

淺談〈水稻田甲烷排放〉

文、圖 / 丁文彥

前言

人類活動是地球溫室氣體排放的重要原因之一，依據 2024 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，農業部門占 2022 年國內溫室氣體排放量 2.15%，其中非燃料燃燒排放量占比依序為農耕土壤、禽畜糞尿管理、畜禽腸胃發酵、水稻種植、尿素施用及作物殘體燃燒等。在水稻種植過程中，從育苗過程的電力消耗、整地與插秧的機械燃料、施肥的燃料與肥料製造端、噴藥的燃料與農藥製造端、栽培過程的氣體排放、收穫機械的燃料、乾燥與包裝的電力消耗、運輸車輛的燃料等，都是碳足跡的貢獻者（圖 1），其中最大排放量在於田間栽培階段，產生的溫室氣體以甲烷居多，因此，本文僅就影響水稻田的甲烷氣體排放論述，提供農友參考。

水稻田甲烷的生成

自然界中的甲烷主要是透過甲烷菌（methanogens）產生，甲烷菌只會生存於厭氧的環境，包括濕地、沼澤地、反芻動物腸道等缺氧的環境下。水稻栽培過程除了曬田期外，長時間處於湛水狀態，使土壤的孔隙充滿水分，氧氣含量逐漸降低，浸水土壤成為缺氧的環境，有利於甲烷菌的作用及土壤有機物進行厭氧性分解，進而產生甲烷氣體。水稻田土壤產生甲烷後先滯留在土壤中，有一部分甲烷會先被甲烷氧化菌（methanotrophs）氧化為二氧化碳及水，其餘殘留之甲烷再透過 3 種不同路徑排放至大氣中：第 1 種約有 10% 的甲烷藉由擴散作用直接釋出，第 2 種約有不到 1% 經由湛水層的液面氣泡釋放至大氣

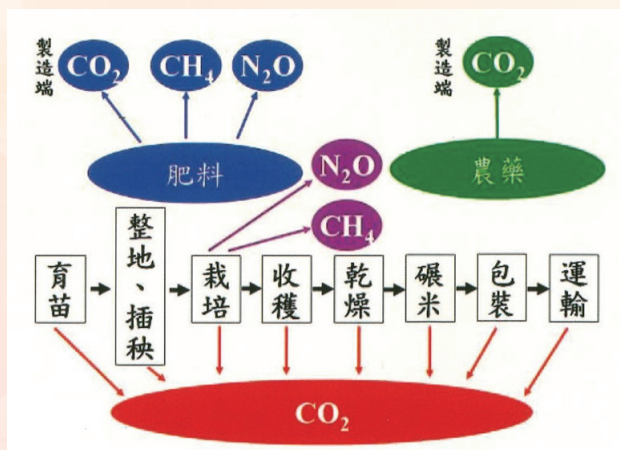


圖 1. 稻米生產過程之各階段碳足跡來源示意圖
(吳與盧，2011)

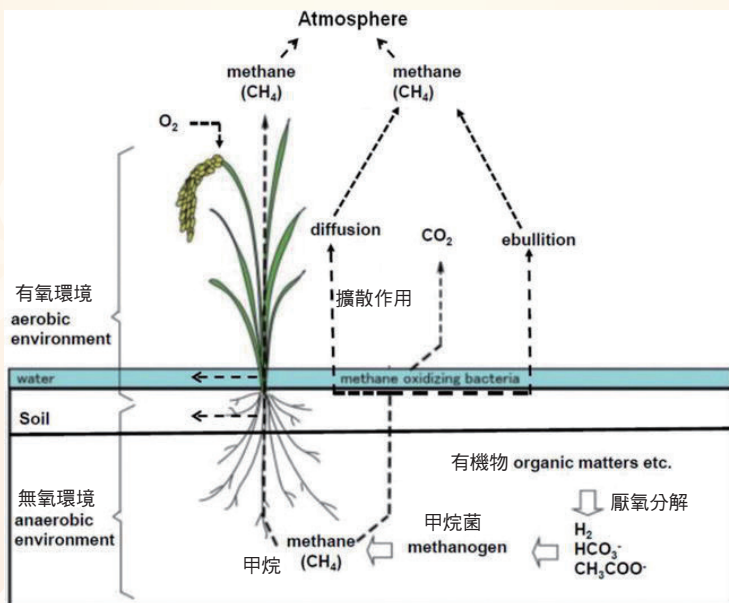


圖 2. 水稻田產生甲烷途徑 (Rahman and Yamamoto, 2021)



中，其餘 90% 則透過水稻植株維管束中的通氣組織排放至大氣中（圖 2）。

影響水稻田甲烷排放的因子

影響水稻田甲烷釋出的因子包括氣候溫度、土壤含水量、土壤氧化還原電位及肥料等，分述如下：

一、氣候溫度：水稻田甲烷的排放受氣候溫度影響很大，當氣溫、地溫及水溫較高時，甲烷的排放量亦較多；3 種氣候溫度中，以地溫最穩定，氣溫與水溫在清晨與中午時段之變化較大。本場自 2022 年起與屏東科技大學共同探討水稻田在不同期作及生育期對甲烷排放量的影響；結果發現，臺東 30 號、東陸 3 號、臺中秈 10 號、臺南 11 號、高雄 147 號及臺東糯 31 號等 6 個品種，在 2 期作均以營養生長期測得

的甲烷排放量較高，成熟期較低；1 期作水稻的生長環境與 2 期作相反，生育初期溫度低，甲烷釋放量較少，生殖生長期及成熟期的溫度較高，甲烷排放量亦高（圖 3A）。

二、土壤含水量：土壤含水量越高，代表土壤中氧氣含量越少，易使厭氧性微生物的發酵作用增強，有利於甲烷菌生存及甲烷產出。水稻栽培過程中，採取乾溼交替灌溉方式可調整土壤水位，降低土壤還原態下的發酵能力，增強甲烷氧化菌對甲烷的氧化能力，減少甲烷的生成量。試驗結果顯示，水稻田採行乾溼交替灌溉方式相較於慣行湛水方式，可減少甲烷總排放量 35.09%~62.43%，不同水稻品種的減排程度不一（圖 3B）。

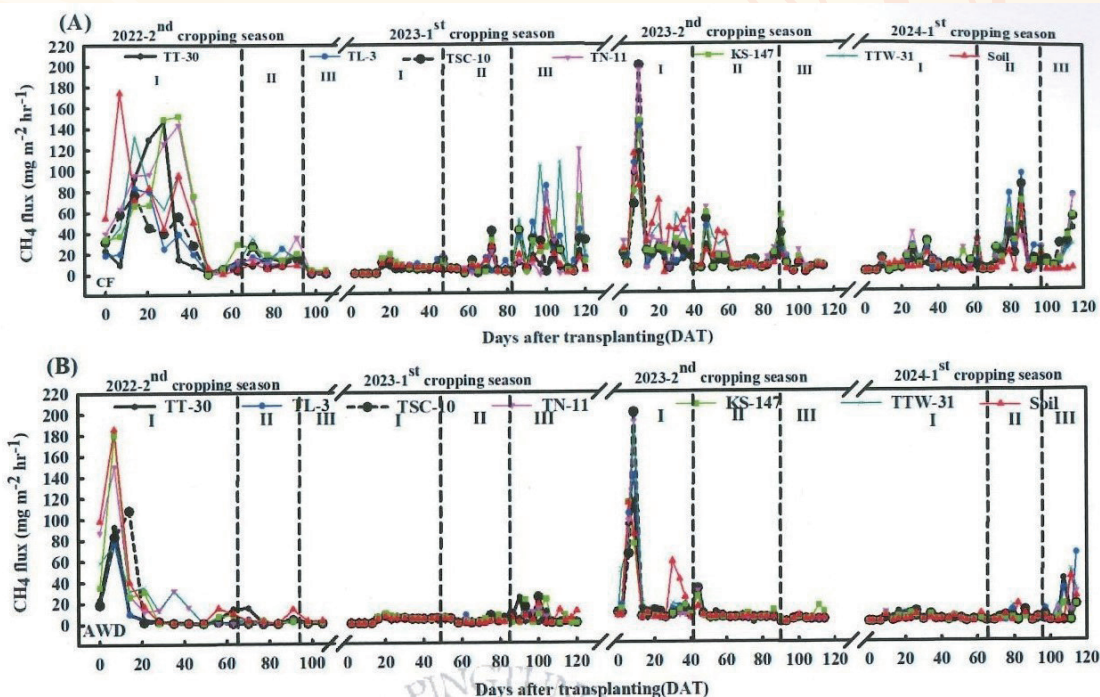


圖 3. 水稻品種在不同期作生育期之甲烷排放量（2022 年 2 期作—2024 年 1 期作）
（A）慣行灌溉。（B）乾溼交替灌溉。I. 營養生長期。II. 生殖生長期。III. 成熟期。



三、土壤氧化還原電位：土壤氧化還原電位代表土壤通氣程度，湛水環境下土壤氧化還原電位會隨著浸水時間拉長而逐漸遞減，當土壤氧化還原電位在 -150 mV 時，甲烷有明顯的產出，且甲烷排放量與土壤氧化還原電位呈現負相關。陳（2015）指出，水稻田栽培過程的土壤氧化還原電位介於 420 mV 至 -250 mV 之間，甲烷高排放高峰集中在 0 mV 至 -250 mV 之間，並隨者氧化還原電位降低而增加排放量。

四、肥料：施用氮肥為增加水稻產量最有效途徑，氮肥種類主要為硫酸銨及尿素，這兩種氮肥的銨在水稻田可經硝化作用而形成硝離子或亞硝離子，與硫酸銨之副成分硫酸根在氧化還原電位變化中扮演著重要的角色，直接或間接影響甲烷之產生與釋放；亦即增施氮肥會增加甲烷的釋放量（彭與黃，1998）。而不同施肥方式亦會影響甲烷的排放量，Li 等（2021）發現，採取深層施肥方式相較撒施處理可減少兩種直播稻的甲烷排放量約 $20.7\%\sim 25.3\%$ 。

結語

農業排放溫室氣體總量在 2022 年達 6.17 百萬噸二氧化碳當量（ CO_2e ），其中水稻占 18.13%，僅次於農耕土壤利用與畜牧業。現行水稻栽培採用湛水模式，為需水量最大的糧食作物，雖然具有生產、生活、生態等「三生」功能，它的蓄水功能可以協助調節氣候、補注地下水、避免地層下陷及土壤鹽化等，對環境保育貢獻極大；然氣候變遷已成常態，如何在糧食供

應與農業碳排尋求一個雙贏局面，將是值得大家深思與努力追求的目標。

參考文獻

1. 行政院環境部。2024。中華民國國家溫室氣體排放清冊報告 2024。https://service.cca.gov.tw/File/Get/cca/zh-tw/c1zoEItkaIqqvly
2. 吳以健、盧虎生。2011。全球暖化氣候變遷與臺灣稻作栽培之碳足跡。苗栗區農業專訊 54：2-5。
3. 陳韋廷。2015。節水栽培對稻田甲烷排放量及稻穀產量之影響。碩士論文。臺中：中興大學農藝學系研究所。
4. 彭德昌、黃山內。1998。台灣東部水田土壤甲烷氣體之釋放及其影響因子。花蓮區農業改良場研究彙報 16：35-45。
5. Li L.,H. Tian,M. Zhang,P. Fan,U. Ashraf,H. Liu,X.Chen, M.Duan, X.Tang, Z.Wang,Z. Zhang,and S.Pan.2021.Deep placement of nitrogen fertilizer increases rice yield and nitrogen use efficiency with greenhouse gas emissions in a mechanical direct-seeded cropping system.The crop journal 9：1386-1396.
6. Rahman, M. M. and A. Yamamoto. 2021. Methane cycling in paddy field：A global warming issue. Agrometeorology. Rijeka. Pp.10.