農業溫室氣體來源

酪農業溫室氣體來源簡單分類成瘤胃消化、糞便管理、購買飼料原料、能源使用、土壤施肥與其他，其主要的排放來源是瘤胃消化，約佔總量的 50% 至 70%。因此，有學者認為酪農業碳足跡的關鍵影響因素是按乳牛體重計算的產乳量，也就是乳牛每公斤體重的產乳量(體重生產率)越高，碳足跡越低(高產牛碳足跡低的意思)，低產牛生產生乳的排放量

高於高產牛。根據資料顯示，酪農業其他的溫室氣體排放源是糞便管理佔 10% 至 20%，購買飼料原料佔 5% 到 10%，土壤化肥使用量達 10%，電力和燃料形式的能源使用佔溫室氣體排放量的 5% 到 10%。

三、臺灣乳牛場的碳足跡情況為何？

先前有人利用國內傳統乳牛場經營管理資訊，採用生命週期(Life cycle assessment)評估生乳生產過程中的溫室氣體排放量。生產過程，也就是所謂的評估範疇(boundary)，訂定自產犢至牧場大門(cradle-to-farm gate)，涵蓋飼料原料生產、家畜生產與糞肥處理三部分，並蒐集乳牛場頭數、生乳產量、活體重、飼料採食量、水電消耗量及油料量等經營管理資訊，配合各生產過程溫室氣體排放係數之設定，評估國產生乳生產端碳足跡(紀, 2017)。結果表示，2014 - 2016 年生產每公斤國產生乳產生 1.51 kg 二氧化碳當量，範圍 1.15 - 2.07 kg 二氧化碳當量，其中 2016 年單位生乳碳足跡顯著較 2014 及 2015 年低；推測可能因全群平均每頭牛日產乳量較高。進一步比較不同月份單位生乳碳足跡發現，每年 7 - 9 月生產每公斤生乳所產生之二氧化碳當量較多，可能因素為期間熱緊迫導致產乳量較低且

用電量較高所致。同時，由二氧化碳排放量與乳牛群產能評估發現，主要影響因素為泌乳效率及耗能；熱季每公斤生乳產生之二氧化碳當量顯著較涼季者高，主因熱季乳牛群產乳量較低且耗電量較高所致。

四、美國乳業對於氣候變遷的態度為何？

在美國，據估計生產生乳會產生約 99 至 1.72 億公噸二氧化碳當量，約占美國年度溫室氣體排放量的 1.9% 2.5%(Thoma 等人, 2013 年; Capper 和 Cady, 2020 年; Rotz 等人, 2021 年; Uddin 等人, 2022 年)。上述的溫室氣體總排放量會受到不同的分析模組、評估的時間區間、評估範疇與分析使用的 100 年內全球暖化潛勢 (GWP100) 而有不同的結果。

美國乳業目前針對如何降低牛奶生產的溫室氣體排放積極取得了實質性進展。同時，美國消費者和投資者對提升友善環境或減少食品生產對環境衝擊的興趣持續增長。隨著各經濟部門持續承諾控制溫室氣體排放的趨勢，美國乳業已承諾到 2050 年實現溫室氣體淨零排放的目標。藉由減少乳業上游端乳牛場(例如：乳牛腸道發酵、糞便管理、飼料

原料生產)與乳製品生產過程中溫室氣體的排放量，減少與目前排放水平的 23%，美國乳業有機會在未來幾十年內實現氣候中和的目標。

五、酪農業在 2050 年是否有可能淨零排放呢？

以下是節錄第 22 屆國際乳業聯盟(IFCN)視訊會議內容，該會議得出 2050 年酪農業實現碳中和的目標是可能的。

目前空氣中的二氧化碳含量已達到 65 萬年來的最高水平，我們見證了自 2000 年以來最溫暖的 19 個年頭。畜牧業和酪農業與之前相比，無疑增加溫室氣體排放。學者表示：「酪農業的溫室氣體排放量約佔全球溫室氣體排放量的 2.2%。IFCN 研究表明，新興國家(例：非洲、拉丁美洲、亞洲(扣除日本與以色列)等)佔這些排放量中的 75%，並且在過去 20 年中佔其增長的大約 100%」。然而，乳製品與酪農業為地球上數十億人提供優質蛋白質，也提供數百萬農民生計，發揮著至關重要的作用。

IFCN 根據資料推測，若是全球在高產牛數量提升的趨勢推動下，全球每公斤生乳的溫室氣體排放量將下降 28%。若以這樣的情況推估，未來 30 年，全球生乳需求增長 50%的

同時，乳牛場的溫室氣體排放量只會增加 8%。

那麼如何減少生乳生產過程中的溫室氣體的排放呢？乳製品會議透過全球領先機構和公司的發言人來提供答案，小組成員也得出的結論是；執行合適的管理系統、提升飼養管理技術、投資新技術和與乳製品產商共同合作，碳中和乳牛養殖將成為可能的目標。藉由倡導製程淨零、低碳乳製品，全球乳製品行業將在應對氣候變化方面發揮領導作用，同時保護乳製品不論在營養與社會經濟成果方面發揮的重要作用。

六、結論

就目前趨勢可以發現，減少溫室氣體排放是未來各產業不可逃避且需要盡力達成的目標。如何降低本土乳牛場溫室氣體排放量是目前一大挑戰，依據國內外資料，應著重提升產業鏈生產端泌乳牛群的泌乳性能，提高牛群生產效率，盡量降低乳牛腸道甲烷排放量。同時透過改善畜舍通風、降溫等管理模式，改善熱緊迫問題及牧場內耗能等減緩策略，期能真正降低單位生乳碳足跡，提早因應未來國際間可能面臨的衝擊。

七、參考資料：

紀泱竹。2017。國產牛乳生產之生命週期碳足跡案例評估。碩士論文。國立屏東科技大學。

Carbon Footprint of Dairy Farming. 2021. Rajesh Singh.

Carbon Footprints of Dairy Farming Systems. 2010. The Cattle Site. Global Ag Media.

<https://www.thecattlesite.com/articles/2542/carbon-footprints-of-dairy-farming-systems>

Is carbon neutral dairy farming possible in 2050? 2021. Smart farming. News.

<https://www.dairyglobal.net/industry-and-markets/smart-farming/is-carbon-neutral-dairy-farming-possible-in-2050/>

Place, S. E., C. J. McCabe, and F. M. Mitloehner. "Symposium review: Defining a pathway to climate neutrality for US dairy cattle production." *Journal of Dairy Science* 105.10 (2022): 8558-8568.

光泉廠農通訊(119)

<https://www.kuangchuan.com/FacInfo/Dairy>