

氣候變遷對梅雨的影響 — 未來預測

2023.11.28 碩一 莊愷恩

一、何謂梅雨？

梅雨，是東亞地區獨特的天氣現象，為東亞地區冬季東北季風與夏季西南季風的轉換期。於梅雨期間地面天氣圖上常有一道緩慢移動或近似滯留的鋒面，此梅雨鋒面的生成與兩個勢力相當的冷暖氣團相互對峙有關（圖 1），在天氣圖上，梅雨鋒面時常以滯留鋒面的形式登場，鋒面滯留的區域就會有長時間的雨勢。從衛星雲圖上看則可以明顯看到有一雲帶伴隨鋒面（圖 2），由日本南部一直延伸到中國內陸。

梅雨期間雨量特別豐富，並因適逢長江中下游一帶梅子成熟時期連綿降雨，故稱梅雨；又因梅雨期持續陰雨天氣，使空氣潮溼，物品容易發霉，故亦稱霉雨。臺灣、日本及韓國均有梅雨現象發生，國際間直接以 Mei-yu 或是 Plumrain 稱之。（參考自綠色和平氣候與能源專案小組-什麼是梅雨季？為什麼有空梅？圖解梅雨如何形成，除了解乾旱也可能淹水？^[1] 和交通部中央氣象署臺灣氣候現象全書下載- 22.梅雨是臺灣獨有的天氣現象嗎？^[2]）



圖 1：梅雨綜觀天氣圖。梅雨主要因冷暖氣團勢力相當，形成滯留鋒面，為滯留區域帶來長時間的雨勢。（摘自綠色和平氣候與能源專案小組-什麼是梅雨季？為什麼有空梅？圖解梅雨如何形成，除了解乾旱也可能淹水？^[1]）

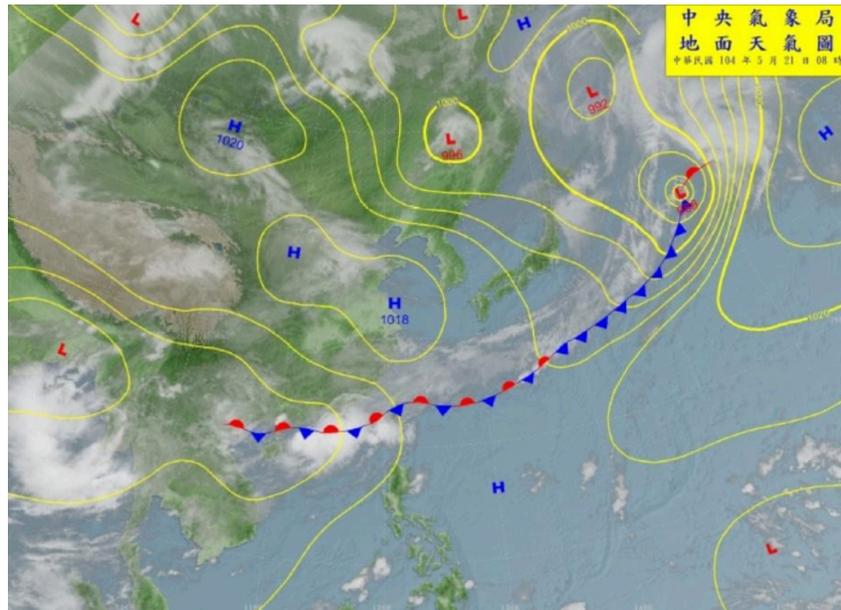


圖 2：梅雨期的地面天氣圖。此圖時間為 2015 年 5 月 21 日 08 時。(截自交通部中央氣象署-臺灣氣候現象全書下載-圖 3-3 [2])

二、梅雨的起始與結束？

在前面提到說梅雨為東亞地區冬季東北季風與夏季西南季風的轉換期，大家也都熟知梅雨季就是在 5、6 月這個時期，但究竟為何會是 5、6 這兩個月呢？

梅雨季降雨指標以高低層風場差值為定義。在梅雨季期間，當此指標數值轉為正值，臺灣降下豪大雨的機會明顯增加。圖 3 為西元 1949 年至 2020 年氣候平均狀態的統計資料，顯示梅雨季雨期肇始日期最早發生於第 25 候

(5/1~5/5)，分別為 1951 年、1974 年、1994 年 和 2008 年，雨期肇始日期最晚為 2018 年，發生於第 32 候 (5/31~6/4)。因此根據上述結論，最終定梅雨季為大家廣為熟知的 5、6 月份。其中梅雨季雨期肇始日期的逐年變化顯示並無明顯的長期趨勢演變。(參考自交通部中央氣象署臺灣氣候現象全書下載- 23.臺灣的梅雨通常什麼時候會開始下？[2])

因梅雨的時間處在東亞地區季風轉換時期，因此其與季風密切相關。Tung et al. (2020)^[5] 表示梅雨與東亞夏季季風 (East Asian summer monsoon, 簡稱 EASM) 的生命週期特徵吻合，即圖 4 所顯示的一個明顯降水時間序列，依序為活躍(Active)– 休息(Break)– 復興(Revival)– 退卻(Retreat)。在東亞夏季風的活躍階段，在臺灣被稱為“梅雨”，其特點即為降雨量大幅增加。

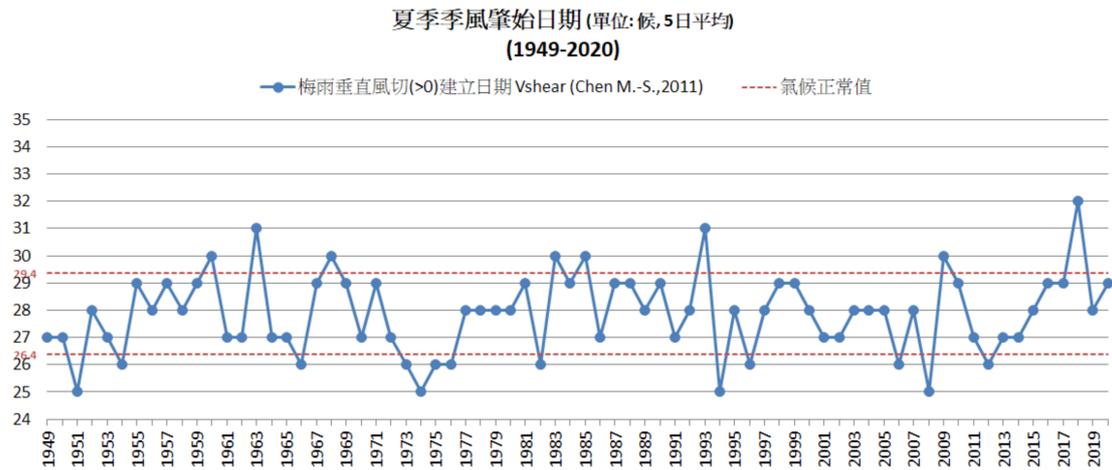


圖 3：1949-2020 年臺灣梅雨季雨期肇始日期。(截自交通部中央氣象署-臺灣氣候現象全書下載-圖 3-4 [2])

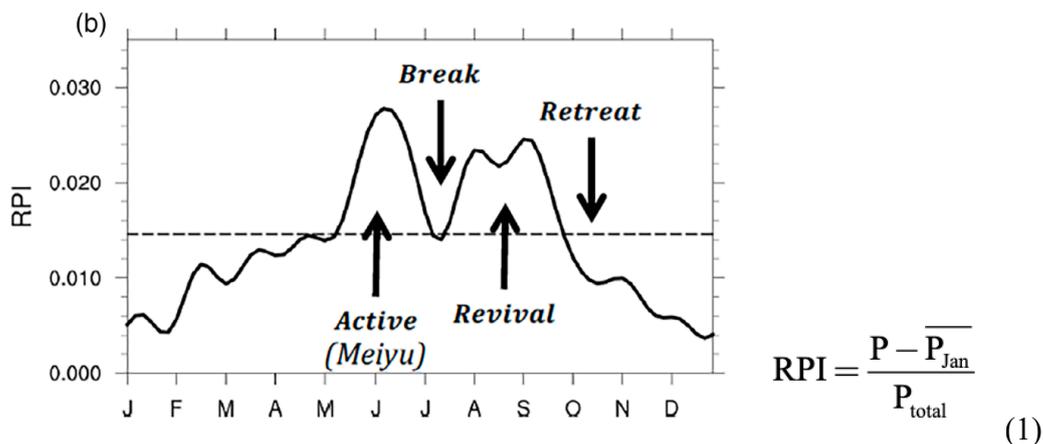


圖 4：1981 至 2000 年五天平滑的平均降水量，呈現東亞夏季風 (EASM) 生命週期的四個階段。選取範圍為臺灣周遭 (21.25-26.25°N, 118.75-122.5°E)。其季風降水指數 (RPI) 依照 Tung et al. (2014) 之計算方式，每個網格中的降水量減去 1 月的平均降水量 ($P - P_{Jan}$)，再透過其所有網格進行歸一化，最終除以年降雨量 (P_{total}) 以獲得觀測和模擬的季風降水指數 (RPI) 之比 (equation 1)。
(截自 Tung et al. (2020) [5])

三、梅雨為何重要以及他所帶來的降雨？

5 月中旬至 6 月中旬，夏季西南季風逐漸建立，季風提供的豐沛水氣，可以使梅雨鋒面上的降雨雲系發展得更加旺盛，所以鋒面侵襲的區域常有較大雨勢。其中臺灣梅雨季的雨量分布受中央山脈的影響很大，因西南季風的建立，因此迎風面的西部地區雨量會遠多於東部地區。而梅雨季豪雨發生頻率，中央山脈西側約為東側的 2 至 4 倍，最大頻率發生在臺南至阿里山一帶，而高山地

區發生豪雨的機會也高於平地及離島。以 5 月至 6 月臺灣累積雨量圖（圖 5）來看，氣候平均狀態下雨量最多的地方是中南部山區，東部地區的雨量則相對較少。（參考自綠色和平氣候與能源專案小組-什麼是梅雨季？為什麼有空梅？圖解梅雨如何形成，除了解乾旱也可能淹水？^[1] 和交通部中央氣象署臺灣氣候現象全書下載- 24.梅雨季時哪裡的雨最多？^[2]）

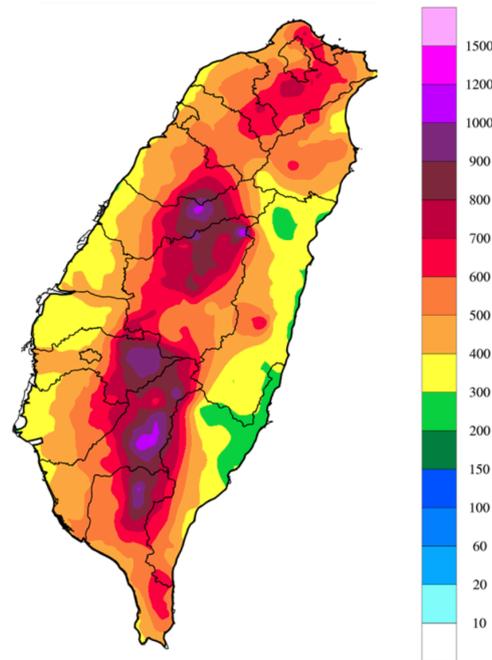


圖 5：臺灣 5 至 6 月氣候平均（1949-2020 年）累積雨量圖，單位為毫米。（截自交通部中央氣象署-臺灣氣候現象全書下載-圖 3-5 ^[2]）

梅雨的特點是降雨量大幅增加，它往往是漫長旱季後的首次大量湧入的水，為農業、工業和住宅用水提供了急需且重要的水資源。梅雨到來至關重要，它可以緩解乾旱狀況，就像 2015 年梅雨的到來結束了臺灣自 1948 年以來最嚴重的乾旱。

然而，梅雨也會伴隨著極端降雨和洪水，常常造成嚴重災情，例如 2017 年 6 月 2 日，梅雨鋒帶的一場暴雨在臺灣新北市三芝區 12 小時內累積雨量高達 641 毫米，其中豪雨期間前 20 名累積降雨皆發生在中南部山區，第一高為高雄市桃源區南天池雨量站達 1,446 毫米，次高為嘉義縣阿里山鄉阿里山雨量站達 1,326 毫米（圖 2）。此梅雨事件淹沒了臺灣的兩個鄉鎮，以及造成全臺農業損失總金額高達 2 億 7115 萬元（參考自 NCDR 全球災害事件簿^[4]）。



圖 6：2017 年 6 月 1 日豪雨之重點災情。(摘自 NCDR 全球災害事件簿^[4])

四、梅雨的未來預測

Tung et al. (2020)^[5] 對於氣候預測使用了世界各氣候中心第五階段耦合模式對比計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, 簡稱 CMIP5) 模式進行未來氣候變遷的推估模擬。圖 7 為 CMIP5 中 17 個模型之模擬平均結果, 顯示臺灣梅雨降水量將增加。

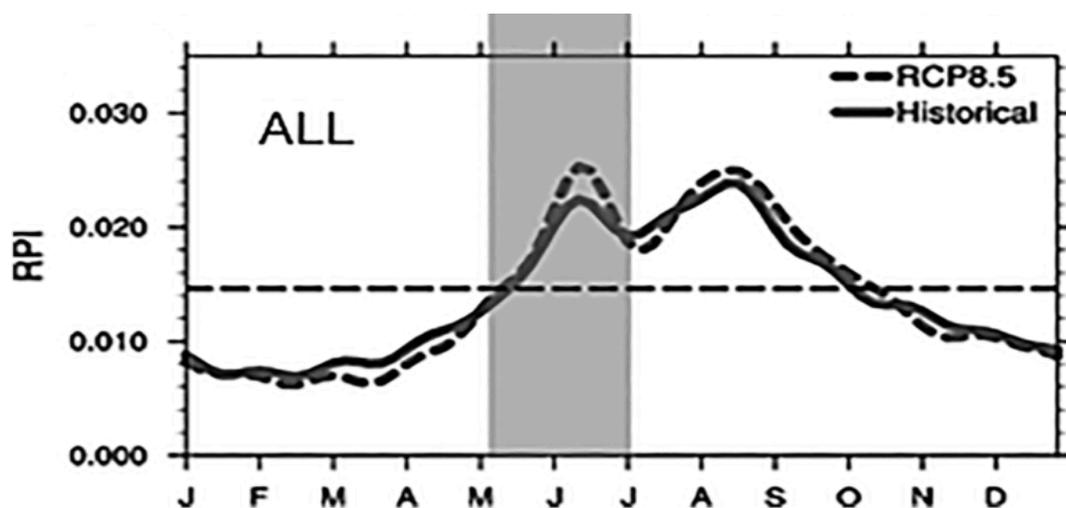


圖 7：由 CMIP5 17 個模型模擬平均結果之歷史 (實線) 和 RCP8.5 (虛線) 情境的降水。灰色陰影區為梅雨期。歷史氣候模擬 (Historical) 採用 20 年 (1981-2000) 之平均, 未來於 RCP8.5 情境下之氣候預測 (RCP8.5) 採用 20 年 (2081-2100) 之平均。(摘自 Tung et al. (2020)^[5])

早期文獻研究臺灣梅雨季節降水變化大多主要研究臺灣整體趨勢變化，而沒有關注區域差異。因此我們再來細看兩個部分：

- (1) 臺灣梅雨季節極端降水的預測變化是否存在區域差異
- (2) 農業地區如何應對臺灣未來可能受梅雨季節極端降水變化的影響

Huang et al. (2019)^[7] 使用由高解析度大氣模型 (HiRAM) 和高解析度大氣環流模式 (MRI) 2 種模型驅動區域模式 (WRF)，評估臺灣的歷史降雨模擬 (1979-2003 年) 以及在 RCP 8.5 情境下之未來預測 (2075-2099 年)。再來利用 3 個數值，分別為 Pav (5-6 月梅雨季降水量的氣候平均值)、PR90 (極端事件的降水強度) 以及 R90N (極端降雨頻率) 來分析以上兩個問題，結果如圖 8 和圖 10 (下一頁會描述)。從圖 8 中可以明顯看到 Pav、PR90 和 R90N 的預測變化分佈具有明顯的東西對比特徵，西部為正 (負) 值 (東) 山脈的一側，也就是說未來梅雨季節臺灣西 (東) 部地區不僅平均降水量增加 (抑制)，極端降水量也會增加 (抑制)。

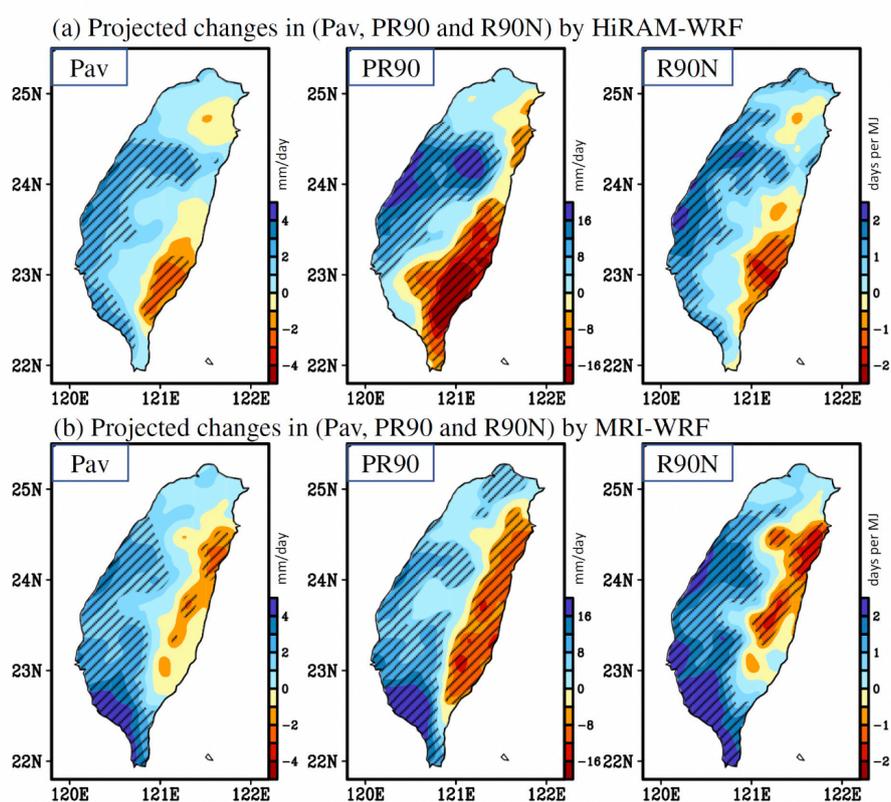


圖 8：透過 (a) HiRAM-WRF 和 (b) MRI-WRF 估計的選定變數 (Pav、PR90 和 R90N) 的預期變化 (即未來減去現在)。臺灣 90% 信賴區間內發生顯著變化的區域以斜線標示。(摘自 Huang et al. (2019)^[7])

再來 Huang et al. (2019)^[7] 將臺灣的農業地區分為三個區域（圖 9）以考察相關的未來變化。圖 10 顯示了三個區域所選指數（即 Pav、PR90 和 R90N）面積平均的未來與現在之間的預測差異百分比變化。對於西北農業地區 HiRAM-WRF 和 MRI-WRF 模擬均顯示了 Pav、PR90 和 R90N 的預期增加，但只有 MRI-WRF 預測的 Pav 和 PR90 的增加通過了顯著性檢定。相較之下，根據 HiRAM-WRF 和 MRI-WRF 的預測，西南農業地區的 Pav、PR90 和 R90N 顯著增加（超過 25%）。對於東部農業地區，HiRAM-WRF 和 MRI-WRF 均預測 Pav、PR90 和 R90N 會下降；然而，只有 PR90 的預期變化通過了顯著性檢定。但考慮到整體臺灣的農業地區，大多數 Pav、PR90 和 R90N（HiRAM-WRF 中的 PR90 除外）預計未來將顯著增加。

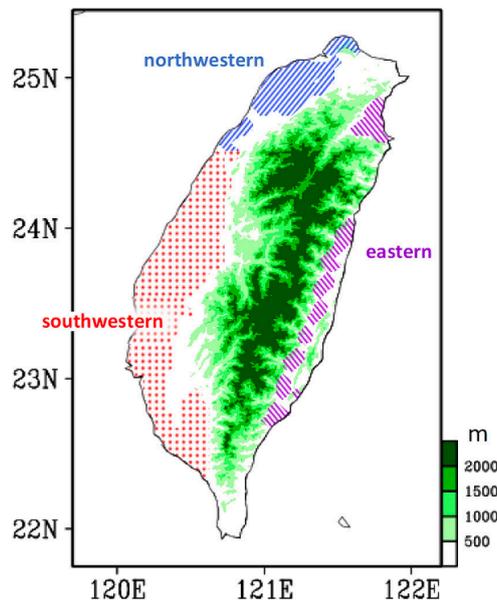


圖 9：臺灣地形（陰影部分）和農業區（標記區域）。農業區被分為三個部分，包括臺灣西北部（藍色斜線）、西南部（紅點）和東部（紫色反斜線）農業區。農業地區資訊由台灣行政院農業委員會提供。（摘自 Huang et al. (2019)^[7]）

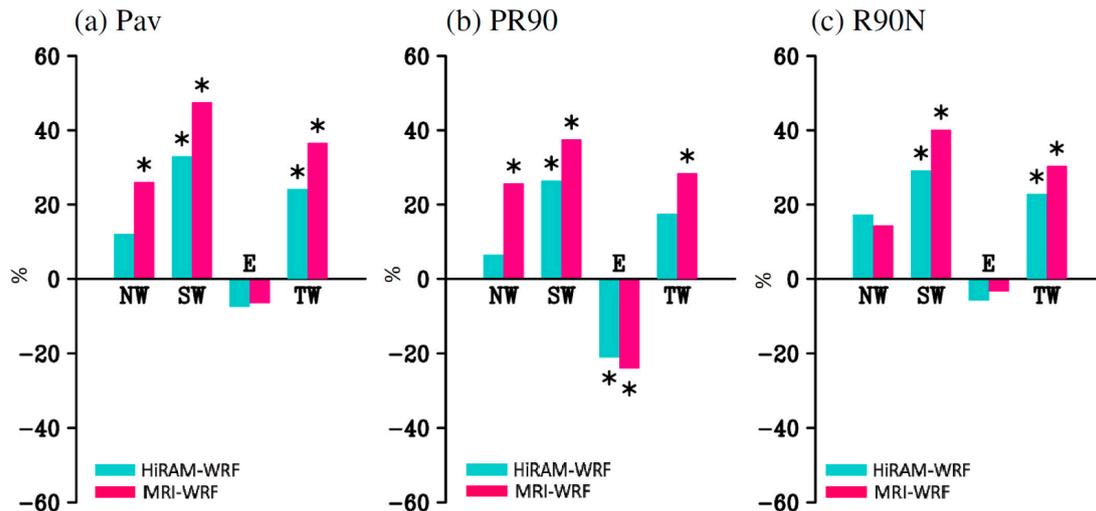


圖 10：選定變數的預期變化（未來減去現在）的百分比(%), (a) Pav、(b) PR90 和 (c) R90N，選定農業區域的面積平均。縮寫 NW、SW、E、TW 分別代表臺灣西北部、西南部、東部以及臺灣整體的農業區（圖 9 標示的區域）。在 90% 信賴區間顯著的百分比變化以星號標示。（摘自 Huang et al. (2019)^[7]）

因此對於未來的預測（2075-2099 年，RCP8.5 情境），在考慮整個臺灣的變化（即區域平均值）時，HIRAM-WRF 和 MRI-WRF 都預測梅雨季節降水量將變為未來比現在更頻繁、更強烈。相較之下，在考慮區域差異時，HIRAM-WRF 和 MRI-WRF 均預測梅雨季極端降水量臺灣西部地區將增加，東部地區將減少，大部分地區通過了顯著性檢定。在未來溫暖的氣候下，預計臺灣西南農業區極端降水的發生頻率和強度將比目前顯著增加（超過 25%），其中將會對臺灣西南農區造成較大影響。

五、梅雨可能帶來的影響

現今許多論文、文獻都在關注臺灣出現更高降水事件數的可能性，如同上述 Tung et al. (2020)^[5] 和 Huang et al. (2019)^[7] 的結果。但極端降雨的增加又會對人民造成何種影響呢？下面舉例極端降雨頻繁出現可能會造成之影響：（以下參考自 Michael Turton (2022)^[8]）

1. 政府：

顯然在未來幾十年可能必須更換大部分水管理基礎設施，以因應極端降雨的出現，這對建築公司和經營這些公司的組織犯罪派係來說將是一筆財富。臺灣的地方政治極有可能在二十年內變成治水政治，特別是像花蓮縣這樣依賴降雨而缺乏水庫的地區。

2. 民生用水的減少：

更多的水聽起來可能是件好事，但研究表明，過多的降雨會導致沉積物流失更嚴重，這將增加溝壑和河岸侵蝕，並降低了土壤的持水能力，這可能會導致某些地區可用水減少。

3. 乾更乾、濕更濕：

最近對花蓮北部池南流域地區的一項研究表明，雖然雨季會更加濕潤，但旱季會更加乾燥。他們觀察到 2035 年，年總水量將會增加，而雨季和旱季之間的年內波動將變得更加顯著。

4. 旅遊：

一篇關於墾丁的論文《當目的地吸引力因應氣候變遷而轉變：遊客在臺灣墾丁國家公園的適應意願》對墾丁遊客進行調查後發現，有可能應對氣候變遷威脅的遊客會減少前往臺灣墾丁國家公園的意願。面對旅遊目的地的變化，其他論文顯示，如果遊客認為氣候變遷改變了他們想要旅遊的地方的樣貌或是型態，他們就不會願意前往。

5. 人安危的潛在危險：

山峰將是一大潛在危險，尤其臺灣特色是山脈十分陡峭、容易發生山體滑坡的地形和短而強大的河流。一篇關於臺灣南部高屏溪的論文發現，醴陵大橋（位於高雄和屏東縣之間的 22 號省道上）周圍地區在大降雨期間特別容易出現漫溢的危險。迄今為止最嚴重的此類事件是 2009 年的颱風莫拉克，它摧毀了高平大橋上的水感測器，使得評估未來威脅變得更加困難。

6. 洪水：

一篇關於氣候變遷和城市地區應對措施的論文指出，異常強降雨將可能在臺北引發洪水。“根據台北市 600 毫米淹水潛力圖及相關研究，大同、萬華、文山、中山區超過一半的地區是潛在淹水地區”。600 毫米大家可能沒有一個具體概念，客觀來說，2001 年的娜麗颱風在臺北地區的降雨量超過 1,700 毫米，而 2009 年的莫拉克為屏東帶來了 2,600 毫米的降雨量。其中娜麗颱風單日降下了 800 毫米，導致證券交易所關閉數日，並導致超過 60 萬戶停水停電。因此 600 毫米的雨量不容小覷。

7. 健康（身體上、心靈上）（參考自蔡濬莉等人^[3]）：

極端降雨上述提到有可能會引發洪水，其中有可能會造成溺水相關人體受傷或死亡、心理創傷、腸胃炎等，而內陸與海岸線的居民在洪水爆發前、中、後可能會產生負面健康影響，像是洪水災難造成親人喪失或財產的損失所帶來的心理創傷，也可能加重精神疾病患者和群眾裏某些特殊族群的恐怖，憤怒，震驚

和其他激烈的消極情緒。另一種可能還有溼度的上升利於沙門氏菌生存，沙門氏菌會造成腸胃炎的爆發。

References

- [1] 交通部中央氣象署：臺灣氣候現象全書下載。
https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/climate/climate3_all.html
- [2] 綠色和平氣候與能源專案小組，2021：什麼是梅雨季？為什麼有空梅？圖解梅雨如何形成，除了解乾旱也可能淹水？（2021年5月28日）
- [3] 蔡濬莉、王俊堯、蔡崇煌、蘇家龍、張惠雯：氣候變遷對於人類身體健康的影響，家庭醫學與基層醫療，第三十三卷，第十一期，317-323 頁。
- [4] NCDR：全球災害事件簿。
<https://den.ncdr.nat.gov.tw/1132/1188/1204/1210/1553/>
- [5] Tung, Y., S. -Y. S. Wang, J. Chu, C. Wu, Y. Chen, C. Cheng, and L. Lin, 2020: Projected increase of the East Asian summer monsoon (Meiyu) in Taiwan by climate models with variable performance. *Meteorological Applications*, 27, e1886,
<https://doi.org/10.1002/met.1886>.
- [6] Tung, Y.-S., C.-T. Chen, and P.-C. Hsu, 2014: Evolutions of Asian Summer Monsoon in the CMIP3 and CMIP5 Models. *SOLA*, 10, 88–92,
<https://doi.org/10.2151/sola.2014-018>.
- [7] Huang, W.-R., P.-H. Huang, Y.-H. Chang, C.-T. Cheng, H.-H. Hsu, C.-Y. Tu, and A. Kitoh, 2019: Dynamical Downscaling Simulation and Future Projection of Extreme Precipitation Activities in Taiwan during the Mei-Yu Seasons. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 97, 481–499, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-028>.
- [8] Michael Turton, 2022: Notes from Central Taiwan: Screeching at the future: The climate change tipping point is quickly approaching and its inevitability should form the basis of all our policies: military, tourism, energy, agriculture, education, even things like gender ideology.
<https://www.taipeitimes.com/News/feat/archives/2022/05/16/2003778258> (Accessed May 16, 2022 page 13).