

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生物(生命科學)科

040702

奈米磁鐵對草履蟲的影響

國立臺南女子高級中學

作者姓名：

高二 林郁珊 高二 黃筱庭

指導老師：

張鳳琴

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生物

組別：高中組

作品名稱：奈米磁鐵對草履蟲的影響

關鍵詞：奈米磁鐵、草履蟲

編號：

# 奈米磁鐵對草履蟲的影響

## 摘要

如果把磁鐵奈米化，是否仍保有原來的特性？將此”奈米磁鐵”放到微生物體內，又會產生什麼變化？我們設計了以下二大實驗：

實驗一：觀察草履蟲在一般的情形下與吞食奈米磁鐵後的生長情形，比較在電磁波(輻射線)、超音波、磁場(強力磁鐵)、電流下各自的差異性。由實驗結果發現，無論草履蟲是否吞食奈米磁鐵，皆不影響其在實驗裝置下的基本生物特性，但因吞食下奈米磁鐵後的草履蟲帶有磁性，會加劇實驗效果。

實驗二：利用磁生電的原理，設計出一外繞有鐵線圈的玻璃管裝置，使帶有奈米磁鐵的草履蟲經此裝置的瞬間產生電力，宛如一小型發電機，但因實驗裝置與實際的電流範圍不符，所以沒能做出一完整結果。如能成功，將能達到節省能源之意義。

# 奈米磁鐵對草履蟲的影響

## 壹、研究動機：

最近這幾年，”奈米”一詞，似乎成爲最新科技的代表，日常生活中處處可見奈米商品。這引起我們很大的興趣，究竟奈米是什麼?對我們的生活有何幫助?高中生是否也可做奈米的實驗呢?正好生物老師在暑假時參加了一個奈米生技研習，做了奈米磁鐵的小實驗，並給了我們一些，所以我們決定對奈米磁鐵有更深的認識，並嘗試以奈米磁鐵餵養草履蟲，觀察其對微生物—“草履蟲”的影響。

## 貳、研究目的：

- 1.了解奈米的特性，熟悉其尺度。
- 2.比較奈米磁鐵和一般磁粉對草履蟲的影響。
- 3.依照磁鐵的特性，設計實驗運用在草履蟲(微生物)身上，探討其對草履蟲的影響。
- 4.配合高一、二教材，研究草履蟲的生活習性。

## 參、研究設備與器材：

大燒杯 (1000 c.c.)：4 個 (A1、B1、A2、B2)

小燒杯 (50 c.c.)：6 個 (a1、a2、a3、b1、b2、b3)

奈米磁鐵、稻草桿、酵母粉、磁粉、超音波儀器、電流儀器、鐵絲線圈、細玻璃管、毫安培計、強力磁鐵、懸玻片、甲基纖維、目鏡測微器、載物臺測微器、光學顯微鏡、光學顯微照相機、高壓電桶、CCD、磁場量測系統、交流功率表

## 肆、研究問題：

**實驗一：**觀察草履蟲在一般的情形與吞食奈米磁鐵後的生長情形，並比較在電磁波(輻射線)、超音波、磁場(強力磁鐵)、電流下各自的差異性。

**實驗二：**利用磁生電的原理設計出一裝置，觀察已吞食奈米磁鐵的草履蟲通過線圈後毫安培計的讀數。

## 伍、研究方法與過程：

### 奈米磁鐵製作方法：

本實驗所使用的奈米磁鐵是以化學溶液合成法以製作奈米磁性氧化物顆粒。調製 1M 的氫氧化鈉及 0.1M 的硫酸亞鐵溶液加入燒杯中，控制 pH 在 7~8 之間；利用加入過氧化氫(1ml~8ml)使氫氧化物還原成氧化物，即反應成奈米級磁性氧化物磁顆粒。

### 實驗一：

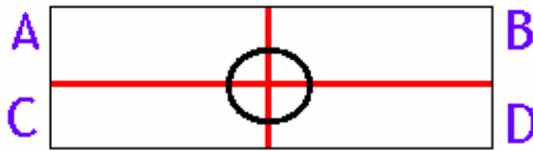
- 1.取 1000c.c 燒杯 4 個(A1、B1、A2、B2)，將稻草(約 300g)加水煮沸，靜置 24 hr。取 500ml 稻草培養液、100ml 自來水與 200ml 之池水，在燒杯內培養出草履蟲。(添加微量酵母粉，使草履蟲能大量繁殖)，其中 B1、B2 加入奈米磁鐵。
- 2.將 A1、B1 置於一般環境(室溫 25 度)，A2、B2 置於高壓電桶旁。(A2、B2 為電磁波(輻射線組)。
- 3.觀察 A1、B1、A2、B2 的生長情形紀錄其生長變化。
- 4.當草履蟲培養至最大量(第 5 天)時，將 A1、B1 組各取出 3 小組(每組 50ml)，A 組標上 a1、a2、a3，B 組標上 b1、b2、b3。[a1、b1 為超音波組，a2、b2 為磁場組，a3、b3 為電流組]
- 5.為確保 b 組草履蟲體內仍有奈米磁鐵在 b1、b2、b3 加入奈米磁鐵。
- 6.以 A1、B1 為原始對照組，比較草履蟲在 A2、a1、a2、a3 及 B2、b1、b2、b3 的生長活動情形。

### 實驗二：

- 1.取一細玻璃管(約草履蟲可通過之尺度)。
- 2.將鐵絲纏繞成螺形線圈，套於細玻璃管外，線圈外接一毫安培計。
- 3.觀察已吞食奈米磁鐵的草履蟲通過線圈後毫安培計的讀數。

## 陸、實驗觀察方法：

1. **觀察草履蟲方法**：取一懸玻片，將其劃分為四等份(如下圖)，並將此四等份標上編號 A.B.C.D。以滴管滴一滴培養液於玻片正中央(即下圖圓圈處)。在光學顯微鏡下觀察時，為避免範圍太大而無法計數，可分區統計。



(玻片標本)

2. **一毫升培養液中，草履蟲的定量**：以一般滴管而言，一滴滴液約 0.2ml，假設在 A.B.C.D 四區中，分別有 2,4,3,1 隻草履蟲，則此滴 0.2ml 培養液滴液中，則約有 10 隻草履蟲；換句話說，每一毫升的培養液中約有 50 隻的草履蟲。取 20 次的測量結果，求平均值，約可大略計算出每一毫升培養液中，草履蟲的隻數。

3. **草履蟲大小觀察法**：將目鏡測微器放入目鏡的兩個鏡片間；在載物臺上置一載物臺測微器。載物臺測微器上有一段 1mm 直線，劃分為 100 小格，即每一小格大小為  $10\mu\text{m}$ 。檢視並移動載物臺測微器，使兩側測微器之一端刻度重疊成一線，再檢視另一端刻度重疊處，即可計算出目鏡測微器每一小格的大小，如下表：

目鏡倍數	4X	10X	40X
載物臺測微器(格)	100	100	100
目鏡測微器(格)	40	100	400
目鏡測微器每一小格之大小( $\mu\text{m}$ )	25	10	2.5

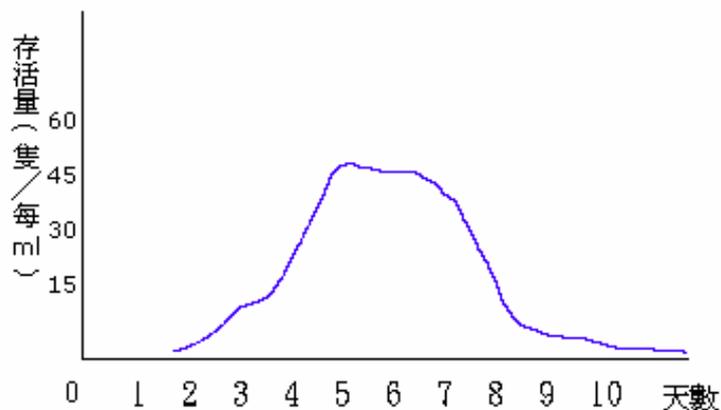
4. **草履蟲生長情形的觀察**：A1、B1、A2、B2 至培養起，每天固定一時間紀錄草履蟲的存活量。第 5 天時，對 a1、a2、a3、b1、b2、b3 組進行變因控制，仔細紀錄草履蟲間的差異。

## 柒、研究結果與討論(實驗一)：

### 1. 草履蟲的生長情形

草履蟲，原生動物的一屬，全身覆以纖毛，腹部有一口溝，為物質進出的通道。草履蟲有幾個生物特性：(1)草履蟲喜歡在物體的周圍，因此會聚集在棉花附近。(2)草履蟲不喜歡待在壓力高的地方，喜歡空氣流通的地方，也喜歡溫度適中的地方。(3)在適宜的環境之下，草履蟲在 24 小時之內，可以分裂四次之多。實驗室中，喜歡將草履蟲作為研究對象，正也因為草履蟲繁殖能力佳。草履蟲對地的負趨性，對光的正趨性，使其集中於水面，故實驗取樣時，皆取培養液之表面。

本實驗在開始培養草履蟲後的第 2 天，草履蟲開始繁殖，第 5 天其數量達到最大值，每毫升培養液約有 50 隻草履蟲。第 8 天草履蟲的天敵，輪蟲、鐘形蟲大量繁殖，草履蟲被吞食，數量劇降。如圖（一）。



圖（一）<草履蟲正常環境生長曲線圖>

## 2. A1，B1 組草履蟲的比較

A1 組為正常環境下生長的草履蟲

B1 組為餵食奈米磁鐵後所生長的草履蟲

A1，B1 組比較（如表一、圖二）

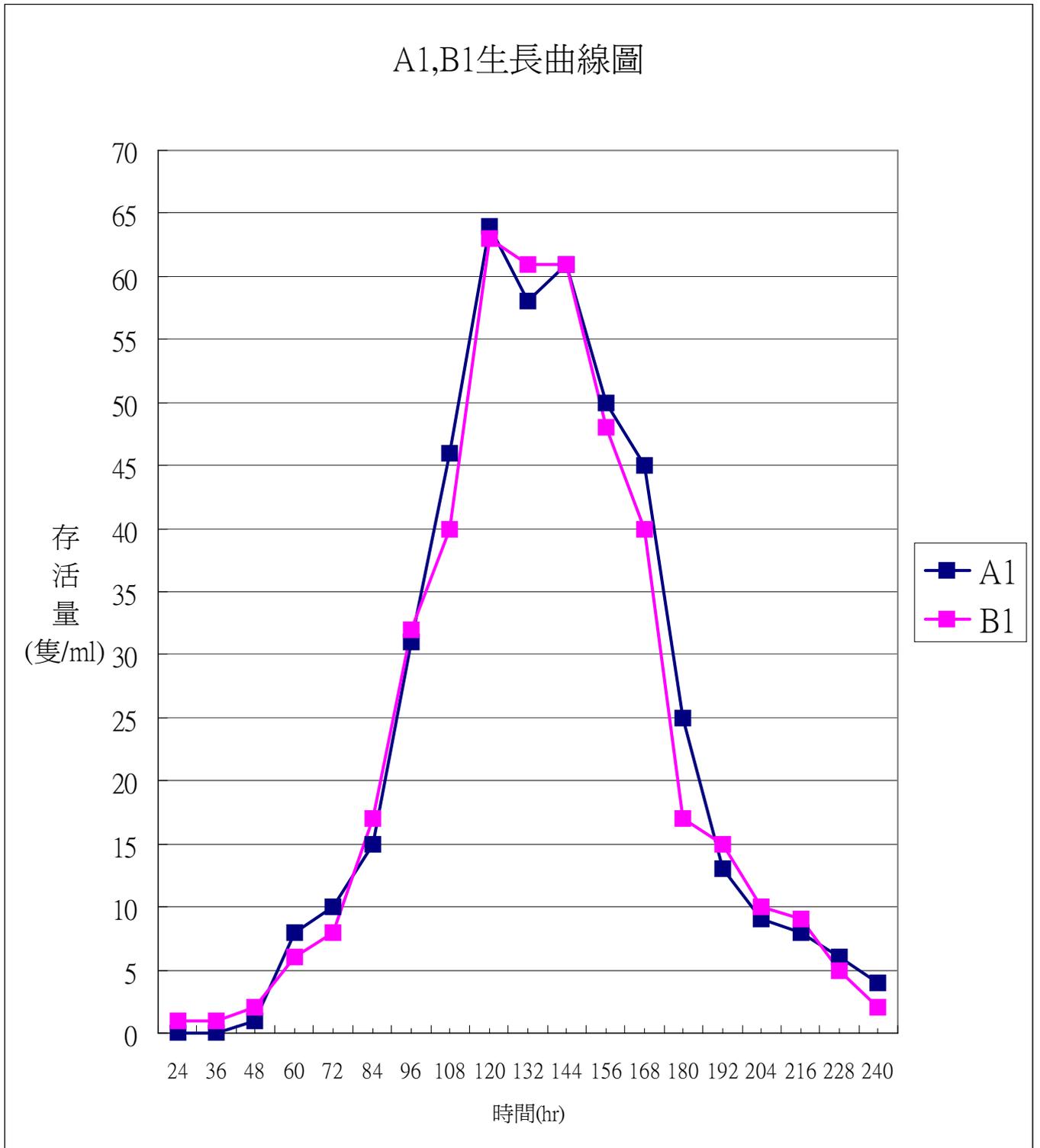
	移動速度	顏色
A1	較快	透明
B1	較慢	體內有微量紅銅色顆粒

表（一）

實驗整理：

由生長數據及曲線圖，我們可以發現，A1、B1 並無明顯的差異。也就是說，在一般適合草履蟲生長環境下，有無奈米磁鐵，其實並不影響草履蟲之生長、消長。但由 A1、B1 移動速度的比較，B1 草履蟲移動略比 A1 慢，所以當奈米磁鐵殘留在草履蟲體內時，會牽制草履蟲之行動。因奈米磁鐵的尺度遠比草履蟲小的多，所以當我們在光學顯微鏡下能看出草履蟲體內有奈米磁鐵時，則表示其體內奈米磁鐵量，以達到相當巨量，故使草履蟲無法以常速移動。

hr	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240
A1	0	0	1	8	10	15	31	46	64	58	61	50	45	25	13	9	8	6	4
B1	1	1	2	6	8	17	32	40	63	61	61	48	40	17	15	10	9	5	2



圖（二）A1，B1 生長曲線圖

### 3. A2，B2 組草履蟲的比較

A2 組為置於高壓電桶旁生長的草履蟲

B2 組為餵食奈米磁鐵後置於高壓電桶旁生長的草履蟲

以下數據皆為各時間點取樣 5 次後之平均值（單位：隻/ml）  
(包含草履蟲內孢子)

A2，B2 組草履蟲的比較（如圖三）

實驗整理：

由生長曲線及數據圖，我們可以發現在高壓電的影響下，每毫升 B2 草履蟲隻數比 A2 來的少。我們設計將實驗組置於工廠的高壓電桶旁，所釋放出較強烈的電磁波，對草履蟲有無吞食奈米磁鐵後的生長情形，會產生較明顯地差異。

電磁波產生磁波影響生物體內的磁場，體內存有奈米磁鐵的草履蟲，磁性較強。因其體內奈米磁鐵未經過”超順磁”處理，N-S 排列雜亂不一，且又因草履蟲運動，在一個極不穩定的磁場下，高壓電放出的磁波對 B2 草履蟲干擾作用甚強。故較不利 B2 草履蟲生長。

hr	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240
A2	2	1	1	3	5	14	21	23	19	18	11	5	4	3	4	2	1	1	1
B2	0	0	2	5	4	9	13	15	16	10	7	2	1	1	1	0	1	0	0

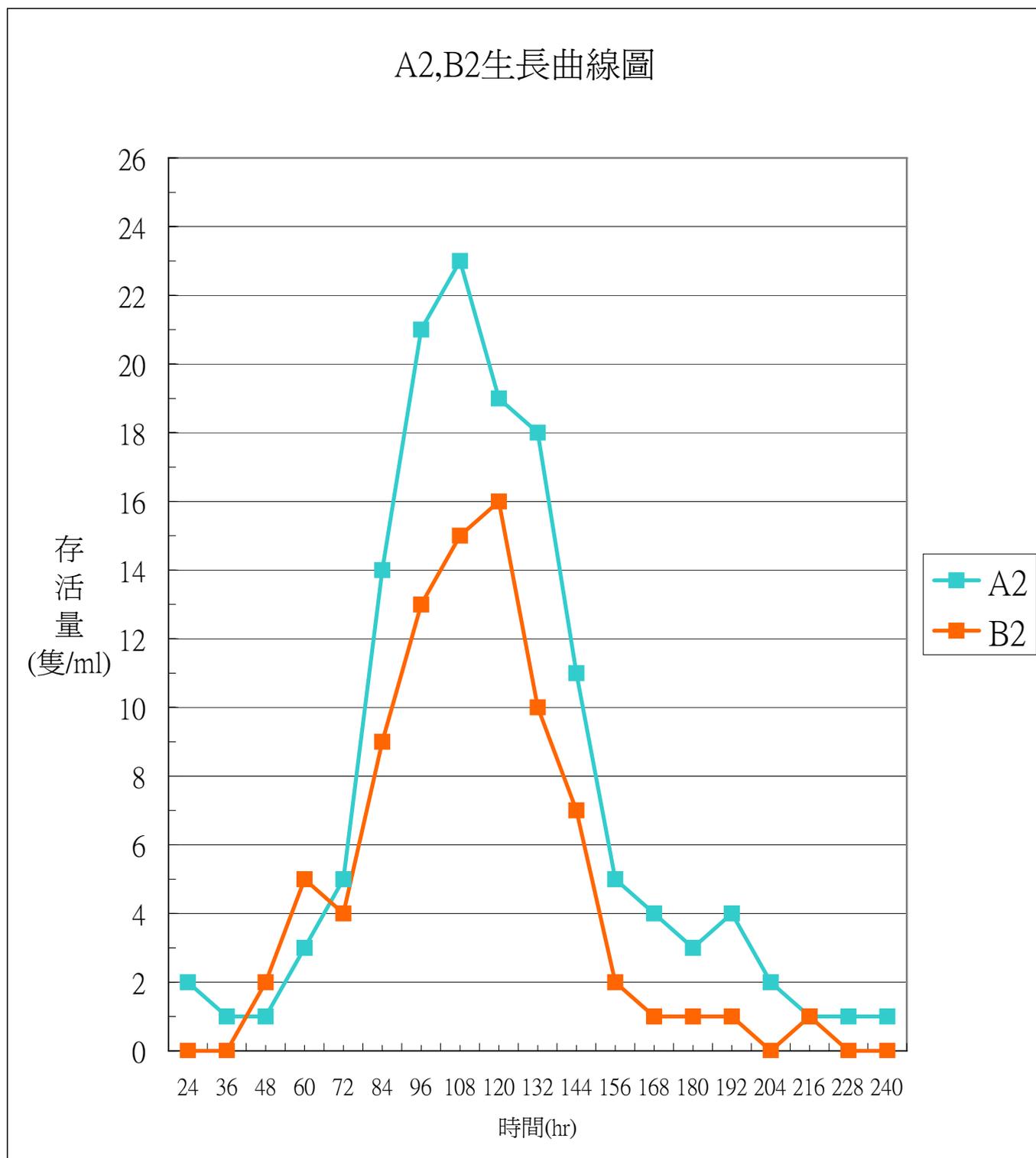


圖 (三) A2, B2 生長曲線圖

4. A1、B1、A2、B2 比較 (如圖四)

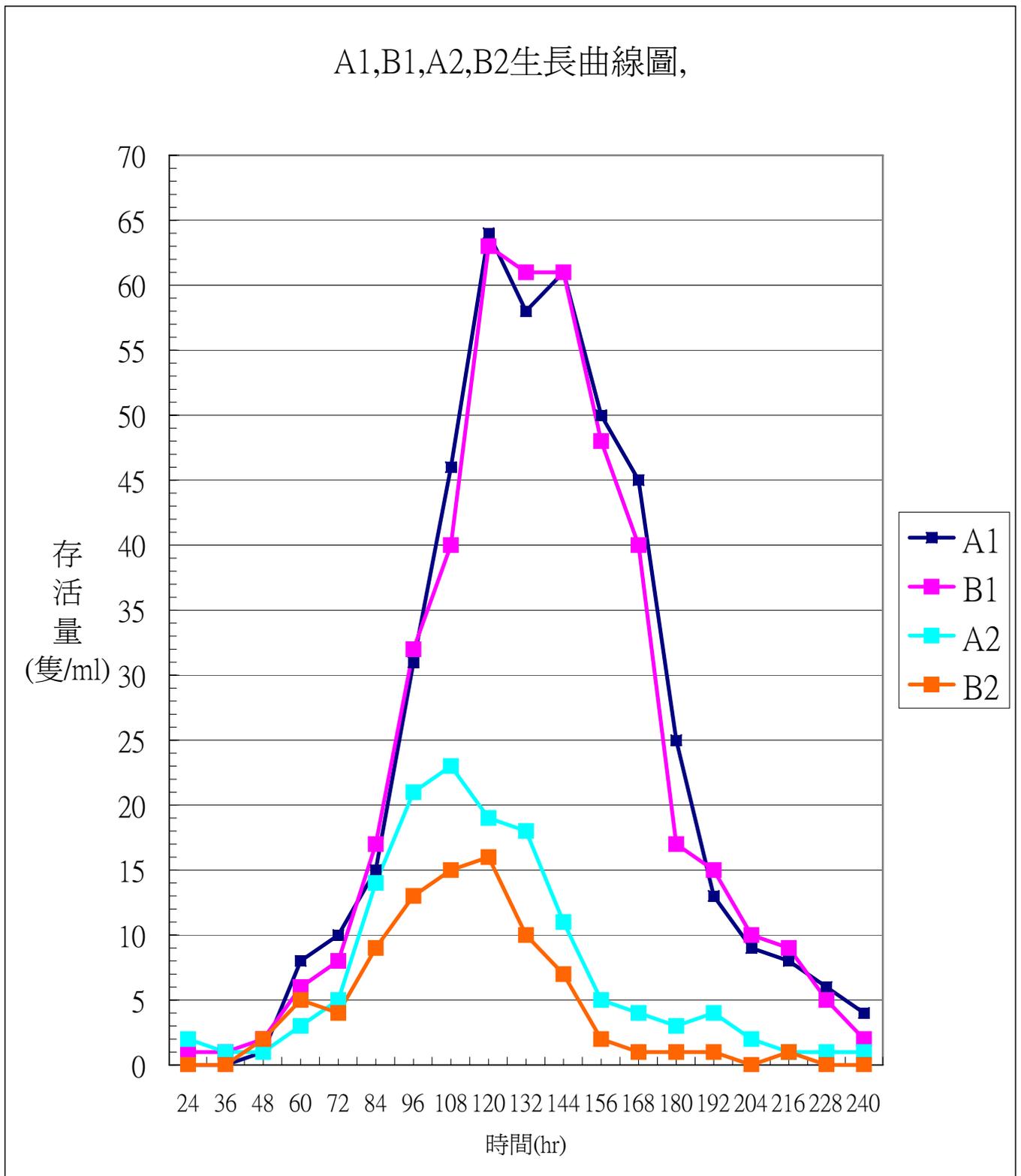


圖 (四) A1、B1、A2、B2 生長曲線圖

實驗整理：

由 A1、B1、A2、B2 的生長曲線圖看來，在電磁波下生長的草履蟲(A2、B2)隻數明顯少於一般環境下所生長的草履蟲(A1、B1)。

電磁波對生物是否有害，在最新科技、醫學上，都還是一個沒有絕對證據的爭論點。有趣的是，我們在 A2、B2 中發現了許多草履蟲的內孢子，將其從高壓電桶旁移至一般環境後 1~2 天，這些內孢子又萌發為草履蟲。故我們綜合以上這幾點，推論電磁波為不利草履蟲生長之環境。

再從吞食奈米磁鐵的草履蟲方面來看，在一般環境下，體內有無奈米磁鐵，只影響草履蟲移動情形，不影響其生長數量。但如果在不利草履蟲的外加環境影響下，體內有無奈米磁鐵，將使其生長數量有差異。在接下來 a、b、c 三組實驗中，將陸續探討其關係。

### 5. a1、b1、c 在超音波震盪下的生長情形比較

a1 為正常環境下，震盪超音波的草履蟲

b1 為餵食奈米磁鐵後，震盪超音波的草履蟲

c 為吞食一般磁粉 (0.1g)

(皆取第 5 天時的草履蟲來做實驗)

每次震盪皆以 30ml 草履蟲培養液為基準，每一次震盪 3 分鐘。

實驗整理：

下列數據為震盪 5 次後的結果

V	mA	W	a1	b1	c
20	20.0	0.193	活動力不變	活動力不變	活動力不變
40	44.3	0.716	活動力不變	活動力不變	活動力不變
60	98.8	4.14	活動力稍慢	活動力遲緩，部分細胞開始解體	活動力稍慢
80	274.4	18.48	活動力遲緩，部分細胞開始解體	活動力遲緩，部分細胞開始解體	活動力遲緩，部分細胞開始解體
110	455.8	44.7	細胞皆解體	細胞皆解體	細胞皆解體

在 20V 與 40V 的震盪下，a1、b1、c 的草履蟲行為活動皆沒太大改變；但在 60V 下，a1、b1、c 活動力皆減緩，b1 草履蟲已有開始解體的現象；在 80V 下，a1 與 c 草履蟲也開始有部分解體；到了 110V 下，無論是在 a1、b1 或 c 中，幾乎不見存活的草履蟲。

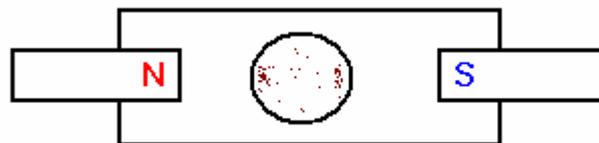
由上結果可以發現，a1 與 c 在超音波震盪下的活動情形並無明顯差異，細胞破裂的速度也不如 b1 來得快。事實上，我們以鐵粉餵養草履蟲時，發現一般鐵粉因為顆粒太大根本無法進入草履蟲體內，在顯微鏡下一般鐵粉所在處，呈現一片黑，透光性遠比奈米磁鐵來得差。而將一般磁粉放入草履蟲培養液中，鐵粉因為密度較重而沉入液底；草履蟲則是生長在較接近表面的培養液上層，而鐵粉停留在液底。故鐵粉與草履蟲的接觸機會少，這也是鐵粉難以進入草履蟲體內的原因之一。因此在接下來的實驗，我們皆採用奈米磁鐵來對草履蟲進行影響。

## 6. 比較 a2、b2 在 N-S 磁場下的移動情形

a2 為正常環境下，置於 N-S 磁場中的草履蟲

b2 為餵食奈米磁鐵後，置於 N-S 磁場中的草履蟲

(皆取第 5 天時的草履蟲來做實驗)



圖（六）磁場裝置波片標本

a2 在 N-S 磁場（外加磁場）下，並沒有特別趨向 N 極或 S 極。當我們嘗試在 N 極放上酵母粉時，原本均勻分布在整個波片的草履蟲即向 N 極靠近；反過來放在 S 極亦如此。b2 在 N-S 磁場（外加磁場）下，則均勻地往 N 極及 S 極聚集。而當我們在 N 極放上酵母粉時，b2 草履蟲仍均勻停留在 N 極及 S 極；反過來放在 S 極亦如此。

本實驗所外加磁場為一強力磁鐵，對奈米磁鐵有極強的吸引力。上述結果說明了奈米磁鐵仍具有完整的 N-S 極；且當讓草履蟲吃下奈米磁鐵時，其行動即受到限制，不能隨心所欲的依自己的習性運動。

## 7. 比較 a3、 b3 在電流裝置下游離情形

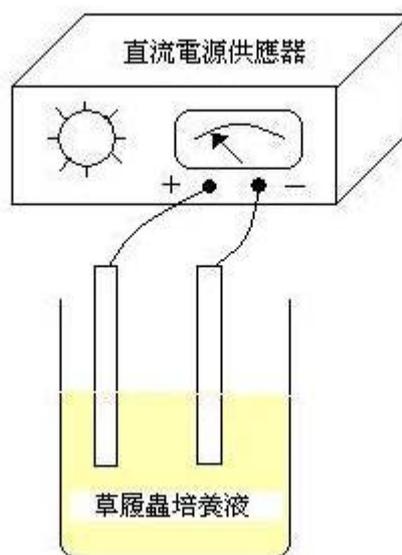
a3 為在正常環境中，在電流裝置下，通以電流的草履蟲

b3 為餵食奈米磁鐵後，在電流裝置下，通以電流的草履蟲

(皆取第 5 天時的草履蟲來做實驗) ； 以每 10 隻草履蟲為一單位

< a3、 b3 比較 >

	游向陽極的數量	游向陰極的數量
a3	0	10(速度較慢)
b3	0	10(速度較快)



圖（七）電流實驗裝置

### 實驗整理：

草履蟲在電極下，天性喜歡向陰極聚集。吞食奈米磁鐵的草履蟲，對電極有較大的反應。

## 捌、研究結果與討論(實驗二)：

以本次實驗所設計的實驗裝置，發現讀不出任何數據，猜想可能是因為草履蟲所帶的電量太小，而裝置所設定的電流範圍的單位遠大於奈米磁鐵的磁生電量。

## 玖、文獻探討：

1.一九七〇年代許多利用候鳥和信鴿等做的實驗顯示牠們都有磁場感應能力的羅盤感，之後在軟體動物、昆蟲、魚類、兩生類、爬蟲類和哺乳動物中也發現磁場感應能力。七〇年代中葉 Richard Blakemore 發現了含磁鐵的細菌後，科學家提出生物生成磁鐵可能被用來感應磁場的假說。隨後台灣清華大學生命科學系的李家維和徐錦源就在 1994 年發現蜜蜂體內的超順磁磁鐵，紐西蘭奧克蘭大學的 Michael Walker 等人在 2000 年利用磁力顯微鏡發現了彩虹鱒魚的磁鐵。

2.之前的研究在彩虹鱒魚身上也發現牠們的鼻子裡也有小磁鐵，也利用三叉神經把訊息傳送至腦中。可是從來沒有人在鴿子的活體中利用顯微鏡看過磁鐵，因為它們實在太小了，只有幾微米。Mora 指出，感應磁場的磁鐵顆粒不需要特別大顆，因為磁場能穿透全身，不需要一個像是眼睛般明顯的受器去感應。德國 Univ. Oldenburg 的神經行為學家 Henrik Mouritsen 指出，雖然過去已有許多實驗試圖制約鳥類以偵測磁場，這是第一個令人信服的實驗。不過他也指出，在該實驗中，磁場的強度是自然界中的好幾倍。

3.當草履蟲擺動全身的纖毛時，自口部開始的身體前方就會扭曲，當纖毛斜著向後收縮時，身體就會跟著迴轉，並同時前進。如果在前進時碰上牆壁或水草等阻礙物，纖毛先反個方向後退，然後再改變方向前進。此外，若是碰到同伴時，也是同樣先後退再換方向前進。由此可知，草履蟲的細胞中沒有神經系統，可是從牠碰到物體會後退再改變方向看來，必然具有與神經系統相似的機能。

### 文獻探討結果：

由以上的文獻讓我們得知：許多生物體內本來就存在著"磁鐵"，但其體內的磁鐵都非常小，無法用肉眼辨識出。這讓我們聯想到草履蟲碰到同伴時，會以後退再換方向前進，那麼其體內是否也含有"磁鐵"？而我們的想法認為，草履蟲體內可能本來就含有磁鐵，當草履蟲碰到同伴時靠著磁場變化來感應對方，磁感應機制取代了高等生物的神經系統。另外像大部分的生物體，應該都含有磁鐵，所以像在人體中才有所謂"磁場"的存在。但我們的生活習性並不需要特別趨向 N - S 極，而是可以依照自主意識行動。至於候鳥、蜜蜂等受地磁影響，則是

受於環境因素的限制及生活的需要；又或者因為草履蟲其本身所含的磁鐵太微量了，遠低於我們在實驗過程中所餵食的量。如此一來就能合理的解釋為何在一般情況下，草履蟲並沒有特別明顯地游向N或S極。此因素可能也是導致科學家無法證實草履蟲體內含有磁鐵。所以我們推論：草履蟲體內可能含有天然的奈米級磁鐵。

## 拾、結論：

無論草履蟲是否吞食奈米磁鐵，皆不影響其在超音波、電磁波(輻射線)、電流下的基本生物特性，但因B組帶有磁性，會加劇其實驗效果。而以草履蟲的生物尺度，要令其帶有磁性，則需運用到奈米級的磁鐵。

電磁波組我們可以由生長曲線及數據圖發現在高壓電的影響下，電磁波產生磁波影響生物體內的磁場，體內存有奈米磁鐵的草履蟲，磁性較強；且又因B2草履蟲運動，在一個極不穩定的磁場下，高壓電放出的磁波對B2草履蟲干擾作用甚強。故較不利B2草履蟲生長。

超音波組無論是a1、b1、c，在約3分鐘後，細胞開始破裂、瓦解。但因b1體內含有奈米磁鐵則會加強其分解、破裂速率。

磁場組實驗則外加一磁場(強力磁鐵)，對奈米磁鐵有極強的吸引力。此實驗說明了奈米磁鐵仍具有完整的N-S極；且當讓草履蟲吃下奈米磁鐵時，其行動即受到限制，不能隨心所欲的依自己的習性運動。

電流組的草履蟲在電極下，天性喜歡向陰極聚集。吞食奈米磁鐵後的草履蟲，游向陰極的速率又更加快速，因此則更能明顯地看出草履蟲有對於陰極較大的反應。

在實驗二中，因裝置與實際的電流範圍不符，所以沒能做出一完整結果。如果能設計出更精密之裝置，將能利用磁生電之原理，設計出一小型發電機，將能達到節省能源之意義。

奈米，是最新科技上，技術與尺度的一大突破。如果能再進一步深入了解，研究奈米磁鐵更廣泛的利用及價值，將有助於對生態學、生理學甚至是生醫技術上的發展。

## 拾壹、實驗分享：

在這次科展實驗裡，從一開始的摸索，到找出方向，訂定題目及實驗過程，我們碰到了許多

問題。由於我們所訂定的題目是有關奈米方面的研究，涉及到許多生物尺度方面的問題。起初，連如何餵食草履蟲吃奈米磁鐵都是一件困難的事，後來我們嘗試將奈米磁鐵拌酵母粉中，解決了這項問題。

### 1.超音波

超音波這一組的變因，更是花費了最多的時間來完成。第一次將震盪時間設定為 24 小時，震盪後，發現草履蟲全數死亡，後來改設定震盪 12 小時，還是全數死亡。經過一次次的實驗、調整，才終於找出理想的震盪時間。本次實驗，起初我們使用的超音波儀器用途在於清洗一般小零件上，故對微生物的殺傷力，破壞力較為嚴重。而在接下來我們改採用另一超音波裝置—外加交流電表，藉著改變電壓大小來控制其震盪強度。因此，使用的儀器種類不同，也會得到不同的數據。

### 2.實驗二

在實驗二組中，原本想設計出一小型發電機，利用磁生電的物理特性，使帶有奈米磁鐵的草履蟲，在游動過程中，通過線圈，產生電力。但因奈米磁鐵的電力實在太小，一般毫安培計根本檢測不出任何電力。之前曾考慮加裝一電流放大計，但這樣卻又喪失原本想設計”小型”發電機之意義。這個實驗未能臻於理想狀態，感到相當可惜，原理要運用在實際上，還是有相當一段差距，將這段經驗寫下，以供未來實驗參考，並提供個人意見，希望能對未來有興趣從事本實驗之同學有幫助，更希望能見到更多同好投入此項研究及討論。

### 3.草履蟲培養

最近由於天氣變化大使得我們培養草履蟲更加不易，所以我們查詢各種培養草履蟲資料，一一試養。最後終於發現先將稻草煮過在進行培養的方法是最佳的。

以下為各種方法之比較

(1)稻草約 50g、池水 800ml(池水為靜置 24 小時後)(添加微量酵母粉)

(2)稻草約 50g、池水 600ml(池水為靜置 24 小時後)、自來水 200ml(添加微量酵母粉)

(3)將稻草(約 300g)加水煮沸，靜置 24hr。取 500ml 稻草培養液、100ml 自來水與 200ml 之池水，在燒杯內培養出草履蟲。(添加微量酵母粉，使草履蟲能大量繁殖)

法 1 和法 2 因稻草未加水煮沸，故無法培養出濃度較高的草履蟲。在此加水煮沸其目的是為了先殺死一些其他微生物使草履蟲能有較大的生存空間。而法 1 和法 2 其差別在於池水濃度的不同。法 1 因池水濃度太高，生物的生存空間太過於狹隘，導致草履蟲無法大量繁殖。綜合法 1 和法 2 的優缺點，我們採用方法 3。方法 3 因事先將稻草煮沸，使其草履蟲因生存空間較大，故草履蟲族群的大小能較法 1 和法 2 來得大。經過一一試養，一次又一次的失敗，實驗出方法 3 能培養出較大量的草履蟲，在此提出和大家分享。

## 拾貳、照片

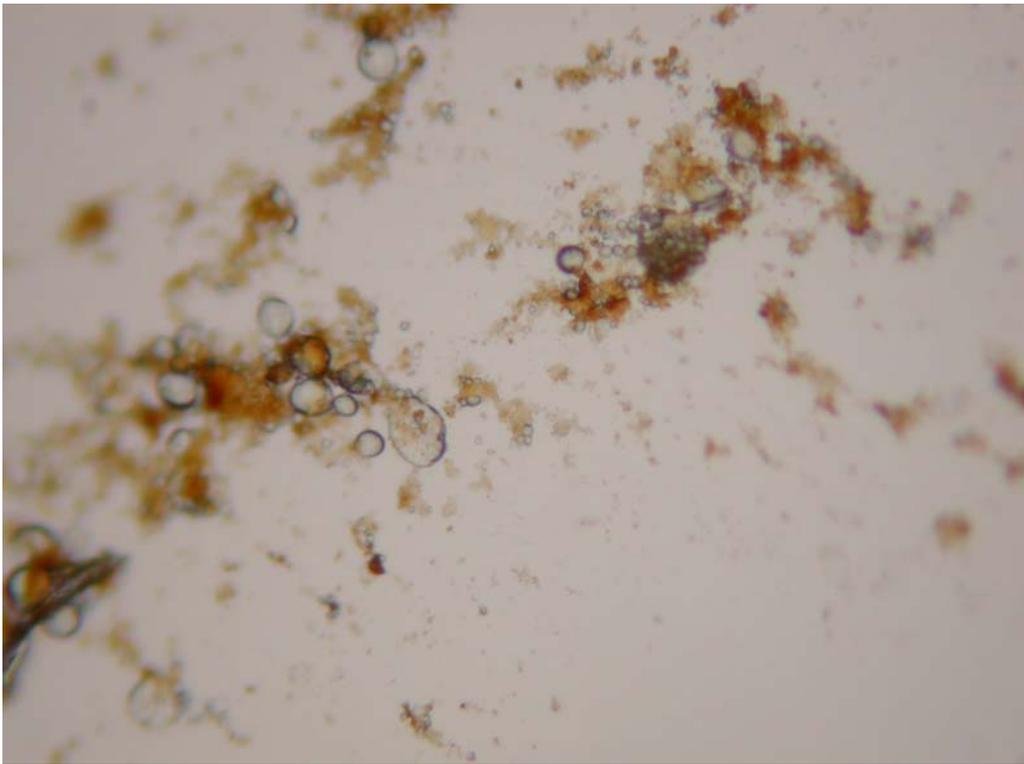
### 1.奈米磁鐵



2. 奈米磁鐵被磁鐵所吸引



3. 光學顯微鏡下的奈米磁鐵



4.光學顯微鏡下被磁鐵(在右方)所吸引的奈米磁鐵



5. 光學顯微鏡下的磁粉



6.A1、B1 培養組



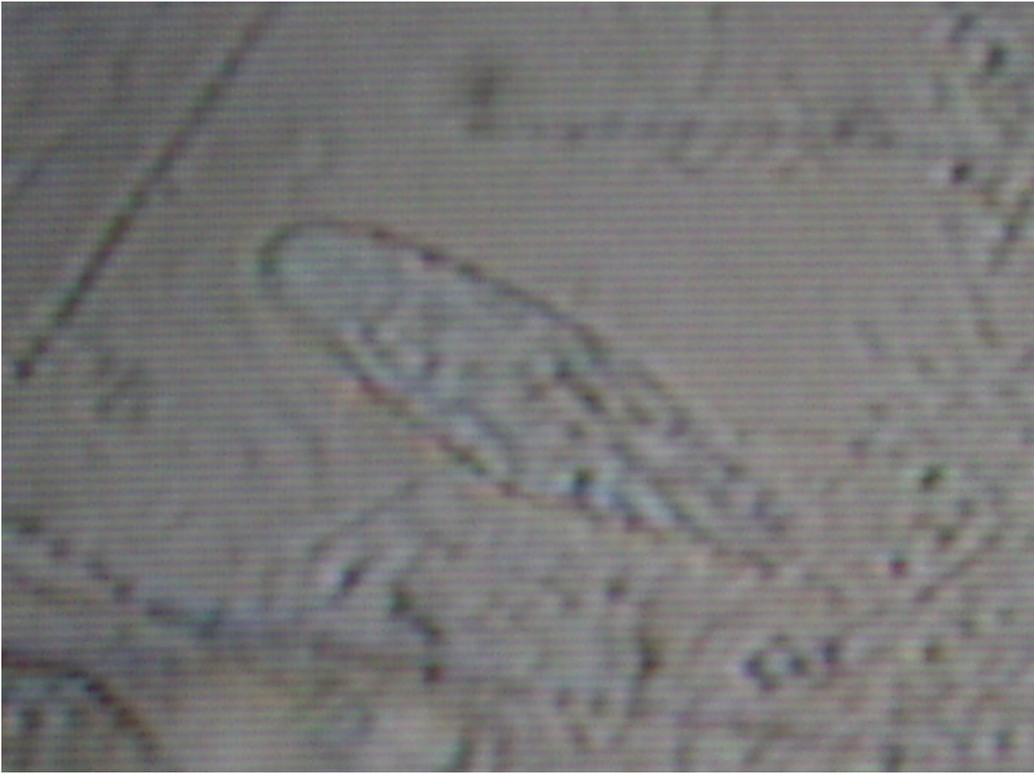
7.A2、B2 培養組



8.放大 100 倍的草履蟲(A1)



9.放大 400 倍的草履蟲(A1)



10.放大 100 倍的草履蟲(B1)



11.放大 400 倍的草履蟲(B1)



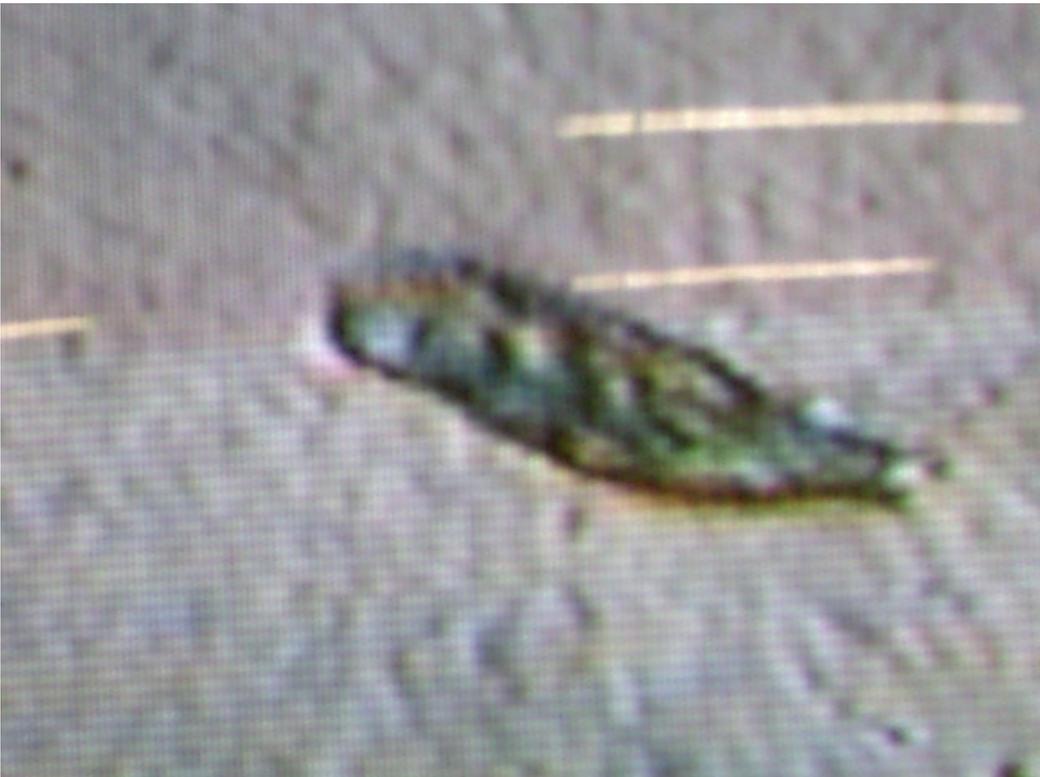
12.放大 100 倍的草履蟲(A2)



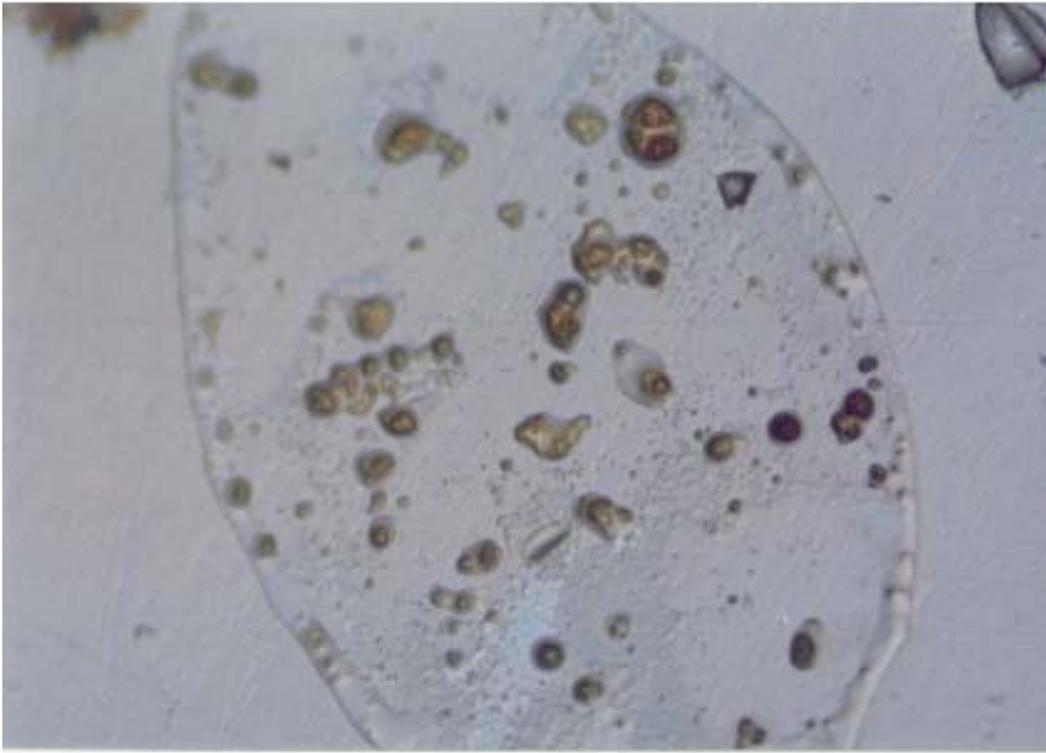
13.放大 100 倍的草履蟲(B2)



14.放大 400 倍的草履蟲



15.奈米磁鐵進入草履蟲體內



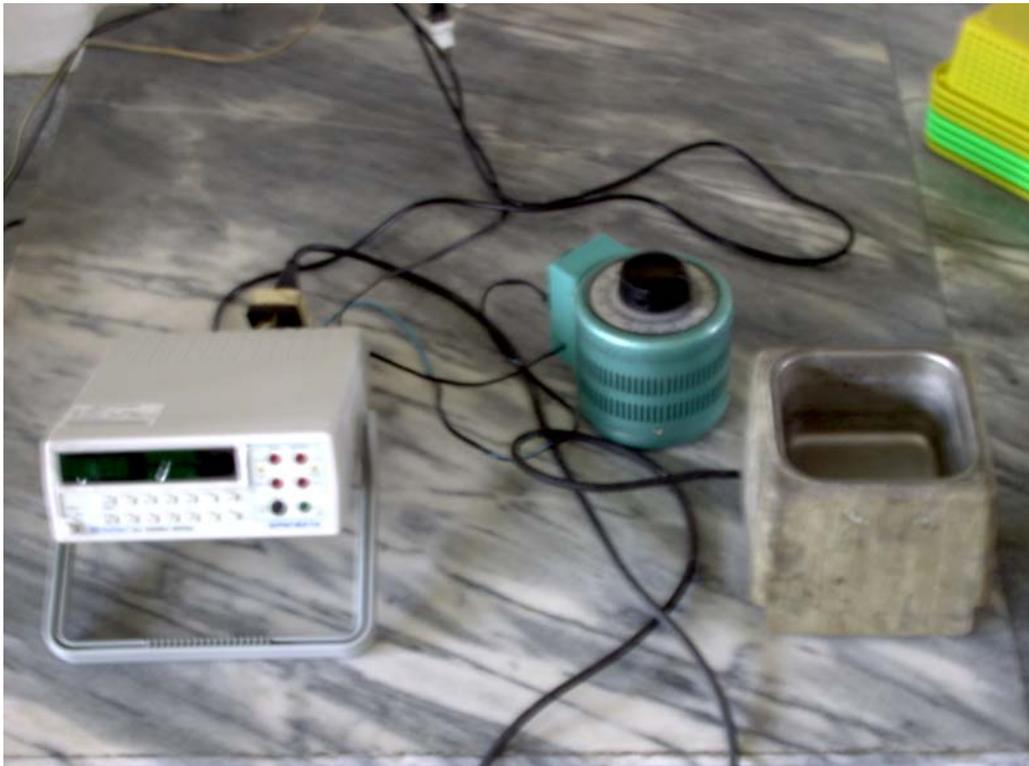
16.磁粉和草履蟲比較



17.高壓電桶(A2、B2 放置地點)



18. 磁場量測系統、交流功率表



19.CCD 設備



20.光學顯微攝影機



## 21.光學顯微照相機



## 拾參、參考文獻：

- 1.奈米科技－基礎、應用與實作 高立圖書有限公司
- 2.如何養草履蟲 <http://www.bio.ncue.edu.tw/~8523032/1/newpage6-2-2.htm>
- 3.草履蟲答客問 <http://www2.ee.ntu.edu.tw/~b87042/param/faq.htm>
- 4.生物：鴿子的羅盤 [http://www.sciscape.org/news\\_detail.php?news\\_id=1676](http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=1676)
- 5.生物：龍蝦的地磁地圖感 [http://www.sciscape.org/news\\_detail.php?news\\_id=941](http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=941)
- 6.草履蟲 <http://163.23.212.3/~8523041/orange/0043.htm>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

高中組 生物(生命科學)科

040702

奈米磁鐵對草履蟲的影響

國立臺南女子高級中學

評語：

1. 奈米研究具有潛力
2. 實驗數據中，表中的數值為平均值，但卻都是整數值。
3.  $V$ 、 $mA$ 、 $W$  所測得的結果，並不符合物理學公式  $V=IR$ ， $P=IV$
4. 若能朝「磁生電」方向努力，則更具應用性。