

我國稻作農廢露天燃燒排放係數建置與排放量之推估

蔡志賢，景丰科技股份有限公司 協理
謝祝欽，雲林科技大學環境與安全衛生工程系所 教授
黃文綺，雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所 碩士
郭箴誠，景丰科技股份有限公司 專案經理
楊于昕，景丰科技股份有限公司 專案經理
洪湛詰，景丰科技股份有限公司 工程師

一、前言

露天燃燒為臺灣農業稻作廢棄物常見之處置方式，稻梗露天燃燒為我國長期重要之空氣污染物排放來源，因此合理估算其污染物排放量將為空氣污染管制重點一環。然而農業廢棄物露天燃燒屬於不定區域固定污染源空氣污染物排放，特性為行為發生可能廣泛散見於多處、燃燒物屬性不完全一致且單次及合計燃燒量無法控制，故排放量推估並非易事。

水稻田收穫後之稻梗農廢，會因農民習慣、當地農作特性等不同理由，以數量不等之方式採取露天燃燒去化，因此其排放量估算無法以監、檢測方式進行，通常會使用排放係數法推估，即為排放係數與活動強度相乘，因此排放係數與活動強度之準確性與代表性影響排放量甚大。

農廢稻梗露天燃燒排放係數建置，有以下幾項重要技術難點：(1) 主要燃料為稻梗，不同品種稻梗及燃燒時稻梗中含水率，都會影響燃燒時污染物可能之排放濃度；(2) 稻梗露天燃燒為開放式燃燒，燃燒狀態經常為不完全燃燒，每次燃燒過程之溫度與助燃劑（空氣）供給量都不盡相同，不易於實驗室再現；(3) 自然環境開放式燃燒，污染物傳輸隨時因風速風向改變，排放濃度採樣非常困難。傳統露天燃燒排放係數建置方式多為實驗室燃燒艙取樣，但燃燒艙採樣無法完整表現露天燃燒特性，因此本研究改良排放係數試驗過程，以半開放式隧道模擬稻梗真實露天燃燒特性。

二、研究方法

1、排放係數試驗方法

為模擬真實環境中稻梗露天燃燒環境，本研究以半開放式隧道建立採樣系統，將定量稻梗置於室外空地自由燃燒，以風扇系統送風模擬環境風場，架設棚架隧道控制污染物傳輸方向，並經預實驗方式測試各採樣參數（如：稻梗燃燒時間及溫度、煙流分布及高度、稻梗燃燒位置等）最適條件，最後於具燃燒源後端水平距離 8 m、垂直高度 1.5 m 處進行氣狀污染物（CO、NO_x、SO_x、THC、NMHC）及粒狀污染物（TSP、PM₁₀、PM_{2.5}）採樣（如圖 1 所示）。

2、活動強度估計方法

全國性全年稻梗廢棄物總燃燒量，不可能有精確統計數字，因此本研究是以全年總廢棄稻梗量中以露天燃燒作為去化之比例進行估計。去化比例之取得，本研究比較傳統人員巡察判識法、衛星圖像辨識法、及農政單位非燃燒去化比例扣除法的不確定性及差異。傳統人員巡察判識法是由各縣市環保局稽巡察人員，於轄內進行農地是否進行燃燒行為之目視判斷，本研究比對歷年經由環保署排放量管理計畫統計之各縣市稽巡察記錄，結果顯示該方法人為主觀性過強，不同巡察人員之判識認定標準不一，經常導致數據前後年差異性過大。本研究同時參考以國內衛星實拍照片，辨識農地是否經稻梗現地燃燒去化之研究，研究顯示農廢稻梗燃燒非一次性行為，普遍見於一、二期稻作施作期間空檔，以衛星照片進行判識需輔以農作空檔期間之大量連續日衛星圖像，所耗之資源過於龐大。本研究亦透過農政單位，取得農政單位稻草處理方式及數量統計，該統計之燃燒比例是以扣除法計算，基於將所有水稻田耕地，扣除已知補助或輔導之非現地燃燒稻梗去化方式，如就地翻掩埋、作物栽培覆蓋、堆肥等其他稻作農廢處理作業方法，剩餘之農地認定為未妥善處理（燃燒）面積。

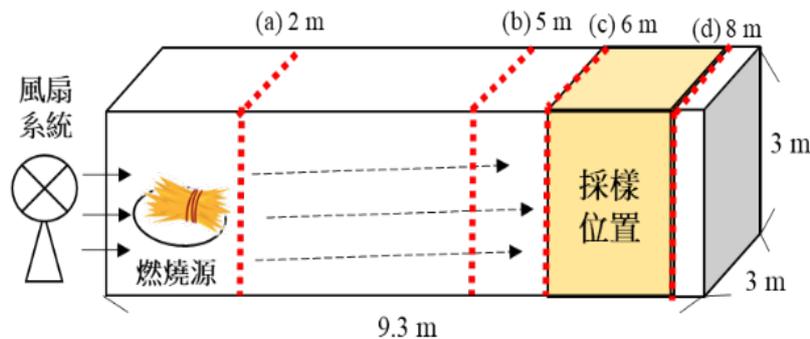


圖 1 半開放式隧道採樣系統示意圖

3、排放量推估方法

臺灣稻作每年兩次收成，故稻作露天燃燒排放量依本土稻作收成兩期別分別推估，本研究推估方法如下：

$$\text{各期稻作露天燃燒排放量} = \text{各期作收穫面積} \times \text{各期作燃燒比率} \times \text{燃燒負荷係數} \times \text{排放係數}$$

其中，稻作收穫面積及燃燒比率，根據行政院農委會農糧署各縣市 2019 年稻作收穫量資料及「稻草處理方式及數量統計表」資料引用；燃燒負荷係數則根據本土文獻（周楚洋，1997）設定，為每 1 公頃耕地產生 6 噸之農業廢棄物量；排放係數則採用本研究以半開放式隧道採樣系統測量分析之數據。

三、結果與討論

1、排放係數檢測結果

本研究以半開放式隧道採樣系統測量稻梗露天燃燒排放係數之結果如表 1 所示，試驗分為高量燃燒（單次 3 公斤以上）及少量燃燒（單次 0.5 公斤以下），各進行 3 次試驗，取最終綜合平均。

氣狀污染物部分，3kg 稻梗 CO、NO_x、NO、SO_x、THC 及 NMHC 之 3 次採樣平均排放係數分別為 90.1±23.4、5.3±0.4、3.3±0.8、3.3±0.9、12.0±0.7 及 7.9±0.4 (g kg⁻¹)，其中以 CO 變異最大，推測與稻梗堆疊型式（鬆散或緊密）不同有關。而 0.5kg 稻梗 CO、NO_x、NO、SO_x、THC 及 NMHC 之 3 次平均排放係數分別為 30.3±8.8、5.2±0.7、2.7±1.3、1.0±0.4、5.0±0.2 及 2.9±0.1 (g kg⁻¹)。

粒狀污染物部分，本研究分析結果顯示，3kg 稻梗 TSP、PM₁₀ 及 PM_{2.5} 排放係數分別為 15.9±2.7、15.1±2.7 及 7.3±1.2 (g kg⁻¹)，0.5kg 稻梗 TSP、PM₁₀ 及 PM_{2.5} 排放係數則分別為 28.4±7.4、26.8±7.3 及 12.5±4.5 (g kg⁻¹)。

本研究之稻梗露天燃燒排放係數平均結果與歷年國內外研究及國內外排放清冊數據之差異（行政院環境保護署，2020），如圖 2 所示。本研究之排放係數與歷年國內外彙整結果尚屬接近，惟粒狀污染物略有差異，推測其差異原因為國內以往模擬燃燒試驗方式不同，屬燃燒爐、模擬艙室等方法，導致排放係數未能反應開放式燃燒之不完全燃燒現象。

表 1 分組稻梗燃燒空氣污染物排放係數

稻梗重量	採樣次數	CO	NO _x	NO	SO _x	THC	NMHC	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
		g kg ⁻¹								
3kg	第 1 次	63.2	5.0	2.5	2.4	12.3	7.7	16.4	15.4	8.2
	第 2 次	106.8	5.7	4.0	3.7	12.4	8.3	18.3	17.5	5.9
	第 3 次	99.9	5.1	3.6	4.0	11.2	7.7	13.0	12.2	7.7
	平均	90.0 ±23.4	5.3 ±0.4	3.3 ±0.8	3.3 ±0.9	12.0 ±0.7	7.9 ±0.4	15.9 ±2.9	15.1 ±2.7	7.3 ±1.2
0.5kg	第 1 次	35.9	4.6	1.6	0.8	5.2	2.8	20.0	18.4	7.3
	第 2 次	34.8	5.0	2.6	1.3	5.1	3.0	31.1	29.8	15.1
	第 3 次	20.2	6.0	4.1	—	4.8	2.8	34.0	32.2	15.1
	平均	30.3 ±8.8	5.2 ±0.7	2.7 ±1.3	1.0 ±0.4	5.0 ±0.2	2.9 ±0.1	28.4 ±7.4	26.8 ±7.3	12.5 ±4.5

註：— 代表無效數據(儀器分析呈負值，排除計算)。

2、活動強度判定

經比較各項估算燃燒面積可行方式後，本研究認為以扣除農政單位非燃燒去化比例作為當年度燃燒比例，是最具統計意義且數據長期穩定結果，且排除過多人為主觀判斷，因此於本研究予以使用。

3、排放量計算

根據 2019 年各縣市一、二期稻作收穫面積、燃燒比例、燃燒負荷係數，及本研究以半開放式隧道測量之稻梗露天燃燒排放係數結果，推估 2019 基準年全國一、二期稻作農廢露天燃燒排放量，全國稻作收穫面積共 270,066 公頃，各縣市燃燒比率由 0% 至 28.05% 不等，全國加權平均燃燒比率約為 2.13%，排放量推估結果如表 2 所示。

表 2 2019 年全國稻田農廢燃燒排放量

稻作期別	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	THC	NMHC	CO
單位：公噸/年								
一期	391	369	174	43	92	161	95	1,062
二期	369	349	165	41	87	152	90	1,003
合計	760	718	339	84	179	313	185	2,065

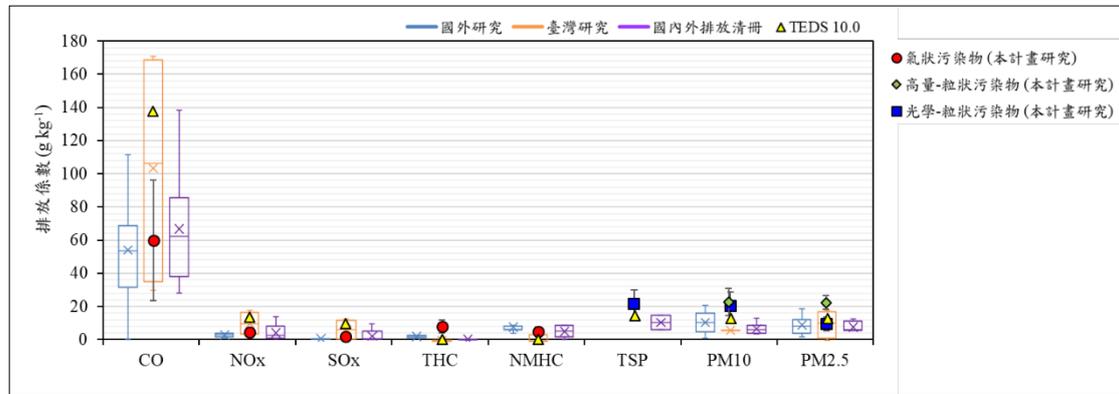


圖 2 本研究與國內外稻梗露天燃燒排放係數彙整比較

四、結論

- 1、本研究稻梗露天燃燒試驗，為國內首次採用模擬自然環境半開放式隧道測試，檢測隧道出口濃度後以通量方式計算排放係數。本研究試驗證明該方法可行，不僅於露天燃燒時可模擬自然環境，檢測與計量方法亦可廣泛應用於各種面污染逸散排放源排放係數估計。
- 2、本研究活動強度引用自國家農政單位統計數據，除提高排放量計算之可信度外，同時也可提高環保單位對水稻田廢棄物處理方式之掌握，對空氣污染管制策略擬定具一定意義。本研究排放量估算方法學，同步被收錄使用於國家空氣污染物排放清冊 TEDS 基準年 2019 年版本內（行政院環境保護署，2022）。

誌謝

本研究相關資源係由行政院環境保護署全面支持協助，本研究排放係數試驗方法，由國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系(所)傳輸與環境應用材料實驗室師生開發與驗證分析，特此感謝。

參考文獻

1. 周楚洋，台灣農業廢棄物之現況與處理對策 (I) 農作廢棄物，國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所，國科會研究計畫編 NSC84-2321-B002-099，1997。
2. 行政院環境保護署，排放清冊先期作業資料建置及質損估算(第二年)，專案工作計畫期末報告，2020。
3. 行政院環境保護署，排放清冊先期作業資料建置及質損估算，專案工作計畫期末報告，2022。