

國立臺灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學系

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis



臺灣河川流域上游集水區生態系服務之經濟價值評估

Economic Value Assessment of Ecosystem Services in the Upper
Catchment of Taiwan River Basin

金威澄

Weicheng Chin

指導教授：范致豪 博士

Advisor: Chihhao Fan, Ph.D.

中華民國 112 年 8 月

August 2023

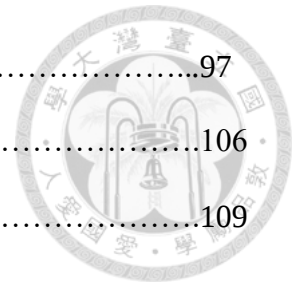
目錄



圖目錄.....	IV
表目錄.....	V
摘要.....	VII
Abstract.....	IX
第一章 緒論.....	1
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 河川流域管理對生態系服務之影響.....	6
2.2 河川流域生態系服務價值之評估.....	10
2.3 政府對河川流域管理之政策分析.....	13
第三章 研究方法與理論模型.....	18
3.1 水文學模型.....	19
3.1.1 水文平衡收支法.....	19
3.1.2 徐昇多邊形法.....	20
3.2 價值評估模型.....	21
3.2.1 重置成本法.....	22
3.2.2 市場價格法.....	23
3.2.3 代理市場法.....	24
3.3 水文學模型與價值評估模型應用在生態系服務評價.....	25
3.3.1 供給服務.....	26
3.3.2 支持服務.....	27
3.3.3 調節服務.....	28

3.3.4 文化服務.....	30
3.4 綜合生態系服務價值之權數.....	31
3.5 研究流程分析.....	34
第四章 數據分析.....	36
4.1 資料來源.....	36
4.2 水源涵養量估算.....	37
4.3 生態系服務價值估算.....	40
4.3.1 水源涵養量服務價值估算.....	41
4.3.2 農林產品供給服務價值估算.....	43
4.3.3 土壤可支持作物生長服務價值估算.....	45
4.3.4 生物棲息地服務價值估算.....	53
4.3.5 防洪服務價值估算.....	56
4.3.6 土石流防治服務價值估算.....	60
4.3.7 氣候調節服務價值估算.....	63
4.3.8 觀光旅遊服務價值估算.....	64
4.3.9 療育休閒服務價值估算.....	69
4.4 綜合生態系服務價值的加權估算.....	71
第五章 政策分析與建議.....	75
5.1 數據分析結果之探討.....	75
5.2 個別集水區政策分析與建議.....	79
5.2 整體政策分析與建議.....	82
第六章 結論.....	88
6.1 研究結果綜論.....	88
6.2 未來研究方向.....	93

參考文獻.....	97
附錄一 重置成本法的推導.....	106
附錄二 數據分析附表.....	109



圖目錄



圖 1. 研究流程圖.....	34
圖 2. 綜合生態系服務價值權數.....	76
圖 3. 集水區供給服務價值.....	77
圖 4. 集水區支持服務價值.....	78
圖 5. 集水區調節服務價值.....	78
圖 6. 集水區文化服務價值.....	79

表目錄



表 1. 行政院農委會林業試驗所調查之各種生態系服務重要性分數.....	32
表 2. 綜合生態系服務價值之權數.....	33
表 3. 集水區氣象觀測站降雨量.....	38
表 4. 河川年逕流量與年蒸發量.....	39
表 5. 集水區土壤水源涵養量.....	40
表 6. 集水區水庫建造成本與年度費用.....	42
表 7. 集水區水源涵養量服務價值.....	42
表 8. 集水區農作與果樹面積.....	43
表 9. 國有林區林業產值.....	44
表 10. 集水區林業產值.....	44
表 11. 集水區農林產品產值.....	45
表 12. 每公頃農作與果樹氮、磷、鉀肥需求數量.....	46
表 13. 集水區農作與果樹氮、磷、鉀肥需求數量.....	47
表 14. 台肥公司單質肥料之氮、磷、鉀肥比率.....	47
表 15. 集水區單質肥料需求數量.....	48
表 16. 集水區農作面積與果樹面積之水源涵養量.....	49
表 17. 集水區農作面積與果樹面積之單質肥料溶解量.....	50
表 18. 集水區農作面積與果樹面積之單質肥料量.....	51
表 19. 台肥公司單質肥料價格.....	52
表 20. 集水區土壤可支持作物生長服務價值.....	53
表 21. 集水區水生與濱水動物以及濱水植物數量.....	54
表 22. 台灣野生動物保育經費與濱水植物栽種費用.....	55

表 23. 集水區生物棲息地服務價值.....	56
表 24. 水庫平均年度清淤費用.....	57
表 25. 水庫平均年度洩洪量價值.....	58
表 26. 石門水庫與曾文水庫的水庫防淤隧道工程成本.....	59
表 27. 德基水庫的水庫防淤隧道工程成本.....	59
表 28. 水庫防洪價值.....	59
表 29. 集水區防洪服務價值.....	60
表 30. 水庫土石流防治工程成本與年度平均費用.....	61
表 31. 水庫土石流防治價值.....	62
表 32. 集水區土石流防治服務價值.....	62
表 33. 集水區林地造林成本與年度平均費用.....	63
表 34. 集水區氣候調節服務價值.....	64
表 35. 集水區旅館與民宿客房收入.....	65
表 36. 集水區旅館與民宿餐飲收入.....	67
表 37. 集水區觀光旅遊服務價值.....	69
表 38. 國家森林遊樂區門票收入與停車費收入.....	70
表 39. 集水區療育休閒服務價值.....	71
表 40. 集水區綜合生態系服務價值.....	72
表 41. 大漢溪上游石門水庫集水區權責單位與功能.....	83
表 42. 大甲溪上游德基水庫集水區權責單位與功能.....	83
表 43. 曾文溪上游曾文水庫集水區權責單位與功能.....	84

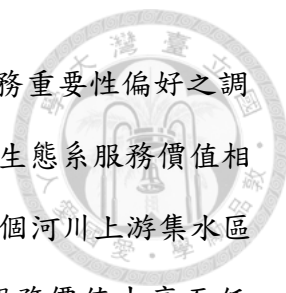
摘要



本文以水文學模型估算 2020 年臺灣具代表性的三個河川上游集水區，包括北部大漢溪上游集水區、中部大甲溪上游集水區與南部曾文溪上游集水區的土壤水源涵養量，而以經濟價值模型來評估 2020 年三個河川上游集水區之諸項生態系服務價值。本文分別針對三個河川上游集水區的供給、調節、支持以及文化等四個生態系服務面向的九項生態系服務的價值進行估算，這其中供給服務包括了水源涵養量服務價值與農林產品供給服務價值，調節服務則包括了防洪服務價值、土石流防治服務價值以及氣候調節服務價值，而支持服務包括了土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值，至於文化服務則包括了觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值。

此外本文以政府所調查的台灣民眾對生態系服務重要性認知為基礎，將河川上游集水區的這九項生態系服務價值進行加權平均，計算河川上游集水區的綜合生態系服務價值，並比較與分析三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值之差別，以此作為國家集水區相關環境管理政策之分析依據。

首先以 2020 年台灣的降雨量、河川逕流量與蒸發散量等水文資料，使用徐昇多邊形法來估算集水區的年均降雨量，再進而使用水文收支平衡法來估算河川上游集水區的土壤水源涵養量。接著本文也以 2020 年台灣水庫、農林產品、肥料、野生動植物、防洪工程、土石流防治工程、林地與旅遊等資料來估算三個河川上游集水區的九項生態系服務價值。在估算河川上游集水區各類型生態系服務價值時，本文以重置成本法來評估水源涵養量供給服務價值、防洪服務價值、氣候調節服務價值以及土石流防治服務價值，以市場價格法來評估農林產品供給服務價值、觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值，而以代理市場法來評估土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值。



其次以臺灣行政院農業委員會於2020年對民眾的生態系服務重要性偏好之調查為依據，按照民眾的生態系服務重要性偏好程度，給予這九項生態系服務價值相對應的權數，來將各個生態系服務價值進行加權加總，以評估三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值。而三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值由高至低依序為北部大漢溪上游集水區、南部曾文溪上游集水區與中部大甲溪上游集水區。

最後探討臺灣政府在三個河川上游集水區的應然面政策分析與建議，使政府有限的預算資源能達到較佳之經濟效果。根據政府對民眾的生態系服務偏好調查結果顯示，防洪與防治土石流的服務價值最為重要，而使用重置成本法所估算的上述兩個服務價值，大漢溪上游集水區明顯大幅高於曾文溪與大甲溪上游集水區。因此，為增進綜合生態系服務價值與平衡區域經濟發展的需要，政策上應提高臺灣中南部河川上游集水區的防洪與防治土石流之服務價值。

本文進而提出二項具體的政策建議，其中一項政策建議為，跨越現有的行政區劃，由河川上游集水區所位處的各縣市，成立生態環境保護經費運用之協作平台，相關縣市統一協調運用生態環境保護資金，如此較能針對實際的河川上游集水區來進行有效的生態環境管理。而另一項政策建議則為，政府應將河川上游集水區的生態系服務價值納入整體經濟總量的衡量之中，才能在促進經濟發展之際，同時兼顧生態環境的保護。

關鍵字：生態系服務價值、綜合生態系服務價值、河川上游集水區、水文學模型、經濟價值模型

Abstract



This paper uses two hydrological models and three economic valuation models to evaluate the ecosystem service value of three representative upper river catchment areas for Taiwan in 2020, and compares the differences among the comprehensive ecosystem service values of three upper river catchment areas. Such differences will be the basis for analysis of relevant national river catchment management policies.

Hydrological balance method and Thiessen polygons method were used to estimate the soil water conservation in the upper river catchment areas, and then replacement cost method, market price method and surrogate market method were used to estimate the supplying, regulating, supporting and cultural service values in upper river catchment areas.

Furthermore, on the basis of the survey of the public's preference for ecosystem services by the Council of Agriculture of Taiwan's Executive Yuan in 2020, the value of each ecosystem service is weighted and summed to evaluate the comprehensive ecosystem service values of the three upper river catchment areas. The order of comprehensive ecosystem service values in the three upper river catchment areas ranked from high to low is the upper Dahan river catchment area in northern Taiwan, the

upper Zengwen river catchment area in southern Taiwan, and the upper Dajia river catchment area in central Taiwan .



Eventually, we discuss the policy analysis and suggestions about the upper catchment areas of three rivers for Taiwan Government, in order to let the government's limited budget resources can achieve better economic results. According to the public's preference for ecosystem services surveyed by Taiwan Government in 2020, the ecosystem service values of flood control and landslide prevention are the most important. However, the above two service values estimated by replacement cost method is significantly higher in the upper catchment area of Dahan River than in the upper catchment areas of Zengwen River and Dajia River. Therefore, in order to enhance the comprehensive ecosystem service values, and balance the regional economic development, Government policies should increase the ecosystem service values of flood control and landslide prevention in the upper catchment areas of rivers for central and southern Taiwan.

Keywords : Ecosystem service value, Comprehensive ecosystem service value

第一章 緒論



生態系服務的價值評估不僅是環境生態學術所關注的課題，近年來隨著 ESG (Environment, Social and Governance)概念受到普遍重視，更成為商業管理學術的重要議題，此外生態系服務的價值評估也深刻地影響了政府在相關環境政策上的規劃與實施，而隨著國際上日益重視環境的淨零排放(net zero emissions)，藉由生態系服務這種自然解方(nature-based solutions)來達成碳中和(carbon neutral)或氣候中和(climate neutral)，也成為一股重要的新興趨勢。

Costanza et al. (1997) 討論了全世界生態系服務價值的評估問題，他們認為過去衡量全球經濟價值主要是以全世界經濟活動所創造的商品與勞務之市場價值來衡量，這樣的衡量方式往往忽略了生態系統與自然資源帶給人類的潛在福祉。Costanza et al. (1997) 針對全球生態系服務所帶給人類的各個層面之福利，區分了 17 項不同型態的生態系服務，包括：氣體調節(gas regulation)、氣候調節(climate regulation)、干擾調節(disturbance regulation)、水源調節(water regulation)、水源供給(water supply)、侵蝕控制及沉積物保持(erosion control and sediment retention)、土壤形成(soil formation)、養分循環(nutrient cycling)、廢棄物處理(waste management)、昆蟲授粉(pollination)、生物控制(biological control)、生物避難所(refugia)、食物供給(food supply)、原物料(raw materials)、基因資源(genetic resources)、休閒娛樂(recreation)以及文化價值(cultural)。Costanza et al. (1997) 認為一方面可以在傳統的全球 GNP 衡量裡，加入這些生態系服務價值，以便使全球 GNP 的衡量能更完善，另一方面全世界各國政府在進行自然環境的開發計畫上，也可以納入這些生態系服務價值的評估做為考量開發計畫可行性的重要環節。而 2005 年的聯合國千禧年生態系評估 (Millennium Ecosystem Assessment) 則將生態系服務的功能區分為供



給(provisioning)、調節(regulating)、支持(supporting)以及文化(cultural)等四個不同的服務層面。聯合國千禧年生態系統評估進一步將這四種不同功能的生態系服務層面與人類的各種類型福祉連繫在一起，這些人類的福祉包括了安全(security)、良好生活的基本素材(basic material for good life)、健康(health)、良好的社會關係(good social relations)以及選擇與行動的自由(freedom of choice and action)。

近年國際上商管學術領域及企業營運實務也著重將環境保護(Environment)、社會責任(Social)與公司治理(Government)，即所謂 ESG 概念，納入企業營運績效的評估中。將環境的可持續性(sustainability)與企業在商業金融上的表現連結在一起，亦即除了傳統上衡量企業的財務成長績效之外，也進一步將企業在維持或促進環境永續上的成效，做為企業在商業金融營運上的重要考量因素。具體而言，首先企業營運對生態系服務價值所造成的正面或負面之效果，會影響企業的公司價值，因此生態系服務價值顯然會影響企業的經營管理(Fatemi et al,2018)。其次企業營運對生態系服務價值所造成的效果，會影響企業的股票報酬率，所以生態系服務價值進而會影響投資人的投資決策(Widyawati ,2020)。此外企業營運對生態系服務價值所形成的效果，也會影響企業借貸資金的難易程度與資金借貸的利息成本(Kim et al,2022)。而最後企業營運對生態系服務價值所形成的效果，亦會影響政府機構對企業營運的監理(Alamillos et al,2022)。

Kumar et al. (2013)依據 2007 年歐盟的生態系統與生物多樣性經濟學(The Economics of Ecosystems and Biodiversity)計畫來分析如何從局部個體的生態系服務評價來形成或制定全國總體的環境政策。Kumar et al. (2013)認為從個別局部地區的生態系服務評價擴展為適用於全國範圍的總體環境政策會面臨到一些不同的挑戰，首先這會需要多面向跨領域的整合，包括了社會科學與生物物理學的科際整合，以便使得總體環境政策具有足夠的彈性能適應於不同地區的差異。其次現有衡量



生態系服務的相關指標，可能只足以衡量較特定的生態系服務，需要發展可衡量不同變化情況下的生態系服務之較完整指標，並且這些較完整的指標能連結到，包括了貨幣與非貨幣的全面性生態系服務價值。最後從局部地區的生態系服務評價擴展為全國性環境政策，會遇到生態系服務出現非線性改變的問題，譬如某些發展程度較高的地區之生態系服務評價方法可能不適宜直接應用在發展程度較為滯後的地區，另外也可能牽涉到不同地區所提供的生態系服務質素不確定與不同地區民眾的偏好不確定的情況，解決的方法為儘可能兼採較多元的生態系服務評價模式，以及政策制定者在解釋與使用這些生態系服務評價時要體認到其中可能的侷限。

本文以台灣三個具有代表的河川上游集水區的不同類型生態系服務之價值評估為基礎，並建立河川上游集水區的綜合生態系服務價值，再依據三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值之比較，來分析與形成台灣河川上游集水區的水文環境管理政策。

本文首先使用 2020 年台灣的降雨量、河川逕流量與蒸發散量等水文資料，藉由水文平衡收支法與徐昇多邊形法等水文學模型，來估計台灣北部大漢溪、中部大甲溪與南部曾文溪三個河川上游集水區的土壤水源涵養量。

接著本文分別針對三個河川上游集水區的供給、調節、支持以及文化等四個面向的各種生態系服務進行研究，這其中供給服務包括了水源涵養量供給服務與農林產品供給服務，調節服務則包括了防洪服務、氣候調節服務以及土石流防治服務，而支持服務包括了土壤可支持作物生長服務與生物棲息地服務，至於文化服務則包括了觀光旅遊服務與療育休閒服務。上述各種類型生態系服務的價值評估中有許多都牽涉到集水區土壤水源涵養量所發揮的生態系服務功能，而集水區土壤水源涵養量的價值不容易直接估算，因此需要以集水區的水庫建造成本來評估這類涉及到集水區土壤水源涵養量的生態系服務之價值。因此本文以三個河川上游集



水區的相應水庫的資料，即大漢溪的石門水庫、大甲溪的德基水庫以及曾文溪的曾文水庫的水文資料，來估算這些涉及到集水區土壤水源涵養量的生態系服務之價值。此外本文也以 2020 年台灣農林產品、肥料、野生動植物、防洪工程、土石流防治工程、林地與旅遊等資料來估算集水區的其他種類之生態系服務價值。在估算河川上游集水區的各類型生態系服務價值時，本文以重置成本法來評估水源涵養量供給服務價值、防洪服務價值、氣候調節服務價值以及土石流防治服務價值，以市場價格法來評估農林產品供給服務價值、觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值，而以代理市場法來評估土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值。

本文進一步以臺灣行政院農業委員會於 2020 年對民眾的生態系服務重要性偏好之調查為依據，來將上述各個類型的生態系服務價值進行加權加總，以評估三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值。實際資料的估算顯示，在 2020 年三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值由高至低依序為北部大漢溪上游集水區、南部曾文溪上游集水區以及中部大甲溪上游集水區。

最後本文探討臺灣政府在三個河川上游集水區的環境政策分析與建議，使政府有限的預算資源能達到較佳之經濟效果。根據政府的偏好調查結果顯示，防洪與防治土石流的服務價值最為重要，而依重置成本法所估算的上述兩個服務價值，大漢溪上游集水區明顯大幅高於曾文溪與大甲溪上游集水區。因此，為增進綜合生態系服務價值與平衡區域經濟發展的需要，政策上應提高臺灣中南部河川上游集水區的防洪與防治土石流之服務價值。其中一項具體的政策建議為，跨越現有的行政區劃，由河川上游集水區所位處的各縣市，成立生態環境保護經費運用之協作平台，相關縣市統一協調運用生態環境保護資金，如此較能針對實際的河川上游集水區來進行有效的生態環境管理。而另一項具體的政策建議則為，政府應將河川上游集

水區的生態系服務價值納入整體經濟總量的衡量之中，才能在促進經濟發展之際，同時兼顧生態環境的保護。



本文以下的章節安排如下，第二章為文獻回顧，由於本文主要在研究台灣河川上游集水區的生態系服務價值評估，所以會著重回顧有關河川流域的生態系服務之相關文獻。第三章討論本文研究所使用的水文學模型以及經濟價值評估模型，本文使用水文學模型中的水文平衡收支法與徐昇多邊形法來估計集水區的土壤水源涵養量，而使用經濟價值評估模型中的重置成本法、市場價格法與代理市場法來估算集水區的各項生態系服務價值。第四章為資料來源與理論模型所估算的數據結果，同時針對集水區的各項生態系服務價值估算之數據結果進行分析討論，並依據台灣行政院農委會對台灣民眾所做的生態系服務偏好調查來估算集水區的綜合生態系服務價值。第五章為本文的政策分析與建議，分析推論本文模型估算的數據結果所蘊含的環境管理政策意義，並進而提出適當的環境管理政策建議。最後一章，則為本文的結論。

第二章 文獻回顧



本章為相關文獻回顧，由於本文旨在研究河川流域上游集水區的生態系服務之經濟價值評估，因此本章的文獻回顧主要著重在討論有關河川流域管理對生態系服務影響、河川流域生態系服務價值評估以及政府對河川流域管理的政策分析之相關文獻。

2.1 河川流域管理對生態系統服務之影響

首先本節討論河川流域管理對生態系服務所產生的影響之相關文獻，Looy et al. (2017)以法國布雷斯地區的三條河川流域資料來研究河岸帶的生態系服務之間的相關性，他們著重在河岸帶的水質淨化與養分保持這二項對河流管理具有關鍵性的生態系服務。他們的研究發現不同河川流域的河岸帶之生態系服務，彼此間的關聯性並不高，反而存在明顯的空間地域上的變異性。這使得環境管理當局必須審慎地依照各個河川流域的空間地理特性，來評估不同河川流域的河岸帶生態環境之異質情況。並依照不同河川流域的河岸帶生態環境間的差異，來精確地衡量不同河川流域的河岸帶之生態系服務。

Throp et al. (2010)討論由河川邊自然或人造景觀所形成的水文地貌學如何影響河川流域的生態系服務之評估，他們認為河川的類型、同一河川的不同區段、各種不同型態的河川管制、河川管制對河川全流域以及河川上下游的效果皆會影響河川的生物複雜度以及相應的河川生態系服務。他們將河川邊自然或人造的水文地貌，區分為蜿蜒曲折的河道、水網交織的河道、具有防洪堤的河道以及具有水庫的

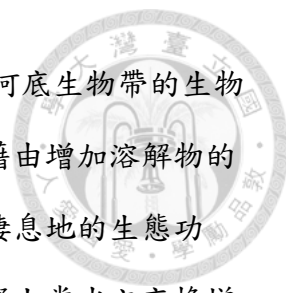
河道等不同的水文地貌，並分析這些不同的水文地貌對諸如生物多樣性、養分循環、碳排放隔離、水資源貯藏、食物供給與休閒娛樂等生態系服務的影響。



Brauman et al. (2014)討論生態系服務與河川流域管理之間的關係，生態系服務是將生物物理性質的生態系運作過程與攸關人類福祉的功能連結在一起，這個架構可以讓環境政策當局辨認河川流域管理的各項層面影響了那些生態系服務，而這些生態系服務的改變又影響了那些人群。而生態系服務價值也不一定必須以貨幣來衡量，但是以貨幣來統一的評估生態系服務價值，可以便於比較，並有助於政策制定。而且生態系服務的經濟價值評估也是有用的工具，可以讓政策機構判斷哪一些河川管制方法不會產生作用或是在政治上是不可行的。

Kaiser et al. (2020)分析文獻上有關河川整修對河川的生態系服務價值影響的諸多相關研究，來討論河川的整修是否能增加河川的生態系服務價值。他們以河川所提供的供給服務、調節服務與文化服務等生態系統服務，來整理歸納河川整修對這些河川提供的生態系服務價值之影響。他們發現在河川整修對供給服務所造成的影響中，65%的河川整修會增加供給服務，80.6%的河川整修會增加調節服務，而89.4%的河川整修則會增加文化服務。因此實際的經驗數據顯示對河川進行整修大體上能增加河川所提供的生態系服務價值。

Gilvear et al. (2013)從河流網絡的尺度來研究蘇格蘭的河川翻新改造計畫所提供的多重生態系服務，他們設計了全體長期生態系服務分數來衡量河川的翻新改造如何恢復河川的重要地貌、水文與生態進程，以及因此所恢復的河川生態系功能。全體長期生態系服務分數是長期間生態系聯合效果的累積結果，並且此分數也以社會價值與經濟價值評估來進行加權處理。他們認為只有健全的生態系服務衡量架構，才能正確地評估河川的翻新改造所創造的完整利益，而這也是未來河川流域管理成功的重要基礎。



Memdoza-Lera and Datry (2017)分析透過連結水力傳導性與河底生物帶的生物地球化學進程來保存與恢復河川生態系服務。河流管理通常會藉由增加溶解物的大量移轉來恢復河底棲息帶的水文交換，並因此進而嘗試增進棲息地的生態功能，這種棲息地的生態功能即為生物地球化學的進程。但是實際上當水文交換增加時，卻往往無法偵測到生物地球化學進程的改善。所以他們提出水文交換並非直接連結到生物地球化學進程，二者的連結關係應該是非線性的。他們認為河底棲息帶的生物地球化學進程其實是受到河底棲息帶的水力傳導性之直接影響，並可進一步利用這樣的概念來改善河川生態系服務。

Hornung et al. (2019)研究河川與氾濫平原的管理對相關生態系服務之影響，他們認為需要針對不同的管理模式對生態系服務影響的效果來進行比較。他們比較了 17 種管理模式與 23 種生態系服務，發現 44%的河川與氾濫平原管理模式對生態系服務有正面的影響，而有 11%的河川與氾濫平原管理模式對生態系服務有負面的影響。農業的供給服務會因為河川與氾濫平原的管理而減少，但農業的調節服務與文化服務則會因為河川與氾濫平原的管理而增加。其中棲息地恢復、氾濫平原恢復與洪水風險調降等生態系服務受到河川與氾濫平原的管理最顯著的正面影響。

Schluter et al. (2009)研究中亞阿姆河流域的半乾旱地區之水資源使用管理如何支撐該地區的多重生態系服務，針對這樣河川流量呈現變動特性的地區，水資源使用需要在灌溉與漁業間做選擇。在河川上游地區，農業收益較漁業收益為高，因此水資源會傾向農業用途，而在河川中游地區，漁業活動可以彌補遞減的農業績效，所以水資源會偏向漁業用途。他們認為允許水資源的不同使用模式可以改善當地的社會生態系並增強當地的社會生態系統之韌性，因此一個整合的水資源管理與管制可以有效地促進半乾旱地區的生態系服務之發展。



Kaval and van den Belt (2017)認為生態系服務的衡量可以做為增進生態系管理的組織架構，這樣的組織架構可以提供較一致化與較長期化的決策依據。他們指出當前生態系服務的核心主要為河川、集水區與流域，而且河川、集水區與流域的管理規劃需要將這些生態系服務納入考量。同時河川、集水區與流域的決策制定也要以能維持或增加這些生態系服務為目標，而整個生態系管理的組織架構包括了建立生態系服務分析的模型、評估生態系服務價值以及將生態系服務衡量的結果轉換成生態系管理的政策。

Ekka et al. (2020)研究人為的改變河川景觀對生態系服務的影響，人為的改變河川景觀會導致生態系服務在生態、經濟與社會文化上的不平衡，威脅河川在生物與社會上的整體性，並且人為改變河川景觀也會影響河川流量與河川生態系服務數量，亦即河川的生態系服務會受到河川景觀的生物物理結構之影響。他們分析集水區的人為改變情況，包括流域內水資源移轉、土地使用型態改變、地表下改變、提取地下水、溪流渠道化、設立水壩以及挖取砂石。他們的研究發現幾乎所有的人為改變河川景觀皆會對河川生態系服務的經濟價值有正面的影響，但是人為改變河川景觀卻會對河川生態系服務的生態價值與社會文化價值造成負面的影響。

Looy et al. (2017)對不同河川流域地區生態系服務的變異情況做了分析，Throp et al. (2010)則針對同一河川流域的不同區段生態系服務之變異情況做了檢討。Kaiser et al. (2020)與 Gilvear et al. (2013)則皆研究河川進行整修翻新後，對河川流域地區生態系服務的影響。Memdoza-Lera and Datry (2017)藉由分析河川的生物地球化學進程，來了解自然界的生態系如何產生提供生態系服務。Hornung et al. (2019)則討論河川流域下游氾濫平原的管理，對河川流域下游地區生態系服務的影響。Schluter et al. (2009)研究半乾旱地區的河川流域之水資源利用與管理，如何支撐半乾旱地區河川流域的脆弱生態系。Ekka et al. (2020)檢討以人為力量改變河川景觀，對河川流域地區所提供的不同類型生態系服務之影響。



2.2 河川流域生態系服務價值之評估

本節接著討論國際上有關河川流域生態系服務價值評估的文獻，Loomis et al. (2000)使用問卷調查法研究美國內布拉斯加州的普拉特河所進行的恢復生態系服務之經濟價值，普拉特河所恢復的生態系服務包括：稀釋廢水、水質淨化、侵蝕控制、魚類與野生動物棲息地以及休閒娛樂。問卷調查詢問受訪者是否願意透過較高的水費來支付所增加的生態系服務，受訪者人數接近 100 位，調查顯示受訪者針對額外增加的生態系服務，平均每月願意支付\$21 或每年願意支付\$252。將這個樣本的結果擴展到沿河的所有居民，恢復河川的生態系服務所增加的經濟價值將介於 1 千 9 百萬美元至 7 千萬美元。

Johnson et al. (2012)分析河川生態系服務價值評估的不確定性對河川流域沿岸不同農業土地使用的選擇之影響，他們以美國明尼蘇達河流域沿岸四塊不同的農業土地作為研究對象，來討論河川生態系服務價值評估的不確定性對農業土地使用選擇的影響。他們指出生物物理學上的不確定性顯然會導致生態系服務價值評估的不確定，而在不同的河川生態系服務價值評估之下，流域沿岸的不同農業土地之農產價值也會發生變動。因此應該將河川生態系服務價值評估的不確定性，納入流域沿岸農業土地的使用選擇之評估中。

Boithias et al. (2016)篩選生態系服務價值評估不確定性的主要來源為何，他們以河川生態系服務的水源供給、廢棄物處理、侵蝕保護與物種棲息地等四項不同的生態系服務為例，將這些生態系服務經濟價值評估的不確定之可能來源分為四種：選擇評估的生態系服務之項目數量、每項生態系服務所可能產生的效益數目、生態系服務價值評估方法的選擇以及生態系服務價值評估方法中參數的不確定性。他們發現生態系服務價值評估的不確定性主要還是來自整體決策脈絡結構上的不確

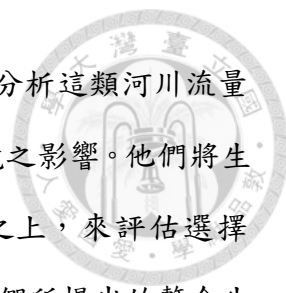
定，亦即生態系服務價值評估不確定性主要是來自選擇評估的生態系服務之項目數量不確定以及每項生態系服務所可能產生的效益數目不確定。



du Bray et al. (2019)比較美國、英國、澳大利亞與紐西蘭四個工業化國家的城市河川生態系服務在文化服務價值評估上是否存在僅適用於個別地區的特殊價值。他們比較可適用於一般所有地區的河川文化服務價值評估以及上述四個工業化國家的城市河川文化服務價值評估，發現居住在這四個工業化國家的城市河流沿岸的居民確實在文化服務價值評估上存在一些僅適用於當地河流沿岸的特殊價值。他們也認為這樣僅適用於個別地區的特殊生態系服務評價之情況，不只侷限於文化服務評價生態系服務也會出現在其他生態系服務評價上。

Gerner et al. (2018)估算德國埃姆舍爾河流域的大型恢復計畫所產生的生態系服務價值，他們所評估的此流域恢復計畫之生態系服務包括：自我淨化能力、保持棲息地與洪水防治，另外也評估此流域恢復計畫的其他生態系服務，如文化服務方面的美學、娛樂與教育。他們使用避免損害成本法與問卷調查法等經濟價值評估方法來估算生態系服務價值，研究結果發現就存在市場交易情況的生態系服務而言，生態系服務價值為每年 21,441,572 歐元，而就並不存在市場交易情況的生態系服務來說，生態系服務價值則為每年 109,127,217 歐元。

Wilson and Carpenter (1999)討論美國自 1971 年到 1997 年關於地表水資源供評估方法，來估算這種不具有市場交易情況的地表水資源供給服務價值，包括旅行成本法、特徵價格法與問卷調查法。相關文獻基本上針對湖泊、溪流、河川與溼地的地表水資源供給進行分析，研究結果發現地表水資源供給服務價值的評估，會受到所使用的評價方法與社會經濟情況的不同而有所影響，此外跨學科間的研究也會有效促進有關地表水資源供給的生態系服務價值評估。



Bark et al. (2016)以澳洲政府啟動的墨累達令河流域計畫來分析這類河川流量恢復計畫對改善澳洲西南部的氾濫平原、河川與溼地的生態環境之影響。他們將生態環境中的生物物理學進程與特質連結到其相關社會影響層面之上，來評估選擇不同的環境政策，此即是他們所謂的整合生態系服務評估。從他們所提出的整合生態系服務評估，可以發現在上述墨累達令河流域計畫之下，大多數的生態系服務數量皆有增加，而且所增加的生態系服務也均產生了可觀的貨幣價值。因此整合生態系服務評估能提供決策者具有實際執行效能的生態、經濟與社會面向的資訊。

Elsin et al. (2010)評估美國北卡羅萊納州紐斯河的飲用水供給服務價值，一般認為飲用水供給服務主要直接受到原河水品質的影響，而原河水品質又受到上游土地使用的影響。他們使用利益移轉法去估算來自紐斯河的飲用水，因為水質改善所產生的經濟利益。相關資料來自紐斯河的八個水處理廠，研究結果發現整個紐斯河流域的水質會有 30%幅度的改善，而因此所導致的利益淨現值，在 30 年的期間中基本上會介於 2 百 70 萬美元到 1 千 6 百 60 萬美元之間。

Borsuk et al. (2019)整合了土地使用情況、社會經濟狀況、氣候預測以及生物地理學模型，並依據目前居住於美國新罕布什爾州梅里馬克河上游流域居民的情形，來評估預測未來新罕布什爾州梅里馬克河上游流域居民所關注的生態系服務應該為水源供給、洪水警戒、現存農地維持與森林覆蓋。而依據氣候改變的情況未來梅里馬克河上游流域居民會比較受到預期冬季積雪減少的負面影響，但比較不受到預期中夏季延長的負面影響。相對於上述梅里馬克河上游流域的特定情況，更值得重視的是這種整合複雜的河川流域之基本資訊以及流域地區居民參與情況的評估架構，能提供決策者較佳的參考依據。

Gallay et al. (2021)使用水文學模型與避免損害成本法來評估斯洛伐克的切爾尼赫隆河流域之洪水警戒生態系服務價值，洪水警戒是重要的調節服務，而洪水主

要是由氣候改變與極端的天氣情況所引發。由於管理決策經常會有分歧，所以成功的決策必須依賴不同決策選擇下的生態系服務價值來決定。他們以水文學模型與目前土地利用情況來估測引發洪水的降雨量臨界點，並以避免損害成本法來估算洪水警戒生態系服務所能保護的財產價值，來做為洪水警戒生態系服務價值。

Loomis et al. (2000)以問卷調查法評估美國內布拉斯加州的河川，恢復生態系服務之經濟價值，Johnson et al. (2012)討論美國明尼蘇達河流域的農業土地之生態系服務價值，Wilson and Carpenter (1999)則以旅行成本法、特徵價格法與問卷調查法，來評估美國地表水資源供給服務，Elsin et al. (2010)評估美國北卡羅萊納州河川的飲用水供給服務價值，Borsuk et al. (2019)整合了社會經濟狀況與生物地理學模型，來預測美國新罕布什爾州河川上游的未來生態系服務價值之變化。du Bray et al. (2019)比較美國、英國、澳大利亞與紐西蘭四個工業化國家的城市河川生態系服務之文化服務價值評估。Gerner et al. (2018)、Bark et al. (2016)與 Gallay et al. (2021)則分別討論了德國、澳洲與斯洛伐克的河川之生態系服務價值之評估。

2.3 政府對河川流域管理之政策分析

本節最後討論政府在河川流域管理的政策分析之相關文獻，Ponok et al. (2021)研究泰國東海岸河川流域的社會公眾團體，在河川流域管理政策制定上之參與情況對水政策所形成的影響與挑戰。他們利用問卷調查了泰國東海岸河川流域 39 個社會公眾團體中，總共 403 位的社會公眾團體成員，結果發現雖然‘公眾諮詢’及‘水相關委員會’的存在，使得社會公眾團體能夠參與水政策的制定。但關鍵的挑戰在於社會公眾團體中個別成員能被諮詢到的機率，以及‘水相關委員會’裡權力分享的情況，這些因素的存在將阻礙了社會公眾團體的成員把其真實的需求連結到水政策的最後形成之上。所以在水政策的制定過程中應該讓‘公眾諮詢’的機制能更廣

泛並在實務上使得諮詢程序更為方便，同時也要讓‘水相關委員會’裡新進與缺乏經驗的委員能去學習及實施水政策制定過程中一些較重要的環節。



Dantas et al. (2020)分析巴西東北部帕拉伊巴州的河川流域上游地區，其歷史上的乾旱情況與公共政策，對帕拉伊巴州河川流域上游地區的社會組織之影響。這是由於帕拉伊巴州河川流域上游地區控制著，巴西半乾旱地區最大的水庫之流量。他們使用了巴西半乾旱地區的乾旱頻率與水壩建造之歷史資料，降雨與溪流量等水文紀錄，並實地訪問收集比較水壩的蓄水量變化。研究結果發現政府的干預政策受到歷史時刻當時的趨勢以及政府部門中利益團體的影響，一些公共政策的實施，譬如社會計畫、建造水壩以及從聖弗朗西斯科河調水皆會導致半乾旱地區溪流量的顯著變化，而不同時期水文特徵的情況亦會影響溪流量變化的幅度。研究結果也發現利用水壩進行水資源管理，是影響半乾旱地區水源安全與社會組織的最主要因素。

Kaufman (2015)討論美國跨州政府的河川流域管理在治理、政策與經濟上之複雜程度的問題，一般來說是以整合不同州的水資源管理來較有效率地進行跨州河川流域的管理。該文以美國河川流域管理最典型的經濟之模式作為標準，來比較河川流域管理的組織、機構與預算之模式。研究結果發現，在進行跨州河川流域管理上，要持續地融通河川流域管理計畫所需的資金，就必須採取歐盟、中南美洲與大洋洲所長久實施，並為歐盟水指令框架(European Union Water Framework Directive)所採用的使用者付費之經濟原則。

Bhat and Blomquist (2004)研究西班牙南部最早成立河川流域管理機構的瓜達爾基維爾河流域，其政策、政治及水管理上的問題。政治經濟上的一些因素會塑造河川流域的管理，這些政治經濟因素包括了：河川流域管理機構的歷史軌跡，河川流域管理機構與中央政府與地方政府的關係，水資源使用者在河川流域管理機構體制下意見表達的情況，以及河川流域管理機構體制外的水相關法律與政策發展



之情形。研究也發現河川流域管理上的政治問題，會影響到國家推展河川流域的整合管理。

Flores et al. (2016)以墨西哥特拉斯卡州的阿托亞克河流域為研究對象，討論墨西哥在河川流域管理階層體系上的分權化管理改革，對攸關墨西哥的水衛生環境之廢棄水處理的影響。墨西哥在河川管理上採取分權化的管理方式，授權地方政府逕行對其所在的河川流域進行管理。但是從治理評估層面來看，地方政府由於缺乏足夠的資源去執行墨西哥聯邦政府所交付的廢棄水處理任務，而使得墨西哥聯邦政府的廢棄水處理目標無法充分達成。研究發現減少分權化的管理型態，適度降低地方政府的介入參與，可以有效改善廢棄水的處理成效。

Renner and Meijerink (2018)以德國與荷蘭間的萊茵河三角洲來分析政策發起者在跨國河川流域管理所扮演的角色，他們聚焦在萊茵河三角洲的氣候適應問題上，在當前氣候變遷的情況下，萊茵河三角洲面臨日益增加的洪水災患與日漸延長的乾旱期間，這些都會對防洪、農業活動、飲用水以及生態系發展造成衝擊。歐盟的水指導原則雖然提倡跨國境的河川流域管理，但水指導原則卻沒有在氣候適應政策上發揮關鍵性的促進作用，而這時能夠因應跨國境的挑戰，並且處理不同國家政治與機構的結構性差異之政策發起者就能夠發揮作用。研究結果發現政策發起者能夠較有效地促進，將氣候適應相關議題確實放入跨國境政策的議程裡。

Jaspers (2003)討論要進行什麼樣的機構安排才能有助於河川流域管理的整合，有許多原因會促使政府致力於進行河川流域管理的整合，譬如在水文學的範圍界限內有整合水的管理之需要，或者相關利害關係人參與決策制定及水資源規劃等情況。研究發現若存在可靠且規則清晰的平台，能夠讓河川流域的利害關係人表達意見並參與水資源規劃的決策制定，這將有助於河川流域管理的整合，此外相較於已開發國家來說，開發中國家更能從河川流域管理的整合中來得獲益處。



Ravindranath et al. (2016)研究美國德拉瓦河流域上游地區，在相關水管理政策之下的環境影響情況。自從 1954 年開始，德拉瓦河流域的管理即受到最高法院命令的約束，並且也受到相關各州之跨州政府以及聯邦政府等的共同合作所制約。他們以德拉瓦河流域的三個水庫之放水政策，來檢驗水庫放水政策對德拉瓦河流域上游地區的影響情況，此外亦檢討政府與機構因素對德拉瓦河流域的相關水政策發展之限制，並顯示水庫放水政策的調整除了能供水給德拉瓦河流域的主要利害關係人之外，也有益於德拉瓦河上游的水生棲息地及生態環境的健康發展。

Meijerink and Wiering (2009)指出河川流域管理已經成為當代水管理及治理的重要指導性概念，他們討論要在什麼樣的程度下，將水管理的權限從行政區轉移到整個河川流域地區，並且這種水之管理權限在地區上的轉移，會給現有的機構安排施加多大的壓力。他們也討論整個歐洲這種水管理權限的向河川流域地區移轉，以及隨之而來相應的機構調整情況，這種以演化方式的更為整合，也更為生態性的水管理模式已經成為未來發展的趨勢。

Raadgever et al. (2008)討論到河川流域管理面臨到許多不確定與變動的情況，而跨國界的河川流域管理，又會因為歷史、法律與文化上的差異，更增添其複雜性。這時能夠因應複雜情況的不確定及動態而進行管理之所謂適應性管理，自然成為跨國界河川流域管理的良好方法。這其中不同國家的管理體制上之差異，對跨國界河川流域管理的適應性管理之成效，就會有顯著重要的影響。

Ponok et al. (2021)、Dantas et al. (2020)、Bhat and Blomquist (2004)與 Flores et al. (2016)分別討論泰國、巴西、西班牙與墨西哥的政府在制定河川流域管理政策時，所面臨的相關政治經濟問題。Kaufman (2015)、Renner and Meijerink (2018)與 Raadgever et al. (2008)則分析跨境或跨國的河川流域管理問題，許多河川流域會跨越不同的行政區或不同的國家，這些跨境或跨國的河川流域管理勢必牽涉到不同地區或不同國家的政府，因此也需要檢討與評估如何協調不同行政區或不同國家

的政府來共同制定跨境或跨國的河川流域管理政策。Jaspers (2003)與 Meijerink and Wiering (2009)討論河川流域管理整合的效益，以及未來各國河川流域管理整合的趨勢。



第三章 研究方法與理論模型



本文主要在研究台灣河川上游集水區的生態系服務價值，因此以台灣北部、中部與南部具有主要代表性河川上游的水庫集水區作為研究標的。其中本文台灣北部與中部之研究標的分別為大漢溪上游石門水庫集水區與大甲溪上游德基水庫集水區。石門水庫集水區與德基水庫集水區分別為台灣北部與中部面積最大的集水區，石門水庫集水區的面積為 76,300 公頃，德基水庫集水區的面積為 51,400 公頃。而且大漢溪為北部中央管河川淡水河的主流上游，大甲溪則為中部中央管河川。至於台灣南部水庫集水區面積最大的集水區為後堀溪上游南化水庫集水區的 51,200 公頃，台灣南部面積次大的集水區為曾文溪上游曾文水庫集水區的 48,100 公頃。曾文溪是南部中央管河川，後堀溪雖然是曾文溪的支流，但並非曾文溪的主流上游。因此本文以曾文溪上游曾文水庫集水區為台灣南部之研究標的。

各河川上游水庫集水區用來種植蔬菜、特種作物與果樹的農產面積分別為：大漢溪上游石門水庫集水區的約 375.8 公頃、大甲溪上游德基水庫集水區的約 4,451.2 公頃與曾文溪上游曾文水庫集水區的約 1,946.1 公頃。各河川上游水庫集水區除了作為種植蔬菜、特種作物與果樹的農產面積之外，其餘集水區的土地大多做為林產用途，這些集水區的林產面積分別為：大漢溪上游石門水庫集水區的約 75,924.2 公頃、大甲溪上游德基水庫集水區的約 46,948.8 公頃與曾文溪上游曾文水庫集水區的約 46,153.9 公頃。

大漢溪上游石門水庫集水區對應的行政區為桃園市復興區與新竹縣尖石鄉，人口約為 2 萬 2 千多人。大甲溪上游德基水庫集水區對應的行政區為台中市和平區，人口約為 1 萬零八百多人。曾文溪上游曾文水庫集水區對應的行政區主要為嘉義縣阿里山鄉與嘉義縣大埔鄉，人口約為 9 千八百多人。

大漢溪上游石門水庫集水區的主要農產作物，包括：竹筍、茶葉、水蜜桃與柿子。大甲溪上游德基水庫集水區的主要農產作物，包括：甘藍、結球白菜、芹菜、茶葉、桶柑、梨、柿子與水蜜桃。曾文溪上游曾文水庫集水區的主要農產作物，包括：茶葉、薤菜、竹筍、雜柑與百香果。

3.1 水文學模型

本文首先使用水文平衡收支法來估算集水區土壤的水源涵養量，由於在利用水文平衡收支法估算集水區的土壤水源涵養量時，需要使用集水區的平均降雨量數據，所以本文也以徐昇多邊形法來估算集水區的平均降雨量。

3.1.1 水文平衡收支法

水文平衡收支法利用自然界水資源循環變化的狀況，來估算一個地區的土壤水源涵養量，水文平衡收支法的公式可表示如下：

$$Q_w = Q_v \times A \times 1000 \quad (1)$$

上式中 Q_w 為河川上游集水區總蓄水量(m^3)， Q_v 為河川上游集水區區域每單位面積土壤之蓄水量(mm)， A 為河川上游集水區面積(km^2)，另外由於單位換算的需要，1 公厘(mm)等於 0.001 公尺(m)，1 平方公里(km^2)等於 1,000,000 平方公尺(m^2)，所以 1 公厘 $\times$ 1 平方公里 $\times$ 1,000=1 立方公尺(m^3)。

其中河川上游集水區區域每單位面積土壤之蓄水量 Q_v ，可以透過扣除年均降水量無法被保持在土壤的比例來估算出來。此處年均降水量無法被保持在土壤的比例可以使用年均蒸發散量 Q_{ET} 除以年均逕流量 Q_{IE} 的比值 $\frac{Q_{ET}}{Q_{IE}}$ 來表示，其中分子的年均

蒸發散量代表降雨在空氣中蒸發散失，而無法被保存在土壤的部分，分母的年均逕流量代表降雨被保存在土壤裡，而匯集為溪流的部分。Ninan and Inoue (2013) 與 Ninan and Kontoleon (2016)即以年均蒸發散量佔年均逕流量的比值做為年均降雨量流失的比率。因此當年均蒸發散量愈高或年均逕流量愈低，即 $\frac{Q_{ET}}{Q_{IE}}$ 比值較高，則代表降雨較不容易被保存在土壤裡；而當年均蒸發散量愈低或年均逕流量愈高，即 $\frac{Q_{ET}}{Q_{IE}}$ 比值較低，則代表降雨較容易被保存在土壤裡。這主要是因為土壤初始含水量、入滲量與逕流量之間有特定的關係，由於土壤的含水量有一定的飽和上限，所以當原來土壤的含水量較多時，這時候的降雨就不容易再繼續滲入土壤，因此入滲量會降低，而此時降雨量則較多地成為逕流量。反之，若原來土壤的含水量較少時，這時候的降雨就較容易再繼續滲入土壤，因此入滲量會提高，而此時降雨量則較少地成為逕流量。因此土壤初始含水量與逕流量之間有明顯正向的關係，換句話說，當逕流量愈高時，表示這時候土壤的含水量也愈高，降雨已經不容易再繼續滲入土壤，此時降雨量會較多地成為逕流量。所以模型即以 Q_P 乘以 $\frac{Q_{ET}}{Q_{IE}}$ 來衡量年均降水量無法被保存在土壤的部分：

$$Q_V = Q_P \times \left(1 - \frac{Q_{ET}}{Q_{IE}}\right) \quad (2)$$

其中 Q_P 年均降水量， Q_{ET} 年均蒸發散量， Q_{IE} 年均逕流量。

3.1.2 徐昇多邊形法

由於計算集水區土壤的水源涵養量時需要估算集水區年均降雨量 Q_P ，本文採用徐昇多邊形法來估計河川上游集水區年均降雨量。徐昇多邊形法是將集水區內

的 n 個氣象觀測站，彼此相連，形成多個三角形，而其中每個三角形各邊之垂直平分線的交點，也就是該三角形外接圓的圓心，即為該三角形的外心。將各個三角形的外心連結起來，可形成 n 個多邊形所組成的多邊形網絡(Thiessen polygon network)，針對每一個多邊形，這個多邊形中即有一個對應的氣象觀測站，而此多邊形區域就是該氣象觀測站所涵蓋的區域範圍。因此若第 i 個氣象觀測站所對應的多邊形區域面積為 A_i ，而該氣象觀測站所測得的降雨量為 R_i ，則徐昇多邊形法即是將每個氣象觀測站所涵蓋的多邊形區域面積(如 A_i)之降雨量(如 R_i)進行加權平均，所以使用徐昇多邊形法 (Thiessen Polygon Method)來估計集水區的平均降雨量，即可表示為

$$Q_p = \frac{\sum_{i=1}^N R_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (3)$$

上式中 $\frac{A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$ 為第 i 個氣象觀測站降雨量 R_i 之權數。

3.2 價值評估模型

在生態系服務價值評估文獻中，應用了許多經濟會計的價值評估模型來估算不同類型的生態系服務價值。相關的生態系服務價值評估模型可以分為三大類：顯示偏好法(revealed preference approach)、成本分析法(cost analysis approach)以及闡明偏好法(stated preference approach)。顯示偏好法是指國民對生態系服務的偏好已經呈現在客觀的市場中，只要觀察市場中的價格與數量就可以衡量國民所認定的生態系服務價值，顯示偏好法包括了：市場價格法(market price method)、代理市場法(surrogate market)、生產力法(productivity method)、特徵價格法(hedonic pricing method)與旅行成本法(travel cost method)等。成本分析法是指以重新建造與替代當前生態系服務所需的成本，或避免當前生態系服務損壞所需的成本，來做為生態系服務價值，成本分析法包括了：重置成本法(replacement cost)與避免損害成本法(damage cost avoidance) 等。闡明偏好法是指以問卷調查或由受訪者進行選擇的方式來讓受訪國民明確地表達其對生態系服務價值的評估，闡明偏好法包括了：意願

調查法(contingent valuation method)、聯合分析法(conjoint analysis)與因素所得法(factor income method)等。而在本文在生態系服務價值估算中所使用的價值評估模型，包括了成本分析法中的重置成本法以及顯示偏好法中的市場價格法與代理市場法。

從另一個層面來看，一般來說經濟會計上評估標的物價值的方法有三種：成本法(cost method)、市場法(market method)與收入法(income method)，成本法是以建造或購買標的物之成本來估算標的物價值，市場法為以標的物在商業市場的交易價格來估算標的物價值，收入法則是以標的物未來所產生的收益來估算標的物價值。本文在估算生態系服務價值時所使用的重置成本法即為成本法，而在估算生態系服務價值時所使用的市場價格法與代理市場法即為市場法。

3.2.1 重置成本法(Replacement Cost Method)

重置成本法為重新建造或購買評價標的物的成本，或者是重新建造或購買評價標的物之替代品的成本。而這些重建或新購的評價標的物或其替代品，在未來會使用一段相當長的期間，而重置成本法就是在估算這些重建或新購的評價標的物或其替代品在未來使用年限中，每一年所提供的價值。

將過去時點的評價標的物之歷史建造成本，以過去時點至目前時點的這段期間之通貨膨脹率換算，得到目前時點的評價標的物之建造成本 C_C 。若評價標的物在未來可使用的年限 L_R 期間內，每年提供的價值為 A_y 。則將 L_R 年限裡，每一年評價標的物所提供的價值 A_y ，使用年利率 r 折現加總，則此折現加總值必然為目前時點的評價標的物之建造成本 C_C 。因為目前時點的評價標的物之價值(即 C_C)應為評價標的物在未來使用年限中，每年所提供的價值 A_y 之折現值加總的總和。藉由這個關係，若已知目前時點的評價標的物之建造成本 C_C 、評價標的物使用年限 L_R 與年利率 r ，則可以推導使用年限中，每年評價標的物所提供的價值 A_y 為：

$$A_y = r \times \left[\frac{(1+r)^{L_R}}{(1+r)^{L_R} - 1} \right] \times C_C \quad (4)$$

其中 A_y 為評價標的物在未來使用年限期間內，每一年所提供的一筆固定價值。 C_C 為以通貨膨脹率換算至目前時點的評價標的物之建造成本。 r 為目前的政府公債年利率。 L_R 為評價標的物的可使用年限。

而在評價標的物之未來使用年限期間內，評價標的物每一年所產生的價值除了上述的 A_y 之外，還包括使用年限內評價標的物之年度管理維護費用 C_{TM} 。所以評價標的物在評價年度的價值 C_V 為：

$$C_V = A_y + C_{TM} \quad (5)$$

其中 C_V 為評價標的物在評價年度的價值，亦即此種生態系服務在評價年度所提供的價值。 C_{TM} 為評價標的物之年度管理維護費用。有關重置成本法的詳細具體之推導可參見附錄一。

3.2.2 市場價格法(Market Price Method)

市場價格法是使用在商業市場買賣交易的商品或勞務的價格與數量來決定評價標的物之價值。若生態系服務中之標的物存在交易市場與相應的市場價格，則即可使用市場價格法來估算該生態系服務的價值。市場價格法可表示如下：

$$V = P_q \times Q \quad (6)$$

其中 V 為評價標的物之價值， Q 為評價標的物的數量， P_Q 為評價標的物目前的市場價格。市場價格法是應用其評價標的物的存在市場交易情況，所以直接按照評價標的物目前的市場價格與評價標的物的數量來估算評價標的物之價值。

3.2.3 代理市場法 (Surrogate Market Method)

某些評價標的物可能不存在對應的商業市場，因此缺乏相應的市場價格，此時可以利用存在著商業市場交易的近似替代品之市場價格，來評估這些並無商業市場的評價標的物之市場價值。而許多生態系服務中之標的物並不存在著明顯的交易市場，所以也無可供參考的市場價格，這時候要評估該生態系服務的價值時，即可使用代理市場法來估算。代理市場法可表示如下：

$$V = P_s \times S \quad (7)$$

其中 V 為評價標的物之價值， S 為評價標的物之代理品的數量， P_s 為評價標的物之代理品目前的市場價格。代理市場法類似市場價格法，但因為評價標的物並不存在交易市場，所以評價標的物並無市場價格，所以需要使用評價標的物之近似代理品來評價，而此代理品本身存在交易市場，因此可以使用代理品的市場價格來估算評價標的物的價值。

市場價格法與代理市場價格法只是衡量評價標的物目前年度的價格，並未考慮評價標的物在未來的使用狀況，所以也不會考慮評價標的物的使用年限。市場價格法是應用其評價標的物的存在市場交易情況，所以直接按照評價標的物目前的市場價格來估算評價標的物之市場價格。而代理市場法則是應用在評價標的物並不存在市場價格的情況下，這時必須使用與評價標的物功能近似的代理品來估

價，而且代理品本身存在市場價格，所以我們就可以用評價標的物之代理品目前的市場價格來估算評價標的物之價值。



其餘的價值評估模型，如生產力法是將不具市場性的生態系服務視為生態系統服務生產函數的生產產出，而以具市場性的其他商品視作生態系服務生產函數的要素投入，利用實際資料所估計的生態系服務生產函數來估算生態系服務價值。特徵價格法則是比較包括某種生態系統服務價值在內的商品以及不包括該種生態系服務價值在內的另一商品之間的價格差異，此價格差異即可用來估算這種生態系服務的價值。而旅行成本法是計算訪客到達某特定目的地所花費的金錢成本，來估算該特定目的地在休養娛樂上的生態系服務價值。至於避免損害成本法是以避免某生態系服務損壞所需花費的成本，來估算該生態系服務的價值。意願調查法是透過實際的問卷調查，以受訪者所表達的對某項生態系服務之願付價格，來估算該項生態系服務的價值。聯合分析法也是透過問卷調查，由受訪者表達對不同類型生態系服務的偏好排序，藉由調查所得的偏好排序來估算各種不同類型生態系服務的價值。因素所得法是藉由衡量某項生態系服務品質之變動所導致的與此項生態系服務有關的所得之變動，來估算此項生態系服務的價值。

3.3 水文學模型與價值評估模型應用在生態系統服務評價

本文分析供給服務、支持服務、調節服務與文化服務中九種生態系服務價值，分別為供給服務裡的水源涵養量服務價值與農林產品供給服務價值，支持服務裡的土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值，調節服務裡的防洪服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值，以及文化服務裡的觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值。本節則討論如何將水文學模型與經濟會計上相關之價值評估模型應用在這些生態系服務價值的評估上。



3.3.1 供給服務

(1) 水源涵養量服務價值

集水區水源涵養量供給服務價值是衡量集水區內土壤所涵養的水資源價值，由於集水區土壤所涵養的水資源價值不容易直接以金額來估算，所以本文以集水區內水庫所產生的價值來評估集水區內土壤所涵養的水資源價值。

本文使用重置成本法，以重新建造集水區內水庫的成本來估算水源涵養量供給服務價值。由於集水區內的水庫通常是過去某個時點建造的，所以首先先進行通貨膨脹率的調整，將過去的水庫建造成本按照物價水準變動的情況，調整為目前的水庫建造成本(C_C)。目前重新建造的水庫，在未來會有一段使用年限，而重置成本法即設定重新建造之水庫在未來的使用期間(L_R)中，每一年皆會提供一筆固定的價值(A_y)。換句話說，將重新建造之水庫在未來的使用年限(L_R)裡，每年所提供的固定價值(A_y)以年利率 r 折現的現值加總總和，即為目前重新建造的水庫之成本(C_C)。所以給定目前重新建造的水庫成本(C_C)、使用年限(L_R)與年利率 r 就可以推導出重新建造之水庫在未來的使用年限裡，每年所提供的固定價值(A_y)。此外目前重新建造的水庫在未來的使用期間中，每年也會有一筆年度管理維護費用(C_{TM})。最後將目前重新建造之水庫每年所提供的固定價值(A_y)，加上每年的年度管理維護費用(C_{TM})，即為在評價年度的水庫之水資源所提供的價值(C_V)。

而由於集水區的水資源涵養總量與集水區內的水庫蓄水總量並不相同，所以先將評價年度的水庫之水資源所提供的價值除以水庫蓄水總量，可以得到每單位水資源(如 1 公升水)的價值。再根據集水區的水資源涵養總量，即可估算出集水區的水資源涵養量供給服務價值。

(2) 農林產品供給服務價值



由於集水區的農產品包括了山區旱作農作物、茶葉、蔬菜與水果等，集水區的林木產品則包括了扁柏、紅檜與杉木等，這些集水區的農產品與林木產品都存在交易市場，有相應的市場價格。因此農林產品供給服務價值是以集水區農產品與林木產品的產量乘以其市場價格來估算，亦即以集水區農產品與林木產品的市場價值來估算，也就是以市場價格法來估算集水區的農林產品供給服務價值。

3.3.2 支持服務

(1) 土壤可支持作物生長服務價值

集水區的土壤養分具有支持作物生長的價值，但是集水區的土壤養分並無相應的市場價格，所以無法以市場價格法來估算集水區的土壤可支持作物生長服務價值。然而卻存在著具有市場價格的土壤養分之代理品，與土壤養分功能近似的代理品就是肥料，肥料有交易市場，因此具有市場價格。本文以與集水區土壤所含養分量相等的肥料數量乘以肥料的市場價格，來估算集水區的土壤可支持作物生長服務價值。而同時由於台灣農民在絕大多數農地，仍然是採取慣行施肥的方法來施肥，而並非透過對土壤肥力的診斷來採取合理化施肥，因此本文以農民在慣行施肥之下所需施用的肥料價值來近似代理集水區農地土壤的可支持作物生長服務價值。

(2) 生物棲息地服務價值

由於集水區水生與濱水動物的飼養保育費用，以及集水區濱水植物的栽種費用不存在實際的交易市場，所以不容易估計其市場價值，所以應用代理市場法。本文以台灣野生動物作為集水區水生與濱水動物的代理品，並以一般濱水植物作為集水區濱水植物的代理品。而以每隻台灣野生動物保育費用做為集水區水生與濱水動物的飼養保育費用之代理品價格，並以一般濱水植物每株每年平均栽種費用作為集水區濱水植物的栽種費用之代理品價格。利用這些代理品的數量與其價格



之乘積，算出集水區水生與濱水動物的飼養保育總費用，以及集水區濱水植物的栽種總費用，加總後即可得集水區生物棲息地服務價值。

3.3.3 調節服務

(1) 防洪服務價值

本文在評估臺灣河川流域上游集水區生態系服務之「洪水調節服務」經濟價值是利用集水區內水庫防洪工程的相關成本與費用，來估算洪水調節服務的經濟價值。水庫防淤隧道工程有相當長期的使用年限，本文使用重置成本法來估算集水區內的水庫防淤隧道工程在未來使用年限(L_R)中，每年所產生的固定效益之價值(A_y)。將水庫防淤隧道工程在未來使用年限裡，每年的固定效益價值以年利率 r 折現加總，即為目前水庫防淤隧道工程的重建成本(C_C)。由於目前水庫防淤隧道工程的重建成本(C_C)、使用年限(L_R)與年利率 r 皆為已知，因此可以推導出集水區內水庫防淤隧道工程在未來使用年限(L_R)中，每年所產生的固定效益價值(A_y)。另外再將年度水庫清淤費用與年度水庫洩洪量的水量價值，作為水庫防洪工程的年度費用(C_{TM})。最後，將水庫防淤隧道工程在使用年限裡所產生的年度固定效益價值(A_y)加上年度水庫清淤費用與年度水庫洩洪量的水量價值這二項年度費用(C_{TM})，即為集水區內水庫的洪水調節服務價值(C_V)。

因為相關的防洪工程是針對水庫建造的，所以由防洪工程算出的洪水調節服務價值應為集水區內的水庫所產生的洪水調節服務價值，需要再轉換成集水區土壤水源涵養量的防洪調節服務價值。由於集水區內的水庫蓄水總量與集水區土壤水源涵養總量並不相同，所以先將集水區內的水庫所產生的洪水調節服務價值除以集水區內的水庫蓄水總量，得到每單位水資源(如1公升水)的洪水調節服務價值，再根據集水區的水資源涵養總量，即可估算出集水區的土壤水源涵養量之防洪調節服務價值。



(2) 氣候調節服務價值

本文在評估臺灣河川流域上游集水區生態系服務之「氣候調節服務」經濟價值使用集水區造林的相關成本與費用，來估算氣候調節服務的經濟價值。本文使用重置成本法來估算集水區造林的氣候調節服務價值，由於集水區所造的森林有相當長期的輪伐期(L_R)，所以將目前集水區造林的成本(C_C)，作為所造的森林在未來使用年限(L_R)中，每年所產生年度固定效益(A_y)的折現現值總和。在目前集水區林地的造林成本(C_C)、集水區林地輪伐期(L_R)與年利率 r 為已知的情況下，可以推導出集水區所造的森林在未來使用年限(L_R)中，每年所產生的固定效益價值(A_y)。再將集水區林地年度平均管理業務費用(C_{TM})加上集水區所造的森林在林地使用年裡，產生的年度固定效益價值(A_y)，即為氣候調節服務價值(C_V)。

(3) 土石流防治服務價值

本文在評估臺灣河川流域上游集水區生態系服務之「土石流防治調節服務」經濟價值使用土石流防治工程的相關成本與費用，來估算土石流防治調節服務的經濟價值。土石流防治工程有相當長期的使用年限，本文使用重置成本法來估算土石流防治工程在未來使用年限(L_R)中，每年所產生的固定效益之價值(A_y)。將土石流防治工程在未來使用年限(L_R)裡，每年的固定效益價值以年利率 r 折現加總，即為目前土石流防治工程的重建成本(C_C)。由於目前水庫防淤隧道工程的重建成本(C_C)、使用年限(L_R)與年利率 r 皆為已知，因此可以推導出土石流防治工程在未來使用年限(L_R)中，每年所產生的固定效益價值(A_y)。再將年度土石流防治的業務費與人事費作為土石流防治工程的年度費用(C_{TM})。最後，將土石流防治工程在使用年限(L_R)裡，所產生的年度固定效益價值(A_y)加上土石流防治工程的年度費用(C_{TM})，即為土石流防治調節服務價值(C_V)。



土石流防治工程常集中於河川上游集水區內水庫周邊的治山防災之上，所以土石流防災工程算出的土石流防治調節服務價值應為集水區水庫所產生的土石流防治服務價值，需要再轉換成水庫集水區土壤水源涵養量的土石流防治調節服務價值。由於集水區內的水庫蓄水總量與集水區土壤水源涵養總量並不相同，所以先將集水區內的水庫所產生的土石流防治調節服務價值除以集水區內的水庫蓄水總量，得到每單位水資源(如 1 公升水)的土石流防治調節服務價值，再根據集水區的水資源涵養總量，即可估算出集水區的土壤水源涵養量之土石流防治調節服務價值。

3.3.4 文化服務

(1) 觀光旅遊服務價值

觀光旅遊服務價值中的集水區旅館與民宿客房收入以及集水區旅館與民宿餐飲收入皆可以市場交易的情況來衡量，集水區旅館與民宿客房與餐飲均有其相應的市場價格，所以是採用市場價格法來估算觀光旅遊服務價值。

此處觀光旅遊服務價值係以水庫集水區的旅館客房收入與民宿客房收入加上集水區的旅館餐飲收入與民宿餐飲收入，其中旅館客房收入與民宿客房收入皆是以集水區範圍內的旅館與民宿每間客房的房價乘以入住的客房數，而旅館餐飲收入與民宿餐飲收入則是以集水區範圍內的旅館與民宿每人餐飲價格乘以用餐的旅客人數，然後將水庫集水區的旅館與民宿客房收入加上旅館與民宿餐飲收入即為集水區所提供的觀光旅遊服務價值。

(2) 療育休閒服務價值

療育休閒服務價值中的集水區國家森林遊樂區門票收入與集水區國家森林遊樂區停車費收入也皆可以市場交易的情況來衡量，集水區國家森林遊樂區門票與

國家森林遊樂區停車費均有其相應的市場價格，所以是採用市場價格法來估算療育休閒服務價值。



集水區所提供的療育休閒服務價值是以集水區國家森林遊樂區門票收入加上集水區國家森林遊樂區停車費收入來評估，其中集水區國家森林遊樂區門票收入為以集水區國家森林遊樂區門票票價乘以進入國家森林遊樂區的旅客人數來估算，而集水區國家森林遊樂區停車費收入則是以集水區國家森林遊樂區每輛車停車費乘以進入國家森林遊樂區的車輛數來估算。

3.4 綜合生態系服務價值之權數

行政院農委會林業試驗所在 2020 年調查台灣民眾對 12 種生態系服務的重要性認知，調查結果顯示 12 種生態系服務的重要性排名，依序為水土保持、調節氣候、碳吸存、淨化空氣、水資源涵養、生物多樣性、療育、學習、遊樂、文化、非林木產品、木材。

行政院農委會林業試驗所調查台灣民眾對 12 種生態系服務的重要性認知，民眾對每一種生態系服務的偏好分數為 1 分、2 分、3 分、4 分與 5 分，總共 5 個分數選項。民眾填答的分數愈高，就代表愈偏好。行政院農委會林業試驗所將全部受訪民眾對某一種生態系服務的偏好分數加總後平均，即可得到台灣民眾對該種生態系服務的重要性分數，亦即偏好程度。以下表 1 列出行政院農委會林業試驗所調查的各種生態系服務重要性分數，

表 1 將生態系服務依照偏好排序，由高到低，重要性分數愈高代表偏好程度愈高，排序數值也愈大，由於本文總共有 9 項生態系服務，所以偏好程度最高的生態系服務，其排序數值為 9，而因為土石流防治服務價值與防洪服務價值的重要性分數皆為 4.78，所以土石流防治服務價值與防洪服務價值並列最高的偏好程度，這

二項生態系服務價值排序數值皆為 9。氣候調節服務價值的重要性分數為 4.7，由於前面土石流防治服務價值與防洪服務價值的排序數值皆為 9，所以氣候調節服務價值的排序數值即順延為 7。以下表 1 中各種生態系服務的排序數值即按照這個原則來處理。

表 1. 行政院農委會林業試驗所調查之各種生態系服務重要性分數

農委會調查項目	生態系服務	農委會調查分數	偏好排序
水土保持	土石流防治服務	4.78	9
	防洪服務	4.78	9
調節氣候	氣候調節服務	4.7	7
水資源涵養	水源涵養量服務	4.67	6
生物多樣性	生物棲息地服務	4.52	5
	土壤可支持作物生長服務	4.52	5
療育	療育休閒服務	4.38	3
遊樂	觀光旅遊服務	4.23	2
非林木產品、木材	農林產品供給服務	4.06	1

註：行政院農委會林業試驗所生態系服務重要性認知調查，2020。

設定本文 9 項生態系服務價值所對應的權數：W1 為土石流防治服務價值的權數，W2 為防洪服務價值的權數，W3 為氣候調節服務價值的權數，W4 為水源涵養量服務價值的權數，W5 為生物棲息地服務價值的權數，W6 為土壤可支持作物生長服務價值的權數，W7 為療育休閒服務價值的權數，W8 為觀光旅遊服務價值的權數以及 W9 為農林產品供給服務價值的權數。

將本文 9 項生態系統服務價值的上述偏好排序數值，轉換成相對應的權數 W_1 至 W_9 ，即為： $W_1=9z$ ， $W_2=9z$ ， $W_3=7z$ ， $W_4=6z$ ， $W_5=5z$ ， $W_6=5z$ ， $W_7=3z$ ， $W_8=2z$ 以及 $W_9=1z$ 。如此權數 W_1 至 W_9 仍然維持表 1 中的偏好排序數值之相對大小，其中 z 為一待解的變數。

由於將 W_1 至 W_9 加總後，應等於 1，亦即：

$$W_1+W_2+W_3+W_4+W_5+W_6+W_7+W_8+W_9=1$$

因此，可以得到下式：

$$9z+9z+7z+6z+5z+5z+3z+2z+1z=1$$

因此可解得 $z=1/47$ 。

所以 W_1 至 W_9 權數可以依序表示為： $W_1=(9/47)$ ， $W_2=(9/47)$ ， $W_3=(7/47)$ ， $W_4=(6/47)$ ， $W_5=(5/47)$ ， $W_6=(5/47)$ ， $W_7=(3/47)$ ， $W_8=(2/47)$ 以及 $W_9=(1/47)$ 。

最後可以得到本文 9 項生態系服務價值的權數如以下表 2：

表 2. 綜合生態系服務價值之權數

生態系服務價值	綜合生態系服務價值之權數
土石流防治服務價值	$W_1=0.1915$
防洪服務價值	$W_2=0.1915$
氣候調節服務價值	$W_3=0.1489$
水源涵養量服務價值	$W_4=0.1277$
生物棲息地服務價值	$W_5=0.1064$
土壤可支持作物生長服務價值	$W_6=0.1064$
療育休閒服務價值	$W_7=0.0638$
觀光旅遊服務價值	$W_8=0.0425$
農林產品供給服務價值	$W_9=0.0213$

註：以行政院農委會林業試驗所生態系服務重要性認知調查的生態系服務偏好排序轉換之權數。



3.5 研究流程分析

本節將本章第一節至第四節的研究方法加以整理，來討論本文的研究架構與研究程序，圖 1 是本文的研究流程圖。

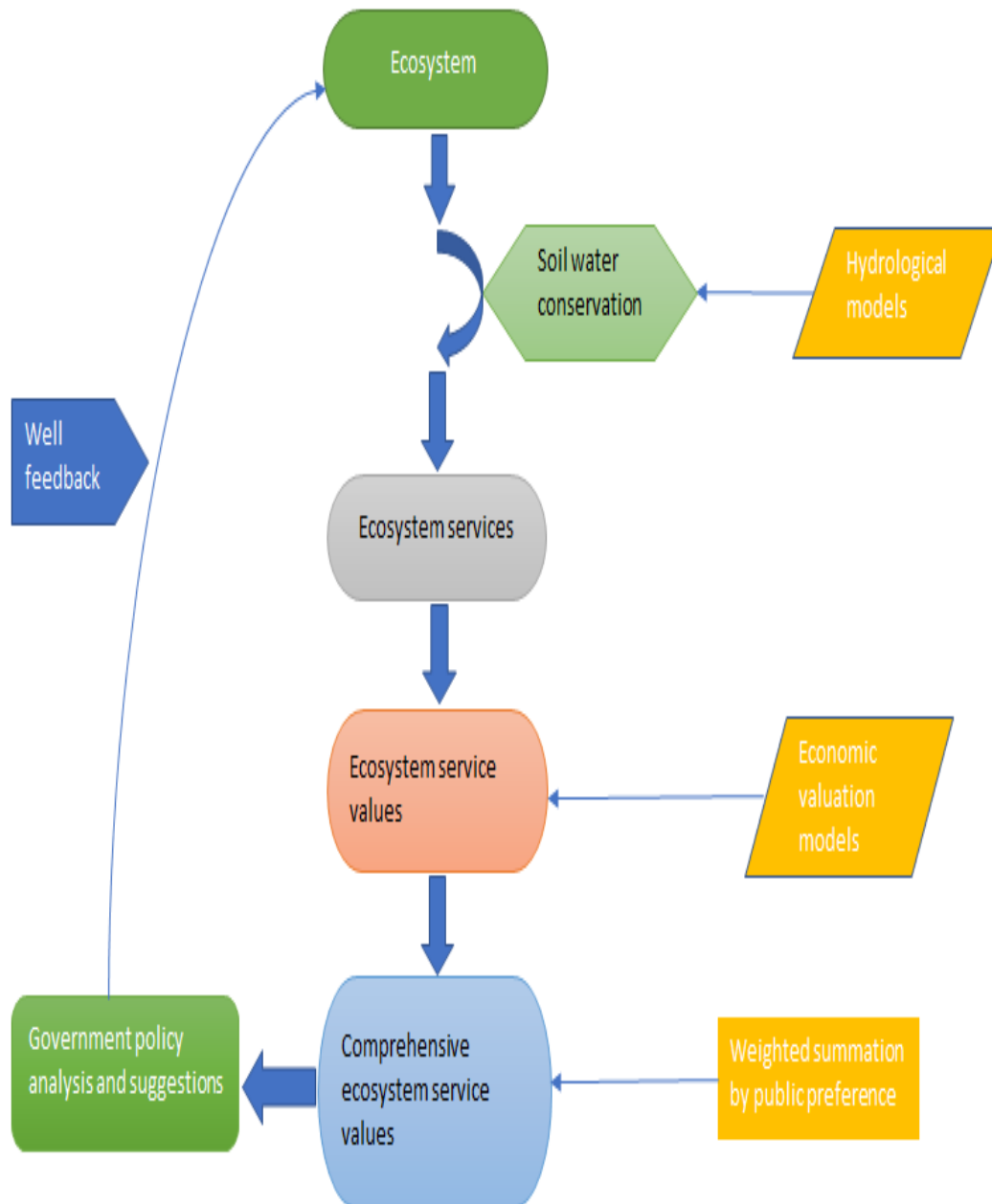


圖 1. 研究流程圖

註:本文 3.1~3.4 研究模型架構與流程



圖 1 的最上方部位為存在於自然界的生態系(Ecosystem)，生態系透過土壤水源涵養(Soil water conservation)過程，會給社會人群帶來生態系服務(Ecosystem services)。本文首先使用水文學模型(Hydrological models)來估算土壤水源涵養的過程，以便衡量生態系所帶來的生態系服務數量。接著本文使用價值評估模型(Economic valuation models)來估算生態系服務所提供的生態系服務價值(Ecosystem service values)。最後本文再依據農委會對台灣民眾生態系服務偏好之調查，將集水區的各項生態系服務加權加總(Weighted summation by public preference)，就可以得到集水區的綜合生態系服務價值(Comprehensive ecosystem service values)。根據各集水區的綜合生態系服務價值數據，本文進一步作出較合理適當的政府政策分析與建議(Government policy analysis and suggestions)。這些政府政策分析與建議的實施，可以對生態系造成良好的回饋(Well feedback)。透過圖 1 的流程圖運作，即可以形成健全的良好循環。

第四章 數據分析



4.1 資料來源

本文估算 2020 年台灣北部大漢溪、台灣中部大甲溪與台灣南部曾文溪三個河川上游集水區的生態系服務價值，而河川上游集水區的生態系服務主要涉及了集水區土壤的水源涵養量，所以本文使用 2020 年三個河川的水文資料，包括集水區降雨量、河川逕流量與河川蒸發量，來估算河川上游集水區的土壤水源涵養量。

就估算河川上游集水區的生態系服務價值來說，首先討論在估算與供給服務有關的生態系服務價值時，本文所使用的資料。在估算水源涵養量服務價值上，本文使用三個河川上游集水區水庫的資料，包括石門水庫、德基水庫與曾文水庫。在估算農林產品供給服務價值上，本文使用的資料，包括集水區農地面積與林地面積、農地產量與林地產量以及農林產品價格。

其次討論本文在估算與支持服務有關的生態系服務價值時，所使用的資料。在估算土壤可支持作物生長服務價值上，本文使用的資料，包括農作面積與果樹面積、農作與果樹生長所需氮肥量、磷肥量與鉀肥量、肥料的氮磷鉀含量以及肥料價格。而在估算生物棲息地服務價值上，本文使用的資料，包括集水區水生與濱水動物數量、集水區濱水植物數量、台灣野生動物保育費用與一般濱水植物栽種費用。

接著討論本文在估算與調節服務有關的生態系服務價值時，所使用的資料。至於估算防洪服務價值，本文使用的資料，包括水庫防淤隧道工程經費、水庫清淤費用、水庫洩洪量以及水費費率。估算土石流防治服務價值，本文使用的資料，則包括了水庫集水區土石流防災整體治理工程成本與土石流防災業務人事費用。估算氣候調節服務價值，本文使用的資料有，集水區林地造林成本與集水區林地管理業務費用。



最後討論在估算與文化服務有關的生態系統服務價值時，本文所使用的資料。在估算觀光旅遊服務價值上，本文使用的資料，包括集水區旅館與民宿的客房住用數、集水區旅館與民宿的客房房價以及集水區旅館與民宿的餐飲收入。估算療育休閒服務價值，本文使用的資料，則包括國家森林遊樂區入區人數、國家森林遊樂區門票收入、國家森林遊樂區入區車輛數以及國家森林遊樂區停車費收入。本節主要是討論在估算水文學模型與估算各項生態系服務價值之經濟價值評估模型時，所使用的各類型資料情況。具體詳細的資料來源之，可參見本章以下各節，有關估算水文學模型與各項生態系服務價值之經濟價值評估模型的數據分析討論。

最後在衡量集水區的綜合生態系統服務價值時，需要將集水區的上述各個個別生態系服務價值，依照其重要性做進一步的加權平均處理，以計算出集水區的綜合生態系服務價值。本文以 2020 年台灣行政院農業委員會對台灣民眾關於生態系服務偏好的調查資料為依據，將台灣民眾對各個個別生態系服務的偏好分數轉換成各個個別生態系服務價值之權數。

4.2 水源涵養量估算

由於集水區的許多生態系統服務是直接的或間接的導因於集水區土壤的水源涵養量，因此在衡量集水區的各個生態系服務價值之前，本文必須要先以水文學模型來估算集水區的土壤水源涵養量。資料來源為交通部中央氣象局的觀測資料查詢系統以及經濟部水利署的水文資訊網。

首先使用徐昇多邊形法來計算三個河川上游集水區在 2020 年的年均降雨量，應用徐昇多邊形法來估算一地區的年均降雨量，需要先選擇此地區中的數個氣象觀測站，並以這些氣象觀測站的降雨量為基礎，依據這些氣象觀測站所轄區域佔集

表 3. 集水區氣象觀測站降雨量

	觀測 站	經度	緯度	降雨量 (mm)	徐昇面 積 (km^2)	面積百 分率 (%)	加權面 積雨量 (mm)	徐昇多 邊形法 降雨量 (mm)
石門水庫 集水區	桃園 復興	121.3522	24.8202	1936	150.58	19.74%	376.94	1939.47
	新竹 鳥嘴 山	121.2838	24.719	2050.5	391.96	51.37%	1053.34	
	新竹 梅花	121.2085	24.6783	1762.5	220.46	28.89%	509.19	
德基水庫 集水區	臺中 梨山	121.2436	24.2475	1518	190.17	37%	561.66	1330.23
	臺中 德基	121.1902	24.2547	1338.5	103.19	20.07%	268.64	
	臺中 審馬 陣	121.4203	24.3816	979.5	101.1	19.67%	192.67	
	臺中 桃山	121.3038	24.4327	1321	119.54	23.26%	307.26	

曾文水庫 集水區	嘉義 達邦	120.7495	23.4539	1721	215.23	44.75%	770.15	1750.49
	嘉義 茶山	120.6647	23.299	1762.5	86.09	17.9%	315.49	
	嘉義 馬頭 山	120.582	23.3243	1726.5	179.68	37.35%	664.85	

註：交通部中央氣象局觀測資料查詢系統，2020。

水區的百分比為權數，來對這些氣象觀測站的降雨量進行加權平均。表 3 是三條河川上游水庫集水區中各氣象觀測站的地理經緯度、降雨量與所轄區域(徐昇面積)佔集水區的百分比資料。

接著本文使用水文平衡收支法來估計三個河川上游集水區的土壤水源涵養量，利用水文平衡收支法我們可以集水區年均降雨量扣除降雨無法被集水區土壤保存的部分，來估算集水區的土壤水源涵養量。本文以降雨量裡年逕流量佔年蒸發量的比值，來衡量降雨無法被集水區土壤保存的部分。表 4 列出 2020 年三條河川的年逕流量與年蒸發量。

表 4. 河川年逕流量與年蒸發量

	年逕流量(mm)73.61%	年蒸發量(mm)20.67%
大漢溪	1292.74	363.01
大甲溪	1155.01	324.33
曾文溪	1297.23	364.27

註：經濟部水利署的水文資訊網，2020。



表 5 首先使用水文平衡收支法估算三個河川上游集水區的每平方公尺土壤的水源涵養量，接著再依據各集水區面積計算三個河川上游集水區的土壤總水源涵養量。

表 5. 集水區土壤水源涵養量

	每單位土壤蓄 水量(m)	集水區面積(m^2)	總水源涵養量 (m^3)
石門水庫集水區	1.39474	763,000,000	1,064,186,620
德基水庫集水區	0.95670	514,000,000	491,743,800
曾文水庫集水區	1.25894	481,000,000	605,550,140

註：本文水文平衡收支法之估算。

由表 5 可知河川上游集水區的土壤水源涵養量由多到少的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 1,064,186,620 立方公尺、曾文溪上游曾文水庫集水區的 605,550,140 立方公尺以及大甲溪上游德基水庫集水區的 481,000,000 立方公尺。其中大漢溪上游石門水庫集水區的土壤水源涵養量大幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區與大甲溪上游德基水庫集水區的土壤水源涵養量，而曾文溪上游曾文水庫集水區的土壤水源涵養量則較小幅度地超過大甲溪上游德基水庫集水區的土壤水源涵養量。

4.3 生態系服務價值估算

本節以第二節所計算的三個河川上游集水區在 2020 年的土壤水源涵養量為基礎，並依據三個河川上游集水區的各项相關資料，來依序估算以下河川上游集水區



的九種生態系服務價值，包括供給服務的水源涵養量服務價值、農林產品供給服務價值，支持服務的土壤可支持作物生長服務價值、生物棲息地服務價值，調節服務的防洪服務價值、土石流防治服務價值、氣候調節服務價值，以及文化服務的觀光旅遊服務價值、療育休閒服務價值。

4.3.1 水源涵養量服務價值估算

本小節估算屬於供給服務的水源涵養量服務價值，由於集水區土壤水源涵養量的服務價值不易直接估算，本文使用重置成本法以集水區水庫的重新建造成本來間接的估算集水區土壤水源涵養量的服務價值。資料來源為經濟部水利署水庫集水區查詢系統、經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局以及經濟部水利署南區水資源局。

表 6 為三個河川上游集水區的水庫之建造成本，由於水庫皆在過去的時點興建，因此要將水庫建造時點至 2020 年之間的物價上漲率考慮進來，計算經過物價上漲率調整的水庫 2020 年建造成本。此外表 6 也列出了三個河川上游集水區的水庫之平均年度安全評估費用與平均年度更新維護費用。

表 7 為依據三個河川上游集水區的水庫之建造成本以及水庫之平均年度費用，使用重置成本法所估算的三條河川上游集水區的水源涵養量服務價值。由表 7 可知河川上游集水區的水源涵養量服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$1,163,644,437.32、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$495,704,796.31 以及曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$305,091,965.4。其中大漢溪上游石門水庫集水區的水源涵養量服務價值大幅度地超過大甲溪上游德基水

表 6. 集水區水庫建造成本與年度費用

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
建成年份	1964	1974	1973
總容量(m^3)	309,120,000	232,000,000	803,817,000
建造成本	NT\$ 3,183,000,000	NT\$ 5,120,000,000	NT\$ 6,038,000,000
物價上漲率	695.2234%	332.7372%	490.6875%
2020 年建造成本	NT\$ 22,128,960,822	NT\$ 17,036,144,640	NT\$ 29,627,711,250
平均年度安全評估費用	NT\$2,886,000	NT\$2,215,200	NT\$0
平均年度更新維護費用	NT\$35,753,000	NT\$1,180,600	NT\$4,166,400

註：經濟部水利署水庫集水區查詢系統、經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局以及經濟部水利署南區水資源局，2020。

表 7. 集水區水源涵養量服務價值

	石門水庫	德基水庫	曾文水庫
建造水庫重置成本	NT\$338,009,987	NT\$233,868,775	NT\$404,984,008
每立方公尺蓄水量價格	NT\$1.093459	NT\$1.008055	NT\$0.5038261
總水源涵養量(m^3)	1,064,186,620	491,743,800	605,550,140
總水源涵養量價值	NT\$1,163,644,437.3	NT\$495,704,796.3	NT\$305,091,965.4

註：本文重置成本法之估算。



庫集水區與曾文溪上游曾文水庫集水區的水源涵養量服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的水源涵養量服務價值則較小幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區的水源涵養量服務價值。

4.3.2 農林產品供給服務價值估算

本小節估算屬於供給服務的農林產品供給服務價值，我們以集水區裡農作物生產區中的農產品以及集水區裡林木生產區中的林產品在 2020 年的市場價格來估算集水區的農林產品供給服務價值，因此是採取市場價格法來估算農林產品供給服務價值。資料來源為行政院農委會的農業統計資料查詢、行政院農委會的農業及農地資源盤查結果查詢圖台以及行政院內政部國土測繪中心的國土測繪圖資服務雲，表 8 列出三個河川上游集水區生產農作與果樹的農產面積。

表 8. 集水區農作與果樹面積

集水區	石門水庫集水區		德基水庫集水區	曾文水庫集水區	
行政區	桃園市復興區	新竹縣尖石鄉	臺中市和平區	嘉義縣阿里山鄉	嘉義縣大埔鄉
農作(m^2)	383,369	398,030	10,645,100	688,647	18,190,956
果樹(m^2)	820,397	2,156,500	33,867,158	331,885	249,500
農產面積(m^2)	1,203,766	2,554,530	44,512,258	1,020,532	18,440,456
集水區農產面積(m^2)	3,758,296		44,512,258	19,460,988	

註：行政院農委會的農業及農地資源盤查結果查詢圖台，2020。



表 9 為三個河川上游的國有林區面積與林業產值，表 10 則依據集水區林產面積佔國有林區面積的比率，來計算集水區林業產值。

表 9. 國有林區林業產值

	新竹國有林區	東勢國有林區	嘉義國有林區
國有林區面積(m^2)	1,460,810,000	1,247,160,000	1,125,890,000
林業產值	NT\$27,354,433.6	NT\$25,558,461.8	NT\$6,298,700.7

註：行政院農委會的農業統計資料查詢，2020。

表 10. 集水區林業產值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
集水區面積(m^2)	763,000,000	514,000,000	481,000,000
集水區林產面積(m^2)	759,241,704	469,487,742	461,539,012
集水區林產面積佔國有林區面積比率(%)	51.97%	37.64%	40.99%
集水區林業產值	NT\$ 14,216,099.1	NT\$ 9,620,205.0	NT\$ 2,581,837.4

註：行政院內政部國土測繪中心的國土測繪圖資服務雲，2020。

三個河川上游集水區農產產值的詳細計算過程，可參見附錄二中的附表 1 至附表 3。將表 10 的集水區林業產值加上該集水區農產產值，即可得到表 11 中的集水區農林產品產值。



表 11. 集水區農林產品產值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
集水區林業產值	NT\$ 14,216,099.1	NT\$ 9,620,205.0	NT\$ 2,581,837.4
集水區農產產值	NT\$ 2,148,347,956.0	NT\$ 42,461,902,305.7	NT\$ 3,736,322,497.9
集水區農林產品 產值	NT\$ 2,162,564,055.2	NT\$ 42,471,522,510.7	NT\$ 3,738,904,335.3

註：本文市場價格法之估算。

由表 11 可知河川上游集水區的水源涵養量服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$ 42,471,522,510.69、曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$ 3,738,904,335.34 以及大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$ 2,162,564,055.15。其中大甲溪上游德基水庫集水區的農林產品供給服務價值大幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區與大漢溪上游石門水庫集水區的農林產品供給服務價值，而曾文溪上游曾文水庫集水區的農林產品供給服務價值則小幅度地超過大漢溪上游石門水庫集水區的農林產品供給服務價值。

4.3.3 土壤可支持作物生長服務價值估算

本小節估算屬於支持服務的土壤可支持作物生長服務價值，由於不易直接估算集水區土壤養分的價值，因此本文使用代理市場法，以具有市場價格的肥料作為土壤養分的代理品，來間接估算集水區的土壤可支持作物生長服務價值。雖然行政院在 2008 年開始加強對農民宣導合理化施肥，並建立合理化施肥示範農場，但農民在大多數農地仍然依舊採取慣行施肥的方法來施肥，而較少針對農地土壤肥力進行精確的診斷，來採取合理化施肥。譬如在 2009 年全國農作面積約 74 萬公頃中，有 300 座合理化施肥示範農場，這 300 座合理化施肥示範農場的總面積也僅有 266 公頃。由此可知只有極少數的農地係採取合理化施肥，絕大多數的農地依然採取慣行施肥。因此本小節以農民對集水區農地採取慣行施肥所需的肥料數量，來近似代理集水區農地的土壤可支持作物生長服務；並以農民對集水區農地採取慣行施肥所需的肥料價值來近似代理集水區農地的土壤可支持作物生長服務價值。資料來源為行政院農委會農業統計資料查詢與行政院農委會農糧署作物施肥手冊。

表 12 為每公頃農作與果樹生長所需的氮、磷、鉀肥數量，而表 13 則為依據三個河川上游集水區的農作與果樹面積，所計算的集水區之農作與果樹所需的氮、磷、鉀肥數量。

表 12. 每公頃農作與果樹氮、磷、鉀肥需求數量

(kg/公頃)	氮素	磷酐	氧化鉀
農作(特種作物,蔬菜)	240	95	150
果樹	350	180	300

註：行政院農委會農糧署作物施肥手冊，2020。

表 13. 集水區農作與果樹氮、磷、鉀肥需求數量

		面積(公頃)	氮素(kg)	磷酐(kg)	氧化鉀(kg)
石門水庫集水區	農作(特種作物,蔬菜)	78.1	18,753.6	7,423.3	11,721.0
	果樹	297.7	104,191.4	53,584.1	89,306.9
德基水庫集水區	農作(特種作物,蔬菜)	1,064.5	255,482.4	101,128.5	159,676.5
	果樹	3,386.7	1,185,350.5	609,608.8	1,016,014.7
曾文水庫集水區	農作(特種作物,蔬菜)	1,898.0	455,510.5	180,306.2	284,694.0
	果樹	58.1	20,348.5	10,464.9	17,441.6

註:行政院農委會的農業及農地資源盤查結果查詢圖台，2020。

表 14. 台肥公司單質肥料之氮、磷、鉀肥比率

單質肥料	氮素	磷酐	氧化鉀
硫酸銨	21%	0%	0%
過磷酸鈣	0%	18%	0%
氯化鉀	0%	0%	60%

註: 台灣肥料公司肥料資料，2020。

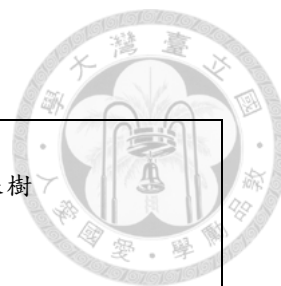


表 15. 集水區單質肥料需求數量

	單質肥料	農作(特種作物,蔬菜)	果樹
石門水庫集水區	硫酸銨(kg)	89,302.7	496,149.5
	過磷酸鈣(kg)	41,240.5	297,689.7
	氯化鉀(kg)	19,535.0	148,844.9
德基水庫集水區	硫酸銨(kg)	1,216,582.9	5,644,526.3
	過磷酸鈣(kg)	561,824.72	3,386,715.8
	氯化鉀(kg)	266,127.5	1,693,357.9
曾文水庫集水區	硫酸銨(kg)	2,169,097.5	96,897.5
	過磷酸鈣(kg)	858,601.0	58,138.5
	氯化鉀(kg)	474,940.1	29,069.3

註：表 12、表 13 與表 14 數據彙整。

依據表 13 的三個河川上游集水區之農作與果樹所需的氮、磷、鉀肥數量以及表 14 的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀三種單質肥料所含的氮、磷、鉀肥比率，可以計算出表 15 中三個河川上游集水區之農作與果樹所需的三種單質肥料數量。

而依據表 13 的三個河川上游集水區之農作與果樹所需的氮、磷、鉀肥數量以及表 14 的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀三種單質肥料所含的氮、磷、鉀肥比率，可以計算出表 15 中三個河川上游集水區之農作與果樹所需的三種單質肥料數量。表



16 為依據三個河川上游集水區的農作面積與果樹面積，所計算出的集水區裡的農作面積與果樹面積之水源涵養量。

表 16. 集水區農作面積與果樹面積之水源涵養量

	總水源涵養量(m^3)	集水區面積(公頃)	集水區每公頃水源涵養量(m^3)	農作(特種作物, 蔬菜)面積的水源涵養量(m^3)	果樹面積的水源涵養量(m^3)
石門水庫集水區	1,064,186,620	76,300	13,947.4	1,089,848.4	4,151,997.3
德基水庫集水區	491,743,800	51,400	9,567	10,184,167.2	32,400,710.1
曾文水庫集水區	605,550,140	48,100	12,589.4	23,894,181.4	731,928.8

註：表 7 與表 13 數據彙整。

表 17 列出理論上三個河川上游集水區裡農作面積與果樹面積的土壤水源涵養所能溶解的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀三種單質肥料的數量，並列出在自然界情況下集水區裡農作面積與果樹面積的土壤水源涵養所能溶解的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀三種單質肥料的數量。



表 17. 集水區農作面積與果樹面積之單質肥料溶解量

		農作(特種作物, 蔬菜)面積水源 涵養的溶解量 (kg)	果樹面積水源 涵養的溶解量 (kg)	農作(特種作物, 蔬菜)面積水源 涵養的自然界 溶解量 (80%)(kg)	果樹面積水源 涵養的自然界 溶解量 (80%)(kg)
石門水庫 集水區	硫酸銨	839,183.3	3,197,037.9	671,346.6	2,557,630.4
	過磷酸鈣	19,617.3	74,736.0	15,693.8	59,788.8
	氯化鉀	386,896.2	1,473,959.0	309,517.0	1,179,167.2
德基水庫 集水區	硫酸銨	7,841,808.7	7,841,808.7	6,273,447.0	6,273,447.0
	過磷酸鈣	183,315.0	583,212.8	146,652.0	466,570.2
	氯化鉀	3,615,379.3	11,502,252.1	2,892,303.5	9,201,801.7
曾文水庫 集水區	硫酸銨	18,398,519.7	563,585.2	14,718,815.7	450,868.2
	過磷酸鈣	430,095.3	13,174.7	344,076.2	10,539.8
	氯化鉀	8,482,434.4	259,834.7	6,785,947.5	207,867.8

註：來源自 MSDS 物質安全資料表。

表 18 為三條河川上游集水區的農作與果樹面積所需的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀這三種單質肥料的數量。

表 18. 集水區農作面積與果樹面積之單質肥料量



	單質肥料	農作(特種作物,蔬菜)面積單質肥料量(kg)	果樹面積單質肥料量(kg)
石門水庫集水區	硫酸銨	89,302.7	496,149.5
	過磷酸鈣	19,617.3	74,736.0
	氯化鉀	19,535.0	148,844.9
德基水庫集水區	硫酸銨	1,216,582.9	5,644,526.3
	過磷酸鈣	183,315.0	583,212.8
	氯化鉀	266,127.5	1,693,357.9
曾文水庫集水區	硫酸銨	2,169,097.5	96,897.5
	過磷酸鈣	430,095.3	13,174.7
	氯化鉀	474,940.1	29,069.3

註：表 15 與表 17 數據彙整。

表 19 列出台肥公司所生產的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀這三種單質肥料在 2020 年的市場價格。



表 19. 台肥公司單質肥料價格

單質肥料種類	2020 年生產價值	2020 年生產量(kg)	2020 年價格 (NT\$/kg)
硫酸銨	NT\$ 1,558,206,120	328,458,000	NT\$4.7
過磷酸鈣	NT\$ 182,829,110	44,373,780	NT\$4.1
氯化鉀	NT\$ 269,546,000	36,478,210	NT\$7.4

註：台灣肥料公司肥料資料，2020。

依據表 18 中所算出的三個河川上游集水區的農作與果樹面積所需的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀這三種單質肥料的數量，以及依據表 19 的這三種單質肥料在 2020 年的市場價格，可以計算出表 20 中的三個河川上游集水區的農作與果樹面積所需的硫酸銨、過磷酸鈣與氯化鉀這三種單質肥料的價值，進一步加總後即可得三個河川上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值。

由表 20 可知河川上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$ 50,185,834.1155、曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$ 14,474,005.1146 以及大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$ 4,410,279.2488。其中大甲溪上游德基水庫集水區的土壤可支持作物生長服務價值大幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區與大漢溪上游石門水庫集水區的土壤可支持作物生長服務價值，而曾文溪上游曾文水庫集水區的土壤可支持作物生長服務價值則超過大漢溪上游石門水庫集水區的土壤可支持作物生長服務價值。除了



表 20. 集水區土壤可支持作物生長服務價值

	單質肥料	集水區農產面積 單質肥料量(kg)	集水區土壤單質肥料 價值	集水區土壤可支持作物 生長的價值
石門水庫 集水區	硫酸銨	585,452.2	NT\$ 2,777,385.4	NT\$ 4,410,279.2
	過磷酸鈣	94,353.2	NT\$ 388,735.3	
	氯化鉀	168,379.8	NT\$ 1,244,158.5	
德基水庫 集水區	硫酸銨	6,861,109.2	NT\$ 32,549,102.0	NT\$ 50,185,834.1
	過磷酸鈣	766,527.8	NT\$ 3,158,094.5	
	氯化鉀	1,959,485.4	NT\$ 14,478,637.6	
曾文水庫 集水區	硫酸銨	2,265,995.0	NT\$ 10,749,880.2	NT\$ 14,474,005.1
	過磷酸鈣	443,270	NT\$ 1,826,272.3	
	氯化鉀	504,009.3	NT\$ 3,724,124.9	

註：本文代理市場法之估算。

本小節的單質肥料分析外，本文另外也以台肥公司的複合肥料，作為集水區土壤養分的另一種代理品，來進行分析驗證，可參見附錄二的附表 4 至附表 9。

4.3.4 生物棲息地服務價值估算

本小節估算屬於支持服務的生物棲息地服務價值，同樣的由於集水區裡的濱水動植物的價值不易直接估算，因此本文也以代理市場法，以台灣野生動物的保育費用與濱水植物的栽種費用來估算集水區的生物棲息地服務價值。資料來源為行政

表 21. 集水區水生與濱水動物以及濱水植物數量



		石門水庫集水區		德基水庫 集水區	曾文水庫集水區	
		桃園市復興區	新竹縣尖石鄉	台中市和平區	嘉義縣阿里山鄉	嘉義縣大埔鄉
水生與濱水動物 數量	魚類	0	33	0	0	0
	兩棲類(蛙類)	0	4	1	0	0
	蝸牛與貝類	138	190	105	64	8
	集水區水生與濱水動物總數量	365		106	72	
濱水植物數量	蕨類植物	335	453	411	554	89
	石松類植物	22	14	19	34	3
	集水區濱水植物總數量	824		430	680	

註：行政院農業委員會台灣生物多樣性網絡(BTN)，2020。

院農委會的台灣生物多樣性網絡(BTN)與行政院農委會林務局 109 年度預算案，表 21 列出三個河川上游集水區在 2020 年的水生與濱水動物數量以及濱水植物數量。

表 22 列出 2020 年台灣野生動物的平均保育費用以及濱水植物的平均栽種費用。而依據表 21 的三個河川上游集水區在 2020 年之水生與濱水動物數量以及濱水植物數量，可進一步估算出表 23 中的三個河川上游集水區在 2020 年水生與濱水動物總飼養保育經費以及濱水植物總裁種費用，加總後即可得三個河川上游集水區在 2020 年的生物棲息地服務價值。

表 22. 台灣野生動物保育經費與濱水植物栽種費用

2020 年度每隻石虎保育經費	NT\$44,000
2020 年度每隻台灣黑熊保育經費	NT\$45,000
2020 年度每隻野生動物平均保育經費	NT\$44,500
每平方公尺濱水植物每年栽種費用	NT\$1,200
每平方公尺濱水植物每年平均栽種數量	10
每株濱水植物每年栽種費用	NT\$120

註:1. 行政院農委會林務局 109 年度預算案，2020。 2. 行政院農業委員會台中區農業改良場遷廠

30 周年紀念專刊，2015。

由表 23 可知河川上游集水區的生物棲息地服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$16,341,380、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$4,768,600 以及曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$3,285,600。其中大漢溪上游

石門水庫集水區的生物棲息地服務價值大幅度地超過大甲溪上游德基水庫集水區與曾文溪上游曾文水庫集水區的生物棲息地服務價值，而大甲溪上游德基水庫集



表 23. 集水區生物棲息地服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
集水區水生與濱水動物總飼養保育經費	NT\$16,242,500	NT\$4,717,000	NT\$3,204,000
集水區濱水植物總裁種費用	NT\$98,880	NT\$51,600	NT\$81,600
生物棲息地總價值	NT\$16,341,380	NT\$4,768,600	NT\$3,285,600

註：本文代理市場法之估算。

水區的生物棲息地服務價值則小幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區的生物棲息地服務價值。

4.3.5 防洪服務價值估算

本小節估算屬於調節服務的防洪服務價值，本文使用重置成本法以重新建造集水區水庫防洪工程的成本與費用，來估算河川上游集水區的防洪服務價值。資料來源為經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局以及經濟部水利署南區水資源局，表 24 計算三個河川上游集水區水庫在 2020 年的平均年度水庫清淤費用。

表 25 計算三個河川上游集水區水庫在 2020 年的平均年度水庫洩洪量，並依據集水區所在的行政區之水費費率來估算水庫在 2020 年的平均年度水庫洩洪量價值。



表 24. 水庫平均年度清淤費用

年度水庫清淤費用	石門水庫	德基水庫	曾文水庫
2016	NT\$115,147,000	NT\$4,404,000	NT\$176,185,000
2017	NT\$171,406,000	NT\$4,946,000	NT\$76,975,000
2018	NT\$205,831,000	NT\$25,633,000	NT\$296,645,000
2019	NT\$248,871,000	NT\$13,114,000	NT\$206,754,000
2020	NT\$247,126,000	NT\$17,595,000	NT\$403,290,000
平均年度水庫清淤費用	NT\$197,676,200	NT\$13,138,400	NT\$231,969,800

註：經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局與經濟部水利署南區水資源局，2016-2020。

表 26 為石門水庫與曾文水庫在 2020 年的水庫防淤隧道工程費用，水庫防淤隧道工程費用是河川上游集水區的重要防洪工程成本。而表 27 則為以霧社水庫 2020 年的防淤隧道工程費用來設算德基水庫 2020 年的水庫防淤隧道工程費用。

而依據表 26 與表 27 的水庫防淤隧道工程費用之防洪工程成本，以及表 24 的平均年度水庫清淤費用與表 25 的平均年度水庫洩洪量價值之防洪工程費用，使用重置成本法可以估算出表 28 的水庫每立方公尺蓄水的防洪價值。



表 25. 水庫平均年度洩洪量價值

年度水庫洩洪量(m^3)	石門水庫		德基水庫	曾文水庫
2016	288,900,000		93,737,000	372,330,000
2017	489,594,000		32,335,000	382,320,000
2018	258,962,000		0	197,280,000
2019	510,977,000		33,993,000	100,620,000
2020	0		41,000	0
平均年度水庫洩洪量(m^3)	309,686,600		32,021,200	210,510,000
行政區	桃園市	新竹縣	臺中市	嘉義縣
每立方公尺水費	NT\$29	NT\$29	NT\$29	NT\$29
水庫集水區每立方公尺平均水費	NT\$29		NT\$29	NT\$29
平均年度水庫洩洪量價值	NT\$8,980,911,400		NT\$928,614,800	NT\$6,104,790,000

註：經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局與經濟部水利署南區水資源局，

2020。

表 26. 石門水庫與曾文水庫的水庫防淤隧道工程成本

	石門水庫	曾文水庫
2020 年水庫防淤隧道工程費用	NT\$4,627,000,000	NT\$4,098,000,000

註：經濟部水利署北區水資源局與經濟部水利署南區水資源局，2020。

表 27. 德基水庫的水庫防淤隧道工程成本

霧社水庫 2020 年防淤隧道工程費用	NT\$5,000,000,000
霧社水庫總蓄水容量(m^3)	146,000,000
德基水庫總蓄水容量(m^3)	232,000,000
設算德基水庫 2020 年防淤隧道工程費用	NT\$7,945,205,479.5

註：經濟部水利署中區水資源局，2020。

表 28. 水庫防洪價值

	石門水庫	德基水庫	曾文水庫
水庫防洪重置成本	NT\$9,241,183,832	NT\$1,049,239,675	NT\$6,392,199,471
水庫總蓄水量(m^3)	309,120,000	232,000,000	708,000,000
水庫每立方公尺蓄水的 防洪價值	NT\$29.9	NT\$4.5	NT\$9.0

註：本文重置成本法之估算。



將水庫每立方公尺蓄水的防洪價值乘以集水區土壤的總水源涵養量，即可得到表 29 的集水區總防洪價值。

表 29. 集水區防洪服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
水庫每立方公尺蓄水的防洪價值	NT\$29.9	NT\$4.5	NT\$9.0
總水源涵養量(m^3)	1,064,186,620	491,743,800	605,550,140
集水區總防洪價值	NT\$31,814,001,605.9	NT\$2,223,953,133.7	NT\$5,467,227,605.5

註：表 5 與表 28 數據彙整。

由表 29 可知河川上游集水區的防洪服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$31,814,001,605.91、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$5,467,227,605.49 以及曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$2,223,953,133.72。其中大漢溪上游石門水庫集水區的防洪服務價值大幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區與大甲溪上游德基水庫集水區的防洪服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的防洪服務價值則超過曾文溪上游曾文水庫集水區的防洪服務價值。

4.3.6 土石流防治服務價值估算

本小節估算屬於調節服務的土石流防治服務價值，本文使用重置成本法以重新建造水庫集水區土石流防治工程的成本與費用，來估算集水區的土石流防治服務價值。資料來源為行政院農委會水土保持局，由於土石流防治工程成本與年度

平均業務人事費用是以行政區來區劃的，因此要轉換為與行政區相對應的集水區之土石流防治工程成本與年度平均業務人事費用，集水區的土石流防治工程成本與年度平均業務人事費用計算，可參見附錄二的附表 10 至附表 14。

表 30 為三個河川上游水庫集水區在 2020 年的土石流防治工程總成本與土石流防治年度平均業務人事費用。

表 30. 水庫土石流防治工程成本與年度平均費用

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
水庫集水區土石流防災年度平均業務人事費用	NT\$ 194,544,736.4	NT\$ 146,009,490.0	NT\$ 445,581,632.1
水庫集水區土石流防災整體治理工程總成本	NT\$ 5,015,886,602.8	NT\$ 6,047,124,066.0	NT\$ 6,211,584,43

註：行政院農業委員會水土保持局，2020。

依據表 30 的水庫集水區在 2020 年的土石流防治工程總成本與土石流防治年度平均業務人事費用，使用重置成本法來計算表 31 的水庫防治土石流之重置成本，再除以水庫蓄水量，即可得表 31 的水庫每立方公尺蓄水的防治土石流價值。

表 31. 水庫土石流防治價值



	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
水庫防治土石流重置成本	NT\$262,402,009	NT\$227,817,828	NT\$529,614,867
水庫總蓄水量(m^3)	309,120,000	232,000,000	708,000,000
水庫每立方公尺蓄水的防治土石流價值	NT\$0.8	NT\$1.0	NT\$0.7

註：本文重置成本法之估算。

將水庫每立方公尺蓄水的防治土石流價值乘以集水區總水源涵養量，即可得到表 32 的集水區的總防治土石流價值。

表 32. 集水區土石流防治服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
水庫每立方公尺蓄水的防治土石流價值	NT\$0.8	NT\$1.0	NT\$0.7
總水源涵養量(m^3)	1,064,186,620	491,743,800	605,550,140
總防治土石流價值	NT\$903,353,967.8	NT\$482,879,134.5	NT\$452,978,148.9

註：表 5 與表 31 數據彙整。

由表 32 可知河川上游集水區的土石流防治服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$903,353,967.75、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$482,879,134.52 以及曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$452,978,148.93。其中大漢溪上游石門水庫集水區的土石流防治服務價值大幅度地超過大甲溪上游德基水

庫集水區與曾文溪上游曾文水庫集水區的土石流防治服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的土石流防治服務價值則小幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區的土石流防治服務價值。



4.3.7 氣候調節服務價值估算

本小節估算屬於調節服務的氣候調節服務價值，由於集水區的氣候調節服務價值主要是來自集水區林地對氣候的調節作用，因此本文使用重置成本法以重新建造集水區林地的成本與費用。資料來源為行政院農委會林務局，集水區林地造林成本以及集水區林地年度平均管理業務費用的詳細計算，可參見附錄二的附表 15 至附表 16。

表 33 為三個河川上游集水區在 2020 年的集水區林地總造林成本以及集水區林地總年度平均管理業務費用。

表 33. 集水區林地造林成本與年度平均費用

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
集水區林地面積 (公頃)	75,924.2	46,948.8	46,153.9
集水區林地總造林 成本	NT\$ 44,857,374,099.8	NT\$ 27,738,185,570.2	NT\$ 27,268,560,214.6
集水區林地總年度 平均管理業務費用	NT\$ 207,919,859.1	NT\$ 128,570,157.1	NT\$ 126,393,381.5

註：行政院農委會林務局，2020。

依據表 33 的 2020 年之集水區林地總造林成本以及集水區林地總年度平均管理業務費用，使用重置成本法可以估算表 32 的集水區氣候調節之重置成本，此極為集水區的總氣候調節價值。



表 34. 集水區氣候調節服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
集水區氣候調節重置成本	NT\$814,771,507	NT\$503,825,374	NT\$495,295,285
總氣候調節價值	NT\$814,771,507	NT\$503,825,374	NT\$495,295,285

註：本文重置成本法之估算。

由表 34 可知河川上游集水區的氣候調節服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$814,771,507、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$503,825,374 以及曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$495,295,285。其中大漢溪上游石門水庫集水區的氣候調節服務價值超過大甲溪上游德基水庫集水區與曾文溪上游曾文水庫集水區的氣候調節服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的氣候調節服務價值則小幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區的氣候調節服務價值。

4.3.8 觀光旅遊服務價值估算

本小節估算屬於文化服務的觀光旅遊服務價值，我們以集水區中旅館與民宿的客房收入與餐飲收入，來估算集水區的觀光旅遊服務價值，因此是以市場價格法來估算觀光旅遊服務價值。

資料來源為交通部觀光局旅宿網，表 35 列出三個河川上游集水區在 2020 年的旅館與民宿之客房收入，此為集水區觀光旅遊服務價值中的項目之一。



表 35. 集水區旅館與民宿客房收入

		2020 年 旅館客 房住用 數	2020 年旅館 平均房 價 (NT\$)	2020 年旅館 客房收入 (NT\$)	2020 年集水 區旅館客房 收入(NT\$)	2020 年民宿 客房住 用數	2020 年民宿 平均房 價 (NT\$)	2020 年民 宿客房收 入(NT\$)	2020 年集 水區民宿 客房收入 (NT\$)
石 門 水 庫 集 水 區	桃 園 市 復 興 區	3,068	1,099	3,371,300	3,371,300	16,518	2,900	47,902,166	65,198,775
	新 竹 縣 尖 石 鄉	0	0	0		7,100	2,436	17,296,609	



德基水庫集水區	臺中市和平區	199,398	3,961	789,909,101	789,909,101	1,374	2,760	3,792,490	3,792,490
曾文水庫集水區	嘉義縣阿里山鄉	84,700	2,378	201,428,533	211,653,913	8,572	2,526	21,651,492	21,961,642
	嘉義縣大埔鄉	4,180	2,446	10,225,380		263	1,179	310,150	

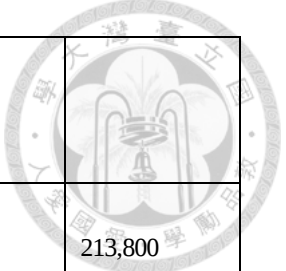
註：交通部觀光局旅宿網，2020。

表 36 則列出三個河川上游集水區在 2020 年的旅館與民宿之餐飲收入，此為集水區觀光旅遊服務價值中的另一個項目。



表 36. 集水區旅館與民宿餐飲收入

		2020 年 旅館住 宿人數	2020 年旅館 餐飲收入 (NT\$)	2020 年集水 區旅館餐飲 收入(NT\$)	2020 年民 宿住 宿人 數	2020 年民 宿餐飲收入 (NT\$)	2020 年集水 區民宿餐飲 收入(NT\$)
石門水庫 集水區	桃園 市 復興 區	4,182	0	0	43,805	6,364,195	10,124,523
	新竹 縣 尖 石 鄉	0	0		15,377	3,760,328	
德基水庫 集水區	臺 中 市 和	554,519	453,894,726	453,894,726	3,401	376,000	376,000



	平 區						
曾文水庫 集水區	嘉 義 縣 阿 里 山 鄉	218,596	417,300	4,407,212	21,369	213,800	213,800
	嘉 義 縣 大 埔 鄉	10,931	3,989,912		419	0	

註：交通部觀光局旅宿網，2020。

將集水區在 2020 年的旅館與民宿之客房收入與集水區在 2020 年的旅館與民
宿之餐飲收入加總，即可得到集水區在 2020 年的觀光旅遊價值。



表 37. 集水區觀光旅遊服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
2020 年集水區觀光旅遊 價值	NT\$78,694,598	NT\$1,247,972,317	NT\$238,236,567

註：本文市場價格法之估算。

由表 37 可知河川上游集水區的觀光旅遊服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$1,247,972,317、曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$238,236,567 以及大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$78,694,598。其中大甲溪上游德基水庫集水區的觀光旅遊服務價值大幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區與大漢溪上游石門水庫集水區的觀光旅遊服務價值，而曾文溪上游曾文水庫集水區的觀光旅遊服務價值也大幅度地超過大漢溪上游石門水庫集水區的觀光旅遊服務價值。

4.3.9 療育休閒服務價值估算

本小節估算屬於文化服務的療育休閒服務價值，我們以集水區中國家森林遊樂區的門票收入以及國家森林遊樂區的停車費收入來估算集水區的療育休閒服務價值，因此也是以市場價格法來估算療育休閒服務價值。資料來源為交通部觀光局旅宿網，表 38 列出三個河川上游集水區裡的國家森林遊樂區在 2020 年的門票收入與停車費收入。

表 38. 國家森林遊樂區門票收入與停車費收入



	石門水庫集水區	德基水庫集水區		曾文水庫集水區
	東眼山國家森林 遊樂區	大雪山國家森 林遊樂區	八仙山國家森 林遊樂區	阿里山國家森林 遊樂區
行政轄區	桃園市復興區	臺中市和平區	臺中市和平區	嘉義縣阿里山鄉
林務管轄	新竹林區管理處	東勢林區管理 處	東勢林區管理 處	嘉義林區管理處
2020 年國家森林 遊樂區入區人數	303,102	267,370	198,294	996,924
2020 年國家森林 遊樂區門票收入	NT\$10,936,226	NT\$12,739,379	NT\$6,705,567	NT\$67,020,564
2020 年集水區國 家森林遊樂區門 票收入	NT\$10,936,226	NT\$19,444,946		NT\$67,020,564
2020 年國家森林 遊樂區入區車輛 數	64,485	73,331	38,495	52,708
2020 年國家森林 遊樂區停車費收 入	NT\$5,801,277	NT\$6,708,258	NT\$3,538,018	NT\$4,696,515



2020 年集水區國家森林遊樂區停車費收入	NT\$5,801,277	NT\$10,246,276	NT\$4,696,515
-----------------------	---------------	----------------	---------------

註：交通部觀光局旅宿網，2020。

將集水區裡的國家森林遊樂區在 2020 年的門票收入與停車費收入加總之後，即可得到集水區 2020 年的療育休閒服務價值。

表 39. 集水區療育休閒服務價值

	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
2020 年集水區療育休閒價值	NT\$16,737,503	NT\$29,691,222	NT\$71,717,079

註：本文市場價格法之估算。

由表 39 可知河川上游集水區的療育休閒服務價值由高到低的排序，依次為：曾文溪上游曾文水庫集水區的 NT\$71,717,079、大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$29,691,222 以及大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$16,737,503。其中曾文溪上游曾文水庫集水區的療育休閒服務價值超過大甲溪上游德基水庫集水區與大漢溪上游石門水庫集水區的療育休閒服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的療育休閒服務價值則超過大漢溪上游石門水庫集水區的療育休閒服務價值。

4.4 綜合生態系服務價值的加權估算

最後本節使用第三節所估算的三個河川上游集水區在 2020 年的九種生態系服務價值，來計算各條河川上游集水區在 2020 年的綜合生態系服務價值。在計算某

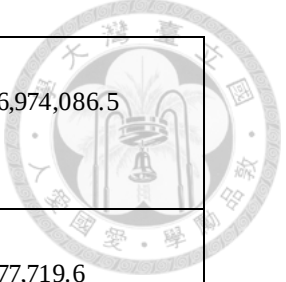
個河川上游集水區的綜合生態系服務價值時，需要將該條河川上游集水區的九種生態系服務價值，依據各種生態系服務的相對重要性進行加權平均。本文以行政院農業委員會於 2020 年對民眾的生態系服務重要性偏好之調查為依據，來將這九種生態系服務價值進行加權平均，以評估三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值。農委會對台灣民眾的生態系服務重要性偏好之調查，雖然是對受訪者進行問卷調查，但受訪者未必集中居住在本文所討論的三個河川上游集水區內，因此調查結果應僅反映 2020 年時，台灣社會大眾一般的社會氛圍與觀感。

行政院農業委員會在 2020 年的調查中，針對各種生態系服務的偏好列出了 1~5 的評分等級，愈高的分數代表愈高的偏好，行政院農委會將所有被調查民眾對某項生態系服務的偏好分數加總平均，即代表台灣民眾對此項生態系服務的偏好，也就是此項生態系服務的重要性。我們將行政院農委會對本文這九種生態系服務所調查統計的偏好分數，按照偏好分數的高低，以排序的方法，給予本文這九種生態系服務相應的序數。最後再將本文這九種生態系服務的序數轉換成這九種生態系服務所對應的權數，詳細具體的生態系服務之權數計算可參見附錄三。

表 40 彙整本章第三節所估算三個河川上游集水區的九項生態系服務價值，並列出依據台灣民眾生態系服務偏好調查所轉換的這九項生態系服務之相對應權數。

表 40. 集水區綜合生態系服務價值

	生態系服務價 值的權數	大漢溪(石門水 庫)	大甲溪(德基水 庫)	曾文溪(曾文水庫)
土石流防治 服務價值	W1=0.179	172,992,284.8	92,471,354.3	86,745,315.5



防洪服務價值	W2=0.179	6,092,381,307.4	425,887,025.1	1,046,974,086.5
氣候調節服務價值	W3=0.154	417,658,338.0	159,010,434.0	63,077,719.6
水源涵養量服務價值	W4=0.128	148,597,394.7	63,301,502.5	38,960,244.0
生物棲息地服務價值	W5=0.103	1,738,722.8	507,379.0	349,587.8
土壤可支持作物生長服務價值	W6=0.103	469,253.7	5,339,772.8	1,540,034.1
療育休閒服務價值	W7=0.077	1,067,852.7	1,894,300.0	4,575,549.6
觀光旅遊服務價值	W8=0.051	3,344,520.4	53,038,823.5	10,125,054.1
農林產品供給服務價值	W9=0.026	46,062,614.4	904,643,429.5	79,638,662.3
生態系統服務加權價值		1,206,519,568	152,350,176	220,770,584

註：本文集水區綜合生態系統服務價值之估算。

由表 40 可知河川上游集水區的綜合生態系服務價值由高到低的排序，依次為：
大漢溪上游石門水庫集水區的 NT\$1,206,519,568、曾文溪上游曾文水庫集水區的

NT\$220,770,584 以及大甲溪上游德基水庫集水區的 NT\$152,350,176。其中大漢溪上游石門水庫集水區的綜合生態系服務價值大幅度地超過大甲溪上游德基水庫集水區與曾文溪上游曾文水庫集水區的綜合生態系服務價值，而大甲溪上游德基水庫集水區的綜合生態系服務價值則小幅度地超過曾文溪上游曾文水庫集水區的綜合生態系服務價值。

第五章 政策分析與建議



5.1 數據分析結果之探討

依據第四章數據分析的結果，本文首先檢視第四章中每個河川上游集水區的各项生態系服務佔該河川上游集水區提供的所有生態系服務價值的百分比，來觀察每個河川上游集水區所能提供較重要且價值較高的生態系服務。

本文討論的大漢溪上游集水區所提供之九項生態系服務，價值最高的前三項依序為：大漢溪上游集水區的防洪服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 88.5%，大漢溪上游集水區的氣候調節服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 6.9%，大漢溪上游集水區的土石流防治服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 2.5%。而大甲溪上游集水區所提供之九項生態系服務，價值最高的前三項依序為：大甲溪上游集水區的農林產品供給服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 53.0%，大甲溪上游集水區的防洪服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 25.0%，大甲溪上游集水區的氣候調節服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 9.3%。至於曾文溪上游集水區所提供之九項生態系服務，價值最高的前三項依序為：曾文溪上游集水區的防洪服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 78.6%，曾文溪上游集水區的農林產品供給服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 6.5%，曾文溪上游集水區的氣候調節服務價值佔該集水區提供的所有生態系服務價值的 6.0%。

若針對各項生態系服務來比較三個河川上游集水區所提供的價值多寡，則水源涵養量供給服務、生物棲息地服務、防洪服務、土石流防治服務與氣候調節服務這幾項生態系統服務價值以大漢溪上游集水區所提供的價值較高，而農林產品供給服務、土壤可支持作物生長服務與觀光旅遊服務是以大甲溪上游集水區所提供的價值較高，至於療育休閒服務則是以曾文溪上游集水區所提供的價值較高。

按照第四章第四節的表 40 中有關綜合生態系服務價值之計算，台灣民眾對調節服務中的防洪服務與土石流防治服務有最高的偏好，因此在將本文的九種生態系服務價值加權平均來計算綜合生態系服務價值時，防洪服務價值與土石流防治服務價值有最大的權數。綜合生態系服務價值的計算中，具有次大的權數則為調節服務中的氣候調節服務價值。接下來次於氣候調節服務價值的權數為供給服務中的水源涵養量供給服務價值之權數，但是供給服務中的農林產品供給服務價值的權數卻是本文九種生態系服務價值裡權數最小的。而緊接次於水源涵養量供給服務價值權數的生態系服務價值權數，則為支持服務中的土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值的權數。再次於支持服務的權數則是文化服務中的療育休閒服務價值權數，文化服務中的觀光旅遊服務價值權數則小於療育休閒服務價值權數。而最後供給服務中的農林產品供給服務價值的權數則更小於文化服務中的觀光旅遊服務價值權數，農林產品供給服務價值權數為本文九種生態系服務價值裡權數最小的。圖 2 為在綜合生態系服務價值的計算裡，各項生態系服務價值的權數。

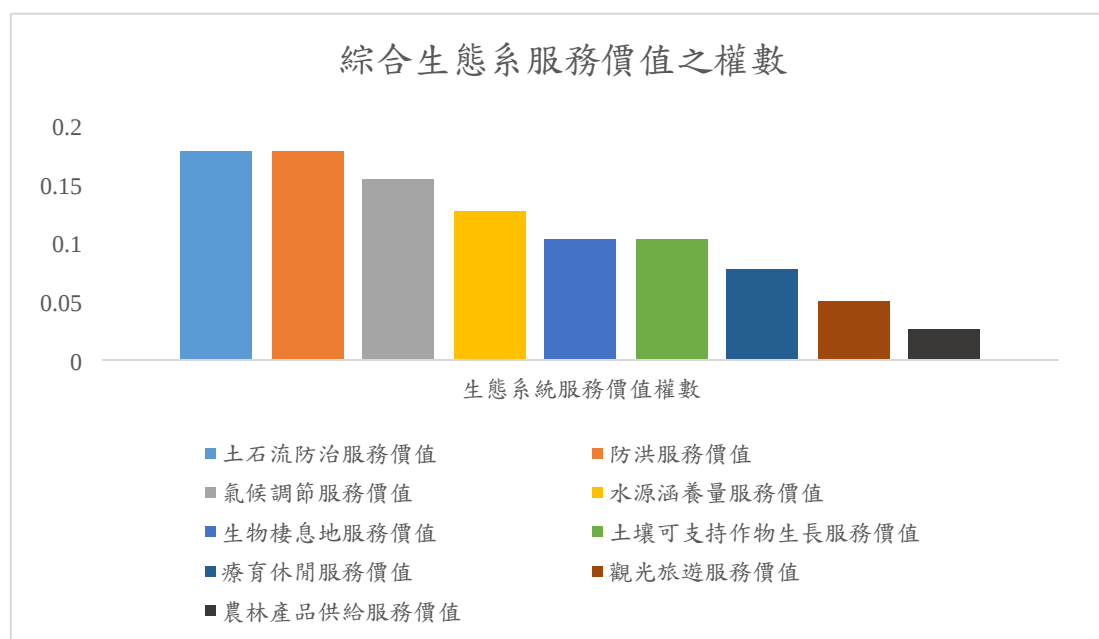


圖 2. 綜合生態系服務價值權數

註：由表 2 數據。

由第四章第四節的表 40，我們可以發現大漢溪上游集水區的綜合生態系服務價值明顯的大幅超過曾文溪上游集水區與大甲溪上游集水區的綜合生態系服務價值，其主要原因為，大漢溪上游集水區明顯的有相對較高的防洪服務價值與土石流防治服務價值，而防洪服務價值與土石流防治服務價值的權數則是綜合生態系服務價值裡權數最大的。至於權數次於防洪服務價值與土石流防治服務價值的氣候調節服務價值，以及權數更其次的水源涵養量供給服務價值，也皆是以大漢溪上游集水區有相對較高的價值。圖 3 至圖 6 分別為各河川上游集水區在供給服務、支持服務、調節服務與文化服務的價值。

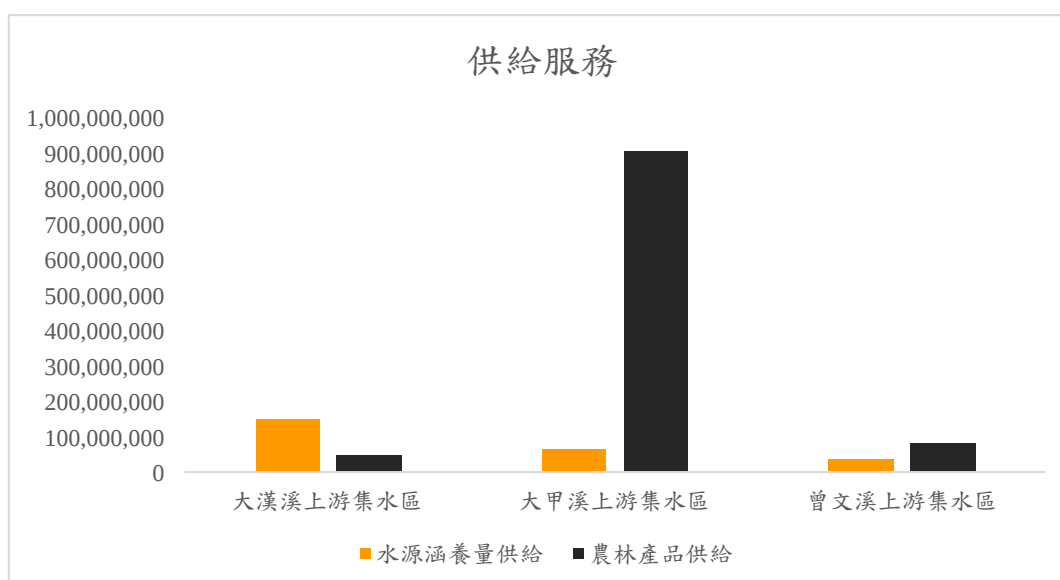


圖 3. 集水區供給服務價值

註:由表 7 與表 11 數據。

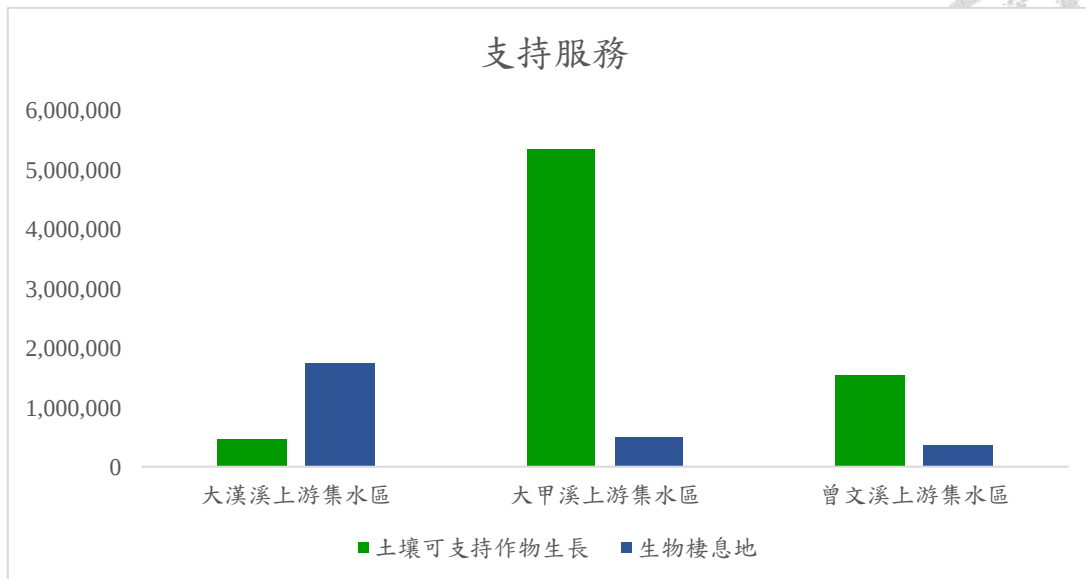


圖 4. 集水區支持服務價值

註：由表 20 與表 23 數據。

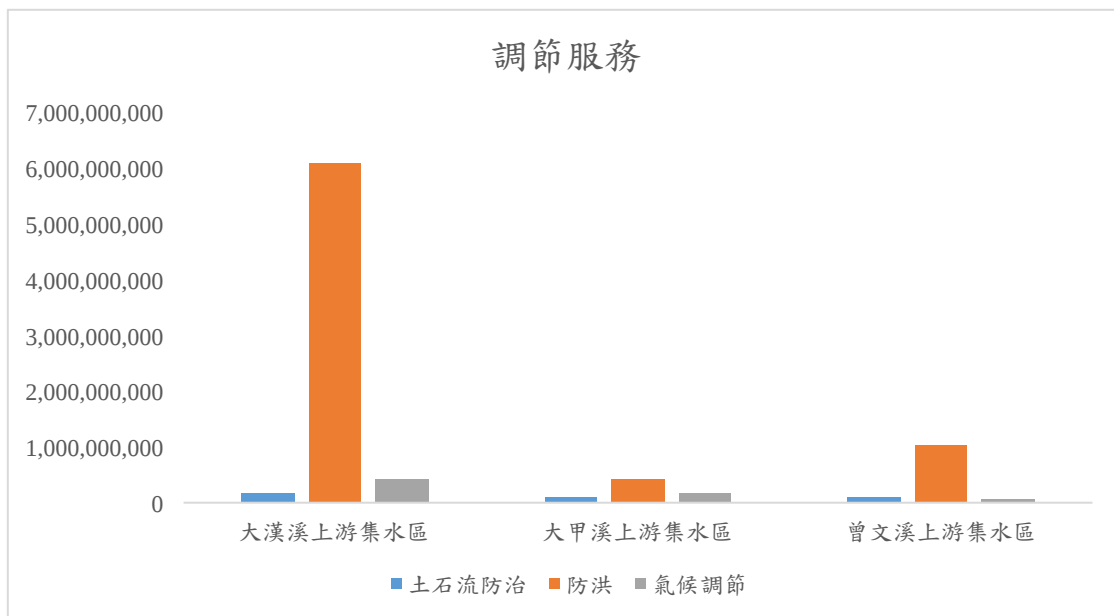


圖 5. 集水區調節服務價值

註：由表 29、表 32 與表 34 數據。

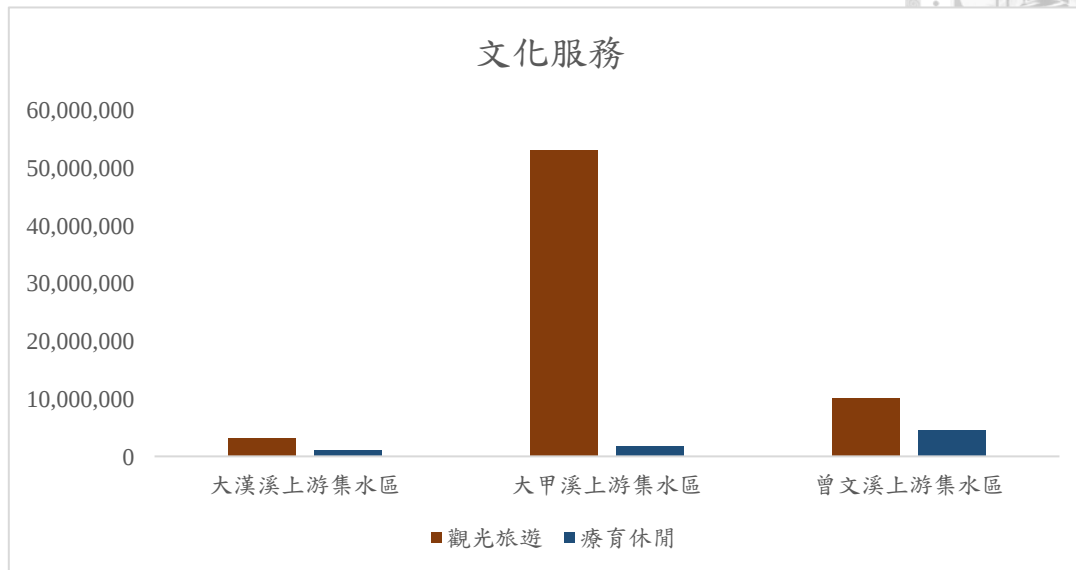


圖 6. 集水區文化服務價值

註：由表 37 與表 39 數據。

5.2 個別集水區政策分析與建議

首先就台灣北部大漢溪上游集水區來做討論，由第四章數據分析的結果可知，大漢溪上游集水區在與農業開發利用有關的生態系服務，如土壤可支持作物生長服務價值與農林產品供給服務價值皆較低。在與生態環境維護有關的生態系服務，如防洪服務價值、土石流防治服務價值、氣候調節服務價值、水源涵養量供給服務價值與生物棲息地服務價值則皆較高。這應該與台灣區域經濟發展的狀況有關，大漢溪是台灣北部最重要的河川，而台灣北部地區則是台灣最主要的經濟運轉地區，也是台灣人口最稠密的地區。因此大漢溪上游集水區農業開發利用的功能受到抑制，反而是生態環境維護方面的功能被刻意強調，譬如大漢溪上游集水區較高的防洪服務價值與土石流防治服務價值，對保障北部地區的經濟運作就有非常大的幫助，而大漢溪上游集水區相對較高的氣候調節服務價值、水源涵養量供給服務價值與生物棲息地服務價值則對維護北部地區的居住生活品質有甚佳的裨益。



台灣中南部地區的整體經濟發展與人口稠密程度不如台灣北部地區，因此中南部河川上游集水區有關農業開發利用的生態系服務較不受到抑制，台灣中部的大甲溪上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值與農林產品供給服務價值，即明顯的大幅超越台灣北部大漢溪上游集水區，台灣南部的曾文溪上游集水區則因為高山地形的影響，其農業開發利用的生態系服務雖然不如台灣中部的大甲溪上游集水區，但也仍然超過台灣北部大漢溪上游集水區。而台灣中南部河川上游集水區的生態環境維護方面的功能，也並未如台灣北部河川上游集水區一樣，被過度的強調。因此台灣中部大甲溪上游集水區與台灣南部曾文溪上游集水區的防洪服務價值、土石流防治服務價值、氣候調節服務價值、水源涵養量供給服務價值與生物棲息地服務價值皆明顯的小於台灣北部大漢溪上游集水區。

而在文化服務方面，不論是觀光旅遊服務價值或是療育休閒服務價值，台灣北部大漢溪上游集水區皆小於台灣中部大甲溪上游集水區與台灣南部曾文溪上游集水區。這應與集水區的旅遊休閒產業之發展可能對生態環境產生衝擊有關，由於台灣北部地區經濟較發達，人口也較稠密，所以北部河川上游集水區較不傾向推動可能造成生態環境影響的集水區旅遊休閒產業。

接著就台灣中部大甲溪上游集水區來做討論，由第四章數據分析的結果可知，大甲溪上游集水區在與農業開發利用有關的生態系服務，如農林產品供給服務價值與土壤可支持作物生長服務價值皆較高，另外在與旅遊休閒產業有關的觀光旅遊服務價值也是較高的，但是與生態環境維護有關的防洪服務價值則較低。這顯然是因為台灣中部地區的整體經濟發展與人口稠密程度不如台灣北部地區，因此中部河川上游集水區有關農業開發利用的生態系服務不容易受到抑制，中部的大甲溪上游集水區的農林產品供給服務價值與土壤可支持作物生長服務價值即明顯的較高。同樣的由於中部地區的整體經濟發展與人口稠密程度不如北部地區，所以中部地區對生態環境維護的迫切性也因此不如北部地區，這也使得中部的大甲溪上



游集水區對於可能造成生態環境影響的旅遊休閒產業較不會抑止，因此大甲溪上游集水區較能推動發展與旅遊休閒產業有關的觀光旅遊，這讓大甲溪上游集水區能有較高的觀光旅遊服務價值。

最後就台灣南部曾文溪上游集水區來做討論，由第四章數據分析的結果可知，曾文溪上游集水區在與生態環境維護有關的生態系服務，如水源涵養量供給服務價值、生物棲息地服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值皆較低，而在與旅遊休閒產業有關的療育休閒服務價值則較高。台灣南部地區的整體經濟發展與人口稠密程度不如台灣北部地區，因此南部河川上游集水區在生態環境維護方面的功能，並未如北部河川上游集水區一樣，被過度的重視強調。這導致了曾文溪上游集水區在與生態環境維護有關的生態系服務，如水源涵養量供給服務價值、生物棲息地服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值會比較低。而同樣南部的曾文溪上游集水區對於可能造成生態環境影響的旅遊休閒產業較不會抑止，因此曾文溪上游集水區較能推動發展與旅遊休閒產業有關的療育休閒服務，這使得曾文溪上游集水區能有較高的療育休閒服務價值。

因此就調節服務而言，大漢溪上游集水區表現最佳，大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區則需要加強。以生態系統一體性之濟弱扶傾原則，政府應當優先發展大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區的「防洪」與「水土保持」之相關生態工程。

而就供給服務與支持服務來說，若一地的農業行為愈高，則對生物棲息地愈會造成犧牲；然而，根據行政院農委會林務局的「國人對各生態系服務之重要性認知」，國人普遍贊同「對生物棲息地的保育應優先於農業生產」，故在糧食無虞的情況下，政府應優先保護生物棲息地。

至於從文化服務來看，大漢溪上游集水區的表現最差，政府應可在台灣北部地區發展低環境衝擊之生態教育旅遊。



5.3 整體政策分析與建議

本文以由台灣民眾生態系服務偏好所得到的各項生態系服務權數來進行三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值之估算，台灣北部大漢溪上游集水區的綜合生態系服務價值明顯大幅超越台灣中部大甲溪上游集水區與台灣南部曾文溪上游集水區。根據本章前一節的分析可以知道，在台灣民眾偏好程度較高的調節服務上，台灣北部大漢溪上游集水區提供較高的生態系服務價值，因此才使得北部大漢溪上游集水區的綜合生態系服務價值大幅超越中南部河川上游集水區。這樣一方面會造成區域經濟發展不平衡的情形更加嚴重，另一方面也會造成整體生態系服務所提供的價值呈現低落的情況。

合理的解決方法之一為，政府相關生態環境保護的經費不應該依據行政區劃來做分配，而應該依據河川上游集水區的實際範圍來進行分配。理由主要是因為，河川上游集水區多數會跨越不同的縣市，所以如果政府的生態環境保護經費係依據行政區域來做分配，會使得這些生態環境保護資金無法充分有效率的運用，因而各縣市成立「政府生態環境保護經費的協作平台」，相關縣市統一協調運用生態環境保護資金，就可以打破現有行政區劃的窠臼與藩籬，而能針對實際的河川上游集水區來進行有效的生態環境管理與保護。因此 Jaspers (2003)與 Meijerink and Wiering (2009)也都已經討論到集水區的管理權限應從行政區轉移到整個集水區實際的範圍，這是未來各國河川流域管理整合的趨勢。

表 41 至表 43 分別列出大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區的主要權責管理單位，以及這些權責單位對集水區所做的相關之管理與改善措施。表 41 中大漢溪上游石門水庫集水區的主要管理單位為經濟部水利署北區水資源局，其他的會同管理單位分別為農委會水土保持局、農委會林務局、桃園市政府與新竹縣政府。



表 41. 大漢溪上游石門水庫集水區權責單位與功能

大漢溪上游石門水庫集水區權責單位	相關改善功能
經濟部水利署北區水資源局	興建防淤隧道工程
農委會水土保持局	實施生態保育工程
農委會林務局	林班地土砂災害防治
桃園市政府	改善偏鄉地區水環境 促進觀光旅遊
新竹縣政府	強化河川、山坡地及森林環境管理

註：水庫集水區治理權責分工暨有關事項處理原則，2007。

表 42 中大甲溪上游德基水庫集水區的主要管理單位為台灣電力股份有限公司，其他的會同管理單位分別為農委會水土保持局、農委會林務局與、台中市政府。

表 42. 大甲溪上游德基水庫集水區權責單位與功能

大甲溪上游德基水庫集水區權責單位	相關改善功能
台灣電力股份有限公司	進行水力發電營運
農委會水土保持局	促進山坡地治理
農委會林務局	推動造林
台中市政府	協調水資源管理

註：經濟部德基水庫集水區管理委員會設置要點，2001。

表 43 中曾文溪上游石門水庫集水區的主要管理單位為經濟部水利署南區水資源局，其他的會同管理單位分別為農委會水土保持局、農委會林務局與嘉義縣政府。



表 43. 曾文溪上游曾文水庫集水區權責單位與功能

曾文溪上游曾文水庫集水區權責單位	相關改善功能
經濟部水利署南區水資源局	興建防淤隧道工程 實施放水渠道及擴大抽泥工程
農委會水土保持局	促進山坡地土石災害防治
農委會林務局	強化林班地治理
嘉義縣政府	推動地區開發

註：水庫集水區治理權責分工暨有關事項處理原則，2007。

目前全台灣僅有德基水庫集水區設置有集水區管理委員會，來整合德基水庫集水區所有相關的權責單位，對德基水庫集水區進行規劃管理。而石門水庫集水區、曾文水庫集水區以及台灣其他水庫集水區皆尚未設置經過整合的集水區管理委員會。鑒於國際上已經逐漸開展，對河川流域上游集水區的相關權責單位進行整合，以促進集水區的管理績效，並提升河川流域上游集水區的生態系服務價值。所以政府未來加速推動，台灣河川流域上游集水區之集水區管理委員會的設置。

另一個合理的解決方法為，政府應該在制定總體經濟發展目標時，應該將生態系服務價值納入總體經濟的 GNP 之衡量中。如同 Costanza et al. (1997) 所討論的，過去衡量經濟價值主要是以經濟活動所創造的商品與勞務之市場價值來衡量，這樣的衡量方式往往忽略了生態系與自然資源帶給人類的潛在福祉。Costanza et al. (1997) 認為一方面可以在傳統的 GNP 衡量裡，加入這些生態系服務價值，以便使



GNP 的衡量能更完善，另一方面政府在進行自然環境的開發計畫上，也可以納入這些生態系服務價值的評估做為考量開發計畫可行性的重要環節。Jaspers (2003)也提到河川流域生態系服務價值的提升，可以使國家獲得更多的利益，而且開發中國家因為河川流域生態系服務價值提升所獲得的利益，會高於已開發國家所獲得的利益。因此政府若是將河川上游集水區的生態系服務價值納入整體經濟總量的衡量之中，自然不會因為中南部的經濟發展與人口稠密程度不如北部地區，而忽略中南部河川上游集水區與生態環境維護有關的生態系服務，如防洪服務價值、土石流防治服務價值、氣候調節服務價值、水源涵養量供給服務價值與生物棲息地服務價值，因為這樣做會造成中南部河川上游集水區生態系服務價值的低落，進一步損及包括了生態系服務價值的整體經濟總量水準。

台灣政府目前所編製的綠色國民所得帳(GEP)已經初步朝這個方向邁出了步伐，行政院主計處從 2000 年開始，依循聯合國環境與經濟帳系統(SEEA)的規範，編製台灣的綠色國民所得帳。綠色國民所得帳也稱為環境與經濟帳，主要是紀錄經濟活動與環境之間的關係，提供環境資源變化的訊息，以反映經濟發展對各類環境與自然資源的利用情況與衝擊程度。台灣的綠色國民所得帳以「環境汙染」、「自然資源」與「環境活動」的相關帳表為主軸，其中「環境汙染」的帳表主要為空氣、水與固體廢棄物的實物流量帳、排放帳、品質帳以及質損帳，「自然資源」的帳表則主要為礦產、土石、水資源與森林資源的實物流量帳、實物資產帳以及折耗帳，而「環境活動」的帳表則為環境保護支出以及與環境有關的稅收、規費和租金等對政府之環境支付。

而綠色 GNP 則是將 GNP 扣除掉當年度的環境品質質損值與自然資源折耗值這二項負面數值後所得到的，所以綠色 GNP 只是 GNP 的某一個百分比部分。台灣 2020 年的 GNP 為新台幣 20 兆 4865 億 8 千 6 百萬元，而依據綠色國民所得帳，

台灣 2020 年的環境品質質損值為新台幣 415 億元，自然資源折耗值則為新台幣 147 億元，因此台灣 2020 年的綠色 GNP 為新台幣 20 兆 4303 億 8 千 6 百萬元。

若不考慮集水區中各項生態系服務價值的相對權重，而將集水區中各項生態系服務價值直接加總，則大漢溪上游石門水庫集水區的各项生態系服務價值之總和為新台幣 68 億 8431 萬 2289.05 元，大甲溪上游德基水庫集水區的各项生態系服務價值之總和為新台幣 17 億 609 萬 4020.51 元，大甲溪上游德基水庫集水區的各项生態系服務價值之總和為新台幣 13 億 3198 萬 6253.54 元。若將上述三個河川上游集水區各項生態系服務價值之總和，當作綠色 GNP 的正面數值，納入綠色 GNP 的計算中，則加上三個河川上游集水區各項生態系服務價值總和之後，台灣 2020 年的綠色 GNP 為新台幣 20 兆 4403 億 839 萬 2563 元。雖然本文的三個河川上游集水區為台灣北部、中部與南部較具代表性的集水區，但台灣還有其他的河川上游集水區，應可以將其餘河川上游集水區各項生態系服務價值總和也作為生態系服務所提供的正面價值，一併加入台灣的綠色 GNP 之估算中。

最後在生態環境政策的建議上，短程建議以「濟弱扶傾」以及「生態系統一體性」為核心宗旨，並以數據分析的結果為基礎，估算出個別集水區生態系服務價值在全國集水區生態系服務總價值所佔的比率。具體做法為綜合核心宗旨與量化基礎，將有限預算資源先以「雨露均霑」的方式，依據個別集水區生態系服務價值的占比，先滿足各河川上游集水區的基本需求之後，再進一步挹注生態系服務價值較薄弱之河川上游集水區。

長程願景則以「循環的概念」以及「競爭與交流」作為核心宗旨，前瞻的具體作法為淡化既有縣市劃分，以主要河川集水區作為劃區依據(即環境優位性)，將臺灣島劃成數個大生態區。各大生態區設置河川流域管理部門，由中央政府以生態系服務為標準來設立績效評比，促進各個流域管理一體化。而各大生態區之間在河川

流域管理上也可相互切磋學習，中央政府也可根據各大生態區之間，在生態環境維護與管理上的績效來予以獎勵。



由於整體國土之區域重劃在實務操作上的門檻重重，除非出現十分強勢的政權，否則很可能雷聲大而雨點小。折衷方案應為，以長程願景中所提出之新的大生態區作為依據，成立主要河川流域管理的協作平臺，其下再納入該河川上游集水區所位處的相關各縣市，來進行統一協調運作，這樣的做法也將成為未來長程願景的引路方案。

第六章 結論



6.1 研究結果綜論

本文首先對台灣北部大漢溪、中部大甲溪與南部曾文溪三個河川上游集水區的土壤水源涵養量進行衡量估算，並對三個河川上游集水區的供給服務、調節服務、支持服務與文化服務等四個生態系服務面向的九項生態系服務價值進行評估，包括了供給服務的水源涵養量服務價值與農林產品供給服務價值，支持服務的土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值，調節服務的防洪服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值，以及文化服務的觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值。

另外再以台灣民眾的生態系服務偏好為基礎，對上述各項生態系服務價值進行加權平均，計算三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值。最後則依據三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值，來對河川上游集水區的生態環境管理政策進行分析與建議。

本文首先使用 2020 年台灣的降雨量、河川逕流量與蒸發散量等水文資料，藉由水文平衡收支法與徐昇多邊形法等水文學模型，來估計三個河川上游集水區的土壤水源涵養量。集水區的許多生態系服務可歸因於集水區土壤的水源涵養量，因此本文要先以水文學模型來估算集水區的土壤水源涵養量。使用徐昇多邊形法以集水區中的若干個氣象觀測站所轄區域佔集水區的百分比為權數，對這些氣象觀測站的降雨量進行加權平均，來計算三個河川上游集水區在 2020 年的年均降雨量。本文以河川逕流量與蒸發散量的資料，使用水文平衡收支法的模型，扣除集水區年均降雨量裡無法被土壤保存的部分，來估計三個河川上游集水區的土壤水源涵養量。



2020 年河川上游集水區的土壤水源涵養量由多到少的排序，依次為：大漢溪上游集水區、曾文溪上游集水區與大甲溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的土壤水源涵養量大幅度地超過曾文溪上游集水區與大甲溪上游集水區的土壤水源涵養量。而曾文溪上游集水區的土壤水源涵養量則較小幅度地超過大甲溪上游集水區的土壤水源涵養量。

本文接著對 2020 年三個河川上游集水區的供給服務、調節服務、支持服務與文化服務的九項生態系服務價值進行評價。就估算河川上游集水區與供給服務有關的生態系服務價值來說，在估算水源涵養量服務價值上，本文以三個河川上游集水區水庫的資料，包括石門水庫、德基水庫與曾文水庫的水文資料。本文使用重置成本法以集水區水庫重新建造的成本與水庫的維護費用，來估算三個河川上游集水區的水源涵養量服務價值。河川上游集水區的水源涵養量服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的水源涵養量服務價值大幅度地超過大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區的水源涵養量服務價值，而大甲溪上游集水區的水源涵養量服務價值則較小幅度地超過曾文溪上游集水區的水源涵養量服務價值。

在估算農林產品供給服務價值上，由於農林產品有完整的交易市場，因此本文以包括集水區農地面積與林地面積、農地產量與林地產量以及農林產品價格等資料，使用市場價格法以集水區農林產量的市場價值，來估算三個河川上游集水區的農林產品供給服務。河川上游集水區的水源涵養量服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游集水區、曾文溪上游集水區以及大漢溪上游集水區。其中大甲溪上游集水區的農林產品供給服務價值大幅度地超過曾文溪上游集水區與大漢溪上游集水區的農林產品供給服務價值，而曾文溪上游集水區的農林產品供給服務價值則小幅度地超過大漢溪上游集水區的農林產品供給服務價值。



而在估算與支持服務有關的生態系服務價值上，估算土壤可支持作物生長服務價值，本文以農作與果樹面積、農作與果樹生長所需氮肥量、磷肥量與鉀肥量、肥料的氮磷鉀含量以及肥料價格等資料，使用代理市場法將肥料作為集水區土壤養分的代理品，來估算河川上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值。河川上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游集水區、曾文溪上游集水區以及大漢溪上游集水區。其中大甲溪上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值大幅度地超過曾文溪上游集水區與大漢溪上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值，而曾文溪上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值則超過大漢溪上游集水區的土壤可支持作物生長服務價值。

在估算生物棲息地服務價值上，本文以包括集水區水生與濱水動物數量、集水區濱水植物數量、台灣野生動物保育費用與一般濱水植物栽種費用等資料，使用代理市場法，利用台灣野生動物的保育費用與一般濱水植物的栽種費用來估算河川上游集水區的生物棲息地服務價值。河川上游集水區的生物棲息地服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的生物棲息地服務價值大幅度地超過大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區的生物棲息地服務價值，而大甲溪上游集水區的生物棲息地服務價值則小幅度地超過曾文溪上游集水區的生物棲息地服務價值。

接著討論估算與調節服務有關的生態系服務價值，在估算防洪服務價值上，本文以包括水庫防淤隧道工程經費、水庫清淤費用、水庫洩洪量以及水費費率等資料，使用重置成本法以集水區水庫防洪工程的成本與費用，來估算河川上游集水區的防洪服務價值。河川上游集水區的防洪服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的防洪服務價值大幅度地超過曾文溪上游集水區與大甲溪上游集水區的防洪服務價值。



值，而大甲溪上游集水區的防洪服務價值則超過曾文溪上游集水區的防洪服務價值。

在估算土石流防治服務價值上，本文以包括了水庫集水區土石流防災整體治理工程成本與土石流防災業務人事費用等資料，使用重置成本法以集水區水庫的土石流防治工程的成本與費用，來估算河川上游集水區的土石流防治服務價值。河川上游集水區的土石流防治服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的土石流防治服務價值大幅度地超過大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區的土石流防治服務價值，而大甲溪上游集水區的土石流防治服務價值則小幅度地超過曾文溪上游集水區的土石流防治服務價值。

至於在估算氣候調節服務價值上，由於河川上游集水區的氣候調節功能主要是肇因於集水區的林地，本文以集水區林地造林成本與集水區林地管理業務費用資料，使用重置成本法以集水區林地的造林成本來估算河川上游集水區的氣候調節服務價值。河川上游集水區的氣候調節服務價值由高到低的排序，依次為：大漢溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及曾文溪上游集水區。其中大漢溪上游集水區的氣候調節服務價值超過大甲溪上游集水區與曾文溪上游集水區的氣候調節服務價值，而大甲溪上游集水區的氣候調節服務價值則小幅度地超過曾文溪上游集水區的氣候調節服務價值。

最後討論估算與文化服務有關的生態系統服務價值，本文所使用的資料。在估算觀光旅遊服務價值上，本文以包括集水區旅館與民宿的客房住用數、集水區旅館與民宿的客房房價以及集水區旅館與民宿的餐飲收入等資料，使用市場價格法以集水區旅館與民宿的客房收入以及餐飲收入，來估算河川上游集水區的觀光旅遊服務價值。河川上游集水區的觀光旅遊服務價值由高到低的排序，依次為：大甲溪上游集水區、曾文溪上游集水區以及大漢溪上游集水區。其中大甲溪上游集水區的

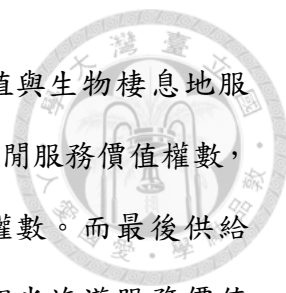


觀光旅遊服務價值大幅度地超過曾文溪上游集水區與大漢溪上游集水區的觀光旅遊服務價值，而曾文溪上游集水區的觀光旅遊服務價值也大幅度地超過大漢溪上游集水區的觀光旅遊服務價值。

在估算療育休閒服務價值上，本文使用的資料，則包括國家森林遊樂區入區人數、國家森林遊樂區門票收入、國家森林遊樂區入區車輛數以及國家森林遊樂區停車費收入等資料，使用市場價格法以位於集水區裡的國家森林遊樂區之門票收入與停車費收入，來估算河川上游集水區的療育休閒服務價值。河川上游集水區的療育休閒服務價值由高到低的排序，依次為：曾文溪上游集水區、大甲溪上游集水區以及大漢溪上游集水區。其中曾文溪上游集水區的療育休閒服務價值超過大甲溪上游集水區與大漢溪上游集水區的療育休閒服務價值，而大甲溪上游集水區的療育休閒服務價值則超過大漢溪上游集水區的療育休閒服務價值。

最後在衡量集水區的綜合生態系服務價值時，需要將集水區的上述各個個別生態系服務價值，依照其重要性做進一步的加權平均處理，以計算出集水區的綜合生態系服務價值。本文以 2020 年台灣行政院農業委員會對台灣民眾關於生態系服務偏好的調查資料為依據，將台灣民眾對各個個別生態系服務的偏好分數轉換成各個個別生態系服務價值之權數。

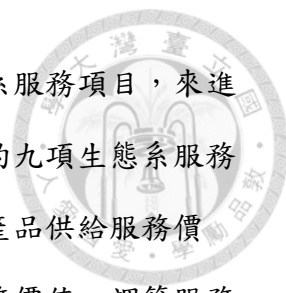
有關在綜合生態系服務價值之計算，台灣民眾對調節服務中的土石流防治服務與防洪服務有最高的偏好，因此在將本文的九種生態系服務價值加權平均來計算綜合生態系服務價值時，防洪服務價值與土石流防治服務價值有最大的權數。綜合生態系服務價值的計算中，具有次大的權數則為調節服務中的氣候調節服務價值。接下來次於氣候調節服務價值的權數為供給服務中的水源涵養量供給服務價值之權數，但是供給服務中的農林產品供給服務價值的權數卻是本文九種生態系統服務價值裡權數最小的。而緊接次於水源涵養量供給服務價值權數的生態系統



服務價值權數，則為支持服務中的土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值的權數。再次於支持服務的權數則是文化服務中的療育休閒服務價值權數，文化服務中的觀光旅遊服務價值權數則小於療育休閒服務價值權數。而最後供給服務中的農林產品供給服務價值的權數則更小於文化服務中的觀光旅遊服務價值權數，農林產品供給服務價值權數為本文九種生態系服務價值裡權數最小的。實際資料的估算顯示，在 2020 年三個河川上游集水區的綜合生態系統服務價值由高至低依序為北部大漢溪上游集水區、南部曾文溪上游集水區以及中部大甲溪上游集水區。而且北部大漢溪上游集水區的綜合生態系統服務價值較明顯的高於南部曾文溪上游集水區與中部大甲溪上游集水區。

在政策分析中，本文進一步討論導致台灣不同地區河川上游集水區綜合生態系服務價值差異的主要原因，並提出合理的環境政策分析與建議，使政府有限的預算資源能達到較佳之經濟效果。根據政府的偏好調查結果顯示，防洪與防治土石流的服務價值最為重要，而依重置成本法所估算的上述兩個服務價值，大漢溪上游集水區明顯大幅高於大甲溪與曾文溪上游集水區。因此為解決區域經濟發展的不平衡與提升整體的生態系服務價值，政策上應提高臺灣中南部河川上游集水區的防洪與防治土石流之服務價值。本文進而提出二項具體的政策建議，其中一項政策建議為，跨越現有的行政區劃，由河川上游集水區所位處的各縣市成立，與政府生態環境保護經費分配利用有關的協作平台，集水區所處的各縣市統一協調運用生態環境保護資金，如此較能針對實際的河川上游集水區來進行有效的生態環境管理與保護。而另一項政策建議則為，政府應將河川上游集水區的生態系服務價值納入整體經濟總量的衡量之中，如此當政府在制定經濟政策時，就可以一方面促進經濟發展，另一方面也不會忽略生態環境的管理與維護。

6.2 未來研究方向



未來研究發展的方向，首先是可以納入更多更完整的生態系服務項目，來進行生態系服務價值的評估。本文針對台灣三個河川上游集水區的九項生態系服務的價值進行評估，包括供給服務的水源涵養量服務價值與農林產品供給服務價值，支持服務的土壤可支持作物生長服務價值與生物棲息地服務價值，調節服務的防洪服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值，以及文化服務的觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值。事實上河川上游集水區還存在許多其他型態的生態系服務，應該將這些其他型態的生態系服務價值也一併納入對台灣河川上游集水區的整體生態系服務價值之評估中。這樣包括更廣泛範圍的生態系服務價值評估之架構，可以更準確衡量台灣河川上游集水區所能提供的整體生態系服務價值。

Costanza et al. (1997) 即針對生態系服務所帶給人類的各個層面的福利，區分了許多不同型態的生態系服務，這其中除了本文目前所分析的這九項生態系服務之外，尚包括其他類型的生態系服務，如：氣體調節、水源調節、侵蝕控制及沉積物保持、土壤形成、廢棄物處理、昆蟲授粉、生物控制以及基因資源等。把上述這些其他不同類型的生態系服務價值，進一步納進台灣河川上游集水區所能提供的生態系服務價值中，將更能勾勒出台灣河川上游集水區整體生態系服務價值的輪廓。

此外本文在分析三個河川上游集水區的綜合生態系服務價值時，以農委會對台灣民眾生態系服務重要性偏好之調查為依據，對集水區的各項生態系服務價值加權加總，來計算集水區的綜合生態系服務價值。由於農委會對台灣民眾生態系服務偏好的調查，應僅反映當時台灣的整體社會氛圍，未必能真實代表集水區內居民的實際感受。因此未來研究上，可以將調查的受訪者盡量集中於所要評估的集水區內之居民，也可以針對更多台灣河川上游集水區的居民進行調查，以獲取更能切實反映河川上游集水區居民對生態系服務價值偏好的權數。



另一個未來的研究方向，是詳細探討河川流域管理政策對河川流域上游集水區的生態系服務價值之影響。不同的河川流域管理政策會造成河川流域水文狀況以及景觀的不同程度與不同型態之改變，進而導致河川流域兩岸或河川流域上游集水區所提供的生態系服務之質與量發生改變。譬如政府水利當局調整對河川流域兩岸砂石開採的限制措施，這顯然會影響整個河川流域或河川流域上游集水區所提供的土石流防治服務價值與防洪服務價值。或者政府在河川流域上游集水區範圍興建道路與公共設施，這雖然可能會提高河川上游集水區的觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值，但卻可能造成河川上游集水區的生物棲息地服務價值的減損。又或者政府林務當局為了促進林木資源的開採利用與提升林木產業的產值，變更河川上游集水區的林地分區，將更多的河川上游集水區林地劃分為林木經營區，這樣做雖然有助於提高河川上游集水區的農林產品供給服務價值，但卻可能損及河川上游集水區的水源涵養量服務價值與氣候調節服務價值。

因此可以針對重要的與河川流域上游集水區相關之政府政策的變動，分別估算政府政策改變的前後年份之河川上游集水區生態系服務價值，透過這樣的比較對照分析，可以檢測政府政策的改變對河川上游集水區生態系統服務價值的影響。這方面的研究可以對政府如何藉由制定與河川流域上游集水區相關的政策，來進一步改善與提升河川流域上游集水區的生態系服務價值，提供相當大的幫助。

最後可以發展的未來研究方向，則是分析河川上游集水區的生態系服務價值與河川流域地區經濟活動之間的交互影響情況。一般來說，若是河川流域地區的經濟活動比較發達，河川上游集水區為了避免損害中下游流域的經濟活動，會較傾向發展與環境生態保護相關的生態系服務，如提高調節服務的防洪服務價值、土石流防治服務價值與氣候調節服務價值，或提高水源涵養量服務價值以及生物棲息地服務價值。並會抑制可能損及環境生態保護的農業與觀光活動，如抑低農

林產品供給服務價值、土壤可支持作物生長服務價值、觀光旅遊服務價值與療育休閒服務價值。但是若是河川流域地區的經濟活動比較不發達，河川上游集水區就較可能提高農業與觀光活動，而較不重視環境生態的保護。



因此要全面掌握河川上游集水區所提供的生態系服務價值之整體輪廓，就必須將未來的研究延伸至釐清河川上游集水區的生態系服務價值與河川流域地區經濟活動之間的交互影響情況。

參考文獻



行政院農業委員會林務局，2020。中華民國 109 年度中央政府總預算案—行政院農業委員會林務局單位預算。

行政院農業委員會農糧署，2005。作物施肥手冊。

高德錚，2015。最早開發的工廠化蔬菜生產技術—動態浮根式水耕法，行政院農業委員會台中區農業改良場遷廠30周年紀念專刊，75-80。

Alamillos, R. R. and de Mariz, F. (2022). How can European regulation on ESG impact business globally? *Journal of Risk and Financial Management*, 15(7), 291, 1-19.

Bark, R. H., Colloff, M. J., MacDonald D. H., Pollino, C. A.,...Crossman, N.D. Integrated valuation of ecosystem services obtained from restoring water to the environment in a major regulated river basin. *Ecosystem Services*, 22, 381-391.

Bhat, A. and Blomquist, W. (2004) Policy, politics, and water management in the Guadalquivir River Basin, Spain. *Water Resources Research*, 40, 1-11.

Boithias, L., Terrado, M., Corominas, L., Ziv, G.,...Acuna, V. (2016). Analysis of the uncertainty in the monetary valuation of ecosystem services-a case study at the river basin scale. *Science and Total Environment*, 543, 683-690.



Borsuk, M. E., Mavrommati, G., Samal, N. R., Zuidema, S.,...Gardner, K. (2019).

Deliberative multiattribute valuation of ecosystem services across a range of regional land-use, socioeconomic, and climate scenarios for the upper Merrimack river watershed. *Ecology and Society*, 24(2), 11, 1-13.

Brauman, K. A., van der Meulen, S. and Brils, J. Ecosystem services and river basin management. *Risk-Informed Management of European River Basins*, 265-305.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S.,...van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

Dantas, J. C., da Silva, R. M. and Santos, C. A. G. (2020) Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192:317.1-21.

du Bray, M. V., Scotts, R., Beresford, M., Wutich, A. and Brewis, A. (2019). Does ecosystem services valuation reflect local cultural valuations? Comparative analysis

of resident perspectives in four major urban river ecosystems. *Economic Anthropology*, 6(1),21-33.



Ekka, A., Pande, S., Jiang, Y. & van der Zaag, P. (2020). Anthropogenic modifications and river ecosystem services: a landscape perspective. *Water*, 12(10), 2706,1-21.

Elsin, Y. K., Kramer, R. A. and Jenkins, W. A. (2010). Valuing drinking water provision as an ecosystem service in the Neuse river basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 136(4), 474-482.

Fatemi, A., Glaum, M. and Kaiser, S. (2018). ESG performance and firm value: the moderating role of disclosure. *Global Financial Journal*, 38, 45-64.

Flores, C. C., Vikolainen, V. and Bressers, H. (2016) Water Governance Decentralisation and River Basin Management Reforms in Hierarchical Systems: Do They Work for Water Treatment Policy in Mexico's Tlaxcala Atoyac Sub-Basin? *Water*, 8, 210, 1-2.

Gallay, I., Olah, B., Gallayová, Z., and Lepeška, T. (2021). Monetary valuation of flood



protection ecosystem service based on hydrological modelling and avoided damage costs: an example from the Čierny Hron river basin, Slovakia. *Water*, 13(2), 198, 1-18.

Gerner, N. V., Nafó, I., Winking, C., Wencki, K.,...Birk, S. (2018). Large-scale river restoration pay off: a case study of ecosystem service valuation for the Emscher restoration generation project. *Ecosystem services*, 30, 327-338.

Gilvear, D. J., Spray, C. J. and Casas-Mulet, R. (2013). River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *Journal of Environmental Management*, 126, 30-43.

Hornung, L. K., Podschun, S.A. and Pusch, M. (2019). Linking ecosystem services and measures in river and floodplain management. *Ecosystems and People*, 15(1), 214-231.

Jaspers, F. G. W. (2003) Institutional arrangements for integrated river basin Management. *Water Policy*, 5, 77-90.

Johanson, K. A., Polasky, S., Nelson, E. and Pennington, D. (2012). Uncertainty in ecosystem services valuation and implications for assessing land use tradeoffs: an agricultural case study in the Minnesota river basin. *Ecological Economics*, 79, 71-79.

Kaiser, N. N., Feld, C. K. and Stoll, S. (2020). Does river restoration increase ecosystem services? *Ecosystem Services*, 46, 1-10.

Kauffman, G. J. (2015) Governance, Policy, and Economics of Intergovernmental River Basin Management. *Water Resources Management*, 29, 5689-5712.

Kaval, P. and van den Belt, M. (2017). The organizing framework of ecosystem services and its use in river management. *Working Papers in Economics 17/22*, University of Waikato, 1-33.

Kim, S., Kumar, N., Lee, J. and Oh, J. (2022). ESG lending. *European Corporate Governance Institute Finance Working Paper*, 817,1-66.

Kumar, P., Brondizio, E., Gatzweiler, F., Gatzweiler, F., Gowdy, J.,...Sukhdev, P. (2003).

The economics of ecosystem services: from local analysis to national policies.

Current Opinion in Environmental Sustainability, 5,1-9.

Looly, K. V., Tormos, T., Souchon, Y. and Gilvear, D. (2017). Analyzing riparian zone

ecosystem services bundles to instruct river management. *International Journal of*

Biodiversity Science, Ecosystem Services & Mangement, 13(1), 330-341.

Loomis, J., Kent, P., Strange, L., Fausch, K. and Covich, A. (2000). Measuring the total

economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results

from a contingent valuation survey. *Ecological Economics*, 33, 103-117.

Meijerink, S. and Wiering, M. (2009). River Basin Management in Europe: The ‘Up-

and Downloading’ of a New Policy Discourse. *The Disoriented State: Shifts in*

Governmentality, Territoriality and Governance, 181–200.

Mendoza-Lera, C. and Datry, T. (2017). Relating hydraulic conductivity and hyporheic

zone biogeochemical processing to conserve and restore river ecosystem services.

Science and Total Environment, 579, 1815-1821.



Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. *World Resources Institute*, Washington, D. C.,1-68.

Ninan, K. N. and Inoue, M. (2014). Valuing forest ecosystem services: what we know and what we don't. *Social and political science*, 189-226

Ninan, K. N. and Kontoleon, A. (2016). Valuing forest ecosystem services and disservices-case study of a protected area in India. *Ecosystem Services*, 20, 1-14.

Ponok, N., Arunrat, N., Pumijumnong, N., Hamasaki, H. and Sereenonchai, S. (2021). Challenges of Water Policy Involvement of the Community in the East Coast River Basin of Thailand. *Water*,13,3395,1-28.

Raadgever, G.T., Erik Mostert, E., Kranz, N., Interwies, E. and Timmerman, J. G. (2008) Assessing Management Regimes in Transboundary River Basins: Do They Support Adaptive Management? *Ecology and Society* 13(1): 14-35.

Ravindranath, A., Devineni, N. and Kolesar, P. (2016) An environmental perspective on

the water management policies of the Upper Delaware River Basin. *Water Policy*, 18(6), 1399-1419.



Renner, T. and Meijerink, S. (2016) Water Governance Decentralisation and River Basin Management Reforms in Hierarchical Systems: Do They Work for Water Treatment Policy in Mexico's Tlaxcala Atoyac Sub-Basin? *Regional Environmental Change*, 18, 1287-1298.

Schluter, M., Leslie, H. and Levin, S. (2009). Managing water-use trade-offs in a semi-arid river delta to sustain multiple ecosystem services: a modeling approach. *Ecological Research*, 24, 491-503.

Thorp, J. H., Flotemersch, J. E., DeLong, M. D., Casper, A. F., ... Haase, C. S. (2010). Linking ecosystem services, rehabilitation, and river hydrogeomorphology. *Bioscience*, 60(1), 67-74.

Widyawati, L. (2020). A systematic literature review of socially responsible investment and environmental social governance metrics. *Business Strategy and the Environment*, 29, 619-637.

Wilson, M. A. and Carpenter, S. R. (1999). Economic valuation for freshwater ecosystem services in the United States:1971-1997. *Ecological Applications*, 9(3), 772-783.

附錄一 重置成本法的推導



若評價標的物在未來可使用的年限 L_R 期間內，每年提供的價值為 A_y 。則將 L_R 年限裡，每一年評價標的物所提供的價值 A_y ，使用年利率 r 折現加總，則此折現加總值必然為目前時點的評價標的物之建造成本 C_C 。

$$C_C = \frac{A_y}{(1+r)} + \frac{A_y}{(1+r)^2} + \frac{A_y}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{A_y}{(1+r)^{L_R-1}} + \frac{A_y}{(1+r)^{L_R}} \quad (\text{A.1})$$

此乃因為目前時點的評價標的物之價值(即 C_C)應為評價標的物在未來使用年限中，每年所提供的價值 A_y 之折現值加總的總和。

將(1)式等號左手邊進行整理可得：

$$C_C = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{A_y}{(1+r)^t} - \sum_{t=L_R+1}^{\infty} \frac{A_y}{(1+r)^t} \quad (\text{A.2})$$

將(2)式等號左手邊的共同項目 A_y 提出來

$$C_C = A_y \left[\sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} - \sum_{t=L_R+1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} \right] \quad (\text{A.3})$$

(3)式等號左手邊括號裡的第 1 項無窮等比級數和求出，可得：

$$\sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r}$$



(3)式等號左手邊括號裡的第 2 項無窮等比級數和，可進一步整理為：

$$\sum_{t=L_R+1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{(1+r)^{L_R}} \left[\sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} \right]$$

算出(3)式等號左手邊括號裡的第 2 項無窮等比級數和為：

$$\sum_{t=L_R+1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{(1+r)^{L_R}} \times \frac{1}{r}$$

將(3)式等號左手邊括號裡所算出的第 1 項無窮等比級數和與第 2 項無窮等比級數和代入(3)式，可得：

$$C_C = A_y \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{(1+r)^{L_R}} \times \frac{1}{r} \right]$$

進一步整理，可得：

$$C_C = A_y \times \frac{1}{r} \times \left[1 - \frac{1}{(1+r)^{L_R}} \right]$$

可解得目前時點的評價標的物之價值 C_C 為：

$$C_C = A_y \times \frac{1}{r} \times \left[\frac{(1+r)^{L_R} - 1}{(1+r)^{L_R}} \right]$$

移項整理後，可得每年評價標的物所提供的價值 A_y 為：



$$A_y = r \times \left[\frac{(1+r)^{L_R}}{(1+r)^{L_R} - 1} \right] \times C_C \quad (A.4)$$

藉由這個關係，若已知目前時點的評價標的物之建造成本 C_C 、評價標的物使用年限 L_R 與年利率 r ，則可以推導使用年限中，每年評價標的物所提供的價值 A_y 。

其中 A_y 為評價標的物在未來使用年限期間內，每一年所提供的一筆固定價值。 C_C 為目前時點的評價標的物之建造成本。 r 為目前的政府公債年利率。 L_R 為評價標的物的可使用年限。

而在評價標的物之未來使用年限期間內，評價標的物每一年所產生的價值除了上述的 A_y 之外，還包括使用年限內評價標的物之年度管理維護費用 C_{TM} 。所以評價標的物在評價年度的價值 C_V 為：

$$C_V = A_y + C_{TM} \quad (A.5)$$

其中 C_V 為評價標的物在評價年度的價值，亦即此種生態系統服務在評價年度所提供的價值。 C_{TM} 為評價標的物之年度管理維護費用。

附錄二 數據分析附表

附表 1. 石門水庫集水區農作與果樹產量

				收穫 估算 面積 (公頃)	產量(kg)	價格 (NT\$)	產值(NT\$)	集水區農產產 值(NT\$)
石門 水庫 集水 區	桃園 市 復興 區	農 作	竹 筍	38.3	2,354,789.5	25.5	60,047,131.3	2,148,347,956.0
		果 樹	水 蜜 桃	41.0	1,948,035.1	131.3	255,699,084.3	
		果 樹	柿 子	41.0	246,138.5	87.6	7,675.5	
	新竹 縣 尖 石 鄉	農 作	茶	39.8	4,248,600	77.0	32,705,722.8	
		果 樹	水 蜜 桃	107.8	7,072,449.2	131.3	928,329,682.1	
		果 樹	柿 子	107.8	7,072,449.2	87.6	871,558,660.0	

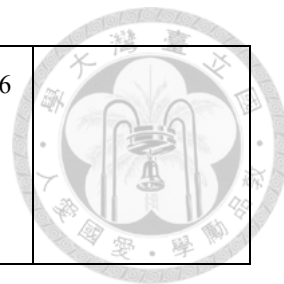
註：政府資料開放平台，2020。

附表 2. 德基水庫集水區農作與果樹產量



				收穫 估算 面積 (公頃)	集水區產量 (kg)	價格 (NT\$)	產值(NT\$)	集水區農產產值 (NT\$)
德基 水庫 集水 區	台 中 市 和 平 區	農 作	甘 藍	573.9	381,823,800	17.2	6,555,914,646.0	42,461,902,305.7
		農 作	結 球 白 菜	32.8	9,953,050	12.7	126,204,674.0	
		農 作	芹 菜	0.3	50,340	30.7	1,543,424.4	
		農 作	茶	457.5	2,059,340	77.0	158,527,993.2	
		果 樹	桶 柑	518.2	103,723,990	29.5	3,058,820,465.1	
		果 樹	梨	956.2	182,816,483.6	44.1	8,065,863,257.1	
		果 樹	柿 子	956.2	149,236,180.7	87.6	13,074,581,787.3	

		果 樹	水 蜜 桃	956.2	87,006,293.3	131.3	11,420,446,058.6	
--	--	--------	-------------	-------	--------------	-------	------------------	--



註：政府資料開放平台，2020。

附表 3. 曾文水庫集水區農作與果樹產量

				收穫估 算面積 (公頃)	集水區產量 (kg)	價格 (NT\$)	產值(NT\$)	集水區農產產 值(NT\$)
曾文 水庫 集水 區	嘉 義	農 作	茶	34.4	337,666.2	77.0	25,993,543.8	3,736,322,497.9
	縣	農 作	薤 菜	34.4	6,081,203.4	30.3	184,382,087.1	
	里	果 樹	雜 柑	33.2	5,571,335.3	35.0	194,773,882.0	
	山 鄉							
	嘉 義	農 作	竹 筍	1,819.1	125,426,016.1	25.5	3,198,363.4	
	縣	果 樹	百 香 果	25.0	2,956,580	44.9	132,809,573.6	
	大 埔 鄉							

註：政府資料開放平台，2020。

附表 4. 複合肥料之氮、磷、鉀肥比率

複合肥料	氮素	磷酐	氧化鉀
台肥寶效 39 號有機質複合肥料(基肥使用)	12%	18%	12%
台肥磷硝基黑旺特 1 號有機質複合肥料(追肥使用)	20%	5%	10%

註：台灣肥料公司肥料資料，2020。

附表 5. 集水區農作與果樹之複合肥料需求數量

	複合肥料種類	農作(特種作物,蔬菜)	果樹
石門水庫集水區	台肥寶效 39 號有機質複合肥料(kg)	156,279.8	868,261.6
	台肥磷硝基黑旺特 1 號有機質複合肥料(kg)	117,209.9	893,069.1
德基水庫集水區	台肥寶效 39 號有機質複合肥料(kg)	2,129,020	9,877,921.0
	台肥磷硝基黑旺特 1 號有機質複合肥料(kg)	1,596,765	10,160,147.4
曾文水庫集水區	台肥寶效 39 號有機質複合肥料(kg)	3,795,920.6	169,570.6
	台肥磷硝基黑旺特 1 號有機質複合肥料(kg)	2,846,940.5	174,415.5

註：表 12、表 13 與附表 5 數據彙整。

附表 6. 複合肥料價格



複合肥料種類	2020 年價格(NT\$/1 包 40kg)	2020 年價格(NT\$/kg)
台肥寶效 39 號有機質複合肥料(基肥使用)	NT\$425	NT\$10.6
台肥磷硝基黑旺特 1 號有機質複合肥料(追肥使用)	NT\$385	NT\$9.6

註：台灣肥料公司肥料資料，2020。

附表 7. 石門水庫集水區土壤可支持作物生長服務價值(複合肥料)

複合肥料種類	農作(特種作物,蔬菜) 面積複合肥料量(kg)	果樹面積面積複合肥料量(kg)	集水區農產面積複合肥料量(kg)	集水區土壤複合肥料價值(NT\$)	集水區土壤可支持作物生長的價值(NT\$)
台肥寶效 39 號有機質複合肥料(基肥使用)	156,279.8	868,261.6	1,024,541.4	10,885,752.6	10,885,752.6



台肥磷 硝基黑 旺特 1 號有機 質複合 肥料 (追肥 使用)	117,209.9	893,069.1	1,010,279.0	9,723,934.9	9,723,934.9
--	-----------	-----------	-------------	-------------	-------------

註：本文代理市場法之估算。

附表 8. 德基水庫集水區土壤可支持作物生長服務價值(複合肥料)

複合肥 料種類	農作(特種 作物,蔬菜) 面積複合 肥料量 (kg)	果樹面積面積 複合肥料量 (kg)	集水區農產面 積複合肥料量 (kg)	集水區土壤複合 肥料價值(NT\$)	集水區土壤可支 持作物生長的價 值(NT\$)
台肥寶 效 39 號有機 質複合 肥料 (基肥 使用)	212,902	9,877,921.0	10,090,823.0	107,214,995.3	107,214,995.3



台肥磷 硝基黑 旺特 1 號有機 質複合 肥料 (追肥 使用)	1,596,765	10,160,147.4	11,756,912.4	113,160,281.9	113,160,281.9
--	-----------	--------------	--------------	---------------	---------------

註：本文代理市場法之估算。

附表 9. 曾文水庫集水區土壤可支持作物生長服務價值(複合肥料)

複合肥 料種類	農作(特種 作物,蔬菜) 面積複合肥 料量(kg)	果樹面積面 積複合肥料 量(kg)	集水區農產面 積複合肥料量 (kg)	集水區土壤複合 肥料價值(NT\$)	集水區土壤可支 持作物生長的價 值(NT\$)
台肥寶 效 39 號有機 質複合 肥料 (基肥 使用)	3,795,920.6	169,570.6	3,965,491.2	42,133,344.3	42,133,344.3



台肥磷 硝基黑 旺特 1 號有機 質複合 肥料 (追肥 使用)	2,846,940.5	174,415.5	3,021,356.0	29,080,551.0	29,080,551.0
--	-------------	-----------	-------------	--------------	--------------

註：本文代理市場法之估算。

附表 10. 台灣土石流防治年度平均費用

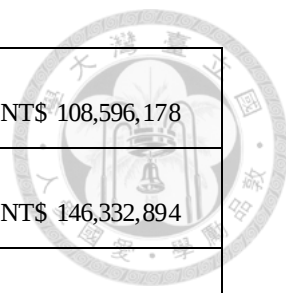
臺灣地區土石流防災業務 人事費用	業務人事費用	業務費	人事費
2017	NT\$ 1,372,081,995	NT\$ 845,468,772	NT\$ 526,613,223
2018	NT\$ 1,354,642,223	NT\$ 840,881,549	NT\$ 513,760,674
2019	NT\$ 1,386,911,165	NT\$ 834,442,790	NT\$ 552,468,375
2020	NT\$ 1,379,573,422	NT\$ 819,725,179	NT\$ 559,848,243
臺灣地區土石流防災年度 平均業務人事費用	NT\$ 1,373,302,201		

註：行政院農業委員會水土保持局，2020。

附表 11. 行政區土石流防治工程成本



治山防災(土石流防災)整體治理工程經費				
防砂壩,潛壩,堤防,整流與固床工				
行政區	桃園市	新竹縣	臺中市	嘉義縣
2020	NT\$ 85,365,129	NT\$ 235,910,054	NT\$ 353,663,663	NT\$ 504,210,573
2019	NT\$ 68,255,062	NT\$ 158,394,858	NT\$ 302,324,940	NT\$ 369,880,269
2018	NT\$ 267,992,872	NT\$ 40,764,494	NT\$ 474,541,014	NT\$ 175,154,804
2017	NT\$ 216,109,845	NT\$ 408,974,857	NT\$ 477,628,602	NT\$ 404,368,274
2016	NT\$ 52,903,213	NT\$ 272,309,230	NT\$ 275,562,365	NT\$ 174,956,708
2015	NT\$ 66,550,932	NT\$ 129,655,678	NT\$ 387,690,124	NT\$ 306,372,919
2014	NT\$ 91,371,495	NT\$ 151,347,450	NT\$ 375,853,105	NT\$ 445,529,957
2013	NT\$ 66,285,000	NT\$ 183,711,923	NT\$ 309,678,776	NT\$ 542,598,047
2012	NT\$ 49,348,500	NT\$ 94,412,103	NT\$ 387,198,072	NT\$ 524,553,487
2011	NT\$ 37,673,000	NT\$ 54,659,364	NT\$ 345,908,241	NT\$ 749,639,153
2010	NT\$ 44,860,839	NT\$ 12,058,087	NT\$ 256,624,660	NT\$ 31,951,406
2009	NT\$ 50,109,617	NT\$ 94,960,893	NT\$ 549,898,400	NT\$ 158,276,874
2008	NT\$ 120,408,738	NT\$ 71,178,520	NT\$ 263,807,208	NT\$ 107,945,884
2007	NT\$ 130,416,690	NT\$ 41,842,225	NT\$ 222,642,410	NT\$ 201,940,364

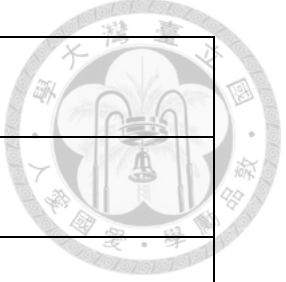


2006	NT\$ 90,620,242	NT\$ 164,056,670	NT\$ 176,666,622	NT\$ 108,596,178
2005	NT\$ 99,307,030	NT\$ 293,682,052	NT\$ 276,101,771	NT\$ 146,332,894
2004	NT\$ 52,524,336	NT\$ 289,930,861	NT\$ 151,636,996	NT\$ 186,028,345
2003	NT\$ 61,489,752	NT\$ 302,013,556	NT\$ 225,338,640	NT\$ 394,829,402
2002	NT\$ 91,386,436	NT\$ 426,162,418	NT\$ 191,103,395	NT\$ 369,553,537

註：行政院農業委員會水土保持局，2020。

附表 12. 2002 年至 2020 年通貨膨脹率

年份	通貨膨脹率
2020 年 12 月	-0.24 %
2019 年 12 月	0.56 %
2018 年 12 月	1.35 %
2017 年 12 月	0.62 %
2016 年 12 月	1.39 %
2015 年 12 月	-0.3 %
2014 年 12 月	1.2 %
2013 年 12 月	0.79 %
2012 年 12 月	1.93 %



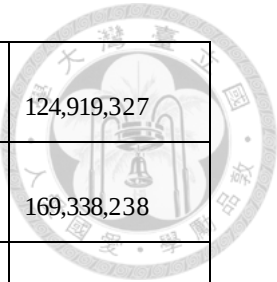
2011 年 12 月	1.42 %
2010 年 12 月	0.97 %
2009 年 12 月	-0.87 %
2008 年 12 月	3.53 %
2007 年 12 月	1.8 %
2006 年 12 月	0.6 %
2005 年 12 月	2.31 %
2004 年 12 月	1.61 %
2003 年 12 月	-0.28 %
2002 年 12 月	-0.2 %

註:台灣新報經濟資料庫。

附表 13. 經通貨膨脹調整的行政區土石流防治工程成本



通貨膨脹調整後的治山防災(土石流防災)整體治理工程經費(NT\$)				
防砂壩,潛壩,堤防,整流與固床工				
行政區	桃園市	新竹縣	臺中市	嘉義縣
2020	85,365,129	235,910,054	353,663,663	504,210,573
2019	68,091,250	158,014,710	301,599,360	368,992,556
2018	268,846,847	40,894,393	476,053,167	175,712,945
2017	219,725,272	415,816,834	485,619,127	411,133,185
2016	54,121,749	278,581,411	281,909,476	178,986,539
2015	69,030,185	134,485,801	402,132,924	317,786,372
2014	94,491,074	156,514,710	388,685,371	460,741,109
2013	69,370,660	192,263,971	324,094,758	567,856,748
2012	52,053,743	99,587,695	408,423,945	553,309,069
2011	40,505,150	58,768,500	371,912,644	805,994,904
2010	48,918,264	13,148,677	279,834,997	\$ 34,841,241
2009	55,171,791	104,554,032	605,450,236	174,266,320
2008	131,419,287	77,687,305	287,930,559	117,816,791
2007	147,367,084	47,280,503	251,579,478	228,186,765



2006	104,241,419	188,716,115	203,221,475	124,919,327
2005	114,919,326	339,852,510	319,508,391	169,338,238
2004	62,185,872	343,261,903	179,529,711	220,247,143
2003	84,521,291	415,135,446	309,741,252	542,716,301
2002	125,264,322	584,145,181	261,947,376	506,550,809
行政區土石流防災整體 治理工程總成本	1,895,609,715	3,884,619,751	6,492,837,910	6,463,606,935

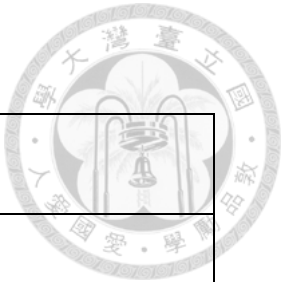
註：表 11 與表 12 彙整。

附表 14. 集水區水庫蓄水量佔行政區水庫蓄量比率

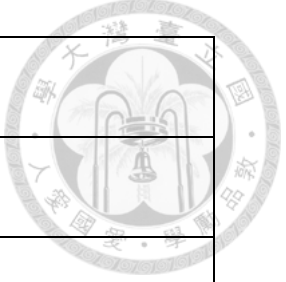
	石門水庫集水區	德基水庫集水區	曾文水庫集水區
水庫總蓄水量(m^3)	309,120,000	232,000,000	708,000,000
行政區	桃園市與新竹縣	臺中市	嘉義縣
行政區內所有水庫總蓄水量(m^3)	356,225,000	249,100,000	736,725,700
臺灣地區所有水庫總蓄水量(m^3)	2,182,090,000		
水庫總蓄水量(m^3)/行政區內所有水庫總蓄水量(m^3)	0.868	0.931	0.961
水庫總蓄水量(m^3)/臺灣地區所有水庫總蓄水量(m^3)	0.142	0.106	0.324

註：經濟部水利署水庫集水區查詢系統、經濟部水利署北區水資源局、經濟部水利署中區水資源局以及經濟部水利署南區水資源局，2020。

附表 15. 林地每公頃造林成本



每公頃造林成本	
5 年期政府公債年利率(2020)	0.198%
第 1 年造林獎勵金現值	NT\$120,000/1.00198
第 2 年造林獎勵金現值	NT\$40,000/(1.00198 ²)
第 3 年造林獎勵金現值	NT\$40,000/(1.00198 ³)
第 4 年造林獎勵金現值	NT\$40,000/(1.00198 ⁴)
第 5 年造林獎勵金現值	NT\$40,000/(1.00198 ⁵)
第 6 年造林獎勵金現值	NT\$40,000/(1.00198 ⁶)
第 7 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ⁷)
第 8 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ⁸)
第 9 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ⁹)
第 10 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁰)
第 11 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹¹)
第 12 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹²)
第 13 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹³)
第 14 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁴)
第 15 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁵)



第 16 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁶)
第 17 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁷)
第 18 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁸)
第 19 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ¹⁹)
第 20 年造林獎勵金現值	NT\$20,000/(1.00198 ²⁰)
20 年造林獎勵金現值總和	NT\$590,818.1

註：行政院農委會林務局，2020。

附表 16. 林地每公頃年度管理費用

林務局年度每公頃林地管理業務費用	
2013	NT\$ 2,426.3
2014	NT\$ 2,827.6
2015	NT\$ 3,082.7
2016	NT\$ 2,617.5
年度每公頃平均林地管理業務費用	NT\$ 2,738.5

註：行政院農委會林務局，2013-2016。