

暖化情境下農業淹水災害之調適效益分析 -以大甲溪流域為例

Adaptation Benefits Analysis of Agriculture Impact by Extreme Flood Event under Climate Change in Tachia River Basin

國家災害防救科技中心
專案佐理研究員

蕭逸華*

Yi-Hua Hsiao

國家災害防救科技中心
副研究員

李欣輯

Hsin-Chi Li

摘 要

氣候變遷的衝擊與調適，已是全球因應暖化威脅的重要防災課題。近年國際間已逐步研發各項因應氣候變遷之調適策略，增進暖化情境下的調適能力，藉以降低未來的災害衝擊。然而位處天然災害好發區域的台灣，氣候變遷帶來的威脅更較其他國家來的嚴重。為了探討適合台灣地區之氣候變遷調適方法，本研究彙整聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所歸納之三大調適面向及其相關細項，包括結構和物理性選項、社會性選項及制度面選項等，並搭配行政院經濟建設委員會(現為國家發展委員會)之國家氣候變遷調適政策綱領，再以大甲溪下游的淹水災害為例，進行氣候變遷所造成之淹水災害的調適策略分析。

依據國家災害防救科技中心(2016)，針對大甲溪流域在暖化情境之淹水衝擊分析，農業未來將是大甲溪流域內受淹水危害最大的類別。故本研究依據文獻歸納出適合台灣農業因應氣候變遷之災害調適策略，包括工程方法：改善排水、提高畦面高度、增加防洪措施或增強其結構強度等；非工程方法：農產產期調整及轉作其他作物、休耕等調適方法，並針對大甲溪下游因氣候威脅而增加的農業淹水災害，進行調適效益的評估，藉以提供合適的調適方法，減輕未來氣候變遷之衝擊。

關鍵詞：氣候變遷，淹水，調適，大甲溪。

ABSTRACT

The impacts and adaptations of climate change have become an important global

*通訊作者，國家災害防救科技中心專案佐理研究員，23143 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓，xiaohua@ncdr.nat.gov.tw

issues in response to the threat of warming. To reduce the negative affects of climate change, the international communities already developed some suitable adaptation strategies for coping with the climate-relate impacts in the future. Taiwan, which is located in a natural disaster-prone area, facing the threats of climate change are more severe than other countries. For discussing the suitable adaptation methods for Taiwan, this study gathers the adaptation strategies from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the national climate change adaptation policy program classified by National Development Council, to provide suitable methods to reduce the possible flood impacts caused by climate change.

Tachia River Basin was chosen for demonstration, due to its agriculture would be the most damaged industry in the end of century based on the research by National Science and Technology Center for Disaster Reduction (2016). The study provides some possible adaptations methods for agriculture disaster adaptation, including engineering methods (improving the drainage system, increasing farmland soil height, increasing flood protection facilities and enhancing structural strength) and non-engineering methods (adjustment of production schedule of agricultural products, transferred to other crops). Finally, the adaptation benefits will be evaluated to assess the effectiveness of the adaptation methods.

Keywords: Climate change, Flood, Adaptation, Agriculture, Benefit analysis.

一、前 言

近幾年地球因氣候變遷影響帶來的衝擊日趨明顯，對人類生活、生態環境等造成極大的影響，甚至間接對社會經濟造成衝擊。為了減少氣候變遷所帶來的負面影響，世界各國開始重視對於氣候變遷之調適策略，並且擬定各相關計畫，藉以強化各國之調適能力。

本研究依據聯合國政府間氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 所歸納之三大調適面向及其相關細項進行調適分類，大致包括結構和物理性選項 (Structural/physical)、社會性選項 (Social) 及制度面選項 (Institutional) 等三項，層面調適選項架構如表 1，可將其架構予以提供規劃調適策略時之參考依據。

結構和物理性選項強調的調適選項成果可

被明確定義時間、地點、類別等選項，因此工程及環境創造、技術、生態系統及服務等細項涵蓋在此項目中。在工程面部份有其限制性，若所參考氣候模式的假設情境改變，則規劃調適策略也必須因應轉變。另外，工程相關策略在結構壽命及付出之相關成本亦會影響其調適的效果。

社會性選項注重在弱勢族群的特定脆弱性的措施或規劃等，予以降低其脆弱性以及民眾之間的不公平。因此社會性選項主要包含教育、資訊、行為上的改變等，藉以提升人民在災害上的相關知識，幫助人們來改變生活適應威脅。

制度面選項則著重在經濟、制度等方面的相關措施來促進調適，相關的手段可能包含稅收的改變、相關財務補貼以及保險等安排，將這些手段透過政策和規定上來推動，藉以達到強化脆弱性進而降低災害發生風險。

表 1 IPCC 衝擊調適選項

類 別	細 項	說 明
結構和物理性選項	工程面和環境創造	工程面的技術、工程、跨領域的工程，例如像是堤防、污水處理、海堤等，或是現有構造物的強化。但是工程面同時也受到限制，包括未來環境的改變（包括氣變、人口增加等）、以及構造物本身防護的功用是有限的（防海浪、但可能造成生態危機）。
	技術面	綜合技術或新技術研發，包含工程與非工程技術的結合，因此不論是新科技、或是原始的技術都包含在內。
	生態系統基礎面	採用生物多樣性或是生態系統服務之調適策略，用來幫助人們適應氣候變遷帶來的不良影響。
	服務	社會系統或是各種團體提供服務，服務內容包含多元化之具體且可衡量的活動。
社會性選項	教育	有關災害知識的傳遞學習與交換、社區防災、以及相關活動等提升對災害的警覺以及知識。
	資訊	資訊的交換以及傳達，像是警戒資訊的傳遞、以及各種管道的傳遞等。
	行為	促使人們改變生活方式來適應威脅，例如蓋房子的時候蓋高一點防止淹水，節電獎勵等。
制度面選項	經濟面	與財務財金相關面的調適。
	法律和規範	制定相關法律、以及規定供大家遵守。
	政策和計畫推動	管理計畫制定、有效率的政府組織。

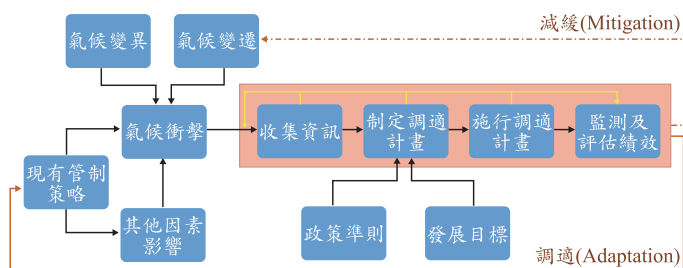


圖 1 UNFCCC 調適架構

二、文獻回顧

2.1 氣候變遷公約

為了對抗氣候變遷的負面衝擊，國際上積極推動相關行動及擬定氣候變遷公約。聯合國於 1992 年 5 月 9 日通過氣候變遷綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)¹ 並訂定調適架構，如圖 1 所示。往後分別在 1997 年 12 月初簽署京都議定書(Kyoto Protocol)及 2015 年 12 月初簽署巴黎協定(Paris Agreement)等氣候變遷綱要公約之子公約。

京都議定書主要著重於減量時程與目標之訂定，並於 2012 年 12 月 8 日在各國代表於卡達多哈召開之 COP18/CMP8 會議上達成協議，同意將京都議定書效期延長至 2020 年。京都議定書主要在管制六種溫室氣體(CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆)的排放，並制定「共同執行」、「清潔發展機制」及「排放交易」等三種彈性機制，以經濟有效及更具彈性之方式，履行其溫室氣體的減量承諾。

巴黎協定則涵蓋氣候變遷因應整體面向(架構如圖 2 所示)，包括減緩(Mitigation)、

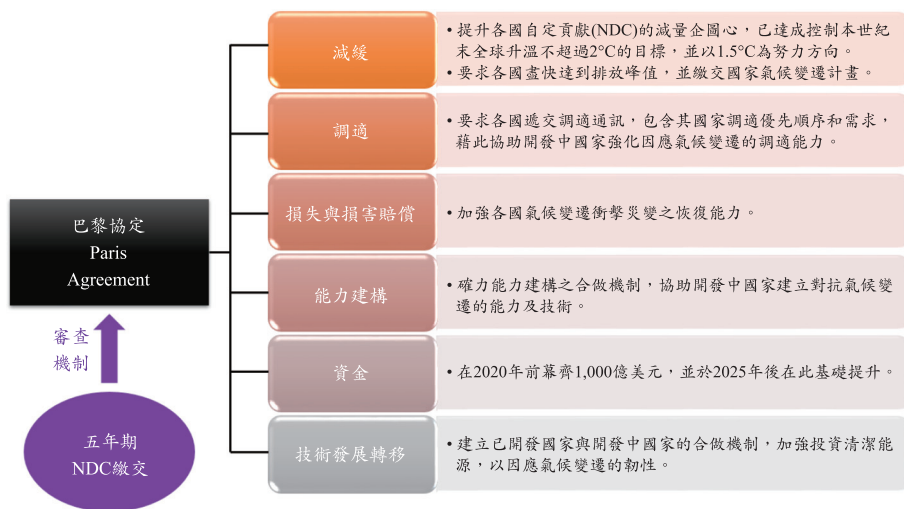


圖 2 巴黎協定架構(資料來源：行政院環境保護署，2012)。

調適(adaptation)、資金(finance)、能力建構(capacity-building)、技術發展移轉(technology development and transfer)等內容，並增列損失與損害(loss and damage)，開啟對受到氣候變遷衝擊影響之國家，進行損害賠償相關研究與討論。此會議通過 2020 年後由已開發國家投入每年 1,000 億美金綠色氣候基金承諾不變的決議，但也要求各國應履行其「國家自定貢獻」(Nationally Determined Contribution, NDC)，並規劃每 5 年對全球氣候行動總體進展進行盤點，提交報告及檢討，以提升減量企圖心。

2.2 各國氣候變遷調適策略

氣候變遷之相關研究及公約等國際間積極推動，在世界各國主要國家對於氣候變遷亦開始重視相關調適議題，參考行政院環保署(2013)氣候變遷調適行動方案及國家調適策略專案計畫期末報告、行政院經濟建設委員會(2012)國家氣候變遷調適政策綱領，各國氣候變遷調適策略簡介，並搭配各國相關網頁內容，針對美國、歐盟、韓國、日本及臺灣做相關調適策略簡述如下：

1. 美國

根據美國環保署－氣候變遷專頁(US Environmental Protection Agency, EPA)說明，在氣

候變遷影響下美國的調適對象分成三大部分：9 大區域、52 個州、9 大領域。9 大領域分為農業、海岸、生態、能源、森林、社會、運輸、水資源及人類健康等。可依據不一樣的層面去了解氣候變遷對美國各區域、各州或是各個領域之影響。

2. 歐盟

根據歐洲氣候變遷調適平台(European Climate Adaptation Platform)之說明，可了解歐盟之調適步驟為：選擇調適區域、評估風險和脆弱性氣候變遷、確定調適選項、評估調適選項、實施及監測和評價共六步驟。在調適選項部分是依據氣候變遷之影響及影響領域做選擇並歸納調適方向。氣候變遷對歐洲之影響分為七大類：乾旱、極端溫度、洪水、冰雪、海平面上升、風暴及水資源短缺等。影響領域分為十三類：農業、生物多樣性、房屋、沿海地區、降低災害風險、能源、金融、林業、健康、海洋與漁業、運輸、城市及水資源管理等。

3. 韓國

根據韓國氣候變遷調適中心(KACCC)韓國調適計畫共分為部門調適計畫及調適基礎計畫兩大部分，並遵循著聯合國開發計畫署(UNDP)調適政策架構(Adaptation Policy Framework, APF)(中華經濟研究院-能源環境研究中心，2008)，在

表 2 調適領域衝擊與挑戰

1	災害 (科技部)	• 降雨強度增加，提高淹水風險及導致嚴重之水土複合型災害 • 侵台颱風頻率與強度增加，衝擊防災體系之應變與復原能力等
2	維生基礎設施 (交通部)	• 重要維生基礎建設(橋樑、道路、水利、輸配電及供水設施)因區位不同，受到豪雨、水位上升等影響，所受災害類型及損失亦不相同
3	水資源 (經濟部)	• 降雨型態及水文特性改變，提高河川豐枯差異及複合型災害風險 • 氣溫及雨量改變，影響灌溉需水量、生活及產業用水量，使得水資源調度困難 • 河川流量極端化下，河川水質亦受影響
4	土地利用 (內政部)	• 極端氣候，使環境脆弱與敏感程度相對提高，突顯土地資源運用安全性重要性等
5	海岸 (內政部)	• 海平面上升，原有海岸防護工程、景觀及資源遭受破壞，並造成國土流失等
6	能源供給及產業 (經濟部)	• 能源需求發生變化，可能無法滿足尖峰負載需求 • 各產業之能源成本與供應受衝擊 • 企業之基礎設施受氣候變遷衝擊，引發投資損失或裝置成本增加等
7	農業生產及生物多樣性 (農委會)	• 溫度升高，降雨量不足等，打亂作物生長期，農產品產量及品質面臨不確定性，危及糧食安全；漁業生產力亦受影響等 • 環境變化，亦影響生態系原有棲地，造成生物多樣性流失等
8	健康 (衛服部)	• 溫度上升，升高傳染性疾病流行的風險，亦增加心血管及呼吸道疾病死亡率，加重公共衛生與醫療體系負擔

(資料來源：國家氣候變遷調適政策綱領，2012)

部門調適計畫部份，分為健康、防災、農業、森林、海岸、水資源及生物多樣性等七大領域，而調適基礎計畫部份，則強調氣候變遷基礎研究工作、新技術和新能源開發與國際合作。

4. 日本

日本環境省於 2007 年組成一「地球溫暖化影響・調適研究委員會」，分別提出糧食、水環境・水資源、自然生態系、防災・沿岸大都市、健康、國民生活・都市生活以及發展中國家等七大領域，並於 2008 年完成「氣候變遷下的聰明調適」，流程制定是依據氣候變遷綱要公約(UNFCCC)調適架構(圖 1)來訂定。則提出調適策略包含以下 10 大項：(1)促進區域性脆弱度的評價、(2)早期預警系統的引用、(3)依據不同層面的策略活用，如技術性、法制性或經濟性等層面、(4)有效活用長期或短期不同的觀點、(5)觀測結果的有效利用以確保調適策略的導入、(6)調適策略的主流化、(7)重視氣候變遷的緩和策略對環境、社會經濟帶來的相乘效應、(8)改善整個社會對保

險等經濟系統的調適能力、(9)相關組織的聯合與合作體制的建立、(10)人才的培育(行政院公共工程委員會，2009)。

5. 臺灣

根據行政院經濟建設委員會(2012)國家氣候變遷調適政策綱領之說明，臺灣地理特性與社會條件下，氣溫上升與降雨型態大幅度改變，可能造成各種衝擊影響，颱風、暴雨影響的洪災與坡地災害等；受各種災害破壞的維生基礎設施；水資源調度愈來愈困難；土地環境脆弱及敏感度提高；可能因海平面上升造成國土流失；能源供給與產業管理的風險越趨增加；糧食安全受到威脅以及生物多樣性的流失；傳染性疾病流行風險提高等，以上各種衝擊均不可忽視其嚴重性。故行政院經濟建設委員會提出之調適面向分為八大領域：災害、維生基礎設施、水資源、土地利用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性和健康等八大類，各調適領域衝擊與挑戰如表 2 所示。

表 3 淹水災害調適領域與衝擊

調適領域	衝擊與挑戰	衝擊細項	衝擊說明	調適需求或目標
災害	洪災	極端降雨強度增加提高淹水風險	衝擊防災體系的應變與復原能力	提高應變與復原能力，降低淹水風險
		暴潮發生機率增加	導致淹水機會與時間增加，海岸侵蝕作用變大	降低淹水機會與時間，減少海岸侵蝕作用
維生基礎設施	供水及水利系統衝擊	水利系統	衝擊力增加，導致堤防、抽水站、水門等水利設施造成損壞，而使其設備失效，進而引發淹水災害等	減少水利設備損壞
	交通系統衝擊	鐵路	低窪地區易淹水、山區易邊坡滑動崩塌，造成鐵路系統中斷	減少鐵路路段低窪地區淹水
		機場	暴雨引起跑到淹水，破壞機場設施等，甚至影響班次起降	減少機場跑道淹水及設施的破壞
	水文衝擊	降雨量、逕流量、蒸發散量	降雨量、逕流量、蒸發散量增加	降低地表逕流量
水資源	複合型災害風險提高	地下水入滲量	地下水入滲量漸減	增加入滲量
		未來極端降雨事件增加	洪水、土砂、浮木等複合型災害提高	降低複合型災害帶來的損失
土地利用	土地使用衝擊	都市地區	都市建物多為不透水面，增加大量地表逕流，排水系統易失去作用，導致汙水與衛生設施受衝擊；由於熱島效應也造成空屋等問題	降低淹水對建物之影響
	土地使用規劃與管理面臨的挑戰	都市計畫與非都市土地管制	因應氣候變遷，都市土地開發過度影響環境與生態系服務的衝擊，將使得非都市土地上人口與經濟活動更加脆弱	減少淹水對土地利用及環境之影響，並降低各土地之淹水機率
		風險分攤關係	各項議題的減緩或調適策略，均可能產生空間上的競合關係需透過地規劃、空間規劃	降低各土地之淹水機率
	降雨量變化所導致的旱澇災害之產業損失	水災導致機械設備及原料損毀	復原、重建及更新成本	減少設備及原料之損壞率
能源供給及產業	農業生產的衝擊	農業	造成農作物生產損失，且提高農業天然災害救助金與農作物價格，間接加重政府與消費者負擔。	減少農地淹水，降低農產損失
農業生產及生物多樣性	降雨	乾旱與水災提高	潔淨水不足增加接觸汙水機會，提高相關疾病風險	避免汙水導致相關疾病發生
健康				

2.3 各國氣候變遷調適策略之共同性與差異性

依據聯合國氣候變遷調適政策綱要(2008)之說明，可得知在聯合國開發計畫署(UNDP)調適政策架構(Adaptation Policy Framework, APF)上，是鼓勵參與國家在依據特定的地理區域或在國家經濟重要的部門(例如農業、森林、水資源、交通、沿岸地區管理、公眾健康、生態體系管理和風險管理)，進行問題界定與國家調適策略之發展。由上述 5 個國家調適政策大綱來看，大多是遵循 UNDP APF 之政策精神，再依據各國實際情況進行修改或延伸，並進一步研擬適合每個國家之調適政策。

上述國家發展的調適策略，除了均遵循 UNDP APF 之政策精神外，在實際的操作架構下亦有許多類似之處，其中特別是上述多數國家為顯示對氣候變遷調適策略的重視，均已研擬相關法令來輔助落實。例如：日本於京都議定書後成立「地球溫暖劃推進本部」，成立相關審議會、計畫或組織，並早於 1998 年通過「地球溫劃對策推進法」規定各類溫室氣體之排放減量目標。韓國特

別成立「氣候變遷調適中心(KACCC)」直屬於總統，統整與氣候變遷相關之研究與政策，並訂定國家氣候變遷調適計畫，亦於 2008 年及 2009 年先後公布「韓國因應氣候變遷基本方案」及「2009 年韓國氣候變遷對策基本法」等相關法令。歐洲則由歐盟委員會進行相關行動與決策，且擬訂了計畫如「European Climate Change Programme (ECCP)」，針對溫室氣體排放量制訂了相關政策與措施。美國則於 2013 年推動「全國氣候變遷行動計畫」，包括氣候變遷緩解與調適兩部分行動。台灣地區則於 2017 年由行政院正式核定「溫室氣體減量及管理法」，為我國推動氣候變遷調適策略的重要里程碑。

由上述回顧可得知各國對於氣候變遷調適策略的重視，設立領導機關並執行相關計畫與法令，但實際操作細節會依不同的國家之地理環境或經濟條件而有所差異。例如美國因地理空間較廣，調適對象除了針對各領域，亦依據空間尺度必須分成 9 大區域及 52 個州；歐盟有較多處高緯度國家，氣候變遷災害的定義上影響類別故包

表 4 淹水災害相關衝擊可能調適方法與目的

類別	細項	說明
結構和物理性選項	工程面和環境創造	工程面的技術、工程、跨領域的工程，例如像是堤防、汙水處理、海堤等，或是現有構造物的強化。但是工程面同時也受到限制，包括未來環境的改變（包括氣變、人口增加等）、以及構造物本身防護的功用是有限的（防海浪、但可能造成生態危機）。
	技術面	綜合技術或新技術研發，包含工程與非工程技術的結合，因此不論是新科技、或是原始的技術都包含在內。
	生態系統基礎面	採用生物多樣性或是生態系統服務之調適策略，用來幫助人們適應氣候變遷帶來的不良影響。
	服務	社會系統或是各種團體提供服務，服務內容包含多元化之具體且可衡量的活動。
社會性選項	教育	有關災害知識的傳遞學習與交換、社區防災、以及相關活動等提升對災害的警覺以及知識。
	資訊	資訊的交換以及傳達，像是警戒資訊的傳遞、以及各種管道的傳遞等。
	行為	促使人們改變生活方式來適應威脅，例如蓋房子的時候蓋高一點防止淹水，節電獎勵等。
制度面選項	經濟面	與財務財金相關面向的調適。
	法律和規範	制定相關法律、以及規定供大家遵守。
	政策和計畫推動	管理計畫制定、有效率的政府組織。

含了冰雪部分。臺灣與日本屬島國國家，多山且平地面積較少，坡災與洪災以及水資源等為島國國家較重視之相關議題。

三、淹水災害之調適方法

依據前一章節文獻回顧的部分，得知各國對氣候變遷的重視程度。雖然各國家依區域及環境在調適議題上有些不同，但水災及農業災害均是各國調適的重點。因此，如何減輕氣候變遷造成的農業或糧食損失，將是未來農作物防災調適的重要議題。然而對於洪災頻傳的台灣地區而言，洪患的衝擊已是國內常態性的災害，故如何提早擬定調適策略，減輕未來氣變的影響，將是我國未來重要的防災課題。

根據國家災害防救中心(2016)研究指出，氣候變遷下極端降雨事件發生機率愈來愈頻繁，相對也愈容易造成更多的淹水災害。本研究依據臺灣國家氣候變遷調適綱領之調適領域及衝擊項目，將淹水可能衝擊與調適領域進行彙整，並歸納淹水災害可能影響到的所有領域，包含災害、維生基礎設施、水資源、土地利用、能源供給及

產業、農業生產及生物多樣性和健康等七大領域，接著針對綱領內之各領域淹水災害衝擊、衝擊細項及說明進行彙整，並擬定每一項目相關的調適需求與目標，如表 3 所示。由表 3 可清楚看出在國家氣候變遷調適政策綱領內所歸納的淹水災害相關內容。除了台灣自訂的相關衝擊與調適內容外，亦希望能將其內容與 IPCC 所提出的調適策略做進一步的整合。故將表 3 彙整之衝擊與各項調適目標，依據 IPCC 提出之調適策略的面向和細項(表 1)，彙整如表 4。

本研究最後再根據表 4 之淹水災害相關衝擊調適方法與目的，針對「大甲溪流域之農業用地淹水」之可能調適方法進行篩選，例如改善農地排水、提高畦面高度、休耕、轉作等項目；並列舉出相關策略較適合之農產種類，並提供可能執行之辦法與效益，統整後即得到表 5 之農業用地淹水可能調適方法，並分類成工程與非工程的調適方法。之後再針對不同地區進行相關農業淹水可能調適方法進行評估，選取適應當地之可能調適策略。上述本研究相關調適方法擬定步驟流程圖，如圖 3。

表5 大甲溪流域農業用地淹水災害可能調適方法

調適方法	策略	適用農產種類	策略執行辦法與效益
工程方法			
1.改善排水	→改善排水、雨水下水道等系統	→稻作、果樹	→依據海綿城市之概念，增加鋪面入滲量；增建蓄水池等增加蓄水能力，予以減少農產損壞之機率
2.提高畦面高度	→將畦面高度提升(ex:提升10-60cm等)	→旱作	→將旱作畦面高度提升25cm，予以減少淹水面積
3.增建防洪設施或增加其結構強度	→都市區公園或荒地增設滯洪池、抽水站等防洪設施	→稻作、果樹、旱作	→依據大甲溪流域判定，可擬定較適合位址設立抽水站，降低淹水災情
非工程方法			
4.農產產期調整或轉作其他作物	→將作物產期避開汛期或將易淹水用地轉作	→稻作、果樹、旱作	→將產期調整避開汛期，藉此降低淹水機率；將較易形成淹水深度較深之用地改為種植菱角、蓮花池等進行轉作
5.休耕	→特定易淹水農地鼓勵休耕，並給予補貼等	→稻作、果樹、旱作	→針對1公尺以上之淹水深度農作區域進行休耕，並依據2016年農委會修訂，1公頃補助9萬，每年每戶休耕面積以3公頃為上限，可達到農地恢復之效果
6.訂定土地保護區	→劃定土地保護區域	→稻作、果樹、旱作	→徵收土地程序依據行政院內政部訂定之條例辦理，可使保護區域回復原有生態，減少淹水災害

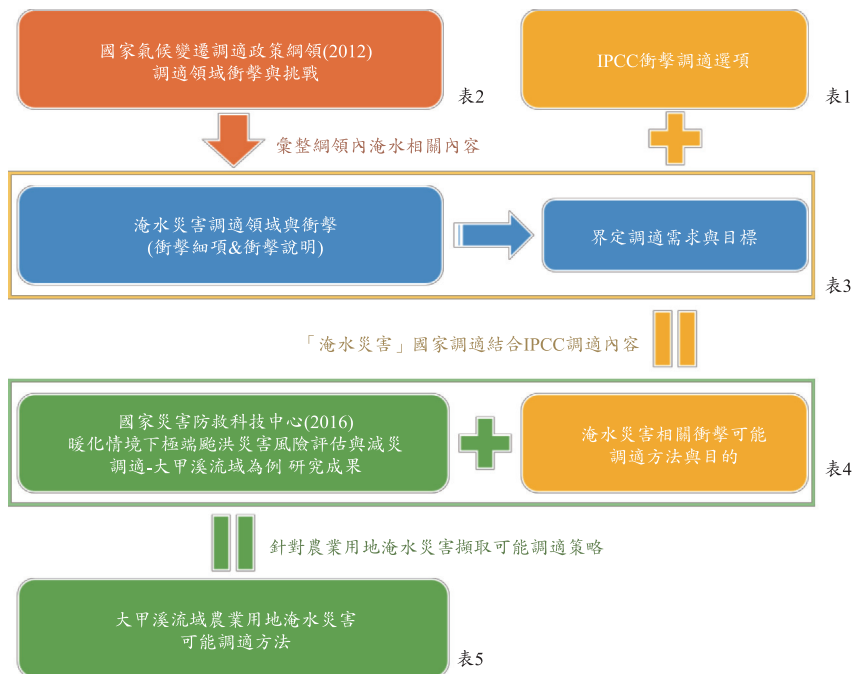


圖3 調適方法擬定步驟流程圖

四、淹水災害調適分析與應用

4.1 氣候變遷下大甲溪流域下游淹水境況模擬成果

根據國家災害防救科技中心(2016)「暖化情境下極端颱風災害風險評估與減災調適-以大甲溪流域為例」研究，針對氣候變遷下颱風事件進行淹水境況模擬。使用之氣候資料是依據日本氣象廳之動力降尺度資料(MRI-WRF)所產製 5 公里空間解析度之 AR5 氣候資料，進行未來極端颱風情境之衝擊評估。文中從 20 世紀末期(1979 年至 2003 年)共 87 場降雨事件及 21 世紀末期(2075 年至 2099 年)共 43 場降雨事件中，挑選總雨量排序前 10%極端颱風事件(20 世紀末：8 場，21 世紀末：4 場)進行 SOBEK 模式淹水模擬分析。研究中所運用之 SOBEK 模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發，模式中包含降雨逕流、渠流及漫地流等運算模組，大甲溪流域模組為經濟部水利署提供，使用之空間解析度為 40 m × 40 m。

由其淹水境況模擬成果可看出 21 世紀末期淹水情況較 20 世紀末期嚴重，平均淹水面積所佔比例提高約 3.7%。依據內政部提供之土地利用九大分類進行分析，將兩個時期前 10%淹水衝擊模擬場次之成果進行九大類用地淹水分佈平均(如圖 4)，從比較成果可得知淹水面積在大甲溪流域以林業、農業及水利設施為主要的災損類別，尤其在農業部分，20 世紀末至 21 世紀末平均淹水面積約增加 644 公頃，為所有土地利用類別中增加幅度最大的類別，可見在未來極端降雨事件可能對此地區農業造成較大的衝擊。

在此研究中亦依據上述三項主要災損土地利用損失類(林業、農業及水利)進行分析比較，其中林業細分為人工林及天然林兩類；農業使用土地分成農業、水產、畜牧及農業附帶設施四類；最後水利設施細分為河道、溝渠、水利構造物及防汛道路四類。並依據上述用地分類，應用臺灣颱風損失評估系統，簡稱 TLAS(李欣輯等，2013)，進行各項用地於不同淹水規模下之直接經濟損失評估。TLAS 之損失模組是國家災害防

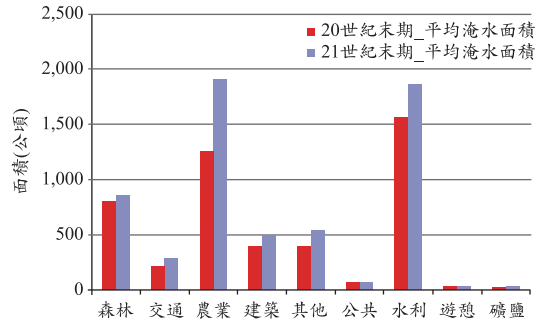


圖 4 土地利用分類平均淹水面積比較

救科技中心從 2005 至今依據歷年颱風災害之災損調查資料，及國內各部會歷年災損統計資料所建立之迴歸損失模型，共包括影響人數、土地流失、住宅損失、農林漁牧損失、工商服務損失、公用建物損失、交通及水利設施損失等模組。其中損失計算所用的土地利用圖層，是依據國土測繪中心公佈的調查圖資，此圖資將全台土地分成 9 大項(細分 103 小項)，包括農業、森林、交通、水利、建築、公設、遊憩、礦業及其他 9 項。各大項土地利用面積的精度依據不同土地利用的屬性而不同，住宅用地的精度最高，可達單一住宅面積大小(約 5 m × 5 m)的精確度。

TLAS 的計算流程中，會依據淹水範圍所影響的土地利用分類(因為分類不同，因此計算沒有重疊的問題)，自動帶入對應的損失模式，各模組的計算公式如表 6 所示。例如屬於住宅用地上的住宅淹水就帶入住宅損失模組，農業用地上的作物淹水帶入農業損失模式。等各模組計算完後，系統會將其加總產出最後的總損失。

最後依 TLAS 的計算結果(圖 5)，可看出在三類不同土地中損失最大為農業用地、其次為水利用地，林業用地損失面積雖大，但損失值卻為最小。以農業用地來看，四項分類中，就以農作的損失最多，其中 21 世紀末期的農作損失(447 百萬元)為 20 世紀末期損失值(231 百萬元)的 1.93 倍，顯示 21 世紀末的極端颱風事件對農業的衝擊是非常顯著。以水利用地來看，主要損失為河道周邊設施，但相較於農損來說算是較為輕微。

表 6 TLAS 損失計算模組(李欣輯，2013)

模組	計算公式	損失參照資料
影響人數估算模組	$INP = \sum_{i=1}^N HN_i \times IA_i$ INP: 影響戶數 HN_i: 住宅門牌點位(戶) IA_i: 影響範圍 i: 縣市類別	內政部之門牌點位資料(99年、100年、101年)
土地流失模組	$LL = \sum_{i=1}^N LV_i \times LLA_i$ LL: 土地損失(元) LV: 土地價值(元/平方公尺) LLA: 影響面積(平方公尺) i: 土地類別	1.各縣之土地公告現值 2.參考文獻：(Liu, 2009)
住宅損失模組(水災)	$Ln(\text{水災損失}) = 0.421 + 1.875Ln(\text{淹水深度}) - 1.06(\text{房屋自有}) + 0.736Ln(\text{家戶人口數}) + 0.637Ln(\text{淹水延時}) - 0.834(\text{住居類型}) - 0.028(\text{居住年數}) + 1.159Ln(\text{收入})$	1.NCDR 自行研發之水災模組 2.參考文獻：(Li, 2008)
農林漁牧模組	$CL = \sum_i \alpha_i [CPA_i \times CLA_i]$ CL: 地上(作)物損失(元) CPA_i: 單位面積地上(作)物價值(元/平方公尺) CLA_i: 地上(作)物受影響面積(公頃) α_i: 修正係數 i: 地上物類別	1991-2011 重大颱風災害農林漁牧損失資料(農委會)
工商服務模組	$ICL = \sum_i \alpha_i [ICP_i \times ICLA_i]$ ICL: 工商損失值(元) ICP_i: 單位面積產值(元/平方公尺) $ICLA_i$: 工商用地受影響面積(平方公尺) α: 修正係數 i: 工商類別	2001、2006、2011 年之工商業普查資料(主計處)
公用建物模組	$BL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_i [BC_{ij} \times BLA_{ij}]$ BL: 公用建物損失(元) BC_{ij}: 建築成本(元/平方公尺) BLA_{ij}: 公用建物受影響面積(平方公尺) α_i: 修正係數 i: 縣市類別 j: 建物類別	1.2001-2011 年台灣地區住宅類建築造價參考表(中華民國產物保險商業同業公會) 2.參考文獻：(Liu, 2009)
交通及水利設施模組	$THL = \sum_{i=1}^N \alpha_i [SUC_i \times SLN_i]$ THL: 交通及水利設施損失(元) SUC: 結構物單位成本(元/公尺或元/平方公尺) SLN: 結構物受損單位(公尺或平方公尺) α_i: 修正係數 i: 結構物類別	1.歷年颱風事件工程復建經費(公共工程委員會) 2.88 風災後各地水利會搶修復建工程經費 參考文獻：(Liu, 2009)

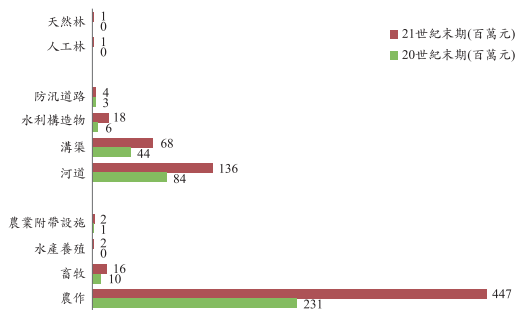


圖 5 三類土地利用損失計算結果

依據此研究分析結果，21 世紀末期淹水衝擊最大面積之三項土地利用中，損失最大為農業用地，其中又以農作為主要災損項目，因此大甲溪下游未來若要進行淹水災害衝擊的調適，農業應為主要考量標的。

4.2 農業災害衝擊分析

根據 4.1 節研究成果可得知大甲溪流域在氣候變遷下極端降雨事件造成農業用地淹水面積

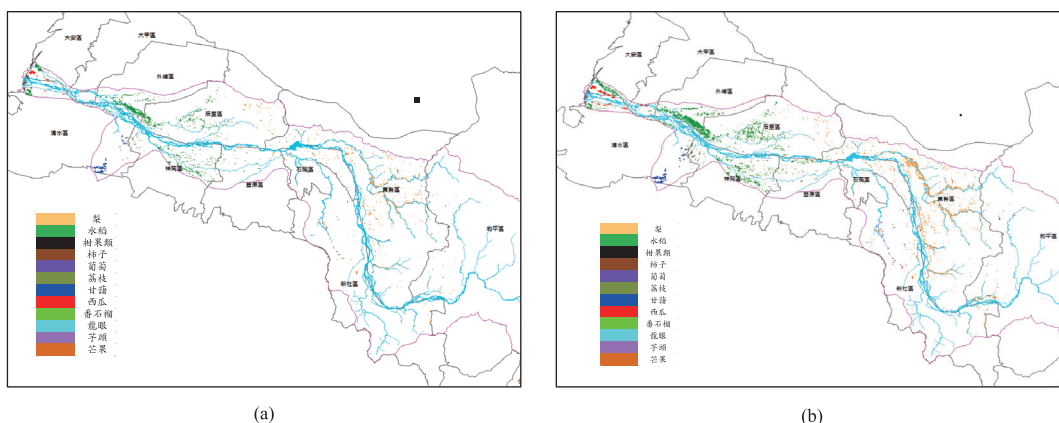


圖 6 大甲溪流域下游 12 項農業作物淹水分佈圖(a) 20 世紀末期 TOP1 (b) 21 世紀末期 TOP1

表 7 大甲溪流域主要 12 項農業作物 TOP1 事件淹水面積比較表

編號 (面積排名)	圖例顏色	農產	類別	占地面積 (公頃)	淹水面積(公頃)	
					PD_TOP1	FU_TOP1
1		梨	果樹	1732.8	154.1	306.6
2		水稻	稻作	1286.5	306.5	583.0
3		柑果類	果樹	527.6	29.2	57.2
4		柿子	果樹	448.9	11.0	17.2
5		葡萄	果樹	188.7	8.2	17.3
6		荔枝	果樹	185.5	13.2	21.7
7		甘藷	旱作	111.4	42.0	49.0
8		西瓜	旱作	81.2	20.9	54.5
9		番石榴	果樹	7.5	1.9	3.6
10		龍眼	果樹	7.1	1.5	2.6
11		芋頭	旱作	5.8	1.8	2.8
12		芒果	果樹	3.4	0.8	1.2
12項農產淹水總面積					591.0	1116.6

最多且災損最為嚴重，在未來可能造成更大的衝擊。過去歷史事件也有因颱風災害造成農業損失慘重之案例，例如 2009 年莫拉克颱風，依據台中縣(現今已併入台中市升格為直轄市)各鄉鎮市提報農損種類高達約 18 種。在大甲溪流域內和平區之雪梨、新世紀梨造成大面積落果，預估面積為 450 公頃，損失金額為 7000 餘萬元；大甲區、外埔區、大安區、后里區等之芋頭大規模浸水損壞，合計預估受損面積為 240 公頃，受損金額為

1200 餘萬元(資料來源：大紀元新聞 2009 年 8 月 9 日莫拉克專題報導)。

依據國家災害防救科技中心(2016)研究成果，比較 20 世紀末期與 21 世紀末期最嚴重淹水境況場次(TOP1 場次)在大甲溪流域研究試區內之重要相關農業用地(梨、水稻、柑果類等 12 項農作)之淹水面積變化，由圖 6 可明顯看出兩時期之 TOP1 場次在農業用地淹水分佈有明顯增加的情況，並且由表 7 得知 21 世紀末期 TOP1 場次

農地淹水面積約為 20 世紀末期 TOP1 場次之淹水面積的雙倍。

因此搭配 3.2 節表 5 農業用地淹水災害相關衝擊調適方法與目的，針對大甲溪流域農業淹水災害部分相關之調適方法進行彙整，將其可能調適方法歸納為工程及非工程方法兩類，且評估相關策略之執行辦法，亦將適用農產種類分別歸類，藉此達到降低淹水災害來減少農業損失之調適效益。本研究之調適效益是指基於現況，在「無」及「有」執行調適策略時，面對同樣的衝擊所造成損失之差值(無執行調適策略的損失扣除調適後的損失)，即定義為調適效益。例如：當執行調適策略後，造成的損失較無執行調適策略的損失來小，即表示調適效益為正值；反之，若差值為負，即表示調適效益為負值。最後根據表 5 之大甲溪流域農業淹水可能調適策略，以便能提供給當地農民與決策者作可能調適之選擇，進一步有效達到降低農業損失之效果。

4.3 農業用地淹水災害調適方法應用

由 4.2 節可得知，在國家災害防救科技中心(2016)研究內，氣候變遷下大甲溪流域農業用地造成之淹水災害可能較為顯著，因此依據表 5 內容之工程方法及非工程方法兩大類挑選一種調適方法進行相關調適應用。下列案例使用之農業用地範圍與農產品分佈面積為農業試驗所 2015 年產製資料，並無考慮土地利用狀況時間變動之情形。

1. 農業淹水調適-工程方法：提高畦面高度

將大甲溪流域主要農作篩選，其旱作類較怕淹水之作物有甘藷、西瓜等，調適執行案例為將其用地平均提高畦面高度 25 cm、畦溝下挖 25 cm (如圖 7)，分別比較 TOP1 事件之 3 種旱作調適前後淹水面積差異及調適效益(如圖 8 所示)，甘藷的淹水減少比例兩場事件皆有到達 25% 以上，西瓜部分調適效益約 12% 至 18% 左右，兩者作物比較可看出甘藷對於此工程方法之調適效益有較為顯著的效果。由上述應用成果得知，其工程方法可有效的降低旱作用地淹水面積，則應用此方法時，畦面所提高之高度及畦溝下挖深度



圖 7 工程方法：提高畦面高度示意圖

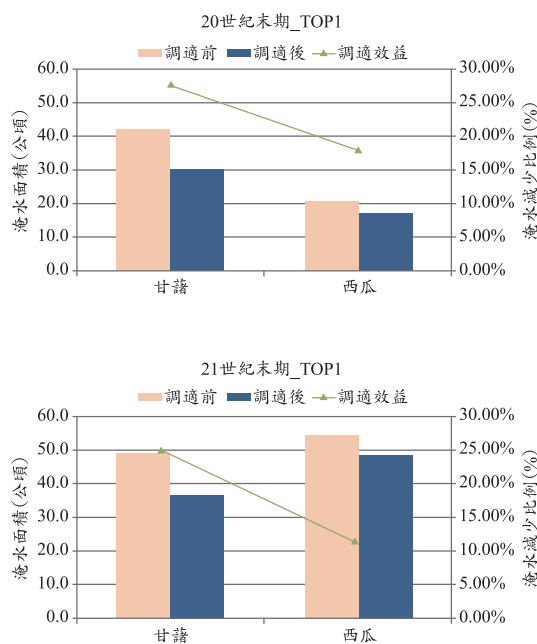


圖 8 提高畦面高度調適前後比較圖

依據當地情況及作物種類做調整，即可達到最適應的調適效果。

2. 農業淹水調適-非工程方法：休耕

非工程方法調適案例執行辦法以主要 12 種農作用地淹水達 1 m 以上實行休耕，並給予補貼。1 公頃 1 年補助 9 萬元，每戶補助休耕地面積已 3 公頃為上限。並在此案例設兩點假設，第一為每戶皆無到達上限，全數休耕地予以補助；第二為休耕地已恢復地力，且無淹水災情發生。

調適案例執行成果(圖 9)可看出 20 世紀末期 TOP1 調適前後淹水減少比例約 28%；21 世紀末期 TOP1 則減少約 47.1%。由此成果可了解其調適方法可得到較高的成效，但在此兩場休耕地分別約為 165.4 公頃及 525.7 公頃，依據上述案例執行辦法換算一年補助金額分別為 1,489 萬元及 4,731 萬元，在這麼高額度的補助款上，是否符合

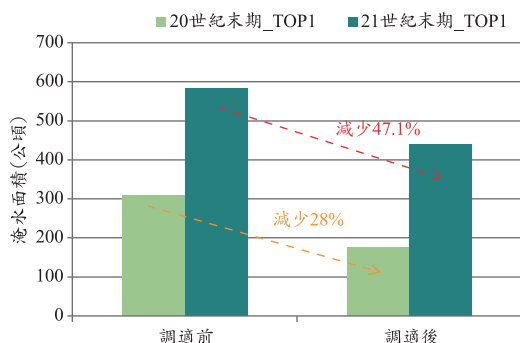


圖 9 休耕調適前後比較圖

經濟效益還有待評估。

上述非工程方法案例較不符合經濟效益，可輔以其他配套措施，例如將局部淹水深度較深的休耕用地，輔導轉作，改種植如菱角、蓮花池等水生農作，藉以有效利用農地，同時減少調適成本。但轉作需經過專業審慎的評估，若可執行轉作，將提升其農產產值，並使農業用地更有效的運用。

五、結 論

依據大甲溪流域洪水境況模擬成果可看出 21 世紀末期較 20 世紀末期平均淹水面積所佔比例提高約 3.7%，在農業用地淹水面積增加約 644 公頃，為所有類別增加最多者，且經過災損分析後，亦得到農作的損失最多，其中 21 世紀末期農作損失(447 百萬元)為 20 世紀末期損失值(231 百萬元)的 1.93 倍。依據本研究之成果，如何推動大甲溪下游之農業淹水災害的調適，將是未來重要的災防標的。

據此本文根據氣候變遷調適綱領及 IPCC 調適選項，提出整理出大甲溪流域農業淹水災害衝擊之調適方法，其中包括工程方法(提高畦面高度)及非工程方法(休耕)種。結果得知投入成本較低的工程方法，適度將畦面提高及畦溝下挖，可減

災旱作之淹水面積高達 12%至 25%，將可有效的降低氣候變遷對農作物水害的衝擊，進一步達到降低農業之受災風險及損失。

參考文獻

1. European Climate Adaptation Platform:
<http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/home>
2. Korea Adaptation Center for Climate Change, KACCC:
http://ccas.kei.re.kr/english/eng_index.do
3. The United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2013: The Physical Science Basis, IPCC Working Group I Contribution to AR5, 2013.
4. US Environmental Protection Agency, EPA:
<https://www.epa.gov/>
5. 中華經濟研究院-能源環境研究中心(2008)，聯合國氣候變遷調適政策綱要。
6. 行政院公共工程委員會(2009)，日本氣候變遷調適策略參訪心得。
7. 行政院環保署(2013)，氣候變遷調適行動方案及國家調適策略專案計畫期末報告。
8. 行政院經濟建設委員會(2012)，國家氣候變遷調適政策綱領。
9. 李欣輯、陳怡臻、郭玫君(2013)，臺灣颱風災損評估系統之建置與應用，農工學報，第五十九卷，第四期，第 42-55 頁。
10. 國家災害防救科技中心(2016)，暖化情境下極端颱風災害風險評估與減災調適-以大甲溪流域為例。

收稿日期：民國 107 年 3 月 31 日

修正日期：民國 107 年 9 月 21 日

接受日期：民國 107 年 10 月 8 日