

# 不犁田栽培對玉米田溫室氣體排放影響之研究

黃俊騰<sup>1</sup>、陳守泓<sup>2</sup>、范鈞翔<sup>1</sup>、姚銘輝<sup>2</sup>、申雍<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學土壤環境科學系

<sup>2</sup>行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

## 摘要

為評估是否可藉由以不犁田方式栽培玉米，協助減少國家溫室氣體的排放量，本研究利用一個可以模擬玉米田生態系中碳和氮之動態變化的電腦模式，進行耕犁措施和氮肥用量處理對玉米田溫室氣體排放影響的模擬研究。研究結果指出，若以每作氮肥用量 140 kg N ha<sup>-1</sup> 的不犁田栽培方式種植玉米，將比以現行栽培方式種植水稻，可大幅降低溫室氣體的淨排放量達 10~30 MgCO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>。若能推動 20 萬公頃休耕稻田改以不犁田方式栽培玉米，將能減少國家溫室氣體排放量達 2~6 Tg CO<sub>2</sub> eq. y<sup>-1</sup>。為鼓勵農民將休耕稻田改作玉米，需克服國內生產成本高於進口成本的問題，以符合 WTO 綠色措施之規範給予適當補貼，以及利用玉米藁桿產製纖維素酒精以增加農民的收益，都是值得考慮的作法。

**關鍵詞：**全球暖化、溫室氣體減量、保育耕犁、玉米。

## Effects of No-till Cultivation on Greenhouse Gases Emission from Corn Fields

Jun-Teng Huang<sup>1</sup>, Shou-Hung Chen<sup>2</sup>, Jun-Xiang Fan<sup>1</sup>, Min-Hwi Yao<sup>2</sup> and Yuan Shen<sup>1\*</sup>

\* 通信作者, yshen@nchu.edu.tw

投稿日期：2010 年 7 月 21 日

接受日期：2010 年 11 月 16 日

作物、環境與生物資訊 8:1-14 (2011)

Crop, Environment & Bioinformatics 8:1-14 (2011)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

<sup>1</sup> Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung 40227, Taiwan ROC

<sup>2</sup> Division of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

## ABSTRACT

Simulation studies were conducted, using a computer model which considered the dynamic changes of C and N in agro-ecosystems, to evaluate the potential of decreasing national greenhouse gases (GHGs) emissions through no-till cultivation of corn. Results indicated that the net GHGs emission could be reduced by 10~30 MgCO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, as compared to that from paddy rice, if nitrogen fertilizer was applied at the rate of 140 kg N ha<sup>-1</sup> per crop season. National GHGs emission can be reduced by 2~6 Tg CO<sub>2</sub> eq. y<sup>-1</sup> if the practices are applied to the 200,000 hectares of currently set-aside paddy fields. However, the barrier of high domestic production cost as compared to that of importation must be overcome first. Subsidization in accordance with World Trade Organization (WTO) green-box regulation and production of cellulose ethanol using corn stalks are measures that worth further exploration.

**Key words:** Global warming, Greenhouse gas emission reduction, Conservation tillage, Corn.

## 前言

土壤中有機物的含量很容易受到耕犁措施的影響(Lal *et al.* 1995)，Liu *et al.* (2006)曾綜合不同作物、輪作、殘體管理、耕犁措施、施肥等農耕管理措施，以瞭解其等對土壤品質、土壤有機質、以及碳轉換的影響。目前已逐漸認知到藉由調整耕犁管理措施提高土

壤有機物含量，可以將大氣中的 CO<sub>2</sub> 固定在土壤中，其成本遠較工業部門的減量措施為低 (IPCC 2007b)。在京都議定書 (Kyoto Protocol) 的架構下，農業部門溫室氣體減量技術和措施在經濟效益與環境保護上的重要性將與時俱進 (McCarl and Schneider 2000, EU 2009)，因此在規劃國家因應氣候變遷的調適策略時，值得給予更多的關注與考量。

除 CO<sub>2</sub> 外，與農業部門有關的溫室氣體還有 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 兩類，生命週期分別約為 12 年和 114 年，其暖化效應都比 CO<sub>2</sub> 高。以 20 年和 100 年為評估基準的暖化潛勢 (global warming potential; GWP)，分別為 CO<sub>2</sub> 的 72 與 289 倍和 25 與 298 倍 (IPCC 2007a)。水田在長期湛水的狀態下，有機物被分解形成 CH<sub>4</sub> 釋出 (Conrad 1996, Li 2007)，釋放量與湛水時間和土壤中易分解有機物的含量成正相關 (Watanabe *et al.* 1995, Singh *et al.* 1996, Cai 1997, Zou *et al.* 2005)。N<sub>2</sub>O 則會因土壤中微生物進行的硝化作用 (nitrification) 和脫氮作用 (denitrification) 而釋出，釋放量主要與土壤水分狀態、酸鹼度、及氮肥施用量有關 (Cai *et al.* 1997, Chen *et al.* 1997, Zheng *et al.* 2000, Nishimura *et al.* 2004, Yu *et al.* 2004, Akiyama *et al.* 2005)。

水稻是臺灣地區栽培面積最大的作物，質地為砂壤土、壤土和黏壤土之中性水田的溫室氣體淨排放量分別約為 46.0、31.7 和 13.3 MgCO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> (Chen *et al.* 2010)。每年臺灣地區水稻收穫後殘留的稻藁約有 250 萬噸，雖然收穫後將稻藁切碎掩埋入土可以增加土壤的肥力和有機物含量 (Singh *et al.* 2004, Tirol-Padre *et al.* 2005)，但其蓄存大氣中 CO<sub>2</sub> 的能力卻因土壤有機物含量逐漸達到平衡而逐年降低，並導致暖化潛勢較高之 CH<sub>4</sub> 在湛水期間的釋放量因可分解有機物增加而逐年增加。長期實施後溫室氣體的淨排放量反而超過不將稻藁掩埋入土的作法，因此水田並不宜藉由將稻藁掩埋入土的作法降低溫室氣體的淨排放量 (Chen *et al.* 2010)。

目前臺灣地區飼料玉米栽培面積約僅 8 千公頃 (COA 2009a)，每年產量約 8 萬公噸，為滿足國內畜牧業對飼料之需求，每年還需進口約 430 萬公噸 (COA 2009b)。由於國內稻米生產過剩，2008 年政府已花費新臺幣 107.7 億元輔導約 20 萬公頃稻田休耕或種植綠肥 (AFA 2009)，但若利用休耕稻田生產飼料玉米，卻需面臨國內生產成本 (~NTD 12 kg<sup>-1</sup>) 高於進口成本 (< NTD 10 kg<sup>-1</sup>) 的問題 (COA 2009a)。由於玉米為旱作，沒有水田因長期湛水導致 CH<sub>4</sub> 釋出的問題，且國外已有許多研究指出若採用不耕犁的方式，玉米田可以藉由增加土壤有機物的方式從大氣中蓄存大量的 CO<sub>2</sub> (eg., Allmaras *et al.* 2004, Pendell *et al.* 2006, Follett *et al.* 2009)，因此利用休耕稻田以不耕犁的方式生產飼料玉米，對於降低國家溫室氣體的總排放量應有相當的助益。由於國內飼料玉米的生產成本高於進口成本，若要鼓勵在國內生產飼料玉米，則必須採用可以符合世界貿易組織 (World Trade Organization; WTO) 境內補貼規範之措施，例如採用以「環境計畫下之給付」的名義進行補貼 (Chen and Chang 2009)。

若擬對採用不耕犁的方式的玉米田補貼其降低國家溫室氣體總排放量的環境維護效益，以克服國內生產成本高於進口成本之問題，則需先瞭解在臺灣溫暖的氣候環境下，玉米田採用不犁田栽培法能提高土壤有機物含量到何種程度？CO<sub>2</sub> 固定量和 N<sub>2</sub>O 排放量的逐年變化又如何？以及相較於種植水稻可減少的溫室氣體排放當量有多少？由於短期的田間試驗數據並不能代表長期實施後的效應。因此，本研究使用一個可以模擬農業生態系中碳和氮之生物地球化學變化過程，且準確性已被廣泛驗證過的電腦模擬模式 Denitrification-Decomposition (DNDC) (Cai *et al.* 2003, Jagadeesh Babu *et al.* 2006, Beheydt *et al.* 2007)，進行不犁田栽培對玉米田溫室氣體排放影響之模擬研究，期能對上述之各問題提供解答。

## 材料與方法

研究使用的 DNDC 模式為 9.3 版，模式結構可分成兩大部分，第一部分由模擬土壤氣候(soil climate)、作物生長(plant growth)和分解作用(decomposition)的 3 個副模式(submodel)組成，其中土壤氣候副模式可依據輸入之每日氣象資料推估土壤剖面中溫度、水分和氧化還原電位(redox potential; Eh)境況的動態變化；作物生長副模式則依據累積溫熱量和氮素與水分的吸收量，推估作物地上和地下部生質量的動態變化；分解作用副模式則模擬土壤中有機物組成和微生物生質量，以及 CO<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>和 DOC (dissolved organic carbon)等受質濃度的動態變化。第二部分由模擬土壤中脫氮反應(denitrification)、硝化反應(nitrification)和發酵反應(fermentation)的 3 個副模式組成，分別依據由模式第一部分產生之土壤溫度、水分和 Eh 境況，以及土壤質地與 pH 和土壤中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 DOC 等受質濃度，推估 CH<sub>4</sub>、NO、N<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub> 和 NH<sub>3</sub> 等氣體的排放量(Li 2007)。

進行模擬前，除需提供每日氣象資料外，還需依據模擬情境設定土壤、作物和栽培管理等相關參數。在氣象資料部分，本研究以中央氣象局臺中測站最近 30 年(1980-2009)的每日最高和最低氣溫、日射量和雨量觀測值代入，以模擬臺灣地區的氣候環境。並將此 30 年的氣象資料再重複代入一次，使模擬的總年期延長為 60 年，以探討長期實施後對土壤有機物累積與溫室氣體排放量的影響。

由於土壤質地會影響土壤的孔隙率和孔徑大小，進而影響土壤水分的運動及其與大氣間氣體的交換，因此選擇砂壤土、壤土和黏壤土三種土壤質地，設定總體密度為 1.3 g cm<sup>-3</sup>，對應之相關土壤參數列於 Table 1。設定土壤剖面中沒有水分移運的限制層，且不存在有可造成優勢流動的大孔隙。此外，也

分別設定土壤的 pH 值為 5.5、6.5 和 7.5，以模擬土壤酸鹼度對溫室氣體排放量的影響。

參照 DNDC 模式內建的玉米作物參數，設定穀粒最大產量為 5200 kg C ha<sup>-1</sup>，成熟所需的溫熱量為 2550 Degree-Day；收穫時乾物質於穀粒：藁桿：根部的比例為 0.37:0.47:0.16，穀粒、藁桿和根部的 C/N 比分別為 55、95、95。春、秋作的播種與收穫日期分別為每年 2 月 20 日和 6 月 20 日，以及 8 月 1 日和 11 月 15 日。耕犁措施分為不犁田和播種前 3 天以傳統板犁翻耕兩種，傳統板犁翻耕處理在兩次追肥施用後還實施中耕培土作業。每作氮肥用量 180 kg N ha<sup>-1</sup>，基肥：第一次追肥：第二次追肥的比例為 50%：25%：25%，春作和秋作兩次追肥施用時間分別於播種後第 4 週與第 7 週和第 3 週與第 6 週。不犁田措施再增加氮肥用量為 140 kg N ha<sup>-1</sup> 的處理一種，以探討減少氮肥用量對產量和溫室氣體淨排放 CO<sub>2</sub> 當量之影響。為避免玉米生長過程中發生水分逆境問題，因此設定由模式依作物需求自動進行灌溉補充水分。

DNDC 輸出之氣體通量密度分別以所含之 C 或 N 為單位(如 kg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> 或 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)，因此需以式(1)轉換成 CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)、CH<sub>4</sub> (kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)和 N<sub>2</sub>O (kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)等氣體之通量密度。

$$\text{CO}_2 = \text{C} \times (44/12) \quad (1a)$$

$$\text{CH}_4 = \text{C} \times (16/12) \quad (1b)$$

$$\text{N}_2\text{O} = \text{N} \times (44/28) \quad (1c)$$

溫室氣體淨排放量(Net Emission; kg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>)則以式(2)計算，為能與 Chen *et al.* (2010)發表模擬結果相比較，因此 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 以 20 年為評估基準的暖化潛勢進行加權。

$$\text{Net Emission} = \text{CO}_2 \times 1 + \text{CH}_4 \times 72 + \text{N}_2\text{O} \times 289 \quad (2)$$

## 結果與討論

Fig. 1 顯示模擬之玉米春作和秋作全株乾物重分配的典型動態變化，生育前期因葉

片和根系快速增加，乾物重也隨之快速累積；生育後期穀重逐漸增加，根部和葉桿之乾物重逐漸減少，其中又以根部乾重減少的程度較多。收穫時穀粒和葉桿產量春作通常

Table 1. Soil properties for the soils used in Denitrification-Decomposition (DNDC) simulation.

Property	Sandy loam	Loam	Clay loam
Clay content (%)	9	19	41
Porosity (%)	43.5	45.1	47.6
Saturated hydraulic conductivity ( $\text{m hr}^{-1}$ )	0.1248	0.02502	0.00882
Field capacity (%WFPS*)	32	49	57

\*WFPS: Water filled pore space.

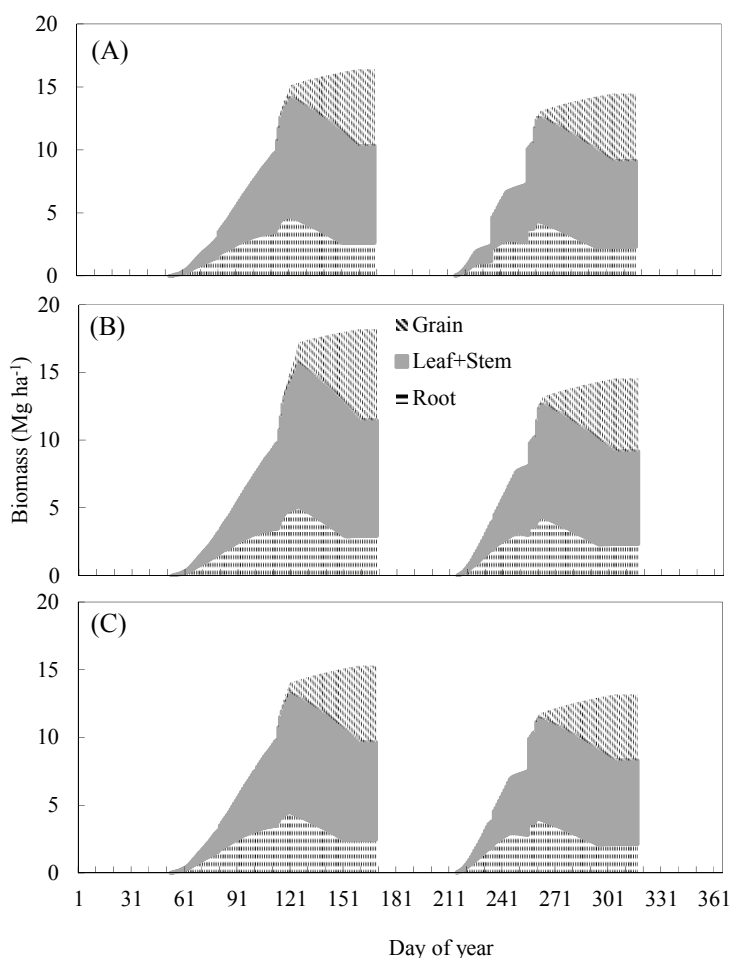


Fig. 1. Typical temporal changes of the simulated biomass accumulation in spring and autumn crop seasons. (A) moldboard-plow tillage with  $180 \text{ kg N ha}^{-1}\text{crop}^{-1}$ ; (B) no-till tillage with  $180 \text{ kg N ha}^{-1}\text{crop}^{-1}$ ; and (C) no-till tillage with  $140 \text{ kg N ha}^{-1}\text{crop}^{-1}$ .

高於秋作，穀粒和藁桿年產量以每作氮肥用量  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理最高，傳統板犁翻耕處理次之，每作氮肥用量  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理最低。秋作時氮肥用量  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理和傳統板犁翻耕處理間的產量差異不大，但均較氮肥用量  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理為高。

玉米產量與氮素的吸收量有正相關 (Maskina *et al.* 1993, Eghball and Power 1999, Kitchen *et al.* 2010)，模擬結果顯示不同處理春作累積氮素吸收量皆高於秋作 (Fig. 2)。對春作而言，不同處理在生育前期的氮素累積吸收量幾乎沒有差異，但氮素累積吸收量在生育後期以氮肥用量  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理最高，傳統板犁翻耕處理次之，每作氮肥用量  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理最低。在秋作生育前期，傳統板犁翻耕處理的氮素累積吸收量在第一次追肥前有遲滯的現象，而所有處理的累積氮素累積吸收量在第二次追肥前都出現遲滯的現象，此遲滯現象也表現於各處理秋作乾物質累積的動態變化上 (Fig. 1)。秋作生育後期，氮肥用量  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理和傳統板犁翻耕處理之氮素累積吸收量相當，但高於氮肥用

量  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁處理。

翻耕將使得土壤中的有機物容易被分解，模擬結果顯示採用傳統板犁翻耕方式之玉米田每年  $\text{CO}_2$  的排放量有快速增加的情形 (Fig. 3A)，中到粗質地的土壤和細質地土壤  $\text{CO}_2$  排放量達到平衡的時間分別約需 20 年和 40 年，平衡時的排放量約為  $11\sim 12 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。 $\text{CO}_2$  年排放量的增加來自於田間土壤可分解有機物含量逐漸增加，模擬結果顯示即使在臺灣的溫熱的氣候環境下，當達到平衡時壤土和砂壤土表土有機物的含量約可達到 2.4%，黏壤土將超過 3.3% (Fig. 3B)。此乃由於玉米為  $\text{C}_4$  型作物，其光合作用效率比屬於  $\text{C}_3$  型的水稻為高 (Schmitt and Edwards 1981, Zhu *et al.* 2010)，在相同的日照與溫度環境下可以產生較多的乾物質，且模擬中還設定收穫時玉米根系佔全株乾物質重的比例為 16%，高於 Chen *et al.* (2010) 設定之水稻根系比例 (5%)，所以玉米田每年經由根系加入土壤的新鮮有機物量是水稻田的 3 倍以上。因此，雖然玉米田有機物的分解量約為水稻田的 3 倍，但到達平衡時玉米田的有機物含量會高於水稻田。

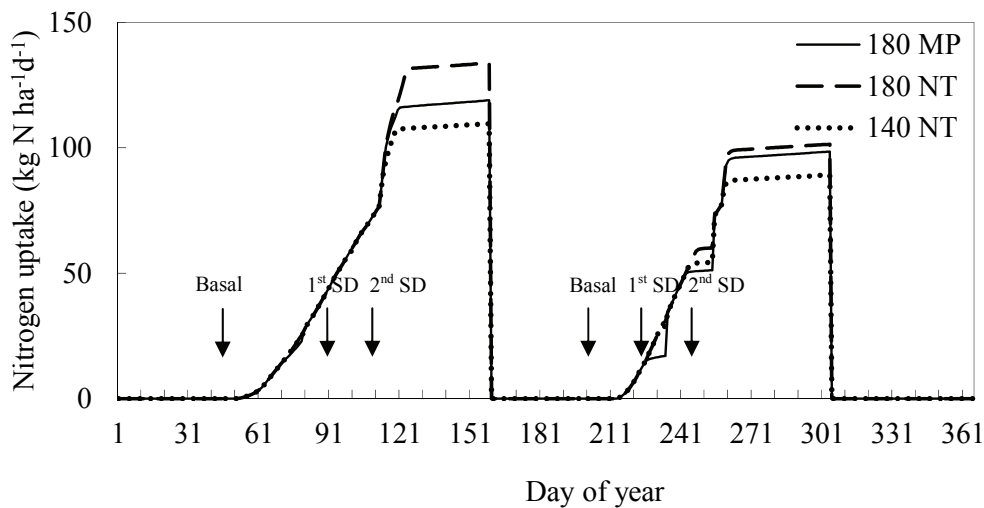


Fig. 2. Typical temporal changes of the simulated nitrogen uptake by various N rates ( $180$  and  $140 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ crop}^{-1}$ ) and tillage (MP: moldboard plow; NT: no-till) treatments. SD: side dressing of N fertilizer.

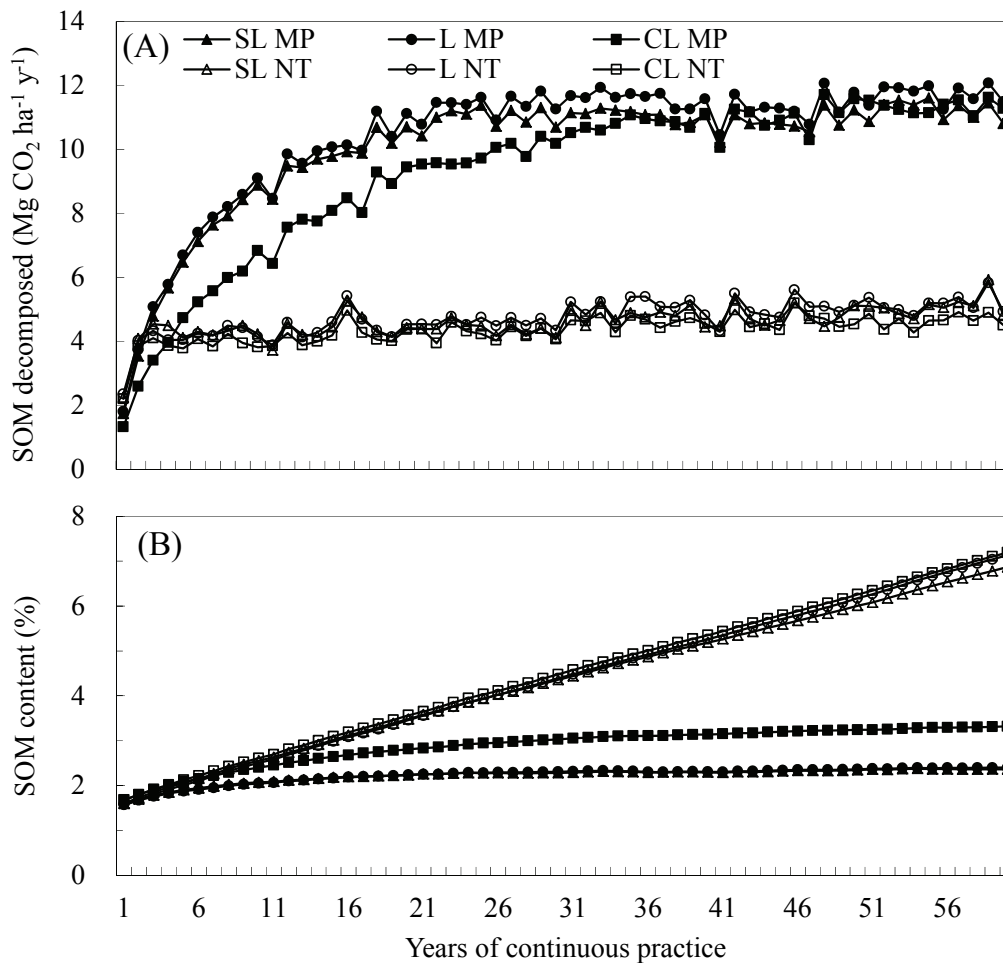


Fig. 3. Effects of soil texture (SL: sandy loam, L: loam, and CL: clay loam) and tillage practice (MP: moldboard plow ; NT: no-till) on yearly changes of (A) soil organic matter decomposed and (B) soil organic matter content.

若以不犁田方式栽培玉米，每年土壤中有機物分解所產生的 CO<sub>2</sub> 排放量將降低至約 5 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> (Fig. 3A)，即使在 60 年後土壤中有機物含量仍可持續增加(Fig. 3B)。此模擬結果顯示，在臺灣的溫熱的氣候環境下，採用不犁田栽培法似可大幅提升玉米田土壤中有機物含量。Fig. 4 則顯示以不犁田方式栽培玉米，每年對大氣中 CO<sub>2</sub> 的淨蓄存量約可維持在 7 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> 的水準。不論採用傳統板犁翻耕或不犁田處理，土壤酸鹼度對玉米田土壤有機物含量變化的影響則非

常微小(資料未顯示)。增加土壤有機物含量還有許多其他附帶益處，如改善土壤物理性質、提高土壤儲水能力等，這些附帶益處也可提高作物產量(Bauer and Black 1994, Berzsenyi *et al.* 2000)。

模擬結果顯示玉米田中 N<sub>2</sub>O 之排放主要發生於春、秋兩作的生育前期，尤其在基肥和追肥施用後最為明顯(Fig. 5A)。此乃由於在生育期間需維持土壤水分供應充足以供作物生長所需，但也因此同時提高微生物分解土壤中有機物的效率，在生育前期因可供分

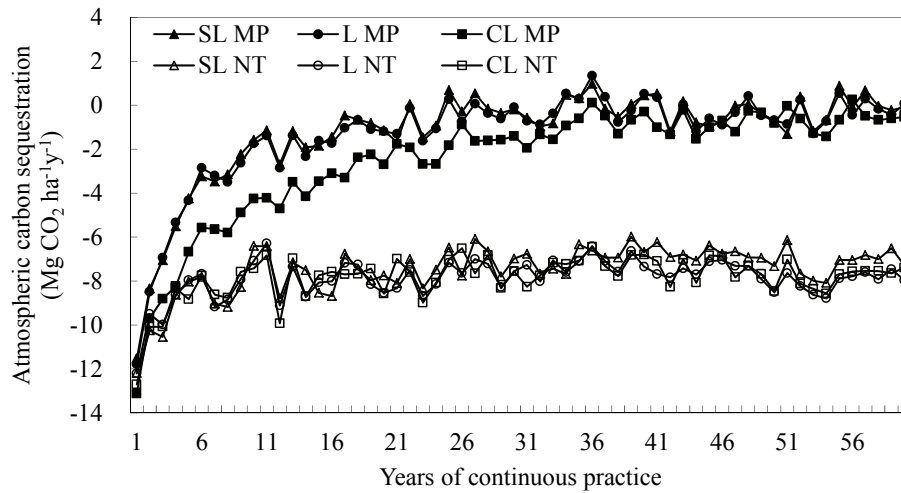


Fig. 4. Effects of soil texture and tillage practice on atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration. Legends are described in Fig. 3.

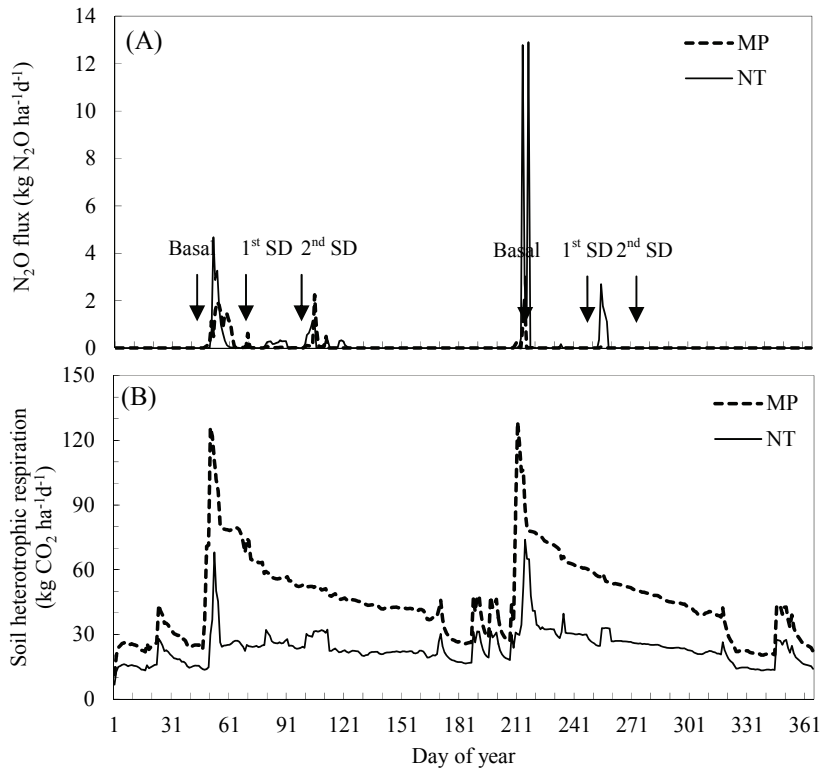


Fig. 5. Typical temporal changes of the simulated (A) N<sub>2</sub>O emission and (B) soil heterotrophic respiration from corn fields of loam texture and at pH=6.5 by moldboard plow (MP) or no-till (NT) tillage practices. (N rate: 180 kg N ha<sup>-1</sup> crop<sup>-1</sup>).



解有機物多，土壤微生物呼吸量顯著提高(Fig. 5B)。有機物被分解時也會釋出  $\text{NH}_4^+$ ，而基肥和追肥的施用則直接提高土壤中的  $\text{NH}_4^+$  濃度，兩者皆可提供微生物進行硝化作用所需的反應物。對實施傳統板犁翻耕處理之玉米田而言，氮肥施用是提升土壤中  $\text{NH}_4^+$  濃度的主要因素。由於春作生育初期溫度低作物生長較慢，因此有較多的  $\text{NH}_4^+$  可被微生物的硝化作用轉成  $\text{NO}_3^-$ ，繼而經由脫氮作用轉成  $\text{N}_2$ ，因此春作  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量小於秋作。對實施不犁田處理之玉米田而言，儲存於土壤中的大量有機物被分解時，也會提升土壤中  $\text{NH}_4^+$  的濃度。春作生育初期的低溫不利於土壤中有機物的分解，因此導致春作  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量反而小於秋作。

由於有土壤有機物分解所提供的額外氮源，因此不犁田處理  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量較實施傳統板犁翻耕處理為高(Fig. 6)。土壤質地越粗  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量越高，此可能與質地較粗土壤的通氣較好有關。Fig. 7 顯示雨量大量易導致土壤中  $\text{NO}_3^-$  淋洗損失，進而導致  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量減少。由於土壤中  $\text{NO}_3^-$  主要由  $\text{NH}_4^+$  的硝化作用所產生，因此 Fig. 6 中同一質地土壤  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量年度間的變動主要受期作生育初

期雨量之影響。

土壤酸鹼度也會影響  $\text{N}_2\text{O}$  的產出，Fig. 8A 顯示中性土壤  $\text{N}_2\text{O}$  的排放量最高，酸性土壤次之，鹼性土壤最少，主要應與鹼性土壤中有較多的  $\text{NH}_4^+$  會轉成  $\text{NH}_3$  揮失(Fig. 8B)，以及脫氮菌和硝化菌的活性在中偏酸性的土壤中最高(IFA and FAO 2001)有關。

Fig. 6 和 Fig. 8 都顯示，實施不犁田處理後  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量會逐年增加，約在實施 45 年前後達到最大值，其後  $\text{N}_2\text{O}$  的釋放量呈現逐年遞減的趨勢。Anthonisen *et al.* (1976) 及 Carrera *et al.* (2004) 指出高濃度的  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_2^-$  會抑制微生物的硝化作用，因此剛實施不犁田處理後  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量之漸增，應與土壤中有機物含量逐漸增加，分解後可提高土壤中  $\text{NH}_4^+$  濃度有關；而後期  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量之遞減，則可能與土壤中  $\text{NH}_4^+$  濃度過高，對土壤中硝化菌的活性產生抑制作用。因此，導致雖然土壤中  $\text{NH}_4^+$  濃度高(Fig. 9A)，但  $\text{NO}_3^-$  濃度卻偏低(Fig. 9B)，進而導致  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量之減少(Fig. 9C)。

相較於 Chen *et al.* (2010) 對目前水稻田溫室氣體淨排放量的模擬結果，玉米田由於沒有  $\text{CH}_4$  的排放，因此即使採用傳統板犁翻

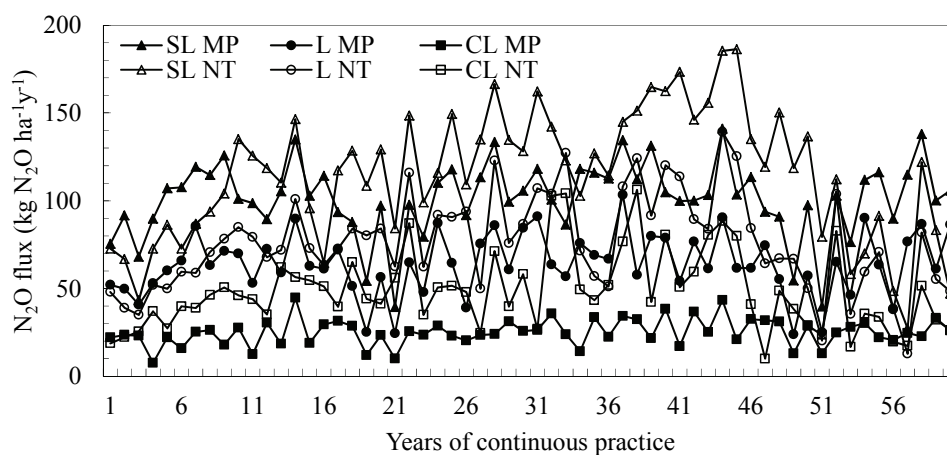


Fig. 6. Yearly changes of  $\text{N}_2\text{O}$  emission as affected by soil texture and tillage practices. Legends are described in Fig. 3.



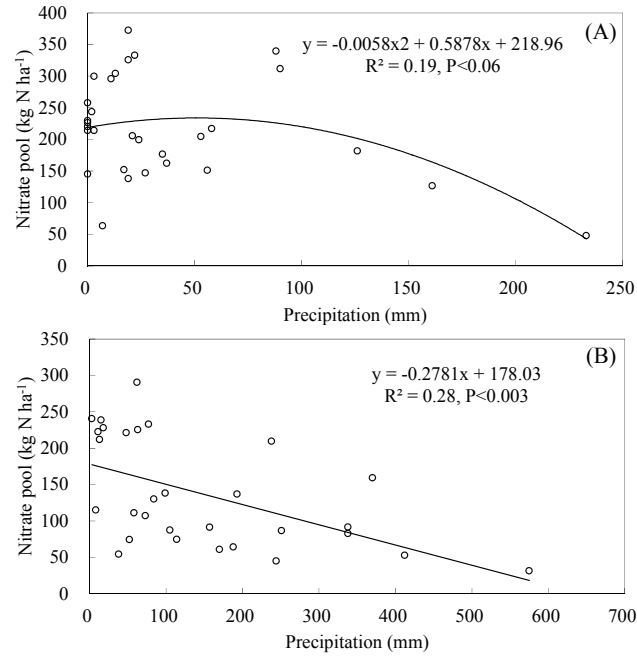


Fig. 7. Nitrate concentration in the surface soil (0-10cm) as affected by the accumulated precipitation in early growth period of (A) spring and (B) autumn crop seasons.

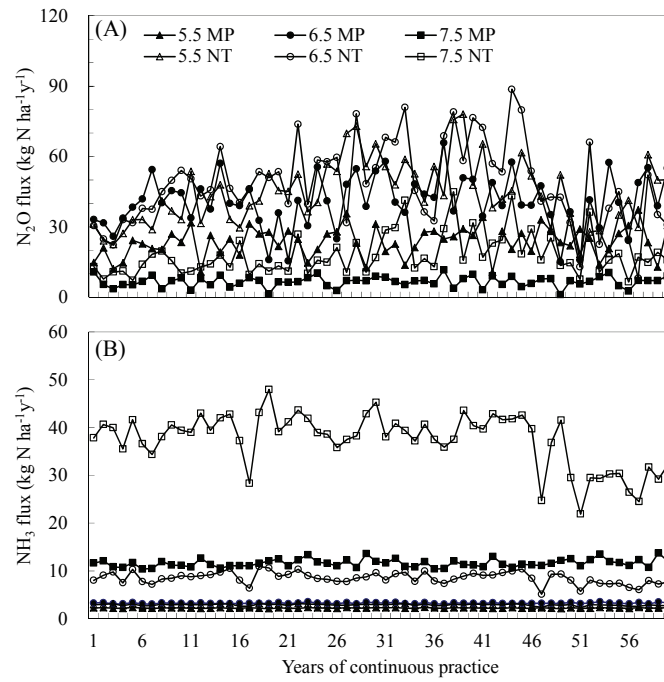
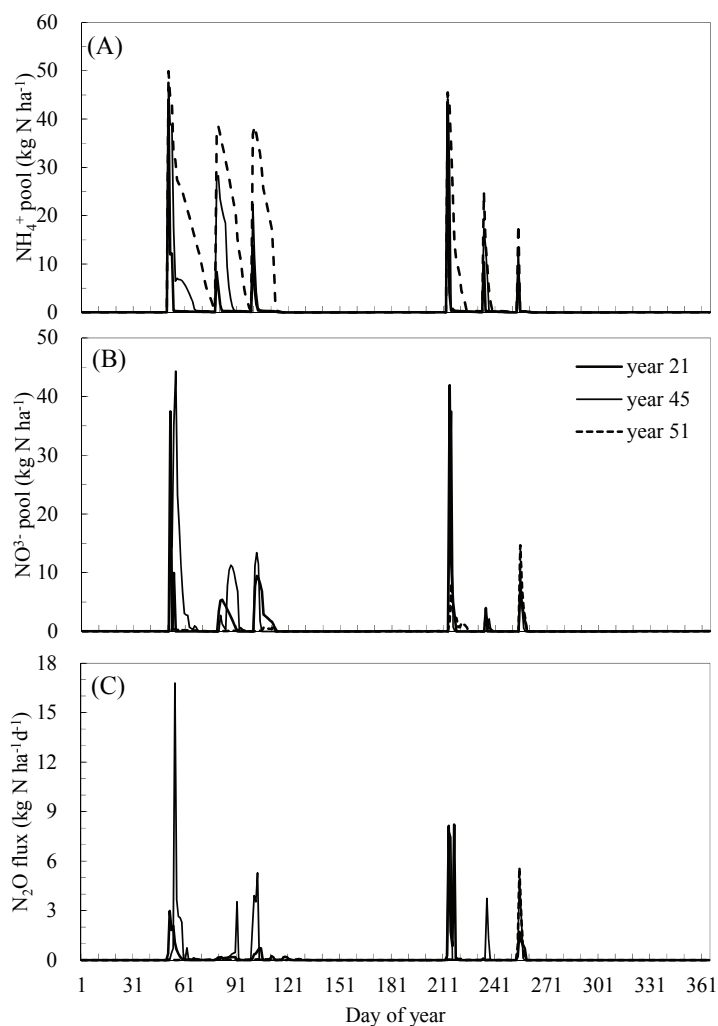


Fig. 8. Yearly changes of (A) N<sub>2</sub>O and (B) NH<sub>3</sub> emissions as affected by soil acidity (pH= 5.5, 6.5, and 7.5) and tillage practices (MP: moldboard plow ; NT: no-till) for loamy soil.



**Fig. 9. Temporal changes of the simulated (A)  $\text{NH}_4^+$  and (B)  $\text{NO}_3^-$  concentrations in surface soils (0-10cm), and (C)  $\text{N}_2\text{O}$  emission from corn fields of loam texture and at pH=6.5 at various years of continuous practicing the no-till management..**

耕的方式栽培，其溫室氣體淨排放量仍可較水稻田減少約  $10 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  (Fig. 10A)，粗質地土壤較細質地土壤減少更多。在生育初期若降雨多，溫室氣體淨排放量還可因  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量減少而更為降低。以不犁田的方式栽培，由於土壤有機物的大量蓄存，溫室氣體淨排放量理論上可較採用傳統板犁翻耕的方式再減少，但若每作氮肥用量為  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ ，受  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量增加之影響，不僅不能再減少的溫室氣體淨排放量極為有限且甚

至反而可能增加。尤其在實施約 30 年後，細質地土壤的排放量甚至可以超過水稻田 (Fig. 10B)；若每作氮肥用量降低為  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$ ，由於  $\text{N}_2\text{O}$  釋放量減少，不同土壤質地的溫室氣體淨排放量可較水田降低許多，在砂壤土、壤土、和黏壤土可分別減少約 30、25、和  $10 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  (Fig. 10C)。

上述對溫室氣體排放量模擬的結果顯示，若水田改以每作氮肥用量  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  的不耕犁栽培方式種植玉米，將比栽種水稻

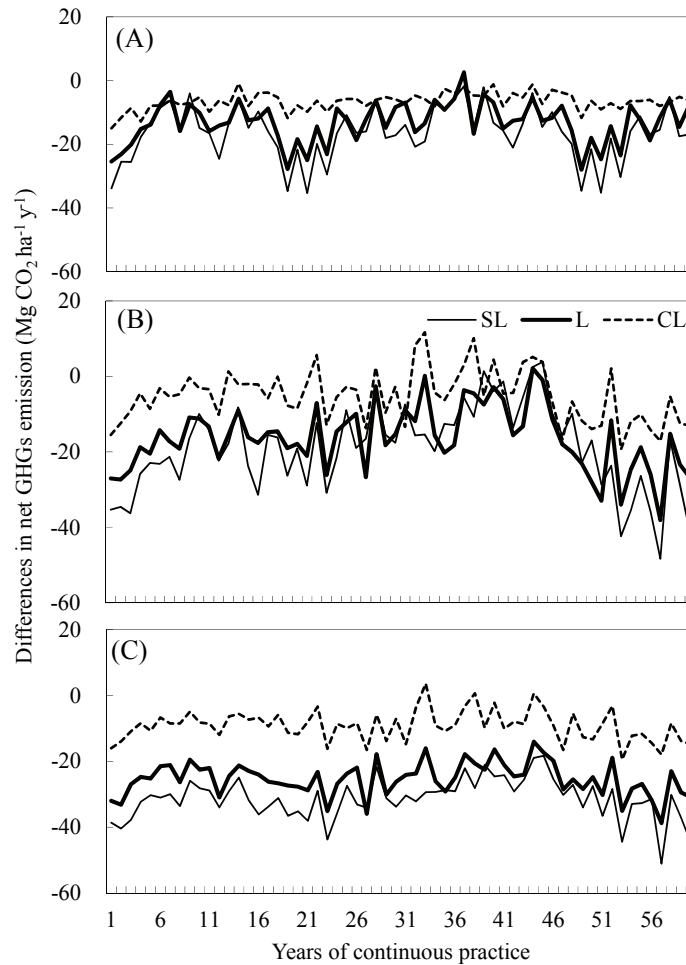


Fig. 10. Differences in net greenhouse gases emission from corn fields of various soil textures (SL: sandy loam; L: loam; CL: clay loam) that managed by (A) moldboard-plow tillage with 180 kg N ha<sup>-1</sup>crop<sup>-1</sup>, (B) no-till tillage with 180 kg N ha<sup>-1</sup>crop<sup>-1</sup>, and (C) no-till tillage with 140 kg N ha<sup>-1</sup>crop<sup>-1</sup> as compared with those simulated for paddy fields under conventional management.

可大幅降低溫室氣體的淨排放量 10~30 Mg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>。若能推動 20 萬公頃休耕稻田改以不犁田方式栽培玉米，將能減少國家溫室氣體排放量達 2~6 Tg CO<sub>2</sub> eq. y<sup>-1</sup>，相當於臺灣地區全部森林每年可固定之 CO<sub>2</sub> 量的 1/10 ~1/3 (EPA 2010)，並節省每年所需發放的休耕補助約新臺幣 100 億元。若依 NT\$12,000 Mg<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> 減量成本計算，則相當於可減少每年減量成本支出達新臺幣 240~720 億元。若每年兩作之玉米產量以 10

Mg ha<sup>-1</sup>計，則可生產 200 萬公噸的玉米，約佔目前每年進口玉米量的一半，對於提高我國糧食自給率也有很大的幫助。

依據世界貿易組織的規定，如果能符合農業協定附件 2 中的規定，對於有環境保護功能的補貼措施是被允許的 (Chen and Chang 2009)。因此，上述的環保與經濟效益，應可作為對採行不耕犁栽培方式種植玉米農地給予補貼的基礎。此外，推動利用玉米藁桿做為產製纖維素酒精的料源 (Farrell et

al. 2006, Solomon *et al.* 2007), 不僅可以避免廢棄玉米藁稈的處理問題, 並降低對進口石化燃料之需求, 同時也可增加農民的收益。以上兩種措施, 或可克服國內生產飼料玉米成本高於進口成本的難題, 但有關料源之收購、搬運、儲存等相關問題也須設法解決, 因此還需繼續深入評估經濟效益並研擬具體實施辦法。

### 結論

推動休耕稻田改以每作氮肥用量 140 kg N ha<sup>-1</sup> 的不犁田方式栽培玉米, 將比栽種水稻可大幅降低溫室氣體的淨排放量約 10~30 Mg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>。除可以協助降低我國溫室氣體總排放量外, 收穫的玉米也可提供畜牧業所需的飼料, 提升我國的糧食自給率, 因而值得農政主管單位給予高度重視。為鼓勵農民將休耕稻田改作玉米, 宜考慮在符合 WTO 的規範下補貼其對環境保護的效益, 並推動以玉米藁稈產製纖維素酒精的政策, 以克服國內生產成本高於進口成本的問題。

### 引用文獻

- AFA (2009) Agriculture and Food Agency Yearbook. 2008 edition. (in Chinese) Agriculture and Food Agency, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei.
- Akiyama H, K Yagi, X Yan (2005) Direct N<sub>2</sub>O emissions from rice paddy fields: summary of available data. **Global Biogeochem. Cy.** 19:GB105.
- Allmaras RR, DR Linden, CE Clapp (2004) Corn-residue transformations into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage, and stover management. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 68:1366-1375.
- Anthonisen AC, RC Loehr, TBS Prakasam, EG Srinath (1976) Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid. **J. Water Pollut. Control Fed.** 48:835-852.
- Bauer A, AL Black (1994) Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 58:185-193.
- Beheydt D, P Boeckx, S Sleutel, C Li, O Van Cleemput (2007) Validation of DNDC for 22 long-term N<sub>2</sub>O field emission measurements. **Atmos. Environ.** 41:6196-6211.
- Berzsenyi Z, B Györfy, D Lap (2000) Effect of crop rotation and fertilization on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. **Eur. J. Agron.** 13:225-244.
- Cai ZC (1997) A category for estimate of CH<sub>4</sub> emission from rice paddy fields in China. **Nutr. Cycl. Agroecosys.** 49:171-179.
- Cai ZC, GX Xing, XY Yan, H Xu, H Tsuruta, KYagi, K Minami (1997) Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant Soil** 196:7-14.
- Cai Z, T Sawamoto, C Li, G Kang, J Boonjawat, A Mosier, R Wassmann, H Tsuruta (2003) Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems. **Global Biogeochem. Cy.** 17:1107. doi:10.1029/2003GB002046.
- Carrera J, I Jubany, L Carvallo, R Chamy, J Lafuente (2004) Kinetic models for nitrification inhibition by ammonium and nitrite in a suspended and an immobilized biomass systems. **Process Biochem.** 39:1159-1165.
- Chen SH, JT Huang, JX Fan, MH Yao, Y Shen (2010) Effects of rice straw incorporation to greenhouse gases emission from paddy fields. (in Chinese with English abstract) *Soil Environ.* (in print)
- Chen GX, GH Huang, B Huang, KW Yu, J Wu, H Xu (1997) Nitrous oxide and methane emissions from soil-plant systems. **Nutr. Cycl. Agroecosys.** 49:41-45.
- Chen YC, CC Chang (2009) Taiwan's agricultural land set aside policy - from WTO perspectives. (in Chinese) **Econ. Outlook Bimonth.** 122:68-75.
- COA (2009a) Taiwan Agricultural Yearbook. 2008 edition. (in Chinese) Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei.

- COA (2009b) Taiwan Food Statistics Book. 2008 edition. (in Chinese) Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei.
- Conrad R (1996) Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, OCS, N<sub>2</sub>O, and NO). **Microbiol. Rev.** 60:609-640.
- Eghball B, JF Power (1999) Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. **Agron. J.** 91:819-825.
- EPA (2010) UNFCCC National Communication of the Republic of China (Taiwan). Environmental Protection Administration, Executive Yuan. Taipei. [http://unfccc.epa.gov.tw/unfccc/nc\\_2nd/](http://unfccc.epa.gov.tw/unfccc/nc_2nd/)
- EU (2009) The role of European agriculture in climate change mitigation. Commission staff working document. SEC 1093. Commission of the European communities.
- Farrell AE, RJ Plevin, BT Turner, AD Jones, M O'Hare, DM Kammen (2006) Ethanol can contribute to energy and environmental goals. **Science** 311:506-508.
- Follett RF, GE Varvel, JM Kimble, KP Vogel (2009) No-till corn after brome grass: Effect on soil carbon and soil aggregates. **Agron. J.** 101:261-268.
- IFA, FAO (2001) Global estimates of gaseous emissions of NH<sub>3</sub>, NO and N<sub>2</sub>O from agricultural land. First version, published by FAO and IFA, Rome.
- IPCC (2007a) Summary for Policymakers. *In*: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S Solomon, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, KB Averyt, M Tignor, HL Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007b) Summary for Policymakers. *In*: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B Metz, OR Davidson, PR Bosch, R Dave, LA Meyer (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jagadeesh Babu Y, C Li, S Frolking, DR Nayak, TK Adhya (2006) Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. **Nutr. Cycl. Agroecosys.** doi 10.1007/s10705-005-6111-5.
- Kitchen NR, KA Sudduth, ST Drummond, PC Scharf, HL Palm, DF Roberts, ED Vories (2010) Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. **Agron. J.** 102:71-84.
- Lal R, J Kimble, E Levine, C Whitman (1995) World soils and greenhouse effect: An overview. *In*: Soils and Global Change. R Lal, *et al.* (eds.) Lewis Publ., Boca Raton, FL, USA.
- Li C (2007) Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. **Soil Sci. Plant Nutr.** 53: 344-352.
- Liu X, SJ Herbert, AM Hashemi, X Zhang, G Ding (2006) Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - a review. **Plant Soil Environ.** 52: 531-543.
- Maskina MS, JF Power, JW Doran, WW Wilhelm (1993) Residual effects of no-till crop residues on corn yield and nitrogen uptake. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 57:1555-1560.
- McCarl BA, UA Schneider (2000) U.S. agriculture's role in a greenhouse gas emission mitigation world: An economic perspective. **Rev. Agric. Econ.** 22: 134-159.
- Nishimura S, T Sawamoto, H Akiyama, S Sudo, K Yagi (2004) Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with Japanese conventional water management and fertilizer application. **Global Biogeochem. Cy.** 18: 1-10.
- Pendell DL, JR Williams, CW Rice, RG Nelson, SB Boyles (2006) Economic feasibility of no-tillage and manure for soil carbon sequestration in corn production in northeastern Kansas. **J. Environ. Qual.** 35:1364-1373.
- Schmitt MR, GE Edwards (1981) Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat, and rice: a comparison between C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> photosynthesis. **J. Exp. Bot.** 32: 459-466.

- Singh JS, S Singh, AS Raghubanshi, S Singh, AK Kashyap (1996) Methane flux from rice/wheat agroecosystem as affected by crop phenology, fertilization and water level. **Plant Soil** 183: 323-327.
- Singh Y, B Singh, JK Ladha, CS Khind, RK Gupta, OP Meelu, E Pasuquin (2004) Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice wheat rotation. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 68: 845-853.
- Solomon BD, JR Barnes, KE Halvorsen (2007) Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy. **Biomass Bioenergy** 31: 416-425.
- Tirol-Padre A, K Tsuchiya, K Inubushi, JK Ladha (2005) Enhancing soil quality through residue management in a rice-wheat system in Fukuoka, Japan. **Soil Sci. Plant Nutr.** 51: 849-860.
- Watanabe A, Y Satoh, M Kimura (1995) Estimation of the increase in CH<sub>4</sub> emission from paddy soils by rice straw application. **Plant Soil** 173: 225-231.
- Yu KW, GX Chen, WH Patrick (2004) Reduction of global warming potential contribution from a rice field by irrigation, organic matter, and fertilizer management. **Global Biogeochem. Cy.** 18: GB3018.
- Zheng X, M Wang, Y Wang, R Shen, J Gou, J Li, J Jin, L Li (2000) Impacts of soil moisture on nitrous oxide emission from croplands: a case study on the rice-based agro-ecosystem in Southeast China. **Chemosphere - Global Change Sci.** 2: 207-224.
- Zhu XG, SP Long, DR Ort (2010) Improving photosynthetic efficiency for greater yield. **Annu. Rev. Plant Biol.** 61:235-261.
- Zou JW, Y Huang, JY Jiang, XH Zheng, RL Sass (2005) A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. **Global Biogeochem. Cy.** 19: GB2021.