

水田土壤有機碳庫的標準化基線估算與不確定性

許奕婷 & 莊愷瑋 *

國立中興大學農藝學系

* E-mail: kwjuang@dragon.nchu.edu.tw / Tel: 04-22840777 ext. 508

關鍵詞：土壤碳匯、雙期水稻、水旱輪作、
碳庫基線、最小可偵測差異



一、背景

土壤有機碳庫基線(organic carbon stock baseline)是評估農耕技術貢獻土壤碳匯效應的基準值，所謂土壤碳匯(soil carbon sequestration)是指相較於基線可顯著增加之碳庫量，因此標準化碳庫基線是確效土壤碳匯不可或缺的依據。

目前，決定土壤有機碳庫基線之方式分為：直接量測計算和間接模擬估算，前者較適合小尺度農地或田區尺度之土壤空間變異直接受人為管理所影響，而後者較適合應用於區域性農耕政策和氣候條件差異造成之影響。換言之，調查評估範圍較小者(數至數十公頃內)，土壤均質性高之目標區以直接量測計算為佳；若田區土壤的變異性大，或目標區範圍廣闊(百至數百公頃以上)且空間變異涵蓋氣候條件和土地使用之差異，當以有限直接量測資料結合間接模擬方式，可更精準估算碳庫基線並可有效率評估不確定性。

二、動機

水稻是亞洲國家最重要的糧食作物，主要產區涵蓋：中國、印度、印尼、孟加拉、越南、泰國、緬甸、菲律賓和日本等，是全球水稻田分布最密集的區域。由於水稻栽培過程保持土壤長期湛水，不但提供地下水補注之重要來源、穩定地表溫度、生物棲地和生態服務價值等功能，也間接降低土壤養分流失和有機質分解，故對促進土壤碳匯具顯著功能。然而，因長期湛水的厭氧反應，也促成甲烷氣體的排放而對加速溫室效應有所貢獻，故目前已有大量研究提出改以間歇湛水降低甲烷排放之措施，在臺灣也已有相當具代表性之研究提出，但相對是否影響既有水田土壤碳匯之功能，卻未同時進行確切的評估說明。為確保水田管理方式可持續提供有效之土壤碳匯、水資源保育及生態價值等功能，建立水田土壤碳庫量之基線標準供未來農地管理政策評估，刻不容緩。

三、目的

因應臺灣中南部水田耕作制度和區域氣候差異，除雙期水稻區，亦有大面積之水旱輪作和不定期休耕農地，若非依賴密集採樣調查，則無法有效可靠決定不同田區土壤有機碳的基線。為降低決定水田土壤有機碳庫基線之採樣調查成本，本研究以台中市霧峰區、雲林縣斗南鎮和嘉義市等不同水稻產區為例，提出各區域內田區尺度的標準化土壤碳庫模式，並以誤差均方根(RMSE)說明碳庫基線的不確定性。

四、材料與方法

4.1 研究區分佈與基本資料

區域	田區管理	面積 ha	取樣數 n	有機碳 OC %	總體密度 BD g cm ⁻³	土壤碳庫 OCS (20 cm) Mg ha ⁻¹
台中市霧峰區	有機	0.6	48	0.77 ^a (0.34) ^b	1.54 (0.21)	22.5 (7.2)
	慣行	0.4	24	0.62 (0.24)	1.50 (0.27)	17.4 (4.6)
	輪作	0.8	40	0.91 (0.35)	1.52 (0.16)	27.1 (10.2)
	慣行	0.6	40	0.87 (0.25)	1.42 (0.15)	24.4 (6.2)
雲林縣斗南鎮	有機	0.4	40	1.52 (0.49)	1.40 (0.18)	41.4 (11.5)
	慣行I	0.1	32	0.97 (0.29)	1.56 (0.11)	29.9 (7.8)
	慣行II	0.15	39	1.25 (0.42)	1.55 (0.14)	37.8 (10.6)
	慣行III	0.15	40	1.14 (0.31)	1.57 (0.10)	35.3 (8.6)

a 平均值；b 標準差。

4.2 土壤碳庫計算與標準化流程

本研究以既有土壤調查資料計算碳庫量平均值($\bar{Z}_{int}$)設定為基線，將既有碳庫量資料變異(s_{int}^2)供說明基線不確定性之依據：

$\bar{Z}_{int} = h[\sum_{i=1}^m OC_i \cdot BD_i] / m$ 和 $s_{int}^2 = \{h^2[\sum_{i=1}^m (OC_i \cdot BD_i)^2] - m \cdot \bar{Z}_{int}^2\} / (m-1)$ ，其中 h 表示土層深度， OC 和 BD 表示土壤有機碳濃度和總體密度資料， m 表示既有資料數。

依上述所示，土壤有機碳濃度和總體密度的量測變異在計算碳庫量平均值的過程可能產生擴增或抵消，而且有有機碳濃度上升與總體密度下降存在理論機制的因果關聯，因此有機碳濃度的獨立變異和有機碳與總體密度的共變性是碳匯效應的確效依據，而總體密度的獨立變異則可能干擾碳匯效應的驗證。

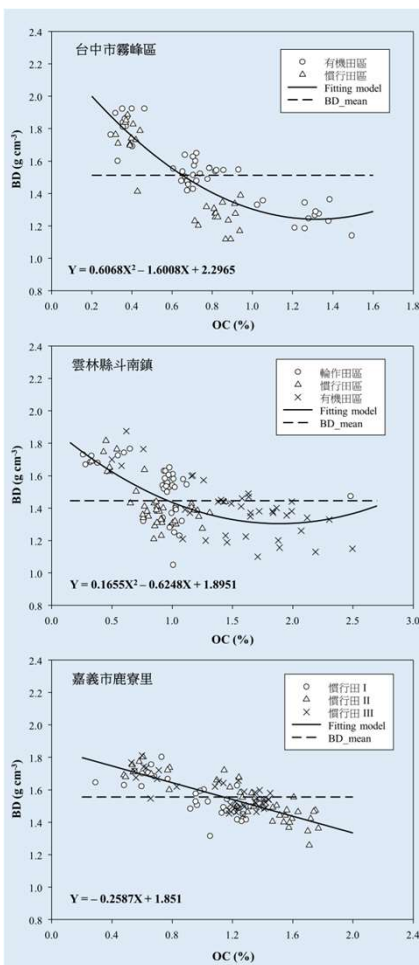
基於上述的推論，若可預先建立 OC 與 BD 的關聯方程式 $f(x)$ ，以最佳擬合方程式 $f(OC_i)$ 表示 BD_i ，將可去除總體密度的獨立變異對估算基線的干擾，並降低基線推估值的不確定性。導入擬合方程式 $f(OC_i)$ 的碳庫量平均值和變異估算式如下：

$$\bar{Z}_{int}^* = h[\sum_{i=1}^m OC_i \cdot f(OC_i)] / m$$

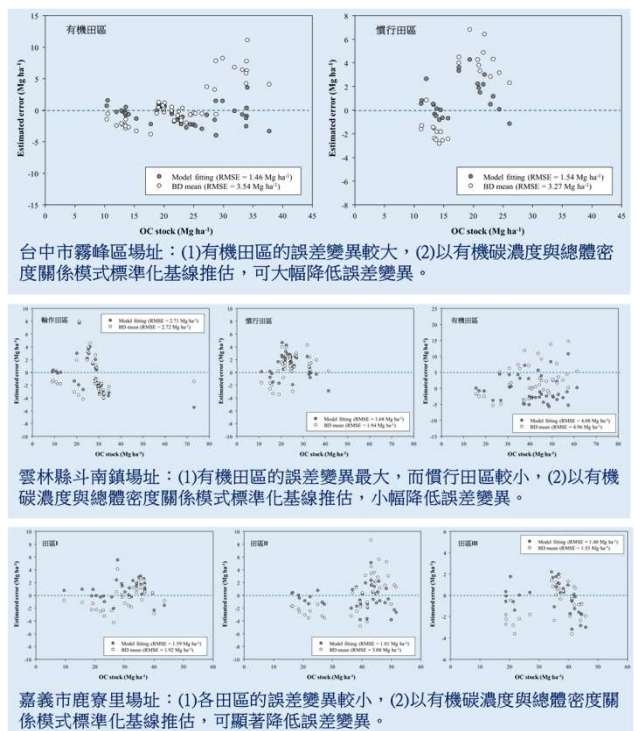
$$\text{和 } s_{int}^{*2} = h^2 \left\{ \sum_{i=1}^m [OC_i \cdot f(OC_i)]^2 - m \cdot \bar{Z}_{int}^{*2} \right\} / (m-1)。$$

五、結果與討論

5.1 土壤有機碳濃度與總體密度的相關性



5.2 標準化水田土壤碳庫基線的變異性



總結：

以各地區土壤有機碳濃度與總體密度之相關性方程式，導入修正估算不同田區土壤碳庫基線平均值，可有效降低田區尺度下標準化碳庫基線的推估誤差與變異性。各產區以田區為單位的土壤標準化碳庫基線(厚度20 cm)：台中市霧峰區(24.38-41.38 Mg ha⁻¹, n=72)、嘉義市(29.86-37.78 Mg ha⁻¹, n=111)、雲林縣斗南鎮(17.45-22.49 Mg ha⁻¹, n=120)。