

# 減少水稻田甲烷排放之可行措施

林鈺荏（助理研究員）

## 前言

因應氣候變遷嚴重影響著全球各產業運作及經濟，國家發展委員會於 2022 年 3 月 30 日舉行「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」聯合記者會，說明規劃 2050 年全臺灣溫室氣體的淨排放量為零（[https://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76](https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76)）。農業部門除畜牧業外，就以糧食作物的水稻種植面積最大，且經研究顯示，水稻田由於長期湛水，使厭氧微生物（甲烷菌）產生大量甲烷排放至大氣中（7~17% 來自水稻田）。而甲烷是造成全球化的主要溫室氣體之一，影響暖化的潛勢是二氧化碳的 27.9 倍（資料來源：IPCC AR6 政府間氣候變化專門委員第六次評估報告），而全球水稻田每年將產生約 20~150 公噸的甲烷。因此，若從水稻耕作體系著手，優先減少甲烷排放，相信臺灣農業部門的淨零排放目標期程可以提前。

本篇以科學期刊資料為據，說明 1. 移除稻稈 2. 施用生物炭 3. 乾溼交替間歇灌溉三種作法，監測甲烷排放之效果，並分析操作成本，提供農友減少甲烷排放之可行措施。

## 移除稻稈

### 一、作法背景

由於農村人口老化缺乏勞動力，因此稻農很少將稻稈另外蒐集應用，加上水稻栽培多以密集的兩期作方式，最終透過田中焚燒

方式，加快清除並將稻草混入土壤後整地，然而露天焚燒常排放有毒物質，例如一氧化碳、碳氫化合物、揮發性有機化合物和可吸入細懸浮微粒（PM2.5）影響空氣品質。於 2006 年訂「空氣汙染防制法」環保法規，並明訂燃燒稻草罰則，並推廣稻草掩埋技術，然而水稻種植前的作物殘體是田區重要碳源，可刺激土壤微生物活動，因此管理插秧前的稻稈翻耕還田操作，常會加劇土壤甲烷排放。目前以全臺 111 年水稻收穫面積 238,701 公頃來算，每公頃可產生約 3,437.5 公斤稻草，當年度即產生 820,534.7 公噸稻草，若換算稻草掩埋所產生的甲烷約 18.7 萬公噸。

### 二、減少排放之效果

2012 年 Bhattacharyya 等研究者在印度東部的熱帶地區種植水稻品種 Gayatri，並於插秧前將稻稈翻耕土裡，試驗的整期作維持水深 6 公分左右直到收穫前 12 天放乾，並統計整個生長期甲烷排放量差異，結果稻稈還田的作法甲烷排放量每公頃增加了 22.8 公斤，另外，在 2017 年北越南試驗的 Tariq 等學者，比較收割後稻稈全部還田與 60% 還田的甲烷排放量，其種植期間水分管理與臺灣相似，而最後以全部還田排放量較高（一期作每公頃 92.1 公斤；二期作每公頃 486.5 公斤），若減少稻稈還田，則一期作可減少 1.4 公斤／公頃的甲烷排放，二期作更減少 234.2 公斤／

公頃，可見移除稻稈對於減少溫室氣體排放是有幫助的。

### 三、操作成本

對於水稻栽培幾乎完全機械化的臺灣，移除稻稈於水稻栽培體系中屬於需增加成本的操作，然而除了人力捆紮之外，目前已有曳引機附掛式的稻草捆包機，且已有代耕業者普遍服務於全臺水稻主要產區，傳統人力於稻稈濕潤狀態，即捆紮並豎立田區曬乾，每分地 1 個人需要 8 小時完成，雇工 1 個人 2,000 元／8 小時；機械捆包每分地耗時 1 小時，代捆包 1 分地 800 元，兩者換算 1 公頃分別花費 20,000 元／人力及 8,000 元／機械，因此透過機械捆包可有效率的移除收穫後稻稈（圖一），達減少溫室氣體排放的效果。



圖一、機械捆包（上圖）與人工捆紮（下圖）稻稈之比較。

## 施用生物炭

### 一、作法背景

生物炭是有機物在厭氧環境下，經過高溫（300°C~900°C）炭化後的產物，具作物栽培有益的生物炭所炭化的溫度區間為 500°C~600°C，農田施用生物炭是變相地將二氧化碳固定到土壤中，由於生物炭具備長時間不被分解的特性（500 年~1000 年），因此這也是目前農耕操作中，將碳封存起來的最快方法，而且由於生物炭的多孔隙特性，不僅可改善土壤通氣性、提供甲烷氧化菌棲息空間、增加土壤甲烷氧化量而減少甲烷排放，更可吸收養分增加土壤保肥力改善土壤健康，若配合肥料使用，可以提高肥料利用效率，並減少浸出和揮發造成的養分損失，有提升作物產量效果。

### 二、減少排放之效果

2019 年 Towprayoon 等於泰國水稻產區進行田間試驗，並於插秧前施用 1 公噸／分地（約 0.5%）的生物炭，生長期間以湛水方式管理，結果生物炭處理的平均甲烷排放量為 237 公斤／公頃，比未添加處理 266 公斤／公頃減少了 29 公斤／公頃，另外，南韓的研究者 Kim 等，於 2017 年則於插秧前施用 2 公噸／公頃稻殼炭（約 0.1%）進行試驗，結果甲烷累積量比當地慣行的處理減少 53.6 公斤／公頃，因此添加生物炭在水稻栽培上，確實可減少甲烷的排放（圖二）。

### 三、操作成本

生物炭於臺灣市面上的價格及用量不一，價格從每公斤 20~30 元不等，用量則介

於 1%~10% 之間，而從前述其他國家的研究顯示添加 0.1%（200 公斤／分地）即可達到減少甲烷排放效果，換算成本每公頃至少需要增加 40,000 元。臺灣有關生物炭研究已行之有年，但由於目前製造方法仍無標準化規定且炭化料源也不一致，因此在挑選使用上應多加留意，若使用來源或製程不明之炭，反而容易使農田發生重金屬及有毒化學物質汙染。



圖二、稻殼炭之外觀（上圖引用自 <https://www.newsmarket.com.tw/blog/85967/>）與竹炭（下圖）施用於田間狀況。

## 秧苗期排水或間歇灌溉

### 一、作法背景

由於甲烷是厭氧土壤條件下有機質分解的最終產物，因此水稻田的水分管理，是針對甲烷排放最常研究的主题。許多研究表明，在水稻生長期透過期中排水或間歇灌溉，可以中斷土壤還原狀態，進而減少甲烷排放，此操作也有其他好處，包括減少無效分蘖、降低硫化氫等有毒物質釋放、防止缺氧導致根腐病及減少用水量。

### 二、減少排放之效果

丹麥哥本哈根的研究團隊 Islam 等，在 2018 年比較不同灌溉方式的水稻甲烷排放量，其中一種灌溉方式與臺灣習慣的曬田管理方式類似，其甲烷排放量為 121 公斤／公頃，另外兩種灌溉方式，除了曬田排水之外，增加了插秧後排水 3 天及插秧後排水 7 天的試驗，相對的甲烷排放量為 54 公斤／公頃及 22 公斤／公頃，而於 2021 年印度的 Cowan 等研究者將水稻分成持續淹水及間歇性淹水 2 種灌溉方式進行處理，最後，間歇性淹水的甲烷排放量比持續淹水少了 2.6 公斤／公頃，可見單純透過灌溉管理，即可減少水稻田的甲烷排放。

### 三、操作成本

臺灣各地水稻栽培都有曬田習慣，因此相較其他習慣長期淹水栽培方式的國家，甲烷排放量已經減少，若是能更進一步精準管理水分，除了減少溫室氣體排放量，更達到節約水資源效益，而水稻種植期間的灌溉水，幾乎都來自灌溉溝渠，除遭遇如 2021 年全臺灣發生的嚴重水資源缺乏事件外，灌溉水源成本幾乎為零，唯需多負擔巡田交通燃料費，

因此臺灣水稻田若要減少甲烷排放，水分管理算是最容易操作的方法。近年稻作智慧技術發展中，利用水分自動監控及遠端手機操控等，可以取代傳統巡田作業，惟其成本目前屬偏高，且受現場灌溉溝渠條件的需求標準限制，尚待未來相關研發的努力。

### 結語

近年氣候變遷導致天候異常越顯頻繁，使減少溫室氣體排放成為改善困境的目標，其中農耕生產雖非主要排放源，但透過簡單的操作改變，即有減少排放之效果，其中又

以水稻的種植面積最廣，若全體執行相關減少排放措施，對於減少甲烷的排放量將很可觀。本篇探討的減排措施以稻稈移除減排效益最高（表一），可推薦為減少水稻田甲烷排放的栽培措施。目前國際間關於減少水稻田甲烷排放的科學報告不下百篇，本文僅呈現少數報告結果，目的為傳遞減少溫室氣體排放之可行做法，由於農田溫室氣體排放明顯受到氣候、翻耕、施肥方式、肥料種類、土壤母質等影響，因此相關減量數值僅供趨勢參考，並非絕對。

表一、減少水稻田甲烷排放之成本效益分析

項次	措施內容	增加成本 (元)	減少甲烷排放量 (公斤/公頃)	減排效益 <sup>a</sup> (%)
1	稻稈移除	8,000 <sup>b</sup>	128.5	1.60
2	施生物炭	12,000	41.3	0.34
3	秧苗期排水或 間歇灌溉	2,000 <sup>c</sup>	26.2	1.30

註：<sup>a</sup> 減排效益：減少甲烷排放量 ÷ 增加成本 × 100；<sup>b</sup> 以機械捆包為例；<sup>c</sup> 交通燃料：1,000 元 × 2 期作。