

**2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】**  
**普高組 成果報告表單**

題目名稱： 如鼠家珍——習慣與決策依賴性在鼠婦(*Cubaris murina*)負趨光行為中的效應

一、摘要

本研究以木瓜鼠婦(*Cubaris murina*)探討鼠婦之習慣行為之養成及學習行為。設計 T 型迷宮並利用鼠婦之負趨光行為作為動物模式。本研究發現鼠婦在負趨光性刺激剛消失後，仍呈現負趨光性的選擇方向，顯示行走方向具有習慣性。鼠婦在選擇行走方向多次後，會呈現與前次選擇的相關性(同向選擇頻率增加)。在負趨光性的環境刺激後，上述現象會先消失，而後再現。負趨光性的環境刺激消失後，與前次選擇的相關性仍會維持。若負趨光性刺激方向轉換，則原先的趨光行為消失，應是因方向選擇的習慣性干擾了負趨光性的選擇，但亦會呈現與前次選擇的相關性。可能是因在習慣性與負趨光刺激等相反的決策趨動力同時作用下，鼠婦會依賴前次的決策。

二、探究題目與動機

鼠婦(pill bugs)是一類十分常見、在盆栽或落葉堆中便能找到的甲殼類動物。我們偶然瀏覽到數篇有關鼠婦「交替性轉向(turn alternation)」行為的研究。當連續遇到左、右轉的 T 字路口時，鼠婦轉向方向會與上一次相反，使其在遇到障礙物時，整體行進方向仍維持直線前進。我們對此行為頗感興趣，因此著手探討負趨光性對交替性轉向的影響，以及鼠婦在轉向過程中是否有學習行為或建立習慣。

三、探究目的與假設

本研究利用鼠婦的負趨光行為特性，觀察鼠婦在多次轉向同一側(暗側)，再回到原環境(兩側亮度相同)後，轉向行為之改變情況，並進一步探討其是否有學習或習慣之建立。

研究目的

- (一) 探討鼠婦是否具有趨光性行為特性。
- (二) 建立負趨光性期間與恢復期的動物觀察模式，比較鼠婦轉彎方向的選擇性是否具有習慣性？
- (三) 建立負趨光性刺激方向轉換的動物觀察模式，比較鼠婦轉彎方向的習慣性是否影響負趨光性行為特性？
- (四) 利用機率原理，分析鼠婦的轉向決策是否受上一次選擇經驗影響？
- (五) 探討鼠婦的轉向決策與負趨光性行為特性的交互作用。

假設

- (一) 負趨光性會使鼠婦偏好轉向陰暗處
- (二) 實驗選取的鼠婦都具有交替性轉向行為

名詞定義：鼠婦

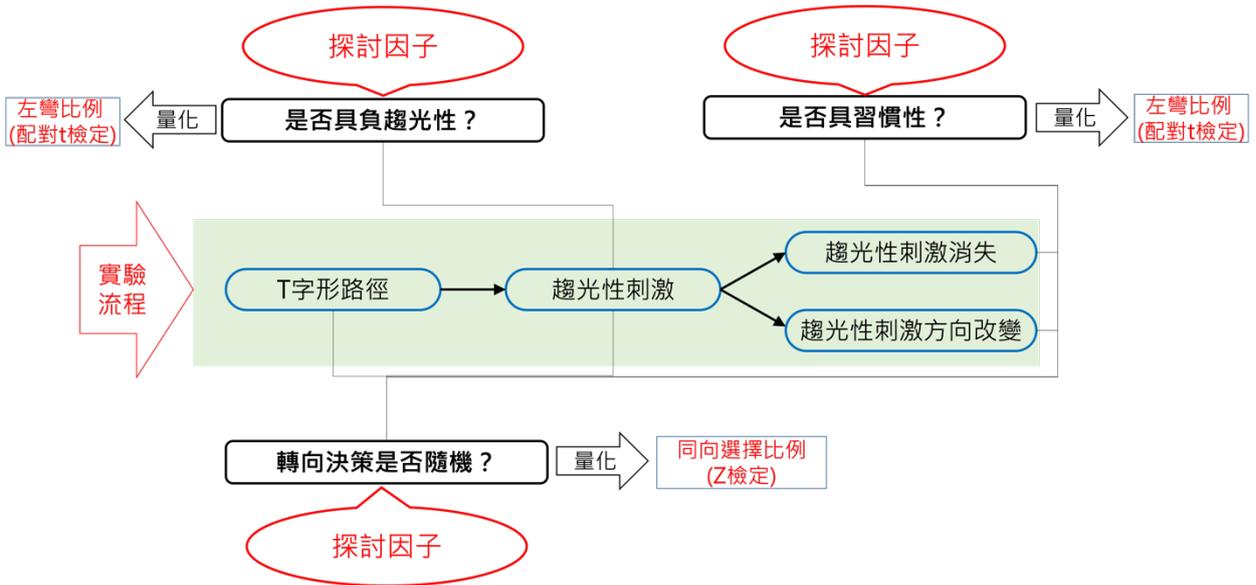
本研究以 *Cubaris murina* 的變色種(俗稱木瓜鼠婦)作為實驗對象。*Cubaris murina* 屬於 *Armadillidiidae* 科，為捲殼蟲。鼠婦(sowbug)與捲殼蟲(pillbug)是潮蟲亞目(*Oniscidea*)底下的兩群不同生物，但中文俗名常將兩者通稱為鼠婦，故本文皆以「鼠婦」稱呼。



圖一：木瓜鼠婦

#### 四、探究方法與驗證步驟

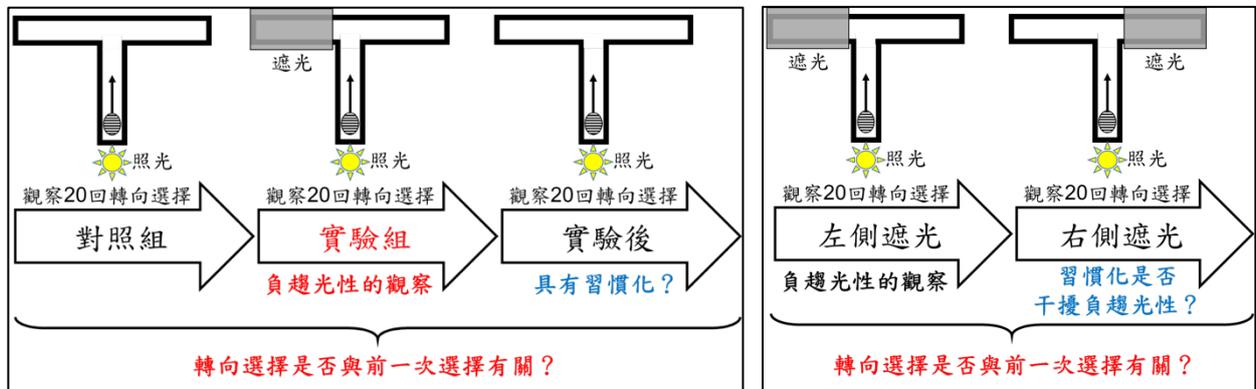
##### 一、研究架構



圖二：研究架構圖

##### 二、實驗操作

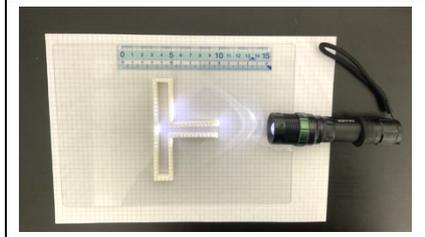
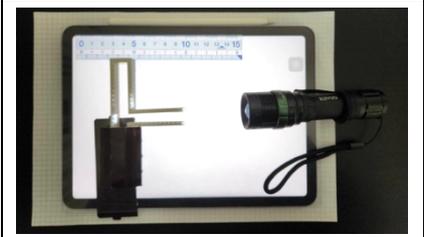
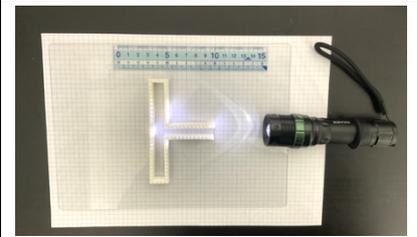
本實驗取 12 隻身體無明顯缺陷且成熟的鼠婦個體，並按照對照組、實驗組、實驗後三個步驟進行實驗(圖三 a)。再另取 12 隻身體無明顯缺陷且成熟的鼠婦個體，依左側遮光與右側遮光等步驟進行實驗(圖三 b)。



(a).對照組、實驗組、實驗後操作

(b).負趨光刺激方向改變前與後之操作

圖三：實驗流程示意圖

「對照組」裝置照片	「實驗組」裝置照片	「實驗後」裝置照片
		
<p>T 字迷宮兩側亮度相同，後方用手電筒照射，驅使鼠婦前進。</p>	<p>底下新增平板電腦當光源，迷宮左側用紙板上下遮光。 * 圖三 b 的裝置大致同上</p>	<p>T 字迷宮兩側亮度相同，後方用手電筒照射，驅使鼠婦前進。</p>

### 三、數據分析與統計方式

\* 圖三 a 的對照組、實驗組、實驗後；圖三 b 中的左側遮光、右側遮光皆稱為「組」

#### (一) 負趨光性後是否建立轉向習慣？(大尺度觀察分析)

紀錄鼠婦每一次轉彎方向，分別計算各組(皆 20 回)的左轉向比例，再計算平均、標準誤(standard error)等數值，並以單尾配對 t 檢定比較各組間的 p 值。此外，也將每一組切成前 10 回、後 10 回分析，各自計算左轉向比例，再計算平均、標準誤(standard error)等數值，並以單尾配對 t 檢定比較各組間的 p 值。此分析方式目的為：比較因負趨光性而引發多次左轉向後，當趨光性因子消失，是否仍存在左轉向的習慣性選擇。

#### (二) 轉向選擇是否會受前一次選擇影響？(小尺度觀察分析)

分別計算每一組中，每 2 次選擇事件的理論發生機率。如圖四所示，若向左轉向的機率( $P_{左}$ )為  $a$ ，則向右轉向的機率( $P_{右}$ )為  $(1-a)$ 。連續 2 次選擇皆為反向的事件包含先左向再右向，與先右向再左向，機率分別為( $P_{左,右}$ )與( $P_{右,左}$ )。可得連續 2 次選擇皆為反向的機率 =  $2a-2a^2$ ，連續 2 次選擇皆為同向的機率 =  $1-(2a-2a^2)$ 。向左轉向的機率( $P_{左}$ )由實驗數據的左轉向比例計算而得。透過上述推導可計算出符合隨機分布的機率理論值，再將實際得到的數據與機率理論值進行統計分析，即可驗證連續 2 次轉向選擇之間是否屬於獨立事件(轉向選擇是否會受前一次選擇影響)。

計算每一組中「連續 2 次轉彎同向」的比例，共 19 筆資料，計算平均、標準誤等數值，再與理論機率值比較，並以 Z 檢定進行統計分析。此外，也將 19 筆連續 2 次轉向選擇事件，分為前 10 次與後 9 次，分別計算平均、標準誤等數值，再與理論機率值比較，並以 Z 檢定進行統計分析。

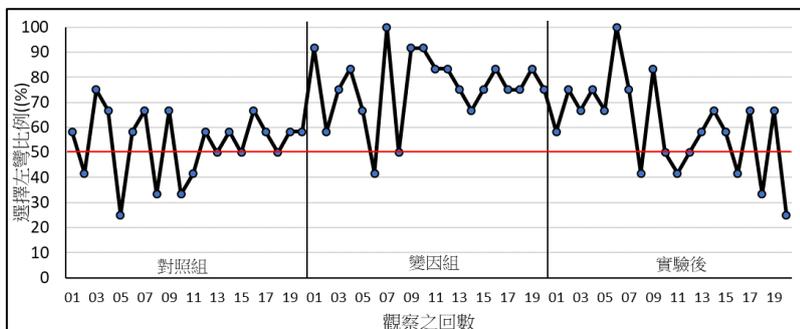
$$\begin{aligned}
 P_{左} &= a \\
 P_{右} &= 1-a \\
 \\ 
 P_{(左,右)} &= a \times (1-a) = a - a^2 \\
 P_{(右,左)} &= (1-a) \times a = a - a^2 \quad \left. \vphantom{P_{(右,左)}} \right\} \text{反向} \\
 P_{(右,右)} &= (1-a) \times (1-a) = 1 - 2a + a^2 \\
 P_{(左,左)} &= a \times a = a^2 \quad \left. \vphantom{P_{(右,右)}} \right\} \text{同向} \\
 \\ 
 P_{(同向)} &= 1 - 2a + 2a^2 = 1 - (2a - 2a^2) \\
 P_{(反向)} &= 2a - 2a^2
 \end{aligned}$$

圖四：隨機轉向選擇的機率計算過程

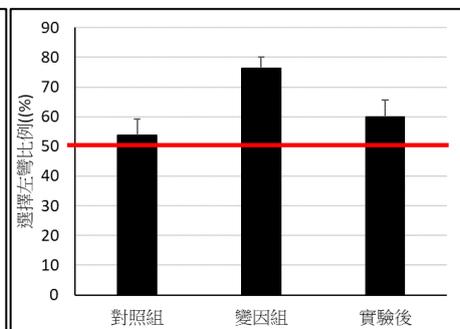
### 四、研究成果

#### (一) 負趨光性後是否建立轉向習慣？(大尺度的觀察分析)

從圖五、圖六的數據與統計結果來看，當單向光線(左側遮光)刺激發生時，鼠婦會發生負趨光行為反應(左彎)，且發生頻率與對照組達統計上的顯著差異，證明鼠婦具有明顯的負趨光性，當負趨光性的刺激消失後，鼠婦左彎頻率就會下降至與對照組一致。

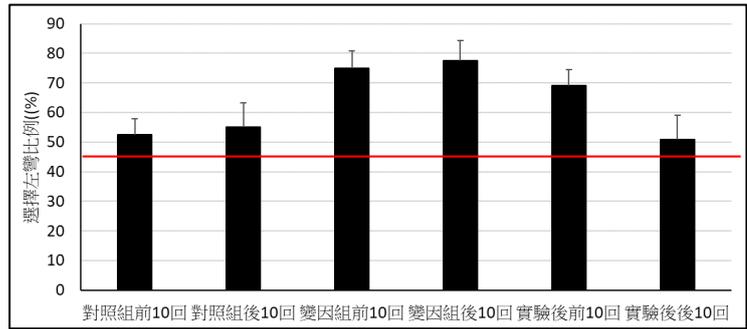


圖五：鼠婦左彎比例變化趨勢



圖六：各組左彎比例

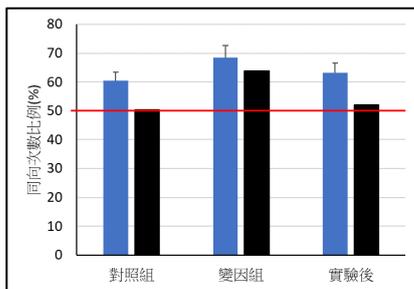
將時間尺度再縮小進行比較，分析每 10 回的轉向選擇比率。鼠婦在對照組的前 10 回與後 10 回中，呈現出隨機選擇方向。發生負趨光性刺激時(變因組)的前、後 10 回相比呈現明顯的負趨光行為，但在負趨光刺激消失後(實驗後)的前 10 回，向左轉比例仍明顯高於 50%，且與對照組達到統計上的顯著差異，隨後在實驗後的後 10 回，才下降至接近 50%(與對照組一致)。見圖七。



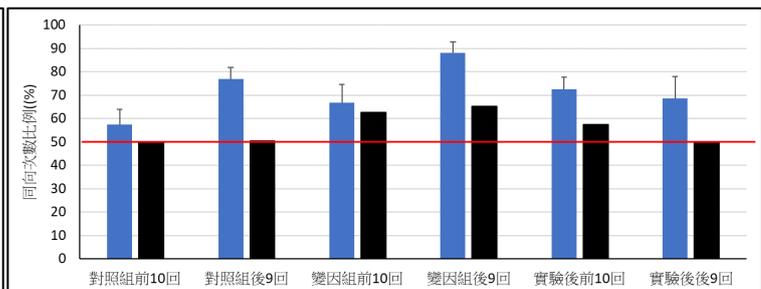
圖七：鼠婦每 10 回轉向比例

### (二) 轉向選擇是否會受前一次選擇影響？(小尺度的觀察分析)

如圖八，分別比較對照組、實驗組(變因組)、實驗後三組，每 2 次選擇事件的理論發生的實際機率與隨機理論值，發現鼠婦在一般情形(對照組)下，轉向選擇有較高的機率會與前一次的轉向相同。在發生負趨光性行為期間(實驗組)，轉向選擇與前一次的轉向選擇互為獨立事件。負趨光性的環境性質消失後，轉向選擇有較高的機率會與前一次的轉向相同。



圖八：各組同向次數比例



圖九：每 10 回、每 9 回同向次數比例

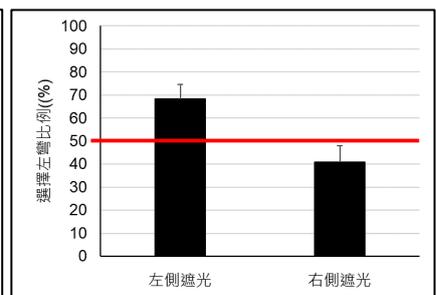
如圖九，若將對照組、實驗組與實驗後分為前 10 次與後 9 次的「連續轉向選擇」，以更小的時間尺度觀察，發現對照組中鼠婦一開始進行轉向選擇時，轉向選擇與前一次轉向互為獨立事件，但隨著轉向行為的次數累積，則開始出現轉向選擇與前一次轉向為同向的相關性。在進行變因組期間亦有類似的現象。在負趨光性的環境性質消失後，前 10 回與後 9 回的同向轉向選擇也與前一次轉向為同向的相關性。

### (三) 負趨光性所建立的習慣是否會干擾新的負趨光行為？(大尺度的觀察分析)

當鼠婦已經建立負趨光行為，在負趨光刺激的方向改變後，並不會呈現新的負趨光性方向選擇，而是不再表現出方向選擇的偏好。見圖十、圖十一。

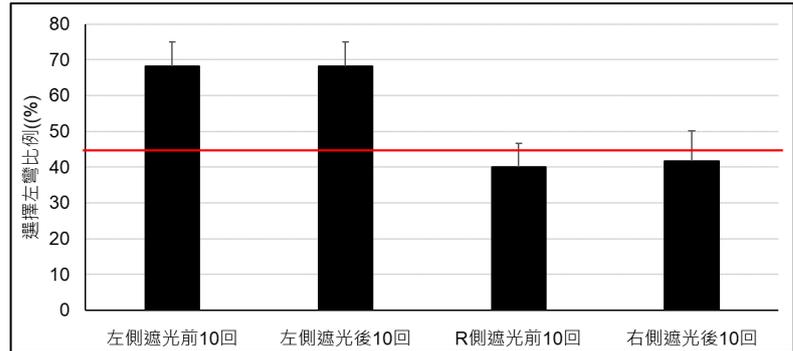


圖十：鼠婦每一回選擇左彎比例



圖十一：鼠婦每組選擇左彎比例

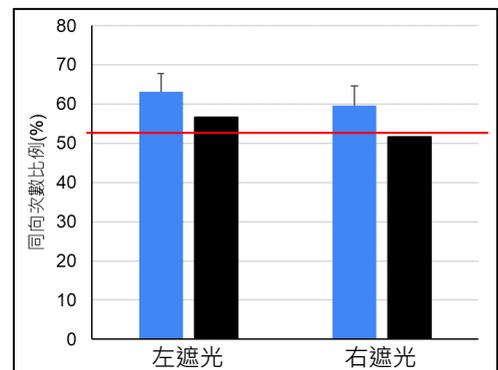
將時間尺度再縮小進行比較，分析每 10 回的轉向選擇比率。鼠婦在負趨光刺激方向改變前(左側遮光)的前 10 會與後 10 回，皆表現明顯的負趨光行為，但在負趨光刺激方向改變後(右側遮光)的前 10 會與後 10 回，鼠婦選擇左彎比例皆已接近 50%。代表負趨光行為所建立的習慣性，會干擾新的趨光行為。如圖十二。



圖十二：每 10 回左彎比例

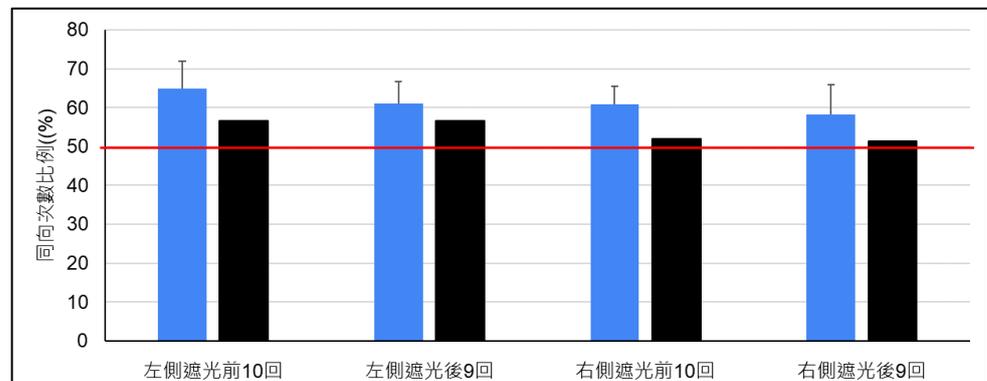
#### (四) 同向選擇的相關性是否會受負趨光刺激改變的影響？(小尺度的觀察分析)

若分別比較鼠婦在負趨光刺激方向改變前後(從左側遮光轉變成右側遮光)，每 2 次選擇事件的理論發生的實際機率與隨機理論值，發現建立負趨光行為期間沒有呈現同向選擇的相關性(與理論值一致)，但在負趨光刺激方向改變後，同向選擇的比例大於理論值( $p = 0.054$ ，Z 檢定)。見圖十三。



圖十三：各組同向比例

若將負趨光刺激方向改變前後各 20 回的轉向事件，分為前 10 次與後 9 次的「連續轉向選擇」，以更小的時間尺度觀察(圖十四)，發現僅有在改變負趨光刺激的前 10 回期間，同向選擇的比例大於理論值。這可能是因為在習慣性與的負趨光刺激等相反的決策趨動力同時作用下，鼠婦在不易作決策的情形下，會較依賴前次的決斷。



圖十四：每 10 回、每 9 回同向次數比例

## 五、結論與生活應用

### 一、結論

#### (一) 分析「選擇左彎比例」：

證明鼠婦具有負趨光性，且經過訓練後，可以使鼠婦轉向特定方向，表示鼠婦具有學習行為，另外在大尺度的轉向選擇中，具有維持原轉向選擇的偏好。

#### (二) 分析「同向次數比例」

在小尺度的轉向選擇中，在一般情形與因負趨光性影響鼠婦的轉向選擇時，只要隨著

次數累積，就會出現轉向選擇與前一次轉向為同向的正相關性，另外當環境改變，會使鼠婦原建立的習慣性消失。

### (三) 大尺度與小尺度選擇事件可同時建立習慣性

1. 大尺度：負趨光性的轉向選擇可建立轉向習慣性
2. 小尺度：累積轉向行為次數而建立兩次轉向選擇事件的同向習慣性
3. 大尺度與小尺度的選擇習慣性可同時建立

## 二、未來應用

### (一) 可以延伸的層面

習慣與學習行為是了解生物行為的重要基礎，透過了解鼠婦學習行為與習慣是如何建立，有助於其他生物行為的研究。

### (二) 發展與應用

人工智慧正朝著在新環境中適應、學習和自主選擇的方向發展。因此，我們期待藉由鼠婦在不同環境中建立習慣的模式，來幫助我們設計出新的演算法和模型，進而發展出能夠靈活應對環境變化的仿生機器人。

### (三) 環境監測

鼠婦對於環境變化極為敏感，可以作為污染和其他環境應力的生物指標，並且能將移除土壤中的重金屬。由本研究，驗證鼠婦有習慣養成之行為，我們得以進一步建立鼠婦對特定情境的習慣行為，達成特定任務，使鼠婦得以被用於商業型養殖場。發現鼠婦有習慣養成之行為及對環境變化的反應或許也可以用於環境的監測透過監測鼠婦習慣上的變化，可以提供有關環境健康狀況的信息。

## 參考資料

Fukai, K., Ogai, Y., Shinohara, S. and Moriyama, T. (2022). Evaluation of turn alternation in pill bugs using omnidirectional motion compensator ANTAM. *Artif. Life Robotics*. 27(4): 770-776.

Hughes, R. N. (1985). Mechanisms for turn alternation in woodlice (*Porcellio scaber*): The role of bilaterally asymmetrical leg movements. *Anirn. Learn. Behav.* 13: 253-260.

Moriyama, T., Migita, M. and Mitsuishi, M. (2016). Self-corrective behavior for turn alternation in pill bugs (*Armadillidium vulgare*). *Behavioural processes*, 122, 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.11.016>

Shokaku, T., Moriyama, T., Murakami, H., Shinohara, S., Manome, N. and Morioka, K. (2020). Development of an automatic turntable-type multiple T-maze device and observation of pill bug behavior. *The Review of scientific instruments*, 91(10), 104104. <https://doi.org/10.1063/5.0009531>

方誌鈞、許韶恩、黃名禎。多霜蠟鼠婦、光滑鼠婦的交替性轉向反應行為。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會國中組生物科第二名。(指導老師：江宏惟、黃錦

鴻)<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6086654/>