

嘉南藥理科技大學補助專題研究計畫成果報告

人工溼地淨水系統之成本效益分析模式

計畫編號：150400-CN9735

計畫執行期間：97年8月1日至97年12月31日

計畫主持人：吳建德 休閒保健管理系

E-mail：jiander@mail.chna.edu.tw

摘要

人工溼地淨水系統具有供作野生動植物的棲息地，以及涵養水源、調節洪水、控制污染物、截流河水淤砂、農耕、與做為各種營養元素的源與匯池等多項功能。國內外針對人工溼地的研究多自溼地生態、水文土壤、溼地建置技術以及水資源農漁利用等面向探討。本研究試圖以社會科學的觀點，利用成本利益分析的觀念，探討影響人工溼地淨水系統的成本與利益項目。經分析結果，人工溼地建置的成本要素包括工程計畫設計費用、土地、建造成本、人事費用、管理費用等，利益項目則來自再生水利用。人工溼地淨水系統建置的報酬結果為：人工溼地淨水系統利益－人工溼地淨水系統成本＝建置人工溼地淨水系統之報酬＝再生水總使用量×每度用水價格－（工程計畫設計費用＋土地＋建造成本＋人事費用＋管理費用）。

關鍵字：人工溼地、成本利益、成本效益分析。

壹、前言

溼地係終年或大部分時間受到浸水的沼澤、草澤、林澤、湖泊周緣、或海岸潮間帶等地區（許正一、陳尊賢，1995：293）。換句話說，溼地即位居水陸過渡位置之區域。若按拉姆薩公約所謂溼地係無論是天然或是人為的、永久或暫時的，其水是靜止或是流動的、淡水、鹹水或半鹹水的，包括水深不及六公尺的淺海域（如潮間帶、珊瑚礁）、沼澤、河口、湖泊、埤塘、水田和洪水平原等，均屬溼地的範圍。

臺灣主要之溼地有紅樹林溼地（如北門溼地、七股溼地、關渡溼地等）分布於西部沿海和河口附近以及其他河口溼地（如大肚溪口、高美溼地）；另外還有淡水湖沼地（如大鬼湖溼地、夢幻湖溼地等）多分布於山間，以及若干潮間帶交會處等。雖然面積不若北美及俄國黑海等處大型溼地，然由於位置和地形的特殊，使其土壤水文養分循環擁有諸多特性：包括部分缺氧、腐植質累積、水文週期等造就了高度的次級生產力，同時亦為候鳥過境重要的驛站（如稀有的黑面琵鷺），許多特有種溼地生物僅分布於臺灣〔如臺灣萍蓬草 *Nuphar shimadai*、臺南飄拂草 *Fimbristylis autumnalis* (L) 等〕，臺灣亦是全世界紅樹林樹種—水筆仔分布的最北界，因此在區域生態定位上臺灣的溼地極具重要性

(嚴融怡、張家銘，2002：312)。

臺灣部分溼地由於人為的破壞，使其蘊藏物種、涵養水源的功能受到傷害，亦使溼地景觀受到影響。故基於環境美化，或因基於生態保育、休閒遊憩作用的發揮，近年政府與民間部門開始介入溼地的保育工作。例如在部分河川沿岸、高灘地(如新海橋溼地、高屏溪右岸溼地)或利用廢棄曬鹽場(如臺南灣裡溼地)、垃圾掩埋場(如打鳥埤溼地)，施以綠美化工程，而成為人工溼地。

儘管溼地化學循環中所產生的甲烷(CH₄)與二氧化氮(N₂O)等係造成地球溫室效應的主要氣體之一，但溼地不僅可提供做為野生動植物的棲息地之外，尚可涵養水源、調節洪水、控制污染物、截流河水淤砂、農耕、與做為各種營養元素的源(source)與匯池(sink)等多項功能。事實上，早在1900年代國外已就溼地具有過濾沉澱污染水質的能力，進行相關研究。國內相關研究起步較晚，大約在1980年代以後，才有相關研究。惟國內外研究，多以人工溼地在技術與效能方面的研究。而依據拉姆薩公約之立約原則與精神，主要在使人們認知環境與之相依關係及重要性，同時強調溼地對動植物生態(特別是水鳥)乃至於對人類經濟、文化、社會等方面的作用與功能，企盼經由國內立法與國際合作來達到溼地與生態保育目標。因此，人工溼地之研究不應僅侷限於工程技術與環保效能上，其研究範圍涵蓋經濟、社會、文化乃至於政治、外交層面。故本研究係以經濟範疇之財務層面，探討建置人工溼地所帶來之經濟效益。

貳、研究目的

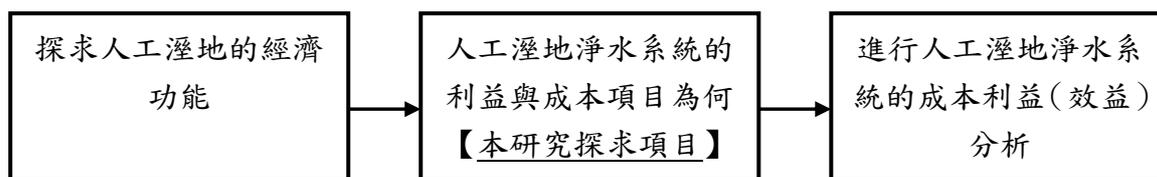
探討經濟效益最常用且最簡單的方法，即成本利益分析(cost-benefit analysis)。所謂成本(cost)係指取得資產(asset)所做的犧牲或所放棄的資源，並能以貨幣衡量之金額(Hermanson and Edwards, 1992:29)。利益(benefit)則是在成本的投入後所獲得的結果。若將利益扣除投入的成本所獲得的數額，則可測得某項投資計畫的良窳。此即一般所謂的成本利益分析。

至於與成本利益分析名詞相近之成本效益分析(cost-effectiveness analysis)，其差異主要是在於成本效益分析之「效益」係達成計畫中預期目標之機率(probability)(蕭業儒，1985：1)；由於投資計畫之未來結果，充滿不確定性，故透過成本效益分析，得以評估投資計畫的可行性，以做為事前決策依據。然而無論是成本利益或成本效益分析前，首先都必須瞭解投資計畫的利益(b_x)及成本(c_x)項目，再就各項目內容取得或設算其數值，利益總和與成本總和之差，即為投資計畫之報酬(return)(如式1)。

$$(b_1+b_2+b_3+\dots+b_n)-(c_1+c_2+c_3+\dots+c_n)=r \quad (\text{式 1})$$

承前所述，溼地除具有棲養生物、控制污染等生態保育上的功能外，尚具有調節水流、積存營養元素等農田水利上的價值。而透過建置人工溼地達到水質淨化再利用，無論在國內外已有相當多的案例。本研究目的則是以財務上常用的成本利益分析，探求人工溼地淨水系統建置之利益(b_x)與成本(c_x)項目，待利益與成本項目確認後，則可

建立成本利益分析模式（參見圖 1）。



資料來源：本研究。

圖 1 本研究概念圖

叁、文獻探討

根據國外實例，人工建造之處理溼地（constructed treatment wetlands）進行廢水處理的研究，始於 1900 年代；包括點源性之家庭污水、畜牧污水、工業廢水、垃圾滲出水及酸礦排水，以及非點源性之農業灌溉廢水等都能利用溼地的特殊環境加以處理。但國內的研究較晚，約起自 1980 年代；不過人工溼地試驗針對河川水污染、二及生活廢水、工廠廢水的處理效率等已經日益受到重視；1997 年中國環境工程學會之廢水研討會，更以專題討論溼地/人工溼地的構造機制（嚴融怡、張家銘，2002：311）。然而，無論是國內外研究人工溼地的問題，多自溼地生態、溼地水文、溼地土壤、溼地工程技術、溼地淨水暨回收利用技術以及溼地農漁業利用等面向探討（參見表 1）。即使在 2007 年阮忠信以《曹公圳多功能利用與發展策略之研究：溼地公園》為題主持之研究計畫論及溼地的遊憩休閒經濟價值，但其主要仍著重在工程技術面上。至於由經濟面向探討人工溼地議題之論述，付之如闕。

表 1 人工溼地代表文獻與性質分類

研究議題性質/面向	代表文獻
溼地生態面向	2001 及 2002 年蔣慕琰接受行政院農業委員會藥物讀物試驗所委託之研究計畫—《外來植物種類及分佈調查：河域及濕地外地植物種類及分佈調查》等
溼地水文面向	2006 年自強工程顧問有限公司接受交通部觀光局雲嘉南濱海國家風景管理處委託之研究計畫—《北門溼地復育防災先期調查測量及水理分析作業：水理分析報告書》、2007 年自強工程顧問有限公司接受交通部觀光局雲嘉南濱海國家風景管理處委託之研究計畫—《網寮白水湖溼地數值地形測量及水理分析作業（嘉義縣）：水理分析報告書》等
溼地土壤面向	1995 年許正一、陳尊賢之〈濕地土壤的定義、化育作用

	與分類〉、2002 年嚴融怡、張家銘之〈濕地土壤水文研究現況及其在農業科學上之應用〉等
溼地工程技術	2005 年張文賢接受行政院公共工程委員會委託之研究計畫—《建立人工溼地設置與操作作業程序及技術之研究技術》、2006 年張翊峰接受行政院國家科學委員會委託之研究計畫—《台灣地區人工溼地技術關聯資料庫的建立與研究》等
溼地淨水暨回收利用技術	2005 年何明錦接受內政部建築研究所委託之研究計畫—《人工溼地水質暨環境衛生之研究》、2005 年歐文生之《生活污水應用人工溼地處理即再利用之研究》、2006 及 2007 年丁澈士接受經濟部水利署第七河川局委託之研究計畫—《人工溼地水質淨化成效評估及水回收再利用之研究》等
溼地農漁業利用	2004 年林明男接受行政院農業委員會水產試驗所委託之研究計畫—《人工濕地自動化養蝦系統的建立》等

資料來源：本研究。

至於探究政策或企業投資計畫經濟效益的研究，汗牛充棟（參見表 2），惟以人工溼地淨水系統做為研究標的者，亦是付之如闕。故本研究試圖從經濟面向應用財務常用之分析技術，探討人工溼地淨水系統之成本利益，並試圖建立分析模式。

表 2 有關經濟效益分析代表文獻

研究議題性質/面向	代表文獻
以醫療衛生為研究標的者	1999 年林錫璋接受行政院衛生署委託之研究計畫—《住院及門診病患使用經皮內試鏡胃造口術的適用性及成本效益評估》、2006 年賴明陽、高嘉宏接受行政院衛生署疾病管制局委託之研究計畫—《「全民健康保險加強慢性 B 型及 C 型肝炎治療試辦計畫」之總療效及成本效益評估》、2006 年姚振華接受行政院國民健康局委託之研究計畫—《臺灣地區常用口腔衛生指標之成本效益分析》等
以社會安全為研究標的者	1999 年熊秉元接受全民健康保險監理委員會委託之研究計畫—《全民健保重大傷病給付對保險財務成本效益之評估》、2003 年張四明接受內政部委託之研究計畫—《性侵害暨家庭暴力防治工作成本效益分析》、2006 年賴俊雄接受行政院衛生署中醫藥委員會委託之研究計畫—《中醫住院支付標準、給付內容及成本效益分析》等
以公共工程為研究標的者	1998 年臺灣經濟研究院接受經濟部水資源局委託之研究計畫—《水利投資財務及成本效益評估範例及範例研

	究》、2002 年能邦科技顧問股份有限公司接受經濟部水利署委託之研究計畫—《水庫淤積浚渫成本效益評析研究》、2003 年蕭江碧接受內政部建築研究所委託之研究計畫—《廢棄混凝土再生利用成本效益分析之研究》等
以農漁糧政為研究標的者	1994 年萬鍾汶接受行政院農業委員會委託之研究計畫—《全年蔬菜契作保價運銷計畫之成本效益分析》等
以教育文化為研究標的者	1992 年郭秋勳接受教育部社會教育司委託之研究計畫—《各級補習學校學習成本效益分析及發展模式之研究》等
以經濟金融為研究標的者	1991 年林秋發之《信用合作社成本效益之研究：業務別成本效益分析》等
以交通運輸為研究標的者	1990 年邱錦祥接受交通部運輸研究所委託之研究計畫—《臺灣西部幹線多軌化成本效益分析》等

資料來源：本研究。

肆、研究方法

根據諸多有關溼地淨水暨回收利用技術之研究發現，由於溼地具有污染物控制的能力，且經溼地淨水機制後之家庭、農畜、工業等廢水，可利用於灌溉、洗滌，故人工溼地淨水系統不僅環保而且經濟，符合當今永續經營的觀念。

人工淨水系統的投資計畫的成本利益，可透過式 1 的觀念察得。因此，首先均必須探求是項投資計畫的投入與產出結果。而投入項即成本 (c_x)，產出項即利益 (b_x) 或效益。一旦察知 c_x 與 b_x 項目為何，並取得其數值結果，分別加總，利益與成本之差，即為報酬 (r)。故本研究係利用基本財務分析觀念，進行研究。此外，研究過程中必須借重大量歷史文獻資料進行分析判讀，故歷史文獻分析研究法構面的運用，亦不可缺乏。

伍、結果與討論

一項投資計畫的評估，必須考量其利益與成本。有關建構人工溼地淨水系統之成本 (c_x) 與利益 (b_x) 項目，如下所示。

一、成本項目

成本項目包括直接成本、營運與維護成本以及相關成本三項。所謂直接成本係指工程計畫設計之費用，資產與建造成本。其中，建造成本不含建造期間的利息費用。由於人工溼地淨水系統大多就地運用天然埤塘，除因環境的美化需要外，幾無工程計畫與設計以及建造成本的問題。惟需考慮者，僅有溼地鄰接地之土地成本。以臺南縣仁德鄉二行村人工溼地為例，當時人工溼地建置時，由於深獲當地社區發展協會之助，甚至無土地成本。相較於大規模污水處理設施淨水系統，則直接成本所含各項，全數應予考量(如

表 3)。

表 3 人工溼地與污水廠設施淨水系統直接成本比較

淨水系統 \ 直接成本	工程計畫設計費用	資產 (土地)	建造成本
人工溼地	× (除非有大規模的環境美化工程)	○	× (除非有大規模的環境美化工程)
污水處理廠	○	○	○

資料來源：本研究。

至於營運與維護成本則是指計畫執行期間，按其所計畫的作業能量執行時，所需投入之人力與物料數量，這些包括人力、物料與管理費用（蕭業儒，1985：10）。由於人工溼地係利用生物化學循環原理達到污水淨化功能，故幾無需固定人力的使用，亦不必使用任何淨水化學藥品。以臺南縣仁德鄉二行村人工溼地為例，該溼地運作期間僅由一名義工不定期整理系統內之澆灌、修剪、採收等工作，除此之外，僅引流污水之抽水馬達一具，除耗用少量的電費外，並無任何人事與其他管理費用產生。相較於大規模污水處理設施淨水系統，則營運與維護成本所含各項，全數應予考量（如表 4）。

表 4 人工溼地與污水廠設施淨水系統營運與維護成本比較

淨水系統 \ 營運與維護成本	人事成本	物料成本 (化學藥品等)	管理費用(燃料費用、雜支等)
人工溼地	× (除非設有固定支薪管理人員)	×	○
污水處理廠	○	○	○

資料來源：本研究。

此外，實現計畫之所有其他成本，均屬相關成本項目。人工溼地淨水系統由於多屬就地埤塘的利用，因此計畫實現上不若污水處理廠必須在相關基礎建設的配合下（如聯外道路、相關管路等），使得以完成，故無相關成本的產生。

歸納人工溼地淨水系統之成本項目，包括：直接成本中的工程計畫設計費用、土地成本以及建造成本，營運與維護成本中的人事費用、管理費用。

$$\text{人工溼地淨水系統成本} = \text{工程計畫設計費用} + \text{土地} + \text{建造成本} + \text{人事費用} + \text{管理費用}$$

(式 2)

二、利益項目

利益項目包括直接淨效益、引發效益與關聯效果以及其他可測算效益。直接淨效益係指直接毛效益扣除前述之營運、維護以及其他成本。而直接毛效益則包括因為投資而增加的產出增加或損失減少。就人工溼地淨水系統而言，該設施建置後所產生的再生水，卻能利用於灌溉或非接觸性的洗滌，直接減少自來水的利用。因此，再生水可視為產出增加，再生水使用而減少的自來水用量，則可依臺灣自來水公司每度用水收費標準換算產出的貨幣金額。至於人工溼地淨水系統建置帶來的生物棲養生態保育功能，因而引發的教育、遊憩休閒等效益，由於現階段並無適當的方法得以用貨幣型態計價，因此暫予以忽略不計。

$$\text{人工溼地淨水系統利益} = \text{再生水總使用量} \times \text{每度用水價格} \quad (\text{式 3})$$

三、總結

依前所述，吾人將利益扣除成本即為投資活動之報酬結果。因此，式 2 與式 3 可合併如式 4，此一報酬即其直接淨效益。至於本研究後續得就引發效益及關聯效果方面，繼續探求。

$$\begin{aligned} & \text{人工溼地淨水系統利益} - \text{人工溼地淨水系統成本} = \text{建置人工溼地淨水系統之報酬} \\ & = \text{再生水總使用量} \times \text{每度用水價格} - (\text{工程計畫設計費用} + \text{土地} + \text{建造成本} + \text{人事費用} \\ & \quad + \text{管理費用}) \quad (\text{式 4}) \end{aligned}$$

參考文獻

- 許正一、陳尊賢 (1995)，〈濕地土壤的定義、化育作用與分類〉，《科學農業》，第四十三卷第十一、十二期，頁 293-299。
- 蕭業儒 (1985)，《成本效益分析》，臺中：國彰。
- 嚴融怡、張家銘 (2002)，〈濕地土壤水文研究現況及其在農業科學上之應用〉，《科學農業》，第五十卷第七、八期，頁 311-325。
- Hermanson, Roger H. and James Don Edwards (1992), *Financial Accounting*. Boston: Richard D. Irwin.