

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第二名

030304

多霜蠟鼠婦、光滑鼠婦的交替性轉向反應行為
探討

學校名稱：臺中市私立華盛頓高級中學(附設國中)

作者： 國二 方誌鈞 國二 許韶恩 國二 黃名禎	指導老師： 江宏惟 黃錦鴻
---	-----------------------------

關鍵詞：鼠婦、交替性轉向反應

摘要

本研究驗證多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦的交替性轉向反應行為，並探討何種因素會影響此反應。結果顯示，兩種鼠婦皆具有交替性轉向反應，在 95%信心水準下，有 80%以上呈現此反應。此外，這種反應可連續發生，約 87%的鼠婦在 3 次轉向中，至少連續 2 次出現交替性轉向。我們進一步探討影響轉向的因素，發現當轉向後移動距離增加，反應頻率就愈低，並且證明沿牆行走會影響轉向方向。最後藉由步態分析證明，鼠婦轉向時的步態與直線移動不同，內側的胸肢站立期比率較外側高，此與前人所提出雙側不對稱腿部運動(BALM)的解釋不同，且為支持此假說的另一項有力證據。

壹、前言

一、研究動機

在自家的後院整理花圃，翻開土壤與落葉時，偶然瞥見了一種有著七對胸肢、觸角不停探觸的生物在土礫、叢草間穿梭。我們想到國一時在 3-6 動物界曾學過的生物，我們將牠們採集起來並上網查資料，發現牠們是一種名為「鼠婦」的等足目，且有種特別的行為反應稱「交替性轉向反應」。簡單來說，當牠碰見向左、向右轉的 T 字路口時，其轉向方向會與上一次相反。我們都覺得這是一個特別而有趣的動物行為，所以想要進一步針對鼠婦和牠的交替性轉向行為反應進行深入的了解，探究影響鼠婦這種行為的因素，因此展開了此次研究。在搜尋臺灣的文獻及資料庫後發現，目前臺灣學術界鮮少有對鼠婦交替性轉向反應的研究，因此更加深了我們的探究興趣。

二、目的

(一) 驗證多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦的交替性轉向反應行為。

1. 無強制轉向以及強制轉向對於交替性轉向反應是否有影響。
2. 鼠婦是否會呈現連續性的交替性轉向反應。

(二) 探討何種因素會影響鼠婦交替性轉向反應。

1. 轉向後移動距離對交替性轉向反應的影響。
2. 沿牆移動是否為影響鼠婦交替性轉向反應的因素。

(三) 探討鼠婦在直線移動及轉彎時的步態差異。

三、文獻回顧

(一) 實驗動物介紹

鼠婦又俗稱潮蟲、西瓜蟲，英文俗名為 Woodlice，牠是一種屬於潮蟲亞目

(Oniscidea)的小型陸生節肢動物，我們可以在校園綠地中的落葉堆發現牠的蹤跡，鼠婦的分類地位如下：

甲殼動物亞門 Subphylum Crustacea

軟甲綱 Class Malacostraca

等足目 Order Isopoda

潮蟲亞目 Suborder Oniscidea

鼠婦的身體呈扁平狀，依種類不同體長約 1.5cm~2.5cm，胸部由 7 個胸節 (pereonite) 組成，有七對胸肢 (pereopod)、五個腹節 (pleonite) 及兩對尾肢 (uropod)，具二對觸角 (antenna) 及咀嚼式口器。雄性第一及第二腹節具生殖突；雌性胸節則具抱卵板 (oostegite) 位於胸節板基部，供卵及幼體孵化。喜愛吃腐植質，屬於雜食性動物，在生態系中為清除者的角色。牠生長在陰暗潮溼處，具負趨光性，適合其生長的溫度及溼度因種類而略有差異。鼠婦行進時有交替性轉向反應 (turn alternation reaction) 的行為，觸角會不停地揮動及觸探。

在我們的研究中，我們選用二種鼠婦進行實驗，分別是多霜蠟鼠婦 (*Porcellio pruinosus*) 及光滑鼠婦 (*Porcellio laevis*)。多霜蠟鼠婦屬於中小型鼠婦，分佈廣泛，因為甲殼上有一層蠟質，故稱為多霜蠟鼠婦。廣布於中國、香港、臺灣、日本、美國等全世界的溫帶氣候區(陳美如，2011)，且可在石縫中發現它的蹤跡。

光滑鼠婦體型較多霜蠟鼠婦大，最大可達到 2~2.5cm。身體呈長橢圓形，它的甲殼的表面光滑，頭部側邊較圓鈍，光滑鼠婦因品種不同而有不同的顏色，且光滑鼠婦對環境的適應能力強。因為繁殖快速，故常被養殖做為鳥類、魚類、蛙及爬蟲類等的食料。

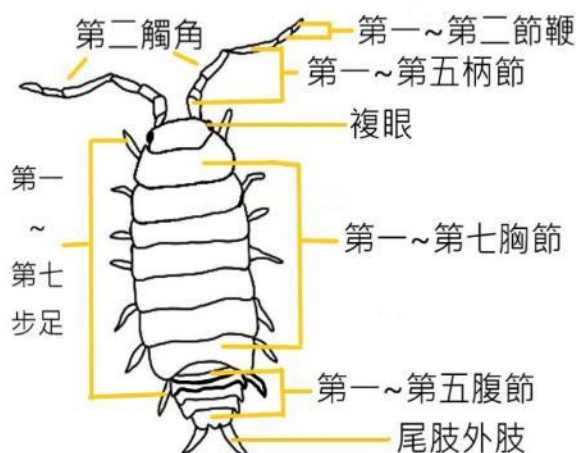


圖 1. 鼠婦外觀構造 (作者自繪)

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

當動物移動時，若連續遭遇左、右轉的 T 字路口，其轉向方向會與上一次相反，此反應稱為交替性轉向反應。具有該反應的生物有草履蟲、麵包蟲及鼠婦等無脊椎動物 (Hughes, 1967)。

目前認為生物之所以擁有交替性轉向反應，有兩種假說，第一種是因為這種轉向行為可以促進生物探索、分散、覓食和逃離天敵以及惡劣環境；第二種則是避免雙側不對稱的腿部運動(BALM) (Barnwell, 1965) (R. N. Hughes, 1961)。

最早西元 1956 年，渡辺・岩田證實 C. L. HULL 的反應性抑制概念，並提出鼠婦具有交替性轉向反應。R. N. Hughes 發現當強制轉彎次數增加，鼠婦表現交替性轉向反應行為頻率增加。同時也提出，若鼠婦遭遇天敵時，交替性轉向反應可以使鼠婦進行有效率的移動，避免移動回到起點，有利於從原先不適合生存或是有天敵的地方逃離，也能夠找到新的居住環境或食物 (R. N. Hughes, 1967)。

Hughes 認為當鼠婦轉彎時，因為體側兩邊腿部所行走的距離不同，轉彎時外側須轉較大角度，腿部需要移動較多步數，會使該動物的腿部過於疲乏，因此為了平衡鼠婦體側左右邊腿部的負擔，故每次轉彎時會產生交替轉向反應的行為，此種行為稱為雙側不對稱腿部運動 BALM (bilaterally asymmetrical leg movements)(R. N. Hughes, 1987)。

我們找到關於鼠婦交替性轉向反應文獻中，並無多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦相關實驗，因此我們更想深入探討此行為。

(三) 實驗架構圖

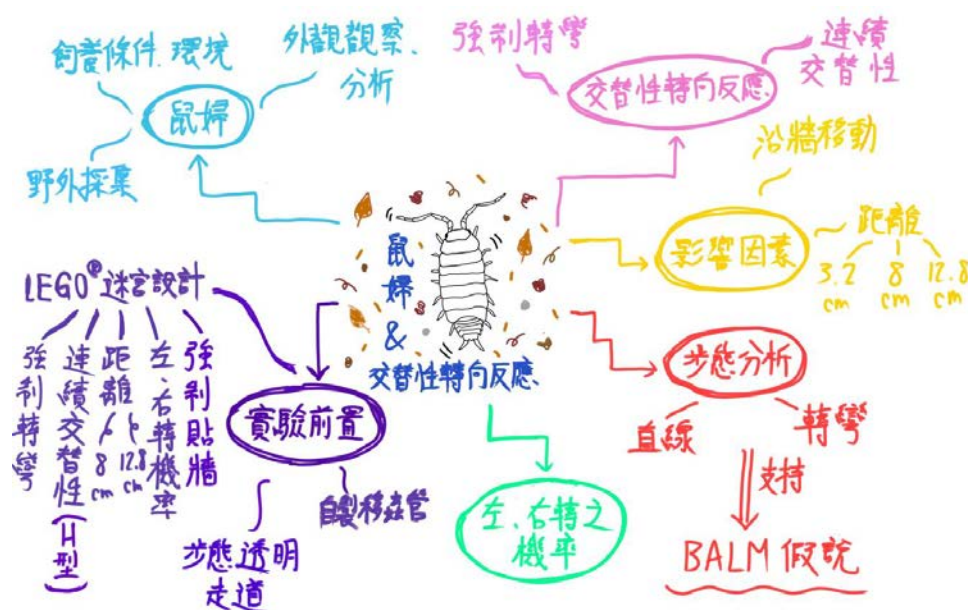


圖 2. 實驗架構圖 (作者自繪)

貳、 研究設備與器材

一、研究儀器

表 1. 研究儀器清單

名稱	廠商/規格	備註
解剖顯微鏡	1x、2x、4x	購自國教儀器
照度計	路昌電子 LUTRON	
液晶溼度計	35.7×16.8mm	購自慢慢爬蟲用品
顯微鏡支架		購自 SAGA 薩伽配件
SONY α6300	SONY	購自 SONY
Canon EOS M50	Canon	購自 Canon

二、研究器材

表 2. 研究器材清單

名稱	廠商/規格	備註
解剖針/鑷子	MEGA VIEW	購自國教儀器
95%乙醇	Shimakyu	
培養皿	直徑 8.5cm	
放大鏡	HAMLET 2.3×76mm	
壓克力板	厚 2mm	購自廣告行
篩網	孔洞直徑 2mm /3mm	購自全泰五金
飼養盒	18 cm×12 cm	
透氣膠帶	寬 1.3cm	購自慢慢爬蟲用品
水苔	100g	
黃豆粉	500g	購自全聯福利中心
園藝用培養土	1Kg	購自園藝用品店
LEGO® 積木	底板 25×25cm 平滑磚 6.4×1/4.8×1cm 積木 1×1/1×2/1×4/ 1×8/2×2/2×4	購自 LEGO®

參、 研究過程或方法

一、鼠婦採集

先利用 Google map 記錄樣點的經緯度，多霜蠟鼠婦採集點為 N24.16091，E120.76029，採集時先觀察樣點，並找尋落葉堆較多的位置，利用鏟子撥動土壤或落葉堆，確認為鼠婦棲息地後，把鼠婦連同土壤快速鏟入籃子內，將多餘土壤及落葉除去，並將鼠婦一一挑出放入飼養盒中，剩餘土壤及其他生物則放回原處。



圖 3.作者在樣點採集鼠婦

二、鼠婦飼養條件及環境

我們將鼠婦以 40 隻為單位，飼養在 18×12 cm 的塑膠飼養盒中，並在飼養盒內鋪設 35g 園藝用土壤(以孔徑 2mm 篩網過篩)，放置瓶蓋在盒中作為飼料盒，定期添加 0.3g 的飼料。為了維持環境相對濕度，我們設置水苔且定期噴水，維持相對濕度 95%，並每月添加 1g 的墨魚骨，讓鼠婦可以補充鈣質。飼養盒的側面有開透氣孔，並貼上透氣膠帶以避免鼠婦脫逃。

每兩天補充鼠婦的飼料，並記錄飼養盒中溫度、濕度以及死亡隻數，若盒中有死亡之鼠婦，將從保種盒中移入新鼠婦，以維持盒中鼠婦總隻數為 40 隻。



圖 4.飼養盒外觀



圖 5.飼養盒內部擺設

三、鼠婦外觀觀察及手繪

(一) 標本製作

以鑷子挑選鼠婦置於 -20°C 冰箱中麻痺，並浸泡於 95%乙醇保存。



圖 6.作者在顯微鏡下展足並且拍攝

(二) 顯微鏡拍攝及繪圖

1. 將顯微鏡支架設置於目鏡上，並架設手機以利拍攝。
2. 以鑷子輕輕夾取鼠婦至載物台上，並利用解剖針展開七對胸肢。
3. 利用 ImageJ 製作比例尺。
4. 利用 CLIP STUDIO 手繪鼠婦構造並標示構造名稱。

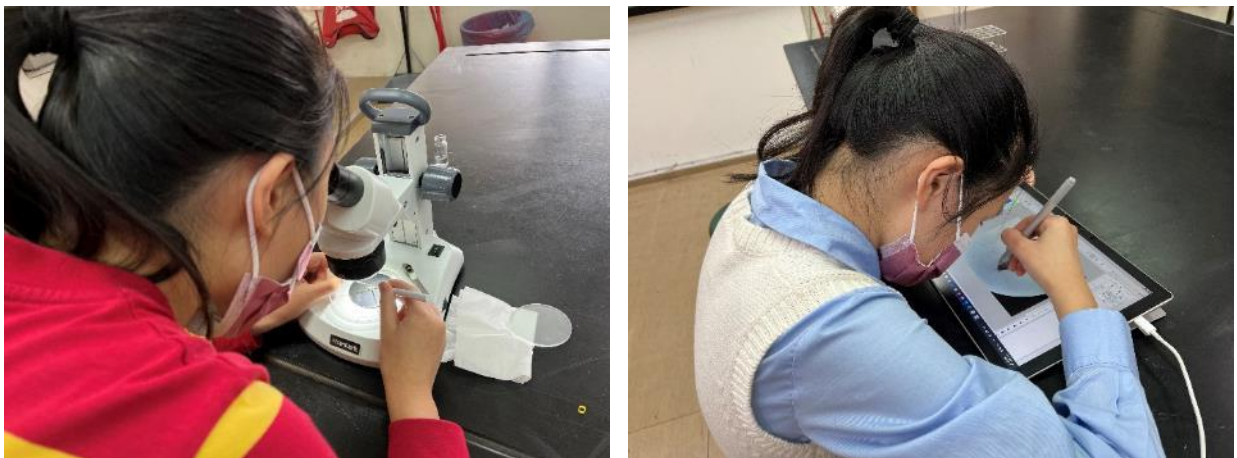


圖 7.作者利用解剖顯微鏡觀察並進行電腦繪圖

四、樂高 LEGO®積木迷宮設計與自製移蟲管

(一) LEGO®積木迷宮設計

我們的迷宮原型是參考 Hughes 的迷宮(圖 8.)並利用 LEGO®積木進行改良。LEGO®積木方便拆解及重組並可以使同一迷宮進行多種不同實驗，我們在賽道中間放置 2×2 的 LEGO®方塊阻擋鼠婦的路徑，並形成不同長度的迷宮，並將鼠婦放

置於 S 點、距離 S 點 4cm 處設置起跑線，距離起跑線 4cm 處則為強制轉彎處。

我們利用迷宮一探討【強制轉彎對鼠婦交替性轉向反應的影響】，並利用 2×2 的 LEGO®方塊放置於賽道中，切換強制左轉或為強制右轉，並將迷宮一從中間一分為二，兩邊同時進行實驗，並與無強制轉彎的迷宮作為控制組（圖 13.）。當我們進行【轉向後距離對鼠婦交替性轉向反應之影響】時，我們簡化迷宮一將 LEGO®方塊拼成轉彎後不同長度的迷宮（圖 9.）（圖 11.）（圖 12.），為了探討無強制轉彎下，鼠婦左、右轉的比率是否相同，我們設計無強制轉彎的迷宮（圖 13.），作為實驗的對照組。

在實驗過程中我們發現，若鼠婦沿右牆移動則鼠婦傾向右轉；若鼠婦沿左牆移動則鼠婦傾向左轉，因此我們設計引導鼠婦貼近牆面的迷宮（圖 14.），在賽道起點 4 公分處利用平滑磚收縮賽道至寬 0.8 公分，使鼠婦貼近右牆移動。（圖 14.）

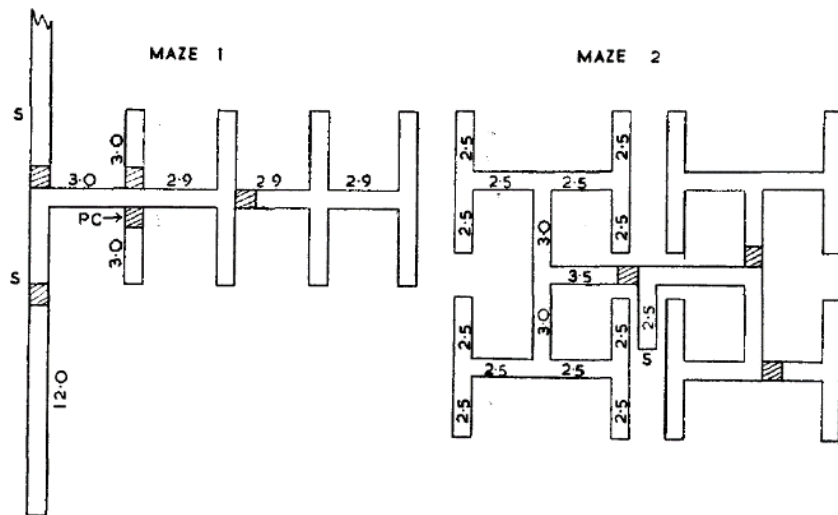


圖 8. 原始迷宮

R. N. Hughes .1967. Turn Alternation in woodlice (*Porcellio scaber*)

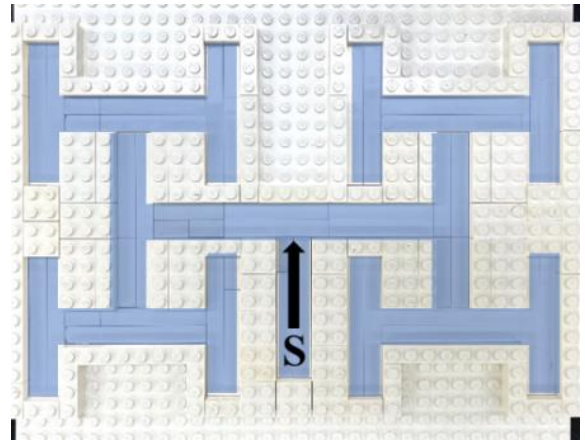


圖 9. H 型迷宮 (作者自繪) S 為起點；藍色區塊為賽道區域

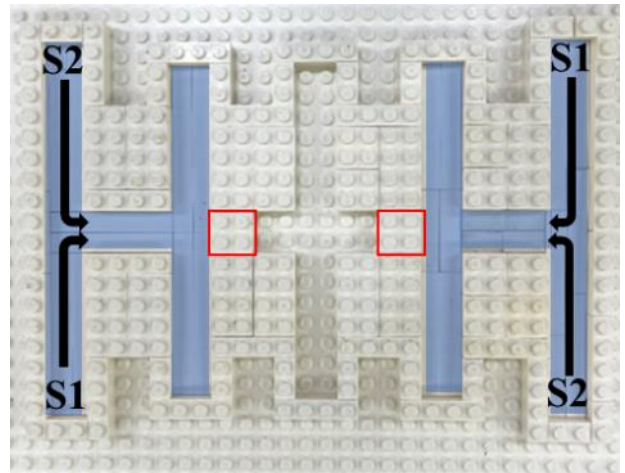
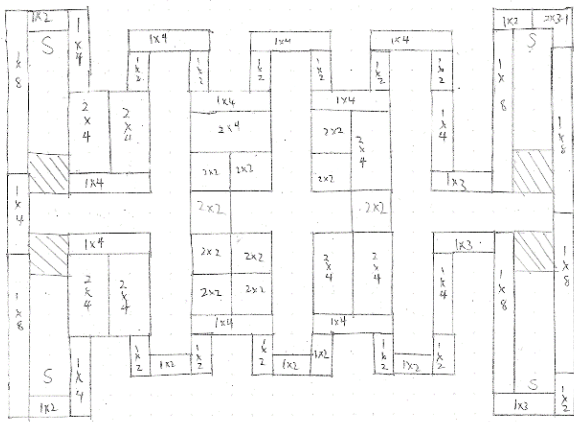


圖 10. T 字路口距離轉彎處 3.2cm (作者自繪)

S1 為強制右轉起點 S2 為強制左轉起點、藍色區塊為賽道區域、紅色為阻擋方塊

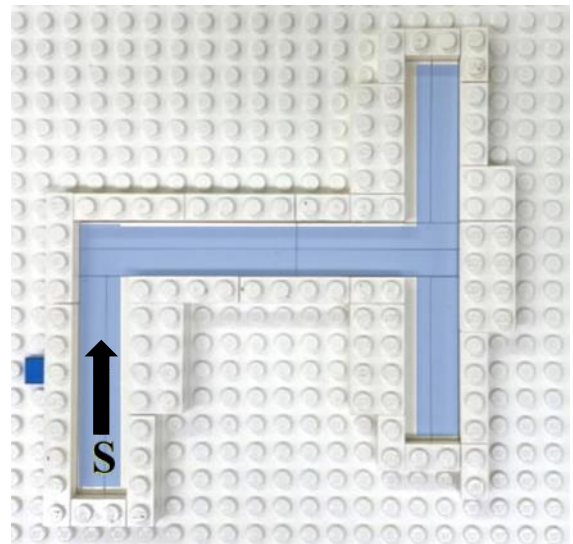
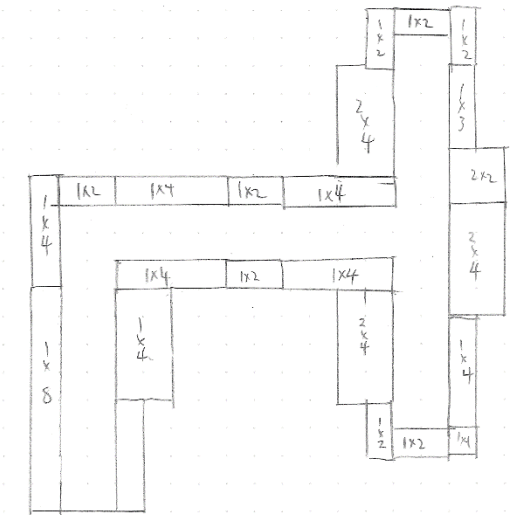


圖 11. T 字路口距離轉彎處 8cm (作者自繪) S 為起點；藍色區塊為賽道區域

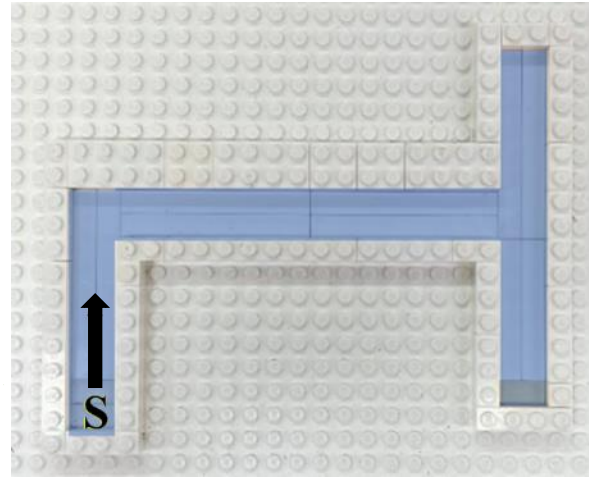
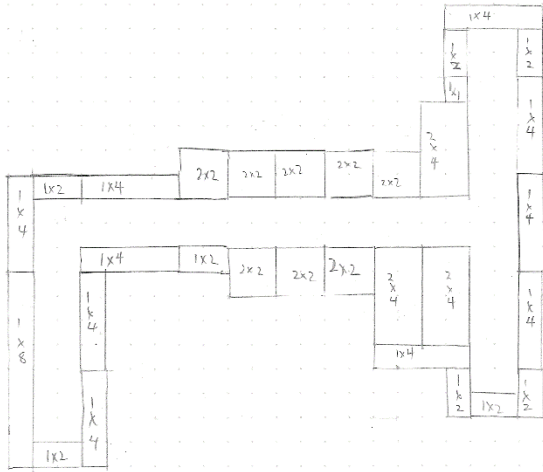


圖 12. T 字路口距離轉彎處 12.8cm (作者自繪) S 為起點；藍色區塊為賽道區域

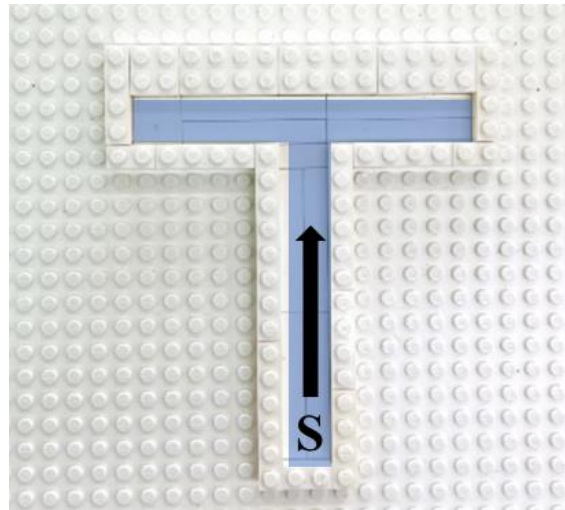
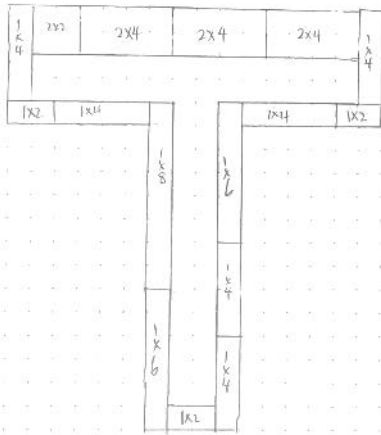


圖 13. 無強制轉彎 (作者自繪) S 為起點；藍色區塊為賽道區域

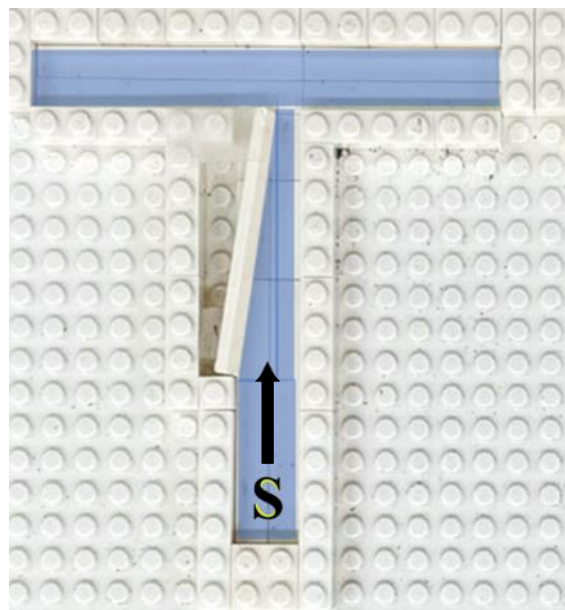
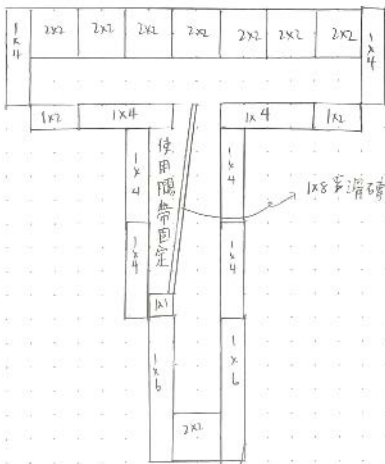


圖 14. 強制靠牆 (作者自繪) S 為起點；藍色區塊為賽道區域

(二) 鼠婦直線移動及轉彎的步態分析 (gait analysis)

1. 挑選 5 隻體長約為 1.5cm 的鼠婦，檢查鼠婦的七對胸肢及觸角是否齊全。
2. 在迷宮走道兩側同時使用相機進行高速錄影，並以燈光對時。
3. 以移蟲管放置鼠婦於走道入口，若超過起跑線後折返、停止移動或移動時觸碰到牆壁則重新測量。
4. 將影片導入 Adobe Premiere Pro 2021 計算幀數(frame rate)並逐格分析鼠婦 7 對胸肢的步態。
5. 以 PowerPoint 及 Excel 製作圖表。

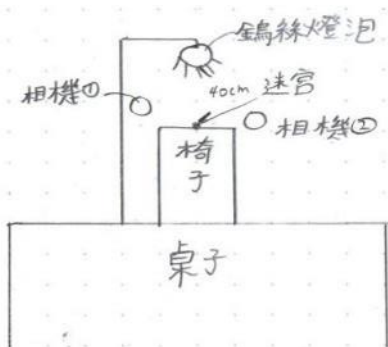


圖 15. 實驗裝置佈置圖

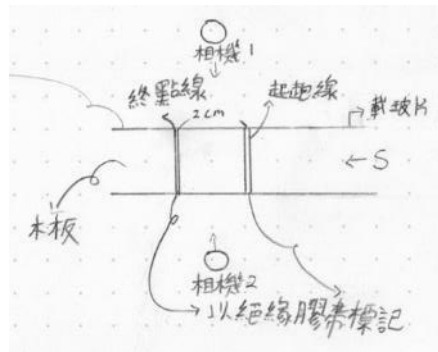


圖 16. 直線走道設計圖

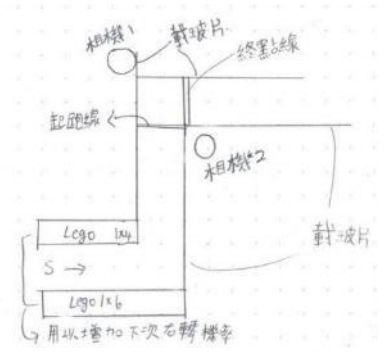


圖 17. L 型走道設計圖

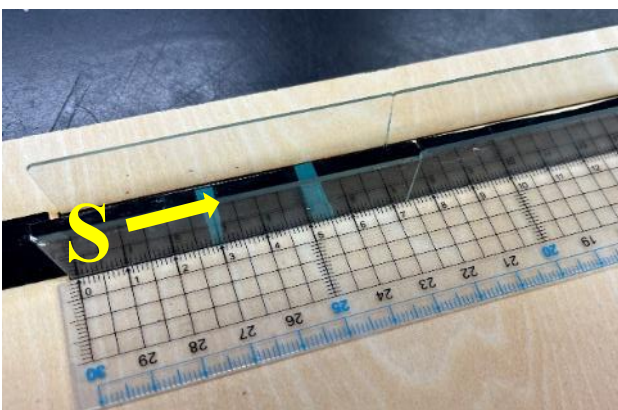


圖 18. 直線走道研究裝置圖

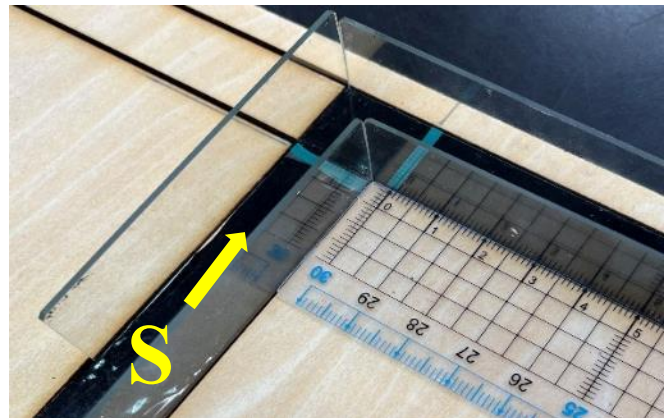


圖 19. L 型走道研究裝置圖

(三) 自製移蟲管

雖然我們嘗試各種工具，但均無法有效將鼠婦從飼養盒中順利移至迷宮中。因此我們利用滴管自製移蟲管，將滴管的按壓處用剪刀開一個洞，再把滴管平放並剪下 1×1cm 的 U 字型缺口，最後把前面 6.5cm 剪掉。在使用上面，我們會以滴管引導鼠婦爬進缺口進入滴管管身，最後再讓鼠婦從管身前端開口爬出，進入迷宮賽道。

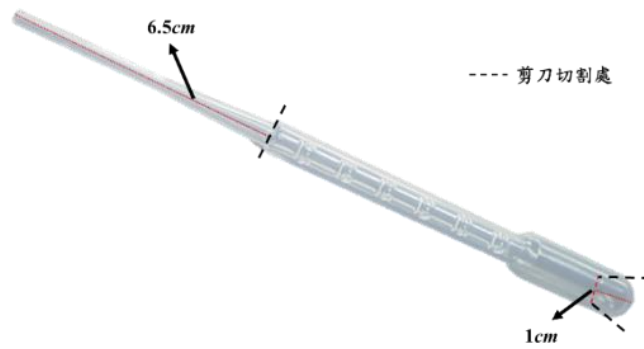


圖 20.移蟲管設計圖 (作者自繪)

五、實驗操作方式

1. 將鼠婦利用網目 2mm 的篩網篩出、放入長 16cm、寬 10cm、高 7cm 的準備盒等待 3 小時，並檢查鼠婦的七對胸肢及觸角是否齊全。
2. 將迷宮置於距離地面 85cm 的桌上，使用照度計和溫度計測量當次實驗當天光照及室溫，並移動位置直到光照在 650Lux 至 850Lux 之內。
3. 利用自製移蟲管把鼠婦放入迷宮的起跑線前。
4. 利用透明壓克力板覆蓋在迷宮上，防止鼠婦脫逃。
5. 觀察並記錄鼠婦在迷宮內的移動及轉向方向。
6. 完成後將鼠婦放回飼養盒中，並以毛刷、酒精清理迷宮，以進行下一次實驗。
7. 重複紀錄 25 隻鼠婦轉向狀況並以 Excel 統計數據。
8. 結束後換成另一種鼠婦並重新執行以上步驟。
9. 若實驗開始 30 秒後，鼠婦未移動過起跑線、超過起跑線後折返或停止移動，則移除該數據。



圖 21.作者進行實驗時以毛刷清掃迷宮



圖 22.作者進行實驗時以毛刷清掃迷宮

六、連續交替性轉向反應

我們利用 H 型迷宮(圖 18.)檢測鼠婦的交替性轉向反應是否有連續性，一開始我們想要紀錄鼠婦最後到達的迷宮位置，並以 1、2、3.....等數字代表位置。但是經過討論，發現這樣無法明確表示實驗結果，因此我們改成統計鼠婦正確轉彎的次數，此迷宮一共為 4 個 T 字路口（包括第一個轉彎口）。

鼠婦可以自由選擇第一個路口左轉或是向右轉，若以鼠婦第一個路口左轉為例：下一個彎應要右轉，假如鼠婦接下來也為右轉則計為正確，加 1 分；如果鼠婦左轉則計為錯誤，加 0 分。在實驗開始前將 16 個迷宮終點分別標上 0、1、2 和 3，進行三重複實驗後以 Excel 作圖。

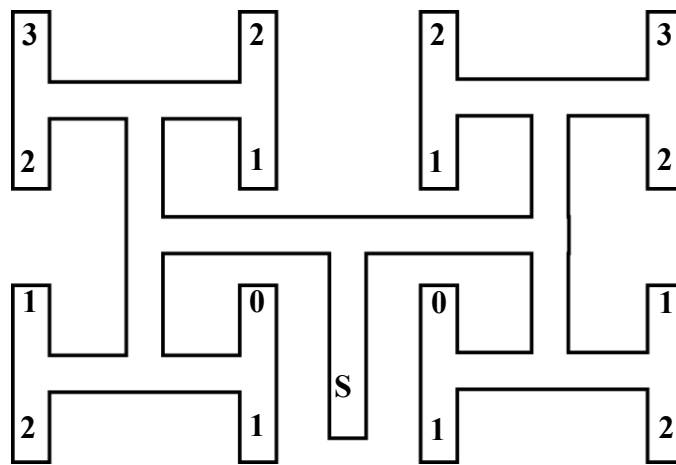


圖 23. H 型迷宮 (作者自繪)

- 0：轉向正確零次 1：轉向正確一次
2：轉向正確二次 3：轉向正確三次

肆、 研究結果

一、 鼠婦外觀觀察

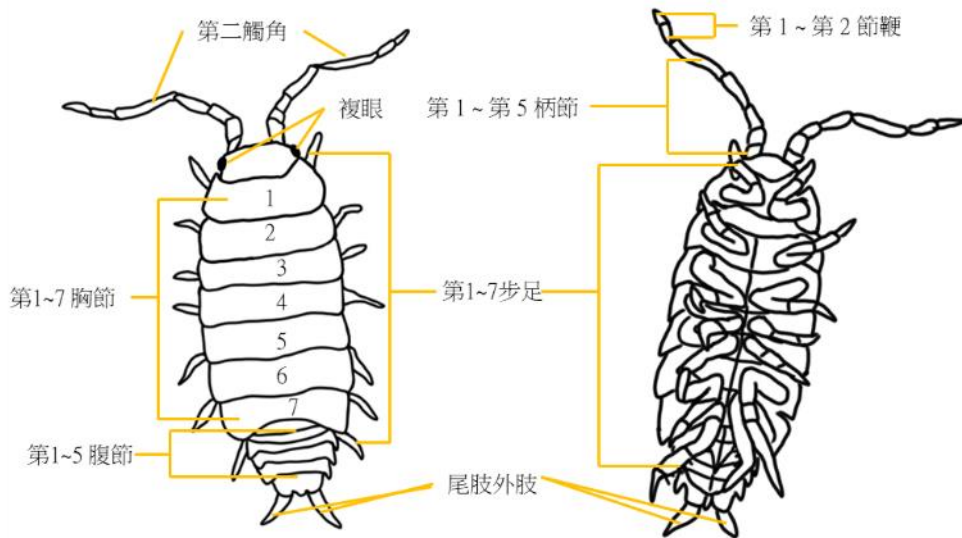


圖 24. 多霜蠟鼠婦外觀 (作者自繪)

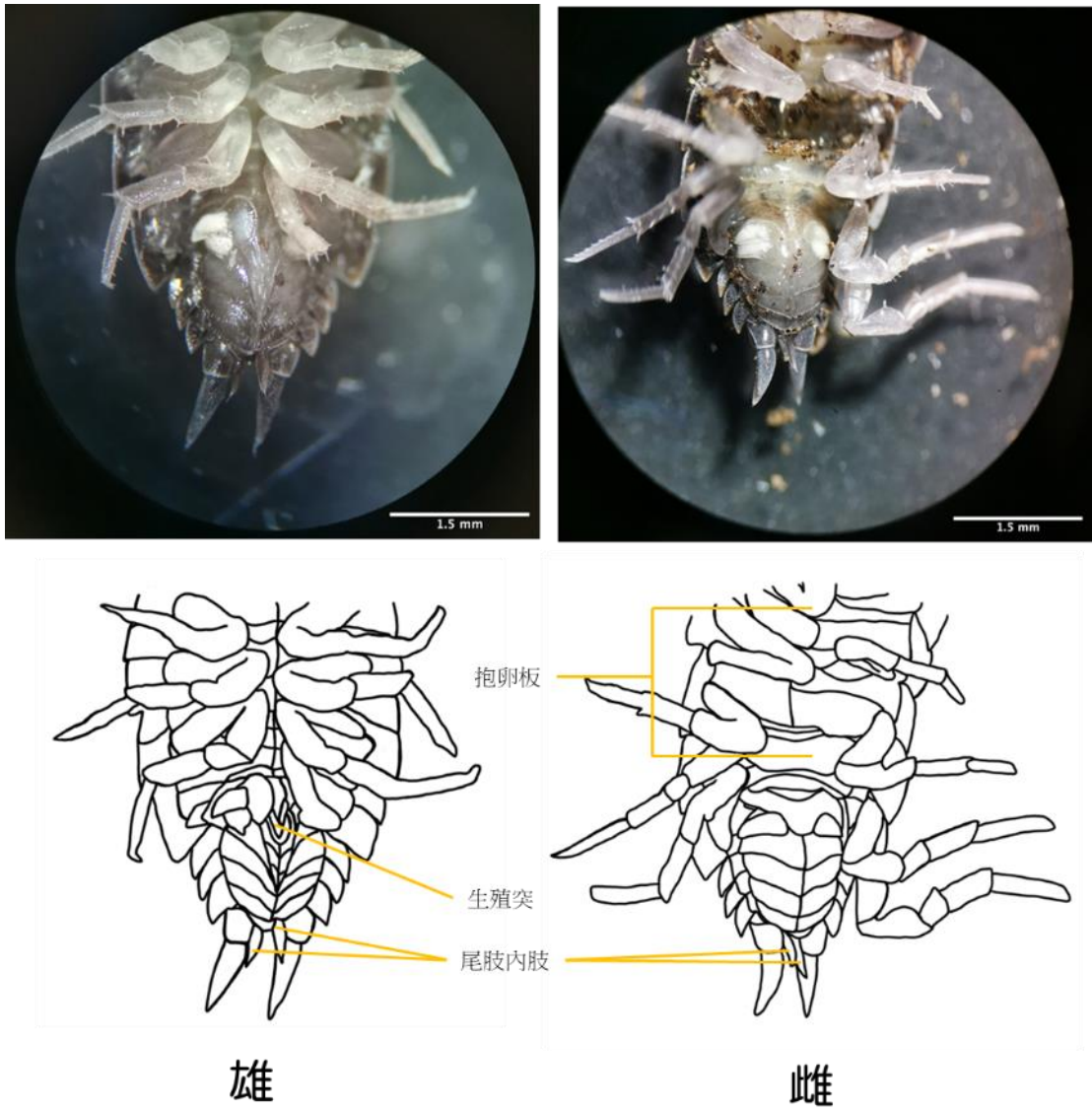


圖 25. 多霜蠟鼠婦雄性、雌性差異 (作者自繪)

二、無強制轉彎之轉向比率

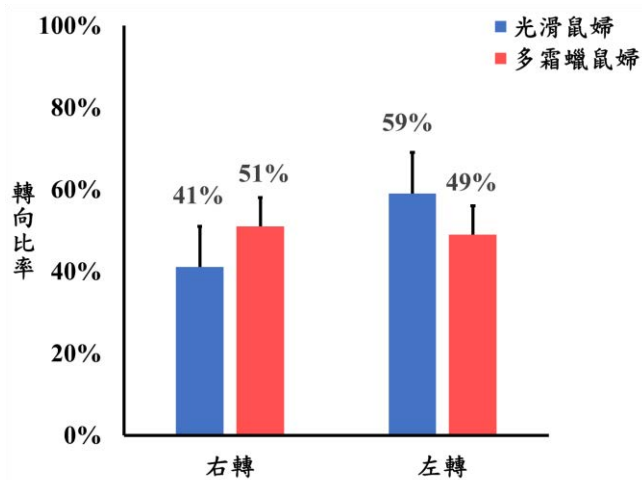


圖 26. 無強制轉彎之轉向比率 (作者自繪)

(光滑鼠婦 $n=75$, $SD=0.06$; 多霜蠟鼠婦 $n=75$, $SD=0.06$)

根據上圖數據，光滑鼠婦左轉機率为 59%，右轉為 41% ($\chi^2=2.253, df=1$)；多霜蠟鼠婦左轉機率則為 49%，右轉則是 51% ($\chi^2=0.013, df=1$)，左、右轉的比率約為 1:1，利用卡方檢定進行統計，得出轉向方向不具有顯著差異，代表左轉與右轉的機率为逢機。

三、強制轉向後之交替性轉向反應

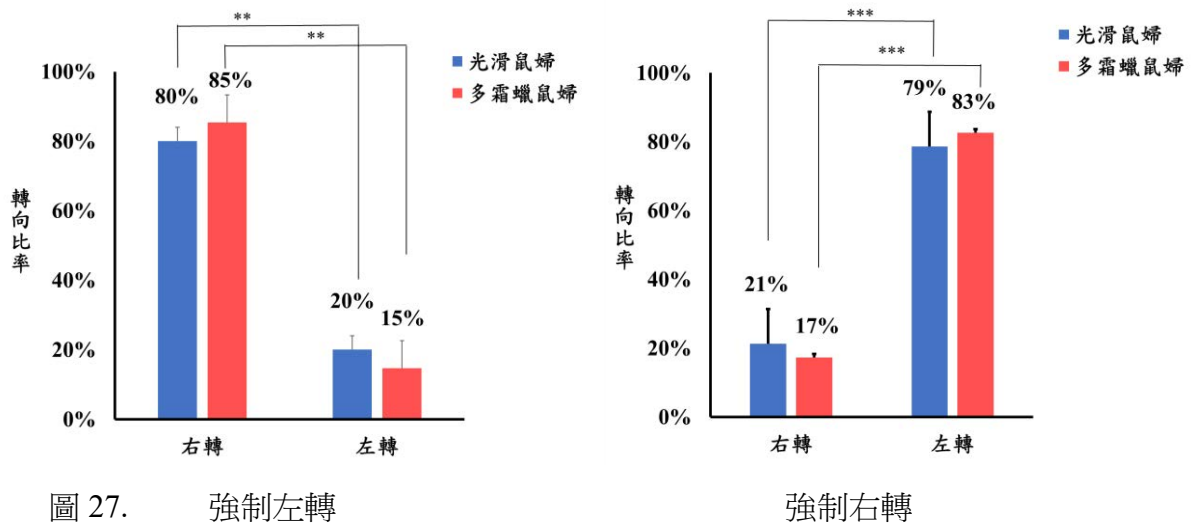


圖 27. 強制左轉

$n=75, \chi^2=27.000, df=1, p<0.01^{***}$

強制右轉

$n=75, \chi^2=32.013, df=1, p<0.01^{***}$

根據上圖實驗結果，我們可從左圖看出當多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦在第一個轉彎口被強制向左轉時，有 85% 的多霜蠟鼠婦 ($n=75, SD=0.02$) 及 80% 的光滑鼠婦 ($n=75, SD=0.12$) 會在 T 字路口右轉，僅有 15%、20% 的多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦會往同方向再次轉彎。從右圖則可看出強制向右轉後，有 83%、79% 的多霜蠟鼠婦 ($n=75, SD=0.08$) 及光滑鼠婦 ($n=75, SD=0.04$) 會在下次 T 字路口往左轉，此方向與強制轉彎方向相反。在進行三重實驗後，利用 SPSS 進行卡方分析，得出經強制轉向後，鼠婦會呈現交替轉向的行為，且轉向方向具有顯著差異，因此根據實驗結果，不論是多霜蠟鼠婦還是光滑鼠婦，都具有交替性轉向反應的行為。

四、鼠婦連續交替性轉向反應

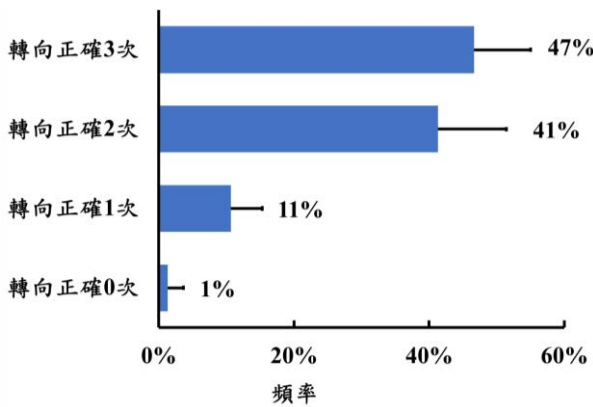


圖 28. 光滑鼠婦連續性交替性轉向反應
 $n=75$, $F(3,8)=30.441$, $p<0.01$ (作者自繪)

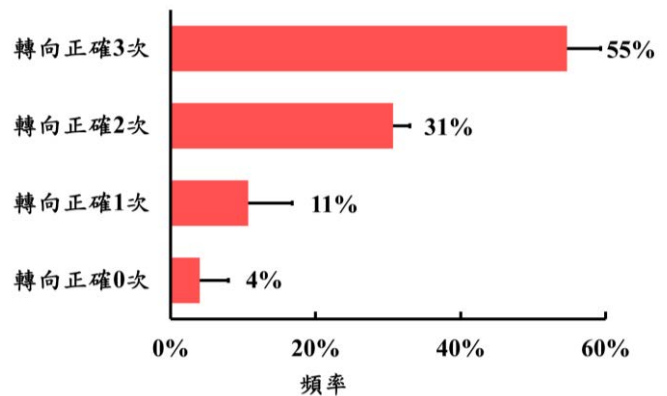
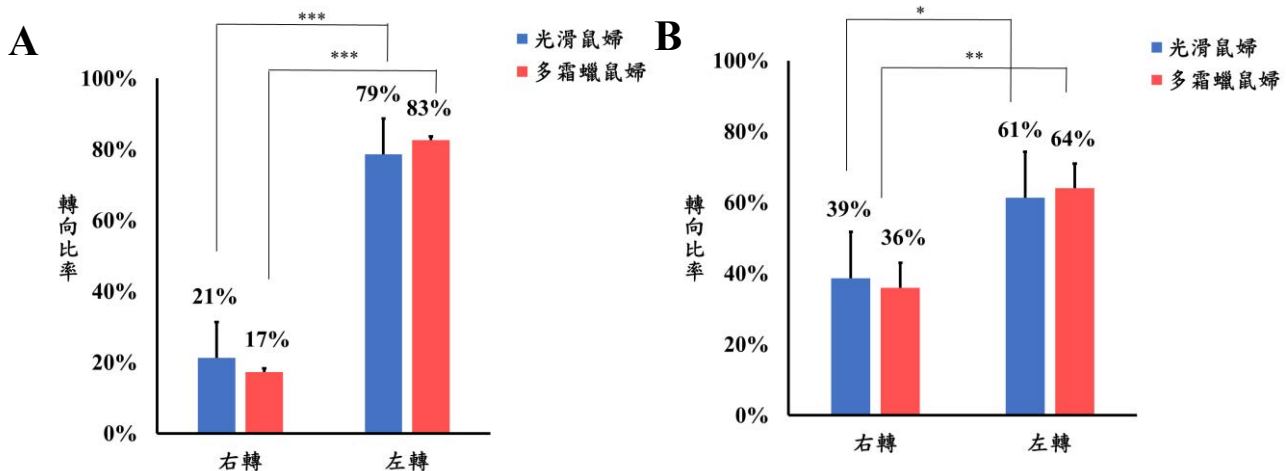


圖 29. 多霜蠟鼠婦連續性交替性轉向反應
 $n=75$, $F(1,4)=77.933$, $p<0.01$ (作者自繪)

由圖 28.實驗結果可以看出，光滑鼠婦在 H 形迷宮中有 47%呈現 3 次規律的交替性轉向反應($n=75$, $SD=0.02$)，即 3 次正確的轉向反應；有 41%呈現 2 次($n=75$, $SD=0.05$)，11%呈現 1 次($n=75$, $SD=0.10$)，僅 1%在三次 T 字路口中皆選擇中同個方向($n=75$, $SD=0.08$)，沒有產生任何交替性轉向反應。

在圖 29.中，有 55%呈現 3 次皆正確的交替性轉向反應，佔超過所有的一半。有 31%呈現 2 次，11%呈現 1 次，只有 4%的多霜蠟鼠婦無交替性轉向反應發生。由此可見，在光滑鼠婦以及多霜蠟鼠婦中，有 88%及 86%鼠婦至少會連續產生 2 次正確的交替性轉向反應，只有不到 1%及 4%的鼠婦無交替性轉向反應。依此可證明，鼠婦是有連續的交替性轉向反應。

五、強制轉向後的距離對鼠婦交替性轉向反應之影響



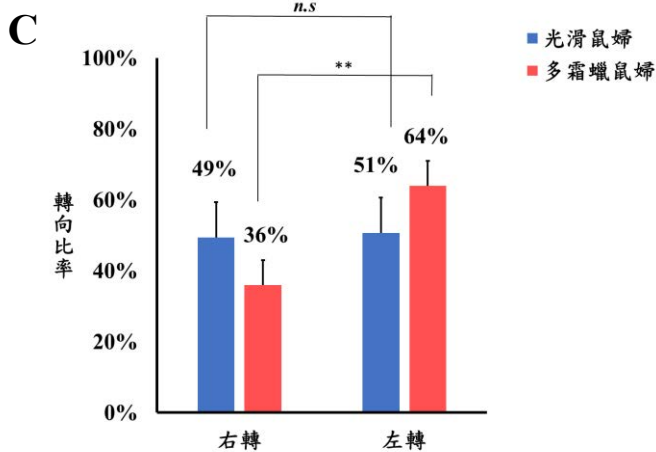


圖 30. 強制轉向後的距離對鼠婦交替性轉向反應之影響 (作者自繪)

$p < 0.01^{***}$ $p < 0.05^{**}$ $p > 0.1^{n.s}$

A : 轉向後 3.2cm

B : 轉向後 8cm

C : 轉向後 12.8cm

在圖 27.中我們確立不管多霜蠟鼠婦還是光滑鼠婦皆會發生交替性轉向反應的行為，接下來我們探討在強制右轉後移動的距離是否會影響交替性轉向反應，將各組數據利用 SPSS 進行卡方分析。

從圖 30-A 來看，當多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦在強制右轉後並移動 3.2cm 抵達的 T 字路口，79%的光滑鼠婦($n=75, SD=0.12$)及 83%的多霜蠟鼠婦($n=75, SD=0.02$)會選擇左轉，僅有 21%、17%的光滑鼠婦、多霜蠟鼠婦向同一個方向再次轉彎，此可看出明顯的交替性轉向反應。(光滑鼠婦： $\chi^2=24.653, df=1, p<0.01$ 、多霜蠟鼠婦： $\chi^2=32.013, df=1, p<0.01$)

從圖 30-B 則可看出，當兩種鼠婦在強制轉向後 8cm 處的 T 字路口時，61%的光滑鼠婦($n=75, SD=0.13$)、64%的多霜蠟鼠婦($n=75, SD=0.07$)在選擇向左轉，另有 39%、36%的光滑鼠婦及多霜蠟鼠婦向右轉，此時左、右轉間仍有顯著差異(光滑鼠婦： $\chi^2=3.853, df=1, p=0.05$ 、多霜蠟鼠婦： $\chi^2=5.880, df=1, p=0.015$)。

當我們將距離加長到 12.8cm，我們可以從圖 30-C 看到，鼠婦們在 T 字路口轉彎時，光滑鼠婦左、右轉的比例大致相同，並無顯著差異(光滑鼠婦： $\chi^2=0.013, df=1, p=0.90$)，唯多霜蠟鼠婦左右轉向上仍有統計上的差異，但此結果與圖.26 沒有強制轉向的鼠婦在 T 字路口時左右轉比例接近。

六、移動距離是否會影響交替性轉向發生

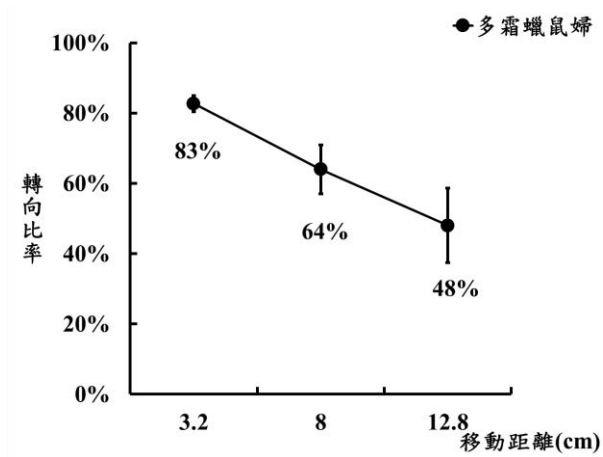


圖 31. 強制轉向後的距離對多霜蠟鼠婦交替性轉向反應之影響 (作者自繪)

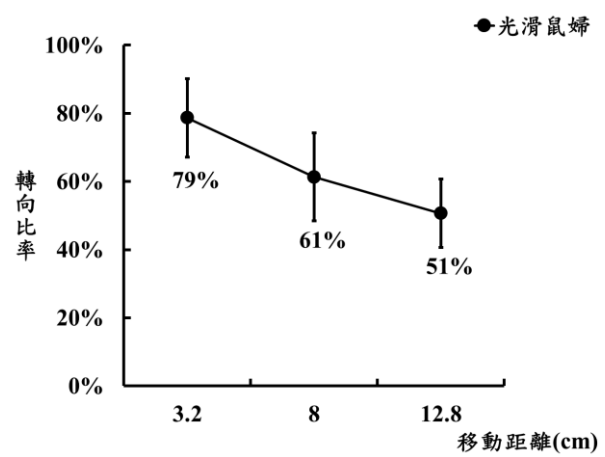


圖 32. 強制轉向後的距離對光滑鼠婦交替性轉向反應之影響 (作者自繪)

我們將 3 種距離的實驗結果以折線圖處理，表示當鼠婦在強制轉向後移動的距離與交替性轉向反應之間的關係，由圖 30-A 與圖 30-B 可以發現，不論是光滑鼠婦或多霜蠟鼠婦，在強制轉彎後到下一個 T 字路口的距離為 3.2cm 時，交替性轉向反應的比率較距離 8cm 者大(多霜蠟鼠婦為 83%、光滑鼠婦為 79%)，此轉向比率隨著強制轉向後移動距離增加而減少，當距離達 12.8cm 時，兩種鼠婦交替性轉向反應比率僅為 64%及 51%(圖 30-C.)，此結果呈現兩種鼠婦的交替性轉向反應比率與轉向後移動距離有顯著關係。

七、鼠婦強制貼牆對交替性轉向反應之影響

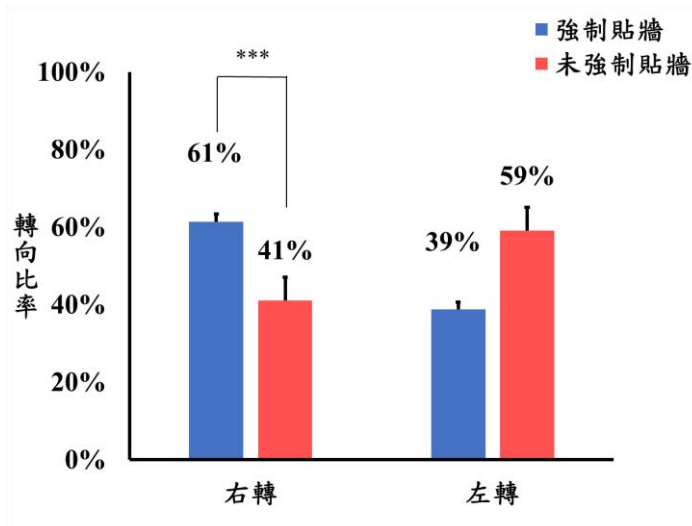


圖 33. 光滑鼠婦強制貼牆對交替性轉向反應之影響 (作者自繪)
 $n=75, \chi^2=32.800, df=1, p<0.01^{***}$

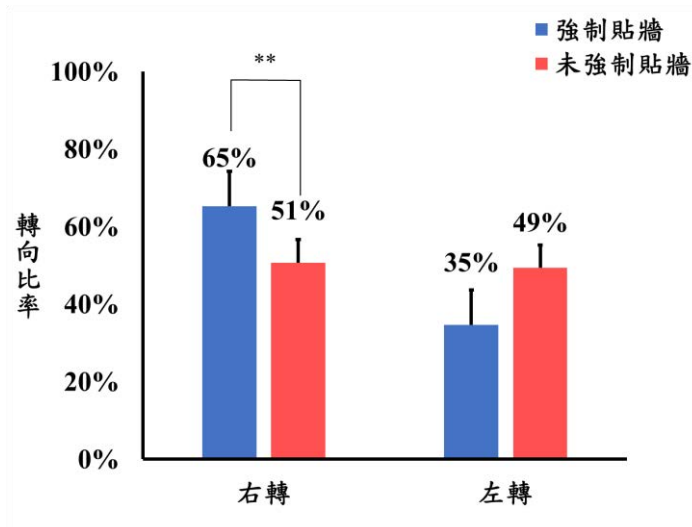


圖 34. 多霜蠟鼠婦強制貼牆對交替性轉向反應之影響 (作者自繪)
 $n=75, \chi^2=6.16, df=1, p<0.05^{**}$

數據經 SPSS 進行卡方分析後如上圖實驗結果，光滑鼠婦強制沿牆行走與其左、右轉機率和控制組數據有明顯差異，我們發現在強制貼牆情況下，可以影響鼠婦轉向的決策，在圖 33.中，光滑鼠婦控制組右轉為 41%，經強制貼牆行走後，右轉比率提高至 61%，另外，圖 34.中多霜蠟鼠婦強制貼右牆後右轉比率從 51%提高至 65%，因此我們認為鼠婦沿牆行走可能為轉向方向的因素。

八、鼠婦直線及右轉步態分析

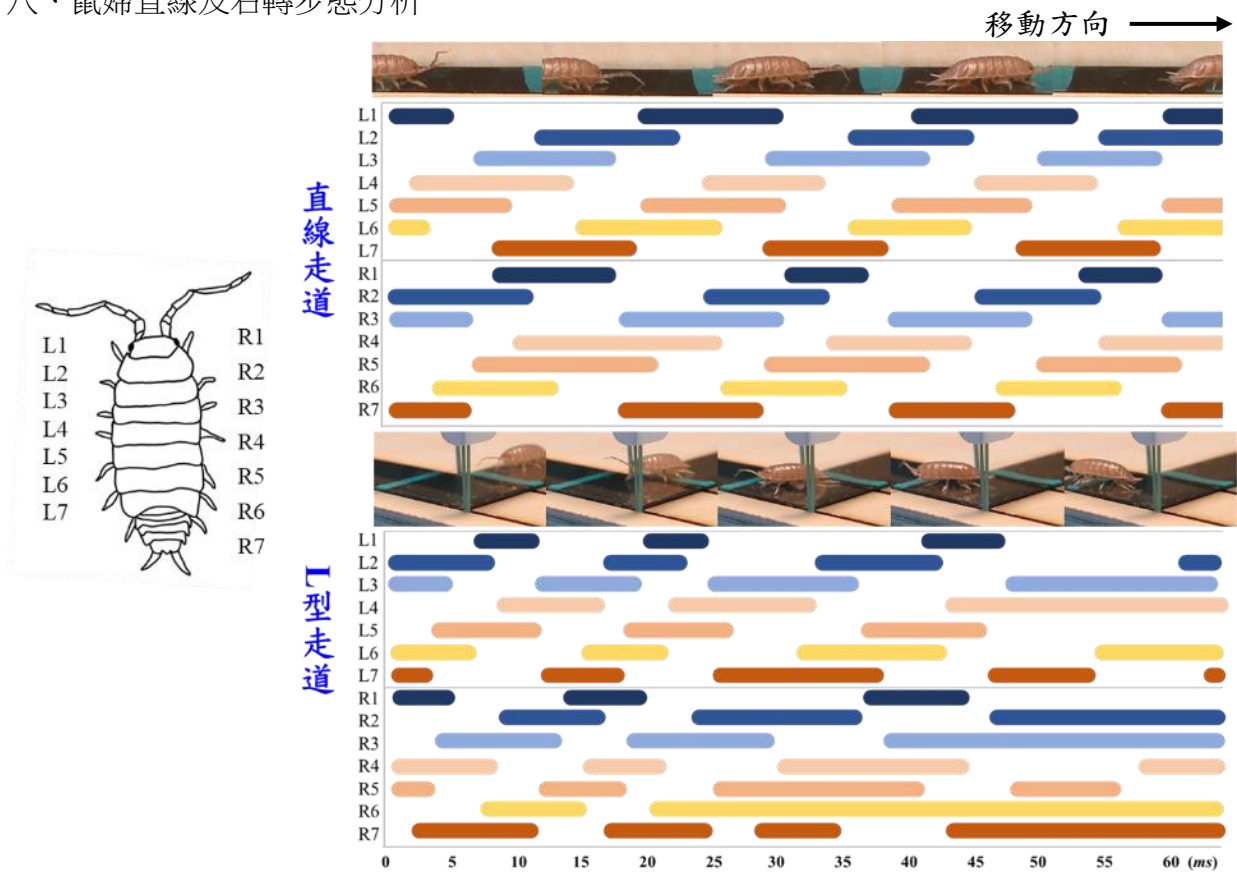


圖 35. 光滑鼠婦直線及右轉步態

從圖 35. 直線走道步態圖中可以得知，鼠婦每側胸肢移動會從第 7 胸肢依序擺動到第 1 胸肢，與行進方向相同。此外，鼠婦直線移動時左、右側胸肢輪流呈現站立期 (stance phase) 及擺動期 (swing phase)，並規律地行走。由 L 型走道步態圖中，有些胸節兩側腳 stance phase 會同時出現，且轉彎時，L4、R3、R6、R7 的站立期較其他胸肢長，分別為 15ms、25ms、43ms、20ms，明顯與直線走道步態圖不同。

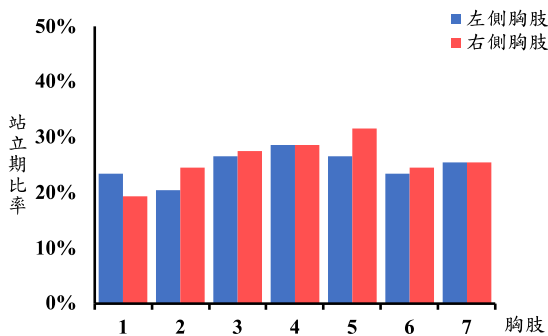


圖 36. 光滑鼠婦直線步態站立期比率圖

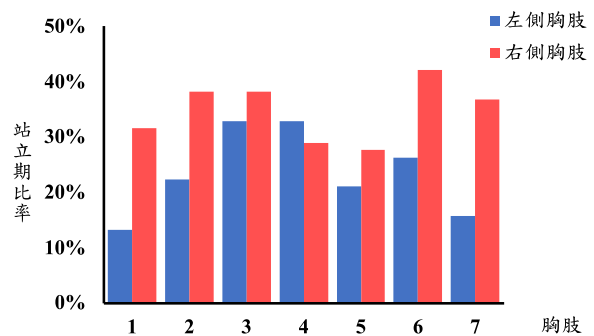


圖 37. 光滑鼠婦右轉步態站立期比率圖

註：站立期比率計算方式：站立期幀數=總幀數×100%

進一步分析直線移動及右轉過程中，左、右側胸肢站立期的差異，在圖 37. 中顯示當鼠婦轉向時，右側胸肢第 1、2、6、7 對站立期比率明顯高於左側，與圖 36. 對照組有差異。

伍、 討論

一、轉向中支點腳與交替性轉向反應之關係



圖38. 光滑鼠婦轉向示意圖

在鼠婦步態實驗圖(圖35.)中我們得知，當鼠婦轉彎時 R3及 R6的站立期(stance phase)與直線行走的步態不同，而由圖37.看出在鼠婦轉彎過程中，左、右側第1、2、6、7對胸肢不平衡的現象，由此推測鼠婦轉彎過程中以 R3、R6作為右轉的支點，此時右側會受到較大負擔，因此在下一次左、右轉選擇，鼠婦就會偏好左轉，以平衡左、右側腳的負擔，於是產生交替性轉向反應行為。

二、鼠婦沿牆移動行為與轉向反應的關聯

在實驗過程中我們發現，鼠婦會沿著迷宮賽道中一側牆移動，到轉彎處便會順著那側牆轉彎，當時我們推測鼠婦轉向反應中，牆可能是影響因素之一，但並沒有找到相關研究的文獻。因此我們設計迷宮將鼠婦在轉彎前從左側牆導向右側牆面，若右轉比例較多，則鼠婦會貼牆走的假設是成立的。實驗結果顯示，在貼牆的引導下，該側轉向頻率會增加，因此貼牆行為可能為影響轉向反應的因素之一，有待後續更進一步證明。

三、本研究與其他研究的差異性

表 3. 本研究與其他研究比較

研究作者	Hughes (1967)、(1985)	本研究	本研究貢獻
鼠婦種類	糙瓷鼠婦 (<i>Porcellio scaber</i>)	多霜蠟鼠婦 (<i>Porcellio pruinosus</i>) 光滑鼠婦 (<i>Porcellio laevis</i>)	驗證不同種鼠婦皆有明顯的交替性轉向反應
迷宮材料	壓克力	樂高積木	使用樂高積木 方便組合、重覆使用
迷宮設計	T 型設計 H 型設計	T 型設計 H 型設計 沿牆賽道設計 透明賽道設計	獨創沿牆迷宮及透明賽道 發現沿牆移動為因素之一 且探討鼠婦的行走步態
步態分析	無	直線行走 轉彎步態	分析鼠婦直線與轉彎時步態 的差異
BALM 假說相關觀察分析	轉彎時外側腳須轉 較大角度，移動較 多步數	內側腳因作為支點，負 擔較外側腳大	找到與前人研究不同的證據

四、緊迫的鼠婦能較快完成迷宮且交替性轉向反應比率增加

實驗中，當我們抓取鼠婦觀察時，鼠婦會因受到驚嚇而迅速移動，而當牠們在陰暗潮濕的舒適環境，則會停留在該地方。回顧文獻時也發現，糙瓷鼠婦(*P. scaber*)也有類似的行為，Hughes 提到糙瓷鼠婦在被剝奪食物或乾燥時比在充分餵養或保持潮濕時，交替性轉向反應頻率會增加 (Hughes, 1967)。Carbines 等人為了進一步證明，將鼠婦主要天敵野豬蛛(*Dysdera crocata*)放進迷宮中，讓鼠婦一開始和蜘蛛在同一空間，鼠婦受到驚嚇後交替性轉向反應頻率會增加。因此我們未來可以進一步驗證光滑鼠婦以及多霜蠟鼠婦是否在受到驚嚇後，其交替性轉向反應是否頻率增加。

五、過小的迷宮賽道會影響鼠婦行走的意願

實驗過程中我們發現，若迷宮走道接近鼠婦體寬時，會降低鼠婦走迷宮意願，推測是因為若往較窄小地方前進，遇到危險可能會無法迴轉逃脫，所以比較不會順著迷宮走道前進，反而會回頭或是停在原地，因此我們在設計迷宮賽道時，加寬我們的迷宮賽道。

六、交替性轉向反應因不同物種而有所差異

我們比較整理文獻，發現各物種間有一些有趣的差異，我們整理成以下表格進行討論。從分析中我們發現，強制轉向次數對不同種類動物的交替行為反應有不同的影響(表 4.)，而在強制轉向和選擇點間之不同距離對交替行為反應的影響可能也因生物種類不同而有不同結果(表 5.)

表 4. 強制轉向次數對交替性轉向的影響

生物種類	糙瓷鼠婦 <i>Porcellio scaber</i>	麵包蟲 <i>Tenebrio molitor</i>	草履蟲 <i>P.multimicronucleatum</i>
強制轉向次數之影響	正影響 (+) 轉向次數愈多，交替性轉向愈明顯	正影響 (+) 轉向次數愈多，交替性轉向愈明顯	負影響 (-) 轉向次數愈多，交替性轉向愈不明顯
參考文獻	Hughes (1967)	Grosslight & Ticknor (1953)	Lepley & Rice (1952)

表 5. 兩次轉向間的距離對交替性轉向反應的影響

生物種類	糙瓷鼠婦 <i>Porcellio scaber</i>	麵包蟲 <i>Tenebrio molitor</i>	球鼠婦 <i>Armadillidium vulgare</i>
兩次轉向間距離與交替性轉向反應之影響	負影響 (-) 距離越長，交替行為反應頻度越低	負影響 (-) 距離越長，交替行為反應頻度越低	不明顯 未能觀察距離與交替行為反應頻度之關係
參考文獻	Hughes (1966)、(1967)	Dingle (1964)、Grosslight & Harrison (1961)	Kupferman (1966)

七、溫度會影響鼠婦活動力

在放學進行實驗時，我們觀察到鼠婦在迷宮中移動速度較慢，但是我們在假日中午前做實驗時，卻發現鼠婦活動力明顯比晚上做實驗來得強，結合我們在野外觀察的現象，我們曾在早上以及中午進行採集，我們發現中午有陽光時，鼠婦偏好在土表上的落葉堆淺層中活動，但在早上採集時，卻必須要用鏟子挖土才能採集到鼠婦，因此我們推測溫度以及光線可能是影響鼠婦活動力的因素。我們實驗環境以及飼養環境時皆須維持固定溫度，以確保實驗數據可靠性。

八、是否有學習行為

在一次偶然情況下，我們使用已實驗過的鼠婦進行無強制轉向 T 字路口的實驗，實驗數據顯示左、右轉的頻率與文獻中以及控制組相差甚大。我們討論出幾個變因：

(一) 樂高積木殘留鼠婦轉向的線索

為驗證此假說，我們購買全新的樂高積木並且重新拼裝迷宮，進行實驗後發現結果仍然差距甚大，因此否決此假說。

(二) 環境光線具有方向性

為驗證此假說，我們利用瓦楞紙箱覆蓋迷宮四周遮擋光線，去除來自周圍的光線，僅留下由上而下的直射光線，但實驗結果未改變，因此否決此假說。

(三) 鼠婦具有學習行為或是記憶

為驗證此假說，我們去採集地採集全新的鼠婦（未受實驗過的鼠婦，且為同一母體）並讓鼠婦進行未強制轉向的 T 字迷宮，沒想到鼠婦左、右轉比例相較之前的數據，明顯接近1:1。

我們根據實驗結果，排除是實驗場地的光線方向性或是樂高殘留鼠婦轉向的線索，但也確認未經實驗的鼠婦能表現如控制組般的轉向比率，唯本次研究未來得及完成關於鼠婦是否有學習的能力，有賴未來繼續朝此方向進行研究。

陸、 結論

- 一、實驗結果發現，多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦都具有交替性轉向反應。
- 二、多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦在強制左轉或右轉的情況下，皆有交替性轉向反應，且會連續呈現該反應。
- 三、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，則交替性轉向反應比率降低。
- 四、鼠婦移動時，有沿牆行走行為，該現象可能影響交替性轉向反應。
- 五、當鼠婦遇到連續左右轉選擇路口時，大多數鼠婦都表現出交替性轉向反應，僅有少數鼠婦不發生此反應。
- 六、鼠婦在直線與轉彎時，呈現兩種不同步態；轉彎時，內側胸肢的站立期比率較外側胸肢高，此現象可以作為支持 BALM 假說的另一項證據。

柒、 未來展望

我們想進一步探討鼠婦移動時，步距與交替性轉向反應的關聯，以及轉彎時的轉向角度是否會影響交替性轉向反應。累積更多的數據便能建立模型，來了解多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦覓食和逃離天敵的策略。這樣的行為模式可應用於仿生學中，提供多足機器人調整步態的重要依據。

捌、 參考文獻資料

一、外語文獻

1. 川合隆嗣 (2011)。無脊椎動物における交替性轉向反応研究の展開と問題点について。The Japanese Journal of Animal Psychology, 61, 1, 83-93.
2. R. N. HUGHES (1985). Mechanisms for turn alternation in woodlice (*Porcellio Beaber*): The role of bilaterally asymmetrical leg movements. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 13 (3), 253-260.
3. R. N. HUGHES (1967). TURN ALTERNATION IN WOODLICE (*PORCELLIO SCABER*). Department of Psychology, The Queen's University of Belfast, 282-286. . Munetaka Watanabe, K. Iwata Published 25 April 1956 Psychology The annual of Animal Psychology
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. Robert N. Hughes(1965). TACTILE CUES, BILATERALLY ASYMMETRICAL LEG MOVEMENTS AND BODY DISTORTION IN ISOPOD TURN ALTERNATION. University of Canterbury.
6. R.N.Hughes(1961). Mechanisms for turn alternation in four invertebrate species. Department of Psychology, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand.
7. Munetaka Watanabe, Kiyotugu Seizi Iwata(1956). Alternative Turning Response of *Armadillidium vulgare*. The Annual of Animal Psychology, 75-82.

二、學位論文

8. 陳美如 (2011)。台灣陸生等足目鼠婦科(*Porcellionidae*)、氣肢蟲科(*Trachelipodidae*)、緣潮蟲科(*Agnaridae*)之分類研究 (碩士論文)。臺灣博碩士論文知識加值系統

【評語】 030304

本研究的題材新穎，驗證多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦的交替性轉向反應行為，發現兩種鼠婦皆具有交替性轉向反應，且可連續發生；轉向後移動距離增加，反應頻率愈低，並且證明沿牆行走會影響轉向方向。實驗方法簡單明瞭，具有研究的創意，不論是動物繪圖、數據呈現或是迷宮製作都非常的具有水準。建議如下：

1. 該團隊已經進行了數種測試，推測可能真的有學習行為，未來將會非常有趣的研究方向。
2. 此研究可以加以延伸，例如走道的寬窄是否影響轉向比例、強制多次轉相同方向後是否會影響後續的行為、以及移動距離對於交替性轉向反應行為的影響性等。
3. 除了 BALM 假說之外，作者是否能夠提出新的假說，說明交替性轉向對鼠婦是否具有任何生理或生態學上的意義？

作品簡報



多霜蠟鼠婦、光滑鼠婦的交替性
轉向反應行為探討

科別：生物科

組別：國中組

文獻回顧

交替性轉向反應 (Turn alternation reaction)

1. 當動物移動時，若連續遭遇左、右轉的T字路口，其轉向方向會與上一次相反，此反應稱為**交替性轉向反應**。具有該反應的生物有草履蟲、麵包蟲及鼠婦等無脊椎動物 (Hughes ,1967)。
2. 目前認為生物之所以擁有交替性轉向反應，有兩種假說：
 - 1) 促進生物探索、分散、覓食和逃離天敵以及惡劣環境
 - 2) 為降低**雙側不對稱的腿部運動**對動物的影響(BALM)(Barnwell ,1965) (R. N. Hughes ,1961)。
3. 我們找到關於鼠婦交替性轉向反應文獻中，並無多霜蠟鼠婦及光滑鼠婦相關實驗，且科展群傑廳也無相關研究，因此我們更想深入探討此行為。

研究方法

一、飼養環境及鼠婦步態實驗



圖1. 飼養盒內部設置

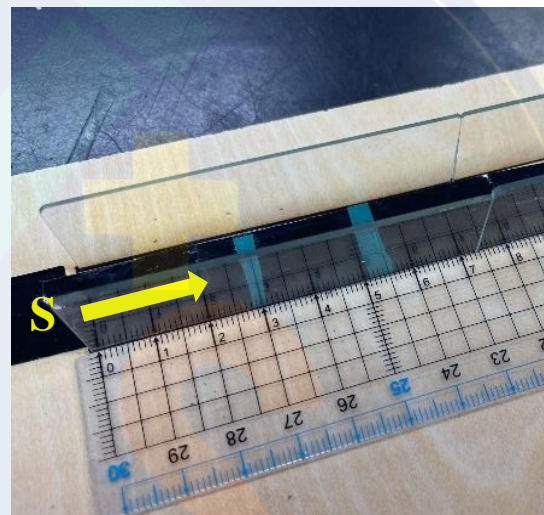


圖2. 直線走道

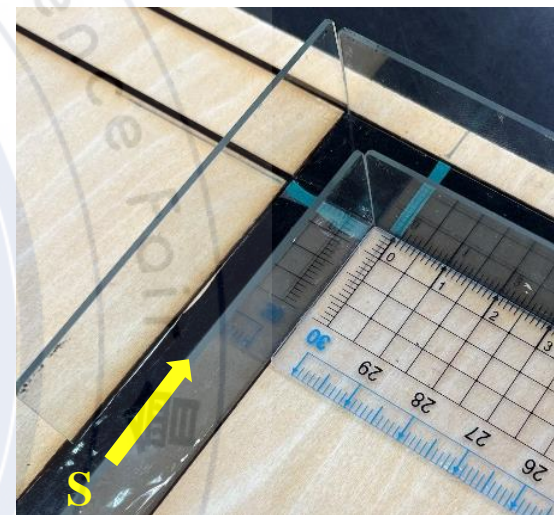


圖3. L型走道

將40隻鼠婦飼養在溫度為室溫及RH 95%的飼養盒中，盒內鋪設園藝用土壤，定期補充飼料及墨魚骨(圖一)。將木板當作走道底座，載玻片當作牆壁，設計出方便觀察鼠婦步態的透明走道(圖二)。

研究方法

二、迷宮設計

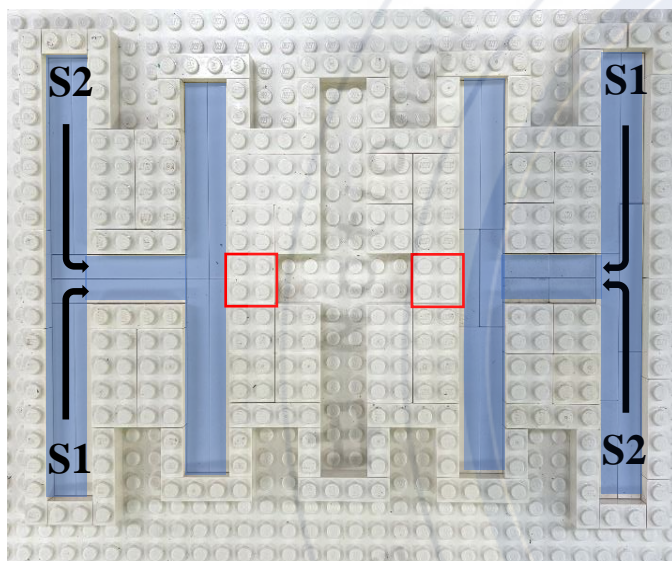


圖4. 強制轉彎T字迷宮

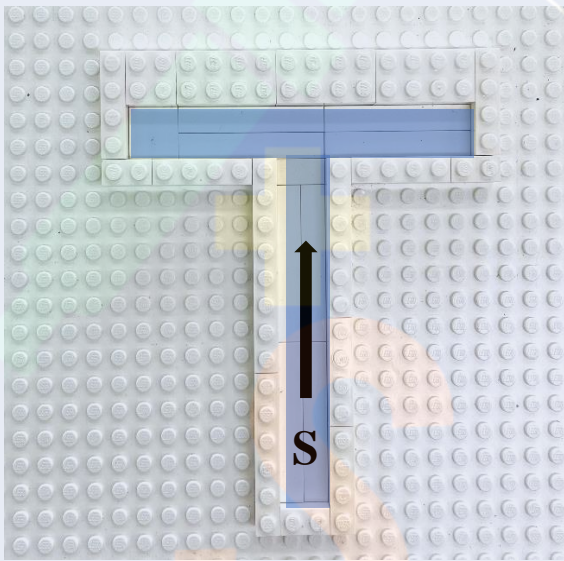


圖5. 無強制轉彎T字迷宮

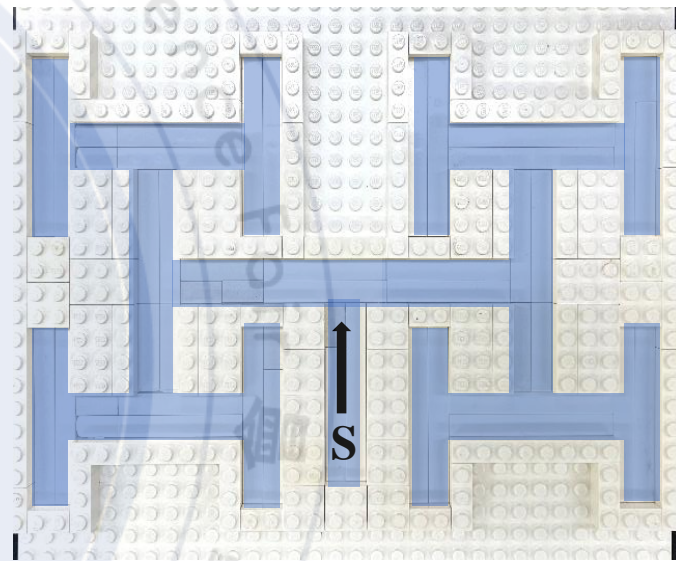


圖6. H型迷宮

藍底：迷宮走道 箭頭：移動方向 紅框：阻擋方塊 S：起點 S1：強制右轉 S2：強制左轉

利用LEGO®積木組成鼠婦迷宮，我們在賽道中間放置2x2的LEGO®阻擋鼠婦的路徑，以形成不同長度的迷宮，並將鼠婦放置於S點、距離S點4cm處設置起跑線，距離起跑線4cm處則為強制轉彎處。

研究結果

一、鼠婦是否有交替性轉向反應？

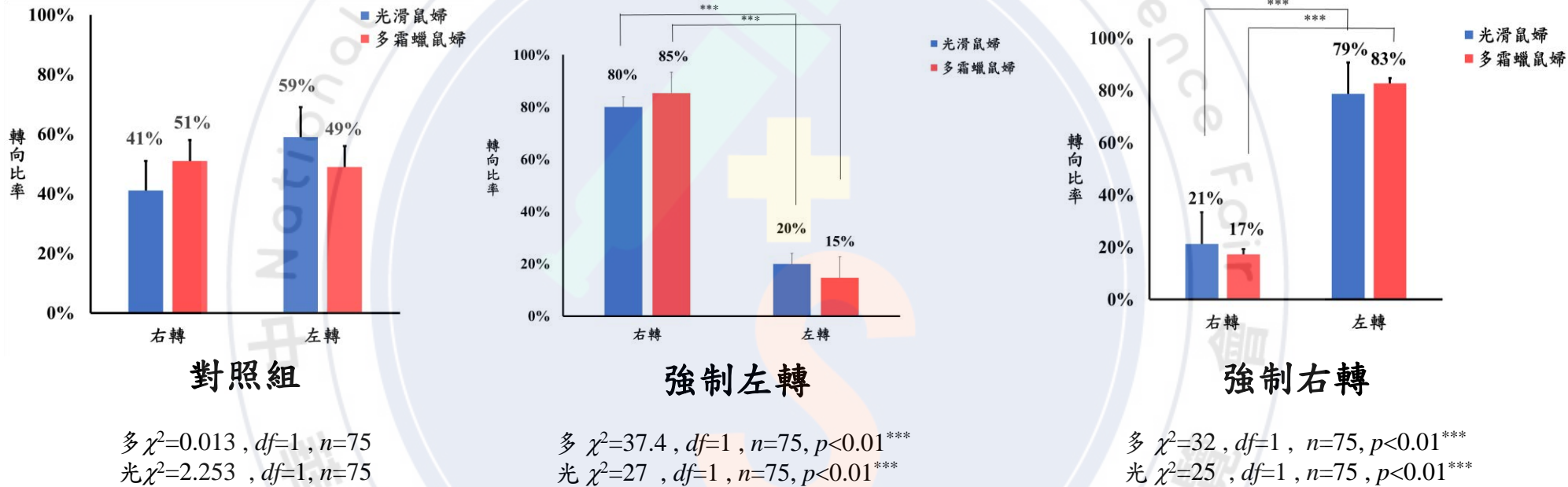


圖7. 鼠婦交替性轉向反應

約有8成鼠婦經強制轉向後，會呈現出交替轉向的行為。利用卡方分析後，其轉向方向具有顯著差異。因此兩種鼠婦都具有交替性轉向反應的行為。

研究結果

二、交替性轉向反應是否能連續發生？

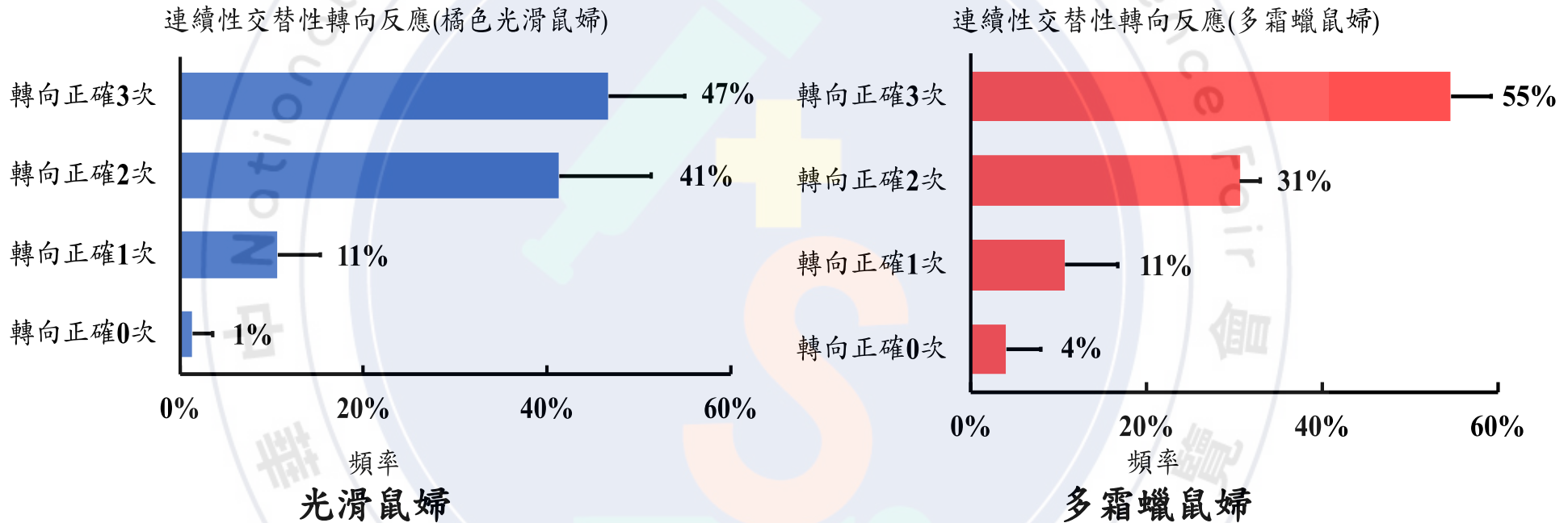


圖8.

兩種鼠婦中，有約8成以上的鼠婦至少會連續產生2次正確的交替性轉向反應。由此證明，**交替性轉向反應可以連續發生**。

研究結果

三、沿牆移動會影響轉向反應發生嗎？

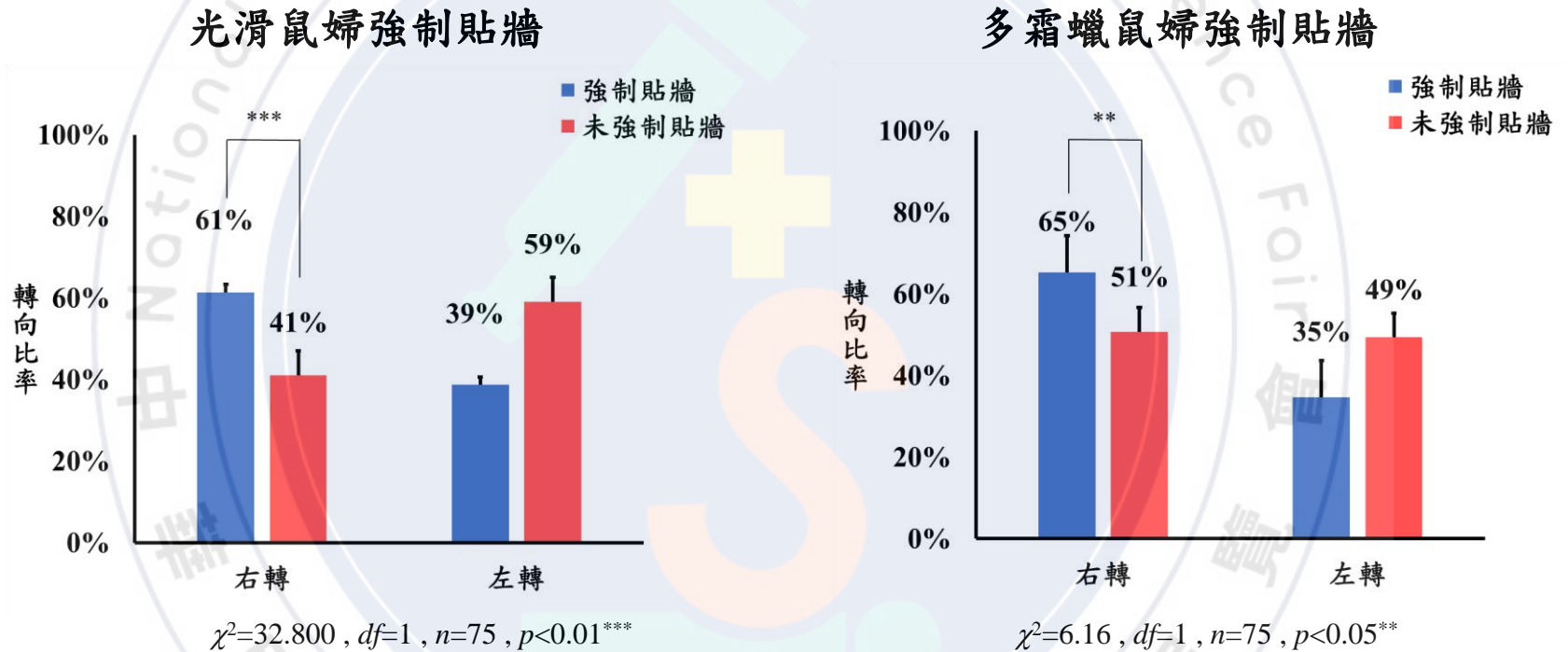


圖9.

強制沿牆行走，左、右轉機率和控制組數據有明顯差異。例如光滑鼠對照組右轉約為41%，經強制貼牆行走後，右轉比率提高到約61%，因此鼠沿牆行走可能為轉向方向的因素。

研究結果

四、移動距離是否會影響交替性轉向發生？

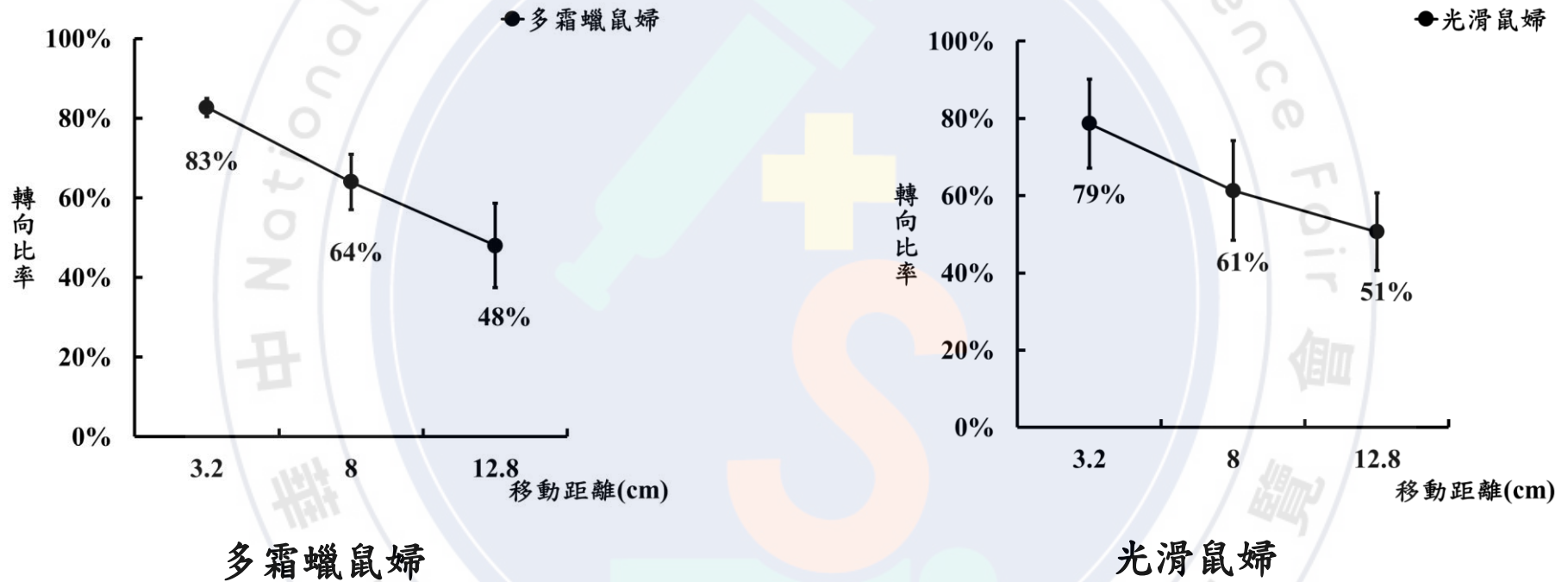


圖10. 移動距離對交替性轉向反應的影響

結果顯示強制轉向後移動距離越長，交替性轉向反應發生頻率下降。

研究結果

五、鼠婦移動步態分析

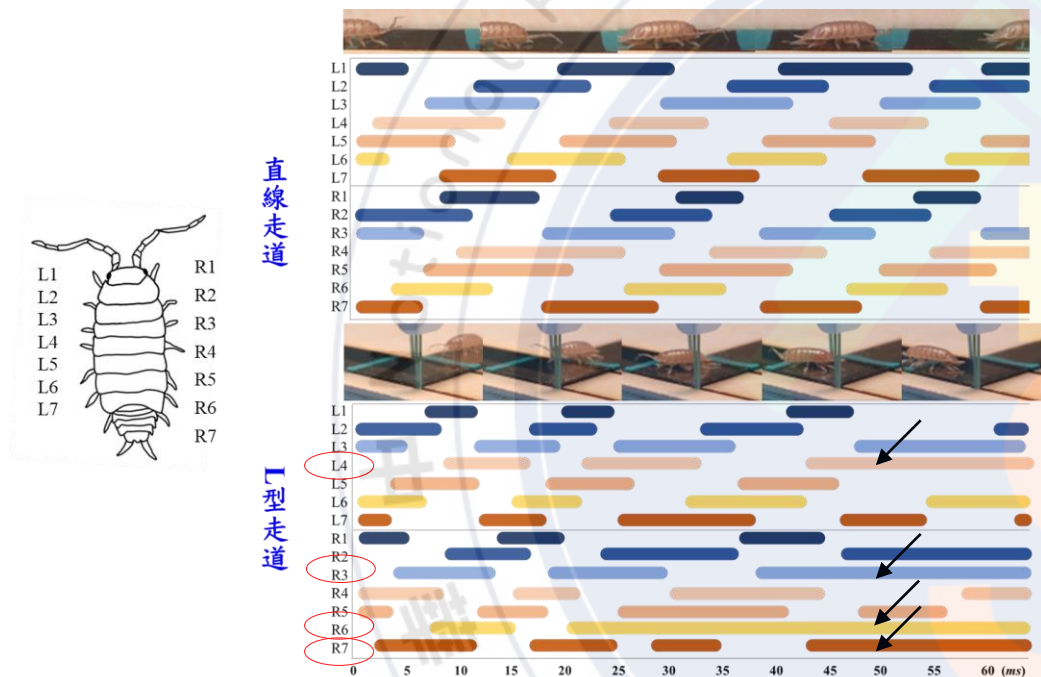


圖11. 步態分析

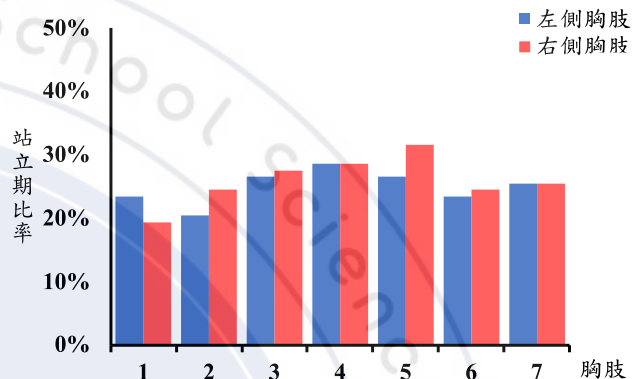


圖12. 光滑鼠婦直線步態

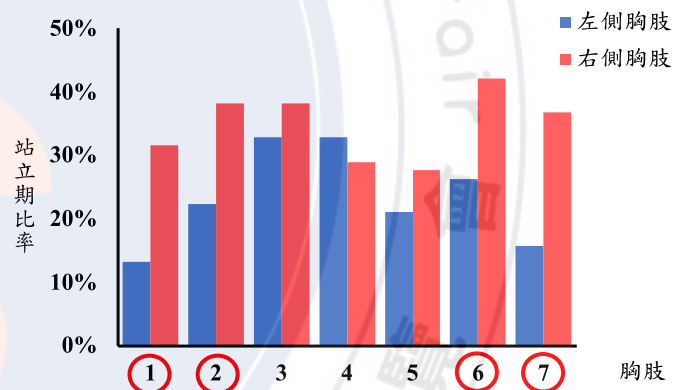


圖13. 光滑鼠婦右轉步態

圖11中L型走道中L4、R3、R6、R7的站立期時間分別為15ms、25ms、43ms、20ms，與直線行走不同。圖12中鼠婦直線行走時，雙肢的站立期比率相近，而鼠婦右轉時，右側第1、2、6、7對胸肢站立期比率高於左側胸肢與對照組有差異。

討論

一、轉向中BALM與交替性轉向反應之關係



圖14. 光滑鼠婦轉向示意圖

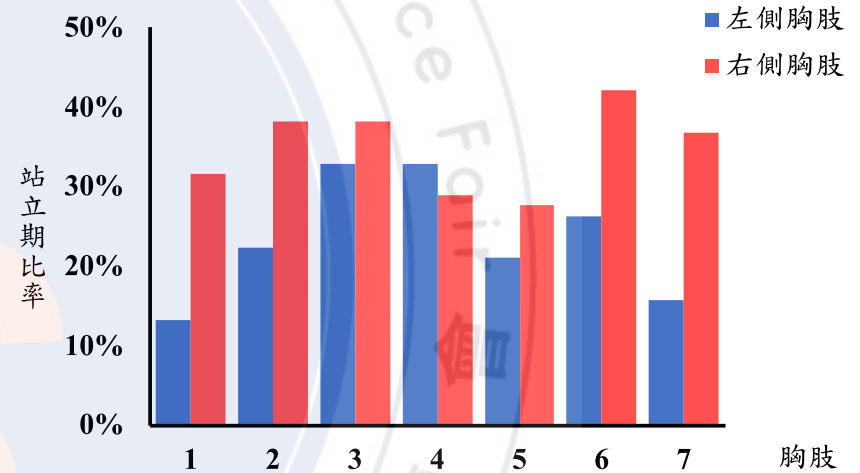


圖15. 光滑鼠婦右轉步態

步足R1、R2、R6、R7站立期比例比左側多，受到的負擔較大，為了平衡左右側負擔，因此在下一次左、右轉選擇，鼠婦**選擇左轉機率較大**，於是**產生交替性轉向反應**。

討論

二、本研究的原創性結果

研究作者	Hughes (1967)、(1985)	本研究	本研究貢獻
鼠婦種類	糙瓷鼠婦 (<i>Porcellio scaber</i>)	多霜蠟鼠婦 (<i>Porcellio pruinosus</i>) 光滑鼠婦 (<i>Porcellio laevis</i>)	驗證不同種鼠婦皆有明顯的交替性轉向反應
迷宮材料	壓克力	樂高積木	使用樂高積木方便組合、重覆使用
迷宮設計	T型設計 H型設計	T型設計 H型設計 沿牆賽道設計 透明賽道設計	獨創沿牆迷宮及透明賽道發現沿牆移動為因素之一且探討鼠婦的行走步態
步態分析	無	直線行走 轉彎步態	分析鼠婦直線與轉彎時步態的差異
BALM 假說相關觀察分析	轉彎時外側腳須轉較大角度，移動較多步數	內側腳因作為支點，負擔較外側腳大	找到與前人研究不同的證據

表1. 本研究與其他相似研究的比較

結論

1. 實驗結果發現，多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦都具有交替性轉向反應。
2. 多霜蠟鼠婦和光滑鼠婦在強制左右轉的情況，大多數鼠婦都表現出交替性轉向反應，且會連續呈現該反應。
3. 強制轉向後鼠婦移動距離的長度，會影響交替性轉向反應，當移動距離越長，則交替性轉向反應比率越低。
4. 鼠婦在迷宮走道上移動時，有沿牆行走行為，該現象可能影響交替性轉向反應。
5. 鼠婦在直線與轉彎時，呈現兩種不同步態；轉彎時，內側胸肢的站立期比率較外側胸肢高，此現象可以作為支持BALM假說的證據。

未來展望

我們將進一步探討鼠婦移動時，步距、BALM與交替性轉向反應的關聯，以及轉彎時的轉向角度是否會影響交替性轉向反應。並累積更多的數據建立模型，來了解鼠婦覓食和逃離天敵的策略。這樣的行為模式(BALM)也可應用於仿生學中，提供多足機器人調整步態的重要依據。