

公開

密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：100101b110

行政院農業委員會九十四年度科技計畫研究報告

資訊庫編號：940628

計畫名稱：**考慮農業用水之中小型蓄水設施多目標經營評估
(第1年/全程2年)**

(英文名稱) **Study on multi-purpose management of storage
facilities considering agriculture demand**

計畫編號：94農科-10.1.1-利-b1(10)

全程計畫期間：94年1月1日至95年12月31日

本年計畫期間：94年1月1日至94年12月31日

計畫主持人：張良正

執行機關：國立交通大學

考慮農業用水之中小型蓄水設施多目標經營評估

Study on mutli-purpose management of storage facilities considering agriculture demand

計畫編號： 94 農科-10.1.1-利-b1 (10)
執行期間： 94 年 1 月 1 日至 94 年 12 月 31 日
執行機關： 交通大學土木工程學系
計畫主持人： 張良正教授

- 中文摘要

過去台灣以農業為主，為灌溉方便，部分地區設有中小型蓄水設施(滯洪池或埤塘)以利蓄水並提供部分農業用水。但隨著加入 WTO 後，農業用水形態已有不同，若能善加利用這些蓄水設施，並以多目標經營的方式進行適度的改善，不但可涵養水源，亦可就近支援農業及其他用水，甚至可以提供小區域滯洪及更豐富的生態環境，以及作為當地民眾休閒遊憩之用。

有鑑於此，本計畫提出目的在針對中小型蓄水設施進行水源、生態與滯洪等具多功能之多目標經營規劃探討。為充分模擬各標的間互動影響，本計畫將以系統動態學來進行系統模擬，並對各標的定義適切的量化評估指標，作為評估操作方式對各標的影響程度的依據。

- 英文摘要

Traditionally, agriculture areas without large centralized irrigation system may use farm ponds for irrigation in Taiwan. The ponds are used to storage and supply the water to fulfill the agriculture demand. However, after joining the WTO, the impact on agriculture will affects the agriculture demand. Therefore, to increase the efficiency and value of the farm ponds, it should change from the irrigation use only to a multi-purpose facility. The ponds can be used for water supply, flood detention and enhancing the ecological environment. By properly planning and management, the ponds can also be a recreation facility for local residents.

Accordingly, this project is to study the planning practice of multi-purpose management on the farm ponds. Although a ponds posses multiple functions seems attractive, the competition of the pond resources required by the different functions increases the complexity

of the system planning. Therefore, in order to analyze the tradeoff among the functions, this study applies the system dynamic to simulate the dynamic response of the pond system. The assessment indexes are defined to quantitatively indicate the achievement of the system operation on different functions. Basing on the indexes, numerical studies are performed using the dynamic model.

一、前言(研究緣起與目的)

過去部分的地區為了灌溉方便，設有中小型蓄水設施(如滯洪池及埤塘)，隨著加入 WTO 後，農業用水形態已有不同，若能透過多目標經營的方式善加利用這些蓄水設施，將可就近支援農業及其他用水，亦可提供小區域滯洪及更豐富的生態環境。

另一方面，近來國人逐漸意識到生態環境的重要性，使整個環境及生活品質提高，因此對於環境生態的維護逐漸重視，如生態工法及各種「綠色」措施的推動及宣導等。台灣原本是一個生態多樣及生物豐富的島嶼，但由於過去的快速開發，且均以人類利益為出發點，在擴展人類生存空間之餘，亦使得原有生態大幅縮減。然而，在兼顧生態環境的同時，社會發展的需求仍需適度滿足，因此，如何多方兼顧達到雙贏，乃是值得深思的課題。

有鑑於此，本計畫目的在完成兼具水源運用、生態景觀與滯洪功能的中小型蓄水設施之整體系統規劃構想，並藉由一模擬設計案例展示其功能與效益。此中小型蓄水設施可為新型態水資源永續經營的一環，以平原區的埤塘為例，其水源可為當地地表逕流，或是外來人工渠道引入，視其在水源運用及生態維護之需求而定，若經適當設計，其將可維持合適的水量和水質環境，來提供生態與景觀維護的需求，而提昇當地的生態及景觀的品質，若能適當地推廣，則對整個區域的生態品質應能有實質的提昇。亦可設計具有暫時儲留雨天之地表逕流，而達到降低區域排水量之滯洪效果。

二、文獻回顧

1. 生態標的資料蒐集

倘若中小型蓄水設施主要扮演提供生態景觀適宜性環境，其水質為其環境中最重要因子之一，而影響水體水質通常來自人類活動的結果，其中產生最嚴重的問題便是優養化問題。

對生態景觀標的而言，水質問題導致生態環境破壞進而影響湖泊生存的主要成因經常來自水體發生優養化現象，而其壓力來源便是氮、磷的量而引起。一般而言，內陸水體的光線、二氧化碳是非常豐富的，當下雨過後或者有廢污水排入時，氮、磷的含量便會增高，而在藻類的生長過程中，氮通常很容易進入到土壤當中，並經由土壤及地下水進入到水體當中，相反的，磷會殘留於土壤當中，然後慢慢釋放，因此，在自然狀態下磷才是藻類生長的決定性因素，在水資源經營管理計畫對於營養鹽的管理中，認為磷才是控制藻類生長的決定性因素（李麗雪等，2002）。

此外，在「中國湖泊富營養化」（1990）一書中曾經對中國 25 個湖泊、水庫調查優養化程度，調查發現在沒有污水處理系統情況下，大量廢水排入了這些內陸水體之中，導致城市型湖泊比鄉村型湖泊優養化更為嚴重，由此可知，人類行為（畜牧、農業、民生用水排放等）亦是間接影響水質的原因。相關研究均認為優養化問題是水污染問題中相當困難且繁複的問題，因此，針對生態景觀維護標的上，在水質部分所需優先注意的事項主要仍為預防優養化的情況發生，可以採取的措施為：

(1)控制外源性營養物質進入：主要是因為人類行為所導致，因此可以調查區域內之土地利用型態，尤其是座落之集水區上游，盡量避免有廢污水排放、畜牧等型態，此項亦與蓄水設施之位址選擇有關。除此以外，配合水質監測計畫，除了檢測一般水質項目（BOD, COD, DO 等）外，還可監測排放入湖體內之氮、磷濃度，計算出年排放氮、磷濃度，提供為實施控制外部污染源計畫。

(2)減少內源性營養物質負荷：但這部分是非常繁複的，必須充分了解湖體內水生動植物吸收利用情況，一般採取：(i)工程措施：曝氣方式補充氧的

方式來作簡易處理，使水與底泥介面間經常保持有氧狀態，有利於抵制底泥的磷釋放。(ii)化學措施：通常是包括凝聚沉降或以化學藥劑殺藻的方式（金嵐，1997）。(iii)生物措施：利用水生生物吸收利用氮、磷的方式來去除氮、磷營養物質，近年來較常被使用的方式是利用某些大型水生植物來淨化富優養化的水體，如鳳眼蓮、蘆葦等。

2. 水源運用標的資料蒐集

謝勝彥(2004)研究目的在於進行桃園農田水利會埤塘改善，以提升供水能力之探討。根據調查桃園農田水利會目前共有埤塘 285 口，有效蓄水量為 4,653 萬立方公尺，可進行蓄水及調配水量，以補充灌溉水量之不足，因此如能充份運用桃園農田水利會灌區之埤塘進行蓄水調配，將有助於該地區之水資源運用。其研究根據各溪流之旬流量扣除已有之水權量，並考量渠道容量及可列入之水量條件下，計算各溪流剩餘可開發水量；其次以埤塘之入流量進行模擬演算，當原埤塘集水或攔河堰供水已足供埤塘所需之水量時，可用原埤塘集水或攔河堰水源進行供水；當不足時，水庫再放水以供應不足之水量。若供水無法滿足需水量時，則視為缺水，經由計算後可得其缺水總量。

經由埤塘改善方案以增加埤塘之供水能力，減緩桃園地區供水之壓力，以因應該地區經濟產業繁榮發展及日益迫切的用水等問題。

3. 滯洪標的資料蒐集

林文欽(2004)指出利用既有建築物之公有開放空間，如社區公園綠地、停車場、地下室等等，配合實際需求規劃設置雨水貯留的設施；然後選擇合適的地點，再配合集水區的流域路徑做為貯留的系統，並利用雨水截流的方式把雨水貯留下來；當逕流量超過渠道設計流量，則引水排入貯留設施，等逕流量小於渠道設計流量時，再將貯留設施之水排到渠道。亦提到加拿大渥太華市 Lebreton 公園特別設置雨水滯留池以調節暴雨時的都市排水。此雨水滯留池設計貯水量為 76000 公升，雨水由周圍的住家屋頂及公

園內引水貯存。此水池可將貯水慢慢排放到都市雨水道系統，貯存水延遲在兩三天內釋放完畢，以降低都市洪峰，而水池在冬天可變成結冰而提供滑冰運動，在夏天則變成戲水池，為一個多功能的水池。本計畫妥善利用中小型蓄水設施雨水貯集，以分散部份洪水體積，藉此使得洪峰消減與延後。

三、研究方法

1. 各標的之資料收集

蒐集目前國內外對於水資源和生態永續經營之相關資料，以及中小型蓄水設施之各標的相關資料及其他相關研究報告，如生態景觀、水源運用及滯洪等標的，供後續分析之用。

2. 各標的之關係探討

在此步驟中，將先就生態、水源運用及滯洪之不同標的，就在操作上及時空上的互動或互斥關係，探討不同時期之為達成各標的所需之系統功能。

3. 各標的量化模式之建立

為了驗證上一步驟所建立之整體系統規劃設計原則，在此步驟中，將依次建立針對生態、水源運用及滯洪之量化分析技術。經由量化分析技術之建立，可作為中小型蓄水設施對於不同標的貢獻之量化評估工具。

4. 模擬案例規劃及建立

先依由初步建立之整體系統規劃設計原則初步建立假想案例，透過情境模擬，來量化評估此所建立案例各標的。

5. 案例分析

選用系統動力學可將不同的標的做一連結，觀察之中不同的操作改變時各標的所造成的回應。當不同的操作模式使得考量標的之一超過了系統負荷時，便必須調整操作策略，直到所考量的標的所對應的評估指標值都落於容許範圍內。

於豐枯水時期功能探討

一般而言，當未引進任何如河川等其他水源時，內陸水體的主要依賴水源量便是降雨，台灣係屬豐枯時期顯著的氣候型態，且一年之中會有數個颱風來襲，此為內陸水體操作時不可忽略的問題，因此本文將分別說明中小型蓄水設施於水源運用、滯洪與生態景觀為主要標的時，依據豐枯時期區分為平常時期、乾旱時期與洪水時期，中小型蓄水設施為因應其基本需求所反應之操作方式及強調之功能，圖 1 表示在不同時期之下，為達成多功能各標的需求之系統功能。

(1)平常時期：

由於本研究中所考量的中小型蓄水設施標的為水源運用、滯洪及生態景觀，因此在平常時期，中小型蓄水設施便可提供水源運用及維持生態景觀環境兩者之功能，在水源運用中，除了經常性水源供應之外，尚可透過入滲單元對地下含水層進行補注，以供乾旱時期使用。

(2)乾旱時期：

在乾旱時期，水體仍需負有維持基本生態景觀環境之功能，而在水源運用上則可依據平日供水對象及週邊水源支援狀況採取減供或不供的策略來因應。

除此以外，倘若在乾旱時期，水體內水位可能因蒸發散等因素低於地下水位，則地下水將由湖底或周圍滲入湖中，產生集水效應，進行供水。整體而言，當乾旱時期長且面臨緊急狀況時，均可以抽取地下水，以解決短期因為乾旱所造成的缺水問題。

不論是平常時期或乾旱時期，中小型蓄水設施均直接提供維持生態景觀環境所需之水源，而水體本身，則可以有調節溫度的作用，使得週邊的綠色植物降低溫度，透過光合作用，吸收二氧化碳，也可以減緩溫室效應，並提供周圍植物所需之水分，同時也提供動物棲地，以及生物生存之空間。

(3)洪水時期：

由於目前土地利用已開發面積越來越多，都市或工業區等鋪面多數已由水泥、瀝青等不透水材料所組成，阻絕了雨水滲透的機會，使得雨水透過地表直接逕流排出。本計畫所提及之中小型蓄水設施主要位置分散於開發區域，因此，除了可以將雨水入滲到地下含水層外，尚可將部份雨水貯存，以減少尖峰逕流量，降低區域排水系統之負擔減少，便可以達到降低洪峰流量之滯洪效果，此亦為滯洪的意義。

然而，倘若為了增加滯洪功能，則可以增加可蓄水體積，最直接的作法便是增加中小型蓄水設施之容積或降低滯洪操作時所空出空間以增加滯洪體積，儘管降低中小型蓄水設施的水位將會影響供水，但是若該開發區並無足夠之滯洪能力時，中小型蓄水設施便必須在保護人民生命安全為前提的考量下，以滯洪標的為主要考慮因素，雖然暴雨往往會對於中小型蓄水設施之生態景觀環境造成破壞，而此時對於中小型蓄水設施之水生植物或景觀植栽應選擇當地物種，以利生態景觀環境之容易復原。

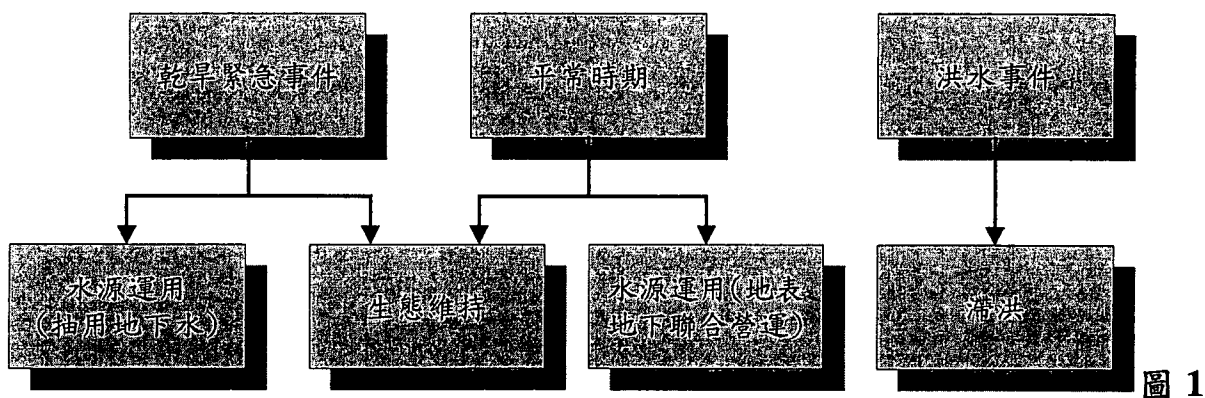


圖 1 不同時期之中小型蓄水設施功能示意圖

四、研究結果

目前多數國家對於湖泊與水庫的監測及研究中，認為內陸水體最嚴重的問題乃是優養化問題，國內之水庫水質調查結果亦有相同情況，故選定優養化為規劃時的生態景觀替代評估指標。一個湖泊在養份豐沛的狀態時，易造成水質優養化，水體優養化依其營養鹽的來源可概分為天然性優養化及人為優養化兩大類，優養化是由水中的營養鹽如氮、磷等的過量增

加，使藻類大量增生覆蓋水面，有時將陽光全部遮蔽，使得底下的植物、魚、蝦死亡；而且動、植物屍體分解時會消耗水中的氧，形成不斷缺氧的惡性循環。其中又以氮和磷影響最大，此外，在水資源經營管理計畫對於營養鹽的管理中，認為磷才是控制藻類生長的決定性因素（李麗雪等，2002）。故本計畫將選定總磷的濃度來當作評估湖泊生態景觀的評估指標。而評估湖泊水質優養化與否的標準，依據世界經濟合作發展組織(OECD)之湖泊水庫優養程度分級標準，如表 1 所示：

表 1 湖泊水庫優養程度分級標準

總磷 ($\mu\text{g/L}$)				
貧養	貧養—普養	普養	普養—優養	優養
<7.9	8~11	12~27	28~39	≥ 40

本計畫選用桃園大圳第二支線第七號池作為規劃設計之概念為主之模擬案例，並將整個模擬案例的基本條件假設如下：

(一)面積為 6.65 公頃，最大深度為 2 公尺。

(二)集水區面積為 100 公頃。

(三)模擬期程為 2004 年。

(四)雨量資料採用距離桃園大圳最近之雨量站。

(五)本模擬案例同時考慮水源運用、滯洪及生態景觀三個標的，為能在枯旱時期或暴雨來臨前實施排水時，仍能維持湖體內基本生態景觀所需水量，因此假設一生態基本維持水深（所對應的地表蓄水單元水量稱之為生態維持水量）30 公分；此外，為使平時湖體內水量能提供適合休憩的景觀維持水深，則定義其景觀維持水深假設為 1 公尺。

(六)假設多功能埤塘開始操作之起始蓄水量為 50000 立方公尺，大約等於水深 1 公尺。

(七)忽略蒸發散等損失。

當埤塘（地表蓄水單元）同時考量水源運用、滯洪、及生態景觀標的時，所共同的組成單元為引排水單元、地表蓄水單元及入滲單元；倘若將滯洪標的考慮為因暴雨引起之特殊情況所引發，則同時考量生態景觀與水源運用標的時，所共同需要之單元為引排水單元、地表蓄水單元、入滲單元、輔助水源單元及水質處理單元，對於本案例來說，所需要之引排水單元可以為引水渠道、湖體滿水位時或因應暴雨來臨前所需要之排水設施，對於本模擬案例中之水質處理單元，則因所引入之水源以降雨之逕流量為主，且供水目標為非民生用水，因此對水質的要求不需太嚴苛，故假設於地表蓄水單元前端設置一溼地，主要功能用以吸附部分磷，以降低排入湖體之磷體積，而減緩湖體優養化之速度。而入滲單元則可以是砂樁或其他高滲透之地工材料，以提供多餘之水入滲至地下水層，輔助水源單元則主要為

因應湖體內水量不足以維護基本生態景觀水量時，所需要使用之抽取地下水設備。

問題的定義：

由於都市開發迅速、工業發展興盛，造成原本自然水域環境及生態遭到破壞，導致某些水域生物數量大量減少以致瀕臨絕種。而都市或工業區通常只有陸域生態系存在，倘若在此種地區創造一健康的水域環境，藉以吸引水域生物及兩棲生物，讓原本只有陸域生物地區多增加了水域生物及兩棲生物的物種，在生態方面不但增加了生物的多樣性，對大自然而言也回復了一些自然景象。由第肆章及第伍章之討論，可知道對於內陸水體來說，最主要影響因子乃是水質(營養鹽)，故水質的控制乃是內陸水體最重要的課題，而湖泊最大的問題則是優養化現象，乃是由於水中的營養鹽含量過高，導致藻類大量繁殖、藻類生長太快而引起的問題，而湖泊中總磷(營養鹽)的濃度對於藻類生長有著決定性的關係，故控制優養化問題之主要管理因子為總磷的含量，並藉由降低總磷的含量來減緩藻類的生長，使其不產生優養化。本案例以系統動力學來建置埤塘系統內總磷的含量與基本湖泊生態系中之關係，其中，基本湖泊生態系的關係採用 Jørgensen(1994)所介紹的湖泊生態模式，該模式之建置概念敘述如下：

湖泊中的藻類生長會受到磷的濃度(營養鹽)與光線的影響，隨著水中磷的濃度及光線增加，藻類生長速率也會隨之增加，等到藻類死亡後形成為碎屑，浮游植物和碎屑則會形成沉積物，在本研究中則不考慮沉積物。部分碎屑會因為存於水中而溶解出來形成溶解磷狀態。該湖泊生態模式以一組聯立微分方程式作描述，主要包括三種狀態變數，分別為浮游植物的濃度($Phyt$)、碎屑磷濃度($PDet$)、和溶解磷濃度(PS)。

系統的描述：

以生態景觀標的下，所考量之整體系統描述如圖 2 所示，整體系統設計分為結構與非結構性表示：

結構性：與水源、滯洪系統一致以水量流為主體。系統包含埤塘(地表蓄水單元)及溼地(水質處理單元)。

非結構性：如圖 3 所示，埤塘系統內之非結構性系統，包含有溶解磷(離子態)、浮游植物及碎屑磷(固態)等系統(皆屬於生態輔助單元)，整個系統以水質流為主體，倘若總磷的濃度(營養鹽)流進湖泊內太多，將會造成浮游植物大量繁殖，而使埤塘產生優養化。

圖 2 之箭頭方向(水質流動方向)可以瞭解，透過降雨在地表形成地表逕流，而地表在經過逕流的淋洗後，會將地表所蘊藏的營養鹽一併帶走，而這些帶著營養鹽的逕流將被引入溼地中，先透過溼地吸附逕流中的部分營養鹽濃度，然後再進埤塘系統，在一個健康的水環境下，可以有穩定的水循環流動，因此，非結構性系統也會隨著湖本身水流動而損失，亦即溶解磷、浮游植物及碎屑磷會隨水流出而流出埤塘，圖 3 中最右邊的箭號即代表溶解磷、浮游植物及碎屑磷流出埤塘。當營養鹽進入埤塘中，經由生物食物鏈的增減關係進而影響湖泊內之營養鹽，如圖 3 所示。在本案例中，由於地表逕流先經過濕地處理後才進入埤塘，故假設進入埤塘的營養鹽只有溶解磷，因此，營養鹽進入埤塘後將會提高湖中溶解磷的濃度，部份溶解磷可以提供浮游植物生長所需之營養，浮游植物死亡後則會形成碎屑磷，且碎屑磷在水中則會溶解成溶解磷，而溶解磷、浮游植物和碎屑磷會因為湖水流出而流出埤塘。

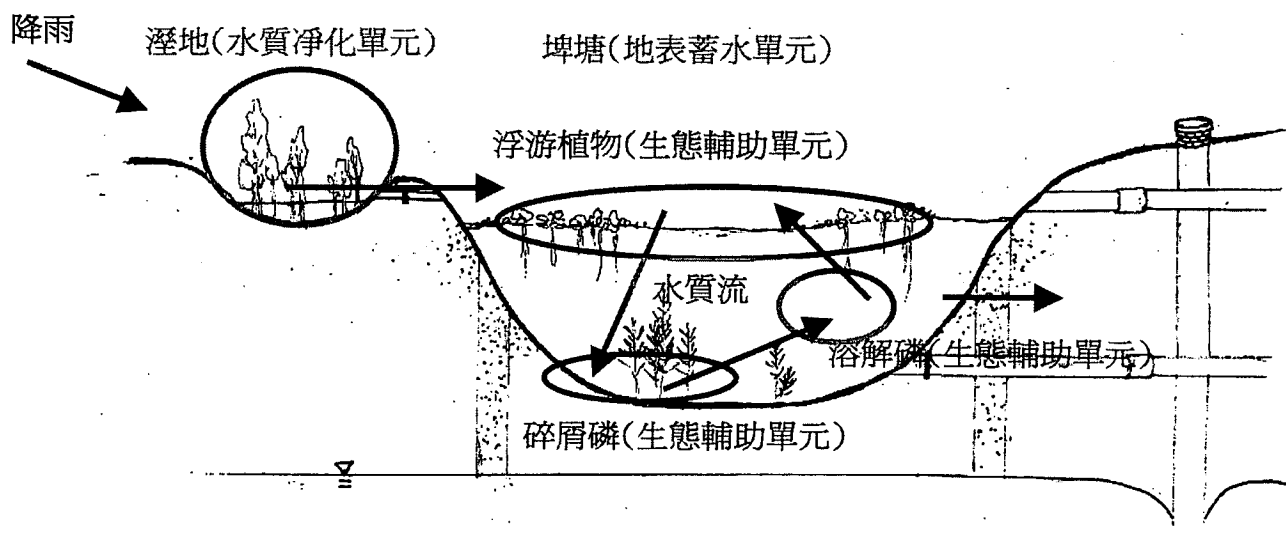


圖 2 生態景觀系統描述圖

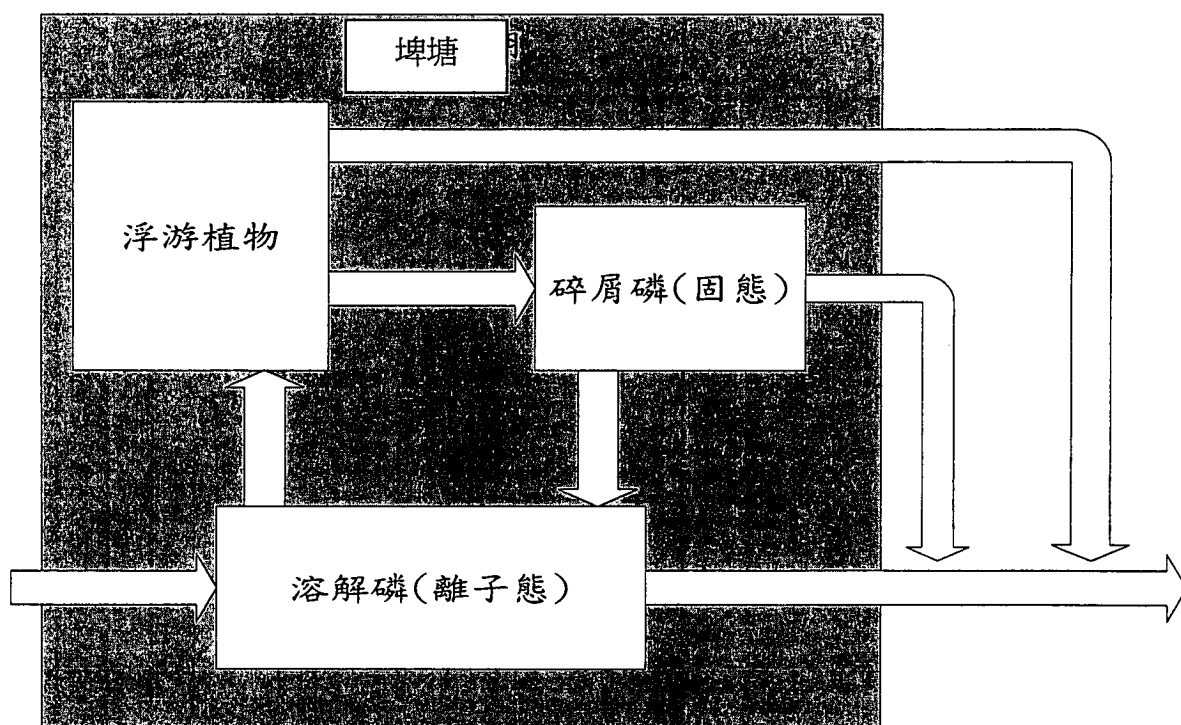


圖 3 埤塘非結構系統示意圖 (Jørgensen, 1994)

因果關係：

依據前述對於問題的定義及系統的描述，繪製因果回饋圖如圖 4 所示，由因果回饋圖可以瞭解兩個變數間之關係為正向或負向，圖 4 上方之逕流總磷濃度受到經逕流淋洗出來的磷總量與總降雨量的影響，總降雨量越大的話則逕流總磷濃度會越小，逕流淋洗出來的磷總量越多則逕流總磷濃度會越大。而埤塘前端所設置之水質處理單元（溼地），可以去除部分逕流中的營養鹽，假設經過溼地吸附處理後，營養鹽內只剩溶解磷，如此一來，流入埤塘的溶解磷越多則埤塘本身的溶解磷濃度亦越高，埤塘溶解磷濃度越高時可提供浮游植物生長的磷也越多，提供的磷越多則埤塘浮游植物濃度也越大，浮游植物濃度越大時消耗的能量也越大，當光線強度越大則利於浮游植物的吸收磷濃度。在死亡率固定的情形下，浮游植物濃度越大，則碎屑磷的濃度也越大；倘若在固態磷釋放率為定值的情況下，埤塘內的碎屑磷濃度越高，則釋放成埤塘溶解磷的濃度亦越高。而埤塘溶解磷與碎屑

磷加總的數值越高則優養指標也越高，優養指標越高則去除率也必須要越高。

在圖 4 右方所形成的兩個正迴圈表示埤塘溶解磷、浮游植物、碎屑磷之濃度會越來越高，如此一來，此埤塘便很快形成優養化的狀況，該圖左方有一個負迴圈，代表意義為利用水質處理來抑制右邊的正迴圈，使埤塘不會產生優養化現象。

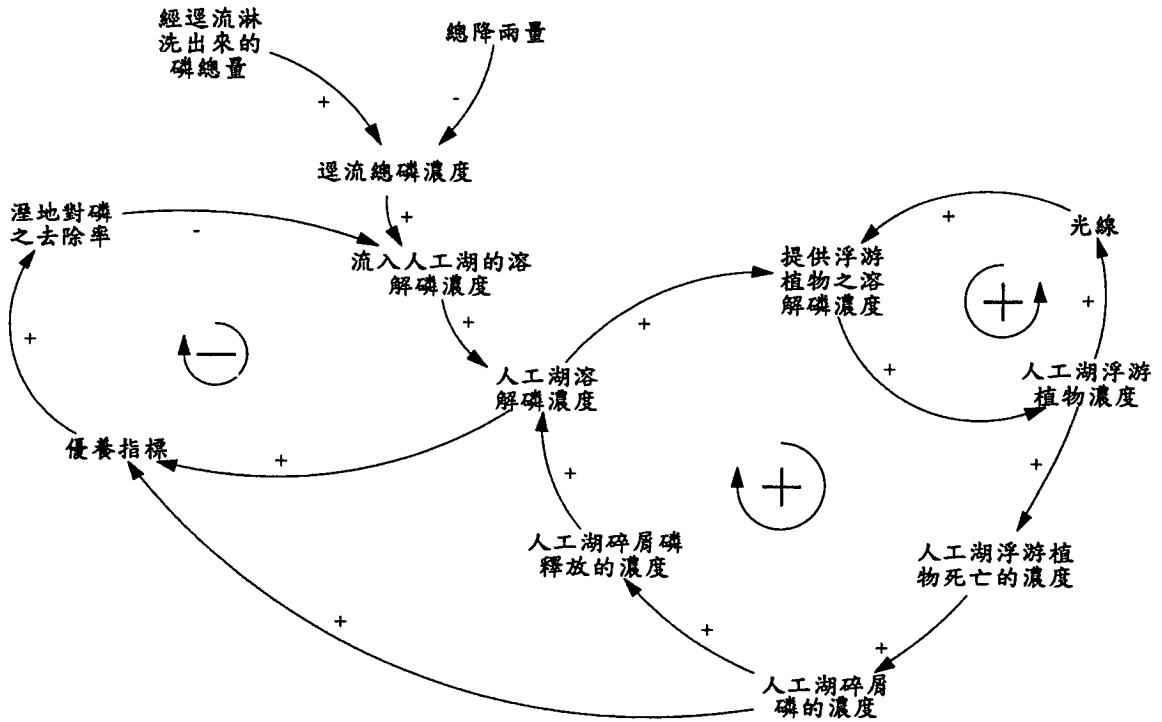


圖 4 生態景觀系統因果回饋圖

動力模型建置：如圖 5 所示。

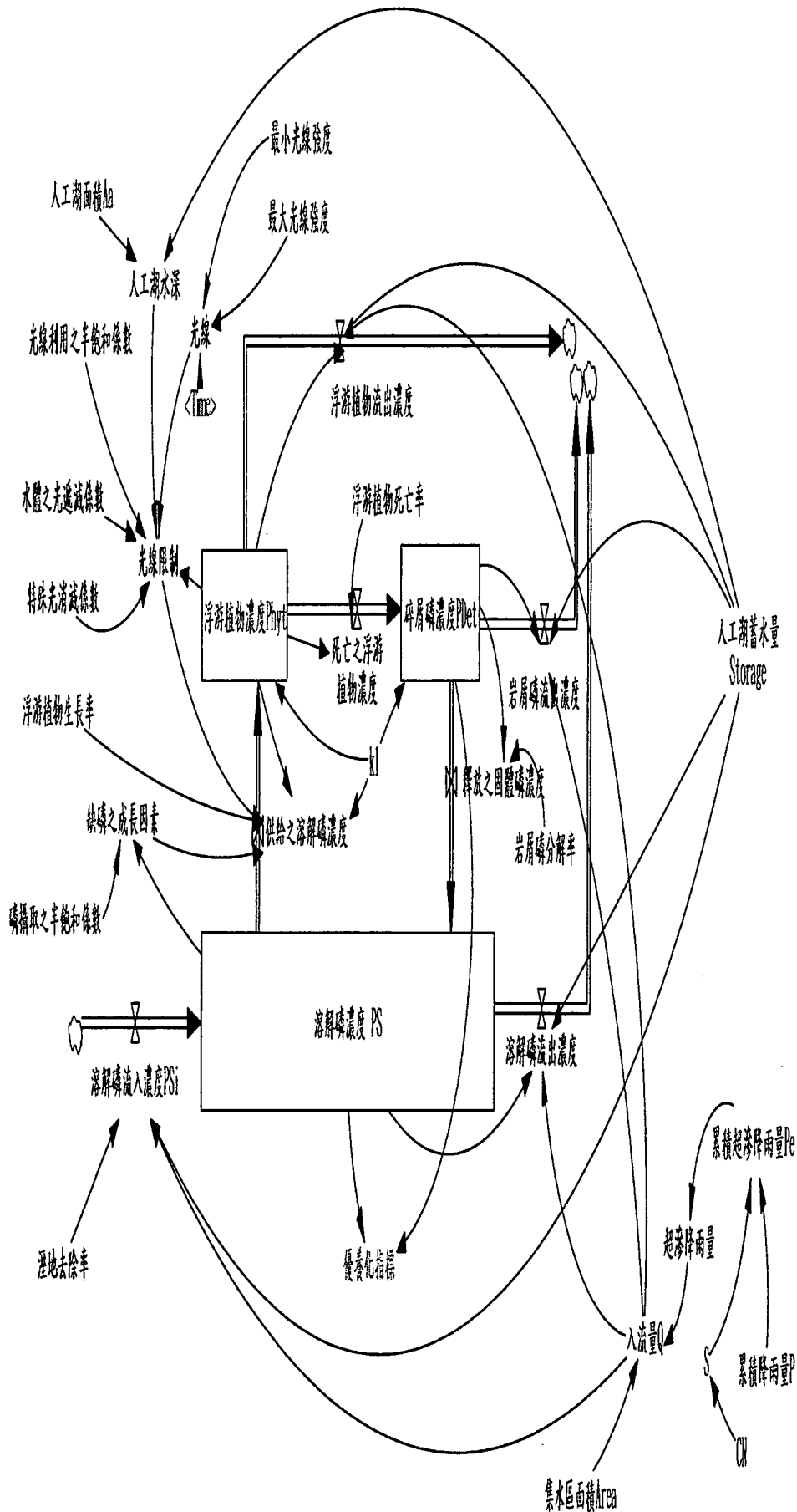


圖 5 生態景觀運用系統動力模擬圖

依據因果回饋圖及系統描述，將本模擬案例的水源運用標的之動力模型建

置如圖 5，而在進行模擬時所需要使用的參數及條件則描述如後。

估算入流量：

與水源運用標的一樣，入流量推估是整個模擬的開場，且此處之入流量即為水源運用標的所推估之入流量。

估算埤塘蓄水量：

利用水源運用標的所建置之模式（埤塘蓄水量=入流量+地下水抽取量-入滲量-供水量-溢流量），採用水源運用標的所模擬出各時刻的埤塘蓄水量。

估算入流溶解磷濃度（參考曾文水庫非點源推估）：

利用濃度計算方法（總磷量/總水量）推求出入流逕流溶解磷的濃度，總磷量則利用非點源污染估算方法來推估，然而根據調查顯示，不同區域之非點源污染輸出係數差異極大。由於本案例位於台南工業區內，因此參考曾文水庫之輸出係數（黃建智，民國 91 年），並假設土地利用型態多為農地，由表 7.5 可以查出總磷輸出係數為 0.5，進而可以計算出一整年集水區所排出的磷總值量=0.5（kg/ha-yr）×100（模擬案例集水區面積）=50kg。

操作原則：

本模擬案例的系統配置上，於埤塘前端加入溼地為水質處理單元，並假設該溼地對磷的去除率為 70%。

表 4 曾文水庫集水區內各種土地利用非點源污染輸出係數

發生源	土地使用類別	污染輸出係數(kg/ha-yr)					參數來源
		BOD5	SS	COD	TN	TP	
林地	天然林、人工林	5	85	—	1.6	0.25	註 1
農地	旱田、苗圃、水稻田、其他墾地	—	—	—	16	0.5	註 1
茶園		5.5	3.7	—	20.2	0.03	隙頂茶園
檳榔園		—	100.1	59.5	14.9	0.32	永興橋
果園	山葵園	18	129.4	—	26	1	註 2
養雞場		—	—	0.078*	0.003*	0.002*	大埔鄉泰山附近
建地	社區、部分遊樂區	191	504	292	15.9	2.77	台南竹溪
其他(一)	草生地、河流	—	—	—	1.0	0.1	翡翠水庫
其他(二)	崩坍地、荒地、道路、墓地、岩磐	—	—	—	3.5	0.5	翡翠水庫
游憩區	嘉義農場	—	1233	21	5.1	1	走馬瀨農場

註 1：陳秋楊教授，「德基水庫水質維護與集水區土地利用管理之整合研究」，中美非點源污染控制管理與技術合作研討會論文集，87 年 3 月。

註 2：文獻出處同註 1，不過梨山果園農作型態與曾文水庫不相同，TP 輸出係數(kg/ha-yr)梨山果園採 7.3、菜園 5.4，比本文估計之社區合流式下水道之 2.77 高出甚多。經評估之後，設茶園為 2，而曾文水庫集水區內之果園還包括了施肥量很少的破布子在內，所以比茶園低，設為 1.0。

系統動力模式變數及函數說明：

表 5 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表

名稱	變數性質	意義	函數	單位
CN	Variable	Curve number, CN	其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同，詳見 Tung and Haith(1995)。	
S	Variable	簡化用轉換函數 (CN)	$(25400/CN)-254$	mm
P	Variable	超滲降雨(實際每日降雨量)	GET XLS DATA('雨量資料.xls', '2001 日雨量', 'B', 'D1')	mm
Pe	Variable	累積超滲降雨量	IF THEN ELSE(累積降雨量 $P > (0.2 * S)$, ((累積降雨量 $P - 0.2 * S$) ²)/(累積降雨量 $P + 0.8 * S$), 0)	mm
超滲降雨量	Variable	超滲降雨量	累積超滲降雨量 Pe-"前一時刻超滲降雨量"	mm
Storage	Variable	埤塘蓄水量	GET XLS DATA('埤塘蓄水量.xls', '2001', 'B', 'C1')	m ³
Q	Variable	入流量	(超滲降雨量/1000)×集水區面積 Area	m ³
Area	Variable	集水區土地面積	1000000	m ²

表 5 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
Aa	Variable	埤塘表面積大 小	65500	m ²
埤塘水深	Variable	埤塘蓄水深度	埤塘蓄水量 Storage / 埤塘面積 Aa	m
PS	Level	埤塘水中磷離子狀態的濃度	"溶解磷流入濃度 P _{Si} "+"釋放之固體磷濃度"- "供給之溶解磷濃度"- "溶解磷流出濃度" initial : 4	mg/l
Phyt	Level	埤塘水中藻類的濃度	+("供給之溶解磷濃度"/k ₁)-"浮游植物流出濃度"- "死亡之浮游植物濃度" initial : 0.02	mg/l
PDet	Level	埤塘水中藻類死亡所產生固態磷濃度	+("死亡之浮游植物濃度"*k ₁)-"碎屑磷流出濃度"- "釋放之固體磷濃度" initial : 0.02	mg/l
P _{Si}	Level	經逕流流入埤塘的溶解磷濃度	(0.134*(1-溼地去除率))*(入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage)	mg/l
優養化指標	Variable	為埤塘之總磷濃度	("溶解磷濃度 PS"+"碎屑磷濃度 PDet")*1000	μg/l
供給之溶解磷濃度	Rate	埤塘中溶解磷提供藻類生長的濃度	浮游植物生長率*光線限制*"缺磷之成長因素"*k ₁ "*浮游植物濃度 Phyt"	mg/l/ day

表 5 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
死亡之浮游植物濃度	Rate	埤塘中藻類死亡後轉變成磷的濃度	"浮游植物死亡率"*"浮游植物濃度 Phyt"	mg/l/day
釋放之固體磷濃度	Rate	埤塘中碎屑磷溶解成離子磷的濃度	碎屑磷分解率*"碎屑磷濃度 PDet"	mg/l/day
溶解磷流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的溶解磷的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage)<=1, "溶解磷濃度 PS"*(入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage), "溶解磷濃度 PS")	mg/l/day
浮游植物流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的浮游植物的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage)<=1, "浮游植物濃度 Phyt"*(入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage), "浮游植物濃度 Phyt")	mg/l/day
碎屑磷流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的碎屑磷的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage)<=1, "碎屑磷濃度 PDet"*(入流量 Q/埤塘蓄水量 Storage), "碎屑磷濃度 PDet")	mg/l/day
光利用之半飽和係數	Variable	光利用之半飽和常數	400	

表 5 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
水體之光透減係數	Variable	水體之光透減係數	0.25	
光消減係數(浮游藻類)	Variable	浮游藻類所導致之光透減係數	0.18	
光線限制	Variable	藻類生長限制因素	$LN((光線+光線利用之半飽和係數)/(光線*EXP(-(水體之光透減係數+特殊光消減係數*浮游植物濃度 Phyt))*"埤塘水深")+光線利用之半飽和係數))/((水體之光透減係數+特殊光消減係數*浮游植物濃度 Phyt))*"埤塘水深")$	
最小光線強度	Variable	單位面積光線最小強度	500	Kcal/m ²
最大光線強度	Variable	單位面積光線最大強度	4500	Kcal/m ²
光線	Variable	光線強度	$最小光線強度 + ((1 + SIN((2 * Time / 360 - 0.5) * 3.14)) / 2 * 最大光線強度)$	Kcal/m ²
浮游植物生長率	Variable	藻類成長率	1.5	

表 5 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

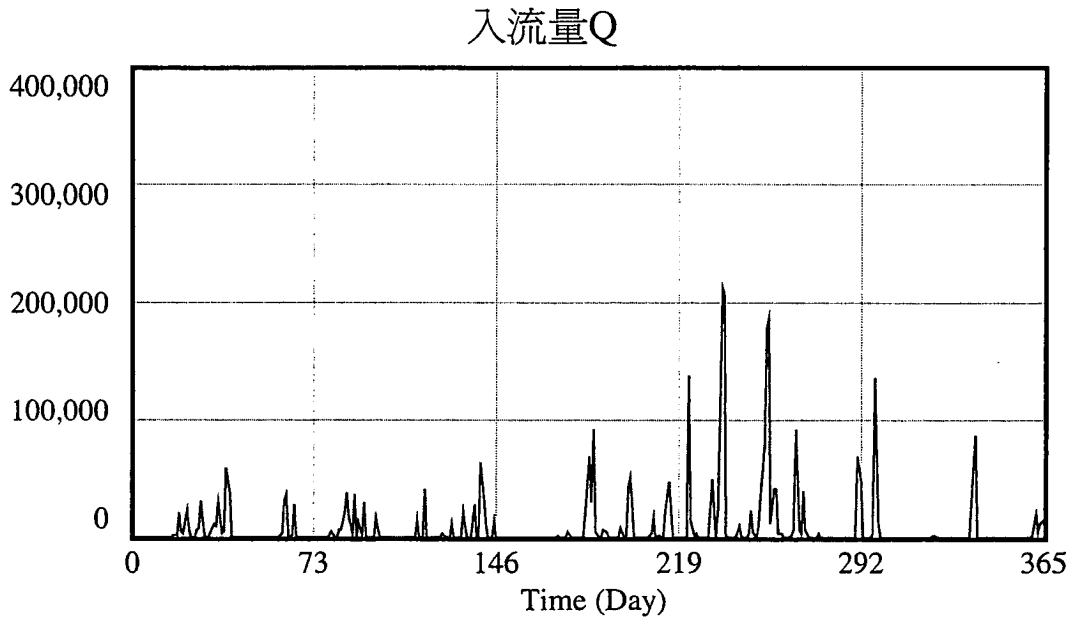
名稱	變數性質	意義	函數	單位
磷攝取之半飽和係數	Variable	磷攝取之半飽和常數	0.2	
缺磷之成長因素	Variable	因磷短缺之生長限制	"溶解磷濃度 PS"/("溶解磷濃度 PS"+磷攝取之半飽和係數)	
浮游植物死亡率	Variable	藻類死亡率	0.05	
碎屑磷分解率	Variable	碎屑磷溶解呈離子狀態速率	0.1	
k1	Variable	單位磷濃度/單位生物濃度	0.01	
溼地去除率	Variable	溼地去除率	0.7	

模擬案例分析與說明：

依據雨量資料，以 2004 年整年之日雨量資料來做為案例模擬基礎資料，埤塘蓄水量會受到雨量和水源標的操作原則影響而變化，並會在本標的中影響到溶解磷的濃度、浮游植物的濃度、以及碎屑磷的濃度，至於模擬結果描述於後。

因模擬案例的背景相同，所以生態景觀標的之入流量與埤塘蓄水量推估結果與水源運用標的相同。入流量如圖 6 所示，模擬時刻第 200 天到 285 天

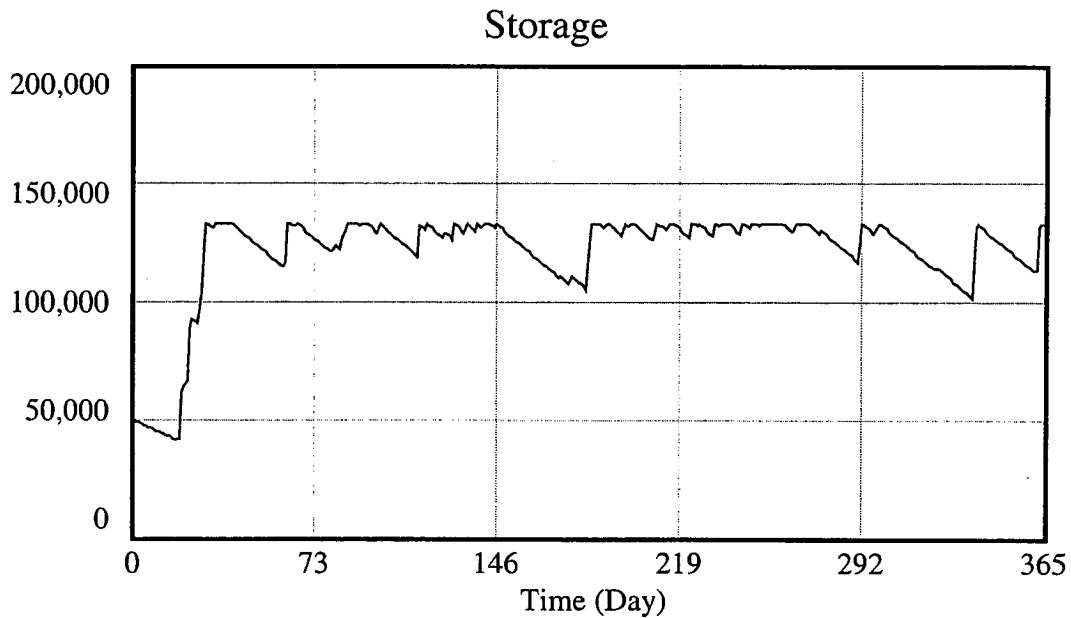
時，由於降雨密集且強度大，而使得在入流量出現尖峰值。埤塘的蓄水量如圖 7 所示，初始蓄水量為 50000 m³，等到埤塘蓄水量在第 25 天後逐漸蓄積且於第 68 天時趨於滿庫，到模擬時刻結束，蓄水量都維持穩定狀態。



入流量Q: case1-1

圖 6

入流量模擬結果圖 (生態景觀)



Storage : case1-1

圖 7

埤塘蓄水量模擬結果圖（生態景觀）

此標的選用總磷的濃度來作為優養化的指標，依據世界經濟合作發展組織 (OECD) 之湖泊水庫優養程度分級標準總磷分級，當優養指標大於 $40\mu\text{g/L}$ 代表可能產生優養狀態。本模擬案例假設於前端設置一溼地（假設去除率為 0.7），且埤塘體之模擬初始總磷濃度為 $40\mu\text{g/L}$ ，圖 8 則為總溶解磷之模擬結果，由該圖可以看出，埤塘的總磷濃度若低於 $40\mu\text{g/L}$ 則表示湖體尚屬健康，而不致使湖泊產生優養情形。模擬時刻在蓄水初期，此為緩衝的時段（如圖 7），導致蓄水量小，溶解磷大量流入湖泊，故在此時段的總磷濃度大於標準，但由於磷會隨著水流出湖泊，因此當模擬時刻於此三時段後總磷濃度會逐漸下降且趨於穩定。倘若沒有降雨時所模擬出來總磷數值大於標準，建議要提高溼地去除率或是在埤塘系統內加入其他淨水設施，來降低營養鹽的濃度，使埤塘不至於產生優養化的情況。

其他溶解磷濃度、浮游植物濃度及碎屑磷濃度等：溶解磷濃度模擬結果如圖 8 所示，由於在模擬期時距離有溶解磷入流至埤塘內，且部分溶解磷必須提供給浮游植物生長使用，故溶解磷濃度相當少。浮游植物濃度模擬結

果如圖 9 所示，由於在模擬期時距 26 天之前均沒有雨量入流進埤塘，隨著浮游植物的生長，所以浮游植物濃度會慢慢升高，等到雨量流進埤塘，蓄水量穩定後，故浮游植物濃度立即被稀釋。碎屑磷濃度模擬結果如圖 10 所示，隨著蓄水量增加，所以碎屑磷濃度會慢慢稀釋。模擬時刻 146-270 天之間為降雨非常密集的時段（雨季），故碎屑磷濃度則降得更低。

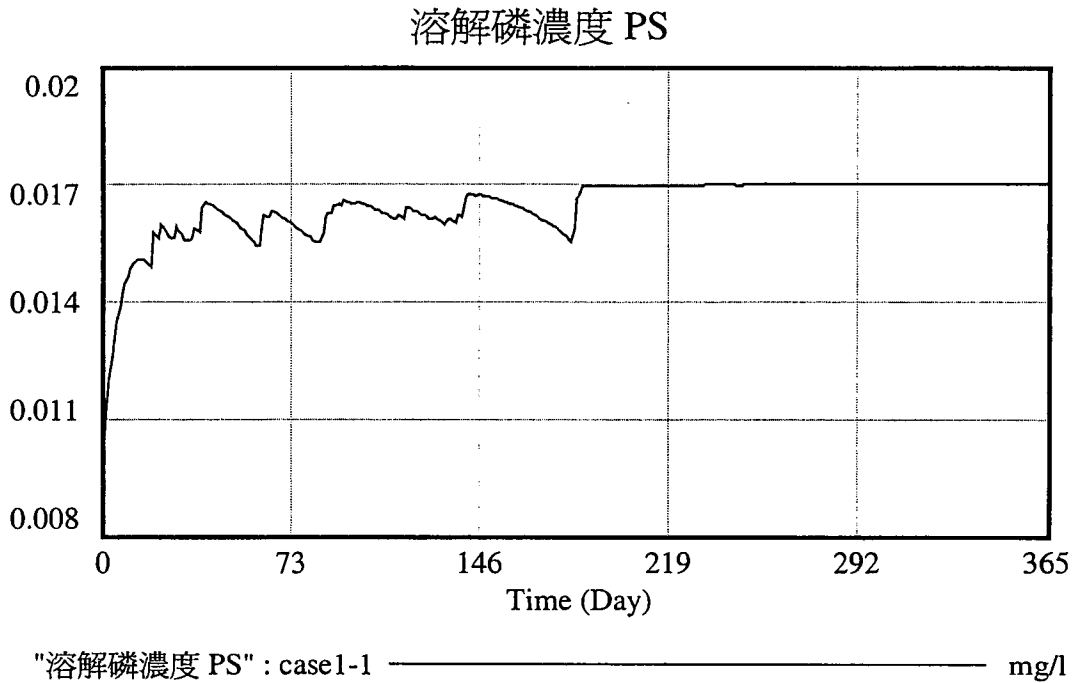
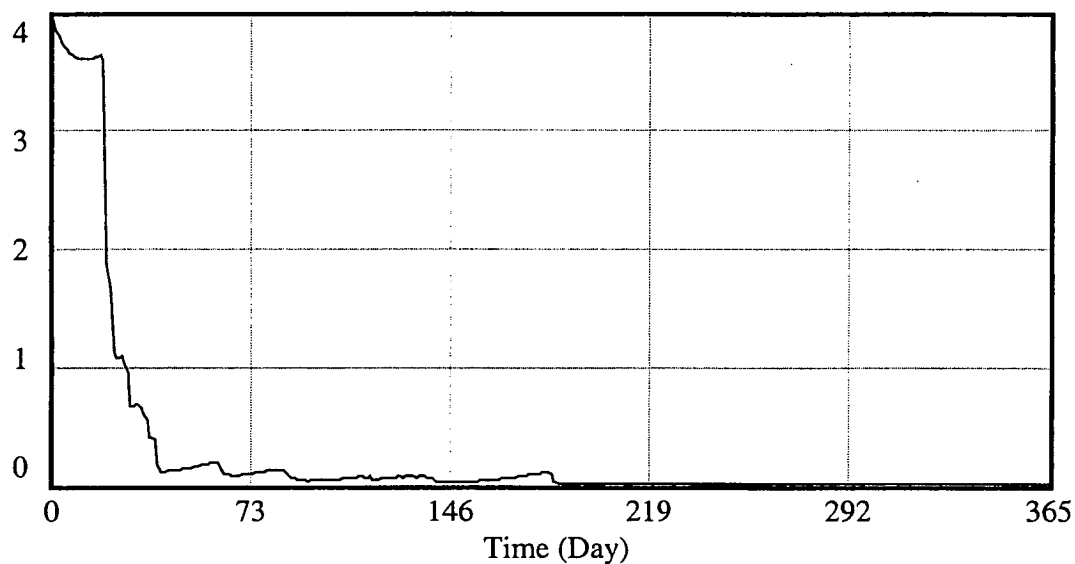


圖 8 溶解磷濃度模擬結果圖

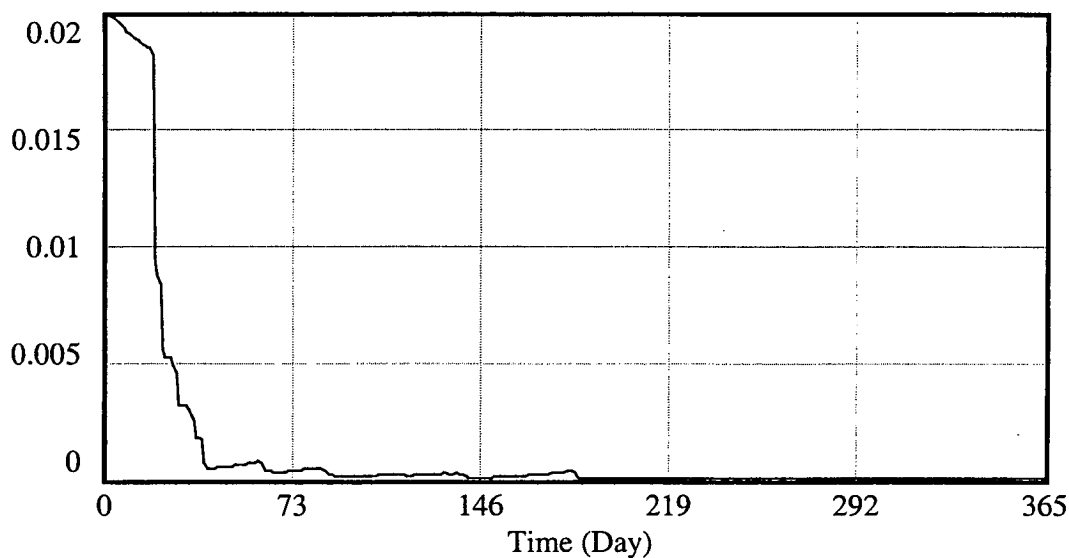
浮游植物濃度Phyt



"浮游植物濃度Phyt" : case1-1 ————— mg/l

圖 9 浮游植物濃度模擬結果圖

碎屑磷濃度PDet



"碎屑磷濃度PDet" : case1-1 ————— mg/l

圖

10 碎屑磷濃度模擬結果圖

指標評估：

由前述所討論，本研究選取總磷為量化評估指標，依據世界經濟合作

發展組織(OECD)之湖泊水庫優養程度分級標準，在總磷方面分級與表 1 比較後，結果發現其水體之優養化指標為 15，屬於貧養階段。

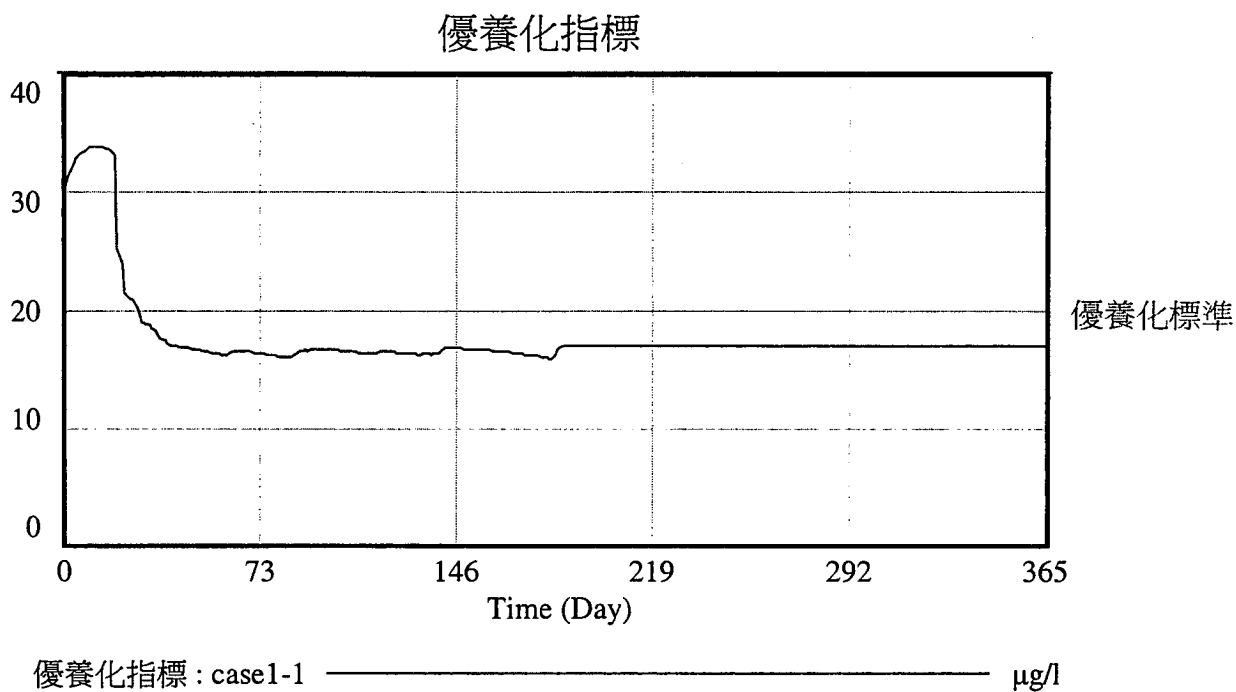


圖 11

優養化指標之模擬結果圖

模擬結果符合自然循環的結果，然而可變因素比工程手段難以掌握，舉例來說：溼地內的流速、植物及底泥的有機質雖然可以使流經溼地的水中總磷含量減少，然而不同的植物和底泥類型都會有不同的效果，需要經常監測及處理，此外，埤塘中自然形成的生態系及化學物質轉換的過程也會因水生動植物的物種不同而不同，因此在生態景觀標的方面，應較其他標的更重視營運後監測計畫的擬定，才能清楚所建立的生態系是否能趨近一健康的平衡狀態。

五、結論

本計畫針對桃園單一埤塘，採用系統動態學進行模擬以及完成生態模型之建置，由於系統動態學具有下列優點：(1)由於模式以物件導向原理建

構，因此模式設計在基本元件一致的條件下，各領域問題可輕易整合。(2)針對複雜的問題型態，經由系統動態學可明顯呈現問題結構，及明白描述其問題結構。(3)策略模擬結果與策略評估後，可即時以圖形化呈現。(4)模式簡單易學。

本計畫針對淺型水體常見的問題-優養化進行探討，以系統動態學同時考量多個狀態變數，包含溶解磷濃度、浮游植物濃度及碎屑磷濃度進行模擬，及分析水質的時間軸變化情況。研究結果發現入流磷的濃度為系統中重要參數之一，唯有透過控制入流的濃度，以及利用溼地去除營養源的操作原則下，方可降低營養鹽的濃度，使得埤塘不至於產生優養化的情況，以持續維持健康的水體。

參考文獻

1. 經濟部水利署，『供水可靠度標準建立之研究』，民國 91 年 12 月。
2. 行政院環境保護署，『建立水環境品質評比指標』，民國 91 年 7 月。
3. 行政院環境保護署，『流域自然生態環境資源量化基準調查規劃評估-生態環境影響評估空間指標系統之建立計畫（以桃園台地埤塘為例）』，民國 92 年 12 月。
4. 宜蘭縣政府，『宜蘭縣政中心公園基地保水工法研究』，民國 92 年 9 月。
5. 花蓮縣環境保護局，『花蓮縣河川污染防治計畫第一次工作成果報告』，民國 92 年。
6. 台灣大學農學院農村規劃與發展中心、台灣大學農業工程系鄉村建築與環境研究室，『道路與水域之生態系統規劃-動植物之新生活區』，1998。
7. 林文欽、李佩蓉，近河段都會區利用雨水貯留系統降低逕流量之研究，第十四屆水利工程研討會，2004。
8. 謝勝彥，「提升桃園水利會灌區埤塘供水潛能之探討」，桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會，2004。

9. 王宗悖，『滯洪池水文設計之研究』，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，2003。
10. 李明益，『河川流域水管理系統動力模式之發展與建立』，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，2002。
11. 李麗雪、林孟立、陳惠美、葉美智譯，『環境景觀之規劃與應用』，田園城市文化，2002。
12. 李孟璉，『高雄地區愛河水污染與水環境生態復育之策略分析』，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文，2001。
13. 陳亭玉，『河川流域水土資源承载力與永續力評量模式之發展』，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，1999。
14. 陳偉、石濤，『環境與生態』，新文京開發出版社，2003。
15. Guneralp B. , Barlas Y. , "Dynamic modelling of a shallow freshwater lake for ecological and economic sustainability", *Ecological Modelling*, 167(1-2), pp.115-138 , 2003.
16. Jørgensen S.E., "Fundamentals of Ecological Modelling", Elsevier Science Pub. Co., Inc., New York.