

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030313

**Thigmokinesis 對多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦交替
性轉向反應的影響**

學校名稱：臺中市華盛頓高級中學

| | |
|---|------------------|
| 作者： 國二 李泓儒 國一 賴岑妃 國一 黃子苓 | 指導老師： 江宏惟 |
|---|------------------|

關鍵詞：鼠婦、交替性轉向反應、非定向運動

摘要

本研究探討多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦是否具有 Thigmokinesis，並且此行為是否與鼠婦的交替性轉向反應有關。在選擇室實驗中，5 分鐘內有 96.7%，10、15 分鐘內有 86.7%、93.3% 的鼠婦選擇停棲在粗糙表面，且在無轉彎的 T 字迷宮中，有 95% 的鼠婦在轉向時會受到粗糙面的影響，且當表面越粗糙時，鼠婦轉彎角度越大，此確立 Thigmokinesis 與鼠婦的轉向反應有關。我們進一步探討外在刺激的影響，發現有 73.3% 的鼠婦受到外在刺激後，會產生交替性轉向，且當強制轉彎次數增加，鼠婦的交替性轉向反應頻率也增加，因此證明除了強制轉向次數外，外在刺激與牆面的粗糙程度也是影響轉向反應的因素之一。

壹、 前言

一、研究動機

生物具有生長、生殖、感應及代謝等生命現象，部分生物天生具有對單一刺激趨近或背離等行為，稱為趨性(taxis)。方、許與黃在研究中提到多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦皆有交替性轉向反應，且此反應可以連續發生(方、許與黃，2022)，這種在不同 T 字路口輪流轉向的反應與國中課程提及的趨性有所不同，影響鼠婦的交替性轉向反應的因素並非趨性，C.P. Friedlander 在研究中提到鼠婦具有 Thigmokinesis 的現象，因此我們想探討 Thigmokinesis 在鼠婦進行交替性轉向反應時扮演的角色，並且更進一步探討更多會影響鼠婦交替性轉向反應的因素，例如：非定向運動中的 Thigmokinesis 及轉彎次數對交替性轉向反應的影響，此外還探討除了強制轉彎外，外在環境的刺激是否會影響此種反應的發生。

二、目的

(一) 探討何種因素會影響鼠婦交替性轉向反應。

1. 強制轉彎次數對交替性轉向反應的影響。
2. 外在刺激的有無對交替性轉向反應的影響。

(二) 探討粗糙表面是否會影響鼠婦交替性轉向反應。

1. 多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦對於粗糙及光滑表面的偏好。
2. Thigmokinesis 是否會影響鼠婦交替性轉向反應。
3. 轉彎次數與粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應的影響。
4. 不同粗糙表面是否會影響鼠婦轉向角度。

三、文獻回顧

(一) Thigmokinesis

動物的先天行為或本能依賴於刺激和反應，最簡單的例子為反射行為，另一種先天行為是運動(Kinesis)與趨性(Taxis)，趨性會使動物產生趨向或是背離刺激的定向運動，例如：飛蛾朝向燈光飛行、蟑螂背離光源移動，而 Kinesis 是種非定向運動，動物因刺激而增加或是降低運動頻率，例如：草履蟲在環境食物充足時會使移動變慢以及增加旋轉頻率。Thigmokinesis 中"Thigmo"是由希臘文單詞 thigma（意為“接觸”）衍生而來的詞

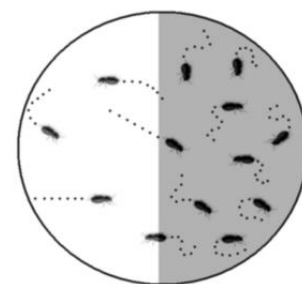


圖 1.

鼠婦在溫暖條件下，轉彎頻率增加。

根，指動物對於外界刺激產生的運動反應，這種刺激通常是指碰觸或壓力，在 C.P. Friedlander 研究中提到鼠婦具有 Thigmokinesis，當鼠婦碰觸粗糙的表面時會降低移動速度(C.P. Friedlander, 1964)，此行為的強度會受到接觸面積跟接觸面粗糙度的影響，除此之外濕度也會影響鼠婦的移動頻率(如圖 1)，Thigmokinesis 可以分為正向(positive)以及負向(negative)，positive thigmokinesis 形容生物體碰觸到物體表面時，會降低移動速度，鼠婦就是屬於此類型。本研究將試著確認多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦具有 Thigmokinesis 的現象，再更進一步結合 T 字形迷宮來探討此行為是否與交替性轉向反應有關聯，此外也探討除了強制轉向的行為外，還有何種因素會影響鼠婦產生交替性轉向反應。

(二) 交替性轉向反應 (Turn alternation reaction)

當鼠婦遇到轉彎時，如果第一次轉彎時是右轉，那麼鼠婦下一次轉彎就會是左轉，這就是交替性轉向反應，除了鼠婦外也有其他生物具有這種特性，例如：草履蟲、麵包蟲 (Grosslight、Ticknor, 1953)(Lepley、Rice, 1952)，對於生物之所以擁有交替性轉向反應，有兩種假說，一種是說鼠婦為了逃避天敵、快速離開不適應的環境(R. N. Hughes, 1967)，另一種是說鼠婦為了避免雙側不對稱的腿部運動(bilaterally asymmetrical leg movements)又稱為 BALM(R. N. Hughes, 1987)。

方誌鈞等人的研究中指出光滑鼠婦及多霜蠟鼠婦經強制轉向後，鼠婦移動的距離長度會影響交替性轉向反應，當移動距離越長，交替性轉向反應比率降低，且多霜蠟鼠婦和滑鼠婦在強制左轉或右轉的情況下，都有交替性轉向反應，且會連續呈現該反應(方、許、黃, 2022)，研究中還指出當鼠婦在路口轉彎時，內側胸肢的站

立期會比外側胸肢來的長(方、許、黃，2022)，但研究中仍未確定何種原因會導致內側胸肢站立期較長，本研究將嘗試以鼠婦的 Thigmokinesis 來解釋內側胸肢站立期較長，因而導致鼠婦產生交替性轉向反應來支持此假說。



圖 2. 光滑鼠婦轉向連續畫面

引用自方誌鈞、許韶恩、黃名禎 (2022)

(三) 實驗架構圖

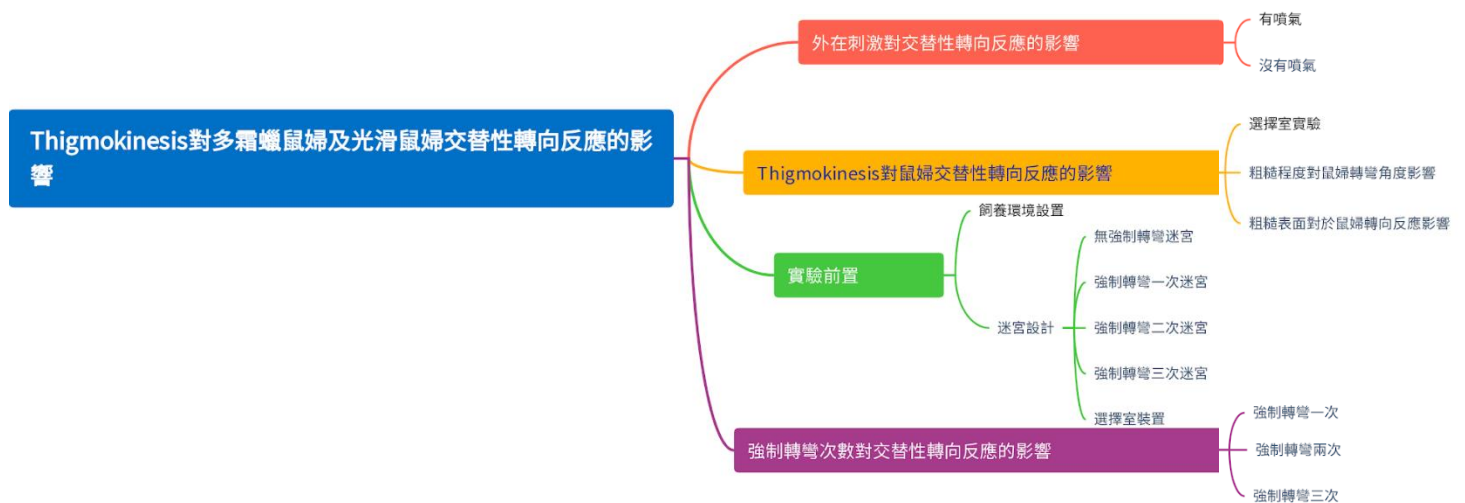


圖 3. 實驗架構圖 (作者自繪)

貳、 研究設備與器材

一、研究儀器

表 1. 研究器材清單

| 名稱 | 廠商/規格 | 備註 |
|---------------------------|---------------|------------|
| 水苔 | 100g | 購自愛森蟾甲蟲生物館 |
| 飼養盒 | 18 cm×12 cm | 購自慢慢爬蟲用品 |
| 透氣膠帶 | 寬 1.3cm | 購自慢慢爬蟲用品 |
| 篩網 | 孔洞直徑 2mm /3mm | 購自全泰五金 |
| 甲蟲培養土 | 1Kg | 購自愛森蟾甲蟲生物館 |
| 液晶溼度計 | 35.7×16.8mm | 購自慢慢爬蟲用品 |
| 黃豆粉 | 500g | 購自全聯福利中心 |
| 墨魚骨 | 無 | 購自鼠來鼠趣 |
| 吹球 | Glottos | 購自 Glottos |
| 計時器 | 無 | 購自全友五金行 |
| 灑水瓶 | 1L | 購自全友五金行 |
| 砂紙 220Cw、600Cw、 2000Cw | 28cm × 23 cm | 購自振宇五金 |

表 2. 設備、電子材料清單

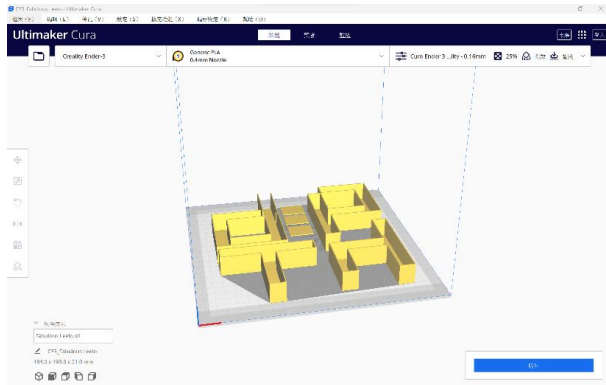
| 名稱 | 廠商/規格 | 備註 |
|-----------------|-----------------|---------------|
| Crealty Ender-3 | Crealty | 購自創想三維 |
| 9g 伺服馬達 | 9g | 購自傑森創工 |
| 麵包板 | 400 孔 (85×55mm) | 購自傑森創工 |
| 杜邦線 | 公對公、公對母 | 購自傑森創工 |
| PLA 線材 | 1.75mm、600g | 購自明燿 3D 列印 |
| Arduino uno | Smart Projects | 購自傑森創工 |
| 實物投影機 | IPEVO V4K USB | 購自 Pchome 24h |

參、 研究過程或方法

一、強制轉向迷宮設計

(一) 鼠婦迷宮設計及 3D 列印

1. 我們利用 Autodesk Tinkercad 設計鼠婦轉彎迷宮，再將設計好的檔案轉為 STL 檔以便列印。
2. 我們使用 Creality Ender-3 的 3D 列印機列印迷宮走道，列印條件為下表



| | |
|------|--------|
| 噴頭 | 0.4mm |
| 溫度 | 200°C |
| 層高 | 0.16mm |
| 填充 | 25% |
| 列印速度 | 50mm/s |

圖 4.迷宮模型切片

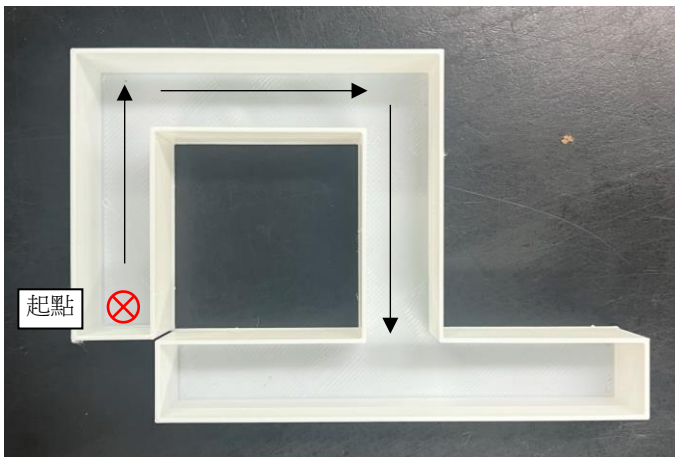


圖 5.強制右轉兩次迷宮

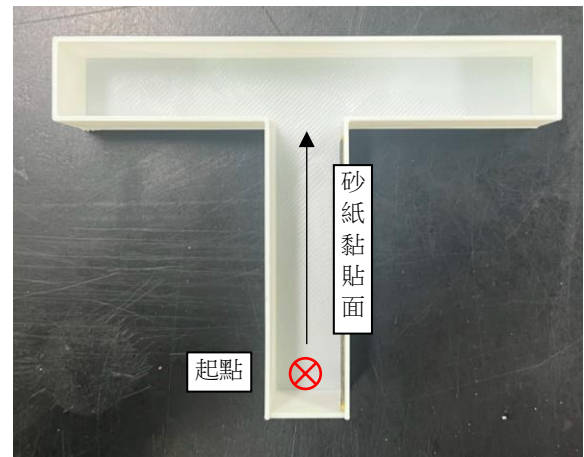


圖 6.右側黏貼砂紙的無轉彎 T 字迷宮

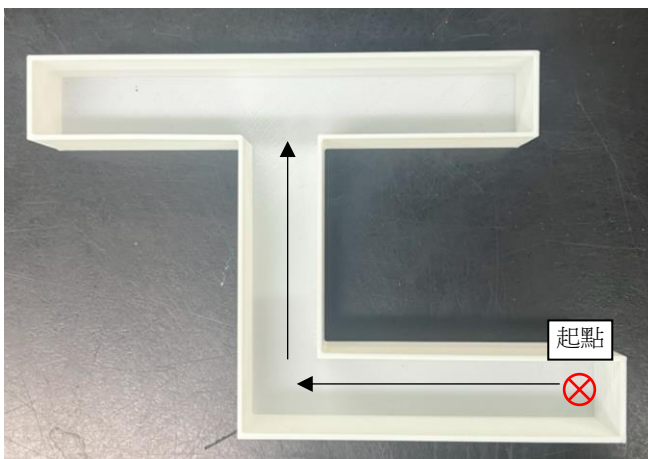


圖 7.強制右轉一次迷宮

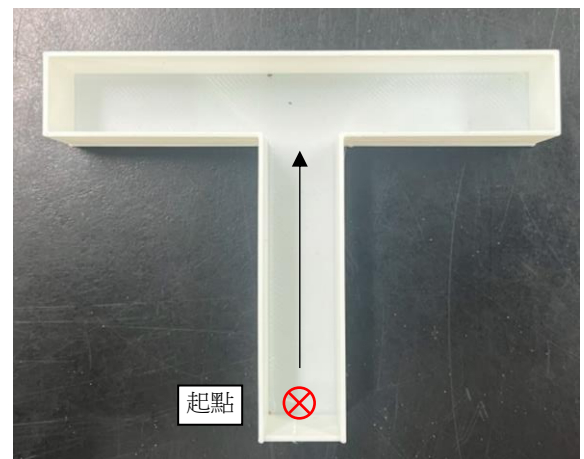


圖 8.無強制轉彎 T 字迷宮

(二) 強制轉向三次迷宮設計

1. 我們使用網路版 Tinkercad 設計強制轉彎三次的迷宮
2. 再將設計好的檔案轉為 STL 檔以便列印
3. 我們使用 Creality Ender-3 的 3D 列印機列印迷宮，條件同上表
4. 我們利用 Arduino 編寫程式並將程式燒錄於 Arduino UNO 中，配合伺服馬達製作迷宮走道閘門
5. 將編寫好的 Arduino uno 以及自製閘門和迷宮走道於木板上組並黏牢。

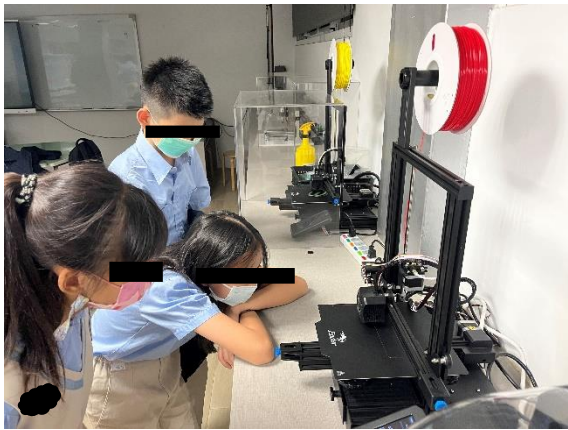


圖 9. 學生操作 3D 列印機

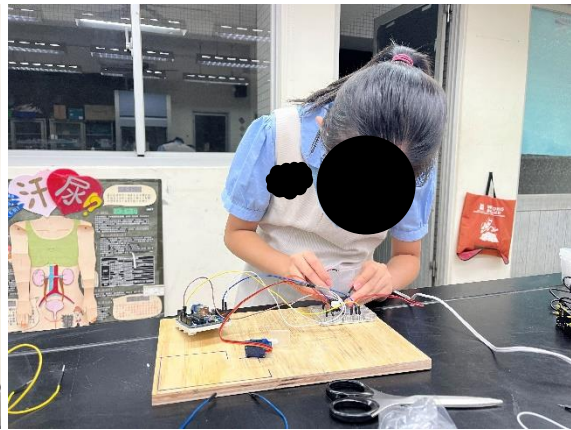


圖 10. 學生組裝電路



圖 11. 閘門程式碼

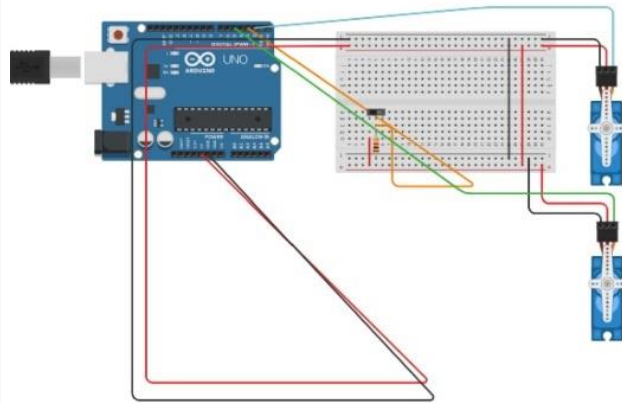


圖 12. 電路設計圖

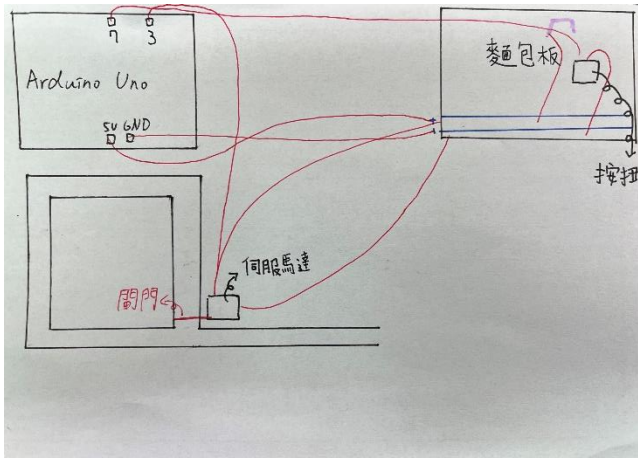


圖 13. 強制轉彎三次迷宮電路設計圖

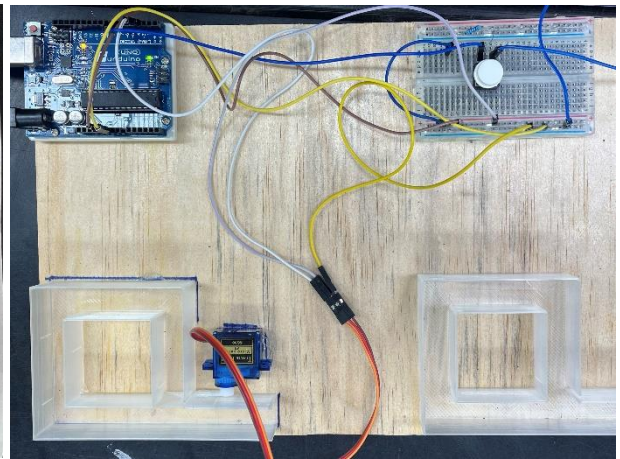


圖 14. 強制轉彎三次迷宮俯視圖

二、迷宮實驗方法

(一) 強制轉彎一、二次 T 字形迷宮實驗步驟

1. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，再使用濕紙巾將迷宮擦拭乾淨，最後利用衛生紙擦乾。
2. 使用自製抓取器抓取鼠婦，並將鼠婦放置於迷宮起點。
3. 將鼠婦放下後，計時三十秒，並記錄鼠婦轉向結果。
4. 以 Excel 進行數據整理及統計分析。
5. 若鼠婦於實驗中回頭或於三十秒內沒有移動，則重新進行實驗。
6. 進行外來刺激實驗時，於鼠婦移動中以吹球噴氣兩次作為外來刺激，並將轉向結果進行記錄，同第五步驟。



圖 15. 學生進行迷宮轉向實驗



圖 16. 學生進行迷宮轉向實驗

(二) 強制轉彎三次 T 字形迷宮實驗步驟

1. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，再使用濕紙巾將迷宮擦拭乾淨，最後利用衛生紙擦乾。
2. 於實驗前將電源啟動，確認機器是否正常運作。
3. 使用自製抓取器抓取鼠婦，並將鼠婦放置於迷宮起點。
4. 將鼠婦放下後，計時三十秒，並記錄鼠婦轉向結果。
5. 在鼠婦走過第一個轉彎處後按下按鈕升起閘門。
6. 記錄轉向結果並以 Excel 進行數據整理。
7. 若鼠婦於實驗中回頭或於三十秒內沒有移動，則重新進行實驗。
8. 進行外來刺激實驗時，於鼠婦移動中以吹球噴氣兩次作為外來刺激，並將轉向結果進行記錄，同第五步驟。

(三) 鼠婦對環境偏好選擇室實驗

C.P. Friedlandery 在研究中提到鼠婦具有 Thigmokinesis 的特性，當鼠婦於合適環境時，移動速度會減緩，使其能在合適環境停留較長時間，我們根據此特性在 9cm 培養皿中設計鼠婦的選擇室(Choice chamber)，當鼠婦進入培養皿中會持續移動，在不同時間點觀察各區域的鼠婦數目，來了解鼠婦偏好的環境及是否具有 Thigmokinesis，若鼠婦在砂紙區被觀測到的機率較高，即代表鼠婦在較偏好砂紙區，以及在砂紙區移動速度較慢。

1. 將 250 號砂紙長 14cm 寬 1.5cm 利用雙面膠黏貼於 9cm 培養皿一側。
2. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，再使用濕紙巾將迷宮擦拭乾淨，最後利用衛生紙擦乾。
3. 使用自製抓取器抓取 10 隻鼠婦，並放置在培養皿中。
4. 放上蓋子後，並利用計時器計時 5 分鐘、10 分鐘及 15 分鐘，時間到後記錄培養皿兩邊的鼠婦數量。
5. 並利用 Excel 紀錄並分析。

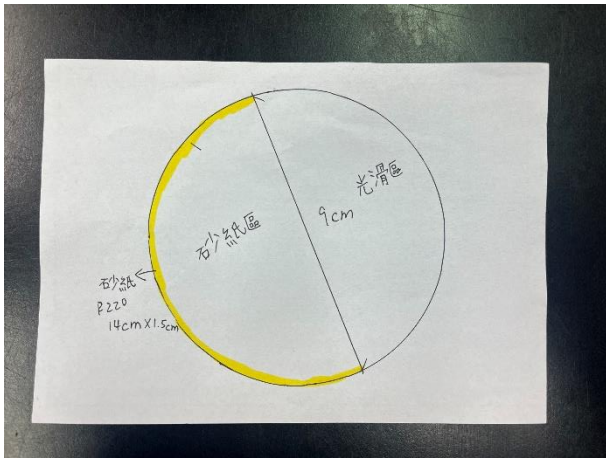


圖 17. 選擇室實驗設計圖

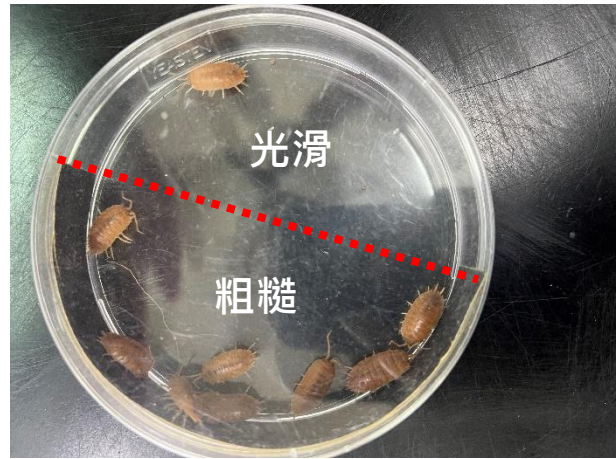


圖 18. 選擇室實驗

(四) 不同粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應影響

1. 將 220 號、600 號及 2000 號砂紙長 14cm 寬 1.5cm 利用雙面膠黏貼於未強制轉彎 T 字迷宫走道一側。
2. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，再使用濕紙巾將迷宫擦拭乾淨，最後利用衛生紙擦乾。
3. 使用自製抓取器抓取鼠婦，並將鼠婦放置於迷宫起點
4. 將鼠婦放下後，計時三十秒，並記錄鼠婦左、右轉向結果
5. 若鼠婦當次實驗並未碰觸砂紙則數據不算，將結果紀錄於 Excel 統計並分析。

(五) 強制轉彎與粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應影響

1. 將 220 號砂紙利用雙面膠黏貼於強制轉彎一次 T 字迷宫走道一側。
2. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，再使用濕紙巾將迷宫擦拭乾淨，最後利用衛生紙擦乾。
3. 使用自製抓取器抓取鼠婦，並將鼠婦放置於迷宫起點
4. 將鼠婦放下後，計時三十秒，並記錄鼠婦左、右轉向結果
5. 若鼠婦當次實驗並未碰觸砂紙則數據不算，將結果紀錄於 Excel 進行 T-test 檢定並分析。



圖 22.學生利用軟體製作鼠婦移動軌跡

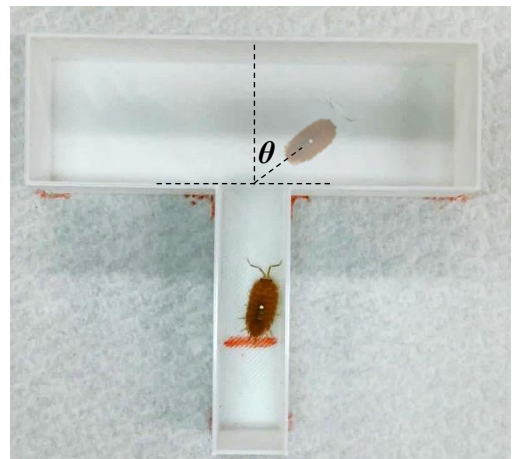


圖 23.鼠婦轉向角度測量

三、鼠婦飼養環境

我們在 18.5×10.5×7cm 的飼養盒中放入 40 隻鼠婦，並且以 35g 的椰纖土作為基底，再放置瓶蓋作為飼料盒，定期加入 0.3g 的飼料，我們將飼養盒一半的面積以水苔覆蓋，使用噴瓶將濕度維持在 99%，當墨魚骨呈薄片狀即加入新的墨魚骨，幫鼠婦補充鈣質，在飼養盒側面的透氣孔貼上透氣膠帶防止鼠婦逃脫，我們在每周的一、三、五進行餵食。

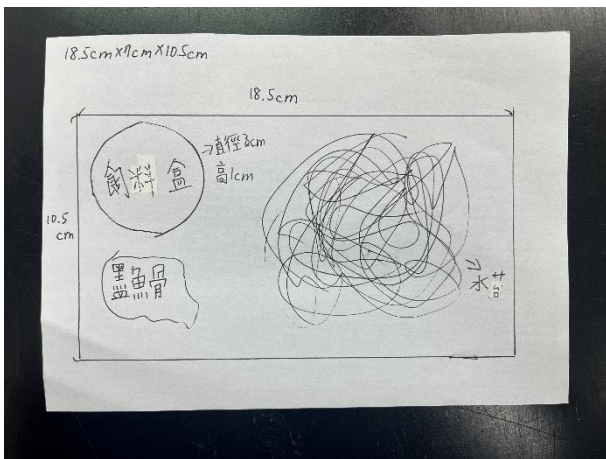


圖 24. 鼠婦飼養環境草圖



圖 25.鼠婦飼養環境照

肆、研究結果

一、強制轉彎次數對鼠婦交替性轉向反應之影響

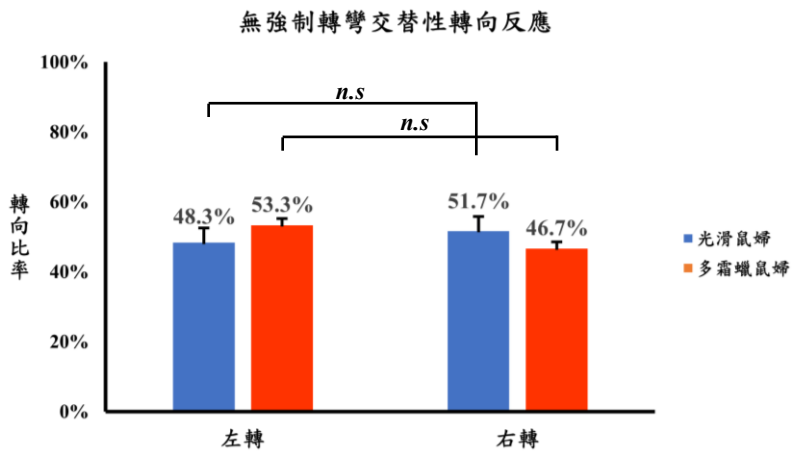


圖 26.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.04$, $\chi^2=0.067$, $*p>0.5$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.02$, $\chi^2=0.267$, $*p>0.5$)

根據圖 26，在無強制轉彎交替性轉向反應實驗中，光滑鼠婦左轉的比率是 48.3%，右轉為 51.7%；多霜蠟鼠婦左轉的比率是 53.3%，右轉的比率為 46.7%， $p>0.5$ 由此可知，鼠婦在無強制轉彎下左、右轉無顯著差異，且比例接近 1:1。

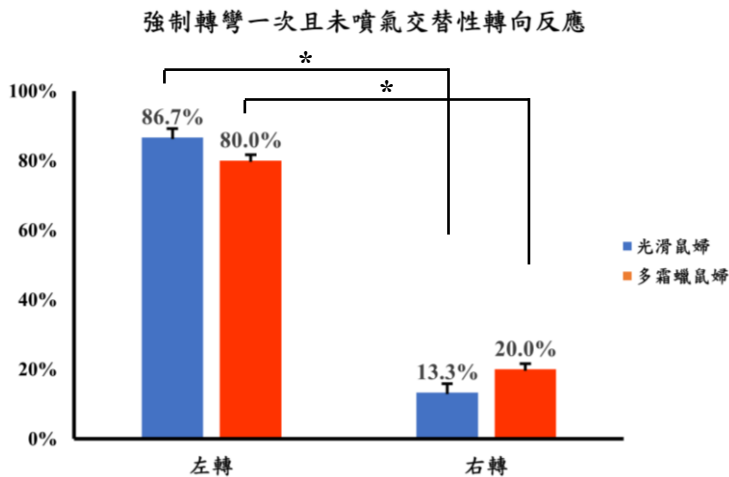


圖 27.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.03$, $\chi^2=32.267$, $*p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.02$, $\chi^2=21.600$, $*p<0.01$)

從圖 27 實驗結果可得知，在強制右轉一次的情況下，有 86.7% 的光滑鼠婦和 80.0% 的多霜蠟鼠婦會在 T 字路口左轉 ($p<0.01$)，可知鼠婦在強制轉彎一次時具有明顯的交替性轉向反應，會產生轉向方向與上一次不同的現象。

強制轉彎二次且未噴氣交替性轉向反應

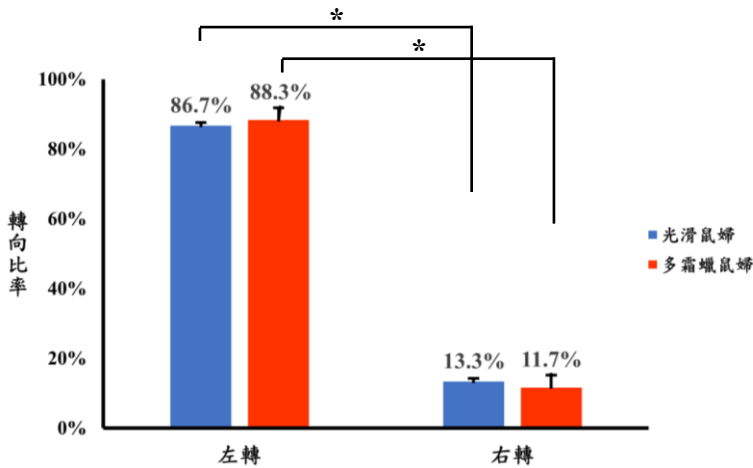


圖 28.

(光滑鼠婦 n=60, SD=0.01, $\chi^2=32.267$, * $p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=60, SD=0.02, $\chi^2=35.267$, * $p<0.01$)

強制轉彎三次且未噴氣交替性轉向反應

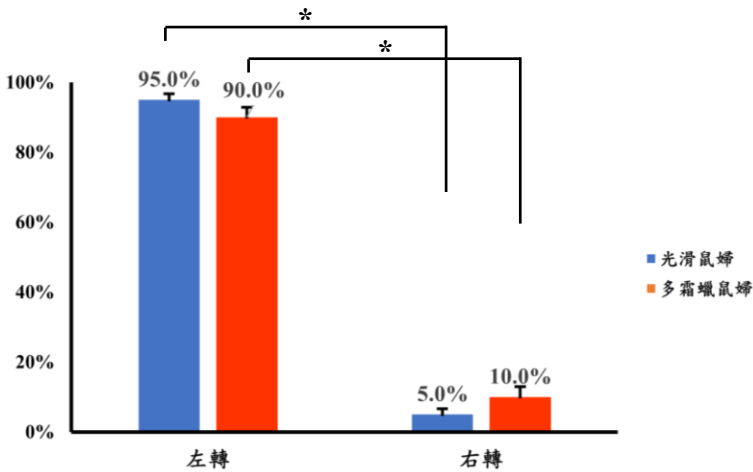


圖 29.

(光滑鼠婦 n=60, SD=0.03, $\chi^2=48.6$, * $p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=60, SD=0.02, $\chi^2=38.4$, * $p<0.01$)

我們逐漸增加迷宮的強制轉彎次數，由以上圖表可以看出，強制轉彎兩次和三次相比，強制轉彎三次會讓鼠婦產生更明顯的交替性轉向反應，光滑鼠婦左轉的比率從 86.7% 提升到了 95.0% ($p<0.01$)，多霜蠟鼠婦左轉的比率也從 88.3% 提升到了 90.0% ($p<0.01$)，由此可知，強制轉彎次數的上升，會使鼠婦交替性轉向反應頻率上升。

二、外在刺激對鼠婦交替性轉向反應的影響

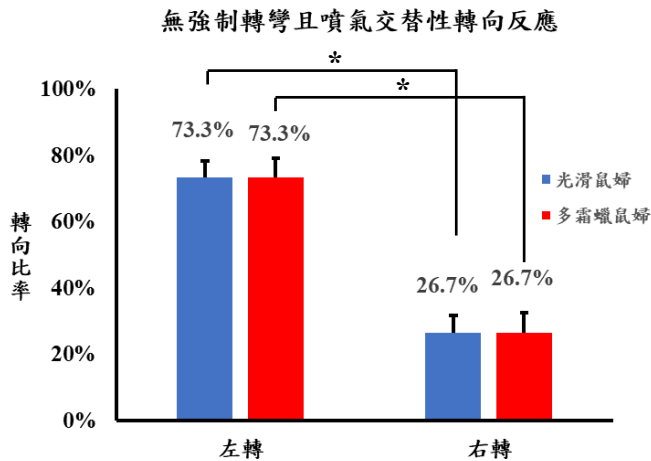


圖 30.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.05$, $\chi^2=13.067$, $*p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.06$, $\chi^2=13.067$, $*p<0.01$)

接下來我們想了解，外在的刺激是否會影響鼠婦交替性轉向反應，因此我們利用吹球對鼠婦進行吹氣，得到以下結果。圖 30 顯示在鼠婦受到外在刺激且沒有強制轉彎的情況下，光滑鼠婦和多霜蠟鼠婦左轉的比率都是 73.3%，右轉的比率是 26.7% ($p<0.01$)，左、右轉具有顯著差異，外在刺激(噴氣)確實會影響鼠婦交替性轉向反應。

強制轉彎一次且噴氣交替性轉向反應

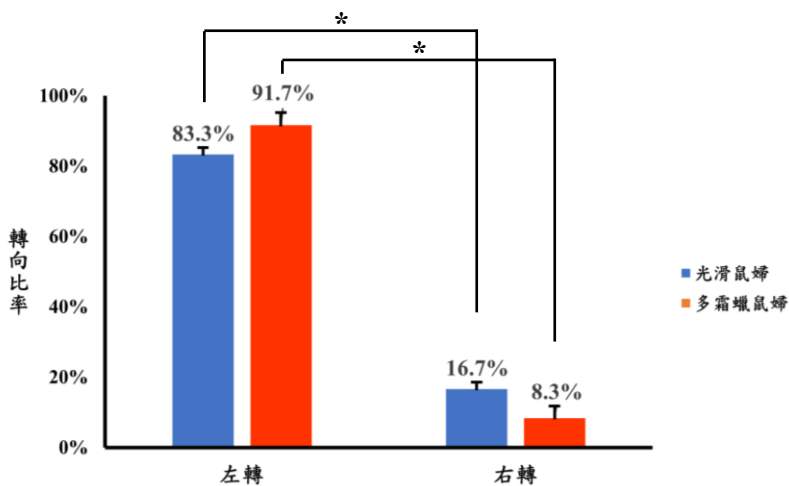


圖 31.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.03$, $\chi^2=26.667$, $*p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.02$, $\chi^2=41.667$, $*p<0.01$)

接下來我們增加強制轉彎的次數，結果如圖 31，在鼠婦有噴氣並強制轉彎一次時，光滑鼠婦左轉的比率是 83.3%，右轉的比率為 16.7%，多霜蠟鼠婦左轉的比率為 91.7%，右轉的比率是 8.3% ($p<0.01$)，交替性轉向反應比率高於無強制轉彎。

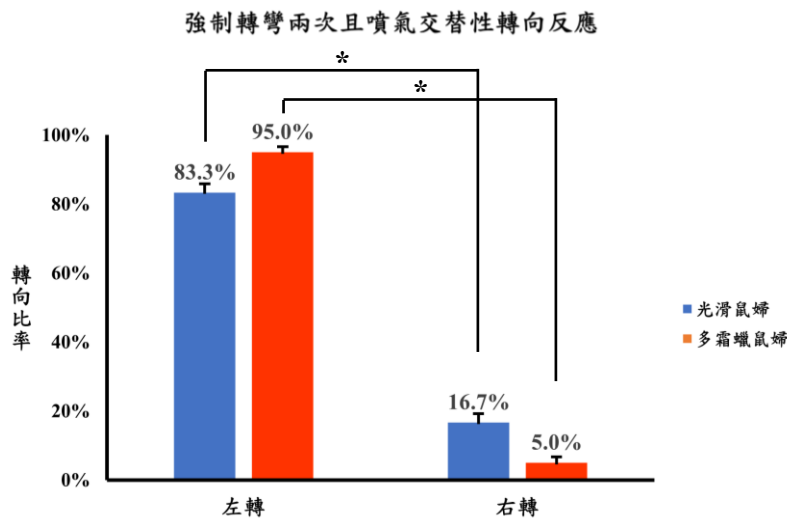


圖 32.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.03$, $\chi^2=26.667$, $*p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.02$, $\chi^2=48.6$, $*p<0.01$)

當進行強制轉彎兩次時，圖 32 顯示光滑鼠婦右轉的比率是 83.3%，左轉的比率為 16.7% ($p<0.01$)，而多霜蠟鼠婦左轉的比率則是 95.0%，右轉 5.0% ($p<0.01$)。

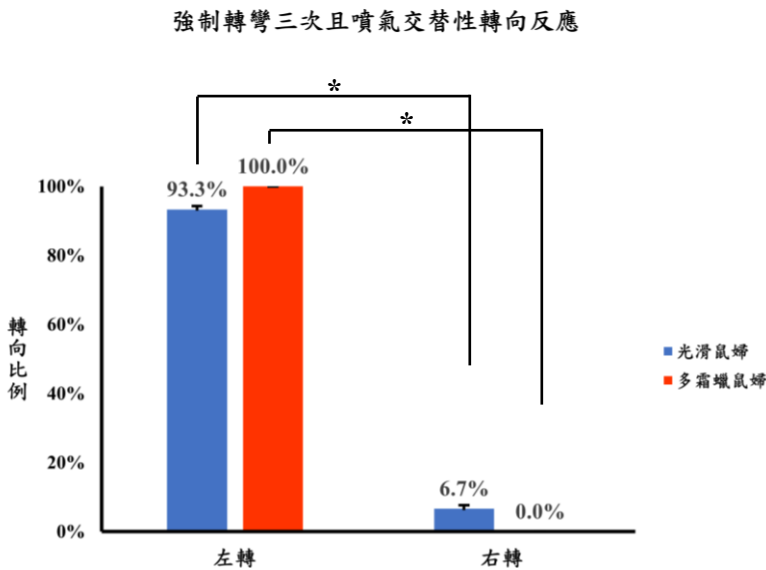


圖 33.

(光滑鼠婦 $n=60$, $SD=0.03$, $\chi^2=45.067$, $*p<0.01$; 多霜蠟鼠婦 $n=60$, $SD=0.02$)

當強制轉彎次數達三次後，兩種鼠婦的交替性轉向反應皆非常明顯，光滑鼠婦有 93.3% 的比率會左轉，只有 6.7% 的鼠婦右轉 ($p<0.01$)，60 隻多霜蠟鼠婦全部都左轉，並沒有右轉的情況發生，由此可知外在刺激及強制轉彎次數皆會影響鼠婦交替性轉向反應。

三、外在刺激與強制轉彎次數對鼠婦交替性轉向反應影響

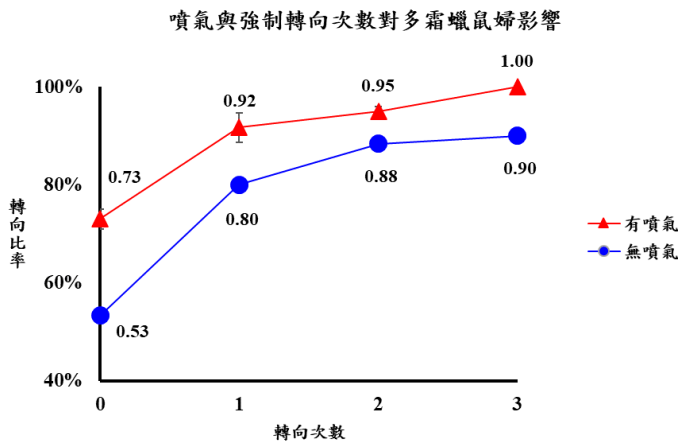


圖 34.

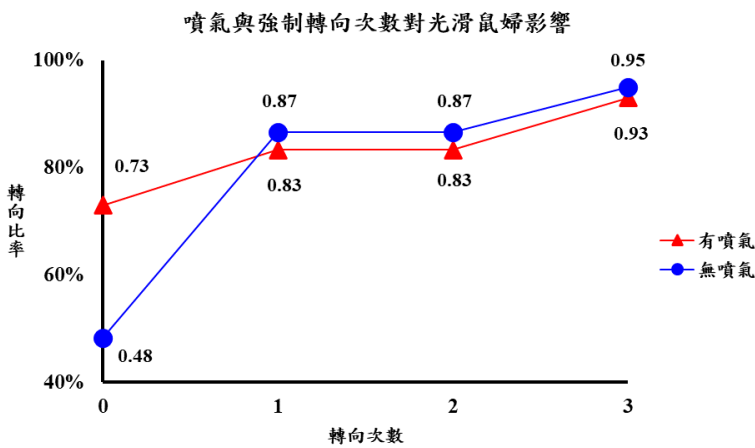


圖 35.

我們綜合強制轉彎次數及外在刺激對鼠婦交替性轉向反應的實驗結果，由圖 34 與圖 35 可知，光滑鼠婦和多霜蠟鼠婦隨著強制轉向次數的增加，左轉比率呈現上升的趨勢，也就是交替性轉向反應變得越來越明顯，多霜蠟鼠婦受到外在刺激時，交替性轉向反應會更加明顯，在受噴氣的情況下比沒噴氣左轉了更多次，但是光滑鼠婦卻不一樣，左轉比例反而下降，跟文獻中提到的不同，兩種鼠婦在噴氣的情況下 T 字迷宮左轉機率皆增加，左右轉比從 1:1 變成 3:1。

四、鼠婦對環境偏好選擇室實驗

鼠婦觸動性選擇室(5分鐘)

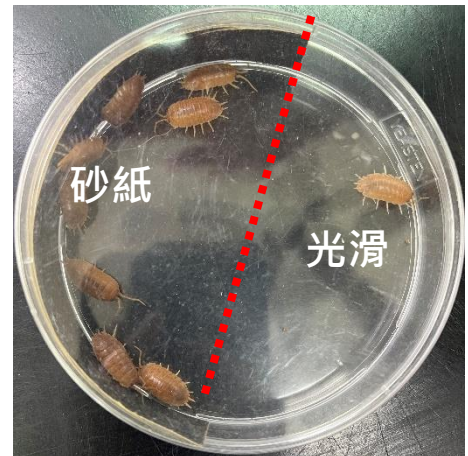
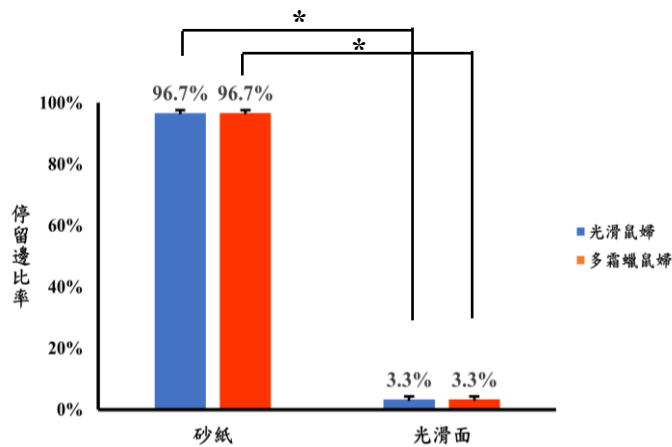


圖 36.

圖 37.

(光滑鼠婦 n=30, SD=0.02, $\chi^2=26.133$, * $p < 0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=30, SD=0.02, $\chi^2=26.133$, * $p < 0.01$)

我們想了解多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦對於環境的偏好，因此進行選擇室實驗，根據圖 36 實驗結果，兩種鼠婦被放入選擇室 5 分鐘時，有 96.7%的光滑鼠婦和多霜蠟鼠婦會靠近砂紙區的那一側（即粗糙面），只有 3.3%的光滑鼠婦與多霜蠟鼠婦會停留在光滑面，兩種鼠婦皆有明顯的偏好粗糙表面的表現，接著我們增加觀察時間。

鼠婦觸動性選擇室(10分鐘)

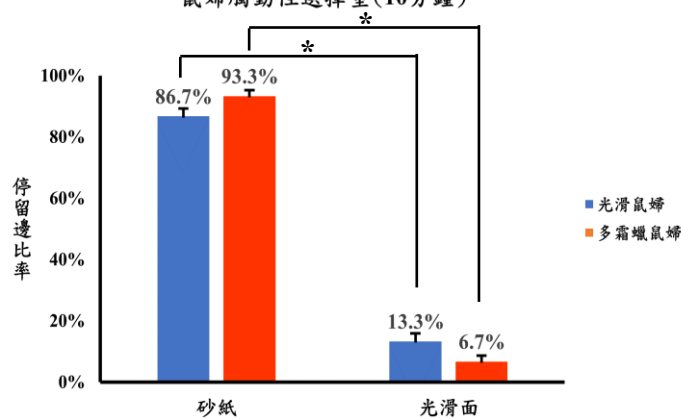


圖 38.

(光滑鼠婦 n=30, SD=0.03, $\chi^2=16.13$, * $p < 0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=30, SD=0.02, $\chi^2=$, * $p < 0.01$)

當觀察時間為 10 分鐘時，從上圖 38 的實驗結果可以發現，有 86.7%的光滑鼠婦和 93.3%多霜蠟鼠婦會靠近砂紙區，只有 13.3%的光滑鼠婦與 6.7%多霜蠟鼠婦會停留在光滑面，多數的鼠婦明顯偏好貼砂紙的那一側。

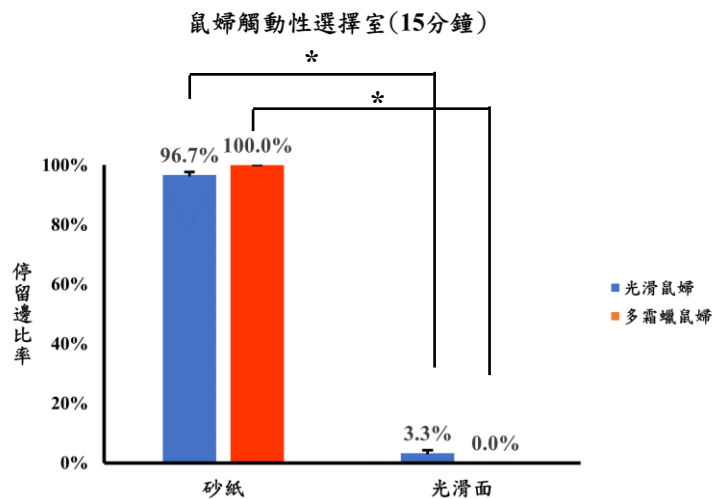


圖 39.

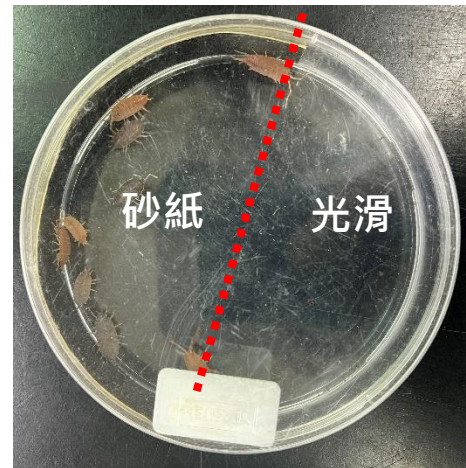


圖 40.

(光滑鼠婦 n=30, SD=0.01, $\chi^2=26.13$, * $p < 0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=30, SD=0.01, $\chi^2=$, * $p < 0.01$)

在停留 15 分鐘的狀況下，有 96.7%的光滑鼠婦在粗糙砂紙面，另外 3.3%則在光滑面，多霜蠟鼠婦則全部都在靠近粗糙面的範圍，以上可以得知鼠婦偏好於粗糙的表面，並且移動速度會減緩，接下來我們想了解此種對於粗糙表面的偏好，是否會影響鼠婦的交替性轉向反應。

五、粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應的影響

粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應影響(左側黏貼砂紙)

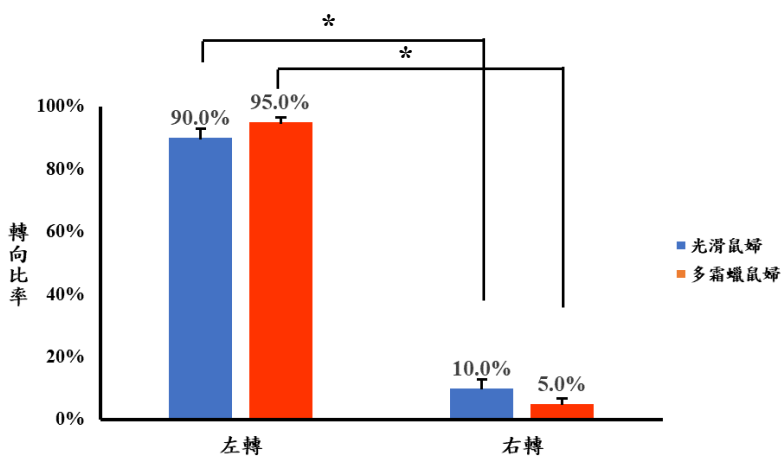


圖 41.

(光滑鼠婦 n=60, SD=0.03, $\chi^2=38.400$, * $p < 0.01$; 多霜蠟鼠婦 n=60, SD=0.02, $\chi^2=48.600$, * $p < 0.01$)

由上圖 41 可知，光滑鼠婦左轉的比率為 90.0%，右轉的比率是 10.0%，多霜蠟鼠婦左轉的比率為 95.0%，右轉的比率是 5.0%，鼠婦會往貼砂紙的那一邊轉，不管左右都有這個現象。

粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應影響(右側黏貼砂紙)

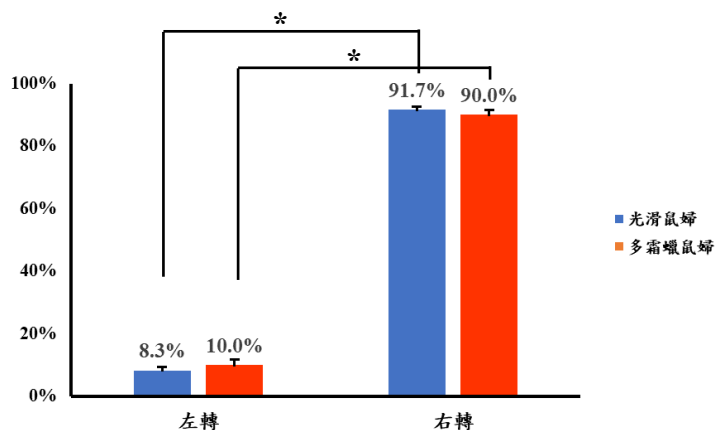


圖 42.

(光滑鼠婦 $n=60$ ， $SD=0.01$ ， $\chi^2=41.667$ ， $*p<0.01$ ；多霜蠟鼠婦 $n=60$ ， $SD=0.02$ ， $\chi^2=38.400$ ， $*p<0.01$)

從上圖 42 的數據可以得知，在砂紙貼在迷宮的右牆時，有 91.7% 的光滑鼠婦 90.0% 的多霜蠟鼠婦會右轉，有 8.3% 的光滑鼠婦和 10.0% 的多霜蠟鼠婦會左轉，此實驗證明砂紙貼的位置會影響鼠婦的轉向貼在右牆時，大部分的鼠婦會右轉，鼠婦會往貼砂紙的地方轉彎。

2000 號砂紙對光滑鼠婦轉向反應影響

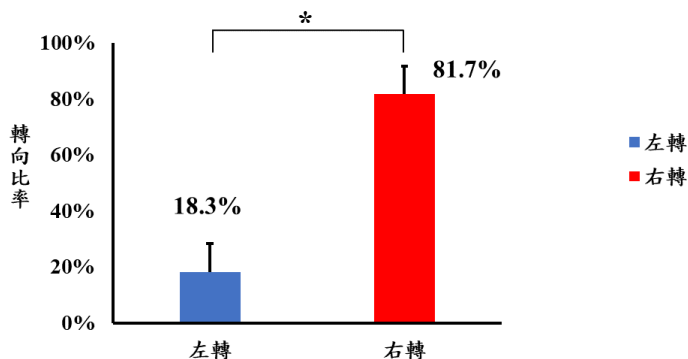


圖 43.

(光滑鼠婦 $n=60$ ， $SD=0.03$ ， $\chi^2=24.067$ ， $*p<0.01$)

由上圖 43 可知，當 T 字迷宮右側貼號數為 2000 的砂紙時，左轉的比例為 18.3%，右轉的比例為 81.7%，這個實驗證實在砂紙為 2000 號的情況下，鼠婦朝砂紙側轉的比率高於向另一側轉的比率。

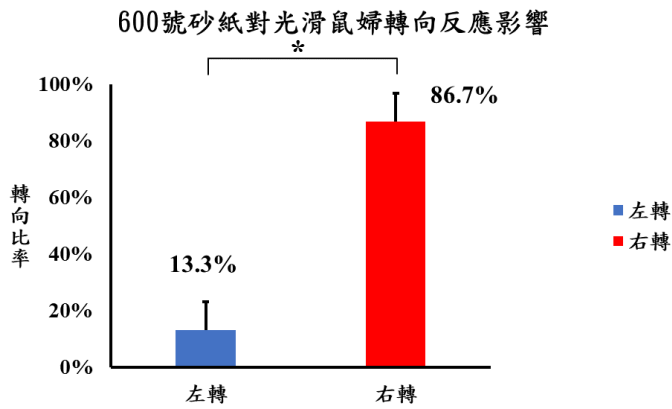


圖 44.

(光滑鼠婦 n=60, SD=0.02, $\chi^2=52.267$, * $p < 0.01$)

根據上圖 44，在迷宮右側貼 600 號砂紙時，鼠婦右轉的比率為 86.7%，左轉的比率是 13.3%，可以得知，鼠婦有較大的機率會往右轉。

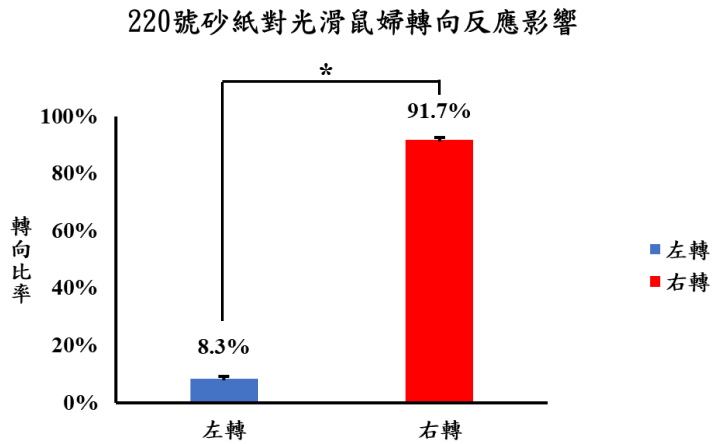


圖 45.

(光滑鼠婦 n=60, SD=0.01, $\chi^2=41.667$, * $p < 0.01$)

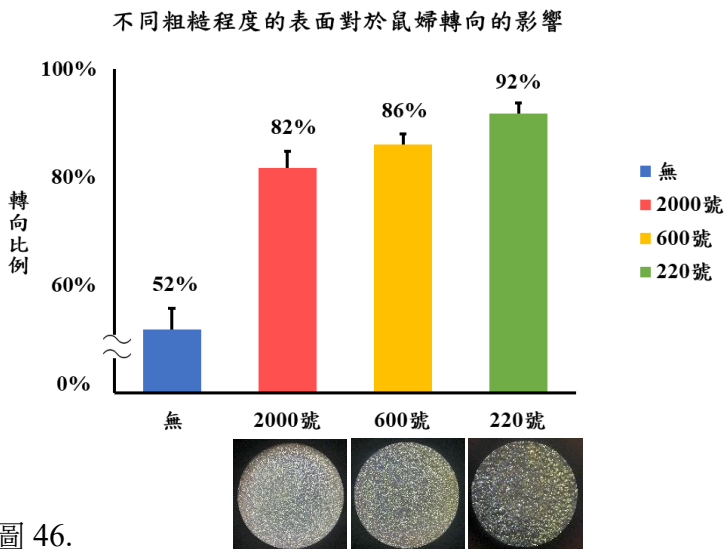


圖 46.

從上圖 46 中可以知道，在砂紙貼右牆的情況下，隨著砂紙粗糙程度的增加，鼠婦向右轉的比率也會增加，在砂紙號數為 2000 時，鼠婦右轉的百分比為 82%，600 號時為 86%，在砂紙號數 220 時則是 92%，並且，在有貼砂紙的時候，右轉的比率相較無砂紙時有大幅的增加。

我們從實驗中發現強制轉彎次數及粗糙表面會影響鼠婦交替性轉向反應，我們進一步探討強制轉彎與粗糙表面兩種變因的交互關係，進行以下實驗。

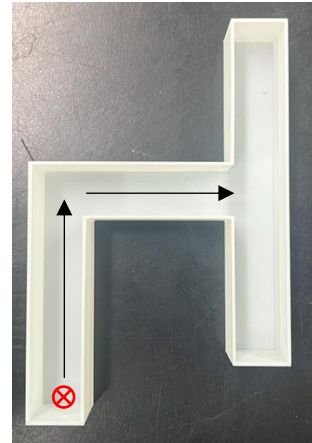
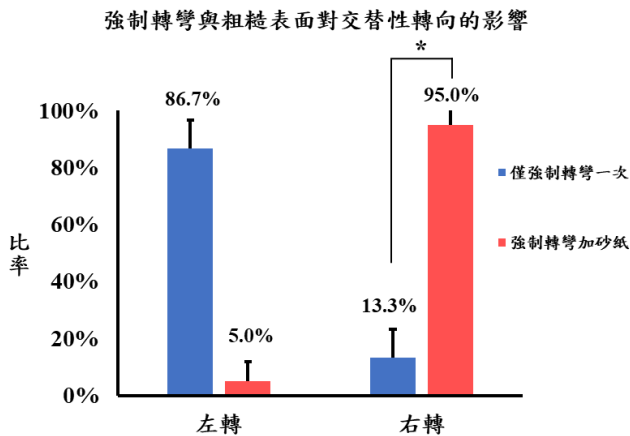


圖 47.

圖 48.

(光滑鼠婦 n=60，強制轉一次組 SD=0.03、強制轉彎加上砂紙組 SD=0.02，* $p < 0.01$)

上圖 47 的數據顯示出，鼠婦同樣在強制轉彎一次的迷宮中，鼠婦根據交替性轉向反應應該向左轉，砂紙卻讓鼠婦有 95.0% 的比率向右轉，朝貼砂紙的那一側轉彎，因此，粗糙表面會影響鼠婦的交替性轉向反應。

六、不同粗糙表面對鼠婦轉向角度的影響



圖 49.

粗糙表面對鼠婦轉彎角度的影響

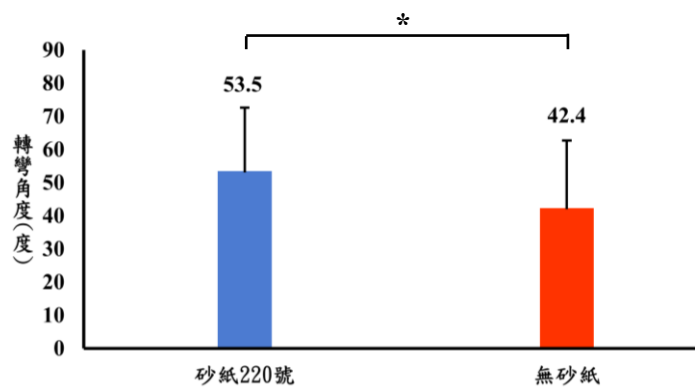


圖 50.

(光滑鼠婦 n=60，砂紙組 SD=19.2、無砂紙組 SD=22.2，* $p < 0.05$)

由上圖 50 可以得知，當右牆有貼砂紙時，鼠婦轉向時相比沒貼砂紙會較接近右牆，也就是鼠婦的轉彎角度會變大，鼠婦與右牆夾角在無砂紙時平均值為 50 度，有砂紙時則是 36.5 度，由此可知，鼠婦在貼砂紙轉彎時會較靠近右牆。

伍、 討論

一、本研究與其他研究的差異性

表 3. 本研究與其他研究比較

| 研究 | 方、許、黃 (2022) | 本研究 | 本研究貢獻 |
|------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 鼠婦貼牆差別 | 僅強制貼牆面 | 利用砂紙貼於牆面 | 增加變因強度，使結果更容易觀察 |
| 迷宮材料 | 樂高積木 | 3D 列印 | 3D 列印較容易控制迷宮變因，且不侷限於樂高積木的寬度 |
| 迷宮設計 | T 型設計 H 型設計 | T 型設計 強制轉彎三次迷宮 轉彎角度探討 | 設計多次強制轉彎迷宮、轉彎角度 |
| Thigmokinesis 探討 | 無 | 設計選擇室及 T 字形迷宮 | 首次探討 Thigmokinesis 對轉向反應的影響 |
| 影響因素 | 僅強制轉彎 | 轉彎次數 外在刺激 轉彎角度 | 探討外在刺激與轉彎次數的影響 |
| 貢獻 | 本研究首次嘗試結合 Thigmokinesis 與交替性轉向反應的關聯，並利用 3D 列印方式製作更符合實驗設計的迷宮以達到實驗需求。 | | |

二、粗糙表面會影響鼠婦的轉向反應

在實驗中，我們觀察到鼠婦在移動時，會貼往有砂紙的那一側進行移動，並且在轉彎時，鼠婦會偏好往貼著砂紙的那一邊轉彎，在方、許、黃的強制貼牆實驗中，鼠婦被強制導往牆面進行移動，在轉彎時有較大比率轉往貼牆的方向(圖 51、圖 52)，與我們的實驗結果相符。我們推測，因為 Thigmokinesis 的影響，鼠婦在轉彎時貼牆一側的胸肢速度變慢，進而導致兩側胸肢速度不一致，未貼牆的胸肢速度較快，導致鼠婦轉向貼牆的那一邊，而我們在牆面上的砂紙加強了鼠婦 Thigmokinesis 強度，使兩側轉向比率的差異更大(圖 53、圖 54)。

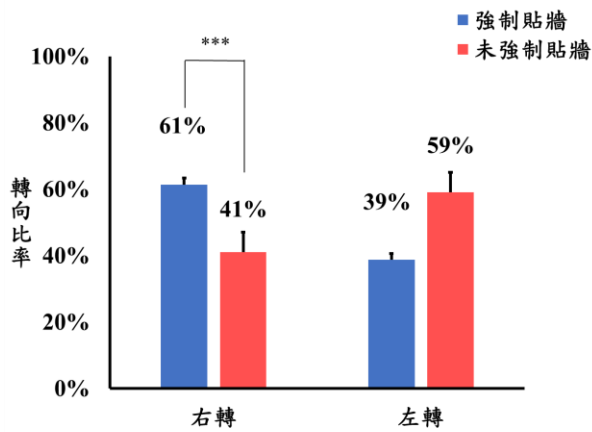


圖 51. 光滑鼠婦強制貼牆

對交替性轉向反應之影響

(引用方誌鈞、許韶恩、黃名禎，2022)

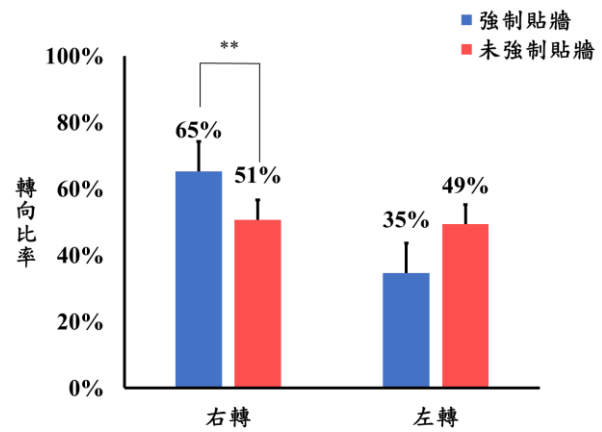


圖 52. 多霜蠟鼠婦強制貼牆

對交替性轉向反應之影響

(引用方誌鈞、許韶恩、黃名禎，2022)

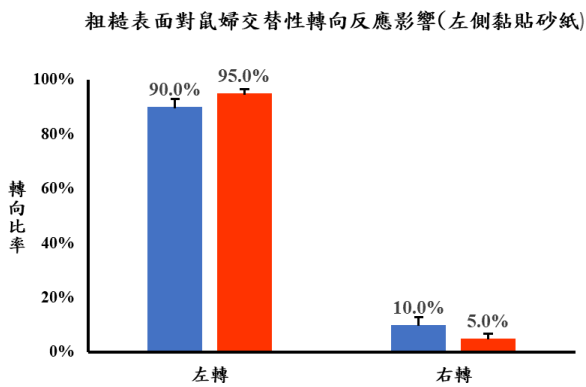


圖 53. 左側黏貼 220 號砂紙的轉向比率

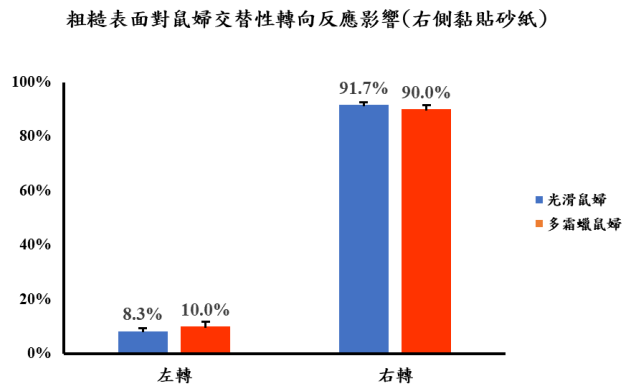


圖 54. 右側黏貼 220 號砂紙的轉向比率

三、多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦的聚集行為

在飼養過程中，我們常觀察到鼠婦們經常有聚集成團的情況，並且在進行選擇室實驗時，我們發現大部分的鼠婦都集中在砂紙旁或同類身邊(圖 55)，而在上述情況下，鼠婦幾乎不會移動，且鼠婦就算沒有在砂紙側，也仍然靠著牆面，並不會停留在空曠處，我們認為鼠婦在選擇室移動時，因為接觸同伴或是牆面導致移動速度變慢，此外鼠婦彼此接觸也被視為減少水分散失的手段。在合適的環境中移動速度變慢，有利於鼠婦生存，相反的在不適當的環境中加快移動速度，可以提高離開惡劣環境的機率，我們設計的選擇室濕度低於鼠婦飼養盒裡的濕度，屬於較低濕度的環境，鼠婦便容易產生此行為，並且 Friedlander 有提到，在低濕度的環境中，Thigmokinesis 會變得明顯。



圖 55. 鼠婦在選擇室聚集情形

四、相同外在刺激對光滑鼠婦及多霜蠟鼠婦有不同程度的影響

在「外在刺激與強制轉彎次數對鼠婦交替性轉向反應」的實驗中，我們發現噴氣對多霜蠟鼠婦的影響較光滑鼠婦大，在強制轉彎一次實驗中，當噴氣時多霜蠟鼠婦交替性轉向比率可達 92% 比光滑鼠婦的 83% 來的明顯，我們推測可能和兩種鼠婦的體型有關，當我們進行噴氣動作時，在相同風速下多霜蠟鼠婦較容易受到驚嚇，反觀光滑鼠婦影響較小，因此未來應該考慮刺激強度與不同體型或是體重的差異來進行實驗。

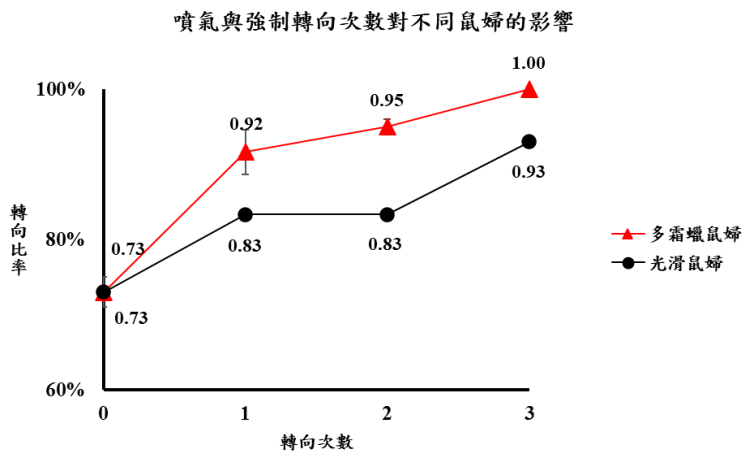


圖 56.

五、強制轉向並非唯一造成交替性轉向的因素

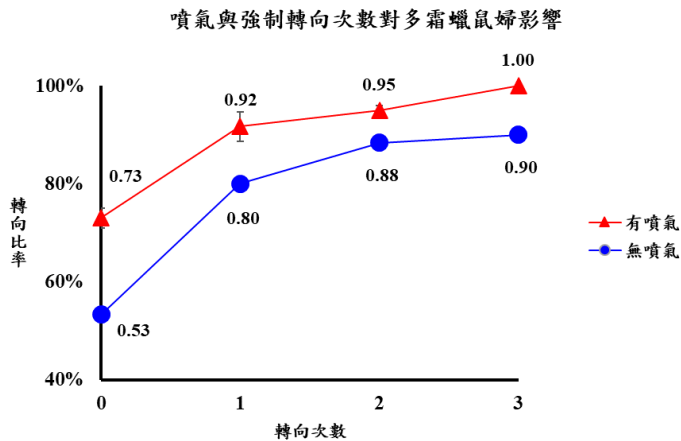


圖 57.

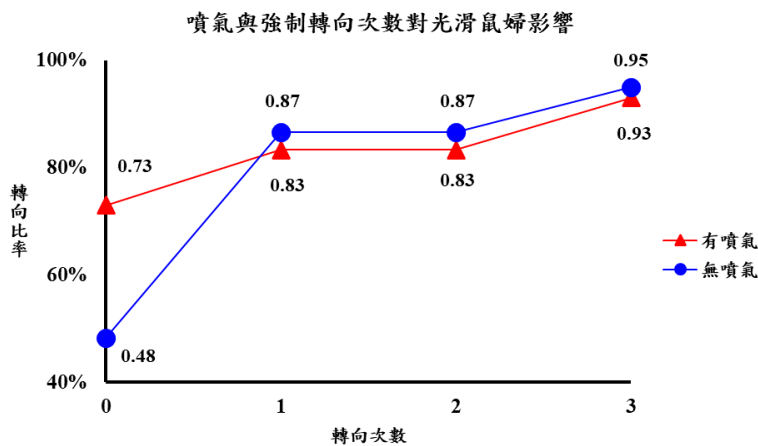


圖 58.

在方、許、黃的研究中提到強制轉彎會使鼠婦產生交替性轉向反應，本研究在強制轉彎外也發現單獨外在刺激也會造成鼠婦交替性轉向反應，在圖 57 與圖 58 中，多霜蠟鼠婦單獨噴氣後，其交替性轉向反應頻率提高為 73% 與未噴氣情況有顯著差異，同樣光滑鼠婦也有相同情形，因此我們認為噴氣與強制轉彎皆會提高此兩種鼠婦的交替性轉向反應頻率，在 Carbines 的論文中提到將鼠婦和野豬蛛(*Dysdera crocata*)放入迷宮，由於野豬蛛為鼠婦天敵，當鼠婦為了逃避天敵時，鼠婦會展現出交替性轉向反應，在我們的實驗中我們使用噴氣作為外在刺激得到與 Carbines 相似的結果，可以作為支持的證據之一。

六、粗糙的表面會影響鼠婦轉向的角度以及轉向偏好

C.P. Friedlander 在研究中提到鼠婦具有 Thigmokinesis 的現象，所以我們想探討不同砂紙號數對於鼠婦轉左右轉比，砂紙的號數是指一平方英寸有多少突起，本研究中我們利用了 220、600 和 2000，三個號數的砂紙，並將三種不同的號數分別貼在 T 字型迷宮的右牆，我們發現砂紙號數越小鼠婦向右轉的比越高，因此我們認為，當砂紙越粗糙，鼠婦 Thigmokinesis 的現象也會增加，進而導致鼠婦向砂紙的那一側轉彎，而鼠婦在轉彎時，又因 Thigmokinesis，讓鼠婦貼牆，鼠婦轉彎時，會較靠近牆面，因此在有貼砂紙時，鼠婦轉彎的角度會更大。

七、粗糙表面會影響鼠婦的交替性轉向反應

我們做了強制轉彎次數與在 T 字迷宮一側貼上砂紙對鼠婦交替性轉向反應的影響這兩個實驗，我們將兩個實驗進行比較，並且得到在迷宮右側貼 220 號砂紙時，迷宮中本應左轉的鼠婦反而朝向右轉，因此我們推測，粗糙表面會影響鼠婦的交替性轉向反應，此現象有兩種解釋，一個是鼠婦在選擇粗糙表面導致的 Thigmokinesis 與交替性轉向反應之間，選擇了 Thigmokinesis，另一個與我們推論相符的是鼠婦的 Thigmokinesis 造成了交替性轉向反應，所以在鼠婦貼牆側與正常情況不相同時，鼠婦會照 Thigmokinesis 轉往貼砂紙的那一側。

陸、 結論

- 一、實驗結果發現，多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦轉向次數越多，交替性轉向反應越明顯。但粗糙表面可以取代強制轉彎對鼠婦交替性轉向反應的影響。
- 二、多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦的交替性轉向反應受外在刺激影響，在噴氣情況下交替性轉向反應明顯增加。
- 三、多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦有 Thigmokinesis 的現象，且偏好停棲在粗糙表面上。
- 四、多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦在轉彎時會受到迷宮走道粗糙程度影響，轉彎方向會朝向粗糙面。
- 五、光滑鼠婦轉向時，若走道牆面越粗糙其轉彎角度越大。

柒、 未來展望

本研究中確立除了強制轉向外，Thigmokinesis 也是影響多霜蠟及光滑鼠婦交替性轉向的因素之一，未來我們想再更深入探討鼠婦的 Thigmokinesis 行為，包括鼠婦接受碰觸的受器以及牆面粗糙程度對於鼠婦交替性轉向反應的關聯，在應用上面我們認為鼠婦藉由 Thigmokinesis 產生轉向的行為可以應用在下水道或是礦坑的探勘上，在沒有全球定位系統(GPS)的情況下，這種藉由碰觸產生的左、右側移動快慢差異可以形成一種探勘行為模式，我們可以用較簡單方式來有效探測未知地形，且不須複雜的運算軟件和電腦即可運行。

捌、 參考文獻資料

一、外語文獻

1. R.N. Hughes (1967). TURN ALTERNATION IN WOODLICE (PORCELLIO SCABER). *Department of Psychology, The Queen's University of Belfast*,282-286.
2. Grosslight, J. H., & Ticknor, W. (1953). Variability and reactive inhibition in the meal worm as a function of determined turning sequences. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 46(1), 35–38.
3. Lepley, W. M., & Rice, G. E., Jr. (1952). Behavior variability in paramecia as a function of guided act sequences. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 45(3), 283–286.
4. R.N. Hughes (1990).Mechanisms for turn alternation in the tunnelling mud crab *Helice crassa*. *New Zealand Journal of Zoology*, 17:2, 185.
5. R.N. Hughes (1961). Mechanisms for turn alternation in four invertebrate species. *Department of Psychology, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand*.
6. C.P. Friedlander (196). Thigmokinesis in woodlice. *Animal Behaviour* Volume 12, Issue 1, January 1964, Pages 164-174
7. Carbines, G. D., Dennis, R. M., & Jackson, R. R. (1992). Increased turn alternation by woodlice (*Porcellio scaber*) in response to a predatory spider, *Dysdera crocata*. *International Journal of Comparative Psychology*, 5(3), 138–144.

二、科展說明書

1. 方誌鈞、許韶恩、黃名禎（2022）。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書：多霜蠟鼠婦、光滑鼠婦的交替性轉向反應行為探討。

【評語】 030313

優點：

本研究探討不同環境設定下 Thigmokinesis 在鼠婦交替性轉向反應之影響。能自行設計與列印實驗設備，本研究在發想上具創新性，操作細膩，報告呈現文句流暢，實驗結果分析邏輯清晰，且結果呈現方式清楚書寫精彩，具易讀性。

建議及檢討：

1. 此研究在研究目的部分敘述較為簡略，應更清楚說明研究的具體目標和研究問題。
2. 研究動機缺乏創新性，即對於鼠婦運動相關研究領域沒有提出新的問題或挑戰。建議在實驗中尋找目前鼠婦運動相關研究中仍待解決的重要問題，並針對這些問題進行研究，例如可加強此交替性轉向行為對鼠婦之生理機制或生存意義之探討？
3. 建議可探討迷宮走道寬度對交替性轉向反應之影響

4. 砂紙黏在側面及地板是否會造成研究結果不同？應比較本研究與先前研究的差異，並加以說明。

作品海報

Thigmokinesis對多霜蠟鼠婦及光滑鼠

婦交替性轉向反應的影響



實驗結果

轉彎次數交替性轉向反應的影響

無強制轉彎

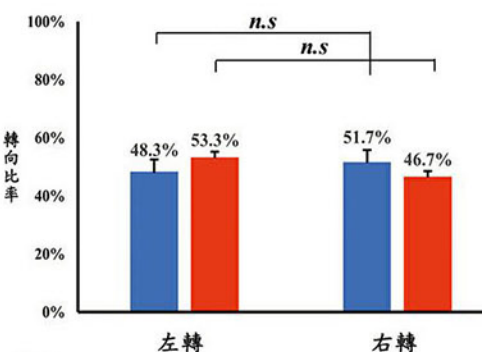


圖8. 光 n=60, SD=0.04, $\chi^2=0.067$, * $p>0.5$
多 n=60, SD=0.02, $\chi^2=0.267$, * $p>0.5$

強制轉彎一次

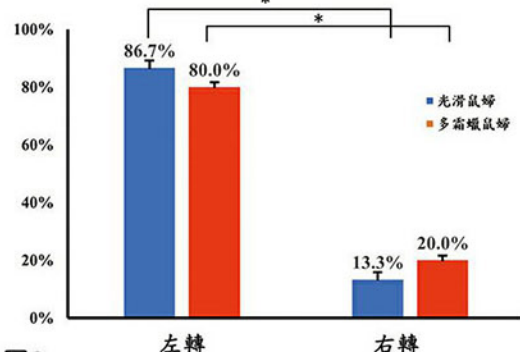


圖9. 光 n=60, SD=0.03, $\chi^2=26.667$, * $p<0.01$
多 n=60, SD=0.02, $\chi^2=41.667$, * $p<0.01$

轉向次數對多霜蠟鼠婦交替性轉向反應 轉向次數對光滑鼠婦交替性轉向反應

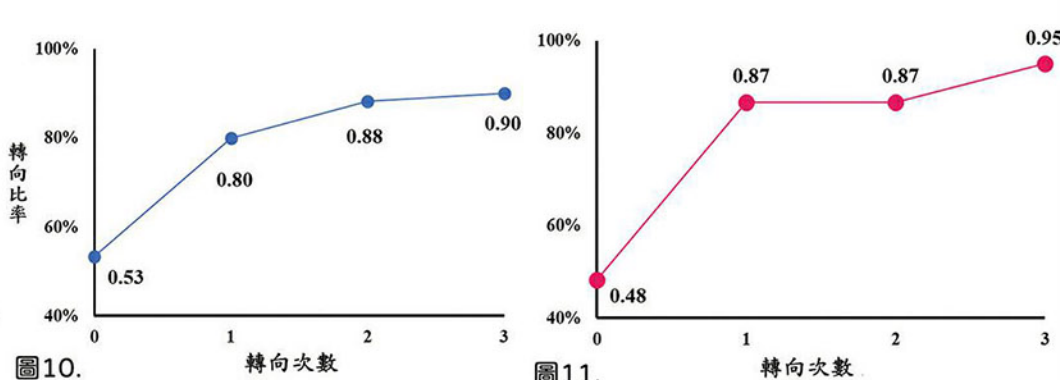


圖10.

圖11.

在無強制轉彎下左、右轉無顯著差異，且比例接近1:1，但隨轉彎次數增加交替性轉向反應頻率上升。

外在刺激對交替性轉向反應的影響

無強制轉彎

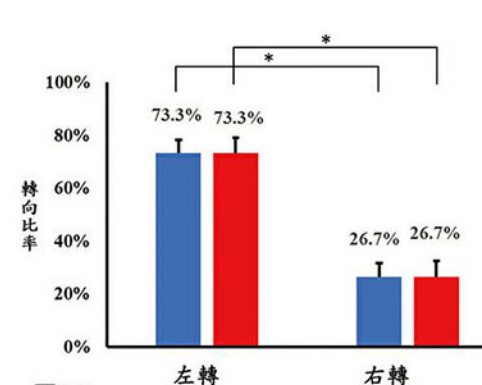


圖12. 光 n=60, SD=0.05, $\chi^2=13.067$, * $p<0.01$
多 n=60, SD=0.06, $\chi^2=13.067$, * $p<0.01$

強制轉彎一次

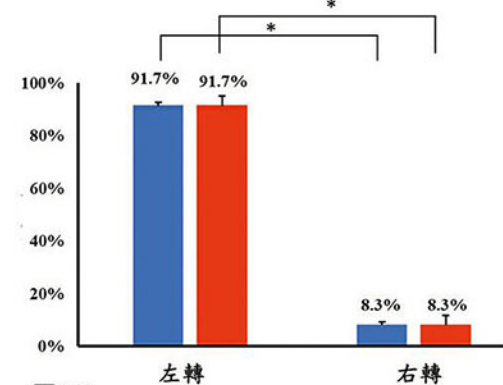


圖13. 光 n=60, SD=0.01, $\chi^2=41.667$, * $p<0.01$
多 n=60, SD=0.03, $\chi^2=41.667$, * $p<0.01$

噴氣及外在刺激對交替性轉向反應的影響

多霜蠟鼠婦

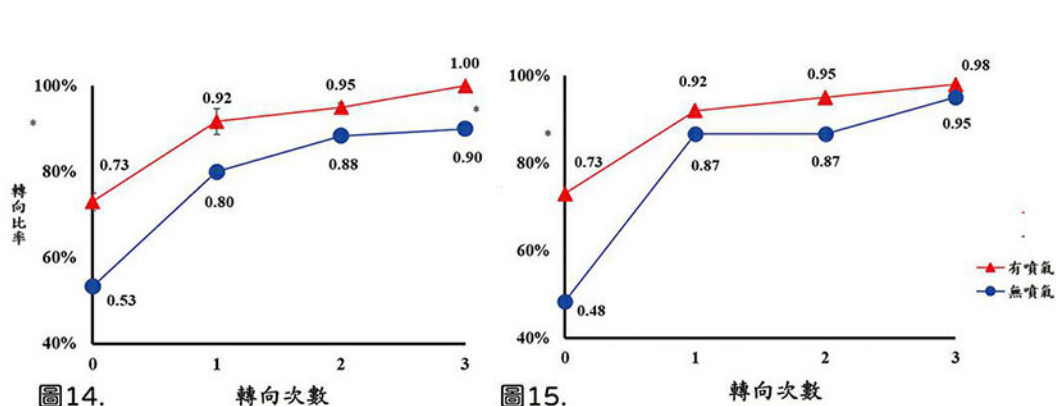


圖14.

光滑鼠婦

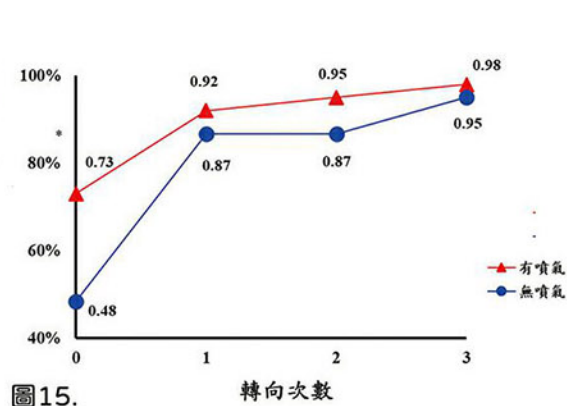


圖15.

無強制轉彎下，外在刺激亦可增加鼠婦交替性轉向反應。外在刺激及強制轉彎次數皆可增加交替性轉向反應頻率。

鼠婦對粗糙環境的偏好

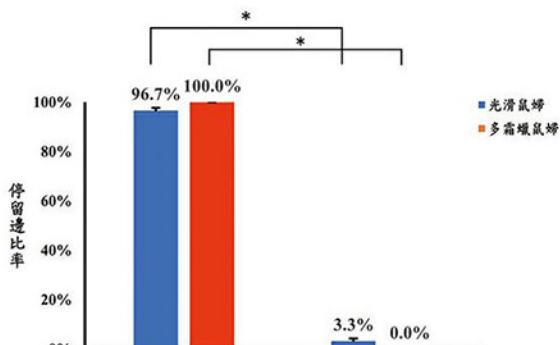


圖16. 光 n=30, SD=0.01, $\chi^2=26.1$, * $p<0.01$



不同粗糙表面對鼠婦轉向角度的影響

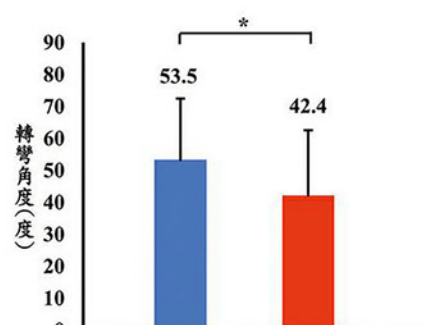


圖17.

光滑鼠婦n=60, 砂紙組SD=19.2, 無砂紙組SD=22.2, * $p<0.05$



對於光滑的表面，鼠婦較偏好停棲在粗糙的表面。

光滑鼠婦轉向時會受到粗糙表面影響，表面越粗糙轉向角度越大。

不同粗糙表面與交替性轉向反應的關聯

220號砂紙

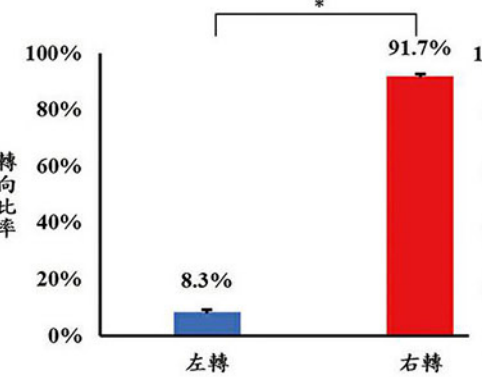


圖18.

光滑鼠婦n=60, SD=0.01, $\chi^2=41.667$, * $p<0.01$

600號砂紙

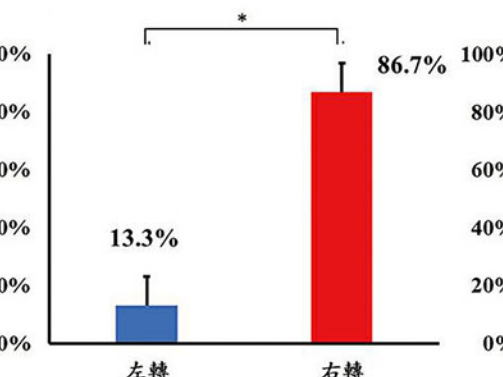


圖19.

光滑鼠婦n=60, SD=0.02, $\chi^2=52.267$, * $p<0.01$

2000號砂紙

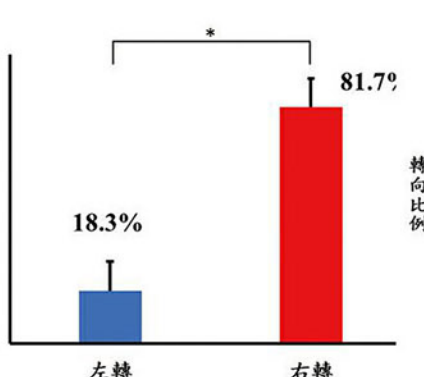


圖20.

光滑鼠婦n=60, SD=0.03, $\chi^2=24.067$, * $p<0.01$

不同粗糙程度的表面對於鼠婦轉向的影響

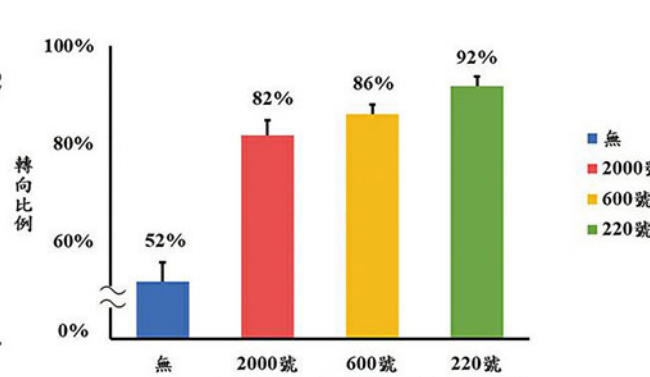
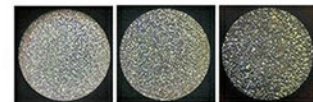


圖21.



砂紙粗糙程度會影響光滑鼠婦轉向方向，越粗糙的砂紙(號數越小)轉向比率越大。

研究動機

生物都具有生命現象，部分生物天生具有對單一刺激趨近或背離等行為，稱為趨性。方、許與黃在研究中提到多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦皆有交替性轉向反應，且此反應可以連續發生(方、許與黃，2022)，C.P. Friedlander在研究中提到鼠婦具有Thigmokinesis的現象，我們想探討Thigmokinesis在鼠婦進行交替性轉向反應時扮演的角色，並且更進一步探討更多會影響鼠婦交替性轉向反應的因素。

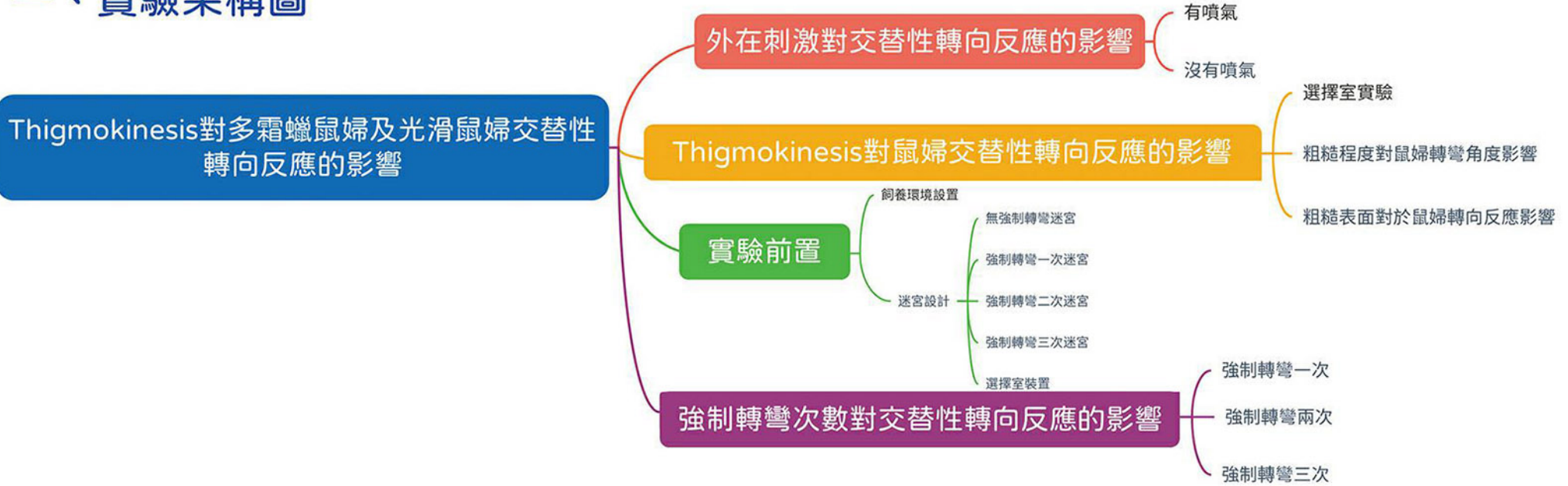
目的

- (一) 探討何種因素會影響鼠婦交替性轉向反應。
1. 強制轉彎次數對交替性轉向反應的影響。
 2. 外在刺激的有無對交替性轉向反應的影響。

- (二) 探討粗糙表面是否會影響鼠婦交替性轉向反應。
1. 多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦對於粗糙及光滑表面的偏好。
 2. Thigmokinesis是否會影響鼠婦交替性轉向反應。
 3. 轉彎次數與粗糙表面對鼠婦交替性轉向反應的影響。
 4. 不同粗糙表面是否會影響鼠婦轉向角度。

研究器材及方法

一、實驗架構圖



二、Thigmokinesis與交替性轉向反應

Kinesis是種非定向運動、Thigmo為希臘文中意指“接觸”的詞根，合稱起來指動物因為碰觸產生的頻率增加或降低的非定向運動反應，本研究中鼠婦會因為接觸而降低活動頻率。

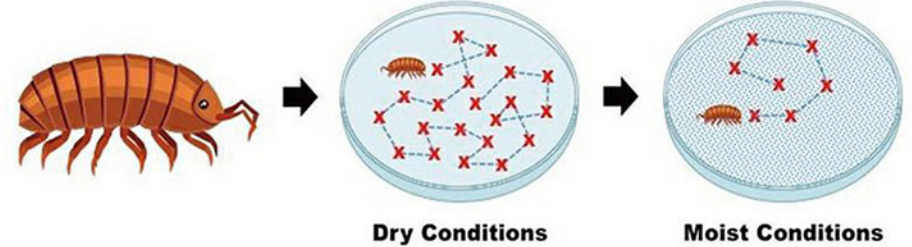


圖1. 鼠婦受到濕度影響活動頻率降低

三、實驗迷宮設計與實驗方法

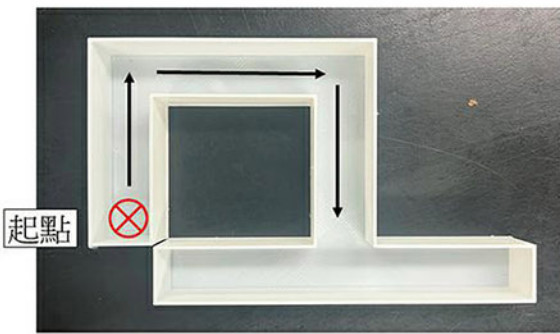


圖5. 強制右轉兩次迷宮

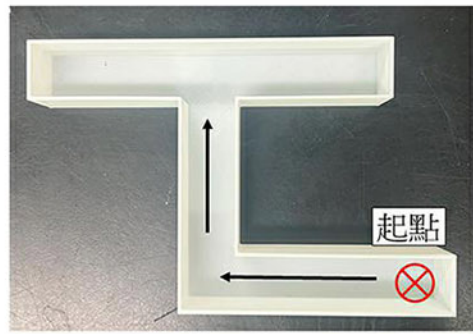


圖7. 強制右轉一次迷宮



圖8. 無強制轉彎T字迷宮

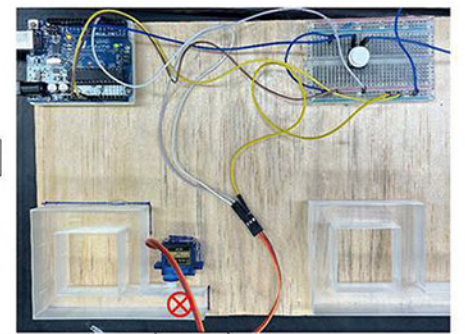


圖6. 強制轉彎三次迷宮

(一) 迷宮實驗方法

1. 檢查鼠婦的附肢與觸角是否健全，使用濕紙巾將迷宮擦拭乾淨。
2. 使用自製抓取器抓取鼠婦，將鼠婦置於迷宮起點(上圖紅點位置)。
3. 計時三十秒，並記錄轉向結果，若實驗中回頭或三十秒內無移動，則重新進行實驗。
4. 以Excel進行數據整理及統計分析。

(二) 粗糙表面對鼠婦轉彎角度實驗方法

1. 將砂紙 (長14cm寬1.5cm) 黏貼於T字迷宮一側。
2. 同上【實驗迷宮法】步驟。
3. 以實物投影機錄製實驗影片，若鼠婦未碰觸砂紙則重新進行實驗。
4. 利用AnimalTA進行軌跡分析，並利用量角器測量鼠婦轉彎時的角度。

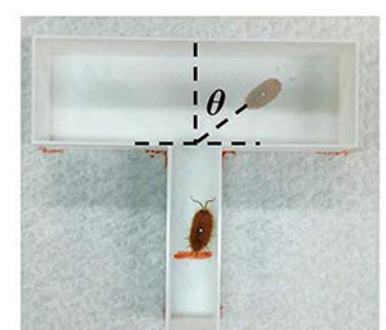


圖7. 轉彎角度測量圖

Thigmokinesis與交替性轉向反應的關係

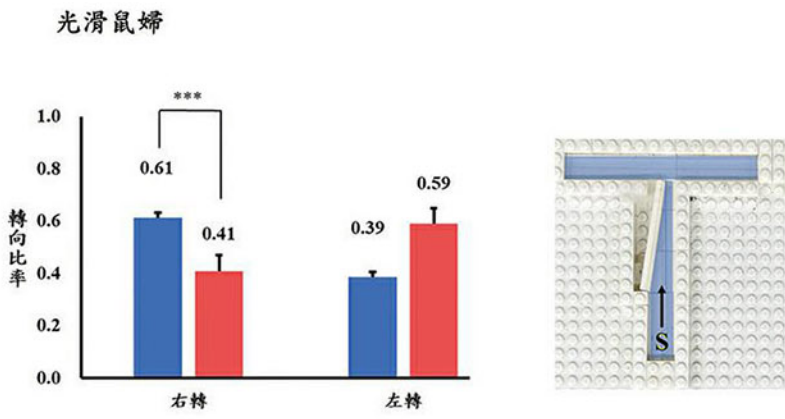


圖22. 強制貼牆影響交替性轉向反應

引用自方、許、黃(2022)

在方、許、黃的研究中，鼠婦在轉彎時有較大比率轉往貼牆的方向，與我們的實驗結果相符。鼠婦受Thigmokinesis影響在轉彎時，貼牆側的胸肢速度變慢而未貼牆的胸肢速度較快，導致鼠婦轉向貼牆的那一邊。

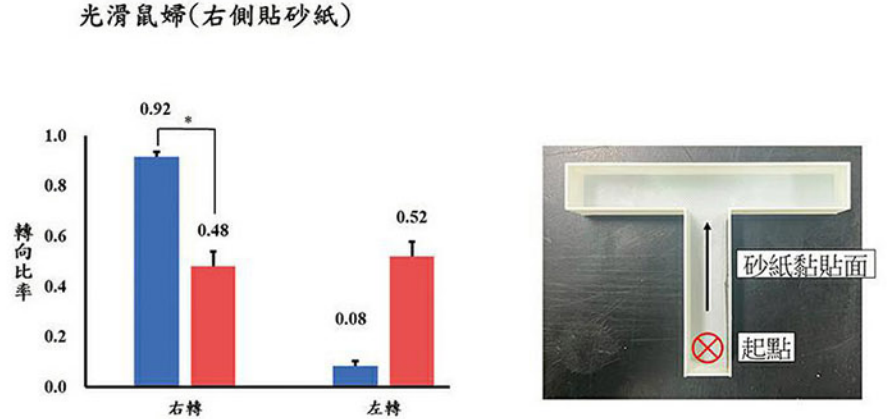


圖23. T字迷宮貼砂紙對交替性轉向反應影響

強制轉彎與粗糙表面對交替性轉向反應的影響

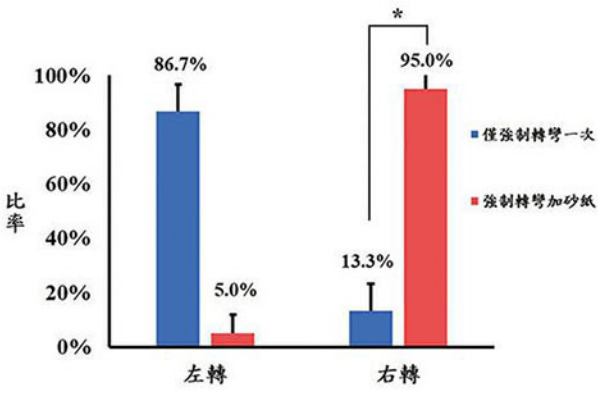


圖24.

光滑鼠婦n=60，強制轉一次組SD=0.03、強制轉彎加上砂紙組SD=0.02，* $p < 0.01$

Thigmokinesis與強制轉彎皆會影響鼠婦交替性轉向反應，在這兩種的因素同時作用下，Thigmokinesis產生影響較大，會使鼠婦轉往有貼砂紙的方向。

相關研究比較及本研究貢獻

| 研究 | 方、許、黃(2022) | 本研究 | 本研究貢獻 |
|-----------------|--------------|------------------|---------------------------|
| 鼠婦貼牆差別 | 僅強制貼牆面 | 利用砂紙貼於牆面 | 增加變因強度 |
| 迷宮材料 | 樂高積木 | 3D列印 | 3D列印較容易控制迷宮變因 |
| 迷宮設計 | T型設計 H型設計 | T型設計 強制轉彎三次迷宮 | 設計多次強制轉彎迷宮 |
| Thigmokinesis探討 | 無 | 選擇室及T字形迷宮 | 首次探討Thigmokinesis對轉向反應的影響 |
| 影響因素 | 僅強制轉彎 | 轉彎次數、外在刺激 | 探討外在刺激與轉彎次數的影響 |

表2.

結論

- 一. 強制轉向次數越多，交替性轉向反應越明顯。
- 二. 鼠婦受外在刺激影響，在噴氣情況下交替性轉向反應明顯增加。
- 三. 多霜蠟及光滑鼠婦具有Thigmokinesis，且鼠婦偏好停棲在粗糙表面上。
- 四. 鼠婦轉彎時會受到迷宮走道粗糙程度影響，轉彎方向會朝向粗糙面，且牆面越粗糙其轉彎角度越大。

未來展望

未來繼續探討粗糙表面對於交替性轉向反應的關聯，且藉碰觸產生的左、右側移動快慢差異可以形成一種探勘行為模式可應用在下水道或是礦坑的探勘上，且不須複雜的運算軟件和電腦即可運行。

參考文獻

1. R.N. Hughes (1967). TURN ALTERNATION IN WOODLICE (PORCELLIO SCABER). *Department of Psychology, The Queen's University of Belfast*, 282-286.
2. R.N. Hughes (1990). Mechanisms for turn alternation in the tunnelling mud crab *Helice crassa*. *New Zealand Journal of Zoology*, 17:2, 185.
3. R.N. Hughes (1961). Mechanisms for turn alternation in four invertebrate species. *Department of Psychology, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand*.
4. 方誌鈞、許韶恩、黃名禎 (2022)。中華民國第62屆中小學科學展覽會作品說明書：多霜蠟鼠婦、光滑鼠婦的交替性轉向反應行為探討。