

多雨之島陷缺水危機—探討台灣缺水原因

涂于珊、徐令航

☐ 高中生組

☐ 大學生組

☒ 研究生組

國立政治大學統計學系、國立臺灣大學生物機電工程學系

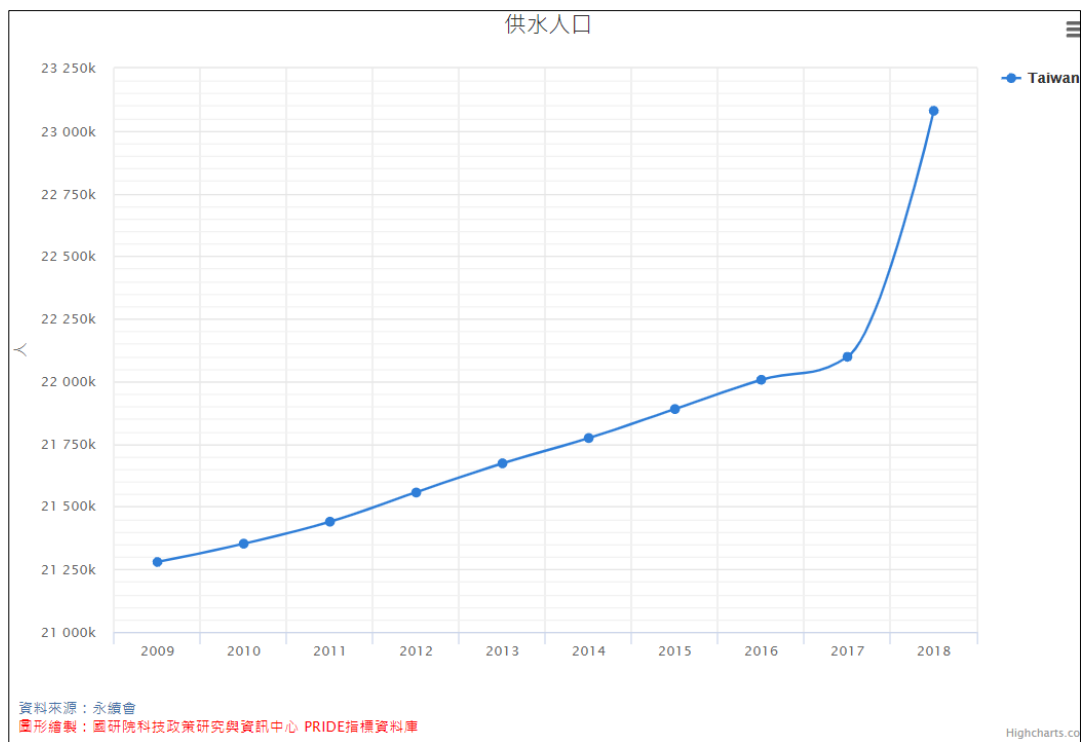
主辦單位：財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心

中華民國 110 年 12 月

壹、前言

2020 年發生了一場不尋常的事：沒有颱風登陸，且很少下雨，這使得台灣陷入近 56 年來最嚴重的乾旱。苗栗、台中及北彰化地區實施近兩個月的限水政策，水情仍舊吃緊。而新竹寶山水庫更是蓄水量低於 7%，仰賴其發展的半導體產業亮紅燈，引起外媒關注。農業損失更為慘重，政府停止對 7.4 萬多公頃農田的灌溉，損失超過五億新臺幣。⁽¹⁾

由圖一可見，台灣供水人口逐年上升，且在 2018 年供水人口達到 23,080,010 人，較前年的 22,098,001 人上升了 4.4%。可見用水壓力逐漸增加，如何有效管理水資源成迫切的議題。

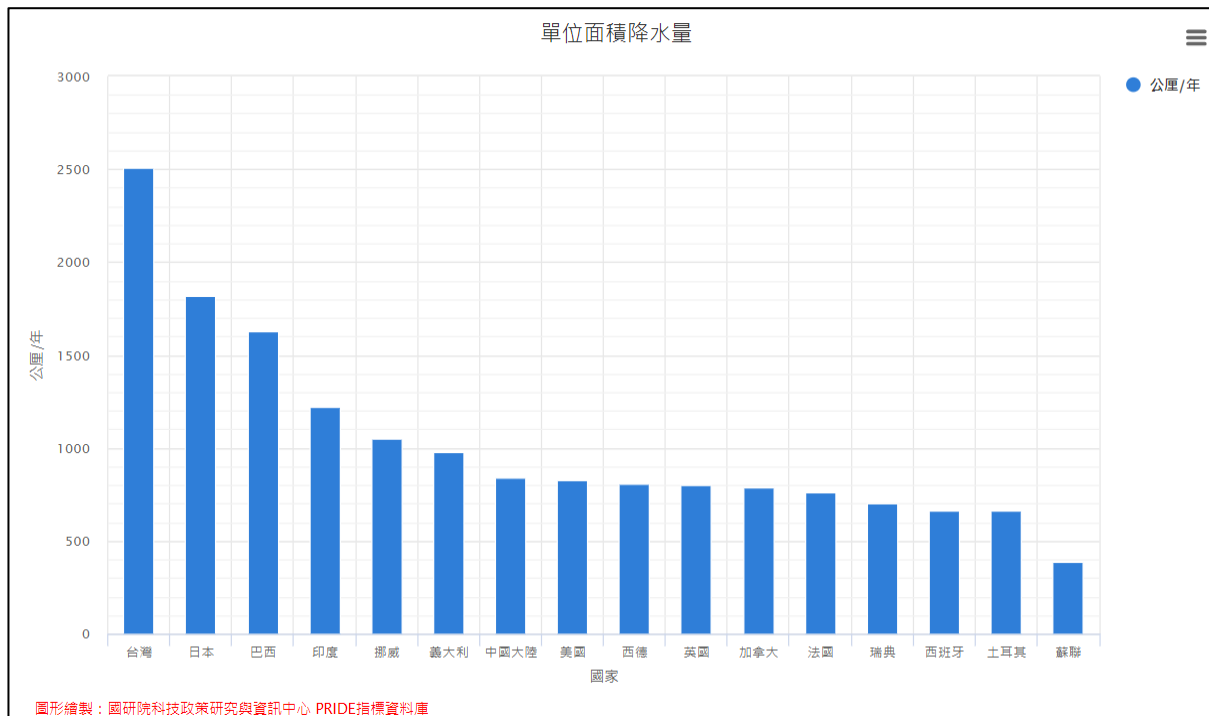


系統編號：SD10401-0194

圖一、供水人口

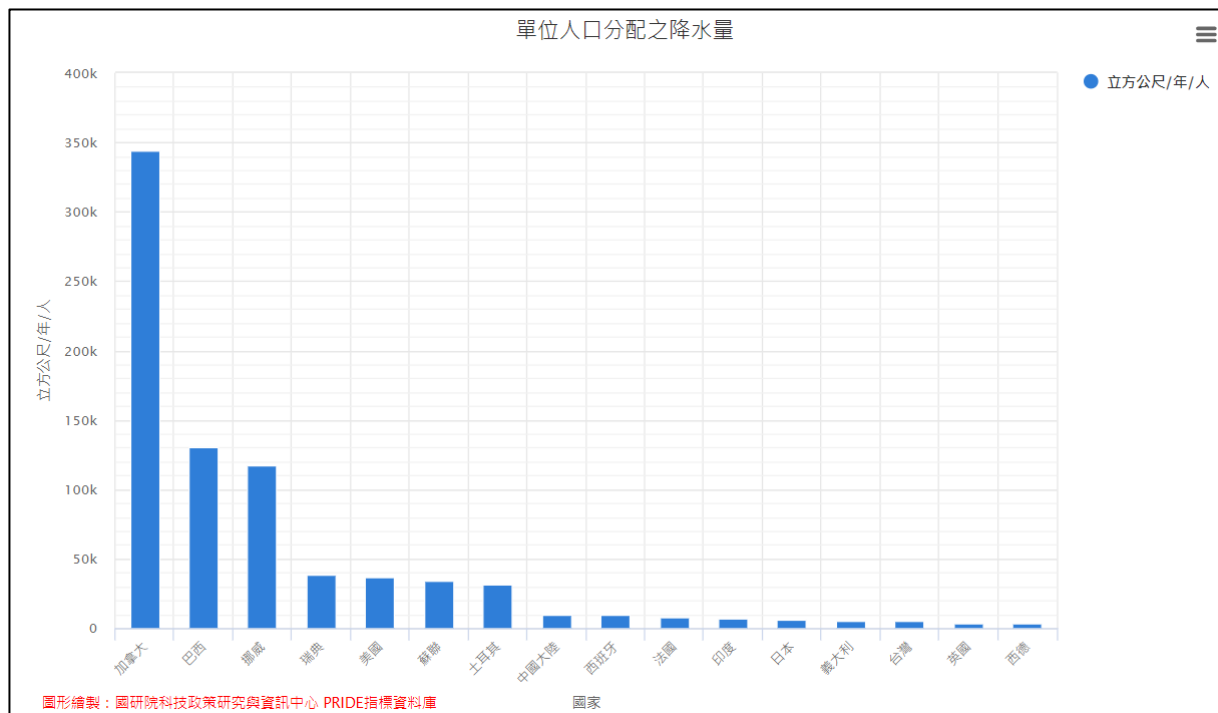
「2021 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿

台灣雨量不均，80%的雨量集中在夏秋兩季，且由於中央山脈的地形限制，山勢陡峭，蓄水不易，也成了水資源管理的挑戰⁽²⁾。從圖二及圖三得知，台灣單位面積降雨量高達 2,500 公釐，為世界平均的 3.4 倍（世界平均降雨量為 730 公釐）。但單位人口每年平均分配之降水量為 4,595 立方公尺，遠低於世界平均（28,300 立方公尺），除了氣候地形因素，我們還能從那些切入點去探討這次台灣缺水的可能原因？



資料來源：水資源網路特展⁽³⁾

圖二、世界主要國家單位面積降水量



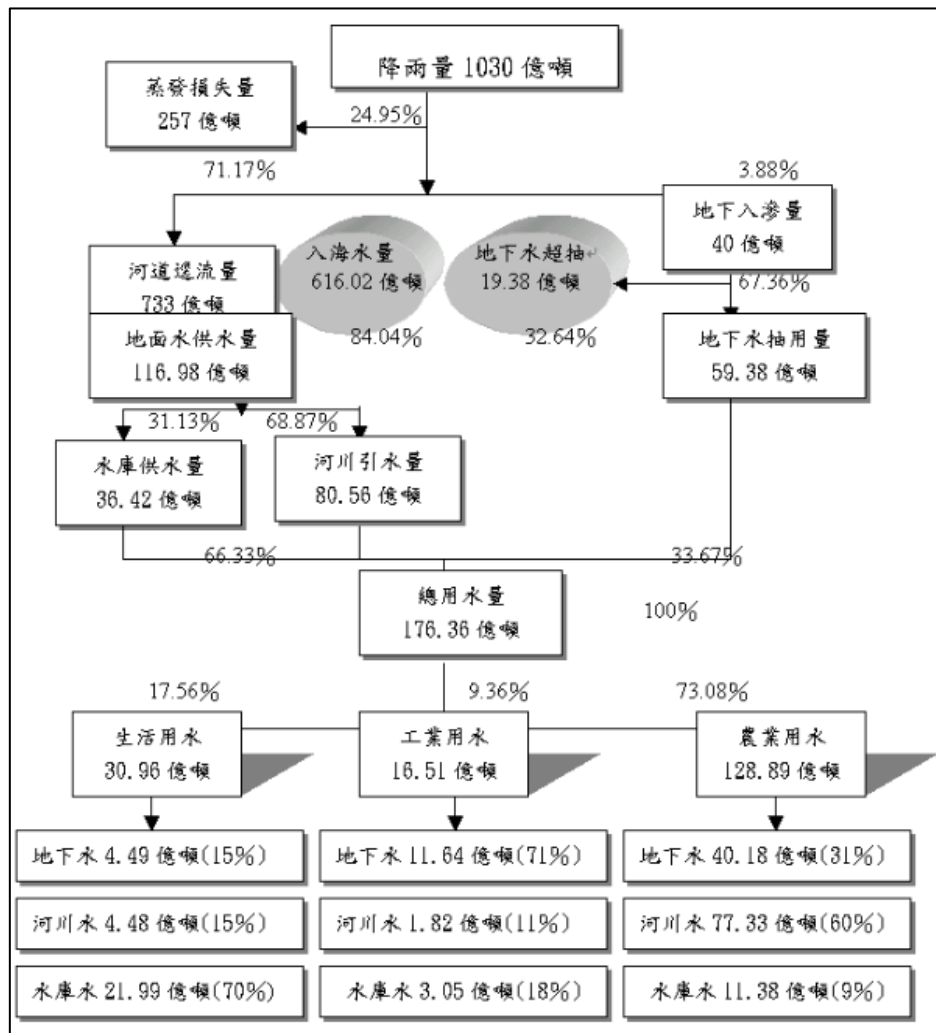
資料來源：水資源網路特展⁽³⁾

圖三、世界主要國家單位人口分配之降水量

「2021 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿

首先，我們應了解台灣的用水來源且流向為何。再者，除探討台灣三大水源現況外，本文將藉由探討台灣的水價與用水概況，嘗試找出台灣缺水的原因。

根據經濟部水資源局在 1996 年發表的水資源政策白皮書中顯示，台灣真正可利用的水資源約占降雨量 3/4，又分成地面水及地下水兩大部分，以地面水來說三成為水庫供水，七成為河川引水，加上地下水抽用共計三大用水來源供應全台所需的用水量，包含農業用水占比 73.08%、民生用水占比 17.56%及工業用水的占比 9.36%，從圖中可見不同類型的用水需求所引用的水資源來源也不大相同，以民生用水為例，有七成是引用水庫水。



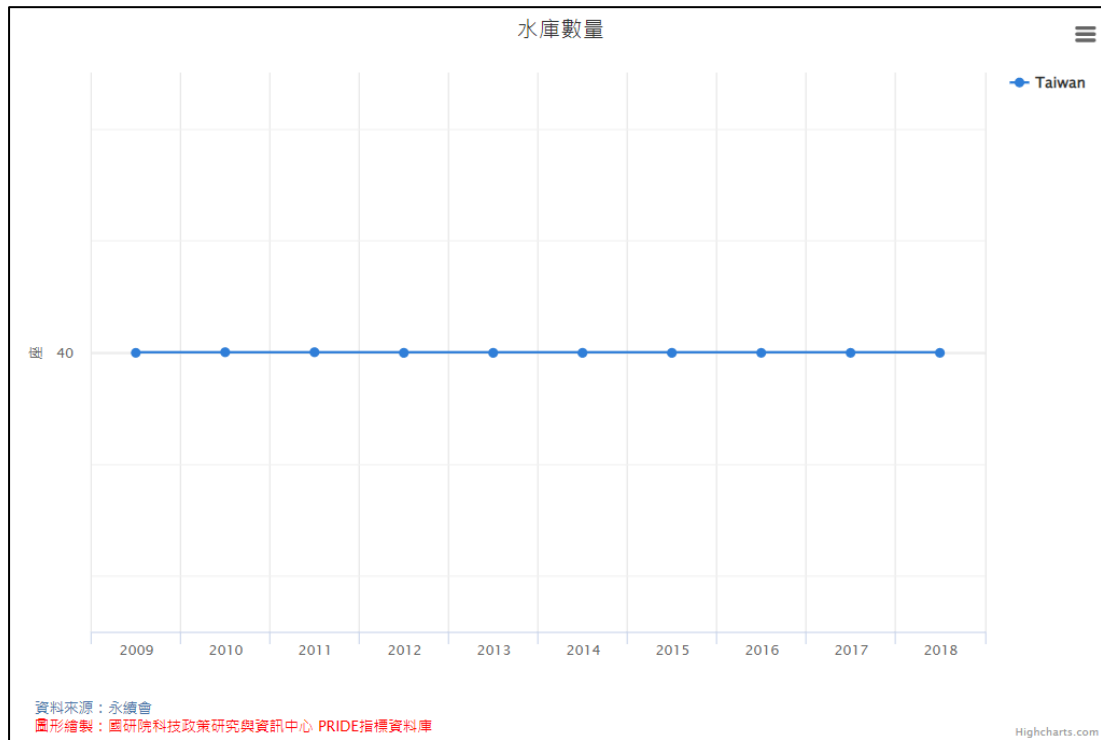
資料來源：經濟部水資源局⁽⁴⁾

圖四、台灣降雨量流向

貳、台灣三大水源現況

一、水庫：台灣泥沙淤積量高及部分水庫優養化程度嚴重，水庫品質有待改善

水庫是台灣重要的用水來源，根據圖五 PRIDE 資料庫所蒐錄之永續會數據顯示，2009 至 2018 十年間台灣維持 40 座水庫，本文根據總有效容量與水庫優養化程度來衡量水庫品質。



系統編號：SD10308-0024

圖五、水庫數量

圖六指出台灣在 2009 年至 2018 年間總有效容量的趨勢圖。總有效容量是指水庫總容量中，能調節提供有效使用水量之容量，即由總容量中扣除呆容量後之容量。由圖四可見，總有效容量從 2010 年逐年下降後在 2016 年回升。推估下降原因為 2009 年莫拉克颱風襲台，造成南部曾文與南化水庫泥沙淤積量，暴增超過 1 億立方公尺，2015 年蘇迪勒颱風造成全台河川泥砂量飆高，高雄工業區無水可取，大台北自來水變黃濁。⁽⁵⁾推估上升原因為 2016 至 2019 年水利署積極推動水庫清淤計畫，總計辦理集集攔河堰等 35 座，累計清淤總量 4,889.59 萬立方公尺。105 年清淤量有 788.56 萬立方公尺，106 年略降為 700.57 萬立方公尺，107、108 年逐年增加。⁽⁶⁾



系統編號：SD10308-0023

圖六、水庫總有效容量

而國際上多以卡爾森指數衡量水體優養化現象。它是以總磷、葉綠素 a、透明度等項目按照公式算出來的數值。

$$CTSI = \frac{[TSI(SD) + TSI(Chl-a) + TSI(TP)]}{3} \quad (7)$$

SD ：透明度； $Chl-a$ ：葉綠素 a； TP ：總磷； TSI 指數計算方法

$TSI(SD) = 60 - 14.41 \times \ln(SD)$ ， SD （透明度）之單位為 m

$TSI(TP) = 14.42 \times \ln(TP) + 4.15$ ， TP （總磷）之單位為 $\mu g/L$

$TSI(Chl-a) = 9.81 \times \ln(Chl-a) + 30.6$ ，

$Chl-a$ （葉綠素 a）之單位為 $\mu g/L$

從歷年數據圖七對應優養化程度表一得知，台灣水庫優養化程度介於 40~50 間屬普養，為貧養與優養的過渡期，因工、農業中氮、磷等污染源排入，致使湖泊水庫的營養源過多，如再配合滯留期及充分日照等因素，則會加速藻類之繁殖及擴散而造成優養現象仍有改善的空間。

雖然在圖七中以各水庫之平均值而言台灣屬於普養的程度，然而依卡爾森優養指數法估算，107 年監測 20 座主要水庫，貧養化水庫計 1 座，占監測水庫之 5%；普養化水庫計 14 座，占監測水庫之 70%；優養化水庫計 5 座，占監測水庫之 25%。其中，貧養化水庫僅為翡翠水庫，顯示翡翠水庫水質最佳，其優養指數為 37；優養化水庫 5 座，分別為明德、白河、鏡面、澄清湖及鳳山，以鳳山水庫（工業用水）最為嚴重，水質最差，優養指數高達 76，明德水庫（集水區農業盛行）次之，優養指數為 55，澄清湖水庫（含沙量過高）優養指數 53⁽⁸⁾。遭受優養化之水庫將會大大的影響淨水廠的處理成本及淨水效果，間接地造成可用水的缺乏。



系統編號：SD10307-0084

圖七、水庫品質

表一、卡爾森指數判斷優養程度

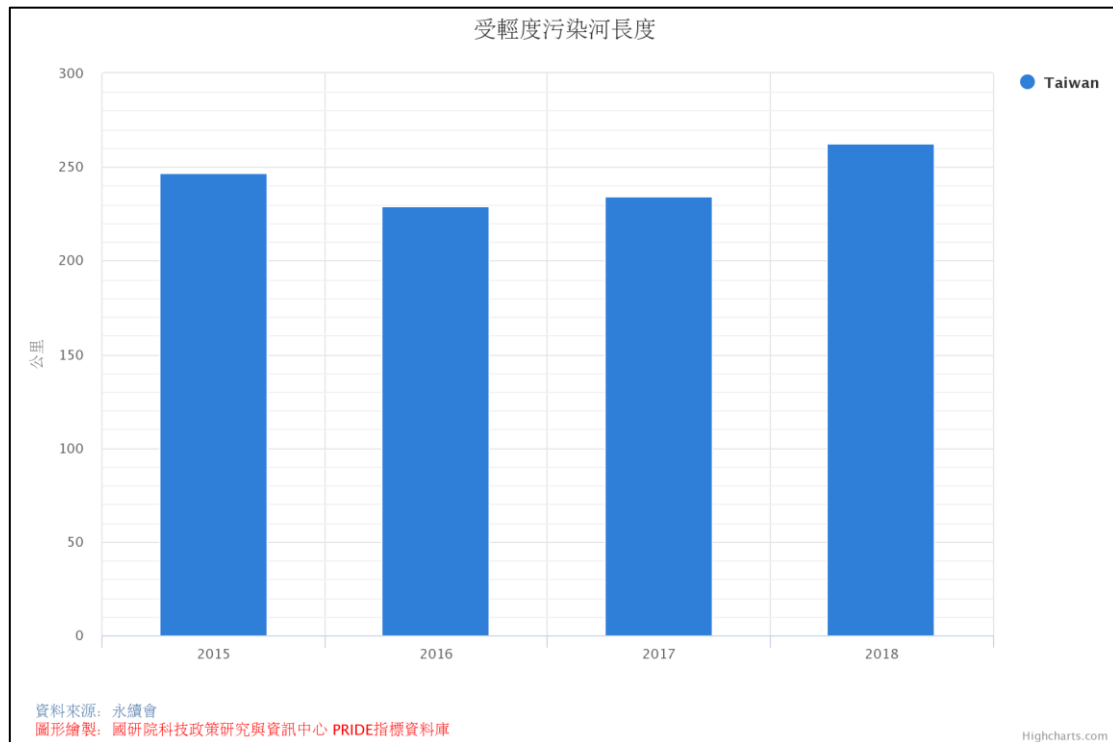
卡爾森指數	優養程度
$CTSI < 40$	貧養
$40 \leq CTSI \leq 50$	普養
$CTSI > 50$	優養

資料來源：行政院環保署－全國環境水質監測資訊網⁽⁷⁾

二、河川：台灣污水處理率不及人口增長速度

台灣地形特殊，河川短、坡度陡，且降雨量集中、季節雨量變化大，致使降雨容易直接流入大海中。然而在總用水量當中，依照經濟部水資源局的統計，有 60% 的農業用水來自河川⁽⁴⁾，由此可見河川的重要性可見一斑。

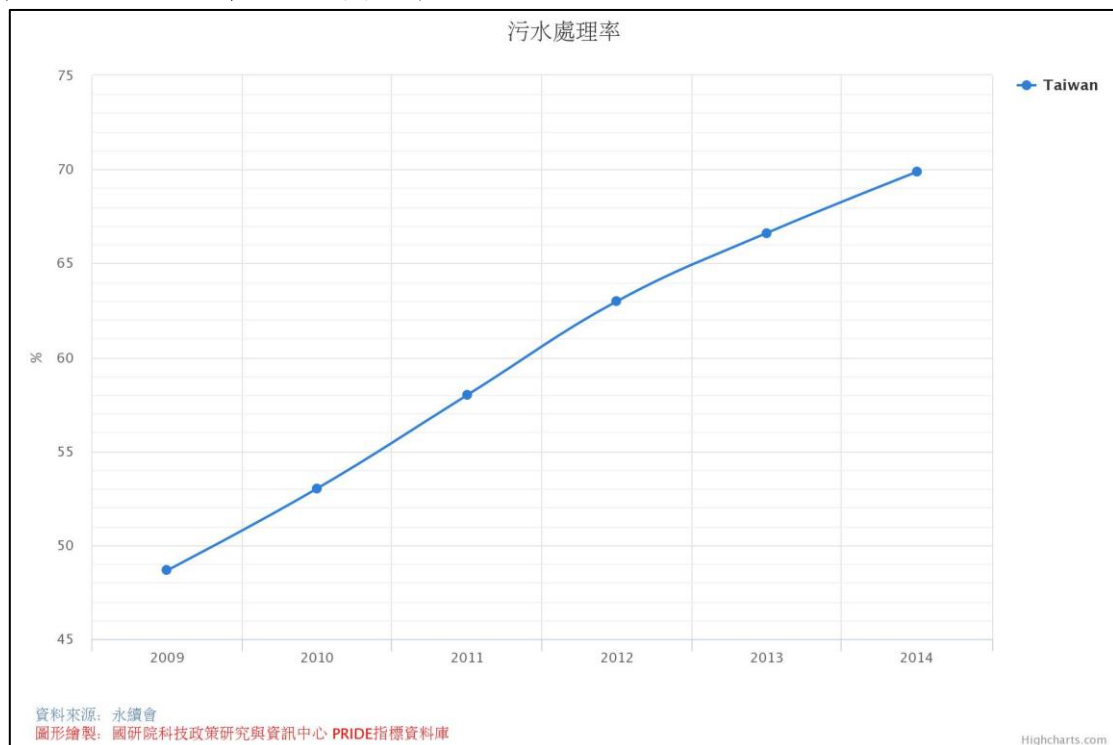
河川主要以河川污染指數(RPI)來評估，利用水中溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氨氮等四項水質參數之濃度值來計算，藉此判斷污染程度。以 2018 年來看輕度污染以下之佔比為 57.7%，中度污染為 35.1%，嚴重污染為 7.2%，並且可由圖八了解到受輕度污染之河川長度近年來有增長的趨勢，由 2016 年的 229.4 公里來到 2018 年的 262.4 公里。



系統編號：SD10307-0089

圖八、受輕度污染河長度

台灣河川的主要汙染原因有以下三點，家庭用水、工業廢水、農牧業汙染。圖九可觀測出台灣自 2009~2014 年的汙水處理率，雖然在其中可發現比例上升來到 69.87%，然而對比於他國可發現，汙水處理率仍低於亞洲其他國家如香港 93%、新加坡 99%、馬來西亞 82.9%、韓國 92%與日本 78.0%。⁽⁹⁾



系統編號：SD10308-0065

圖九、汙水處理率

三、地下水：地下水抽用量逐年減少，但超抽比例仍佔比大且製造業在用水效率上仍需改善

地下水除了是工業用水的主要來源之外，在乾旱時期也可以做為抗旱備援水井，在年初的這場乾旱即抽水達 6,340 萬噸，充分發揮地下水「救命水」的功用。而在五月底台灣進入汛期後，連日多場降雨，促使多數地下水水位明顯上升，以地層下陷的彰化與雲林而言，地下水水位全數回升，整體上升幅度介於 0.01 至 10.97 公尺⁽¹⁰⁾。

圖十主要說明地下水觀測井水位回升比率概況。此指標為地下水觀測井水位上升口數與 97 年觀測井口數比（基準值），若是數值上升，即代表當年度井水位上升口數比基準年多，反之則否。從圖十可觀測出在 2013 年及 2015 年中水位回升。



系統編號：SD10401-0167

圖十、地下水觀測井水位回升比率

前面有提及，工業用水的水源大多來自地下水。而製造業用水量占製造業生產價值比率，此指標能夠表現出水資源的使用情形，從中可看出一國製造業的比重及消長情形和耗用水資源的程度。其計算方式：製造業用水量/製造業生產價值，為去除物價變動的因素，製造業生產價值是以主計總處發布之國內各業產出平減指數予以平減計算。一般而言，製造業用水量佔製造業生產價值比率減少，表示製造業的用水效率提高，對於永續發展具有正面的影響。由圖十一可見比例皆大於 1，代表製造業在用水效率上仍需改善。

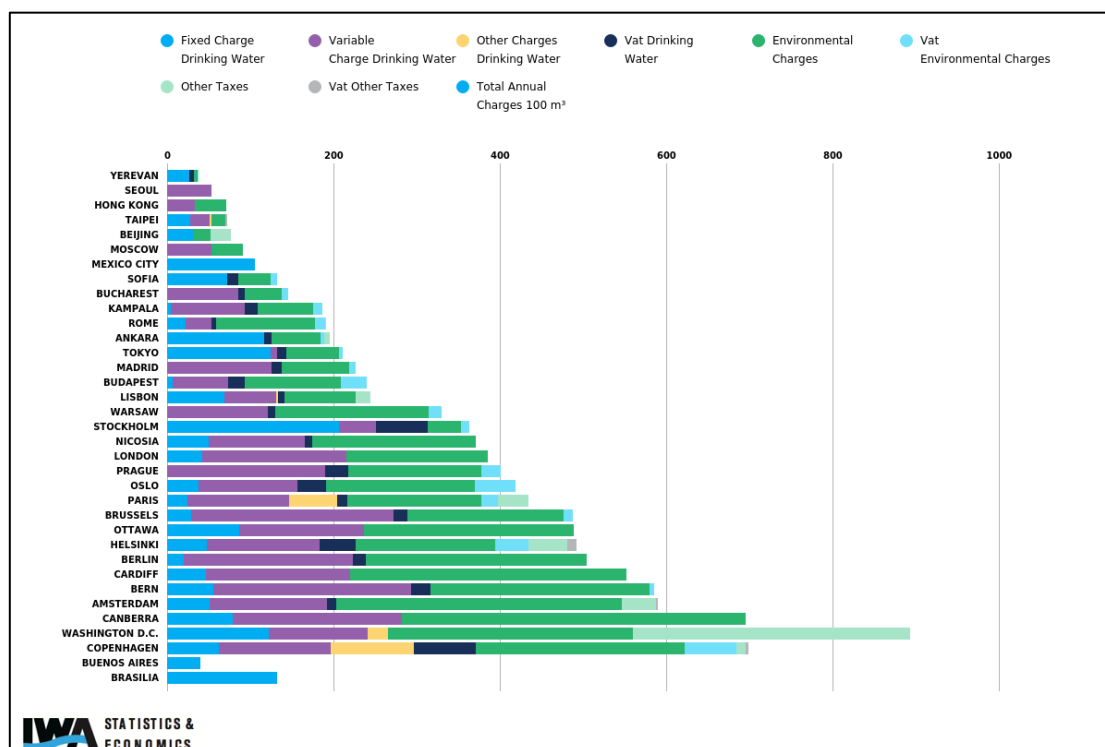


系統編號：SD10401-0164

圖十一、製造業用水量占製造業生產價值比率

參、台灣低水價及用水概況：低水價及水價級距的價差比小使政府部門無法有效推動節約用水來提升用水效率

國際水協會(International Water Association, IWA)在2017年，以100立方公尺為單位進行各主要城市總水價的統計，由圖十二發現，台灣水價跟世界各國來比偏低。參考維基百科對台灣水費的計價定義，計價方式為「水費=基本費+用水費+水源回饋費+污水處理費」。目前台灣自來水費用是9.02元/度。表二是世界各主要城市水價級距的價差比價差比較高，代表對用水量較大的用戶科以較高的水價；反之，價差比較低，則代表用戶的用水量和水價的相關性較低⁽¹¹⁾。由此可見台灣民眾的用水量多寡與水價間相較其他國家無明顯的差距。



資料來源：國際水協會(IWA)⁽¹²⁾

圖十二、2017 年每 100 立方公尺主要城市總水價

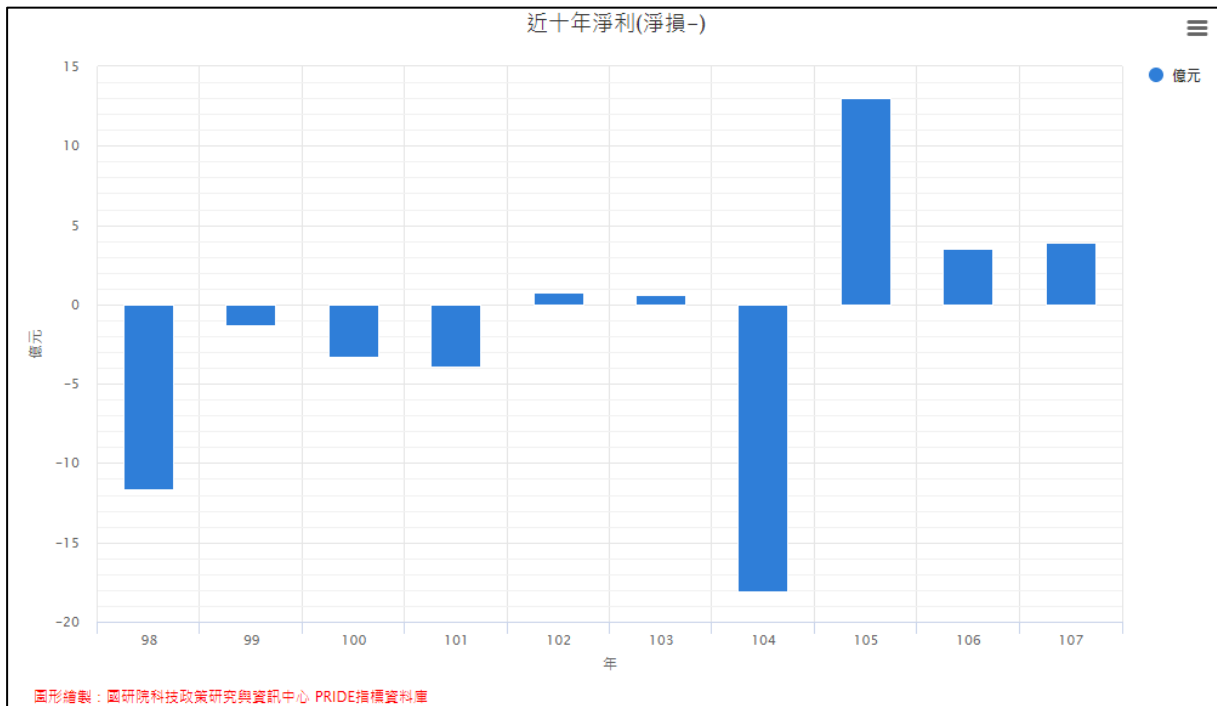
表二、世界各主要城市水價級距價差比

	東京	上海	大阪	首爾	香港	新加坡	台北
平均水價	51 元	9.8 元	41.9 元	12 元	10.5 元	36 元	9.02 元
高低級距 價差比	18.36	8.59	3.79	3.5	2.63	1.64	1.52

資料來源：維基百科水價

水價的低廉及高水量用戶與低水量用戶在水價上的差異小，此兩個因素導致民生用水無以節制，以致政府部門無法有效推動節約用水來提升用水效率。由圖十三可知，自來水公司前期多為虧損狀態，直至近幾年收支平衡且開始有收益出現，推測是由於經濟成長平穩，民間消費成長，相對帶動起用水量導致用戶數自然成長增加，給水收入增加所致。另外 2008 年虧損嚴重的主因為給水收入受 2007 年的美國次貸風暴及 2008 年的金融海嘯影響，導致工業需水量大幅下降減少 8.56 億元，而又因莫拉克風災停售、減免水費及推動節約用水、執行降低漏水率計畫等影響，機關及其他用水減少 1.59 億元（機關用水減少 1.24 億元），普通用水減少 1.58 億元，抵減軍眷用水增加 0.08 億元，而減少 11.67 億元(-4.87%)⁽¹³⁾。其後年分的虧損多為受外部經濟景氣成長下滑、配合經濟部實施各項限水及節水優惠獎勵措施用戶減少用水量等因素所致。

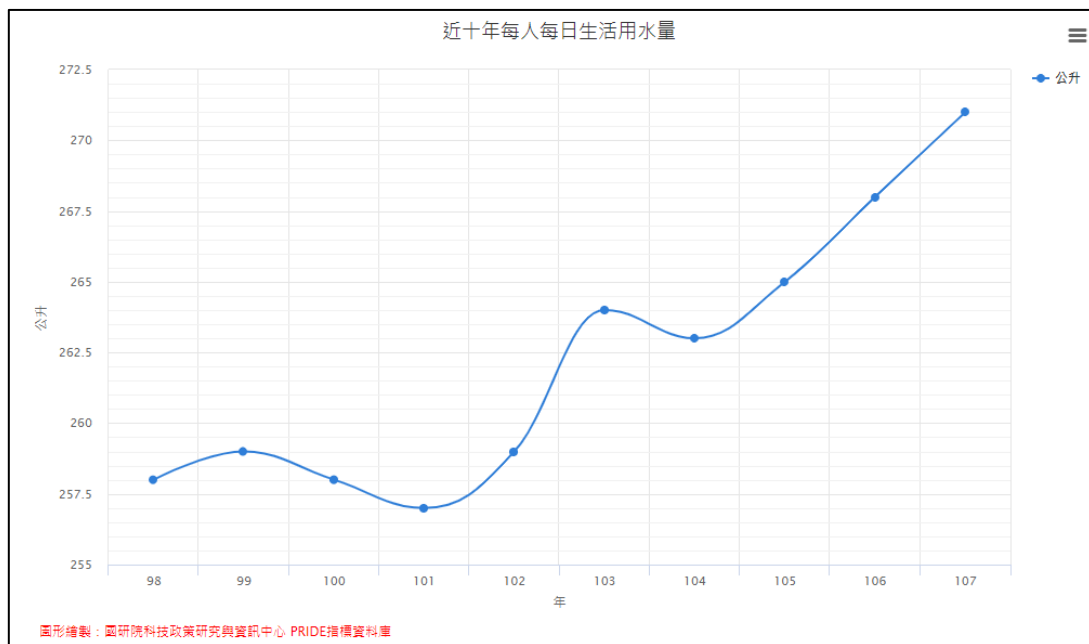
「2021 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿



資料來源：自來水 107 年統計年報⁽¹⁴⁾

圖十三、2009 至 2018 年自來水公司盈虧狀況

圖十四是 2009 年至 2018 年十年間每人每日生活用水量狀況，介於 257 至 271 公升之間，隨著生活水準的提高，每人每日生活用水量呈上升趨勢⁽¹⁴⁾。而政府也在 2008 年起積極推動節約用水計畫，由圖十四可知接續 5 年下來每人每日生活用水量已低於 260 公升，雖有達到節水效益，但距離國際標準值 250 公升尚有努力空間，且在 2014 年開始，每人每日生活用水量呈現成長的趨勢。

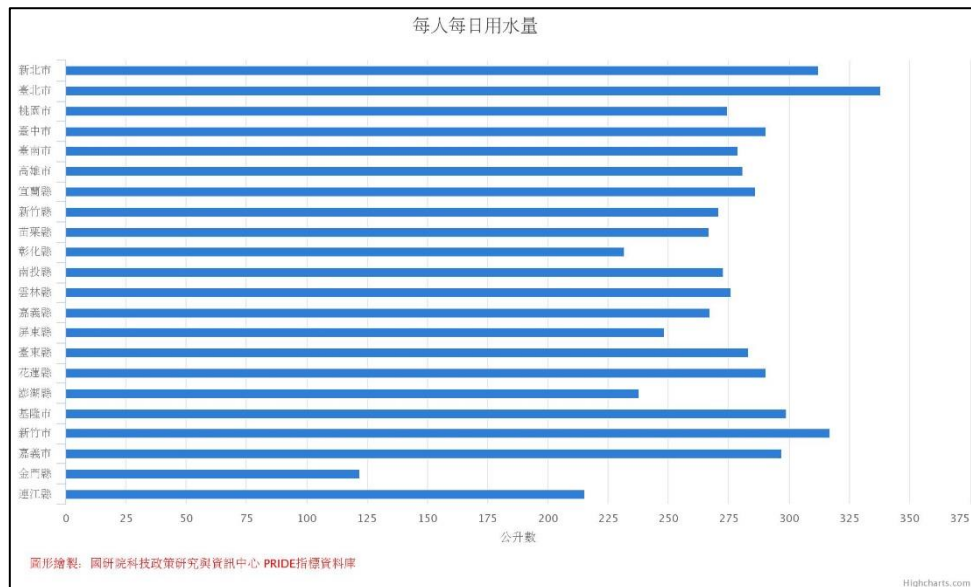


資料來源：自來水 107 年統計年報⁽¹⁴⁾

圖十四、每人每日用水量

「2021 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿

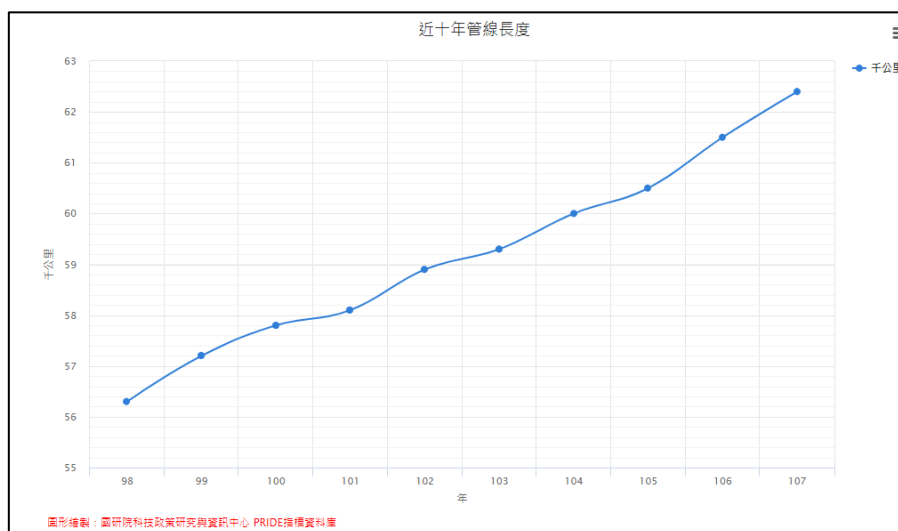
另外採取 2020 年水利署的資料，利用 PRIDE 指標資料庫進行繪圖，以各縣市來看，每人每日用水量最多的前三名分別為臺北市的 338 公升、新竹市的 317 公升及新北市的 312 公升，而用量最少的三名則為金門縣的 122 公升、連江縣的 215 公升及彰化縣的 232 公升。



資料來源：經濟部水利署⁽¹⁵⁾

圖十五、各縣市每人每日用水量

在用水需求增加的情況下，台灣的低水價使供水壓力更為緊繃，自來水公司應提升用水效率並基於使用者付費的公平原則進行水價調整。近年來，政府也積極推動「水價合理化」政策，並積極提高自來水的品質，不斷擴充與改善各項設備，俾能發揮應有之功能。圖十六為 2009 年至 2018 年管線長度，管線長度為自來水重要工程之一，管線逐年成長，且舉 2018 年底管線為例，總長度為 6 萬 2,369 公里，較 2017 年底增加 911 公里，增幅 1.48%，係因該年度辦理自來水擴建、下游管線及延管等工程所致。



資料來源：自來水 107 年統計年報⁽¹⁴⁾

圖十六、2009 年至 2018 年間管線長度

肆、結論

本文以人類取用水資源的途徑切入，分別為河川（占比 45.67%）、地下水（占比 34.03%）、水庫（占比 20.6%），在其中找出可用水量減少的原因—從自然因素如過度污染、人口壓力增加、水質優養化、地形變化到人為的水資源管理議題如水資源管理政策不足、污染處理應對不良、用水價格過於低廉以及設備破損等問題。

在占比最大的河川中，大量的聚落以及工業設施隨時間更迭在此聚集，擴增了污染源的數量，然而污水處理方式並未因時間而成長到足以負荷的強度，總體而言我國污水處理率仍低於 70%。其次地下水方面，地層下陷的問題始終存在，儘管地下水抽用量逐年減少，但超抽比例仍佔比大且製造業在用水效率上仍需改善。最後，水庫最主要影響蓄水量的原因在於淤沙量以及優養化兩大因素，自 2016 年水利署之水庫清淤計畫開始，清淤量大幅提升也造成總有效容量回升，而優養化程度台灣屬於普養，但各地區水庫優養化程度不一，貧養水庫仍占少數。

而低水價及水價級距價差比低易導致使用者輕忽水資源的重要性，隨著每人每日用水量增加，使供水壓力更為緊繃，儘管政府開始推動水價合理化及改善各項設備如管線的建置，用水量仍居高不下，缺水問題頻繁。

水資源與永續發展的議題在全球地位上日益重要，如永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)的第六項目標即是「確保所有人都能享有水、衛生及其永續管理」。在低水價的問題上，可以參考地形及氣候與台灣相似的日本，水價訂定參考的因素與訂價公式為何。我們應將「節水」變成生活方式，可以參考降水量比台灣低，人均降雨量高的國家是怎麼做的，如加州已累積十幾年抗旱經驗，於 2015 年通過一項推動新建物施行廢水回收的法案，要求平面面積超過 702 坪的大型新建物必須建立灰水、雨水等廢水回收系統，非營利網站眼底城事報導，在地廢水回收系統將使家戶省水最高達 25%，商用大樓更可高達 75%，累積起來相當可觀。⁽¹⁶⁾ 期盼在政府的監督及管理下，全人民一同重視水資源的價值，從生活中做起，對水資源做更有效的利用。

參考文獻

1. BBC NEWS 中文版－台灣缺水為何吸引了全世界關注，這次到底有多嚴重？檢索日期：2021 年 10 月 24 日。取自：<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/chinese-news-56814382>
2. 維基百科－台灣供水。檢索日期：2021 年 10 月 24 日。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E4%BE%9B%E6%B0%B4>
3. 水資源網路特展。檢索日期：2022 年 2 月 9 日。取自：<https://web.fg.tp.edu.tw/~earth/learn/water/water8.htm>
4. 經濟部水資源局(1996)。水資源政策白皮書。
5. 天下雜誌 30 年蓋 4 座水庫，也難以搶救台灣水情。檢索日期：2021 年 10 月 24 日。取自：<https://topic.cw.com.tw/2018watershed/article.html>
6. 水利署－近 5 年(105-109)公告水庫清淤量。檢索日期：2021 年 10 月 25 日。取自：https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2868&s=7007
7. 行政院環保署－全國環境水質監測資訊網。檢索日期：2021 年 10 月 25 日。取自：https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_18.aspx
8. 經濟部水利署(2019)。水利統計簡訊。第 343 期，頁 1。
9. 內政部營建署會計室(2009)。污水下水道系統建設情形統計分析。頁 3。
10. 中央通訊社－抗旱救命水 水利署：地下水已回升至正常水位。檢索日期：2021 年 10 月 26 日。取自：<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202108110269.aspx>
11. 維基百科－水費。檢索日期：2021 年 10 月 26 日。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E5%83%B9>
12. 國際水協會－2017 年每 100 立方公尺主要城市總水價。檢索日期：2022 年 2 月 9 日。取自：<https://waterstatistics.iwa-network.org/graph/VG90YWwgQ2hhcmdlcyBmb3IgQ2l0aWVzICChVUyQp/100/2017>
13. 台灣自來水股份有限公司(2016)。台灣自來水事業統計年報：中華民國 104 年。第 38 期，頁 29-31。
14. 台灣自來水股份有限公司(2019)。台灣自來水事業統計年報：中國民國 107 年。第 41 期，頁 25-33。
15. 經濟部水利署(2021)。109 年自來水生活用水量統計。檢索日期：2022 年 2 月 14 日。取自：https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7414&attyear=109%E5%B9%B4
16. 商周一加州恐迎來史上最嚴重乾旱，竟不用限水！花 6 年從根基打造「耐旱之城」檢索日期：2021 年 10 月 27 日。取自：<https://www.businessweekly.com.tw/international/blog/3006771>