

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組

題目名稱：不要再「酸」熊熊了—不同成分的酸雨對水熊蟲活動力的影響

一、摘要

我們的實驗是想要了解水熊蟲在不同成分的酸雨中活動力的改變情形。我們先前觀察到水熊蟲若沒有隱生，通常都會有附肢擺動的情形，在快要隱生或是瀕臨死亡時則不會有明顯的擺動，因此附肢擺動情形可以作為水熊蟲是否有活力的象徵。實驗發現加入中壢區酸雨後，活動力在 8-10 分鐘達到最快。在之後的加入硝酸與硫酸的實驗中，發現在硝酸中水熊蟲的活動力會有顯著差異。由此結果我們得知對水熊蟲來說，主成分為硝酸的酸雨會對水熊蟲造成較大的影響，經過分析後我們推測是因為相同 pH 值時，由於硝酸根與硫酸根的電荷數不同，造成硝酸的滲透壓會大於硫酸，因此我們得知空氣中的 NO₂ 等氮氧化物的存在會對水熊蟲影響較大。

二、探究題目與動機

自從工業革命以來，各種有害氣體的排放問題日益嚴重，例如石化工業與火力發電廠由於燃料中含有硫化物而使其燃燒後的廢氣含有 SO₂；工廠鍋爐在高溫燃燒的過程還有內燃機的高溫都會產生 NO₂ 等氮氧化物。另外，在一篇 NATURE 的期刊 (P. Brimblecombe & D. H. Stedman, 1982)，我們得知文中的地區酸雨中的硝酸含量曾經大量增加，這使我們欲知道這種現象的影響。據我們所知，水熊蟲是號稱地球上號稱生命力最強的生物，且分布範圍極廣，所以我們開始好奇，當水熊蟲遇到不同成分的酸雨，這種地表最強生物究竟會有何反應？也希望可以藉此對於酸雨的防治方向有更多的理解。

三、探究目的與假設

- 一、藉由實驗了解不同成分酸雨對水熊蟲的影響。
- 二、探討酸雨造成水熊蟲活動力下降的機制。
- 三、探討酸雨的防治方向。
- 四、我們推測硝酸對水熊蟲影響較大。

四、探究方法與驗證步驟

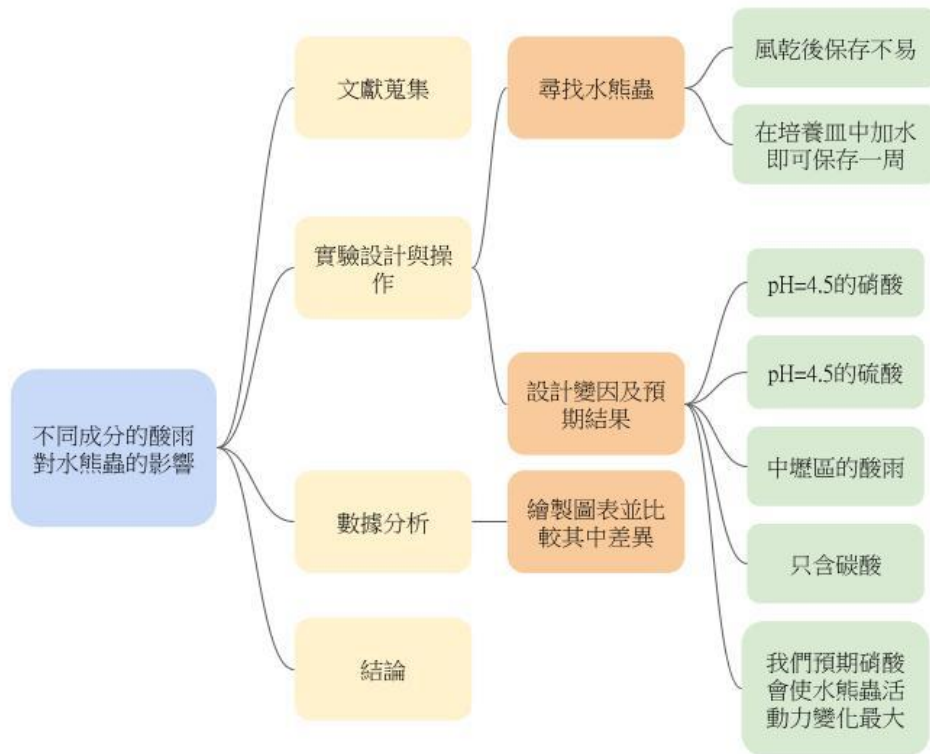
一、實驗構想

我們知道一般雨水 pH 值約在 5.5-6.0，且正常來說應該只含碳酸，在受污染的情況下會溶入氮氧化物及硫化物等等物質，使雨水 pH 值小於 5.0，此種雨水即被稱為酸雨，主要含有碳酸、硝酸、硫酸，我們想藉由水熊蟲在不同成分的酸雨中的狀態（例如是否隱生、活動力變化）了解酸雨對這個地表最強生物的影響。

由於中壢區為北台灣一個人口眾多的城市，且有交通動脈國道一號及鐵路通過，又鄰近國道二號、三號及快速公路，西北方不遠處又有桃園機場，位處交通的近中心地帶，空氣

汙染程度偏高，近年來測站資料也顯示中壢區有酸雨的問題，因此我們選定中壢區的酸雨作為實驗的樣品。

二、實驗架構



三、實驗設計

我們計劃做 4 個組別，分別是只含碳酸 pH=6 的水溶液、只含碳酸、硫酸 pH=4.5 的水溶液、只含碳酸、硝酸 pH=4.5 的水溶液、符合中壢地區酸雨成分之水溶液。因為在未受工業汙染的自然環境中，純淨的雨水只含有碳酸，因此碳酸水溶液將作為此實驗的對照組。

由論文 (TARUSHIKA VASANTHAN, B.Sc., M.Sc, 2017) 我們得知平常生活在淡水環境的水熊蟲不太耐酸，在過酸的環境可能會隱生。我們推測在模擬的酸雨環境中，水熊蟲會因不適應環境而活動力下降。我們將以牠的前肢擺動速率作為活動力是否旺盛的參考。在水熊蟲的四對步足中，在我們的觀察下第三、第四對步足經常被水熊蟲用來勾住苔蘚或小石頭，因此常常不活動。而第一對步足則是用來探查及尋找其他可依附的物質，因此當水熊蟲準備移動到其他苔蘚時，第一對步足就會在觸碰到其他物體時固定不動，因此我們選擇第二對來當作活動力的指標。我們計算水熊蟲步足運動的方式為，當第二對步足的兩隻前肢分別動一下後，算為兩下。

四、實驗步驟

1.為了能讓酸性溶液的 pH 值不會因為與水熊蟲附近的水分稀釋後而與預期值差異太大，我們在做實驗前會先將分離出的單隻水熊蟲放至培養皿，並吸取多餘的水分，在加入溶液時，所取的溶液大約是培養皿中水分的 50 至 100 倍。

2.為了避免溫度對水熊蟲的活動力造成影響，我們會將待加入的溶液溫度調整為正常室溫 25°C，若溶液溫度高於 25°C，則使用冰水進行水浴，若溫度低於 25°C 則使用熱水進行水浴。

3.我們在加入溶液後即開始計時，同時將水熊蟲移至複式顯微鏡下觀察並用 Canon 相機錄影，共紀錄 2-5 分鐘、8-10 分鐘、18-20 分鐘和 28-30 分鐘四種時間點。

4.觀看紀錄的影像計算前肢擺動次數並紀錄時間，重複觀看三次取平均值，以算出每秒第二對前肢擺動次數。

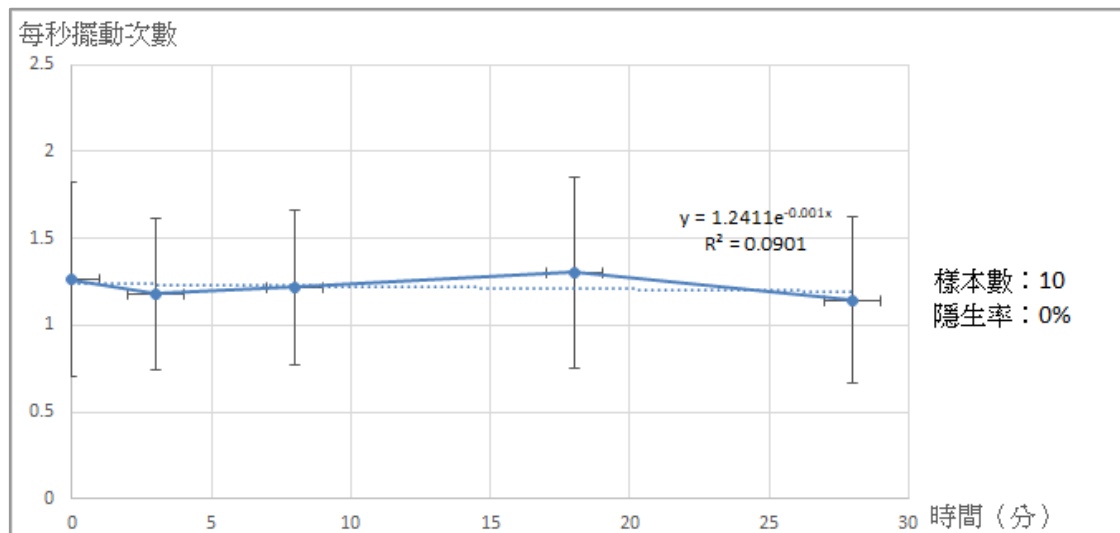
5.將數據輸入至 Excel 計算並繪製圖表。

6.分析與討論結果

五、實驗數據

1、加入碳酸後活動情形

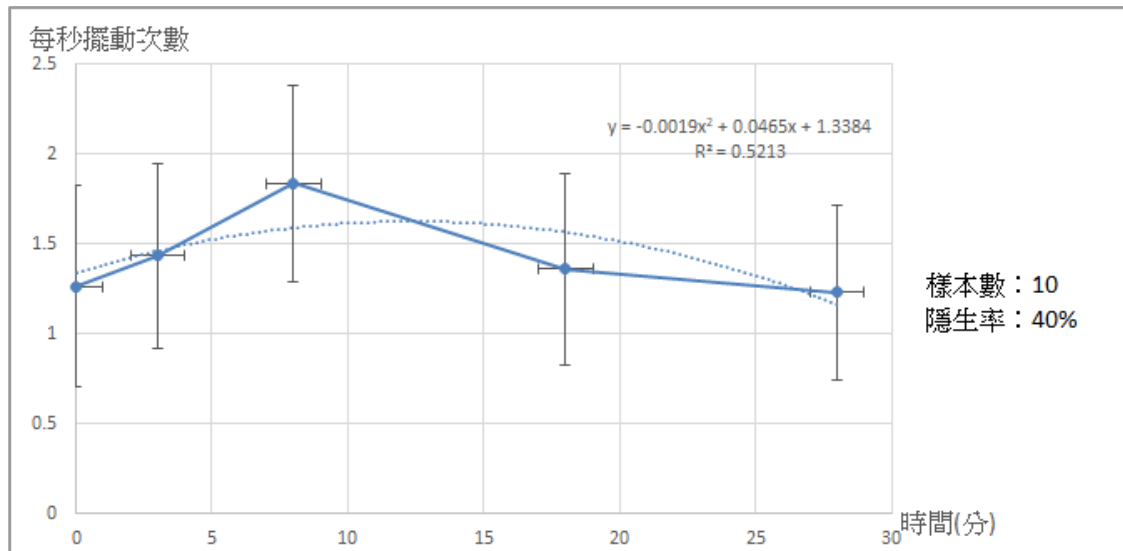
我們使用碳酸的用意是為了模擬實際雨水的情況，因為正常的雨水即使未受汙染也會因為大氣中的二氧化碳溶入而呈現微酸，但是不會對水熊蟲造成影響。加入碳酸後的結果與我們的預期一致，由下圖可知沒有太大的變化，並且沒有任何水熊蟲有隱生的情況，故以此（圖一）作為對照組。



(圖一) 加入 pH6 碳酸後平均前肢擺動速率折線圖

2、加入中壢區酸雨後活動的情形

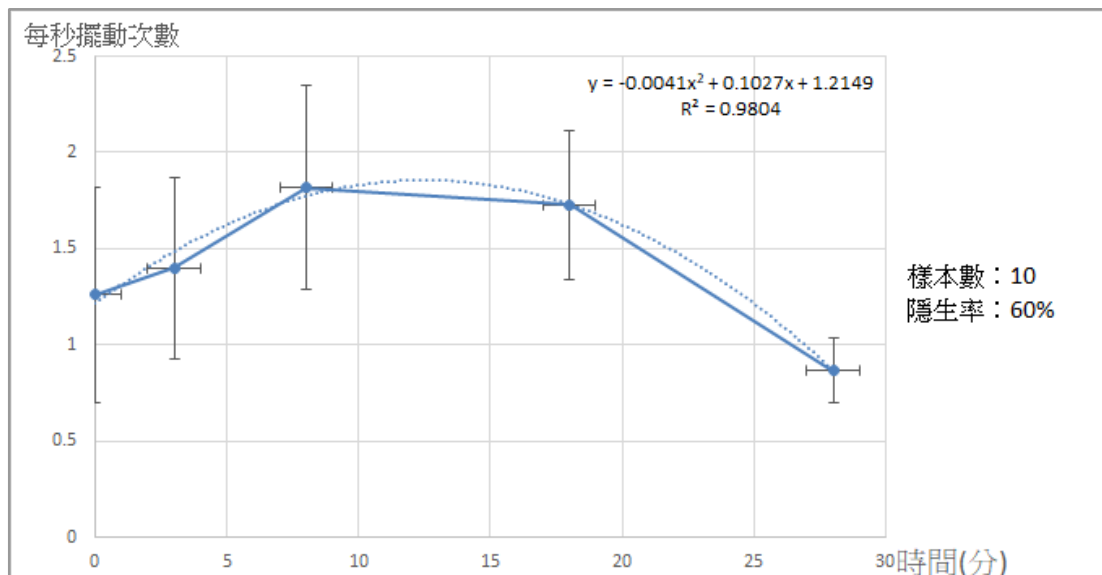
經由（圖二）可以發現，加入中壢區酸雨後的情形，在 8 到 10 分鐘水熊蟲活動力來到最大值，而後呈現下降的趨勢，我們看到這個結果後想要更進一步研究是否硝酸與硫酸都會造成這樣的影響。



(圖二) 加入中壢區酸雨後平均前肢擺動速率折線圖

3、加入硝酸後活動情形

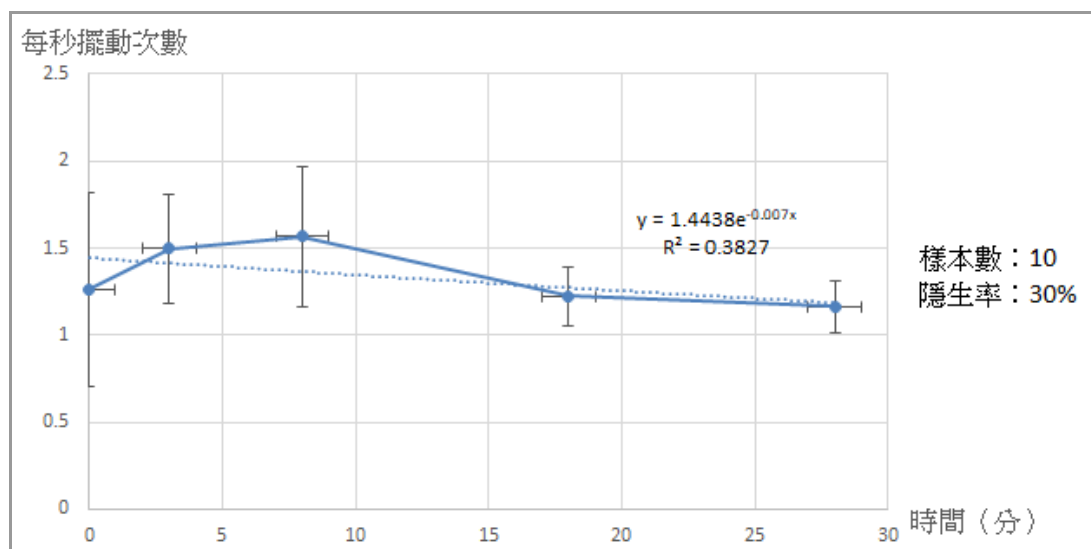
經由(圖三)可以發現與中壢酸雨一樣，都是在8到10分鐘活動力到達最大值，而在後面同樣是呈現下降的趨勢，但是下降幅度比硫酸要大，此外加入硝酸後的變化曲線與中壢區的酸雨較相近。加入硝酸後同時隱生率也大為提升，所以我們推測硝酸對水熊蟲活動力有影響，且比硝酸明顯。由於我們觀察到加入酸後的擺動次數變化普遍為先升後降，故使用二次函數作為趨勢線。加入硝酸後的趨勢線 R^2 值高達 0.98 表示圖形解釋能力較高，且代表我們甚至可以預測未來的變化情形為繼續下降。



(圖三) 加入 pH4.5 硝酸後平均前肢擺動速率折線圖

4、加入硫酸後活動情形

經由 (圖四) 可以發現在活動力先升後降，並且活動力在 8 到 10 分鐘來到了最大值，之後就呈現下降的趨勢，然而變化幅度比加入硝酸與加入中壢區的酸雨小，可以推測硫酸雖會對水熊蟲的活動力造成影響，但不顯著。



(圖四) 加入 pH4.5 硫酸後平均前肢擺動速率折線圖

五、數據分析

我們將加入硝酸與加入硫酸後的數據與對照組進行 t 檢定，發現加入硫酸後 30 分鐘內都無顯著差異，而加入硝酸後除了 2-5 分鐘時無顯著差異，其他時間都有顯著差異，由此更能確認硝酸造成的影響較硫酸大。

此外我們也將加入硝酸與加入中壢酸雨的數據進行 t 檢定，結果在 30 分鐘內都無顯著差異，由此可知中壢酸雨造成的影響與硝酸相似。

六、討論

我們推測硝酸會對水熊蟲造成較大的影響是因為他的滲透壓較高，從化學的角度來看，由於硝酸根只帶一價正電，因此相同 pH 值時，溶液中的離子數會較硫酸多，再加上我們使用的水熊蟲為陸生水熊蟲，陸生水熊蟲對滲透壓的耐受度很差，只是目前學界尚無一個確切的極限值，因此我們推測是滲透壓造成硝酸對水熊蟲影響較顯著。此外我們發現加入酸後普遍在 8-10 分鐘前肢擺動速率會最快，閱讀資料 (楊等，2005) 後，我們認為可能是因為我們使用的水熊蟲多為有背板的端爪科水熊蟲，該資料中也有推測端爪科水熊蟲的背板有延緩酸性物質進入的功能，他們的推論很可能可以與我們的實驗結果相互印證。

五、結論與生活應用

- 一、硝酸為主成分的酸雨對水熊蟲的危害較硫酸為主成分的酸雨大。
- 二、本次實驗所採集到的水熊蟲應該大多為端爪科的水熊蟲。

三、水熊蟲對環境的污染有相當的敏感度，尤其是氮氧化物。

四、政府應對氮氧化物的排放有更為嚴格的限制。

現今對於酸雨的防治雖已有著手執行，但力道與覆蓋性仍不足。大多數地區都只在硫化物的防治有較好的成果，然而城市中的氮氧化物超過一半來自各個汽機車的內燃機，數量眾多管制不易，因此常常被忽略，我們希望可以藉由讓大眾知道氮氧化物對水熊蟲的影響甚大，喚起大眾及政府對於氮氧化物排放的相關規範的重視。

參考資料

一、楊惇茹,賴品融.(2005)緩步門的木乃伊-會蟄伏的熊蟲。

二、楊惇茹.(2005)顯微鏡底下的熊--探討台灣的熊蟲。

三、白曠綾.(2020).大氣污染之來源與影響

四、桃園市政府環境保護局.(2019).107 年度桃園市酸雨監測與防制策略計畫。

五、TARUSHIKA VASANTHAN, B. Sc., M. Sc.(2017). EXTREME TOLERANCE IN THE EUTARDIGRADE SPECIES H. DUJARDINI

六、Ehsan Kayal,Dianne Gleeson,Jennifer Daub,Jeffrey L.Boore,Maximilian J.Telford,Davide Pisani,Mark Blaxter,Dennis V.Lavrov.(2010).Ecdysozoan Mitoge nomics: vidence for a Common Origin of the Legged Invertebrates,the Panart hropoda

七、Ross Piper.(2013).ANIMAL EARTH, The Amazing Diversity of Living Creature

八、D.W.Schindler.(1988).Effects of Acid Rain on Fresheater Ecosystems.

九、Carl Johansson,Stephanie Calloway,William R. Miller,& Eric T.Linder.(2011).Are urban and rural tardigrade (Tardigrada) communities distinct and determined by pH: A case study from Fresno County, California

十、S.J.McInnes and D. B. Norman.(1996).Tardipade biology.

十一、DIANE R. NELSON.(2002).Current Status of the Tardigrada: Evolution and Ecology.

十二、P. Brimblecombe & D. H. Stedman.(1982). Historical evidence for a dramatic increase in the nitrate component of acid rain

十三、WILLIAM RANDOLPH MILLER.(2011).Tardigrades.From <https://www.americanscientist.org/article/tardigrades>

十四、Amber.(2001).Tardigrades as Environmental Bio-Indicators.From <https://reurl.cc/NX4nom>