

臺灣中部地區水田甲烷排放因子調查¹

游承翰²、廖崇億^{3*}、吳以健⁴、郭芝秀²

摘 要

農業活動中排放的溫室氣體主要分為甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、二氧化碳(CO₂)三大類，而水稻種植期間所產生的甲烷是農業溫室氣體排放的主要來源之一。本研究探討三種灌溉管理型態，持續淹灌、慣行灌溉、間歇灌溉對於水稻田甲烷排放之影響。調查結果顯示，2023年的第二期作中(總生育107天)，持續淹灌排放量為676 kg-CH₄ha⁻¹，慣行灌溉為346 kg-CH₄ha⁻¹，間歇灌溉為167 kg-CH₄ha⁻¹；在2024年的第一期作中，持續淹灌的排放量為317 kg-CH₄ha⁻¹，慣行灌溉為76 kg-CH₄ha⁻¹，間歇灌溉為38 kg-CH₄ha⁻¹。水稻田的甲烷排放主因之一為長期淹灌下，土壤處於厭氧環境，有機質透過甲烷生成菌(Methanogens)被還原為甲烷，而淹灌時間越長，甲烷排放量越高；在同一期作比較下，整期作水稻田甲烷排放量，持續淹灌處理最高、慣行灌溉其次、間歇灌溉最低。本試驗另探討於慣行灌溉模式下，稻稈回歸稻田與否對稻田碳排之影響，慣行灌溉2023年第二期作的排放量為346 kg-CH₄ha⁻¹、2024年第一期作排放量為76 kg-CH₄ha⁻¹；稻稈移除處理則分別為27 kg-CH₄ha⁻¹和5 kg-CH₄ha⁻¹，本研究顯示稻稈移除可減少90%的甲烷排放。另依據IPCC預設方法一計算水稻田甲烷排放量，於本研究中進行相互比較，結果顯示，水稻台南11號種植於黏土之係數約為1.05。

關鍵字：水稻、甲烷、溫室氣體

前 言

全球暖化趨勢日益增加，歸因於溫室氣體的過量排放所致，受到全球暖化加劇，歐盟祭出碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，臺灣也成立臺灣碳權交易所(Taiwan Carbon Solution Exchange, TCX)，以期落實節能減碳的目標與期程，達成淨零排放的長遠目標，因應國際間即將開始課徵的碳費，臺灣陸續加緊對各產業訂定盤查與減量之標準。農業是溫室氣體排放的主要來源之一，但農業減碳及政策方案之準則卻尚未有一致的標準，其原因為農民的工作方式皆有些微差距與不同，較難訂定單一準則涵蓋所有耕作方式。

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1091 號。

² 農業部臺中區農業改良場研究助理。

³ 農業部臺中區農業改良場助理研究員。

⁴ 農業部臺中區農業改良場副研究員。

*通訊作者 Email：cyliao@tcdares.gov.tw

農業活動中排放的溫室氣體主要包含甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、二氧化碳(CO_2)三大類，溫室氣體排放源以水稻田為大宗，因其種植期間所產生的甲烷是農業溫室氣體排放的主要來源之一，目前水稻田甲烷的排放量約占臺灣農業部門溫室氣體排放量的六分之一。

根據聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所出版的碳排放計算指南，提供了水稻田溫室氣體排放量基本預測的計算式，為參考了眾多研究及學著觀點彙整而出，惟其需考量到不同地區的基本排放係數(Emission Factor, EF)，在乘上不同管理耕作方式的調整係數。在肥料用量方面，臺灣屬於集約化農業，依賴氮肥及其他肥料一同施用，以提高作物的生產力，學者研究了稻稈處理回歸稻田跟施用尿素之間的關係，發現稻稈回歸稻田會增加土壤微生物活性，促進甲烷生成菌(Methanogens)分解有機質，進而增加甲烷的排放量(Bhattacharyya et al., 2012)；灌溉管理方面，土壤如果是連續淹灌會大幅提升甲烷的排放量，水分管理採用間歇性灌溉(Alternate Wetting and Drying, AWD)會使甲烷排放較連續淹灌來的減少，進而減少溫室氣體的排放(黃等，2000；Gaihre et al., 2023)，透過全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)的換算，總計降低了77%的排放，其中又以間歇灌溉的處理方法能減少最多溫室氣體排放的二氧化碳當量(CO_2e)，同時也提高水稻水分利用效率，使水資源減少浪費，降低對環境的衝擊。

過去調查顯示本土水稻田甲烷排放量，依據地區或管理差異，北部約41.5-207 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ ，中部約2.2-105 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ ，南部約21.6-102 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ ，東部約12-188 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ ；國家清冊目前對於水稻田甲烷排放量計算(Yang et al., 2003；陳等，2024)據引用之資料與區域差異一期作22.5-95.3 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ ，二期作87.5-181 $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{season}^{-1}$ 。國內水稻耕作面積隨轉作政策及氣候變遷之影響，水稻面積漸減，整體水稻田甲烷排放逐漸降低，但目前國家清冊水稻田甲烷排放總量僅反應耕作面積，但隨大氣 CO_2 濃度逐漸增加、水稻品種改變、極端氣候影響，水稻生產亦有差異，水稻田甲烷排放應有所變化，甲烷排放總量計算不應只有水稻耕作面積一項活動數據。

本研究主要探討不同灌溉管理、有機質-即稻稈投入量、翻耕掩埋時間差異下，對於水稻田甲烷排放之影響，並以IPCC指南計算方法一為基礎(IPCC, 2019)，與水稻田間實際調查甲烷排放量進行比較，評估結果可做為未來本土碳排放係數建置或碳足跡計算之參考方法。

材料與方法

一、試驗田區配置與管理

試驗地點位於臺中區農業改良場試驗田(彰化縣大村鄉)，土壤分析結果顯示質地為黏土(砂粒12-16%，粉粒35-39%，黏粒47-53%)，酸鹼值約pH 7.6 (7.2-7.9)，有機質含量約2.75% (2.39%-2.95%)。試驗調查為2023年二期作及2024年一期作，使用水稻品種為目前中部地區栽

種面積較大之「台南11號」(農業部農業試驗所, 2024); 管理田區類型包含「持續淹灌(CF)」、「間歇灌溉(AWD)」、「慣行灌溉(CN)」、「慣行灌溉及稻稈移除(CN+SR)」等處理; CF為除曬田或收穫前外, 盡可能保持5 cm淹灌; AWD為插秧後, 採淹灌5 cm然後放乾至-15 cm交替; CN為插秧後盡可能5 cm保持淹灌至曬田, 曬田後為一般灌溉管理, 田區淹水放至土壤乾裂, 反覆至收穫前; CN+SR為慣行灌溉加稻稈移除處理; 除CN+SR外、2024年一期作之AWD外, 其餘為2重複試驗。

雖施肥可能影響甲烷排放, 但本研究參考農友慣行管理, 分為基肥、一追、二追及穗肥, 2023年二期作肥料三要素N : P₂O₅ : K₂O, 總施用量為265 : 115 : 110 (kg/ha), 2024年一期作N : P₂O₅ : K₂O, 施用量為255 : 60 : 80 (kg/ha), 依據田間水稻生長狀況與氣候調整施肥, 估計用肥量與農友之慣行管理相當。2023年水稻二期作, 8月7日水稻插秧至2023年11月22日收割, 總生育天數為107天; 2024年一期作, 2月20日插秧至2023年7月8日收割, 總生育天數為139天。

二、水稻田甲烷排放調查方法

本研究使用密閉罩法(Static Closed Chamber Method)結合攜帶式氣體分析儀, 進行水稻田甲烷排放調查(Zaman *et al.*, 2021)。使用之攜帶式氣體分析儀可量測甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)及水氣(H₂O) (Li-7810, LICOR, USA); 依據前人研究(Wassmann & Aulakh, 2000; 張與邱, 2023), 水稻田甲烷排放主要途徑之一為透過水稻植體釋出, 故量測時需罩住水稻植株; 配合水稻行株距所能罩住兩株水稻, 使用底座配合水稻行株距設計為30 cm × 30 cm, 壓克力頂罩配合底座長寬同為30 cm × 30 cm, 高度則依水稻生長期差異, 使用不同高度之頂罩, 包含30 cm、60 cm及90 cm, 頂罩高度60、90 cm組, 內部設置一5V小型風扇, 協助罩內氣體循環(圖一)。氣體分析儀以每秒一筆數據進行量測, 當頂罩罩上後, 若土壤有溫室氣體釋出, 罩內腔內濃度會逐漸累積上升, 透過計算此斜率即可得知氣體濃度增加情形, 再除以量測面積, 計算土壤及水稻釋出的甲烷排放, 計算公式如下:

$$Flux_{gas} = \frac{VP(1-W)}{RS(T+273.15)} \frac{dC}{dt} \quad (式一)$$

V : Chamber Volume, m³

R : Gas constant, Pa m³/k/mol = 8.3144598

T : Temperature, °C

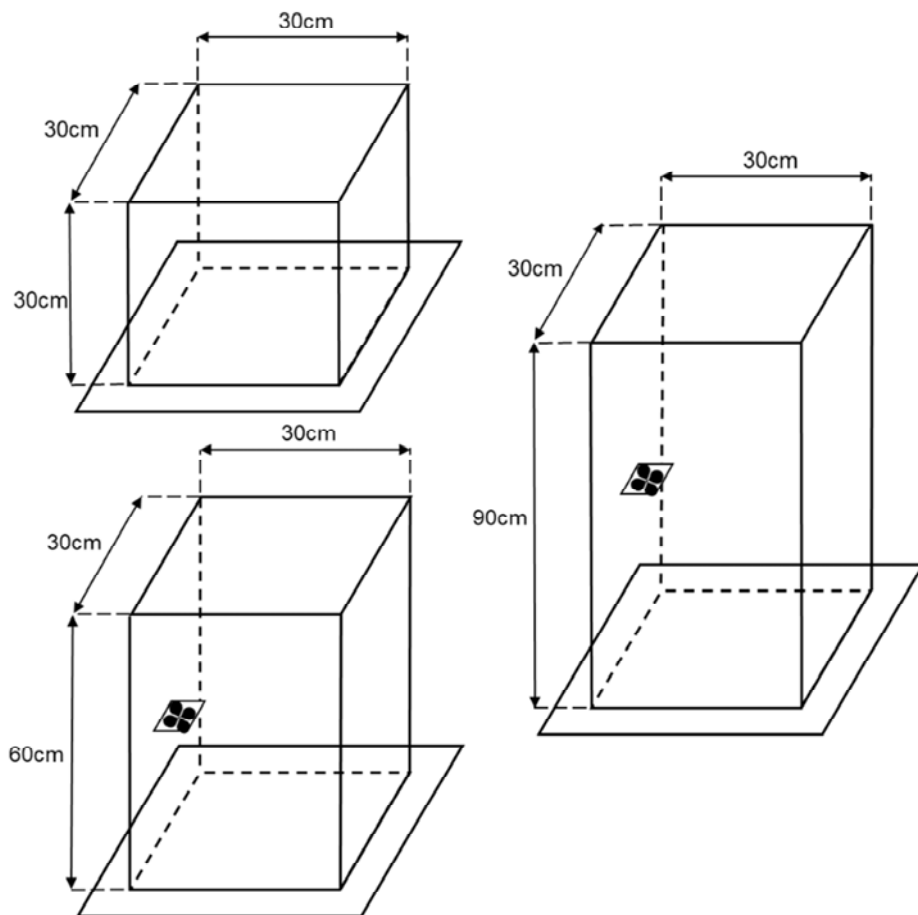
W : H₂O mol/mol

P : Pressure, Pa

S : soil area, m²

dC/dt : slpoe, μmol/mol/t ; ppm

Flux : μmol/m²/s



圖一、密閉罩設計圖。

Fig. 1. Design of chamber.

田區每週依據天候狀況調查1至2次，以追蹤水稻甲烷排放趨勢。依據前人及國內研究，甲烷因溫度差異排放有日夜變化，調查9至12點前後的水稻田甲烷排放值，可做為水稻田每日甲烷排放量調查代表(王等，1998；Jiang *et al.*, 2016)，本研究田間調查集中於每日9時至11時間，盡可能取得當日代表性數值，將總生育期調查的個別甲烷排放量相加，求得總排放量，並降低調查誤差，調查日期間甲烷排放量計算如下：

$$EM_i = \frac{(F_a + F_b) \times D_{ab}}{2} \quad (\text{式二})$$

EM_i = 特定期間的水稻田甲烷排放量， $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}$

F_a = 期間 a 日的甲烷日排放量， $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{day}^{-1}$

F_b = 期間 b 日的甲烷日排放量， $\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{day}^{-1}$

D_{ab} = 第 a 日至 b 日期間的天數

三、理論排放量計算排放參考

本研究參考IPCC 2019計算指南報告中，水稻田甲烷排放係數計算公式，即IPCC指南公式5.2 (Equation 5.2)，作為甲烷排放因子探討，其公式如下：

$$EF_i = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_s \times SF_r \times SF_o \quad (\text{式三})$$

EF_i = 每日排放係數($\text{kg-CH}_4\text{ha}^{-1}\text{day}^{-1}$)

EF_c = 基本係數，持續淹灌，未施用有機質之基礎情境；東亞地區基本係數值1.32，東南亞1.22，南亞0.85。

SF_w = 灌溉管理係數；依據管理類型選擇係數，持續淹灌 = 1，慣行灌溉參考單次排水數值 = 0.71，多次排水(即間歇灌溉，AWD)數值 = 0.55。

SF_p = 期作前田間淹灌管理係數；作前淹灌天數不超過30日，設為1，如淹灌介於30-180日係數為2.41，大於180日為0.89，如前兩期皆為旱作超過365日未淹灌係數為0.59。

SF_s = 土壤類型係數；地區建立係數，IPCC無建議值。

SF_r = 水稻品種係數；地區建立係數，IPCC無建議值。

SF_o = 有機物添加管理係數，詳如下述。

其中有機物添加管理係數(SF_o)公式如下，IPCC指南Equation 5.3：

$$SF_o = \left(1 + \sum_i ROA_i \times CFOA_i \right) \quad (\text{式四})$$

ROA_i = 有機物添加量，稻稈為乾基，其餘以濕重計算。

$CFOA_i$ = 轉換係數；稻稈耕作前30日內翻耕入土 = 1.00，如二期作田間管理方式；稻稈於耕作超過30日前翻入土係數為0.19，如一期作田間管理方式；其餘參考係數如堆肥係數為0.17...等。

四、土壤與環境調查

氣溫、氣壓與降雨等氣象資料來源為臺中區農業改良場之農業氣象站(測站編號72G600)。水稻田間之水位紀錄為田間挖開土壤後，埋設一打孔之6吋PVC水管，水管總長度30 cm，15 cm位於土面下，15 cm露出土面，人員進行田間管理或田間調查時量測水位高度，記錄水位。土壤氧化還原電位，使用手持式土壤氧化還原電位計(Lutron YK-23RP, Taiwan; Soil ORP Sensor: SWAP instruments, ORP 30-1-BNC, Netherlands)，每週調查一次以上或進行溫氣體調查時一併調查。

結果與討論

一、水稻田甲烷排放狀況

經由前人研究中(Krüger *et al.*, 2001; Le Mer & Roger, 2001)，水稻田甲烷排放主要途徑之一為透過水稻植體通氣組織釋出，本研究透過密閉式氣體分析法以測定水稻生長期間甲烷的排放量。調查結果顯示，水稻田在持續淹水約10日後，土壤氧化還原電位逐漸下降呈現還原狀態，依據研究調查，土壤氧化還原電位達到-150至-220 mV時，水稻田才會有顯著的甲烷排放(Qian *et al.*, 2022; 張等, 2024)。隨氣溫增加，約在20°C以上，甲烷排放會逐漸增加，當土壤溫度在34.5±0.5°C左右，甲烷排放量達到最高，高於此溫度甲烷排放反會明顯下降(Parashar *et al.*, 1993)。各處理之甲烷排放趨勢上，主要依據灌溉管理狀況，有不同排放趨勢，持續淹灌(CF)在曬田前後都有明顯排放，間歇灌溉(AWD)則在執行乾濕交替後，甲烷排放明顯降低(圖二)，在相同灌溉管理下，慣行灌溉(CN)及稻稈移除處理(CN+SR)排放趨勢相近，但有機質投入量不同，甲烷排放量有很大差異(圖三)。

二、不同灌溉管理下水稻的甲烷排放

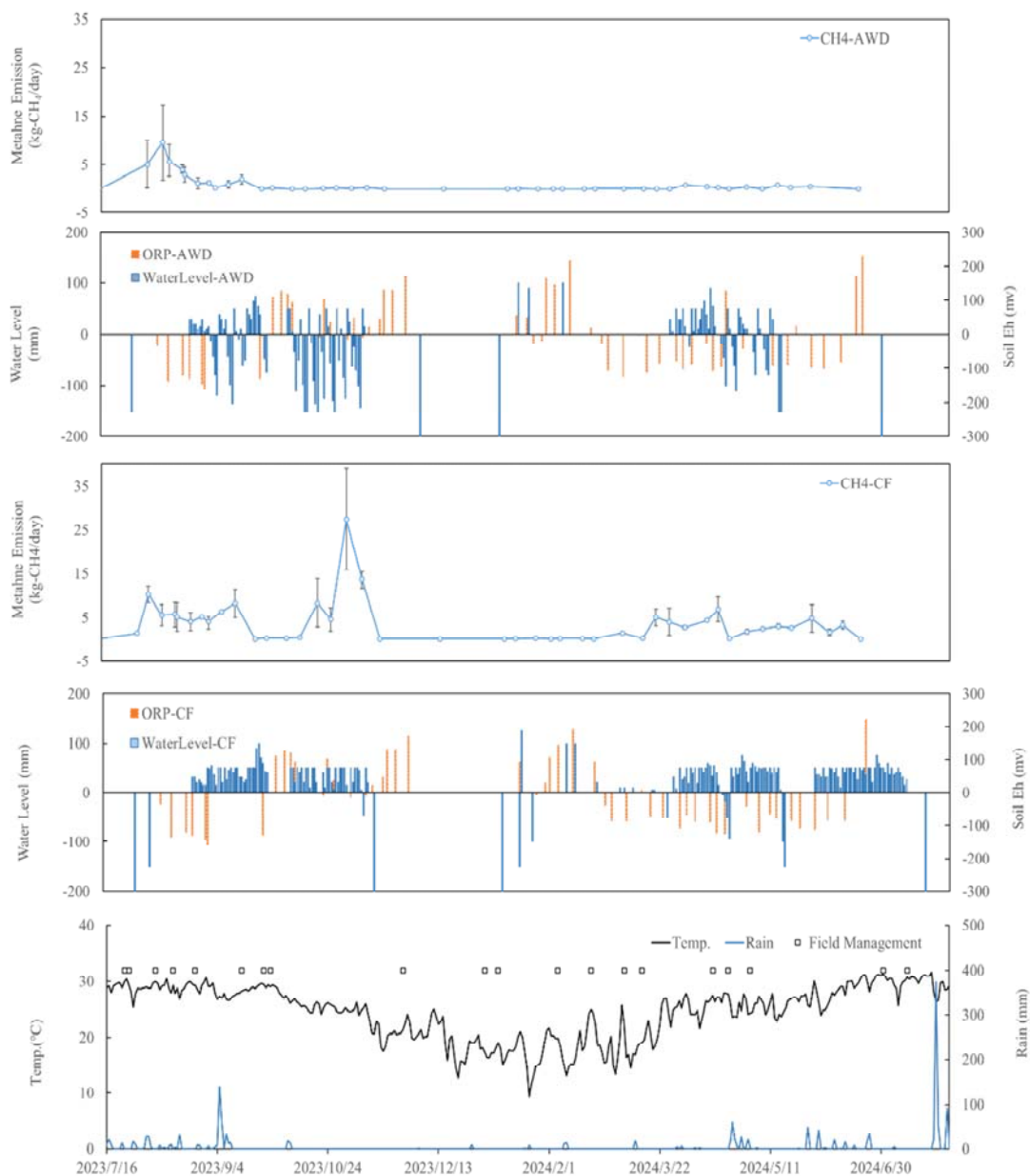
本研究中探討三種灌溉管理型態，包含「持續淹灌(CF)」、「間歇灌溉(AWD)」、「慣行灌溉(CN)」。CF為插秧到收穫前，除曬田與收穫前各約10日田區水分放乾外，其餘盡可能保持5 cm的水位淹灌；CN為插秧至曬田前，盡可能保持5 cm的水位淹灌，曬田後採灌溉管理，淹水5 cm後，退至土表面未積水；AWD為插秧約10日後，採5 cm淹灌後放乾至-15 cm，反覆交替至收穫前一至二週。調查結果，2023年的第二期作，CF排放量為676 kg-CH₄ha⁻¹，CN為346 kg-CH₄ha⁻¹，AWD為167 kg-CH₄ha⁻¹；在2024年的第一期作中，CF的排放量為317 kg-CH₄ha⁻¹，CN為76 kg-CH₄ha⁻¹，AWD為38 kg-CH₄ha⁻¹(表一)。水稻田甲烷排放主因為持續淹灌下，田間土壤呈還原態，在持續且高度還原時，有機質因微生物作用還原為甲烷，因此淹灌時間越長，甲烷排放越高，在CF處理中，單日量測之甲烷排放量最高可至25 kg-CH₄ha⁻¹day⁻¹以上；二期作前期，即曬田前，持續淹灌的管理下，甲烷排放量可達15 kg-CH₄ha⁻¹day⁻¹以上，不管是CF、CN或AWD處理，初期最大排放最高接近日排放量，在執

行不同灌溉管理之退水後，土表裸露後，氧化還原電位上升，甲烷排放量隨之下降；在同一期作而言，整體期作水稻田甲烷排放量，CF處理水田甲烷排放最高、CN其次、AWD最低。前人研究則顯示間歇灌溉水稻田甲烷排放量依據期作差異為持續湛水水稻田17%及58%，持續淹灌區甲烷排放為間歇灌溉區1.5-9倍(黃等，2000)。

就慣行灌溉(CN)，僅是水稻栽培管理推薦方法，農友田間管理上，可能因管理習慣、水利灌區調配或灌溉用水取得的難易，而有不同灌溉管理狀況，在實際灌溉管理CF、CN、AWD或介於之間的管理方式，皆有可能發生，惟目前無對應統計資料或執行比例，若需更精進提高本土甲烷排放量計算，未來可能須有對應訪查或統計。

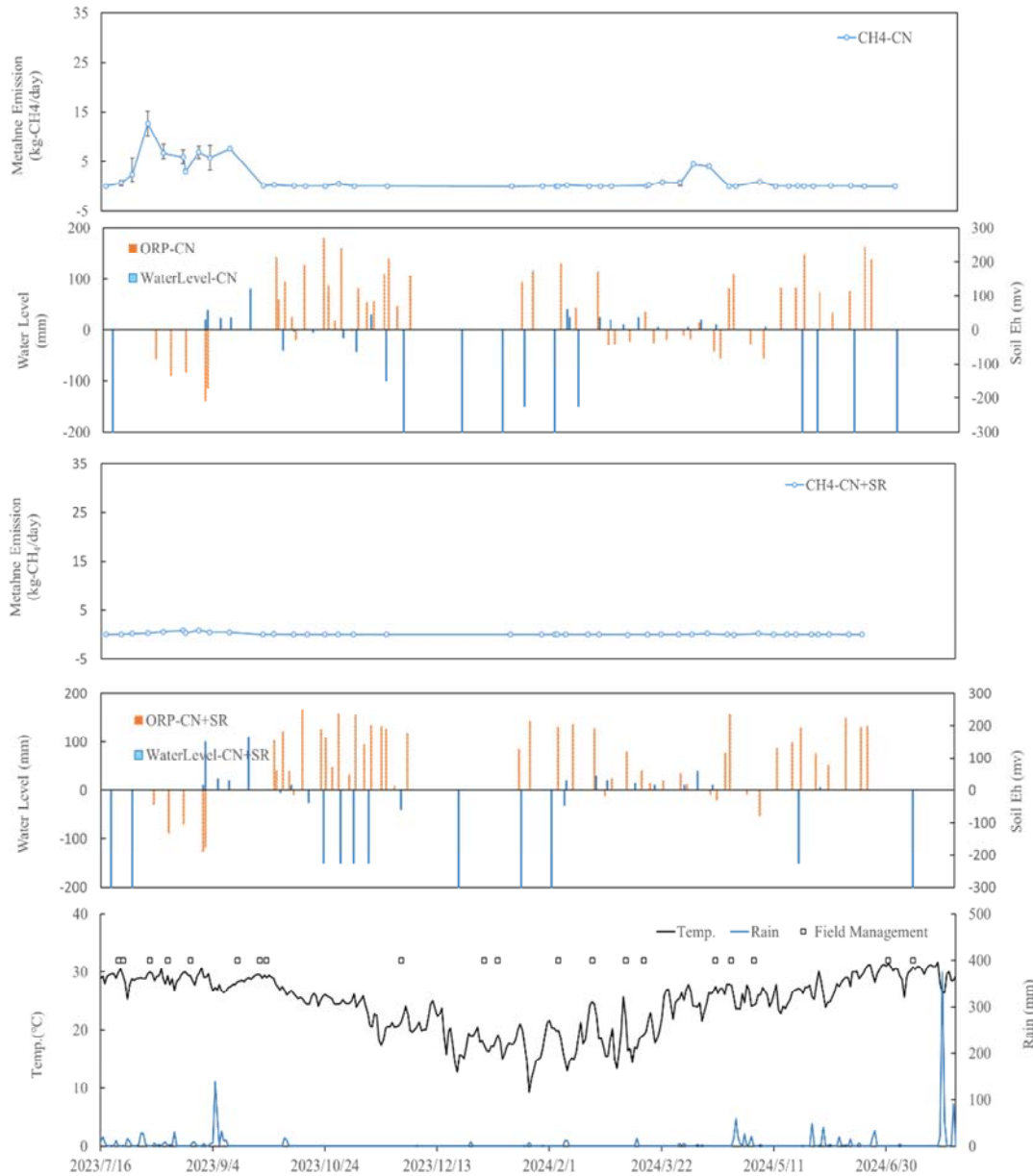
三、稻稈移除與翻耕掩埋時間點

在慣行灌溉(CN)及稻稈移除(CN+SR)處理之調查結果，CN處理2023年第二期作的排放量為346 kg-CH₄ha⁻¹、CN+SR 為27 kg-CH₄ha⁻¹；2024年第一期作CN處理的排放量為76 kg-CH₄ha⁻¹，CN+SR 為5 kg-CH₄ha⁻¹ (表一)。稻稈殘留下的有機質是水稻田形成甲烷主要的碳源，故移除稻稈減少碳源，可減少甲烷生成，試驗結果顯示甲烷排放量僅有相較於灌溉管理使用慣行管理排放10%以下，顯示稻稈移除可顯著降低甲烷排放。對於一、二期作碳源的稻稈回田投入量，因一期作產量高、稻稈殘留量高，二期作產量低、稻稈殘餘量低，因此在不同期作有不同碳源投入量，一般而言一期作殘留之稻稈會粉碎翻耕入土壤內，因此二期作的碳投入量會高於一期作，前人研究顯示稻稈掩埋平均約增加水稻田甲烷排放360%，增幅約19%-1100%(彭與黃，1998)。除碳投入量有很大差異外，另稻稈翻耕入土時間點亦有差異，如IPCC即定義不同稻稈翻耕入土的係數差異(IPCC, 2019)，臺灣中部地區，一期作收穫約在6月中旬至7月上旬，接鄰二期作的插秧在7月下旬到8月上旬，收穫切碎之稻稈翻耕入土到覆水插秧之時間，期程約在1個月內，一期作大量稻稈成為二期作水稻田甲烷生成的碳源；二期作收穫時間點多在11月間，而次年一期作多在2月間，故收穫切碎之稻稈翻耕入土時間到覆水插秧，期程相差2個月以上，二期作通常產量較低，碳源少，再加上翻耕入土之分解時間長，實務上農友為了加速稻稈分解，而進行田間灌水淹灌浸泡，但一期作前的氣溫時常低於20度，甲烷分解菌活性低，故一期作前期甲烷排放較低，直到4-5月氣溫升高，甲烷菌活性才會升高，若此時持續維持淹灌，甲烷就有大量排出可能，如本研究之CF處理，在曬田後的4-6月間，仍有5 kg-CH₄ha⁻¹day⁻¹以上排放量，但若為間歇灌溉管理，土壤無法保持還原態，甲烷排放量偏低，僅1 kg-CH₄ha⁻¹day⁻¹以下的排放量。



圖二、間歇灌溉(AWD)與持續淹灌(CF)水稻田甲烷排放量、水位、氧化還原電位、環境(氣溫、降雨)與田間管理時間圖。

Fig. 2. Alternate wetting and drying (AWD) and continuous flooding (CF) methane emissions, water level, redox potential, environmental factors (temperature, rainfall), and field operation timing via applying two different irrigation models as AWD and CF on rice paddies.



圖三、慣行灌溉(CN)與慣行灌溉並稻稈移除(CN+SR)水稻田甲烷排放量、水位、氧化還原電位、環境(氣溫、降雨)與田間管時間圖。

Fig. 3. Conventional irrigation (CN) and conventional irrigation with straw removal, (CN+SR) methane emissions, water level, redox potential, environmental factors (temperature, rainfall), and field management timing in rice paddies.

四、IPCC計算方法與實際田間調查甲烷排放比較

根據IPCC所出版的碳排放計算指南，水稻田甲烷量計算方法一(Tier 1)之每日排放係數計算方式為基本係數 $\times$ 灌溉管理係數 $\times$ 有機物添加管理係數 $\times$ 期作前田間淹灌管理係數；在IPCC 2019的細化指南報告中，方法二(Tier 2)為建議基於方法一(Tier 1)基礎上，建立當地土壤類型係數與水稻品種係數作為擴充。本研究比較實際調查與IPCC方法二之差異，建立本土擴充係數，研究水稻品種限於台南11號，土壤質地為黏土，建立之係數為「土壤類型係數 $\times$ 水稻品種係數」之整合係數。基於台南11號為梗稻，與日韓栽培品種較為接近，基本係數選用東亞係數值1.32；灌溉管理係數，依據試驗灌溉管理差異，CF設為1，CN參考單次排水0.71，AWD設為0.55；中部地區耕作前淹灌日數不超過30天，故各管理皆設為1；二期作田間管理，稻稈通常在耕作前30日內翻耕入土，CFOA_i設為1.00，一期作稻稈於耕作超過30日前翻耕入土，CFOA_i設為0.19；計算出日排放係數值後，乘以實際耕作天數，一期作139天，二期作107天，計算出各管理各期作排放量，如圖四與表一所示。將各管理與期作之調查之排放量與依據IPCC方法一計算值進行截距為零之線性迴歸比較，求得係數值1.0514、 $R^2 = 0.7890$ ；故「土壤類型係數 $\times$ 水稻品種係數」和擴充係數統一為1.05。

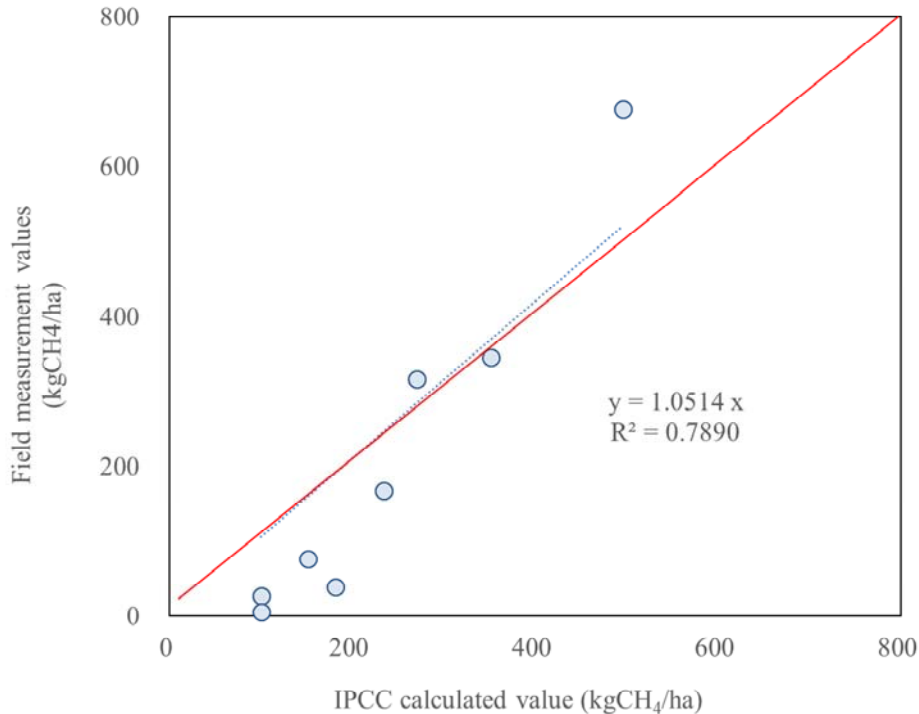
表一、不同管理量測之水稻甲烷排放量與 IPCC 方法一計算之甲烷排放量

Table 1. Methane emissions from different management measurements of rice and methane emissions calculated by the IPCC Tier 1

Treatment-year-crop season	SF _w	ROA ^{**}	CFOA _i ^{**}	SF _o ^{**}	Calculated Value*	Measurement
(kgCH ₄ /ha)						
CF-2023-2	1.00	7.40	1.00	3.51	496	676
CF-2024-1	1.00	3.94	0.19	1.39	271	317
AWD-2023-2	0.55	5.50	1.00	3.02	234	167
AWD-2024-1	0.55	4.92	0.19	1.48	181	38
CN-2023-2	0.71	7.40	1.00	3.51	352	346
CN-2024-1	0.71	5.27	0.19	1.51	152	76
CN+SR-2023-2	0.71	0.00	1.00	1.00	100	27
CN+SR-2024-1	0.71	0.00	0.19	1.00	101	5

*IPCC 2019 Tier 1 method ; EF_c = 1.32 ; SF_p = 1.00 .

**Refer to Formula 4 of this article.



圖四、不同管理之水稻田甲烷排放量與依據IPCC方法一計算甲烷排放量圖。

Fig. 4. Methane emissions from rice paddies under different management practices and methane emissions calculated based on the IPCC Tier1.

結論與建議

根據IPCC所出版的碳排放計算指南，提供了水稻田溫室氣體排放量基本預測的計算式，其需考量到不同地區的基本排放係數，以持續淹灌的水稻田甲烷排放最高，單次排水曬田之甲烷排放次高，若採用標準的間歇灌溉(AWD)，水位灌至5 cm定量灌溉後，再將水分管理退到低於土表下5 cm或更乾狀況，可減少甲烷排放達30%以上。在臺灣除特定地區外，目前多數水稻田間管理大多不會在耕作前進行長期淹灌。稻稈的分解是水稻田甲烷所產生之碳源，稻稈因翻耕埋入土壤時間點離耕作前越短則排放量越高，這也是臺灣二期作水稻田甲烷排放偏高的原因之一，前作剩餘稻稈殘株的移除，雖可以有效降低水稻田甲烷排放，但需要有再利用之用途或妥善的規劃，否則除了花錢費工之外，還可能在異地產生碳排、碳洩漏等非意欲排放。

本研究經由探討不同灌溉管理、有機質稻稈投入量與時間之差異下，對於水稻田甲烷排放之影響，對比IPCC指南計算之預測排放量，發現臺灣中部水稻田間甲烷排放量，除目前較

少見之連續淹灌的灌溉方式是高於預測值外，其餘不同田間管理之甲烷排放量，皆低於IPCC所預測，本研究評估結果可做為未來本土碳排放係數或碳足跡計算之參考方法。未來可以針對不同的處理方式產生的溫室氣體總量與產量間的關係透過投入及產出模型，模擬估算出最適方式，也可以針對不同品種水稻之溫室氣體排放進行研究。

誌 謝

本研究報告經由農業部112農科-14.1.1-農-C2(3)科技計畫補助經費，特此致謝。

參考文獻

1. 王銀波、趙震慶、譚鎮中、楊盛行、賴朝明、黃山內、劉瑞美。1998。作物生產對台灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施。氣候變遷對農作物生產之影響，121-140。
2. 張琇妍、邱淑媛。2023。水田甲烷現場量測的方法。花蓮區農業專訊，123，2-5。
3. 張琇妍、嚴國恩、黃浩銓。2024。利用田間栽培管理調節水田之溫室氣體排放。花蓮區農業專訊，127，2-7。
4. 陳琦玲、廖崇億、胡正宏、陳孟煥、林旻頡、蔡徵霖、莊秉潔、廖大經、王瑞章、張錦興。2019。臺灣中部水稻田甲烷排放量測與估算。亞熱帶生態學學會、臺灣長期生態研究網、臺灣通量研究網聯合年會。
5. 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，16，41-58。
6. 黃山內、林經偉、劉瑞美。2000。全期湛水與間歇灌溉處理對台灣水稻田甲烷釋放之影響。土壤與環境，3(3)。
7. 農業部農業試驗所 農業知識入口網。2024。優良水稻推廣品種種植面積表。
<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=54798>
8. Bhattacharyya, P., Roy, K. S., Neogi, S., Adhya, T. K., Rao, K. S., Manna, M. C. 2012. Effects of rice straw and nitrogen fertilization on greenhouse gas emissions and carbon storage in tropical flooded soil planted with rice. Soil and Tillage research. 124, 119-130.
9. Gaihre, Y. K., Bible, W. D., Singh, U., Sanabria, J., Baral, K. R. 2023. Mitigation of nitrous oxide emissions from rice-wheat cropping systems with sub-surface application of nitrogen fertilizer and water-saving irrigation. sustainability. 15(9), 7530.
10. IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Edited by E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau, S. Federici. Geneva. Switzerland: IPCC.

11. Jiang, Y., Tian, Y., Sun, Y., Zhang, Y., Hang, X., Deng, A., Zhang, J., Zhang, W. 2016. Effect of rice panicle size on paddy field CH₄ emissions. *Biology and Fertility of Soils*, 52, 389-399.
12. Krüger M., Frenzel P., Conrad R. 2001. Microbial processes influencing methane emission from rice fields. *Global Change Bio.* 7,49–63.
13. Le Mer J., Roger P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *Eur. J. Soil Bio.* 37,25–50.
14. Parashar, D. C., P. K. Gupta, J. Rai, R. C. Sharma, N. Singh. 1993. Effect of soil temperature on methane emission from paddy fields. *Chemosphere*. 26, 247–250.
15. Wassmann, R., Aulakh, M.S. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biology and Fertility of Soils*. 31, 20-29.
16. Qian, H., Chen, J., Zhu, X., Wang, L., Liu, Y., Zhang, J., Deng, A., Song, Z., Ding, Y., Jiang, Y., Groenigen, K. J., Zhang, W. 2022. Intermittent flooding lowers the impact of elevated atmospheric CO₂ on CH₄ emissions from rice paddies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 329, 107872.
17. Yang, S. S., Liu, C. M., Lai, C. M., Liu, Y. L. 2003. Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990–2000 in Taiwan, *Chemosphere*, 52, 1295-1305.
18. Zaman, M., Heng, L., Müller, C., Chang, Albertob S.C. 2021. Measuring emission of agricultural greenhouse gases and developing mitigation options using nuclear and related techniques. *Springer Nature*. 337.

Investigation of Methane Emission Factors from Paddy Fields in Central Taiwan¹

Cheng-Han Yu ², Chong-Yi Liao ^{3*}, Yi-Chien Wu ⁴ and Zhi-Xiu Guo ²

ABSTRACT

The greenhouse gas emissions from agricultural activities are mainly divided into three categories: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). The methane produced during the rice cultivation period is one of the main sources of agricultural greenhouse gas emissions. This study investigates the effects of three irrigation management types: continuous flooding, conventional irrigation, and intermittent irrigation on methane emissions from paddy. The survey results show that in 2023 second crop season, the emissions for continuous flooding was 676 kgCH₄/ha, conventional irrigation was 346 kgCH₄/ha, and intermittent irrigation was 167 kgCH₄/ha. In 2024 first crop season, the emissions for continuous flooding was 317 kgCH₄/ha, conventional irrigation was 76 kgCH₄/ha, and intermittent irrigation was 38 kgCH₄/ha. One of the main reasons for methane emissions during rice cultivation is that under long-term flooding, organic matter is reduced to methane, and the longer the flooding duration, the higher the methane emissions. For the same crop season, the overall methane emissions from rice paddies were highest in the continuous flooding treatment, followed by conventional irrigation, and lowest in intermittent irrigation. In this research, conventional irrigation and straw removal treatments, the emissions for conventional irrigation in the 2023 second crop season was 346 kgCH₄/ha, and was 76 kgCH₄/ha in the 2024 first crop season; the straw removal treatment was 27 kgCH₄/ha and 5 kgCH₄/ha, respectively. The straw removal can reduce methane emissions by 90%. Additionally, according to the IPCC default method for calculating methane emissions from rice cultivation, which is applicable in this study, the local expansion coefficient for clay texture and Tainan No. 11 rice is approximately 1.05.

Key words: paddy, methane, green house gas

¹ Contribution No. 0000 from Taichung DARES, MOA.

² Research Assistant of Taichung DARES, MOA, Taiwan, ROC.

³ Assistant Researcher of Taichung DARES, MOA, Taiwan, ROC.

⁴ Associate Researcher of Taichung DARES, MOA, Taiwan, ROC.

*Corresponding author, Email: cyliao@tcdares.gov.tw