

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第三名

052610

溫泉地理環境防治登革熱的模擬實驗與田間
子防治評估

學校名稱： 臺北市私立東山高級中學

作者： 高一 陳渝潔	指導老師： 謝明輝 李麗敏
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 登革熱、模擬實驗、子子

作品名稱

溫泉地理環境防治登革熱的模擬實驗與田間孑孓防治評估

摘要

隨著氣候變遷、外籍勞工湧入與疫區國家的接觸，登革熱成為衛生機關的重要挑戰。本研究旨在利用臺灣的溫泉地理環境，探討不同性質溫泉，能否有效減少孑孓數量。

本研究以新北市金山區特有的弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉以及海水為研究樣本，進行模擬實驗及田間防治評估，以探討不同濃度及溫度之溫泉或海水，對減少孑孓數量的效果與關聯性。

結果顯示，孑孓對氯化物硫酸鹽泉及海水的耐受性最低，其次是硫酸鹽泉，最後是碳酸氫鈉泉。此外，隨著溶液濃度的降低，其抑制效果顯著減弱。本研究得到結論為硫酸鹽泉及氯化物硫酸鹽泉有效撲殺孑孓，主要機制涉及高濃度酸性硫酸根離子與空氣作用，氧化為二氧化硫，干擾孑孓代謝，而達到撲滅效果。

壹、前言

一、研究動機

登革熱每年使約數十億人處於感染風險之中，並導致超過萬餘人死亡，已成為全球許多國家緊迫的公共衛生挑戰 [1, 2]。登革熱好發地區主要分布於熱帶及亞熱帶地區 [3, 4]。臺灣位於亞熱帶地區交界，致使全年都存在疾病傳播的風險。

現行的控制方法雖能在短期內發揮效果，但仍無法從根本上消除登革病毒的傳播。因此，探索和開發可持續的防疫策略至為重要。

二、文獻回顧

目前發表文獻多為海水灌注法抑制孑孓、臨床藥物減緩症狀、菊科植物提煉菊酯類化合物，製成防蚊噴藥、登革熱疫苗研發或人體試驗，現僅《日本藥理學雜誌》在 2018 年發表的一篇關於明治時期利用溫泉控制寄生性傳染病的文獻 [5]，再無發現有關利用溫泉控制登革熱的研究。因此，本研究旨在探索利用溫泉水進行登革熱防治的創新方法，並評估其對孑孓及病毒傳播的影響。

三、研究目的

鑒於登革熱對公共衛生及財產的重大影響，探索有效的防治策略至為重要。本研究聚焦於新北市金山區的地理環境，此區屬於大屯火山群分支，擁有豐富的溫泉資源，如酸性氯化物硫酸鹽泉、弱鹼性碳酸氫鈉泉及酸性硫酸鹽泉等。本研究主要探討這些臨近海岸的天然溫泉是否能有效抑制孑孓，並防治登革熱。

基於前述，本研究將進行多階段比較試驗，探討以下問題：

- (一) 孑孓在各種不同性質溫泉的濃度與溫度之下，是否被撲殺？
- (二) 若是可行，則其被滅絕的時間是多久？
- (三) 山區、沿海採集的孑孓與平地採集的孑孓在滅絕時間的差異及有效性又如何？

實驗預期能提供一種創新且可持續的登革熱防治方式。如果證實溫泉水對疾病控制有效，

此方法可作為熱帶及亞熱帶地區對抗登革熱的輔助措施，還可能減少對化學殺蟲劑的依賴，從而降低環境污染及抗藥性問題。

貳、研究設備及器材

一、研究材料

(一) 材料

本研究使用的材料包括培養皿、滴管、量杯、酸性氯化物硫酸鹽泉、弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、海水和孑孓。

(二) 溫泉特性

在本實驗中，溫泉的性質及濃度參考新北市衛生局委託台旭環境科技中心股份有限公司檢測的數據 [6]，並輔以現場測量進行進一步確認。測量過程使用了 CyberScan Desktop pH Meter EUTECH-PH510，此設備由新加坡的 Eutech Instruments 公司製造，隸屬於美國 Thermo Scientific 公司。

1. 弱鹼性碳酸氫鈉泉

這種特性的溫泉分布在陽明山的中低海拔地區。水質透明無色，帶有微小氣泡，富含碳酸根離子（濃度 310 毫克/升）。泉源 pH 值為 7.73，出水口經冷泉匯流稀釋 pH 值為 7.2。

2. 酸性硫酸鹽泉

這種類型的溫泉分布在陽明山的中高海拔地區，範圍較廣。泉水質混濁且半透明，帶有強烈的硫磺味，富含硫酸根離子（濃度 460 毫克/升）。泉源 pH 值為 2.03，出水口經冷泉匯流稀釋 pH 值為 5.62。

3. 酸性氯化物硫酸鹽泉

具有氯化物特性的溫泉分布在沿海周邊地區，範圍較廣。水質透明無色，帶有輕微的硫磺味，富含氯離子（濃度 6110 毫克/升）。pH 值為 1.65，出水口經海水匯流稀釋 pH 值為 5.8。

4. 海水

一般來說，熱帶地區海水的表面溫度約為 28 攝氏度，水質透明但有一些雜質。富含氯離子（濃度 14000 毫克/升）。pH 值為 8，因為含有大量的鹽類物質而呈鹼性。

(三) 孑孓的特徵和狀態

本實驗收集的孑孓來自三個不同地區：山區林地、都市空地和沿海平原。研究者參考了衛生福利部疾病管制署於 2015 年發布的報告 [7]，對收集的孑孓特性進行觀察。結果顯示，家蚊孑孓數量高於斑蚊孑孓數量。這可能是因為取樣地點位於偏遠的農村地區，該地區有許多池塘或積水區，易於滋生家蚊孑孓。

為了使觀察更準確，研究者根據蚊子的生態特性，將取樣時間改為午後及傍晚，並聚焦都市易於積水的花盆底盤、輪胎溝槽、不透水帆布和波浪板等處進行採集。僅發現少量的斑蚊孑孓，這可能由於當地衛生單位加強了巡查並藉衛生教育提高了民眾警覺意識，導致斑蚊孑孓的數量較少。

因此，在正式實驗開始前，研究者先將部分家蚊和斑蚊孑孓置於實驗條件中進行初步驗證。在確認牠們的死亡時間相似後，才進行後續研究。

參、研究方法或過程

一、研究方法

（一） 孑孓的收集

金山區包括 15 個里，其範圍涵蓋沿海、平原和山區。因此，根據這一地理模型，研究者首先調查各個鄰里內各式積水容器的分布，然後分析各種容器的位置。最後，將不同地區收集的孑孓，分別置入不同條件（溫度與濕度）、不同濃度的四種溶液中，以觀察其死亡時間是否存在差異。

（二） 環境狀況

研究者將實驗環境設定在夏季一般室外環境和實驗室環境，以觀察在不同溫度和濕度環境下的孑孓，分別暴露於四種不同濃度（100%、50%、30%、10%）和性質（弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性氯化物硫酸鹽泉、酸性硫酸鹽泉和海水）下的存活時間和體型變化。

此外，研究者將四種溶液泡製成相同濃度（310 mg / l），觀察孑孓是否會有不同程度的變化。最後，研究者將從沿海平原或山區森林收集的孑孓分別放入四種不同的溶液中，觀察在相同條件下，來自不同區域的孑孓是否會導致死亡時間的顯著差異。

（三） 溫泉結晶燃燒實驗

溫泉結晶分為碳酸氫鈉結晶和硫磺結晶。碳酸氫鈉結晶的外觀多為白色結晶粉末或塊狀，無氣味，在乾燥空氣中穩定，但在潮濕空氣中會慢慢分解。硫磺結晶的外觀是一種在自然界中常見的無味無臭的非金屬黃色結晶。農村人習慣使用燃燒的硫結晶作為驅蚊工具。本實驗將測試這種結晶是否具有驅蚊效果。

肆、研究結果

一、各種水積聚容器在不同地區的分布

在金山區的 15 個里中，3 個里位於山頂，5 個里位於山坡，7 個里位於市區的平地。研究者對五種最常見的戶外積水容器進行了調查，藉由觀察各里間積水容器的分布，可以了解位處山區置放的積水容器較少。隨著越進入市區，所見的積水容器越來越多（如表 1）。

表 1：各里積水容器的分布（本表由作者親自製作）

容器/鄰里	重和里 (山頂)	兩湖里 (山頂)	西湖里 (山頂)	六股里 (山坡)	清泉里 (山坡)	五湖里 (山坡)	磺港里 (山坡)	永興里 (山坡)	萬壽里 (市區)	三界里 (市區)	金美里 (市區)	美田里 (市區)	和平里 (市區)	大同里 (市區)	豐漁里 (市區)
廢輪胎	0	0	0	8	6	7	0	12	6	5	42	53	36	33	0
桶或盆	4	0	0	11	7	12	16	17	15	16	27	36	18	16	12
花盆托盤	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	32	21	27	0
不透水帆布	3	0	0	12	15	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0

將市區常見到的積水容器數量予以分類，可以得知家戶所堆置的數量最多，其次是私人或閒置空地被民眾用於種植之處（如表 2）。

表 2：市區常見的積水容器位置（本表由作者親自製作）

容器/位置	家戶	農田/果園	市區空地	夜市	苗圃場	農場
廢輪胎	167	22	13	6	0	0
桶或盆	68	112	8	7	6	2
花盆托盤	118	0	0	0	0	0
不透水帆布	0	6	8	12	11	2
總計	353	140	29	25	17	4

經數量分析發現，市區最常見的積水容器為廢輪胎與水桶（罐或鍋），花盆托盤則排名其後（如表 3）。

表 3：常見的積水容器（本表由作者親自製作）

容器	數量	百分比
廢輪胎	208	36.6%
桶或盆	203	35.7%
花盆托盤	118	20.8%
不透水帆布	39	6.9%
總計	568	100%

二、 孢子在不同溫度、濕度和濃度下被撲殺的時間

為深入探討不同性質之溫泉與海水在多種濃度、溫度與濕度條件下對孢子的撲殺效果，本研究特別設計兩組模擬環境，分別代表實驗室控制條件與夏季戶外自然環境，藉此進行系統性比較與分析。根據實驗室溫度 25°C 和相對濕度 51%，可以觀察到弱鹼性碳酸氫鈉泉撲殺孢子需要 40 小時左右，而在酸性硫酸鹽泉水中至少需要 11 小時。然而，使用海水或氯化物硫酸鹽泉則僅需不到 5 小時。由此可以得出結論，孢子最不耐受於酸性氯化物硫酸鹽泉和海水，其次是酸性硫酸鹽泉，最後是弱鹼性的碳酸氫鈉泉水（如圖 1）。

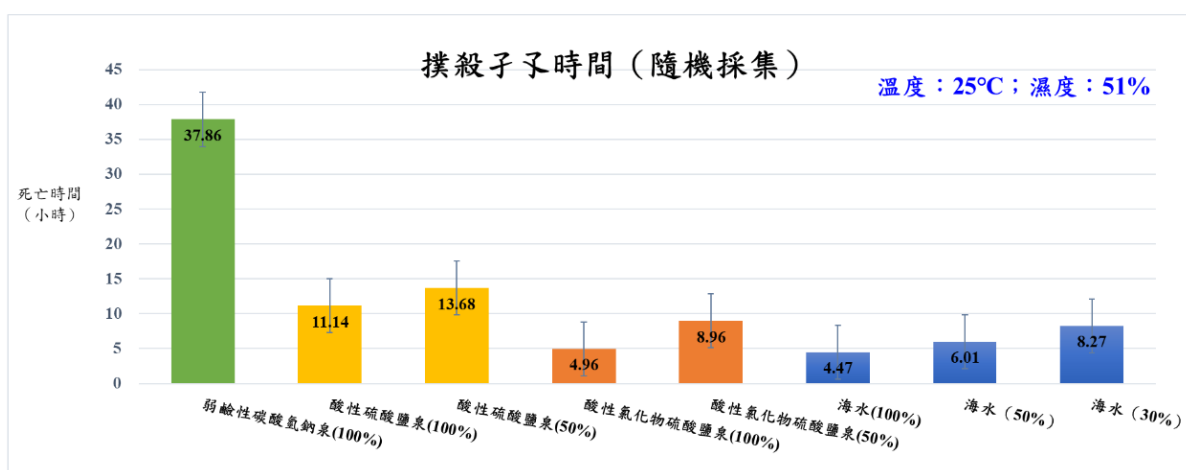


圖 1：實驗室溫度撲殺隨機採集的孢子時間（本表由作者親自製作）

模擬夏季戶外環境（溫度 32℃、濕度 62%）中觀察，顯示**酸性硫酸鹽泉**、**酸性氯化物硫酸鹽泉**和**海水**在 **100%原液濃度**條件下，可以大大縮短子孓的存活時間。原因是在高溫條件下，揮發的硫化氫會轉化成二氧化硫和硫酸鹽，干擾生物呼吸器官，導致中毒（如圖 2）。

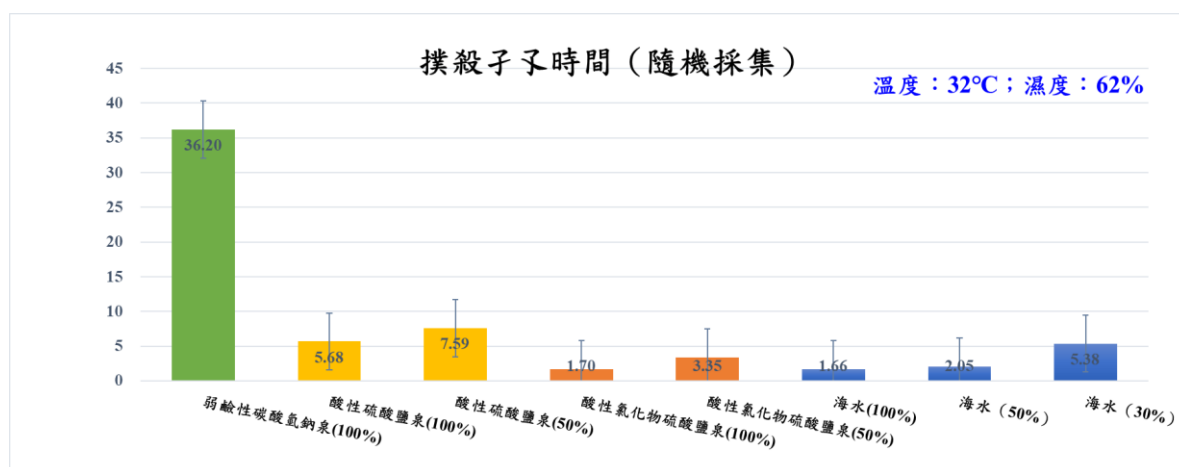


圖 2：夏季室外溫度撲殺隨機採集的子孓時間（本表由作者親自製作）

接著，研究人員將四種溶液統一配製為相同濃度（310 mg/l），並將子孓分別置於各溶液中進行觀察，發現**酸性硫酸鹽泉水**撲殺子孓的能力更佳，這並不是說酸性氯化物硫酸鹽泉或海水對撲殺子孓沒有效果，而可解釋兩種溶液被稀釋到難以撲殺子孓（如圖 3）。

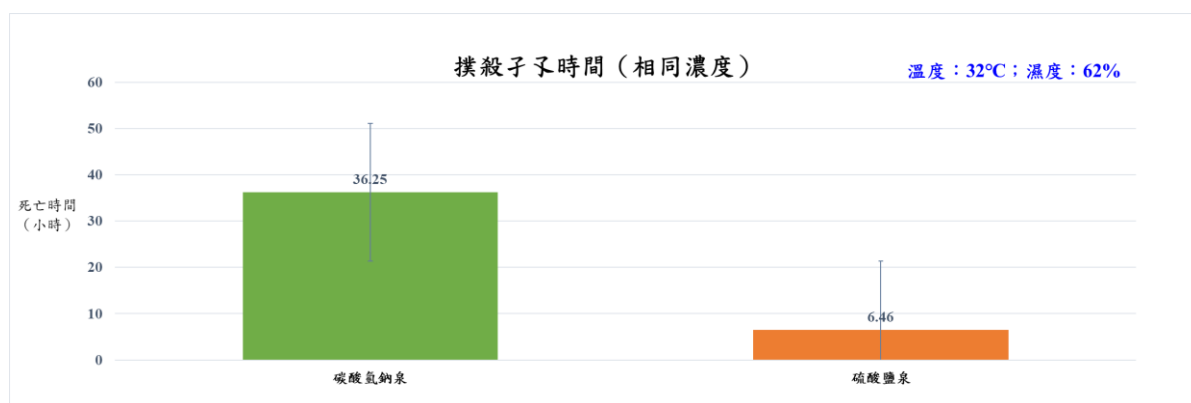


圖 3：泡製統一濃度觀察子孓被撲殺時間（本表由作者親自製作）

此外，研究者自沿海平原與山地森林地區採集子孓樣本，分別置於上述兩種環境條件下進行比較性試驗。在 25℃ 的實驗室環境中，碳酸氫鈉泉水約需 40 小時才能殺死子孓，而酸性氯化物硫酸鹽泉及海水約需 5 小時即可殺死子孓。這顯示不同來源的水質對於子孓的撲

殺效果具有顯著影響。碳酸氫鈉泉的弱鹼性可能導致對孑孓的毒性作用較為緩慢，而**酸性氯化物硫酸鹽泉水及海水**則顯示出較強的撲殺效果。這些溫泉的化學成分，尤其是酸性硫酸鹽泉及酸性氯化物硫酸鹽泉中的硫化物和氯化物會干擾孑孓的呼吸系統，並能以不同方式影響孑孓的生理過程。而海水中的鹽分會導致脫水，進一步加速孑孓死亡（如圖 4）。

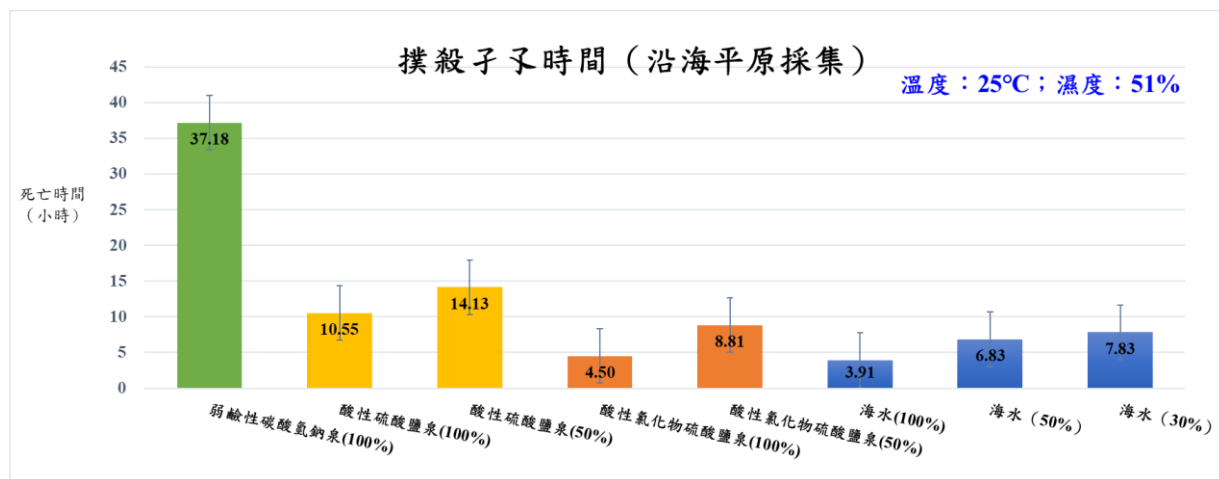


圖 4：實驗室溫度撲殺沿海平原採集的孑孓時間（本表由作者親自製作）

在典型夏季戶外環境中，可以觀察到在夏季戶外高溫下，各酸性泉質與海水撲殺孑孓所需的時間大幅縮短在 3 小時內。這表明夏季高溫可增強各類水質對孑孓的抑制性（如圖 5），這可能是由於這些水質中含有較高濃度的鹽類和硫化物，能快速影響孑孓的生理狀態，加速其死亡。

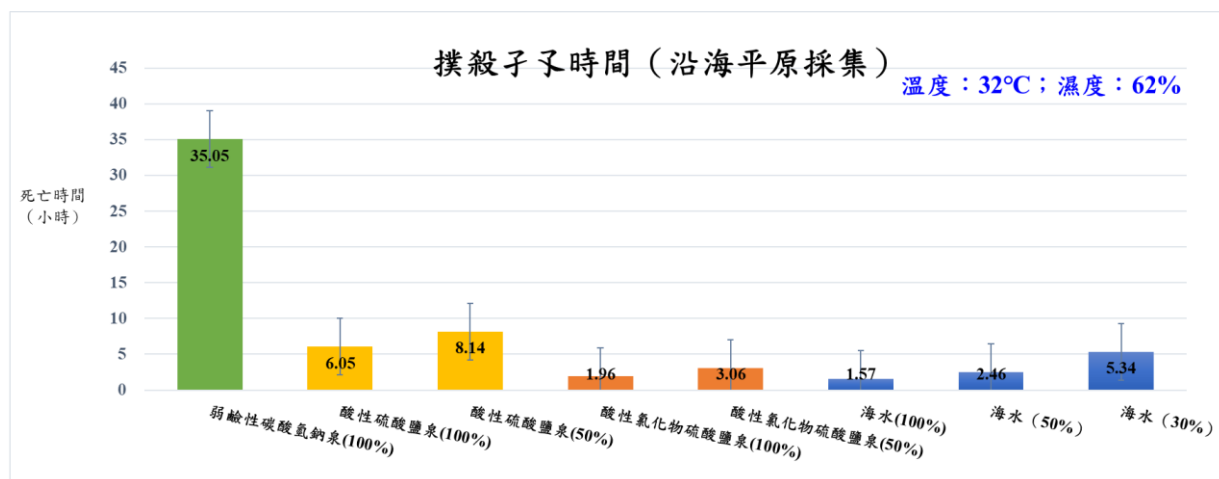


圖 5：夏季室外溫度撲殺沿海平原採集的孑孓時間（本表由作者親自製作）

將從山區採集的子子置於 25°C 的實驗室環境中，與隨機及沿海採集的子子相比發現，不論採集地點為何，弱鹼性碳酸氫鈉泉對子子的抑制效果有限（如圖 6）。這可能與溫泉的化學性質有關，導致對子子的毒性作用較為緩慢。與酸性較強的溫泉相比，弱鹼性碳酸氫鈉泉的撲殺效果較差，導致子子存活時間更長。

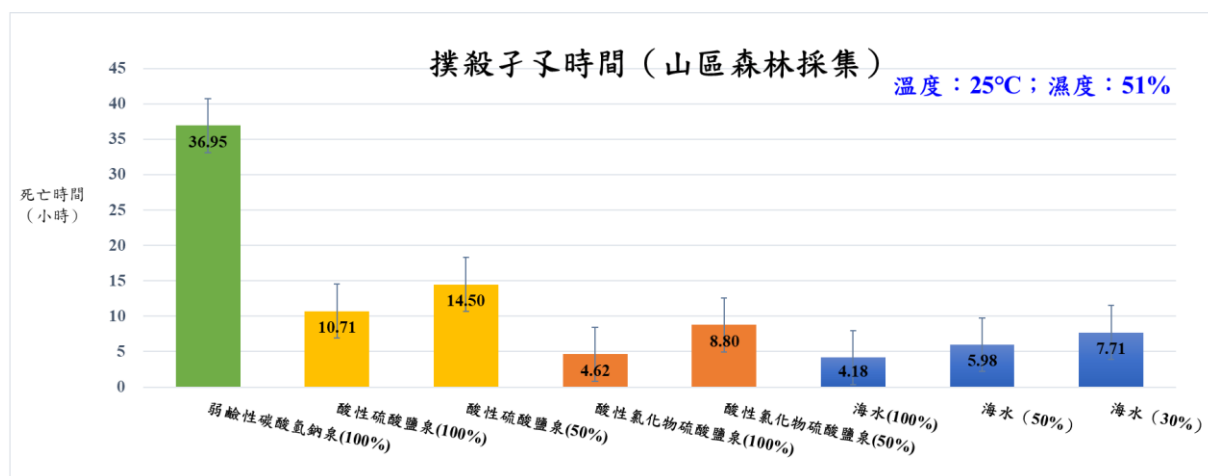


圖 6：實驗室溫度撲殺山區林地採集的子子時間（本表由作者親自製作）

在夏季戶外環境下，酸性氯化物硫酸鹽泉及海水在原始濃度下，可在 2 小時內殺死子子。撲殺時間縮短的主要原因是高濃度的氯化物導致子子脫水，其次是二氧化硫抑制其呼吸功能。高濃度的氯化物破壞了子子體內水分平衡，導致脫水，使其無法維持正常的生理功能。同時，二氧化硫的存在干擾了子子的呼吸系統，阻止其正常呼吸，進一步加速其死亡。這些因素共同作用，顯示出這些水質在高溫夏季具有顯著的撲殺子子能力（如圖 7）。

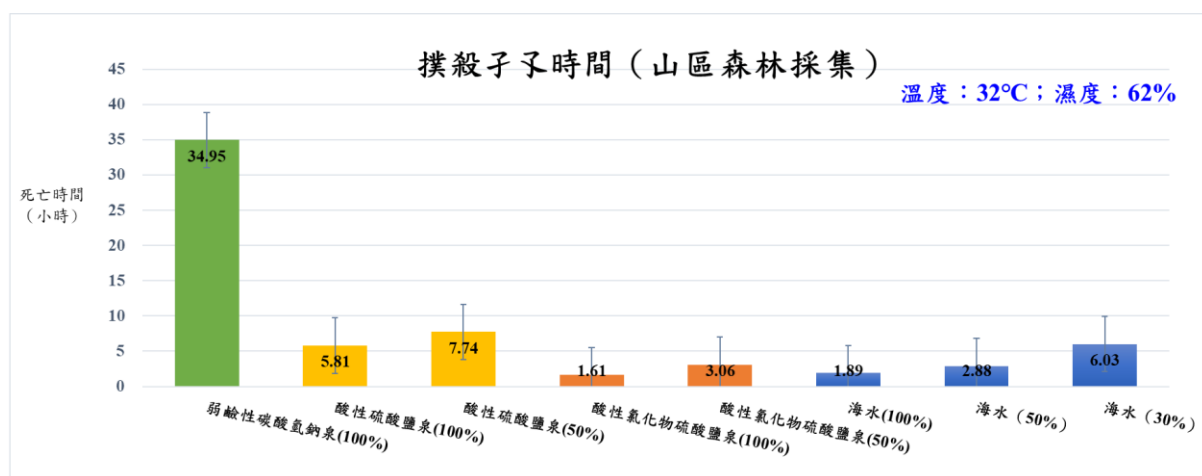


圖 7：夏季室外溫度撲殺山區林地採集的子子時間（本表由作者親自製作）

綜合實驗結果顯示，無論孢子採集自山區森林、市區或沿海平原，四種溶液對孢子撲殺效果大致相當，表現出良好的穩定性與再現性。進一步分析發現，在夏季戶外高溫與原始濃度條件下，酸性氯化物硫酸鹽泉與海水展現出最快的撲殺效果，分別可在 2 小時 10 分鐘與 1 小時 57 分鐘內致死孢子；而酸性硫酸鹽泉則需約 6 小時 8 分鐘才能達到相同效果（如圖 8）。

研究者推測，酸性氯化物硫酸鹽泉撲殺孢子的機制與海水類似。首先，它會使孢子脫水，導致其失去活性。隨後，硫化氫在高溫環境中揮發，轉化為二氧化硫。這些化合物會干擾生物的呼吸過程，特別是氧氣的交換與代謝，從而產生毒性，最終導致孢子被消滅。推估孢子的死亡速度與環境溫度、溶液性質及濃度具高度相關性。亦即在溶液濃度較高及溫度升高的條件下，孢子的致死速率明顯加快。

這一機制不僅解釋了為什麼這些環境能快速有效地抑制孢子的生長，也揭示了酸性環境如何加速有害物質的轉化並增強其毒性。

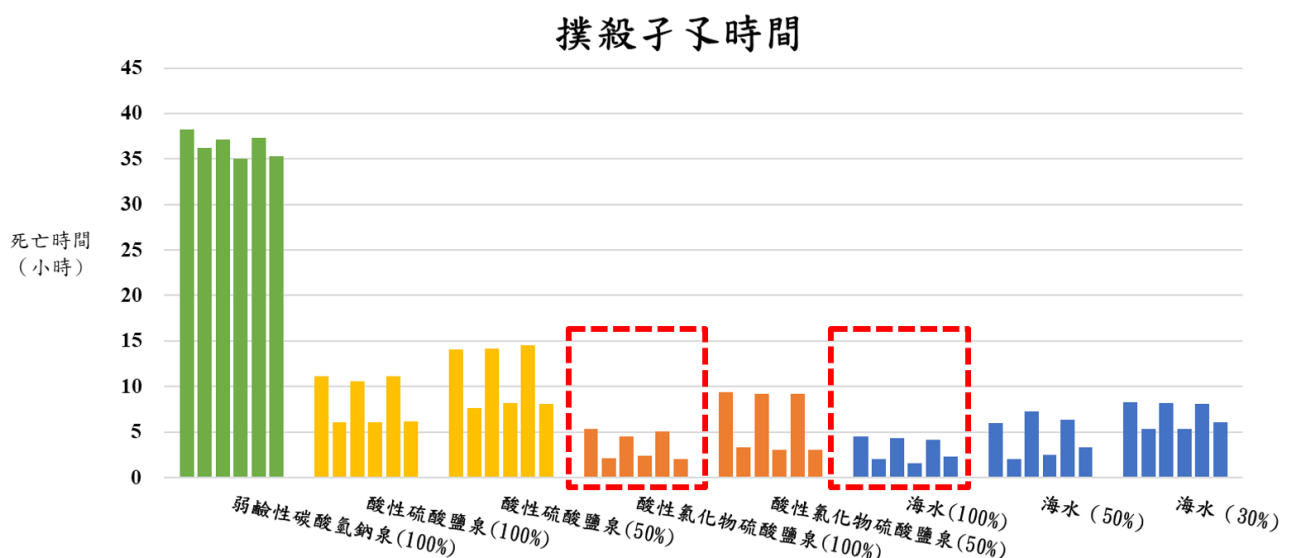


圖 8：彙整所有實驗以觀察孢子被撲殺時間（本表由作者親自製作）

三、 不同性質和濃度的溫泉對孑孓的影響

根據每組的最短和最長死亡時間可知，孑孓對酸性氯化物硫酸鹽泉和海水的耐受性最差，其次是酸性硫酸鹽泉，最後是弱鹼性碳酸氫鈉泉。此外，隨著殺死孑孓的物質濃度的降低，它們產生的顯著抑制效果也隨之減少。

另外，在相同濃度(310 mg/l)條件之下，研究者看到酸性硫酸鹽泉對孑孓的撲殺力較好，此結果並非表示酸性氯化物硫酸鹽泉或海水沒有撲殺的效果，而是此兩種溶液被稀釋至難以撲殺孑孓。至於酸性硫酸鹽泉可以撲殺孑孓，是因為它被稀釋後的濃度還是很高，因此仍然含有高濃度的硫酸根離子，它在空氣中氯化之後，轉變成二氧化硫可干擾生物呼吸過程的氧氣交換及代謝過程，進而具有毒殺滅絕的作用。

四、 孑孓被海水或酸性氯化物硫酸鹽泉撲殺比較

研究者將含有高濃度氯離子的氯化物硫酸鹽泉與海水進行比較。結果發現，當稀釋至原濃度的 50%時，氯化硫酸溫泉與海水均可在 3 小時內殺死孑孓。而在 100%濃度時，殺死孑孓的時間差距變得更小。研究者認為這是由於滲透壓原理，導致孑孓脫水死亡，從而阻止牠們發育為成蟲。

此外，當孑孓暴露於夏季室外溫度時，酸性氯化物硫酸鹽泉和酸性硫酸鹽泉具有快速的殺孑孓效果，主要歸因於高濃度硫酸根離子與空氣中的氧氣和二氧化碳發生作用。此過程形成硫粒子，隨後氧化生成二氧化硫，干擾孑孓在呼吸過程中的氧氣代謝，從而發揮毒性和致死效果。因此，溫泉在控制孑孓方面的效果與溫度具有相關性。

綜合以上結果得知：孑孓能夠被硫酸鹽泉與氯化物硫酸鹽泉撲殺，是因為高濃度的酸性硫酸根離子在空氣中與氧和二氧化碳交互作用下形成的硫磺微粒，氧化產生二氧化硫，可干擾孑孓呼吸過程的氧氣代謝，進而起到毒殺滅絕的作用。由此可知，溫泉的防治效果與氣溫呈正相關。最後，利用海水撲殺孑孓的原理，主要是利用滲透壓的差異來使牠尚未羽化為成蟲之前就在水中脫水死亡。

五、 溫泉結晶體燃燒煙霧對撲殺孑孓的影響

燃燒碳酸氫鈉結晶無法將孑孓消滅，是因為它無法燃燒，其所達到的僅為煙霧驅蚊的效果，對孑孓甚至起不了任何作用。但是燃燒硫磺結晶卻可能達到滅蚊的效果，原因在於其燃燒時產生強烈刺激性的硫化氫和二氧化硫，它可損害生物體的呼吸系統，即使微量的硫化氫也會影響呼吸系統，導致中樞神經麻痺，引發窒息，甚至死亡。

伍、討論

一、孑孓較易產生之處

山區森林區域及沿海鄰里因該地點時常下雨、風勢較大，且地形起伏之山澗伏流水豐富，進而造成水道遍佈，農民與住戶不需特意囤積積水容器進行澆灌或灑水等行為。而從靠近市區的山腰開始至平地，各式積水容器逐漸增加，尤其是市區空曠地點，多被附近住戶施以自耕農（果）作，因水源採集不易，故桶、盆或缸等物品逐漸聚積。進一步來看，山腰處的觀光農場、花圃（苗）園較無廢棄輪胎存在；其餘像夜市、空地、車輛維修廠或住戶等，會將輪胎套入交通錐後，擺（霸）放置各點、各種桶（盆）亦蓄水進行私用行為，再來就是家戶植摘花草的托盤、違建的窗戶遮陽板、波浪板凹槽或夜市架起的塑膠帆布頂篷（如圖 9 所示）等，均成為吸引蚊蟲生卵處所。

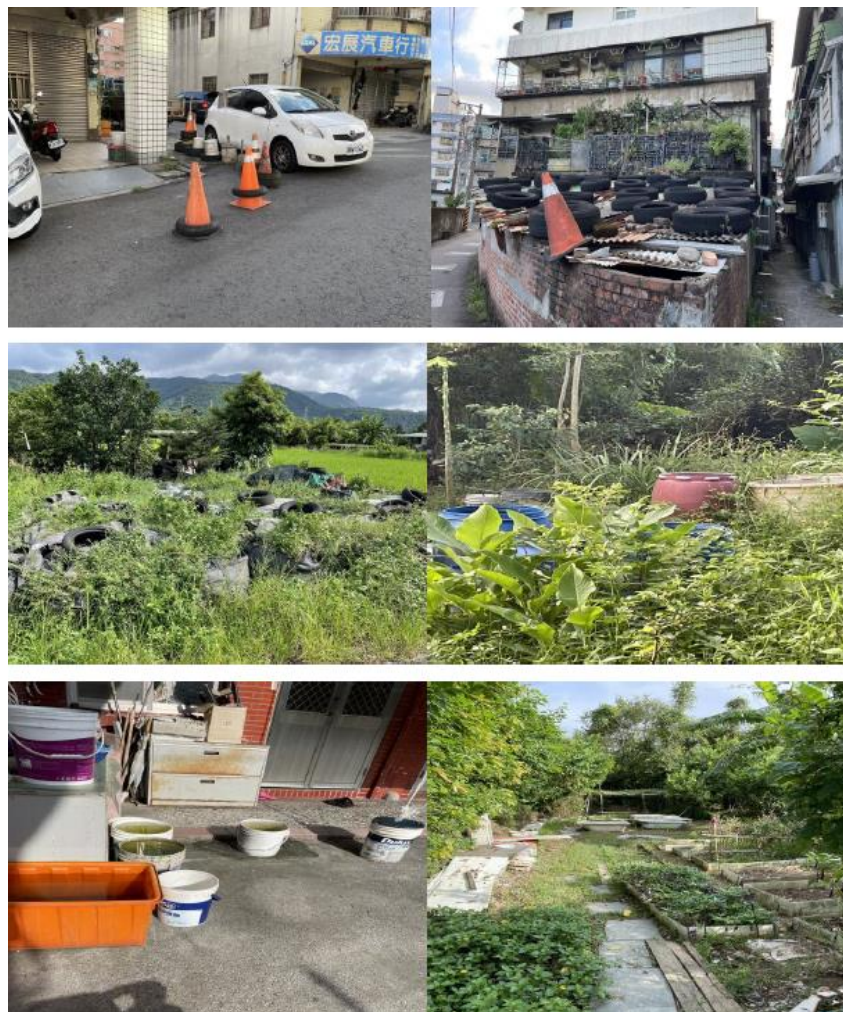


圖 9：常見積水容器樣態（本圖片由作者親自拍攝）

二、弱鹼性碳酸氫鈉泉撲殺孑孓成效不顯著原因

在實驗中，弱鹼性碳酸氫鈉泉撲殺孑孓能力均低於酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉或海水。根據農業委員會農業試驗所第 142 號特刊及 2006 年《Biochemistry》期刊 Clinical Correlates of pH Levels: Problem Set 的文獻提到，碳酸氫鈉效果較低的可能原因是其 pH 值不夠顯著，未能有效破壞害蟲的蠟質表層或呼吸系統，因此削弱了撲殺害蟲的效果。換句話說，碳酸氫鈉溫泉對孑孓的呼吸系統或外部蠟質層的抑制作用較弱，導致其殺滅能力較低 [8, 9]。

此外，近年異常的氣候模式導致海水溫度和海平面上升，擴大了海水與淡水交界的範圍，這也引起了蚊子及其後代的適應能力和結構產生變化。這些變化增強了蚊子對低濃度鹼性海水的抗性，進一步提高了牠們的存活能力，尤其是對埃及斑蚊幼蟲的生長更為有利。這種情況不僅擴大了埃及斑蚊的繁殖範圍，還可能促進疾病的爆發 [10, 11]。

三、酸性硫酸鹽泉與酸性氯化物硫酸鹽泉以硫化氫抑制呼吸系統

根據美國 Hydrogen Sulfide 在 2016 年及 Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 2024 年的一項研究指出，硫化氫是硫與硫酸的副產物，通常以氣態形式釋放並散佈在空氣中。水中的硫化氫容易揮發並轉化為二氧化硫與硫酸鹽。在高濃度硫化氫暴露下，可能會對呼吸系統造成損害，導致呼吸窘迫或停止，若濃度極高，即使僅靠吸入也可能導致死亡 [12, 13]。

硫化氫是許多溫泉中的常見化學成分，特別是在火山區的硫磺溫泉。其形成主要源於地熱活動釋放的硫或硫化合物在高溫和還原條件下與水反應生成硫化氫。或地下硫酸鹽還原菌在無氧環境下，將硫酸鹽還原為硫化氫 [13]。

根據文獻 [9, 11]，硫化氫是一種強效細胞毒素，其對孑孓的致死作用主要表現在：抑制細胞呼吸、蛋白質與酶的失活與間接的 pH 效應。當硫化氫氣體從溶液中釋放並揮發到空氣中後，會形成二氧化硫，對孑孓的呼吸系統造成嚴重破壞，干擾孑孓的氧氣交換過程，抑制其正常呼吸功能，最終導致窒息死亡。此外，水中氯離子與硫化氫濃度越高，孑孓脫水速度越快，加速其死亡 [12, 14]。

因此，酸性氯化物硫酸鹽泉不僅能透過高濃度氯離子加速孑孓脫水，還能在揮發過程中釋放硫化氫，進一步破壞孑孓的呼吸系統，加速其死亡過程。這解釋了為何即使在典型的室外溫度下，這些溶液仍然能有效殺死孑孓。

四、海水以改變滲透壓致使孑孓脫水

依據 Riley 和 Skirrow 的研究指出，海水的鹽度主要受氣候與大陸地形影響。從低緯度到高緯度，海水鹽度的變化主要由蒸發和降水之間的差異決定 [15]。從實驗結果我們可以推測，將海水移至室外後，高溫導致水分蒸發，進一步提高了氯化鈉離子的濃度。這導致滲透壓的變化，促使孑孓脫水並死亡。我們觀察到孑孓表現出乾燥、扁平以及發黑的現象，證實了這一現象 [16, 17]。

此外，海水中不僅含有高濃度的氯化鈉，還含有一定濃度的硫化氫 [17]。這意味著在典型的室外溫度下，海水中的硫化氫可能揮發並釋放到空氣中，對孑孓的呼吸系統產生毒性作用，與酸性氯化物硫酸鹽泉中的效果類似 [16-18]。因此，這一現象不僅僅是由於海水高鹽度引起的滲透壓變化，還可能受到硫化氫揮發和釋放的影響，進一步加速了孑孓的死亡過程。

埃及斑蚊最初並不攜帶病毒，它們是透過叮咬感染登革熱病毒的病患來傳播病毒 [19]。如果能有效隔離登革熱病患並減少埃及斑蚊的數量，就能有效控制登革熱的傳播 [19, 20]。根據 2019 年衛生福利部疾病管制署發佈的《登革熱基礎認識》，世界衛生組織、巴西亞馬遜環境監測中心及新加坡均曾報告，在野外採集的病媒蚊（如埃及斑蚊或白線斑蚊）的雌性與雄性個體中檢測到登革熱病毒，這顯示出高度的親代傳播可能性，即所謂的經卵傳播現象 [20-22]。

此外，2023 年一項來自巴西的研究顯示，埃及斑蚊現在能夠在淡水中產卵並完成胚前發育，甚至適應在鹽濃度高達 15 g/l 的海水中發育 [23]。這顯示登革熱病毒的傳播途徑已超越傳統的理解，呈現出更大的複雜度與多樣性。這顯示登革熱病毒的傳播方式已偏離了大眾的原始認知。

五、綜合各項孑孓防治法的比較

在對弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉、海水以及生物防治方法進行比較後，可以發現不同方法在殺滅孑孓的效果上存在顯著差異，且每種方法都有其獨特的優勢與局限性。

首先，水質的化學成分對撲殺孑孓效率有著顯著的影響。弱鹼性碳酸氫鈉泉由於其毒性較弱且化學作用較為緩慢，表現出最差且最慢的撲殺孑孓效果。相比之下，酸性硫酸鹽泉和酸性氯化物硫酸鹽泉則因其含有高濃度的硫化物和氯化物，能夠迅速破壞孑孓的代謝和呼吸功能，展現出強烈的毒性作用，從而達到快速撲殺效果。海水則因其高鹽度的特性，能夠導致孑孓脫水並加速其死亡，因此在撲殺孑孓效率上表現極為突出（如表 4-1）。

表 4-1：各種孑孓控制法之效果比較表（本表由作者親自製作）

方法	效果
弱鹼性碳酸氫鈉泉	通過改變水質的環境，可能干擾孑孓的生長，但效果可能不如酸性泉顯著。
酸性硫酸鹽泉	酸性硫酸鹽濃度對孑孓具有直接毒殺作用，效果顯著，尤其對孑孓的致死率較高。
酸性氯化物硫酸鹽泉	氯化物與硫酸鹽的聯合作用進一步增強毒性，效果可能優於單一酸性硫酸鹽泉，對孑孓有快速且高效的殺滅作用。
海水	高鹽分濃度對孑孓的生存有一定抑制作用，但需高濃度才能顯現顯著效果。
生物防治法	透過投放天敵(如蓋斑鬥魚)或使用微生物(如 <i>Bacillus thuringiensis israelensis</i>)，能有效控制孑孓數量，但需時間發揮作用。

其次，酸性環境在增強化學物質的毒性作用方面扮演了重要角色。酸性硫酸鹽泉和酸性氯化物硫酸鹽泉中的硫化物及酸性成分在高溫環境下會釋放硫化氫或轉化為二氧化硫，這些化合物能夠直接干擾孑孓的呼吸過程，從而顯著提高撲殺能力。這顯示酸性環境能夠有效增

強化學物質的毒性，進一步提升防治效率。

在環境友善方面，生物防治方法展現出明顯的優勢。與溫泉及海水的化學性質相比，生物防治方法對生態環境的影響極小，是一種更為環保的選擇。儘管生物防治方法可能需要較長時間才能見效，但它們能夠長期有效地控制孑孓的孳生，且不會向環境中釋放有害化學物質，因此在可持續性方面具有重要價值（如表 4-2）。

表 4-2：各種孑孓控制法之環境比較（本表由作者親自製作）

方法	效果
弱鹼性碳酸氫鈉泉	對環境影響較小，但長期使用可能改變水質的酸鹼平衡，影響其他水生生物的生態系統。
酸性硫酸鹽泉	酸性溶液可能對非目標生物（如水生植物和其他無脊椎動物）造成影響，需謹慎應用以避免破壞生態平衡。
酸性氯化物硫酸鹽泉	高酸性對非目標生物的影響更大，可能對週邊水域生態系統產生長期影響，需進行風險評估並控制使用範圍。
海水	鹽分滲透可能影響周圍土壤和水域的鹽度，對淡水生態系統不利，需避免大規模使用於內陸水質。
生物防治法	透環境友好，對非目標生物影響小，但需確保引入的生物不會成為外來入侵物種，避免對當地生態系統造成不良影響。

高溫環境對化學反應速率及孑孓死亡率也有顯著影響。在夏季高溫條件下，酸性氯化物硫酸鹽泉和海水的撲殺孑孓效率顯著提升，這是因為高溫加速了化學反應速率並增強了毒性作用。然而，弱鹼性碳酸氫鈉泉的效果在高溫下雖有所改善，但仍無法與其他泉水類型相媲美，顯示出其在高溫環境下的局限性。

單一防治方法往往難以應對所有情況，因此結合多種方法的綜合防治策略顯得尤為重要。通過將化學防治與生物防治相結合，可以根據具體的環境條件和控制需求靈活調整，從而實現更高效且可持續的孑孓控制。因此在選擇防治方法時，必須仔細考慮對非目標生物及整體

生態系統的潛在影響，以避免引發生態問題。通過科學選擇與組合不同的防治方法，還能在最大程度上減少對環境的負面影響。這種綜合性的防治策略，為未來蚊蟲控制工作提供了重要的參考方向（如表 4-3）。

表 4-3：各種孑孓控制法之可行性比較（本表由作者親自製作）

方法	效果
弱鹼性碳酸氫鈉泉	適用於水質 pH 值調節需求不高的地區，但對高密度孑孓的控制效果有限，需與其他方法結合使用。
酸性硫酸鹽泉	在酸性泉資源豐富的地區具有較高可行性，但需控制應用範圍以減少對非目標生物的影響。
酸性氯化物硫酸鹽泉	適用於高密度孑孓爆發區域，但需謹慎管理以避免生態破壞，適合短期應急控制。
海水	適用於沿海地區，但內陸地區因運輸與環境適應性問題可行性較低，且需考慮對淡水系統的影響。
生物防治法	長期可行性高，適用於多種環境，但需建立良好的管理機制以確保生物防治的效果穩定且可持續。

六、孑孓防治法的優缺點比較

根據本實驗的結果發現，每種方法都有其特定的優缺點，且其效果會受到環境條件和資源分佈的影響，這使得單一方法難以滿足所有防治需求。我們建議根據不同地理環境的特徵，將不同的防治方法進行結合。例如，在孑孓密度較高的區域，可以使用酸性硫酸鹽泉或酸性氯化物硫酸鹽泉進行快速處理，隨後採用生物防治方法（如蓋斑鬥魚或 Bti）進行長期管理。在沿海地區，則可將海水與生物防治方法結合使用，以降低成本並最小化對環境的負面影響。當然，在選擇防治方法時，必須仔細考慮對非目標生物和整體生態系統的影響，以避免生態問題。我們相信，通過科學地選擇並結合這些方法，可以實現高效且可持續的孑孓防治，同時最小化對環境的負面影響（如表 5）。

表 5：各種孑孓控制法之優缺點比較法（本表由作者親自製作）

方法	優點	缺點
弱鹼性 碳酸氫鈉泉	環境友善：弱鹼性碳酸氫鈉泉對水質的 pH 值調節較為溫和，不易對非目標生物造成劇烈影響。	毒性不足：對孑孓的直接殺滅效果有限，更多是通過改變水質環境來間接抑制其生長。
	適用範圍廣：適合於酸性偏高的水域環境（如酸性土壤地區），可調節水體至中性或弱鹼性，有助於抑制孑孓的生長。	需持續應用：由於碳酸氫鈉的效應需要長時間才能顯現，需定期補充以維持水體的 pH 值。
	穩定性強：碳酸氫鈉溶解後能緩慢釋放二氧化碳，對水體的長期穩定性有一定幫助。	對高鹽或高有機物水體效果差：在鹽分或有機物濃度高的水域中，碳酸氫鈉的作用可能被削弱。
酸性 硫酸鹽泉	高效殺滅孑孓：酸性硫酸鹽泉的低 pH 值和高濃度的硫酸鹽對孑孓具有直接的化學毒性，能快速殺滅孑孓。	對非目標生物的影響：低 pH 值可能對水質中的其他生物（如魚類、浮游生物）造成傷害，需謹慎使用。

	適用於靜水環境：在靜止或低流動的水體中，酸性硫酸鹽泉的效果更為顯著。	應用條件限制：酸性硫酸鹽泉的資源分布有限，僅在特定地區（如火山地帶）可用。
	自然來源：可直接利用天然酸性硫酸鹽泉，減少對人工化學藥劑的依賴。	腐蝕性強：酸性水體可能對周圍的基礎設施（如管道、混凝土）造成腐蝕。
酸性氯化物 硫酸鹽泉	多重毒性效應：結合了酸性（低 pH 值）、氯化物和硫酸鹽的多重毒性，對子子的殺滅效果最為顯著。	生態風險高：對非目標生物的毒性較強，可能破壞水質中的生態平衡。
	高效快速：能在短時間內顯著降低子子密度，尤其適用於重度子子滋生區域。	酸性過強的風險：酸性氯化物硫酸鹽泉的 pH 值通常極低（<3），需謹慎控制投放量以避免過度酸化。
	適用於高有機物水質：氯化物和硫酸鹽的聯合作用對有機物含量高的水域（如污水池）效果尤佳。	資源稀缺：與酸性硫酸鹽泉類似，其分布受限於特定地區的地質條件。
海水	天然且易得：海水是一種天然資源，特別是在沿海地區，使用成本低且來源穩定。	效果有限：對耐鹽性較強的子子品種（如部分 Anopheles 屬或 Ochlerotatus 屬）效果不明顯。
	高鹽濃度的抑制作用：海水的高鹽濃度會對子子的滲透壓平衡造成破壞，導致其脫水或死亡。	需要大量供應：大面積水域的處理需要大量海水，且需考慮運輸和分配成本。
	對部分子子種類有效：如淡水蚊種的子子對鹽分敏感，海水能有效抑制其繁殖。	對土壤和植物的影響：海水可能使土壤鹽鹼化，對周圍的植物生長造成不利影響。

生物防治法	<p>環境友善：生物防治法（如蓋斑鬥魚或微生物製劑）對非目標生物的影響較小，且不污染環境。</p>	<p>效果受環境限制：生物防治法的效果依賴於環境條件（如水溫、氧氣濃度、pH 值等），在極端環境中效果有限。</p>
	<p>可持續性強：捕食性生物（如蓋斑鬥魚）一旦建立種群，可長期提供防治效果，無需頻繁干預。</p>	<p>需要時間建立：捕食性生物需要一定時間建立穩定種群，短期內可能無法顯現效果。</p>
	<p>多樣化選擇：包括捕食性生物（魚類、昆蟲）和微生物製劑（如 Bti），可根據環境條件靈活選擇。</p>	<p>非目標風險：某些外來捕食性生物（如蓋斑鬥魚）可能對當地生態系統造成負面影響。</p>

陸、結論與應用

從上述討論可以得出：將酸性氯化物硫酸鹽泉與酸性硫酸鹽泉進行比較，發現僅由硫化氫引起孑孓死亡所需的時間較長。然而，在探索酸性氯化物硫酸鹽泉撲殺孑孓所需氯化物和硫酸鹽離子濃度與時間方面的作用，仍需要進一步研究。當前的研究瓶頸和局限性主要來自設備、人力和研究能力。

同時，需要進行長期觀察酸性溫泉對水生生態系統的長期影響，特別是對非目標物種的影響。對於海水，應研究土壤鹽化與植物生長之間的關聯性，同時開發除鹽技術來減少負面影響。長期應用面臨的挑戰包括環境稀釋效應、孑孓耐受性增強以及生態系統影響。未來的研究應該結合實地研究並結合其他控制方法，以提高效果並減少潛在的環境危害（如表 6）。

表 6：各種孑孓控制法所面臨的問題與挑戰（本表由作者親自製作）

因素	酸性鹽泉	海水
短期防治效果	高效快速，對孑孓有顯著毒性。	對淡水蚊種孑孓有效，但對耐鹽性孑孓效果有限。
非目標生物影響	強烈，對水生生物和食物鏈有明顯破壞。	中等，主要影響淡水生物，但對耐鹽性物種影響較小。
生態系統長期影響	生物多樣性下降，可能導致生態系統結構單一化。	鹽分累積可能改變生態系統結構，增加耐鹽性生物的優勢。
土壤與環境影響	土壤酸化、金屬溶解、腐蝕性問題。	土壤鹽鹼化、地下水鹽化。
應用條件限制	資源稀缺，僅在特定地區可用。	沿海地區海水易得，但需考慮運輸成本。
生態安全性	低，需謹慎控制使用範圍和濃度。	中等，需考慮鹽分對土壤和水體的長期影響。

本研究選擇新北市的金山區作為實驗樣本，因為該區域擁有獨特的火山地形和多樣的溫泉地質特徵，這些自然資源為探索不同性質溫泉對孑孓抑制的影響提供了理想條件。通過比較該區域內的多種類型溫泉，研究確保了廣泛的代表性和科學有效性。實驗結果顯示，酸性氯化物硫酸鹽泉和海水對孑孓的抑制效果最為顯著，這歸因於它們的高酸性和鹽濃度。這些發現與蚊子生物學的理论基礎相符，也代表孑孓對極端環境的耐受性較低，支持了結論的合理性和可信度。未來的研究應擴展到其他擁有溫泉資源的縣市，增加樣本量，觀察環境影響，並評估可持續性，以提高精確度和普遍性，最終形成科學和實用的控制模型。未來的策略應該將這些方法與其他綜合控制方法結合，以達到更好的效果。希望這項基礎研究能為有效的疫情防控策略提供新的見解。

柒、參考文獻資料

1. AK Githeko, SW Lindsay, UE Confalonieri, and JA Patz: Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization* 2000;78(9), 1136-1147. PMID:11019462
2. DJ Gubler: Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. *Trends Microbiol* 2002;10(2), 100-3. DOI:10.1016/s0966-842x(01)02288-0
3. Yu-Wen Chien, Hsiang-Min Huang, Tzu-Chuan Ho, Fan-Chen Tseng, Nai-Ying Ko, Wen-Chien Ko & Guey Chuen Perng: Seroepidemiology of dengue virus infection among adults during the ending phase of a severe dengue epidemic in southern Taiwan, 2015. *BMC Infectious Diseases*. volume 2019; 19:338. DOI:10.1186/s12879-019-3946-y
4. S.P. Boerlijst, E.S. Johnston, A. Ummels, L. Krol, E. Boelee, P.M. van Bodegom, M.J.J. Schrama: Biting the hand that feeds: Anthropogenic drivers interactively make mosquitoes thrive. *Science of The Total Environment* 2023; 858(2), 1-11.
5. Jun Maki, Hiroshi Sekiya, Eiji Tamai, Hiroyuki Namba and Hiroshi Sakagami: Medical and Medicinal Effectiveness of Hot Springs on Cutaneous, Ocular and Parasitic Diseases Since the Edo Era in Beppu, Japan with the Prospect of Hot-spring Water Against Parasitic Infectious Diseases in Foreign Countries, Especially the Tropical and Subtropical Areas. *Jpn. J. History Pharm* 2018; 53(2), 130-134.
6. 台旭環境科技中心股份有限公司 <https://www.taet.com.tw/index.php?action=service4>
7. 衛生福利部疾病管制署 <https://www.cdc.gov.tw/Disease/SubIndex/WYbKe3aE7LiY5gb-eA8PBw>
8. Kokila Sivabalakrishnan, Murugathas Thanihaichelvan, Annathurai Tharsan, Thamboe Eswaramohan, Punniamoorthy Ravirajan, Andrew Hemphill, Ranjan Ramasamy & Sinnathamby N. Surendran: Resistance to the larvicide temephos and altered egg and larval surfaces characterize salinity-tolerant *Aedes aegypti*. *Scientific Reports* 2023; 13(8160), 1-12.
9. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profiles, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK15366>
10. C Montague & J Ley: A Possible Effect of Salinity Fluctuation on Abundance of Benthic Vegetation and Associated Fauna in Northeastern Florida Bay. *Journal of the Coastal and Estuarine Research Federation* 1993; 15 (4): 703-717 °
11. Hydrogen Sulfide - ToxFAQs™ CAS # 7783-06-4. December 2016. P: 1-2. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts114.pdf>
12. Ranjan Ramasamy, Sinnathamby N Surendran: Possible impact of rising sea levels on vector-borne infectious diseases. *BMC Infectious Diseases* 1993; 11(18):1-6. DOI:10.1186/1471-2334-11-18
13. Riley J. P. & G Skirrow: *Chemical oceanography* 1975; 21(2): 345-347v. 1. 2nd ed. Academic Press, New York and London °
14. G Kuno: Review of the factors modulating dengue transmission: *Epidemiol Rev* 1995; 17:321. DOI: 10.1093/oxfordjournals.epirev.a036196.

15. H.L. Lee & A. Rohani: Transovarial Transmission of Dengue Virus in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Relation to Dengue Outbreak in an Urban Area in Malaysia. *Dengue Bulletin* 2005; 29: 106-111.
16. Cristiano Fernandes da Costa,Ricardo Augusto dos Passos,José Bento Pereira Lima,Rosemary Aparecida Roque,Vanderson de Souza Sampaio,Thais Bonifácio Campolina,Nágila Francinete Costa Secundino,andPaulo Filemon Paolucci Pimenta.: Transovarial transmission of DENV in *Aedes aegypti* in the Amazon basin: a local model of xenomonitoring. *Parasit Vectors* 2017.; 10: 249. DOI:10.1186/s13071-017-2194-5
17. Janet Ong,Xu Liu,Suet Yheng Kok,Shaohong Liang,Choon Siang Tang,Alex R.Cook, Lee Ching Ng,Grace Yap: Mapping dengue risk in Singapore using Random Forest. *PLoS Negl Trop Dis* 2018; 12(6): e0006587. DOI:10.1371/journal.pntd.0006587
18. L Lambrechts, NM Ferguson, E Harris: Assessing the epidemiological effect of wolbachia for dengue control. *Lancet Infect Dis* 2015; 15:862-6.
19. Kokila Sivabalakrishnan,Murugathas Thanihaichelvan,Annathurai Tharsan,Thamboe Eswaramohan,Punniamoorthy Ravirajan,Andrew Hemphill,Ranjan Ramasamy&Sinnathamby N. Surendran: Resistance to the larvicide temephos and altered egg and larval surfaces characterize salinity-tolerant *Aedes aegypti*. *Scientific Reports* 2023; 13, 1-12.
20. Cristiano Fernandes da Costa,Ricardo Augusto dos Passos,José Bento Pereira Lima,Rosemary Aparecida Roque,Vanderson de Souza Sampaio,Thais Bonifácio Campolina,Nágila Francinete Costa Secundino,andPaulo Filemon Paolucci Pimenta.: Transovarial transmission of DENV in *Aedes aegypti* in the Amazon basin: a local model of xenomonitoring. *Parasit Vectors* 2017.; 10: 249. DOI:10.1186/s13071-017-2194-5
21. Janet Ong,Xu Liu,Suet Yheng Kok,Shaohong Liang,Choon Siang Tang,Alex R.Cook, Lee Ching Ng,Grace Yap: Mapping dengue risk in Singapore using Random Forest. *PLoS Negl Trop Dis* 2018; 12(6): e0006587. DOI:10.1371/journal.pntd.0006587
22. L Lambrechts, NM Ferguson, E Harris: Assessing the epidemiological effect of wolbachia for dengue control. *Lancet Infect Dis* 2015; 15:862-6.
23. Kokila Sivabalakrishnan,Murugathas Thanihaichelvan,Annathurai Tharsan,Thamboe Eswaramohan,Punniamoorthy Ravirajan,Andrew Hemphill,Ranjan Ramasamy&Sinnathamby N. Surendran: Resistance to the larvicide temephos and altered egg and larval surfaces characterize salinity-tolerant *Aedes aegypti*. *Scientific Reports* 2023; 13, 1-12.

【評語】 052610

本研究探討不同性質的溫泉與海水抑制孢子生長之效果，其使用金山區的弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉及海水為樣本，進行模擬與田間防治評估，比較不同濃度與溫度下對孢子數量的影響。研究主題有趣，其結果顯示孢子對氯化物硫酸鹽泉及海水最不耐受，但其抑制生長之機制並不同。研究認為，高濃度酸性硫酸根離子與空氣反應產生二氧化硫，干擾孢子代謝是主要撲殺機制，顯示酸性硫酸鹽泉與氯化物硫酸鹽泉可作為登革熱孢子防治之潛在資源。

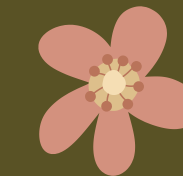
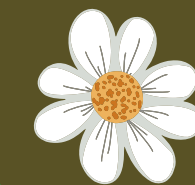
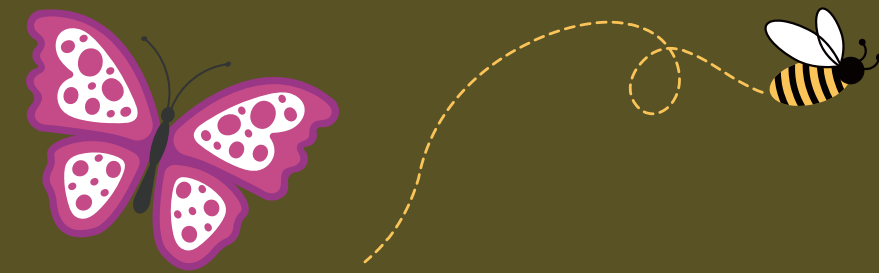
相關建議與問題如下：

1. 加強溫泉水質與海水對孢子生長抑制的基礎。
2. 說明採樣點分類的原因。
3. 對孢子的致死率是否與滲透壓有關？
4. 各水體來源中礦物質濃度均不一，如何統一配置成 310 mg/L 的濃度？
5. 不同地理區的孢子有何不同？為何要針對該項目進行探討？

6. 水體中的硫酸根應不易僅因溫度提高至 32 度轉為 H_2S
7. 請進一步說明為何高濃度硫酸根離子與空氣中的氧氣和二氧化碳發生作用會成硫粒子，隨後氧化生成二氧化硫。

作品海報

溫泉地理環境防治登革熱 的模擬實驗及田間孑孓防治評估



摘要

隨著氣候變遷、外籍勞工湧入與疫區國家的接觸，登革熱成為衛生機關的重要挑戰。本研究旨在利用臺灣的溫泉地理環境，探討不同性質溫泉，能否有效減少孑孓數量。本研究以新北市金山區特有的弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉以及海水為研究樣本，進行模擬實驗及田間防治評估，以探討不同濃度及溫度之溫泉或海水，對減少孑孓數量的效果與關聯性。

結果顯示，孑孓對氯化物硫酸鹽泉及海水的耐受性最低，其次是硫酸鹽泉，最後是碳酸氫鈉泉。此外，隨著溶液濃度的降低，其抑制效果顯著減弱。本研究得到結論為硫酸鹽及氯化物硫酸鹽泉水有效撲殺孑孓，主要機制涉及高濃度酸性硫酸根離子與空氣作用，氧化為二氧化硫，干擾孑孓代謝，而達到撲滅效果。

壹、研究動機

登革熱每年使約數十億人處於感染風險之中，並導致超過萬餘人死亡，已成為全球許多國家緊迫的公共衛生挑戰 [1, 2]。登革熱好發地區主要分布於熱帶及亞熱帶地區 [3, 4]。臺灣位於亞熱帶地區交界，致使全年都存在疾病傳播的風險。

文獻回顧：現僅《日本藥理學雜誌》在2018年發表的一篇關於明治時期利用溫泉控制寄生性傳染病的文獻 [5]，再無發現有關利用溫泉控制登革熱的研究。

貳、研究目的

本研究主要探討這些臨近海岸的天然溫泉是否能有效抑制孑孓，並防治登革熱。基於前述，本研究將進行多階段比較試驗，探討以下問題：

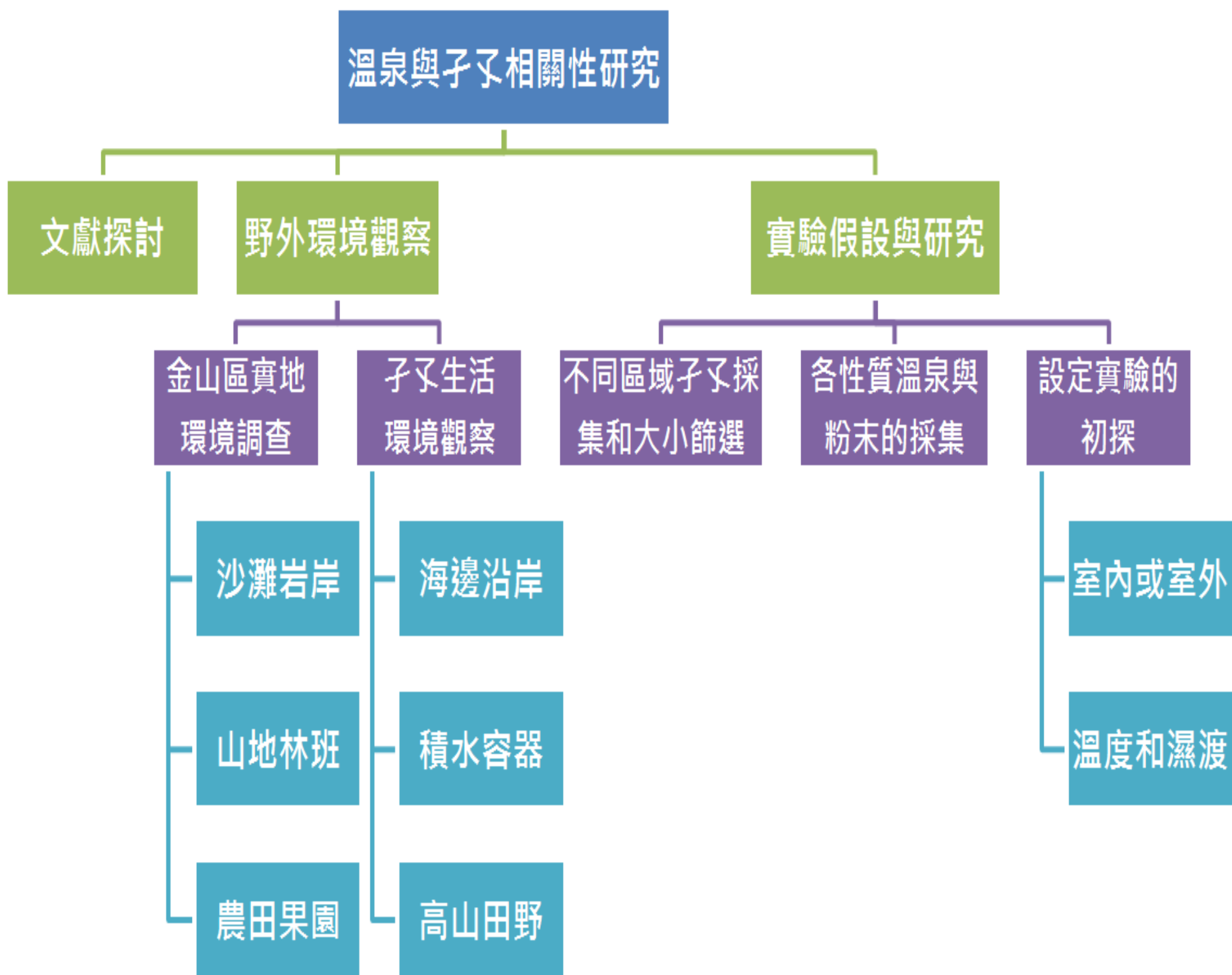
- （一）孑孓在各種不同性質溫泉的濃度與溫度之下，是否被撲殺？
- （二）若是可行，則其被滅絕的時間是多久？
- （三）山區、沿海採集的孑孓與平地採集的孑孓在滅絕時間的差異及有效性又如何？

參、研究設備與器材

研究材料

- 材料：本研究使用的材料包括培養皿、滴管、量杯、酸性氯化物硫酸鹽泉、弱鹼性碳酸氫鈉泉、酸性硫酸鹽泉、海水和孑孓。
- 溫泉特性：在本實驗中，溫泉的性質及濃度參考新北市衛生局委託台旭環境科技中心股份有限公司檢測的數據 [6]，並輔以現場測量進行進一步確認。
 - 弱鹼性碳酸氫鈉泉：這種特性的溫泉分布在陽明山的中低海拔地區。富含碳酸根離子（濃度310毫克/升）泉源pH值為7.73，出水口經冷泉匯流稀釋pH值為7.2。
 - 酸性硫酸鹽泉：這種類型的溫泉分布在陽明山的中高海拔地區。富含硫酸根離子（濃度460毫克/升）。泉源pH值為2.03，出水口經冷泉匯流稀釋pH值為5.62。
 - 酸性氯化物硫酸鹽泉：具有氯化物特性的溫泉分布在沿海周邊地區。富含氯離子（濃度6110毫克/升）。pH值為1.65，出水口經海水匯流稀釋pH值為5.8。
 - 海水：富含氯離子（濃度14000毫克/升）。pH值為8，因為含有大量的鹽類物質而呈鹼性。
- 孑孓的特徵和狀態：本實驗收集的孑孓來自三個不同地區：山區林地、都市空地和沿海平原。研究者參考了衛生福利部疾病管制署於2015年發布的報告 [7]，對收集的孑孓特性進行觀察。結果顯示，家蚊孑孓數量高於斑蚊孑孓數量。這可能是因為取樣地點位於偏遠的農村地區，該地區有許多池塘或積水區，易於滋生家蚊孑孓。為了使觀察更準確，在正式實驗開始前，研究者先將部分家蚊和斑蚊孑孓置於實驗條件中進行初步驗證。在確認牠們的死亡時間相似後，才進行後續研究。

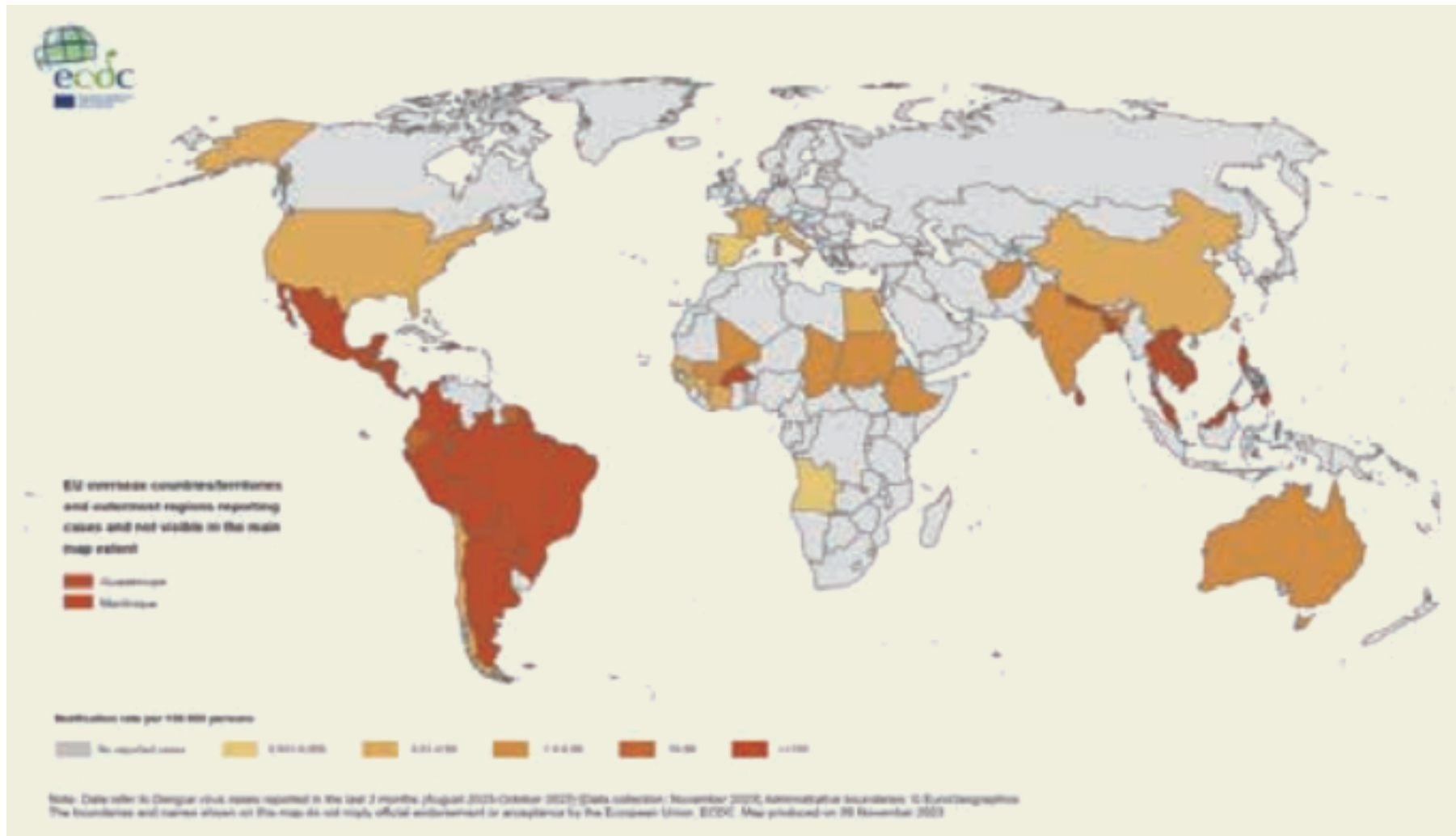
研究架構



實驗設計流程圖。(本圖片由作者親自製作)



傳播登革熱之埃及斑蚊(圖左)與白線斑蚊(圖右)，引用自衛生福利部疾病管制署官方網站



2023 年迄今全球登革熱疫情分布。引用自ECDC 官方網站，網址：<https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue-monthly>

研究結果

表1：各里積水容器的分布。**位處山區置放的積水容器較少，隨著越進入市區，所見的積水容器越來越多**

容器/鄰里	重和里 (山頂)	兩湖里 (山頂)	西湖里 (山頂)	六股里 (山坡)	清泉里 (山坡)	五湖里 (山坡)	磺港里 (山坡)	永興里 (山坡)	萬壽里 (市區)	三界里 (市區)	金美里 (市區)	美田里 (市區)	和平里 (市區)	大同里 (市區)	豐漁里 (市區)
廢輪胎	0	0	0	8	6	7	0	12	6	5	42	53	36	33	0
桶或盆	4	0	0	11	7	12	16	17	15	16	27	36	18	16	12
花盆托盤	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	32	21	27	0
不透水帆布	3	0	0	12	15	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0

表2：市區常見的積水容器。**家戶所堆置的數量最多，其次是私人或閒置空地**

容器/位置	家戶	農田/果園	市區空地	夜市	苗圃場	農場
廢輪胎	167	22	13	6	0	0
桶或盆	68	112	8	7	6	2
花盆托盤	118	0	0	0	0	0
不透水帆布	0	6	8	12	11	2
總計	353	140	29	25	17	4

表3：常見的積水容器。**主要是廢輪胎(36.6%)**

容器	數量	比率
廢輪胎	208	36.6%
桶或盆	203	35.7%
花盆托盤	118	20.8%
不透水帆布	39	6.9%
總計	568	100%

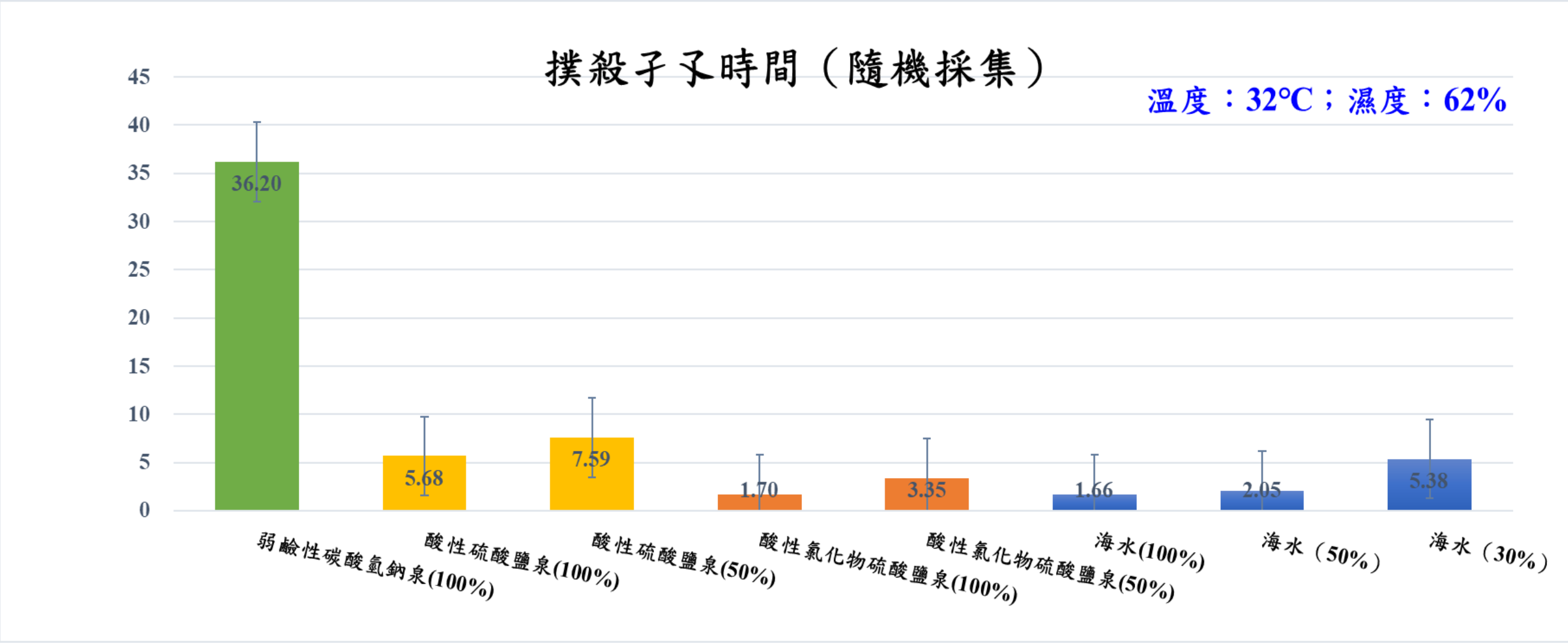
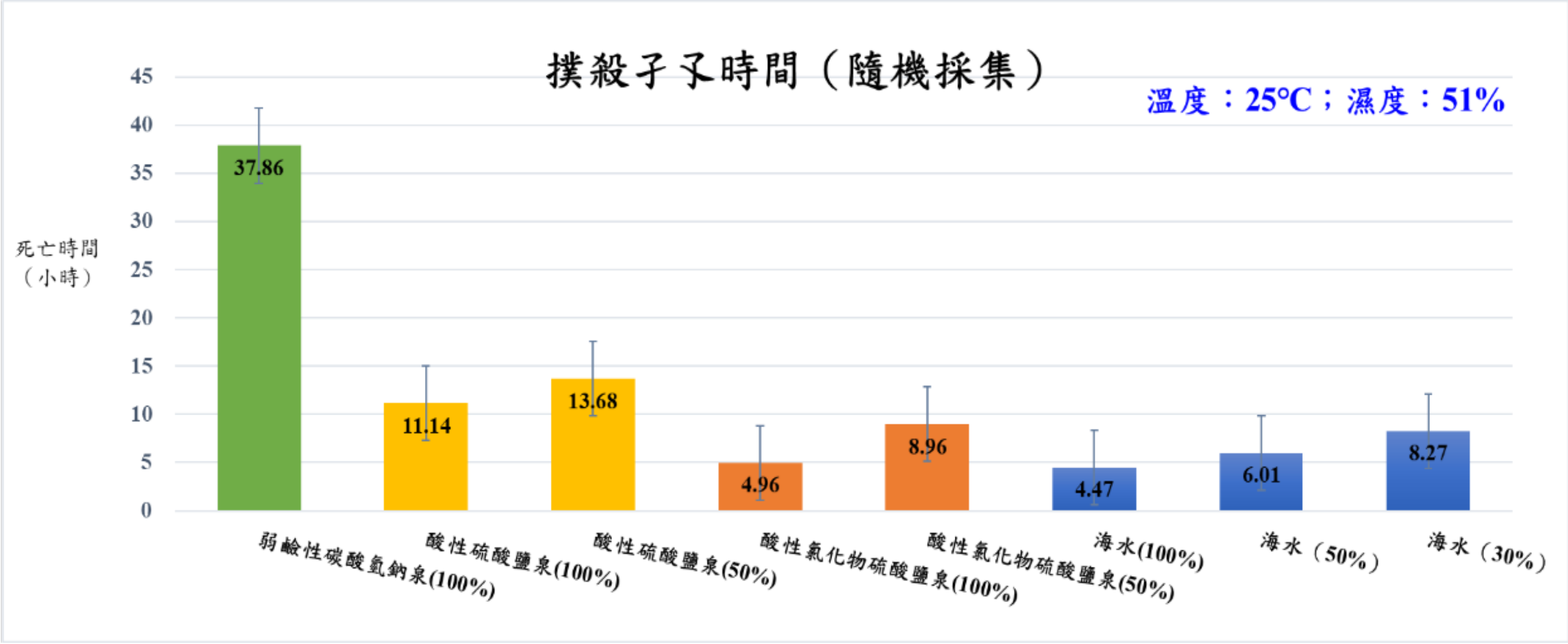


圖1：實驗室溫度撲殺隨機採集的孢子時間。**孢子最不耐受於酸性氯化物硫酸鹽泉和海水，其次是酸性硫酸鹽泉和弱鹼性的碳酸氫鈉泉水**

圖2：夏季室外溫度撲殺隨機採集的孢子時間。**酸性硫酸鹽泉、酸性氯化物硫酸鹽泉和海水在100%原液，可大大縮短孢子的存活時間**

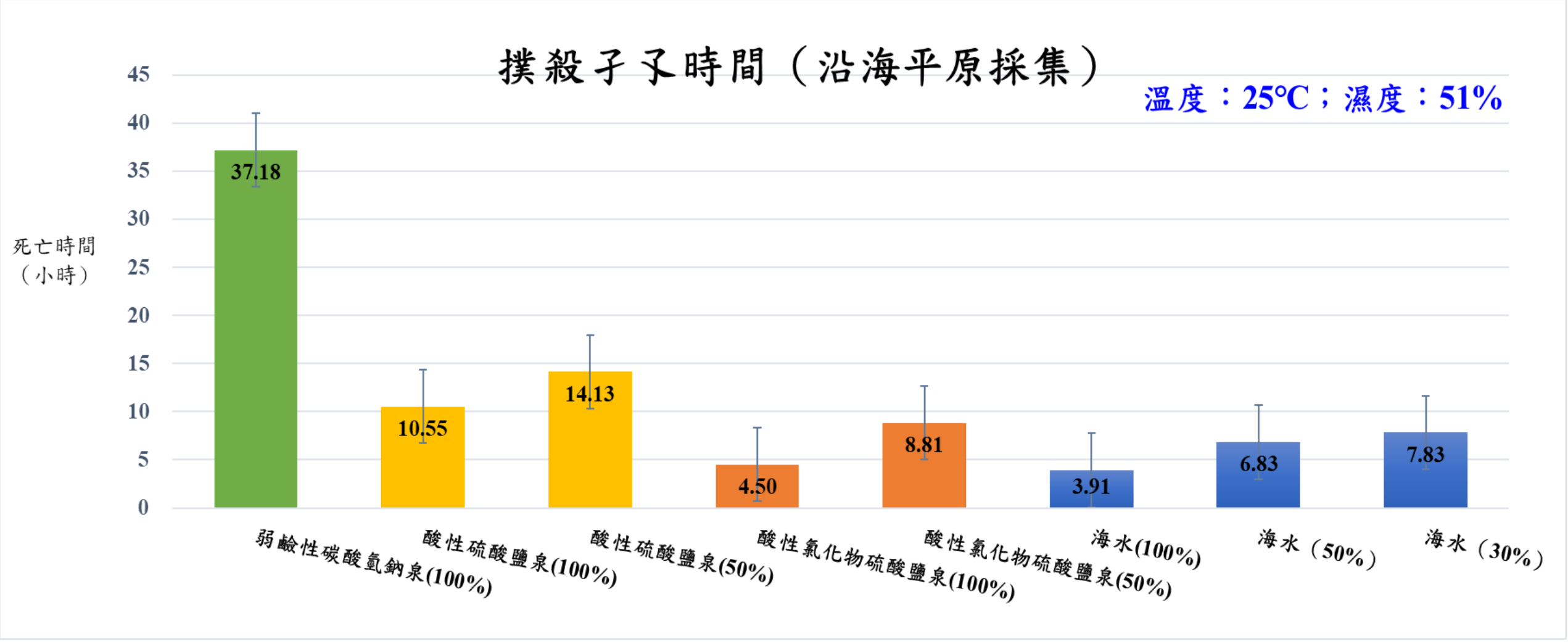
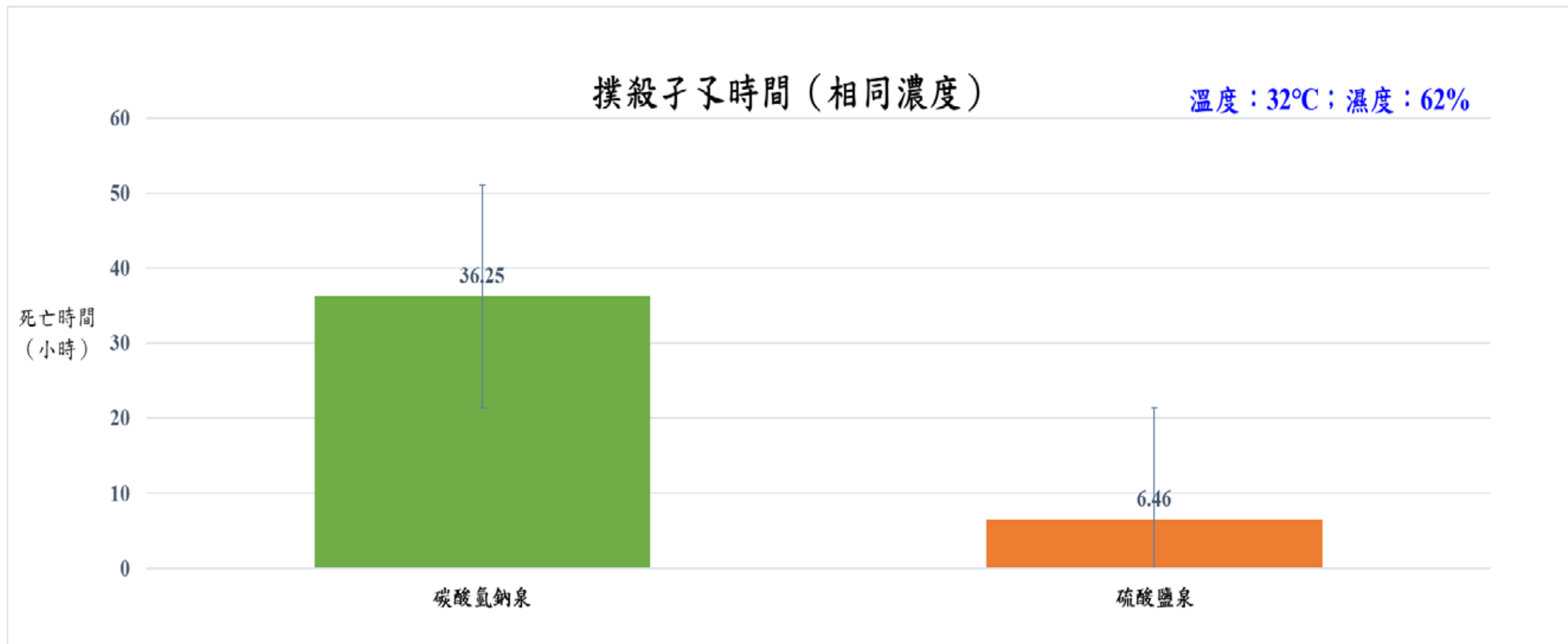


圖3：泡製統一濃度觀察孢子被撲殺時間。**將四種溶液泡製成同等濃度條件下，酸性硫酸鹽泉水撲殺孢子的能力更佳**

圖4：實驗室溫度撲殺沿海平原採集的孢子時間。**酸性氯化物硫酸鹽泉及海水顯示出較強的撲殺效果**

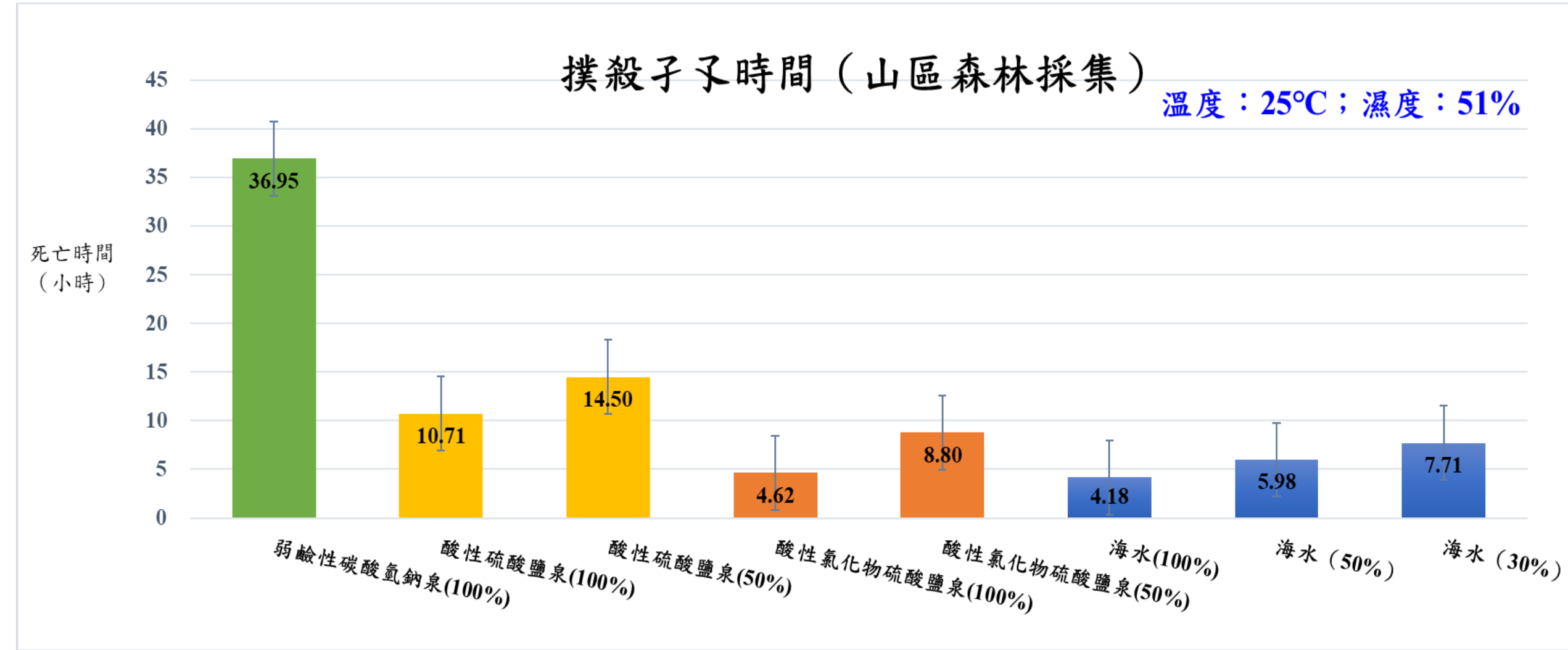
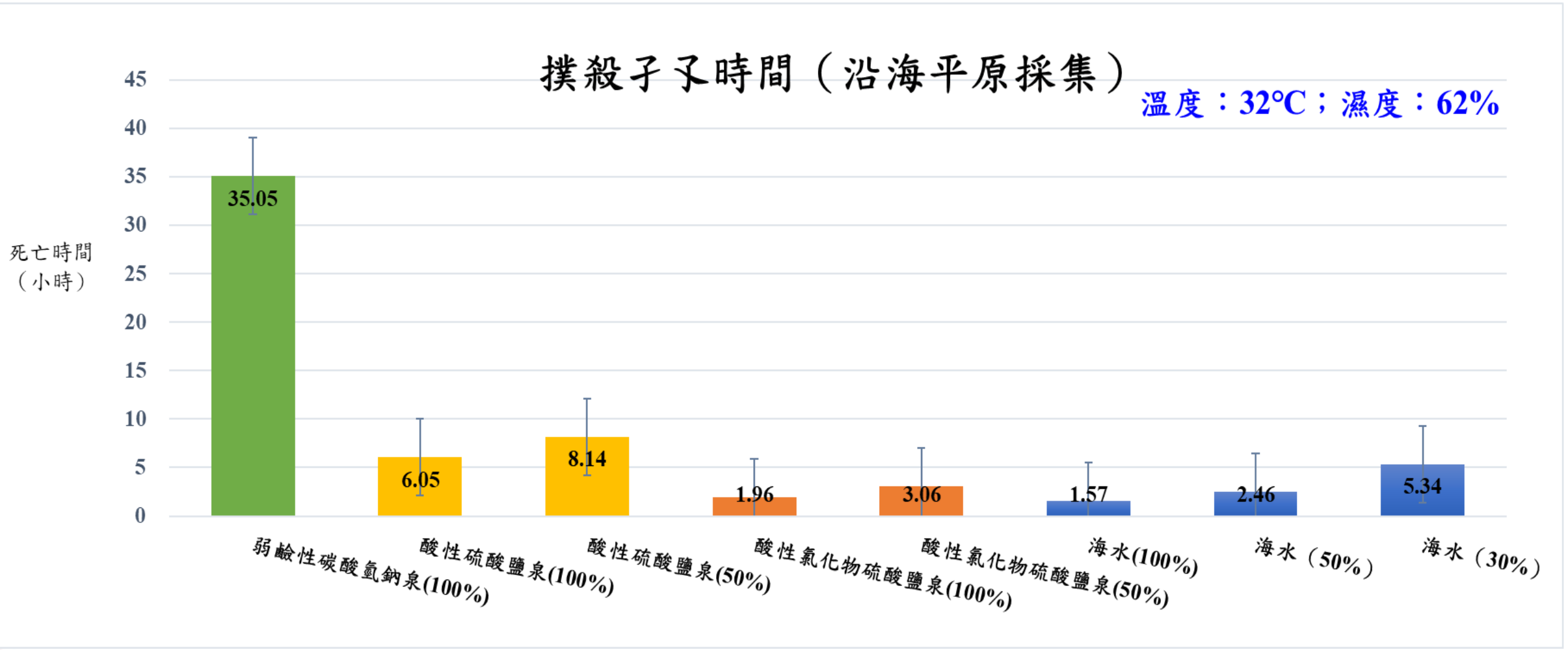


圖5：夏季室外溫度撲殺沿海平原採集的孢子時間。**各酸性泉質與海水撲殺孢子所需的時間大幅縮短在 3 小時內**

圖6：實驗室溫度撲殺山區林地採集的孢子時間。**與酸性較強的溫泉相比，弱鹼性碳酸氫鈉泉的撲殺效果較差，導致孢子存活時間更長**

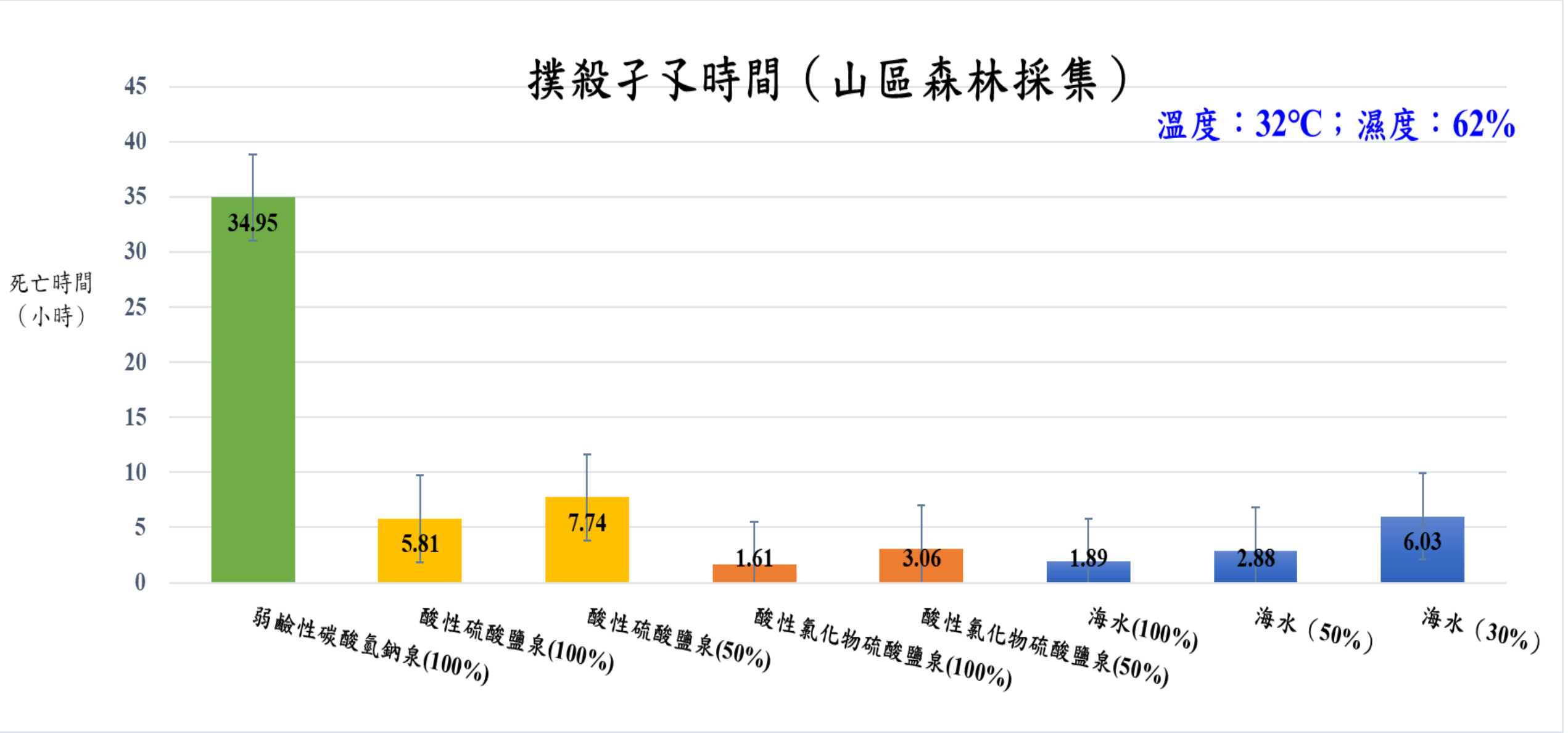


圖7：夏季室外溫度撲殺山區林地採集的孢子時間。**酸性氯化物硫酸鹽泉及海水在原始濃度下，可在 2 小時內殺死孢子**

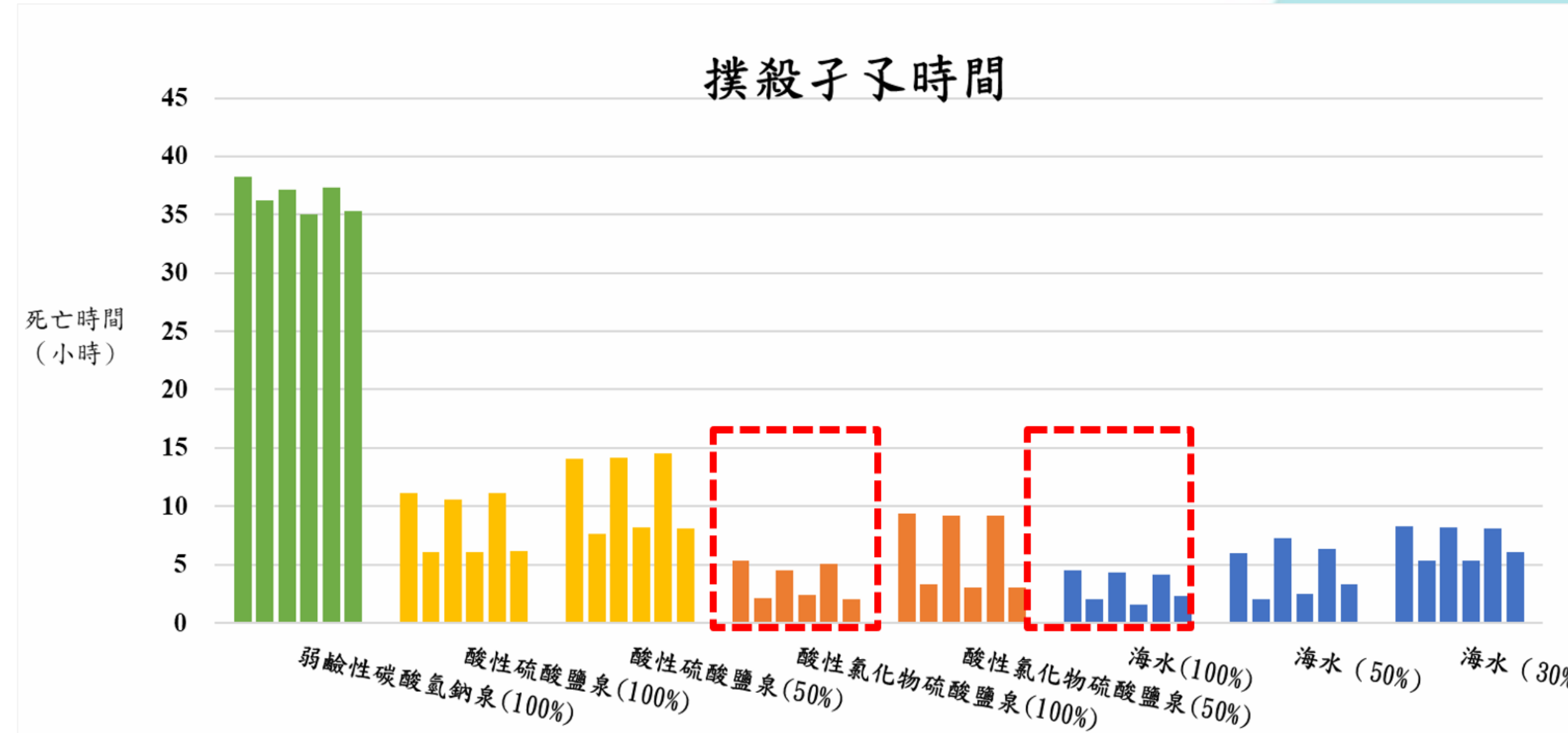


圖8：彙整孢子被撲殺時間。**酸性氯化物硫酸鹽泉和海水具最快撲殺孢子的效果，分別在 2 小時 10 分鐘和 1 小時 57 分鐘內殺死孢子**

伍、討論

一. 子子較易產生之處

山區與沿海地區因常下雨、風大及地形起伏，水源豐富，居民無需刻意儲水。而從山腰至市區，積水容器逐漸增多，特別是在市區空地，自耕農作普遍，因取水困難，桶、盆、缸等積水容器大量出現。而夜市、空地、車廠與住戶常將輪胎套入交通錐作私用。此外，家戶托盤、違建遮陽板、波浪板凹槽、夜市帆布頂棚等，也易積水，成為子子孳生溫床。



圖9：常見積水容器樣態(本圖片由作者親自拍攝)

二. 弱鹼性碳酸氫鈉泉撲殺子子成效不顯著原因

根據農業委員會農業試驗所第142號特刊及2006年《Biochemistry》期刊 Clinical Correlates of pH Levels: Problem Set的文獻提到，碳酸氫鈉效果較低的可能原因是其pH值不夠顯著，未能有效破壞害蟲的蠟質表層或呼吸系統，因此削弱了撲殺害蟲的效果。換句話說，碳酸氫鈉溫泉對子子的呼吸系統或外部蠟質層的抑制作用較弱，導致其殺滅能力較低 [8, 9]。

三. 酸性硫酸鹽泉與酸性氯化物硫酸鹽泉以硫化氫抑制呼吸系統

根據美國Hydrogen Sulfide 在2016年及Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 2024年的研究指出，硫化氫氣體從溶液中釋放並揮發到空氣中後，會形成二氧化硫，對子子的呼吸系統造成嚴重破壞，干擾子子的氧氣交換過程，抑制其正常呼吸功能，最終導致窒息死亡。此外，水中氯離子與硫化氫濃度越高，子子脫水速度越快，加速其死亡 [12, 14]。

因此，酸性氯化物硫酸鹽泉不僅能透過高濃度氯離子加速子子脫水，還能在揮發過程中釋放硫化氫，進一步破壞子子的呼吸系統，加速其死亡過程。這解釋了為何即使在典型的室外溫度下，這些溶液仍然能有效殺死子子。

四. 海水以改變滲透壓致使子子脫水

依據Riley 和 Skirrow 的研究指出，海水的鹽度主要受氣候與大陸地形影響。從低緯度到高緯度，海水鹽度的變化主要由蒸發和降水之間的差異決定 [15]。從實驗結果我們可以推測，將海水移至室外後，高溫導致水分蒸發，進一步提高了氯化鈉離子的濃度。這導致滲透壓的變化，促使子子脫水並死亡。我們觀察到子子表現出乾燥、扁平以及發黑的現象，證實了這一現象 [16, 17]

海水中不僅含有高濃度的氯化鈉，還含有一定濃度的硫化氫 [17]。這意味著在典型的室外溫度下，海水中的硫化氫可能揮發並釋放到空氣中，對子子的呼吸系統產生毒性作用，與酸性氯化物硫酸鹽泉中的效果類似 [16-18]。這一現象不僅僅是由於海水高鹽度引起的滲透壓變化，還可能受到硫化氫揮發和釋放的影響，進一步加速了子子的死亡過程。

此外，根據世界衛生組織、巴西亞馬遜環境監測中心及新加坡均曾報告，在野外採集到埃及斑蚊或白線斑蚊的雌性與雄性個體中檢測到登革熱病毒，即所謂的經卵傳播現象，這顯示出高度的親代傳播可能性 [20-22]。而2023年一項來自巴西的研究顯示，埃及斑蚊現在能夠在淡水中產卵並完成胚前發育，甚至適應在鹽濃度高達15 g/l 的海水中發育 [23]。這顯示登革熱病毒的傳播途徑已呈現出更大的複雜度與多樣性，偏離了大眾的原始認知。

陸、結論與應用

從上述討論可以得出：將酸性氯化物硫酸鹽泉與酸性硫酸鹽泉進行比較，發現僅由硫化氫引起子子死亡所需的時間較長。然而在探索酸性氯化物硫酸鹽泉撲殺子子所需氯化物和硫酸鹽離子濃度與時間方面的作用，仍需要進一步研究。當前的研究瓶頸和局限性主要來自設備、人力和研究能力。

本研究選擇新北市的金山區作為實驗樣本，因該區擁有獨特的火山地形和多樣的溫泉地質特徵，這些自然資源為探索不同性質溫泉對子子抑制的影響提供了理想條件。通過比較該區域內的多種類型溫泉，研究確保了廣泛的代表性和科學有效性。實驗結果顯示酸性氯化物硫酸鹽泉和海水對子子的抑制效果最為顯著，這歸因於它們的高酸性和鹽濃度，代表子子對極端環境的耐受性較低，支持了結論的合理性和可信度。未來的研究應擴展到其他擁有溫泉資源的縣市，增加樣本量，觀察環境影響，並評估可持續性，以提高精確度和普遍性，最終形成科學和實用的控制模型。未來的策略應該將這些方法與其他綜合控制方法結合，以達到更好的效果。希望這項基礎研究能為有效的疫情防控策略提供新的見解。

柒、參考文獻資料

1. AK Githeko, SW Lindsay, UE Confalonieri, and JA Patz: Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. Bulletin of the World Health Organization 2000;78(9), 1136-1147. PMID: 11019462
2. DJ Gubler: Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. Trends Microbiol 2002;10(2), 100-3. DOI: 10.1016/s0966-842x(01)02288-0
3. Yu-Wen Chien, Hsiang-Min Huang, Tzu-Chuan Ho, Fan-Chen Tseng, Nai-Ying Ko, Wen-Chien Ko & Guey Chuen Perng: Seroepidemiology of dengue virus infection among adults during the ending phase of a severe dengue epidemic in southern Taiwan, 2015. BMC Infectious Diseases. volume 2019;19: 338. DOI: 10.1186/s12879-019-3946-y
4. S.P. Boerlijst, E.S. Johnston, A. Ummels, L. Krol, E. Boelee, P.M. van Bodegom, M.J.J. Schrama: Biting the hand that feeds: Anthropogenic drivers interactively make mosquitoes thrive. Science of The Total Environment 2023; 858(2), 1-11.
5. Jun Maki, Hiroshi Sekiya, Eiji Tamai, Hiroyuki Namba and Hiroshi Sakagami: Medical and Medicinal Effectiveness of Hot Springs on Cutaneous, Ocular and Parasitic Diseases Since the Edo Era in Beppu, Japan with the Prospect of Hot-spring Water Against Parasitic Infectious Diseases in Foreign Countries, Especially the Tropical and Subtropical Areas. Jpn. J. History Pharm 2018; 53 (2) , 130-134.
6. 台旭環境科技中心股份有限公司<https://www.taet.com.tw/index.php?action=service4>
7. 衛生福利部疾病管制署<https://www.cdc.gov.tw/Disease/SubIndex/WYbKe3aE7LiY5gb-eA8PBw>
8. Kokila Sivabalakrishnan, Murugathas Thanishaichelvan, Annathurai Tharsan, Thamboe Eswaramohan, Punniamoorthy Ravirajan, Andrew Hemphill, Ranjan Ramasamy & Sinnathamby N. Surendran: Resistance to the larvicide temephos and altered egg and larval surfaces characterize salinity-tolerant Aedes aegypti. Scientific Reports 2023; 13(8160), 1-12.
9. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological Profiles, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK15366>
10. C Montague & J Ley: A Possible Effect of Salinity Fluctuation on Abundance of Benthic Vegetation and Associated Fauna in Northeastern Florida Bay. Journal of the Coastal and Estuarine Research Federation 1993; 15 (4): 703-717
11. Hydrogen Sulfide - ToxFAQs™ CAS # 7783-06-4 . December 2016. P: 1-2. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq/toxfaq114.pdf>
12. Ranjan Ramasamy, Sinnathamby N Surendran: Possible impact of rising sea levels on vector-borne infectious diseases. BMC Infectious Diseases 1993; 11(18):1-6. DOI: 10.1186/1471-2334-11-18