

五節芒與培地茅對土壤碳庫影響之研究

陳昶璋¹ 黃盟元² 黃文達¹ 王裕文¹ 許明晃^{2*} 楊棋明^{1,2}

¹ 台灣大學農藝學系

² 中央研究院生物多樣性中心

摘要

土壤有機碳庫是全球碳循環的重要組成部分，並且直接影響全球的碳素平衡。本研究利用五節芒與培地茅為試驗材料，探討模擬自然環境生長下五節芒與培地茅對土壤碳庫之影響。結果顯示：自展開葉所測得之光合作用速率，五節芒較培地茅高，且地上部乾物重累積可達 $1966\text{ g pot}^{-1}\text{ year}^{-1}$ ，為培地茅之3.67倍。而種植五節芒之不同土層土壤的有機碳(SOC)含量、 $\delta^{13}\text{C}$ 值及C %均顯著高於培地茅，顯示五節芒根圈衍生碳素釋入土壤碳庫能力較培地茅高。五節芒與培地茅種植一年後，由地上部測得之 $\delta^{13}\text{C}$ 值分別為-13.75‰與-13.4‰，顯示兩者皆屬C4途徑具高光合效率。另自其土壤測得總碳含量(C%)比慣行法栽培之水稻、玉米、狼尾草田區之土壤C%含量均較多。因此以上各項優點使五節芒與培地茅成為土壤保育、生物質原料、生態環境改良與土壤碳庫蓄積功能之優良草種。

關鍵詞：五節芒、培地茅、碳庫、穩定性同位素

Effects of silver-grass and vetiver on soil carbon pools

Chang-Chang Chen¹, Mon-Yuan Huang², Wen-Dar Huang¹,
Ming-Huang Hsu^{2*}, and Chi-Ming Yang^{1,2}

¹ Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan 110, ROC

² Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan 115, ROC

* 通訊作者。E-mail: d85621101@ntu.edu.tw



Abstract

Soil organic carbon(SOC) is an important component of the global carbon cycle and has direct effects on the global carbon balance. The objectives of this study were to determine the effects of Silver-grass and Vetiver grass on soil carbon pool in natural environmental conditions. The results showed that: The photosynthetic rate of Vetiver grass was lower than Silver-grass. The biomass of Silver-grass was larger than Vetiver, and the maximum dry weight was $1966\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ 3.67 times higher than Vetiver grass. The values of SOC, $\delta^{13}\text{C}$ and C % in different depth of the soil from Silver- grass-planted were significantly higher than that from Vetiver-planted soil. Which indicated that the ability of Silver-grass root-derived carbon (C) input into the soil was better than Vetiver grass. The $\delta^{13}\text{C}$ values in shoot of Silver-grass and Vetiver grass were -13.75‰ and -13.4‰, indicated that Silver-grass and Vetiver grass were both high in photosynthetic efficiency. The C% values of soil planted Silver-grass and Vetiver grass were higher than rice, corn and elephant-grass in traditional cultivation system. Hence, silver-grass and vetiver grass have been proved to be the ultimate grass species for soil and water conservation, Biomass Feedstock, ecologic environment improvement and SOC storage.

Keywords: silver-grass, vetiver, carbon pool, stable isotope

前 言

近年來，世界各國皆致力於減少 CO_2 排放量。1997 年 12 月，149 個國家和地區的代表在日本簽訂了限制溫室氣體排放量以抑制全球暖化的《京都議定書》。這份公約要求簽署國家必須在 2008 至 2012 年間將 CO_2 、 SO_2 等 5 種溫室氣體排放水準在 1990 年的基礎上平均減少 5.2%，亦即，未來農業轉型，釋放出的休耕地，須兼顧農地保育與生物多樣性。前人研究中指出，作物與牧草輪作對於土壤有機碳的維持具有良好的效果，特別是在牧草生長的期間 (Studdert *et al.* 1997)。因此，若能利用復育台灣原生種植物兼具能源作物來生產能源，不僅可直接對生存的生態系產生貢獻，更可以在未來“碳稅”(carbon tax) 交易實施時，由農業部門提供工業部門生存與發展的基礎，也因此發展生物能源除了消極的生產替代能源之外，更可積極的降低 CO_2 ，

協助減輕未來《京都議定書》對我國工業及外貿所帶來的壓力，更能逐步恢復台灣生態系。

土壤碳素儲存的潛在改變對氣候變遷的反應，已經成為矚目的研究焦點。當大氣 CO₂ 濃度的增加會改變生態系統的許多重要層面，包含淨生產力、植物組織化學、地下碳素分配、根沉積效率以及土壤微生物活性等(Canadell *et al.* 1996, Rogers and Runion 1994, Kimball 1983)。五節芒 (*Miscanthus flavidus*) 分佈於台灣各地，從低海拔海邊、廢耕的農地、山坡地、到公路兩旁的新生地丘陵地、台地等、以及高海拔 3000 公尺均有其大規模族群。遺傳歧異度非常高，除有護坡及水土保持的功能外，並兼具生態系的穩定功能(Xiao and Wang 1995)。培地茅 (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) 在台灣目前供護坡及水土保持的功能(Wang 2003)，在大多數的環境下會開花，但不會產生有效的種子，因此無法利用種子繁殖而必須利用無性的營養繁殖。是目前可以安全地應用於水土保持之先鋒植物，不至於因為成為雜草而危害當地生態造成環境問題。

不同的管理與氣候環境會影響到五節芒與培地茅固定 CO₂ 效率或 N₂O 釋放量。在氣候變遷 CO₂ 濃度上升趨勢下，五節芒與培地茅能利用根圈沉積作用從空氣中固定更多的碳素於土壤中。因此本研究擬探討周年環境下生長之五節芒與培地茅其生質量之變化，及其對土壤碳庫之影響。

材料與方法

本研究採單筒滲漏計種植五節芒與培地茅，於不同生育時期進行五節芒與培地茅產量分析，土壤與植體穩定性 ¹³C 同位素豐度、總碳含量與有機碳含量變化。

一、供試材料與試驗設置

本研究供試實驗材料由台灣大學試驗農場取得，包括：五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 與培地茅 (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) 之 30cm 高小苗，種植於單筒滲漏計進行試驗，土壤取自台大農場水田試驗區，屬黏質壤土。單筒滲漏計為一內徑 30 cm，深 110 cm，厚 3 cm 之水泥鑄造圓筒，由上而下每隔 10 cm 設一取樣孔，共 5 個取樣孔，分別代表 10、20、30、40 與 50 公分之土壤深度，每個處理重複三次。試驗地為國立台灣大學農業試驗場滲漏計田區。

2006 年 10 月將小苗移植至單筒滲漏計後置放於台灣大學農業試驗場滲漏計田區，不給予任何肥培管理措施以模擬自然環境。生長一年後測量展開



葉光合作用速率，並取地上部及不同深度之土壤進行碳同位素、有機碳與總碳含量等分析。另外同時於台大農場取種植水稻 (*Oryza sativa*)、玉米 (*Zea mays*) 與狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*) 一年以上的試驗田之土壤分析做為比較樣品，重複三次。試驗期間每隔 6 個月刈割一次，於 60°C 烘乾一週後秤重計算產量。

二、光合作用速率分析

光合作用速率光曲線之測定係以可攜式開放氣體測定系統 (LI-6400, LI-COR Inc, USA)，配合 6400-02B 測定箱 (LI-COR Inc.) 及 6400-02 LED 人工光源 (LI-COR Inc.)，在自然氣溫、濕度及 CO₂ 濃度之條件下，測定光強度 0、50、100、300、500、800、1000、1200、1500、2000 $\mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-2}$ PPFD 等處理下之二氧化碳吸收速率 (Lai 2004)。

三、樣品 $\delta^{13}\text{C}$ 與總碳含量分析

土壤及植株樣品的 $\delta^{13}\text{C}$ 測定與總碳含量使用同位素比例質譜儀 (MAT252, Thermo Finnigan) 藉由連續流動系統 (Conflo, Thermo Finnigan) 與氣相色層分析計 (HP 5890) 或元素分析器 (EA1108, Fisons) 聯繫 (Li and Yagi 2004)。

四、有機碳含量分析

以濕氧化法 Walkley-Black 方法 (Chen *et al.* 1994, Nelson and Sommers 1982) 測定土壤有機碳含量。步驟為：(1) 秤取 1 – 0.5 g 土壤樣品於 500 mL 錐型瓶中，空白試驗則不需加入土壤樣品；(2) 加入 10 mL 1N 之重鉻酸鉀溶液後搖勻；(3) 迅速加入 20 mL 濃硫酸，靜置 30 分鐘；(4) 之後再加入 200 mL 蒸餾水和 10 mL 85% 磷酸，放冷；(5) 滴定前滴加約 30 滴二苯胺指示劑；(6) 以 0.5N 亞鐵溶液滴定，其顏色變化由暗褐色逐漸轉為藍色再轉為綠色，當呈現綠色時即達到滴定終點。計算公式如下：

$$OC(\%) = 10 \times \left(1 - \frac{S}{B} \right) \times 1.0 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.724}{0.77} \times \frac{100}{sw(g)}$$

OC 為有機碳含量；S 為樣品之亞鐵溶液滴定量 (mL)；B 為空白試驗之亞鐵溶液滴定量 (mL)；sw 為秤取之土壤樣品重；1.0 為重鉻酸鉀溶液濃度 (N)；1.724 為有機碳之轉換係數 (Van Bemmelen factor)；0.77 為本法之回收率。

五、資料分析

利用電腦套裝軟體 SAS 9.1 進行變方分析 (analysis of variance)，再以製圖軟體 SigmaPlot 8.0 繪圖。



結果與討論

一、生質量與光合作用

五節芒與培地茅在台大農業試驗場滲漏計田區自然環境下種植1年後測定其展開葉的光合曲線，五節芒之光合作用光補償點光強度約為 $20 \mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-2}$ ，較培地茅（約 $80 \mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-2}$ ）低；光強度為 $1500 \mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-2}$ 時達光飽和點，此時五節芒展開葉之光合作用速率為 $15.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，較培地茅光合作用速率 $11.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 高（圖1），顯示出五節芒之光合作用速率較高。在其他學者研究中，高羊茅（*Festuca arundinacea*）在正常情況下光合作用速率約為 $11 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ （Cui *et al.* 2006）；玉米齊膝期光合作用速率則可達 $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上（Vitale *et al.* 2007），顯示自然環境下生長的五節芒與培地茅光合作用能力介於一般 C_3 禾草與 C_4 型作物之間。

由每隔 6 個月的收草量，五節芒在暖季（4月-9月）收割所得之乾重為冷季（10月-翌年3月）之 3.6 倍；而培地茅則為 4.49 倍（圖2）。總計種植1年之累積產草量，五節芒可達 $1966 \text{g pot}^{-1} \text{year}^{-1} \text{DM}$ ，為培地茅之 3.67 倍。

二、土壤有機碳含量

土壤有機碳庫（soil organic carbon pool）多寡會改變土壤之物理、化學及生物特性，進而影響土壤生產力，對於生態環境或農業生產而言為重要環節。作物透過根部系統之根圈沉降作用將光合作用所固定之碳素釋放到土壤，為土壤有機碳的主要來源。

種植1年之五節芒各土層土壤SOC含量在 15.85g kg^{-1} (1.59%) 至 43.22g kg^{-1} (4.32%) 之間；而培地茅之土壤SOC含量約在 5.90g kg^{-1} (0.59%) 至 17.88g kg^{-1} (1.79%) 之間。整體而言，五節芒各土層土壤SOC含量高於培地茅，且差異達5%顯著水準（圖3）。兩者SOC最小值大多出現在30 cm深之土壤，最大值則出現於10 cm深之土壤。SOC含量隨著土壤深度而逐漸減少，至30-40 cm深達到最小，而後又開始逐漸增加，後者為有機物透過滲漏作用而累積，顯示除了可以增加表層土壤的SOC含量，也能透過滲漏累積更多的碳素在深層土壤。

由於五節芒具有較高之光合作用速率，使之生長勢與生質量皆較培地茅高。不論是五節芒或培地茅，隨著植株乾物累積之過程，土壤碳含量（總碳含量或SOC）也隨之增加，Liang *et al.* (2002) 玉米試驗與 Li and Yagi (2004) 水稻試驗也有相同的結果。



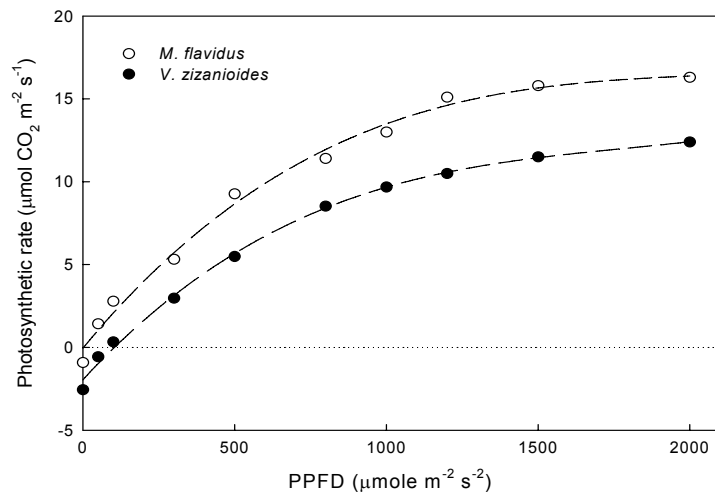


圖 1. 五節芒與培地茅展開葉之光合作用速率光曲線。

Fig. 1. Photosynthetic rates of silver-grass and vetiver under various photon fluxes.

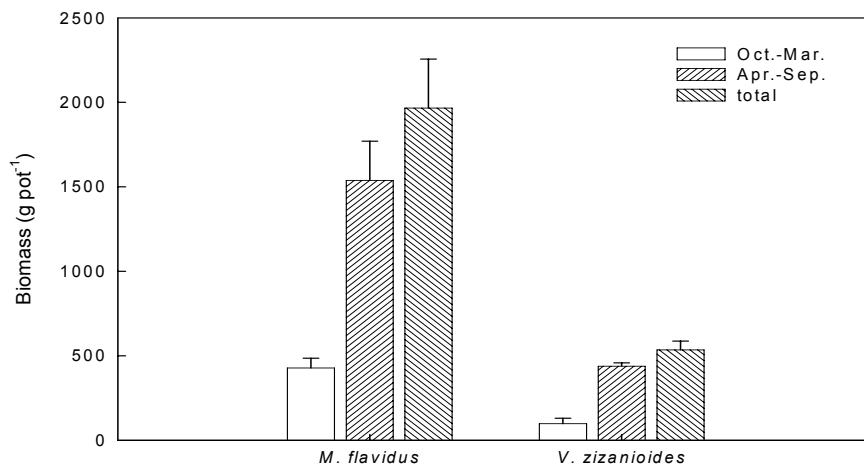


圖 2. 五節芒 (*M. flavidus*) 與培地茅 (*V. zizanioides*) 種植 1 年後地上部乾物重。

Fig. 2. The above ground biomass of silver-grass and vetiver one year after transplanted.

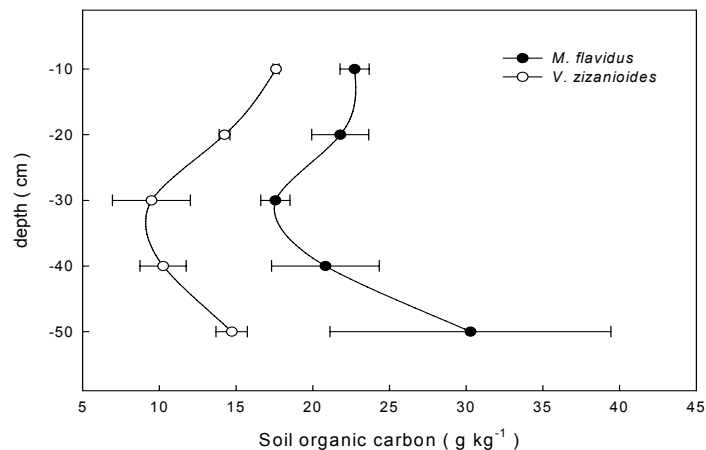


圖 3. 五節芒與培地茅種植 1 年後土壤有機碳含量。

Fig. 3. The soil organic carbon content in different soil layers of silver-grass and vetiver one year after transplanted.

三、碳庫分析

根部衍生碳素釋入土壤後之動向，可利用穩定性同位素 ^{13}C 追蹤並量化根部衍生碳素在土壤碳庫含量各項指標之比例，以進一步分析各種因素所造成土壤碳庫變化之原因。

種植 1 年後之五節芒與培地茅植株測得 $\delta^{13}\text{C}$ 值分別為 -13.75‰ 與 -13.4‰ ，差異未達 5% 顯著水準(圖 4)，就碳同位素比值的結果，顯示出兩者皆屬 C4 型途徑(Staddon 2004)，光合效率較高。五節芒總碳含量為 41.40%，較培地茅 39.13% 高(圖 5)，但兩者皆較 Li and Yagi (2004) 分析之水稻葉部含量 $37.61 \pm 0.73\%$ 高。

而土壤方面，越表層土壤所測得總碳含量越高，在土壤深度 10 cm、30 cm 下，來自於五節芒土壤總碳含量平均而言分別為 1.63% 與 1.45%，較培地茅土壤高出 30.0% 與 26.1% (圖 6)，五節芒土壤之 $\delta^{13}\text{C}$ 介於 -17.95‰ ~ -20.5‰ 之間，相較於培地茅 $\delta^{13}\text{C}$ (-20.95‰ ~ -22.075‰) 高，差異達 5% 顯著水準(圖 4)。因此五節芒根系衍生碳素對於土壤碳庫蓄積能力高於培地茅。若與台大農場慣行法連作之試驗田比較，在水稻田區之表層土壤總碳含量為 1.2%，與種植培地茅之土壤相似，但較五節芒低；而玉米(0.8%)、狼尾草(1.0%)田區之土壤總碳含量較低，不同耕作制度與栽培管理下，土壤有機碳庫含量變化亦會有不同反應。 Studdert *et al.* (1997) 在作物與牧草之輪作田區試驗結果也顯

示，採宿根作物田區土壤總碳含量較耕犁田區高。顯示五節芒與培地茅等宿根栽培的耕作方式，除可供作生質物原料或生態保育先鋒物種，並可達到 CO_2 減量目的，而能成為永續農業管理的參考。

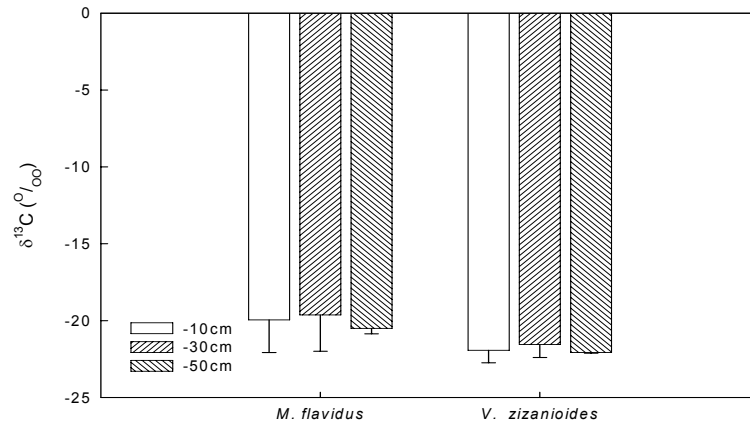


圖 4. 種植五節芒與培地茅 1 年後不同土層土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

Fig. 4. The value of $\delta^{13}\text{C}$ in soils of silver-grass and vetiver one year after transplanted.

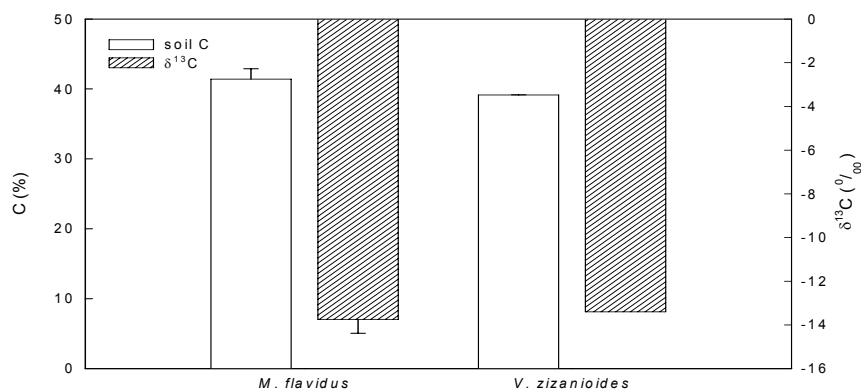


圖 5. 五節芒與培地茅種植 1 年後地上部之總碳含量 (C %)與 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

Fig. 5. The total carbon content and $\delta^{13}\text{C}$ values in shoot of silver-grass and vetiver measured at one year after transplanted.

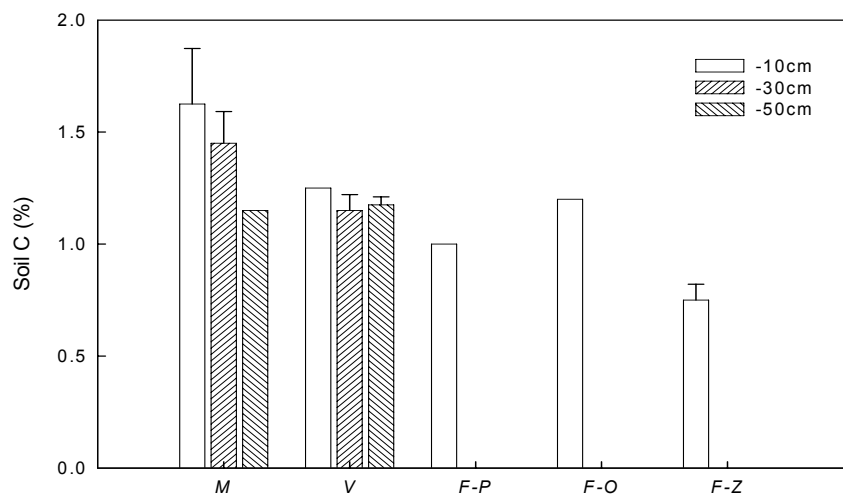


圖 6. 種植不同作物 1 年後土壤之總碳含量(C%)。

M：五節芒 V：培地茅 F-P：狼尾草 F-O：水稻 F-Z：玉米。

Fig. 6. The total soil carbon content in field of different crops.

M: Silver-grass V: Vetiver F-P: elephantgrass F-O: rice F-Z: corn.

引用文獻

- Canadell JG, LF Pitelka, JSI Ingram (1996) The effects of elevated $[CO_2]$ on plant-soil carbon belowground: a summary and synthesis. *Plant Soil* 187: 391–400.
- Chen JH, HF Tsai, YW Lin (2004) Evaluation of the suitability of three analysis methods for determining organic matter contents in fertilizers. (in Chinese) *Taiwanese J. Agric. Chem. Food Sci.* 42(2):116-124.
- Cui LJ, JL Li, YM Fan, S Xu, Z Zhang (2006) High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility. *Botanical Studies* 47:61-69.
- Kimball BA (1983) Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations Effect on crop yields of the increasing global atmospheric carbon dioxide concentration, growth, production includes some woody plants. *Agron. J.* 75: 779–786.
- Lai MF (2004) Effects of irradiance and temperature on the chlorophyll

- fluorescence characteristics. (in Chinese) Master thesis graduate Institute of Life Science National Chung-Hsing University.
- Li Z, K Yagi (2004) Rice root-derived carbon input and its effect on decomposition of old soil carbon pool under elevated CO₂. *Soil Bio.Biochem.* 36: 1967-1973.
- Liang BC, XL Wang, BL Ma (2002) Maize root-induced change in soil organic carbon pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:845-847.
- Nelson AJ, LE Sommers (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter. p.539-579. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2.* 2nd. ed. AL Page, RH Miller and DT Keeney (eds.), SSSA and ASA Press, Madison, WI, USA.
- Rogers HH, GB Runion (1994) Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on roots and their rhizosphere. *Environ. Pollut.* 83: 155-189.
- Staddon PL (2004) Carbon isotopes in functional soil ecology. *Trends Ecol.Evol.* 19(3):148-154.
- Studdert GA, HE Echeverría, EM Casamovas (1997) Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1466-1472.
- Vitale L, PD Tommasi, C Arena, A Fierro, AVD Santo, V Magliulo (2007) Effects of water stress on gas exchange of field grown *Zea mays* L. in Southern Italy: an analysis at canopy and leaf level. *Acta Physiol. Plant* 29:317-326.
- Wang YW (2003) The study of applicability of Vetiver in Taiwan Mudstone Area. (in Chinese) p.107-116. In: *Workshop of Eco-technology for Mudstones.* Nov. 7th, 2003. Tainan, Taiwan. Published by National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan.
- Xiao YF, R Wang (1995) The ecology of Silver-grass—Study on the biological characteristics. (in Chinese) *J. Sichuan Grassland* 1: 25-29.
- Yang YP, HY Liu, CH Kuoh, CH Chen (2002) Gramineae. p.104-183 In: *Flora of Taiwan.* Part 5. YP Yang, HY Liu (eds.) Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C. Press, Taipei.

