

# 台灣地區水稻田全年度甲烷通量觀測—以台中霧峰為例

馮浦捷<sup>1</sup> 鄭丞孝<sup>1</sup> 莊秉潔<sup>1</sup> 陳琦玲<sup>2</sup> 黃穎俊<sup>1</sup>  
黨美齡<sup>1</sup> 郭珮萱<sup>1</sup> 蔡徵霖<sup>3</sup> 林卷樺<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學環境工程學系

<sup>2</sup>行政院農業委員會農業試驗所

<sup>3</sup>景丰科技股份有限公司

(中華民國一〇三年十二月二十四日收稿；中華民國一〇四年九月八日定稿)

## 摘 要

本研究以渦流協變系統 (Eddy Covariance system, EC) 搭配微氣象系統觀測全年度不同生長季節水稻田甲烷通量變化，探討各項氣象因子與甲烷通量的相關性。實驗場址選在台中霧峰農試所 85 號試驗田進行甲烷通量觀測，觀測期間分別為 2012 年 2 月至 6 月第一期作水稻、7 月至 10 月第二期作水稻、2013 年 3 月至 6 月第一期作水稻及稻作間之休耕期。

結果顯示，各期水稻作甲烷通量最高值皆發生在水稻分蘖期間 (約 40~50 天)，2012 年第一期作約在  $-1\sim-13 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，第二期作約在約在  $-2\sim-17 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，2013 年第一期作約在  $-2\sim-16 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。分蘖期過後，甲烷通量迅速減小約 10 倍，2012 年第一期作約在  $-1.3\sim-1.9 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，第二期作約在  $-1.0\sim-2.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，2013 年第一期作約在  $-1.2\sim-0.5 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，透過微氣象觀測與栽培過程顯示水稻田甲烷通量與土壤含水率及土溫具有高度相關性。

關鍵字：渦流協變法(EC)、開放式甲烷分析儀(LI-7700)、甲烷通量

## 一、前言

甲烷作為溫室氣體之一，其 20 年期距之全球暖化潛勢為 84，100 年期距為 28 (IPCC, 2013)，全球暖化能力較二氧化碳高。全球平均甲烷濃度增長率自 1980 年至 1998 年逐漸遞減，1999 年到 2006 年為穩定狀態，到 2007 年後甲烷便開始增加，在 2011 年，全球平均甲烷濃度增加至 1803 ppb 左右。全球約 60% 之甲烷排放與人為活動相關(Karakurt et al., 2012)，人為活動中以農業及廢棄物部分排放最大，而水稻田在農業及廢棄物中之所約占 20 % (IPCC, 2013)，被認為是大氣中甲烷的重要來源。

水稻田由於長期處於湛水條件，鮮少與氧氣接觸，形成厭氧狀態，利於產甲烷菌透過以下兩個途徑產生甲烷：1.有機物在發酵過程中，以氫氣為電子供應者，減少二氧化碳，生成甲烷。2.以有機質發酵所形成之醋酸作為能量來源，分解成甲

烷和二氧化碳(Baldocchi et al., 2012)。水稻田中的產甲烷菌會藉由三種途徑將甲烷氣體排放至大氣，分別為擴散、氣泡方式、水稻植株(Schutz et al., 1989; Delwiche and Cicerone, 1993)。

早期觀測甲烷通量主要是透過 chamber 法，其缺點是環境之光線、溫度等物理性質的不連續性且僅能在有限的區域內進行測量(e. g. Bowling et al., 1998)。而渦流協變法(eddy-covariance, EC)具有非侵入性和準連續性，且其空間代表性具可媲美整個生態系統之規模(Detto et al., 2011)。

國際上目前僅有少數的研究使用渦流協變法測量甲烷通量，且大部分都位於溫帶國家(Alberto et al., 2014; Hatala et al., 2012; Meijide et al., 2011)。目前在台灣地區，Tseng 等人在 2010 年曾使用梯度法對於水稻田甲烷的排放進行觀測，而近幾年觀測不同地貌甲烷排放量亦多透過 chamber 法進行(Liu et al., 2004; Chang et al., 2003; Hegde et al., 2003; Yang et al., 2001)，如表 1.1。

表 1.1 義大利及台灣地區甲烷排放量

地 區	地貌	觀測方法	甲烷排放量(kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> )	文獻
Po Valley (義大利)	paddy	EC	317*	Meijide wt al., 2011
台北 (台灣)	wetland	chamber	159*	Chang et al., 2003
新竹 (台灣)	wetland	chamber	12.3*	Chang et al., 2003
台北 (台灣)	landfill	chamber	2630 – 12738*	Hegde et al., 2003
台北 (台灣)	paddy	chamber	17.3 – 117, 105.4 – 395*	Yang et al., 2001
台中 (台灣)	paddy	chamber	78, 1025*	Liu et al., 2004
台中 (台灣)	paddy	EC	84.3* (first, 2012)	study
台中 (台灣)	paddy	EC	51.4* (second, 2012)	study
台中 (台灣)	paddy	EC	70.2* (first, 2013)	study

註：※：年排放量，\*：期作排放量

綜上所述，本研究利用渦流協變法建立亞熱帶地區長期且具連續性之水稻田完整之季排放甲烷通量資料並藉由微氣象觀測數據探討各項氣象因子與甲烷通量的相關性。

## 二、研究方法

### 2.1 渦流協變系統 (EC)

渦流協變系統需要三維音波風速計偵測垂直風速之瞬變項( $w'$ )、垂直溫度之瞬變項( $T'$ )及可偵測欲探討物質  $c$  濃度瞬變項 ( $c'$ , 包括水、 $\text{CH}_4$ ...等) 之儀器, 而其間之濃度通量為與垂直風速之擾動項及物質濃度擾動項之協變量平均值成比例, 所以當濃度通量為正時, 表示質量或能量轉入大氣中或即從地表被帶走, 濃度通量為負時, 則表示被地表所吸收。

物質濃度的通量( $F_c$ )即物質濃度( $c$ )與垂直速度( $w$ )的斜方差 ( $\overline{c'w'}$ ) 透過 Reynolds 分解如 2-1 式所示

$$F_c = \overline{(\bar{c} + c') \times (\bar{w} + w')} \quad (2-1)$$

渦流運動不規則且隨機, 針對某一瞬間通量並不具意義, 故必須考慮單位時間內物質平均通量變化, 且在一般大氣條件下, 假定空氣為不可壓縮流, 地形平坦均質, 平均垂直風速應為零, 可化簡為 2-2 式:

$$F_c = \overline{cw} + \overline{c'w'} = \overline{c'w'} \quad (2-2)$$

由於小型氣旋是地表層氣體擴散的主要來源, 故如欲得垂直風速與濃度的瞬變量, 必須使用高速反應之偵測器。又典型的高速採樣頻率為 1~10 Hz 左右, 而為避免樣品產生之標準差過大, 一般在使用高速採樣頻率多設定在 10 Hz 的頻率進行採樣。

### 2.2 微氣象觀測

微氣象因子設定為半小時輸出將資料儲存於資料收集器 (CR5000)內, 架設儀器有輻射計包含短波輻射計以及長波輻射計。Model 107 為一防水型的溫度探針(Campbell Scientific, Inc.), 本研究用來針對土壤分層的溫度觀測深度 5 公分處, 測量土壤溫度之日夜的變化。EnviroSMART 為一長 2 公尺測量土壤各深度土壤中水分的紀錄器 (Campbell Scientific, Inc.), 內部總共有 5 個感應器, 分別在 10、30、50、70、100 公分處量測土壤之容積含水率。量測現場架設情況如圖 2.1 所示。



圖 2.1 渦流協變系統(EC)

### 2.3 統計方法

為探討微氣象因子與甲烷通量間的關係本實驗將觀測所得數據建立甲烷通量與土壤含水率及土壤溫度日平均相關性模型, 並以  $R^2$  和均方根誤差 (RMSE)探討模型之解釋能力及觀測數據與模型間之離散性。 $R^2$  值越大, 代表模型解釋能力越好, 而 RMSE 值越小, 代表模型和觀測值間誤差越小, 並與 2010 年 Fang 等人及 2010 年 Long 等人的研究比較。

然而, 甲烷必須在氧化還原電位(Eh)小於 -150 mV 的環境下始能生成(Wang et al, 1993), 非

僅湛水就會產生。本實驗地區於分蘗期後採用間歇性灌溉管理方式，使水稻田很難產生  $E_h < -150$  mV 的環境，因此僅對分蘗期間之甲烷通量與土壤含水率及土壤溫度進行迴歸分析。

## 2.4 實驗場址

本研究選定農委會霧峰農業試驗所 (24°01' 56.99N, 120°41' 16.82 E) 進行水稻甲烷通量觀測，本所海拔高約 75m，用於耕種之總農地面積約有 80 公頃，栽種作物以水稻、玉米主，各農地之間由高約 20-30 公分高之土堤分隔，根據 1982 年 Brutsaert 研究中建議土堤所造成的流場擾動約需水平距離 30 公尺左右 (fetch) 才能達到穩定。因此本研究將觀測儀器架設於 85 號試驗田區中央處，其範圍約為南北向 100 公尺及東西向 50 公尺，為避開土堤造成的流場擾動，而各儀器距地高約 1-1.2 公尺。

水稻種植品種為台農 71 號，而試驗田施肥的形式為豬糞尿，相較於化肥之施肥方式甲烷排放量相對較大，主要是因為豬糞尿可提供較多之碳源供給甲烷菌利用 (Sasada et al., 2011)。

觀測資料為 2012 年 2 月 21 至 2012 年 6 月 5 日 (第一期作水稻)、2012 年 6 月 7 至 2012 年 10 月 29 日 (休耕期 + 第二期作水稻)、2012 年 12 月 1 日至 2013 年 6 月 17 日 (休耕期 + 第一期作水稻)。

## 三、實驗結果與討論

### 3.1 微氣象觀測結果

平均風速於實驗觀測期間之 2012 年第一期作約為  $1.25 \text{ m s}^{-1}$ ，第二期作約為  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，2013 年第一期作約為  $1.25 \text{ m s}^{-1}$ 。風向於 2012 年 2~月

大多為西北風，5~6 月受到季節影響轉為東南風，休耕期和二期水稻作中 6~8 月大多為東南風，9~10 月受到季節轉換的影響轉為西北風，2013 年一期作與 2012 一期作的風向變化上具有相同的結果。

大氣溫度範圍分佈在  $8 \sim 34 \text{ }^\circ\text{C}$  左右，2012 年第一期作平均溫度為  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ；休耕期與第二期作平均溫度為  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ ，在 2013 年休耕期與第一期作平均溫度為  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ 。相對濕度範圍分佈為 40%~100%。

白天於霧峰農試所觀測之平均太陽短波 ( $R_s$ ) 為  $600 \text{ W m}^{-2}$ ，平均地表反射短波 ( $R_{sr}$ ) 為  $135 \text{ W m}^{-2}$ ，平均大氣長波 ( $R_{ld}$ ) 為  $405 \text{ W m}^{-2}$ ，平均地表長波 ( $R_{lu}$ ) 為  $505 \text{ W m}^{-2}$ 。

### 3.2 土壤含水率

甲烷生成重要的條件之一為土壤中的產甲烷菌需在厭氧狀態下，本次實驗場址為水稻田，水稻的生長期間有著經常性的湛水情況，此一情形正好提供微生物厭氧環境，以利甲烷產生。本實驗期間測量深度 10 cm 之土壤含水率，藉此了解甲烷通量與土壤含水率其相關性。

圖 3.1 顯示，土壤含水率的變化主要是受到栽培過程以及天氣狀況所致。在天氣晴朗的情況，土壤含水率與栽培過程呈正相關。水稻的生長在插秧開始至第一階段排水、曬田，約 40~50 天 (2/20~4/13、7/24~8/27、3/7~4/6) 為水稻分蘗期，此時水稻田維持湛水的狀態，分蘗期後，土壤含水率開始下降，與 2011 年 Meijide 等人研究之義大利北部單季水稻田土壤含水率變化趨勢一致。在分蘗期過後，水稻田開始進行間歇性灌溉，排水、曬田至田面龜裂後，再恢復水稻田管理，導致土壤含水率呈現上下振盪情況，而振盪幅度達

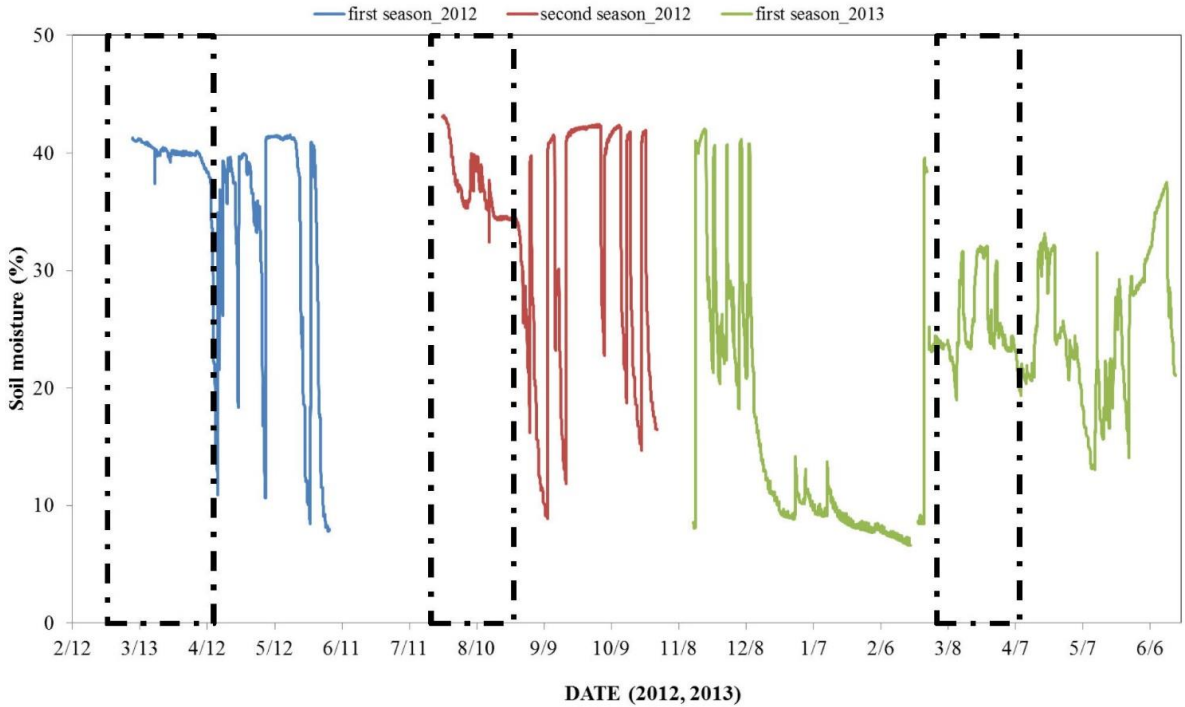


圖 3.1 土壤含水率時間序列圖

註：(1) X 軸為容積土壤含水率(%), Y 軸為日期。(2)黑色框為分藥期。

10%~40%，主要是由於本研究探討之含水率深度較淺，質地較深層土壤疏鬆，孔隙較大，土壤水分流失快速所致。2012 年第二期作水稻以及 2013 年第一期作水稻開始時，由於受到熱帶氣旋過境或降雨的影響，為避免水稻幼苗受到強烈豪雨的淹沒而死亡會進行排水的措施。

### 3.3 土壤溫度

為了解產甲烷菌與土壤溫度之相關性，本實驗期間在深度 5 cm 的土壤中量測溫度。圖 3.2 所示，土壤溫度範圍在 13~36 °C。太陽短波輻射加熱地表，向上傳遞而影響氣溫，向下傳遞而影響土壤溫度，因此土壤溫度有著季節性的變化。

### 3.4 甲烷通量

利用渦流協變系統 (EC) 觀測水稻田的甲烷

通量，2012 年第一期作時間為 2/20~6/5；休耕期時間為 6/7~7/24；第二期作時間為 7/24~10/30；2013 年第一期作時間為 3/7~6/25，如圖 3.3 所示。

在資料品質篩選機制中，EC 系統之通量偵測極限值在  $\pm 0.064 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Detto et al., 2011)。紊流強度太小，近地表之氣體無法有效垂直混合，易造成濃度累積，故摩擦風速不能太小，因此引用資料之摩擦風速( $u^*$ )範圍需介於  $0.15 \sim 1.2 \text{ m s}^{-1}$  間，才能有意義代表本次觀測的甲烷通量 (Baldocchi et al., 2012)。

甲烷通量在水稻生長期間 2012 年 2/22~4/13、7/25~8/27 以及 2013 年 3/7~4/5 為整個生長季中甲烷通量的高峰值，即正值水稻生長的分藥期，其 2012 年第一期作之甲烷通量約在  $-1 \sim$

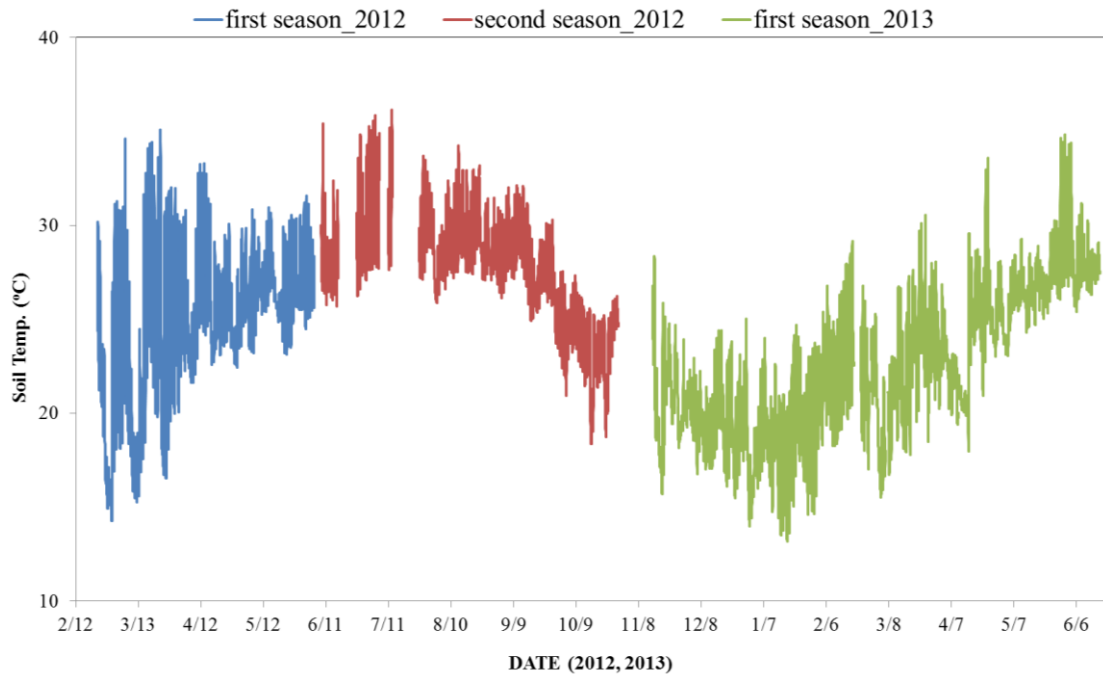


圖 3.2 土壤溫度時間序列圖  
 註：X 軸為土壤溫度(°C)，Y 軸為日期

$13 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ；第二期作約在  $-2 \sim 17 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ；2013 年第一期作約  $-2 \sim 16 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。分蘗期過後甲烷通量迅速減小約 10 倍，2012 年第一期作約在  $-1.3 \sim 1.9 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，第二期作約在  $-1.0 \sim 2.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ；2013 年一期作  $-1.2 \sim 0.5 \mu\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

### 3.5 甲烷通量與土壤含水率

圖 3.4 為各時期經篩選後水稻作之甲烷通量與土壤含水率時間序列顯示，甲烷通量在水稻生長期間 2012 年 2/22 至 4/13、7/25 至 8/27 和 2013 年 3/7 至 4/5 為整個生長季中甲烷通量的高值，此階段為水稻的分蘗期，且土壤含水率維持在 30~40% 左右，此時會維持在湛水並施加肥料的型態，而對微生物來說，這種農業的作業型態可提供一厭氧環境，甲烷氣體於此階段會大量產出。

分蘗期後，但土壤含水率仍有 30~40% 左右，依然在厭氧狀態，而甲烷通量卻沒有明顯高值，

由栽培行程知此階段為間歇性灌溉，不易產生利於甲烷生產之  $E_h < -150 \text{ mV}$  的環境。

將分蘗期間甲烷通量及含水率日平均做迴歸分析，並與 2010 年 Fang 等人之研究比較，如表 3.1。兩種方法之  $R^2$  及 RMSE 相近，代表兩種迴歸式對觀測值的解釋能力相當，觀測數據之離散性亦相當，主要原因為分蘗期水稻田處於長期湛水情況，提供厭氧環境，使產甲烷微生物得以生存，生產大量甲烷。

### 3.6 甲烷通量與土壤溫度

將分蘗期間甲烷通量及土壤溫度日平均做相關性分析並與 2010 年 Long 等人之研究結果比較，如表 3.2。兩種方法之  $R^2$  及 RMSE 皆為 0.75 及 0.39，代表觀測數據之離散性與迴歸式對觀測值的解釋能力相當。

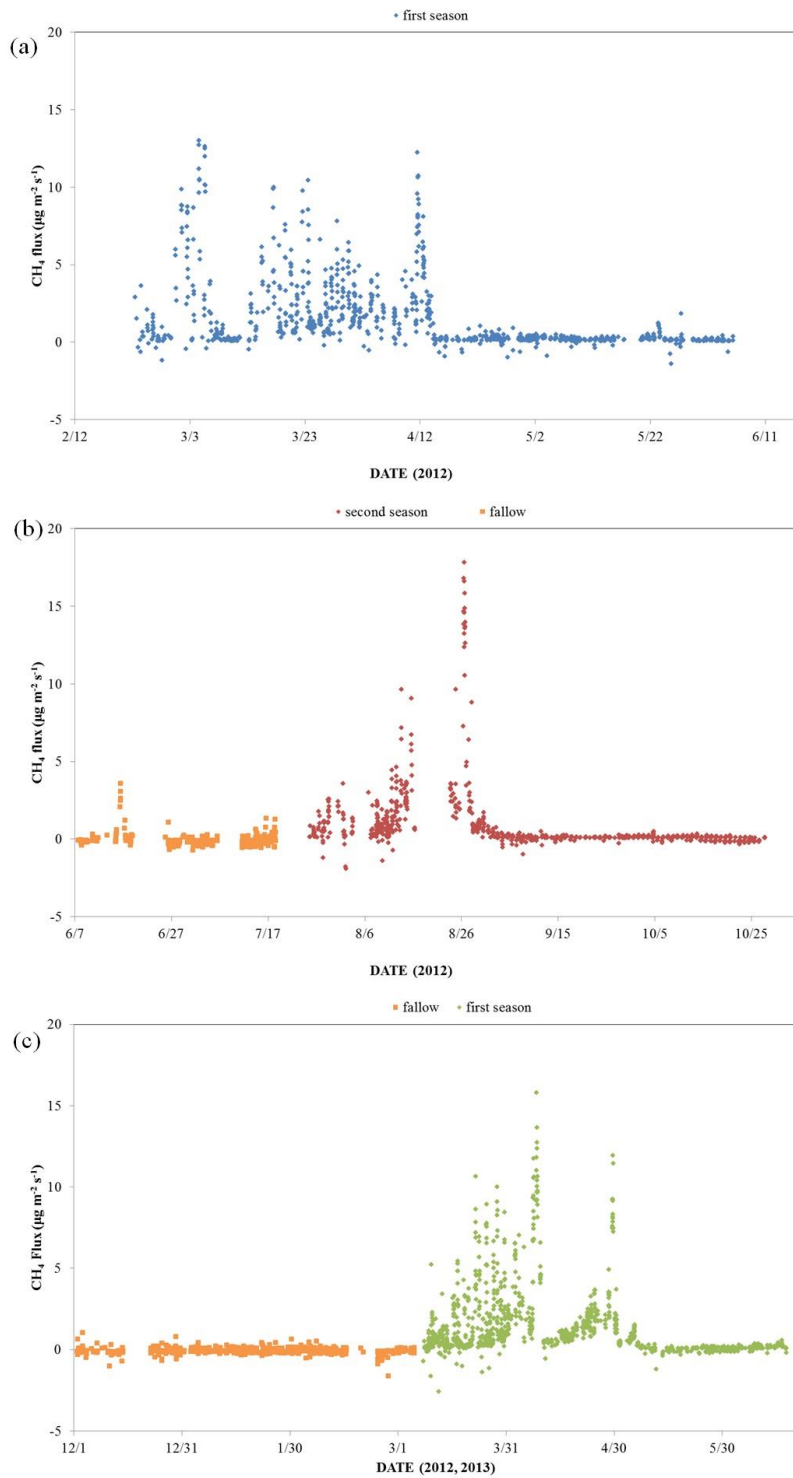


圖 3.3 (a) 2012 年第一期 (藍色) (b) 2012 年第二期 (紅色) (c) 2013 年第一期水稻作甲烷通量時間序列圖 (綠色)  
註：休耕期為橘色

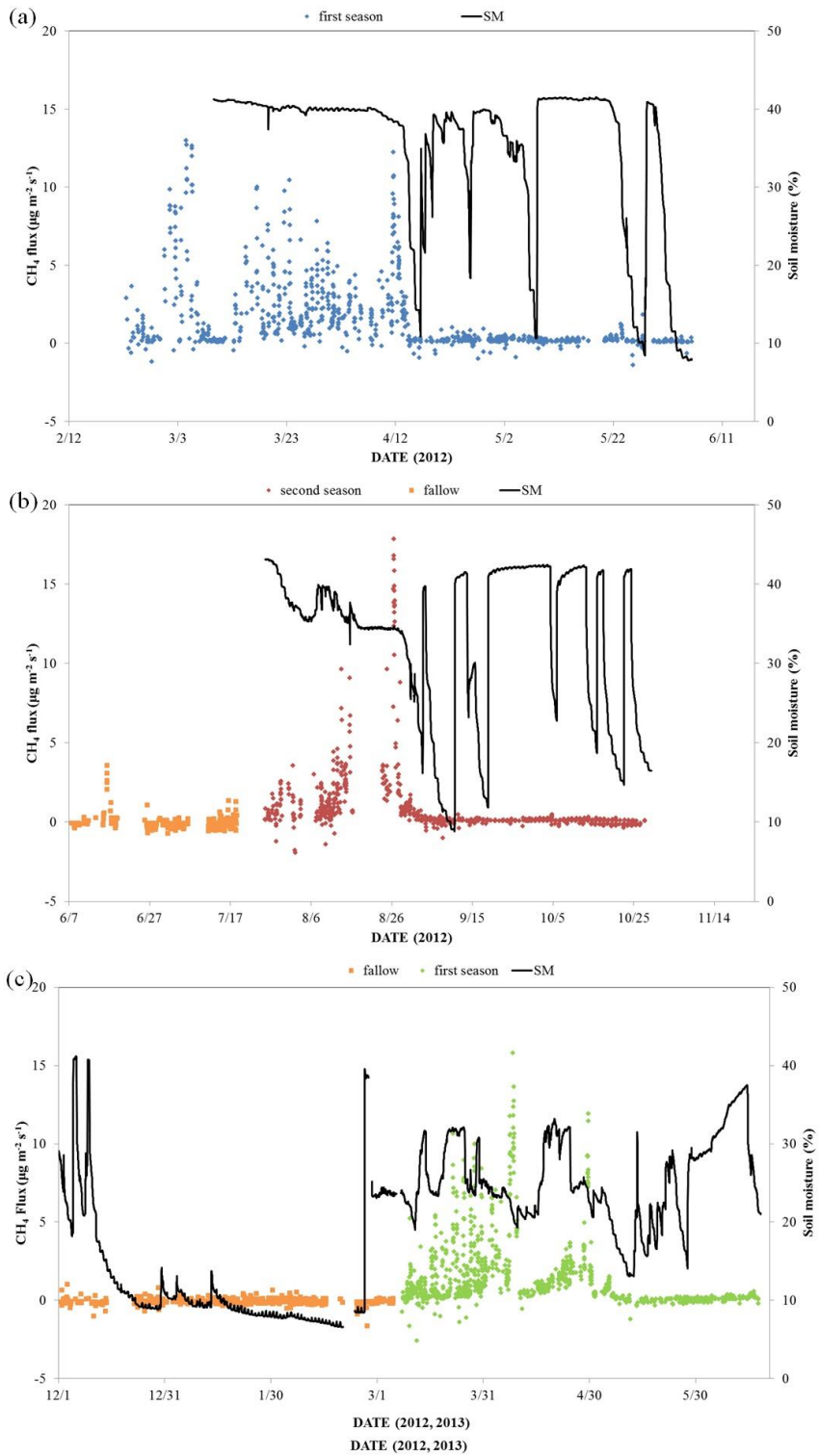


圖 3.4 甲烷通量與土壤含水率時間序列圖(a) 2012 年一期水稻作 (藍色) (b) 2012 年二期水稻作 (紅色) (c) 2013 年一期水稻作 (綠色)



表 3.1 甲烷通量日平均與土壤含水率相關性分析

	分蘖期			
	a	b	R <sup>2</sup>	RMSE
乘冪	$y = a \cdot x^b$			
	4.29E + 41	-25.85	0.65	0.52
<sup>1</sup> Fang	$y = a + b \cdot x$			
	48.83	-1.18	0.63	0.53

註 1：Fang et al., 2010

註 2：X：土壤容積含水率(%)

Y：甲烷通量( $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

#### 四、結論

觀測水稻田甲烷通量結果發現，高峰值皆出現在各期稻作之水稻分蘖期，主要是因為此時水稻田環境會維持在湛水並施加肥料的型態，利於微生物產生甲烷。分蘖期後，土壤含水率仍有 30~40% 左右，依然在厭氧狀態，而甲烷通量卻沒有明顯高值，由栽培行程知此階段為間歇性灌溉，不易產生利於甲烷生產之  $E_h < -150 \text{ mV}$  的環境。

分蘖期間之甲烷通量與土壤含水率、土壤溫度日平均之迴歸分析結果顯示，土壤含水率及土壤溫度對甲烷通量的解釋能力與 2010 年 Fang 等人和 Long 等人之研究結果相近，表示本研究之迴歸分析可供日後水稻田在已知土壤溫度或是土壤含水率的情況下，適當呈現甲烷通量的變化。

本研究為水稻田甲烷通量觀測初探，提供亞熱帶地區長期且具連續性之全年度水稻田甲烷通量資料，以及水稻田甲烷通量與各項氣象因子間之相關性，作為未來控制溫室效應氣體排放之參考依據。

表 3.2 甲烷通量日平均與土壤溫度相關性分析

	分蘖期			
	a	b	R <sup>2</sup>	RMSE
指數	$y = a \cdot \exp(b \cdot x)$			
	0.02	0.18	0.75	0.39
<sup>1</sup> Long	$y = a \cdot b^{((x-10)/10)}$			
	0.13	5.76	0.75	0.39

註 1：Fang et al., 2010

註 2：X：土壤容積含水率(%)

Y：甲烷通量( $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

#### 致謝

本研究在科技部計畫「區域氣象模式地表參數之改善－台灣地區地表粗糙度及土壤含水率資料的建置(NSC99-2111-M005-002-MY3)」及「台灣地區陸地地表參數化過程之觀測並與新一代區域氣象模式之整合(三)(NSC 99-2111-M-005-001-MY3)」支助下完成，特此致謝。

#### 參考文獻

- Alberto, M. C. R., Wassmann, R., Buresh, R. J., Quilty, J. R., Correa Jr, T. Q., Sandro, J. M., & Centeno, C. A. R. (2014). Measuring methane flux from irrigated rice fields by eddy covariance method using open-path gas analyzer. *Field Crops Research*, 160, 12-21.
- Baldocchi, D., Detto, M., Sonnentag, O., Verfaillie, J., Teh, Y. A., Silver, W., & Kelly, N. M. (2012). The challenges of measuring methane fluxes and concentrations over a peatland pasture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 153, 177-187.

- Brutsaert, W. H., 1982. *Evaporation into the Atmosphere*. D. Reidel Publish Company, Holland, 229 pp.
- Bowling, D. R., Turnipseed, A. A., Delany, A. C., Baldocchi, D. D., Greenberg, J. P., & Monson, R. K. (1998). The use of relaxed eddy accumulation to measure biosphere-atmosphere exchange of isoprene and other biological trace gases. *Oecologia*, 116(3), 306-315.
- Chang, T. C., & Yang, S. S. (2003). Methane emission from wetlands in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 37(32), 4551-4558.
- Delwiche, C. C., & Cicerone, R. J. (1993). Factors affecting methane production under rice. *Global biogeochemical cycles*, 7(1), 143-155.
- Detto, M., Verfaillie, J., Anderson, F., Xu, L., & Baldocchi, D. (2011). Comparing laser-based open-and closed-path gas analyzers to measure methane fluxes using the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(10), 1312-1324.
- Fang, H. J., Yu, G. R., Cao, M., & Zhou, M. (2010). Effects of multiple environmental factors on CO<sub>2</sub> emission and CH<sub>4</sub> uptake from old-growth forest soils.
- Hatala, J. A., Detto, M., Sonnentag, O., Deverel, S. J., Verfaillie, J., & Baldocchi, D. D. (2012). Greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 1-18.
- Hegde, U., Chang, T. C., & Yang, S. S. (2003). Methane and carbon dioxide emissions from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwan. *Chemosphere*, 52(8), 1275-1285.
- Karakurt, I., Aydin, G., & Aydin, K. (2012). Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. *Renewable energy*, 39(1), 40-48.
- Liu, C. W., Chung, Y. W.: Evaluation of methane emissions from Taiwanese paddies, *Science of the Total Environment* 333 (2004) 195–207
- Long, K. D., Flanagan, L. B., & Cai, T. (2010). Diurnal and seasonal variation in methane emissions in a northern Canadian peatland measured by eddy covariance. *Global Change Biology*, 16(9), 2420-2435.
- Meijide, A., Manca, G., Godea, I., Magliulo, V., Tommasi, P. D., Seufert, G., & Cescatti, A. (2011). Seasonal trends and environmental controls of methane emissions in a rice paddy field in Northern Italy. *Biogeosciences*, 8(12), 3809-3821.
- Sasada, Y., Win, K. T., Nonaka, R., Win, A. T., Toyota, K., Motobayashi, T., ... & Lu, J. (2011). Methane and N<sub>2</sub>O emissions, nitrate concentrations of drainage water, and zinc and copper uptake by rice fertilized with anaerobically digested cattle or pig slurry. *Biology and Fertility of Soils*, 47(8), 949-956.
- Schutz, H., Seiler, W., Conrad, R.: Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies, *Biogeochemistry* 1989; 7:33-5.

- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)(Cambridge Univ Press, New York).
- Tseng, K. H., Tsai, J. L., Alagesan, A., Tsuang, B. J., Yao, M. H., & Kuo, P. H. (2010). Determination of methane and carbon dioxide fluxes during the rice maturity period in Taiwan by combining profile and eddy covariance measurements. *Agricultural and forest meteorology*, 150(6), 852-859.
- Wang, Z. P., Delaune, R. D., Patrick, W. H., & Masscheleyn, P. H. (1993). Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2), 382-385.
- Yang, S. S., & Chang, H. L. (2001). Methane emission from paddy fields in Taiwan. *Biology and Fertility of Soils*, 33(2), 157-165.

# Full-year Observation of Methane Flux at Paddy Fields in Taiwan

Pu-Jie Feng<sup>1</sup> Cheng-Hsiao Cheng<sup>1</sup> Ben-Jei Tsuang<sup>1</sup>  
Chi-Ling Chen<sup>2</sup> Ying-Chun Huang<sup>1</sup> Mei-Ling Tang<sup>1</sup>  
Pei-Hsuan Kuo<sup>1</sup> Jeng-Lin Tsai<sup>3</sup> Chuan-Hua Lin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering National Chung Hsing University

<sup>2</sup>Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan

<sup>3</sup>Environmental Simulation CO.LTD

(manuscript received 24 December 2014 ; in final form 8 September 2015)

## ABSTRACT

In this study, we used eddy covariance system (EC) cooperated with micro-meteorological system to observe the methane fluxes in different growing season at the paddy fields for a year, and explored the relationship between the meteorological factors and the methane flux. The experimental site was on paddy fields (No.85) in Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-Feng, Taichung. The experimental period included 3 cropping seasons: (1) February-June, 2012 (the 1<sup>st</sup> cropping season of 2012), (2) July-October, 2012 (the 2<sup>nd</sup> cropping season of 2012), (3) March-June, 2013 (the 1<sup>st</sup> cropping season of 2013).

The results showed that the highest methane fluxes were occurred at the tillering stage (40 to 50 days after transplanting) in all measured cropping season. The fluxes were  $-1 - 13 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 1<sup>st</sup> cropping season of 2012,  $-2 - 17 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 2<sup>nd</sup> cropping season of 2012, and  $-2 - 16 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 1<sup>st</sup> cropping season of 2013. After the tillering stage, the methane flux decreased quickly to 0.1 times that at the tillering stage. The methane fluxes were  $-1.3 - 1.9 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 1<sup>st</sup> cropping season of 2012,  $-1.0 - 2.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 2<sup>nd</sup> cropping season of 2012, and  $-1.2 - 0.5 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in the 1<sup>st</sup> cropping season of 2013. From the micro-meteorological observations, the methane flux was found to be correlated with soil moisture and soil temperature. More studies have to been conducted to figure out the relationships in the future.

**Key Words:** Eddy covariance, Open path CH<sub>4</sub> analyzer, Methane flux