

氣候變遷下之水資源管理策略-以新竹地區為例

Strategies for Water Resources Management under Climate Change-Taking Hsinchu as an Example

經濟部水利署水利規劃試驗所

正工程司

研究助理

研究助理

陳聖文

陳泳錦

侯承佑

Sheng-Wen Chen

Yung-Chin Chen

Cheng-Yu Hou

摘 要

近年氣候變遷加劇，枯旱風險漸增，如 107 年 6 月曾文水庫蓄水率約 2%，到了 109 年豐水期無颱風過境臺灣，主要水庫集水區 6 至 9 月平均降雨量為歷史平均值之 2 至 6 成。為因應氣候變遷加劇、強化供水韌性，水利署已研提「臺灣各區水資源經理基本計畫」做為水資源建設管理藍圖，未來將強化「流域整體經營管理」、「打造西部廊道供水管網」及「強化科技造水」等三大主軸工作，以提升臺灣各地區供水能力、水資源循環利用與供需管理，確保供水穩定。

新竹地區為高科技產業群聚區域，近幾年因物聯網、穿戴科技發展快速，加上 COVID-19 疫情影響，導致全球晶片供不應求，竹科持續擴廠也形成用水需求突增式成長，未來預期產業將不斷擴展、科技業人才增加，而生活與工業用水需求亦持續增長。本文之內容，首先探討新竹地區目前水資源系統供水潛能，再探討於氣候變遷境下對水資源之衝擊，並進一步分析透過供水管網之調度，例如石門水庫至新竹聯通管之情境下，相關方案對於減緩氣候變遷衝擊之程度，以提升供水韌性。

關鍵詞：氣候變遷，水資源管理，水源分析

Abstract

In recent years, climate change has intensified, and the risk of drought has gradually increased. For example, in June of 2018, the water storage rate of Tsengwen Reservoir was approximately 2%. In the wet season of 2020, because no typhoons passed through Taiwan, the average rainfall from June to September in the main reservoir catchment area was only 20% to 60% of the historical average. In order to cope with the intensification of climate change and strengthen the resilience of water supply, the Water Resources Administration has developed the "The master plan of water resources management in Taiwan" as a blueprint for water resources construction and management. "overall watershed management", "development of the Western Corridor water supply network", and "strengthening technology for water production" are three major axes of work in improving water supply capacity. This

will also improve water resource recycling, supply and demand management in various regions, and water supply stabilization in Taiwan.

The Hsinchu area is a high-tech industry cluster. In recent years, due to the rapid development of the Internet of Things (IoT) and wearable technology, coupled with the impact of the COVID-19 epidemic, the global chip supply has been in short supply. It is expected that the industry will continue to expand, the number of talents in the technology industry will increase, and the demand for domestic and industrial water will continue to grow. The content of this paper first discusses the water supply potential of the current water resources system in the Hsinchu area. Then, it will discuss the impact on water resources under the climate change environment and further analyze the dispatch of the water supply network through the water supply network, such as the connection between Shimen Reservoir and Hsinchu and options for mitigating the magnitude of climate change shocks to improve water supply resilience.

Keywords: climate change, water resource management, water resource analysis

一、前言

近年氣候變遷加劇、枯旱風險漸增，如 107 年 6 月曾文水庫蓄水率約 2%、109 年豐水期無颱風過境臺灣，主要水庫集水區 6 至 9 月平均降雨量約為歷史平均的 20%~60%。此外，因 921 地震事件造成全臺大規模地表土層鬆動，一有颱風豪雨等強降雨事件，易造成河川或水庫原水濁度飆高，超出淨水場處理能力，導致區域供水不穩。根據經濟部水利署利用聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)發布最新第五次評估報告(AR5)，模擬 125 至 154 年之臺灣地區 RCP4.5 及 RCP8.5 降雨情境分析，顯示未來降雨會有「豐越豐、枯越枯」的走向，水資源經營將面臨十分嚴峻的挑戰。

為了達到維持供水穩定、加強供水韌性及改善供水環境 3 大目標，經濟部水利署優先推動「流域整體經營管理」、「打造西部廊道供水管網」及「強化科技造水」等 3 項經營主軸，並配合「管理」、「節流」、「調度」、「備援」、「開源」等 5 大經理策略，於後續各區域水資源經營管理相關執行措施與方案落實執行，以減少降雨依賴、加強水資源利用效益、區域水資源調度及用水安全等，希望能符合環境變遷及社會發展需求。臺灣降雨時間與空間差異極大，為提升水資源運用效率，縮小各區域降雨不均衡問題，強化區域水源調度為穩定供水重要工作。北部區域未來將持續推動供水管網瓶頸及雙向供水改善等工作，打造西部廊道供水管網，如推動南勢溪引水至石門水庫利用、石門水庫至新竹原水管（北水南運）、蘭陽溪引水至南勢溪或石門水庫(東水西運)、新竹-苗栗雙向供水等工作。

新竹地區為高科技產業群聚區域，近年因物聯網與穿戴科技發展快速，加上 COVID-19 疫情影響，致使全球晶片供不應求，新竹科學園區持續擴廠也形成用水需求突增式成長，預期產業將不斷擴展、科技業人才、生活與工業用水需求亦持續增加。依據 106 年所推估未來 120 年之用水需求約每日 67.7 萬立方公尺，若依目標年 125 年用水

需求將可能持續成長，且考量現況新竹地區枯水期缺水，已經常性調度農田水利署新竹管理處之農業灌溉節餘水量，因此在預期未來 125 年用水需求將持續提高的情境下，除配合北水南調將大漢溪甚至新店溪水源調度至新竹供應外，需更積極推動再生水、海淡水等多元水源開發，以因應新竹地區未來用水急速成長^[1]。

本文之內容，首先探討新竹地區目前水資源系統供水潛能，並探討於氣候變遷境下對水資源之衝擊，並進一步分析透過供水管網之調度，例如石門水庫至新竹聯通管之情境下，相關方案對於減緩氣候變遷衝擊之程度，以提升供水韌性。

二、文獻回顧

1. 氣候變遷對雨量之衝擊

根據「109 年經理計畫滾動檢討^[1]」內針對氣候變遷下之情境流量資料 RCP4.5 與 RCP8.5 推估北部區域整年與基期雨量之衝擊見圖 1，說明如下：

就氣候變遷對春雨（2 至 4 月）之衝擊而言，北部區域整體基期春雨約為 710 毫米，在 RCP4.5 情境下情境平均春雨約為 628 毫米，其情境平均春雨變動範圍為 594 至 641 毫米；在 RCP8.5 情境下情境平均春雨約為 620 毫米，其情境平均春雨變動範圍為 556 至 690 毫米。其中，無論是 RCP4.5 或 RCP8.5 之情境，未來情境平均春雨相較於基期春雨皆有減少情況，且其變動範圍之最小值與最大值亦皆低於基期春雨。

就氣候變遷對梅雨（5 至 6 月）之衝擊而言，北部區域整體基期梅雨約為 588 毫米，在 RCP4.5 情境下情境平均梅雨約為 649 毫米，其情境平均梅雨變動範圍為 600 至 733 毫米；在 RCP8.5 情境下情境平均梅雨約為 643 毫米，其情境平均梅雨變動範圍為 547 至 756 毫米。其中，無論是 RCP4.5 或 RCP8.5 之情境，未來情境平均梅雨相較於基期梅雨皆有增加情況。

就氣候變遷對颱風雨（7 至 9 月）之衝擊而言，北部區域整體基期颱風雨約為 1,133 毫米，在 RCP4.5 情境下情境平均颱風雨約為 1,240 毫米，其情境平均颱風雨變動範圍為 938 至 1,574 毫米；在 RCP8.5 情境下情境平均颱風雨約為 1,266 毫米，其情境平均颱風雨變動範圍為 1,082 至 1,497 毫米。其中，無論是 RCP4.5 或 RCP8.5 之情境，未來情境平均颱風雨相較於基期颱風雨皆有增加情況，其增幅約為 9.4%至 11.7%。

就氣候變遷對秋雨（10 至 11 月）之衝擊而言，北部區域整體基期秋雨約為 562 毫米，在 RCP4.5 情境下情境平均秋雨約為 575 毫米，其情境平均秋雨變動範圍為 492 至 666 毫米；在 RCP8.5 情境下情境平均秋雨約為 520 毫米，其情境平均秋雨變動範圍為 402 至 713 毫米。其中，RCP4.5 情境秋雨相較於基期秋雨有增加情況，而 RCP8.5 情境秋雨相較於基期秋雨則有減少情況。

就氣候變遷對冬雨（12 至 1 月）之衝擊而言，北部區域整體基期冬雨約為 388 毫米，在 RCP4.5 情境下情境平均冬雨約為 370 毫米，其情境平均冬雨變動範圍為 341 至 390 毫米；在 RCP8.5 情境下情境平均冬雨約為 352 毫米，其情境平均冬雨變動範

圍為 270 至 417 毫米。其中，無論是 RCP4.5 或 RCP8.5 之情境，未來情境平均冬雨相較於基期冬雨皆有減少情況，其減少幅度分別約為 4.6%至 9.3%。

整體而言，季節雨量衝擊分析結果顯示：無論是 RCP4.5 或 RCP8.5 情境，北部區域整體平均情境下颱風雨變動範圍最大，情境梅雨與颱風雨平均值相較於基期雨量有增加情況；而春雨與冬雨變動範圍較小，情境春雨與冬雨平均值相較於基期雨量皆有減少情況，情境秋雨則有增有減。

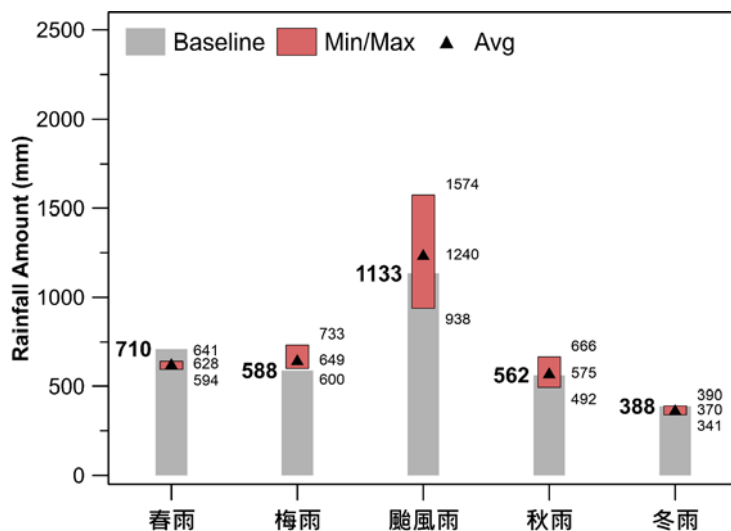


圖 1 (a)氣候變遷（RCP4.5 情境）對北部區域季節雨量之衝擊

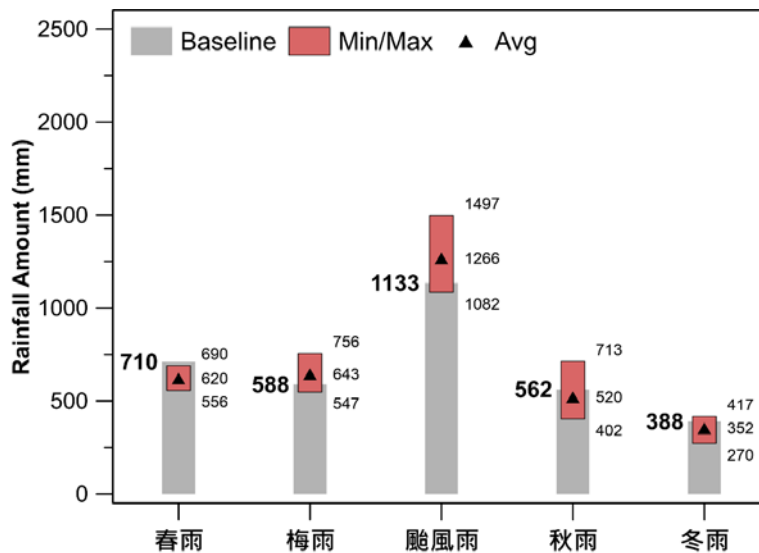


圖 1 (b)氣候變遷（RCP8.5 情境）對北部區域季節雨量之衝擊

2. 石門水庫至上坪堰原水聯通管工程計畫^[2]

臺灣受地形條件影響，坡陡流急使得水資源不易留存，且降雨時間及空間差異極大，加上同時受全球氣候變遷影響，極端降雨及乾旱事件頻傳；為提升水資源運用效率，縮小各區域降雨不均之問題，強化區域水源調度為當前穩定供水重要工作。

目前北部區域已完成包括臺北支援基隆及板新（板二計畫）、大漢溪水源南調桃

園及桃園支援新竹幹管等調度管線，提升北部區域水源調度能力，惟新竹地區於 110 年上半年旱象期間，其主要供水水源-寶山第二水庫之蓄水率一度僅餘約 2.6%（水庫之蓄水量約 83 萬噸），供水情勢極度緊張，考量新竹地區為我國產業重鎮，必須進一步強化新竹地區整體水資源供應之穩定性及備援率，以維持民生及產業供水穩定。

因此，規劃設置石門水庫至新竹聯通管工程（下稱本計畫），使石門水庫可擴大以原水支援新竹寶山-寶二水庫及竹東圳，提升水源設施原水調度與備援能力，未來配合板二計畫供水調度能力提升及南北桃聯通管等清水系統改善，將可透過原水及清水北水南送，達到整體水資源聯合運用之效果。

本計畫為水資源經營管理上位計畫 110 年 8 月「臺灣各區水資源經理基本計畫」（核定本）項下「打造西部廊道供水管網」重點工作，爰依「行政院所屬各機關中長期個案計畫編審要點」相關規定研提，以利後續推動，期發揮強化水資源利用及維持新竹地區供水穩定等功能。本計畫主要工作項目包括新設石門水庫分層取水工之中線鋼管至上坪堰寶山第二水庫引水隧道前跌水工間輸水幹管，使新竹地區於枯旱期間，具備石門水庫水源可調度新竹地區每日 30 萬噸之緊急供水備援能力。本計畫輸水管線平面圖詳圖 2。



圖2 石門水庫至上坪堰原水聯通管布置圖

三、研究區域與資料

新竹地區自來水主要由第一、第二、浦雅、寶山、員嶼、新埔、關西及芎林等淨水場供應，民國103～107年總配水量介於200.56～214.42百萬立方公尺，最低配水量發生於民國105年，抄見率為80.74%，最高配水量發生於民國107年，抄見率為79.55%。新竹地區供水管網如圖3所示，桃竹雙向聯通管線由新竹第二淨水場可輸水至桃園平鎮淨水場之楊梅供水區，目前可達雙向每日8萬立方公尺之支援能力。寶山淨水場以直徑1,000毫米管線與新竹二場送科學園區專管連接；浦雅淨水場由二條直徑600毫米管線供新竹工業區用水；浦雅、第一及第二淨水場主要利用區內直徑900毫米～直徑300毫米之管網相互支援用水。新竹地區供水系統如圖4所示，本區為台灣自來水公司第三區管理處供水區，其主要來源為頭前溪，由隆恩堰、寶山及寶山第二水庫三者聯合運用供應，平時優先取用隆恩堰川流水，不足量由兩水庫供應補充，必要時可由桃園的石門水庫及苗栗永和山水庫支援。



圖3 新竹地區供水管網圖

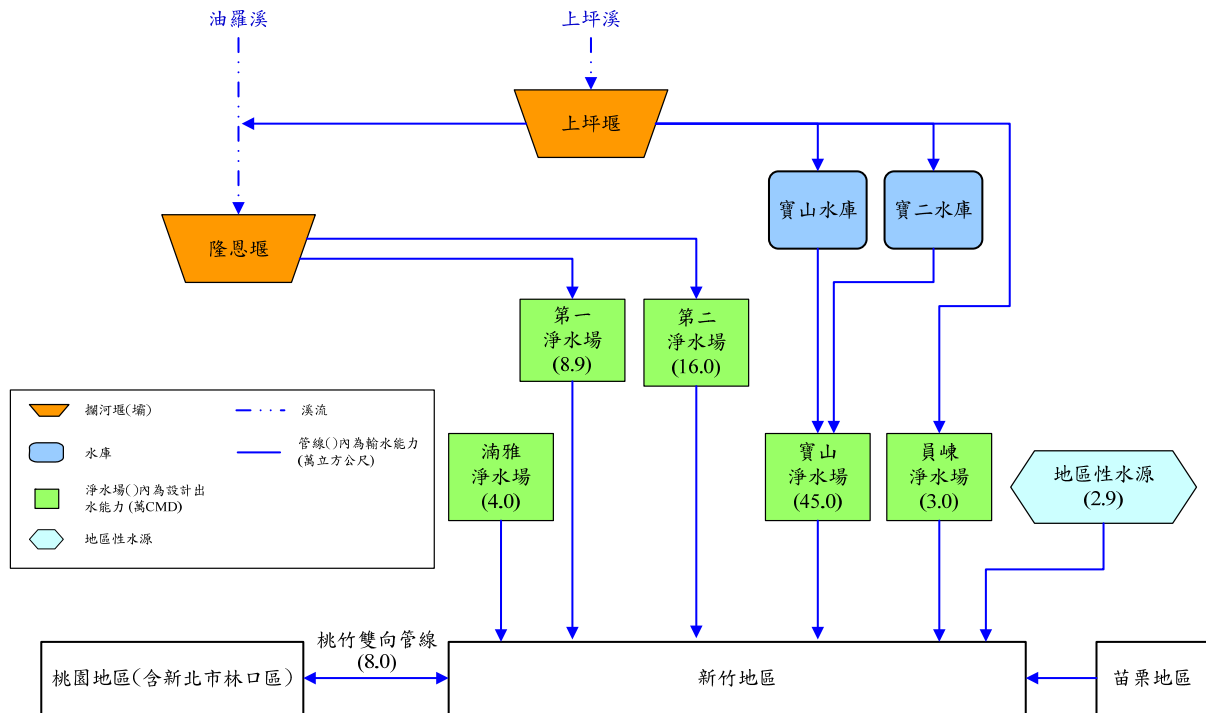


圖4 新竹地區自來水供水系統示意圖

四、研究流程與方法

本研究主要分析流程如圖5所示，可大致概分為川流取水系統及水庫水源系統。川流系統之模擬取水原則為在保留下游既有用水人權益與生態流量前提下，有水便取，無水就缺。水庫系統則依據各水庫運用規線及標的間協議分配水量供水，必要時亦應保留下游既有用水人權益與生態基流量。並隨時依據修訂之運用要點修訂運用模式。模擬條件除依照水源設施之運用要點視蓄水量多寡分配水量或取水外，尚應考慮水庫之蒸發、滲漏等損失量、各堰壩下游的保留水權量與生態基流量、水庫及攔河堰至取水點的輸水損失、越域引水之漏水損失等。

在分析供水能力時，依計畫需求蒐集模擬區域各水庫、攔河堰的運用要點（包含運用規線及各用水標的計畫需水量）、入流量、下游保留水權量、生態基流量、歷年平均或計畫蒸發深度、水庫H-A-V圖表、引輸水設施之輸水損失率等。本文以台灣地區常用之缺水指數(Shortage Index, SI)評估各分析情境之供水能力，缺水指數為美國陸軍工兵團(United States Army Corps of Engineers, 1975)所創，用以評估缺水嚴重性與發生頻率，其以缺水率平方做為缺水之評估準則。

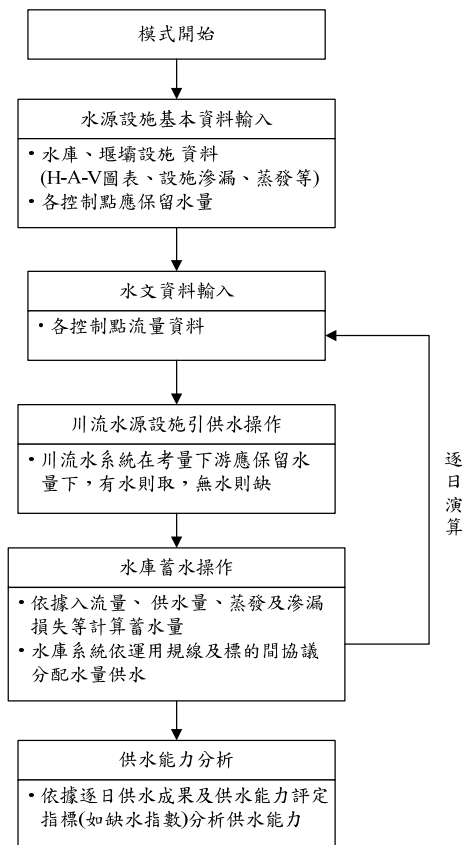


圖5 模式分析流程圖

1. 水源運用分析原則

- A、頭前溪現況設施包含寶山、寶山第二水庫、上坪堰及隆恩堰，逕流量以上坪站及內灣站之流量為基準，並以此推估各水源控制點之入流量，其中上坪堰入流量採用上坪站面積比（1.051倍）推估，隆恩堰天然流量則採用水規所民國98年「頭前河流域水資源開發個案工程初步規劃-新竹地區水資源供需檢討」推估式。
- B、頭前溪水源運用優先利用隆恩堰川流水，不足水量則由寶山、寶山第二水庫補充。另考慮演算清水供水能力，淨水損失採用5%估列。
- C、上坪堰入流量大於「上坪攔河堰運用要點」所列引水基準流量時，優先取用2.7秒立方公尺水量供竹東圳及樹杞林圳灌區使用及引入寶山水庫蓄存利用，若仍有剩餘水量時，引入寶山第二水庫蓄存利用。
- D、隆恩堰入流量大於下游生態基流量及既有水權用水權益水量時，優先引用供應公共給水。
- E、當上述供水仍無法滿足公共給水需求時，考慮寶山水庫較早興建，為保障其供水權益及實際供水狀況，優先利用寶山水庫供水每日10萬立方公尺，再有不足，由寶山第二水庫供水。
- F、寶山第二水庫視蓄水狀況參酌運用要點之蓄水利用運轉規定供水。當水庫水

位高於運轉規線時，依計畫用水量供水；當水庫水位低於運轉規線時，得減量供水，本研究依不同區間進行減量供水。

2. 氣候變遷情境下流量衝擊分析

為探討氣候變遷對於河川流量造成之影響，本研究採用 GWLF 降雨逕流模式將 TCCIP 降尺度資料(情境雨量與情境溫度)轉換為情境流量，並依據情境流量資料(historical/RCP4.5/RCP8.5)計算氣候變遷影響下各月份流量改變比例，然後參考國際上簡易尺度轉換法(Bracho-Mujica et al., 2019; Lenderink and Attema, 2015; Liddicoat et al., 2012; Hayman and Wilhelm, 2010)，將歷史流量資料乘上流量改變比例以推求未來流量資料。藉由上述未來流量產製流程，本研究得以探討氣候變遷下流量特性之變化，及其後續對於水資源供需可能造成之衝擊分析，如表 1 與表 2。

表 1 內灣集水區之情境流量衝擊分析

單位：億噸

集水區		內灣集水區											
月份		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
基期		0.08	0.13	0.18	0.20	0.27	0.42	0.33	0.54	0.43	0.22	0.08	0.06
RCP 4.5	ACCESS1-0	0.12	0.21	0.17	0.14	0.23	0.39	0.24	0.41	0.54	0.32	0.09	0.09
	bcc-csm1-1-m	0.08	0.16	0.16	0.16	0.18	0.44	0.30	0.54	0.38	0.32	0.08	0.06
	BNU-ESM	0.06	0.12	0.12	0.17	0.22	0.54	0.35	0.68	0.33	0.16	0.06	0.05
	GFDL-ESM2G	0.10	0.17	0.17	0.16	0.24	0.41	0.37	0.65	0.67	0.27	0.18	0.11
	HadGEM2-ES	0.09	0.14	0.17	0.12	0.25	0.51	0.43	0.74	0.72	0.21	0.08	0.07
RCP 8.5	ACCESS1-0	0.10	0.23	0.18	0.16	0.17	0.45	0.27	0.57	0.37	0.30	0.07	0.06
	bcc-csm1-1-m	0.07	0.06	0.13	0.14	0.22	0.38	0.29	0.63	0.69	0.21	0.08	0.07
	BNU-ESM	0.06	0.09	0.13	0.16	0.22	0.37	0.41	0.67	0.42	0.32	0.07	0.06
	CMCC-CM	0.08	0.09	0.10	0.12	0.23	0.63	0.46	0.60	0.42	0.14	0.07	0.05
	GFDL-ESM2G	0.09	0.16	0.22	0.20	0.38	0.45	0.41	0.79	0.56	0.25	0.18	0.09
	HadGEM2-ES	0.08	0.14	0.19	0.13	0.32	0.53	0.52	0.81	0.70	0.18	0.08	0.07
	MPI-ESM-LR	0.10	0.15	0.13	0.13	0.20	0.47	0.28	0.65	0.55	0.18	0.22	0.10

表 2 上坪集水區之情境流量衝擊分析

單位：億噸

集水區		上坪集水區											
月份		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
基期		0.14	0.24	0.35	0.36	0.43	0.65	0.50	0.97	0.68	0.31	0.13	0.14
RCP 4.5	ACCESS1-0	0.18	0.29	0.28	0.25	0.34	0.59	0.34	0.75	0.93	0.50	0.16	0.40
	bcc-csm1-1-m	0.13	0.23	0.30	0.27	0.28	0.62	0.49	1.11	0.64	0.41	0.12	0.13
	BNU-ESM	0.11	0.22	0.23	0.33	0.34	0.78	0.57	1.15	0.46	0.23	0.10	0.10
	GFDL-ESM2G	0.17	0.28	0.31	0.27	0.38	0.65	0.56	1.16	1.07	0.39	0.26	0.42
	HadGEM2-ES	0.19	0.25	0.29	0.21	0.37	0.79	0.75	1.36	1.21	0.34	0.15	0.18
RCP 8.5	ACCESS1-0	0.17	0.33	0.34	0.28	0.26	0.68	0.41	1.02	0.59	0.48	0.12	0.20
	bcc-csm1-1-m	0.12	0.12	0.26	0.26	0.35	0.56	0.41	1.45	1.02	0.31	0.12	0.18
	BNU-ESM	0.11	0.19	0.27	0.29	0.33	0.56	0.61	1.20	0.69	0.49	0.11	0.13
	CMCC-CM	0.15	0.14	0.18	0.22	0.37	0.84	0.67	1.08	0.67	0.22	0.11	0.11
	GFDL-ESM2G	0.16	0.30	0.39	0.35	0.55	0.68	0.61	1.61	0.85	0.37	0.25	0.29
	HadGEM2-ES	0.13	0.25	0.31	0.22	0.47	0.80	1.07	1.51	1.23	0.28	0.14	0.16
	MPI-ESM-LR	0.16	0.26	0.24	0.22	0.32	0.72	0.40	1.17	0.79	0.30	0.20	0.26

五、結果與討論

為分析石門水庫至新竹原水聯通管備援供水對枯旱事件之影響，本研究分析於現況及氣候變遷情境下，民國109～110年嚴重枯旱事件中有無石門水庫至新竹原水聯通管備援供水對新竹地區供水的影響。

現況情境下民國109～110年枯旱事件中寶二水庫有無枯旱備援引水之蓄水量比較如圖6所示。民國109年石門水庫備援供水為1,267萬立方公尺，110年備援供水為2,311萬立方公尺，藉由石門水庫備援供水，可減少枯旱事件造成之缺水情形。

比較現況情境下有無石門水庫至新竹原水聯通管對新竹地區供水量之影響，如圖6所示。當增加石門水庫至新竹原水聯通管備援供水後，新竹地區109年缺水率由61.5%降至47.3%，110年缺水率由41.6%降至39.4%。增加石門水庫至新竹原水聯通管備援供水後，可有效改善109年1月至5月供水缺口。

氣候變遷情境下(RCP4.5, BNU-ESM)民國109～110年年枯旱事件中寶二水庫有無枯旱備援引水之蓄水量比較如圖7所示。民國109年石門水庫備援供水為870萬立方公尺，110年備援供水為1,737萬立方公尺，藉由石門水庫備援供水，可減少枯旱事件造成之缺水情形。110年底由於頭前溪水源減少，寶二水庫蓄水量降低，若增加石門水庫枯旱備援引水則蓄水量可維持於1,200萬立方公尺以上。

比較氣候變遷情境下有無石門水庫至新竹原水聯通管對新竹地區供水量之影

響，如圖7所示。當增加石門水庫至新竹原水聯通管備援供水後，新竹地區109年缺水率由63.0%降至51.1%，110年缺水率由40.1%降至38.5%。增加石門水庫至新竹原水聯通管備援供水後，可有效改善109年1月至5月供水缺口。

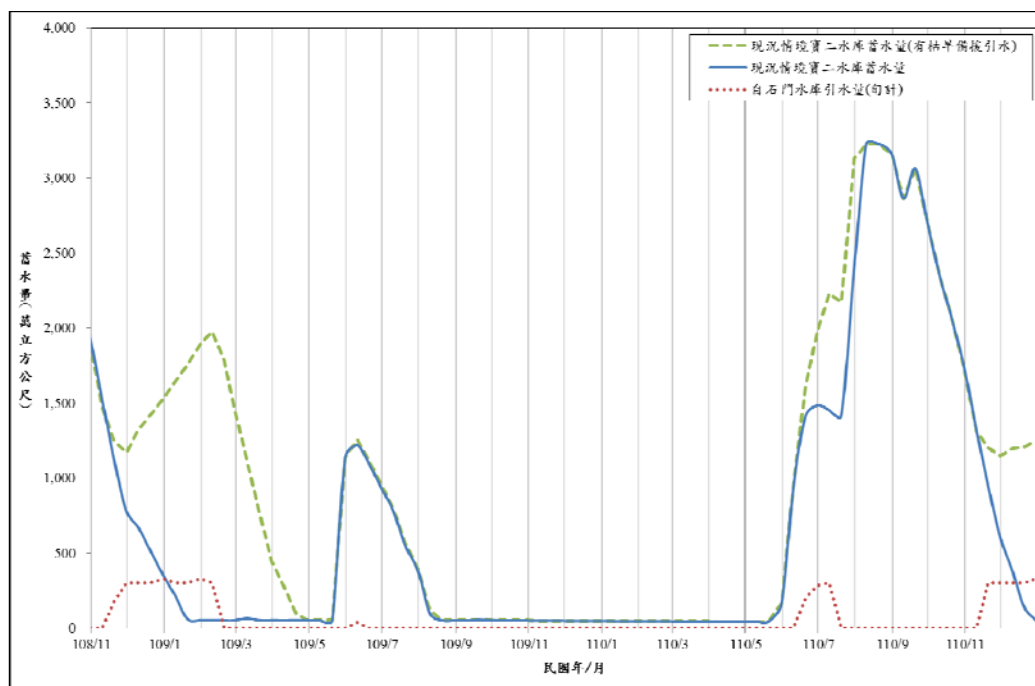


圖6 現況情境下寶二水庫有無枯旱備援引水之蓄水量比較(109~110年枯旱事件)

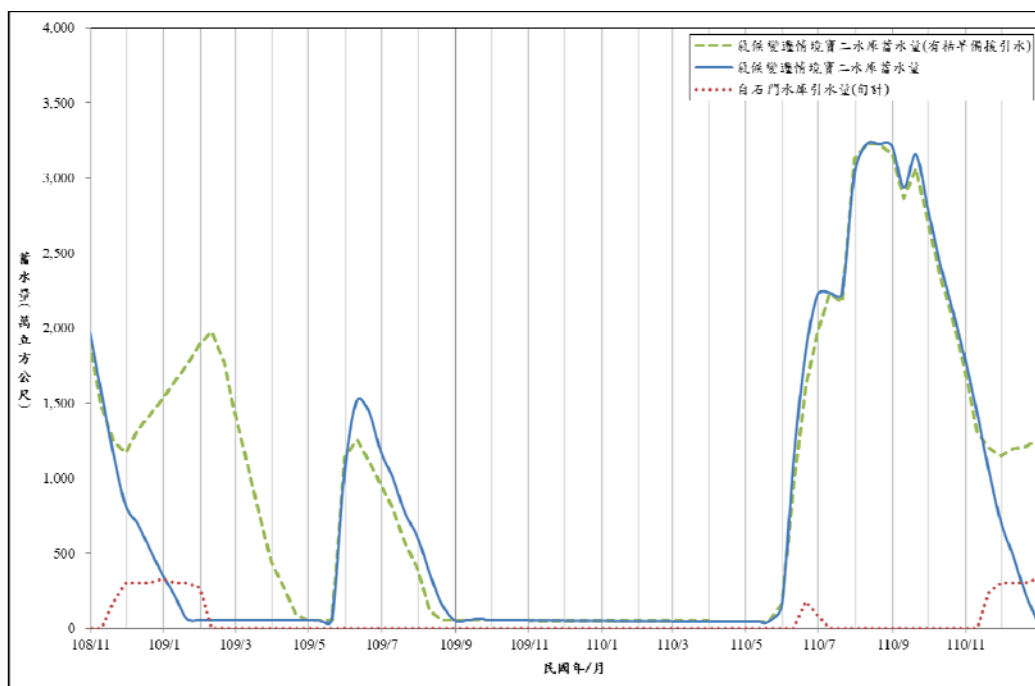


圖7 氣候變遷情境下寶二水庫有無枯旱備援引水之蓄水量比較(109~110年枯旱事件)

六、結論與建議

1. 以現況面臨枯旱事件之條件下，石門水庫引水至上坪堰可增加寶二水庫蓄水，並提升新竹地區於枯旱時期之供水能力，對於新竹地區水資源運用有相當之助益。
2. 另考慮氣候變遷情境下(RCP4.5, BNU-ESM)新竹地區水資源系統面臨枯旱事件之衝擊，經分析結果顯示，石門水庫引水至上坪堰對枯旱時期供水能力之提昇仍有一定之效益。
3. 本研究氣候變遷之流量係引用AR5之資料進行分析，未來可針對最新之AR6情境進一步分析，以符合國際新最新趨勢及作法，並可與目前成果互相比對分析，以檢視水資源管理相關策略對於氣候變遷衝擊調適之能力。

七、參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，109 年經理計畫滾動檢討-北部區域水資源經營管理調適策略規劃，2021。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，強化新竹地區穩定供水－石門水庫至上坪堰原水聯通管及油羅溪伏流水可行性規劃，2022。