

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中甲組

作品名稱：探討電磁場對淡水渦蟲再生與感電的影響

關 鍵 詞：渦蟲、電場感知、再生能力

編 號：

摘要

本作品在探討電、磁場對渦蟲感知的關係與再生能力的影響。首先我們嘗試確認渦蟲感知電場的器官，通過比較留下一個耳突與完全缺少耳突的兩種情況下，發現了缺少耳突的渦蟲對於負極的趨性會減弱，由此可推論耳突是輔助判斷電訊號的器官。另外，在有關電場與磁場環境下影響渦蟲再生的部分，我們分別比較頭部與尾部片段，在 1.5V 電場和增強磁場下的反應，發現頭部的部分較不會受到電場影響而改變再生速率，但會在磁場下會抑制再生速率；尾部則是於環境存在較大電場或磁場時，再生速率皆會有減慢的現象。我們推測電場對渦蟲全身不同的細胞所造成的影響可能不相同，而磁場則可能會影響細胞分裂的速率造成再生減慢。

壹、前言

一、研究動機

七年級生物課時，我們學到渦蟲的斷裂生殖及扁形動物門的各項生理特徵，而對渦蟲產生了更多的好奇。一開始，我們是從渦蟲的嗅覺方面開始探究，在過程中發現渦蟲有趨電性，因此改變了探究方向。我們想探討渦蟲的生理是否會受到電場與磁場的影響，進而產生行為或再生能力的改變。

二、文獻回顧

- (一) 去除頭部可以增強渦蟲趨向負極的移動：Raymond Pearl 首次描述渦蟲向負極移動的行為，而後 Zaid Sabry 等人研究日本三角渦蟲的趨電性，發現日本三角渦蟲對電壓做出反應而非電流，並比較了不同長度的頭部及尾部與軀幹碎片的趨電性，最後發現尾部和軀幹碎片會感受電擊而頭部訊號則會干擾趨電性。通過斬首恢復頭部碎片的負極趨電性直接證明頭部對趨電性的抑制。(文獻 1)
- (二) 文獻指出渦蟲頭部之再生能力均較尾部佳。Hyman 的研究提出生物電梯度與代謝梯度相關，由於渦蟲頭部的代謝更加活躍，與身體相比，頭部區域帶正電。渦蟲頭部與身體其他部位的差異在於：其大腦由許多不同類型的神經元組成，頭部和尾部電流敏感性和興奮各向異性的差異可能是由每個片段中神經元的數量和類型造成的。(文獻 4)
- (三) 長時間的直流電場刺激會造成刺激電極極化，造成細胞培養液的電解，產生電化學副作用，造成細胞凋亡。(文獻 7)
- (四) 部分魚類會利用一種電感受器（洛倫齊尼壺腹），利用電感來定位周圍的物體。這在動物不能依賴視覺的生態位中非常重要。電定位可以是被動的感知電場，例如獵物的肌肉運動產生的電場；也可以是主動的，電捕食者產生微弱的電場，使其能夠區分附近的導電和非導電物體。(文獻 8)
- (五) 文獻指出在細胞培養基中使用微量亞鐵離子進行處理並暴露於靜磁場會增加 DNA 損傷。生物系統也受到地球磁場自然變化的影響，這種地磁擾動的變化已被證明不僅會影響動物行為，還會影響如纖毛運動、幹細胞功能，心血管調節，自主神經調節神經系統、記憶，以及神經元之間的相互作用等。(文獻 9)

三、研究目的

- (一)、探討渦蟲耳突與電場感知的關係
- (二)、探討環境電場對渦蟲再生速率的影響
- (三)、依據渦蟲趨負電特性設計誘捕器與實用性分析
- (四)、探討環境磁場對渦蟲再生速率的影響

貳、研究設備及器材

一、實驗器材

淡水渦蟲 <i>Dugesia japonica</i>	渦蟲飼料： 雞肝、蛋黃	打氣機	燒杯	濾水器
純水	解剖針	6cm 培養皿 9cm 培養皿	塑膠盆	三合一 電磁測量器
電源供應器 (1.5V~12V)	解剖刀	溫度計	鑷子	解剖顯微鏡
鱷魚夾電線	電極(鋁片、碳棒)	複式顯微鏡	控溫器	

二、渦蟲飼養裝置

- 1.分為兩缸養殖，以區分實驗用及尚未使用過的樣本。
- 2.配有：打氣機、水蘊草(以便渦蟲附著)。
- 4.餵食頻率為每週一次，餵食蛋黃或雞肝。

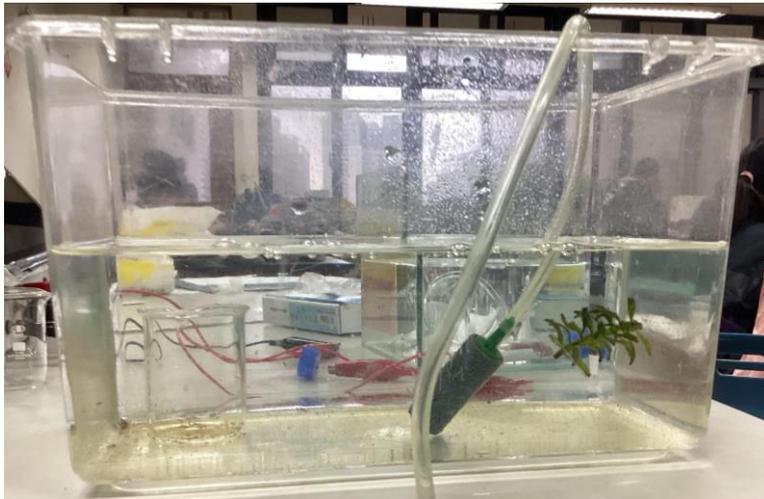


圖 2-1 渦蟲飼養缸

參、研究過程或方法

一、探討渦蟲耳突與電場感知的關係

(一)觀察渦蟲的趨負電性行為裝置

1. 將 15 毫升純淨水放置於 9cm 培養皿中
2. 以鱷魚夾連接電源供應器及碳棒電極
3. 將碳棒放置於培養皿兩端，並將渦蟲放置於培養皿中間位置。
4. 開啟電源供應器，提供 3V 電壓，觀測渦蟲爬行方向，記錄運動及趨性狀況。

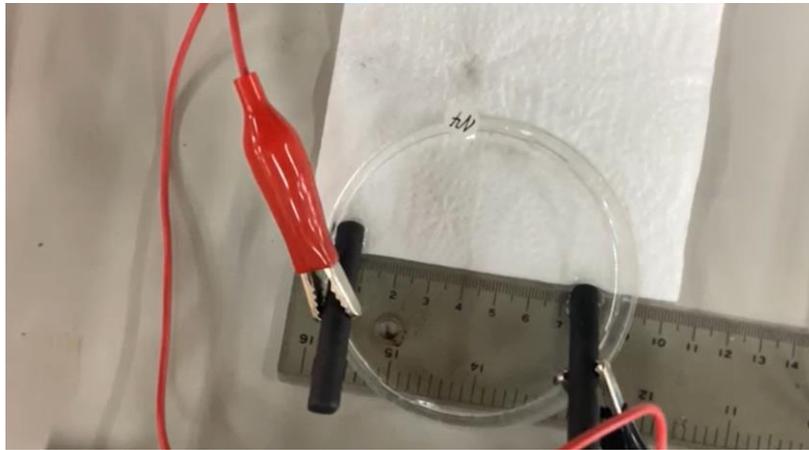


圖 3-1 渦蟲正負極辨識實驗裝置圖

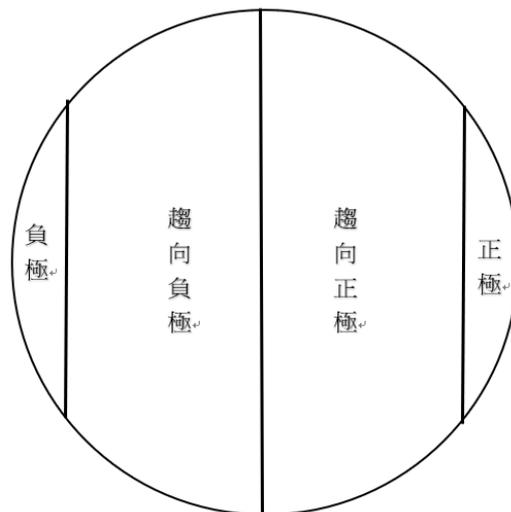


圖 3-2 渦蟲趨電極程度測量圖

(二)切除渦蟲耳突 (單側或雙側)

1. 取 9cm 培養皿盛裝 10 毫升純水後，將渦蟲放入培養皿中
2. 使用解剖針固定位置使其無法移動
3. 用複式顯微鏡進行觀察與操作。使用解剖刀劃在渦蟲耳突處(如圖 3-1 所示位置) 破壞耳突功能
4. 等待渦蟲恢復爬行後放回養殖容器

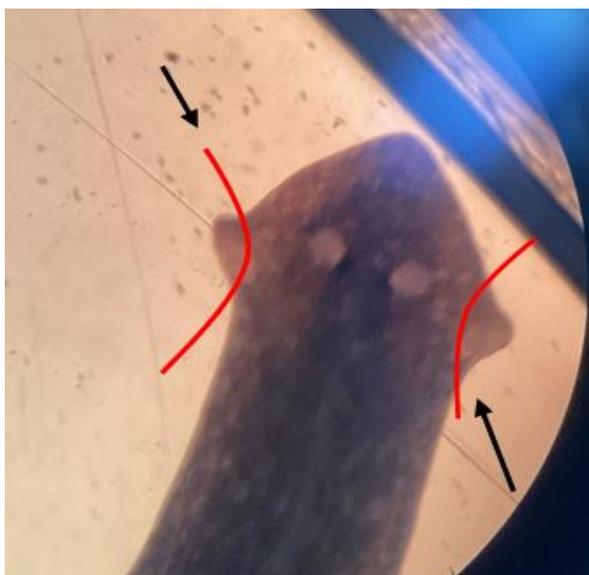


圖 3-3 渦蟲耳突切除處

二、環境電場對渦蟲再生的影響

(一)實驗方法

- (1) 實驗時間為一次十天，共計三次。實驗 2 天前餵食，實驗中不餵食。水溫控制在 20 度。
- (2) 實驗分為實驗組與對照組兩缸，實驗組二十四小時通電(1.5V，低頻電場 88~94v/m)，對照組則正常飼養(低頻電場 8~23v/m)。
- (3) 參與一次實驗的渦蟲共有十隻，一組五隻，大小相似，每隻皆截對(0.4~0.6cm)，並個別飼養。
- (4) 每固定時間進行長度測量並記錄(附圖 3-5)

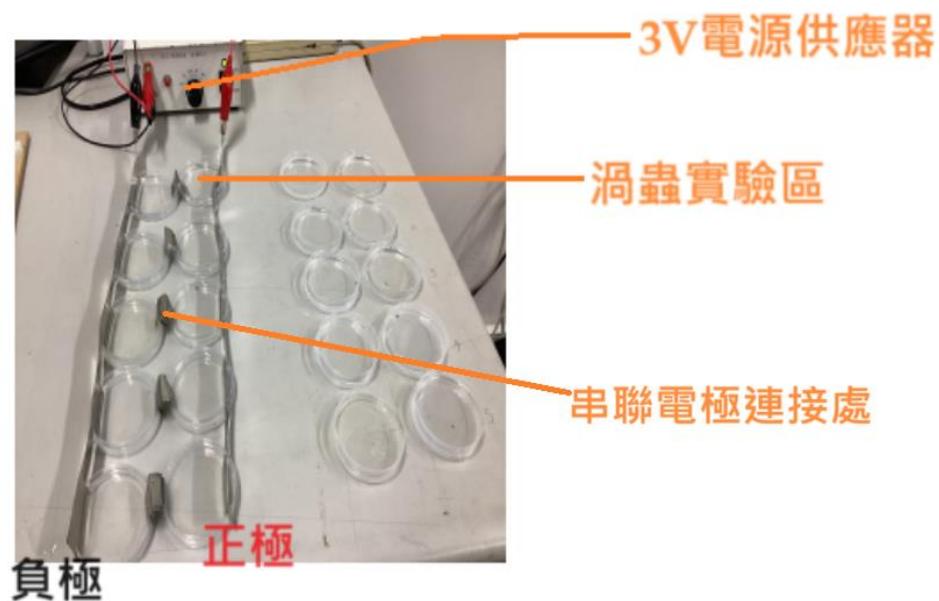


圖 3-4 電場實驗器材設置

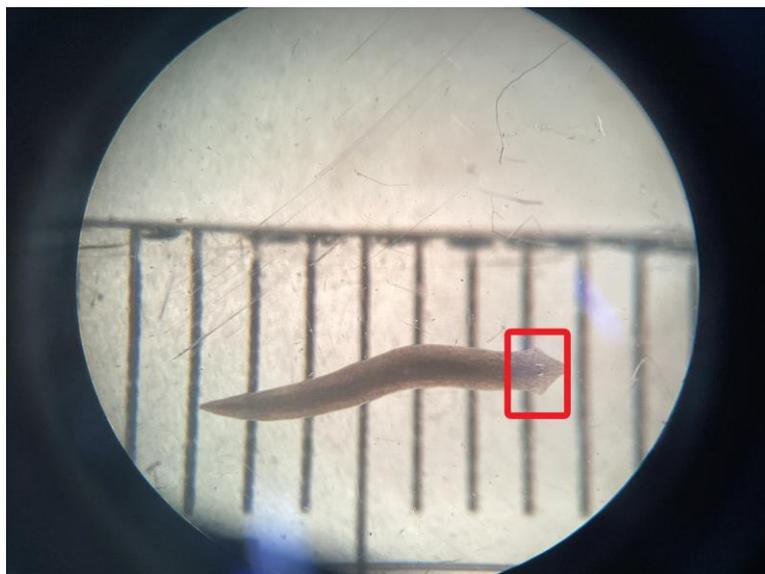


圖 3-5 重新再生的部分(顏色較淺)

三、渦蟲趨負電特性製作誘捕器與實用性分析

(一)實驗方法

(1) 誘捕器設計：

主體為一改裝的塑膠量筒，正極端放在水域中(大小 17.4×12.1cm)，負極端設置在瓶中，並在瓶身打洞設置導引小管，使渦蟲可以爬入。(圖 3-6)

(2) 實驗前的渦蟲前 3 天皆不餵食。

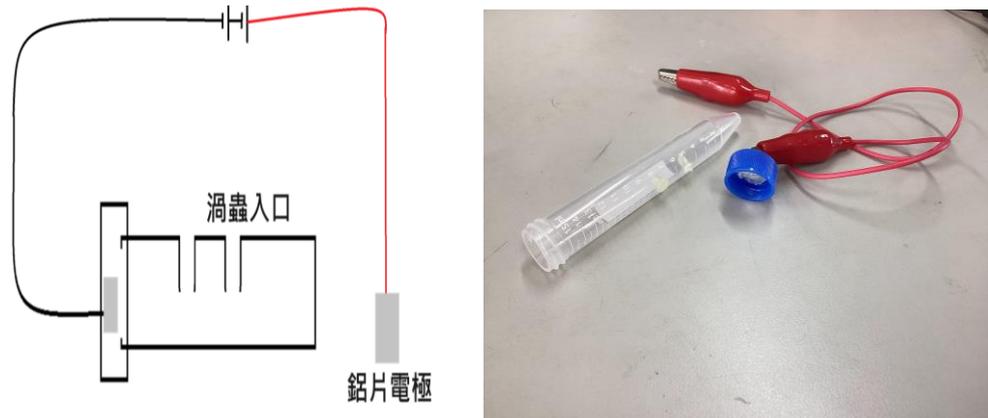


圖 3-6 誘捕器成品



圖 3-7、3-8 渦蟲誘捕器在溪流中使用方式

(3) 取 20 隻完整渦蟲參與實驗，電場通電 3V，每次操作 10 分鐘；另做一組以普通食物(雞肝 5g)做誘餌的組別當對照組。

(4) 分析實驗組和對照組時間內捕捉到的渦蟲數量之效能與成本

四、磁場對渦蟲生長速率的影響

(一)磁場對渦蟲再生的速率影響(10 隻 切半後 20 隻)

1. 將渦蟲對半切開(分成頭尾各一半)
2. 放入容器進行飼養(兩天前餵食) (圖 3-9)
3. 實驗裝置規格：圓柱體直徑 15cm,高 10cm,內徑 13.8cm，外纏兩層漆包線，實驗時通入 12V 的電壓，實驗區中央位置磁場強度約為 26 毫高斯。
4. 於裝置中進行 10 天實驗後，記錄平均長度變化
5. 分析有磁場環境是否會對再生速率有明顯的改變

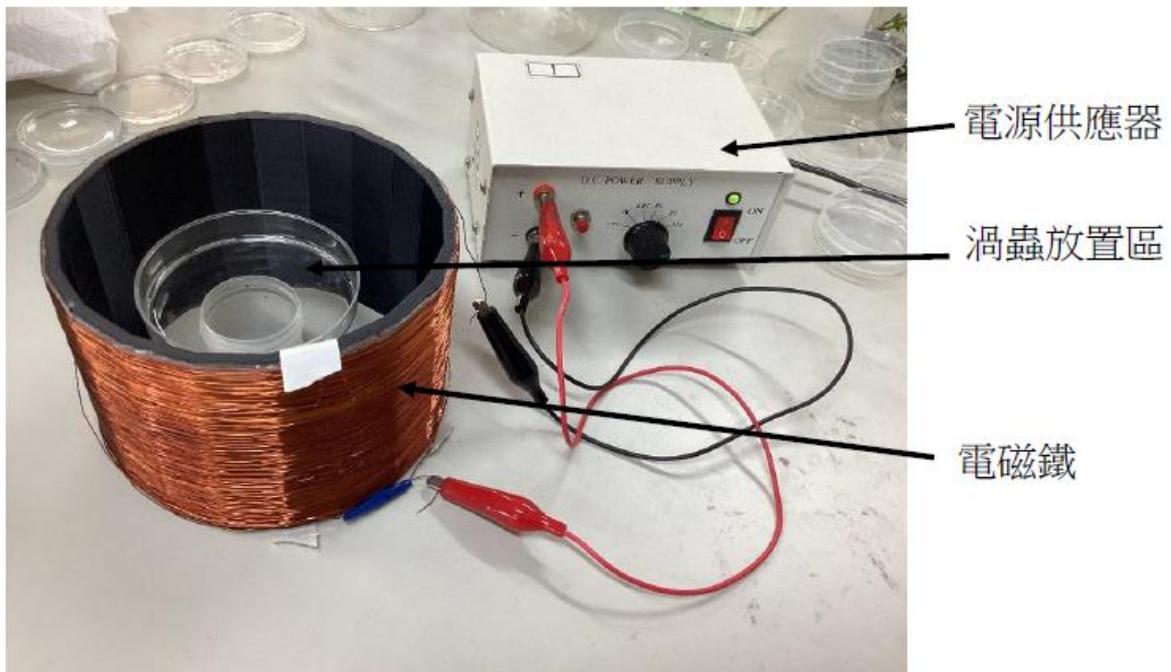


圖 3-9 磁場實驗裝置圖

肆、研究結果

一、渦蟲耳突與感知電場的關係

實驗分為耳突完整、切除單側耳突及切除兩側耳突各進行 15 次，結果如下表

表 4-1

	耳突完整(對照組)	切除單側耳突	切除兩側耳突
負極	11	5	0
趨向負極 (位於靠近負極半邊)	0	4	4
靜止不動	0	2	1
趨向正極 (位於靠近正極半邊)	1	2	4
正極	1	0	4
死亡	2	2	2

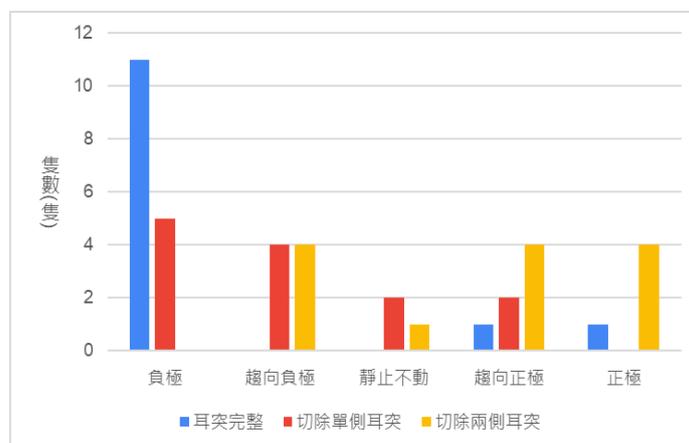


圖 4-1 耳突完整度與電極趨向性的關係

由表 4-1 結果可知:

1. 對照組的渦蟲大部分呈現趨負電性行為明顯。
2. 只切除單側耳突的渦蟲，趨向負電行為減弱。
3. 切除兩側耳突的渦蟲，趨向負電行為不明顯。

二、環境電場對渦蟲再生的影響

(一)1.5V 電場對渦蟲再生時出現斷裂生殖的狀況

表 4-2

	頭部片段	尾部片段
1.5V 電場	出現斷裂生殖現象(1/10)	出現斷裂生殖現象(1/10)
對照組	無	無

(二)1.5V 電場對渦蟲再生速率的影響

實驗時間為一次十天，共計三次，結果如下表

表 4-3

		第一次實驗 平均	第二次實驗 平均	第三次實驗 平均	總平均	標準差
頭部片 段均生 長 (cm)	1.5V 電場	0.093	0.054	0.098	0.08	0.04
	對照組	0.07	0.068	0.114	0.09	0.03
尾部片 段均生 長 (cm)	1.5V 電場	0.09	0.096	0.17	0.12	0.07
	對照組	0.142	0.136	0.19	0.157	0.06

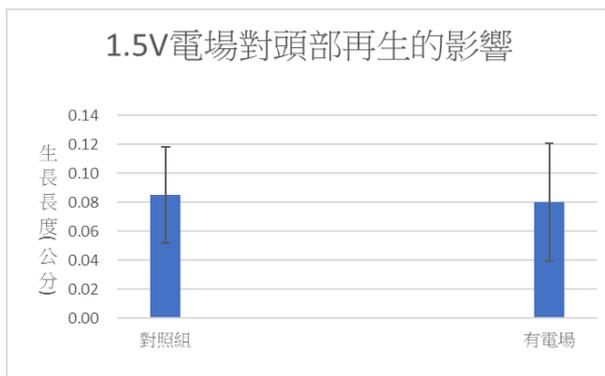


圖 4-2

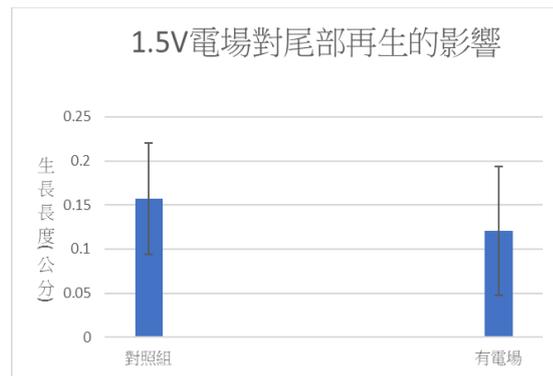


圖 4-3

由表 4-3、圖 4-1~4-2，我們得出：

- 1.頭部在通電 1.5V 下，對照組再生長度較實驗組佳。
- 2.尾部則是在 1.5V 下，再生長度較對照組差。
- 3.另外，在有電場的實驗組中，觀察到莫名斷裂生殖的情況。
- 4.渦蟲在正常情況下頭尾生長速度相近。

三、渦蟲趨負電特性製作誘捕器與實用性分析

表 4-7

	第一次比較	第二次比較	第三次比較	第四次比較	第五次比較
負電陷阱裝置	5/20 隻	3/20 隻	5/20 隻	2/20 隻	0/20
食物陷阱裝置	1/20 隻	4/20 隻	5/20 隻	0/20 隻	3/20

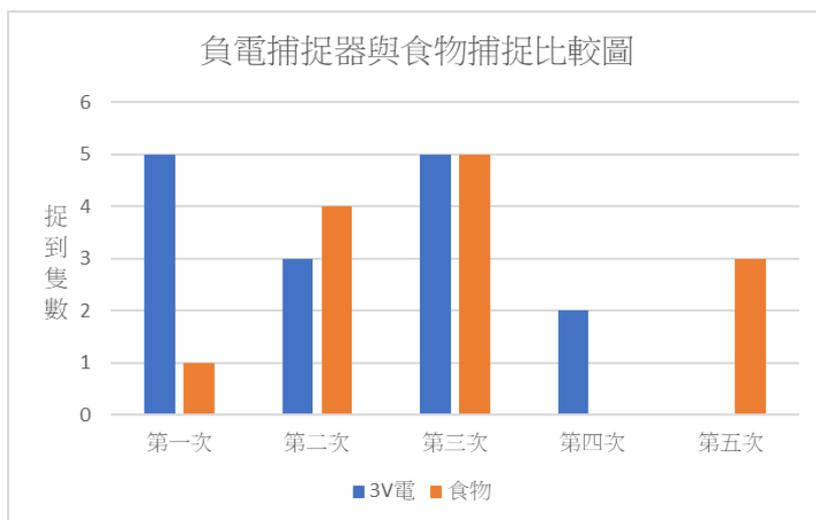


圖 4-4

依表 4-7，我們發現負電陷阱裝置捕捉效率與食物陷阱相近。

四、磁場對渦蟲的再生速率影響

表 4-8

		第一次實驗 平均	第二次實驗 平均	總平均	標準差
頭部片段均生長 (mm)	磁場處理	-0.46	0.7	0.12	0.71
	對照組	0.7	1.14	0.92	0.31
尾部片段均生長 (mm)	磁場處理	0.9	0.7	0.8	0.51
	對照組	1.42	1.36	1.39	0.04

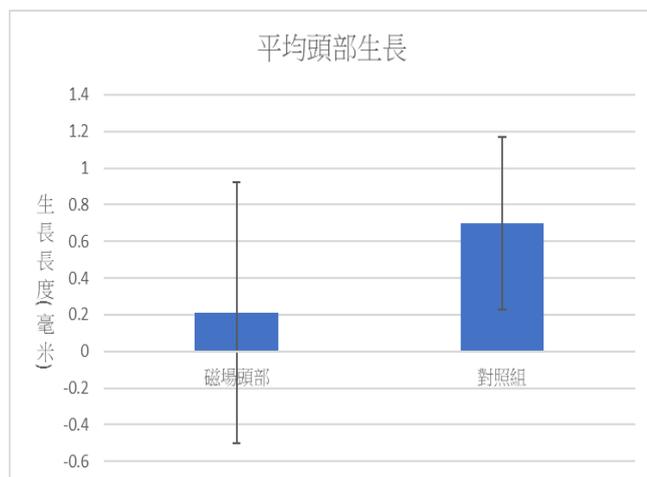


圖 4-5

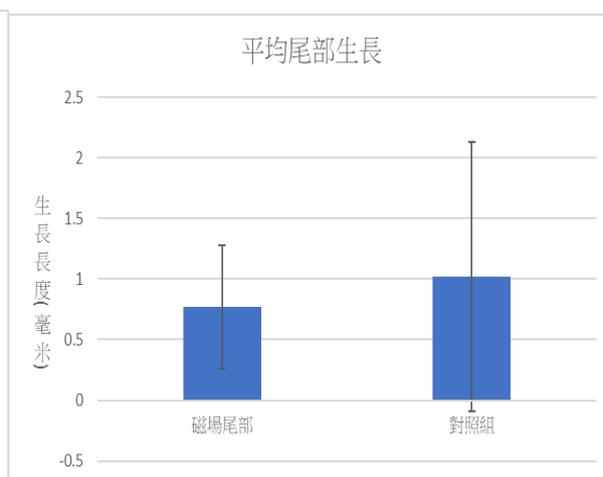


圖 4-6

結果分析:

- 1.由圖 4-4 可得知頭部在磁場下對照組再生長度較實驗組佳。
- 2.由圖 4-5 可得知尾部在磁場下對照組再生長度較實驗組佳。

伍、討論

一、渦蟲耳突與感知電場的關係

由渦蟲耳突完整度與電極感知的關係結果中可知：

- (1) 缺失一耳突而無法判斷正負極，而另一部分為趨向正極可能因缺少一耳突導致判斷正負極錯亂。
- (2) 切除全部耳突的渦蟲無法判斷正負極也無法準確判斷出電流的正確來向，導致在正負極半邊的渦蟲多於實際靠近的渦蟲。

由此可知渦蟲的主要趨電性感知是由耳突負責。文獻指出渦蟲身體也可感知電場正負極，但效果應不及耳突。但根據(文獻 2)表明渦蟲對於負極趨電性與大腦無關而神經會抑制渦蟲的趨電性，因此推測出渦蟲耳突是輔助趨電性的一種器官；而發展出趨電性原因，我們根據(文獻 7)推測，對於肉食性的渦蟲而言，趨電性可能與尋找獵物有關。

二、環境電場對渦蟲再生的影響

- (1) 在有電場的實驗組中，觀察到斷裂生殖的情況，推測可能是因為電刺激造成的生長環境不利影響所導致。
- (2) 在實驗過程中，頭部在通電 1.5V 下生長情況與對照組之結果只有小部分差異，顯示電場對其生長量影響不大。我們在實驗中觀察到頭部的傷口恢復之後，無論是否有電場處理，都不會大幅度增長組織。
- (3) 尾部在通電 1.5V 下生長情況較對照組差，其原因我們透過閱讀(文獻 4)，認為是因為頭部與渦蟲身體其他部位由許多不同類型的神經元組成，產生頭部和尾部電流敏感性和興奮各向異性的差異。
- (4) 而在 1.5V 電場中再生受到抑制的部分，我們透過(文獻 7)推測:因為直流電會與生物細胞產生化學反應，似於透過電流使細胞出現自噬行為而使渦蟲再生的幹細胞凋亡，從而使生長受到負面影響。

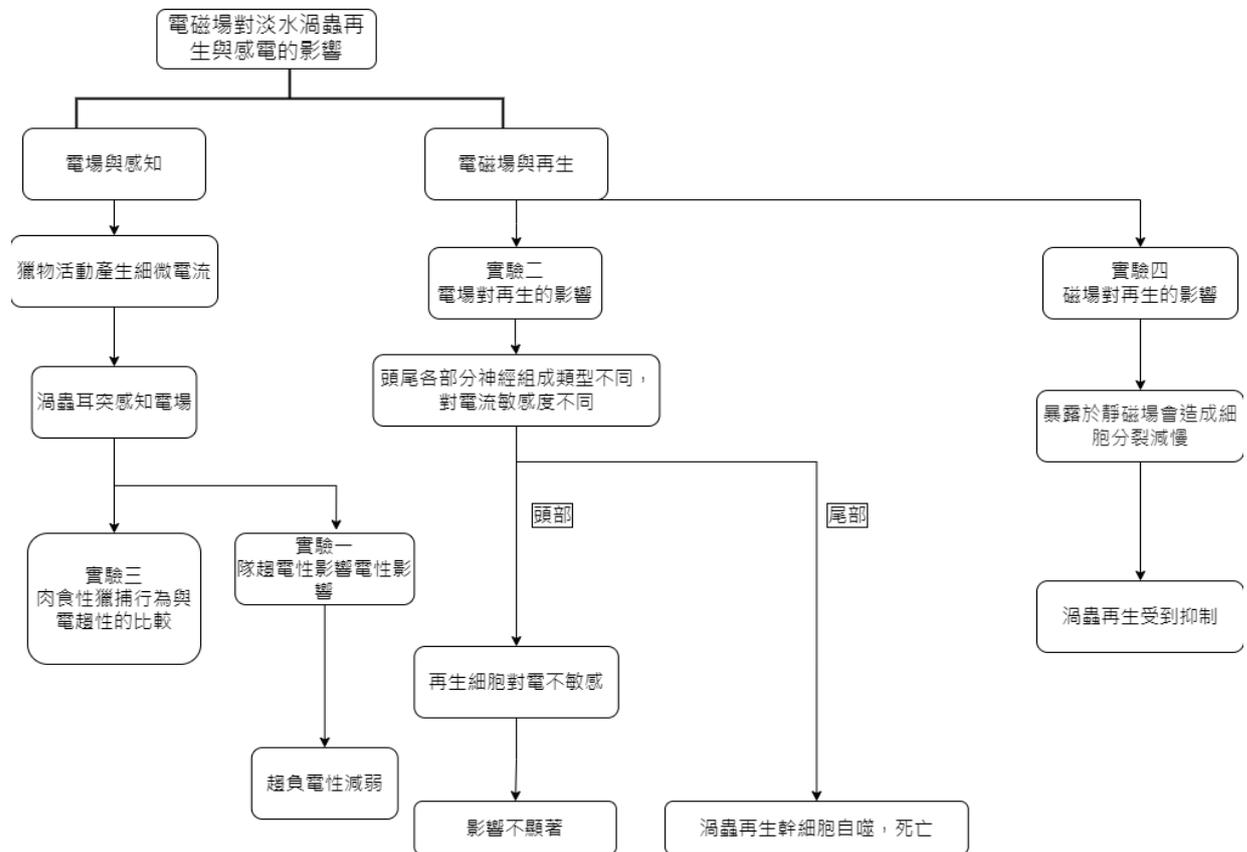
三、渦蟲趨負電特性製作誘捕器與實用性分析

- (1) 效率的方面，使用電場的效能約等於普通陷阱，我們認為原因是因為電流傳遞較氣味迅速，而食物也是驅使渦蟲靠近一大誘因，造成相近的結果。
- (2) 而在成本的方面，使用負電陷阱消耗能量較多(需耗電)，且受水域大小、流速限制，要評估使用。

四、磁場對渦蟲生長速率的影響

(1) 從實驗結果來看，給予磁場環境會導致渦蟲的再生速率降低，由文獻可知弱組合磁場會影響幹細胞產生傷口再生的基因，降低有絲分裂的活性，進而抑制渦蟲的再生(文獻 11)，且將細胞暴露於高梯度磁場 24 小時，誘導細胞腫脹並引發細胞凋亡(文獻 8)，皆與我們的結果相吻合。因此我們猜測渦蟲的細胞分裂速率在有磁場環境下會減緩。

五、總和以上的推論，我們建構出電場與磁場對渦蟲的影響如下：



陸、結論

本研究可歸納出以下幾點結論：

- 一、渦蟲耳突可以輔助電場正負極的判斷。
- 二、渦蟲的頭部再生較不受電場影響，尾部會因 1.5V 以上的電場而減少再生速率。推測可能是因為渦蟲身體各部位的電場敏感度不同而影響對細胞刺激。
- 三、負電陷阱捕捉器材與食物陷阱效能相近，可視不同環境情況使用。
- 四、磁場會造成渦蟲的再生速率減慢，可能與影響細胞分裂有關。

柒、參考文獻資料

- 1、Raymond Pearl, 01 February 1903, The Movements and Reactions of Fresh-water Planarians: a Study in Animal Behaviour.
<https://journals.biologists.com/jcs/article/s2-46/184/509/62509/The-Movements-and-Reactions-of-Fresh-water>
- 2、Zaid Badry, 2022 Sep 1, Head removal enhances planarian electrotaxis
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9482365/#JEB243972C30>
- 3、Takeshi Inoue, 01 February 2015, Planarian shows decision-making behavior in response to multiple stimuli by integrative brain function
<https://zoologicalletters.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40851-014-0010-z>
- 4、Victoria Hossack, 19 February 2020, Sensitivity of Planaria to Weak, Patterned Electric Current and the Subsequent Correlative Interactions with Fluctuations in the Intensity of the Magnetic Field of Earth
<https://www.mdpi.com/2571-8800/3/1/8?fbclid=IwAR006Psfb8KzKqwikxit1cqtCd1KOJ66AsPPWN84HMrxqZhYylPt5grL5Ns>
- 5、鍾佩軒，2006年2月25日，第三屆旺宏科學獎 成果報告書
<https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/3rd/doc/SA3-200.pdf>
- 6、龍海燕,楊剛,馬坤龍,尚正華,任小梅，2017年6月31日，不同電刺激波形对脂肪間充質幹細胞定向排列的影響
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8498154/?fbclid=IwAR0H6ooq8673INcmMSQo4OxzgQdGVJ5ADttKMBUL7j0oTq0kLwDhQ16G_38
- 7、WIKI，Electroreception and electrogenesis
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electroreception_and_electrogenesis?fbclid=IwAR22G3u7gNfihtMnd-o0u4znJ2b5M0tkJX11mQdwHmwONnv9dgQtarOwa8M
- 8、Vitalii Zablotskii, Tatyana Polyakova, Oleg Lunov & Alexandr Dejneka, Scientific Reports.
<https://www.nature.com/articles/srep37407>
- 9、Article number: 37407 (2016), How a High-Gradient Magnetic Field Could Affect Cell Life.
<https://reurl.cc/80K6j4>
- 10、Junji Miyakoshi, February – April 2005, Effects of static magnetic fields at the cellular level.
<https://reurl.cc/RWpLLg>
- 11、Junji Morokuma, Fallon Durant, Katherine B. Williams, Joshua M. Finkelstein, Douglas J. Blackiston, Twyman Clements, David W. Reed, Michael Roberts, Mahendra Jain, Kris Kimel, Sunia A. Trauger, Benjamin E. Wolfe, Michael Levin, 26 April 2017
Planarian regeneration in space: Persistent anatomical, behavioral, and bacteriological changes induced by space travel.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/reg2.79>

12、Artem Ermakov, Vera Afanasyeva, Olga Ermakova, Artem Blagodatski, Anton Popov, Effect of weak alternating magnetic fields on planarian regeneration.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35007847/>