

關渡自然保留區蘆葦對土壤有機碳庫影響之研究

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

1 台灣大學農藝學系

2 中央研究院生物多樣性中心

摘要

蘆葦(*Phragmites communis* (L.) Trin)為禾本科多年生草本植物，常為溼地主要植物族群，具有汙水處理、維持溼地生物多樣性、藥用、造紙纖維及生質能源作物等功能。土壤有機碳庫是全球碳循環的重要組成部分，也是 CO₂ 減量的重要指標，並且直接影響全球的碳素平衡。本試驗於關渡自然公園蘆葦濕地，探討蘆葦生長對土壤有機碳庫之影響。結果顯示：生育盛期蘆葦光飽和點之光合速率為 11.61 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹，產草量達 1.68kg m⁻²，株高 300 cm。將 0 - 50 cm 之土壤以每 10 cm 為分層，發現土壤有機碳(SOC)含量，由上而下依序為 31.3、36.3、27.7、11.2 與 4.68 g kg⁻¹。土壤有機碳與 pH 間相關係數為-0.716***，顯示蘆葦藉由根圈沉降釋放之酸性物質可將大氣中 CO₂ 固定於土壤中。因此蘆葦可成為土壤保育、生質能源原料、生態環境改良與土壤有機碳蓄積功能之優良草種。

關鍵詞：蘆葦、光合速率、生質量、土壤有機碳。

Effects of common reed on soil organic carbon pool in Guandu

Nature Reserve

Chang-Chang Chen¹, Ming-Huang Hsu², Mon-Yuan Huang², Zhu-Wei Yang²,

Chi-Ming Yang^{1,2} and Wen-Dar Huang^{1*}

¹Department of Agronomy, National Taiwan University, Daan, Taipei, Taiwan, R.O.C.

²Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Abstract

Common reed (*Phragmites communis* (L.) Trin) is a perennial herbaceous plant of Gramineae. It is an important marshy specie in wetland and has multiple functions of waste- water treatment, biodiversity-maintaining of marsh, medicinal plant, pulp and bio-alcohol crop. Soil organic carbon (SOC) pool is a main role of the global carbon cycle and an important indicator of CO₂ reduction and affects the global carbon balance directly. The objectives of this study were to determine the effects of common reed growth dynamic on soil organic carbon pool. The experiment site is in reed wetland of the Guandu Nature Park. The results were as follow: Light-saturated photosynthetic rate was 11.61 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, the peak biomass of common reed was 1.68kg dw m⁻², and the plant height was 300cm in summer. The contents of soil organic carborn in 0-10 cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm and 40-50cm soil layers of reed in Guandu Nature Reserve in June were 31.3, 36.3, 27.7, 11.2 and 4.68 g/kg respectively. The correlation coefficient between soil organic carbon content and pH value was -0.716***. It suggests that the acid materials from rhizodeposition of common reed can sequestrate atmosphere CO₂ into soils. Hence, common reed is proved to be an excehent ultimate grass species for soil and water conservation, biomass feedstock, ecologic environment improvement and SOC storage.

Key word: Common reed, photosynthetic rate, biomass, soil organic carbon.

前言

由於極端氣候發生頻率逐漸增加與全球氣溫逐年提高，因此世界各國皆致力於溫室氣體的減量，並於 1997 年簽訂「京都議定書」規範溫室氣體排放量。台灣方面於 2006 年行政院通過了「溫室氣體減量法」草案。在這份法案中明文規定未來所有 CO₂ 的排放戶都將有其排放配額，且可視為有價物進行交易。如果還是無法有效達到 CO₂ 減量，將更進一步的實行碳稅(carbon tax)制度，直接向排放戶徵稅。從農業角度著手有兩種方式，在消極層面，持續開發能源作物，生產生質能源以替代石化燃料，抵銷其 CO₂ 排放(Cannell 2003)；另外，就積極層面，利用作物光合作用固定 CO₂，並透過根部碳素釋入增加耕地土壤有機碳，可將碳固定於土壤中，同時間也改善土壤品質(IPCC 2000, Lal 2004 a, b)。為達到 CO₂ 減量之目標，同時顧及農地永續發展、國土復育以及維護生物多樣性之效益，必須以台灣當地或原生植物物種做為首要選擇目標。

蘆葦(*Phragmites communis* (L.) Trin)為多年生禾本科草本植物，分布於全球溫帶

與亞熱帶地區，在台灣多數河川沙洲與沼澤地區皆可發現其蹤跡，為台灣原生禾草類，具高生產力(Westlake 1963, Ho 1979, Kern and Idler 1999)，其植被能提供濕地生物之棲息，對於生態復育與生物多樣性之維持具有正面效應。蘆葦植株對於鹽份(Lissner and Schierup 1997)與重金屬(Ye *et al.* 1998)逆境之耐受性高，同時能降低環境污染物含量，因此常應用於水質淨化(Kern and Idler 1999)與植物復育(Weis and Weis 2004)，且對環境也具有保育功能。蘆葦具有藥用功能，亦可為造紙纖維。由於生質能源發展，也可以成為替代性的能源作物，可見其具備禾草資源多樣性利用之特性。本篇研究擬探討周年生長之蘆葦對土壤有機碳庫之影響。

材料與方法

本研究以關渡自然保留區濕地之蘆葦(*P. communis* (L.) Trin)為研究對象，於不同生長時期進行光合作用、株高、產量分析與土壤有機碳含量變化分析。

一、供試材料與試區配置

試驗地點位於台北關渡自然保留區(121°28'E, 25°06'N)。關渡自然保留區原先為關渡平原水田的一部分，為水鳥保育與溼地復育之目的而設立自然保留區，區內以蘆葦、爬拉草等物種為主要植物群落。於自然保留區中選取相同水系區域為試區。試區規劃採用隨機完全區集設計，共三區集，每區集約 1000 m³。

2007 年夏季開始測量展開葉光合作用速率，並刈取地上部及不同深度之土壤分別進行產草量與土壤有機碳分析。試驗期間於 7 月與隔年 1、3、5 月於區集內隨機選取地點進行面積 1 m³ 刈割，每區集內三重複，於 60°C 烘乾一週後秤重計算產量。

二、光合作用速率分析

光合作用速率之測定係以可攜式開放氣體測定系統(LI-6400, LI-COR Inc.)，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，光強度設定 0、50、100、300、500、800、1000、1200、1500、2000 μmol m⁻² s⁻² PPFD (Hwang 2003)，以防洪堤旁之蘆葦為材料，測量其最上位展開葉之 CO₂ 吸收速率。測量日期為 2007 年 6 月 22 日、10 月 29 日與 2008 年 2 月 20 日，分別代表夏季、秋季、冬季之光合作用速率。

三、土壤性質分析

1. 總體密度(Bulk Density)：土罐法(Blake and Hartage 1986)

先將準備好之燒杯秤重，再將土罐內土壤放入燒杯後進行烘乾，烘乾後秤重，扣除燒杯重即得到土重(W_s)。由於土罐容積為固定體積(V_s)，即可求得土壤總體密度 = W_s/V_s。

2. pH 值：採玻璃電極法，土水比為 1:1 (V_s/V_w)。

3. 電導度：利用電導度計(2265FS, Spectrum Technologies Inc.)測定；土水比為 1:5

(V_s/V_w)。

4. 土壤有機碳(SOC)：Walkley-Black 濕氧化法(Nelson and Sommers 1982)。

秤取 1-0.5 g 土壤樣品於 500 mL 錐型瓶中，另有空白試驗，加入 10 ml 1N 之重鉻酸鉀溶液後搖勻。隨即迅速加入 20 ml 濃硫酸，靜置 30 分鐘。接著再加入 200 ml 蒸餾水與 10 ml 85%磷酸，放冷後滴加約 30 滴二苯胺指示劑，以 0.5N 亞鐵溶液滴定。觀察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：

$$SOC(g \cdot kg^{-1}) = 10 \times \left(1 - \frac{S}{B}\right) \times 1.0 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.724}{0.77} \times \frac{1000}{sw(g)}$$

SOC 為有機碳含量，單位為 $g \cdot kg^{-1}$ ；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。

四、資料分析

藉由統計軟體 SAS 9.1 程式做統計分析(SAS Institute)，土壤有機碳以變方分析(analysis of variance)，以 GLM 程序作顯著性測驗。均值差異以 Duncan 新多變域測驗法比較，顯著水準為 0.05；變數間之相關係數以 CORR 程序進行顯著性測驗。簡單線性迴歸以 REG 程序作顯著性測驗。

結果與討論

一、光合作用速率

蘆葦最上位展開葉在光強度 $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 附近，已接近光飽和點；於 $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 時，光合速率達到所能測量之最大值，夏季、秋季與冬季之總平均為 $11.31 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 。當光強度大於 $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 時，不論是夏、秋或冬季所測得之光合速率無顯著差異(圖 1)。自然環境中，日照強度會大於 $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 大約是接近中午的時候，夏季日照大於此光強度的機會比秋冬季節來的高，且時間相對較長，同時夏季為蘆葦營養生長期之盛期，在此一時期，葉片在高光強條件下有極高的碳同化效率，秋、冬季中亦能充分利用中午之日照。

春季各光強度之下光合速率皆低於其他三季；夏、秋與冬三季，當光強度低於 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ 時，不同季節的光合速率之差異顯著，夏季亦顯著低於秋冬季，秋季和冬季未達顯著差異，但秋季略低於冬季(圖 1)。此現象能說明，春季由於幼苗仍未成熟，葉部光合作用能力尚不足以維持生長，因此生長所需之養份多為地下部根莖所提供；夏季日照強，光合作用旺盛，生質量累積也快；秋冬日照強度雖低於夏季，但已進入生殖生長期，穗與根莖的養份需求強，此時葉片為

供給抽穗與種子充實所需養，以及部份轉運至根莖儲存，光合產物會持續往外運送，使得葉片光合產物不至於飽和，光合作用能力勢必會較之前增加，因此秋、冬兩季在低於 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之光合速率會高於夏季。

蘆葦為 C4 植物，當處在缺水逆境時，會導致氣孔導度下降，光合速率較低，也會使生長受阻(Pagter *et al.* 2005, Saltmarsh *et al.* 2006)。若生育環境適宜，光飽和點之光合速率則可達到 $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$ 以上(Pagter *et al.* 2005)。

二、關渡濕地蘆葦生長特性

依前人研究(Asaeda and Karunaratne 2000, Karunaratne and Asaeda 2000)，蘆葦之生長季以初春為起始，盛夏為最大產草量，秋冬因抽穗而乾重逐漸下降。台灣春季多以陽曆 2-3 月為起始，7 月為盛夏，9-10 月後開始入秋。本次試驗取樣時間並非在同一年度，不過足以涵蓋整個生長季，在此忽略年度之效應。

產草量變化，由 3 月至 11 月依序為 531 g m^{-2} (3 月)、 670 g m^{-2} (5 月)、 1679 g m^{-2} (7 月) 與 1271 g m^{-2} (11 月) (圖 2)。由於關渡地區屬亞熱帶，入冬之後蘆葦草稈雖會因開花抽穗而逐漸老化，卻不像溫帶地區會全數死亡，因此仍會有部分生長勢較強之植株仍會在冬季存活，因此關渡地區蘆葦之株高在各取樣時間內並無太大之變化，平均約為 231-258 cm，其差異不顯著，唯夏季七月之株高平均可達到 301 cm (圖 3)。

關渡蘆葦夏季最大生質量與日本及捷克之蘆葦類似(Asaeda and Karunaratne 2000)，均可達到 2000 g m^{-2} 以上，然而在周年之生長特性曲線卻有很大的差異。捷克與日本兩國皆屬於中高緯度之溫帶國家，冬季低溫甚至降雪，因此蘆葦草稈完全死亡，至隔年春季才開始冒新芽，因此不論是在株高或生質量皆有規律性的週期變化：即春季冒芽，夏季達營養生長盛期，而後開始進入生殖生長期，冬季低溫逐漸萎凋死亡；台灣介於熱帶與亞熱帶地區，並無冬季低溫或降雪之問題，因此關渡之兩區域蘆葦有較長的生長季，周年皆可持續生長。

關渡地區的蘆葦並無所謂的非生長時期，周年皆可持續冒芽生長，個體間差異程度相當大，生質量與株高變異極高，然而生質量與株高還是會隨生長時期而有所變動，以 8-9 月為草稈最佳收割時期，此時期生質量最高且地下部乾重也逐漸回復(Asaeda and Karunaratne 2000)。

三、土壤環境與有機碳庫變化

由於試驗地先前為水田，因此仍具有犁底層，於 20-30 cm 之深度範圍中變動。土壤 pH 值，以每 10 cm 為分層，由表土層往下分別為 4.76、4.11、3.68、4.80 與 5.38，為酸性土壤，以 20-30 cm 之土壤酸性最強(圖 4)。其 EC 由表層往下分別為 0.55、1.07、1.56、1.36 與 1.40 mS/cm，表層電導度值最低，代表其含鹽量最少，越往下則含鹽量越高，以 20-30 cm 為最高，其下層土壤則與之無差異(圖 5)，造成此變化之原因，與各土層浸水狀況及水源有關。試區為排水溝渠

選取單一水系之區域，此一水系之水源部分為淡水河之河水透過水閘門流入，間接受潮汐影響其含鹽量稍微高，10-20 cm 土層為地下水位之變化範圍，以下之土層處在長期浸水之狀態，因此 EC 值形成這樣的變化趨勢。

休耕水田各土層之 SOC 濃度，0-50 cm 之土壤以每 10 cm 為分層，由上而下依序為 31.3、36.3、27.7、11.2 與 4.68 g kg⁻¹(圖 6)。由各土層 SOC 濃度差異可推斷：以犁底層為界，其上之表土有機碳含量豐富，其下由於犁底層阻隔，有機物質無法滲漏至犁底層以下，因此有機碳濃度越往下越低。在土壤深度 30 cm 以上，各個取樣點之間的變異範圍極大。

SOC 與 pH 值之關係為負相關，相關系數為-0.716***。這樣的結果說明土壤中 SOC 濃度越高，土壤環境越偏酸性(圖 7)，可能蘆葦根圈沉降所釋出之有機物質多為酸性物質，或是有機物質經微生物分解後導致酸化所致。研究指出，蘆葦於 27 天內，有 5-9%之光合產物會固定於土壤中(Richert *et al.* 2000)，因此透過蘆葦根圈沉降與地下部之碳素貢獻，預期可將大氣中 CO₂ 固定於土壤中，其草稈收穫亦可成為能源作物。

因此，若能利用台灣禾草多樣性資源，進行已破壞生態區的復育工作或導入休耕地生態農業，不僅可直接對生存的生態系產生貢獻，更可以兼具能源作物來生產能源，在未來碳稅交易實施時，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 CO₂，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。

參考文獻

- Asaeda T, S Karunaratne (2000) Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: model description. *Aquat. Bot.* 67:301-318.
- Blake GR, KH Hartge (1986) Bulk density. p. 363-376. In: *Methods of soil analysis*, Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd. ed. A Klute (ed.), Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Cannell MGR (2003) Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally. *Biomass and Bioenergy* 24:97-116.
- Ho YB (1979) Shoot development and production studies of *Phragmites australis* (cav.) Trin. ex Steudel in Scottish lochs. *Hydrobiologia* 64:215-222
- Hwang MY (2003) Studies on reflectance spectra of plants leaves and the related physiological characters in different ecological habitats and seasons. (in Chinese) Master thesis graduate Institute of Life Science National Chung-Hsing University.
- IPCC (2000) Land Use, Land Use Change, and Forestry. In: RW Watson, IA Noble, B Bolin, NH Ravindranath, DJ Verardo, DJ Dokken, (eds.), Cambridge University

Press, Cambridge, UK.

- Karunaratne A, T Asaeda (2000) Verification of a mathematical growth model of *Phragmites australis* using field data from two Scottish lochs. *Folia Geobotanica* 35:419-432.
- Kern J, C Idler (1999) Treatment of domestic and agricultural wastewater by reed bed systems. *Ecol. Eng.* 12:13-15.
- Lal R (2004a) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1-22.
- Lal R (2004b) Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- Lissner J, HH Schierup (1997) Effects of salinity on the growth of *Phragmites australis*. *Aquat. Bot.* 55:247-260.
- McLean EO (1982) Soil pH and lime requirement. p. 199-224. In: *Methods of soil analysis, Part 2*. 2nd. ed. AL Page, RH Miller, DR Keeney (eds.), Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- 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, DT Keeney (eds.), SSSA and ASA Press, Madison, WI, USA.
- Pagter M, C Bragato, H Brix (2005) Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquat. Bot.* 81:285-299.
- Richert M, S Saarnio, S Juutinen, J Silvola, J Augustin, W Merbach (2000) Distribution of assimilated carbon in the system *Phragmites australis*-waterlogged peat soil after carbon-14 pulse labeling. *Biol. Fertil. Soils* 32:1-7.
- Saltmarsh A, A Mauchamp, S Rambal (2006) Contrasted effects of water limitation on leaf functions and growth of two emergent co-occurring plant species, *Cladium mariscus* and *Phragmites australis*. *Aquat. Bot.* 84:191-198.
- Weis JS, P Weis (2004) Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. (review) *Environment International* 30:685-700.
- Westlake DF (1963) Comparisons of plant productivity. *Biol. Rev.* 38:385-425.
- Ye ZH, MH Wong, AJM Baker, AJ Willis (1998) Comparison of biomass and metal uptake between two populations of *Phragmites australis* grown in flooded and dry conditions. *Annals of Botany* 82:83-87.

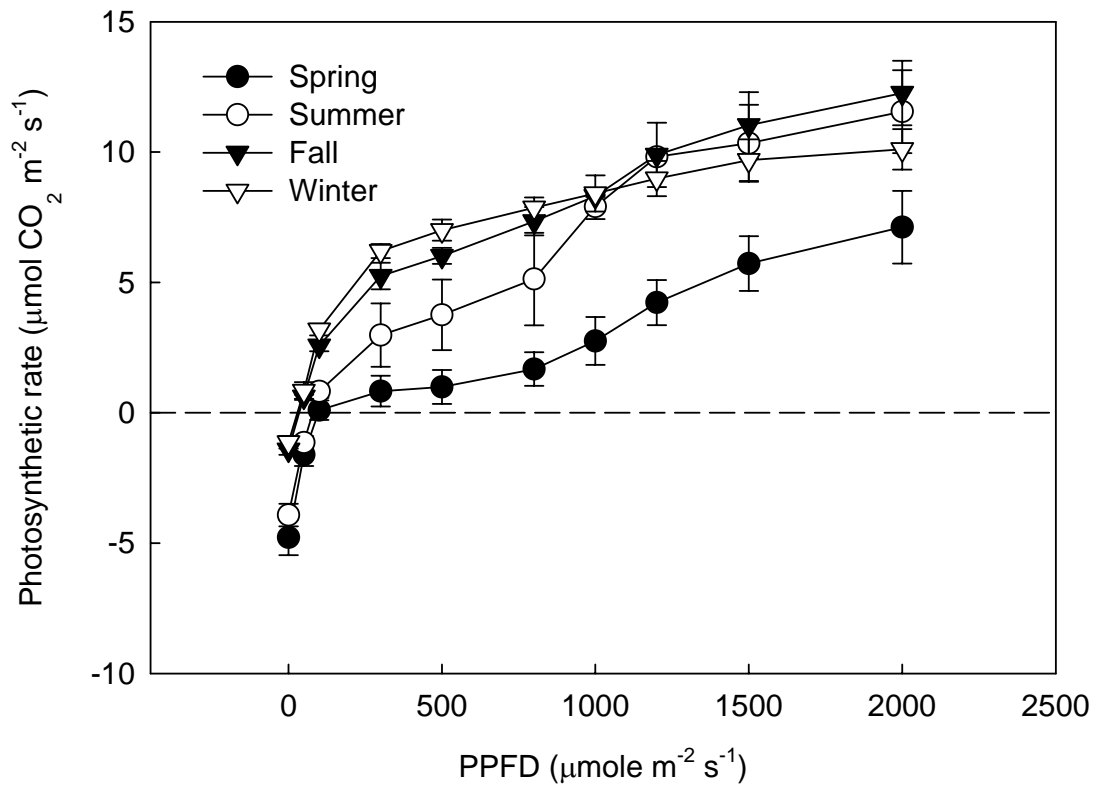


圖 1 蘆葦展開葉光合作用速率曲線之周年變化。

Fig. 1 The annual dynamics of photosynthetic rates of common reed under various photon fluxes.

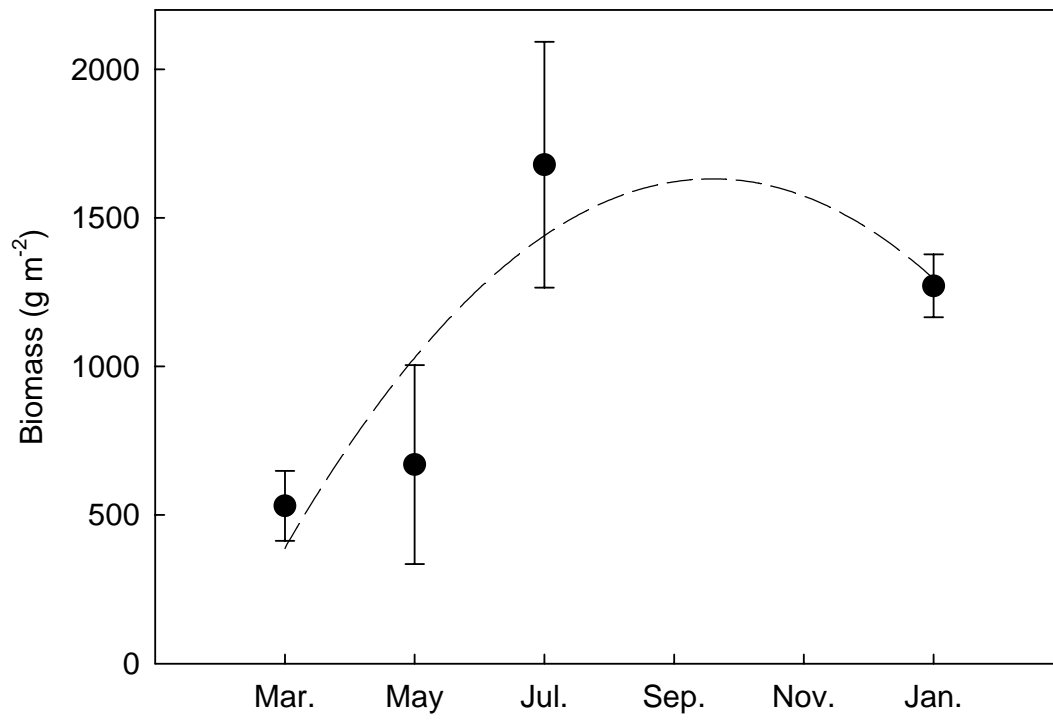


圖 2 蘆葦地上部生質量之周年變化。

Fig. 2 The annual dynamic of common reed up-ground biomass.

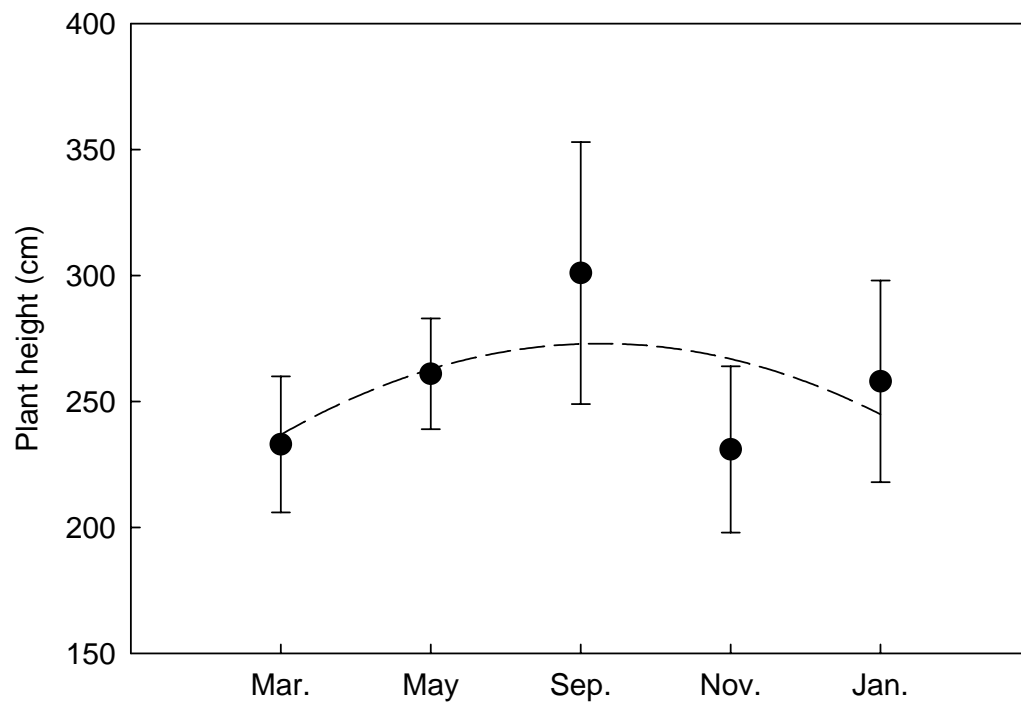


圖 3 蘆葦株高周年變化。

Fig. 3 The annual dynamic of common reed plant height.

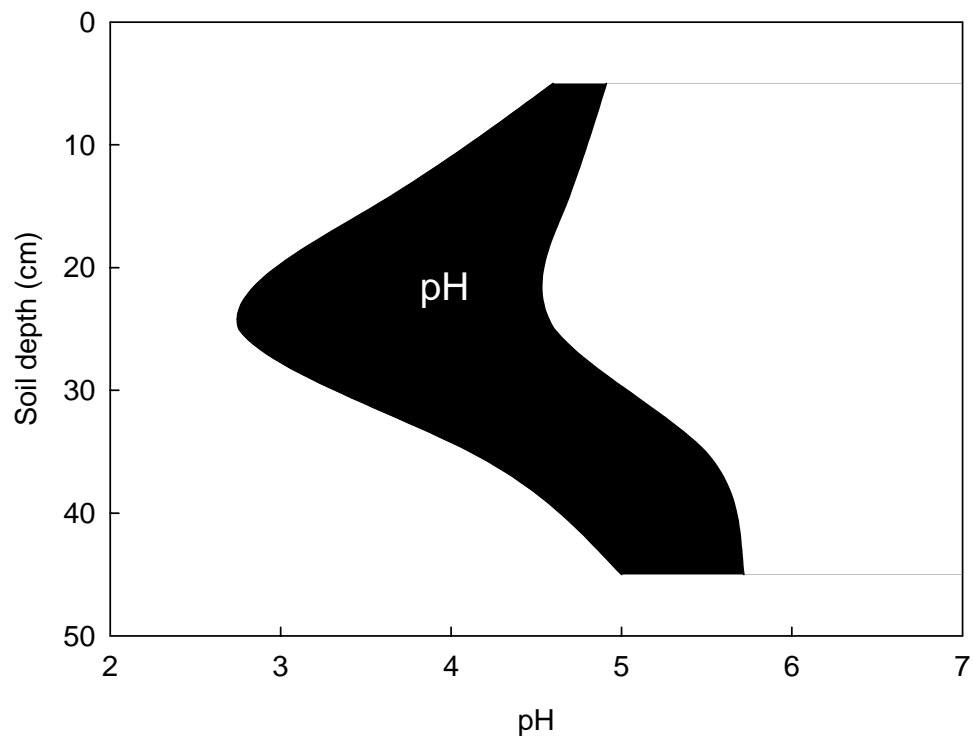


圖 4 蘆葦濕地之土壤 pH 值，範圍代表平均 \pm 標準差。

Fig. 4 The pH of soil in the reed wetland. The black range is mean \pm SE.

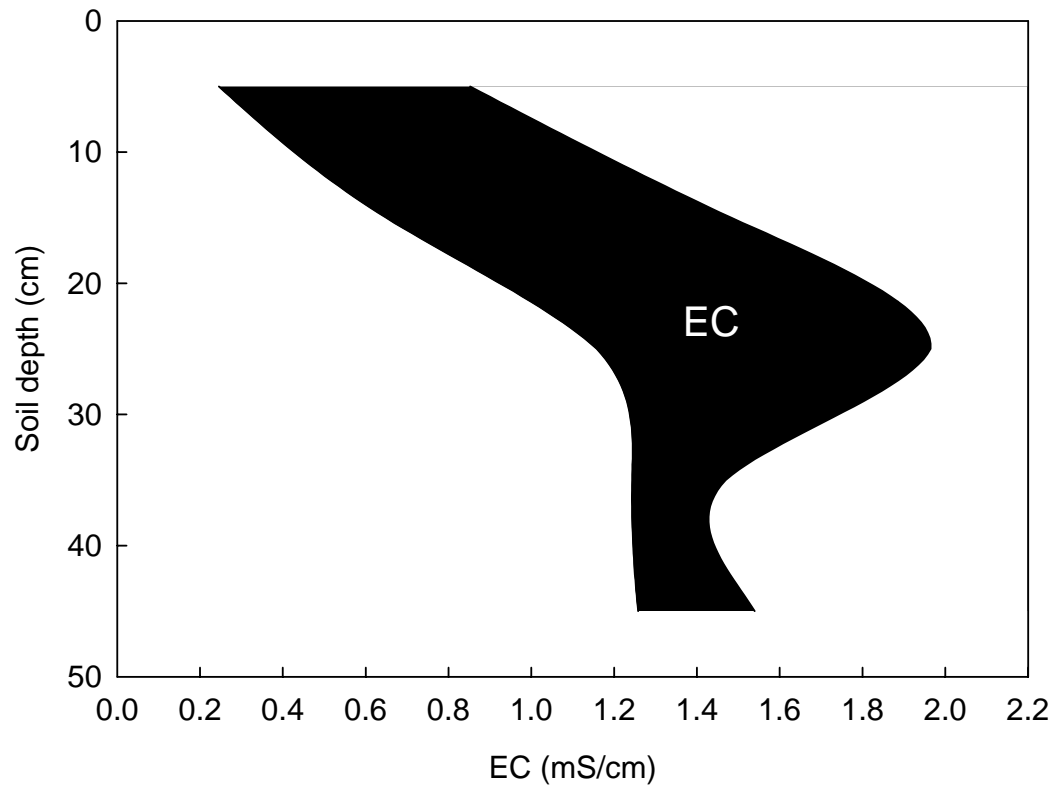


圖 5 蘆葦濕地之土壤電導度(EC) ，範圍代表平均 \pm 標準差。

Fig. 5 The electronic conductivity of soil in the reed wetland. The black range is mean \pm SE.

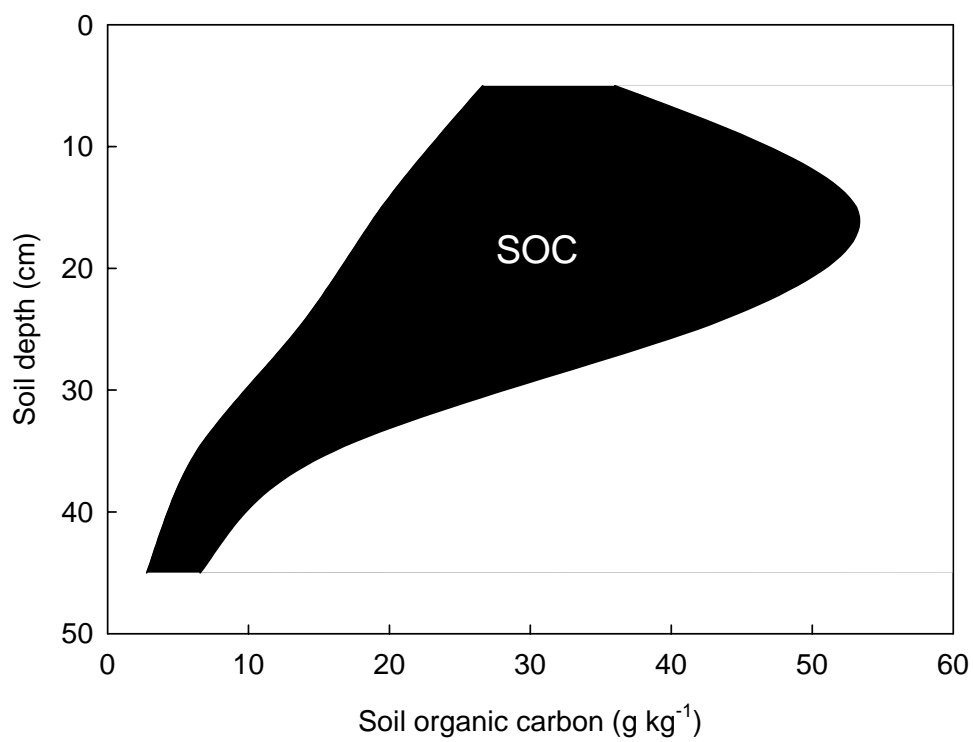


圖 6 蘆葦濕地之土壤有機碳，範圍代表平均±標準差。

Fig. 6 The soil organic carbon content in different soil layers in the reed wetland. The black range is mean±SE.

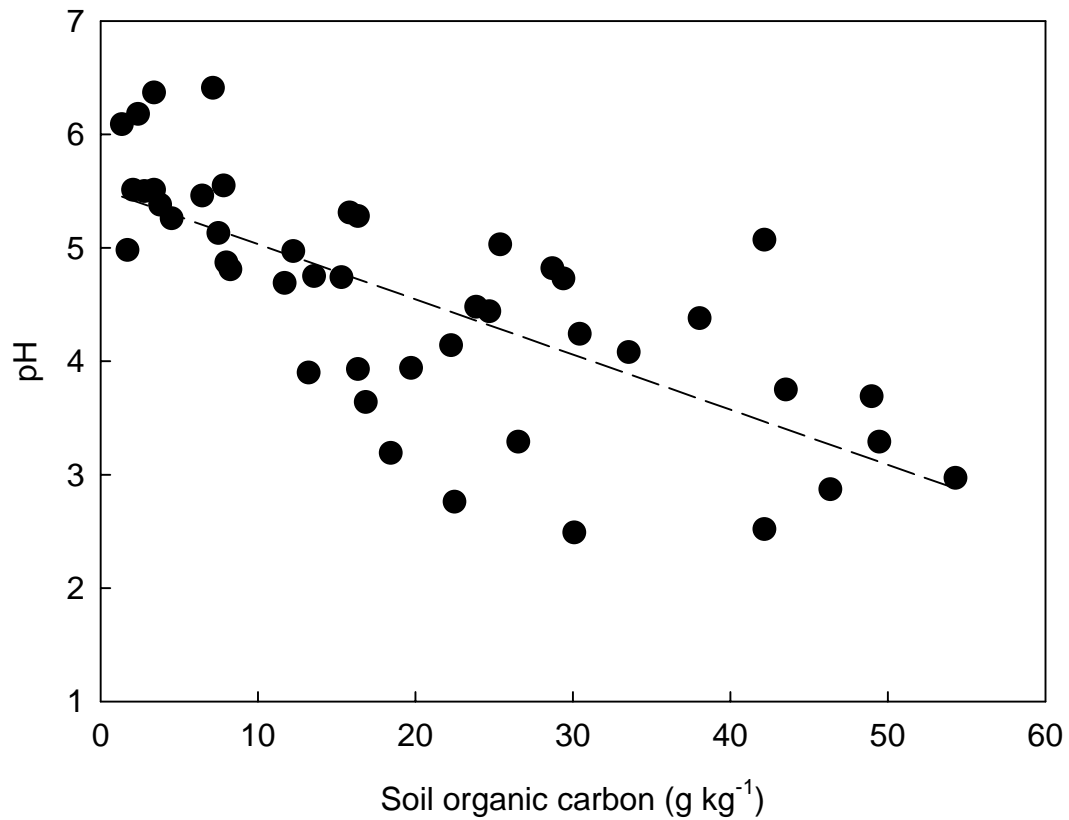


圖 7 土壤有機碳與 pH 值之散布圖，虛線為簡單線性迴歸線： $y = -0.049x + 5.517$ ， $R^2=0.513^{***}$ 。

Fig. 7 The scatter plot of soil organic carbon content and pH. The dash line is simple linear regression line. The regression function: $y = -0.049x + 5.517$ ， $R^2=0.513^{***}$.