

由公民科學資料初探壽山湧泉的發生機制

撰文／國立高雄師範大學地理學系教授 齊士崢

國立高雄師範大學生物科技系教授 梁世雄

高雄市柴山會總幹事 楊燭育

國立高雄師範大學地理學系教授 何立德

國立東華大學自然資源與環境學系博士後研究員 陳佳宏

摘要

本文基於「公民科學」之概念，藉由在地團體長期觀測壽山東北山麓湧泉及其周圍水井水位資料，結合學術單位依據降雨量、湧泉發生和頻率、附近平原地勢，以及水井和地下水變化等，試圖討論壽山湧泉的來源與發生機制，並據此提出經營管理建議。調查結果顯示，龍巖冽泉和其餘湧泉出泉口分布於自強新村到石頭公間的山麓坡腳和渠道，其中龍巖冽泉的出泉口海拔高度約 6.14m，相較平原地下水位高，故水源應來自壽山石灰岩體中的地下水，出泉與停泉皆受到山地地下水控制影響，並且通常在當年累計雨量達到約 850mm 時開始出泉，可視為龍巖冽泉每年首次出泉的降雨閾值，而且出泉持續天數與出泉期間所累計的雨量呈正比；而自強新村和石頭公湧泉的出泉口海拔高度均接近或低於平原地下水位，海拔高度最低的石頭公湧泉在極旱時仍終年湧水，故旱季亦持續出泉的渠道湧泉應受到平原地下水控制影響。近年來，壽山東北山麓湧泉帶的可持續性發展成為居民生活或官方治理的重要課題，對此維護都市生態環境，以應對氣候變遷衝擊下的水資源利用和乾旱威脅問題至關重要，故管制附近平原區地下水使用、處理社區汙水、將部分池塘和渠道更改為較透水的材質且局部降低底部海拔高度，並設置親水與友善生態的環境，應是較佳的管理策略。

關鍵詞：公民科學、壽山湧泉、降雨閾值、山地地下水控制、平原地下水控制

通訊作者：陳佳宏，聯絡信箱 t4593@mail.nknu.edu.tw。

投稿日期：2023 年 3 月 28 日

接受日期：2023 年 5 月 5 日

壹、前言

壽山又稱柴山、打鼓山，是一座上覆著更新世珊瑚礁石灰岩的泥岩丘陵。因大範圍地區長期受軍事管制，故整體仍保持相對自然的狀態。為永續保育壽山及附近地區的生態環境與人文史蹟，行政院於 2011 年核定成立「壽山國家自然公園籌備處」，並於 2019 年設立「國家自然公園管理處」，轄管「壽山國家自然公園」，是臺灣第一座由公民與地方團體共同推動而成立的國家自然公園。

而位在壽山東北側、丘陵地與平原交界處的山麓湧泉，自清代以來即是高雄地區的重要地景，1764 年刊行的《重修鳳山縣志》即有一段有關「龍目井」的記載，提到：

龍目井，……一在打鼓山麓。泉出石罅，夏、秋雨潤，泉湧如噴雪翻花，潺湲遠聞；冬、春稍細。然築為陂圳，可灌田百餘甲；汲以煮茗，清甘異常。極旱不竭；凡有亢旱，官民禱雨於此。¹

也收錄了庚午舉人卓肇昌所作《鼓山八詠》組詩，其中〈龍井甘泉〉一詩寫到：

冰井甘於醴，涓涓萬斛泉。玉磯噴雪碎，石乳撒花濺。蟹眼千尋滾，龍澌百丈淵。茶瓊烹活火，藥鼎沸松煙。金鯉泝流躍，蒼驪抱月眠。噓雲徵有象，灑潤遍桑田。²

此外，清末鳳山縣廩生盧德嘉編纂的《鳳山縣採訪冊》也記載：

打鼓山（一名埋金山、一名麒麟山，俗呼打狗山），在興隆、大竹交界，縣西十五里，脈由蛇山出，高三里許，長十里許，適當港門之右，與旗后山對峙。……山麓一巖，有泉出石罅，夏、秋雨潤，泉湧如噴雪翻花，潺湲遠聞，冬、春稍細（土人云此泉甚奇，雨則吞入，旱則吐出），下注汙池，灌田數十甲，汲以煮茗，清甘異常，極旱不竭，居民名為龍巖泉（亦名龍眼井泉）。³

1 王瑛曾，〈《重修鳳山縣志》〉，臺灣文獻叢刊第 146 種（臺北：臺灣銀行經濟研究室，1962），頁 266。

2 王瑛曾，〈《重修鳳山縣志》〉，頁 438。

3 盧德嘉，〈《鳳山縣採訪冊》〉，臺灣文獻叢刊第 73 種（臺北：臺灣銀行經濟研究室，1960），頁 34-35。

以及「龍巖池（即龍眼井），在興隆里（打鼓山麓，按此山北屬興隆里），縣西十六里，周十丈許，源出石罅，東南行里許，入山腳洋，溉田二十八甲。」⁴並將「龍巖冽泉」列名為「鳳山八景」之一；⁵不僅充分描寫當時的壽山東北山麓湧泉之自然景觀外，也大量地納入當地居民的生活風景，反應了清末在地文人並無旅居於外對故土的感懷，而更著重於對在地風土的描繪。⁶到了日治時期，官方則對龍目井進一步開發，林曙光在《打狗瑣譚》引述《高雄州地誌》對龍目井與高雄溫泉兩處勝景的說明，提到：

高雄溫泉在龍目井南約七百公尺處，其實是冷泉，含有鉀、鈉等礦物，對皮膚病，胃腸病，神經痛等奇效，是高雄州廳開發的，供州廳官吏休養之用；……高雄溫泉先由高雄州廳經營，因營業無法開拓，旋租「山陽堂」由商人繼續經營，在二次大戰中歇業了。⁷

而廖德宗、郭吉清的〈高雄溫泉舊址考證及泉質探究〉則詳細介紹了高雄溫泉的位置、開發過程及經營方式。⁸

壽山東北山麓湧泉目前主要分布於自強新村至石頭公間的山麓坡腳，渠道與渠道通過的池塘，最著名且有固定出水口的湧泉，則位在龍泉禪寺南側斜坡坡腳的出水口，稱「龍目井」，積蓄泉水的池塘稱「龍巖池」或「龍眼井」，近年龍巖池因鋪設水泥底面，使旱季完全乾涸，經高雄市政府與在地社區、團體討論下，於 2021 年改為鋪設較接近自然的透水鋪面，另渠道湧泉則多由護岸排水孔和被湧水破壞的渠底水泥破裂處湧出，日治時期「高雄溫泉」的泉水來源則已不復見，由舊照片推測，其源頭應位在石頭公北側公寓的上邊坡；而關於壽山東北山麓湧泉水的來源，一般咸信係來自壽山石灰岩體裂隙內的地下水，且近年傳聞龍巖冽泉出水時間縮短、水量變少，引發在地社區、團體的關切，懷疑是因壽山長期開發與採礦而影響湧泉出水量。故本文基於「公民科學」（citizen science）的理念下，藉由學術單位設計可行方法、分析數據，以及在地團體參與資料蒐集等方式進行合作，據此推論龍巖冽泉及東北壽山山麓渠道湧泉的可能來源與

4 盧德嘉，〈鳳山縣採訪冊〉，頁 109。

5 盧德嘉，〈鳳山縣採訪冊〉，頁 131。

6 蔡佩蓉，〈壽山，誰的臺灣八景？〉，《高雄文獻》，2（3）（2012），頁 16-49。

7 林曙光，〈打狗瑣譚〉（高雄：春暉，1993），頁 15-16。

8 廖德宗、郭吉清，〈高雄溫泉舊址考證及泉質探究〉，《高雄文獻》，9（1）（2019），頁 116-143。

發生機制，並提出湧泉的保育建議。

貳、壽山的地形地質特徵

壽山山體南北長約 6km，東西寬約 2km，海拔最高約 356m。依地形特徵可將壽山分為四個區域（圖 1a），包括由一連串臨海斷崖或陡坡構成的西區、高度較低且由石灰岩高地圍繞著泥岩低緩丘陵的盆地狀東北區、高度較高且呈鼓狀地形的中央區，以及呈階地狀的東南區。⁹自強新村湧泉（A 湧泉）和石頭公湧泉（C 湧泉）出泉口位於北壽山、中壽山與平原交界的渠道，龍巖冽泉（B 湧泉）出泉口則位於中壽山的山麓坡腳。

壽山出露的地層（圖 1b）是由上新世晚期至更新世早期、以青灰色泥岩為主的古亭坑層為基底，以及覆蓋其上的是更新世中期的高雄石灰岩和更新世晚期的壽山石灰岩所組成。¹⁰透鏡狀且富含生物碎屑的高雄石灰岩厚度約 550m，向南、北遞減至百餘公尺，並與下部的古亭坑層呈整合接觸，石灰岩體走向約呈北偏東 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，向東南傾斜 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 間，在壽山頂部的傾角較緩；壽山石灰岩則分布於東南區的階地狀平坦面，主要是含珊瑚的石灰岩體，厚度約 20m，與下部的古亭坑層呈不整合接觸；而壽山周圍的高雄平原所覆蓋的厚層現代沖積層為發育於末次冰期結束以後，因海水面快速上升與河川作用，而大規模加積海相和陸相沉積物，直到距今約三千年前逐漸形成今日的高雄平原與海岸地形。¹¹並且可觀察到湧泉帶與許多水井分布在壽山斷層兩側，雖壽山斷層在壽山區域的位置為推測的，但已知為高角度逆斷層，走向約北偏東 30° ，向東南傾斜約

9 高雄市台灣地理學會，〈101 年壽山國家自然公園地景資源調查暨地表變形監測規劃計畫報告書〉（高雄：壽山國家自然公園籌備處，2012），頁 36-42。

10 Sun, S. C., "The Reef Limestones and the Geologic Structures in the Vicinity of Kaohsiung City, Taiwan." *Petroleum Geology of Taiwan*, 2(1963), pp. 47-64；陳華玟、吳樂群、錢憲和，〈臺灣南部高雄地區早更新世半屏山石灰岩與古亭坑層的接觸關係〉，《經濟部中央地質調查所特刊》，8（1994），頁 101-119；陳華玟、吳樂群、謝凱旋、何信昌，〈五萬分之一臺灣地質圖及說明書——高雄圖幅〉（新北：經濟部中央地質調查所，2001），頁 14-19；Wang, S. W., S. Y. Gong, H. S. Mii & C. F. Dai, "Cold-Seep Carbonate Hardgrounds as the Initial Substrata of Coral Reef Development in a Siliciclastic Paleoenvironment of Southwestern Taiwan". *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 17(2) (2006), pp. 405-427.

11 宋時驊，〈末次冰期以來高雄地區沉積層序之研究〉（臺北：國立臺灣大學地質科學系碩士論文，2001），頁 56-64。陳文山，〈末次冰期以來台灣海岸平原區的海岸線變遷〉，《考古人類學刊》，26（2005），頁 40-55。

70°，¹² 也由於未切過全新世以來所沖積的平原沉積層，故推測距今九千餘年以來未曾活動過。¹³

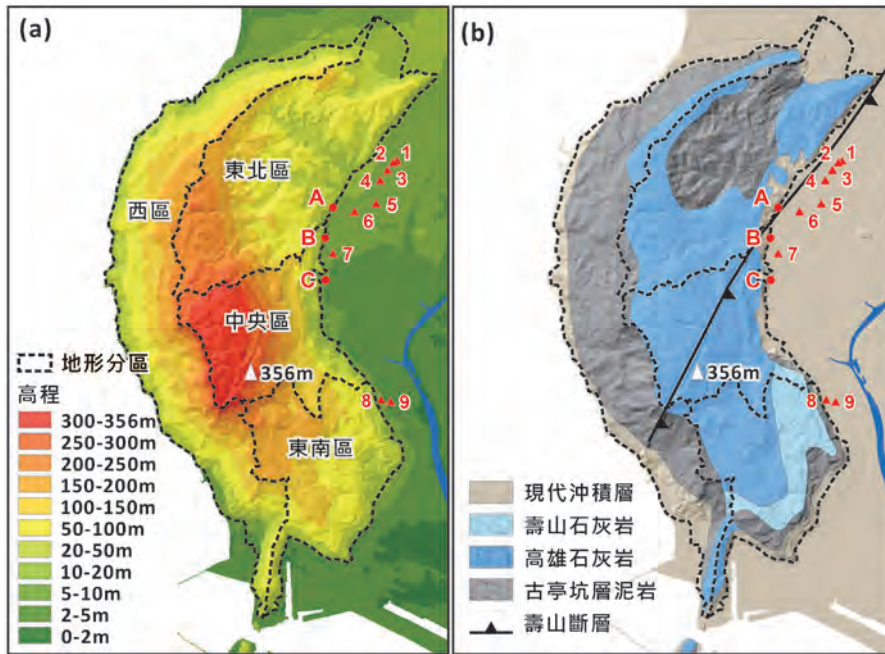


圖 1 壽山地區的地形分區圖 (a) 與地質圖 (b)

說明：湧泉位置以三角形表示，包括 A 為自強新村渠道湧泉、B 為龍巖冽泉、C 為石頭公渠道湧泉；水井位置以圓圈表示，包括 1 為張家井、2 為赤龍宮井、3 為長磚井、4 為陳家井、5 為賴川古宅井、6 為內惟國小後井、7 為牛奶館井、8 為元亨寺前井、9 為岩仔井。

圖片來源：研究者繪製。

參、研究方法與資料收集

壽山東北山麓湧泉的最主要水源是緊鄰兩側的石灰岩山體和平原沉積層地下水，兩個地下水系統的補注水主要來自天水 (meteoric water)，湧泉是否出泉則是這兩個地下水系統交互作用下的結果。在鼓勵一般民眾、地方團體積極參與和自身生活相關的科學議題，以達到「公民科學」之目的，以及考量各種經費與觀測技術限制下，難以透過

12 Heim, A. & C. T. Chung, "Preliminary Observations on the Structure of the Kaohsiung Limestone Mountains." *Petroleum Geology of Taiwan*, 1(1962), pp. 23-30; 陳華玖、吳樂群、謝凱旋、何信昌，〈五萬分之一臺灣地質圖及說明書——高雄圖幅〉，頁 22。

13 亞新工程顧問公司，〈高雄捷運紅線北段壽山斷層調查工作報告〉(高雄：高雄市政府捷運工程局，1995)，頁 48-49; Jen, C. H., J. H. Chen, H. F. Lei, L. D. Ho, H. W. Zhou, T. Y. Lin, C. H. Lu, M. Y. Hsueh & S. J. Chyi, "Recent Movement of the Late Pleistocene Shoushan Slump, Southwestern Taiwan, based on Landform Surveys." *Quaternary International*, 452(2017), pp. 12-21.

水文地質鑽探取得地表下沉積層特徵、地下水位、地下水樣等等資訊，來評估、計算地層孔隙率和滲透率，以及地下水分布、含水量、流動方向、補注來源和水質等分析。因此，本研究只能將地下水系統運作視為一個黑箱（black box），降雨量即為黑箱的輸入（input）、湧泉則為黑箱的輸出（output），並以此設計一套可由地方團體自行操作，且能長期以定性或半定量方式記錄周圍的平原水井水位、湧泉出泉的發生時間與持續狀況之調查方法。

由於高雄降雨季節分布極為不均、乾溼季分明，接近 90% 的降雨量集中在每年的 5 至 9 月間的雨季，尤其 8 月降雨最明顯，¹⁴ 此時地下水位上升，龍巖冽泉也才有機會出泉。而旱季的間歇性少量降雨對山地或平原地下水補注、湧泉出泉無有效助益，且壽山湧泉恐非地下水輸出的唯一途徑，故本文以年度為降雨量累計單元，將龍巖冽泉停泉至次年再次出泉前之間的旱季少量降雨及其影響，和其他無法得知的輸出方式與輸出量，視為分析、討論湧泉發生機制的誤差。研究的實際操作則是以 2013~2020 年的降雨資料和湧泉的出泉、停泉時間建立模式，再由 2021~2022 年降雨量驗證模式適宜性。各項資料取得方式如下：

1. 降雨量資料：因 2013 年 9 月底開始運作、位於鼓山消防分隊頂樓的中央氣象局鼓山自動氣象站（以下簡稱鼓山站）距離壽山東北山麓湧泉帶最近，故本文在 2014 年之後的降雨資料均來自鼓山站的日降雨量紀錄。僅 2013 年的降雨量資料使用高雄氣象站¹⁵（以下簡稱高雄站）紀錄，高雄站和鼓山站相距約 7.5km，經比較兩者 2014 年以後的年、月、日降雨量資料，鼓山站一般較高雄站少、但主要降雨發生時序相似，對於使用高雄站日雨量紀錄的適用性或問題，文中亦會再針對特定議題進行討論。
2. 海拔高度測量：為得知渠道底部、湧泉出水口和平原水井井口的海拔高度，則使用 Trimble R8 衛星接收儀，以內政部國土測繪中心即時動態定位系統（Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK）測量技術取得各點海拔高。¹⁶
3. 井水位測量：平原井水位海拔高度係由井口海拔高度扣除以皮尺測量井口至井水位的

14 王永壯，〈高雄地區氣象資料之分析研究〉，《氣象學報》，37（4）（1991），頁 321-337。

15 因中央氣象局高雄氣象站已於 2022 年搬遷至高雄都會公園，故本文所指的高雄氣象站為尚未搬遷前、位於前鎮漁港的舊測站。

16 高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉（高雄：高雄市政府都市發展局，2015），頁 43-68。

高差而得知。2013~2015 年間的井水位量測頻率為雨季約每兩天一次，旱季時則減至約每週一次，¹⁷ 2016 年之後均改為約半個月至一個月量測一次。¹⁸ 其中，1 號井（張家井）於 2017 年底因被填平，故水位紀錄僅至該年底。

4.湧泉觀察：於 2014 年進行龍巖冽泉、自強新村和石頭公湧泉等三地的定性或半定量觀察、記錄，¹⁹ 其他各年度僅記錄龍巖冽泉的出泉與停泉時間。

5.區域地下水位：依據 2014 年的平原井水位資料，以 ArcGIS 軟體產製「龍巖冽泉出泉前、地下水位尚未上升時」、「龍巖冽泉出泉、地下水位最高時」和「龍巖冽泉停泉、地下水位下降後」三個時間點的地下水等水位線圖。然而因可觀測的水井數量有限且分布不均、部分水井仍持續受抽水利用，以及無法得知山地地下水高度等侷限下，故地下水等水位線圖的主要功能是大致地呈現地下水位概況、變化趨勢和地下水運動方向。

肆、成果與討論

一、累計降雨量與龍巖冽泉出泉

綜合 2013 年高雄站和 2014~2020 年鼓山站的日降雨量、附近地區井水位、及龍巖冽泉的出泉和停泉時間等資料，歸納如圖 2，並基於此資料，對龍巖冽泉的出泉、停泉及其與降雨量關係進行說明：

1.龍巖冽泉在此期間皆每年出泉（圖 2、表 1），2013、2014、2015、2017 和 2019 年共出泉 1 次，2020 年共 2 次，2016 和 2018 年共 3 次；每年總計出泉平均持續時間約 56 天，以 2019 年的 111 天出泉持續時間最長，而最短是 2018 年的第一次出泉，僅持續 5 天，全年累計出泉持續時間最短的則是 2017 年的 7 天，該年也是此期間年雨量最少的一

17 高雄市柴山會，〈柴山自然湧泉基礎環境調查及規劃案〉（高雄：高雄市政府都市發展局，2013），頁 25-32；高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉，頁 43-68。

18 高雄市柴山會，〈106 年度壽山國家自然公園社區夥伴參與培力計畫〉（高雄：壽山國家自然公園籌備處，2017），頁 3-1~3-5；高雄市柴山會，〈107 年度壽山國家自然公園社區夥伴參與培力計畫〉（高雄：壽山國家自然公園籌備處，2018），頁 163-171；高雄市柴山會，〈108 年度壽山國家自然公園社區夥伴參與培力計畫〉（高雄：壽山國家自然公園管理處，2019），頁 172-176。

19 高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉，頁 43-68。

年。此外，除 2013 年與 2020 年，龍巖冽泉首次出泉的當日累計雨量或前一日累計雨量均約在 800~900mm 間，故當鼓山站累計雨量達到約 850mm 時，似乎可視為是該年首次出泉的「降雨閾值」。不過，2013 年則需以高雄站資料進行評估，該年在出泉前一日的累計雨量為 1,009.4mm，出泉當日累計雨量為 1,302.4mm；根據 2014~2019 年首次出泉當日的高雄站累計雨量，僅 2014 年是 1,150mm，其餘均約 950mm 左右，由於高雄站降雨量觀測值歷年常大於鼓山氣象站，故當高雄站的累計雨量達到 1,000mm 時，應亦可同樣視為首次出泉的「降雨閾值」。另外，2020 年龍巖冽泉首次出泉當日的累計雨量為 772mm，出泉期間的累計雨量為 51mm，至首次停泉當日的累計雨量也只有 779mm，均低於 800~900mm 的「降雨閾值」；然而該年首次出泉前的 5/19~5/28 間，最大單日降雨量接近 300mm，兩個禮拜的累計雨量達 681.5mm，占了該年首次出泉當日累計雨量的 88%，占出泉「降雨閾值」的 80%；同樣地對照高雄站的雨量資料，

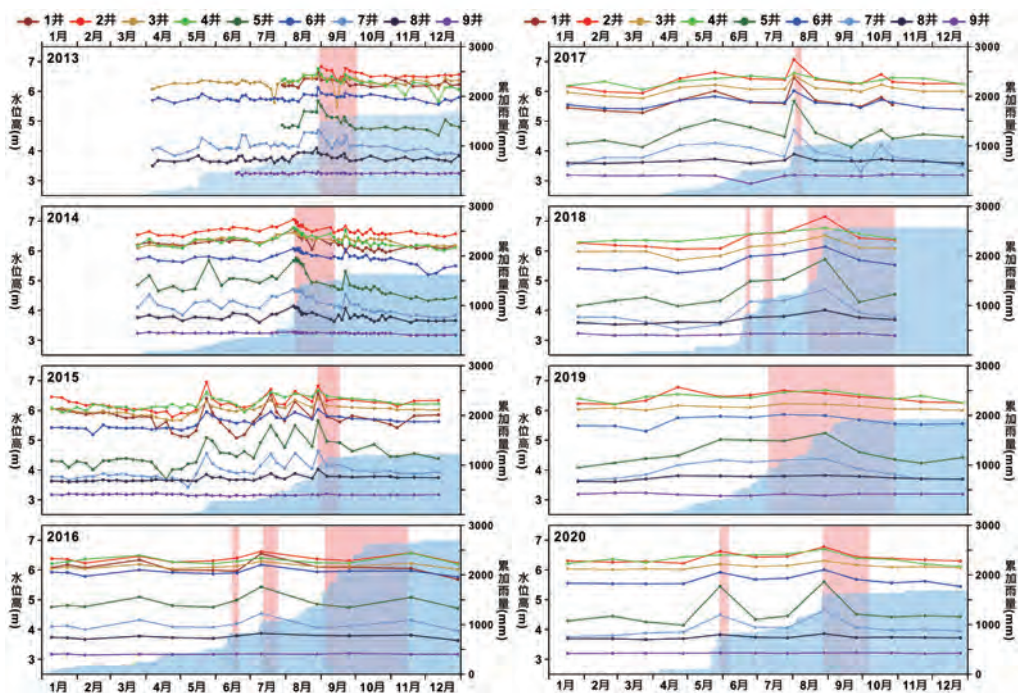


圖 2 歷年日累加雨量、水井水位高度與龍巖冽泉出泉區間（粉紅色區塊）

說明：1 號井為張家井、2 號井為赤龍宮井、3 號井為長磚井、4 號井為陳家井、5 號井為潁川古宅井、6 號井為內惟國小後井、7 號井為牛奶館井、8 號井為元亨寺前井、9 號井為岩仔井。

圖片來源：研究者繪製。

也占了該年首次出泉當日累計雨量的 89%，占出泉「降雨閾值」的 75%，故推測若短時間降雨量達到「降雨閾值」的 75~80%時，即使累計雨量未達「降雨閾值」時，仍有出泉的可能性，然而僅一個年度的案例，仍有待更多的觀察。

表 1 2013~2021 年龍巖冽泉出泉與降雨量概況

		出泉 → 止泉				
年分		出泉前一日 累計雨量	出泉當日 降雨量	出泉當日 累計雨量	出泉期間 累計雨量	出泉 天數
2013		1,009.4	293	1,302.4	592.3	34
2014		583.5	250.5	834	933	36
2015		842.5	72.5	915	315	20
2016	(1)	815	15	830	15.5	7
	(2)	994.5	87.5	1,082	90.5	14
	(3)	1,632	10	1,642	1,008	74
2017		816	191	1,007	200	7
2018	(1)	661.5	144	805.5	191.5	5
	(2)	1,089	37	1,126	63.5	9
	(3)	1,297.5	61.5	1,359	1,275.5	77
2019		849	34	883	1067	111
2020	(1)	728	44	772	51	9
	(2)	1,341	226	1,567	291	42
2021	(1)	771.5	12.5	784	196.5	15
	(2)	1,102.5	88.5	1,191	1,658.5	101
雨量單位：毫米 (mm)						

資料來源：研究者彙整。

2.2016、2018 和 2020 年均多次出泉（表 2、圖 2），本文嘗試提出「再次出泉降雨閾值」，不過其適用性有待後續觀察。2016 年第二次出泉與前一次停泉間隔約 20 天、累計雨量 251.5mm，出泉當日累計雨量 1,082mm；而第三次出泉與前一次停泉間隔約 40 天、累計雨量 557mm，出泉當日累計雨量 1,642mm。2018 年第二次出泉與前一次停泉間隔約 11 天、累計雨量 273mm，出泉當日累計雨量 1,126mm；第三次出泉與前一次停泉間隔約 29 天、累計雨量 206.5mm，出泉當日累計雨量 1,359mm。2020 年第二次出泉與前一次停泉間隔約 81 天、累計雨量 788mm，出泉當日累計雨量 1,567mm。所以可觀察到，若第一次停泉到第二次出泉僅間隔數週，則第二次出泉當日的累計雨量約

1,100mm，而第三次出泉當日的累計雨量至少約 1,350mm 以上，因此，若當日累計雨量達 1,100mm 和 1,350mm，分別可視為第二次和第三次的「再次出泉降雨閾值」，但若前一次停泉與再次出泉的間隔時間越長，則「再次出泉降雨閾值」則會增高。

表 2 2016、2018 和 2020 年龍巖冽泉多次出泉與降雨量概況

				出泉—————→止泉				
年分		與前次停泉 間隔天數	出泉與前次 停泉間 累計雨量	出泉當日 降雨量	出泉當日 累計雨量	出泉期間 累計雨量	出泉 天數	出泉日期
2016	(1)	-	-	15	830	15.5	7	6/14-6/20
	(2)	20	251.5	87.5	1,082	90.5	14	7/11-7/24
	(3)	40	557	10	1,642	1,008	74	9/3-11/15
2018	(1)	-	-	144	805.5	191.5	5	6/20-6/24
	(2)	11	273	37	1,126	63.5	9	7/6-7/14
	(3)	29	206.5	61.5	1,359	1,275.5	77	8/13-10/28
2020	(1)	-	-	44	772	51	9	5/28-6/5
	(2)	81	788	226	1,567	291	42	8/26-10/6
雨量單位：毫米 (mm)								

資料來源：研究者彙整。

3. 龍巖冽泉出泉持續天數短於 2 週的有 2016、2017、2018 和 2020 年，共四個年度（表 1、圖 2）。2020 年首次出泉的持續時間短，且當日累計雨量雖不到 800mm，但出泉前 10 日的總雨量接近 700mm，但出泉期間的降雨量只有 51mm；其他三個年度首次出泉的當日累計雨量均超過 800mm，出泉的前 10 日降雨量也超過 300mm，最大單日降雨量甚至超過 110mm 或接近 200mm，但出泉期間的降雨量亦相對較少，常少於 200mm，甚至低於 100mm。故推測出泉天數較短的降雨特徵是「出泉前短時間大量降雨」和「出泉期間累計雨量少」，而以後者因素更為重要。此外，龍巖冽泉單次出泉持續天數較長的有 2013、2014、2015 和 2019 年，以及 2020 年第二次出泉、2016 年第三次和 2018 年第三次出泉（表 1、表 2、圖 2）。2013 和 2014 年出泉天數約一個月，期間的降雨量均超過 500mm，停泉當日累計雨量超過 1,500mm；2016、2018 年第三次出泉和 2019 年出泉天數超過兩個月，期間的降雨量均超過 1,000mm，2016 和 2018 年的第三次停泉當日累計雨量皆超過 2,500mm。故顯示出泉期間的降雨量與出泉持續

天數有密切關係（圖 3），線性迴歸 R^2 達 0.77；總出泉日數與當年最後一次停泉日累計雨量也有密切關係（圖 4），線性迴歸 R^2 亦達 0.75。

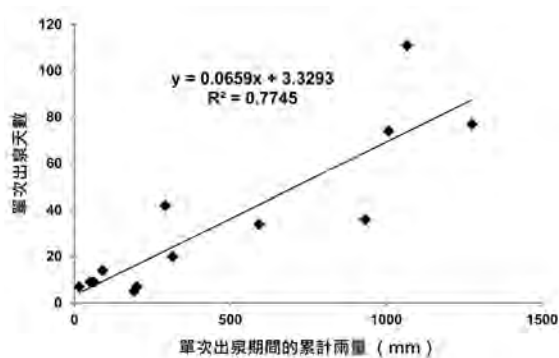


圖 3 單次出泉天數與其出泉期間的累計雨量關係
圖片來源：研究者繪製。

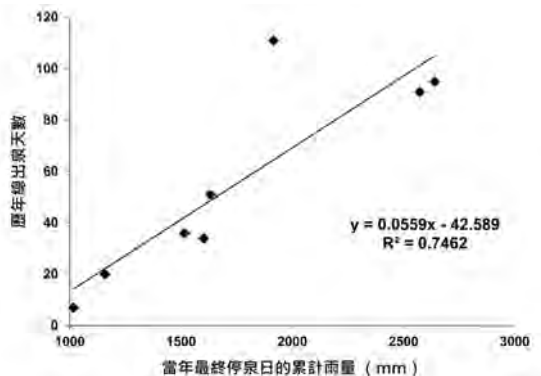


圖 4 歷年總出泉天數與當年最終停泉日的累計雨量關係
圖片來源：研究者繪製。

歸納上述觀察，龍巖冽泉在每年的首次出泉通常發生在出泉當日累計雨量達到約 850mm、或短時間降雨量達到「降雨閾值」的 75~80% 時；而停泉後若當日累計雨量再度達到 1,100mm 和 1,350mm 時，則可視為第二次和第三次的「再次出泉降雨閾值」，之後若持續降雨量越多，出泉時間則越長。對照 2021 年（表 1），龍巖冽泉第一次出泉當日累計雨量 784mm，出泉期間的累計雨量 196.5mm，從 5 月 29 日至出泉當日累計的連續降雨量達 737mm，占出泉當日累計雨量的 94%，因此即滿足了短時間降雨量達到「降雨閾值」的 75~80% 之條件；時隔 9 日後，7 月 20 日第二次出泉，至 10 月 28 日停泉，出泉當日的累計雨量約 1,191mm，²⁰ 也滿足了第二次出泉當日累計雨量須達 1,100mm 的「再次出泉降雨閾值」，出泉期間累計雨量超過 1,500mm，出泉天數達 101 天，相較 2016 和 2018 年的第三次出泉期間累計雨量更多且出泉持續天數更長，因此符合預期。然而，2022 年臺灣遭逢大旱，鼓山站全年累計雨量僅 814.5mm，是 2013 年以來觀察期間降雨量最少且龍巖冽泉唯一未出泉的一年；年累計雨量太少且未出現短時間大量降雨，使壽山地下水體缺乏補注、地下水面無法大規模上升，應是 2022 年未出泉的主要原因。

20 鼓山自動氣象站因大雨故障而無 7 月 19 日至 7 月 21 日之雨量資料，故以鄰近的新興自動氣象站資料取代。

二、平原水井水位變化

綜合湧泉周圍的平原水井水位觀測紀錄（圖 2）及平原地勢（圖 5）。可觀察到井水位與地表海拔高度有著密切關係，地勢較高的 1 號、2 號、3 號、4 號和 6 號井是高井水位群，水井地表高度接續是 5 號、7 號、8 號和 9 號井。高井水位群大多在海拔 5.5~6.5m 間變化，大量降雨後可升至約 7m；而低井水位群的 5 號井水位多在海拔 4~5m 間變化，最低時接近 3.5m，最高時約 5.5m，是所有井水位變動規模最大者，7 號井水位變化規模亦大，平均水位約 4m，水位變化規模約 $\pm 1\text{m}$ ，介於 3.5~4.5m 間，而南邊的 8、9 號井因距湧泉帶較遠，水位最低且幾乎沒有變動，故後續不再討論。此外，降雨與井水位亦有密切關係，根據 2013~2015 年間的密集觀測，大量降雨後的井水位皆顯著上升，降雨停止時間與井水位高峰大致同時，而後約在半個月內的井水位則下降至接近上升前的高度，另在旱季時井水位亦相對穩定，降雨結束後的井水位通常快速下降；其次，除降雨量相對穩定地持續增加、出泉時間最長的 2019 年外，其餘各年發生大量降雨、井水位達到高峰值時，亦達到龍巖冽泉出泉的降雨閾值，且龍巖冽泉出泉與井水位高峰值時間相吻合。

整體而言，井水位相對穩定、變動規模不大，終年變動很少超過 1m，一至二個月內的下降幅度亦多在 1m 內。離自強新村渠道湧泉最近的 4 號井，終年水位約在 6m 以上，6 號井終年水位約在 5.5m 以上，離龍巖池最近的 7 號井終年水位則多在 4m 以上；不過 5 號井變動幅度最大，短時間水位變動可超過 1.5m，終年水位差約達 2m，其次是 1 號井和 2 號井約 1~1.5m、和 7 號井約 0.5~1m。最後，密集觀測井水位期間，許多水井均曾發生水位約 1m 規模的突然下降再回升，且回升的原因似乎與降雨無顯著關係，然而現有的資料無法對其做適當解釋。

三、2014 年湧泉的出泉、停泉和湧水狀況比較

高雄市柴山會在 2015 年〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉報告書中，對於龍巖冽泉、自強新村渠道湧泉和石頭公渠道湧泉的出泉、停泉和湧水情況有詳細的

觀察（表 3）。²¹ 三個湧泉的出泉和停泉特徵是：

1. 石頭公湧泉出泉的持續時間是三個湧泉中最長，大量出泉的發生時間與自強新村湧泉相似。
2. 自強新村湧泉出泉與大量出泉的時間均早於龍巖冽泉，持續時間亦較長。大量出泉時，渠道底部噴出的水柱高約數十公分，出泉開始減緩與停泉的時間亦比龍巖冽泉稍晚。
3. 龍巖冽泉相對石頭公和自強新村湧泉而言，較遲出現大量出泉現象，且出水量最早開始減少和最早停泉，湧泉出泉的持續時間最短。

如前述，龍巖冽泉出泉與降雨有著密切關係，自強新村和石頭公渠道湧泉也有類似特徵，亦是對降雨「輸入」的反應。其次是 2013 年 11 月至 2014 年 3 月間的旱季，自強新村南側至石頭公沿線，渠道底部多處均持續湧出泉水，即使 2015 年高雄即將進入第三階段限水的 5 月份，²² 以及 2022 年降雨量不到年平均值 50%、一千多天無颱風登陸、超過六百天未降大雨（>200mm）的 2023 年初，石頭公渠道仍持續湧水。

表 3 2014 年龍巖冽泉和自強新村、石頭公渠道湧泉的出泉狀況

時間	自強新村湧泉	龍巖冽泉	石頭公湧泉
8 月 8 日	大量出泉	開始出泉，量不大	大量出泉
8 月 12 日	大量出泉	大量出泉	大量出泉
8 月 18 日	大量出泉	大量出泉	大量出泉
8 月 28 日	大量出泉	湧水稍緩	湧水稍緩
9 月 19 日	湧水稍緩	已停泉，側溝岩石縫隙仍有細小出水	湧水量減小
9 月 22 日	湧水變小，持續出水	已停泉，側溝岩石縫隙潮濕、有水	湧水量再減小，但持續出水
9 月 26 日	湧水變小，持續出水	已停泉，側溝岩石縫隙潮濕、有水	湧水量未明顯變小，持續出水
10 月 3 日	湧水變小，持續出水	池塘乾涸，側溝縫隙潮濕、有水	持續細小出水
10 月 17 日	湧水變小，持續出水	池塘乾涸	持續細小出水
10 月 24 日	湧水變小，持續出水	池塘乾涸	持續細小出水
10 月 29 日	湧水變小，持續出水	池塘乾涸	持續細小出水
11 月 3 日	持續細小出水	池塘乾涸	持續細小出水

資料來源：修改自高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉（高雄：高雄市政府都市發展局，2015）。

21 高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉，頁 43-68。

22 高雄市柴山會，〈柴山自然湧泉基礎環境調查及規劃案〉，頁 25-32；高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉，頁 43-68。

四、龍巖冽泉和渠道湧泉的出泉機制

不管是龍巖冽泉或石頭公、自強新村渠道湧泉均位在山地與平原交界，西側是壽山山體，東側是略高於湧泉渠道、由北向南緩傾斜的高雄沖積平原（圖 5）。龍巖冽泉和石頭公湧泉位於石灰岩體厚度最大的中壽山下邊坡，具含水量規模相對較大的「山地地下水」，不過石頭公湧泉西側邊坡的石灰岩體已經被挖除，並現已改建成停車場，而自強新村湧泉位於石灰岩體厚度較薄且不透水的泥岩體分布較廣的北壽山下邊坡，作為水源的「山地地下水」條件較差。龍巖冽泉的出泉口海拔高為 6.14m，其高度皆高於與平原相隔的渠道、附近水井或地下水水位（圖 5、圖 6），故龍巖冽泉的出泉機制應是受到「山地地下水控制」，此時山地地下水勢必也是自強新村湧泉（主出泉口海拔高 5.31m）和石頭公湧泉（最低出泉口海拔高 0.17m）的重要來源之一。

龍巖冽泉長時間出泉時，出泉前的累計雨量，或出泉前數日開始至停泉期間的累計連續降雨量，各約占年總降雨量的 40~60%（後者在年度僅單次出泉的比例較高）（圖 2）；故推測旱季末的山地地下水位低，累計降雨需達到約 50% 的年降雨量，或短時間大量降雨，山地地下水位才能升高至使龍巖冽泉出泉，而因山地地下水位在短時間的變化幅度高於平原地下水，旱季時水位相對



圖 5 湧泉、渠道與水井等所在的地表海拔高度
圖片來源：研究者繪製。

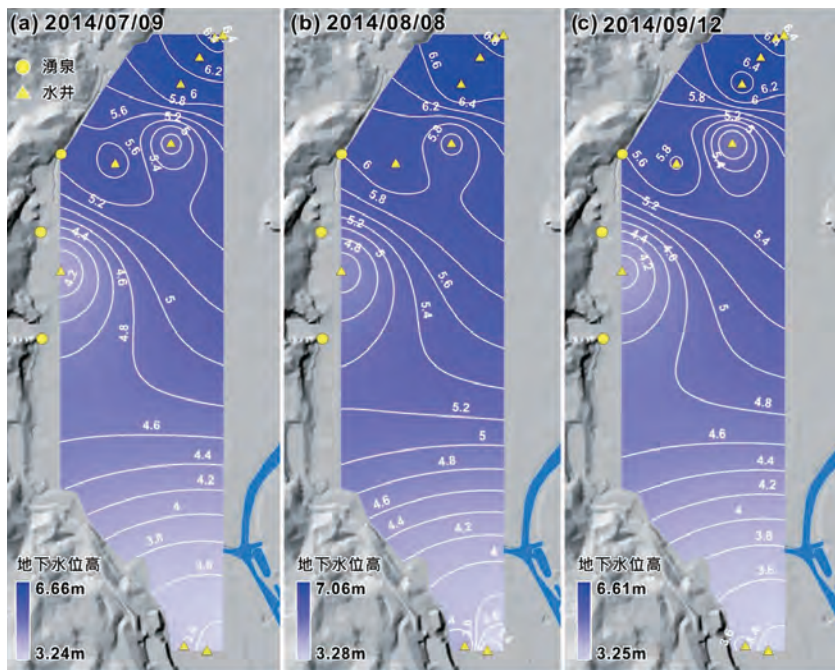


圖 6 2014 年三個時間點的地下水等水位線圖

說明：由左至右依序為 (a) 7 月 9 日出泉前地下水位尚未上升階段、(b) 8 月 8 日出泉期間地下水位最高階段，與 (c) 9 月 12 日停泉時地下水位下降後階段。

圖片來源：研究者繪製。

穩定的平原地下水應是渠道汨汨滲流泉水的重要水源。以較長時間尺度來看，龍巖冽泉和自強新村、石頭公渠道湧泉的「大出泉現象」與「大量降雨」、「井水位顯著上升」或「平原區地下水位顯著上升」，大約具有「同時性」（圖 2、圖 6、表 3），當然降雨是最重要補注水源，但亦顯示「山地地下水」在供應渠道湧泉帶水源的重要性；不過以短時間尺度來說，自強新村和石頭公湧泉較龍巖冽泉出泉時間略早，且大出泉的持續時間較長，出泉期間平原地下水位高度大致高於湧泉帶渠道高度，表示在此時期平原地下水亦有相當的重要性。

從主要出泉口海拔高度 5.31m 的自強新村湧泉、海拔高度 4.19m（2014 年時）的龍巖池，至海拔高度僅 0.17m 的石頭公湧泉主要出泉口，整段湧泉渠道底部的海拔高度均較東側平原低（圖 5），也較鄰近水井的經常性水位低（圖 2）。對照 2014 年龍巖冽泉「出泉前地下水位尚未上升時」、「出泉的地下水位最高時」和「停泉時地下水位下降後」的地下水等水位線圖（圖 6），平原地下水運動方向與地表水運動方向大致一致，且接近湧泉渠道的地下水位幾乎終年都較渠道底部的海拔高度還高，故平原地下水不僅在雨季可能是渠道湧泉的重要來源外，在龍巖冽泉停泉、山地地下水水位下降、長期不雨的

旱季，水位相對穩定的平原地下水對渠道湧泉的重要性更加顯著，此時期渠道底部持續不斷的湧泉，應是「平原地下水控制」。這樣的結果也說明了平原水井水位相對穩定，雖可觀測的水井數量有限，但其所繪製的地下水等水位線圖仍具相當程度的參考價值。

五、湧泉出泉模式與湧泉保育建議

龍巖冽泉出泉與累計大量降雨，或短時間超過 600mm 降雨有密切關係，龍巖冽泉的水源來自壽山的石灰岩體，其出泉屬於「山地地下水控制」。由龍巖冽泉與渠道湧泉的海拔高、出泉特徵、地下水等水位線圖等資料顯示，龍巖冽泉出泉時的山地地下水位一定較平原地下水位高，山地地下水對渠道湧泉有著相當高的重要性，當龍巖冽泉停泉後，山地地下水位可能大幅降低，自強新村至龍巖池的渠道底部海拔高度大致接近或低於平原地下水位，石頭公渠道底部的海拔高度更是終年低於平原地下水位，故平原地下水必然是渠道湧泉的重要水源，是渠道出泉不中斷的原因，是由「平原地下水控制」。亦即雨季時的湧泉主要是受「山地地下水控制」，平原地下水則可以維持旱季渠道持續湧水，或旱季的持續出泉是受「平原地下水控制」。

壽山東北山麓湧泉目前受到多重人為活動的干擾，其一是之前的龍巖池底被鋪設了不透水的混凝土並填高，雖雨季時可積水，但旱季時則乾涸。幸 2021 年池底恢復較接近自然的透水狀態，未來若能設法降低池底高度，應可恢復終年有泉水之狀態；其二是許多水井出現水位突然下降現象，顯示平原地下水持續受到人為利用影響，雖 2015 年之前的地下水變動也許與乾旱或鐵路地下化工程有關，但由井水位變化圖（圖 2）和地下水等水位線圖（圖 6）觀察，至少可確定變動最大、出現明顯地下水面下陷錐（cone of depression）的 5 號井是受持續抽水所造成；其三是渠道湧泉多出現於渠道底部的混凝土鋪面破裂處，混凝土鋪面破裂處則多是被如同自流井般的湧出地下水水壓所破壞，尤其是石頭公前渠道底部的出泉口遍生白色，由生長於含硫水域的細菌、真菌及古菌之生物組成的「水泉花」，²³ 相關研究不僅解決文史古籍與地圖記載的「硫磺水」疑雲，

23 高雄市柴山會，〈冽泉之路——柴山湧泉生態城區整體規劃案〉，頁 106-111；謝寶森、邱郁文、梁世雄、黃大駿，〈全國湧泉濕地生態資源調查成果報告（3/3）〉（臺北：農委會林務局，2015），頁 117；梁世雄、邱郁文、楊嫻育，〈柴山湧泉的沒落與再現〉，《臺灣林業》，42（2）（2016），頁 33-37。

也確認石頭公附近渠道底部「水泉花」就是由「硫化湧泉」產生的特殊景觀。

因此，未來若期望龍巖池終年有水、延長出泉持續時間與增加湧水量，使周遭渠道終年活水流動，確保硫化湧泉、水泉花的特殊地景，創造親水且舒適的健康都市生態環境，甚至達到儲洪和排洪等功能，則本文提出下列五項建議：

- 1.降低龍巖冽泉出泉口高度，以增加出泉持續時間，維護龍巖池自然生態。並降低渠道、池塘底部高度，由北段自強新村渠道降低至海拔 5m 以下，逐漸降低至龍巖池的約 3.5m，最終降低至石頭公附近渠道，應可維持渠道湧泉終年出泉。
- 2.將局部的渠道和池塘底部改為透水性鋪面，部分地區加寬，設置親水設施，不但有利於地下水滲出，降低湧水壓力，維護渠道的部分不透水鋪面免於水壓破壞，也有利於營造親水環境。
- 3.截流並處理附近社區所排放的生活廢水，避免汙水直接排放至渠道，這勢必是必須解決的問題。
- 4.降低平原水井的抽取量，並管制附近大規模建築工程的地下開挖與抽取地下水，然而這是相當棘手的問題。
- 5.運用本區公有土地（如牛奶館或其他國防部、國有財產署之公有土地），並保存附近水井，透過整合生態、文史、公共設施和活動動線等軟、硬體規劃，以提供觀光與環境教育服務，同時發揮地下水和湧泉監測、友善水資源與生態環境的綠地功能。

伍、結論

龍巖冽泉出泉係受「山地地下水控制」，累計雨量與龍巖冽泉出泉有著密切關係，當鼓山站的累計雨量達到約 850mm 時，可被當作龍巖冽泉首次出泉的「降雨閾值」；若年累計雨量不到 800mm 即出泉，則出泉前數日的連續大量降雨通常可達「降雨閾值」的 75~80%。此外，有四個年度有一次以上的出泉紀錄，第二次出泉則發生於首次停泉數週內的累計雨量增至約 1,100mm 時，第三次出泉的累計雨量至少約增至 1,350mm 時，此是「再次出泉降雨閾值」，停泉與再次出泉的間隔天數越長，則「再次出泉降雨閾值」就越高。位在山麓與平原交界的自強新村至石頭公渠道，海拔高度大多低於或接近相對

穩定的平原地下水位，因此當旱季的山地地下水位降低時，平原地下水應是維持渠道湧泉終年不斷的最重要來源，此時渠道湧泉應屬「平原地下水控制」。

數百年來，壽山東北山麓湧泉對平民生活與官方治理均有極高重要性。面對未來，本研究建議適度降低龍巖冽泉出泉口和渠道、池塘底部高度，以增加出泉持續時間和維持渠道終年有活水，並局部加寬渠道、改透水性鋪面、設置親水設施，以營造親水環境；最後是處置附近社區所排放的生活廢水，並適度管制平原抽取地下水，同時整合規劃湧泉帶的土地利用、保存水井，以提供觀光、環境教育與地方創生等機能。唯有如此，方可維護湧泉自然生態，創造健康都市生活環境，達到永續發展的湧泉帶目標，甚至讓湧泉水成為面對全球變遷衝擊，提供水資源、降低乾旱威脅的地方契機。



高雄市立歷史博物館
KAOHSIUNG MUSEUM OF HISTORY