

國立臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

新海人工溼地水生植物碳吸存量及效益

與環境解說效益之評估

Benefit Evaluation of Environmental Interpretation and Aquatic
Plants Carbon Fixation in Sinhai Artificial Wetlands



指導教授：張文亮 博士

Advisor: Wen-Lian Chang, Ph.D.

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

新海人工溼地水生植物
碳吸存量及效益與環境解說效益之評估

Benefit Evaluation of Environmental Interpretation and
Aquatic Plants Carbon Fixation in Sinhai Artificial Wetlands

本論文係黃大肯君 (R98622039) 在國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國一百年六月二十四日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員： 張文亮 (指導教授簽名)

張尊國

謝正義

謝進玲

吳佩瑛

系主任(所長) 張武 (簽名)

誌 謝

感謝上帝一路的恩典和帶領，使我在求學期間可以體會神學家加爾文所說的：

「一個真正認識上帝的人才能真正地認識自己；一個真正認識自己的人才能真正地認識上帝。」在一生中找到生命的意義，在自己的缺乏上經歷上帝的幫助，在人的不完全中仰望上帝的完全，是人生旅途上最寶貴的一件事。

感謝張文亮老師夫婦，在大肯求學期間所給予的指導和關懷，在老師和師母身上，我看到一對基督徒夫婦所具有的美好榜樣，特別感謝張文亮老師願意給予我空間和資源，讓我能在做實驗和環境經濟學的學習中有著閱讀、實作、討論和寫作的訓練，使我能如培根所說的：「閱讀使人寬廣，討論使人成熟，寫作使人精確」。感謝口試委員張尊國老師、吳珮瑛老師、游進裕博士、謝正義老師的寶貴意見，特別感謝吳珮瑛老師在論文寫作過程中給予大肯的協助，您認真的教學使我這個工程背景的學生也能具有環境經濟學研究的能力。

感謝中華扶輪教育基金會、北門扶輪社給予大肯獎學金，謝謝 Uncle Ahbula 的鼓勵和提攜，讓我在研究所的學習上沒有後顧之憂。感謝研究室的瑞君學姊、雅婷學姊、柏岡學長和學弟妹國賢、怡君在實驗過程的協助，我在你們身上也學習到許多待人處事的原則與態度，也特別感謝好同學志成和興睿，能與你們一起出差、作實驗，討論問題和口頭攻防，是研究所中美好的回憶。感謝江河學長、正翔學長在問卷的蒐集與修正上給予的建議和幫助。

謝謝母親對我的撫養和包容，雖然我還有很多要學習的地方，但我會努力能一天比一天更進步，讓您也能夠安心與減少壓力。感謝信德堂的長輩和弟兄姊妹們的支持與禱告，你們讓我的生命更加有色彩。謝謝雅鴻的陪伴和鼓勵，研究所求學期間能認識妳是我寶貴的美好祝福。

大肯 謹誌

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	IV
表目錄.....	V

第一章 新海人工溼地水生植物碳吸存量之評估

ESTIMATION OF CARBON FIXATION OF AQUATIC PLANTS IN SHINHAI ARTIFICIAL WETLANDS

摘要.....	1
ABSTRACT.....	1
一、緒論.....	3
1.1 前言.....	3
1.2 文獻回顧.....	4
1.2.1 人工溼地碳循環.....	4
1.2.2 水生植物與碳吸存.....	5
1.3 研究目的.....	6
二、理論分析.....	7
2.1 研究架構.....	7
2.2 分層隨機抽樣法.....	8
2.3 植生影像辨識.....	10
2.3.1 監督式分類.....	11
2.3.2 貝氏分類法.....	11
2.3.3 最大相似法決策原則.....	11
2.3.4 多維常態分布模型.....	12
2.3.5 誤差矩陣.....	13
三、材料與方法.....	15
3.1 新海二期溼地簡介.....	15
3.2 調查植生選擇.....	16
3.3 植體碳吸存量分析.....	16
3.4 溼地單位面積植生數量調查.....	17
3.5 植株葉面積指數調查.....	19
3.6 植生影像辨識.....	19
四、結果與討論.....	23
4.1 人工溼地單位面積植物生長數量.....	23

4.2 溼地植生碳吸存量.....	24
4.3 植株葉面積與碳吸存量.....	26
4.4 各區植生碳吸存量估計.....	27
4.5 植生影像辨識.....	31
4.5.1 植生影像辨識.....	31
4.5.2 植生影像辨識正確率評估.....	32
4.6 新海二期人工溼地碳吸存量之估算	33
五、結論與建議	34
5.1 結論.....	34
5.2 建議.....	35
六、參考文獻	36
符號說明	39

第二章 新海人工溼地水生植物碳吸存效益與環境解說效益之評估

BENEFIT EVALUATION OF ENVIRONMENTAL INTERPRETATION AND AQUATIC PLANTS CARBON IN SHINHAI ARTIFICIAL WETLANDS

摘要	41
ABSTRACT	41
一、緒論	43
1.1 前言.....	43
1.2 文獻回顧.....	43
1.2.1 人工溼地生態系統服務經濟價值.....	44
1.2.2 旅行成本法.....	44
1.2.3 環境解說.....	45
1.3 研究目的.....	45
二、理論分析	46
2.1 碳吸存效益.....	46
2.2 旅行成本.....	46
2.3 旅行需求函數.....	47
2.4 旅行需求曲線計量模型.....	48
2.5 遊憩效益評估指標.....	49
三、研究場址與調查方法	52
3.1 新海二期人工溼地簡介.....	52
3.2 問卷資料蒐集.....	52
3.3 環境解說滿意度評估.....	53
四、結果與討論	54
4.1 碳吸存效益.....	54

4.2 遊憩效益評估.....	55
五、結論與建議.....	62
5.1 結論.....	62
5.2 建議.....	63
六、參考文獻.....	64
符號說明.....	67
附錄 A.植生碳吸存量實驗數據.....	69
附錄 B.植生葉面積測量實驗數據.....	72
附錄 C. 溼地碳儲存量計算說明.....	77
附錄 D.本研究使用之問卷.....	79
附錄 E.遊客資料敘述統計表.....	82
附錄 F.遊客拜訪次數與交通成本關係圖.....	83



圖目錄

圖 I-2-1	人工溼地水生植物碳吸存量研究架構示意圖.....	7
圖 I-3-1	新海二期人工溼地位置示意圖.....	15
圖 I-3-2	分層隨機抽樣正方形樣點空間分布圖.....	18
圖 I-3-3	1 平方公尺方框現地調查情形.....	18
圖 I-3-4	新海二期溼地影像辨識訓練區位置空間分布.....	20
圖 I-4-1	植生葉面積指數與單位面積碳吸存量關係圖.....	27
圖 I-4-2	植株葉片面積與單株植生碳吸存量關係圖.....	27
圖 I-4-3	新海二期人工溼地衛星照片.....	31
圖 I-4-4	新海二期溼地影像辨識分類結果.....	31
圖 I-4-5	新海二期人工溼地辨識正確率評估點分布圖.....	32
圖 II-2-1	單一旅行地點消費者剩餘示意圖.....	50
附錄 F	新海人工溼地遊客過去兩年拜訪次數與交通成本關係圖...	xiv
	新海溼地遊客未來一年願意拜訪次數與交通成本關係圖...	xiv

表目錄

表 I-2-1	誤差矩陣示意表.....	14
表 I-3-1	本研究調查之物種.....	16
表 I-3-2	各訓練區反射值平均數向量.....	20
表 I-3-3	植生訓練樣區各波段反射值敘述統計表.....	21
表 I-3-4	植生訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣.....	21
表 I-3-5	裸地訓練樣區各波段反射值敘述統計表.....	21
表 I-3-6	裸地訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣.....	21
表 I-3-7	水體訓練樣區各波段反射值敘述統計表.....	22
表 I-3-8	水體訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣.....	22
表 I-4-1	新海二期溼地單位面積植生生長數量調查結果.....	23
表 I-4-2	新海二期人工溼地植生碳吸存量.....	24
表 I-4-3	新海二期溼地調查植生碳吸存量.....	25
表 I-4-4	新海二期溼地植生葉面積與碳吸存量調查結果.....	26
表 I-4-5	新海二期溼地水生植物成株碳吸存量.....	28
表 I-4-6	新海二期溼地各分區碳吸存量.....	28
表 I-4-7	新海二期溼地第一密植區碳吸存量.....	29
表 I-4-8	新海二期溼地開放水面區碳吸存量.....	29
表 I-4-9	新海二期溼地第二密植區碳吸存量.....	30
表 I-4-10	新海二期溼地生態池碳吸存量調查.....	30
表 I-4-11	新海二期溼地影像辨識結果.....	31

表 I-4-12	新海二期溼地影像辨識誤差矩陣.....	32
表 II-3-1	本研究環境解說滿意度評估項目與問卷簡表.....	53
表 II-4-1	人工溼地與污水處理廠耗電比較.....	54
表 II-4-2	旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (應變數為過去兩年拜訪次數)	56
表 II-4-3	旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (應變數為未來一年願意拜訪次數)	58
表 II-4-4	旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (應變數為未來兩年願意拜訪次數)	60
表 II-4-5	解說活動前後遊客旅行次數與消費者剩餘變化.....	61



第一章 新海人工溼地水生植物碳吸存量 之評估

Estimation of Carbon Fixation of Aquatic Plants in Sinhai Artificial Wetlands

摘 要

本研究以新海二期人工溼地為實驗場址，透過現地分層隨機抽樣與植生影像辨識估算水生植物分布面積與單位面積生長數量，並以高溫灰化法求得植生中有機質含量，並估算水生植物碳吸存量。

研究結果發現，新海二期溼地五種優勢水生植物碳儲存量為：蘆葦 (*Phragmites australis*) $501.7 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、長苞香蒲 (*Typha angustata*) $135.6 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、蕹菜 (*Ipomoea aquatica*) $82.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、巴拉草 (*Brachiaria mutica*) $26.8 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、臺灣水龍 (*Ludwigia x taiwanensis* Peng) $17.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，水生植物碳吸存量與植生葉面積指數、植生葉片面積成正相關。新海二期溼地優勢水生植物碳吸存量為 $211.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。透過植生影像辨識求得新海二期人工溼地植生面積為 $35,652 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，推估新海二期溼地水生植物碳儲存量為 7.5 ton yr^{-1} 。

關鍵詞：碳吸存量，人工溼地，水生植物，植生影像辨釋，分層隨機抽樣法

Abstract

The objective of this research is to estimate carbon fixation of five dominate aquatic plants in Sinhai second phase artificial wetland in New Taipei City. Concerning the analysis method, we used image based event identification and on site stratified random sampling to calculate area and density of aquatic plants in artificial wetland, and used high temperature combustion method to estimate organic matter content in aquatic plants.

The results showed that carbon fixation of five dominate aquatic plants in Sinhai second phase artificial wetland is : *Phragmites communis* 501.7 gC m⁻² yr⁻¹ , *Typha angustata* 135.6 gC m⁻² yr⁻¹ , *Ipomoea reptans* 82.3 gC m⁻² yr⁻¹ , *Brachiaria mutica* 26.8 gC m⁻² yr⁻¹ , *Colocasia esculenta* 22.2 gC m⁻² yr⁻¹ , *Ludwigia x taiwanensis* Peng 17.5 gC m⁻² yr⁻¹. Also, we found that aquatic plants carbon fixation are positive relative with leaf area index(LAI) and leaf area. Totally, carbon fixation of five dominate aquatic plants in Sinhai second phase artificial wetland is 211.0 gC m⁻² yr⁻¹. By means of image based event identification, We obtained the area of aquatic plants in Sinhai second phase artificial wetland is 35,652 m², and that we can estimate the carbon fixation of aquatic plants in Sinhai second phase artificial wetland is 7.5 ton yr⁻¹.

Key words: carbon fixation , artificial wetland , aquatic plants , image based event identification , stratified random sampling

一、緒論

1.1 前言

生態工程 (Ecological Engineering) 是以接近自然的工程設計，減少工程對環境的衝擊，在生態工程的發展過程中，人工溼地扮演重要的角色。過去十年間，臺灣營造了數十個人工溼地，人工溼地場址具有污水處理、生態保育與環境教育的功能。因著氣候變遷的衝擊，溼地的碳循環成為學界所關注的議題。

水生植物在人工溼地中可淨化水質、提供溼地生物食物的來源與棲息。溼地植栽的設計影響水質淨化效果與建造成本，過去對於人工溼地植栽的研究多針對水生植物水質淨化效果進行評估，少有對水生植物碳吸存量進行估算。本研究評估人工溼地常見水生植物的碳吸存量與單一溼地植生碳吸存量，可作為日後溼地工程營造時植栽設計與政策評估之重要參數。



1.2 文獻回顧

1.2.1 人工溼地碳循環

「人工溼地」為生態工程之重要發展項目，其優點為：利用自然之方式處理污水、有較低之營運、維護與建造成本，並能成為生物棲息地與環境教育場址 (Machate et al., 1997)，而溼地之碳排放量亦為近年來學術上所重視之議題，天然溼地溫室氣體排放約佔全球 25% (Whalen, 2005)，過去文獻顯示溼地維護管理與環境條件會影響其成為碳之排放 (Carbon Source) 或匯聚溫室氣體 (Carbon Sink) 之場址 (Kayranli et al., 2010)。

溼地中碳主要分布於：植生、土壤、水體、微生物、氣體五個碳庫中 (Kadlec and Knight, 1996)。在溼地的二氧化碳通量研究上：曾以密閉罩法 (Closed Chamber Method) 測量愛沙尼亞 (Estonia) 水平式地下流人工溼地溫室氣體通量，該溼地年碳吸存 (Carbon Sequestration) 為 484-649 kgC yr⁻¹，該溼地單位面積碳捕捉為 1500-2200 g C m⁻² yr⁻¹ (Mander et al., 2008)。國內的研究中，曾以鮑溫比/能量平衡系統量測水稻田二氧化碳平衡，發現水稻田一期作二氧化碳吸存量為 22.0 g m⁻² day⁻¹，二期作為 17.9 g m⁻² day⁻¹，水稻田碳吸存量受期作之葉面積指數影響，指數大則固定二氧化碳量多 (姚等, 2006)，葉面積指數亦被證實與植物淨初級生產力具有高度正相關 (Gholz, 1982)。在植體碳吸存量的研究中，曾評估加州沙加緬度聖華金三角洲溼地海三稜 (*Schoenoplectus acutus*) 和香蒲 (*Typha spp.*) 的植體碳吸存量，發現這兩種主要物種的年碳吸存量達 1300-3200 gC m⁻² yr (Miller and Fujii, 2010)。

1.2.2 水生植物與碳吸存

評估水生植物的碳吸存量可作為人工溼地植栽設計之參考依據，水生植物通常以其葉片和水平的相對位置和生活習性進行分類，可分為：沉水型植物、挺水型植物、浮葉型植物、漂浮型植物、溼生型植物五種類型。沉水型植物的特色為植株完全沉浸於水中，其根固定於水底；也有部分此類水生植物沒有根，植株莖、葉完全懸浮於水體之中。沉水型植物通常葉片形狀細長，厚度亦較薄。挺水型植物的特色為水生植物僅有根生長在水面下並埋於土中，莖與葉挺露出水面，此類植物通常生於水岸邊或水位較淺的環境，並且部分此類植物會於水面下長出沉水葉。浮葉型植物的特色為根部固定於土壤之中，有些具有球莖亦固定於底泥中，葉片由細長而柔轉的葉柄支撐，漂浮於水面，此類植物亦有些會長出沉水葉。漂浮型植物又稱浮水植物，通常具有較寬廣的葉面，使其植株亦浮在水面上，且繁殖能力強。此類植物根通常浮於水中，部分不具有根。溼生型植物的根生長於土壤之中，而其所生長環境土壤具有較高之含水量，植株並未浸泡於水中，其各方面特徵皆近於陸生植物。

對於水生植物碳儲存量的評估，美國俄亥俄州愛莉湖溼地（Lake Erie coastal wetland, 41°37'N, 83°14'W）三種主要物種的植生碳儲存量分別為：蘆葦（*Phragmites australis*）地上部 $660 \pm 130 \text{ gC m}^{-2}$ 、地下部 $153 \pm 40 \text{ gC m}^{-2}$ 、香蒲科植物（*Typha* spp.）地上部 $530 \pm 74 \text{ gC m}^{-2}$ 、地下部 $660 \pm 130 \text{ gC m}^{-2}$ 、野慈姑（*Sagittaria latifolia*）地上部 $206 \pm 30 \text{ gC m}^{-2}$ 、地下部 $50 \pm 19 \text{ gC m}^{-2}$ （Rothman and Bouchard, 2007）而水生植物生物量（biomass）在空間中的分布亦和水深有相關性，離岸較近水深較淺處，植生生物量較高（Hudon, 2004）。

關於水生植物的碳傳輸，以 C-14 同位素法分析蘆葦 (*Phragmites australis*) 植物體中所吸收的 C-14 同位素於沼澤土中的傳輸，發現植體在 27 天的實驗中留有 90%-95% 的 C-14 同位素，於土中發現碳同位素出現的最大值為 2%，二氧化碳為 5% - 9% (Richert *et al.*, 2000)。在野外研究中，學者整理相關文獻也提出在丹麥 Vejlerne 自然保留區，以蘆葦為主的溼地中，蘆葦每年的碳吸存為 $98 \text{ molC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，而透過根系傳輸至地底的有機碳為 $46 \text{ molC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Brix *et al.*, 2001)。

1.3 研究目的

水生植物為人工溼地去除污染之介質，其在溼地中兼具有二氧化碳吸存之效果，國外亦有多篇文獻進行探討，但國內相關研究尚付之闕如。

本研究以新海二期人工溼地為場址，對人工溼地常見的十五種水生植物進行單位面積生長數量與碳吸存量之調查，可求得水生植物單位面積的植體碳吸存量，並以衛星影像辨識評估人工溼地植生面積，以評估單一人工溼地植生碳吸存量，研究結果可成為政策評估、經濟效益評估與工程植栽設計之重要參數。

二、理論分析

2.1 研究架構

本研究之架構如圖 I-2-1 所示，選取人工溼地常見的 15 種水生植物進行調查，於新海二期人工溼地採樣後帶回實驗室以高溫灰化法求得單株植生碳含量，由於未能觀察植生隨時間之生長量變化，故假設調查植株之碳含量為過去一年之碳吸存量。並以分層隨機抽樣法調查 15 種水生植物於新海二期人工溼地空間之分布，以調查中植生出現頻率判斷何為新海二期人工溼地之優勢種，並以調查中植生單位面積生長數量乘上單株植生碳吸存量，求得優勢種水生植物單位面積碳吸存量。再透過影像辨識法求得人工溼地植生面積，以估計新海人工溼地優勢種水生植物碳吸存量。

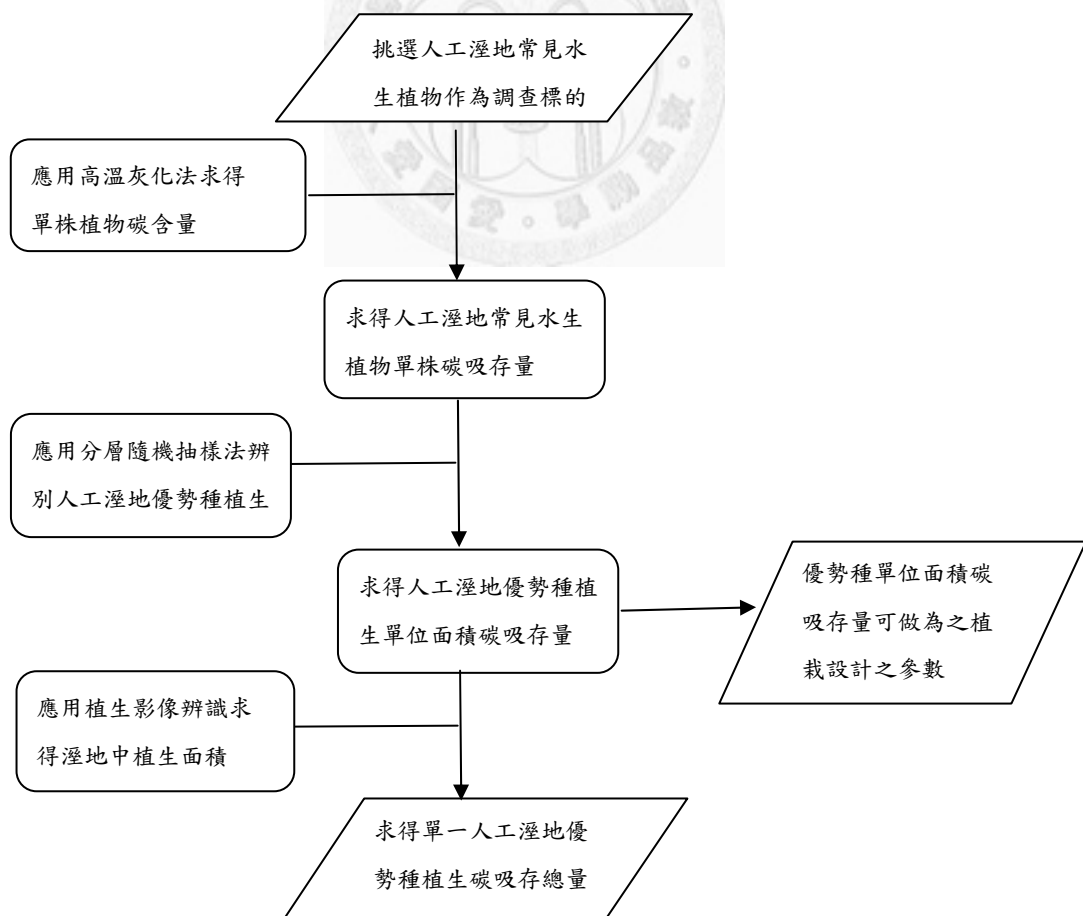


圖 I-2-1 人工溼地水生植物碳吸存量研究架構示意圖

2.2 分層隨機抽樣法

分層隨機抽樣 (Stratified Random Sampling) 廣泛運用於環境科學與社會科學各領域實證研究中，其特色為利用已知的事前資訊，將具有共同特質的單位歸入同一分層，此方法可提高分層內的同質性 (Homogeneity)，使得層內變異縮小，層間變異增大。一般使用分層隨機抽樣法的原因為：1.可求得各分層的平均數和信賴區間 2.各分層之間抽樣難易度有差異 3.可使母體參數之推估更加精確，並使推估的信賴區間較狹窄 4.可方便不同研究人員於不同區域進行抽樣作業。(Cochran, 1977; 李, 2006)

在一分層隨機抽樣中，將母體分為 L 層，而母體的面積為 N 個單位，則：

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_L \quad (1)$$

其中 N_i 為第 i 層之面積。各層在抽樣中的權重 (Weight) 為：

$$W_i = \frac{N_i}{N} \quad (2)$$

其中 W_i 為第 i 層在抽樣中之權重， N_i 為第 i 層之面積， N 為母體之面積。

而整個分層隨機抽樣的平均數可由式 (3) 得出：

$$\bar{X}_{st} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i}{N} = \sum_{i=1}^L W_i \bar{X}_i \quad (3)$$

其中 \bar{X}_{st} 為分層隨機抽樣之樣本平均數， N_i 為第 i 層之面積， \bar{X}_i 為第 i 層樣本平均數， N 為母體之面積。由(3)式可知 \bar{X}_{st} 是 \bar{X}_i 的直線型函數 (Linear Combination)，因此：

$$\begin{aligned}
V(\bar{X}_{st}) &= V(W_1\bar{X}_1 + W_2\bar{X}_2 + \dots + W_l\bar{X}_l) \\
&= W_1^2V(\bar{X}_1) + W_2^2V(\bar{X}_2) + \dots + W_l^2V(\bar{X}_l) \\
&\quad + 2W_1W_2 \text{Cov}(\bar{X}_1, \bar{X}_2) + 2W_1W_3 \text{Cov}(\bar{X}_1, \bar{X}_3) + \dots \\
&= \sum_{i=1}^L W_i^2V(\bar{X}_i) + 2\sum_{i=1}^L \sum_{j>i}^L W_iW_j\text{Cov}(\bar{X}_i, \bar{X}_j) \quad (4)
\end{aligned}$$

其中 $V(\bar{X}_{st})$ 為分層抽樣樣本平均數之變異數， $\text{Cov}(\bar{X}_i, \bar{X}_j)$ 為第 i 分層樣本平均數 \bar{X}_i 與第 j 分層樣本平均數 \bar{X}_j 之共變異數，因 \bar{X}_i 與 \bar{X}_j 來自不同分層，兩者互相獨立，所以 $\text{Cov}(\bar{X}_i, \bar{X}_j)$ 其值為0。(4)式可簡化為：

$$V(\bar{X}_{st}) = \sum_{i=1}^L W_i^2V(\bar{X}_i) \quad (5)$$

又第 i 層樣本平均數的變異數 $V(\bar{X}_i)$ 可寫成式(6)：

$$V(\bar{X}_i) = \frac{s_i^2}{n_i} \frac{N_i - n_i}{N_i} \quad (6)$$

其中 s_i^2 為第 i 層樣本之變異數， n_i 為第 i 層抽樣點個數，將式(6)代入式(5)，可求得：

$$V(\bar{X}_{st}) = \sum_{i=1}^L W_i^2 \frac{s_i^2}{n_i} \frac{N_i - n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^L W_i^2 \frac{s_i^2}{n_i} (1 - f_i) \quad (7)$$

其中， W_i 為第 i 層之權重， f_i 為第 i 層抽樣率($f_i = n_i / N_i$)。 $(1 - f_i)$ 為有限母體下之抽樣校正項，若 f_i 小於5%則計算時可忽略此校正項。(Cochran, 1977)

2.3 植生影像辨識

2.3.1 監督式分類 (Supervised Classification)

監督式分類的原理為將已知類別的地貌光譜資訊，作為訓練的樣區 (Training Areas)，藉由計算各訓練樣區光譜的統計資訊 (平均值和共變異數) 對欲分類樣區進行分類 (呂, 2001)，Richards and Jia (2006) 敘述監督式步類法步驟如下：

1. 決定欲分類之項目，即地面覆蓋物之類別，如：水體、植生、裸地、都市地...等。
2. 藉由現地勘查、地圖或欲分類樣區的照片、選定各分類項目中具代表性的像素 (Representative Pixels)，稱為訓練樣區 (Training Areas)。
3. 由訓練樣區的光譜統計資訊，估計各分類項目演算所需之參數，這些參數所組成的集合稱為各分類項目之特徵 (Signature)。
4. 以訓練樣區的光譜統計資訊，對欲分類樣區進行逐像素分類，使得各像素被分類至不同項目之中。
5. 以圖或表之方式表達分類結果。
6. 以已知之地貌分類評估監督式分類結果準確度。

2.3.2 貝氏分類法 (Bayes' Classification)

衛星影像中每個像素皆有其在不同光譜波段所反射的數值，R為像素的紅光波段反射值，G為像素的綠光波段反射值，B為像素的藍光波段反射值，IR為像素的近紅外光波段反射值，因此，可將任意像素點 z_i 以四維之空間向量表示，即：

$$\bar{z}_i = \begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \\ IR_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 R_i 為第 i 個像素的紅光波段反射值， G_i 為第 i 個像素的綠光波段反射值， B_i 為第 i 個像素像素的藍光波段反射值， IR_i 為第 i 個像素的近紅外光波段反射值。

將所欲分類之影像分為 S 類，將第 k 個類別稱為 ω_k ，而第 i 個像素 z_i 屬於 ω_k 類別之機率可用式 (9) 表示，即：

$$\Pr(\omega_k | \bar{z}_i), k=1,2,\dots,S \quad (9)$$

而貝氏分類之判定原則為第 i 個像素 z_i 屬於 ω_k 類別機率最大時，判定 z_i 屬於 ω_k 類別，判定原則可用式 (10) 表示，即：

$$\bar{z}_i \in \omega_k \text{ if } \Pr(\omega_k | \bar{z}_i) > \Pr(\omega_j | \bar{z}_i), \text{ for all } j \neq k \quad (10)$$

2.3.3 最大相似法決策原則

因式 (9) 未能直接在分類過程求出，故假設各類別訓練區皆有足夠的統計資訊，以訓練區的統計資訊估計 $\Pr(\omega_k | \bar{z}_i)$ ，由貝氏定理 (Bayes' Theorem)，可得到下式之關係：

$$\Pr(\omega_k | \bar{z}_i) = \Pr(\bar{z}_i | \omega_k) \Pr(\omega_k) / \Pr(\bar{z}_i) \quad (11)$$

其中， $\Pr(\omega_k | \bar{z}_i)$ 為第 i 個像素 z_i 屬於 ω_k 類別之機率， $\Pr(\bar{z}_i | \omega_k)$ 可由訓練區之資料求出， $\Pr(\omega_k)$ 為第 k 個分類在分類區中出現之機率又稱為事前機率 (prior probability)，而 $\Pr(\bar{z}_i)$ 指的是第 i 個像素 z_i 屬於任意分類之機率，可由下式表示：

$$\Pr(\bar{z}_i) = \sum_{k=1}^S \Pr(\bar{z}_i | \omega_k) \Pr(\omega_k) \quad (12)$$

因 $\Pr(\omega_i)$ 可以由分類前所具有的資訊進行估計，由式 (10) 與式 (11)，可求得：

$$\bar{z}_i \in \omega_k \text{ if } \Pr(\bar{z}_i | \omega_k) \Pr(\omega_k) > \Pr(\bar{z}_i | \omega_j) \Pr(\omega_j), \text{ for all } j \neq k \quad (13)$$

為了方便數學運算，將式 (13) 左右各取自然對數可求得式 (14) 與式 (15)：

$$g_i(\bar{z}_i) = \ln \left[\Pr(\bar{z}_i | \omega_k) \Pr(\omega_k) \right] = \ln \Pr(\bar{z}_i | \omega_k) + \ln \Pr(\omega_k) \quad (14)$$

$$\bar{z}_i \in \omega_k \text{ if } g_k(\bar{z}_i) > g_j(\bar{z}_i), \text{ for all } j \neq k \quad (15)$$

其中 $g_k(\bar{z}_i)$ 為最大相似法中之鑑別函數 (Discriminate Function) (Richards and Jia., 2006)

2.3.4 多維常態分布模型 (Multivariable Normal Class Models)

假設空間中第 i 個像素 z_i 屬於 ω_i 類別之機率 $\Pr(\bar{z}_i | \omega_i)$ 為一多維常態分布

(Freund, 1992; Lillesand, 2000)。在 y 個波段 (band) 的光譜之中， $\Pr(\bar{z}_i | \omega_k)$

可用下式表示：

$$\Pr(\bar{z}_i | \omega_i) = (2\pi)^{-y/2} \left| \sum_k \right|^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\bar{z}_i - \bar{m}_k)' \sum_k^{-1} (\bar{z}_i - \bar{m}_k) \right\} \quad (16)$$

其中 \bar{m}_k 為第 k 類訓練樣區各波段光譜反射值平均數所構成的向量 (mean vector)， \sum_k 為第 k 類訓練樣區光譜之共變異數矩陣 (covariance matrix)，將式 (16) 取自然對數並消去常數項，代入式 (14) 可得到式 (17)，如下所示：

$$g_k(\bar{z}_i) = \ln \Pr(\omega_k) - \frac{1}{2} \left| \sum_k \right| - \frac{1}{2} (\bar{z}_i - \bar{m}_k)^t \sum_k^{-1} (\bar{z}_i - \bar{m}_k) \quad (17)$$

在進行分類時若未能得知第 k 類分類在分類區中出現的機率 $\Pr(\omega_k)$ ，則假設 $\Pr(\omega_k)$ 在各分類中皆為相等 (Richards and Jia, 2006)，為了運算上的方便，忽略式 (17) 之常數項，可將多維常態分布下最大概似法之鑑別函數 (Discriminant Function) 由式 (18) 表示，即：

$$g_k(\bar{z}_i) = - \ln \left| \sum_k \right| - (\bar{z}_i - \bar{m}_k)^t \sum_k^{-1} (\bar{z}_i - \bar{m}_k) \quad (18)$$

2.3.5 誤差矩陣 (Error Matrix)

誤差矩陣為影像辨識時評估辨識正確率之工具，將參考資料 (Reference) (現地勘查、地圖或欲分類樣區的照片) 視為地表真實之情形，可將其與分類結果之關係以方陣描述，稱為誤差矩陣。如表 I-II-1 所示：在矩陣對角線上之元素 (M_{ii}) 即為分類正確之像元，不在對角線上之像元，為分類錯誤之像元，此結果可以用生產者正確率 (Producer's Accuracy, PA)、使用者正確率 (User's Accuracy, UA) 與整體正確率 (Overall Accuracy, OA)。其中生產者正確率指的是分類生產者將地表真實情形正確辨識為該分類之比例，第 i 類分類生產者正確率可由下式表示：

$$PA_{i+} = \frac{M_{ii}}{M_{i+}} \quad (18)$$

使用者正確率指的是使用者在檢視分類結果時，該結果符合地表真實狀況之比例，第 i 類分類使用者正確率可由下式表示：

$$MA_{i+} = \frac{M_{ii}}{M_{i+}} \quad (19)$$

整體正確率指的是正確分類之像素佔全部像素的比例，若將欲分類區

域分成 S 類資料，整體正確率可表示為：

$$OA = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^S M_{ii} \quad (20)$$

表 I-2-1 誤差矩陣示意表

辨識分類 (Classification)	參考資料 (Reference)		
	A	B	合計
A	M_{11}	M_{12}	M_{1+}
B	M_{21}	M_{22}	M_{2+}
合計	M_{+1}	M_{+2}	K



三、材料與方法

3.1 新海二期溼地簡介

如圖 I-3-1 所示，研究之場址位於台北縣新海大橋旁，經緯度位於北 25°01'32"~44"N，東經 121°27'17"~24"，人工溼地於民國 95 年 11 月完工，水域面積約 2.6 公頃，連同陸域全部面積為 4.9 公頃，水源主要為民生污水，都市逕流排水和少部分工業污水。年雨量平均為 2405.1 公釐，年日照時數平均為 1405.2 小時，月平均氣溫為攝氏 23 度，月最高氣溫平均為攝氏 34.3 度，月最低溫度平均為攝氏 19.1 度（中央氣象局台北氣象站，1981-2010）。

新海二期人工溼地場址工法使使用三段式表面流人工溼地，設計最大處理水量 4,000CMD。並在各池下的底質作不透晶化處理，以確保避免滲漏而污染地下水，水力停留時間約 4.61 日。（陳，2010）

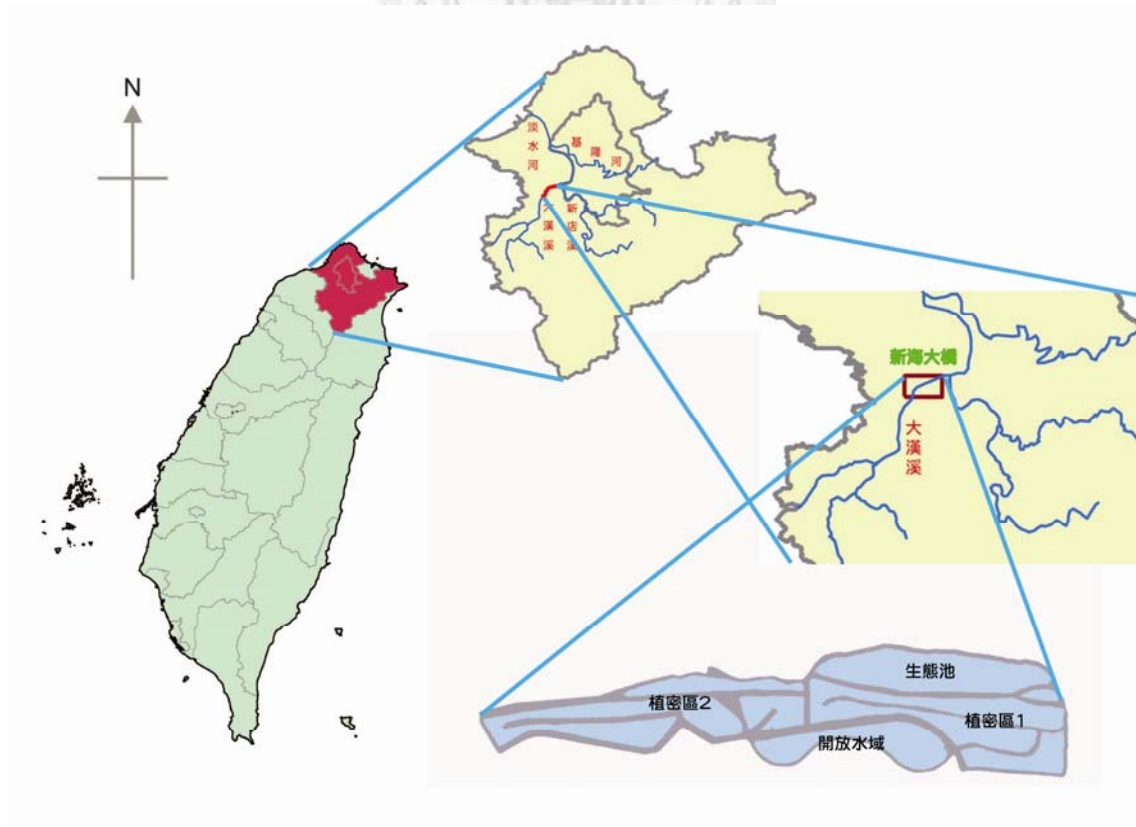


圖 I-3-1 新海二期人工溼地位置示意圖

3.2 調查植生選擇

本研究參考「水質自然淨化—人工溼地規劃設計操作管理參考手冊」（張，2007）中臺灣人工溼地常見水生植物以及「新海二期人工溼地設計栽種栽植表」（臺北縣政府環保局，2005），配合現地目視調查，選出 15 種調查水生植物，如表 I-3-1 所示，

表 I-3-1 本研究調查之物種

植物名稱	植物學名	植物名稱	植物學名
帝馬蘭	<i>Aster subulatus Michaux</i>	巴拉草	<i>Brachiaria mutica</i>
水芋	<i>Colocasia esculenta Schott</i>	荸薺	<i>Eleocharis dulcis var. tiberosa</i>
野薑花	<i>Hedychium coronarium Koenig</i>	蘿菜	<i>Ipomoea aquatica</i>
燈心草	<i>Juncus effusus var. decipiens</i>	李氏禾	<i>Leersia hexandra</i>
臺灣水龍	<i>Ludwigia x taiwanensis Peng</i>	蘆葦	<i>Phragmites australis</i>
水芙蓉	<i>Pistia stratiotes Linn</i>	紅辣蓼	<i>Polygonum glabrum Willd</i>
長苞香蒲	<i>Typha angustata</i>	香蒲	<i>Typha orientalis Presl</i>
茭白	<i>Zizania latifolia</i>		

3.3 植體碳吸存量分析

為調查植體之吸存量，於 2009 年 7 月前往新海溼地於採樣表 I-3-1 之調查物種，將溼地採集之植株樣本帶回實驗室以自來水及蒸餾水沖去植體上附著之土壤，以衛生紙擦乾後進行植體溼重測量，隨後送入烘箱中以攝氏 105 度烘乾，12 小時後取出秤重，將秤得重量扣除盤重為植體乾重。取植體乾重 1.0000 克置於坩鍋內送入高溫爐，加熱至攝氏 500 度，並維持該溫度 4 小時，取出坩鍋後，秤量其殘留灰分重量，將灰化前之植體乾重與灰分重相減，即是植體有機質重量，如方程式 (21) (Fagbenro and Oyeleye, 1999)：

$$OM = \frac{W_{dry} - W_{ash}}{W_{dry}} \times 100\% \quad (21)$$

其中，OM 為植體乾重中有機質之比例、 W_{dry} 為植體乾重 (g)、 W_{ash}

為植體灰分重 (g)。雖本研究之優勢種皆為多年生植物，但考量實驗條件限制，假設調查植生碳含量為過去一年碳吸存量，計算如方程式 (22) 所示：

$$C_{sto} = W_{dry} \cdot OM \cdot C_{pro} \quad (22)$$

其中 C_{sto} 為單株植生碳吸存量 ($\text{g stem}^{-1} \text{yr}^{-1}$)、 W_{dry} 為植體乾重 (g) OM 為植體乾重中有機質百分比、 C_{pro} 為有機質中碳含量之比例
參考過去文獻認為有機質中碳含量在 0.45~0.50 之間 (Bano et al.1997; Zweifel, 1999; Rothman and Bouchard, 2007; Kayranli et al., 2010)，故本研究將 C_{pro} 設為 0.475。

3.4 溼地單位面積植生數量調查

為了解人工溼地植生分布之密度，於 2010 年 2 月 1 日進行現地分層隨機抽樣法調查，新海二期溼地可分為第一密植區、開放水面區、第二密植區和生態池。因四分區在水質淨化功能上有所不同，其植栽數量與維護管理時植生移除頻率亦有差異。故將四分區劃為 200 個樣區，每樣區大小為 400 平方公尺的正方形，再考量第一密植區、開放水面區、第二密植區和生態池面積大小以分層隨機抽樣法於四區分別抽出 5、5、6、5 個四百平方公尺正方形的樣本點，其空間中分布如圖 3-2 所示。在各個樣本點的四邊隨機挑選一邊後於 6m、8m、10m、12m 處用 1 平方公尺 PVC 管方框 (如圖 I-3-3) 進行水生植物數量調查 (李, 2006)，共調查 84 個 1 平方公尺樣本點。

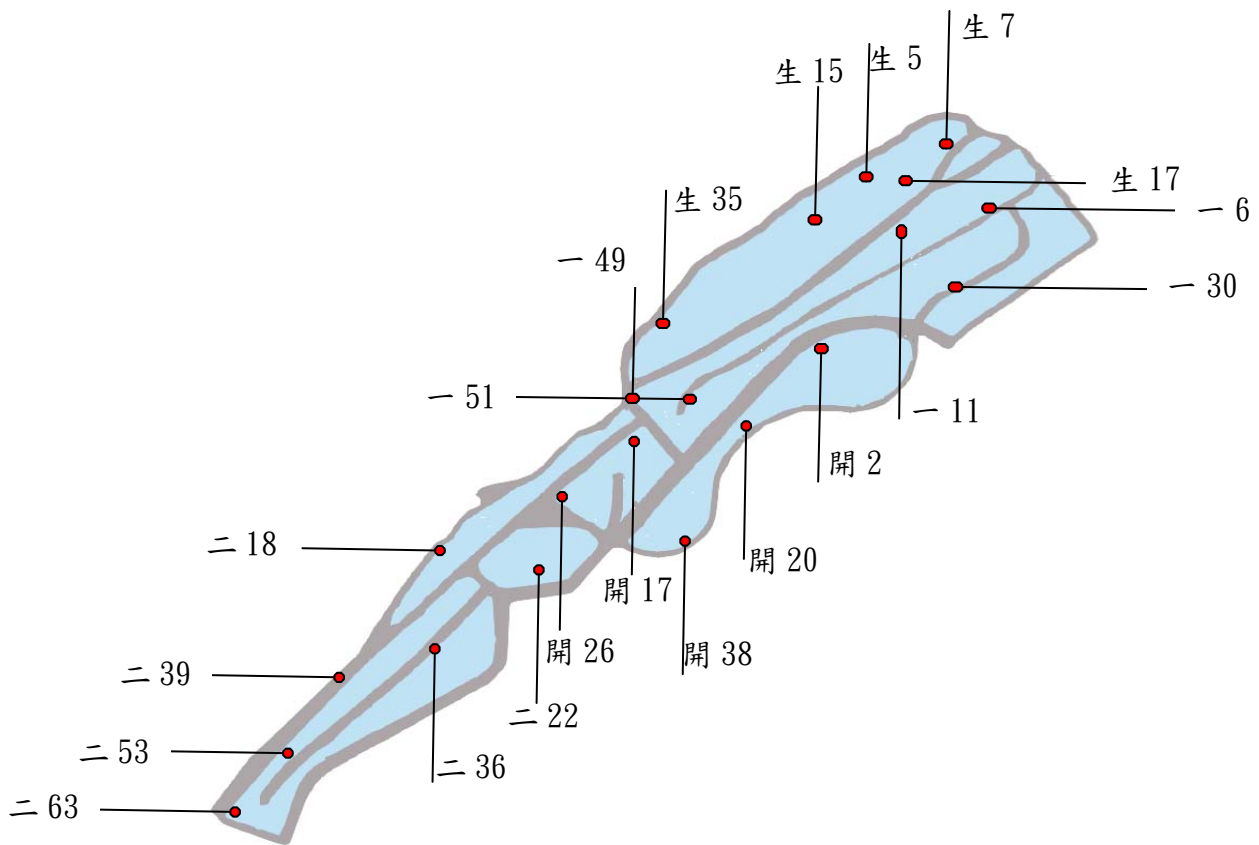


圖 I-3-2 分層隨機抽樣正方形樣點空間分布圖
 (一代表第一密植區、二代表第二密植區、開代表開放水面區、生代表生態池，其中一 6 代表第一密植區第六個 400 平方公尺樣本點)



圖 I-3-3 1 平方公尺方框現地調查情形

3.5 植株葉面積指數 (Leaf Area Index) 調查

於 100 年 2 月中旬前往新海二期人工溼地，調查溼地優勢種的李氏禾、巴拉草、蘆葦、台灣水龍、蕹菜、長苞香蒲、水芋的葉面積指數，將上述各植物在溼地中選取三個不同密度的樣區、每樣區計算單位面積生長植株生長數量後，於各樣區中隨機採取三株植株，放入塑膠袋中，帶回實驗室後，計算各植株之葉片數目，並以可攜式葉面積儀 (LI-3000A, LICOR) 量測各植株的葉片面積，植物葉面積指數之計算，如方程式 (23) 所示：

$$LAI = \frac{\sum A_{leaf}}{n} \cdot s \quad (23)$$

其中 LAI 為葉面積指數 (平方公尺/平方公尺)、 A_{leaf} 為量測之葉片面積 (平方公尺/株)、 n 為量測植株數 (株)、 s 為單位面積植株數量 (株/平方公尺)。

3.6 植生影像辨識

輸入新海二期溼地 2010 年 1 月 14 日福爾摩沙衛星二號衛星照片 (SPOT 衛星影像) 解析度為 2m*2m，各光譜感測波段為：藍光波段：450nm~520 nm、綠光波段：520 nm~600 nm、紅光波段：630 nm~690 nm、近紅外光波段 760 nm~900 nm。如圖 I-3-2 所示，運用 EARDAS IMAGINE 2010 遙測影像處理系統 (以下簡稱 IMAGINE)，選取新海二期溼地開放水面區之植生 103 個像素，水體 202 個像素，作為監督式影像辨識植生與水體分類訓練樣區，並於開放水面區南側道路之裸地選取 266 個像素作為影像辨識裸地分類之訓練樣區，各訓練樣區不同波段光譜反射統計資訊如表 I-3-2、表 I-3-3、表 I-3-4、表 I-3-5、表 I-3-6、表 I-3-7、表 I-3-8 所示，選定訓練區後以 IMAGINE 影像分類功能，選取監督式分

類 (Supervised Classification)，於作業視窗影像分類原則中選取最大相似法 (Maximum Likelihood)，將新海二期溼地衛星照片進行影像分類。完成分類後以 IMAGINE 之影像選取功能，對照新北市政府環境保護局新海二期溼地工程圖將新海二期溼地影像自衛照圖中進行影像分割，並以 IMAGINE 之影像屬性功能 (Attributes) 計算新海二期溼地各分類像素個數。



圖 I-3-4 新海二期溼地影像辨識訓練區位置空間分布
虛線範圍內為訓練樣區 (影像以紅外光模式顯示)

表 I-3-2 各訓練區反射值平均數向量 (\overline{m}_k)

訓練區類別	植生	裸地	水體
波段類別	(\overline{m}_1)	(\overline{m}_2)	(\overline{m}_3)
藍光波段 (R)	90.573	131.038	76.926
綠光波段 (G)	96.515	117.571	81.619
紅光波段 (B)	128.320	150.177	125.525
近紅外光波段 (IR)	142.136	110.812	46.564

表 I-3-3 植生訓練樣區各波段反射值敘述統計表

波段類別	最小值	最大值	平均數	標準差
藍光波段 (R)	58.000	116.000	90.573	10.044
綠光波段 (G)	73.000	113.000	96.515	8.098
紅光波段 (B)	104.000	146.000	128.320	8.101
近紅外光波段 (IR)	83.000	188.000	142.136	22.176

表 I-3-4 植生訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣 (Σ_1)

波段類別	藍光波段	綠光波段	紅光波段	近紅外光波段
藍光波段	100.875	70.212	64.854	123.833
綠光波段	70.212	65.586	55.706	129.547
紅光波段	64.854	55.706	65.632	136.260
近紅外光波段	123.833	129.547	136.260	491.766

表 I-3-5 裸地訓練樣區各波段反射值敘述統計表

波段類別	最小值	最大值	平均數	標準差
藍光波段	91.000	185.000	131.038	21.671
綠光波段	95.000	151.000	117.571	13.079
紅光波段	124.000	188.000	150.177	14.354
近紅外光波段	73.000	167.000	110.812	18.061

表 I-3-6 裸地訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣 (Σ_2)

波段類別	藍光波段	綠光波段	紅光波段	近紅外光波段
藍光波段	469.636	273.971	302.197	85.603
綠光波段	273.971	171.068	184.706	67.840
紅光波段	302.197	184.706	206.040	81.030
近紅外光波段	85.603	67.840	81.030	326.198

表 I-3-7 水體訓練樣區各波段反射值敘述統計表

波段類別	最小值	最大值	平均數	標準差
藍光波段	64.000	89.000	76.926	4.334
綠光波段	74.000	89.000	81.619	2.891
紅光波段	116.000	135.000	125.525	3.808
近紅外光波段	35.000	60.000	46.564	5.216

表 I-3-8 水體訓練樣區各波段反射值共變異數矩陣 (Σ_3)

波段類別	藍光波段	綠光波段	紅光波段	近紅外光波段
藍光波段	18.786	5.588	8.860	-0.978
綠光波段	5.588	8.356	3.141	-2.799
紅光波段	8.860	3.141	14.499	5.628
近紅外光波段	-0.978	-2.799	5.628	27.202



四、結果與討論

4.1 人工溼地單位面積植物生長數量

於新海二期溼地進行分層隨機取樣，在抽出的 84 個 1 平方公尺樣區中，調查 15 種植物單位面積生長數量，調查結果如表 I-4-1。在調查過程中，共出現 7 種調查水生植物，其分布密度分別為：李氏禾 59.5 stem m⁻²、巴拉草 33.5 stem m⁻²、蘆葦 22.1 stem m⁻²、台灣水龍 21.9 stem m⁻²、薤菜 10.7 stem m⁻²、長苞香蒲 6.6 stem m⁻²、水芋 3 stem m⁻²。將 84 個一平方公尺樣點中，出現該種植物之次數記為植株於抽樣中出現次數，於調查中有高出現頻率之植物為：台灣水龍（14 次）、巴拉草（11 次）、長苞香蒲（10 次）、薤菜（10 次）、蘆葦（10 次），由於新海二期人工溼地於 95 年 11 月完工，至 99 年 2 月的調查時間已經過 3 年 2 個月，完工至今經過多次颱風、洪水之衝擊，該生態系屬於次級演替（Secondary Succession）之情形，故上述五種物種屬於溼地之優勢種，可作為未來人工溼地植栽種植之參考。

表 I-4-1 新海二期溼地單位面積植生生長數量調查結果

植物名稱	台灣水龍	巴拉草	長苞香蒲	薤菜	蘆葦	李氏禾	水芋
植株於抽樣中出現 次數（次）	14	11	10	10	10	2	1
植株密度平均數 （stem m ⁻² ）	21.9	33.5	6.6	10.7	22.1	59.5	3
植株密度標準差 （stem m ⁻² ）	20	22	4.2	11.9	9.8	78.5	----*

*抽樣中僅出現一次，無法計算標準差

4.2 溼地植生碳吸存量

溼地植生碳吸存量調查結果發現：抽樣中出現的 6 種植物，其單株植株碳吸存量為：蘆葦 $22.7 \text{ gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、長苞香蒲 $19.1 \text{ gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、水芋 $7.4 \text{ gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、薤菜 $6.8 \text{ gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、巴拉草 $0.8 \text{ gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、水龍 $0.8 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。將其單株植生碳吸存量乘上表 I-4-1 中植生單位面積數量之平均數 ($\text{stem m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) 可得到單位面積植生碳吸存量 ($\text{gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)，計算結果為：蘆葦 $501.7 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、長苞香蒲 $135.6 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、薤菜 $82.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、巴拉草 $33.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、水芋 $22.2 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、臺灣水龍 $17.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。其中水芋因在抽樣調查中僅出現一次，不若其他五種水生植物為優勢種，故參考性較低。由調查結果可發現大型水生植物其碳吸存量亦較高，可見植體生物量 (Biomass) 對於碳吸存量的影響高於植體有機質比例對植生碳吸存量的影響 (如表 I-4-4 所示)。

表 I-4-2 新海二期人工溼地植生碳吸存量

樣本編號/植物名稱	巴拉草	台灣水龍	水芋	薤菜	長苞香蒲	蘆葦
樣本 1	0.7	0.4	40.5	12.6	19.9	34.2
樣本 2	0.6	1.3	3.6	2.6	9.8	35.7
樣本 3	0.4	0.9	0.4	3.1	9.2	11.7
樣本 4	0.5	0.8	7.9	1.8	16.5	9.1
樣本 5	0.9	0.6	0.7	4.5	36.3	-
樣本 6	1.2	1.4	0.4	11.2	6.4	-
樣本 7	0.6	0.3	2.4	12.0	35.5	-
樣本 8	1.3	0.4	3.1	6.1	-	-
Csto 植生碳吸存量 平均數 ($\text{gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	0.8	0.8	7.4	6.8	19.1	22.7
Csto 植生碳吸存量 標準差 ($\text{gC stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	0.3	0.4	13.6	4.5	12.4	14.2
單位面積植生數量 ($\text{stem m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	33.5	21.9	3	12.1	7.1	22.1
植生單位面積 碳吸存量 ($\text{gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	26.8	17.5	22.2	82.3	135.6	501.7

而未於溼地植生分布調查出現的 5 種植生，其單株植生碳吸存量計算結果如表 I-4-3 所示其單株植株碳吸存量為：筊白 $14.41 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、紅辣寥 $10.76 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、香蒲 $10.20 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、野薑花 $6.47 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、水芙蓉 $0.12 \text{ g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。因以上植物未於溼地植生分布調查實驗中出現，研究中僅記錄於採樣點之生長數量，無法估計在溼地中單位面積植生碳吸存量。

表 I-4-3 新海二期溼地調查植生碳吸存量

樣本編號/植物名稱	紅辣寥	野薑花	香蒲	筊白	水芙蓉
樣本 1	13.18	8.50	12.67	19.17	0.05
樣本 2	6.03	3.98	8.36	21.52	0.05
樣本 3	13.76	7.86	10.80	7.90	0.19
樣本 4	10.08	1.38	10.94	9.05	0.04
樣本 5	---	6.36	12.44	---	0.05
樣本 6	---	9.01	12.19	---	0.11
樣本 7	---	8.18	3.97	---	0.34
樣本 8	---	---	5.77	---	0.13
植生碳吸存量平均數 ($\text{g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	10.76	6.47	10.20	14.41	0.12
植生碳吸存量標準差 ($\text{g stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	3.55	2.82	3.28	6.01	0.10

4.3 植株葉面積與碳吸存量

過去研究中指出葉面積指數與植體生產力具有高度正相關 (Gholz, 1982)，並可作為植體生長狀況之指標，本研究量測新海二期溼地優勢種植物葉面積指數如表 I-4-4。以表 I-4-4 數據迴歸分析比較植株溼重含水量、單株葉片面積、葉面積指數對單株植生碳吸存量的影響，結果顯示單株葉片面積、葉面積指數對單株植生碳吸存量有顯著影響，如圖 I-4-1 與圖 I-4-2 所示，植株葉片面積與葉面積指數越高時，其所對應之單株碳吸存量與單位面積碳吸存量也越高，因較大的葉片面積可以有較多的光合作用量，因此在溼地植栽設計時，高葉面積指數 (Leaf Area Index) 與較高葉片面積的作物如：蘆葦和長苞香蒲，可作為增加溼地植物碳吸存量的選擇。

表 I-4-4 新海二期溼地植生葉面積與碳吸存量調查結果

測量項目 (單位)	巴拉草	台灣水龍	水芋	蕹菜	長苞香蒲	蘆葦
樣本數 (stem)	8	8	8	8	7	4
乾重平均數 (g stem ⁻¹)	5.1	1.9	16.7	16.9	51.4	50.0
溼重含水量平均數	0.65	0.92	0.86	0.93	0.81	0.69
乾重有機質比例平均數	0.97	0.88	0.89	0.78	0.68	0.94
碳吸存量平均數 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	0.8	0.8	7.4	6.8	19.1	22.7
葉面積指數	0.8	0.5	1.3	0.1	2.7	5.6
葉面積平均數 (cm ² stem ⁻¹)	122.34	22.94	636.77	43.95	1062.48	791.04
葉面積測量樣本數目 (株)	6	8	3	3	7	8

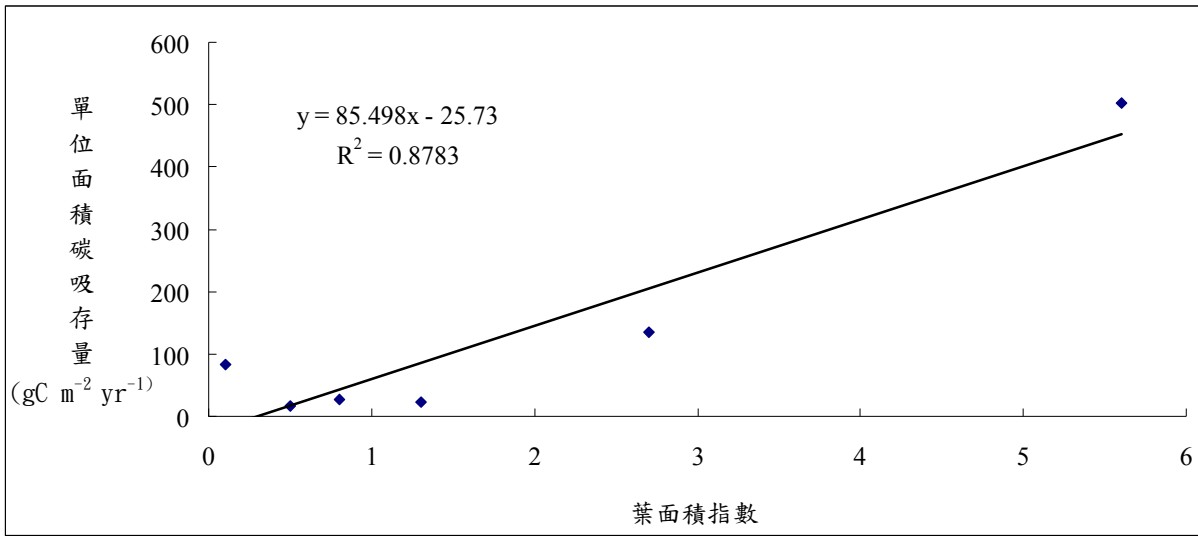


圖 I-4-1 植生葉面積指數與單位面積碳吸存量關係圖

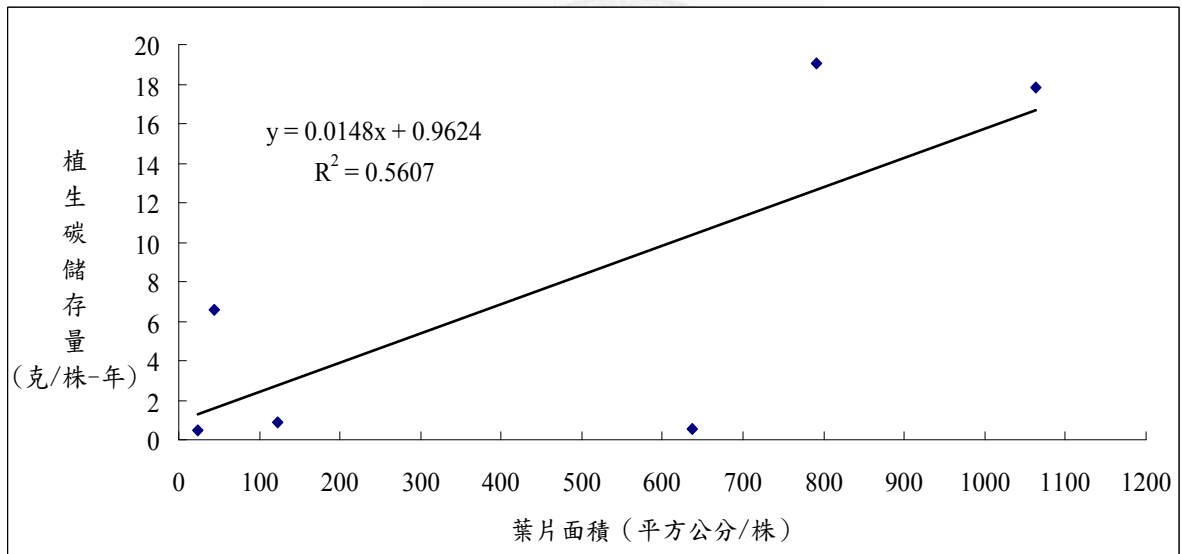


圖 I-4-2 植株葉片面積與單株碳吸存量關係圖

4.4 各區植生碳吸存量估計

應用分層隨機抽樣法估算各分區植生碳吸存量，以採樣中水生植物成株碳吸存量（如表 I-4-5）之平均數為單株植生碳吸存量之估計值，並假設各植生為一年生植物，計算結果如表 I-4-6 所示各分區碳吸存量分別為第一密植區 $453.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、開放水面區 $30.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、第二密植區

156.9 gC m⁻² yr⁻¹、生態池 102.5 gC m⁻² yr⁻¹，各樣點碳吸存量如表 I-4-7、I-4-8、I-4-9、I-4-10 所示。其中開放水面區因操作功能需要，新北市政府環保局定期移除水面水生植物，固其於抽樣調查時所呈現的碳吸存量較低，而第一密植區因種植大型水生植物其碳吸存量較高，生長蘆葦樣點之碳吸存量可達 1470.0 gC m⁻² yr⁻¹，為調查中碳吸存量最高之區域。以方程式 (3) 和 (7) 計算分層隨機抽樣下全區之碳吸存量，新海二期溼地有植生區域，植生碳吸存量的平均值為 211.0 gC m⁻² yr⁻¹，標準差為 34.3 gC m⁻² yr⁻¹。

表 I-4-5 新海二期溼地水生植物成株碳吸存量

樣本/植物名稱	巴拉草	水龍	水芋	空心菜	長苞香蒲	蘆葦
成株樣本 1	0.7	1.3	40.5	12.6	19.9	34.2
成株樣本 2	0.6	1.4	7.9	11.2	36.3	35.7
成株樣本 3	0.9	0.9	3.1	12.0	35.5	
成株樣本 4	1.2	0.8				
成株樣本 5	0.6					
成株樣本 6	1.3					
碳吸存量平均數 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	1.0	1.2	24.2	12.0	30.5	35.0

表 I-4-6 新海二期溼地各分區碳吸存量

分層名稱	分層抽樣	分層碳吸存量	分層碳吸存量	分層碳吸存量	各分層抽樣	各分層
(單位)	權重 W_i	平均數 \bar{X}_i	標準差 S_i	變異數 S_i^2	點個數 n_i	抽樣率 f_i
		(gC m ⁻² yr ⁻¹)	(gC m ⁻² yr ⁻¹)		(個)	
第一密植區	0.303	453.0	426.1	181561.2	19	0.00186
開放水面區	0.184	30.0	25.5	650.3	2	0.00032
第二密植區	0.291	156.9	127.7	16281.8	13	0.00133
生態池	0.223	102.5	184.6	34077.2	9	0.0012

表 I-4-7 新海二期溼地第一密植區碳吸存量調查

樣區名稱	植物名稱	植株數量 (stem m ⁻²)	單株植生碳吸存量 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	單位面積碳吸存量 (gC m ⁻² yr ⁻¹)
一-49 (6M)	空心菜	29	12.0	405.6
	台灣水龍	48	1.2	
一-49 (8M)	台灣水龍	23	1.2	27.6
一-49 (10M)	水芋	3	24.2	87.0
	空心菜	35	12.0	
一-49 (12M)	台灣水龍	13	1.2	226.1
	空心菜	33	1.2	
	長苞香蒲	13	12.0	
一-11 (6M)	蘆葦	1	30.5	
一-11 (8M)	蘆葦	42	35.0	1470.0
一-11 (10M)	蘆葦	25	35.0	875.0
一-11 (12M)	蘆葦	20	35.0	700.0
一-6 (6M)	蘆葦	29	35.0	1015.0
一-6 (8M)	蘆葦	12	35.0	487.0
	巴拉草	67	1.0	
一-6 (10M)	蘆葦	19	35.0	665.0
一-6 (12M)	蘆葦	17	35.0	595.0
一-30 (6M)	長苞香蒲	31	35.0	1085.0
一-30 (8M)	長苞香蒲	10	30.5	305.0
一-30 (10M)	長苞香蒲	6	30.5	183.0
一-51 (6M)	巴拉草	13	30.5	396.5
一-51 (8M)	巴拉草	16	1.0	16.0
一-51 (10M)	巴拉草	37	1.0	37.0
一-51 (12M)	巴拉草	27	1.0	27.0
	巴拉草	4	1.0	4.0

表 I-4-8 新海二期溼地開放水面區碳吸存量

樣區名稱	植物名稱	植物數量 (stem m ⁻²)	單株植生碳吸存 量 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	單位面積碳吸存量 (gC m ⁻² yr ⁻¹)
開-17(12M)	空心菜	1	12.0	12.0
開-26(12M)	空心菜	4	12.0	48.0

表 I-4-9 新海二期溼地第二密植區碳吸存量

樣區名稱	植物名稱	植物數量 (stem m ⁻²)	單株植生碳吸存 量 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	單位面積碳吸存量 (gC m ⁻² yr ⁻¹)
二-34 (8M)	長苞香蒲	7	30.5	220.7
	台灣水龍	6	1.2	
二-34 (10M)	長苞香蒲	3	30.5	174.3
	台灣水龍	29	1.2	
	空心菜	4	12.0	
二-34 (12M)	空心菜	3	12.0	190.9
	長苞香蒲	5	30.5	
	台灣水龍	2	1.2	
二-36 (8M)	長苞香蒲	3	30.5	91.5
二-36 (10M)	長苞香蒲	10	30.5	305.0
二-36 (12M)	長苞香蒲	13	30.5	396.5
二-63 (10M)	蘆葦	10	35.0	350.0
二-53 (10M)	空心菜	8	12.0	96.0
二-39 (6M)	巴拉草	43	1.0	43.0
二-39 (8M)	台灣水龍	30	1.2	41.0
	巴拉草	5	1.0	
二-39 (12M)	水龍	22	1.2	26.4

表 I-4-10 新海二期溼地生態池碳吸存量調查

樣區名稱	植物名稱	植物數量 (stem m ⁻²)	單株植生碳吸存 量 (gC stem ⁻¹ yr ⁻¹)	單位面積碳吸存量 (gC m ⁻² yr ⁻¹)
生-15 (6M)	長苞香蒲	5	30.5	152.5
生-15 (8M)	巴拉草	48	1.0	48.0
生-5 (10M)	台灣水龍	5	1.2	6.0
生-5 (12M)	台灣水龍	3	1.2	3.6
生-7 (6M)	台灣水龍	73	1.2	87.6
生-7 (8M)	台灣水龍	13	1.2	15.6
生-17 (12M)	蘆葦	16	35.0	577.0
	巴拉草	17	1.0	
生-35 (6M)	空心菜	2	12.0	24.0
生-35 (8M)	台灣水龍	7	1.2	8.4

4.5 植生影像辨識

4.5.1 植生影像辨識

由圖 I-4-3 新海二期溼地 2010 年 2 月衛星照片 (SPOT 衛星影像, 解析度 2m×2m) 運用 IMAGINE 遙測影像處理系統, 進行影像分類, 辨釋結果如圖 I-4-4 與表 I-4-11 所示。像素辨釋為植生者共有 8,637 個像素, 面積為 35,652 m², 佔新海二期溼地面積 62.3%; 辨識為水體者共有 1,459 個像素, 面積為 5,836 m², 佔新海二期溼地面積 10.5%; 辨識為裸地者共有 3,758 個像素, 面積為 15,032 m², 佔新海二期溼地面積 27.1%。

表 I-4-11 新海二期溼地影像辨識結果

土地分類	像素數目 (個)	面積 (m ²)	佔溼地面積之 百分比 (%)
植生	8,637	35,652	62.3
水體	1,459	5,836	10.5
裸地	3,758	15,032	27.1
總計	13,854	55,416	100

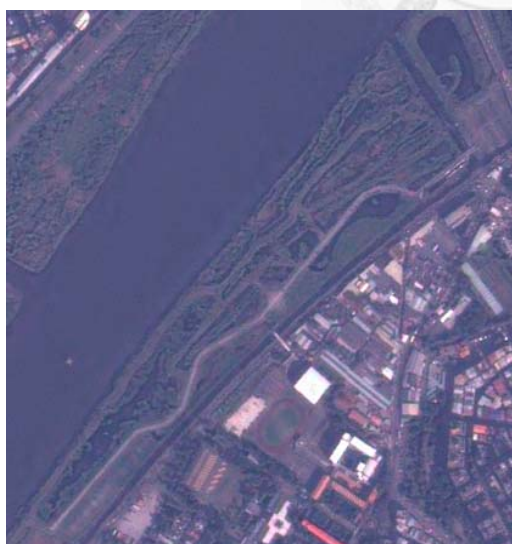


圖 I-4-3 新海二期人工溼地衛星照片
(圖片來源: 福爾摩沙 2 號衛星影像)

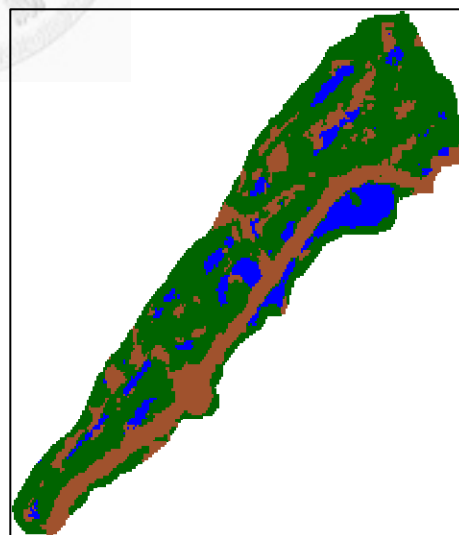


圖 I-4-4 新海二期溼地影像辨識
結果-綠色為植生分類、藍色為
水體分類、棕色為裸地分類

4.5.2 植生影像辨識正確率評估

由 IMAGINE 遙測影像處理系統內建之正確率評估功能 (accuracy assessment) 隨機於評估區域產生 60 個正確率評估點 (如圖 I-4-5 所示)，由評估者藉由目視現場照片對評估點分類正確性進行評估，如表 I-4-12 所示，新海二期溼地影像辨識整體正確率達 86.7%，植生分類生產者正確率 (PA) 為 89.7%，使用者正確率 (UA) 為 83.9%；水體分類生產者正確率為 83.3%，使用者正確率為 90.9%；裸地分類生產者正確率為 84.2%，使用者正確率為 88.9%。

表 I-4-12 新海二期溼地影像辨識誤差矩陣

實際類別 \ 辨識分類	植生	水體	裸地	合計	使用者正確率 (UA)
植生	26	2	3	31	83.9%
水體	1	10	0	11	90.9%
裸地	2	0	16	18	88.9%
合計	29	12	19	60	
生產者正確率 (PA)	89.7%	83.3%	84.2%		
整體正確率 (OA)	86.7%				



圖 I-4-5 新海二期人工溼地
辨識正確率評估點分布圖

4.6 新海二期人工溼地碳吸存量之估算

以方程式 (3) 和 (7) 計算分層隨機抽樣下溼地全區之碳吸存量，新海二期溼地有植生區域，植生碳吸存量的平均值為 $211.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，標準差為 $34.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。影像辨識之結果新海二期溼地植生面積為 $35,652 \text{ m}^2$ 。將新海二期溼地植生碳吸存量平均值乘上影像辨識中新海二期溼地植生面積，可得到新海二期溼地碳吸存量為 7.5 ton yr^{-1} 。此結果尚不包含植生透過根系傳送至土壤的有機碳與植生落葉所蘊含的碳。並且也未考慮植生的溫室氣體通量，上述項目可成為後續研究之發展目標。



五、結論與建議

5.1 結論

1. 在分層隨機抽樣調查新海二期溼地水生植物分布發現，在 84 個調查的樣點中高出現頻率者為：台灣水龍（14 次）、巴拉草（11 次）、長苞香蒲（10 次）、薤菜（10 次）、蘆葦（10 次），判斷其為人工溼地次級演替下之優勢種
2. 由現地調查結果推估新海二期溼地五種優勢水生植物碳吸存量為：蘆葦 $501.7 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、長苞香蒲 $135.6 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、薤菜 $82.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、巴拉草 $33.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、臺灣水龍 $17.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，水生植物碳吸存量與植株葉面積指數和葉片面積呈顯著的正相關，在溼地植栽設計時可使用高葉面積指數之植物以增加溼地碳吸存量
3. 分層隨機抽樣之調查結果：新海二期各分區水生植物的碳吸存量分別為；第一密植區 $453.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、開放水面區 $30.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、第二密植區 $156.9 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、生態池 $102.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。調查中碳吸存量最高之區域為生長蘆葦之樣點，碳吸存量可達 $1470.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。而整個新海二期溼地水生植物碳吸存量為 $211.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，標準差為 $34.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$
4. 植生影像辨識的結果顯示新海二期溼地面積植生面積為 $35,652 \text{ m}^2$ ，佔新海二期溼地面積 62.3%，影像辨識整體正確率達 86.7%。
5. 結合影像辨識與現地調查結果可得到新海二期溼地水生植物碳吸存量為 7.5 ton yr^{-1}

5.2 建議

- 1.對於水生植物碳吸存量之變化可採長時間監測，以了解季節對水生植物碳吸存量之影響。
- 2.於現地調查中可增加調查水生植物的落葉量，和其生長土壤的有機質增加，使得水生植物的碳吸存功能能更完整地被估計。
- 3.可以不同月份衛星影像，監測新海二期溼地植生面積之變化，了解季節變化對植生面積之影響。
- 4.以水生植物成為碳吸存之材料，後續研究可探討其管理成本之差異。



六、參考文獻

1. 呂秀惠，2001。「頭前溪流域植生覆蓋變遷之研究」。碩士論文，交通大學土木工程研究所。
2. 台北縣政府環境保護局，2005，『台北縣淡水河系主要支流排水水質淨化計畫-新海橋自然淨化系統工程建置計畫（第二期）及新海橋人工溼地取水擴增計畫』。台北：台北縣政府環保局
3. 李琇玉，2006。「分層隨機抽樣下母體平均數推論之研究」。博士論文，交通大學經營管理研究所。
4. 姚銘輝、陳守泓、陳述。「台灣水稻田溫室氣體排放之估算研究」，『臺灣農業研究』。55卷，6期，280-293。
5. 陳江河，2010。「臺北縣現地處理水質淨化系統經營管理與功能效益分析計畫後續擴充」。台北縣政府環保局補助研究計畫。瑞昶科技股份有限公司。
6. 張文亮，2007。「建立河川水質淨化工法指導原則暨評鑑計畫」。行政院環保署補助研究計畫。EPA-96-U1GI-0II-101。臺灣大學生態工程研究中心。
7. Brix, H., B. K. Sorrell, B. Lorenzen. 2001, "Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases?," *Aquatic Botany*. 69, 313-324.
8. Bano, N., M. A. Moran, R.E. Hodson. 1997, "Bacterial utilization of dissolved humic substances from a freshwater swamp," *Aquatic Microbial Ecology* 12 : 233-238
9. Cochran, W. G., 1977 *Sampling Techniques*. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons.
10. Fagbenro, J. A. and B. Oyeleye, 1999. "Relationships between four methods

of organic carbon determination in leaves of nitrogen-fixing trees and lignite-based organic fertilizers,” *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(17) : 2345-2362

11. Gholz, H. L., 1982, “Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest,” *Ecology*. 63(2) : 469-481.
12. Richards, J. A. and X. Jia, 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Berlin, Springer-Verlag.
13. Rothman, E. and V. Bouchard, “Regulation of carbon processes by macrophyte species in a Great Lakes coastal wetland,” *Wetlands*. 27(4) 1134-1143
14. Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., and Hedmark, Å., 2010 “Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review,” *Wetlands*. 30:111-124.
15. Kadlec R.H., and R. L. Knight, 1996. *Treatment wetlands*. Boca Raton, FL: Lewis.
16. Machate T, H. Noll, H. Behrens and A. Kettrup, 1997. “Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland,” *Water Research*. 31:554–560.
17. Lillesand T. M. and Kiefer R. W. 2000, *Remote Sensing and Image Interpretation. 4th edition*, New York: John Wiley and Sons, 2000
18. Mander, Ü, K. Lõhmus, S. Teiter, T. Mäuring, K. Nurk and J. Augustin, 2008. “Gaseous fluxes in the nitrogen and carbon budgets of subsurface flow constructed wetlands,” *Science of the Total Environment* 404:343-353.
19. Miller. R. L. and R. Fujii, 2010. “ Plant community, primary productivity, and environmental conditions following wetland re-establishment in the Sacramento-San Joaquin Delta, California,” *Wetlands Ecology and Management*, 18:1–16.

20. Whalen S.C. 2005. “ Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere,” *Environmental Engineering Science*, 22:73-94.
21. Zweifel, U. L. 1999. “Factors controlling accumulation of labile dissolved organic carbon in the Gulf of Riga. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48:357–370



符號說明表

代號名稱	說明	單位
A_{leaf}	量測之葉片面積	$m^2 \text{ leaf}^{-1}$
B	衛星照片中像素的藍光波段反射值	
C_{sto}	單株植生碳吸存量	$gC \text{ stem}^{-1} \text{ yr}^{-1}$
C_{pro}	植體有機質中碳含量之比例	
$Cov(\bar{X}_i, \bar{X}_j)$	分層隨機抽樣中第 i 分層樣本平均數 \bar{X}_i 與第 j 分層樣本平均數 \bar{X}_j 之共變異數	
f_i	分層隨機抽樣第 i 層抽樣率	
G	衛星照片中像素的綠光波段反射值	
IR	衛星照片中為像素近紅外光波段反射值	
LAI	植生葉面積指數(leaf area index)，指單位面積土地上所生長的植生葉片面積	
n_i	分層隨機抽樣第 i 層抽樣點個數	
\bar{m}_k	第 k 類訓練樣區各波段光譜反射值平均數所構成的向量 (mean vector)	
N	分層隨機抽樣中母體之面積	m^2
N_i	分層隨機抽樣中第 i 層次母體之面積	m^2
S_i^2	分層隨機抽樣第 i 層樣本之變異數	$gC \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$
PA	影像辨識分類中生產者正確率 (producer's accuracy) 指將地表實際類別正確分類之比例	
R	衛星照片中像素的紅光波段反射值	
$V(\bar{X}_{st})$	分層隨機抽樣樣本平均數之變異數	$gC \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$
OA	整體正確率 (overall accuracy) 指的是正確率評估的評估中，評估為正確分類之評估點佔全部評估點的比例	
OM	植體乾重中有機植之比例	

代號名稱	說明	單位
s	單位面積植株數量	stem m ⁻²
S	影像辨識中影像分類之類別數	
UA	影像辨識分類中使用者正確率 (user's accuracy,) 指的是使用者在檢視分類結果時, 該結果符合地表真實況之比例	
W_{ash}	植體經過高溫爐灰化後之灰分重	g
W_i	分層隨機抽樣中第 i 層在抽樣中之權重	
W_{dry}	植體乾重	g
\bar{X}_{st}	分層隨機抽樣之樣本平均數	gC m ⁻² yr ⁻¹
\bar{X}_i	分層隨機抽樣第 i 層樣本平均數	gC m ⁻² yr ⁻¹
z_i	衛星照片中第 i 個像素	
\bar{z}_i	衛星照片中第 i 個像素各光譜波段反射值所構成之空間向量	
\sum_k	第 k 類訓練樣區光譜之共變異數矩陣 (covariance matrix)	
ω_k	影像辨識分類中第 k 個類別	

第二章 新海人工溼地水生植物碳吸存效益 與環境解說效益之評估

BENEFIT EVALUATION OF ENVIRONMENTAL INTERPRETATION AND AQUATIC PLANTS CARBON IN SHINHAI ARTIFICIAL WETLANDS

摘 要

本研究以新海二期人工溼地為研究場址，探討人工溼地的生態效益。本研究透過市價法與旅行成本法評估人工溼地碳吸存效益、遊憩效益與環境解說效益，並探討環境解說對於遊憩需求的影響。

研究結果發現，人工溼地水生植物碳吸存效益為 8,929 元/年。對現地參訪遊客進行問卷調查，在假設時間成本為工資率的 1/5~1/2 下，新海二期人工溼地的遊憩效益為每位遊客 741.9 元/兩年~687.0 元/兩年。而在經過環境解說後，以旅行成本法評估新海二期人工溼地遊憩效益為每位遊客 1890.3 元/年~2471.8 元/年。人工溼地環境解說可增加遊客的重遊意願。

關鍵詞：生態效益，人工溼地，遊憩效益，環境解說，旅行成本法

Abstract

The objective of this research is to estimate ecological benefit in Sinhai second phase artificial wetland in New Taipei City. We use substitute market method to estimate benefit of aquatic plant carbon fixation. We also use travel cost method to estimate recreation economic value. Also, We analyze the influence of environment interpretation to recreation demand.

We found that the benefit of aquatic plant carbon fixation is 8,928 NTD/ yr. According to results of questionnaire survey, we found that environmental interpretation can increase the visitor's revisit intention. There fore, by using wage rate $1/2 - 1/5$ to estimate time cost, we can obtained the recreation benefit is per visitor 687.0 - 741.9 NTD/2 yr before environmental interpretation, and per visitor 1890.3 – 2471.8 NTD/yr after environmental interpretation.

Key words: ecological benefit, artificial wetland, recreation benefit, environment interpretation, travel cost method

一、緒論

1.1 前言

經營良好的人工溼地所提供的生態系統服務近似於自然生態系統所提供的服務 (Yang *et al.*, 2008)。人工溼地所提供的生態系統服務功能有污水處理、生態棲地、環境教育...等 (Machate *et al.* 1997)，而人工溼地營造與維護過程中能否發揮上述功能是政府和學界所關注的議題，人工溼地生態系統服務具有多少的經濟價值亦是政府是否投入經費進行建造的重要參考。

大漢溪沿岸近年來亦興建八個人工溼地，2010 年也舉辦溼地低碳旅遊環境解說活動，使得人工溼地的生態系統服務中環境教育功能得以發揮。本研究以大漢溪沿岸溼地為場址，評估人工溼地提供的植生碳儲存、與環境教育經濟價值。可成為日後評估是否建造人工溼地時成本效益分析之依據。

1.2 文獻回顧

1.2.1 人工溼地生態系統服務經濟價值

環境經濟學中將生態系統提供的服務價值分為:使用價值(Use Value)與非使用價值(Non-Use Value)，使用價值指的是使用該財貨所產生的價值，非使用價值乃是未使用該財貨下，仍對人類（消費者）具有價值。

一般將使用價值分為直接使用價值（Direct Use Value）、間接使用價值(Indirect Use Value)和選擇價值（Option Value）、直接使用價值是指人類實際使用該生態資源所產生之價值，例如至溼地旅遊，或者食用溼地所長出的植物，利用溼地出流水進行灌溉。間接使用價值是指生態系統所提供的服務，在人類未選擇使用該生態資源下仍然受益，如溼地所產生的氣候調節、地下水補注...等。選擇價值指的是在不確定未來是否使用該資源下，現階段願意支付的代價以確保日後可以運用該資源。選擇價值在溼地中的應用：如現階段保育該溼地日後可進行環境教育、科學研究、或作為景觀欣賞...等(Arrow and Fisher, 1974)。非使用價值包含了遺贈價值（Bequest Value）和存在價值（Existence Value）。遺贈價值指的是指環境資源可留給後代世人所使用，存在價值指的是在不使用該資源的情況下，人們仍願意保留該資源，其動機可能出於利他、道德感或對資源本身的關心。（蕭等，2002、吳等，2003）

1.2.2 旅行成本法

旅行成本法（Travel Cost Method）的理論是將消費者至遊憩點的距離與與旅行過程之花費，轉換為旅行所需的價格，而由估算出的旅行價格求得遊憩地點存在的經濟效益。其構想最早由 Hotelling 在 1947 年提出，Hotelling 在評估國家公園經濟價值時，認為可以用不同旅行距離下

的旅行頻率進行估計 (Ward and Beal,2000) 。而 Trice and Wood (1958) 將此概念應用在遊憩效益之評估，此後在環境效益評估上為一普及且廣為使用之方法。(Freeman , 2003)

1.2.3 環境解說

過去的文獻中對於解說 (Interpretation) 一詞的定義有些許的差異，但大致可分為「傳遞訊息的過程」、「教育性活動」及「介於遊客與環境資源之間的溝通工具」(簡, 2005)。學者認為解說的目的為知識的增加(Knowledge Gain and Awareness Increase)、態度改變、及行為的修正(Behaviour Modification)三方面，並以此三項目作為評估 Datmoor 國家公園環境解說之效益 (Tubb, 2003)。在解說的分類上，學者將人員解說和非人員解說員分為參與式解說 (Personal or Attended Service) 和非參與式解說 (Nonpersonal or Unattended Service)，實證研究上發現，參與式解說對遊客能提高遊憩滿意度及重遊意願 (林等, 2008)。過去研究中評估環境解說對參與者的影響，發現環境解說可增加遊客對環境的知識 (Orams, 1997)，環境解說能幫助遊客產生保育的行動 (林等, 2001)。因此，本研究評估環境解說對參與人工溼地低碳旅遊遊客之影響亦以：解說滿意度評估、環境認知改變、環境態度改變、環境行為改變作為評估環境解說效益的面項。

1.3 研究目的

本研究主要目的為評估人工溼地生態系統服務的經濟價值，在此前提下本文的目標為：溼地植生碳儲存量之經濟效益，且評估人工溼地遊憩與環境解說經濟效益，並探討環境解說活動對於遊客遊憩需求之影響。

二、理論分析

2.1 碳吸存效益

碳吸存效益之計算，以溼地吸收之二氧化碳量乘上交易市場之單價進行估計，如方程式（2）所表示

$$CB = S \cdot G \quad (2)$$

其中 CB 為碳減量效益（元/年）、S 為碳吸存量（噸/年）、G 為碳封存之市價（元/噸）

2.2 旅行成本

旅行之成本可由消費者在旅行過程的支出進行衡量，其內容包括：旅行過程的交通費用、遊憩地點的門票費用、旅行的時間成本（Time Cost）（Parsons, 2003）本研究在估計新海二期人工溼地的旅行成本時因該地點並未收取門票，故謹估算旅行的交通成本和旅行的時間成本。在旅行的時間成本估算上，可將其分為前往旅行地的交通時間成本與在旅行地停留的時間成本，有學者認為旅行地點的停留時間為消費者自行決定，不宜與前往旅行地的時間一同計算時間成本，亦有學者認為若在需求函數之應變數使用旅行次數時，則旅行成本的衡量中不需加入在旅行地點停留的時間（Smith *et al* 1983）。因此，本研究在時間成本的計算上，謹以的交通時間成本列入估計，如方程式（3）所表示：

$$TC = (TRC + TIC \cdot t) \quad (3)$$

其中 TC 為遊客的旅行成本（元/次），TRC 為遊客的旅行交通成本（元/次），TIC 為遊客的時間成本（元/小時），t 為遊客的旅行交通時間（小時/次），經濟學家以人們旅行時減少交通時間的花費估計旅行的時間成本，學者整理實證研究的結果後，認為可由工資率的 1/2~1/4 來估計旅行的時間機會成本（Cesario, 1976）。實證研究中亦有嘗試以 1/2、1/3、1/4、

1/5 的工資估算消費者的時間成本(吳等, 2009)。本研究亦嘗試以不同比例的工資率估計消費者的旅行交通時間成本。

2.3 旅行需求函數

實證研究在估算旅行需求函數時，其應變數有以旅行次數 (Trips) 衡量，或以旅行天數(User-day)或停留時數 (User-hours) 進行衡量，在旅行距離較遠時，消費者會減少旅行次數，增加旅行的天數，因此旅行次數與旅行成本相關性較高，在計算消費者剩餘時以旅行次數為應變數，較符合消費者行為中效用極大化之理論 (Maximum Utility) (McConell, 1975)。亦有研究以條件行為法(Contingent Behavior)探討旅行成本在不同的上升比例下，對消費者遊憩次數的影響(Englin and Cameron, 1996)。本研究亦以旅行次數作為旅行需求函數之應變數，係為避免應變數次數同質性過高，及避免受訪者回想時間過長造成調查的偏誤，故本研究詢問受訪者「過去兩年的拜訪次數」(徐, 2008)與「未來一年預計拜訪次數」作為旅行需求函數之應變數。而旅行需求之自變數估計，本研究參考過去實證研究之應變數選擇與檢定各模型之配度後，以 (4) 所示：

$$r=f(\text{TC}, \text{INC}, \text{EDU}, \text{MAR}, \text{AGE}, \text{SEX}, \text{SAT})+\varepsilon \quad (4)$$

其中 r 為遊客單位時間的旅行次數(次/年)， INC 為遊客之收入(元/月)， EDU 為遊客受學校教育時間(年)， MAR 為遊客婚姻狀態，為一虛擬變數 (Dummy Variable)，已婚者為 1、未婚者為 0， AGE 為消費者之年齡(歲)， SEX 為消費者之性別，為虛擬變數，男性為 1、女性為 0， SAT 為消費者參與環境解說之滿意度， ε 為隨機誤差。

2.4 旅行需求曲線計量模型

本研究對於新海二期人工溼地造訪者進行現地問卷調查，現地調查樣本之旅客其旅遊次數至少為一次，故樣本資料具有截斷（Truncation）之特色，而問卷中旅遊次數之定義為「過去兩年內至溼地旅遊之次數」，因此樣本資料以截斷式波阿松（Zero Truncated Poisson）模型進行模擬偏誤較低（Creel and Loomis, 1990），並且波阿松模型可修正較現地抽樣中較高拜訪次數之遊憩者被調查之機率較高之問題（Shaw,1988）實證研究上也有諸多研究應用截斷式波阿松模型對環境資源進行遊憩效益評估（Englin and Shonkwiler,1995; 鄭等，2000），波阿松模型如方程式（5）所示：

$$\Pr(Y_i=r_i)=\frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^{r_i}}{r_i!} \quad (5)$$

其中 Y_i 為波阿松隨機變數（Poisson Random Variable）， r_i 為第 i 位消費者單位時間的旅行次數， λ_i 為波阿松隨機變數之平均數與變異數，諸多研究中亦假設 λ_i 與解釋變數之間的關係如方程式（6）所敘述之半對數（Semi-Log）關係（Hellerstein, 1991）：

$$\lambda_i=\exp(\beta_{TC}TC_i+\sum_{j=1}^p\beta_jX_{ij}) \quad (6)$$

其中， TC_i 為第 i 位遊客之旅行成本， X_{ij} 為第 i 位遊客第 j 個影響旅行行為的解釋變數， β_{TC} 、 β_j 為估計係數。以最大概似法（Maximum Likelihood Estimation Method）估算遊客之旅行需求函數，其概似函數（Likelihood Function）如方程式（7）、（8）所示：

$$L=\prod_{i=1}^n\frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^{r_i}}{r_i!} \quad (7)$$

$$L = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \beta_{TC} r_i + \sum_{j=1}^p \beta_j \sum_{i=1}^n X_{ij} r_i\right) \left(\prod_{i=1}^n r_i!\right)^{-1} \quad (8)$$

將方程式 (8) 兩端取自然對數，可得到方程式 (9)：

$$\ln L = \left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \beta_{TC} r_i + \sum_{j=1}^p \beta_j \sum_{i=1}^n X_{ij} r_i - \sum_{i=1}^n r_i!\right) \quad (9)$$

而應實證資料中，現地調查之旅行次數至少為 1，資料有截斷之性質，故將 (9) 修正為 (10)：

$$\Pr(Y_i=j | y_i>0) = \frac{\frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^j}{j!}}{\Pr(y_i > 0)} = \frac{\frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^j}{j!}}{1 - \Pr(y_i \leq 0)} \quad (10)$$

而式 (10) 的概似函數為式 (11)：

$$\ln L = \left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \beta_{TC} r_i + \sum_{j=1}^p \beta_j \sum_{i=1}^n X_{ij} r_i - \sum_{i=1}^n r_i! - n \ln([1 - \Pr(y_i \leq 0)])\right) \quad (11)$$

將方程式 (11) 取一階導數後，應用統計軟體 LIMDEP 8.0 以 Newton-Raphson 法求得估計係數 β_{TC} 、 β_j 之數值解。

2.5 遊憩效益評估指標

經濟學上衡量消費者福利的指標有消費者剩餘 (Consumer Surplus, CS)、補償變量 (Compensating Variation, CV) 與對等變量 (Equivalent Variation, EV)。消費者剩餘的概念是 Dupuit 在 1844 年所提出，Dupit 認為消費者購買財貨之最高願付價格與實際支付價格之間有一段差距，Msrsall 在 1890 年時將此差距稱為消費者剩餘 (CS)。而效用理論中認為消費者會透過消費不同的財貨組合達到效用極大化 (Maximum

Utility)，Marshall 認為消費者對財貨數量的需求是所得(Income)與財貨價格的函數，因此發展出 Marshallian 需求曲線 (Marshallian Demand Curve)，在 Marshallian 需求曲線中，消費者購買財貨的邊際效用 (Marginal Utility) 遞減，因此消費者在財貨購買量增加時，其願付價格亦會下降，需求函數為負斜率 (Deaton and Muellbauer, 1980)。如圖 II-2-1 所示：消費者剩餘的估算可由 Marshallian 需求曲線中，需求曲線和消費者付出成本 (TC_i) 以上的區域求得，可由方程式 (12) 進行估算：

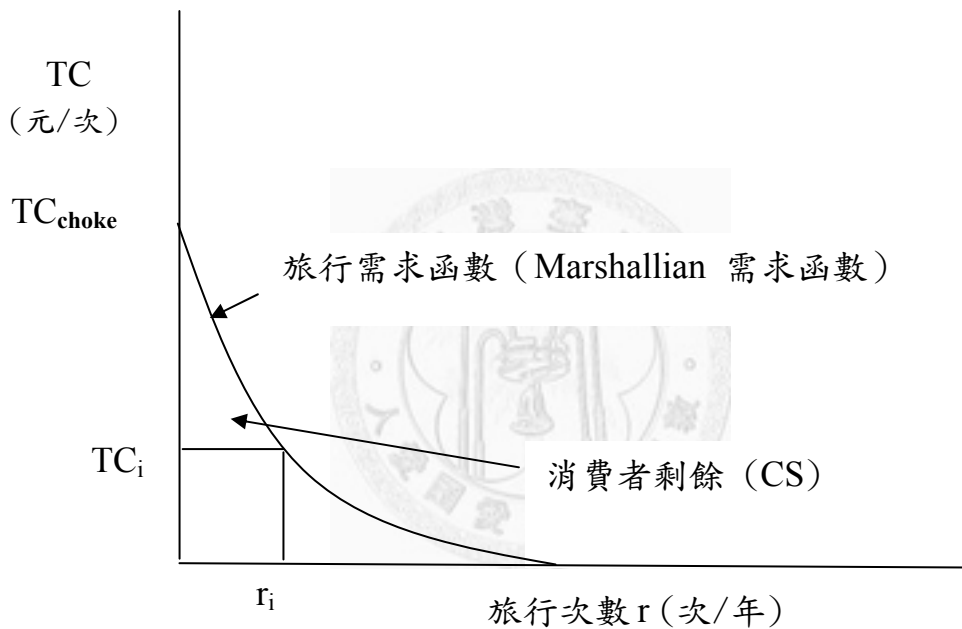


圖 II-2-1 單一旅行地點消費者剩餘示意圖

$$\begin{aligned}
 CS &= \int_{TC_i}^{TC_{choke}} \lambda_i dTC \\
 &= \int_{TC_i}^{TC_{choke}} \exp(\beta_{TC} TC_i + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij}) dTC \\
 &= \frac{\exp(\beta_{TC} TC_i + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}} \Big|_{TC_i}^{TC_{choke}} \\
 &= \frac{\exp(\beta_{TC} TC_{choke} + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}} - \frac{\exp(\beta_{TC} TC_i + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}}
 \end{aligned} \tag{12}$$

其中，CS 為消費者剩餘、 λ_i 為波阿松模型之平均數 ($E(Y) = \lambda_i$)
 TC_{choke} 為零消費價格 (Choke Price)，因遊憩點現地抽樣調查 (On-Site Sampling) 中，受調查者旅行次數至少為一次，故調查中無法得知零消費價格，因此採用現地抽樣調查的研究中將零消費價格假設其趨近於無窮大，且 Marshallian 需求曲線中消費者支付成本項的係數 (β_{TC}) 為負，故方程式 (12)，可簡化為方程式 (13) (Haab and McConnell, 2002) 即：

$$\frac{\exp(\beta_{TC} TC_{choke} + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}} - \frac{\exp(\beta_{TC} TC_i + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}} = 0 - \frac{\exp(\beta_{TC} TC_i + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})}{\beta_{TC}} = -\frac{\lambda_i}{\beta_{TC}} \quad (13)$$

因 Marshallian 需求曲線在實證研究上可由消費者在不同價格下的財貨購買數量進行估計，故消費者剩餘廣被應用在諸多環境經濟學實證研究中，作為遊憩效益估算之指標，本研究亦使用消費者剩餘作為遊憩效益評估之指標。

第三章、研究場址與調查方法

3.1 新海二期溼地簡介

由新海二期溼地近年來生態調查資料可發現：96 年度調查場址植物共 64 屬 68 種、鳥類 25 科 44 種；97 年度調查場址植物共 49 屬 57 種、鳥類 17 科 31 種。在密植區可見鶯亞科鳥類及青紋細蟪，亦有紅冠水雞出沒之記錄，而開放水域區有鶯亞科的灰頭鷓鴣、褐頭鷓鴣、黃頭扇尾鷓鴣出沒之記錄，開放水域區亦有屬於冬候鳥的紅隼及薄翅蜻蜓。98 年有觀查到第二級保育種彩鵲之紀錄，顯示新海二期溼地提供良好環境供生物棲息。新海二期溼地為一污水處理型人工溼地，由新北市政府 99 年 1 月至 99 年 11 月流量資料與水質監測記錄，可知新海二期溼地 99 年每月移除 BOD 之平均值為 3.445 公噸，年水質淨化效益為 421.7 萬元。（陳, 2010）

3.2 問卷資料蒐集

本研究對參與「新北市大漢溪溼地低碳旅遊」-新海二三期溼地旅遊解說的遊客，由新北市政府環境保護局協助進行抽樣問卷調查，調查時間自 2010 年 11 月 26 日起至 2010 年 12 月 31 日止，共回收八場次問卷 247 份，可以工資率估算時間成本之有效問卷為 182 份。問卷如附錄 C 所示，本研究中使用遊客於問卷第一部分第二題的填答結果計算遊客過去兩年至溼地的旅遊次數，使用問卷第一部分第五題的填答結果估計遊客未來一年造訪溼地的次數（若為區間，則用中位數），使用問卷第一部分第七題填答的結果估計遊客的交通時間，使用問卷第一部份第 8 題遊客勾選的區間中位數估計遊客的交通成本，而遊客的性別、年齡、工資率、婚姻狀況與受教育時間則可分別由問卷第四部分第一題、第二題、第四題、第五題、第六題得知。若於第四部分填答為區間者，則以中位數估

計該遊客之實際狀況，其中年齡者填寫 9 歲以下者，以 7 歲計。填答 66 歲以上者，以 70 歲計。月收入部分填答五千元以下者，以 2500 元計，填答十萬元以上者，以十萬萬元計。遊客工資率之計算參考吳珮瑛等（2009），將月收入除以 240 小時進行估計，如此估計的原因為以月薪估算工資率是以較低的薪水除以工作的時數。

3.3 環境解說滿意度評估

本研究參考 Tubb (2003)與簡婉莉 (2007) 對於環境解說目標的定義，將解說滿意度評估、環境認知改變、環境態度改變、環境行為改變作為評估環境解說效益的項目。問卷題目如表 II-3-1 所示，問卷的設計以李克特(Likert Scale)五尺度進行衡量，衡量方式為「非常不同意」為 1、「不同意」為 2、「普通」為 3、「同意」為 4、「非常同意」為 5，將表 3-1 中所有題目回答之值加總為一滿意度評估指數，代號為 SAT

表 II-3-1、本研究環境解說滿意度評估項目與問卷題目簡表

評估項目	問卷題目
解說滿意度評估	解說內容難易適中
	解說主題數量適中
	解說內容有趣生動
	解說時間掌握得宜
	整體而言，您對本次活動解說者感到滿意
環境認知改變	增加對當地自然生態資源的了解
	增加對人工溼地工程的了解
	更了解保護環境的方法
環境態度改變	引發對環境知識與議題的興趣
	更認為保護環境是一件重要的事
環境行為改變	更想來溼地旅遊
	更願意付出行動保護環境
	增加付費保護環境的意願
	願意支付更多費用保護環境

第四章、結果與討論

4.1 碳吸存效益

本研究以京都議定書清潔發展機制(Clean Development Mechanism)下的排放權交易價格作為溼地植物碳儲存之效益計算，因碳吸存市價常有變動，選定 2010/12/21 日之市場交易價格換算台幣為 453.5 元/噸，研究結果得知新海二期溼地水生植物二氧化碳吸存量為 19.69 噸/年，計算新海二期溼地二氧化碳吸存量效益為 8,929 元/年，另比較規模接近之污水處理廠，如表 II-4-1 所示，新海二期人工溼地用電換算二氧化碳排放為 101.4 公噸，相較於規模接近之污水處理廠有較低之污染排放。

表 II-4-1 人工溼地與污水處理廠耗電比較

	處理水量 (cmd)	年電費 (元)	年用電度數 (度)	年用電所 排放之 CO2 (噸)
新海二期人工溼地	2,491	373,530	158,948	101.4
台中港關連工業區 污水處理廠	2,907	1668,000	709,787	452.8

*台灣地區 97 年計算電力溫室氣體排放係數:638g-CO2/kWh

資料來源：(張，2007; 陳，2010)

4.2 遊憩效益評估

截斷式波阿松模型迴歸的結果，如表 II-4-2，以過去兩年旅遊次數（包含受訪當次）為應變數，在考量時間成本的情況下，模型配適度卡方檢定皆達極顯著水準（ $p < 0.001$ ）旅行成本項（TC）的係數為負，旅行成本對於旅行次數的影響為極顯著（ $p < 0.001$ ），絕大部分的實證研究都證實旅行成本對於旅行次數有顯著的影響（Creel and Loomis, 1990; Grogger and Carson, 1991; Shrestha *et al.* 2002），係數為負也與經濟理論中消費者需求隨價格遞減相符合。而性別項（SEX）也對旅行次數有顯著的影響（ $p < 0.001$ ），其係數為負表示過去兩年的旅行次數以女性較高。而年齡項（AGE）的係數為負，其影響為極顯著（ $p < 0.001$ ），表示年齡較低的消費者於較常前來溼地旅遊。收入項（INCOME）的係數大多為正，與大部分的遊憩實證研究結果相同，婚姻項（MAR）的係數為正，影響為顯著（ $p < 0.1$ ），顯示已婚者於過去較常前來溼地旅遊，惟受訪者有 73% 為已婚者，可能對迴歸結果產生影響。教育項的係數為負，但影響不顯著，推測原因為年長者與年幼者受教育年齡皆較短。而以包含當次受訪時的旅行次數下，過去兩年的平均旅遊次數為 2.7 次，中位數為 2 次，透過方程式（13），以過去兩年平均旅遊次數估算消費者剩餘，時間成本的設定分別為 0、工資率的 1/5、工資率的 1/4、工資率的 1/3、工資率的 1/2 估算的結果為：816.7 元/兩年、741.9 元/兩年、728.7 元/兩年、710.3 元/兩年、687.0 元/兩年。消費者剩餘估算的結果顯示，若低估消費者的時間成本，則會使消費者剩餘有高估之情形。

表 II-4-2 旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (n=182)
(應變數為遊客過去兩年拜訪次數)

自變數	不考慮 時間成本	自變數 邊際影響	時間成本 為工資率 1/5	自變數 邊際影響	時間成本 為工資率 1/4	自變數 邊際影響	時間成本 為工資率 1/3	自變數 邊際影響	時間成本 為工資率 1/2	自變數 邊際影響
TC	-0.003306***	-0.007065***	-0.003639***	-0.007764*	-0.003705***	-0.007903*	-0.003801***	-0.008100*	-0.003930***	-0.008366*
SEX	-0.000889***	-0.001906***	-0.000938***	-0.002001*	-0.000950***	-0.002027*	-0.000971***	-0.002070*	-0.001011***	-0.002152**
AGE	-0.016000***	-0.034196***	-0.015958***	-0.034047	-0.015967***	-0.034051*	-0.015996***	-0.034088**	-0.016094	-0.034256**
INC	-0.000016	-0.000035	0.000004	0.000009	0.000009	0.000021	0.000019	0.000041	0.000038	0.000081
MAR	0.001209*	0.002585*	0.001197	0.002556	0.001194*	0.002547	0.000580*	0.002531	0.001173*	0.002497
EDU	-0.000432	-0.000923	-0.000457	-0.000975	-0.000463	-0.000984	-0.000472	-0.001006	-0.000486	-0.001036
SAT	0.031969***	0.068324***	0.032393***	0.069111**	0.032484***	0.069274**	0.032618***	0.069512**	0.032827***	0.069873**
λ_i (次/兩年)	2.7		2.7		2.7		2.7		2.7	
CS(元/兩年)	816.7		741.9		782.7		710.3		687.0	

檢定方式為：t-test

*表示 $p < 0.05$

**表示 $p < 0.01$

***表示 $p < 0.001$

以「未來一年願意拜訪次數」為應變數之截斷式波阿松模型迴歸結果：如表 II-4-3，模型配適度卡方檢定皆達極顯著水準 ($p < 0.001$)，旅行成本項 (TC) 的係數為負，且影響極顯著 ($p < 0.001$)。性別項 (SEX) 的係數為正，但影響不顯著，可能原因為男性在參與環境解說後因對溼地的認識增加，旅遊意願提高。年齡項 (AGE) 的係數為負且影響極顯著 ($p < 0.001$)，判斷可能原因為年輕者在環境解說後有較高的旅行意願，且其旅行次數增加量也較大。收入項 (INC) 的係數為正且影響顯著 ($p < 0.01$)，顯示高收入者其遊憩意願較高。婚姻項 (MAR) 的係數為正且影響顯著 ($p < 0.05$)，顯示結婚者有較高的遊憩意願。受教育時間項 (EDU) 係數為負但影響不顯著，環境解說滿意度項 (SAT) 係數為正，且影響極顯著 ($p < 0.001$) 表示環境解說高滿意度者，確實在未來一年願意拜訪的次數中表達其遊憩意願的增加，亦顯示了環境解說確實幫助遊客了解環境生態，提高其旅遊意願。而以包含當次受訪時的旅行次數下，未來一年願意拜訪的次數平均值為 7.2 次，中位數為 3 次，透過方程式 (13)，以未來一年願意拜訪次數估算消費者剩餘，時間成本的設定分別為 0、工資率的 1/5、工資率的 1/4、工資率的 1/3、工資率的 1/2 估算的結果為：1890.3 元/年、1778.9 元/年、1759.8 元/年、1740.0 元/年、2471.8 元/年。

表 II-4-3 旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (n=182)
(應變數為遊客未來一年拜訪次數)

自變數	不考慮	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數
	時間成本	邊際影響	為工資率 1/5	邊際影響	為工資率 1/4	邊際影響	為工資率 1/3	邊際影響	為工資率 1/2	邊際影響
TC	-0.003825***	-0.027942***	-0.004074***	-0.029723***	-0.004114***	-0.030002***	-0.004161***	-0.030330***	-0.002929***	-0.030538***
SEX	0.000462	0.003372	0.000421	0.003070	0.000411	0.002998	0.000395	0.002883	0.000246	0.002677
AGE	-0.009610***	-0.070176**	-0.00933***	-0.068065**	-0.009280***	-0.067688**	-0.009215***	-0.067180**	-0.009505***	-0.066558**
INC	0.000004**	0.000279*	0.000006***	0.000447**	0.000006***	0.000490**	0.000007***	0.000562***	0.000007***	0.000699***
MAR	0.000817**	0.005965*	0.00078*	0.005690*	0.000770*	0.005617	0.000754**	0.005496*	0.000694**	0.005265**
EDU	-0.000230	-0.001683	-0.000235	-0.001714	-0.000235	-0.11715	-0.000235	-0.001710	-0.000145	-0.001687
SAT	0.044361***	0.324047***	0.044545***	0.324967***	0.044569***	0.325052***	0.004459***	0.325084***	0.043119***	0.324816***
λ_i (次/年)	7.2		7.2		7.2		7.2		7.2	
CS (元/年)	1890.3		1778.9		1759.8		1740.0		2471.8	

檢定方式為：t-test

*表示 $p < 0.05$

**表示 $p < 0.01$

***表示 $p < 0.001$

本研究以遊客環境解說前後消費者剩餘之變化評估環境解說之經濟效益，因本研究採用詢問遊客遊憩次數分別為「過去兩年拜訪次數」和「未來一年願意拜訪次數」，計算遊客過去兩年的消費者剩餘和未來一年的消費者剩餘。然而在評估消費者剩餘變化時，其時間單位必須相同，因此本研究假設遊客未來兩年的拜訪次數為問卷調查中「未來一年願意拜訪次數」乘上二，藉此估計消費者未來遊客未來兩年的消費者剩餘*，其估計結果，如表 II-4-4 所示，其中不同時間成本下模型配適度卡方檢定皆達極顯著水準($p < 0.0001$)。本研究以條件行為法 (contingent behavior) 評估在目前的環境品質與旅行成本下遊客的重遊意願，並假設遊客未來兩年願意拜訪次數為實際拜訪次數，參與環境解說活動後的旅客消費者剩餘變化如表 II-4-5 所示：為 3893.8 元/兩年 (時間成本設定為 0)、3663.1 元/兩年 (時間成本設定為工資率 1/5)、3625.7 元/兩年 (時間成本設定為工資率 1/4)、3581.8 元/兩年 (時間成本設定為工資率 1/3)、3607.8 元/兩年 (時間成本設定為工資率 1/2)。由上述結果可以發現環境解說明顯地提高遊客的消費者剩餘。

*註：本研究使用截斷式波阿松模型估計旅行需求曲線，其模型限制為應變數需為整數，故本研究亦曾嘗試將遊客「過去兩年拜訪次數」除以二後四捨五入取整數，藉此估計遊客過去一年的消費者剩餘，惟其估計結果模型配適度之卡方檢定之不顯著，故未採用其結果。

表 II-4-4 旅行需求函數中各自變數係數 (β) 分析結果 (n=182)
(應變數為遊客未來兩年拜訪次數)

自變數	不考慮	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數	時間成本	自變數
	時間成本	邊際影響	為工資率 1/5	邊際影響	為工資率 1/4	邊際影響	為工資率 1/3	邊際影響	為工資率 1/2	邊際影響
TC	-0.003057***	-0.045159***	-0.003269***	-0.048293***	-0.003307***	-0.0488459***	-0.003355***	-0.049565***	-0.002924***	-0.050307***
SEX	0.000339*	0.005016	0.000306	0.004520	0.000298	0.004405	0.000286	0.004222	0.000216	0.003891
AGE	-0.008769***	-0.129530***	-0.008492***	-0.125420***	-0.008436***	-0.124600***	-0.008356***	-0.123414***	-0.008462***	-0.121676***
INC	0.000036**	0.000543**	0.000055***	0.000819***	0.000060***	0.000891***	0.000068***	0.000101***	0.000078***	0.000125***
MAR	0.000758***	0.011206**	0.000729***	0.010761**	0.000720***	0.010639**	0.000706**	0.010431**	0.000675**	0.010013**
EDU	-0.000161	-0.002373	-0.000161	-0.002379	-0.000161	-0.002371	-0.000159	-0.002349	-0.000124	-0.002281
SAT	0.053753***	0.793956***	0.053925***	0.796481***	0.053951***	0.796862***	0.053979***	0.797292***	0.053413***	0.797483***
λ_i (次/兩年)	14.4		14.4		14.4		14.4		14.4	
CS (元/兩年)	4710.5		4405.0		4354.4		4292.1		4924.8	

檢定方式為：t-test

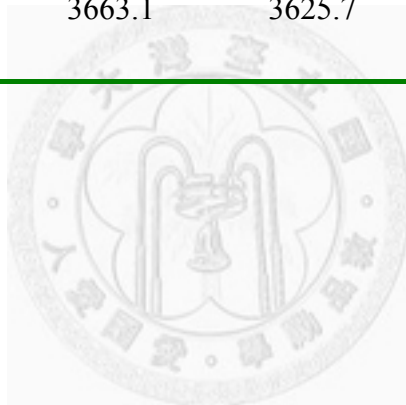
*表示 $p < 0.05$

**表示 $p < 0.01$

***表示 $p < 0.001$

表 II-4-5 解說活動前後遊客旅行次數與消費者剩餘變化

	不考慮 時間成本	時間成本 為工資率 1/5	時間成本 為工資率 1/4	時間成本 為工資率 1/3	時間成本 為工資率 1/2
遊客過去兩年願意 拜訪次數平均值	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
遊客未來兩年願意 拜訪次數平均值	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
遊客過去兩年消費者 剩餘 (元/兩年)	816.7	741.9	728.7	710.3	687.0
遊客未來兩年消費者 剩餘 (元/兩年)	4710.5	4405.0	4354.4	4292.1	4294.8
環境解說前後遊客 消費者剩餘變化 (元/兩年)	3893.8	3663.1	3625.7	3581.8	3607.8



五、結論與建議

5.1 結論

- 1.新海二期溼地水生植物二氧化碳吸存量為 19.69 噸/年，以碳交易市價計算新海二期溼地二氧化碳吸存量效益為 8,929 元/年，新海二期溼地亦比同規模污水處理廠有較低之能源使用與碳排放。
- 2.以截斷式波阿松模型估算人工溼地旅行需求函數，「過去兩年的平均旅遊次數」為：2.7 次/人，消費者剩餘在時間成本的設定分別 0、工資率的 1/5、工資率的 1/4、工資率的 1/3、工資率的 1/2 估算的結果為：816.7 元/兩年、741.9 元/兩年、728.7 元/兩年、710.3 元/兩年、687.0 元/兩年。消費者剩餘估算的結果顯示，若低估消費者的時間成本，則會使消費者剩餘有高估之情形。
- 3.以條件行為法評估環境解說後遊客對新海溼地「未來一年願意拜訪的次數」：平均值為 6.9 次/人，以消費者剩餘在時間成本的設定分別為 0、工資率的 1/5、工資率的 1/4、工資率的 1/3、工資率的 1/2 估算的結果為：1890.3 元/年、1778.9 元/年、1759.8 元/年、1740.0 元/年、2471.8 元/年。
4. 假設遊客填答「未來一年願意拜訪次數」為未來的實際拜訪次數，參與環境解說活動後的旅客消費者剩餘變化為：3893.8 元/兩年（時間成本設定為 0）、3663.1 元/兩年（時間成本設定為工資率 1/5）、3625.7 元/兩年（時間成本設定為工資率 1/4）、3581.8 元/兩年（時間成本設定為工資率 1/3）、3607.8 元/兩年（時間成本設定為工資率 1/2），可看見解說活動使遊客的遊憩意願上升，消費者剩餘亦明顯增加。

5.2 建議

- 1.在旅行成本法調查中，可加入其他替代地點，評估民眾到達不同地點的遊憩意願，可減少忽略替代地點所造成的估計偏誤
- 2.可針對前往新海溼地旅遊，但未參與環境解說的遊客進行旅行成本、遊憩滿意度與重遊意願調查，可更精確了解是否參加環境解說對消費者行為的影響。
- 3.在遊客問卷的設計中，可詢問遊客是否為專程前來溼地旅遊，可確保單一地點遊憩效益估計之正確性。
- 4.未來研究可探討消費者問卷填答未來願意拜訪次數與實際拜訪次數之差距，並探討具有環境解說服務時，溼地遊憩人數之變化。



第六章 參考文獻

1. 行政院主計處，2010。「綠色國民所得帳編製報告」。台北：行政院主計處。取自 <http://www.dgbas.gov.tw/public/data/dgbas03/bs7/greengnp/4-II-5.pdf>
2. 林英傑，2002。「關渡自然公園水稻田生態經營之環境與教育經濟效益分析」。碩士論文，臺灣大學生物環境系統工程學系研究所。
3. 林俊成、陳麗琴、薛怡珍、王培蓉，2008。「遊客對福山植物園解說需求與解說效果之研究」。『臺灣林業科學』，23 卷，S37-S50。
4. 林國詮、董世良、唐盛林、陳昭明，2001。「福山植物園解說效果之評估」。『中華林學季刊』，34 卷，3 期，323-330。
5. 徐崇堯，2008。「博物館遊憩效益與遊客評價之研究-以國立自然科學博物館為例」。碩士論文，中興大學應用經濟學系研究所。
6. 陳江河，2010。「臺北縣現地處理水質淨化系統經營管理與功能效益分析計畫後續擴充」。臺北縣政府環保局補助研究計畫。瑞昶科技股份有限公司。
7. 張文亮，2007。「建立河川水質淨化工法指導原則暨評鑑計畫」。行政院環保署補助研究計畫。EPA-96-U1GI-0II-101。臺灣大學生態工程研究中心。
8. 吳珮瑛、曾筱芬、傅祖壇，2009。「心臟血管疾病門診醫療需求及其預防效益之評估—納入異質性病患與就醫相關時間成本」，『應用經濟論叢』，85 期，155-193。
9. 吳珮瑛、蘇明達，2003。「生物多樣性資源價值之哲學觀與總價值內涵—抽象的規範或行動的基石」，『經社法治論叢』，31 期，209-242
10. 鄭蕙燕、張偉祐、林政德，2000。「四草野生動物保護區之遊憩效益與時間成本：截斷式波爾生模型之應用」。『農業經濟半年刊』。67 期，161-179。
11. 簡婉莉，2007。「解說人員特性差異對解說服務與解說效益影響之研究」。碩士論文，銘傳大學觀光研究所。
12. 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮瑛、錢玉蘭、溫麗琪，2002。『環境保護之成本效益分析：理論、方法與應用』，台北：俊傑書局。
13. Arrow, K. J. and A. C. Fisher, 1974. "Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility," *Quarterly Journal of Economics*. 88 : 311-319

14. Cesario F. J., 1976 .“Value of time in recreation benefit studies,” *Land Economics*, 52(1) : 3II-41.
15. Creel, M. D. and J. B. Loomis, 1990. “Theoretical and empirical advantages of truncated count data estimators for analysis of deer hunting in California,” *American Journal of Agricultural Economics* 72 : 434-441.
16. Deaton, A. and J. Muellbauer, 1980. *Economics and Consumer Behavior* Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
17. Engilin J. and J.S. Shonkwiler, 1995. “Estimating social welfare using count data models: an application to long-run recreation demand under conditions of endogenous stratification and truncation,” *The Review of Economics and Statistics*. 77(1) : 104-112.
18. Englin, J. and T. A. Cameron, 1996. “Augmenting travel cost models with contingent behavior data,” *Environmental and Resource Economics*, 7 : 133-147.
19. Freeman, A. M., 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Value: Theory and Methods*. Second Edition. Washington, D. C. : Resources for the Future.
20. Grogger, J. T. and R. T. Carson, 1991. “Models for truncated counts,” *Journal Of Applied Econometrics*, 6 : 225-238.
21. Haab, T. C. and K.E. McConnell, 2002. *Valuing environmental and natural resources : the econometrics of non-market valuation*. Cheltenham, U. K.; Northampton, MA : Edward Elgar.
22. Hellerstein, D. M. , 1991. “Using count data models in travel cost analysis with aggregate data.” *American Journal of Agricultural Economics* 73(3) : 860-866
23. Machate, T., H. Noll, H. Behrens and A. Kettrup, 1997. “Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland,” *Water Research*. 31:554–560.

24. McConell, K. E., 1975. "Some problems in estimating the demand for outdoor recreation," *American Journal of Agricultural Economics* 57(2) : 330-334
25. Smith, V. K., W. H. Desvousges, M. P. McGivney, 1983. "The opportunity cost of travel time in recreation demand models," *Land Economics*, 59(3) : 259-278.
26. Shaw, D. , 1988. "On-site samples' regression: problems of non-negative integers, truncation, and endogenous stratification," *Journal of Econometrics*, 37:211-223
27. Shrestha, R. K., A.F. Seidl, Andrew S. Moraes. 2002, "Value of recreational fishing in the Brazilian Pantanal: a travel cost analysis using count data models," *Ecological Economics*. 42 : 289-299.
28. Trice, A.H. and S. E. Wood, 1958. "Measurement of recreation benefits" *Land Economics*, 34 : 195-207
29. Tubb, K. N., 2003, "An evaluation of the effectiveness of interpretation within Dartmoor national park in reaching the goals of sustainable tourism development," *Journal of Sustainable Tourism*. 11(6) : 476-498
30. Ward, F. A. and D. Beal, 2000. *Valuing Nature with Travel Cost Models : a Manual*. Cheltenham, UK ; Northampton, MA : Edward Elgar,
31. Yang W., J. Chang , B. Xu, C. Peng, and Y. Ge, 2008. "Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: A case study in Hangzhou, China ," *Ecological Economics*. 68 : 116-125

符號說明表

代號名稱	說明	單位
AGE	遊客之年齡	歲
CS	消費者剩餘(consumer surplus)為消費者之福利指標	元/年
CB	為碳減量效益	元/年
EDU	遊客受學校教育之時間	年
INC	遊客之月收入	元/月
L	旅行需求的概似函數 (likelihood function)	
MAR	遊客婚姻狀態，為虛擬變數 (dummy variable) 已婚=1、未婚=0	
G	碳封存之市場價格	元/噸
r	遊客單位時間的旅行次數	次/年
S	溼地碳吸存量	噸/年
SAT	遊客參與環境解說之滿意度，本研究自行估計。	
SEX	為遊客之性別，為虛擬變數 (dummy variable) 已婚=1、未婚=0	
t	遊客旅行交通時間	次/小時
TC	遊客之旅行成本(travel cost)	元/次
TRC	遊客旅行過程中交通費用支出 (traffic cost)	元/次
TIC	遊客之時間成本 (time cost)	元/小時
X_{ij}	第 i 位遊客第 j 個影響旅行行為的解釋變數	
β_0	方程式 (2.4) 中常數項係數	
β_{TC}	方程式 (2.4) 中旅行成本項估計係數	
β_j	方程式 (2.4) 其他解釋變數的估計係數	
Y_i	波阿松隨機變數 (Poisson random variable)	次/年
λ_i	波阿松隨機變數的平均數與變異數	次/年

附錄 A 植生碳吸存量實驗數據

植物名稱： 巴拉草

採樣單位面積植株數量： 34 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1	5.0	1.6	3.4	0.68	0.03	0.97	1.6	0.7
2	5.3	1.4	3.9	0.74	0.03	0.97	1.4	0.6
3	1.9	1.0	0.9	0.47	0.07	0.93	0.9	0.4
4	4.4	1.0	3.4	0.77	0.02	0.98	1.0	0.5
5	6.2	1.9	4.3	0.69	0.03	0.97	1.8	0.9
6	6.9	2.7	4.2	0.61	0.03	0.97	2.6	1.2
7	3.9	1.3	2.6	0.66	0.03	0.97	1.3	0.6
8	7.1	2.8	4.3	0.61	0.03	0.97	2.7	1.3
平均值	5.1	1.7	3.4	0.65	0.03	0.97	1.6	0.8
標準差	1.7	0.7	1.2	0.09	0.01	0.01	0.7	0.3

植物名稱： 台灣水龍

採樣單位面積植株數量： 8 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1	12.9	1.0	11.9	0.92	0.16	0.84	0.8	0.4
2	41.7	3.3	38.4	0.92	0.15	0.85	2.8	1.3
3	34.7	2.3	32.4	0.93	0.14	0.86	2.0	0.9
4	32.4	1.9	30.5	0.94	0.16	0.84	1.6	0.8
5	18.9	1.4	17.5	0.93	0.12	0.88	1.2	0.6
6	49.5	3.6	45.9	0.93	0.14	0.86	3.0	1.4
7	9.2	0.8	8.4	0.91	0.06	0.94	0.7	0.3
8	7.0	0.8	6.2	0.89	0.04	0.96	0.7	0.4
平均值	25.8	1.9	23.9	0.92	0.12	0.88	1.6	0.8
標準差	15.9	1.1	14.9	0.02	0.05	0.05	0.9	0.4

植物名稱 水芋

採樣單位面積植株數量: 2 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1	560.0	91.1	468.9	0.84	0.06	0.94	85.3	40.5
2	139.4	8.3	131.1	0.94	0.09	0.91	7.5	3.6
3	14.2	1.1	13.1	0.92	0.19	0.81	0.9	0.4
4	64.8	18.0	46.8	0.72	0.08	0.92	16.6	7.9
5	10.8	1.6	9.2	0.85	0.08	0.92	1.5	0.7
6	9.8	1.1	8.7	0.89	0.11	0.89	0.9	0.4
7	35.2	5.4	29.8	0.85	0.13	0.87	5.1	2.4
8	63.7	7.2	56.5	0.89	0.12	0.88	6.5	3.1
平均值	112.2	16.7	95.5	0.86	0.11	0.89	15.6	7.4
標準差	186.0	30.6	156.1	0.07	0.04	0.04	28.7	13.6

植物名稱: 空心菜

採樣單位面積植株數量: 9 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1	429.9	32.4	397.5	0.92	0.18	0.82	26.6	12.6
2	94.8	6.3	88.5	0.93	0.14	0.86	5.4	2.6
3	117.2	8.1	109.1	0.93	0.18	0.82	6.6	3.1
4	59.8	4.8	55.0	0.92	0.20	0.80	3.8	1.8
5	177.6	11.6	166.1	0.93	0.31	0.69	9.6	4.5
6	389.1	27.3	361.8	0.93	0.22	0.78	23.6	11.2
7	383.6	29.1	354.5	0.92	0.28	0.72	25.3	12.0
8	305.2	15.4	289.8	0.95	0.23	0.77	12.8	6.1
平均值	244.7	16.9	227.8	0.93	0.22	0.78	14.2	6.8
標準差	149.1	11.1	138.3	0.01	0.06	0.06	9.5	4.5

植物名稱： 長苞香蒲

採樣單位面積植株數量： 7 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1	169.7	46.3	123.4	0.73	0.10	0.90	41.8	19.9
2	298.5	61.6	236.9	0.79	0.67	0.33	20.6	9.8
3	123.9	33.5	90.4	0.73	0.42	0.58	19.4	9.2
4	281.8	38.3	243.5	0.86	0.17	0.83	34.7	16.5
5	406.2	84.4	321.8	0.79	0.32	0.68	76.4	36.3
6	141.8	14.7	127.1	0.90	0.25	0.75	13.4	6.4
7	613.5	81.1	532.4	0.87	0.29	0.71	74.7	35.5
平均值	290.8	51.4	239.4	0.81	0.32	0.68	40.1	19.1
標準差	174.3	25.6	153.3	0.07	0.19	0.19	26.0	12.4

植物名稱 蘆葦

採樣單位面積植株數量： 13 株/平方公尺

實驗項目	植體鮮重	植體乾重	植體水重	植體鮮重 含水比例	植體乾重 中無機質 比例	植體乾重 中有機質 比例	植體有機質 重	植體含碳 量
單位	克/株	克/株	克/株	克/克	克/克	克/克	克/株	克/株
1.00	245.6	77.0	168.6	0.69	0.07	0.93	72.0	34.2
2.00	211.6	78.9	132.7	0.63	0.05	0.95	75.2	35.7
3.00	69.3	24.8	44.5	0.64	0.05	0.95	24.7	11.7
4.00	99.6	19.3	80.3	0.81	0.07	0.93	19.2	9.1
平均值	156.5	50.0	106.5	0.69	0.06	0.94	47.8	22.7
標準差	85.3	32.4	55.0	0.08	0.01	0.01	29.9	14.2

附錄 B：植生葉面積測量實驗數據

植物名稱-巴拉草	植株編號					
葉片編號	3-3	3-1	3-2	2-2	2-1	2-2
1	8.33	10.69	19.34	6.98	12.71	6.88
2	14.1	9.5	20.53	4.18	19.82	20.43
3	15.85	8.68	18.2	3.73	21.68	16.6
4	21.43	6.72	12.18	6.47	25.62	16.79
5	11.78	8.19	20.68	8.51	18.49	16.24
6	7.16	7.74	4.98	5.03	13.00	16.53
7	111.1		5.65	7.12		
8	8.46			6.2		
9	7.25			8.33		
10	4.72			9.02		
11				8.46		
12				6.55		
13				3.46		
14				7.23		
15				10.05		
16				7.47		
17				6.18		
18				4.99		
19				3.17		
20				3.42		
21				6.93		
22				3.51		
23				4.68		
24				3.91		
25				3.84		
26				4.84		
27				3.1		
28				4.23		
29				3.14		
30				1.25		
單株葉面積總和(cm ²)	210.18	51.52	101.56	165.98	111.32	93.47
調查區域平均葉面積(cm ²)	121.09			165.98	102.40	
植株單位面積生長數量	51.00			65	61	
葉面積指數(m ² /m ²)	0.6			1.1	0.6	
葉面積指數平均值(m ² /m ²)	0.8					

植物名稱:臺灣水龍	植株編號							
葉片編號	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
1	8.26	1.69	4.2	2.47	7.69	0.24	5.57	4.37
2	11.61	1.38	6.18	1.7	4.95	0.17	4.66	0.79
3	2.48	1.1	3.22	1.52	5.32		3.72	0.85
4	2.37	0.77	2.31	1.53	6.48		6.52	
5	3.72	2.76	5.96	1.3	2.25		7.03	
6	4.19	1.26	1.34	0.45	1.81		4.5	
7	3.76	0.92	1.69	0.44	1.27		1.11	
8	1.77	0.43	1.43		1.62		0.65	
9	0.29	1.19	0.52		4.16		0.23	
10	2.07	0.72	3.08		6.77		0.27	
11	1.68	0.26	0.65		0.77		0.33	
12	1.11	0.64	0.12		2.04			
13	0.5	0.69			1.81			
14	0.35	0.57			1.11			
15		0.36			0.3			
16					0.12			
單株葉面積總和(cm ²)	44.16	14.74	30.7	9.41	43.52	0.41	34.59	6.01
調查區域平均葉面積(cm ²)	24.75				21.1325			
植株單位面積生長數量	247.00				189			
葉面積指數(m ² /m ²)	0.6				0.40			
葉面積指數平均值(m ² /m ²)	0.5							

植物名稱:水芋			
植株編號	1-1	2-1	2-2
葉片編號			
1	98.96	235.14	74.032
2	112.88	380.6	119.04
3	137.72	1050.36	
4	32.21		
單株葉面積總和(cm ²)	381.77	1666.1	193.072
調查區域平均葉面積(cm ²)	381.77	929.59	
植株單位面積生長數量	29.00	17.00	
葉面積指數(m ² /m ²)	1.1	1.6	
葉面積指數平均值(m ² /m ²)	1.3		

植物名稱：薺菜	植株編號		
葉片編號	1-2	2-1	1-1
1	6.53	2.11	4.3
2	8.78	3.7	3.01
3	4.67	4.15	5.09
4	3.4	1.58	1.47
5	2.65	3.03	1.55
6	1.24	2.54	2.79
7	2.44	1.61	8.06
8	1.68	1.05	1.46
9	2.89	1.94	1.37
10	1.7	0.7	1.22
11	1.44	1.21	1.37
12	0.26	1.05	1.34
13	0.73	1.97	1.27
14	0.41	1.37	2.01
15	1.16	1.11	1.15
16	0.14	0.36	1.01
17	0.39	0.91	2.2
18	0.82	0.96	0.17
19	0.48		1.03
20			0.89
21			0.94
22			0.87
23			1.93
24			2.59
25			1.24
26			5.3
27			1
28			1.29
29			0.333
30			0.44
單株葉面積總和(cm ²)	41.81	31.35	58.693
調查區域平均葉面積(cm ²)	41.81	45.02	
植株單位面積生長數量	21.00	17.00	
葉面積指數(m ² /m ²)	0.1	0.1	

植物名稱:長苞香蒲	植株編號						
葉片編號	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1
1	82.26	59.59	69.89	94.3	82.58	68.78	154.56
2	58.69	76.86	86.39	82.04	176.14	17.83	159.7
3	90.57	92.63	63.84	103.61	174.37	163.12	128.51
4	93.33	105.53	83.32	133.14	159.98	133.42	97.01
5	111.96	117.8	62.59	132.93	128.98	111.67	113.89
6	124.75	119.93	96.86	87.54	149.11	129.57	93.63
7	129.71	63.44	93.85	93.25	148.16	145.76	74.4
8	80.75	124.22	71.08	114.1	169.85	160.42	53.81
9	117.53	91.54	39.7	126.9	102.33	167.41	53.33
10	53.32	29.85	12.13	131.56	26.18	92.64	17.72
11				63.07	42.36	99.4	
12				34.39	81.81	58.22	
單株葉面積總和(cm ²)	942.87	881.39	679.65	1196.83	1441.85	1348.24	946.56
調查區域平均葉面積(cm ²)	834.64			1319.34		1147.4	
植株單位面積生長數量	30.00			33.00		12	
葉面積指數(m ² /m ²)	2.5			4.4		1.4	
葉面積指數平均值(m ² /m ²)	2.7						

植物名稱:蘆葦	植株編號							
葉片編號	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
1	57.99	47.32	32.22	26.28	23.54	53.41	38.62	99.9
2	99.67	97.31	70.1	38.6	31.4	96.67	64.27	59.63
3	195.47	116.97	78.89	78.21	67.78	97.8	101.39	115.09
4	73.45	133.36	109.07	106.68	102.77	84.63	69.3	41.42
5	76.8	134.74	122.18	119.66	126.49	65.14	106.17	110.13
6	83.15	106.74	127.74	134.34	127.08	60.56	2.7	7.98
7	65.48	12.59	124.33	285.05	132.97	6.46		
8	1.69		112.43	143.05	125.52	58.83		
9	64.16		85.76	137.08	130.59			
10	73.54		88.71	140.12	113.39			
11			94.34		88.45			
12			87.38		9.29			
13			88.63					
14			37.63					
15								
16								
單株葉面積總和(cm ²)	791.4	649.03	1259.41	1209.07	1079.27	523.5	382.45	434.15
調查區域平均葉面積(cm ²)	720.22		1182.58			446.7		
植株單位面積生長數量	67		86			38		
葉面積指數(m ² /m ²)	4.8		10.2			1.7		
葉面積指數平均值(m ² /m ²)	5.6							

附錄 C 溼地碳儲存量計算說明

為了解人工溼地植生分布之密度，於 2010 年 2 月 1 日進行現地分層隨機抽樣法調查，新海二期溼地可分為第一密植區、開放水面區、第二密植區和生態池。因四分區在水質淨化功能上有所不同，其植栽數量與植生移除頻率亦有差異。在抽樣上亦分為 4 層：

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$$

N 為新海二期溼地之面積(33,700 m²)、N₁ 為第一密植區之面積(10,200m²)、N₂ 開放水面區之面積 (6,200 m²)、N₃ 為第二密植區之面積(9,800 m²)、N₄ 為生態池之面積(7,500 m²)。因此各分區在抽樣調查中之權重 (weight) 為

$$W_i = \frac{N_i}{N}$$

因此第一密植區之抽樣權重 W₁=0.30、開放水面區之抽樣權重 W₂=0.18、第二密植區之抽樣權重 W₃=0.29、生態池之抽樣權重 W₄=0.22。

由新海二期溼地工程圖將每樣區每樣區劃為 20m*20m 之樣本點，再以分層隨機抽樣法於四區分別抽出 5、5、6、5 個 20m*20m 樣本點。在各個樣本點的四邊隨機挑選一邊後於 6m，8m，10m，12m 處用 1m*1m 方框進行 15 種主要水生植物數量調查(Roberts *et al.* 1999,轉引自林等,2003)，即第一密植區有 20 個 1m*1m 樣點、開放水面區有 20 個 1m*1m 樣點、第二密植區有 24 個 1m*1m 樣點、生態池有 20 個 1m*1m 樣點。

記錄 1m*1m 方框內是否出現 15 種調查的水生植物，若有出現調查的水生植物則紀錄其單位面積生長株數，共調查 84 個 1m*1m 樣本點，調查結果發現其中 43 個 1m*1m 的樣點內有調查的水生植物分布。

分層名稱	分層抽樣權重 W_i ($W_i = N_i / N$)	分層碳儲存量 平均數 \bar{X}_i	分層碳儲存量 變異數 s_i^2	各分層抽樣 點個數 n_i	各分層 抽樣率 f_i ($f_i = n_i / N_i$)
單位		gC m ⁻² yr ⁻¹	gC m ⁻² yr ⁻¹	個	
第一密植區	$W_1 = \frac{10,200m^2}{33,700m^2} = 0.303$	426.1	181,561.2	19	0.00186
開放水面區	$W_2 = \frac{6,200m^2}{33,700m^2} = 0.184$	25.5	650.3	2	0.00032
第二密植區	$W_3 = \frac{9,800m^2}{33,700m^2} = 0.291$	127.7	16,281.8	13	0.00133
生態池	$W_4 = \frac{7,500m^2}{33,700m^2} = 0.223$	184.6	34,077.2	9	0.0012

由式 (3)

$$\bar{X}_{st} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \bar{X}_i}{N} = \sum_{i=1}^L W_i \bar{X}_i = (0.303)(426.1) + (0.184)(25.5) + (0.291)(127.7) + (0.223)(184.6) = 211.0 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$$

由式 (7)

$$\begin{aligned} V(\bar{X}_{st}) &= \sum_{i=1}^L W_i^2 \frac{s_i^2}{n_i} (1 - f_i) \\ &= \frac{(0.303^2)(181561.2)}{19} (1 - 0.00186) + \frac{(0.184^2)(650.3)}{2} (1 - 0.00032) \\ &\quad + \frac{(0.291^2)(16281.8)}{13} (1 - 0.00133) + \frac{(0.223^2)(34077.2)}{9} (1 - 0.0012) \\ &= 1176.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1} \end{aligned}$$

而 \bar{X}_{st} 的標準差為 $\sqrt{V(\bar{X}_{st})} = \sqrt{1176.5} = 34.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

附錄 D 大漢溪流域之水質淨化現地處理工程效益評估問卷

您好：

這份問卷希望能透過了解現階段現地處理工程的環境經濟效益，以作為後續臺北縣政府推動現地處理水質淨化系統環境教育的參考。在此，謝謝您的協助與愛護。順祝 安康
臺北縣環境保護局 民國 99 年

一、溼地遊憩效益與生態環境價值評估（請盡可能地回答所有問題，感謝您！）
1. 請問您本次參訪的溼地為： <input type="checkbox"/> 新海一期 <input type="checkbox"/> 新海二期 <input type="checkbox"/> 新海三期 <input type="checkbox"/> 打鳥埤 <input type="checkbox"/> 浮洲 <input type="checkbox"/> 華江 <input type="checkbox"/> 城林 <input type="checkbox"/> 鹿角溪溼地
2. 過去兩年中，您到過今日參訪的溼地次數為？ <input type="checkbox"/> 0 次 <input type="checkbox"/> 1 次 <input type="checkbox"/> 2 次 <input type="checkbox"/> 3 次 <input type="checkbox"/> 其他, 約_____次
3. 請問您個人此次旅遊除車資外的花費（包含餐費、飲料、紀念品..等）約為_____元
4. 聽完今天的導覽後，若您自行前來，您會選擇在此溼地停留多久？ <input type="checkbox"/> 30 分鐘以下 <input type="checkbox"/> 30 分鐘-1 小時 <input type="checkbox"/> 1-2 小時 <input type="checkbox"/> 2-3 小時 <input type="checkbox"/> 3-4 小時 <input type="checkbox"/> 其他, 約_____小時
5. 聽完今天的導覽後，日後若您自行前來，您會選擇在一年當中來此溼地幾次？ <input type="checkbox"/> 0 次 <input type="checkbox"/> 1 次 <input type="checkbox"/> 2 次 <input type="checkbox"/> 3 次 <input type="checkbox"/> 4 次 <input type="checkbox"/> 5-7 次 <input type="checkbox"/> 8-10 次 <input type="checkbox"/> 其他, 約_____次
6. 若您自行前來，您會選擇的交通工具為（可複選） <input type="checkbox"/> 大眾交通工具 <input type="checkbox"/> 汽機車 <input type="checkbox"/> 腳踏車 <input type="checkbox"/> 步行
7. 若您自行前來，您選擇的交通工具由家中到達此溼地所花的時間(單趟)? 約_____分鐘
8. 若您自行前來，請問您由家中到達此溼地所花費的車資或油錢（單趟），約為？ <input type="checkbox"/> 0-25 元 <input type="checkbox"/> 26-50 元 <input type="checkbox"/> 51-75 元 <input type="checkbox"/> 76-100 元 <input type="checkbox"/> 101-150 元 <input type="checkbox"/> 151-200 元 <input type="checkbox"/> 其他, _____元
9. 在今天以前，你曾經聽過「人工溼地」(現地處理)之名詞嗎？ <input type="checkbox"/> 曾經聽過 <input type="checkbox"/> 未曾聽過
10. 您是否參加過環保團體？ <input type="checkbox"/> 是, 名稱為_____ <input type="checkbox"/> 否
11. 您是否曾對環保團體捐款？ <input type="checkbox"/> 是, 約每年_____元 <input type="checkbox"/> 否
12. 您針對本次參訪場址及行程規劃待改善之建議：_____
二、溼地生態環境價值評估（請認真作答，僅幫助了解溼地之價值，您並不會多繳勾選之金額）
回答下列問題時，請您考慮到：人工溼地不僅有水質淨化之功能，並可提供生物棲地、學術研究場址、使民眾認識生態與進行遊憩（包括可讓未來子孫使用），但政府在經營管理預算上有其限制。
1. 請問您是否願意支付經費，維持本次參訪溼地之生態環境？ <input type="checkbox"/> 願意 <input type="checkbox"/> 不願意(請接至題 4. 作答) (請您考慮到台灣仍有其他珍貴的自然資源與人文資產，也可能需要您花錢來保育)
2. 為使您參訪之溼地可在生態環境的維護和教育更加完善，請問您每年最高願意支付 _____元 作為新海二期溼地生態環境維護與教育基金？（基金將交給相關單位或環保團體妥善運用） <input type="checkbox"/> 50 元 <input type="checkbox"/> 100 元 <input type="checkbox"/> 150 元 <input type="checkbox"/> 200 元 <input type="checkbox"/> 300 元 <input type="checkbox"/> 500 元 <input type="checkbox"/> 1000 元 <input type="checkbox"/> 1500 元 <input type="checkbox"/> 其他, _____元
3. 目前大漢溪流域共有八處溼地(城林、打鳥埤、鹿角溪、浮州、新海一、二、三期、華江溼地)， 總面積約 132 公頃，針對這八處溼地您每年最高願意支付的生態環境維護與教育基金為_____元/年 (基金將交給相關單位或環保團體妥善運用)

4. 若您在第 1. 題中不願意支付任何金額, 請問是什麼原因使您『不願意支付任何金額』
- 溼地之生態環境教育功能, 對我而言沒有價值。
- 溼地之生態環境教育功能, 對我而言有價值, 但目前的經濟情況使我無法支付任何金額。
- 維護溼地之生態環境教育功能, 是政府的責任, 所以相關費用應由政府負擔。
- 其他, 請說明原因_____

背面尚有題目, 請翻面繼續作答

三、解說活動效益評估(單一勾選)

針對本次導覽活動之體驗及想法：	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
1. 解說內容難易適中	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 解說主題數量適中	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 解說內容有趣生動	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 解說時間掌握得宜	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 聽完解說後, 讓我更想來溼地旅遊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 聽完解說後, 增加我對溼地自然生態資源的了解	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 聽完解說後, 增加我對人工溼地現地處理工程的了解	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 聽完解說後, 引發我對環境知識與議題的興趣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 聽完解說後, 我更了解保護環境的方法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 聽完解說後, 我更認為保護環境是一件重要的事	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. 聽完解說後, 我更願意付出行動保護環境	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. 聽完解說後, 增加我付費保護環境的意願	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. 聽完解說後, 我願意支付更多費用保護環境	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. 整體而言, 您對本次活動解說者感到滿意	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. 您這次的參訪為: <input type="checkbox"/> 自願參加 <input type="checkbox"/> 機關行程安排 <input type="checkbox"/> 其他_____					
16. 您對本次活動與解說的建議: _____					

四、受訪者基本資料 (您的個人基本資料, 謹為研究分析使用, 絕不對外公開)

1. 性別:	<input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女
2. 年齡:	<input type="checkbox"/> 9 歲以下 <input type="checkbox"/> 10~15 歲 <input type="checkbox"/> 15~18 歲 <input type="checkbox"/> 19~22 歲 <input type="checkbox"/> 22~26 歲 <input type="checkbox"/> 27~35 歲 <input type="checkbox"/> 36~45 歲 <input type="checkbox"/> 46~55 歲 <input type="checkbox"/> 55~65 歲 <input type="checkbox"/> 66 歲以上
3 職業:	<input type="checkbox"/> 學生 <input type="checkbox"/> 公務員 <input type="checkbox"/> 教師 <input type="checkbox"/> 工程師/業務員 <input type="checkbox"/> 志工 <input type="checkbox"/> 軍人 <input type="checkbox"/> 商業 <input type="checkbox"/> 家管 <input type="checkbox"/> 服務業 <input type="checkbox"/> 工業/製造業 <input type="checkbox"/> 農漁業 <input type="checkbox"/> 自由業(含醫師、律師、會計師、建築師、藥師) <input type="checkbox"/> 無(待)業 <input type="checkbox"/> 其他, 請註明_____

4. 個人月收入： (包含學生零用 金, 家管每月可使 用所得)	<input type="checkbox"/> 五千元以下	<input type="checkbox"/> 五千元到一萬元	<input type="checkbox"/> 一萬元到兩萬元
	<input type="checkbox"/> 兩萬元到三萬元	<input type="checkbox"/> 三萬元到四萬元	<input type="checkbox"/> 四萬元到五萬元
	<input type="checkbox"/> 五萬元到六萬元	<input type="checkbox"/> 六萬元到七萬元	<input type="checkbox"/> 七萬元到八萬元
	<input type="checkbox"/> 八萬元到九萬元	<input type="checkbox"/> 九萬元到十萬元	<input type="checkbox"/> 十萬元以上
5. 您的婚姻狀況	<input type="checkbox"/> 已婚 <input type="checkbox"/> 未婚		
6. 最高教育程度	<input type="checkbox"/> 小學 <input type="checkbox"/> 國中 <input type="checkbox"/> 高中(職/工) <input type="checkbox"/> 專科 <input type="checkbox"/> 大學 <input type="checkbox"/> 研究所 <input type="checkbox"/> 其他, _____		
7. 目前居住地	<input type="checkbox"/> 臺北市, _____區 <input type="checkbox"/> 臺北縣, _____市(鄉、鎮) <input type="checkbox"/> 基隆市, _____區 <input type="checkbox"/> 桃園縣, _____市(鄉、鎮) <input type="checkbox"/> _____市(縣)_____區(鄉、鎮、市) (請務必填至區、鄉、鎮、市, 方能進行分析, 謝謝您!)		



附錄 E：遊客資料敘述統計表

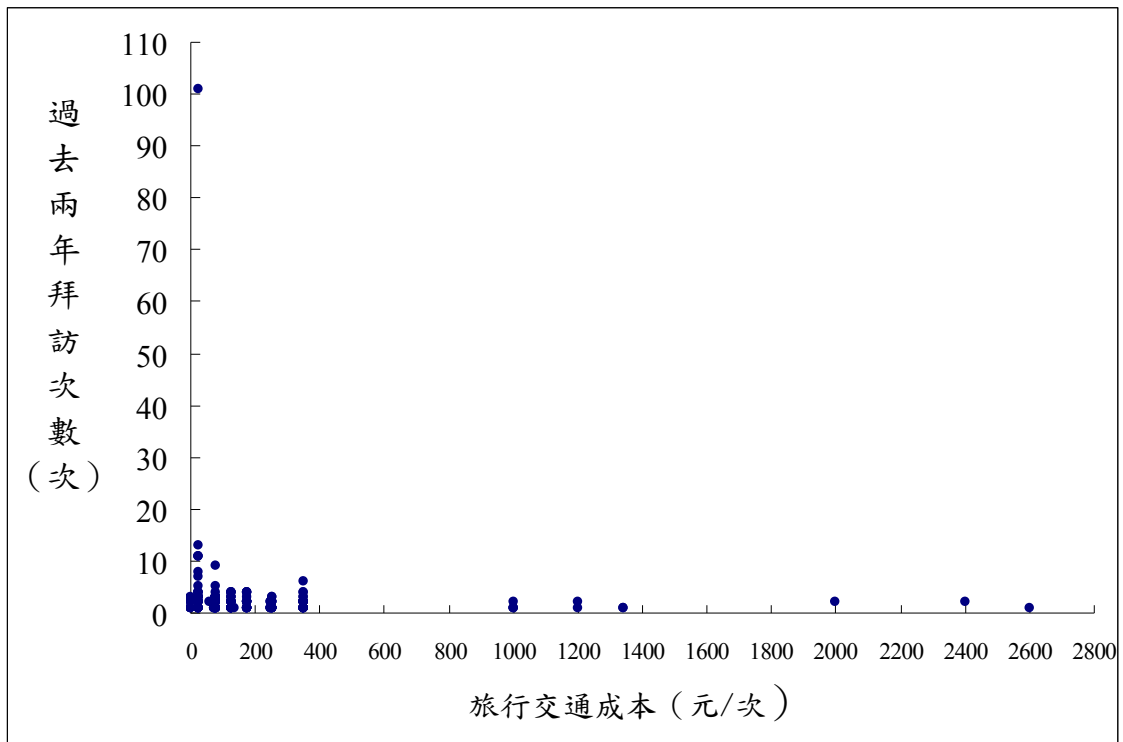
遊客資料敘述統計表

	過去兩年	未來一年	年齡	收入	教育程度	滿意度	性別	婚姻
	拜訪次數	預計拜訪次數	AGE	INC	EDU	SAT	SEX	MAR
單位	(次/兩年)	(次/年)	(歲)	(元/月)	(年)			
最小值	1	1	7	2500	6	52	0	0
10 百分位	1	2	16.5	2500	6	52	0	0
20 百分位	1	3	29	2500	12	55	0	0
30 百分位	1	3	31	15000	12	56	0	1
40 百分位	1	3	40.5	25000	14	57	0	1
50 百分位	2	3	40.5	25000	14	60	0	1
60 百分位	2	4	40.5	35000	16	63	1	1
70 百分位	2	5	50.5	35000	16	65	1	1
80 百分位	3	5	58	45000	16	68	1	1
90 百分位	4	8	60	55000	18	70	1	1
最大值	101	366	70	100000	18	88	1	1
平均數	2.7	7.2	40.9	29754.0	13.6	60.3	0.5	0.7
標準差	7.8	30.5	16.1	22477.2	4.1	8.4	0.5	0.5
樣本個數 (n)	182	182	177	182	179	182	177	177

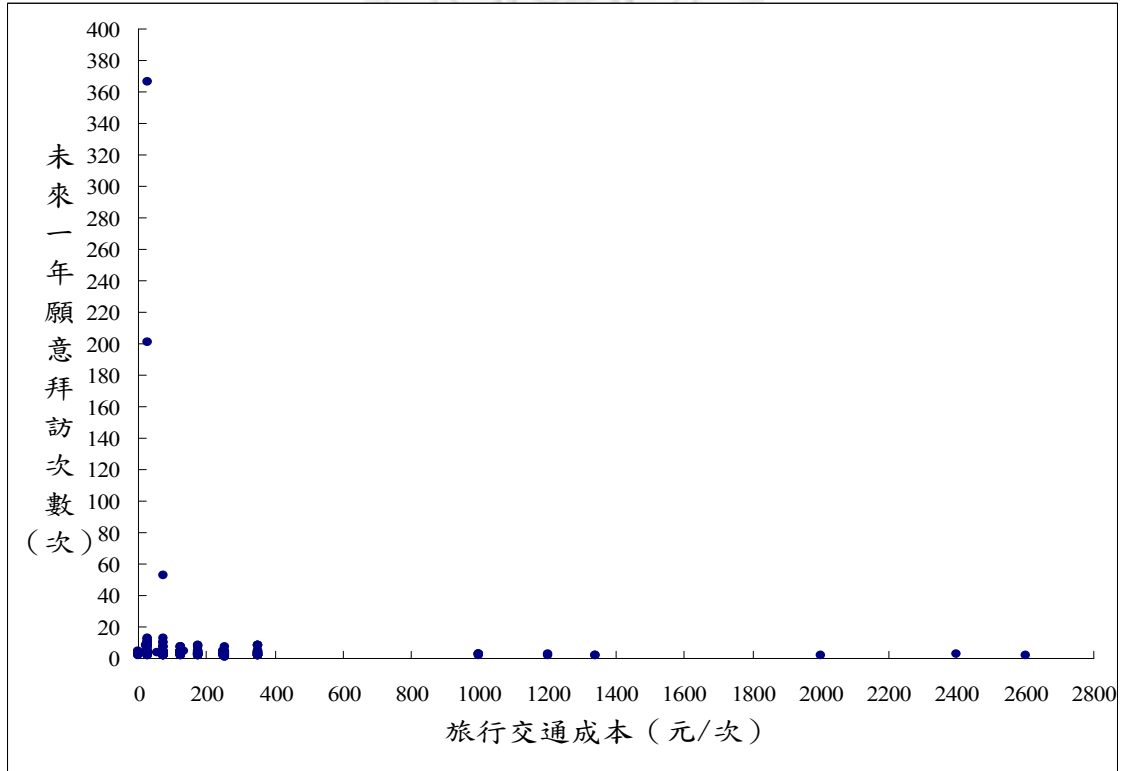
遊客旅行成本敘述統計表

	不考慮 時間成本	時間成本 為工資率 1/5	時間成本 為工資率 1/4	時間成本 為工資率 1/3	時間成本 為工資率 1/2
最小值	0	15.2	18.5	24.0	26.3
10 百分位	26	27.7	29.2	32.0	39.9
20 百分位	26	48.2	53.9	63.4	78.2
30 百分位	76	78.1	78.6	79.5	90.7
40 百分位	76	86.4	89.7	94.2	104.4
50 百分位	126	130.0	131.0	138.7	152.2
60 百分位	126	150.7	159.0	170.0	187.6
70 百分位	176	193.4	197.7	212.3	246.3
80 百分位	252	267.1	271.4	281.2	300.1
90 百分位	352	364.6	368.2	374.3	394.5
最大值	2600	2641.7	2652.1	2669.4	2704.2
平均數	200.3	218.7	223.8	232.4	249.5
標準差	335.4	356.0	360.2	364.2	372.9
樣本個數 (n)	182	182	182	182	182

附錄 F： 遊客拜訪次數與交通成本關係圖



新海溼地遊客過去兩年拜訪次數與交通成本關係圖



新海溼地遊客未來一年願意拜訪次數與交通成本關係圖