

# 水稻連作與綠肥輪作制度下甲烷氣體之釋放及減量研究<sup>1</sup>

林經偉<sup>2</sup>、黃山內<sup>2</sup>、陳文雄<sup>2</sup>、劉瑞美<sup>3</sup>、陳世雄<sup>3</sup>

## 摘 要

林經偉、黃山內、陳文雄、劉瑞美、陳世雄．2005．水稻連作與綠肥輪作制度下甲烷氣體之釋放及減量研究。臺南區農業改良場研究彙報 46：1-9。

甲烷是一重要的溫室氣體，水稻栽培是農業耕作體系中甲烷釋放的一重要途徑。本研究之目的乃是比較台灣現行輪作制度下水稻田土壤甲烷釋放之影響，2003 年進行綠肥輪作水稻田與連作水稻田之田間實測調查。調查資料顯示綠肥輪作處理一期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $10.4 \pm 4.1 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ ，而連作處理一期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $13.9 \pm 3.7 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。綠肥輪作處理二期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $5.2 \pm 1.4 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。連作處理二期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $15.5 \pm 6.0 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。調查結果顯示，不論一期作或二期作水稻田之甲烷釋出量其連作處理者均遠高於綠肥輪作處理。因此，為降低水田耕作釋放之溫室氣體，且在可節約水資源及維持土壤地力的前題下，由試驗結果可建議輪作一個期作綠肥後再行水稻栽培，不僅可節約水資源及維持土壤地力並可大量降低甲烷之釋放，減低對環境之衝擊。

**關鍵詞：**輪作制度、水稻田、甲烷釋放、減量

接受日期：2005 年 10 月 21 日

## 前 言

溫室效應氣體中，二氧化碳、甲烷與氧化亞氮之產生與釋放，均與土壤有直接關係<sup>(8)</sup>，其中甲烷吸收輻射的能力是二氧化碳之 30 倍<sup>(8,19)</sup>，甲烷在大氣中之含量雖遠小於二氧化碳，但其對地球增溫所產生之影響卻隨人類文明進步而大幅增加<sup>(4)</sup>因此，甲烷在大氣中消長的情況，深受土壤因子之影響。

土壤中，80 %之甲烷是在還原環境下，由一群極端厭氣之甲烷菌(Methanogens)分解有機物所產生<sup>(6)</sup>，因此常發生於濕地土壤中。影響土壤釋出甲烷的因子主要分為土壤、氣候、植生與人類活動等方面<sup>(21,10,12,20,9,11,16,18)</sup>。氣候方面主要是溫度的高低和雨量之多寡，例如：氣溫下降會抑制土壤中甲烷菌之活性；降雨則會提高土壤地下水位而阻礙通氣性，利於甲烷生成。

---

1.行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 316 號

2.臺南區農業改良場助理研究員、場長、秘書。臺南縣新化鎮牧場 70 號

3.嘉南藥理科技大學環境資源管理系副教授、教授。台南縣仁德鄉保安村二仁路 60 號

植生方面則因可直接提供產生甲烷所需要的碳基質，並透過水稻之氣胞組織傳送至大氣中<sup>(11)</sup>，土壤因子則包括 pH 值、氧化還原電位、水勢能、有機物含量等，均與甲烷之釋放有關。因此利用農業栽培管理技術，將可使農業生態系中所生成之甲烷總量下降，而達到甲烷減量之目標。

輪作制度為台灣耕作制度中經常使用之耕作方式，一般為避免一些短期性作物產生連作障礙，並且可避免營養失衡，病蟲害傳遞及同種作物間有毒分泌物的危害。但目前為配合政府水利灌溉計畫政策及維持土地永續發展，可視經營需要而進行休耕、種植綠肥或短期休閒，因此本計畫為配合將來之氣候變遷及政策發展，尋求台灣現行耕作制度下溫室氣體之減量策略，以降低因農業耕作可能引致地球溫暖化之效應。

## 材料與方法

### 試驗地點及土壤性質

水稻田選擇台南改良場嘉義分場之鹿草試區為水稻試驗地點，土系為秀佑系壤土，pH 值為 7.3，該地點曾經客土，表層土壤為壤土。於定植後每週於田間實測甲烷之釋放量。

### 測試植物與田間管理

選擇種植水稻，品種為台粳 8 號，採取現行農業試驗改良場所推薦之管理方法，以減少人為管理上之誤差。輪作綠肥為大豆綠肥台南四號。

### 氣體之收集與分析

採用密閉罩法 (closed chamber method) 採樣，以無底之壓克力盒(23\*23\*50 與 23\*23\*100 cm<sup>3</sup> 兩種規格)與不鏽鋼框(25\*25\*20cm<sup>3</sup>)組成採樣罩，置於試區土壤，保持水平，分別採取氣體樣品。採樣時間則為上午 9 點至 10 點，於採樣罩安放 0、0.5 及 1 小時後採集氣體。每一處理區設置 4 個採樣罩，每一採樣罩採三重覆。其中甲烷以氣相色層分析儀 (gas chromatography) 之火燄離子化檢出器 (flame ionized detector) 分析之。

### 試驗處理

本試驗處理為水稻與大豆綠肥輪作處理及水稻連作處理。調查 2003 年一期作水稻田綠肥輪作處理 (2002 年二期作種植大豆綠肥，2003 年一期作種植水稻) 及 92 年二期作綠肥輪作處理 (2003 年一期作種植大豆綠肥，2003 年二期作種植水稻) 與水稻連作田之甲烷釋放量。

### 田間狀況調查

於每次採樣氣體之同時，記錄田間狀況，包括：土溫、水溫、氣溫及浸水狀況、並記錄水稻之農藝性狀，包括：水稻植株之株高、分蘗數與稻谷收成量。

### 實驗室分析

1. 田間氣體樣品之甲烷濃度以氣相體色層分析儀附火燄離子化檢出器分析，分析管柱為 propark N，攜帶氣體為氮氣，分析結果與已知濃度之標準氣體比較，可求出樣品甲烷濃度。
2. 甲烷釋出率之計算樣品之甲烷濃度，可由下列公式計算之，甲烷濃度 (ppmv) =  $(C_{std}/A_{std}) \times A_{samp} \times (V_{samp}/V_{std})$   $C_{std}$  為標準甲烷氣體濃度 (ppmv);  $A_{std}$  為標準甲烷氣體濃度 GC 峰之積分值;  $A_{samp}$  為待測氣體濃度 GC 峰之積分值;  $V_{samp}$  為打入 GC 之氣體待測氣體樣品體積;  $V_{std}$  為打入 GC 之標準氣體體積。甲烷釋放通量的估算: 甲烷釋放通量 ( $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ) =  $(C_f - C_i) \times V \times [273.15 / (22.4 \times T)] \times [16 / (A_b / t)]$   $C_i$  為利用甲烷收集箱所得之起始氣體樣品濃度;  $C_f$  為利用甲烷收集箱所得之終結氣體樣品濃度;  $V$  為收集箱有效體積 ( $\text{m}^3$ );  $A_b$  為收集箱之底面積 ( $\text{m}^2$ );  $T$  為採樣當時之氣溫 (凱氏溫度);  $t$  為起始樣本與終結樣本收集時間之時間差。

## 結果與討論

本研究選取台南農業改良場嘉義鹿草分場之水稻田，該地之土壤基本性質如表 3 所示。於 2003 年一期作 (2003/1/27~2002/6/5, 131 天) 與 2003 年二期作 (2003/7/15~2003/11/5, 115 天) 種植水稻，試驗期間參考農業改良場推薦方式管理，處理為水稻與綠肥輪作處理及水稻連作處理，調查 2003 年一期作水稻田綠肥輪作處理 (2002 年二期作種植大豆綠肥，鮮草產量 58.14 T/ha，2003 年一期作種植水稻) 及 2003 年二期作綠肥輪作處理 (2003 年一期作種植大豆綠肥，鮮草產量 21.166 T/ha，2003 年二期作種植水稻) 與水稻連作田之甲烷釋放量。

### 綠肥輪作處理與水稻連作對水稻田甲烷釋出率之影響

影響水稻田甲烷釋放之因子，包括：土壤類型、土壤 pH 值、土壤氧化還原電位、土壤溫度、水分境況、肥料、硫酸鹽含量、水稻品種與栽培管理方式等<sup>(17)</sup>。在水稻的栽培系統中，以旱作植物進行輪作 (如：小麥、油籽或豆科植物等) 可減少因長期連作水稻而導致的土壤毒性物質之累積<sup>(15)</sup>，並可降低水稻栽培之甲烷釋放量進而提高稻穀產量。本研究則於 2003 年一期稻作於一月二十七日插秧，於六月五日收割，並於三月中進行排水，比較連作與綠肥輪作處理區的甲烷釋放量，綠肥輪作處理之一期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $10.4 \pm 4.1 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ ，而連作處理之一期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $13.9 \pm 3.7 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。2003 年二期稻作於七月十五日插秧，於十一月七日收割，並於八月中旬進行排水，綠肥輪作處理之二期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $5.2 \pm 1.4 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。連作處理之二期作水稻生長期甲烷釋放係數為  $15.5 \pm 6.0 \text{ g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ 。提早二期作之排水結果可導致全生育期之甲烷釋放量降低，且結果顯示各兩種處理區在栽種排水前有較高的甲烷釋放率，但不論一期作或二期作水稻田之

甲烷釋出量其連作處理者均遠高於綠肥輪作處理者。隨著水稻成長過程，為降低水稻之無效分蘖而進行排水，排水後土壤中氧化還原電位升高，不利於土壤甲烷產生之環境形成，使甲烷之釋出率隨之降低。且水稻栽培若採間歇灌溉方式，對水稻生育之影響極微，並可節省水資源與降低甲烷釋出量<sup>(2)</sup>，顯示排水、休耕或長期乾旱對水稻田土壤甲烷釋出量之影響極為重要。因此，為降低水田耕作釋放之溫室氣體，且在可節約水資源的前題下，本試驗結果可建議輪作一個期作綠肥後再行水稻栽培，不僅可節約水資源及維持土壤地力並可大量降低甲烷之釋放，亦可減低對環境之衝擊。

### 溫度對水稻田甲烷釋出率之影響

Cicerone 等指出水稻田之甲烷釋出具有季節性變化<sup>(6)</sup>，本研究中的甲烷釋出通量除了受土壤水分與植物生長狀態之影響外，環境溫度對田間甲烷之釋出亦有極大之影響。Adhya 等人指出印度水稻田土壤的深夜甲烷釋放量較低<sup>(3)</sup>，而義大利水稻田土壤則於上午 6~8 時，有較低的甲烷釋放量<sup>(7)</sup>，台灣土壤於下午 2~6 時，有較高的甲烷釋放量<sup>(22)</sup>，一期作在插秧初期氣溫低，甲烷菌之活性較低，故甲烷釋出率較低，隨著夏季到來，二期作栽培期間氣溫高甲烷生成菌之活性提高，甲烷釋出率亦相對提高，尤其二期作水稻分蘖盛期排水晒田之前，高溫且土壤處於強還原電位環境下，因此單位時間內其甲烷釋出率遠高於一期作（圖 1、2、3、4）。

### 綠肥與水稻輪作及水稻連作處理方式對水稻生育、稻谷產量的影響

綠肥與水稻輪作及水稻連作處理方式對水稻生育、稻谷產量的影響調查（表 2），結果不論是一期作或二期作，其株高及分蘖數，綠肥輪作處理均高於連作處理。成熟期以坪割調查各處理之稻谷產量差異，結果顯示一期作綠肥輪作處理稻谷產量為 9357 公斤/公頃，連作處理為 8686 公斤/公頃，二期作綠肥輪作處理稻谷產量為 6826 公斤/公頃，連作處理為 6462 公斤/公頃，綠肥輪作處理之稻谷產量不論是一期作或二期作均高於連作處理。且由表 3 之處理間之土壤性質調查發現，綠肥輪作處理之土壤總氮量及土壤有機質含量均較水稻連作處理高，顯示綠肥輪作確實可提高土壤肥力，促進水稻生育。

### 不同耕作處理之土壤條件對甲烷釋放的影響

綠肥輪作處理區的土壤條件列於表 3，研究指出<sup>(13, 14)</sup>，有機質材在厭氣條件下，可被甲烷生成菌分解而產生甲烷<sup>(6)</sup>，土壤中有機質含量高，有促進甲烷釋放之作用，此外土壤中有機物之含量多寡及種類亦是影響甲烷釋出率之重要因素之一<sup>(1)</sup>。雖然綠肥輪作處理之土壤有機質含量高於連作處理，但甲烷釋放量卻低於連作區，推測綠肥輪作處理因土壤長期處於氧化狀態下，土壤中鐵、錳或其它物質均呈氧化狀態，因此當再次種植水稻灌溉時，必須先消耗這些氧化物質使其還原，其後土壤中之氧化還原電位才可降低至有利甲烷菌活動之環境。

表 1、不同耕作處理之各期作甲烷釋放量

Table 1. Seasonal variation of methane emission at different cultivation systems

Crop season	Green manure-rotation	Continuous
	$\text{g m}^{-2} \text{ season}^{-1}$	
First	10.4 ± 4.1	13.9 ± 3.7
Second	5.2 ± 1.4	15.5 ± 6.0

表 2、2003 年不同耕作處理試驗區之水稻生育調查

Table 2. Agronomic traits of rice at different cultivation systems in 2003

Crop season	Treatment	Plant height (cm)	Tiller (no./hill)	Effective tiller (no./hill)	Crop production (kg/ha)
First crop	Continuous	49.0 ± 0.73	33.7 ± 2.01	23.2 ± 0.83	8686
	Green manure-rotation	53.6 ± 0.46	36.5 ± 3.5	24.3 ± 1.06	9357
Second crop	Continuous	49.2 ± 0.77	27.3 ± 0.63	18.7 ± 0.67	6462
	Green manure-rotation	52.3 ± 0.52	34.3 ± 0.87	22.3 ± 0.81	6826

表 3、綠肥輪作與連作處理之土壤分析資料

Table 3. The properties of soil at different cultivation systems in 2003.

Cultivation systems		Soil texture	pH	EC (dS/m)	O.M (%)	TN g/kg
First	Continuous	Loam	7.21±0.07	0.10±0.01	2.38±0.13	1.30±0.05
	Green manure-rotation	Loam	7.24±0.03	0.11±0.02	2.80±0.18	1.72±0.06
Second	Continuous	Loam	7.28±0.02	0.09±0.01	2.22±0.07	1.17±0.03
	Green manure-rotation	Loam	7.19±0.05	0.10±0.01	2.60±0.19	1.61±0.09

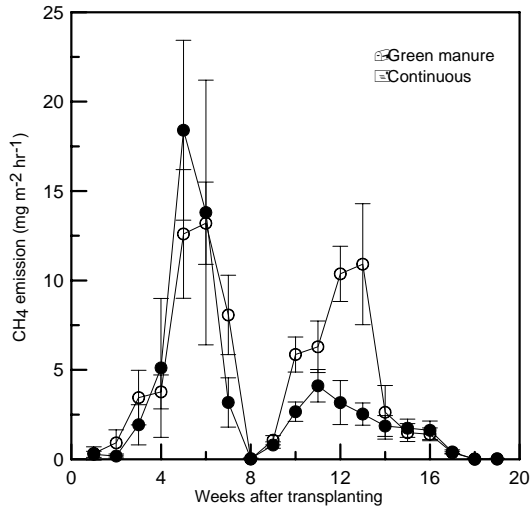
## 結 論

本報告探討我國之輪作與連作制度之甲烷排放通量，估算耕作制度對我國農田生產時甲烷排放量之影響。根據本研究結果，國內在農業生產其溫室氣體排放減量方面，可朝下列方向減量：

1. 在分蘖盛期之後，採用間歇性灌溉、降低甲烷釋放量<sup>(2)</sup>。
2. 在開花及乳熟期，可採短期曬田、提高土壤 Eh、降低甲烷釋放量<sup>(2)</sup>。
3. 以輪作或休耕減少長期水稻栽培之甲烷釋放量。

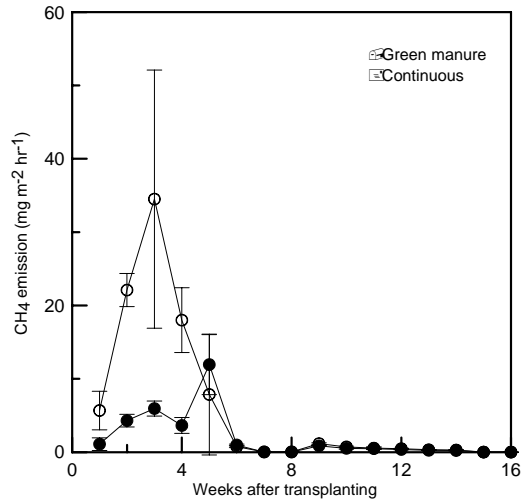
農民對溫室氣體減量技術的利用性有極高的不確定性，因為減量技術的使用可能需要

額外的成本，因此，可能需要透過特殊的因應政策來消除經濟上之障礙。本研究的試驗是於田間實際進行的，減量對策之執行上並無困難，惟減量對策提出後，需藉各農業單位協助宣導觀念，以落實執行現階段所提出之可行的水稻田甲烷減量對策，以降低對地球環境之衝擊，期使地球得以永續發展。



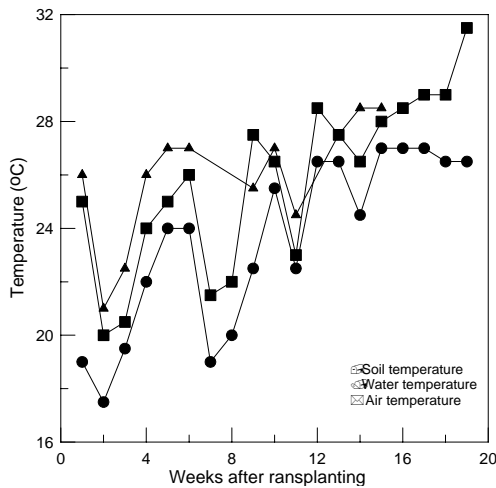
圖一. 2003 年一期稻作不同生長期之甲烷釋放量

Fig 1. Variation of methane emission rates in different growth stages of crop during the first crop season in 2003



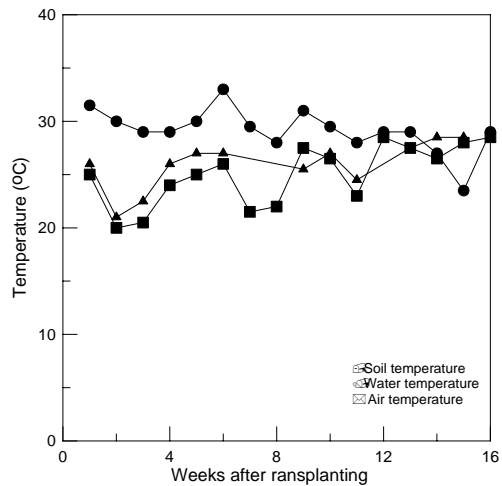
圖二. 2003 年二期稻作不同生長期之甲烷釋放量

Fig 2. Variation of methane emission rates in different growth stages of crop during the second crop season in 2003



圖三. 2003 年一期稻作不同生長期之溫度變化

Fig 3. Variation of temperature in different growth stages of crop during the first crop season in 2003



圖四. 二期作不同水稻生長期之溫度變化

Fig 4. Variation of temperature in different growth stages of crop during the second crop season in 2003

## 引用文獻

1. 劉瑞美、林經偉、黃山內 1999 不同有機質肥料對台灣水稻田甲烷釋放之影響。中華農業氣象學報。6:139-147。
2. 黃山內、林經偉、劉瑞美。2000。全期湛水與間歇灌水對台灣水稻田甲烷釋放之影響。土壤與環境。3:217-226。
3. Adhya, T.K. A.K. Rath, P.K. Gupta, V.R. Rao, S.N. Dao, K.M. Parida, D.C. Parashar, and N. Sethunathan. 1994. Methane emission from flooded rice fields under irrigated conditions. *Biol. Fertil. Soils* 18, 245-248.
4. Bartlett, K. and R. C. Harriss. 1993. Review and assessment of methane emission from wetlands. *Chemosphere*. 26:261-320.
5. Cicerone, R.J., Oremland, R.S. 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochem. Cycles* 2, 299-327.
6. Ehhalt, D. H. and U. Schmidt. 1978. Sources and sinks of atmospheric methane. *PAGEOPH*. 116:452-464.
7. Holzupfel-Pschorn, A. and W. Seiler. 1986. Methane emission during a cultivation period from a Italian paddy. *J. Geoph. Res.* 91:11803-11814.
8. Kimura, M., H. Murakami, and H. Wada. 1991. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> production in rice rhizosphere. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37:55-60.
9. Kimura, M., T. Minoda and J. Murase. 1993. Water-soluble organic materials in paddy soil ecosystem : II. Effects of temperature on controls of total organic materials, organic acids, and methane in leachate from submerged paddy soils amended with rice straw. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 39:713-724.
10. King, G. M., P. Roslev, and H. Skovgaard. 1990. Distribution and rate of methane oxidation in sediments of Florida Everglades. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:2902-2911.
11. Kludze, H.K., R.D. DeLaune, and W.H. Patrick, Jr. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:386-391.
12. Lindau, C.W., P.K. Bollich, R.D. Delaune, A. R. Mosier, and K.F. Bronson. 1993. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded Louisiana rice fields. *Biol. Fertil. of Soils.* 15:174-178.
13. Neue, H.U., Sass, R.L., 1994. Trace gas emissions from rice fields. In: Prinn, R.G. (Ed.), *Global Atmospheric-Biospheric Chemistry*. Plenum Press, New York, PP. 119-147.
14. Neue, H.U., Wassmann, R., Lantin, R.S., Alberto, MA C.R., Aduna, J.B., Javellana, A.M., 1996. Factors affecting methane emission from rice fields. *Atmospheric Environ.* 30, 1751-1754.
15. Ponnampereuma, F.N. 1983. Straw as a source of nutrients for wetland rice. *In Organic Matter and Rice*. International Rice Research Institute, pp. 117-136. Los Banos, Laguna, Philippines,

- 16.Sass, R.L., F.M. Fisher, S.T. Lewis, M.F. Jund, and F.T. Turner. 1994.Methane emissions from rice fields: effect of soil properties. *Global Biogeochem. Cycle* 8:135-140.
- 17.Sass, R.L., Fisher Jr, F.M., 1997. Methane emission from rice paddies: a process study summary. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 49, 119-127.
- 18.Trolldenier, G. 1995. Methanogenesis during rice growth as related to the water regime between crop seasons. *Biol. Fertil. Soils.* 19:84-86.
- 19.Wang, W.C., Y.L. Yung, A.A. Lacin, T. Mo, and J.E. Hansen. 1976. Green house effects due to man-made perturbations of trace gases. *Science.* 194:685-690.
- 20.Wang, Z. P., R. D. Delaune, P. H. Masscheleyn, and W. H. Patrick, Jr. 1993. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:382-385.
- 21.Yagi, K. and K. Minami. 1990. Effects of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:599-610.22.Yang, S.S., C.C. Lin, E.H. Chang, R.S. Chung and S.N. Huang. 1994. Effect of fertilizer, soil type, growth season on methane production and emission in the paddy soils of Taiwan. *J. Biomass Energy Soc. China.* 13:68-87.



# Effects of Continuous and Green Manure-Rotation Cultivation Systems on Flux and Mitigation of Methane from Paddies<sup>1</sup>

Lin, C.W.<sup>2</sup>, S.N. Huang<sup>2</sup>, W.S. Chen<sup>2</sup>, R.M. Liou<sup>3</sup>, and S.S. Chen<sup>3</sup>

## Summary

Methane is an important greenhouse gas, and flooded rice fields are one of the major biogenic methane sources. In this study, methane emission rates were measured after transplanting in paddy fields with treatment of rest and continuous rice cultivation. The experiment was conducted in fields located at Tainan District Agricultural Improvement Station in Chia-Yi county (23°25'08"N, 120° 16'26"E) of southern Taiwan throughout the first and the second crop seasons in 2003. The seasonal methane flux in the first crop season were 10.4±4.1 and 13.9±3.7 g m<sup>-2</sup> season<sup>-1</sup> with the rotation-cultivation and continuous-cultivation treatments, respectively. The seasonal methane flux in the second crop season were 5.2±1.4 and 15.5±6.0 g m<sup>-2</sup> season<sup>-1</sup> with the rotation-cultivation and continuous-cultivation treatments, respectively. In comparison of two cultivation systems, the continuous cultivation system showed a tendency for larger methane emission than the rotation cultivation system. It was concluded that the CH<sub>4</sub> emission was markedly decreased by rotation cultivation system, rotation cultivation system would be an appropriate methane mitigation strategy in Taiwan paddy soils.

Key words : Rotation system , Paddy soils , Methane emission , Mitigation

Accepted for publication:21,October,2005

---

1. Contribution No.316 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COUNCIL OF AGRICULTURE, EXECUTIVE YUAN.

2. Assistant Researcher , Director , Secretary , Tainan District Agricultural Research and Extension Station , 70 Muchang, Sin-hua, Tainan, 712, Taiwan, R.O.C

3. Associate professor, Professor, Department of Environmental Resources Management, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, 717, Taiwan, R.O.C.