

嘉南藥理科技大學補助專題研究計畫成果報告

人工溼地與污水處理廠淨水成本利益比較分析

計畫編號：150400-CN9825

計畫執行期間：98年8月1日至98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

人工溼地具有供作野生動植物棲地、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。國內外有關溼地研究，多以自然科學或工程角度切入問題，而以社會科學角度探討人工溼地問題者，並不多見。本研究係藉財務分析方法，以國內污水處理廠與人工溼地做為比較對象，對應兩種不同型態的淨水方式之成本利益。

關鍵字：人工溼地、污水處理廠、成本利益比較。

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）。依據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。臺灣主要之溼地有分布於西部沿海或溪流出口的紅樹林溼地，如關渡溼地、七股濕地等，以及淡水湖沼地，如夢幻湖溼地、大鬼湖溼地等。此外，若干潮間帶交會處，亦為溼地的分布區域。而早年以農業為主要產業的臺灣鄉間地區，常就地掘以埤塘蓄積水源，以利灌溉之所需。這類的人工埤塘，亦符合埤塘姆薩公約所謂溼地定義，惟以人為而成，故屬「人工溼地」。

近年臺灣部分溼地由於人為的破壞，使其景觀受到影響，更嚴重傷害其蘊藏物種、涵養水源的功能。因此，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。儘管溼地化學循環中所產生的甲烷（CH₄）與二氧化氮（N₂O）等是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，主要在於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，其研究範圍更應涵蓋經濟、社會、文化乃至於政治、外交層面。特別是再強調環境永續發展的此時，以回歸大自然的人工溼地行污水處理，來替代污水處理廠之淨水方式，格外具有意義。然而在今天事事講求成本效益的工商社會中，以人工溼地取代污水處理廠淨水使否較具效益，則是必須列入考量的範疇。因此，本研究乃財務比較方式，探討以人工溼地與污水處理廠進行污水處理，何者較具經濟效益。

貳、研究目的

隨著工商發達，人口激增，家庭及工業所帶來的污水較農業社會更為嚴重。為大量且迅速解決污水，人口集中的都會區幾乎以污水處理廠，處理大量的污水。這種處理污水的模式，固然可獲得迅速且大量處理污水的目的，但污水處理廠設施的建置，所費不貲，且耗用能源不低。除此之外，在今日民意高張的環境下，設廠的土地徵收、補償事宜，以及周邊住民的抗爭等，更考驗主事者的智慧。而就地利用臺灣鄉間普遍存在的的埤塘溼地控制截流污染物的能力，耗能相對較少，對環境系統的影響也最小，同時也可免於社區住民的抗爭，就永續發展的觀點，相當值得推廣。惟此種淨水模式無法滿足大量污水的處理，且受限於設置區位¹。本研究暫且排除區位因素，僅就溼地與污水處理廠兩種不同模式的淨水設施之成本利益，相互對應比較，以財務剖析人工溼地淨水系統與污水廠處理污水系統孰優。

參、文獻探討

本研究涉及「人工溼地」與「投資計畫經濟效益評估」兩部分文獻，茲就以上兩部分文獻，略述如下：

（一）「人工溼地」相關文獻回顧

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、二級生活廢水、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

¹ 一般溼地淨水模式處理污水必須配合埤塘，故以人口稀疏的鄉村地帶較為適合；都會區人口稠密，土地利用成本過高，不易採用溼地淨水模式處理污水。

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。

（二）「投資計畫經濟效益評估」相關文獻回顧

國內外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，除 2008 年吳建德接受嘉南藥理科技大學補助進行〈人工溼地淨水系統之成本效益分析模式〉之研究外，並不多見。故本研究即以前揭研究做為基礎，繼續以經濟財務觀點，探討人工溼地與污水處理廠兩種不同型態的污水處理模

式何者較優，冀為環保主管單位提供污水處理政策擬定之參考依據。

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—《水庫淤積浚滌成本效益評析研究》、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

(一) 研究方法

1. 研究屬性

所謂研究 (research) 係根據設定的目標 (問題假設)，依循一定程序 (研究方法)，

並忠於事實解決問題，以達成增加有用知識目的之過程。通常研究的型態可分為兩類，其一是發掘問題的研究，其二是解決問題的研究；發掘問題的研究係將既存事實透過系統性的方式有條理的呈現出來，但所呈現出來結果對於既存的事實並無具體的改變建議；解決問題的研究係將既存事實呈現出來的結果透過合理分析的程序提出解決方案。本研究係探討兩種不同類型淨水設施之成本利益，並以之為主管部門未來設定污水處理模式之參考依據，在研究型態上是屬於「解決問題的研究」。

此外，依研究內容的性質又可分為純研究（pure research）與應用研究（applied research）。純研究乃針對拓展尚未開發領域知識的研究，應用研究乃專注於現實生活問題的解決（謝安田，1979：14）。本研究主要討論不同型態污水處理設施的成本利益優劣，故從研究內容的屬性上來看係屬「應用研究」。

2. 應用方法

為進行兩種不同型態污水處理系統的成本利益比較，本研究先採以財務量化研究方法，分別取得人工溼地淨水系統與污水處理廠污水處理之單位成本利益，其後再行比較分析（comparison approach）。此外，研究過程中必須借重大量歷史文獻資料及數據進行分析判讀，故歷史文獻分析法（documentary-historical approach）構面的運用，亦不可缺乏。

（二）研究步驟

1. 研究流程

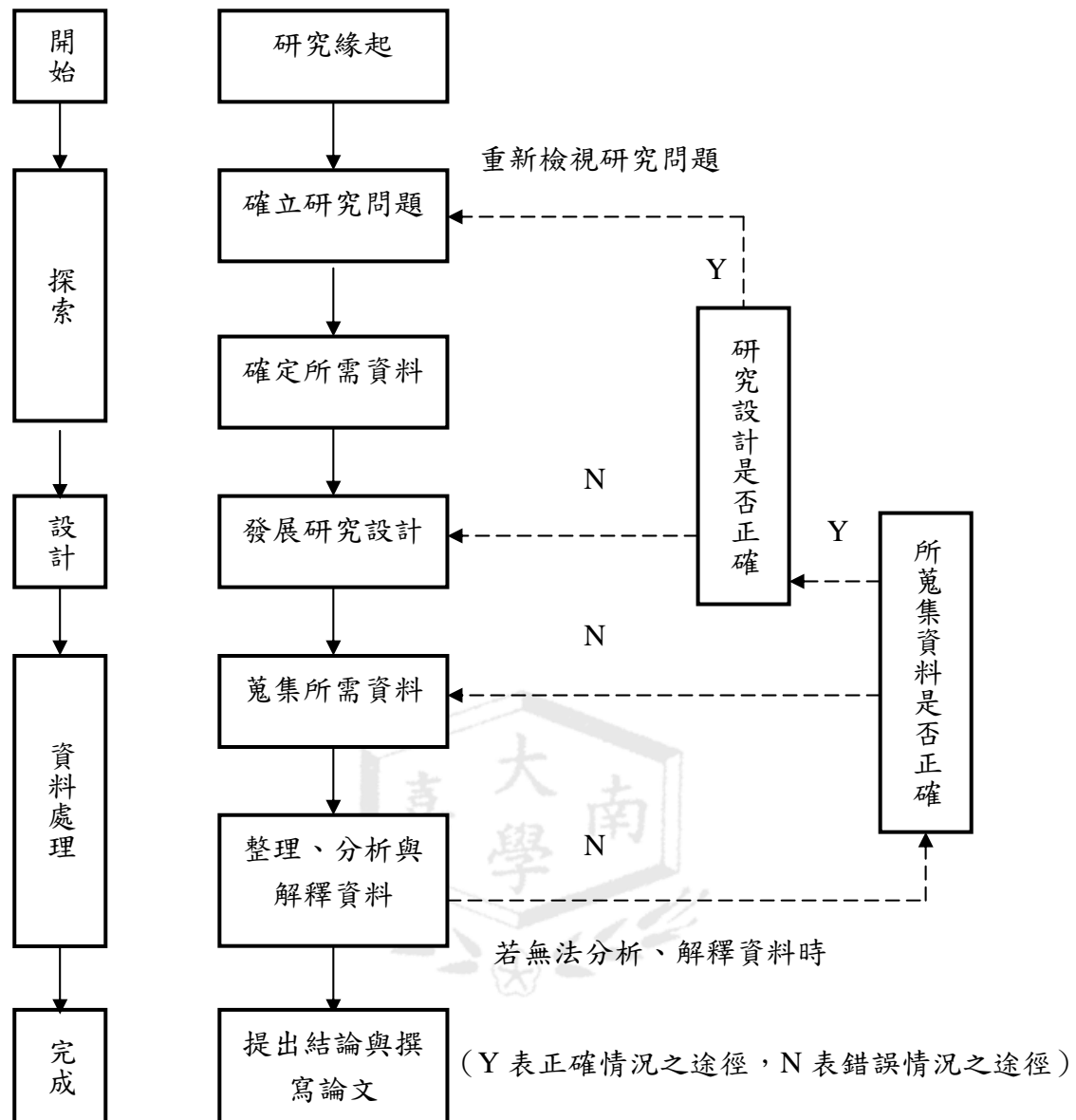
本研究係依據圖 1 流程進行，研究過程分為「開始」、「探索」、「設計」、「資料處理」及「完成」五個階段，以及「研究緣起」、「確立研究問題」、「確定所需資料」、「發展研究設計」、「蒐集所需資料」、「整理、分析與解釋資料」及「提出結論與撰寫論文」七項步驟。茲將五階段、七步驟內容說明如下。

首先，在開始階段，即研究緣起，主要是研究方向的形成。本研究緣起於近年環境永續觀念的受到重視，如何利用最小耗能、最少成本創造最大環境利益，將是吾人未來所面臨的課題。準此，乃有本研究之形成。此即本研究緣起。

其次，在探索階段分別有兩項步驟，第一步驟為確立研究問題。確立研究問題係針對形成之研究方向具體提出研究問題，並在研究問題中明確定義研究重點、研究動機、研究目的及研究範圍。第二步驟為確定所需資料。本研究所需資料包括國內外有關人工溼地、污水處理、財務管理、環境政策之相關論文、專著、期刊、報章社論及研究（調查）報告。

其三，在設計階段最重要的步驟就是發展研究設計；發展研究設計係根據研究問題，進行研究架構的規畫與設計。

第四，在資料處理階段分別有兩項步驟，第一步驟為蒐集所需資料。本步驟係依研究問題、研究所需資料及研究設計，經由國內外各大圖書館、資料中心、研究機構、政府相關部門、網際網路（internet）等途徑蒐集相關資料。第二步驟則為整理、分析與解釋資料，即將所蒐集之資料以人工或利用電子計算機加以整理、運算，並予以分析、解釋。



資料來源：本研究。

圖 1 研究流程設計

最後，在完成階段最重要的工作即是根據整理、運算、分析與解釋的資料，提出結論並撰寫報告。

假設在「整理、分析與解釋資料」步驟中，發生無法分析、解釋的困擾時，則必須重新檢視所蒐集的資料是否有方向偏誤或資料不全的情形。若有方向偏誤或資料不全的情形，則必須重新回到前一步驟—「蒐集所需資料」，重行蒐集或補足不全的部分，若蒐集所需資料均正確無誤，則必須重新檢驗研究設計上是否有缺陷。若研究設計有缺陷，則重新回到「發展研究設計」步驟，重新改良或再做研究架構的規畫與設計，若研究設計並無缺陷，則必須重新思索研究問題本身是否應當有所調整。

2. 步驟順序

本研究之進行步驟如下：

- (1) 依據〈人工溼地淨水系統之成本效益分析模式〉分析之人工溼地成本利益模式²，並以實際案例，求得人工溼地淨水系統之單位成本利益。
- (2) 接著依照前揭研究成果報告模式，取得污水處理廠成本利益模式。
- (3) 依據污水處理廠成本利益模式，並以實際案例，求得人工溼地淨水系統之單位成本利益。
- (4) 進行兩種污水處理系統成本利益比較，並提出結論與建議。

伍、結果與討論

一般在進行成本利益的比較，較常以總成本利益與平均單位成本利益量部分來看，茲分述如下。

一、總成本利益

總成本利益可分為成本項目與利益項目來看。總成本包括直接成本、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（吳建德，2009：5）。

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（吳建德，2009：6）。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（吳建德，2009：6）。因此，人工溼地淨水系統之成本項目，可以式 1 表示：

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

² 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)，詳可參見嘉南藥理科技大學補助專題研究計畫成果報告 150400-CN9735。

(式 1)

至於在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（吳建德，2009：7）。因此人工溼地淨水系統之利益，可以式 2 表示：

$$\text{人工溼地淨水系統利益} = \text{再生水總使用量} \times \text{每度用水價格} \quad (\text{式 2})$$

故人工總成本利益，可以式 3 表示：

$$\begin{aligned} & \text{人工溼地淨水系統利益} - \text{人工溼地淨水系統成本} = \text{建置人工溼地淨水系統之報酬 (a)} \\ & = \text{再生水總使用量} \times \text{每度用水價格} - (\text{工程計畫設計費用} + \text{土地} + \text{建造成本} + \text{人事費用} \\ & \quad + \text{管理費用}) \quad (\text{式 3}) \end{aligned}$$

至於污水處理廠總成本利益，則因處理污水過程必須耗用物料（化學藥品），另因加計物料費用，其式如下：

$$\begin{aligned} & \text{污水處理廠淨水系統利益} - \text{污水處理廠淨水系統成本} = \text{建置污水處理廠淨水系統之報酬 (b)} \\ & = \text{再生水總使用量} \times \text{每度用水價格} - (\text{工程計畫設計費用} + \text{土地} + \text{建造成本} + \text{人事費用} \\ & \quad + \text{物料費用} + \text{管理費用}) \quad (\text{式 4}) \end{aligned}$$

式 3 與式 4 之差（a、b 差）即可作人工溼地與污水處理廠淨水系統利益之比較。

二、平均單位成本利益

承前所述，相較於污水處理廠，人工溼地多建置在鄉村人口較不密集之區位，且規模也較小。因此，以前式 3 (a) 與式 4 (b) 兩者差作為比較，顯然會扭曲實際結果（污水處理廠淨水利益較人工溼地淨水利益為大），因此，必須再考慮平均單位成本。故另須將兩種類型污水處理系統的分別面積列入考量，使得以反映實際結果（如式 5）。

$$| a \div a_a - b \div b_a | \quad (\text{式 5})$$

a_a ：人工溼地涵蓋面積

b_a ：污水處理廠區面積

參考文獻

吳建德 (2009)，〈人工溼地境稅系統之成本效益分析模式〉，嘉南藥理科技大學補助專題研究計畫成果報告 150400-CN9735。

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。

謝安田 (1979)，《企業研究方法》，臺北：水牛。

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。

