

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 動物與醫學科

052004

關於史萊姆那檔事-黏菌爬行的相關研究

學校名稱：南山學校財團法人新北市南山高級中學

作者： 高二 吳長祐 高二 劉鎮瑋	指導老師： 鄭雅鈺
-------------------------	--------------

關鍵詞：黏菌、磁力、角度

摘要

本實驗探討黏菌飼養底材及不同條件對黏菌爬行方向選擇之影響。一、飼養底材：使用濾紙養殖，易控制水分含量，養殖效益較佳。二、葡萄糖濃度：在 0.5M/1M/2M 葡萄糖濃度中，黏菌較偏好往 2M 濃度的方向移動。三、食物偏好：麥片能吸引黏菌，蛋白塊和奶油則無吸引力。四、角度：隨著角度增加，黏菌爬行速度會下降，但在垂直面爬行速度仍有約水平面爬行速度之四成。五、磁力：當磁性（N 上 S 下）：不論磁鐵在盒內/外，黏菌皆有正趨性，磁性（N 下 S 上）：則無此現象。六、金屬：一元硬幣、十元硬幣和鐵粉：這 3 種物質皆會使黏菌有正趨性的移動，尤其是鐵粉組。據本實驗結果及參考許多文獻後，我們推測黏菌或許也存在類似磁鐵礦顆粒或磁小體等物質。

壹、前言

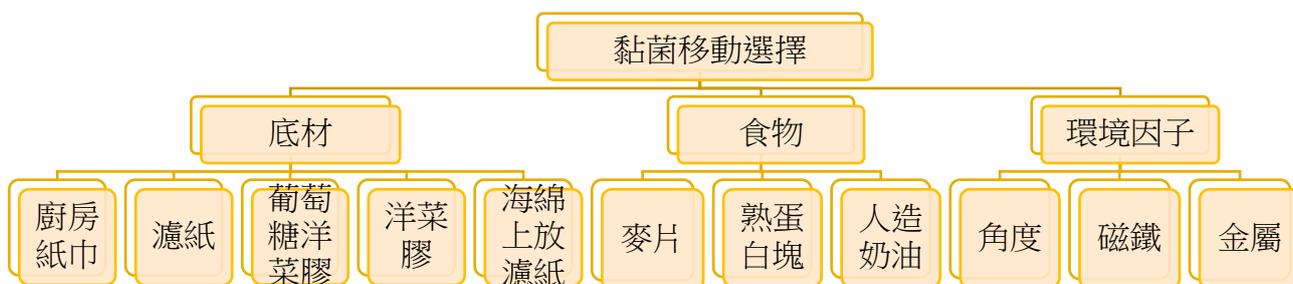
在社群媒體上看到某屆諾貝爾搞笑獎¹的內容，是有關於「黏菌迷宮」的實驗。研究團隊在小型的東京鐵路網圖中標示出各個站點，依點放上麥片後加入黏菌、等待爬行結果。經過二十六小時，團隊發現：排除地形上的困難，黏菌爬行的路徑和鐵路路線具高度相似性。另一文獻²提到，黏菌會找到連接食物的最短路徑！如此看來，黏菌是個有「學習力」「思考力」與「記憶力」的聰明生物，對於這簡單又聰明的生物，我們很好奇黏菌是如何決定移動方向。因此我們設計了一些實驗來探討影響黏菌爬行的相關因素。

我們閱讀關於黏菌採集方法³與黏菌分佈的相關論文⁹後，便在台北近郊進行採集。將採回來的樹皮進行培養。不知是否因為乾季（10 月），採得的樹皮皆無法獲得（長出）黏菌。經過討論之後，我們決定先上網購買，再進行黏菌的增殖培養。我們所購得的黏菌品種是多頭絨泡菌¹²，學名 *Physarum polycephalum*，屬於原生生物界，細胞壁為幾丁質組成，喜歡生長在陰暗潮濕的地方。黏菌的生長期可以分為兩部分¹³，一是營養期，二是繁殖期，營養期時細胞壁會消失，為單細胞型態，像變形蟲般移動四處尋找食物。飢餓或乾燥時，黏菌會分化成具有細胞壁的休眠孢子。當浸泡到水中時，會再分化成有鞭毛的游動孢子。

首先，我們需要將黏菌增殖，底材採用的是一般資料所說的洋菜膠培養基³，再餵以麥片飼養。在長時間的飼養下，潮濕的底材加上營養的麥片，底材開始發霉了。資料上說黏菌會吃細菌和黏菌，原以為黏菌會將黴菌吃掉，結果是黴菌生長速度非常快，搶奪了黏菌的生長

空間，所以我們開始尋找其他底材，找尋更適合我們的飼養方式。黏菌的移動選擇可能受到許多因素影響，例如：食物和環境。

在食物方面，根據查詢到的資料，我們探討黏菌對不同的葡萄糖濃度⁴、蛋白質及脂質⁵等養分會如何選擇。在環境因子方面，我們依據資料改變爬行角度⁶、在食物旁放置磁鐵和金屬⁸來探討其對黏菌爬行的影響。



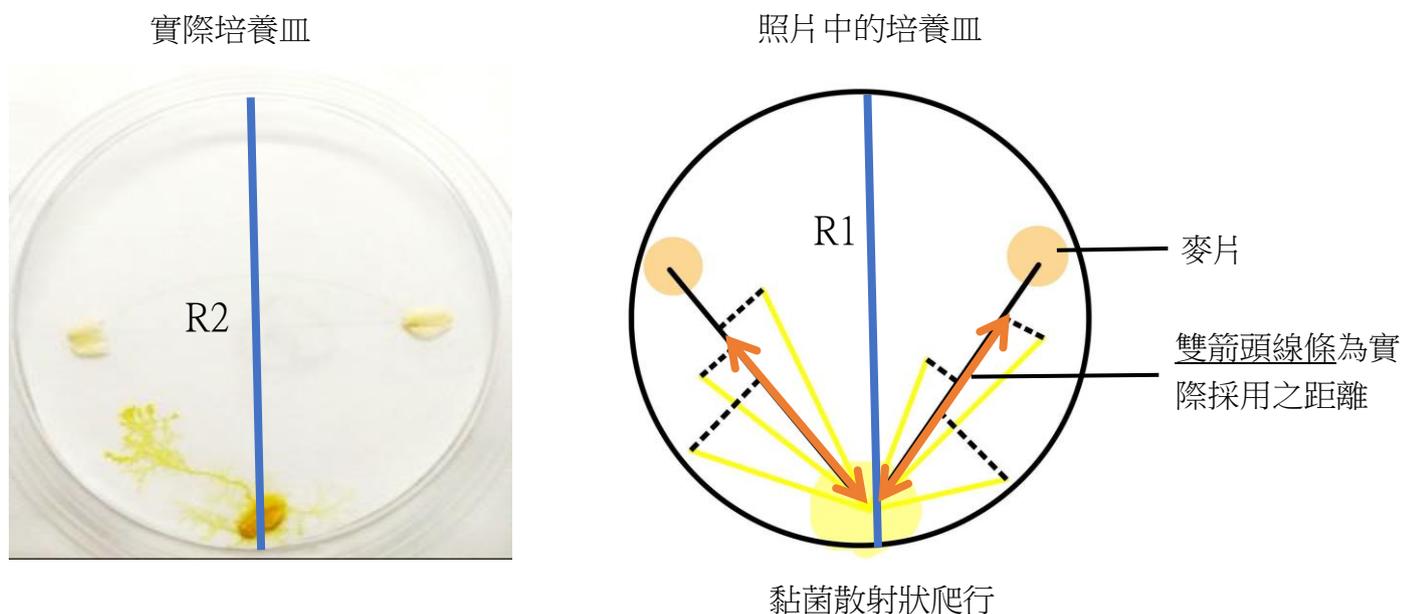
我們以黏菌爬行長度，做為判斷黏菌的選擇：

◆ 爬行長度的測量方法：

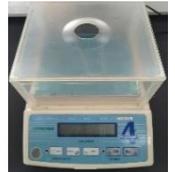
1. 測量培養皿在照片中的直徑(R1)與實際培養皿的直徑(R2)，計算出兩者縮放比例(R2/R1)
2. 分別測量照片中黏菌往兩邊麥片爬行的直線距離。(如果黏菌呈散射狀爬行，則取爬行路線投影到〔麥片-黏菌)直線上的垂直投影(紅色雙箭頭線條))。
3. 將上述紅色雙箭頭線條長度 x 步驟 1 的比例 (R2 / R1)，即可得採用的距離數據

$$\text{公式：採用的距離數據} = \text{黏菌往麥片爬行的直線（投影）距離} \times R2 / R1$$

示意圖：



貳、研究設備及器材

					
黏菌	濾紙	培養皿	加熱板	電子秤	葡萄糖
					
熟蛋白塊	奶油	麥片	洋菜粉	強力磁鐵	鐵粉

燒杯、滴管、刮勺、一元銅板、十元銅板

參、研究過程及方法

實驗一：黏菌試養

說明：以查詢到的洋菜培養基養殖法，進行黏菌試養

步驟：

1. 將99.2g的水及0.8g的洋菜粉置於燒杯中加熱

2. 煮到水沸騰，將溶液分別倒進培養皿中

3. 靜置等待凝固

6. 過1天觀察黏菌的爬行情形

5. 將黏菌放置在培養皿中間

4. 將麥片放置培養皿兩端

實驗二：尋找底材

說明：黏菌一般是以洋菜培養基飼養，經試養後發現，可能因為我們長時間的飼養(餵食麥片)，加上培養基水分含量高，容易發霉。又經查詢後，有討論提及可以以濾紙加水飼養，所以我們開始測試不同的底材飼養，包括：廚房紙巾、濾紙、海綿上放濾紙、洋菜膠及葡萄糖洋菜膠等，觀察其生長狀況。

步驟：

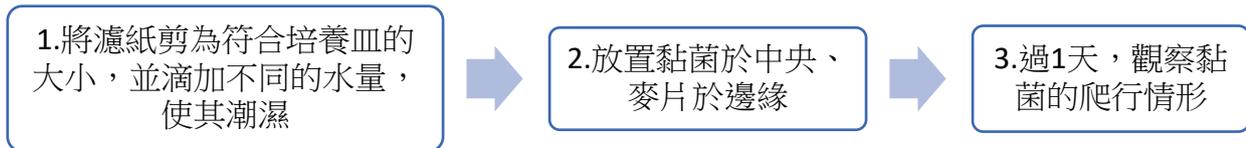
廚房紙巾：

1. 將廚房紙巾剪為符合培養皿的大小，並滴加適量的水使其變潮濕

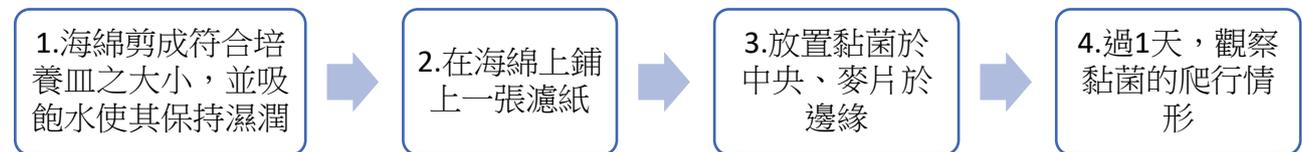
2. 放置黏菌於中央、麥片於邊緣

3. 過1天，觀察黏菌的爬行情形

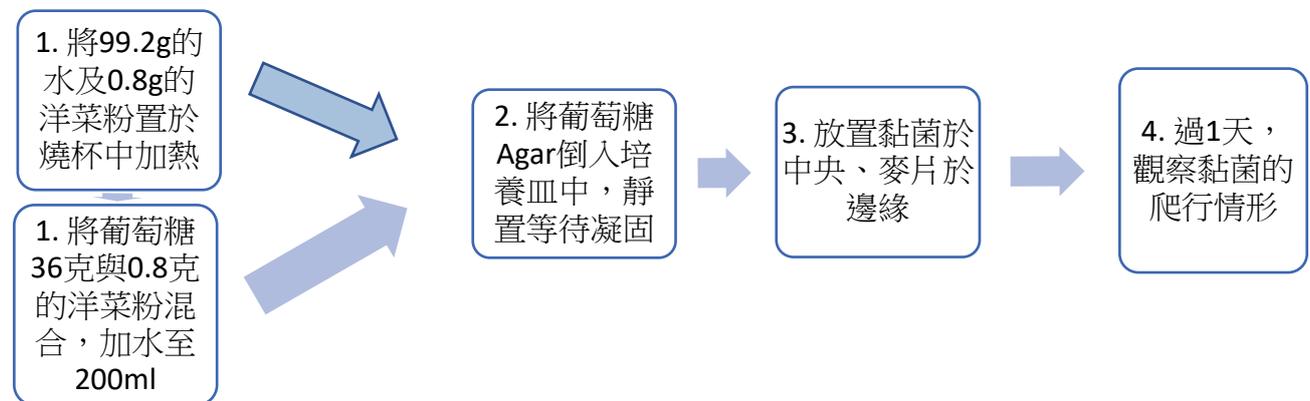
濾紙：



海綿上放濾紙：



洋菜膠、葡萄糖洋菜膠：



實驗三：葡萄糖濃度偏好

說明：在文獻³中看到黏菌爬行過的洋菜膠，以本氏液檢測出還原糖。因此我們進行驗證：先讓黏菌在洋菜膠上爬行約一天的時間，將爬行過的洋菜膠剪碎，加入本氏液，進行加熱。另外，取沒有黏菌爬行過、原來的洋菜膠來分析，作為對照組。

實驗結果：原來的洋菜膠+本氏液（右管），不變色（淡藍色）。爬行過的洋菜膠+本氏液（左管），產生橘紅色。推測黏菌會分解利用洋菜中的醣類。



實驗組：黏菌爬過的洋菜膠（左管）

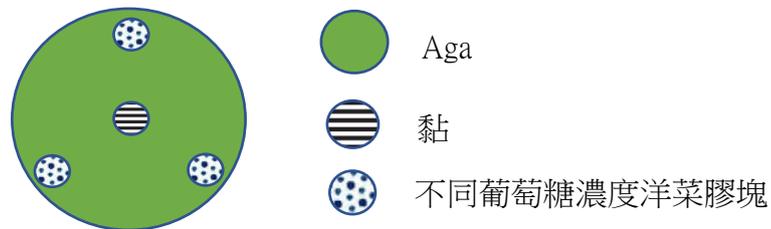
對照組：黏菌未爬過的洋菜膠（右管）

說明：若黏菌會分解利用洋菜膠醣類。我們好奇黏菌對不同濃度葡萄糖，會作何選擇呢？

步驟：葡萄糖的體積莫耳濃度：分別為 2M、1M、0.5M

洋菜粉	水	葡萄糖	總體積	葡萄糖體積莫耳濃度
0.8g	99.2g	72g	200ml	2M
0.8g	99.2g	36g	200ml	1M
0.8g	99.2g	18g	200ml	0.5M

1. 製備洋菜膠培養基（Agar）底材三組，備用。
2. 分別將葡萄糖 72g、36g、18g 與 0.8g 的洋菜粉混合，再加入水，總體積達 200ml。
3. 將三種不同葡萄糖濃度溶液分別加熱至完全溶解、靜置待其冷卻、凝固。
4. 在步驟 1.的三個培養基邊緣分別挖三個洞（如下圖所示）。
5. 自步驟 3 的不同濃度洋菜膠挖取與上述挖洞相同的體積大小，每個培養皿皆放入不同葡萄糖濃度的洋菜膠塊（葡萄糖 Agar 2M、1M、0.5M）裝進洞中。
6. 將黏菌置於中央，24hr 後觀察黏菌的爬行情形，測量爬行距離。每組重複實驗六次。

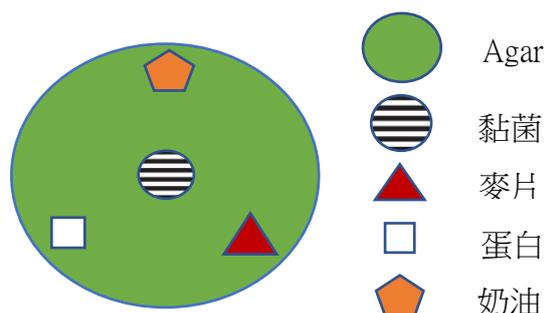


實驗裝置圖：

實驗四、食物偏好實驗

說明：一般飼養方法都建議以麥片餵養黏菌，我們好奇黏菌對於其他養分（蛋白質和脂質）是否也會喜好趨向及分解利用，因此以麥片、熟蛋白塊和奶油塊來觀察黏菌的選擇。選用熟的蛋白是因為固態較好使用，且蛋白和奶油是生活中容易取得的食物。

- 步驟：**
1. 將濾紙剪成適合培養皿的大小，並注入 0.55ml 的水
 2. 將黏菌放在培養皿正中央
 3. 再別將麥片、熟蛋白塊、奶油與黏菌等距離的放在培養皿邊緣。
 4. 每 6 小時記錄一次(拍照)，測量爬行距離。每組重複實驗六次。



實驗裝置圖：

實驗五：角度實驗

說明：依據文獻知道黏菌爬行靠原生質和偽足來移動，因此進行角度對黏菌爬行速率的探討

步驟：1.架設斜度調整裝置 0、30、60、90 度

2.濾紙依培養皿底部大小裁圓、放置培養皿底部，加入 0.55ml 水。

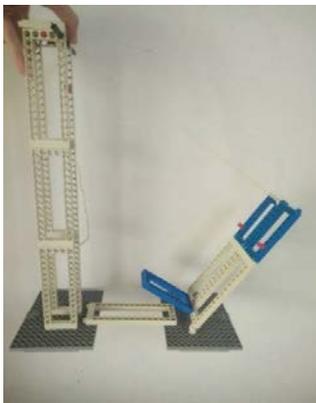
3.將麥片置於上述之培養皿中央。

4.置入黏菌在培養皿邊緣（有角度時在底部邊緣）。

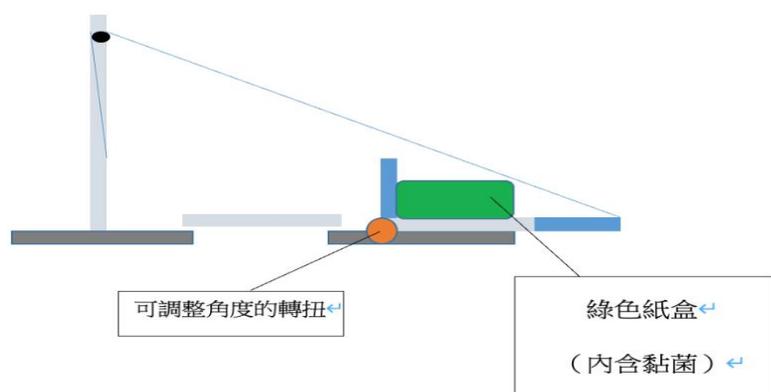
5.將培養皿放置在紙盒中，再將紙盒放上可調角度的實驗裝置上。

6.每 1 小時記錄一次（拍照）測量爬行距離，連續紀錄 12hr。

7.不同角度實驗組重複實驗 10 次。

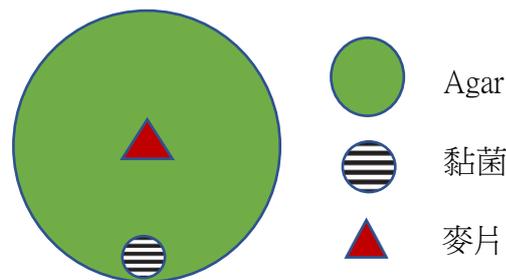


角度裝置之_實際圖



角度裝置之_示意圖

實驗裝置圖_培養皿：



實驗六：磁力實驗

說明：磁力實驗分為 A、B 兩組：

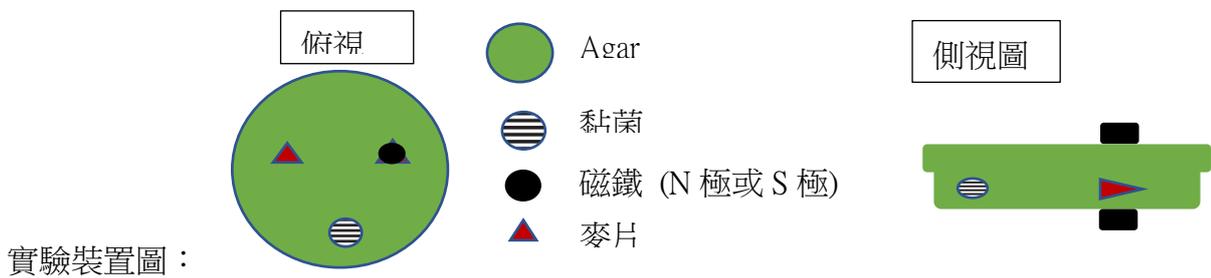
➤ A 組為磁鐵_外部組：是將 2 個磁鐵分別放在培養皿上下盒殼外。本組再分為兩組：N 極在上與 N 極在下。

➤ B 組為磁鐵_內部組：是將上方磁鐵放於培養皿內部（N 極），下方磁鐵放於培養皿底殼外（S 極）。

觀察磁性方向不同，對黏菌爬行選擇是否造成差異。

實驗六-A 磁鐵_外部組- 1 (N上 S下) 、 實驗六-A 磁鐵_外部組- 2 (N下 S上)

- 步驟：** 1.將濾紙依培養皿底部大小裁圓，放置培養皿底部，加入 0.55ml 水以保持固定濕度。
- 2.將黏菌放在培養皿邊緣，分別於黏菌左上方和右上方、距離黏菌 5 公分處放置麥片
- 3.取 2 個磁鐵 (N上 S下 或 N下 S上) 分別放置在右側麥片位置的培養皿盒外的上方和下方。
- 4.每 6 小時記錄一次(拍照)，測量爬行距離。每組重複實驗。
- 5.數據分析：每 6 小時記錄 (拍照) 一次，分析黏菌移動長度。當黏菌到達某一方，即結束觀察。判斷黏菌最後爬行結果。



實驗六-B 磁鐵_內部組 (N上 S下)

- 步驟：** 1.將濾紙依培養皿底部大小裁圓，放置培養皿底部，加入 0.55ml 水以保持固定濕度。
- 2.將黏菌放在培養皿邊緣，分別於黏菌左上方和右上方、距離黏菌 5 公分處放置麥片
- 3.取 2 個磁鐵 (N上 S下) 上方磁鐵 (N 極) 放置在左側麥片後方，下方磁鐵 (S 極) 放置在培養皿底盒外。
- 4.每 6 小時記錄一次(拍照)，測量爬行距離。每組重複實驗。
- 5.數據分析：每 6 小時記錄 (拍照) 一次，分析黏菌移動長度。當黏菌到達某一方，即結束觀察。判斷黏菌最後爬行結果。



實驗七：金屬實驗（金屬置於培養皿內）

分為三組實驗：一元硬幣組（3.8g，銅：92%、鎳：6%、鋁：2%）、

十元硬幣組（7.5g，銅：75%、鎳：25%）及 鐵粉組

步驟：1.將濾紙依培養皿底部大小裁圓，放置培養皿底部，加入 0.55ml 的水以保持溼度。

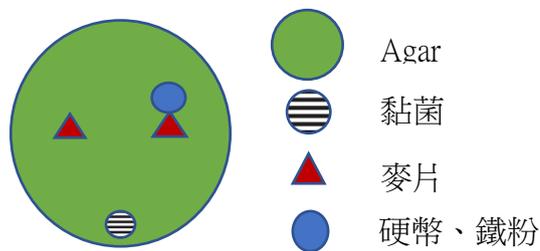
2.將黏菌放置在培養皿邊緣，分別於黏菌左上方和右上方，距離黏菌 4 公分放置麥片。

3.在右邊麥片旁放置硬幣或鐵粉。

4.每 6 小時記錄一次（拍照），測量爬行距離。每組重複實驗。

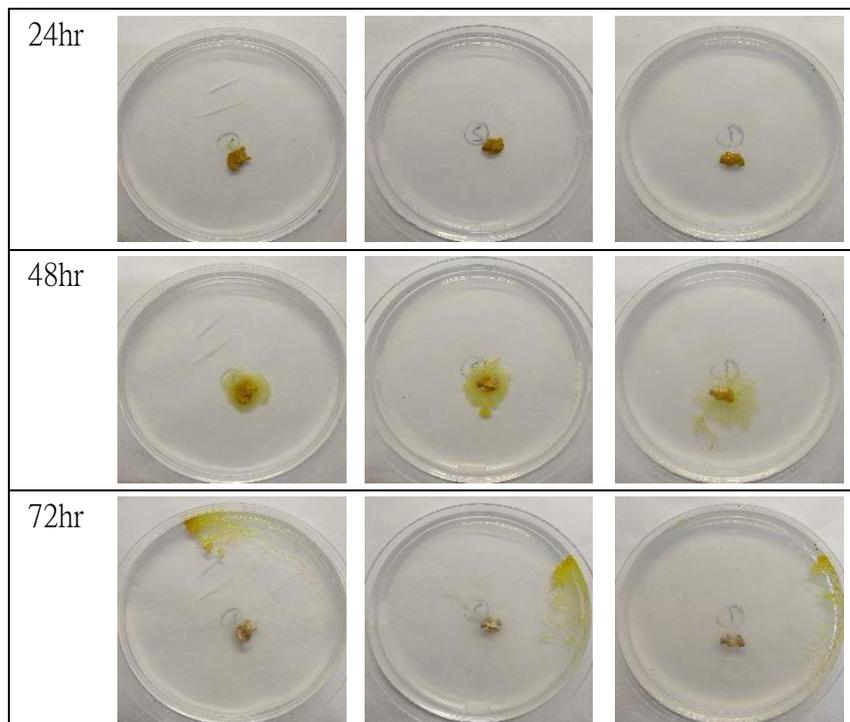
5.數據分析：每 6 小時記錄（拍照）一次，分析黏菌移動長度。當黏菌到達某一方，即結束觀察。判斷黏菌最後爬行結果。

實驗裝置圖：



肆、研究結果

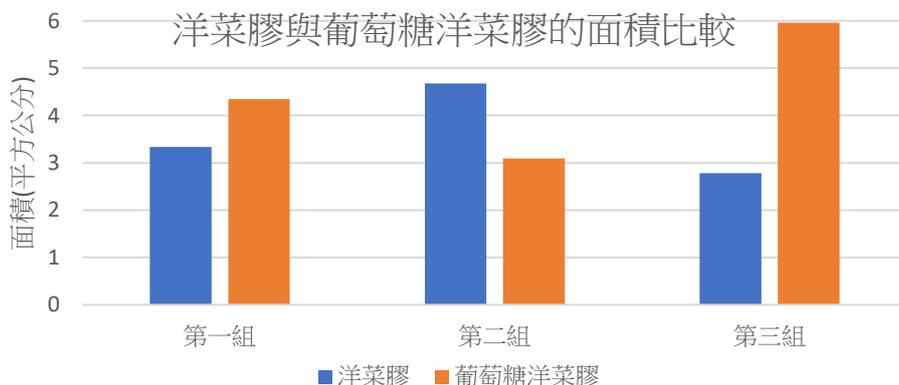
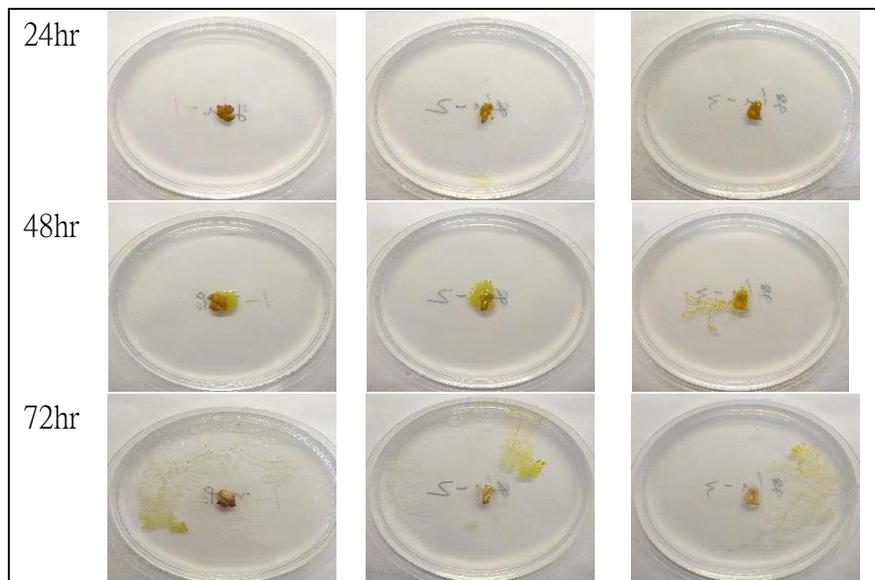
實驗一：黏菌試養



結果：可發現黏菌都有成功存活下來，並開始四處爬行尋找食物，但後期因為 Agar 太過於潮濕，使得黴菌佔據了黏菌的生長空間。

實驗二：尋找底材(葡萄糖洋菜膠組)

1. 廚房紙巾：表面較凹凸不平，飼養黏菌後，不易測量黏菌分布面積與長度，也不易取下黏菌（移殖）。
2. 海綿上放濾紙：水分被吸附在海綿中，濾紙無法保濕。
3. 濾紙：水分含量容易控制，水分較洋菜膠培養基少，較不會有長黴菌的問題。使用濾紙添加的水量需適當，經多次測試後發現，取 1 張新的濾紙，加入 0.55ml 的水最適當，會恰好讓濾紙完全潮濕。但需要定期加水以保持溼度。
4. 洋菜膠與葡萄糖洋菜膠：兩者培養基都可成功養殖黏菌，黏菌在葡萄糖洋菜膠中生長更好，但都有黴菌容易滋生的問題，因此之後的實驗我們決定以濾紙來飼養，較容易控制水分的含量。



結果：由黏菌分布面積可看出，黏菌在葡萄糖洋菜膠中生長較好。

實驗三：葡萄糖濃度偏好

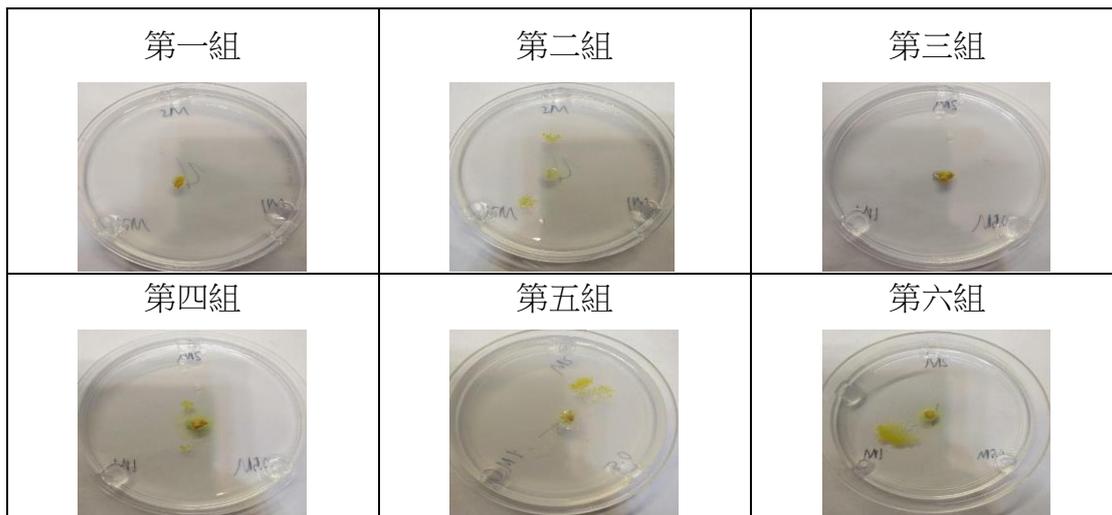
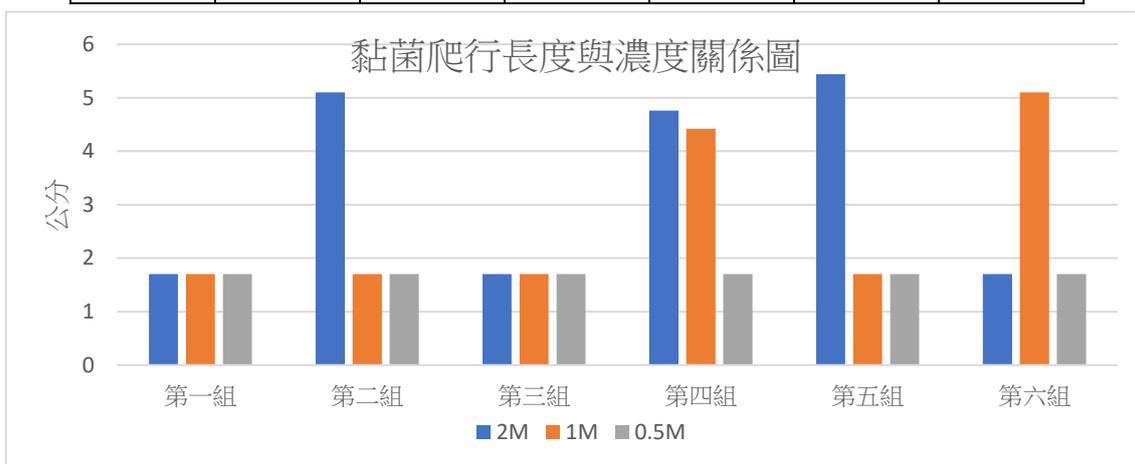


表 黏菌往不同葡萄糖濃度洋菜膠爬行的黏菌長度(cm)

	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
2M	1.7	5.1	1.7	4.76	5.44	1.7
1M	1.7	1.7	1.7	4.42	1.7	5.1
0.5M	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7



結果：發現黏菌在此 3 種濃度下，較偏好爬向高濃度的地方(2M > 1M > 0.5M)

實驗四：食物偏好實驗

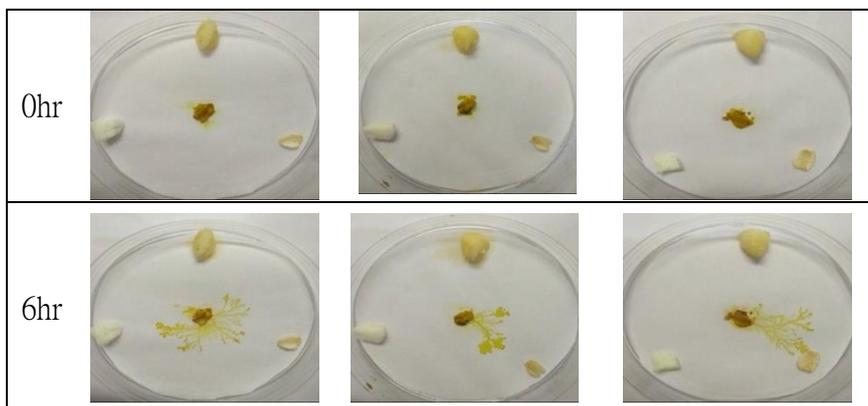
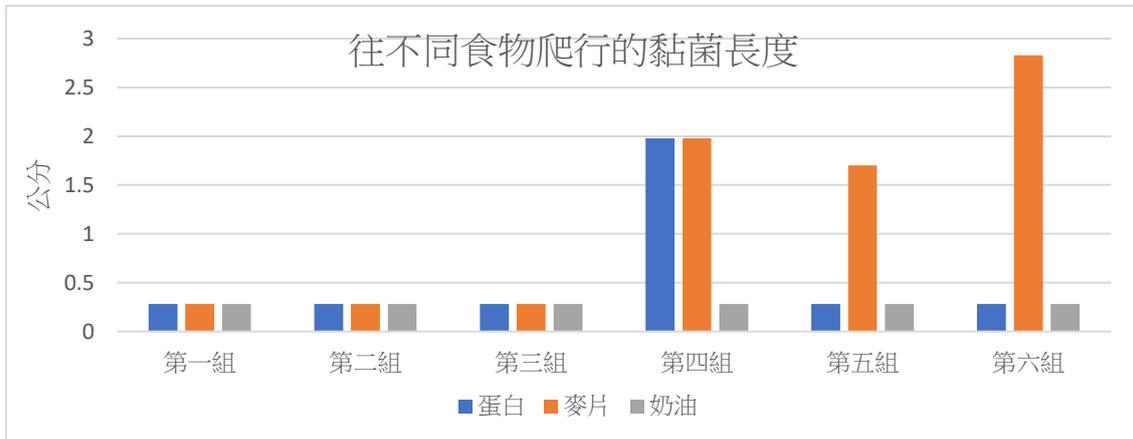


表 黏菌往不同食物爬行的長度(cm)

黏菌長度 cm	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
蛋白	0.28	0.28	0.28	1.98	0.28	0.28
麥片	0.28	0.28	0.28	1.98	1.7	2.83
奶油	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28



結果：一開始黏菌會有分散移動的情況，第六組已達麥片，其餘組未到達。

實驗五：角度實驗

0 度組：表 黏菌爬行的長度(cm)

組 小時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1hr	0	0.98	0.01	0.56	0.4	0.56	0	0.88	0.34	1.55
2hr	1.25	1.86	0.02	0.56	0.1	1.25	0	0.99	0.54	2.69
3hr	1.97	1.87	0.06	0.52	0.5	2.55	1.35	1.02	0.65	3.56
4hr	2.92	2.65	0.05	0.53	2.94	2.99	1.56	1.35	0.76	4
5hr	3.54	3.69	0.04	0.54	3.79	3.45	1.55	1.49	0.78	4
6hr	4	4	0.09	0.6	4	3.64	1.44	1.89	0.79	4
7hr	4	4	0.25	0.75	4	4	1.78	2.67	0.74	4
8hr	4	4	0.22	2.56	4	4	1.59	3.37	0.75	4
9hr	4	4	0.22	3.01	4	4	1.55	4	0.55	4
10hr	4	4	0.26	3	4	4	1.78	4	0.55	4
11hr	4	4	0.12	2.99	4	4	1.99	4	0.49	4
12hr	4	4	0.1	2.98	4	4	2.1	4	0.32	4

結果：4hr 後有黏菌到達麥片，12hr 後共有 6 組黏菌到達麥片。

30 度組:

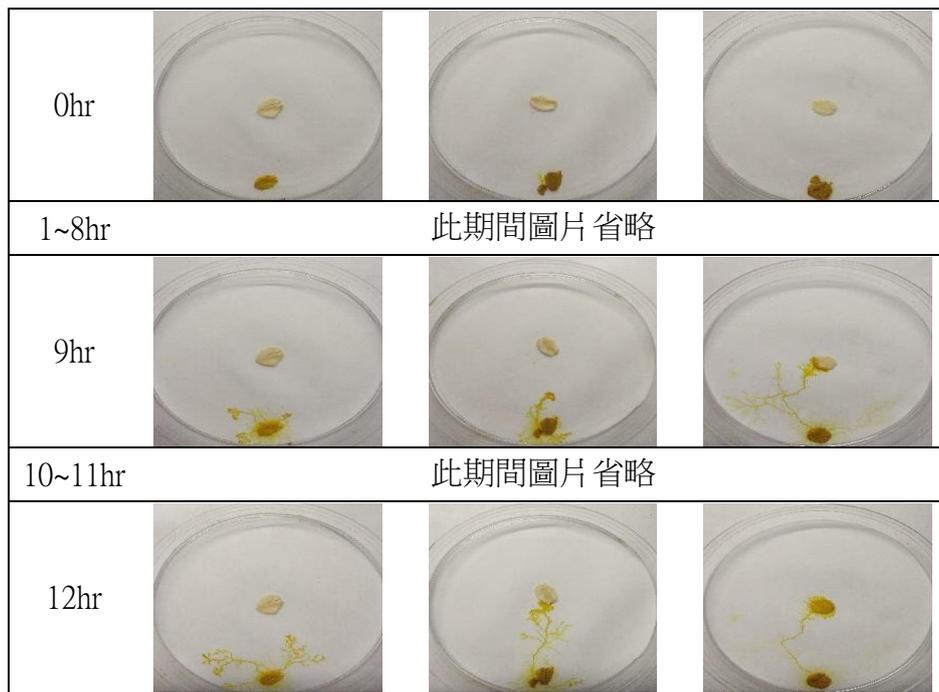
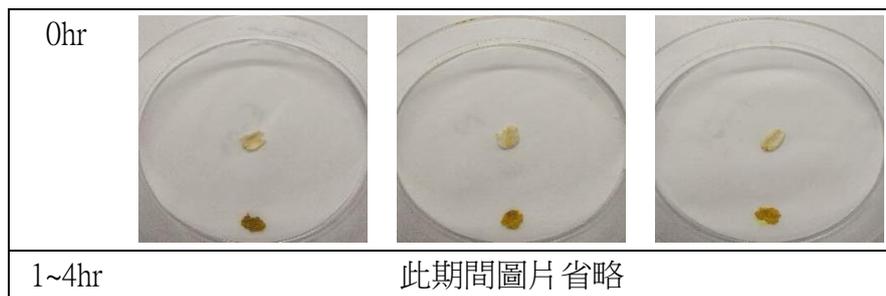


表 黏菌爬行的長度(cm)

小時 \ 組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1hr	0.23	0.09	0.88	0.78	0.56	0.88	0	1.87	0.35	0.67
2hr	0.45	0.56	1.44	0.98	0.79	0.99	0.01	1.98	0.49	0.98
3hr	0.91	0.68	1.56	1.65	0.95	1.57	0	2.43	0.58	1.35
4hr	1.25	0.69	1.84	1.78	0.95	1.97	0	2.83	0.49	1.67
5hr	1.99	0.76	1.98	1.79	0.94	2.43	0	3.67	0.47	1.79
6hr	2.55	0.75	2.35	1.98	0.98	2.94	0	4	0.46	1.99
7hr	2.67	0.58	2.68	2.32	0.98	3.34	0	4	0.49	2.34
8hr	2.88	0.68	2.99	2.67	0.97	4	0	4	0.43	2.69
9hr	2.94	0.88	3.11	2.88	0.98	4	0	4	0.39	2.99
10hr	3.1	1.54	3.64	2.97	0.98	4	0	4	0.39	3.34
11hr	3.23	1.67	4	2.99	0.98	4	0	4	0.41	3.56
12hr	3.25	1.98	4	2.99	0.86	4	0	4	0.39	3.89

結果：4hr 後有黏菌到達麥片，12hr 後共有 3 組黏菌到達麥片。

60 度組:



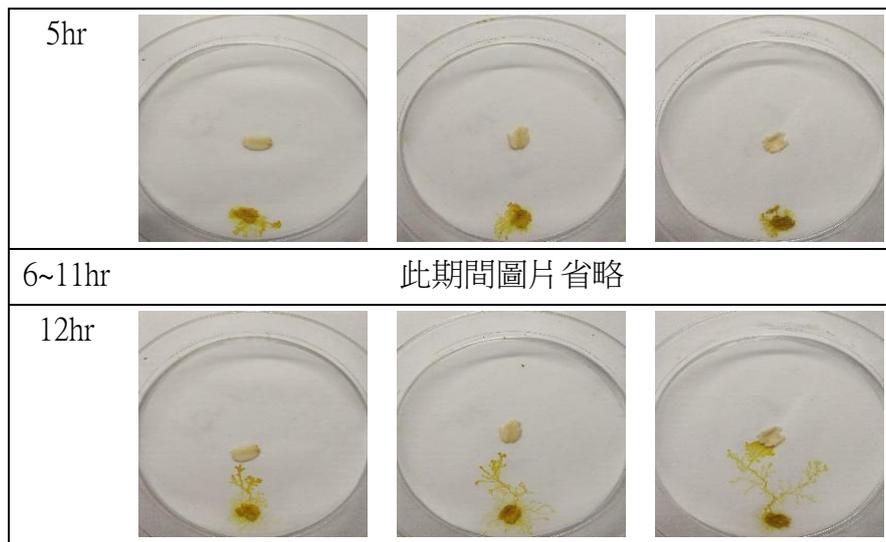
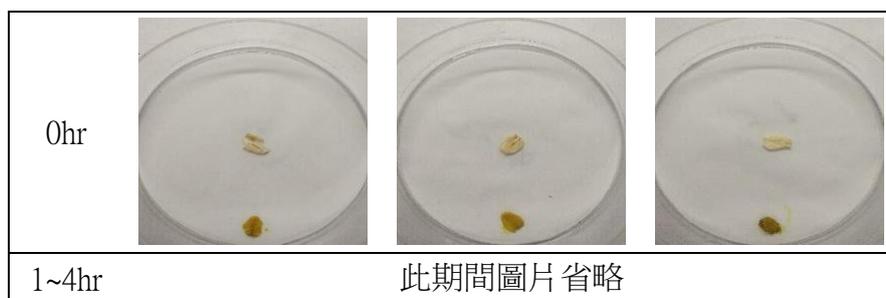


表 黏菌爬行的長度(cm)

組 小時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1hr	0	0.23	0.55	0.05	0.54	0.25	0.25	0.01	0	0.94
2hr	0	0.26	0.68	0.06	0.95	0.36	0.98	0.35	0	0.25
3hr	0	0.35	0.86	0	1.22	0.46	1.59	0.67	0.21	0.25
4hr	0	0.54	0.99	0	1.54	0.67	2.68	1.01	0.11	0.69
5hr	0	0.55	1.32	0	1.81	64	3	1.35	0	1.23
6hr	0	0.67	1.52	0	2.01	0.98	3.54	1.68	0	1.45
7hr	0	0.43	1.7	0	2.2	1.59	3.98	1.79	0	1.87
8hr	0	0.36	1.88	0	2.65	1.86	4	1.81	0	2.31
9hr	0	0.24	1.98	0.24	2.97	2.55	4	2.61	0	2.68
10hr	0	0.25	2.33	0.21	3.31	3.01	4	3.03	0	3.22
11hr	0	0.25	2.54	0	3.21	3.35	4	3.54	0	3.67
12hr	0	0.36	2.96	0	3.01	3.94	4	3.88	0	3.8

結果：8hr 後，有一組黏菌到達麥片，截至 12hr 後仍只有該組到達麥片。（另一組幾乎到達 (3.94cm)）。

90 度組:



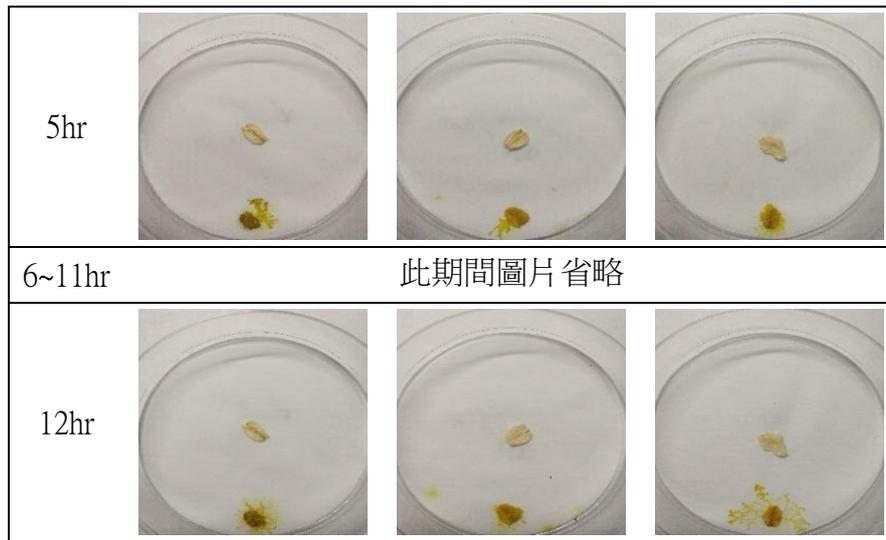
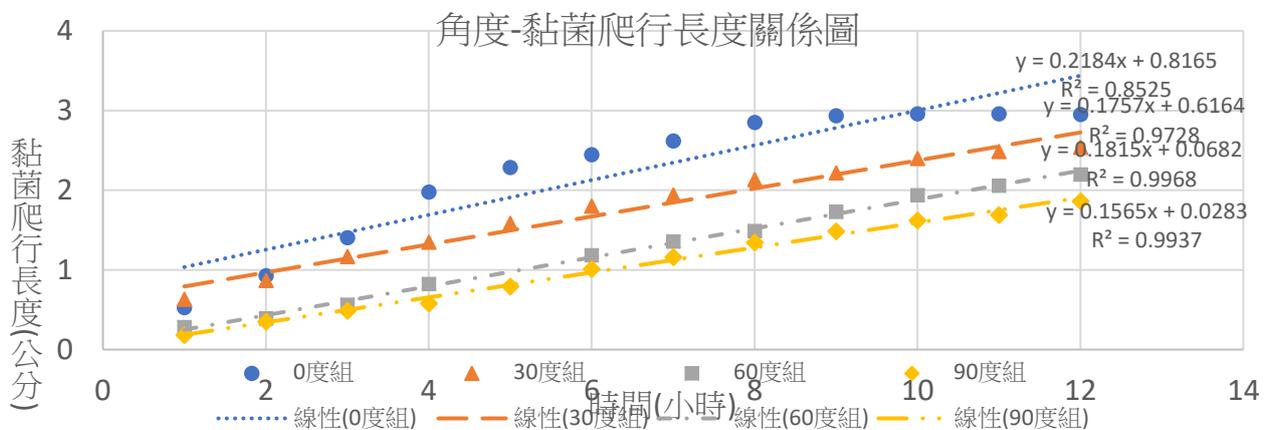


表 黏菌爬行的長度(cm)

組 小時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1hr	0	0.25	0	0.12	0.36	0.09	0.25	0.11	0.35	0.28
2hr	0.21	0.36	0.1	0.15	0.69	0.21	0.5	0.26	0.68	0.34
3hr	0.35	0.45	0.01	0.23	0.86	0.34	0.68	0.42	0.94	0.59
4hr	0.35	0.54	0	0.27	1.23	0.41	0.57	0.54	1	0.88
5hr	0.45	0.62	0	0.36	1.99	0.49	0.69	0.76	1.35	1.2
6hr	0.56	0.69	0	0.42	2.56	0.53	0.77	0.98	1.9	1.68
7hr	0.59	0.77	0	0.46	2.57	0.72	0.52	1.19	2.8	1.96
8hr	0.68	0.88	0.2	0.5	2.91	0.65	0.3	1.35	3.45	2.52
9hr	0.78	0.99	0.1	0.51	3.21	0.63	0.25	1.56	3.9	2.89
10hr	0.86	1.12	0.03	0.54	3.41	0.89	0.27	1.79	4	3.31
11hr	0.91	1.34	0	0.32	3.51	0.99	0.25	1.9	4	3.65
12hr	0.99	2.43	0	0.2	3.6	1.04	0.21	2.13	4	4

結果：10hr 後有黏菌到達麥片，12hr 後共有 2 組黏菌到達麥片。



結果：角度越大，黏菌爬行長度越短。黏菌在 90 度斜面的爬行長度仍有大約水平面爬行長度的 2/5。

實驗六：磁力實驗

實驗六-A 磁鐵_外部組-1 (N上S下) (右側擺放磁鐵) (磁鐵可吸附 26.6g 的重物)：

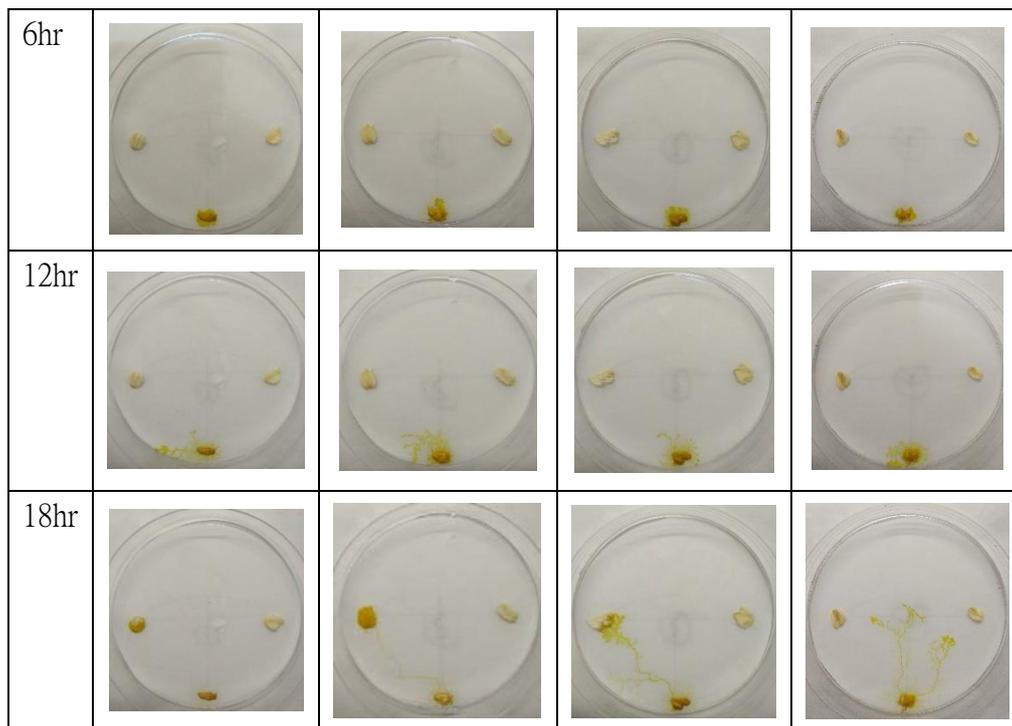
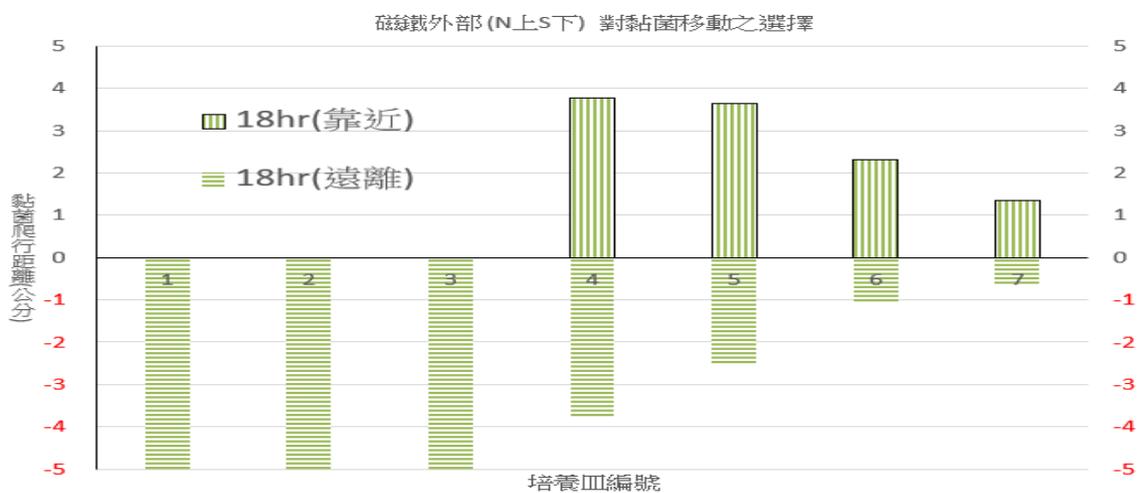


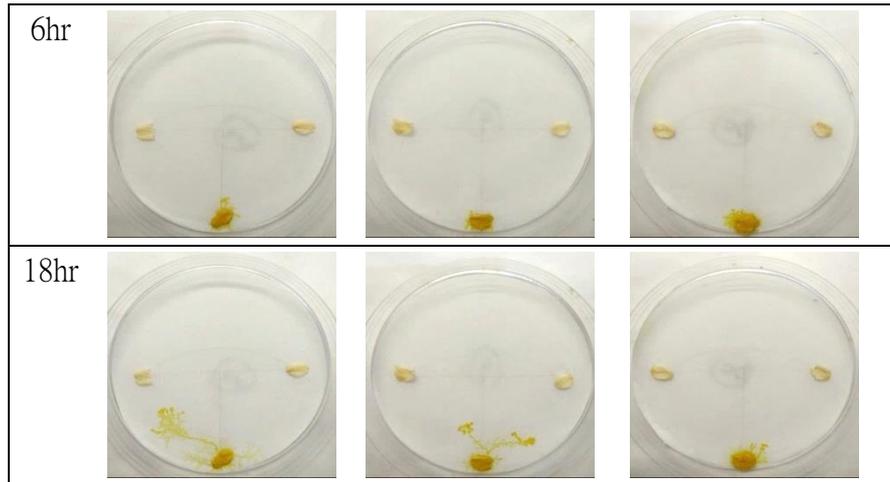
表 黏菌爬行的長度(cm)

磁鐵_外部組-1 (N上S下)	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		靠近	6	0.25	0.43	0.21	0.13	0.68
	12	0.28	0.78	1.09	0.43	1.78	0.68	0.78
	18	0	0	0	3.76	3.63	2.31	1.34
遠離	6	0.13	0.2	0.05	0.35	0.12	0.18	0.5
	12	1.55	1.6	0.87	0.56	0.77	0.62	0.31
	18	5.65	5.65	5.65	3.76	2.5	1.09	0.68

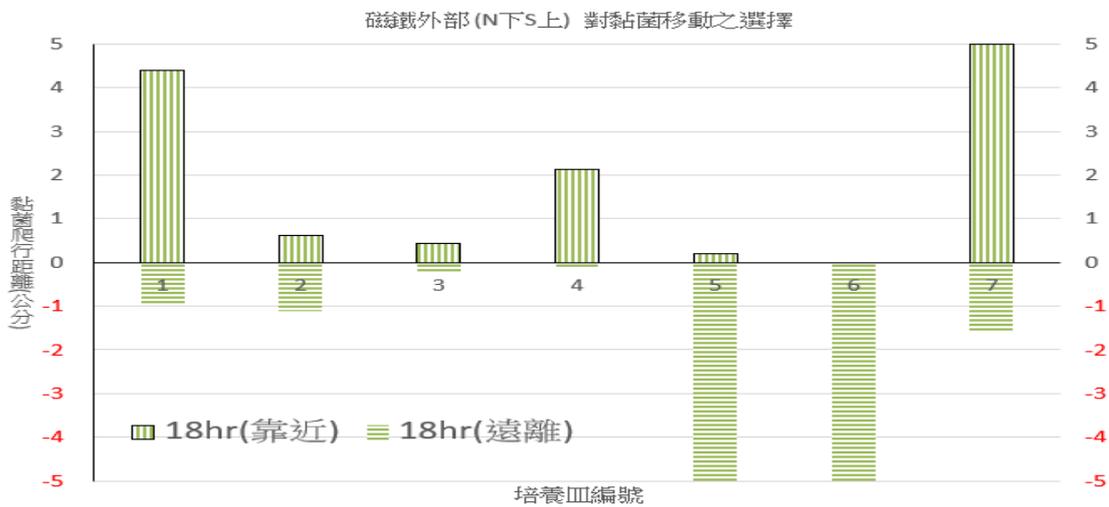


結果：有 3 組黏菌已達食物(遠離磁鐵)，其餘仍在移動，大致上遠離磁鐵。

實驗六-A 黏菌磁鐵_外部組-2 (N下S上) (右側擺放磁鐵)(磁鐵可吸附 26.6g 的重物) :

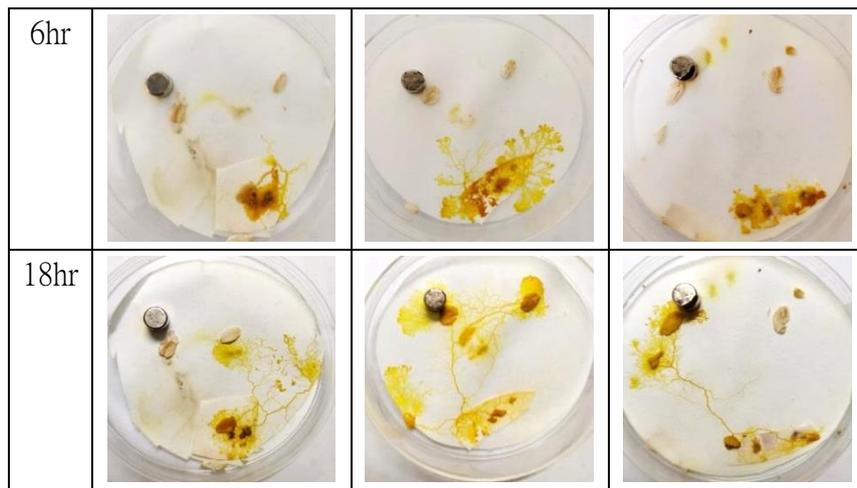


磁鐵_外部組-2 (N下S上)	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		靠近	6	0.09	0.31	0.5	0.44	0.63
	12	0.75	0.19	0.19	2.17	1.5	1.96	0.83
	18	4.39	0.63	0.44	2.13	0.19	0	5.33
遠離	6	0	0	0	0	0.06	0.31	0.56
	12	0.4	1.31	0.43	0.94	3.63	1.88	0.5
	18	0.94	1.12	0.25	0.12	5.64	5.64	1.56

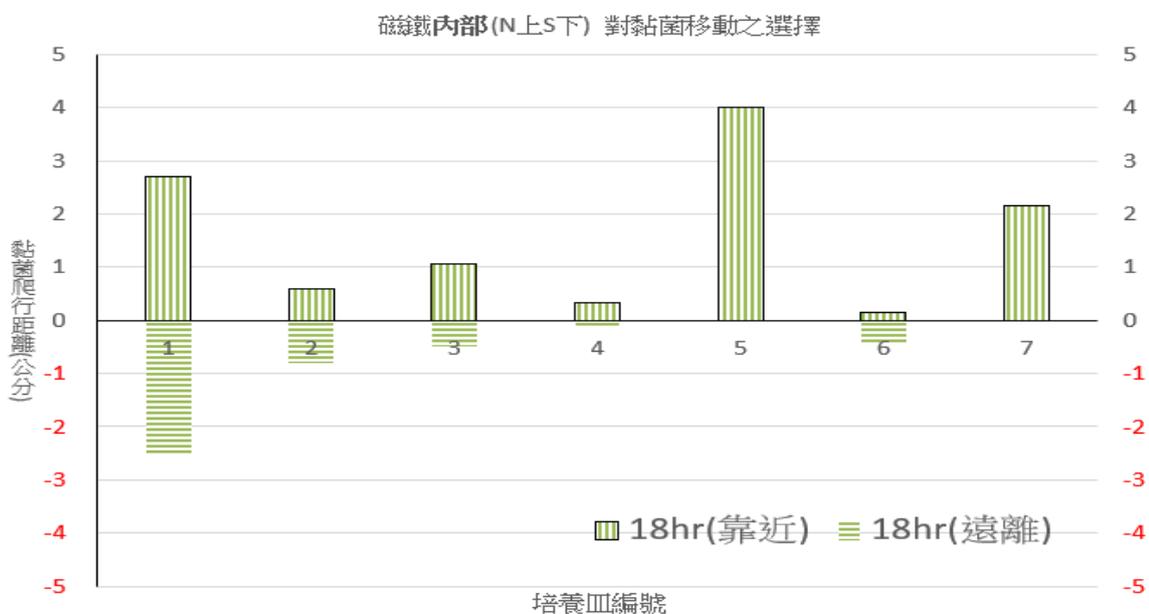


結果：有 2 組黏菌已達食物(遠離磁鐵)，另有 2 組黏菌往靠近磁鐵方向移動，其餘 3 組仍在移動。

實驗六-B 磁鐵-內部組 (N上S下) (左側擺放磁鐵) (磁鐵可吸附 26.6g 的重物) :



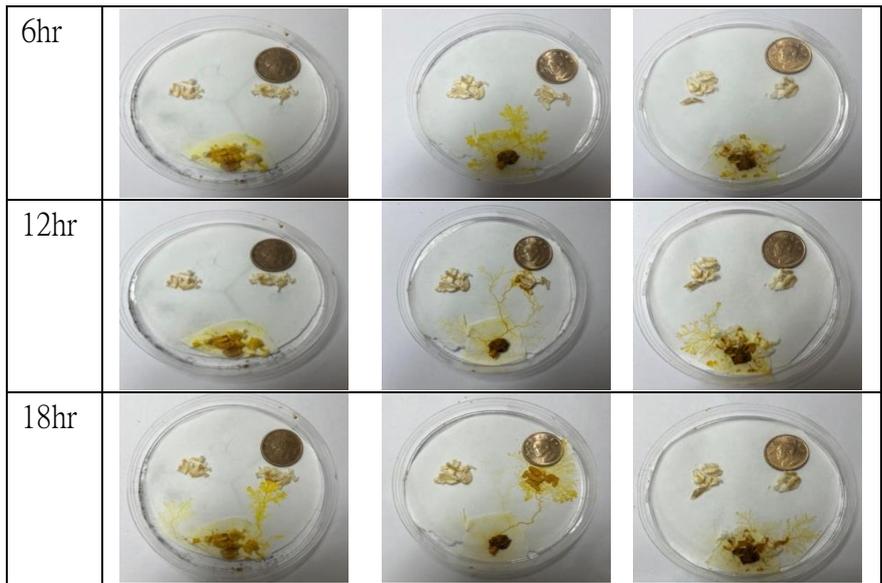
	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		靠近	6	0.455	0	0.1	0	0.55
	12	0.635	0.3	0.55	0.26	1.475	0.2	0.575
	18	2.7	0.59	1.05	0.325	4	0.15	2.15
遠離	6	0.205	0.2	0.35	0	0.585	0	0.525
	12	0.65	0.25	0.4	0	1.4	0.45	0.35
	18	2.55	0.8	0.5	0.1	0	0.4	0



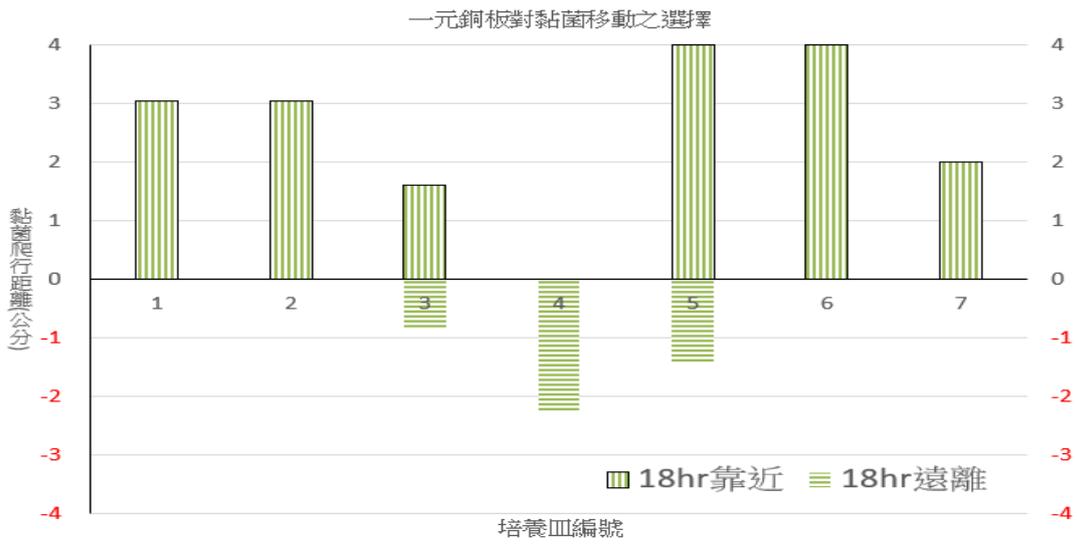
結果：黏菌只有一組長度達 4cm，其餘皆仍在移動，大致上靠近磁鐵。

實驗七：金屬實驗

一元硬幣組：



一元	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		6	0.58	1.28	0.64	0	0.80	3.47
靠近	12	0	3.04	0	0	4.00	4.00	1.07
	18	3.04	3.04	1.60	0	4.00	4.00	2.00
遠離	6	0.80	1.88	0	0.38	0	0.86	0
	12	0	0	2.00	1.43	0.38	1.50	0
	18	0	0	0.88	2.25	1.43	0	0



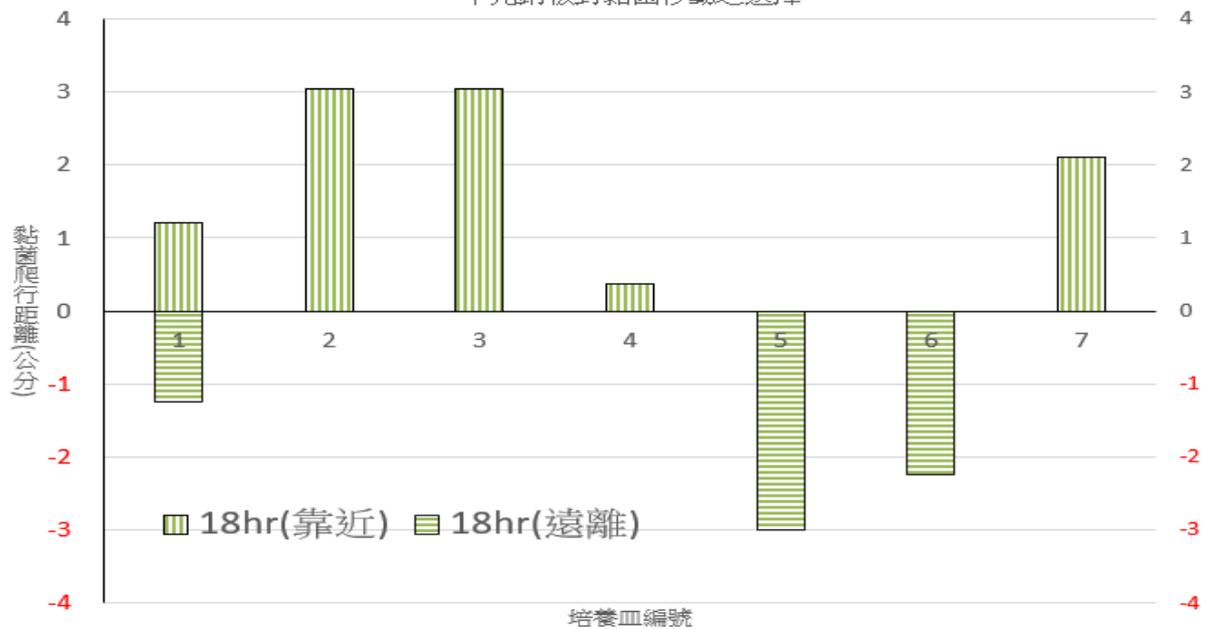
結果：有 2 組黏菌已達食物(靠近一元硬幣)，其餘仍在移動，大致上靠近硬幣。

十元硬幣組:



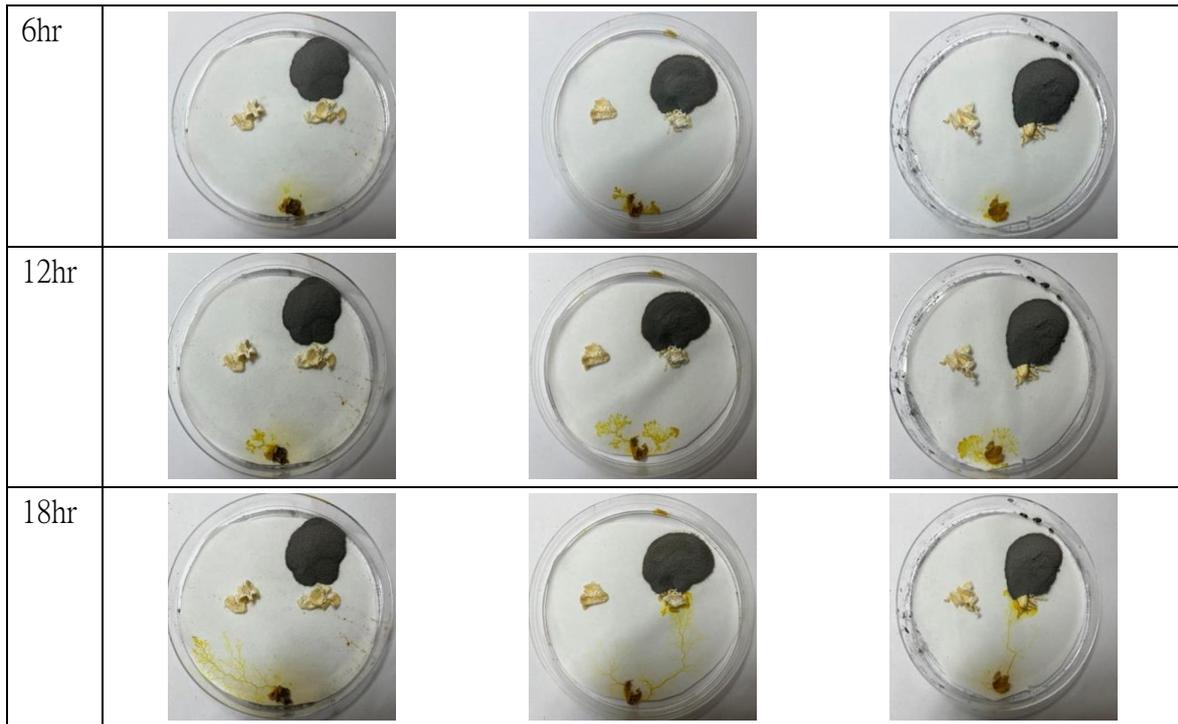
十元	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		靠近	6	0	1.00	0.56	0.38	1.88
	12	0	1.88	2.40	0.34	1.88	0.45	0
	18	1.20	3.04	3.04	0.38	0	0	2.10
遠離	6	0	0.59	1.38	0	2.25	2.25	0
	12	0	1.40	3.04	0	2.25	2.25	0
	18	1.24	0	0	0	3.00	2.25	0

十元銅板對黏菌移動之選擇

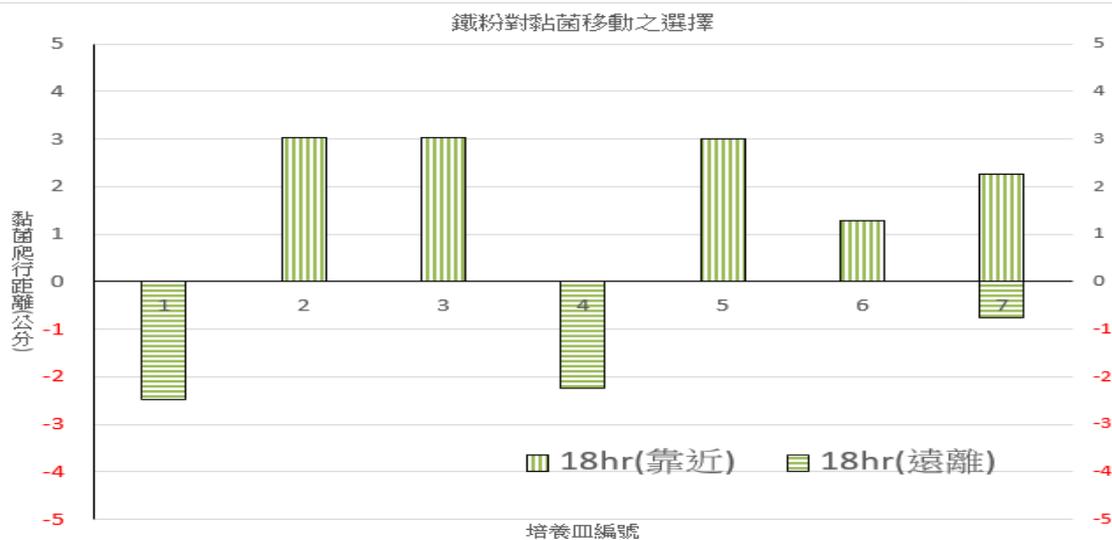


結果：黏菌皆仍在移動。

鐵粉組:



鐵粉	組 小時	1	2	3	4	5	6	7
		靠近	6	0	0.32	0	0.23	0.38
	12	0	1.51	0.84	0	1.28	1.13	2.03
	18	0	3.04	3.04	0	3.00	1.28	2.25
遠離	6	0	1.10	0	0.38	0.86	0.38	0.38
	12	1.36	1.52	0.64	0.90	1.13	0	0.19
	18	2.49	0	0	2.25	0	0	0.75



結果：黏菌皆仍在移動，但可看出有向鐵粉之麥片爬行的趨勢（第 2,3,5,6,7 組）。

伍、討論

實驗一：黏菌試養

1. 我們利用一般常用的洋菜膠進行養殖，試養初期可能因為溫度、濕度和放置的麥片量控制不佳，導致黴菌增長。搜尋資料提到，黏菌會攝食細菌和黴菌，但我們的培養皿卻因為黴菌大量增生，使得黏菌死亡。因此，飼養底材與環境條件，讓黏菌可以好好生長，是我們要先掌握的要件。

實驗二：尋找底材

彙整資料與我們的結果後，各種養殖底材的優缺點如下：

	洋菜膠	廚房紙巾	濾紙	海綿上放濾紙	葡萄糖 洋菜膠
優點	1.可保濕 2.含有黏菌可分解的養分	1.較不有利黴菌生長	1.較不有利黴菌生長 2.保濕性佳	1.可短期保濕	1.可保濕 2.有葡萄糖可獲得較多養分
缺點	1.黴菌易生長	1.需定期加水。 2.不含有黏菌可分解的養分 3.廚房紙巾：表面凹凸不平，觀察及操作實驗不易		1.不含有黏菌可分解的養分。 2.較不易掌控濾紙水分	1.黴菌易生長

實驗三：葡萄糖濃度偏好

1. 依據「衛生福利部食品藥物管理署_食品營養成分資料庫」提供的資料顯示，洋菜成分中並不含有葡萄糖（但總碳水化合物 78.3g/100g）。我們以本氏液檢測，原來的洋菜膠培養基和黏菌爬過的洋菜膠培養基發現，無爬行過的培養基檢測液為藍色，爬行過培養基檢測液呈現黃色，因此推測黏菌會利用洋菜膠上的醣類。

2. 我們在特有保育中心的問答集⁸查詢到：有些黏菌是利用胞內消化，有些則是利用胞外消化。依據我們的檢測結果，我們推想此黏菌應為胞外消化。將醣類分解為葡萄糖，使黏菌較容易吸收。
3. 在葡萄糖濃度 2M / 1M / 0.5M 三種濃度下，黏菌偏好高濃度（2M），濃度的選擇機制（感知能力），未來可再針對不同濃度進行探討。

實驗四：食物偏好實驗

1. 實驗結果顯示，相對於熟蛋白塊和奶油，黏菌較偏好麥片。一般都推薦以麥片餵食，麥片容易取得，也容易保存，黏菌也喜歡食用，用來飼養黏菌相當方便，那我們自然也認為這就是再簡單不過的原因。
2. 在實驗六、實驗七探討磁性與金屬對黏菌爬行影響後，我們推論**黏菌可能也存在磁鐵礦顆粒或磁小體**。後來在資料搜尋中意外發現，「**麥片竟然摻鐵粉？**」³⁵ 這樣聳動的新聞標題，原以為又是假新聞，仔細搜尋、了解才知道生活中有許多富含鐵質的食物，而麥片為了增加營養添加了鐵質。生活小實驗：將麥片與水搓揉混合後，放置 1 小時，再以強力磁鐵靠近，就可在麥片水中，吸出”鐵粉”！！這讓我們聯想到回頭來討論黏菌對麥片有正趨性，是否又與麥片中的鐵粉（磁性物質）有關呢！？若真如此，那真是太有趣了！未來可進一步探討以含鐵的不同種食物來引誘黏菌，看看又會有甚麼結果呢？

實驗五：角度實驗

1. 在網路影片⁵中有提到黏菌的移動是利用原生質的流動，而細胞骨架可推動原生質的流動進而讓黏菌爬行。另有文章⁶中提到，黏菌剛開始生長時會分成兩種細胞，一種為群細胞 (swarm cell)，另一種則是變形菌胞(myxamoeba)。前者具有鞭毛，而這個鞭毛會存在黏菌表面產生偽足，後者的爬行方式是利用原生質流動爬行，黏菌會讓這兩種細胞融合並進行繁殖，而當鞭毛永久縮回後，黏菌就會開始反覆分裂，這時的移動方式就完全改為利用原生質爬行。
2. 由上述資料我們推測，斜坡角度會影響原生質流動，進而影響爬行速率，由結果很明顯的如此呈現。但值得注意的是，90 度垂直面的爬行長度仍有約水平面爬行長度的 2/5，其附著能力值得探討。

實驗六：磁力實驗

1. 由本實驗結果發現，磁鐵的「磁力方向」對黏菌的「移動方向選擇」是有差異的。當N極在上時，對黏菌爬行有正趨性，尤其磁鐵在培養皿內時，影響更是明顯。而當N極在下方時，黏菌對於有無磁鐵之麥片選擇，並無差異。這讓我們聯想到候鳥的遷徙理論與地磁的相關性。查詢了”磁性”的相關文章發現，許多科學家認為磁羅盤在動物中普遍存在，包括：蜜蜂¹⁴、鳥類、海龜和刺龍蝦²⁰等。動物偵測磁場目前有三種主要的理論¹⁸，第一種稱為「電磁感應」，可能出現在魚身上；第二種與體內存在磁鐵礦（一種氧化鐵）有關，在細菌²⁰、蜜蜂^{14,15,17,21}、魚、鴿子²⁴甚至人²²中都有發現；第三種則認為地磁可能藉由影響體內自由基對所造成的化學反應，此稱之為自由基對機制(radical pair mechanism)^{18,19}。現有證據說明，鳥類同時使用後兩種機制，右眼中的自由基對提供方向信息，上喙中的磁鐵礦提供位置信息，以組成飛行“地圖”²⁰。
2. 趨磁細菌(MTB) 最早在 1975 年由 Richard Blakemore¹⁴發現，他以磁鐵靠近載玻片後，細菌會向磁鐵的 N 極移動，細菌細胞內具有感應磁性的物質，因此具導向功能，他稱之為「磁小體」(magnetosomes)。此後長期以來一直引起研究人員的興趣。
3. 奈米磁鐵礦顆粒(magnetite nano-particles)廣泛分佈於許多生物中，趨磁細菌(MTB)合成膜包裹磁鐵礦後稱之為磁小體^{25,26}。目前磁小體的運用在各領域正被廣泛的研究，包括材料工程、標靶治療和生物醫學...等^{27,28,29,30}，雖然如此，但是其礦化機制仍不清楚。由於 MTB 的結構簡單，透過了解其磁小體的生成過程，或許可被作為其他生物體磁鐵礦顆粒生成的參考，因此 MTB 被認為是研究生物磁鐵礦生成的最佳材料³¹。
4. 由以上文獻資料，我們推測本實驗中黏菌的「移動方向選擇」會受「磁力方向」影響，或許黏菌也存在磁鐵礦顆粒或磁小體，亦或是細胞內自由基造成化學反應有關。但究竟屬於何種機制，有待未來再進行實驗探討。

實驗七：金屬實驗

1. Fe_3O_4 是磁小體的主要成分，科學家探討 *Magnetospirillum gryphiswaldense* 菌株 (MSR-1) 對培養基中不同濃度檸檬酸鐵離子攝取情況，了解菌株生長和磁小體生成的影響。他們觀

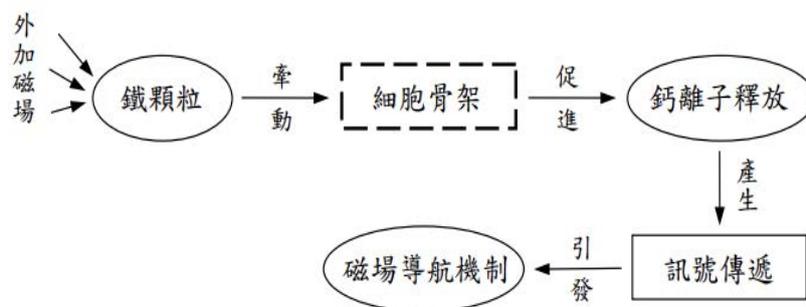
察到在細胞生長的對數期，鐵離子被快速吸收(效率約 90%)，並透過調節攪拌速率和調節溶解氧 (DO)可顯著提高磁小體產量³¹。

2. 在我們的金屬實驗結果發現，黏菌對有放置鐵粉的麥片有高度的喜好，這**是否能佐證黏菌細胞中也有磁鐵礦顆粒或磁小體呢！**？（鐵粉為磁性物質，互相吸引）真是有趣，這是未來值得再探討之處。

3. 10 元銅板含有較多的鎳（磁性物質），依據文獻、實驗六磁力實驗和本組鐵粉實驗，原本預期 10 元銅板對黏菌應該有較高的正趨性。實驗結果 1 元和 10 元銅板對黏菌都有正趨性，且 1 元較 10 元更明顯。影響黏菌爬行選擇是否還有其他原因，或者是我們觀察時間還不夠，無法呈現最後結果，這些都是未來可再探究之處。

1 元銅板（銅：92%、鎳：6%、鋁：2%）。10 元銅板（銅：75%、鎳：25%）。

4. 在文獻¹⁶中我們讀到有關蜜蜂是如何利用體內的超順磁鐵感知地球磁場，他們發現蜜蜂腹部的腹側具有軸突連結到營養細胞（trophocyte），而這些營養細胞內具有鐵顆粒，這些鐵顆粒會依照與地球磁場的相對位置而發生膨脹或收縮，進而牽動細胞骨架系統，再由神經細胞傳至腦部，啟動磁場導航機制。



如上述推測，若黏菌細胞中也有**磁鐵礦顆粒或磁小體**可以感知到地球磁場，是否也就影響了黏菌的細胞骨架作用，進而影響黏菌的爬行，也就是我們觀察到的黏菌的「爬行選擇」。在文獻³³中提到，他們認為黏菌的細胞骨架功能類似於神經系統，具傳遞與學習的功能，這也或許就能讓我們解釋一開始看到的「黏菌走迷宮」的”思考與記憶”行為。

陸、結論

1. 洋菜膠較容易保濕，而洋菜膠中的醣類還可提供黏菌養分，是培養黏菌很好的底材。但如果養殖時間較長，可使用濾紙添加水的方式，避免底材過濕，容易發霉。
2. 本實驗中三種濃度下，黏菌較喜好高濃度（2M）葡萄糖洋菜膠。關於黏菌可利用的葡萄糖濃度範圍，未來可進一步進行探討。
3. 透過圖表可以發現，角度越高，黏菌的移動速率越慢。在文獻⁵中提及黏菌是依靠原生質、偽足和鞭毛來產生推進力。我們在想，未來可以比較不同運動構造的生物，其移動速率的差異，或許將來在設計開發新的交通工具時，可做為參考的依據。
4. 依據查詢到的文獻資料：麥片加水可得鐵粉、多種生物體內具有磁鐵礦顆粒或磁小體、趨磁細菌會往N極方向移動以及鐵粉為磁性物質…等，再依據我們的這些實驗結果，都支持我們推測黏菌細胞內也有磁鐵礦顆粒或磁小體，希望未來有機會和方法可進一步探究。

柒、參考文獻及資料

1. 吳京(2015年11月)。最佳鐵路網與聰明的黏菌？——2010年搞笑諾貝爾運輸規劃獎。泛科學。 <https://pansci.asia/archives/76831>
2. Nakagaki, Toshiyuki. "Smart behavior of true slime mold in a labyrinth." *Research in Microbiology* 152.9 (2001): 767-770.原文網址：<https://kknews.cc/pet/bzk9vlj.html>
3. 小魚老師的生物實驗室。黏菌的標準簡單飼養法。
<https://www.facebook.com/FishLab/posts/193388614122672/>
4. 黏菌(Slime Molds)攝食方式的探討-胞內、胞外消化的驗證(科展報告)。新竹高中 薛良凱。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/32/pdf/32h/094.pdf>
5. 江都在線!號。黏菌寵物好養嗎？黏菌吃什麼食物有哪些？ - 江都在線。
<http://www.jd-tv.com/zhishi/48021.html>
6. Gabriela Quirós(Apr 19,2016)。This Pulsating Slime Mold Comes in Peace。KQED。
<https://www.kqed.org/science/635319/this-pulsating-slime-mold-comes-in-peace>

7. The Editors of Encyclopaedia Britannica。slime mold。載於 Britannica。
<https://www.britannica.com/science/slime-mold>
8. 磁力對黏菌所造成的影響
Alice Dimonte, Angelica Cifarelli, Tatiana Berzina, Valentina Chiesi, Patrizia Ferro, Tullo Besagni, Franca Albertini, Andrew Adamatzky, Victor Erokhin (November 2014), Magnetic Nanoparticles Loaded Physarum polycephalum: Directed Growth and Particles Distribution, PubMed
https://www.researchgate.net/publication/267871510_Magnetic_Nanoparticles_Loaded_Physarum_polycephalum_Directed_Growth_and_Particles_Distribution
9. 問答集-特有生物研究保育中心。2008/04/24
https://www.tesri.gov.tw/A10_1/content/14547
10. 蔡宜鈺(87年6月)。文山植物園之真黏菌組成及分布類型暨溫度對生長的影響[碩士論文, 台灣大學]。
<https://tdr.lib.ntu.edu.tw/handle/123456789/76350GIMP>
11. Blakemore R: Magnetotactic bacteria. Science. 1975, 190 (4212): 377-379.
10.1126/science.170679.
12. 多頭絨泡菌。維基百科。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%9A%E5%A4%B4%E7%BB%92%E6%B3%A1%E8%8F%8C>
13. 路痴應該養甚麼寵物? 養會認路的黏菌呀 – 每日頭條
<https://kknews.cc/zh-mo/pet/bzk9vlj.html>
14. 徐錦源(1994)。蜜蜂磁鐵的沈積機制及磁場感應的研究。國立清華大學生命科學研究所博士論文。
15. 黃貞祥(2003)。蜜蜂的磁鐵沉積及磁場感應。國立清華大學生命科學系碩士論文。
16. 柯富耀(2005)。蜜蜂磁場導航的信息傳遞之研究。國立清華大學分子與細胞生物研究所碩士論文。

17. 詹鈺珮(2009)。蜜蜂磁鐵礦化機轉研究。長庚大學生物醫學研究所碩士論文。
18. 泛科學_鳥兒內建的磁羅盤_鳥的感官。貓頭鷹出版社。 <https://pansci.asia/archives/59985>
19. 黃仁顥(2014)。鳥類磁感機制之建模與分析。國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，台南市。 <https://hdl.handle.net/11296/a6b6pv>
20. Wiltschko, W., & Wiltschko, R. (2005). Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 191(8), 675–693. <https://doi.org/10.1007/s00359-005-0627-7>
21. Gould JL, Kirschvink JL, Deffeyes KS. Bees have magnetic remanence. *Science*. 1978;201(4360):1026–8.
22. Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Woodford BJ. Magnetite biomineralization in the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1992;89(16):7683–7.
23. Komeili A. Molecular mechanisms of magnetosome formation. *Annu Rev Biochem*. 2007;76:351–66.
24. Walcott C, Gould JL, Kirschvink JL. Pigeons have magnets. *Science*. 1979;205(4410):1027–9.
25. Blakemore RP. Magnetotactic bacteria. *Annu Rev Microbiol*. 1982;36:217–38.
26. Frankel RB, Blakemore RP, Wolfe RS. Magnetite in freshwater magnetotactic bacteria. *Science*. 1979;203(4387):1355–6.
27. Matsunaga NN. Highly sensitive detection of allergen using bacterial magnetic particles. *Anal Chim Acta*. 1993;281(3):585–9.
28. Alphandéry E, Faure S, Seksek O, Guyot F, Chebbi I. Chains of magnetosomes extracted from AMB-1 magnetotactic bacteria for application in alternative magnetic field cancer therapy. *ACS Nano*. 2011;5(8):6279–96.
29. Borg S, Hofmann J, Pollithy A, Lang C, Schüler D. New vectors for chromosomal integration enable high-level constitutive or inducible magnetosome expression of fusion proteins in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Appl Environ Microbiol*. 2014;80(8):2609–16.
30. Alphandéry, E., Idbaih, A., Adam, C. et al. Biodegraded magnetosomes with reduced size and heating power maintain a persistent activity against intracranial U87-Luc mouse GBM tumors.

J Nanobiotechnol 17, 126 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0555-2>

31. Wen, T., Zhang, Y., Geng, Y. et al. Epsilon-Fe₂O₃ is a novel intermediate for magnetite biosynthesis in magnetotactic bacteria. Biomater Res 23, 13 (2019).
<https://doi.org/10.1186/s40824-019-0162-1>
32. Liu, Y., Li, G.R., Guo, F.F. et al. Large-scale production of magnetosomes by chemostat culture of Magnetospirillum gryphiswaldense at high cell density. Microb Cell Fact 9, 99 (2010). <https://doi.org/10.1186/1475-2859-9-99>
33. Katia Moskvitch. Slime Molds Remember — but Do They Learn? Quantamagazine (2018).
<https://www.quantamagazine.org/print?from=singlemessage#>
34. 衛生福利部食品藥物管理署_食品營養成分資料庫。
<https://consumer.fda.gov.tw/Food/tfndDetail.aspx?nodeID=178&f=0&id=714> 跟
35. [親子科學教室]尋找鐵離子-捉出食物中的鐵。
<https://ntut324.pixnet.net/blog/post/366410847>

【評語】 052004

1. 本實驗探討黏菌飼養底材及不同條件對黏菌爬行方向選擇之影響。探討黏菌對各種不同條件的影響中規中矩，並沒有太多意外的發現。研究稍嫌初步觀察，並沒有更進一步的探討，這些條件對於黏菌造成哪一種分子的影響。
2. 作品說明書描述各組實驗的重複試驗宜有獨立三次以上重複，在呈現的圖中宜適切地應用簡單的科學性統計方法分析之，例如平均值、顯著差異。
3. 探討黏菌飼養底材及不同條件對黏菌爬行方向選擇之影響，雖然有趣觀察也很仔細，但未敘述實驗之科學探討或應用性，如果要推測黏菌是否存在磁小體類之物質，則應有更相關精確之實驗設計。

作品簡報

關於史萊姆那檔事 - 黏菌爬行的相關研究

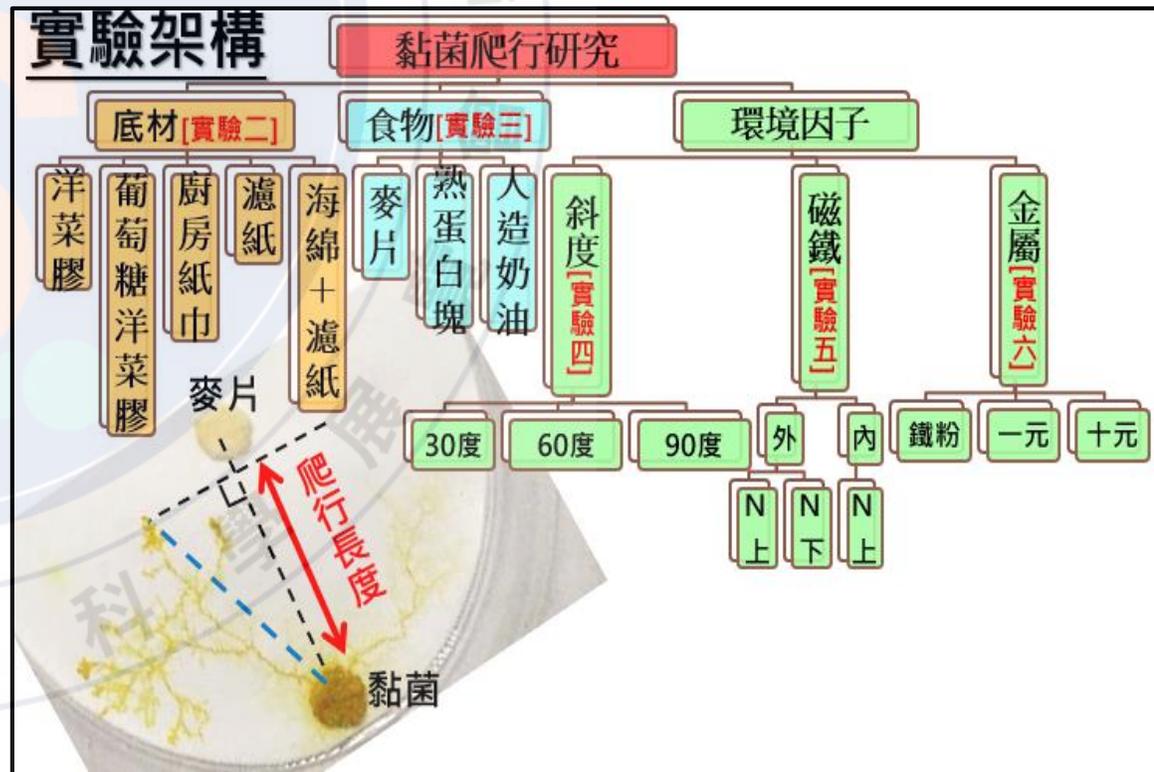
組別：高級中等學校組
科別：動物與醫學學科

前言：

看到關於「黏菌迷宮」的實驗：利用東京鐵路網圖，發現黏菌爬行的路徑和鐵路路線具高度相似性。另一文獻¹提到，黏菌會找到連接食物的最短路徑！

對於這具有「**學習力**」、「**思考力**」與「**記憶力**」的聰明生物，我們很好奇黏菌是如何決定移動方向。因此我們設計了一些實驗來探討影響黏菌爬行的相關因素。

黏菌的移動選擇可能受到**食物**和**環境**的影響。在食物方面，我們探討不同的葡萄糖濃度²、蛋白質及脂質等養分會如何選擇。在環境因子方面，我們依據資料改變**爬行角度**³、食物旁放置**磁鐵**和**金屬**⁴來探討其對黏菌爬行的影響。



方法與結果

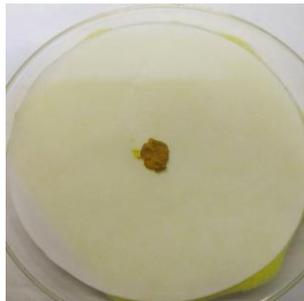
實驗一：黏菌試養

實驗二：尋找底材



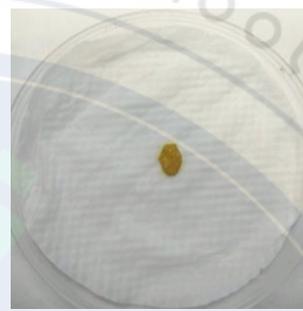
洋菜膠培養基：

都成功**存活**，並四處爬行，但後期**潮濕**及麥片**營養**，**滋生黴菌**，並佔據空間。



海綿上放濾紙：

水分吸附在海綿中，濾紙無法保濕。黏菌**活動力不佳**。



廚房紙巾：

表面不平，不易移殖。黏菌**活動力不佳**。



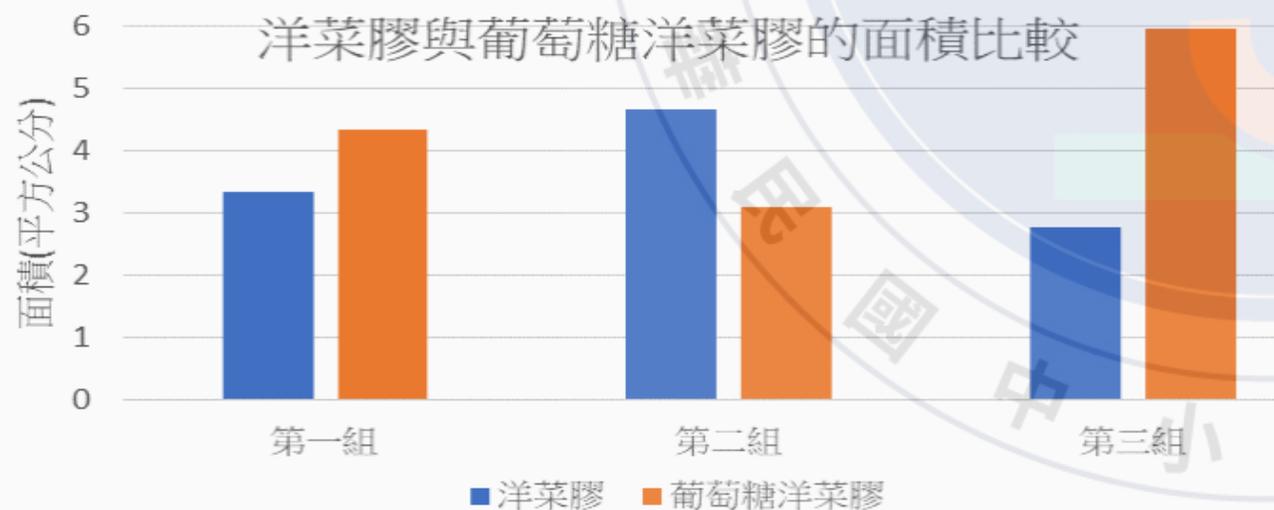
濾紙：

濾紙+ 0.55ml的水最適當。



葡萄糖洋菜膠：

葡萄糖洋菜膠中生長更好，但也有**黴菌容易滋生**的問題。



(左圖) 黏菌在葡萄糖洋菜膠中生長面積可較大。

實驗三：葡萄糖濃度偏好

以本氏液檢測洋菜膠

實驗組：黏菌爬過的洋菜膠（左管），產生橘紅色反應。

對照組：黏菌未爬過的洋菜膠（右管），為淡藍色（不變色）。

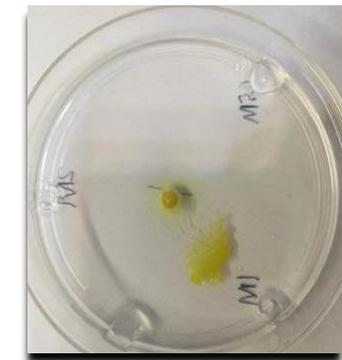
➤ 若黏菌會分解利用洋菜膠醣類。我們好奇黏菌對不同濃度葡萄糖，會作何選擇呢？



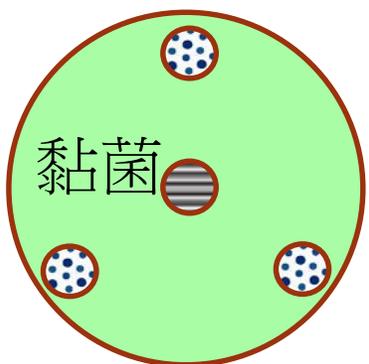
黏菌往不同葡萄糖濃度洋菜膠爬行的長度(cm)

編號 濃度	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
2M	1.25	3.75	1.25	3.50	4.00	1.25
1M	1.25	1.25	1.25	3.25	1.25	3.75
0.5M	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

黏菌爬行長度與濃度關係圖



洋菜粉	水	葡萄糖	總體積	葡萄糖體積莫耳濃度
0.8g	99.2g	72g	200ml	2M
0.8g	99.2g	36g	200ml	1M
0.8g	99.2g	18g	200ml	0.5M



● Agar

● 黏菌

● 不同葡萄糖濃度洋菜膠塊

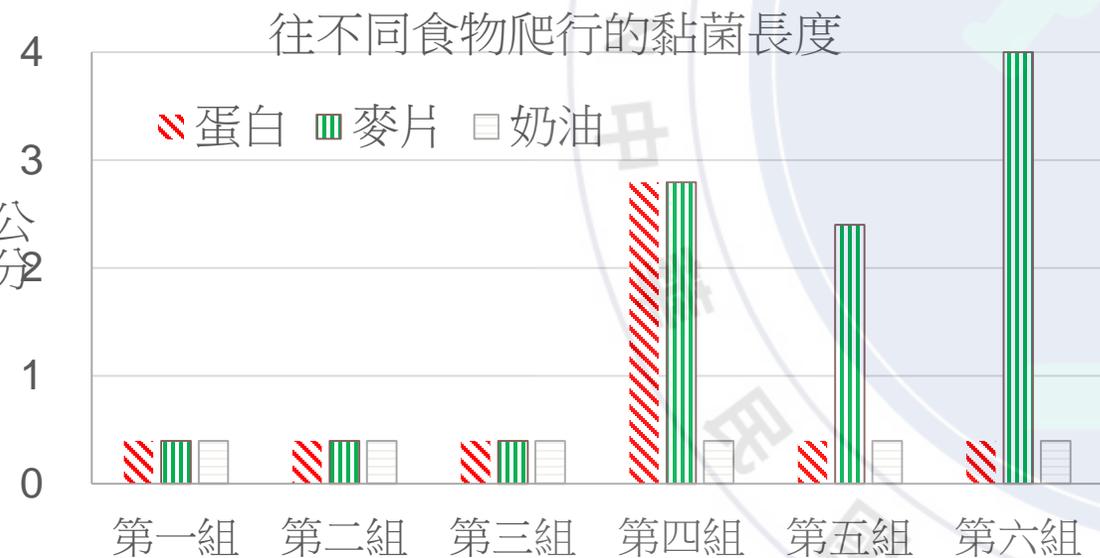
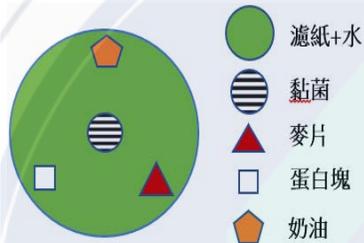
- 在此3種濃度下，有較偏好高濃度葡萄糖洋菜膠的黏菌。
- 個體差異明顯(第一、三組)。無顯著選擇結果。

實驗四：食物偏好

我們好奇黏菌對於其他養分（蛋白質和脂質）是否也會喜好趨向及分解利用？

表 黏菌往不同食物爬行的長度(cm)

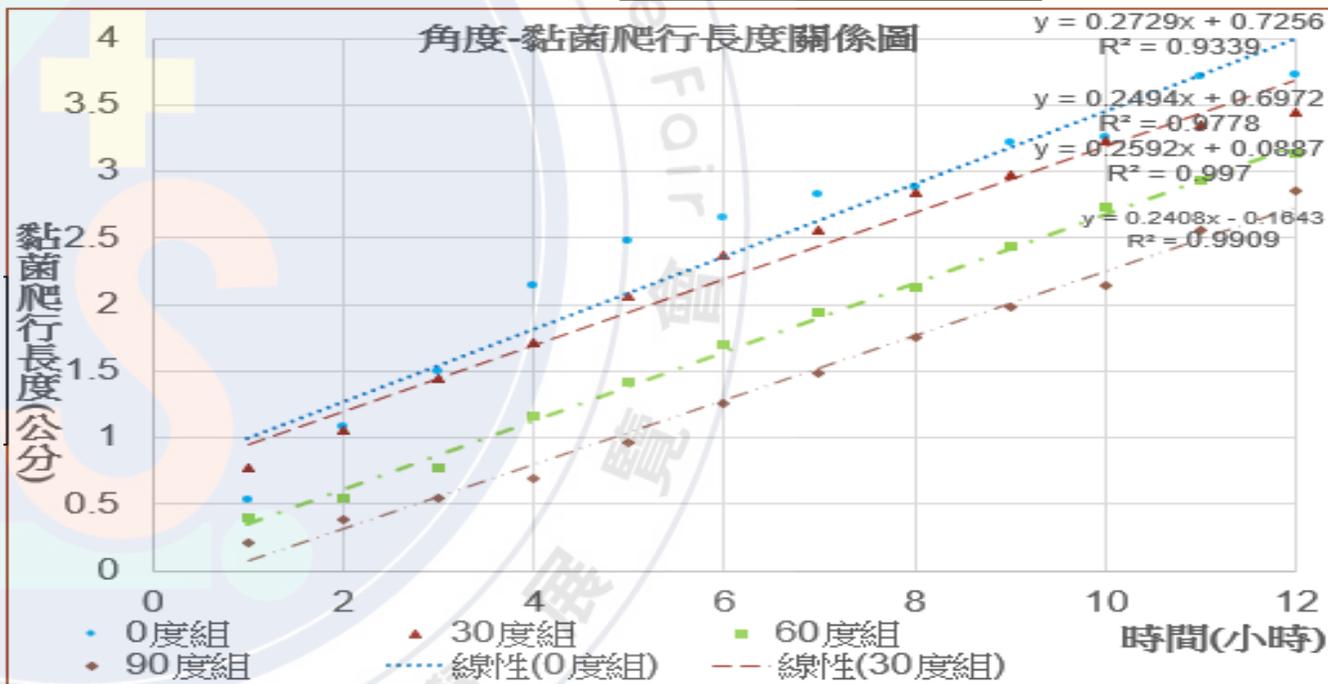
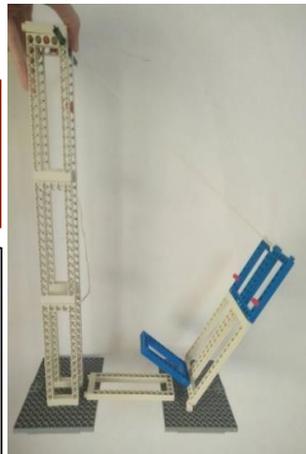
編號 食物	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
蛋白	0.40	0.40	0.40	2.79	0.40	0.40
麥片	0.40	0.40	0.40	2.79	2.40	4.00
奶油	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40



第六組已達麥片。麥片較受喜愛。個體差異明顯(第一~三組)。

實驗五：角度實驗

每1小時記錄一次（拍照）測量爬行距離，連續紀錄12hr。



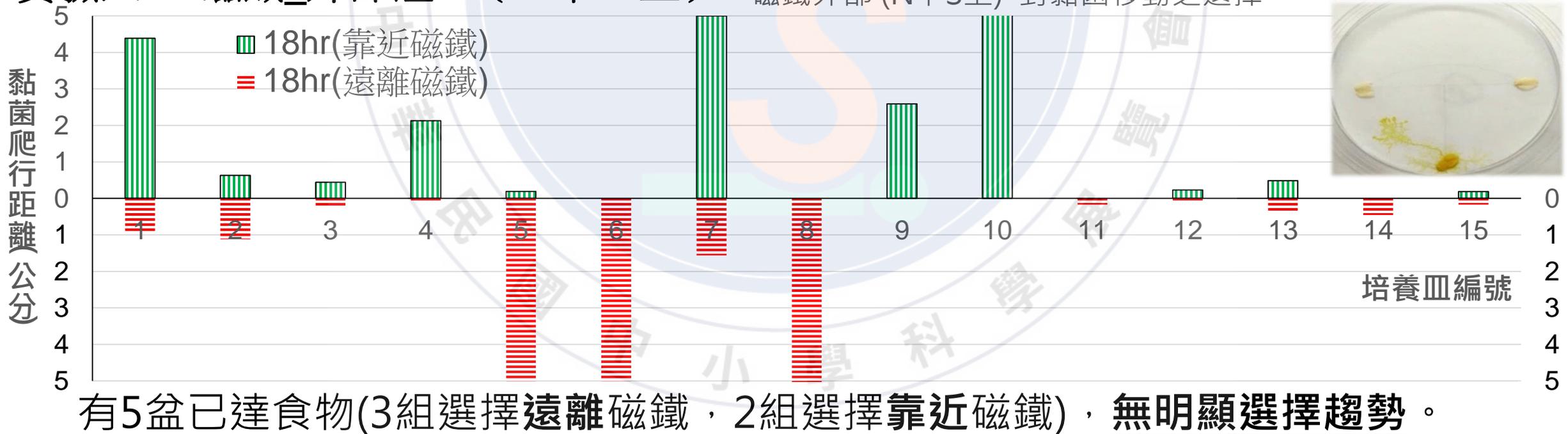
➤ 角度越大，黏菌爬行越慢。在經過相同時間，黏菌在90度斜面的平均爬行長度仍大約有水平面爬行長度的1/2。

實驗六：磁力實驗

實驗六-A 磁鐵_外部組-1 (N上S下):



實驗六-A 磁鐵_外部組-2 (N下S上): 磁鐵外部 (N下S上) 對黏菌移動之選擇



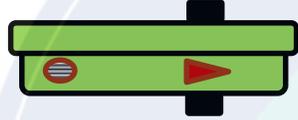
實驗六-B 磁鐵-內部組 (N上S下):
 只有一組長度達4cm，其餘皆仍在移動，會向有磁鐵的麥片爬行趨勢。

俯視圖

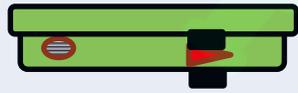


-  濾紙+水
-  黏菌
-  磁鐵 (N極或S極)
-  麥片

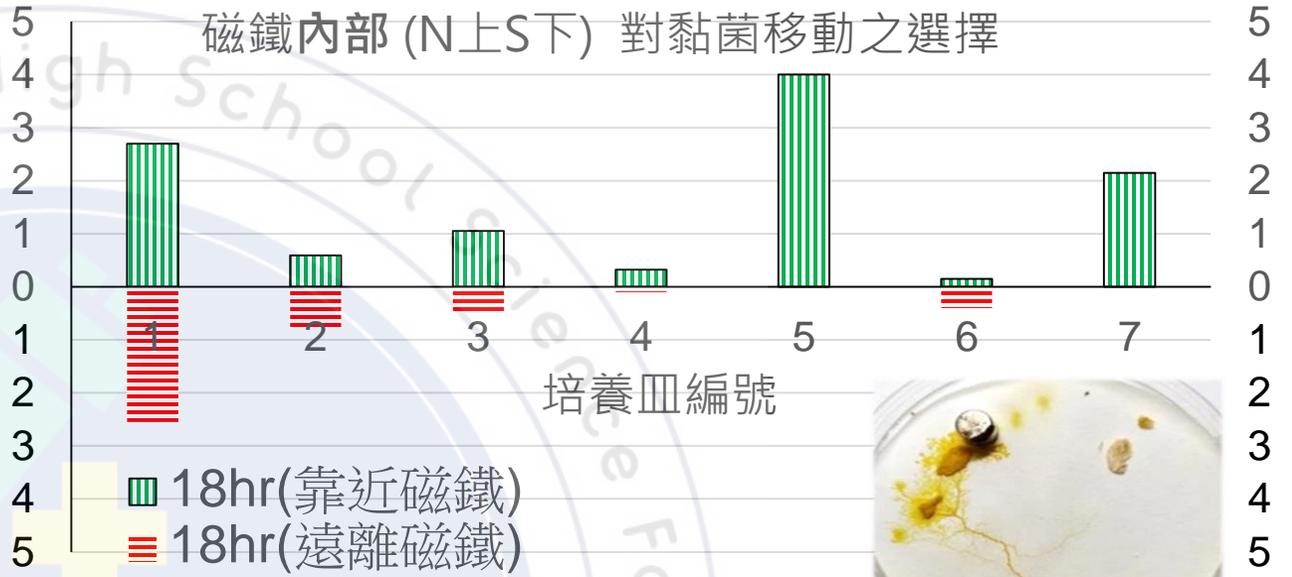
側視圖_磁鐵外部組



側視圖_磁鐵內部組



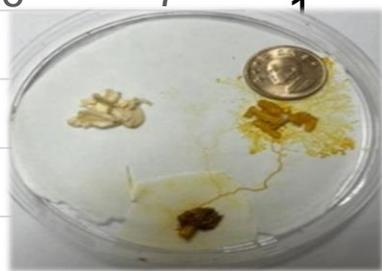
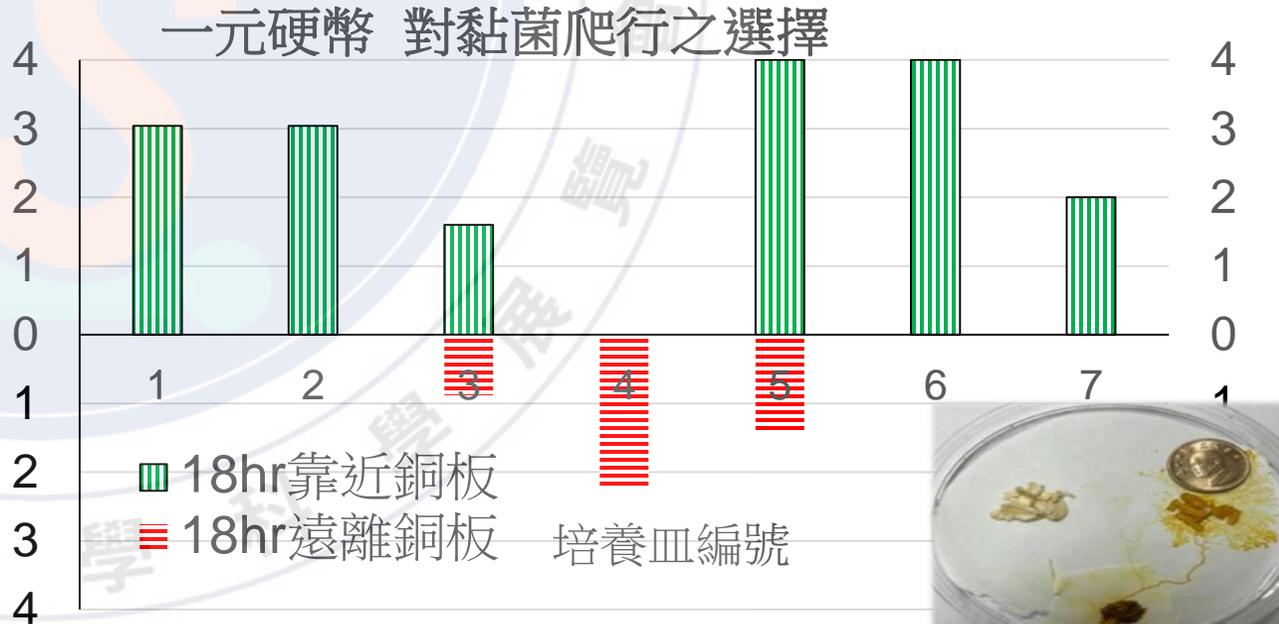
黏菌爬行距離(公分)



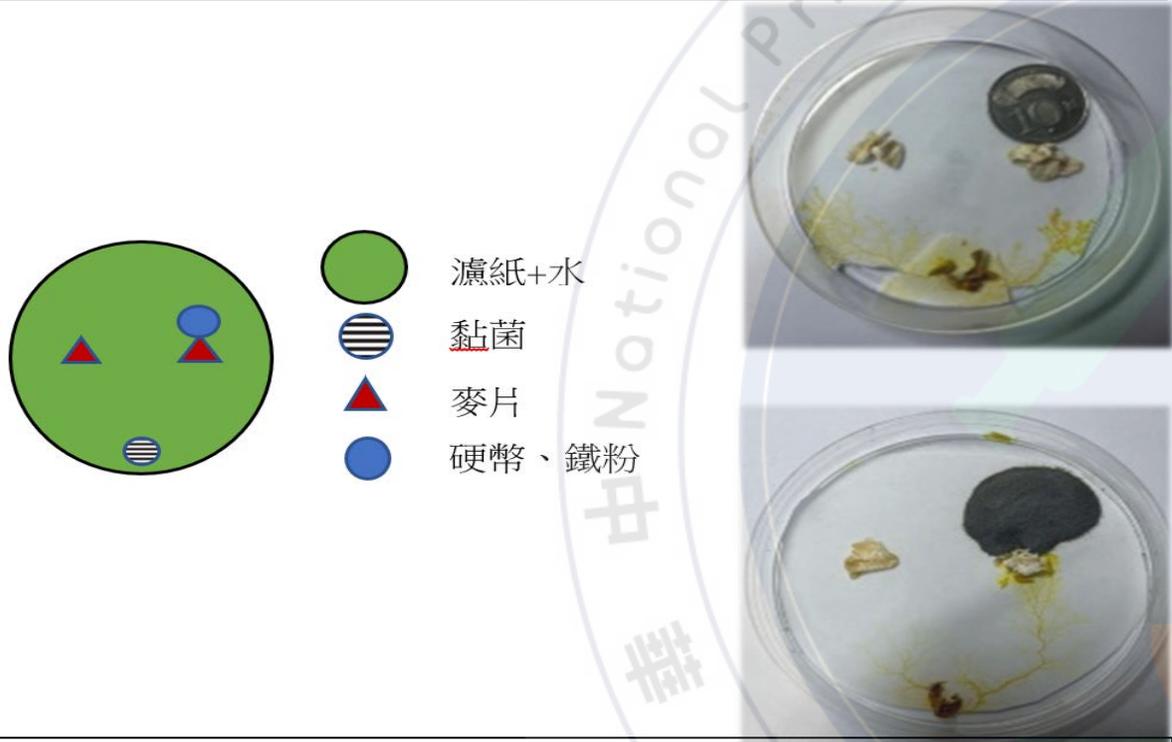
實驗七：金屬實驗

一元硬幣組：有2組已達食物(第5,6組)，第1,2,7組靠近，大致上靠近硬幣。

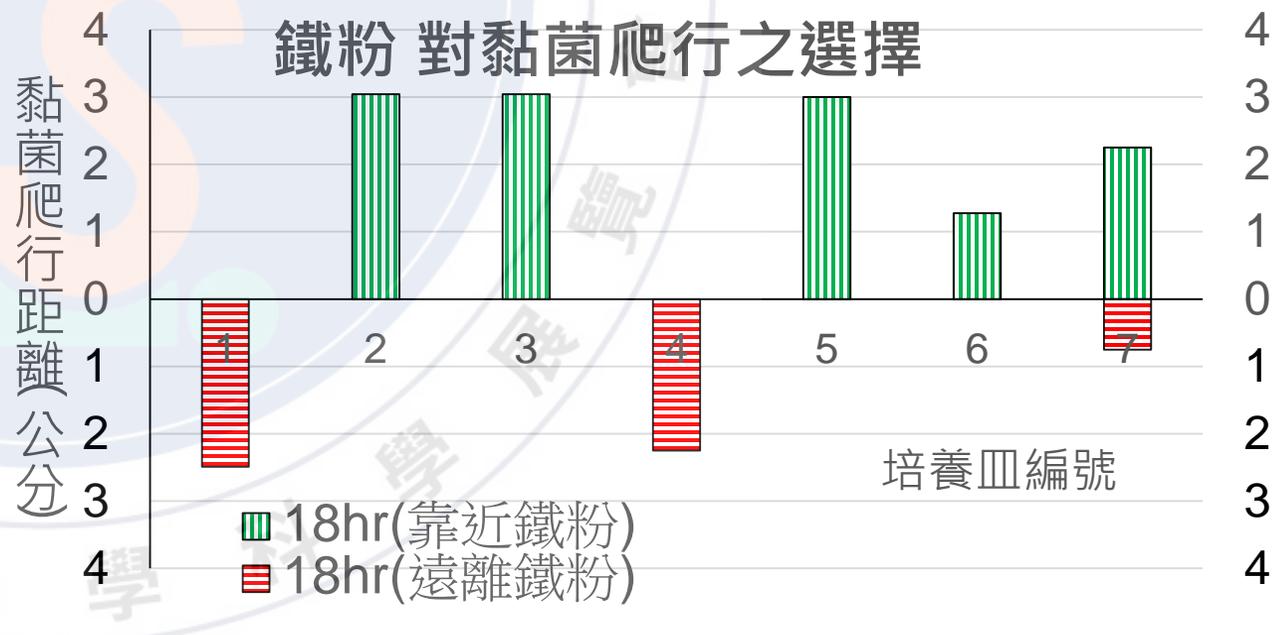
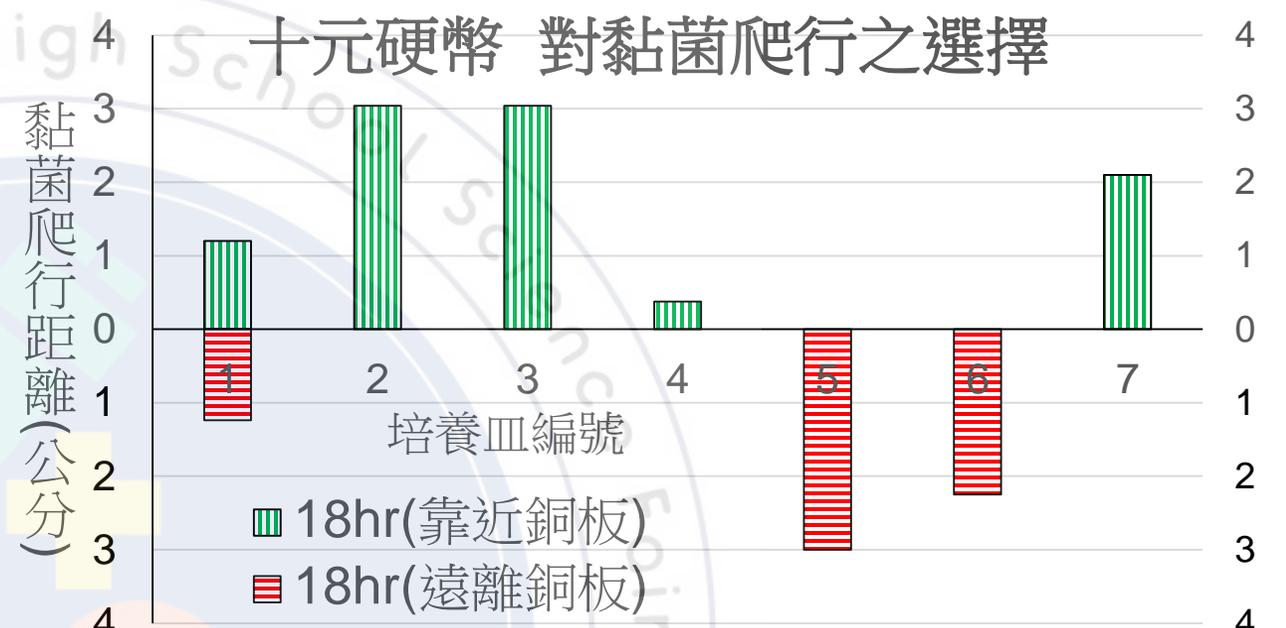
黏菌爬行距離(公分)



十元硬幣組(右圖)：黏菌皆未達，第2, 3, 7組靠近，第5, 6組遠離。未有明顯選擇。



鐵粉組(右圖)：黏菌皆仍在移動，但可看出有向鐵粉之麥片爬行的趨勢（第2, 3, 5, 6, 7組）



討論

實驗一：黏菌試養、實驗二：尋找底材

- 1.溫度、濕度和放置的麥片量控制不佳，導致黴菌增長。
- 2.飼養底材與環境條件，讓黏菌可以好好生長，是首先掌握的要件。

實驗三：葡萄糖濃度偏好

- 1.特生中心資料提到，有些黏菌是利用胞內消化，有些則是利用胞外消化。依據我們**檢測**爬行過的洋菜膠結果，我們**推想此黏菌應為胞外消化**。黏菌將醣類分解為葡萄糖後吸收。
- 2.在葡萄糖濃度2M / 1M / 0.5M三種濃度下，本實驗**並無顯著的選擇（個體差異大）**。未來，可再**修正黏菌**取樣的**均質性**後，再進行探討。

實驗四：食物偏好實驗

- 1.依據實驗六、實驗七探討磁性與金屬對黏菌爬行影響後，**我們推論_黏菌可能也存在磁鐵礦顆粒或磁小體**。加上資料搜尋意外發現，**「麥片竟然摻鐵粉？」**，這讓我們想到回頭來討論黏菌對麥片有正趨性，**是否又與麥片中的鐵粉（磁性物質）有關呢？**
- 2.未來可進一步探討以**含鐵的不同種食物**來引誘黏菌，看看又會有甚麼結果？

實驗五：角度實驗

1. 未來可否將**細胞骨架合成抑制劑**加入，觀察黏菌缺少細胞骨架的情況下是否還能移動？
2. 經過相同時間，90度垂直面的爬行長度仍有約水平面的1/2，其**附著能力**值得探討？

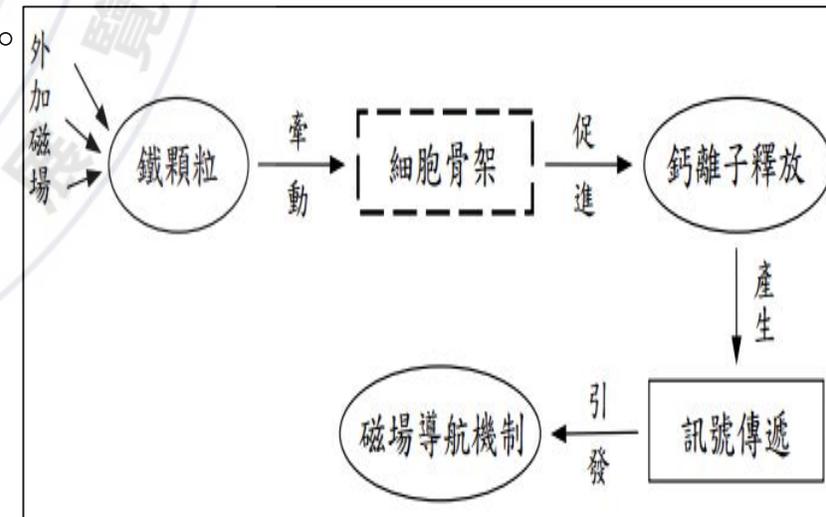
實驗六：磁力實驗

1. 由本實驗結果，磁鐵的「磁力方向」對黏菌的「移動方向選擇」是有差異的。科學家認為**磁羅盤**在動物中普遍存在，包括：蜜蜂⁵、鳥類、海龜和刺龍蝦⁷等。有三種主要的理論⁶，**第一種**為「電磁感應」；**第二種**與體內存在磁鐵礦（一種氧化鐵）有關，在細菌⁷、蜜蜂^{5,8,9,10}、魚、鴿子¹³甚至人¹¹中都有發現；**第三種**則認為體內自由基對所造成的化學反應。
2. **奈米磁鐵礦顆粒**(magnetite nano-particles)廣泛分佈於許多生物中，趨磁細菌(MTB)合成膜包裹磁鐵礦後稱之為**磁小體**^{14,15}。目前在各領域正被廣泛的研究，包括材料工程、標靶治療和生物醫學...等^{16,17,18,19}，雖然如此，但是其礦化機制仍不清楚。
3. 由以上，我們推測**或許黏菌也存在磁鐵礦顆粒或磁小體，亦或是細胞內自由基造成化學反應有關**。但究竟屬於何種機制，有待未來再進行實驗探討。

實驗七：金屬實驗

1. Fe_3O_4 是磁小體的主要成分，科學家探討*Magnetospirillum gryphiswaldense*菌株（MSR-1）對檸檬酸鐵離子攝取情況，和磁小體生成的影響²⁰。黏菌對有放置鐵粉的麥片有高度喜好，**是否能佐證黏菌細胞中也有磁鐵礦或磁小體？**
2. 十元硬幣含有較多的鎳(磁性物質)，但實驗結果，卻是一元硬幣對於黏菌有較高的正趨性（**非預期結果**），未來可探究是否還有其他因素影響黏菌爬行。
一元銅板（3.8g，銅92%、鎳6%、鋁2%）。十元銅板（7.5g，銅75%、鎳25%）
3. 在文獻¹²中我們讀到有關**蜜蜂**是如何利用體內的**超順磁鐵**感知地球磁場，進而**牽動細胞骨架系統**，再由神經細胞傳至腦部，啟動磁場導航機制。

本實驗推測，**黏菌**細胞中也有磁鐵礦顆粒或磁小體可以感知到地球磁場，是否也就影響了黏菌的**細胞骨架**作用，這也或許**就能讓我們解釋**一開始看到的「黏菌走迷宮」的”思考與記憶”行為。



結論

1. 洋菜膠較容易保濕，而洋菜膠中的醣類還可提供黏菌養分，是培養黏菌很好的底材。但如果養殖時間較長，可使用**濾紙+水**的方式，避免因潮濕且營養而發霉。
2. 黏菌是否對不同葡萄糖濃度**具選擇性**？未來可進一步進行探討。
3. 在文獻中提及黏菌是依靠原生質、偽足和鞭毛來產生推進力。我們在想，未來可以**比較不同運動構造**的生物，其移動速率的差異，或許將來在設計關於摩擦力之商品時，可做為參考的依據。
4. 依據查詢到的文獻資料：麥片加水可得鐵粉、多種生物體內具有磁鐵礦顆粒或磁小體、趨磁細菌會往N極方向移動以及鐵粉為磁性物質…等，再依據我們的這些實驗結果，都支持我們**推測黏菌細胞內也有磁鐵礦顆粒或磁小體**，希望未來有機會和方法可進一步探究與驗證。

參考文獻

1. Nakagaki, Toshiyuki. "Smart behavior of true slime mold in a labyrinth." *Research in Microbiology* 152.9 (2001): 767-770. <https://kknnews.cc/pet/bzk9vlj.html>
2. 黏菌(Slime Molds)攝食方式的探討-胞內、胞外消化的驗證(科展報告)。新竹高中 薛良凱。 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/32/pdf/32h/094.pdf>
3. Gabriela Quirós(Apr 19,2016)。This Pulsating Slime Mold Comes in Peace。KQED。 <https://www.kqed.org/science/635319/this-pulsating-slime-mold-comes-in-peace>
4. 磁力對黏菌所造成的影響 Alice Dimonte, Angelica Cifarelli, Tatiana Berzina, Valentina Chiesi, Patrizia Ferro, Tullo Besagni, Franca Albertini, Andrew Adamatzky, Victor Erokhin (November 2014), *Magnetic Nanoparticles Loaded Physarum polycephalum: Directed Growth and Particles Distribution*, PubMed
5. 徐錦源(1994)。蜜蜂磁鐵的沈積機制及磁場感應的研究。國立清華大學生命科學研究所博士論文。
6. 泛科學_鳥兒內建的磁羅盤_鳥的感官。貓頭鷹出版社。 <https://pansci.asia/archives/59985>
7. Wiltschko, W., & Wiltschko, R. (2005). Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 191(8), 675–693. <https://doi.org/10.1007/s00359-005-0627-7>
8. 黃貞祥(2003)。蜜蜂的磁鐵沉積及磁場感應。國立清華大學生命科學系碩士論文。
9. 詹鈺珮(2009)。蜜蜂磁鐵礦化機轉研究。長庚大學生物醫學研究所碩士論文。
10. Gould JL, Kirschvink JL, Deffeyes KS. Bees have magnetic remanence. *Science*. 1978;201(4360):1026–8.
11. Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Woodford BJ. Magnetite biomineralization in the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1992;89(16): 7683–7.
12. 柯富耀(2005)。蜜蜂磁場導航的信息傳遞之研究。國立清華大學分子與細胞生物研究所碩士論文。
13. Walcott C, Gould JL, Kirschvink JL. Pigeons have magnets. *Science*. 1979;205(4410):1027–9.
14. Blakemore RP. Magnetotactic bacteria. *Annu Rev Microbiol*. 1982;36:217–38.
15. Frankel RB, Blakemore RP, Wolfe RS. Magnetite in freshwater magnetotactic bacteria. *Science*. 1979;203(4387):1355–6.
16. Matsunaga NN. Highly sensitive detection of allergen using bacterial magnetic particles. *Anal Chim Acta*. 1993;281(3):585–9.
17. AlphanDéry E, Faure S, Seksek O, Guyot F, Chebbi I. Chains of magnetosomes extracted from AMB-1 magnetotactic bacteria for application in alternative magnetic field cancer therapy. *ACS Nano*. 2011;5(8):6279–96.
18. Borg S, Hofmann J, Pollithy A, Lang C, Schüler D. New vectors for chromosomal integration enable high-level constitutive or inducible magnetosome expression of fusion proteins in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Appl Environ Microbiol*. 2014;80(8):2609–16.
19. AlphanDéry, E., Idbaih, A., Adam, C. et al. Biodegraded magnetosomes with reduced size and heating power maintain a persistent activity against intracranial U87-Luc mouse GBM tumors. *J Nanobiotechnol* 17, 126 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0555-2>
20. Wen, T., Zhang, Y., Geng, Y. et al. Epsilon-Fe₂O₃ is a novel intermediate for magnetite biosynthesis in magnetotactic bacteria. *Biomater Res* 23, 13 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0162-1>