

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

□國中組 ■普高組 □技高組 成果報告格式

題目名稱：「螅」「習」相關—綠水螅的習慣化與營養條件

一、摘要

綠水螅(*Hydra viridissima*)被認為是最簡單網狀神經的生物之一。我們好奇如此簡單的水螅，是否具有學習、記憶的能力？因此我們設計了一系列「習慣化反應」、「去習慣化反應」實驗驗證其學習與記憶行為。本研究發現,水螅在強度較弱且間隔短的刺激中收縮反應顯著減弱,對於特定刺激具有專一性,顯示了綠水螅在習慣化現象中的學習行為；且此習慣化行為具延續性,於 24 小時後仍可見針對同一刺激延續的習慣化現象,則顯示了綠水螅的短期記憶能力。進一步研究發現,在暗室培養下的水螅習慣化現象會減弱,推測正是與綠水螅共生綠藻及其光合作用所提供養分的減少有關。這些發現提供了水螅等無中樞神經生物學習機制的理解。

二、探究題目與動機

組員們在飼養水螅時,意外觀察到在每次清理飼養燒杯時,燒杯內的水螅個體在剛開始受到水流波動影響後都會大幅度縮短,但是過了一段時間,同樣受到水流波動的情況下,水螅卻不像一開始的大幅度縮短。據我們所知,學習行為應該需要透過大腦學習後形成。因此此現象引起我們的好奇,是否構造如此簡單並且無中樞神經的水螅會有類似習慣化的學習行為,甚至是有記憶延續的可能性？在進行相關測試後,我們也發現不同強度及時間的刺激會對水螅有不同反應,甚至在暗室培養後會影響習慣化效率,故同時以此作為我們的研究題目。

三、探究目的與假設

目的：(一)分析何種**刺激間隔時間**影響水螅的習慣化程度較高。

(二)探討不同**刺激強度**對水螅習慣化現象的影響,找出最容易引發習慣化的條件。

(三)測試水螅習慣化現象是否具有類似記憶的**延續性**。

(四)探討**營養條件**是否為影響綠水螅習慣化的因素之一。

假設：(一)**較短的刺激間隔時間**對於水螅的習慣化影響程度較高。

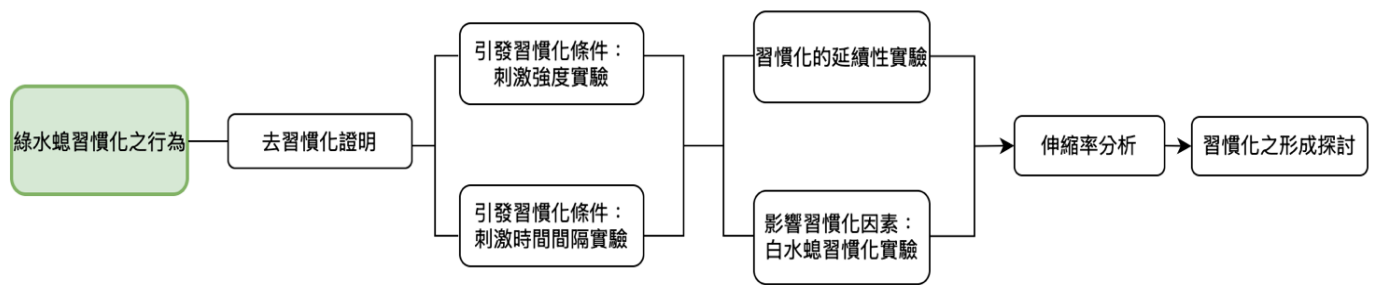
(二)**強度較弱的刺激**較容易引發水螅的習慣化。

(三)水螅的習慣化現象**具有一定程度的延續性**。

(四)**營養條件**為影響綠水螅習慣化的重要因素。

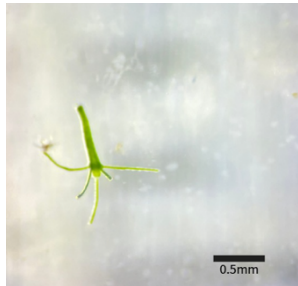
四、探究方法與驗證步驟

壹、實驗架構圖

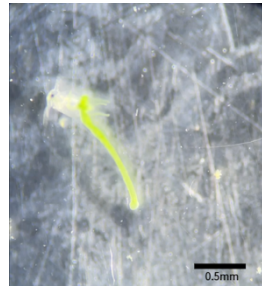


貳、綠水螅 (*Hydra viridissima*) 基本介紹：

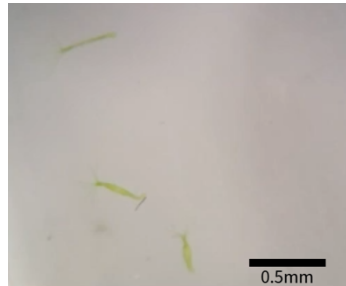
綠水螅 (*Hydra viridissima*) (圖一) 是一種淡水刺絲胞動物，其身長約 15 毫米，分布於湖泊、池塘和緩慢流動的溪流中。牠們的體內共生有綠藻，賦予其獨特的綠色外觀。牠們以小型水生無脊椎動物為食，如水蚤和輪蟲等 (圖二)。水螅的行為主要包括身體與觸手的收縮與伸展、消化過程以及移動。與許多低等動物相似，水螅的行為較為普遍的方式對外界刺激作出反應，通常有助於生存。另外，輕拍水螅或是其附著的基質皆可引發水螅的收縮運動 (圖三、圖四)。



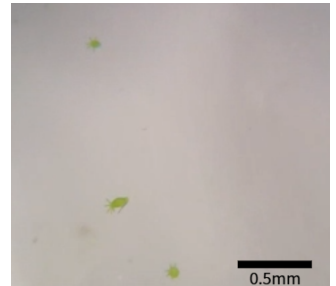
圖一、綠水螅
參、探究過程及步驟



圖二、綠水螅捕食水蚤



圖三、綠水螅受到刺激前兩秒



圖四、綠水螅受到刺激後兩秒

研究設備與器材：

(一) 習慣化現象實驗過程：培養皿、水螅、滴管、量筒、解剖顯微攝影機、手機、吹風機、金屬支架、書本 (擋板)、風速儀、長尺、間歇循環計時器 (手機軟體)

綠水螅的取得及飼養

本研究所使用的水螅為人工培育的綠水螅 (*Hydra viridissima*)，透過適當的飼養方式促進其無性生殖。水螅飼養於室溫靜水環境，培養水體主要使用 RO 水 (逆滲透水)，並適量加入離子將 pH 值控制在約 7.5，以模擬野外池塘的環境。水螅的主要食物為圓水蚤 (*Daphnia pulex*)，餵食頻率為每週 1 至 2 次。

習慣化實驗過程

(一) 實驗組別設定

本次實驗將水螅分為四組實驗：弱刺激 + 短間隔、弱刺激 + 長間隔、強刺激 + 短間隔、長刺激 + 長間隔組別。水螅習慣化延續時間之探討，則分別由當次實驗完畢後設定之時間 (24 小時後) 為基準。

(二) 實驗前準備

- 1.以量筒測量 14.7ml 之水體接著將量好的水體倒至培養皿中（水面高度約為 0.6cm）。
- 2 將 5~6 隻水螅以滴管吸至培養皿中，並靜置於解剖顯微鏡之載物台上。
- 3.將吹風機及手機架設完成，以直尺測量吹風機出風口與水螅所在處之距離 36cm，並以風速儀測量，距離 36cm 處強風風速應為 4.1m/s，弱風則 3.0 m/s。

（三）實驗進行

- 1.使用已靜置 30 分鐘之水螅，並在架設好之器材旁準備錄影及操作實驗。
- 2.操作人員以擋板將吹風機出風口擋住，啟用冷風模式 10 秒確保吹風機吹出的風溫度一致。
- 3.依照當下實驗組別設定間歇循環計時器，依照時間拿起擋板使吹風機吹向培養皿中的水螅，重複進行 60 次刺激並同時錄影。

（4.去習慣化實驗在最後以不同的刺激觀察水螅的收縮。）

- 5.將錄好的影片歸檔並上傳至雲端硬碟，供分析數據時下載使用。

數據收集方法

- 1.將錄製好的影片，剪輯出刺激前二秒至後兩秒共 60 段影片。
- 2.從第一段影片後每隔六個影片挑選一段，每組別應共有 11 段影片作為實驗數據分析。
- 3.水螅身長與輪廓識別及標示：將影片分割為照片後，我們使用 Python 撰寫兩種針對水螅身長的分析程式：程式分析以 cv2.findContours 等函數色彩與輪廓辨識自動量測水螅長度，手動分析則透過點選頭尾與轉折點並計算距離和求得身長。

數據統計及分析方法

本次實驗之數據，使用收縮率變化來觀察水螅習慣化的現象，收縮率定義為

$$\frac{\text{刺激前兩秒內最長長度} - \text{刺激後兩秒內最短長度}}{\text{刺激前兩秒內最長長度}} (\%)$$

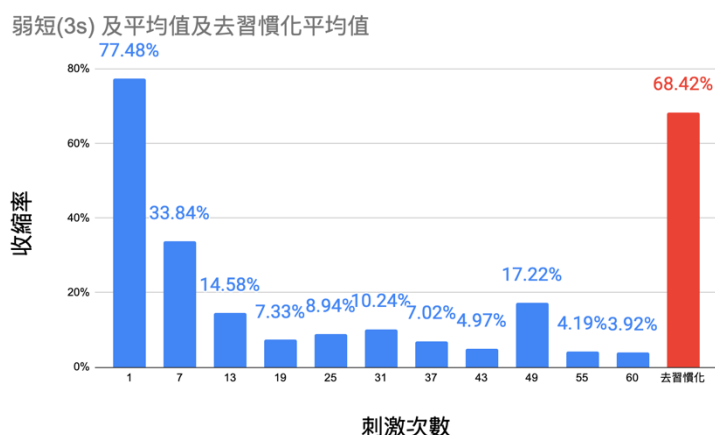
個別水螅收縮率計算出來後，再將組別中的個體收縮率取平均後化成柱狀圖，為了使下降趨勢的概念量化，我們使用了對數函數的趨勢線來探討收縮率之趨勢，得到函數之係數後加以分析。

肆、實驗結果

前導實驗、去習慣化實驗

為了驗證水螅有習慣化（dishabituation）之現象，我們挑選了弱刺激 + 短間隔（3s）組，並在最後以不同的物理刺激（解剖針碰觸水螅本體）作為去習慣化之證據，若收縮反應不符合收縮率的下降趨勢，和原本刺激的反應區隔明顯，則為「去習慣」現象，可視為習慣化之判定標準。（Cheng, 2021）

（一）圖表分析



圖五、弱風刺激 + 間隔時間短（3s）組別水螅四組習慣化及去習慣化收縮率之平均值

根據（圖五），在 11 次的刺激中，水螅的平均收縮率從 77.48% 降至約 3.92%，顯示對刺激的反應顯著減弱，符合習慣化現象。在去習慣化測試時，水螅的收縮率回升至 68.42%，顯示其對不同刺激重新產生較強反應，符合去習慣化現象。

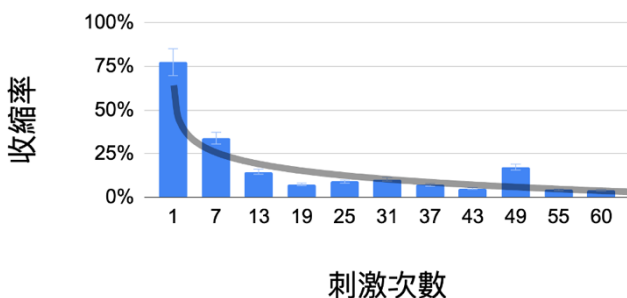
（二）實驗小結

本實驗結果支持水螅的習慣化與去習慣化過程，說明其對重複刺激的神經調控機制可能類似於其他無脊椎動物的學習機制。

實驗一、刺激之間隔長度實驗

弱短組 平均

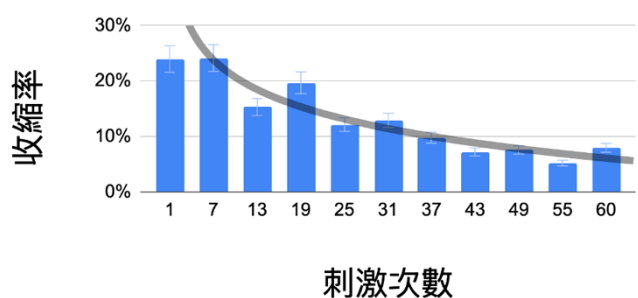
■ $-0.257 + -0.0956 \ln x \ R^2 = 0.597$



圖六、弱風刺激 + 間隔時間短（3s）組水螅五組收縮率平均值

強短組 平均

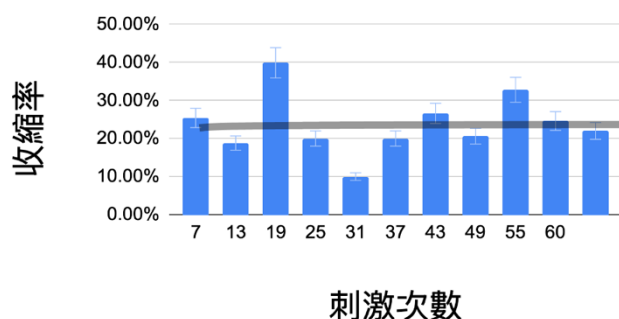
■ $-0.238 + -0.0771 \ln x \ R^2 = 0.875$



圖七、強風刺激 + 間隔時間短（3s）組水螅五組收縮率平均值

弱長組 平均

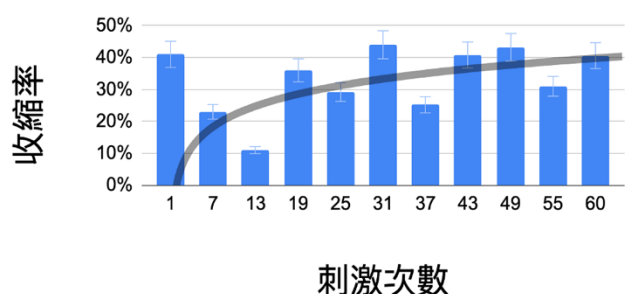
■ $-0.232 + 1.93E-03 \ln x \ R^2 = 0$



圖八、弱風刺激 + 間隔時間長（29s）組水螅五組收縮率平均值

強長組 平均

■ $-0.183 + 0.0932 \ln x \ R^2 = 0.415$



圖九、強風刺激 + 間隔時間長（29s）組水螅五組收縮率平均值

（一）圖表分析

根據趨勢線分析結果，弱短組（圖六）與強短組（圖七）的係數分別為-0.0956 及-0.0771，皆為負值，趨勢向下；而弱長組（圖八）及強長組（圖九）的係數則皆為正數，趨勢持平或向上。

（二）實驗小結

根據上述分析及比較，可知較短間隔時間的刺激更容易引發水螅習慣化之現象。

實驗二、刺激強度實驗

（一）圖表分析

比較弱短組（圖六）及強短組（圖七）之趨勢線係數，弱短組的係數為 -0.0956，強短組則為

-0.0771，弱短組趨勢下降較多，習慣化現象較明顯。至於弱長組（圖八）及強長組（圖九）係數分別為 0.00193 及 0.0932，皆為趨勢向上，不符合習慣化之假設，故僅以弱短組及強短組比較。

（二）實驗小結

綜合以上分析，可知較弱的刺激對於水螅習慣化之影響較明顯，尤其是短時間內的情況。

實驗三、習慣化延續時間實驗

根據實驗二、三，可知弱短組的習慣化最明顯，因此以弱短組探討水螅習慣化之延續性。

（二）數據及圖表統計分析

根據（圖十），可以發現 24hr 後係數趨勢仍然向下，但是下降有趨緩現象。可初步推論仍維持部分習慣化現象。

根據表三：第一次實驗時的初始收縮率遠大於 24hr 後的初始收縮率，以 t 檢定得到之 p 值表示， $p=0.0004$ 遠小於 0.05，代表兩組數據差異巨大，顯示水螅有延續習慣化的現象，才會導致對於同一刺激的最大收縮值顯著下降，然而變異係數從 0.211 變大至 0.319，數據間的差異變大，可能代表部分水螅個體的延續性未達成或不夠完整。

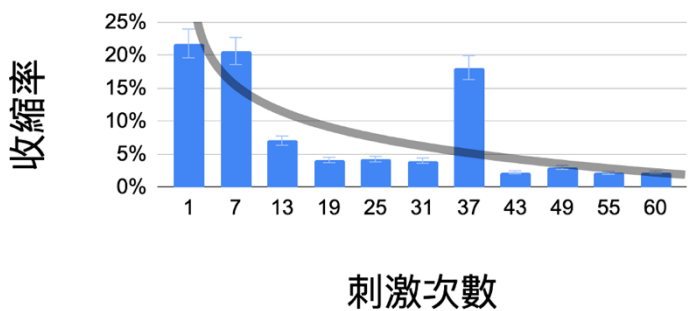
根據表四：24hr 後的收縮率皆大於第一次實驗之最後一筆數據，且 t 檢定的 p 值 0.00027 遠小於 0.05，這顯示了兩組數據差異同樣巨大，習慣化可能已經減弱，變異係數第一組較大則可能是由於第一次實驗，每隻個體的習慣化程度不同導致。

（三）實驗小結

根據以上分析及統計，可得知水螅之習慣化在 24hr 後很可能仍有類似記憶的延續性，但個體延續狀況存在差異。

弱短組 24hr後 平均

$$-0.155 + -0.0574 \ln x \quad R^2 = 0.38$$



圖十、弱風刺激 + 間隔時間短（3s）組水螅 24hr 後五組數收縮率平均值

表一、第一次實驗的最後一筆數據及 24h 後實驗的第一筆最高數據之比較

項目名稱	第一次實驗的第一筆最高數據	24hr 後實驗的第一筆最高數據
水螅 1	53.11%	14.69%
水螅 2	93.44%	25.00%
水螅 3	76.41%	38.05%
水螅 4	86.81%	28.96%
水螅 5	67.66%	33.76%
T 檢定後之 p 值	0.0004	
變異係數 CV	0.211	0.319

* P 值小於 0.05 表示數據差異巨大

表二、第一次實驗的最後一筆數據及 24h 後實驗的第一筆最高數據之比較

項目名稱	第一次實驗的最後一筆數據	24hr 後實驗的第一筆最高數據
水螅 1	2.12%	14.69%
水螅 2	3.36%	25.00%
水螅 3	4.83%	38.05%
水螅 4	3.72%	28.96%
水螅 5	0.71%	33.76%
T 檢定後之 p 值	0.00027	
變異係數 CV	0.5364	0.319

實驗四、白水螅習慣化實驗

為了探討是什麼因素使綠水螅更易於習慣化，我們決定將綠水螅靜置於暗室 4 週後，以飢餓且脫綠藻狀態（apobiontic）的水螅作為習慣化實驗對象。由於肉眼可見其脫去綠藻後呈現淺綠色甚至透明，因此我們稱之為「白水螅」。

（一）圖表分析

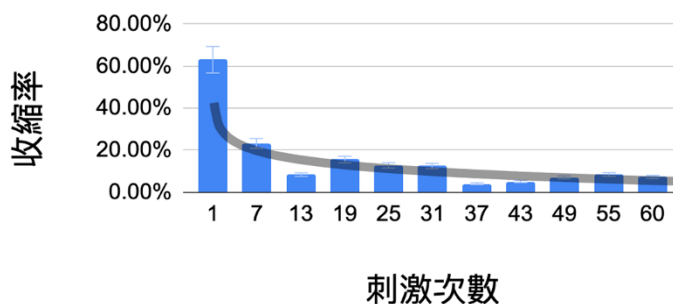
根據（圖十一），可見係數為-0.0615，趨勢仍然下降，然而與同樣條件下的實驗組別（圖六）之係數為-0.0956，下降趨勢趨緩許多。

（二）實驗小結

根據分析，可見缺乏營養及處於脫藻狀態的綠水螅，可能為了生存需要仍有習慣化現象，但習慣化較不明顯，可以得知營養條件及共生綠藻為影響綠水螅習慣化的重要因素。

白水螅習慣化

$$y = -0.197 + -0.0615 \ln x \quad R^2 = 0.613$$



圖十一、弱風刺激 + 間隔時間短（3s）暗室培養水螅五組收縮率平均值

五、結論與生活應用

壹、結論：

- 一、透過去習慣化現象證明綠水螅的習慣化具有專一性。
- 二、綠水螅對於短時間間隔的刺激相較於長時間間隔的刺激有明顯更優的習慣化現象。
- 三、綠水螅對於強度較弱的刺激較容易引發習慣化現象。
- 四、綠水螅習慣化中在 24 小時後類似記憶的延續性。
- 五、暗室培養的綠水螅之習慣化現象仍存在但趨勢較弱，推論習慣化現象很可能與綠水螅的共生綠藻及營養條件有關。

貳、生活應用：

1. 透過水螅的習慣化實驗，可以幫助研究者理解動物如何在環境中過濾掉無意義或重複的刺激，避免不必要的能量消耗，可為分散神經領域提供研究模型及方向。
2. 神經疾病常以高頻電刺激調控神經，但長期刺激可能因習慣化而降低效果。我們的水螅模型呈現類似現象，未來可在水螅上測試不同刺激策略，找出減少習慣化的方法，進一步應用於臨床治療。
3. 可利用類似習慣化的機制訓練 AI 自駕等系統過濾背景雜訊。

參考資料

- 一、Cheng, K. (2021). Learning in Cnidaria: A systematic review. *Learning & Behavior*, 49(2), 175-189.
- 二、Klimovich, A. V., & Bosch, T. C. (2018). Rethinking the role of the nervous system: lessons from the Hydra holobiont. *BioEssays*, 40(9), 1800060.
- 三、Wagner, G. (1905). Untersuchungen über das Nervensystem der Hydropolypen. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie*, 83, 1-38.