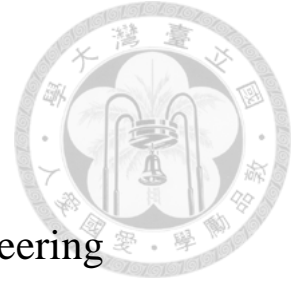


國立臺灣大學環境工程學研究所

碩士論文



Graduate Institute of Environmental Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

淡水資源耗用與使用的生命週期衝擊評估方法建立  
Life Cycle Assessment of Regional Freshwater Consumption  
and Freshwater Use

林佳玉

Jia-Yu Lin

指導教授：闕蓓德 博士

Advisor: Pei-Te Chiueh, Ph.D.

中華民國 103 年 7 月

July 2014

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

淡水資源耗用與使用的生命週期衝擊評估方法建立

Life Cycle Assessment of Regional Freshwater Consumption  
and Freshwater Use

本論文係林佳玉君(學號 R01541204)在國立臺灣大學環境工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 103 年 7 月 2 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

論文審查委員：

馬鴻文

馬鴻文博士  
國立臺灣大學環境工程學研究所教授兼所長

張尊國

張尊國博士  
國立臺灣大學生物環境系統工程學系教授

關蓓德

關蓓德博士  
國立臺灣大學環境工程學研究所副教授

指導教授：關蓓德

所長：馬鴻文

## 誌謝

時光飛逝，度過了兩個寒冬與盛夏，遭遇無數次的挫折，終於得以如願完成碩士論文取得學位。這不是我一個人努力得到的成果，而是我身旁所有有緣人一同支持與鼓勵，得以順利完成這本碩士論文。

首先感謝指導教授關蓓德老師，受到老師細心栽培，兩年來針對論文以及學術或非學術領域給予許多精闢的建議，每每總能將我拯救出困惑的泥淖，為前景打上一道明燈，也讓我在碩士班生涯當中過得十分充實，不但完成論文，亦有幸能參與國際研討會。除此之外，我要感謝論文口試委員張尊國老師及馬鴻文老師，感謝您們的肯定及寶貴的意見，使論文能夠漸臻完善，也給我滿滿的信心。

接著，我要感謝關老師研究團隊及所上曾經支持我的環工 101 級同學們、學長姊們，以及學弟妹們。感謝信宇和桓瑜一同分勞解憂，相互扶持，能夠和你們一起共事，是莫大的收穫與榮幸；謝謝佑昀學長與銘誠學長在我遇到瓶頸時願意傾聽並指點方向，謝謝峻豪學長、玉潔學姊、幸佳學姊、幸萱學姊、孟鴻學長帶給我歡笑，並給我加油打氣；衷心感謝研究團隊中 102 級的偉倫、泰元、Suki 於各方面的協助，讓我可以專心完成學業。

另外要特別感謝萬華兒福中心的小朋友們，是你們的童言童語，讓我堅持信念做你們的好榜樣，在每一次的挫折中勇敢站起面對。

最後謝謝我的家人、男友，以及阿伯、蝴蝶、佩鴨、呈翰，默默忍受我的脾氣以及冷落，你們的關懷是我前進的重要動力。

要感謝的人太多了，若有遺漏，也一併致上最大的謝意。

林佳玉 謹誌

2014 年 7 月

## 摘要

近年來全球人口成長及經濟發展快速，超量抽取地面水與地下水、污染淡水資源，以及使用效率不彰，造成淡水資源壓力提升與生態多樣性損失，產生的衝擊橫跨人體健康、生態系品質及資源存量三大面向。生命週期評估利用科學連結推導水資源消耗造成的潛在衝擊與損害，近年成為評估水資源耗用與使用衝擊的新興方法。

然而，現有方法大多考量水量變化，不討論水質對可用水量的影響，除此之外，淡水資源耗用與使用的衝擊具有區域與時間差異，早期生命週期評估模式為通用性模式，計算的時間尺度以年為主，空間尺度依研究者偏好而異，使得評估結果不能精準反映時空變化下的特徵。

本研究的目的是為考量水質、水資源的時間與空間可及量，以及用水標的之間的競爭，設計水資源耗用及水資源使用兩個衝擊類別與對應的特徵因子(水壓力)計算方法，期望評估地面淡水耗用對集水區造成的潛在衝擊；另外，本研究模擬節水情境產生不同情況下的特徵因子，並以臺灣3個科學工業園區的所有基地作為研究對象，評估所有情境下基地地面水淡水資源耗用與淡水資源使用的潛在衝擊。

研究結果顯示，不論是耗用水壓力或是水質水壓力，枯水期壓力均大於豐水期壓力；耗用水壓力於各情境中均可反映標的用水競爭排擠的現象，尤其全標的節水可使水壓力下降更快，整體來說標的優先序愈低，壓力愈大；水質水壓力反映用水量與標的可用水質水量的比值，農業水質水壓力特別大，節水情境下水壓力變化很小。案例分析結果顯示，南科臺南園區水耗用衝擊最大，南科高雄園區則是水使用衝擊最大，主要因為水壓力屬於重度剝奪；節水情境下以全標的節水使園區造成的水資源耗用衝擊降低5%~17%，而水資源使用衝擊降低1%~6%。

本研究所建立之生命週期評估衝擊方法，提供新的水壓力指標與看待水資源衝擊的新視角，並補足目前水資源地域性潛在衝擊評估的方法斷層，未來可應用於國內外各項產品服務的評估，或是做為水資源管理指標。



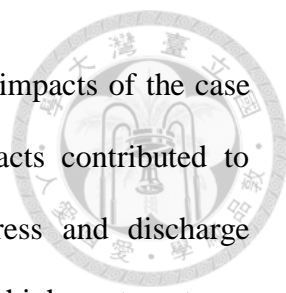
**關鍵字：**水資源耗用、生命週期評估、水資源競爭、水壓力

## Abstract

A substantial amount of evidence has indicated that freshwater use and consumption cause water scarcity, damage to human health, and ecological disorder. Life cycle assessment (LCA) is a promising approach that can be used to estimate the impacts caused by water consumption and water use.

However, assessment schemes that address the potential environmental impacts of freshwater consumption and use have seldom been provided in LCA methods. The spatial and temporal scales of LCA models are not suitable for Taiwan, as most LCA models are site generic and annual. A majority of studies have also neglected reservoirs as an available water source and the impact of water availability on water quality. Therefore, our study proposes an LCA approach in which the regional water availability, wastewater quality, competition of water among all sectors, and spatial-temporal factors are considered. This LCA approach consists of two impact categories: water consumption and water use, in addition to the corresponding watershed-based and sector-wise characterization factors (also called water stress) during high/low-flow periods. The developed approach was applied in a case study of industrial parks in Taiwan. In addition, four scenarios of water conservation were generated to estimate characterization factors and potential impacts.

The results of the water stresses in Taiwan exhibited higher water stresses during low-flow periods than during high flow periods. And the higher priority of sector was, the lower water stress of sector would be. Moreover, water stresses for water consumption of watersheds in western Taiwan were higher than that in eastern Taiwan; and water stresses of agriculture for water use of each watershed was at the state of heavily deprived. In scenarios of water conservation, water stresses of water consumption visibly decreased for the competition of water among all sectors, but there



were slight changes on water stresses of water use. With regard to impacts of the case study, science industrial parks with the greatest amount of impacts contributed to consume freshwater from the watersheds at the high water stress and discharge wastewater with worse water quality to the watersheds at the high water stress. Therefore, Southern Taiwan Science Park at Tainan had the highest potential impact of water consumption and Southern Taiwan Science Park at Kaohsiung had the highest potential impact of water use. At the scenario of water conservation of all sectors, impacts of water consumption declined 5%~17% and impacts of water use dropped 1%~6%.

Our proposed approach provides a new method to understand the impacts of freshwater consumption and freshwater use.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, water consumption, water use, water stress

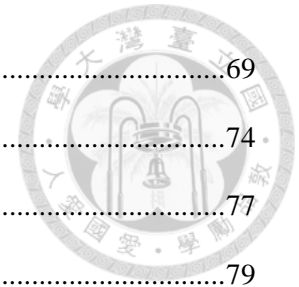
# 目錄



第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究架構與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 淡水資源耗用與使用的生命週期評估方法.....	6
2.1.1 生命週期評估方法概述.....	6
2.1.2 淡水資源耗用及使用的盤查資料庫與分析方法.....	8
2.1.3 淡水資源耗用與使用的特徵化與衝擊損害評估.....	12
2.2 區域化的淡水資源耗用衝擊.....	20
2.3 臺灣淡水資源概況.....	22
2.3.1 臺灣的水資源.....	22
2.3.2 臺灣的水資源耗用及使用的衝擊.....	23
第三章 研究方法.....	25
3.1 水資源耗用及使用衝擊特徵化模式.....	25
3.1.1 水資源耗用.....	26
3.1.2 水資源使用.....	29
3.2 研究情境.....	32
3.3 研究案例.....	33
3.3.1 範疇界定.....	36
3.3.2 盤查資料.....	37
第四章 研究結果與討論.....	50
4.1 水資源耗用與水資源使用的特徵因子建立.....	50
4.1.1 水資源耗用特徵因子建立.....	51
4.1.2 水資源使用特徵因子建立.....	60
4.2 衝擊評估.....	69



4.2.1 科學工業園區水資源耗用衝擊 .....	69
4.2.2 科學工業園區水資源使用衝擊 .....	74
4.3 衝擊評估方法的應用 .....	77
第五章 結論與建議 .....	79
參考文獻 .....	82
附錄 .....	87



## 圖目錄



圖 1-1 研究架構圖 .....	4
圖 1-2 研究流程圖 .....	5
圖 2-1 生命週期評估架構圖 .....	8
圖 2-2 Bayart et al. (2010)的評估架構因果鏈 .....	14
圖 2-3 集水區水資源永續管理概念圖 .....	22
圖 2-4 供水來源及用水統計 .....	23
圖 3-1 模式基本架構 .....	26
圖 3-2 2002 年至 2007 年工業用水量及來源比例 .....	34
圖 3-3 科學工業園區分布圖 .....	35
圖 3-4 本研究之系統邊界 .....	36
圖 3-5 民國 101 年科學工業園區營業額 .....	37
圖 4-1 公共用水耗用水壓力 .....	54
圖 4-2 農業用水耗用水壓力 .....	55
圖 4-3 工業用水耗用水壓力 .....	56
圖 4-4 生態基流水壓力 .....	57
圖 4-5 公共用水水質水壓力 .....	62
圖 4-6 農業用水水質水壓力 .....	63
圖 4-7 工業用水水質水壓力 .....	64
圖 4-8 生態基流水質水壓力 .....	65
圖 4-9 其他文獻產出的特徵因子 .....	68
圖 4-10 研究案例與對應之取水及放流集水區 .....	70
圖 4-11 科學園區水耗用衝擊特徵化結果 .....	72
圖 4-12 科學工業園區水資源使用潛在衝擊比較 .....	76

## 表目錄

表 2-1 常見盤查資料庫中的水資源項目 .....	10
表 2-2 水資源類別表 .....	11
表 2-3 水資源取得性衝擊對照表 .....	15
表 3-1 標的水壓力類別 .....	28
表 3-2 陸域地面水體分類與適用性對應表 .....	30
表 3-3 飲用水水源水質標準 .....	31
表 3-4 灌溉水質標準 .....	31
表 3-5 新竹科學工業園區 101 年每月用水抄錶量 .....	38
表 3-6 新竹園區放流水質 .....	40
表 3-7 新竹科學工業園區 101 年各月污水處理量 .....	41
表 3-8 中部科學工業園區 101 年各月用水量 .....	42
表 3-9 中部科學工業園區 101 年各月污水處理量 .....	43
表 3-10 101 年虎尾園區放流水監測數值 .....	43
表 3-11 101 年臺中園區放流水監測數值 .....	44
表 3-12 101 年后里園區放流水監測數值 .....	45
表 3-13 南部科學園區 101 年各月份用水量 .....	47
表 3-14 南部科學園區 101 年各月份污水處理量 .....	48
表 3-15 臺南園區放流水質 .....	48
表 3-16 高雄園區放流水質 .....	49
表 4-1 水耗用特徵因子參數參考數值 .....	51
表 4-2 水質水量參數 .....	60
表 4-3 不同情境的水耗用潛在衝擊量 .....	72
表 4-4 水資源耗用參數與衝擊計算 .....	73
表 4-5 水資源使用衝擊計算參數 .....	74
表 4-6 水資源使用衝擊計算 .....	75
表 4-7 不同情境的水使用潛在衝擊量 .....	77

# 第一章 緒論




## 1.1 研究動機與目的

全球的淡水資源(freshwater resource)稀少且分配不均，其資源量約占水資源總量的 3%，減去位於兩極冰川的 2.5%，僅剩 0.5%可滿足人類及生態系的需求，其中大半部分的淡水皆集中於全球的 10 個國家。近年來全球人口成長及經濟發展快速，超量抽取地面水與地下水、污染淡水資源，以及水資源使用效率不彰，這些不永續的水資源濫用行為，使部分地區水體的再生時間拉長，造成淡水資源壓力提升與生態多樣性損失，據國際統計，截至 2006 年，全球 8.8 億人口無法取得乾淨的飲用水，每年約 180 萬人死於痢疾，另外至 2003 年為止，已知的 1 萬種淡水魚種中有 20%瀕臨絕種或消失(WBCSD, 2009)。由此可知淡水資源耗用不但是國際關注的議題，也是區域性的問題，其衝擊包含了人體健康、生態系品質，及資源存量三大面向。

由於經濟活動漸趨頻繁，以及面臨全球化分工的趨勢之下，量化商品與服務於製造、使用與廢棄等階段所需要的水資源漸受矚目，故近期研究評估淡水資源耗用及使用衝擊多採取供應鏈或生命週期的角度，可同時涵蓋直接與間接使用衝擊(Morrison et al., 2010)，相關評估方法有水足跡(water footprint)及生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)兩類。水足跡是由荷蘭 Hoekstra 博士於 2002 年提出的評估方法，將淡水分為綠水、藍水、灰水，分別統計土壤水、地面與地下水體、污水稀釋水等三類的淡水資源消耗與使用量(Hoekstra et al., 2011)。生命週期評估則是評估產品於生產、使用、廢棄處理等階段中對環境的潛在影響的工具，因考慮面向廣，整合性高，可透過評估結果輔助污染防治與永續發展。

以上兩種方法仍有相異之處，各有優缺。水足跡精於量化不同時空狀態的水資源使用，找到使用熱點(hotspot)，適用在水資源調配與管理；生命週期評估利用



科學連結推導水資源消耗造成的衝擊與損害(Jefferies et al., 2012; Jeswani and Azapagic, 2011; Morrison et al., 2010)，可系統性地了解各面向潛在衝擊的大小，提供決策者找到應該管理的問題。Berger and Finkbeiner (2013)比較了水足跡與生命週期評估法，認為水足跡法容易造成誤導，因為水足跡的大小與所造成的衝擊並不成正比，故採用衝擊導向的指標是必要的。

然而，淡水資源耗用與使用在生命週期評估中並沒有完整的方法與指引，也就是缺乏盤查方法(inventory analysis)、特徵因子(characterization factor)、衝擊評估指標(indicator)與類別(impact category)，亦鮮少考量標的用水之間的排擠與競爭(Bayart et al., 2010)。Koehler (2008)說明造成此現象的原因為方法的使用習慣，過去生命週期評估法主要用於評估工業產品中各製程對環境的影響，水資源相對其他原料數量較少，故不重視其造成的衝擊與損害。除此之外，淡水資源耗用與使用的衝擊具有區域差異，可是早期生命週期評估模式無法反映區域特徵；Finnveden et al. (2009)提出物質排放造成的衝擊大小取決於排放量、物質特性、排放源特性、受體環境，換句話說，淡水資源耗用與使用對環境的衝擊便是受資源使用量、放流品質、取水位置，以及當地水資源的蘊含量等因子影響，早期評估模式僅包含排放量與物質特性，屬於通用性(site- generic)模式，須考量排放源特性與受體環境以增進評估方法的準確性。

綜合上述研究現況，發展衝擊導向且能表達時空特性的淡水資源評估方法，是亟需努力的目標，但現今研究方法不足，使淡水資源耗用與使用區域研究的不確定性(uncertainty)增加，有鑑於此，本研究針對水體水質特性、淡水資源時空可及量(availability)、與用水標的之間的競爭等因子，改良淡水耗用與使用的生命週期評估方法，並應用在臺灣科學園區淡水資源耗用與使用的衝擊評估。本研究除建立一具有水質水量、標的競爭與豐枯差異的方法，方法具通用性，亦期望將模式本土化，供臺灣未來相關研究參考。



## 1.2 研究架構與流程

本研究考量水質、水資源的時間與空間可及量，以及用水標的之間的競爭，設計本土化特徵因子，建立淡水資源耗用(water consumption)與淡水使用(water use)兩個衝擊類別，最後模擬節水情境討論特徵因子的變化，另外以臺灣科學工業園區地表淡水耗用與使用為案例，計算潛在衝擊並討論不同情境下的潛在衝擊變化。本研究架構圖與流程圖如圖 1-1 與圖 1-2 所示。各章節名稱及內容分別說明如下：

### 第一章 緒論

本章說明研究背景、動機及目的。

### 第二章 文獻回顧

本章回顧與研究相關的文獻，包含生命週期評估、淡水資源耗用與使用的生命週期評估方法、區域化的水資源衝擊，以及臺灣整體及工業水資源使用概況。

### 第三章 研究方法

本章介紹本研究建立的淡水資源耗用與使用的生命週期評估方法，並說明所需盤查資料與案例情境。

### 第四章 結果與討論

本章呈現案例情境中的淡水資源耗用與使用的衝擊。

### 第五章 結論與建議

本章總結第四章之結果，提出相關建議與結論。

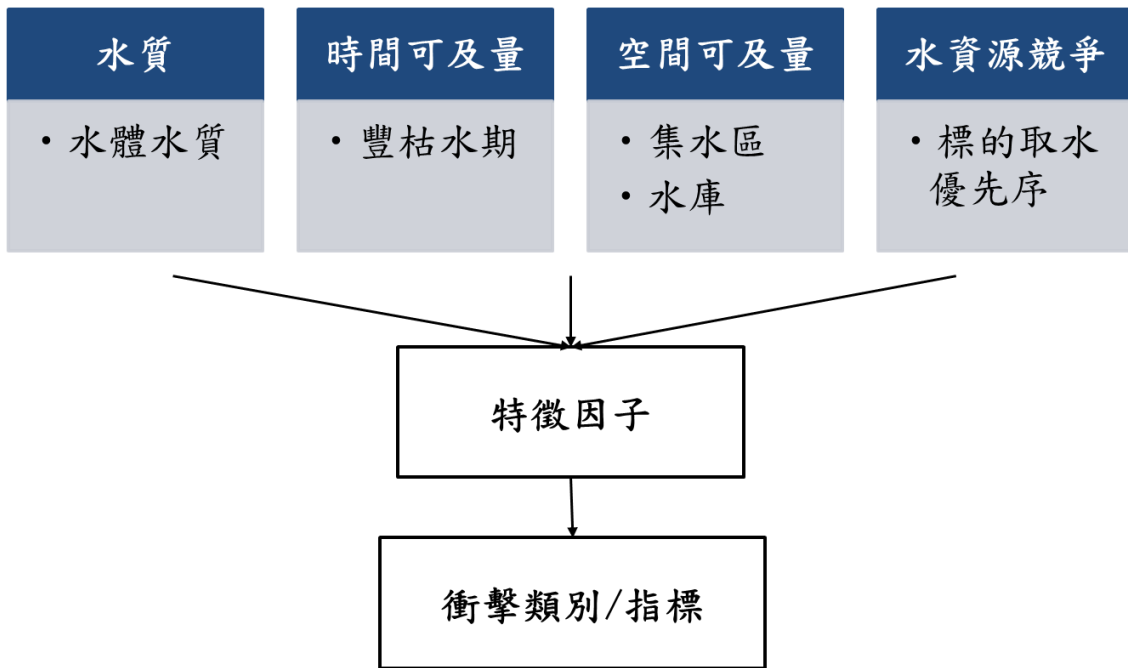


圖 1-1 研究架構圖

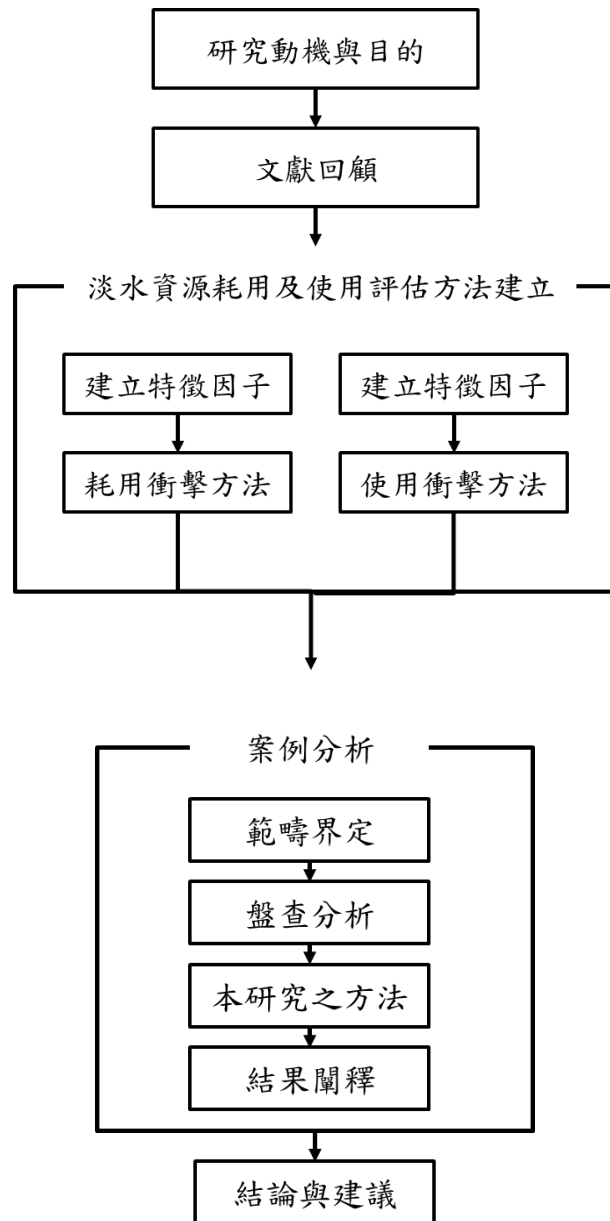


圖 1-2 研究流程圖



## 第二章 文獻回顧



本章文獻回顧彙集國內外文獻共分成三個部分。首先概述生命週期評估方法，再介紹淡水耗用及使用的衝擊評估方法，了解目前研究趨勢與進展；接著探討區域尺度對於水資源耗用與使用衝擊的關係，為本研究選擇適當的尺度；最後則是介紹臺灣整體與科學園區淡水資源的利用現況，強調水資源對臺灣的重要性。

### 2.1 淡水資源耗用與使用的生命週期評估方法

#### 2.1.1 生命週期評估方法概述

生命週期評估是評估產品、製程或服務於生產、使用、廢棄處理等生命週期階段中對環境的潛在影響及資源使用的工具，透過蒐集上述階段之投入產出資料，並利用環境衝擊評估模式的分析，即可得到環境衝擊評價。其應用案例可追溯至西元 1969 年，美國可口可樂公司委託中西部研究所評估飲料容器的能源消耗，而後西元 1990 年美國環境毒理及化學協會(Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)提出生命週期評估的定義與架構，相關方法逐漸完善。

根據國際標準組織訂定的 ISO14040 生命週期評估規範，評估的架構可分為目標範疇界定(Goal and Scope Definition)、盤查分析(Life Cycle Inventory, LCI)、衝擊評估(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)、結果闡釋(Life Cycle Interpretation)四大部分，如圖 2-1 所示，內容與方法敘述如下。

##### 1. 目標及範疇界定

首先，目標及範疇界定是要確定研究範圍及目標，考量評估系統的界線、研究假設及限制，並建立系統邊界(system boundary)與功能單位(functional unit)確立比

較基準。



## 2. 盤查分析

接著根據上述範疇執行盤查計畫，將產品生命週期中之投入和產出，如能源消耗、資源使用、副產品、污染排放等，加以彙整與量化，建立投入產出清單，並確定盤查資料中的所有假設。

## 3. 衝擊評估

衝擊評估則是透過指標與特徵化了解產品系統潛在環境衝擊規模與顯著性。詳細步驟分為分類(classification)、特徵化(characterization)及評價(evaluation)。

分類與特徵化係指將造成同樣衝擊類別之不同的負荷與排放因子歸類於同一類別，可量化成相同型態或單位後予以加總。例如各種造成全球暖化衝擊的氣體，皆量化成以二氧化碳當量表示。評價則是給予不同類別標準化(normalization)或權重化(weighting)，標準化的目的在於將特徵化的各種環境衝擊類別之衝擊量無因次化(dimensionless)，以進行不同類別衝擊的比較。其方法可將特徵值除上該衝擊類別之標準化因子(normalization factor)，標準化因子為某參考地區每人每年所受到該衝擊類別的衝擊量。

## 4. 結果闡釋

最後藉著闡釋階段整合評估結果，提出改善建議等。

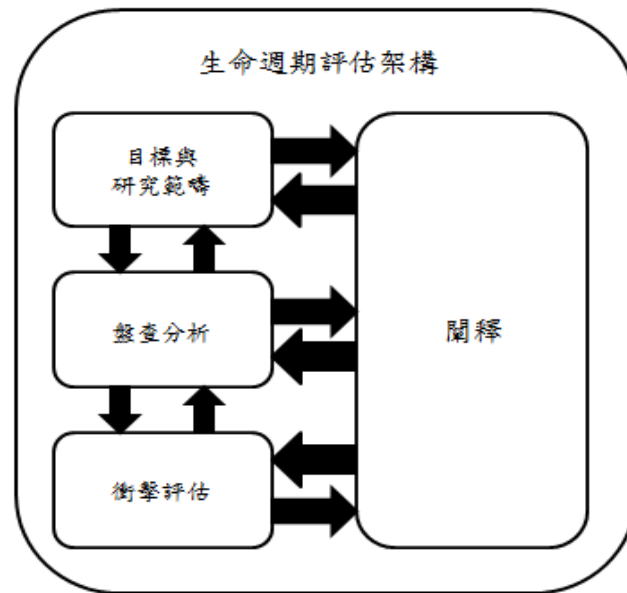


圖 2-1 生命週期評估架構圖

近年來淡水資源耗用及使用的生命週期評估方法依循生命週期評估架構，發展研究方法，於下兩節中仔細說明。

### 2.1.2 淡水資源耗用及使用的盤查資料庫與分析方法

淡水資源資料盤查與一般程序的範疇界定及盤查分析相同，需在研究者自訂的系統邊界內，盤查投入與產出量，常用的盤查資料庫如




表 2-1 所列，大部分的基礎流輸入端根據水資源的來源分類，包含河水、湖水、地下水等，有些則是依據作用區分，如製程、冷卻、飲用水等，但基礎流輸出端的類別卻非常少，部分資料庫還在陸續新增當中，可見目前資料庫中水資源類別與分類定義都不完整(Jeswani and Azapagic, 2011)。

有系統地盤查分析可以確保基礎流維持平衡，得到較正確的衝擊數據。Owen (2001)最早為了建立水資源評估指標，以使用方式將淡水資源分為在槽使用(in-stream use)及離槽使用(off-stream use)，前者表示在水資源現地使用，像是水力發電和航運等，後者需要人類利用設備從自然水體取用，如抽泵(pumping)供應各部門用水需求量；離槽使用又可細分為水使用(water use)與水消耗(water consumption/ consumptive use)，水使用係指使用後會排放到原本的集水區，水消耗則不會，水消耗係指因為水資源使用過程中蒸發、排放至其他集水區內，或是包含在服務或商品中。Koehler (2008) 根據其再生潛勢(regeneration potential)進行分類，分為貯積水(deposits)、儲藏水(funds)、流動水(flow)三種型態，第一類指的是深層地下水(fossil groundwater)，不易補注且循環緩慢，再生率最低，第二類如水庫、水壩、地下水，依靠水源補注維持水資源量，第三類則是再生率最高的河川與湖泊；Milà i Canals et al. (2009)結合以上兩位學者的分類方法，輸入端以水源區分，輸出端則分為蒸發性用水(evaporative use)與非蒸發性用水(non-evaporative use)，前者表示使用後會消失，不能立即再被使用，即是水耗用的意涵，後者可返回原流域被其他使用者使用，與水使用的意涵相同。

表 2-1 常見盤查資料庫中的水資源項目

Ecoinvent	Gabi	SimaPro	ELCD	
輸入	River water	Feed water	Water, barrage	Freshwater (分不同匱乏程度)
	Lake water	Groundwater	Water, cooling, surface	River water(分不同匱乏程度)
	Groundwater	Seawater	Water, cooling, unspecified natural origin	Seawater
	Seawater	Surface water	Water, cooling, well, in ground	Lake water(分不同匱乏程度)
	Salt sole water	Water with river silt	Water, fresh	Surface water
	Turbine use water	River water	Water, lake	
		Fossil groundwater	Water, process and cooling, unspecified natural origin	
		Brackish water	Water, process, drinking	
		Well water	Water, process, salt, ocean	
		Surface run-off, from soil	Water, process, surface	
		Lake water	Water, process, unspecified natural origin	
		Freshwater	Water, process, well, in ground	
		Rain water	Water, river	
		Water cooling, fresh	Water, salt, ocean	
		Water cooling, sea	Water, salt, sole	
		Water, turbine use, unspecified natural origin		
		Water, unspecified natural origin		
		Water, well, in ground		
輸出	-	Wastewater processing residue	Water, wastewater	-
		Water (river/sea water from technosphere, turbined)		
		Water(river/lake/sea water from technosphere, cooling water)		
		Water(river/lake/sea water from technosphere, waste water)		

資料來源：本研究自行整理

盤查階段除了水量的調查，亦有學者認為水質是影響可用水量的重要因素，必須結合至盤查分類中。Bayart et al. (2010)建議水質應該當作水資源分類型態的第二參數，可分為兩個評估方法，一為距離目標法(distance-to-target)，指不同水資源類型的水質要達到各水源水質標準；二為功能有效性法(functionality)，係指水資源因為水質不同而對不同使用者提供不同的功能，一旦不符合水質規範，便喪失功能。Boulay et al. (2011a)即根據 Bayart et al. (2010)的構想建立以水源、水質、使用者 3 個參數形成功能導向(functionality-based)水資源盤查類別；作者首先確立 11 個功能

使用對象，如生活用水、工業用水、農業灌溉用水等，再選擇 136 個水質參數，根據文獻回顧決定水質標準，最後加入水資源來源，一共組成 17 個水資源類別，見表 2-2 所示。此方法能評估品質劣化的回歸水對環境的衝擊，但是水質標準設立的門檻值受到批評，目前沒有統一的標準，而且超過閾值的小幅度水質變動不一定會影響水資源的功能。

表 2-2 水資源類別表

水質	1	2a	2b	2c	2d	3	4	5	雨水
來源	表面水/地下水								雨水
水質等級	極好	好	平均	平均-具毒性	平均-生物性	差	非常差	不能用	
污染	低微生物 低毒性	低微生物 中毒性	中等微生物 中毒性	低微生物 高毒性	高微生物 低毒性	高微生物 中毒性	高微生物 高毒性	其他	N/A
生活用水1	V	X	X	X	X	X	X	X	V
生活用水2	V	V	V	X	X	X	X	X	V
生活用水3	V	V	V	V	V	V	V	X	V
農業用水1	V	V	X	V	X	X	X	X	V
農業用水2	V	V	V	V	V	V	X	X	V
漁業用水	V	X	X	X	V	V	X	X	V
工業用水	V	V	V	X	X	X	X	X	V
冷卻水	V	V	V	V	V	V	V	X	V
遊憩用水	V	V	X	V	X	X	X	X	V
運輸用水	V	V	V	V	V	V	V	V	V
水力發電	V	V	V	V	V	V	V	V	V

資料來源：Boulay et al. (2011a)

雖說如此，Kounina et al. (2013)回顧近幾年淡水資源耗用與使用評估的盤查分析方法，建議盤查資料應該具備極大的自由度，盡可能容納各種可測量的水資源型態，對於後續不同衝擊評估的應用較靈活，例如結合水源與水質的盤查分類方式便是很好的嘗試。



### 2.1.3 淡水資源耗用與使用的特徵化與衝擊損害評估

早在淡水資源耗用評估於 LCA 發展之前，水資源指標廣泛被利用在人類或環境水資源需求衡量，Brown and Matlock (2011)回顧主要的水資源指標，可分為人類水資源需求指標、水資源脆弱度指標，以及結合環境需水量的指標，隨著年代及相關研究不斷更迭改進，這些指標被應用在生命週期評估中做為特徵化模式、中間點評估模式或是終點評估模式，反映人類、環境與資源的影響，現有的許多方法深受影響。

大部分已模組化的衝擊評估模式都沒有建立水資源耗用與使用的評估方法，Koehler (2008)更指出原因來自淡水被認定為可再生資源，是取之不盡、用之不竭的，故缺乏特徵化模式及水資源耗用與使用的評估案例；歐洲委員會聯合研究中心(Joint Research Centre, JRC)於 2011 年彙整生命週期評估所有中間點導向及損害導向的評估模式，依據環境衝擊關聯性、不確定性等因素進行評定，其中水資源評估模式僅列兩種(MEEuP 和 Swiss Ecoscarcy water)，Swiss Ecoscarcy water 是相對之下較好的模式，但依然沒有完整的衝擊損害因果鏈，文中也指出研擬相關評估方法是重要的工作(EC-JRC, 2011)。自西元 2007 年起，國際跨組織合作的工作團隊 WULCA (Assessment of Use and Depletion of Water Resources within LCA)展開淡水資源耗用評估相關的研究，累積可觀的研究成果，使衝擊不再停留於資源匱乏，新增了更多模式與衝擊類別。以下將分為中間點及終點導向依序介紹衝擊與損害評估方法。

#### 1. 中間點導向評估方法

Milà i Canals et al. (2009)以水具備資源與生物棲地兩個特性為前提，勾勒出蒸發性用水可能會產生以下四種衝擊途徑：一為水耗用改變人類的取得性(availability)，造成健康影響，二為改變淡水品質使生態品質受損，三為地下水使

用減少長期淡水資源的可取得性，四為土地利用改變水循環對水的取得及生態品質的影響；藉由建立衝擊途徑，作者得出淡水生態系衝擊(Freshwater Ecosystem Impact, FEI)及淡水匱乏(Freshwater Depletion, FD)兩個衝擊類別，方法如公式(1)與公式(2)所列。

$$FEI = EC * \left( \frac{WU}{WR - EWR} \right) \quad (1)$$

$$ADP_i = \frac{ER_i - RR_i}{(R_i)^2} \times \frac{(R_{sb})^2}{DR_{sb}} \quad (2)$$

公式(1)中 EC 表示蒸發性用水，其所乘的數值代表環境水壓力指標(Water Stress Index, WSI)，即是用水量 WU 與水資源蘊藏量 WR 扣掉生態需水量 EWR 後的比值，單位為立方米-生態當量水(m<sup>3</sup> of ecosystem-equivalent water)。公式(2)計算非生物資源匱乏潛勢(ADP<sub>i</sub>)，其中 ER<sub>i</sub> 為資源開採率，RR<sub>i</sub> 為再生率，R<sub>i</sub> 是資源最終存量，R<sub>sb</sub> 是參考存量，DR<sub>sb</sub> 為參考資源的去累積率。

Pfister et al. (2009) 大幅改良了水壓力指標，利用 WaterGap 模式模擬得到使用量/可使用量比例指標(Withdrawal-to-availability, WTA)，再用變異因子(Variation Factor, VF)修正，見公式(3)，使模式可以反映水利設施調節的差異，最後調整為非線性，而且介於 0 至 1 的 WSI 做為新衝擊類別-水資源剝奪(water deprivation)的特徵化因子，如公式(4)。

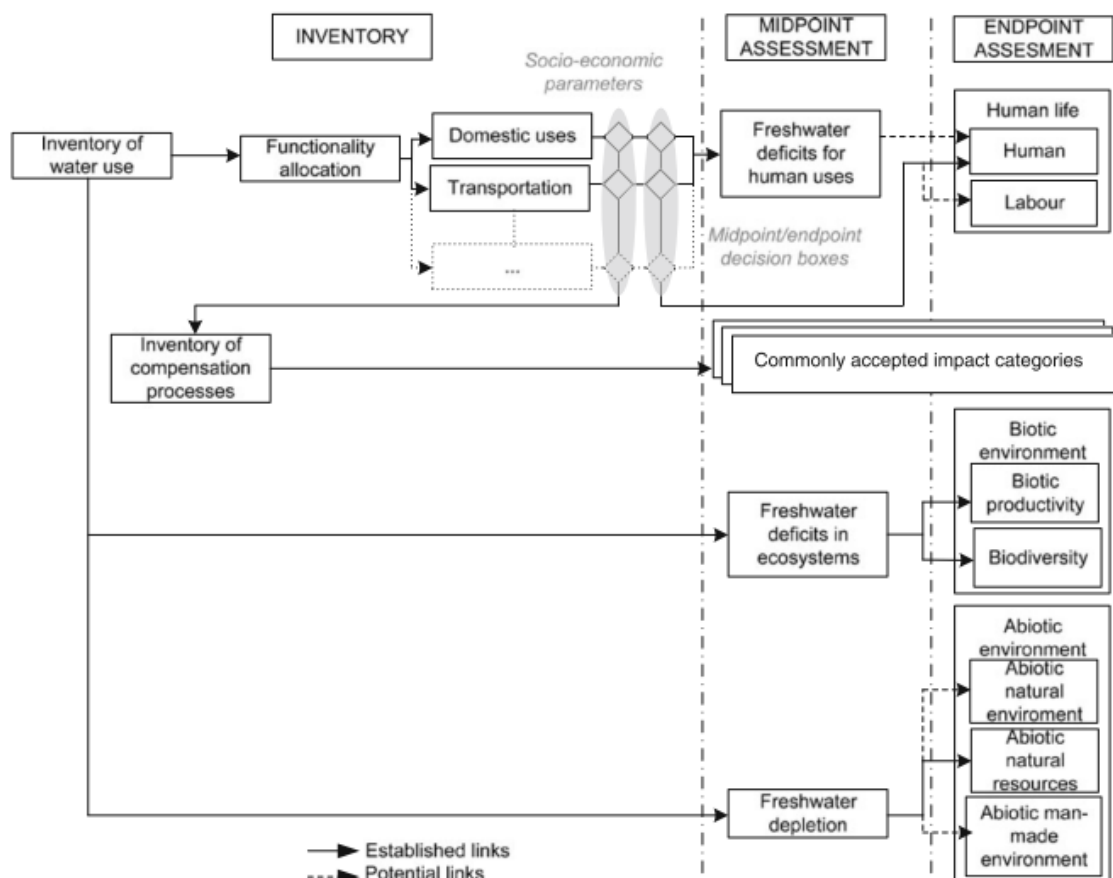
$$WTA^* = \begin{cases} \sqrt{VF} \times WTA \\ VF \times WTA \end{cases}, VF = e^{\sqrt{\ln(s_{月}^*)^2 + \ln(s_{年}^*)^2}} \quad (3)$$

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4WTA^*} \left( \frac{1}{0.01} - 1 \right)} \quad (4)$$

Bayart et al. (2010) 認為淡水資源耗用與使用評估應該要確認是否有足夠的淡



水資源供給現今人類使用者、生態系及未來世代；因此，作者根據不同的使用者類別區分了匱乏情境(deficiency scenario)與補償情境(compensation scenario)，提出的衝擊因果鏈見圖 2-2，匱乏情境表示水資源短缺產生的衝擊，而補償情境則是替代的方案，分別有對應的指標及社會經濟參數，如表 2-3 所示；在匱乏情境下提出人類使用淡水赤字(freshwater deficit for human users)、生態使用淡水赤字(freshwater deficit in ecosystem)、淡水匱乏(freshwater depletion)三個衝擊類別。其中人類使用淡水赤字這個衝擊類別之下共有民生、農業、工業、運輸、水利、漁業與遊憩等使用者類別，作者認為可以充足反映人類標的用水之間的競爭強度，並且水資源的分配方式會影響環境負擔的程度與類別，但該研究沒有提出進一步的計算方法，近期亦無相關研究。



資料來源：Bayart et al. (2010)

圖 2-2 Bayart et al. (2010)的評估架構因果鏈

表 2-3 水資源取得性衝擊對照表

使用者類別	生產指標	衝擊情境(D=匱乏；C=補償)	衝擊類別		社經參數
			中間點導向	終點導向	
民生用水	供應水量	D: 衛生用水不足、使用低水質之水、口渴 C: 水資源進口/新的水處理程序	人類使用淡水赤字	人體健康	可獲取安全引水及衛生用水人口比例(%)
農業用水	食物產量	D: 營養不良、營養失調 C: 食物進口/改變食物生產方式	人類使用淡水赤字	人體健康/生物生產力	營養失調人口比例(%)
工業及冷卻用水	工業產生的 GDP	D: 產品不足 C: 貨品進口/改變製程	人類使用淡水赤字	人體健康/勞工	人均 GDP
運輸用水	運輸體積	D: 產品不足 C: 改變運輸方式	人類使用淡水赤字	人體健康/勞工	人均 GDP
水力發電	產生的 MJ	D: 發電不足 C: 改變發電生產過程	人類使用淡水赤字	人體健康/勞工	可獲得電力之人口比例(%)
漁業用水	漁業產量	D: 營養失調 C: 魚類進口	人類使用淡水赤字	人體健康/生物生產力	營養失調人口比例(%)
遊憩用水	水上活動產生的 GDP	D: 喪失娛樂活動 C: 改變休閒方式/ 易地	人類使用淡水赤字	人體健康	人均 GDP

資料來源：Bayart et al. (2010)

Boulay et al. (2011b)採用 Boulay et al. (2011a)界定的 17 個功能性水資源分類法，先計算各類別的匱乏參數 $\alpha_i^*$ ，見公式(5)及(6)，係指消耗量/可使用量比例指標 (Consumption-To-Availability, CTA)，再透過模擬取得特徵因子 $\alpha_i$ 。該方法強調為不同的功能水資源分類給予不同的水壓力加權值，故提出了水壓力指標(water stress indicator)作為衝擊類別，反映水資源投入與產出過程中水資源競爭對象被剝奪的當量水量，如公式(7)所列。

$$\alpha_{surface,i}^* = \frac{CU \times (1 - f_g)}{Q_{90}} \times \frac{1}{p_i} \quad (5)$$

$$\alpha_{groundwater,i}^* = \frac{CU \times f_g}{GWR} \times \frac{1}{p_i} \quad (6)$$

$$WSI = \sum_i (\alpha_i \times V_{i,in}) - \sum_i (\alpha_i \times V_{i,out}) \quad (7)$$

公式中 CU 代表水資源耗用量， $Q_{90}$ 為超越機率 90%的河川水量， $f_g$ 是地下水使用比例， $p_i$ 為該水資源分類中可取得水資源所佔比例， $GWR$ 則是可更新地下水資源的量，此計算方式假設功能使用者只使用符合其對應水質要求的水資源，即可評估當水資源品質劣化時，使用者的可用水量也會隨著減少。

由以上文獻可知，在特徵因子方面，WTA 與 CTA 常於中間點導向評估方法中扮演特徵因子的角色，表示不同水體或集水區的水資源壓力狀況，目前有較多的研究以 WTA 為基礎，但 Berger and Finkbeiner (2013)指出因為 WTA 中以抽取量作為分子，抽取量並不代表實際使用量，有壓力超估的情形，故不如以消耗量作為分子的 CTA 準確；然而，兩位作者亦提到 WTA 與 CTA 是有缺陷的，例如指標中的可取得水量僅考慮可再生的地下水及地表逕流，忽略水庫壩堰等大型蓄水設施對水資源壓力的漸緩效應；因臺灣河川短小流急，需依靠水庫蓄積水資源，若將模式本土化，必須重新擬定特徵因子，把水庫蓄水納入考量，故將水庫蓄水量納入可取得水量，是本研究積極關注的目標。另外，WTA 與 CTA 皆用年當作時間尺

度，無法反映一年中的雨量變化，蔣在文 (2012)曾提及此點，並以月份為時間尺度計算水資源壓力指標。本研究認為特徵因子的時間尺度若以枯水期與豐水期區分，比較有代表性。

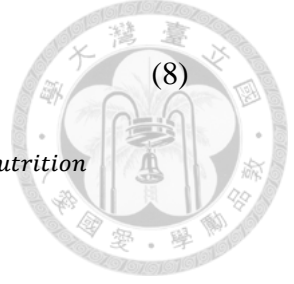
中間點導向評估方法方面，大部分的研究於建立方法時，會考量中間點評估方法與終點評估方法的連結性是否良好；Kounina et al. (2013)回顧現有的中間點評估模式，建議中間點評估中應加強每一個環節的因果關係。綜合上述中間點評估方法，多數仍以抽取及使用影響水量作為方法的論述，非蒸發性用水或又稱水使用，經常被假設為對環境不會產生潛在衝擊，但事實上非蒸發性用水可能有水質劣化影響水量使用的疑慮，除了 Boulay et al. (2011b)之外，幾乎沒有研究討論水資源使用後排入原本的集水區，產生水資源品質受損，對可用水量產生的衝擊；另外，Bayart et al. (2010)提出用水標的間具有競爭與強度變化，鮮少研究將此因素納入生命週期衝擊評估中。

## 2. 終點導向評估方法

終點導向的評估方法依照不同的受體(area of protection)產生的衝擊途徑發展不同的方法，以下依序人體健康、生態系品質、資源匱乏損害介紹。

### (1) 人體健康

人體健康評估方法的損害指標為衝擊造成早夭或失能，因此造成的生命損失年數，被稱為失能調整存活人年(Disability Adjusted Life Years, DALY)。Pfister et al. (2009)的方法關注的人體損害，是缺水引起衛生不佳得到傳染病，與灌溉水源短缺造成人類營養不良使壽命減少，損害方法中將 DALY 與人類發展指標(HDI)結合，反映不同發展等級的國家面臨的損害。如公式(8)所示。



$$\begin{aligned}
 \Delta HH_{malnutrition,i} &= CF_{malnutrition,i} \cdot WU_{consumption,i} \\
 &= WSI_i \cdot WU_{\%,農業,i} \times HDF_{malnutrition,i} \cdot WR_{malnutrition}^{-1} \\
 &\quad \cdot DF_{malnutrition} \cdot WU_{consumption,i}
 \end{aligned} \tag{8}$$

公式中  $WU_{\%,農業,i}$  指集水區內農業用水之比例， $HDF_{malnutrition,i}$  則是由人類發展指標(HDI)與每十萬人因營養失調之生命殘疾年數換算而得， $WR_{malnutrition}^{-1}$  係指避免營養失調之人均需水量， $DF_{malnutrition}$  是因營養失調導致的每人每年之生命殘疾年數， $WU_{consumption,i}$  為集水區內之用水量。

關於民生用水取得困難引發傳染疾病產生的損害，Motoshita et al. (2011) 則是發展更適宜的評估方法，該研究團隊利用複迴歸模擬水資源可取得性與蛔蟲病、鞭蟲病、鉤蟲病及腹瀉四種傳染性疾病的健康衝擊評估，採用的解釋變因囊括年均溫、供水與下水設施連接率、平均飲食能量消耗吉尼係數、人均健康衛生支出、營養不足人口率等7項，最後得到的損害因子介於  $1.29E-11$  與  $1.81E-03$  DALYs/ $m^3$ 。

Boulay et al. (2011b) 依據不同用水部門假設其產生的人體損害，例如農業用水與漁業用水短缺，降低食物可取得性，造成人體營養不良，而民生用水缺乏會產生衛生問題，使人體健康受損，公式如式(9)與式(10)。另外，該研究亦將 Bayart et al. (2010) 提出的補償情境落實於研究當中，認為國家貧富與否會影響衝擊大小，故根據不同國家的國民總收入(Gross National Income, GNI)界定補償多寡。

$$HH_{impact} = \sum_{i=1}^{17} (CF_i \times V_{i,in}) - \sum_{i=1}^{17} (CF_i \times V_{i,out}) \tag{9}$$

$$CF_i = \sum_{j=1}^{10} (\alpha_i \times U_{i,j} (1 - AC) \times E_j) \tag{10}$$

其中  $V_{i,in}$  與  $V_{i,out}$  表示輸入與輸出的水量， $\alpha_i$  為水匱乏因子， $U_{i,j}$  為影響的使用



者人數， $AC$ 補償情境下的適應能力， $E_j$ 則是影響因子。

### (2) 生態系品質

評估生態系品質損失常用的指標為單位潛在物種消失率 (potentially disappeared fraction of species, PDF)。Pfister et al. (2009) 考量陸生植物缺水對其淨基礎生產量 (net primary production, NPP) 的損害，以公式(11)表示，為 NPP 乘以水資源耗用量與降雨量  $P$  的比值；同樣地，Zelm et al. (2011) 探討地下水抽取對陸生植物豐富度的變化。尚有部分研究討論非陸地的生態損害，Hanafiah et al. (2011) 說明人類活動產生的水資源消耗會改變水體流量及品質，進而使魚類消失，故運用物種豐富度  $R$  與月流量  $Q_{month,i}$  的關係式(見公式(12))建立全球流域特徵化因子，見公式(13)。

$$\Delta EQ = CF_{EQ} \cdot WU_{consumptive} = NPP_{wat-lim} \cdot \frac{WU_{consumptive}}{P} \quad (11)$$

$$R = 4.2 \cdot Q_{month,i}^{0.4} \quad (12)$$

$$CF_{wc,i} = FF_i \cdot EF_i = \frac{dQ_{month,i}}{dW_i} \cdot \left( \frac{dPDF_i}{dQ_{month,i}} \cdot V_i \right) \quad (13)$$

### (3) 資源匱乏

抽取深層地下水或使用地面水的速率大於更新速率皆會造成水資源的匱乏。Pfister et al. (2009) 提出的資源損害以海水淡化當作補償後援系統，計算開發海水淡化水源的能量消耗，如公式(14)，其中  $E_{desalination}$  為淡化 1 立方公尺水資源所需的能量， $F_{depletion}$  為水匱乏因子，由 WTA 計算而得。

$$\Delta R = E_{desalination} \cdot F_{depletion} \cdot WU_{consumptive} \quad (14)$$




綜合所有終點導向評估方法，Kounina et al. (2013)回顧終點評估模式，認為現在大部分的方法都是研究直接損害，而間接損害例如水資源競爭導致人體健康損害與補償機制，需要進一步研究，有些因果鏈像是生態品質損失的部分需要更多跨領域研究補足。

## 2.2 區域化的淡水資源耗用衝擊

早在 20 世紀末就有學者發現空間差異在生命週期評估中是缺席的，當時普遍認知生命週期評估方法為污染預防的工具，不必多此一舉再將空間特性包含在內；生命週期衝擊可分為三種空間差異的程度：通用性(site-generic)、空間相依性(site-dependent)、場址特定性(site-specific)，通用性是指排放源及環境不具有獨特性，而是均質的；空間相依性則是以來源或受體環境特性區分，具有較高的空間解析度，範圍數公里至一百餘公里不等；場址特定性則是偏向特定場址來源或特定生態系統的規模，是最精細的；但是因應物質特性不同，造成的衝擊可能遍及數百數千公里，這樣的尺度對於衝擊量化的精確度沒有幫助(Potting and Hauschild, 2006)。綜上所述，可見空間相依性的評估尺度發展較強，能表達區域特性。

水資源使用衝擊具有地區性差異，是因為水質、水的可取得性、社會經濟參數及使用者之間的資源分配等情形因地方、因國家、因區域而異，故在方法中納入區域化的概念更顯重要。於盤查分析中，取水與排水的位置、水體、用途應明列與區分(Bayart et al., 2010; Jeswani and Azapagic, 2011; Pfister et al., 2009)，另外，Finnveden et al. (2009)指出現今盤查資料庫的重大缺失是缺乏水資源的區域性資料，導致無法確實評估乾旱地區的潛在環境衝擊。

而衝擊評估模式方面，建立區域化的特徵化因子是必要的，才能捕捉研究區域的水文特性(Pfister et al., 2009)，但也牽扯到衝擊尺度的界定，到底要怎麼樣的

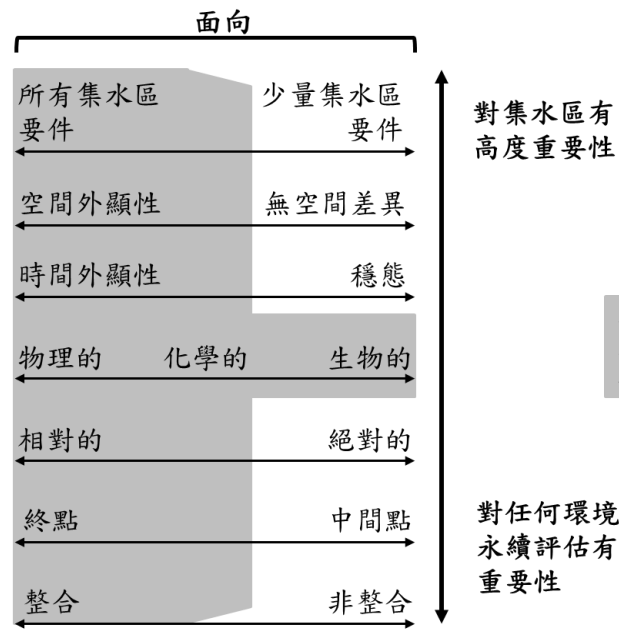


空間範圍才足以反映區域特性；Pfister et al. (2009) 率先利用地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 處理資料與統計數據，評估國家尺度與集水區 (watershed) 尺度的衝擊，認為集水區尺度富含水文過程，是較好的衝擊評估的地理單位；Chiu et al. (2011) 在評估生質酒精生產的水資源消耗衝擊時，為了選擇合適的評估尺度，使用了設備導向與集水區兩種空間尺度，比較衝擊的差異，結果集水區尺度的衝擊較為細緻，但更細緻的尺度表示可能也是必要的。

Mutel et al. (2011) 也認為適當尺度對衝擊表示十分重要，故以美國發電衝擊做為案例，使用 GIS 中的空間自相關 (spatial autocorrelation) 模組決定最佳的生態損害評估空間尺度，當特徵化因子的空間自相關愈小，代表該地理單位愈適合，因為資料在空間尺度表示時，不適當的空間尺度會造成可調整地區單元問題 (Modifiable Areal Unit Problem, MAUP)，使評估失真。結果發現集水區尺度相對其他空間尺度表現較好，共有約 12,000 個地理單位，但模式計算出的最適地理單位數量為約 10,000 個。這麼多的地理單位，需要的資料尺度也很小，通常會受到資料限制無法執行，變得十分理想化。Hester and Little (2013) 認為集水區是重要的分析基礎單位，但應該建立在可進行決策的相似尺度下，例如都市計畫單元，才能達成永續的目標。

最後，學術界對於水資源研究的空間尺度並沒有唯一論調，但可發現普遍研究支持以集水區做為評估尺度，Hester and Little (2013) 建議在進行集水區水資源的永續性評估時，盡量包含空間與時間面向，如圖 2-3 顯示，因為不同的季節對水資源壓力有所不同 (Pfister et al., 2009)，還有和集水區相關的水資源特性組成。本研究亦以集水區作為研究空間單元，並區分豐水期與枯水期計算水資源消耗衝擊。





灰底表示  
各面向偏  
好位置

圖 2-3 集水區水資源永續管理概念圖

資料來源：Hester and Little (2013)

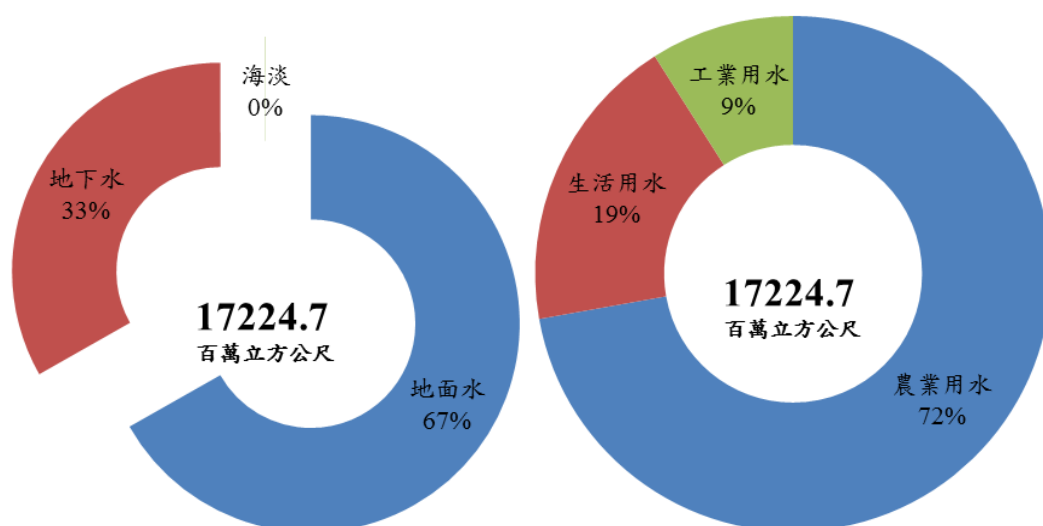
## 2.3 臺灣淡水資源概況

### 2.3.1 臺灣的水資源

臺灣位於東亞沿岸，四面環海，北回歸線以北屬副熱帶季風氣候區，以南屬熱帶季風氣候區，年平均降雨量約為 2500 mm，但降雨空間與時間差異大，受大陸與海洋氣候型態影響，5 月至 10 月的降雨佔全年雨量的 78%，由梅雨、西南季風、颱風貢獻，11 月至 4 月為乾季，靠東北季風帶來的雨量，因此北部全年有雨，南部乾溼分明，河川豐枯水期雨量比懸殊，北部區域 6:4，東部與中部皆為 8:2，南部區域可達 9:1；再加上地狹人稠，每人每年平均雨水量遠低於世界平均值，可見臺灣水資源不僅不均，也算不豐沛。

臺灣水資源供水與用水統計如圖 2-4 所示，舉 2011 年為例，累計供水量共 172 億立方公尺，主要來源為地面水與地下水，而地面水可分為河川引水與水庫供水，

其中水庫供水佔了將近一半，因為臺灣河川坡陡流急，儲水不易，故水庫為重要的水資源調配來源，統計至 2012 年為止，本島共有近 100 座水庫及壩堰，合計有效容量 190,683.8 萬立方公尺；用水統計顯示農業用水最多，約為 124 億立方公尺，灌溉用水尤為大宗，其次為生活用水 32 億立方公尺，工業用水相對較少，為 15 億立方公尺。




資料來源：經濟部水利署

圖 2-4 供水來源及用水統計

隨著氣候變遷，許晃雄等人 (2011) 提出臺灣氣候變遷報告，透過文獻回顧總結臺灣 100 年來總雨量雖變化不大，秋季雨量卻增多，夏季與冬季雨量減少，從區域角度來看，北部雨量增多而南部雨量減少，總體降雨天數漸漸減少，不過降雨強度則有增強的趨勢，換句話說，即是枯愈枯、豐愈豐，此變化對於臺灣水資源是極大的挑戰。

### 2.3.2 臺灣的水資源耗用及使用的衝擊

臺灣水資源分配以家庭及公共用水、農業用水、工業用水、水利用水等標的



使用分類，藉由水權分配掌控水資源使用情形，唯前述提及臺灣的豐枯顯著，面臨水資源不足時，標的用水即會相互搶奪用水，如近期工業用水供水來源部分漸漸轉向自來水系統供水，使用公共用水作為工業用途，有助於穩定生產量；根據我國水利法第 18 條第一項，標的用水順序依序為家庭及公共用水、農業用水、水利用水、工業用水、水運及其他用途，也就是說，缺水時必須先確保家庭及公共用水，優先序較低的標的需犧牲，例如農業用水於正常水文狀況以高標用水為限，維持生產性、生態性、生活性等三生功能，降雨不足時，採用缺水 8% 及休耕 13% 的低標用水。近期中部科學園區四期開發案坐落於彰化二林，當地農業興盛，但水源缺乏，此案引起當地居民及國內人士反彈，擔憂可用水資源不足，無法維持農業運作。因此標的用水之間會產生水資源剝奪的壓力。

除了水資源耗用對各標地的排擠效應，水資源使用後排入原集水區產生水質劣化，不堪其他標的使用者使用，也是臺灣水資源問題中重要的一環。蔡明華與陳益榮 (2001) 於農業用水總量清查報告中指出，灌溉取用水質劣於灌溉水質標準的水量約為 4.98 億立方公尺，佔當時總取水量 106 億立方公尺的 4.7%；而民生用水的水質要求更高，劣化的水資源亦不可能調配至民生用水。若使用劣化水資源於農業標的，會產生土壤及地下水污染，生產的農產品有食用的健康疑慮，目前國內已有許多農業用地的土水污染場址，因農業灌溉與工業排水未分離，引發重大污染事件；若使用於民生用水標的，對人體健康造成極大的風險；若劣化水資源經過高級處理程序，再提供各標的使用，則是增加能資源浪費，回收水亦尚未普遍被人民接受。因此水質對水資源可用量的減少實為重大的水資源衝擊。

綜合以上文獻，本研究將討論水資源耗用對各標的用水的水量剝奪，以及水使用導致的水資源劣化，對各標的用水的水量衝擊，並針對水體水質特性、淡水資源時空可及量、與用水標的之間的競爭等因子，改良淡水耗用與使用的生命週期評估方法。

## 第三章 研究方法



本研究著重水資源耗用與使用的衝擊評估方法建立，本章將分為三部分，第一部分先介紹本研究建立的衝擊評估模式，第二部分為假設之節水情境介紹，第三部分則是說明本研究的研究案例與其範疇界定和盤查資料。

### 3.1 水資源耗用及使用衝擊特徵化模式

本研究開發衝擊評估特徵模式，量化淡水資源耗用與使用的潛在衝擊，提供決策者參考依據；模式基本架構如圖 3-1 所示。

本研究根據文獻回顧後設立的研究目標，根據 ISO14040 生命週期評估規範，建立以集水區為基本空間單元的特徵模式，特徵因子建立則是參考抽取量/可使用量比例指標，並於可用水量中加入水庫壩堰的有效蓄水量，較切合實際可用水量，另參考 Boulay et al. (2011b) 提出綜合水質變化的功能性導向，增加水質因素考量，研究的時間尺度分為豐水期與枯水期；另外，水資源消耗與使用係為依照水資源權責所屬機關調整分配的結果，標的之間具有水資源競爭關係 (Bayart et al., 2010)，故以標的為最小類別，分別計算家庭及公共用水、農業用水、工業用水、生態基流量等四種水壓力。本研究建立的衝擊類別包含水資源耗用 (water consumption) 與水資源使用 (water use)，於水資源耗用方面，耗用為水資源占用行為，影響水資源的可取用性，而水資源使用方面，將會計算水資源使用後水質劣化造成的衝擊。

本研究特徵化模式考量地面水 (surface water)，兩種衝擊類別與對應的特徵化模式分別說明如下。

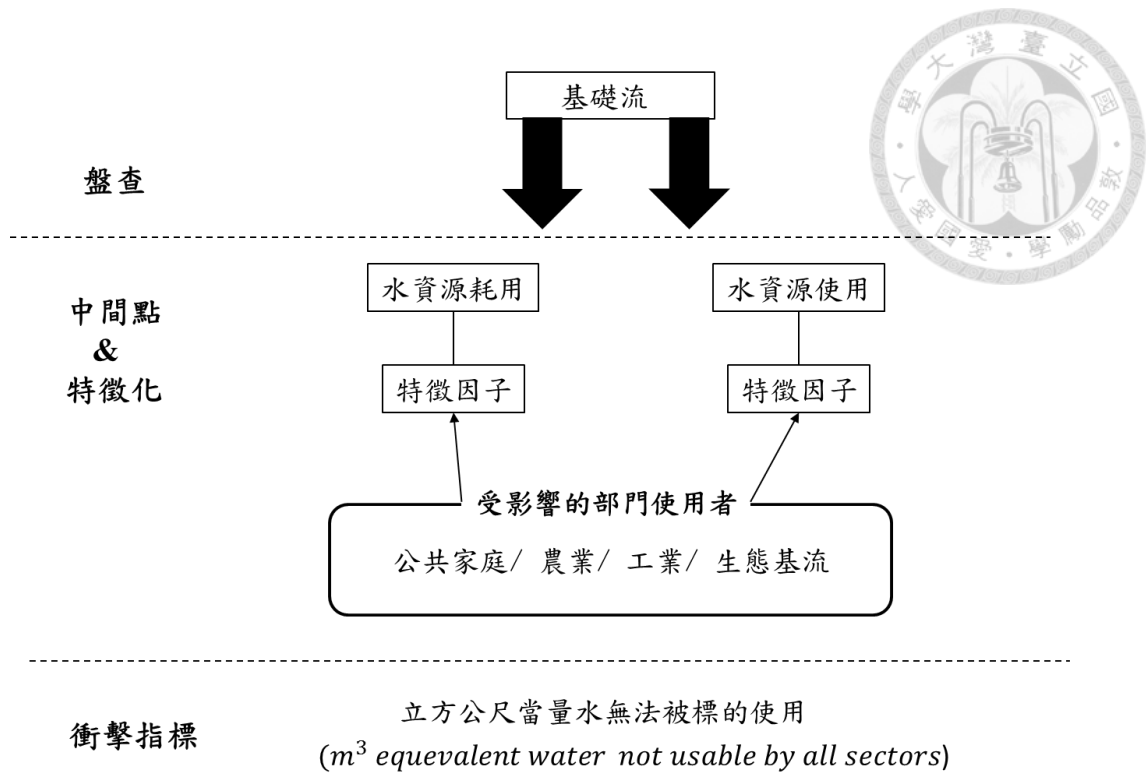


圖 3-1 模式基本架構

### 3.1.1 水資源耗用

水資源耗用衝擊來自於使用者取水與排水之間的差值，也就是所謂的消耗性用水，消耗性用水無法提供取水集水區內其他標的使用者運用，進而產生標的或水資源使用者之間的水資源剝奪。造成水資源耗用衝擊的部分原因是水資源成為產品的一部分，或在製造過程中蒸發，另外一方面則是放流水並未排放到取水集水區內，而是海洋放流或排放到其他集水區。大量研究關注消耗性用水的衝擊，建立各式方法，又用水標的之間具有水資源競爭關係，為了表示集水區內各標的相互排擠的水資源壓力狀態，將消耗性用水轉換為水資源耗用衝擊，所以本研究設計可反映標的用水的水壓力指標 $CF_{i,j}$ 。特徵因子計算公式(15)如所列，此水壓力特徵因子以抽取量/可使用量比例指標為主要架構，其中分子為優先標的取水量，反映標的取水的優先順序，分母為可用水量，由河川可用水量與水庫壩堰有效水量組成；其中生態基流水壓力計算方式不同，前人已有相關計算方法，故參考 Milà

i Canals et al. (2009)的特徵因子建置方式，見公式(16)。



$$CF_{i,j} = \frac{\sum CU_{i,j}(\text{priority})}{(Q_{85,i} + RS_i)} \quad (15)$$

$$CF_{i,j} = \frac{\sum CU_{i,j}(\text{priority})}{(Q_{85,i} + RS_i - EWR_i)} \quad (16)$$

其中， $CF_{i,j}$ ：集水區 i 內標的 j 的水壓力指標；

$Q_{85,i}$ ：集水區 i 的 85% 流量超越機率，單位為立方公尺。根據水利法施行細則第 15 條，定義地面水通常保持水量為流量超越機率 85% 的水量 (Q85)，可供給申請人與事業必須水量，故本研究將之視為地面水可用水量之一。本研究取集水區內出海口區段之 85% 流量超越機率。計算研究案例時，數值參閱淡江大學水資源管理與政策研究中心 (2012)，該值為水利署流量站長期監測數值校正後的結果，各流量站取用的時間區間皆不同，再將受到取水影響或水庫調節的流量站還原為天然流量，無設站區域則以克利金(kriging)模式推估流量值。

$CU_{i,j}(\text{priority})$ ：集水區 i 內的優先標的 j 的用水量，單位為立方公尺。參閱水利署水權統計年報。

$RS_i$ ：集水區 i 內的水庫有效蓄水量，單位為立方公尺。因 Q85 的資料來源已將水庫壩堰抽取量還原至流量，故無蒐集水庫壩堰有效蓄水量。

EWR: 指生態基流量，單位為立方公尺。生態基流量推估方法為依據「臺灣地區水資源開發綱領計畫」提供每 100 平方公里保留 0.1~0.3cms 之計算結果，常用預設值為 0.135cms；



當水壓力介於特定閾值時，對應至不同的剝奪程度，本研究參考 Smakhtin et al. (2004)的分類方式，一共將剝奪程度分為 4 類，見表 3-1。

表 3-1 標的水壓力類別

標的水壓力	剝奪程度
$CF > 1$	重度剝奪
$0.6 \leq CF < 1$	嚴重剝奪
$0.3 \leq CF < 0.6$	中度剝奪
$0 \leq CF < 0.3$	輕度剝奪

參考資料：Smakhtin et al. (2004)

水資源耗用衝擊的計算方式為消耗性用水乘上對應的特徵因子，使水量藉由水壓力加權後，得到潛在衝擊，計算式如公式(17)所列。此潛在衝擊可得出研究目標對所有取水集水區的水耗用行為產生的潛在耗用衝擊加總。

$$IMPACT_{water\ consumption} = \sum [(V_{in,i} - V_{out,i}) \times CF_{i,j}] \quad (17)$$

其中， $IMPACT_{water\ consumption}$ ：研究對象產生的水耗用衝擊，無法被集水區內所有標的使用，單位為立方公尺當量水 ( $m^3\ water\ equivalent$ )。

$V_{in,i}$ ：研究對象從集水區 i 取水的水量，單位為立方公尺；

$V_{out,i}$ ：研究對象從集水區 i 放流的水量，單位為立方公尺，當輸出端為海放或輸出端集水區與輸入端集水區位置不同時，該值為零。



### 3.1.2 水資源使用

水資源使用衝擊的產生是因為使用者自水體抽取水資源使用，使用後成為污水，由污水處理廠處理至放流水標準後放流或直接排放，導致排放至水體的水資源水質劣化，無法符合集水區內其他的標的使用者所需的水質標準，造成水資源再使用的困難，故此特徵因子及特徵化模式考量特定水質的可用水量，表示標的對水質的基本要求。特徵因子參考 Boulay et al. (2011)提出綜合水質變化的功能性導向水壓力，計算各標的取用水量與符合取用水質的可用水量的比值。特徵因子時間尺度有豐水期與枯水期之分，見公式(18)。

$$CF_{i,j} = \frac{CU_{i,j}}{(Q_{85,i,j} + RS_i)} \quad (18)$$

其中， $CF_{i,j}$ ：集水區  $i$  內標的  $j$  的水壓力指標，數值壓力意義與標的水耗用特徵因子的說明相同；

$Q_{85,i,j}$ ：集水區  $i$  的 85% 流量超越機率，經由環境水質監測數據確認可被標的  $j$  使用，單位為立方公尺。本研究取集水區內出海口區段之 85% 流量超越機率，因資料引用來源已將水庫壩堰抽取量還原至流量，故無蒐集水庫壩堰有效蓄水量。水質要求參考〈地面水體分類及水質標準〉第四條第一項水體分類適用性質描述，如表 3-2 所示，標示為「+」者係指水質分類適合該用途，標示為「-」表示不適合該用途使用，水體分類對應之水質條件亦如表 3-2。因水產用水屬於臺灣用水用途中的小宗，本研究只區分公共用水、農業用水、工業用水、保育用水，將用途合併以利計算。各集水區的水質由環保署環境水質監測年報了解不同河川測站的水質情形，再根據長度區段比例推估符合標的可用水質的水量；





表 3-2 陸域地面水體分類與適用性對應表

分類/用途	甲	乙	丙	丁	戊
公共用水	+	+	+	-	-
工業用水	+	+	+	+	-
灌溉	+	+	+	+	-
環境保育	+	+	+	+	+
水質參數基準值					
氫離子濃度	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0
溶氧量 (mg/l)	6.5 以上	5.5 以上	4.5 以上	3 以上	2 以上
生化需氧量 (mg/l)	1 以下	2 以下	4 以下	—	—
懸浮固體 (mg/l)	25 以下	25 以下	40 以下	100 以下	無漂浮物且無油污
大腸桿菌群 (CFU/100mL)	50 個以下	5,000 個以下	10,000 個以下	—	—
氨氮 (mg/l)	0.1 以下	0.3 以下	0.3 以下	—	—
總磷 (mg/l)	0.02 以下	0.05 以下	—	—	—

資料來源：行政院環保署

$RS_i$ ：集水區  $i$  內的水庫有效蓄水量，單位為立方公尺。

$CU_{i,j}$ ：集水區  $i$  內標的  $j$  的消耗性用水，單位為立方公尺。本研究計算所用的數值參閱水利署水權統計年報。生態基流量推估方法為依據「臺灣地區水資源開發綱領計畫」提供每 100 平方公里保留 0.1~0.3cms 之計算結果，常用預設值為 0.135cms；

水資源使用衝擊為輸出系統的水資源乘上對應的水質水壓力特徵因子，使水資源使用量藉由水壓力加權後，得到潛在衝擊，計算式如公式(19)所列。此潛在衝擊可得出研究目標對所有放流集水區的水使用行為產生的潛在使用衝擊加總。



$$IMPACT_{water\ use} = \sum [V_{out,i} \times (1 - x) \times CF_{i,j}] \quad (19)$$

其中， $IMPACT_{water\ use}$ ：研究對象產生的水使用衝擊，無法被集水區內的標的使用，單位為立方公尺當量水 ( $m^3\ water\ equivalent$ )。

$x$ ：水質檢核因子，當排水水質不符合標的取水標準(像是地面水體分類及水質標準對應的適用性值，或是特定水質規範，如公共用水參照飲用水水源水質標準如表 3-3，灌溉用水則參考灌溉水質標準如表 3-4)時， $x = 0$ ，就會產生後續衝擊，當符合標準時， $x = 1$ ，即不會有衝擊發生。

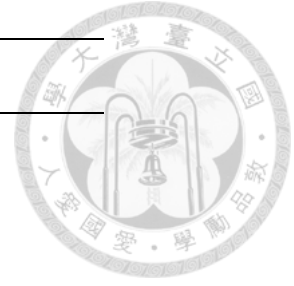
表 3-3 飲用水水源水質標準

項目	最大限值
大腸桿菌群密度 (MPN/100 毫升或 CFU/100 毫升)	20,000 (具備消毒單元者) 50 (未具備消毒單元者)
氨氮 (NH <sub>3</sub> -N) (mg/L)	1
化學需氧量 (COD) (mg/L)	25
總有機碳 (TOC) (mg/L)	4
砷 (As) (mg/L)	0.05
鉛 (Pb) (mg/L)	0.05
鎘 (Cd) (mg/L)	0.01
鉻 (Cr) (mg/L)	0.05
汞 (Hg) (mg/L)	0.002
硒 (Se) (mg/L)	0.05

資料來源：行政院環保署

表 3-4 灌溉水質標準

項目	限值
水溫 (攝氏)	35
氫離子濃度指數 (pH值)	6.0—9.0
電導度 (EC)	750
懸浮固體物 (SS) (mg/L)	100



項目	限值
溶氧量 (DO)	3以上
氯化物 (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L)	175
硫酸鹽 (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) (mg/L)	200
總氮量 (T-N) (mg/L)	3.0
陰離子界面活性劑 (mg/L)	5.0
油脂 (mg/L)	5.0
鈷 (Co) (mg/L)	0.05
銅 (Cu) (mg/L)	0.2
鉛 (Pb) (mg/L)	0.1
鋰 (Li) (mg/L)	2.5
錳 (Mn) (mg/L)	0.2
汞 (Hg) (mg/L)	0.002
鉬 (Mo) (mg/L)	0.01
鎳 (Ni) (mg/L)	0.2
硒 (Se) (mg/L)	0.02
釩 (V) (mg/L)	0.1
鋅 (Zn) (mg/L)	2.0
鈉吸著率 (SAR) (mg/L)	6.0
殘餘碳酸鈉 (RSC) (mg/L)	2.5
鋁 (Al) (mg/L)	5.0
砷 (As) (mg/L)	0.05
鈹 (Be) (mg/L)	0.1
硼 (B) (mg/L)	0.75
鎘 (Cd) (mg/L)	0.01
(總)鉻 (Cr) (mg/L)	0.1
鐵 (Fe) (mg/L)	5.0

資料來源：行政院農業委員會

### 3.2 研究情境

本研究 3.1 節建立衝擊評估方法與特徵因子，並說明後續計算採用的數值資料來源，然而特徵因子中取用量與可用水量的比值會隨著不同程度的節約而改變。根據經濟部水利署的臺灣地區水資源開發綱領計畫第五章所述，民國 87 年宣示各標的用水至民國 100 年的節約用水量目標如下：

1. 生活用水：臺灣地區平均每人每日用水量由 290 公升降低至 250 公升以下，自來水漏水率臺北市由 25% 降低至 20%，其他地區由 15% 降低至 10%。



2. 農業用水：每年農業用水總量最終不超過 120 億噸，其中灌溉用水以 109 億噸以下為目標。

3. 工業用水：平均用水回收率由 32% 逐年提昇至 65% 以上。

現今臺灣地區平均每人每日生活用水量已達 268 公升(經濟部水利署, 2014a)，灌溉用水量大約為 114 億噸(經濟部水利署, 2014b)，而工業用水回收率於 2005 年已達到 51.1%(連錦漳等人, 2006)。

本研究提出 4 個情境，反映以上節約用水目標，不假設用水成長，於研究結果中探討特徵因子變化的可能情況與潛在衝擊變化情形。

基線情境：取用水量不採用任何節約假設。

情境一：公共用水節約 7%，以達成每人每日用水量 250 公升。

情境二：農業用水節約 5%，以達成每年農業用水量 109 億噸。

情境三：工業用水節約 5%，以達成平均用水回收率 65% 以上。

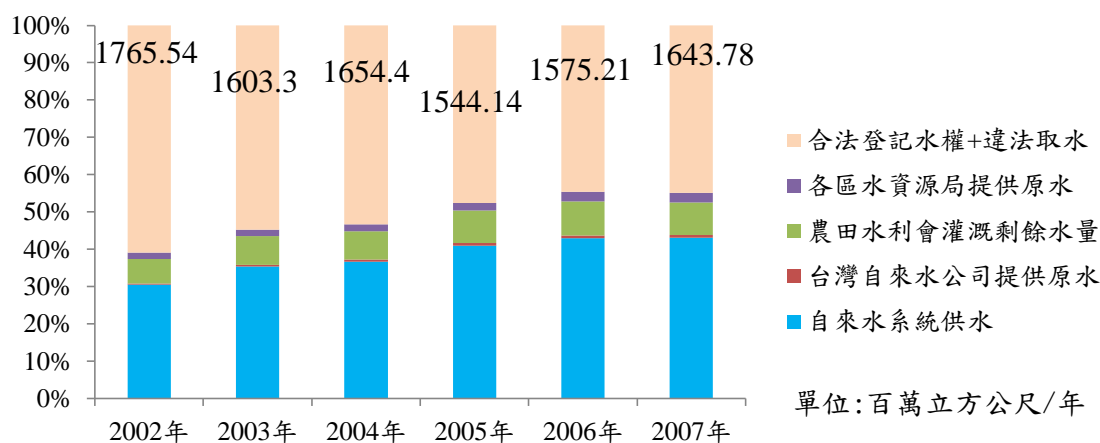
情境四：綜合情境一至情境三的節約假設。

### 3.3 研究案例

臺灣的工業部門用水隨著開發數量日益增多與用水來源結構改變，根據經濟部水利署西元 2009 年委託淡江大學研究團隊針對工業用水的調查報告，產業轉型及群聚效應是導致急需穩定工業用水的原因，為求穩定的供水，合法登記水權與違法取水比例逐年下降，自來水系統供水比例增加，另外與農田水利會、臺灣自來水公司及各地區水資源局擬訂契約供給，供水比例大幅成長，自西元 2002 年至 2007 年截止合計增長 4%，如圖 3-2 所示(淡江大學, 2009)。簡而言之，統計顯示工業依賴自來水系統與契約供給系統供水。

就用水規模而言，簡振源 (2010)也指出工業用水漸漸由小戶用水轉變為大戶用水，尤其是大型工業區與科學園區的開發，每日用水量超過 10 萬噸，使工業用

水量上升，預估 2031 年可達 31 噸，佔總用水比例約 16%，與現今供水比例比較，成長了一倍之多，若要滿足需求，另闢水源、提高用水效率與水回收為將來必須執行的手段。由此可知，科學園區的淡水耗用舉足輕重，在水資源有限的情況下，可能產生不同使用標的部門之間的競爭，分配適當與否影響臺灣不同標的用水的使用情形。



資料來源: 淡江大學 (2009)

圖 3-2 2002 年至 2007 年工業用水量及來源比例

本研究案例為臺灣的科學工業園區。科學工業園區根據園區設置管理條例第三條規定，為高級技術工業產品之開發製造或研究發展的場域，舉凡半導體、電腦、光電、通訊、生技等產業項目，目前臺灣共有新竹科學工業園區、中部科學工業園區、南部科學工業園區，遍及北中南，占地 4613 公頃，共 13 個園區與基地，各園區產業發展分佈如圖 3- 3 所示，園區造就的經濟產值為臺灣總產值的六分之一。

而蓬勃發展的園區背後需要大量資源的支持，如本研究所關注的水資源，每天需水量為 95 萬立方公尺，光電與半導體的使用量最為大宗；然而當降雨不足或水源水質不穩定，導致可用水量不夠時，園區須採取減量供水，使得部分敏感性較高的生產線受到影響，對於其他標的而言，農業經常被迫一期稻作休耕。

另外，水資源使用後會產生廢水，經由處理排入河川或海洋，若處理不當使水質惡化，水資源將無法被其他使用者使用。科學園區廢水中氮氮排放為管理的重點目標之一，河川中的氮氮過多，會導致溶氧消耗、水質劣化等情形，故行政院環保署調查光電業與科學園區的氮氮排放量佔產業總排放之 34%，需加強管制，於 101 年發布「科學工業園區污水下水道系統放流水標準」。

根據以上陳述，本研究以科學園區為案例進行生命週期評估，了解水資源使用及耗用對標的與環境的衝擊與損害。以下就案例的範疇界定與盤查分析進行說明。



資料來源：科學工業園區管理局 (2013)

圖 3-3 科學工業園區分布圖



### 3.3.1 範疇界定

本研究評估的科學工業園區案例範疇如圖 3-4 所示，在生命週期評估範疇中為從大門至大門(gate to gate)的尺度，係指水資源被科學園區抽取直至水資源排放，回到水循環中，或是提供其他使用者使用，故水資源淨化處理、配送不屬於本研究系統邊界之內，亦不討論園區細部製程個別水資源使用情形，即把科學園區視為一個黑箱(black box)，僅考慮黑箱的投入與產出。於投入階段，考慮包括水資源的投入量、抽取水資源的集水區與水資源類別紀錄，產出階段指的是使用後產生的廢水，由污水處理廠處理後放流，此部分考量放流水排出的量、排水的集水區位置紀錄，以及經過污水處理後的放流水水質數據資料，如氨氮、化學需氧量、導電度等檢測項目，依國內相關法律標準規定的項目蒐集數據。

因為科學園區的產品複雜，無法以質量單位當作功能單位比較各園區的衝擊，故本研究選用單位營業額為功能單位，計量單位為億元，考量資料的可取得性，研究時間基準為民國 101 年。

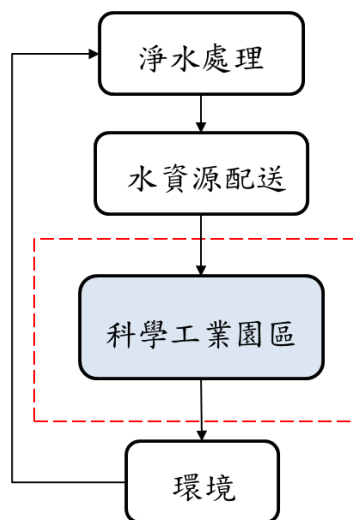


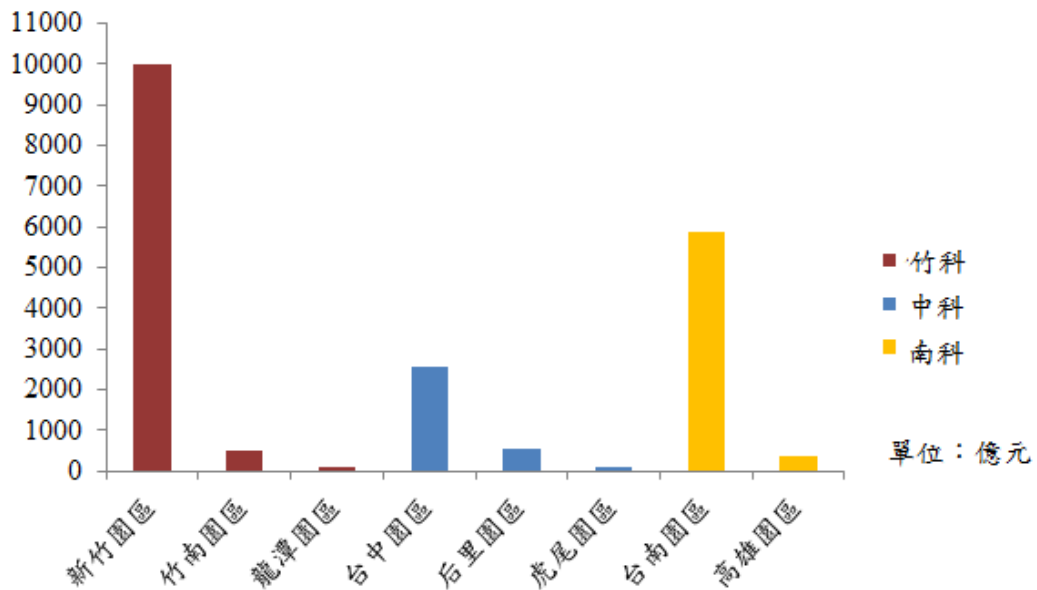
圖 3-4 本研究之系統邊界



### 3.3.2 盤查資料

為了得到研究對象的水資源耗用量，主要盤查項目為取水與放流水的集水區位記錄及水量，本研究的盤查資料引用多篇研究、年報、報告書等國內文獻彙整蒐集，其次項目為放流水水質，盤查資料如後說明，根據不同的科學工業園區列出。

臺灣的科學工業園區可粗略分為新竹科學園區、中部科學園區、南部科學園區，各園區下又細分不同的地方園區與基地，各基地營業額如圖 3-5 所示。



資料來源：科學工業園區管理局 (2013)、南部科學園區營業額統計、中部科學園區統計資料

圖 3-5 民國 101 年科學工業園區營業額

新竹科學工業園區統轄新竹、竹南、龍潭、新竹生醫、銅鑼與宜蘭園區，除宜蘭、新竹生醫、銅鑼園區之外，其餘園區於 2012 年已有廠商進駐營運。新竹與竹南園區水資源供應來源由寶山水庫、寶山第二水庫及頭前溪隆恩堰、苗栗永和山水庫共同支援，係指頭前溪集水區與中港溪集水區的水資源，透過專用輸水管線配送，保障自來水配給穩定(黃俞昌、曾寶山, 2008)；龍潭園區則是由淡水河集



水區桃園石門水庫經平鎮淨水廠進入園區。根據園區年報統計，各園區的自來水每月抄錶量如表 3-5 所示，新竹園區的用水量最大，其次為竹南園區，若比較豐水期與枯水期的用水量，枯水期用水量較豐水期用水量減少；另外園區又與農田水利會契約給水，每年於一、二期稻作整地插秧期移用 350 萬噸，調節用水分散風險(科學工業園區管理局, 2013)。

表 3-5 新竹科學工業園區 101 年每月用水抄錶量

月份	新竹園區	竹南園區	龍潭園區	合計
1	3,627,000	647,900	232,500	4,507,400
2	3,214,400	627,200	218,400	4,060,000
3	3,720,000	527,000	176,700	4,423,700
4	3,756,000	564,000	219,000	4,539,000
5	4,045,500	635,500	226,300	4,907,300
6	3,627,000	549,000	186,000	4,362,000
7	4,243,900	691,300	310,000	5,245,200
8	4,095,100	632,400	319,300	5,046,800
9	3,771,000	600,000	294,000	4,665,000
10	3,912,200	682,000	306,900	4,901,100
11	3,645,000	612,000	288,000	4,545,000
12	3,865,700	601,400	266,600	4,733,700
豐水期	23,694,700	3,790,200	1,642,500	29,127,400
枯水期	21,828,100	3,579,500	1,401,200	26,808,800

(單位：立方公尺) 資料來源：科學工業園區管理局 (2013)

至於污水的排放，園區落實污水 100%接管，由污水廠統一處理。新竹園區的污水廠設計最大處理容量為每日 16.5 萬噸，實際每日處理污水量約 10.5 萬噸，處理完畢後由專管排放至客雅溪(科學工業園區管理局, 2013)；竹南園區污水廠設計最大處理容量為每日 6 萬噸，實際每日處理污水量約 2 萬噸，處理後以專管引導至新港溪山寮橋下游排放，排放口距離出海口約 800 公尺(科學工業園區管理局, 2014)；龍潭園區每日可產 58,500 噸廢水，沿專管排放至老街溪上游的大坑缺溪(科學工業園區管理局, 2007)。根據科技部統計，各基地各月份污水處理量如表 3-7 所

示。經過污水處理廠處理後的放流水皆符合放流水質標準，各月份水質監測數據如表 3-6。



表 3-6 新竹園區放流水質

Temp (°C)	pH	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	鋅 (mg/L)	鉛 (mg/L)	鎳 (mg/L)	汞 (mg/L)	銅 (mg/L)	鉻 (mg/L)	鎘 (mg/L)	砷 (mg/L)	油脂 (mg/L)	水中陰離子界面 活性劑	
1	21.4	7.1	7.8	24.7	11.8	0.060	N.D.	0.130	0.0012	0.040	N.D.	0.012	0.012	0.00001	0.143
2	21.1	7.1	7.8	23.0	11.4	0.048	N.D.	0.090	N.D.	0.029	0.003	N.D.	0.078	0.00001	0.138
3	22.3	7.0	7.8	22.0	11.3	0.120	N.D.	0.072	N.D.	0.041	N.D.	0.019	0.031	1.9	0.144
4	24.8	7.1	8.3	24.4	11.4	0.050	N.D.	0.090	N.D.	0.050	N.D.	N.D.	0.019	0.00001	0.130
5	26.2	7.1	8.4	25.0	11.9	0.056	N.D.	0.078	N.D.	0.040	N.D.	0.012	0.025	0.00001	0.140
6	26.4	7.0	7.4	23.9	11.7	0.056	N.D.	0.090	N.D.	0.036	N.D.	N.D.	0.062	1.4	0.110
7	27.9	7.1	6.7	21.6	11.7	0.045	N.D.	0.070	N.D.	0.030	N.D.	N.D.	0.027	0.00001	0.093
8	27.5	7.1	6.8	21.6	12.3	0.062	N.D.	0.080	N.D.	0.032	N.D.	N.D.	0.027	0.00001	0.078
9	27.0	7.1	5.1	20.5	11.7	0.036	N.D.	0.065	N.D.	0.040	0.003	N.D.	0.024	2.4	0.100
10	25.7	7.0	3.6	18.3	9.6	0.140	N.D.	0.088	N.D.	0.020	N.D.	N.D.	0.026	0.00001	0.098
11	23.4	7.1	6.6	20.1	7.7	0.040	N.D.	0.080	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.042	0.00001	0.128
12	22.3	7.0	6.9	19.9	7.8	0.036	N.D.	0.051	N.D.	0.023	N.D.	0.013	0.031	2.8	0.098

資料來源：新竹科學園區管理局水質檢驗查詢報告

表 3-7 新竹科學工業園區 101 年各月污水處理量

月份	新竹園區	竹南園區	龍潭園區	合計
1	3,206,330	526,256	99,045	3,831,631
2	3,171,324	551,580	89,784	3,812,688
3	3,365,174	577,561	109,337	4,052,072
4	3,411,540	575,160	94,890	4,081,590
5	3,480,711	618,140	99,293	4,198,144
6	3,355,710	577,740	99,600	4,033,050
7	3,435,947	563,208	103,416	4,102,571
8	3,501,264	597,029	107,229	4,205,522
9	3,345,630	498,330	94,680	3,938,640
10	3,286,465	522,908	87,761	3,897,134
11	3,282,990	546,630	81,720	3,911,340
12	3,332,810	559,705	88,598	3,981,113
豐水期	20,405,727	3,377,355	591,979	24,375,061
枯水期	19,770,168	3,336,892	563,374	23,670,434

(單位:立方公尺) 資料來源: 科技部科學工業園區統計資料

中部科學工業園區統轄后里、臺中、二林、虎尾與中興新村高等研究園區等五個園區基地，二林與中興新村基地於 2012 年尚未運作。后里與臺中園區用水來自鯉魚潭水庫與石岡壩水庫，取自鯉魚潭淨水廠與豐原淨水廠，水源分別來自大安溪及大甲溪集水區(黃俞昌、曾寶山, 2008)，而虎尾園區水源來自於集集供水系統，即為濁水溪集水區。根據中部科學工業園區管理局統計，各園區用水量如表 3-8 所列，中部科學工業園區為全臺科學工業園區中用水最少的園區，臺中園區用水量較大，而虎尾園區用水量小，各基地豐水期用水較枯水期多。



表 3-8 中部科學工業園區 101 年各月用水量

月份	臺中園區	后里園區	虎尾園區	小計
1	1,347,911	356,190	31,744	1,735,845
2	1,358,504	357,224	29,344	1,745,072
3	1,602,979	391,313	37,882	2,032,174
4	1,543,740	395,490	48,990	1,988,220
5	1,634,382	415,989	49,879	2,100,250
6	1,629,390	423,540	45,450	2,098,380
7	1,883,653	468,317	54,095	2,406,065
8	1,834,952	480,221	54,529	2,369,702
9	1,769,550	491,610	47,760	2,308,920
10	1,827,543	459,668	54,188	2,341,399
11	1,835,490	466,560	46,980	2,349,030
12	1,893,170	471,603	44,733	2,409,506
豐水期	10,579,470	2,739,345	305,901	13,624,716
枯水期	9,581,794	2,438,380	239,673	12,259,847

(單位：立方公尺) 資料來源：中部科學工業園區統計資料

中部科學工業園區之廢水放流依據不同園區基地規劃而有些微不同。臺中園區的污水早期營運排入林厝排水，匯流至筏子溪，2010 年污水放流管完工後，直接將污水導入烏溪；后里園區的污水於區內污水廠處理完畢後，初期排入牛稠坑溝，2011 年後由專管放流至大安溪；虎尾園區的污水處理後排入新庄子大排，進入新虎尾溪流域。各園區各月分污水處理量如表 3-9 所示。經過污水處理廠處理後的放流水皆符合放流水質標準，甚至達成了比標準更嚴格的環評承諾值，各園區水質監測數值見表 3-10、表 3-11 及表 3-12。



表 3-9 中部科學工業園區 101 年各月污水處理量

月份	臺中園區	后里園區	虎尾園區	小計
1	1,096,067	270,568	18,445	1,385,080
2	1,125,404	244,300	18,032	1,387,736
3	1,246,572	268,305	23,095	1,537,972
4	1,236,180	272,760	35,670	1,544,610
5	1,216,099	283,650	36,425	1,536,174
6	1,182,330	314,670	35,130	1,532,130
7	1,346,733	345,371	37,417	1,729,521
8	1,355,506	369,303	42,563	1,767,372
9	1,256,730	344,070	32,280	1,633,080
10	1,302,465	339,915	34,534	1,676,914
11	1,324,500	374,940	31,170	1,730,610
12	1,400,704	357,771	34,565	1,793,040
豐水期	7,659,863	1,996,979	218,349	9,875,191
枯水期	7,429,427	1,788,644	160,977	9,379,048

(單位:立方公尺) 資料來源：中部科學工業園區統計資料

表 3-10 101 年虎尾園區放流水監測數值

月份	pH	Temp (°C)	導電度 (u mho/cm)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	真色色度	總氮 (mg/L)	油脂 (mg/L)
1	7.62	18.60	3148	2.22	30.62	5.62	27.8	31.50	N.D.<1.77
2	7.83	18.90	1895	3.70	39.30	<2.5	<25	29.00	N.D.<1.31
3	8.20	21.50	3598	4.50	37.54	3.48	<25	30.88	N.D.<1.31
4	7.83	25.30	2635	5.28	30.20	<2.5	<25	16.49	N.D.<1.77
5	8.12	28.88	2372	2.84	23.26	<2.5	<25	8.73	N.D.<1.31
6	7.98	28.88	2223	1.95	18.23	<2.5	<25	13.64	1.755
7	7.83	30.60	2370	2.75	16.90	1.9	<25	17.70	2.0325
8	8.06	29.70	2438	1.48	16.58	2.9	<25	20.67	2.126
9	7.95	30.08	3100	3.38	19.13	<2.5	<25	19.35	1.855
10	7.74	26.62	3374	2.88	17.94	<2.5	<25	16.22	1.504
11	7.65	24.58	3185	3.00	17.98	<2.5	<25	15.40	1.3175
12	7.53	20.88	3360	2.55	26.48	<2.5	<25	13.93	N.D.<1.31

資料來源：中部科學工業園區虎尾園區環境監測結果

表 3-11 101 年臺中園區放流水監測數值

月份	Temp (°C)	導電度	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	真色度	總氮 (mg/L)	油脂 (mg/L)	鋅 (mg/L)	鎘 (mg/L)	鉛 (mg/L)	銅 (mg/L)	鉻 (mg/L)	鎳 (mg/L)	砷 (mg/L)	汞 (mg/L)
1	25.1	3156	4.60	25.90	10.40	33.8	51.30	N.D.<1.77	0.0900	N.D. <0.004	N.D. <0.033	<0.03	N.D. <0.016	<0.05	0.0249	N.D. <0.0002
2	25.7	2933	2.50	28.20	12.70	34.3	59.57	<1.31	0.1000	N.D. <0.004	N.D. <0.033	<0.03	N.D. <0.017	<0.06	0.0156	N.D. <0.0003
3	26.2	2984	4.00	25.70	9.60	28.0	60.50	N.D.<1.31	0.1200	<0.01	N.D. <0.031	0.03	N.D. <0.016	<0.05	0.0270	N.D. <0.0002
4	27.5	2890	4.43	28.08	8.70	27.5	65.58	N.D.<1.55	0.0875	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.04	<0.05	<0.05	0.0247	N.D. <0.0002
5	28.1	3102	3.42	32.74	5.06	25.4	74.38	N.D.<1.31	0.0820	<0.01	N.D. <0.031	0.048	N.D. <0.016	<0.05	0.0238	N.D. <0.0002
6	28.4	3543	3.48	31.38	6.15	25	86.23	1.8	0.1000	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.04	N.D. <0.016	<0.05	0.0115	N.D. <0.0002
7	29.7	2958	3.73	32.13	7.33	<25	87.73	1.655	0.1175	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.0675	N.D. <0.016	<0.05	0.0121	N.D. <0.0002
8	28.8	2780	5.64	32.46	10.38	<25	76.30	2.844	0.0900	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.124	N.D. <0.016	<0.05	0.0112	0.0014
9	29.3	3420	6.28	36.78	6.95	<25	84.65	2.7025	0.0825	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.0925	N.D. <0.016	<0.05	0.0158	N.D. <0.0002
10	28.9	3592	13.38	42.06	9.66	<25	85.74	1.622	0.1060	N.D. <0.004	N.D. <0.031	0.05	N.D. <0.016	N.D. <0.016	0.0229	0.00108

11	28.5	3150	11.60	36.75	9.25	<25	79.63	N.D.	<1.31	0.1250	N.D.	N.D.	0.0975	N.D.	N.D.	0.0137	N.D.
								<0.004	<0.031		<0.016	<0.016				<0.0005	
12	26.4	3418	7.08	28.90	9.25	<25	86.20	N.D.	<1.31	0.1475	N.D.	N.D.	0.2175	N.D.	N.D.	0.0020	N.D.
								<0.004	<0.031		<0.016	<0.016				<0.0004	

資料來源：中部科學工業園區臺中園區環境監測結果

表 3-12 101 年后里園區放流水監測數值

月份	pH	Temp	導電度	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	真色度	總氮	油脂	銅	鎘	鉻	鎳	鉛	汞	砷	鋅	總有機碳 (mg C/L)
1	7.2	24.0	5427	3.37	10.13	3.53	<25	148.0	2.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001533	0.040	2.75
2	6.9	23.3	5378	3.85	13.55	3.25	<25	120.7	2.33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0009)	0.040	3.14
3	7.1	23.7	5193	3.68	14.55	3.18	<25	121.7	2.28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0009)	0.035	2.42
4	7.0	27.3	5463	3.03	10.10	3.18	<25	137.0	2.30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.032	2.29
5	7.3	28.7	5668	3.16	9.94	3.50	<25	136.0	2.28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0009)	0.040	3.48
6	6.9	28.9	5348	4.10	20.20	3.20	<25	127.7	2.40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0006)	<0.0010 (0.0009)	0.040	3.73
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	6.8	28.7	5074	4.48	15.92	4.86	<25	111.3	3.44	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0006)	<0.0010 (0.0009)	0.040	4.88



9	6.8	28.2	4548	5.73	18.60	5.90	<25	94.7	2.40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0004)	N.D.	0.030	5.85
10	6.6	26.7	4690	6.18	20.18	5.26	<25	114.8	2.46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0.0010 (0.0005)	<0.0010 (0.0006)	0.040	6.78
11	6.6	26.0	5043	5.83	18.30	5.90	<25	118.7	2.33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0004	0.0007	0.040	6.63
12	6.9	23.4	5408	6.73	22.45	6.05	<25	128.5	2.25	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0004	0.0006	0.050	6.75

資料來源：中部科學工業園區管理局后里園區營運期放流水監測結果

最後，南部科學園區統轄臺南與高雄兩個園區，臺南園區供水來源為曾文水庫與烏山頭水庫，皆屬曾文溪集水區，由烏山頭及潭頂兩個淨水廠出水，又以專管連接南化水庫，多元供水來源確保供水穩定度與可靠度(黃俞昌、曾寶山, 2008)；高雄園區供水來源為阿公店水庫，利用專用輸水幹管將水引入園區，預估平均日需水量為 10 萬噸。根據南部科學工業管理局統計，各基地各月份用水量如表 3-13 所列，臺南園區用水大於高雄園區的用水，豐枯水期用水趨勢與竹科、中科兩地相同。

表 3-13 南部科學園區 101 年各月份用水量

月份	臺南園區	高雄園區	合計
1	2,918,092	292,609	3,210,701
2	2,772,371	278,545	3,050,916
3	3,242,817	322,648	3,565,465
4	3,288,630	334,020	3,622,650
5	3,431,328	358,918	3,790,246
6	3,549,960	329,070	3,879,030
7	3,581,275	328,724	3,909,999
8	3,655,458	337,714	3,993,172
9	3,563,220	335,940	3,899,160
10	3,578,733	344,410	3,923,143
11	3,315,060	342,450	3,657,510
12	3,483,718	347,169	3,830,887
豐水期	21,359,974	2,034,776	23,394,750
枯水期	19,020,688	1,917,441	20,938,129

(單位: 立方公尺) 資料來源: 南部科學工業園區管理局 (2013)

臺南園區的污水經由污水處理系統，處理至低於環評承諾值後排入鹽水溪集水區；高雄園區的污水由各廠商處理至納管標準，再統一收集至園區污水處理廠處理後排放至阿公店溪。根據科技部統計資料，園區各月份污水處理量如表 3-14 所示。經過污水處理廠處理後的放流水皆符合放流水質標準，各月放流水監測資

料見表 3-15 與表 3-16。



表 3-14 南部科學園區 101 年各月份污水處理量

月份	臺南園區	高雄園區	合計
1	2,201,279	280,302	2,481,581
2	2,163,371	272,629	2,436,000
3	2,371,686	287,153	2,658,839
4	2,332,920	313,380	2,646,300
5	2,563,514	332,134	2,895,648
6	2,517,750	328,680	2,846,430
7	2,608,681	321,098	2,929,779
8	2,626,103	330,553	2,956,656
9	2,535,960	292,650	2,828,610
10	2,613,858	297,166	2,911,024
11	2,536,530	306,180	2,842,710
12	2,617,609	328,848	2,946,457
豐水期	15,465,866	1,902,281	17,368,147
枯水期	14,223,395	1,788,492	16,011,887

(單位：立方公尺) 資料來源：科技部科學工業園區統計資料

表 3-15 臺南園區放流水質

月份	Temp (°C)	pH	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
1	25.3	6.9	5.8	27.2	8.9
2	25	7	7.7	29.2	9.2
3	26.4	7	5.8	30.1	9.2
4	27.2	7	6	28.7	9.1
5	27.8	6.9	6.1	30.2	10.2
6	27.8	7	6.7	30.8	10
7	28.7	6.9	5.3	28.7	9.7
8	27.5	6.9	4.7	28.5	9.1
9	28	7	6.1	29.3	9.6
10	27.5	7	6.3	28.1	9.5
11	26.5	6.9	6.4	27.9	9.6
12	24.8	6.9	8.2	30.9	9

資料來源：南部科學工業園區臺南園區環境監測資料

表 3-16 高雄園區放流水質

月份	pH	Temp (°C)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
1	7.1	20.9	2.1	14.7	6.1
2	7.2	21.5	1.9	16.7	6.9
3	7	24	2.4	18.9	7.7
4	7	27.8	2.7	18.7	7.5
5	6.9	28.6	2.7	16.7	7.5
6	6.9	27.3	2.6	15.1	6.5
7	6.9	28.3	2.5	18.8	7.6
8	7	28.2	3.3	21.9	8.9
9	6.9	28.6	3.4	21.5	8.8
10	7	27.1	2.1	21.1	8.8
11	6.9	26.4	1.7	14.6	6
12	6.9	26.6	1.7	13.9	5.6

資料來源：南部科學工業園區高雄園區環境監測資料

總結上述盤查資料，各園區盤查資料蒐集並不完整，尤其是水質監測資料，竹南園區缺乏放流水監測資料，另外，現有可取得的監測水質項目無法完全相同，故假設有缺漏的項目與其他園區呈現一致的趨勢。

## 第四章 研究結果與討論



本研究建立水耗用(water consumption)與水使用(water use)兩個衝擊評估類別，以及兩者對應之中間點特徵因子。水耗用係為水資源使用後不放流至原本取水集水區，而是停留在產品、排入其他集水區或是海洋放流，造成水資源佔用，剝奪其他標的使用的機會，進而導致農作收穫與飲用水不足改變引起營養失調、缺乏公共用水產生衛生問題與水媒疾病，以及陸生與水生生態系水資源不足造成物種死亡，故導向人體健康損害及生態系品質兩個損害類別；水使用指的是水資源使用後放流至原本取水集水區，但因水質劣化，使得水資源不為其他標的所用，損害途徑包含使用品質不佳的水資源後產生農產品歉收毀壞，降低食物可取得性，進而造成人體營養不良，故導向人體健康損害類別中。部分衝擊途徑因為其他衝擊類別已經納入考量，例如水資源受污染對人體毒性、生態毒性以及水質惡化的衝擊，為了避免重複，故參考文獻納入適當的衝擊途徑。但終點評估不在本研究範疇內，故本研究提出設計以供未來研究參考。

本章分為兩個部分。第一部分針對水資源耗用及水資源使用兩個衝擊類別，計算各集水區對應的特徵因子數值，並分析說明特徵因子的態勢，討論 4 種節約用水情境下特徵因子的變化。第二部分為以每年獲得 1 億元營業額作為功能單位，進行科學工業園區水資源耗用及水資源使用衝擊評估的案例計算。第三部分則說明本研究設計之方法的可能應用方式。

### 4.1 水資源耗用與水資源使用的特徵因子建立

盤查資料須經由特徵因子轉換為衝擊，本研究建立特徵因子計算方法於第三章已詳細說明，所有參數的空間尺度為集水區尺度，時間尺度則區分為豐水期與枯水期，參數數值皆參考經濟部水利署統計資料，以下將說明臺灣 26 個重要大型

集水區特徵因子建置結果。



#### 4.1.1 水資源耗用特徵因子建立

本研究自行建立特徵因子計算方式，計算公式見公式(15)及(16)，參考取用量/可用水量 WTA 指標的原則建立，由經濟部水利署年報取得臺灣 26 個重要大型集水區數值的參數如表 4-1 所列。

表 4-1 水耗用特徵因子參數參考數值

集水區	豐枯	還原後天然 Q85%	生態基流	家庭公共用水	農業用水	工業用水
淡水河	豐水	116,468	5,850	213,004	32,718	2,880
	枯水	105,290	5,755	148,900	21,499	2,541
頭前溪	豐水	19,611	401	6,635	15,792	9,527
	枯水	8,302	395	6,972	14,998	9,372
中港溪	豐水	13,624	956	2,098	13,254	6,812
	枯水	5,663	941	2,064	10,520	2,148
大安溪	豐水	31,052	1,628	25,258	38,759	3,960
	枯水	15,245	1,602	24,847	24,172	3,896
大甲溪	豐水	49,573	2,670	8,668	77,379	6,448
	枯水	24,447	2,626	8,527	49,232	6,343
濁水溪	豐水	154,784	5,962	4,387	230,604	13,157
	枯水	74,288	5,865	3,567	106,461	7,911
曾文溪	豐水	37,192	2,525	17,707	160,975	1,383
	枯水	4,195	2,484	15,207	63,861	1,605
阿公店溪	豐水	4,859	294	1	2,955	0
	枯水	1,750	289	1	2,125	0
礮溪	豐水	1,715	105	361	1,491	0
	枯水	1,596	103	246	1,503	0
鳳山溪	豐水	7,947	537	386	5,313	0
	枯水	3,277	528	225	5,226	0
高屏溪	豐水	115,482	6,990	19,566	76,676	11,620
	枯水	35,622	6,876	8,923	60,744	2,394
烏溪	豐水	99,958	4,347	167	76,527	1,916

枯水	47,265	4,276	163	68,087	1,279
急水溪 豐水	11,237	813	35	10,354	1,298
枯水	2,635	800	34	1,670	452
和平溪 豐水	27,776	1,205	29	0	548
枯水	24,701	1,186	28	0	539
秀姑巒溪 豐水	88,015	3,842	38	23,537	1
枯水	69,370	3,779	31	21,560	1
朴子溪 豐水	16,191	916	179	12,582	2
枯水	3,824	901	176	6,353	4
北港溪 豐水	28,964	1,385	27	28,357	0
枯水	8,016	1,362	24	9,129	0
八掌溪 豐水	15,488	1,019	10,079	21,567	23,621
枯水	2,926	1,002	555	13,585	26
二仁溪 豐水	8,904	728	7	825	481
枯水	3,314	716	1	770	3
蘭陽溪 豐水	30,885	2,099	1,559	56,035	903
枯水	30,061	2,065	1,604	53,796	869
後龍溪 豐水	13,453	1,283	7	20,912	467
枯水	5,393	1,262	7	18,287	459
花蓮溪 豐水	67,939	3,234	738	31,724	652
枯水	57,874	3,182	503	30,351	1,168
東港溪 豐水	28,990	1,013	9	10,524	20,192
枯水	10,490	996	8	8,263	16,648
卑南溪 豐水	52,467	3,440	363	68,397	0
枯水	34,130	3,384	321	57,286	0
四重溪 豐水	5,327	268	9,734	1,335	0
枯水	1,762	264	918	794	0
鹽水溪 豐水	5,051	736	0	3,199	0
枯水	1,810	724	0	2,024	0

單位：萬立方公尺（萬噸）

資料來源：經濟部水利署一般水權登記引用水量—地面水

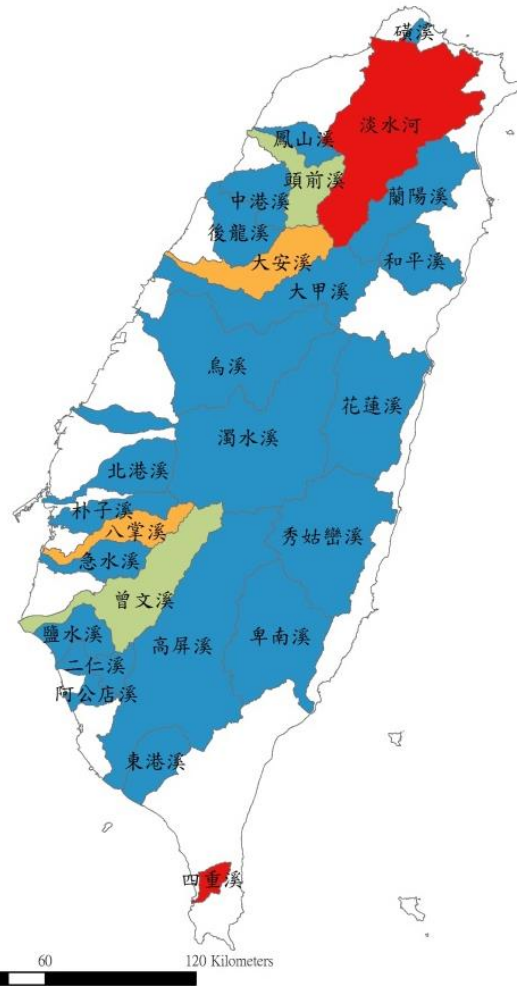
比較表 4-1 臺灣各集水區特徵因子參數中可用水量的差異，首先，Q85 因流域長度與範圍而異，大抵上集水區面積廣闊且河段長者，可用水量較豐沛，由表 4-1 可發現濁水溪、高屏溪與淡水河集水區水量較豐沛，可達十億餘噸，而其他集水

區水量介於千萬噸至億噸之間；更重要的是，由於一年中不同時期地區雨量的差異，豐水期與枯水期對集水區可用水量多寡具有影響力，除了淡水河、磺溪、蘭陽溪與和平溪集水區之外，其餘的集水區中豐水期的水量是枯水期的 2 到 9 倍不等，枯水期的可用水量比起豐水期的可用水量還要少。另外，觀察各集水區的標的消耗性用水量，結果可反映不同集水區的主要土地利用型態與產業機能。





(a) 豐水期



(b) 枯水期

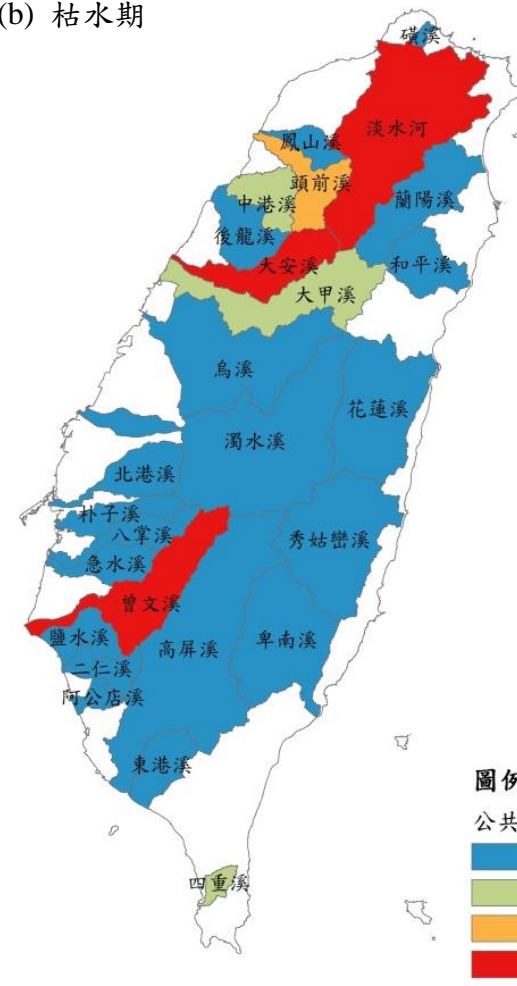
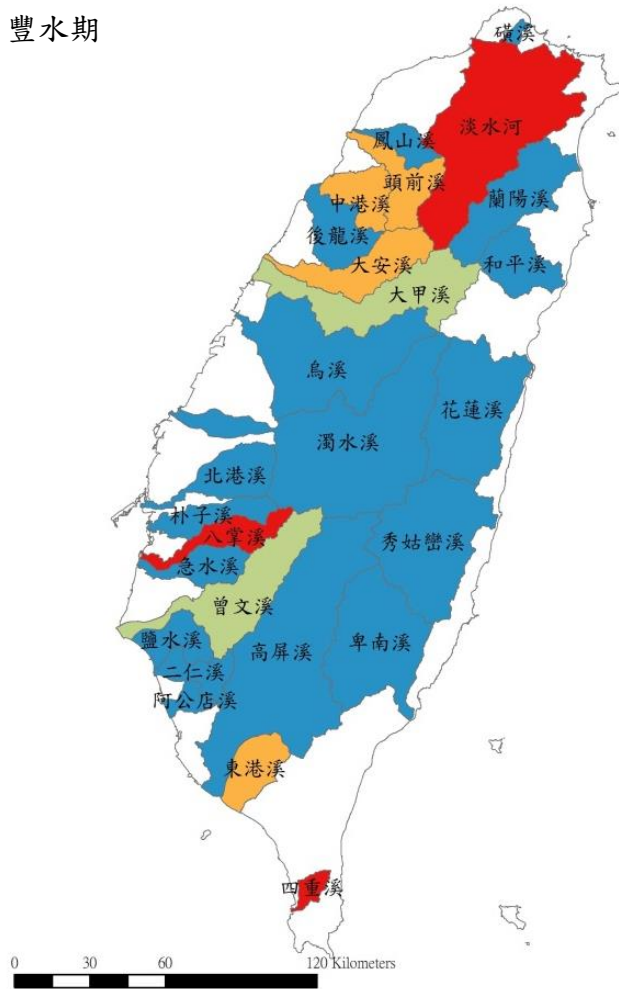


圖 4-1 公共用水耗用水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期

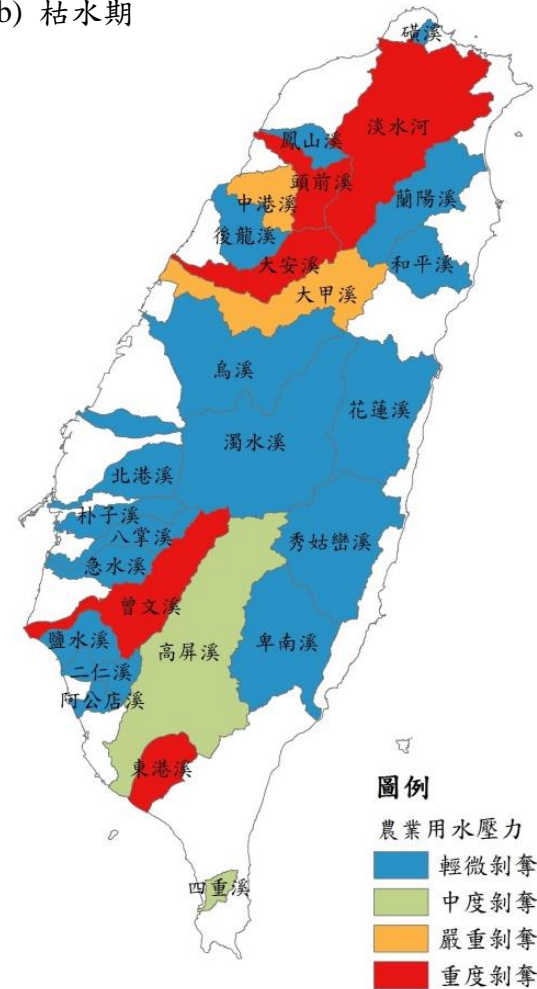
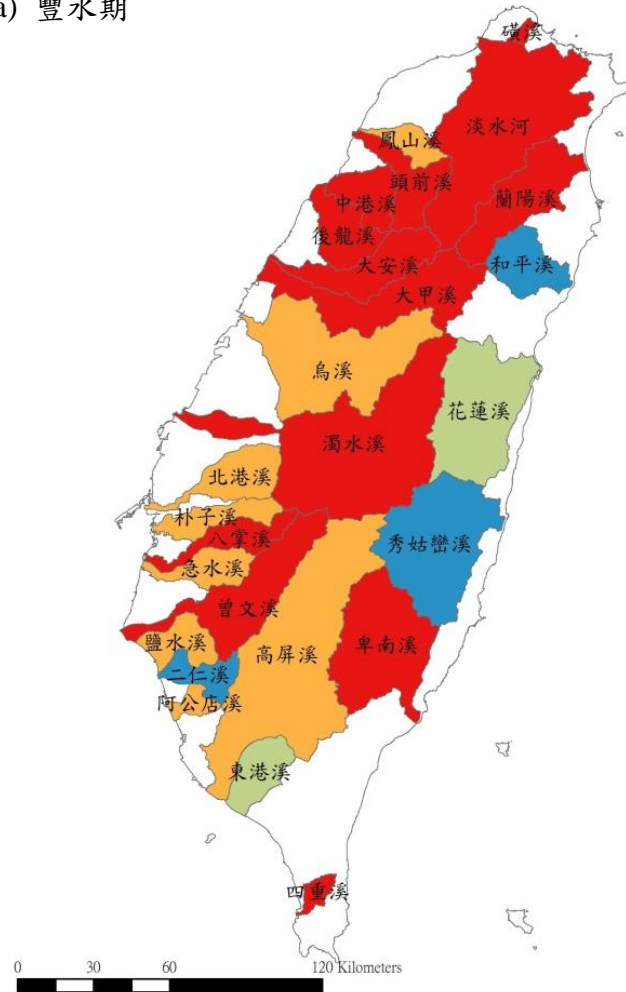


圖 4-2 農業用水耗用水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期

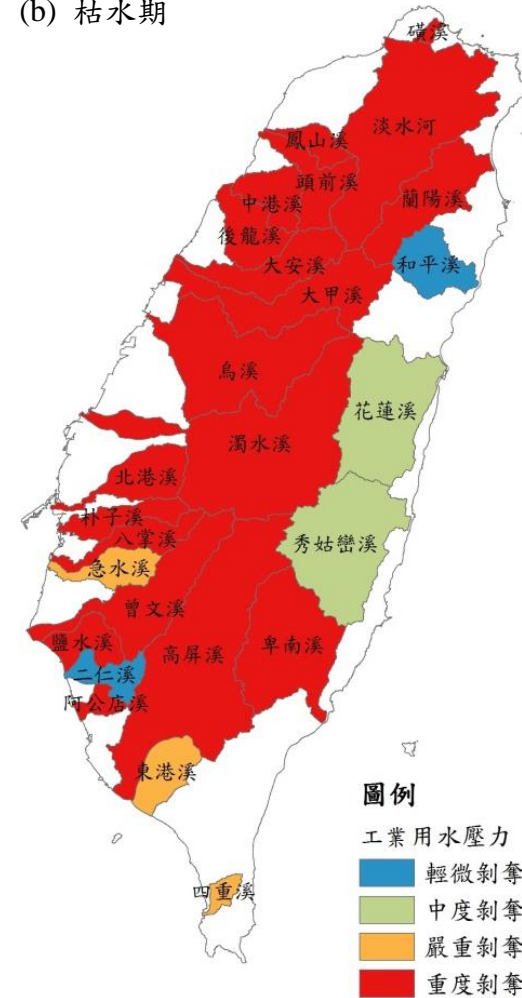
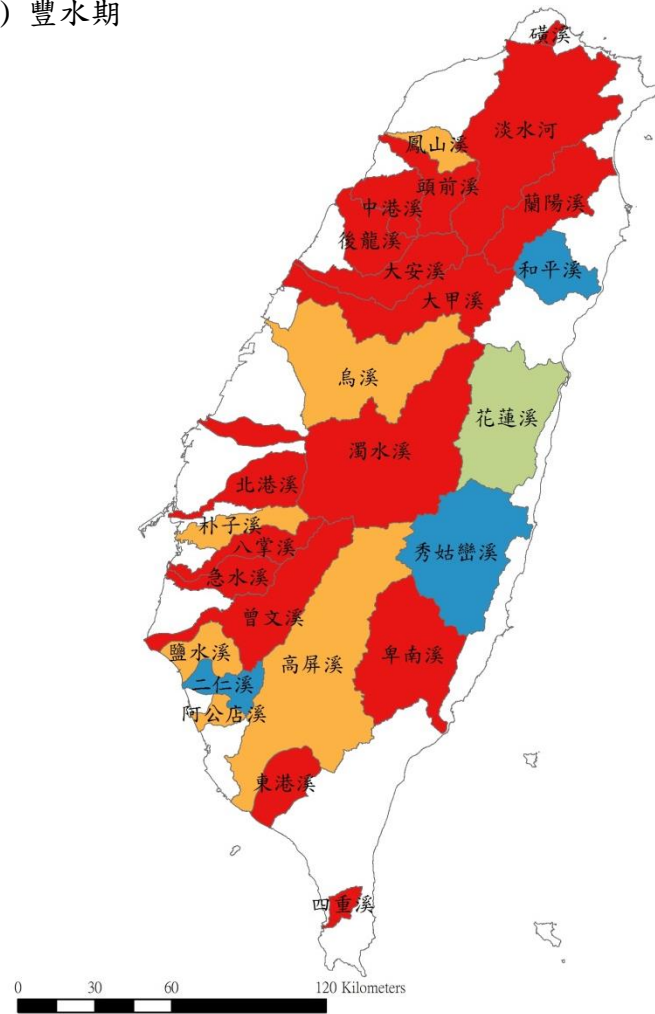


圖 4-3 工業用水耗用水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期

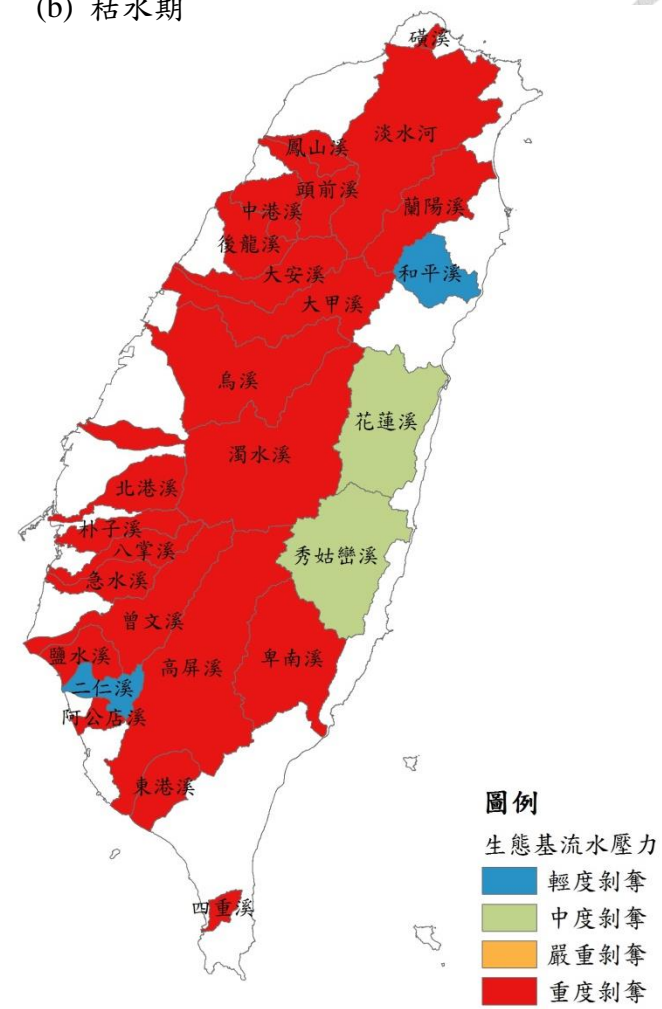


圖 4-4 生態基流水壓力

各集水區的公共、農業、工業、生態基流標的耗用水壓力依序如圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3、圖 4-4 所示，左圖(a)為豐水期之水壓力，右圖(b)則為枯水期水壓力，詳細數值資料見附錄一。

公共用水為臺灣標的用水的第一優先序，故優先序標的用水量即為公共用水，由圖 4-1 公共用水耗用壓力結果得知，大部分的集水區水壓力並不高，豐水期時淡水河與四重溪集水區的水壓力處於重度剝奪，即公共用水大於可用水量，大安溪與八掌溪則屬於嚴重剝奪，頭前溪與曾文溪相較之下處於中度剝奪；然而枯水時節水壓力升高，雖大部分的集水區影響不大，頭前溪、中港溪、大安溪、大甲溪及曾文溪的公共用水壓力卻升高了 1 至 2 個等級，尤其曾文溪集水區的水壓力最為明顯，由於枯水期可用水量僅有豐水期可用量的九分之一，使水資源耗用壓力狀態中度剝奪轉變為重度剝奪，用水更加吃緊。

農業用水屬臺灣標的用水第二優先序，然而因耗用量為所有標的之冠，當水資源短缺時，經常調配給公共用水及工業用水使用，故此二標的為優先序標的用水。農業用水耗用壓力見圖 4-2，形勢與公共用水壓力類似，受到公共用水及工業用水的水資源排擠競爭，豐水期淡水河、八掌溪、四重溪的水資源耗用壓力狀態處於重度剝奪，頭前溪、中港溪、大安溪、東港溪集水區的地表水資源屬嚴重剝奪；枯水期的水壓力更顯增強，上述集水區的水壓力大多升高 1 至 2 個等級。除此之外，因為集水區同時負擔公共用水與工業用水需求，頭前溪、中港溪、大甲溪、東港溪等四個集水區的農業用水耗用壓力較公共用水耗用壓力升高了 1 至 2 個等級不等；因為大量供應工業用水，東港溪集水區上升最為明顯。

工業用水耗用水壓力見圖 4-3，受到公共用水、農業用水的箝制，水壓力居高不下，於豐水期時，臺灣本島全區工業用水耗用水壓力大多為嚴重剝奪以上；枯水期時更幾乎達到全區重度剝奪，惟東部地區及二仁溪為中度剝奪之下，東部地區因少工業發展，工業用水需求不大，故水壓力較小，而二仁溪嚴重污染，淡水資源鮮少被利用，故壓力較小。

生態基流水壓力受公共用水、農業用水、工業用水三者水資源取用量影響，情勢與工業用水耗用壓力相似，但壓力更大，豐水期時大部分的集水區的地面淡水資源屬於重度剝奪，枯水期時生態基流水壓力更加嚴峻，除了和平溪集水區之外，全臺集水區生態基流水壓力皆比豐水期時還要大。

整體而言，各標的壓力大抵上為枯水期壓力大於豐水期壓力，而各標的的水壓力隨著標的用水優先序變化，優先序愈高，水壓力愈小，優先序愈低，水壓力愈大，即公共用水耗用壓力最小，生態基流壓力最大。

而在四個情境節約用水條件之下，當情境一降低公共用水量時，大部分的水壓力維持不變，唯有大甲溪的豐水期與枯水期農業用水壓力分別從中度剝奪及嚴重剝奪，下降至輕度剝奪與中度剝奪。而情境二降低農業用水量時，同樣大部分水壓力維持不變，阿公店溪豐水期與秀姑巒溪枯水期的工業用水壓力分別從嚴重剝奪與中度剝奪，下降至中度剝奪與輕度剝奪。情境三提高工業用水回收率，減少用水量時，只有大甲溪的豐水期與枯水期農業用水壓力分別從中度剝奪及嚴重剝奪，下降至輕度剝奪與中度剝奪，與降低公共用水時的下降幅度差別不大。最後的情境四為綜合所有標的的節水假設，除了以上已列舉的水壓力改變之外，高屏溪集水區枯水期的農業用水壓力從中度剝奪下降至輕度剝奪，花蓮溪集水區枯水期的生態基流壓力從嚴重剝奪下降至中度剝奪。

由此結果可得知，降低公共用水量時，農業用水壓力可獲得紓緩，降低農業用水量時，工業用水壓力可有效減輕，而降低工業用水量時，農業用水壓力受到小幅度的減緩；當單一標的下降用水量時，對於生態基流壓力而言並無受到太大影響，反而多標的同時節約用水時，水壓力減緩效果較佳。但依本研究設定的節約用水幅度來看，所有標的水壓力變動幅度不大，若節約用水量增多，水壓力下降有望。

#### 4.1.2 水資源使用特徵因子建立

本研究自行建立水資源使用特徵因子，計算公式見公式(18)，參考取用量/可用水量 WTA 指標的原則建立，並加入水質因素，反映水體水質對各標的可用水量之影響，即水質要求愈寬鬆的標的擁有較多可用水量，水質要求愈高的標的則可用水量較少，潛在衝擊計算公式如公式(19)。而比較表 4-2 各集水區水質可用水量參數，根據環保署水體水質標準檢測結果了解各分類水質條件下水量的分布，顯示大部分的集水區水質尚佳，僅有急水溪、朴子溪、北港溪、八掌溪、阿公店溪、二仁溪與鹽水溪的水質狀況落在丙級與丁級兩種水質分類。

表 4-2 水質水量參數

河川流域	豐枯	甲	乙	丙	丁
淡水河	豐水	20,634	53,781	19,380	22,673
	枯水	18,654	48,619	17,520	21,219
頭前溪	豐水	-	19,611	-	-
	枯水	-	8,302	-	-
中港溪	豐水	7,001	3,098	1,284	2,241
	枯水	2,910	1,288	534	932
大安溪	豐水	25,018	3,332	2,703	-
	枯水	12,283	1,636	1,327	-
大甲溪	豐水	27,792	11,138	10,643	-
	枯水	13,706	5,493	5,249	-
濁水溪	豐水	99,730	55,055	-	-
	枯水	47,865	26,423	-	-
曾文溪	豐水	-	27,740	9,452	-
	枯水	-	3,129	1,066	-
阿公店溪	豐水	-	0.4	-	4,859
	枯水	-	0.4	-	1,750
礮溪	豐水	1,715	-	-	-
	枯水	1,596	-	-	-
鳳山溪	豐水	3,011	2,381	2,556	-
	枯水	1,242	982	1,054	-
高屏溪	豐水	-	115,482	-	-

	烏溪	枯水	-	35,622	-	-
	烏溪	豐水	-	74,968	14,994	9,996
	急水溪	枯水	-	35,449	7,090	4,727
	急水溪	豐水	-	3,141	2,037	6,059
	和平溪	枯水	-	737	478	1,421
	和平溪	豐水	-	27,776	-	-
	秀姑巒溪	枯水	-	24,701	-	-
	秀姑巒溪	豐水	-	88,015	-	-
	朴子溪	枯水	-	69,370	-	-
	朴子溪	豐水	-	-	7,657	8,534
	北港溪	枯水	-	-	1,809	2,016
	北港溪	豐水	-	3,996	19,522	5,446
	北港溪	枯水	-	1,106	5,403	1,507
	八掌溪	豐水	5,035	-	10,453	-
	八掌溪	枯水	951	-	1,975	-
	二仁溪	豐水	-	-	5,449	3,455
	二仁溪	枯水	-	-	2,028	1,286
	蘭陽溪	豐水	18,590	9,295	3,000	-
	蘭陽溪	枯水	18,094	9,047	2,920	-
	後龍溪	豐水	-	11,737	1,716	-
	後龍溪	枯水	-	4,705	688	-
	花蓮溪	豐水	67,939	-	-	-
	花蓮溪	枯水	57,874	-	-	-
	東港溪	豐水	-	26,208	2,782	-
	東港溪	枯水	-	9,484	1,007	-
	卑南溪	豐水	-	52,467	-	-
	卑南溪	枯水	-	34,130	-	-
	四重溪	豐水	-	5,327	-	-
	四重溪	枯水	-	1,762	-	-
	鹽水溪	豐水	-	-	3,143	1,908
	鹽水溪	枯水	-	-	1,126	684

資料來源：本研究自行計算 單位：萬立方公尺(萬噸)

利用參數計算而得的標的水質水壓力，表示標的取用水量與合適水質條件可用水量的比值，見圖 4-5、圖 4-6、圖 4-7 與圖 4-8，詳細數值資料見附錄二。





(a) 豐水期

(b) 枯水期

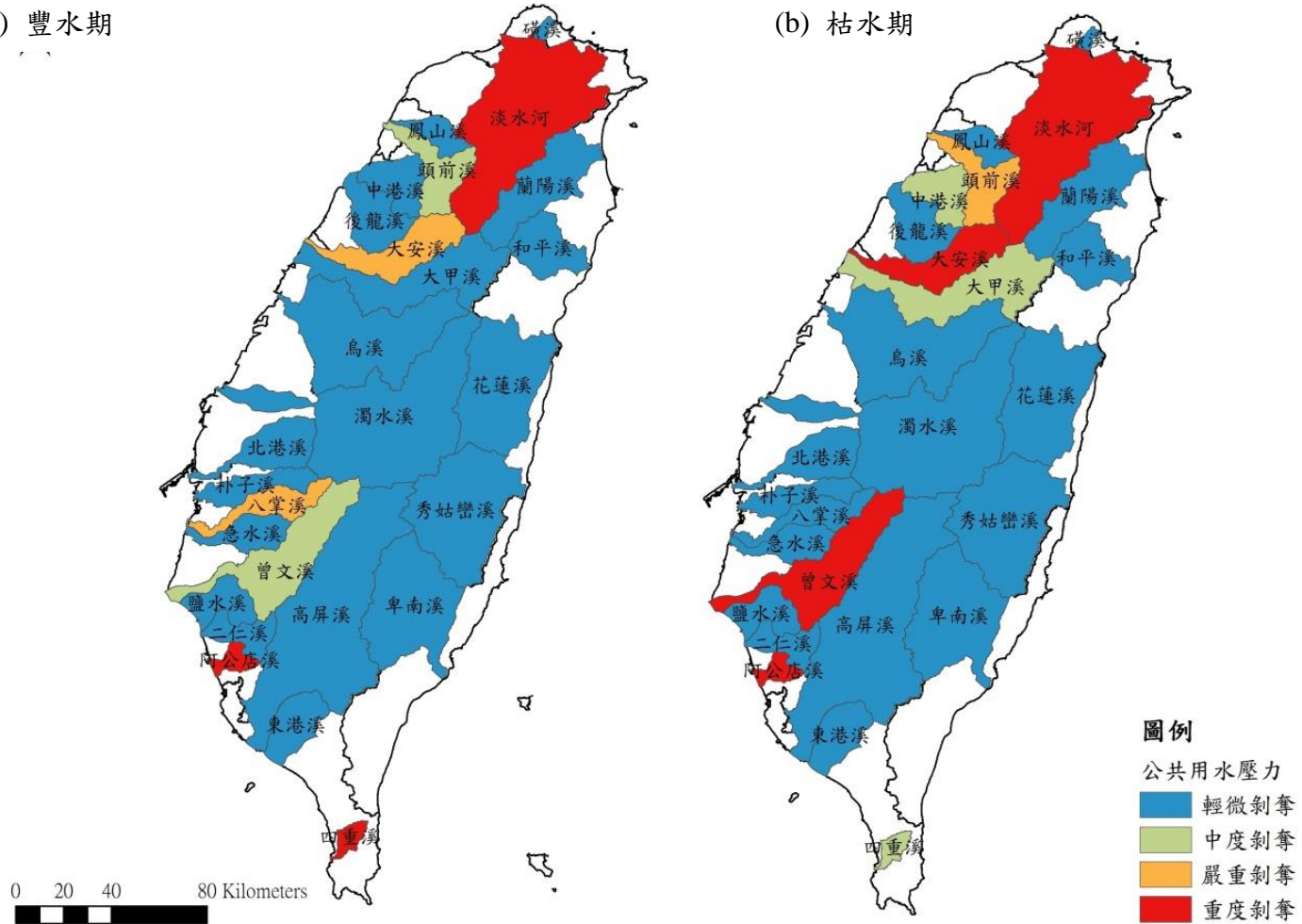
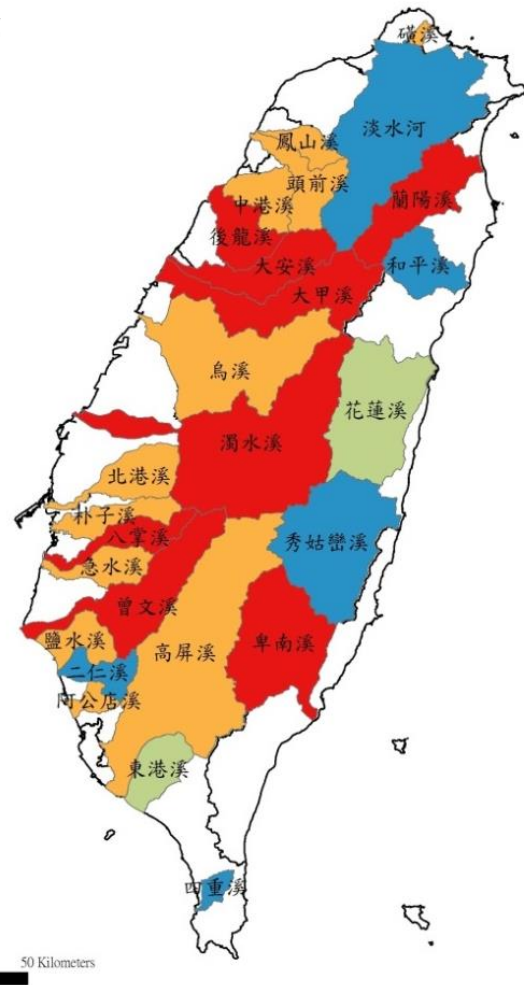


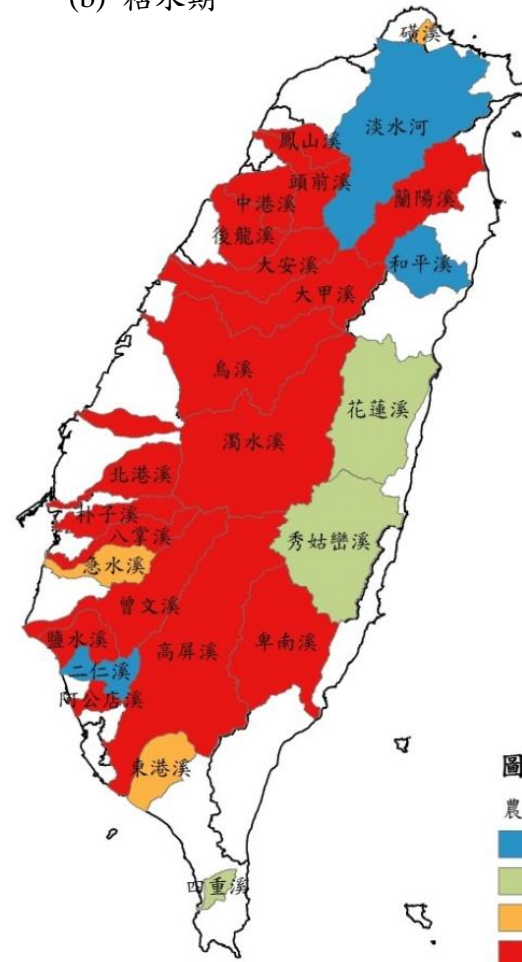
圖 4-5 公共用水水質水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期



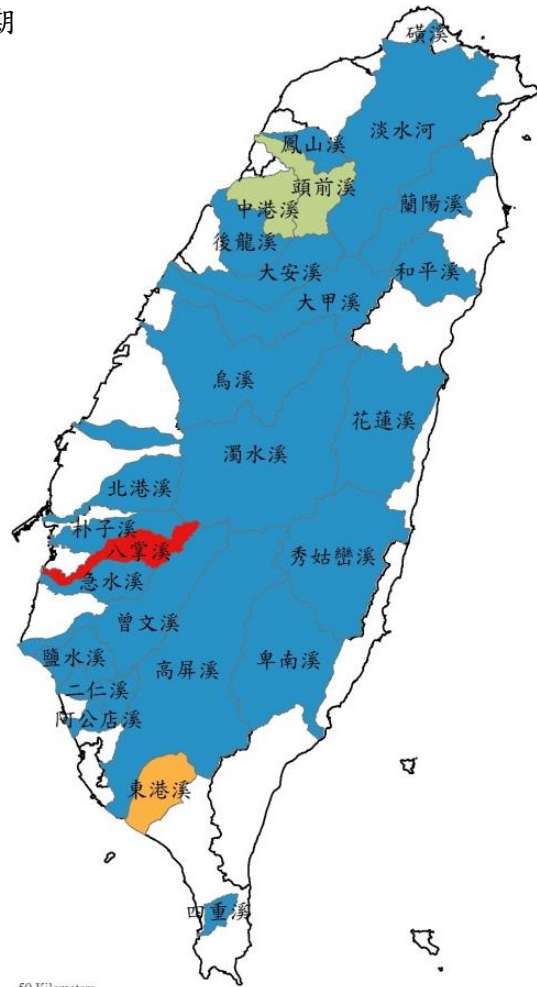
圖例

- 農業用水壓力
- 輕微剝奪
- 中度剝奪
- 嚴重剝奪
- 重度剝奪

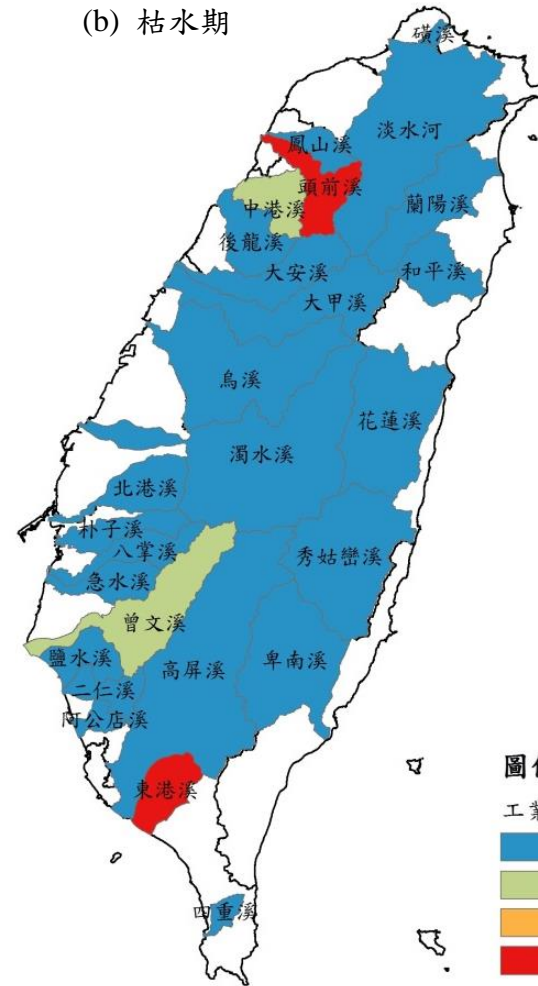
圖 4-6 農業用水水質水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期



圖例

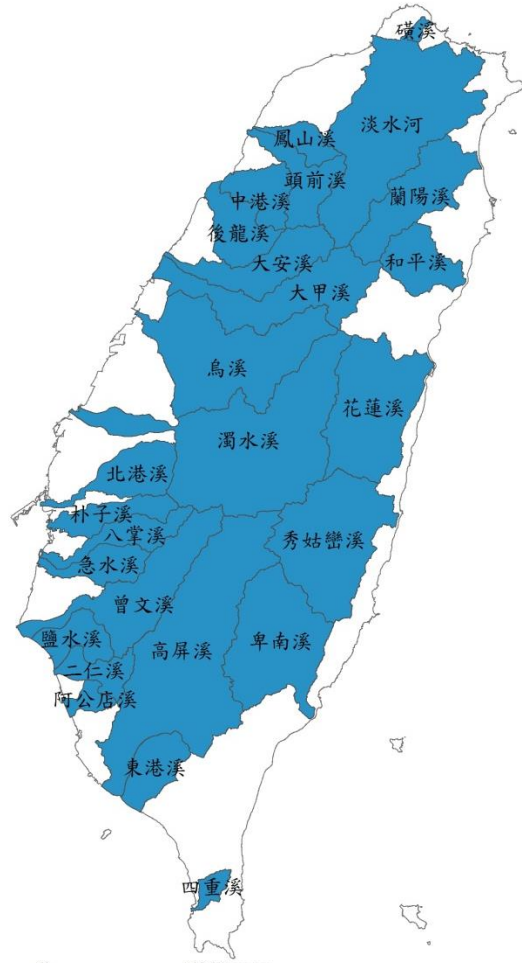
- 工業用水壓力
- 輕微剝奪
  - 中度剝奪
  - 嚴重剝奪
  - 重度剝奪

0 12.5 25 50 Kilometers

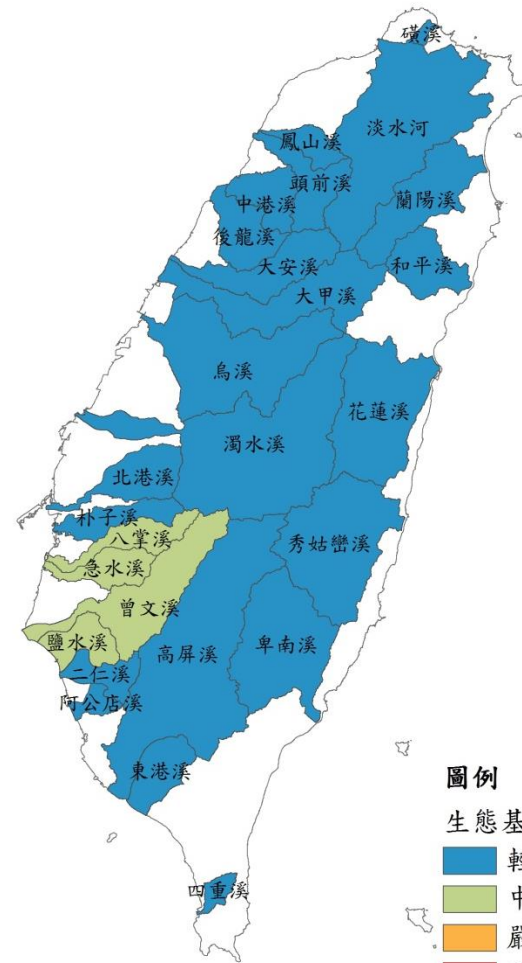
圖 4-7 工業用水水質水壓力



(a) 豐水期



(b) 枯水期




圖例

- 生態基流水質水壓力
- 輕度剝奪
  - 中度剝奪
  - 嚴重剝奪
  - 重度剝奪



圖 4-8 生態基流水質水壓力



公共用水水質要求最為嚴格，圖 4-5 表示公共用水水質水壓力，結果顯示水質水壓力趨勢與耗用水壓力趨勢幾乎相同，但部分地區水壓力愈顯嚴重，可知造成水壓力的因素並非只有水量，也有水質上的不足。多數集水區的水壓力屬於輕微等級，唯有西北、西南區域的集水區水壓力相對較大，比較左圖(a)豐水期與右圖(b)枯水期的水壓力，略有不同，淡水河集水區因公共供水量大，導致水壓力居高不下，另外阿公店溪集水區水質較差，可能因過去養豬廢水管理不彰，大量排入集水區，使水質污染嚴重，無法供給符合公共用水的水質標準，其餘集水區如頭前溪、中港溪、大安溪、大甲溪及曾文溪，其水壓力於枯水期時略高於豐水期，而四重溪與八掌溪枯水期的水壓力低於豐水期，研判原因為用水資料是單年短期，由水資源取用量差異導致。

農業用水水質水壓力如圖 4-6，大多數臺灣西部的集水區水壓力面臨嚴重剝奪與重度剝奪，枯水期時水壓力更加沉重，幾乎一半以上的集水區的水壓力屬於重度剝奪，顯示中南部農業用水量大，地表水可用水量不足以供應，可能會使用水質不佳的水資源灌溉，傷害作物與土地；唯有淡水河、和平溪與二仁溪始終維持輕度剝奪，前者是因為農業用水較少，而後者是因為過去二仁溪受到工業廢水與養豬廢水污染，污染改善有限，尚無法供應大量灌溉用水。

工業用水水質水壓力計算結果見圖 4-7，而大部分集水區的工業用水水質水壓力為輕度剝奪的等級，工業用水量穩定，豐水期與枯水期之間的差異不大，但仍可觀察到頭前溪、曾文溪及東港溪水壓力惡化，其中頭前溪與曾文溪恰好是科學工業園區的取水集水區。

生態基流水質水壓力計算結果見圖 4-8，左圖(a)全區豐水期時的水壓力皆低，但右圖(b)枯水期時水壓力稍有變化，尤其是臺灣西南部的集水區，水壓力攀升至中度剝奪，八掌溪、急水溪、曾文溪與鹽水溪最為明顯，整體集水區尚有足夠生態環境的基礎必需水量。此水壓力由於可用水量水質要求低，使得可用水量很高，生態基流量為集水區面積每 100 公里 0.135cms，需水量並不多，故計算而得的水

質水壓力都很低。

而在四個情境節約用水條件之下，當透過情境一減少公共用水時，水壓力並沒有劇烈改變為不同的剝奪狀況，而情境二節約農業用水時，不少集水區的水壓力已面臨剝奪狀況改變的邊緣，阿公店溪集水區豐水期壓力自嚴重剝奪變為中度剝奪，秀姑巒溪集水區枯水期水壓力由中度剝奪轉變為輕度剝奪，節約工業用水量時，因為工業用水量本來占比就不高，壓力亦無太大變化，而情境四同時節約所有標的用水，因為此指標設置反映水質狀況與水量的關係，節約情境僅能讓以上情境同步發生，沒有發生水質水壓力的連鎖下降效應。

由以上結果可知，根據設定的節約用水情境，水質水壓力小幅下降，但水資源剝奪狀態並無改變，只有農業用水節約可見零星成效，故節約用水幅度加大，搭配水源水質改善，才能使水質水壓力明顯下降。

若將標的耗用水壓力及標的水質水壓力與其他文獻綜合討論，可發現與蔣在文 (2012) 建立的水資源壓力指標相比，雖然計算公式不相同，尚且能以壓力趨勢相互比較。該研究僅考慮水庫壩堰作為唯一可用水量，計算石門水庫、石岡壩與曾文水庫的水壓力，結果顯示南部水庫水壓力較大，而北部水庫水壓力較輕，該作者進一步推論北部水壓力較大而南部水壓力較小；然而本研究的可用水量含蓋集水區內所有地面水，水資源耗用壓力與水質水壓力分為各標的計算，由於集水區內的標的用水分配多元化，以及集水區物理特性多元，整體而言並沒有明顯的南北差異，僅有部分標的水壓力可呈現該趨勢，例如生態基流水質水量壓力便是如此，但比較豐水期與枯水期的水壓力，各類水壓力皆可導出枯水期較大，與蔣在文 (2012) 計算的月均水壓力結論一致、趨勢相同，足見將水壓力分為枯水期與豐水期計算能突現水文狀況的不同。

除此之外，也與 Pfister et al. (2009) 研究結果進行比較，該研究的水壓力以每 0.5 度網格表示，而本研究結果空間單位則為集水區，結果相比之下與 Pfister et al. (2009) 建置的水壓力數量級差距大，應與是否非線性化至 0 與 1 之間有關，而對應本研究集水區得到的數值，趨勢並不完全一致，唯有 Pfister et al. (2009) 建置的水

壓力中雲林全區、嘉義臺南沿海一帶水壓力較高，對應本研究生態基流水質水量壓力中濁水溪、曾文溪集水區的水壓力，的確比其他地區來的高，然而計算公式不同，結果難以相互呼應。

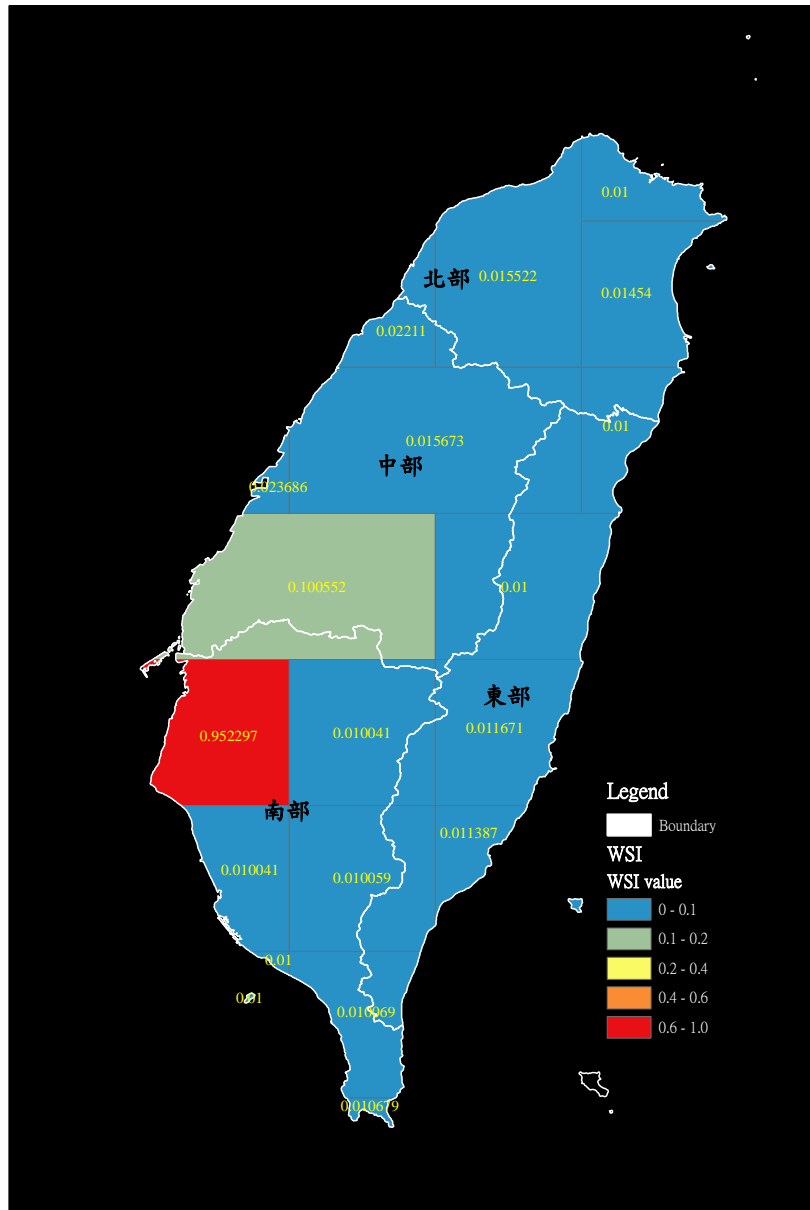


圖 4-9 其他文獻產出的特徵因子

## 4.2 衝擊評估



### 4.2.1 科學工業園區水資源耗用衝擊

本研究計算衝擊的園區與盤查的集水區範圍見圖 4-10，科學工業園區水資源耗用衝擊計算公式如第三章的公式(17)與公式(19)所列，而計算所需的水量盤查資料數值根據取水與排水的集水區分類整理如表 4-4 與表 4-6 所示，由於科學工業園區的水源為自來水，取水集水區即為自來水取水的集水區，然而放流受體集水區皆為園區附近的集水區，故取水與放流集水區通常不會是相同的，會對取水集水區產生耗用衝擊；另外，比較園區造成不同集水區的水資源消耗量，因為南部科學工業園區的臺南園區用水來源集中，曾文溪集水區是最多的，其次為頭前溪、大安溪與中港溪，消耗水量達百萬立方公尺以上。



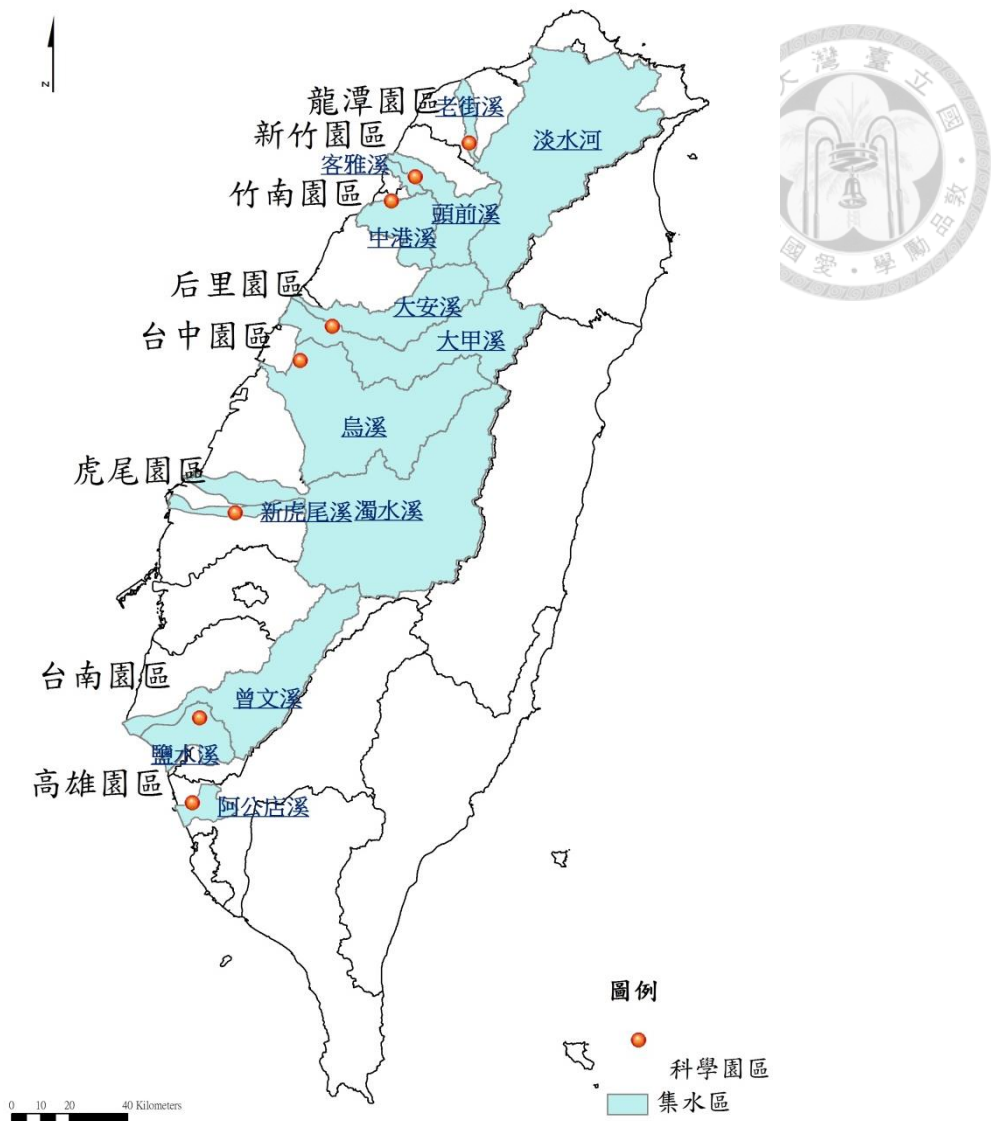


圖 4-10 研究案例與對應之取水及放流集水區

各園區水資源耗用衝擊量亦如表 4-4 所示，以消耗性用水分別乘上標的水資源壓力後得到標的水耗用衝擊，並進一步加總得到園區對所有取水集水區的水資源耗用總衝擊。結果顯示未以功能單位計算的總衝擊中，最大的是南部科學園區於曾文溪集水區造成的水耗用衝擊，新竹科學園區於頭前溪的耗用則緊接在後。若以產出 1 億元營業額作為功能單位，衝擊特徵化結果如圖 4-11，南科臺南園區為生產單位年營業額而耗用的水資源是最多的，其次為竹科龍潭園區，接著是竹科竹南園區，最少的則是南科高雄園區，單位年營業額的水耗用愈高者，一方面可能是消耗性用水較多或取水集水區的水壓力高，另一方面可能為營業額低，換句

話說，和水壓力、營業額及科學園區產業型態的消耗水量等因素有關。

故進一步分析園區產業型態與營業額，龍潭園區的產業為光電業，發展規模小，營業額低，竹南園區主要為光電與生物科技產業聚落，臺南園區則是以光電、精密機械與生技產業為主，產生潛在衝擊最少的高雄園區主要發展產業為生物科技業及精密機械業，營業額也小；黃翊軒 (2013)曾研究臺灣科學工業園區產業型態與水資源的關係，以水足跡模型計算民國 90、93、95 年的科學園區六大產業水足跡狀況，發現積體電路產業為單位產值用水量最低的產業，另外生物技術產業與積體電路業用水量主要來自國內，電腦、通訊及光電則是仰賴國外的虛擬水資源，積體電路產業、精密機械產業與生物技術產業每單位產值水足跡漸漸仰賴國外水資源投入，比對本研究各園區潛在衝擊結果，衝擊大小與產業類別沒有直接關係。於消耗性用水方面，消耗性用水量愈大的園區，與產生的潛在衝擊並非成正比，故無相關，反而耗用水壓力愈大，增加潛在衝擊量，如淡水河與曾文溪集水區的耗用水壓力相較其他集水區大，對應的龍潭園區與臺南園區潛在衝擊也較大。故影響潛在衝擊大小最主要的原因是取水集水區的耗用水壓力以及本研究設定為功能單位的營業額；若要降低對集水區的水資源耗用衝擊，應當選擇淡水資源耗用壓力較輕的集水區作為取水來源。

圖 4-11 亦顯示各科學園區水資源耗用對各集水區產生的衝擊比例，竹科新竹與中科臺中科學園區採用聯合供水運用，其他則是單一水源。

另外，若考量不同節約用水情境產生的水壓力，計算而得的水耗用潛在衝擊見表 4-3，不同情境的衝擊皆有減少，比例不一，衝擊結果並不影響衝擊比較排序。情境一至情境三中，情境三的衝擊僅有兩個園區分別降 1%和 13%，而情境一與情境二中各園區耗水產生的衝擊降低 1~14%不等，也說明了降低公共用水與農業用水量對水資源耗用衝擊舒緩較有幫助，所有情境當中最有效降低潛在衝擊的情境為情境四，所有園區皆能降低 5~17%的水資源耗用衝擊。

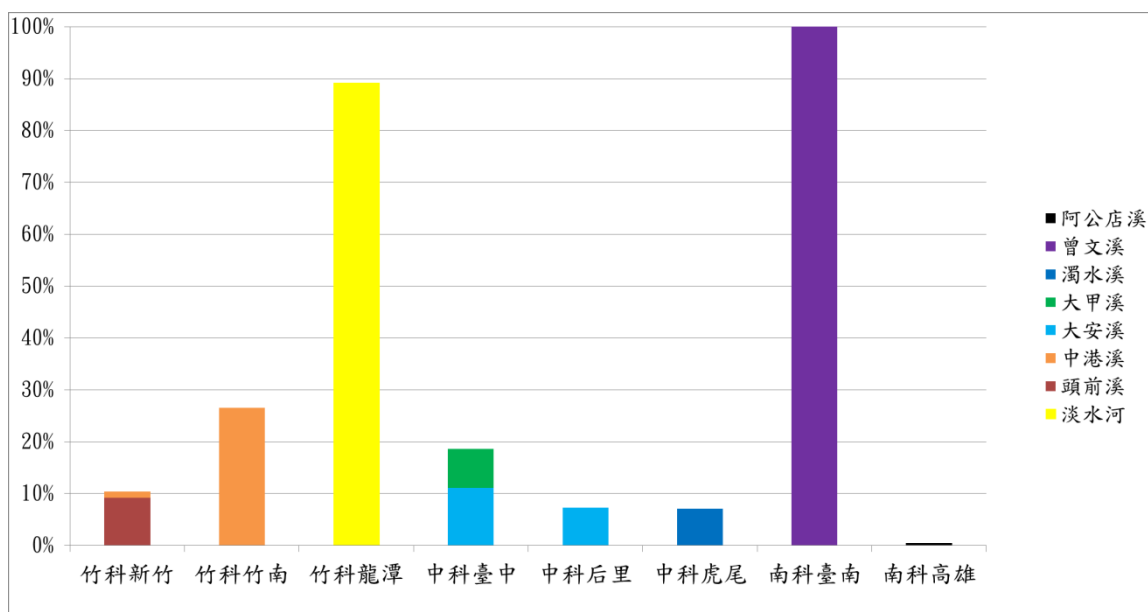


圖 4-11 科學園區水耗用衝擊特徵化結果

表 4-3 不同情境的水耗用潛在衝擊量

園區	基線	情境一	情境二	情境三	情境四
竹科新竹	28,914	24,914	25,040	25,235	24,090
竹科竹南	74,105	73,005	71,877	73,413	70,085
竹科龍潭	248,912	232,832	248,039	248,825	231,872
中科臺中	52,058	50,463	50,750	51,902	48,999
中科后里	20,295	19,449	19,932	20,246	19,038
中科虎尾	19,759	19,698	18,873	19,702	18,754
南科臺南	279,256	274,267	269,086	279,028	263,868
南科高雄	1,404	1,404	1,334	1,404	1,333

單位：m<sup>3</sup> water eq /億元/年

表 4-4 水資源耗用參數與衝擊計算

園區	取水 集水區	豐枯	消耗性用水 (m3)	公共用水衝擊 (m3 water eq)	農業用水衝擊 (m3 water eq)	工業用水衝擊 (m3 water eq)	生態基流衝擊 (m3 water eq)	總衝擊 (m3 water eq)	1 功能單位衝擊 (m3 water eq / 億元/年)
竹科	頭前溪	豐水	20,155,593	6,819,253	16,610,982	23,049,994	33,527,978	80,008,206	25,549
		枯水	18,632,240	15,647,311	36,680,574	49,306,532	73,850,402	175,484,819	
新竹	中港溪	豐水	3,539,107	544,997	2,314,551	3,987,989	6,192,162	13,039,700	3,365
		枯水	3,195,860	1,164,799	2,377,002	7,101,660	9,969,594	20,613,055	
竹科	中港溪	豐水	3,790,200	583,664	2,478,764	4,270,930	6,631,485	13,964,843	74,105
		枯水	3,579,500	1,304,624	2,662,344	7,954,164	11,166,372	23,087,504	
竹科	淡水河	豐水	1,642,500	3,003,907	3,044,523	3,465,316	3,691,357	13,205,103	248,912
		枯水	1,401,200	1,981,562	2,015,375	2,267,671	2,434,554	8,699,162	
中科	大安溪	豐水	5,068,236	4,122,553	4,768,895	10,448,708	11,708,789	31,048,944	31,022
		枯水	4,607,929	7,510,214	8,687,812	14,816,403	17,871,474	48,885,903	
臺中	大甲溪	豐水	5,511,234	963,657	1,680,515	9,566,198	10,868,394	23,078,765	21,036
		枯水	4,973,865	1,734,861	3,025,363	11,751,359	14,611,489	31,123,072	
中科	大安溪	豐水	742,366	603,848	698,520	1,530,466	1,715,036	4,547,870	20,295
		枯水	649,736	1,058,970	1,225,016	2,089,171	2,519,948	6,893,104	
中科	濁水溪	豐水	305,901	8,670	34,672	464,414	510,063	1,017,818	19,759
		枯水	239,673	11,510	37,033	354,981	413,119	816,643	
南科	曾文溪	豐水	21,359,974	10,169,706	10,963,998	102,620,548	110,948,427	234,702,679	279,256
		枯水	19,020,688	68,951,640	76,228,889	358,507,002	896,823,455	1,400,510,986	
南科	阿公店	豐水	132,495	33	33	80,602	85,794	166,461	1,404
高雄	溪	枯水	128,949	86	86	156,696	187,729	344,598	



#### 4.2.2 科學工業園區水資源使用衝擊

本案例水資源使用衝擊評估方法如第三章所提，其中參數盤查結果見表 4-5，各園區對集水區造成的水使用衝擊則見表 4-6 與圖 4-12。水資源使用衝擊計算參數中，盤查而得的水資源排放結果顯示放流量有 1 至 2 個數量級的差距，為客雅溪流域最多，而鹽水溪集水區次之，取決於各園區放流水量的多寡；各標的水質檢核因子的數值經由放流水水質與飲用水水源水質標準、灌溉水質標準、地面水體水質標準比較而得，以 0 與 1 紀錄是否可能產生潛在衝擊，0 表示可能有潛在衝擊，而 1 表示不會產生潛在衝擊。從放流水質盤查資料可知，所有的園區放流水於導電度與總氮兩個項目皆高於灌溉水質標準，化學需氧量與總有機碳則高於飲用水水源水質標準，故評定放流後的水資源無法被集水區內公共用水及農業用水兩個標的使用，形成水資源使用衝擊，工業用水與保育用水尚在水質標準之內，未有水使用衝擊。

表 4-5 水資源使用衝擊計算參數

河川流域	豐枯	V_out (m3)	x_domestic	x_agrculture	x_industry	x_ecosystem
老街溪	豐水	591,979	0	0	1	1
	枯水	563,374	0	0	1	1
客雅溪	豐水	20,405,727	0	0	1	1
	枯水	19,770,168	0	0	1	1
大安溪	豐水	1,996,979	0	0	1	1
	枯水	1,788,644	0	0	1	1
烏溪	豐水	7,659,863	0	0	1	1
	枯水	7,429,427	0	0	1	1
新虎尾溪	豐水	218,349	0	0	1	1
	枯水	160,977	0	0	1	1
鹽水溪	豐水	15,465,866	0	0	1	1
	枯水	14,223,395	0	0	1	1
阿公店溪	豐水	1,902,281	0	0	1	1
	枯水	1,788,492	0	0	1	1

資料來源：本研究自行整理



各園區放流水產生的水使用衝擊結果比較見圖 4-12，以產生 1 億元營業額作為功能單位，南部科學園區高雄基地對阿公店溪集水區造成的水使用衝擊最大，其次為中科后里園區對烏溪集水區產生的衝擊，竹科龍潭園區因為資料欠缺無法計算衝擊，而竹科竹南園區放流位置距出海口近，又加上資料欠缺，故直接假設為海洋放流，故無衝擊，竹科新竹、中科臺中、中科虎尾及南科臺南園區的潛在衝擊約為南科高雄園區衝擊的 0.1 倍，差距懸殊。

各園區對放流集水區產生的潛在衝擊大小與產業別無關，原因為各類放流廢水已經先統一自行處理至納管標準，再由污水處理廠處理至符合放流水質標準，潛在衝擊應當受排放量、水質水壓力以及營業額影響，當排放量與水質水壓力大，營業額卻很小時，便產生較大的潛在衝擊，高雄園區即是放流口阿公店溪集水區的水質水壓力相較其他園區還大，營業額又很低，導致 1 功能單位的潛在衝擊為最大。所以，若欲降低水資源使用衝擊，應著手改善放流水質，使水資源回到水體之後，尚可被其他標的使用者利用，或者是改善水體水質與降低標的水量，使水質水壓力下降，便可降低潛在衝擊。

表 4-6 水資源使用衝擊計算

園區	排放集水區	豐枯	總衝擊 (m3 water eq)	總衝擊 (m3 water eq /億元/年)
竹科龍潭	老街溪	豐水	N/A	N/A
		枯水	N/A	
竹科新竹	客雅溪	豐水	15,260,254	2,312
		枯水	7,855,126	
竹科竹南	新港溪 (距出海口 800 公尺， 假設為海 放)	豐水	N/A	N/A
		枯水	N/A	
中科臺中	大安溪	豐水	4,116,900	3,830



中科后里	烏溪	枯水	5,751,190	
		豐水	5,878,546	
中科虎尾	新虎尾溪	枯水	10,730,609	29,462
		豐水	53,084	
南科臺南	鹽水溪	枯水	191,639	2,636
		豐水	9,794,341	
南科高雄	阿公店溪	枯水	15,907,494	4,389
		豐水	6,863,608	
		枯水	7,537,619	39,553

資料來源：本研究自行整理

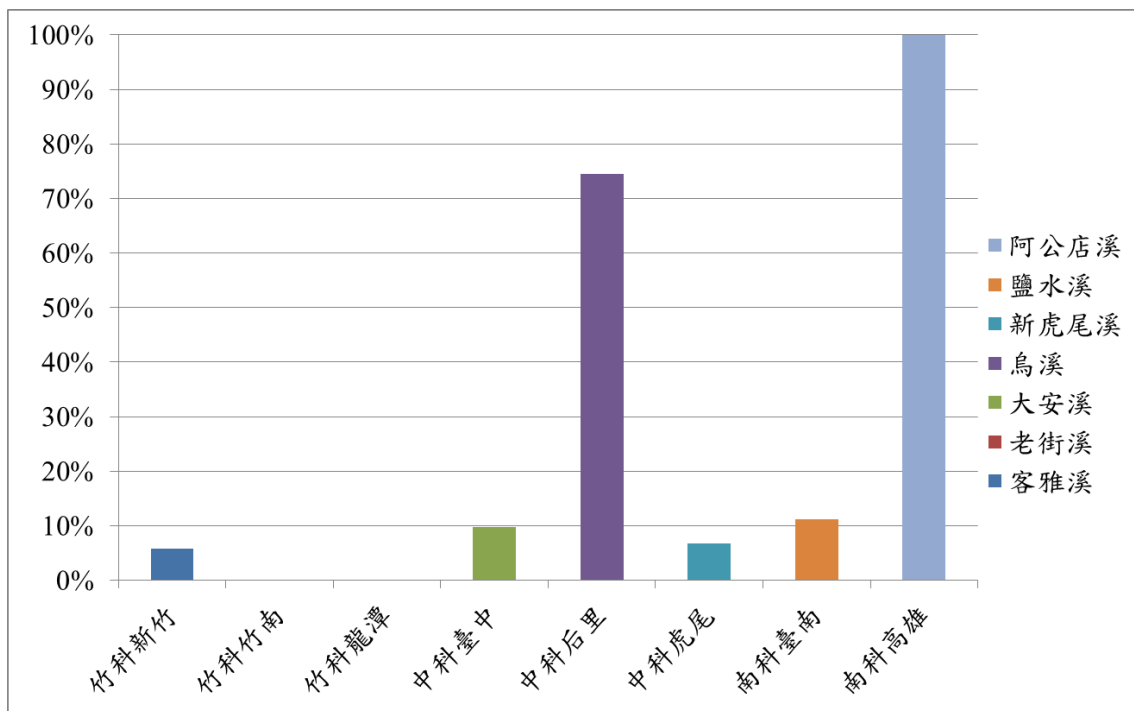


圖 4-12 科學工業園區水資源使用潛在衝擊比較

至於不同節約用水情境下水使用潛在衝擊的變化結果如表 4-7，單一標的節約之下潛在衝擊降低有限，甚至沒有降低，因為部分集水區中沒有特定標的用水需求，四情境中以情境四全標的節約降低水使用潛在衝擊的效果最佳，降低約 1~6%。若同時提高水體水質並節約用水，衝擊降低應更顯著。



表 4-7 不同情境的水使用潛在衝擊量

	基線	情境一	情境二	情境三	情境四
竹科新竹	2,312	2,312	2,196	2,312	2,196
中科臺中	3,830	3,706	3,726	3,830	3,603
中科后里	29,462	29,457	27,993	29,462	27,988
中科虎尾	2,636	2,636	2,504	2,636	2,504
南科臺南	4,389	4,389	4,170	4,389	4,170
南科高雄	39,553	39,553	39,096	39,553	39,096


單位：m<sup>3</sup> water eq /億元/年

### 4.3 衝擊評估方法的應用

本研究建構水資源耗用與使用的特徵因子及衝擊評估方法，盤查資料與特徵因子的基本空間尺度為集水區，時間尺度上又可細分為豐水期與枯水期，特徵因子可包含水質水量的變化，因為水資源耗用與使用為區域性衝擊類別，相較於現存模組化的衝擊評估模式，本方法的時空解析度較高，可反映集水區水質水量狀態，是較少見的研究方法，此方法無地區限制，適用於所有地區；此外本研究產出了本土集水區的水壓力於附錄一與附錄二，提供臺灣未來研究參考之用，例如工業區開發水源規劃、設廠位置選擇以及產業調整等等。

本研究方法於生命週期評估中應用廣泛，可檢視各種研究對象於水資源耗用及使用時，對取水與放流的集水區產生的潛在衝擊，研究對象除了本研究所計算的工業區，亦可評估其他產品、製程與服務等等，國外即有許多研究將水資源耗用衝擊與損害方法應用在農業、食品製造業、生質燃料生產等。如 Mila i Canals et al. (2009)與 Pfister et al. (2009)將研究建立的方法分別用於探討花椰菜與棉花種植生產產生的水資源耗用衝擊；Jefferies et al. (2012)、Ridoutt and Pfister (2010)分別探討茶葉、人造奶油與堅果巧克力豆、義大利麵醬等食品製造，試圖檢視食品加工製造業的國際分工，找到水資源耗用最大的製程及區域水壓力；Chiu et al. (2011)、





Jeswani and Azapagic (2011)與 Hagman et al. (2013)則將方法用於玉米、麻瘋樹籽等生質物種植至生質燃料生產過程水資源耗用評估。除此之外，Hospido et al. (2012)將衝擊評估結果作為穀物灌溉水資源水源取用比例分配的參考，以減緩衝擊產生。

於非生命週期評估方面，本研究提出了水資源耗用與使用的特徵因子，反映集水區的水耗用壓力及水質水壓力，此壓力值可應用於水資源永續經營管理，作為協助決策者水資源分配、水質改善的水資源指標工具。




## 第五章 結論與建議

本研究的目的是為依據生命週期評估規範，考量水質、水資源的時間與空間可及量，以及用水標的之間的競爭，設計水資源耗用及水資源使用兩個衝擊類別與對應的特徵因子計算方法，期望評估地面淡水耗用對集水區造成的潛在衝擊；另外，本研究模擬情境產生不同情況下的特徵因子，並以臺灣新竹、中部與南部科學工業園區 3 個園區之下的所有基地作為研究對象，評估所有情境下基地地面水淡水資源耗用與淡水資源使用的潛在衝擊。以下總結本研究成果，並針對所見之方法提出研究限制、建議與應用。


### 1. 結論

- (1) 本研究根據 ISO 14040 生命週期評估規範，參考標的水資源競爭概念及綜合水質功能導向盤查方式，分別建立淡水資源耗用與淡水資源使用中間點特徵化模式。
- (2) 本研究配合國內節約用水政策目標提出 4 個節水研究情境，包含節約公共用水 7%、農業用水 5%、工業用水 5% 及全標的節水。
- (3) 各標的水資源耗用特徵因子結果顯示，由於豐水期的水資源較枯水期時豐沛，大抵上為枯水期壓力大於豐水期壓力，而各標的的水壓力隨著標的用水優先序變化，優先序愈高，水壓力愈小，即公共用水耗用壓力最小，生態基流壓力最大。集水區各自的水資源耗用壓力表現顯示淡水河集水區地面水可用水量不足，無法負擔標的用水；頭前溪、中港溪、大甲溪、東港溪集水區則是明顯受到工業用水取水量影響，使農業用水耗用水壓力上升。另外，經由節水情境模擬，可小幅度舒緩標的間水資源競爭產生的壓力，若所有標的同時節水，水壓力減緩效果較佳。但依本研究設定的節約用水幅度來看，所有標的水壓力變動幅度不大，若節約用水量增多，水壓力下降有望。

- 
- (4) 各標的水資源使用特徵因子結果顯示，普遍出現水壓力枯水期大於豐水期之情形，各標的用水壓力隨著取用量和對應的水質可用水量有不同變化，唯農業水質水壓力較大，其餘水質水壓力可觀察到部分集水區的壓力特別大，如阿公店溪集水區因水質水量不佳，導致公共用水壓力與農業用水壓力大。另外，經由 4 個節水研究情境計算，水壓力雖有下降，但無法改變剝奪狀態，應大量節水並改善水體水質兩者雙管齊下，方能見成效。
- (5) 各園區水資源耗用衝擊結果顯示，南科臺南園區產生的水資源耗用衝擊最大，其次為竹科龍潭園區，其原因主要為取用水資源的集水區水壓力過大，其次為科學園區營業額小所導致。分析節水情境造成的潛在衝擊變化，單一標的節水情境下，減少公共用水或農業用水可降低水資源耗用衝擊 1~14%，但情境四的全標的節水能降低水資源耗用衝擊 5~17%，效果較佳。
- (6) 各園區水資源使用衝擊結果顯示，南部科學園區高雄基地對阿公店溪集水區造成的水使用衝擊最大，其次為中科后里園區對烏溪集水區產生的衝擊，主要受水質水壓力以及營業額影響。而 4 個節水情境下以情境四衝擊減緩效果最好，若同時改善水體水質並節約用水，衝擊降低應更顯著。

## 2.建議

- (1) 本研究參考多種文獻建立集水區導向的淡水資源耗用及使用衝擊方法，此方法與以往的水壓力指標不盡相同，結合用水標的之建的水資源競爭，以及水質對可用水量的影響，也增加水庫壩堰有效蓄水量提高可用水量精準度，提供新的水壓力指標與看待水資源衝擊的新視角，並補足目前水資源地域性潛在衝擊評估的方法斷層。此方法為通用方法，不限於臺灣，可依據方法中的變數蒐集資料計算而得，具實用性。
- (2) 本研究發展之方法中變數資料時間尺度上不統一，例如 85%超越機率為長期統計，但用水量卻是民國 101 年的單年資料，故水壓力會受到該年用水量



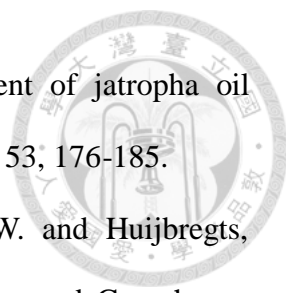
影響。建議未來改善方法時需統一方法中資料的時間尺度，盡量以長期為主，較能反映集水區豐枯水期下的壓力狀態；另外，因應全球氣候變遷，可用水量可能面臨豐枯水期差距加大的情形，未來可將此因素納入方法中，例如結合 IPCC 評估報告中的氣候變遷情境模擬，反映水資源狀態變化。

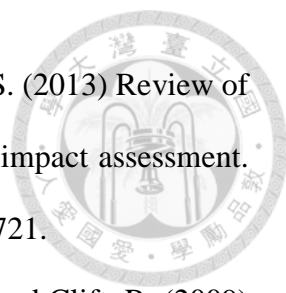
- (3) 本研究目前已針對淡水資源耗用及使用衝擊建立中間點評估方法，但中間點衝擊評估無法推導至人體與生態系統的損害，以環境永續性的視角來看，建議未來應補足終點損害評估方法與衝擊途徑。
- (4) 本研究體認淡水資源耗用及使用潛在衝擊的重要性，已建立地面淡水資源耗用及使用潛在衝擊計算方式，然而因資料取得困難，並無將地下水量列入可用水量，亦無考量地下水取用量。地下水實為淡水資源重要的一環，臺灣地下水用水量即佔年總用水量的三分之一，因此建議未來研究應將地下水可用水量與取用水量納入考量，以便計算更加精準的水資源壓力狀態以及水資源衝擊。
- (5) 本研究建立之衝擊評估方法以集水區為盤查最小空間單元，無法檢視集水區上游水資源耗用或污染對下游使用標的造成的潛在衝擊，故計算之衝擊略有高估之情形，若欲加強集水區水資源耗用及使用潛在衝擊的精確度，建議未來可縮小研究方法尺度至次集水區。
- (6) 本研究嘗試建立標的水質功能導向的水資源使用潛在衝擊評估方法，以水質檢核因子判別是否對集水區產生衝擊，但檢核因子設計沒有模糊地帶，放流水質可能僅有少數項不合水質標準，就被判定產生衝擊；另外，目前水質標準尚有許多稀有金屬等項目未制定水質標準，無從得知是否會對其他標的造成衝擊。建議後續研究可強化標的水質衝擊的判定。

## 參考文獻



- Bayart, J.-B., Bulle, C., Deschênes, L., Margni, M., Pfister, S., Vince, F. and Koehler, A. (2010) A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15(5), 439-453.
- Berger, M. and Finkbeiner, M. (2013) Methodological challenges in volumetric and impact-oriented water footprints. *Journal of Industrial Ecology* 17(1), 79-89.
- Boulay, A.-M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschênes, L. and Margni, M. (2011a) Categorizing water for LCA inventory. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16(7), 639-651.
- Boulay, A.M., Bulle, C., Bayart, J.B., Deschenes, L. and Margni, M. (2011b) Regional characterization of freshwater Use in LCA: modeling direct impacts on human health. *Environmental Science & Technology* 45(20), 8948-8957.
- Brown, A. and Matlock, M.D. (2011) A review of water scarcity indices and methodologies. *The Sustainability Consortium White Paper #106*.
- Chiu, Y.-W., Suh, S., Pfister, S., Hellweg, S. and Koehler, A. (2011) Measuring ecological impact of water consumption by bioethanol using life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17(1), 16-24.
- EC-JRC (2011) Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009) Recent developments in Life Cycle Assessment. *J Environ Manage* 91(1), 1-21.
- Hagman, J., Nerentorp, M., Arvidsson, R. and Molander, S. (2013) Do biofuels require

- 
- more water than do fossil fuels? Life cycle-based assessment of jatropha oil production in rural Mozambique. *Journal of Cleaner Production* 53, 176-185.
- Hanafiah, M.M., Xenopoulos, M.A., Pfister, S., Leuven, R.S.E.W. and Huijbregts, M.A.J. (2011) Characterization Factors for Water Consumption and Greenhouse Gas Emissions Based on Freshwater Fish Species Extinction. *Environmental Science & Technology* 45(12), 5272-5278.
- Hester, E.T. and Little, J.C. (2013) Measuring Environmental Sustainability of Water in Watersheds. *Environmental Science & Technology* 47(15), 8083-8090.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London.
- Hospido, A., Núñez, M. and Antón, A. (2012) Irrigation mix: how to include water sources when assessing freshwater consumption impacts associated to crops. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18(4), 881-890.
- Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V.J., Aldaya, M., Ercin, A.E., Milà i Canals, L. and Hoekstra, A.Y. (2012) Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production* 33, 155-166.
- Jeswani, H.K. and Azapagic, A. (2011) Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production* 19(12), 1288-1299.
- Koehler, A. (2008) Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13(6), 451-455.
- Kounina, A., Margni, M., Bayart, J.-B., Boulay, A.-M., Berger, M., Bulle, C., Frischknecht, R., Koehler, A., Milà i Canals, L., Motoshita, M., Núñez, M., Peters,

- 
- G., Pfister, S., Ridoutt, B., Zelm, R., Verones, F. and Humbert, S. (2013) Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18(3), 707-721.
- Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A. and Clift, R. (2009) Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I—inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14(1), 28-42.
- Morrison, J., Schulte, P. and Schenck, R. (2010) Corporate water accounting: An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts.
- Motoshita, M., Itsubo, N. and Inaba, A. (2011) Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16(1), 65-73.
- Mutel, C.L., Pfister, S. and Hellweg, S. (2011) GIS-Based Regionalized Life Cycle Assessment: How Big Is Small Enough? Methodology and Case Study of Electricity Generation. *Environmental Science & Technology* 46(2), 1096-1103.
- Owen, J.W. (2001) Water Resources in Life-Cycle Impact Assessment: Considerations in Choosing Category Indicators. *Journal of Industrial Ecology* 5(2), 37-54.
- Pfister, S., Koehler, A. and Hellweg, S. (2009) Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science & Technology* 43(11), 4098-4104.
- Potting, J. and Hauschild, M.Z. (2006) Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment: A decade of method development to increase the environmental realism of LCIA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11(1), 11-13.
- Ridoutt, B.G. and Pfister, S. (2010) A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater



scarcity. *Global Environmental Change* 20(1), 113-120.

Smakhtin, V., Revenga, C. and Döll, P. (2004) Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments, International Water Management Institute.

WBCSD (2009) *Water Facts And Trends*, WBCSD.

Zelm, R.v., Schipper, A.M., Rombouts, M., Snepvangers, J. and Huijbregts, M.A.J. (2011) Implementing groundwater extraction in Life Cycle Impact Assessment: Characterization Factors based on plant species richness for the Netherlands. *Environmental Science & Technology* 45(2), 629-635.

中部科學工業園區管理局，中部科學工業園區虎尾園區 101 年 1~12 月環境監測結果說明。

中部科學工業園區管理局，后里園區—101 年 1~12 月營運期放流水監測結果。

中部科學工業園區管理局，中部科學工業園區臺中園區 101 年 1~12 月環境監測結果說明。

行政院環境保護署 (2013) 民國 101 年環境水質監測年報，行政院環境保護署，臺北市。

南部科學工業園區管理局 (2013) 南部科學工業園區統計季報。

科技部新竹科學園區管理局，園區環境保護資訊網-水質檢驗查詢報告，取自 <http://saturn.sipa.gov.tw/Water/workspace.do>。

科技部科學工業園區統計資料庫，

<https://ap0512.most.gov.tw/WAS2/sciencepark/AsSciencePark.aspx>。

科學工業園區管理局 (2007) 新竹工業園區龍潭基地開發計畫環境影響說明書 (定稿本)。

科學工業園區管理局 (2013) 新竹工業園區中華民國 101 年年報，科學工業園區管理局。



科學工業園區管理局 (2014) 「新竹科學工業園區四期擴建用地竹南基地變更計畫暨其擴建計畫環境影響說明書」環境影響差異分析報告。

淡江大學 (2009) 健全工業用水管理制度之研究，經濟部水利署，臺北市。

淡江大學水資源管理與政策研究中心 (2012) 全臺河川水系地面水可用水量計算資訊系統建置計畫(1/3)，經濟部水利署，臺中市。

許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明與盧孟明 (2011) 臺灣氣候變遷科學報告，臺北。

連錦漳、楊伯耕、陳良棟、顏振華與史濟元 (2006) 提升工業用水效益及水回收再利用政策及商機，pp. A4-1-A4-10。

黃俞昌、曾寶山 (2008) 科學園區供水系統與管理。中華技術 78，70-79。

黃翊軒 (2013) 應用水足跡分析科學園區用水之研究，國立成功大學資源工程學系碩博士班碩士論文。

簡振源 (2010) 工業用水永續發展-面臨問題與挑戰。永續產業發展雙月刊 50，pp. 2-9。

經濟部水利署 (2013) 民國 101 年一般水權登記引用水量—地面水，經濟部水利署，臺北市。

經濟部水利署 (2014a) 臺灣地區民國 101 年生活用水量統計報告，經濟部水利署，臺北市。

經濟部水利署 (2014b) 臺灣地區民國 101 年農業用水量統計報告，經濟部水利署，臺北市。

蔡明華、陳益榮 (2001) 農業用水總量清查報告。農政與農情 95，52-57。

蔣在文 (2012) 臺灣區域性水資源耗用之生命週期衝擊評估，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文。

## 附錄



附錄一 耗用水壓力

集水區	豐枯	生態壓力	公共用水壓力	農業用水壓力	工業用水壓力
淡水河	豐水	2.2474	1.8289	1.8536	2.1098
	枯水	1.7375	1.4142	1.4383	1.6184
頭前溪	豐水	1.6635	0.3383	0.8241	1.1436
	枯水	3.9636	0.8398	1.9687	2.6463
中港溪	豐水	1.7496	0.1540	0.6540	1.1268
	枯水	3.1195	0.3645	0.7438	2.2221
大安溪	豐水	2.3102	0.8134	0.9409	2.0616
	枯水	3.8784	1.6298	1.8854	3.2154
大甲溪	豐水	1.9720	0.1749	0.3049	1.7358
	枯水	2.9377	0.3488	0.6083	2.3626
濁水溪	豐水	1.6674	0.0283	0.1133	1.5182
	枯水	1.7237	0.0480	0.1545	1.4811
曾文溪	豐水	5.1942	0.4761	0.5133	4.8043
	枯水	47.1499	3.6251	4.0077	18.8483
阿公店溪	豐水	0.6475	0.0002	0.0002	0.6083
	枯水	1.4558	0.0007	0.0007	1.2152
礮溪	豐水	1.1503	0.2105	0.2105	1.0797
	枯水	1.1715	0.1541	0.1541	1.0956
鳳山溪	豐水	0.7690	0.0486	0.0486	0.7171
	枯水	1.9827	0.0687	0.0687	1.6634
高屏溪	豐水	0.9942	0.1694	0.2701	0.8334
	枯水	2.5068	0.2505	0.3177	1.9557
烏溪	豐水	0.8222	0.0017	0.0208	0.7673
	枯水	1.6174	0.0034	0.0305	1.4440
急水溪	豐水	1.1212	0.0031	0.1186	0.9246
	枯水	1.1752	0.0129	0.1845	0.6467
和平溪	豐水	0.0217	0.0010	0.0208	0.0010
	枯水	0.0241	0.0011	0.0230	0.0011
秀姑巒溪	豐水	0.2801	0.0004	0.0004	0.2679
	枯水	0.3292	0.0004	0.0005	0.3112
朴子溪	豐水	0.8355	0.0111	0.0112	0.7882
	枯水	2.2345	0.0460	0.0471	1.7072

北港溪	豐水	1.0292	0.0009	0.0009	0.9800
	枯水	1.3756	0.0030	0.0030	1.1418
八掌溪	豐水	3.8196	0.6508	2.1759	2.0432
	枯水	7.3629	0.1896	0.1984	4.8321
二仁溪	豐水	0.1606	0.0008	0.0548	0.0934
	枯水	0.2980	0.0003	0.0012	0.2327
蘭陽溪	豐水	2.0321	0.0505	0.0797	1.8648
	枯水	2.0098	0.0534	0.0823	1.8429
後龍溪	豐水	1.7572	0.0005	0.0352	1.5549
	枯水	4.5394	0.0013	0.0864	3.3923
花蓮溪	豐水	0.5118	0.0109	0.0205	0.4778
	枯水	0.5855	0.0087	0.0289	0.5331
東港溪	豐水	1.0982	0.0003	0.6968	0.3633
	枯水	2.6248	0.0008	1.5878	0.7885
卑南溪	豐水	1.4025	0.0069	0.0069	1.3105
	枯水	1.8736	0.0094	0.0094	1.6879
四重溪	豐水	2.1879	1.8272	1.8272	2.0778
	枯水	1.1424	0.5209	0.5209	0.9715
鹽水溪	豐水	0.7413	-	-	0.6333
	枯水	1.8644	-	-	1.1184



附錄二 水質水壓力

集水區	豐枯	公共用水水質 水壓力	農業用水水質水 壓力	工業用水水質 水壓力	生態基流水質 水壓力
淡水河	豐水	2.2709	0.2809	0.0247	0.0502
	枯水	1.7560	0.2028	0.0240	0.0543
頭前溪	豐水	0.3383	0.8053	0.4858	0.0205
	枯水	0.8398	1.8065	1.1289	0.0475
中港溪	豐水	0.1843	0.9728	0.5000	0.0702
	枯水	0.4362	1.8577	0.3793	0.1661
大安溪	豐水	0.8134	1.2482	0.1275	0.0524
	枯水	1.6298	1.5856	0.2556	0.1051
大甲溪	豐水	0.1749	1.5609	0.1301	0.0539
	枯水	0.3488	2.0138	0.2595	0.1074
濁水溪	豐水	0.0283	1.4898	0.0850	0.0385
	枯水	0.0480	1.4331	0.1065	0.0789
曾文溪	豐水	0.4761	4.3282	0.0372	0.0679
	枯水	3.6251	15.2232	0.3826	0.5921
阿公店溪	豐水	2.9808	0.6080	0.0000	0.0605
	枯水	2.9322	1.2142	0.0000	0.1653
礮溪	豐水	0.2105	0.8693	0.0000	0.0613
	枯水	0.1541	0.9415	0.0000	0.0648
鳳山溪	豐水	0.0486	0.6685	0.0000	0.0675
	枯水	0.0687	1.5947	0.0000	0.1611
高屏溪	豐水	0.1694	0.6640	0.1006	0.0605
	枯水	0.2505	1.7052	0.0672	0.1930
烏溪	豐水	0.0019	0.7656	0.0192	0.0435
	枯水	0.0038	1.4405	0.0271	0.0905
急水溪	豐水	0.0068	0.9214	0.1155	0.0724
	枯水	0.0280	0.6338	0.1716	0.3037
和平溪	豐水	0.0010	0.0000	0.0197	0.0434
	枯水	0.0011	0.0000	0.0218	0.0480
秀姑巒溪	豐水	0.0004	0.2674	0.0000	0.0436
	枯水	0.0004	0.3108	0.0000	0.0545
朴子溪	豐水	0.0234	0.7771	0.0001	0.0565
	枯水	0.0973	1.6612	0.0010	0.2355
北港溪	豐水	0.0011	0.9790	0.0000	0.0478
	枯水	0.0037	1.1388	0.0000	0.1699

八掌溪	豐水	0.6508	1.3925	1.5251	0.0658
	枯水	0.1896	4.6426	0.0089	0.3425
二仁溪	豐水	0.0013	0.0927	0.0540	0.0818
	枯水	0.0005	0.2324	0.0009	0.2161
蘭陽溪	豐水	0.0505	1.8143	0.0292	0.0680
	枯水	0.0534	1.7895	0.0289	0.0687
後龍溪	豐水	0.0005	1.5544	0.0347	0.0953
	枯水	0.0013	3.3910	0.0851	0.2339
花蓮溪	豐水	0.0109	0.4669	0.0096	0.0476
	枯水	0.0087	0.5244	0.0202	0.0550
東港溪	豐水	0.0003	0.3630	0.6965	0.0349
	枯水	0.0008	0.7877	1.5870	0.0950
卑南溪	豐水	0.0069	1.3036	0.0000	0.0656
	枯水	0.0094	1.6785	0.0000	0.0992
四重溪	豐水	1.8272	0.2506	0.0000	0.0503
	枯水	0.5209	0.4506	0.0000	0.1496
鹽水溪	豐水	0.0000	0.6333	0.0000	0.1457
	枯水	0.0000	1.1184	0.0000	0.4001