

中華民國第 65 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

052010

榔榔上口-探討檳榔汁液對四種蜚蠊目昆蟲在行為表現上的影響

學校名稱： 新北市立三重高級中學

作者：	指導老師：
高二 羅品聿	張夢婷

關鍵詞： 檳榔、蟑螂、動物行為

摘要

本次實驗分為兩個階段，第一階段以四種蜚蠊目的昆蟲作為實驗對象，給予不同濃度檳榔萃取液做成的餅乾進行餵食，實驗結果發現，餵食未經濾紙過濾及稀釋的萃取液餅乾對蟑螂的行動力會造成較大的影響，使蟑螂的行動變遲緩，而經過濾或稀釋後就沒有效果了。第二階段實驗以杜比亞蟑螂為對象，進行加重投餵劑量，並記錄其觸角擺動頻率和週期。實驗結果發現，蟑螂攝取檳榔萃取液濃度越高，行動力會趨向遲緩，觸角的擺動幅度變小，擺動頻率升高。推測檳榔中的成分雖然會刺激蟑螂產生較為激動的反應，但對蟑螂的行動力卻會有降低的效果。

壹、前言

一、研究動機

檳榔長期被某些消費族群食用作為提神醒腦的工具，但事實上它對人體健康危害甚鉅，而檳榔中所含的檳榔鹼除具成癮性，更會導致口腔黏膜病變及提升口腔癌風險(Jeng et al., 2001; WHO, 2004)。但上述健康風險與潛在危害，目前在無脊椎動物身上並沒有明確的測試資料，因此想以四種蟑螂作為實驗對象，探討食用含檳榔成分的餌料後，對牠們行為造成的影響。

二、研究目的

- (一) 探討檳榔萃取汁液對四種蟑螂的行為影響。
- (二) 從移動路徑、觸角擺動探討檳榔汁液對杜比亞蟑螂行為的影響。

三、文獻回顧

(一) 檳榔的社會文化角色與健康爭議

現今台灣社會中，嚼食檳榔是一種次文化，在台灣不少人將其視為提神、建立社交關係的途徑。但隨著越來越多的研究指出檳榔對人體健康有顯著的負面影響，「嚼食

檳榔」於人類有多少健康與潛在風險？這值得我們深思。檳榔內的成分如檳榔鹼（Arecoline）會刺激中樞神經，導致心跳加速、注意力提升、甚至產生欣快感（南投醫院，2023），因此許多人認為其能提升工作效率或駕駛專注力。但檳榔對人類的危害不可輕忽，它被歸類為第一類致癌物（WHO, 2004）且與口腔癌、食道癌、胰臟癌等多種癌症具高相關性。

(二) 檳榔的毒性與致癌機制

多項研究指出，檳榔萃取物與檳榔鹼可誘導口腔上皮細胞週期停滯，並促進活性氧類（reactive oxygen species, ROS）生成，影響粒線體膜電位，導致氧化壓力增加，此一細胞毒性被認為是潛在的致癌前驅機制（Chang et al., 2001）。其亦可促使口腔上皮細胞釋放發炎因子如 PGE2、IL-6 與 TNF- α 參與腫瘤微環境的建立，在口腔癌的形成過程中扮演重要角色。（Jeng et al., 2001）

(三) 成癮潛力與神經毒理影響

檳榔不僅具有致癌風險，也具成癮性。Benegal 等人（2008）指出，檳榔與中樞神經系統的交互作用可能引發心理依賴與濫用行為 Bhat 等人（2016）亦提出，檳榔鹼會影響多種神經與代謝通路，在具藥理潛力的同時，也潛藏生理與心理層面的毒性風險。

(四) 地方性研究佐證檳榔危害

台灣地方性研究亦支持此觀點，邱約慈（2018）於碩士論文中分析檳榔使用與口腔癌、癌前病變之高度相關性，佐證 WHO 的致癌性評估。南投醫院（2023）亦在其衛教資料中指出，檳榔中含有多種具致癌潛力的成分，呼籲大眾提高警覺並戒除嚼食檳榔的習慣。

(五) 類除蟲菊精的作用機制與風險

類除蟲菊精類農藥雖常用於病媒防治，但其對昆蟲神經系統及非靶標生物仍具潛在毒性。其主要作用機制為延遲鈉離子通道關閉，導致神經訊號過度興奮與癱瘓，進而造

成死亡（吳秋樺，2021）。即便來源相對天然，亦可能對人類與其他非靶標生物產生神經毒性（吳秋樺, 2021）。

(七) 植物性殺蟲劑與抗藥性管理

在農藥替代方案中，植物性殺蟲劑因其生態友善特性受到重視。Isman (2020) 指出，這類產品具有取代合成農藥的潛力，但仍需評估其活性持續性與對非靶標生物的影響。Sparks 與 Nauen (2015) 則建議，應依 IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) 分類機制，輪替使用不同作用機制的藥劑，以延緩抗藥性產生。

(八) 非標靶物種的毒性研究

非模式物種的毒性研究也揭示除蟲菊精類藥劑對水生生物與其他非靶標生物的潛在風險。Key 等人 (2003) 於草蝦早期生活階段試驗中發現，fipronil 與 endosulfan 對其具高度毒性。You 等人 (2025) 則指出，多種常用農藥對蜜蜂中護理蜂 (nurse bees) 具潛在毒性風險，進一步說明農藥施用需納入生態整體評估。

貳、研究設備及器材

一、實驗對象

<表一> 實驗對象

馬達加斯加島蟑螂(<i>Elliptorhina javanica</i>)	杜比亞蟑螂(<i>Blaptica dubia</i>)
	
是一種大型蜚蠊，成體體長可達 2 至 3 英吋（5.1–7.6 公分）。它們的原產地位於非洲的馬達加斯加島，並且可以在枯木中被發現。 <資料來源：維基百科>	雄性成蟲長有翅膀，雌性成蟲的翅膀退化。長約 5cm，卵胎生，牠們無法爬上光滑的表面，即只能往水平或傾面爬行，而不能像一般的昆蟲一樣可在垂直的表面上爬行。原產地在巴拉圭、烏拉圭和阿根廷。 <資料來源：維基百科>

櫻桃紅蟑螂(<i>Blatta lateralis</i>)	龍蝦蟑螂(<i>Nauphoeta cinerea</i>)
	
原產於北非和中亞。成蟲個體在 3 公分 (1.2 英寸) 左右。雄蟲甲殼呈褐紅色，雌蟲呈黑褐色，且身體較粗。櫻桃紅蟑螂可以飛行。 <資料來源：維基百科>	原產於非洲東北部，包括埃及、厄立特里亞、利比亞和蘇丹。呈斑駁的棕色，成熟時有翅，長度可達 30 毫米。可以透過兼性孤雌生殖繁殖。 <資料來源：臺灣生命大百科>
檳榔果實(<i>Areca catechu</i>)	
	樹幹不分枝，高達 12–15 公尺。莖直徑約 15 公分，6-9 枚葉簇生於莖的頂端。果實為核果，外果皮薄，中果皮富纖維質，內果皮為核。果實僅含一枚種子，種子對剖呈深褐色大理石紋。
 <資料來源：維基百科>	

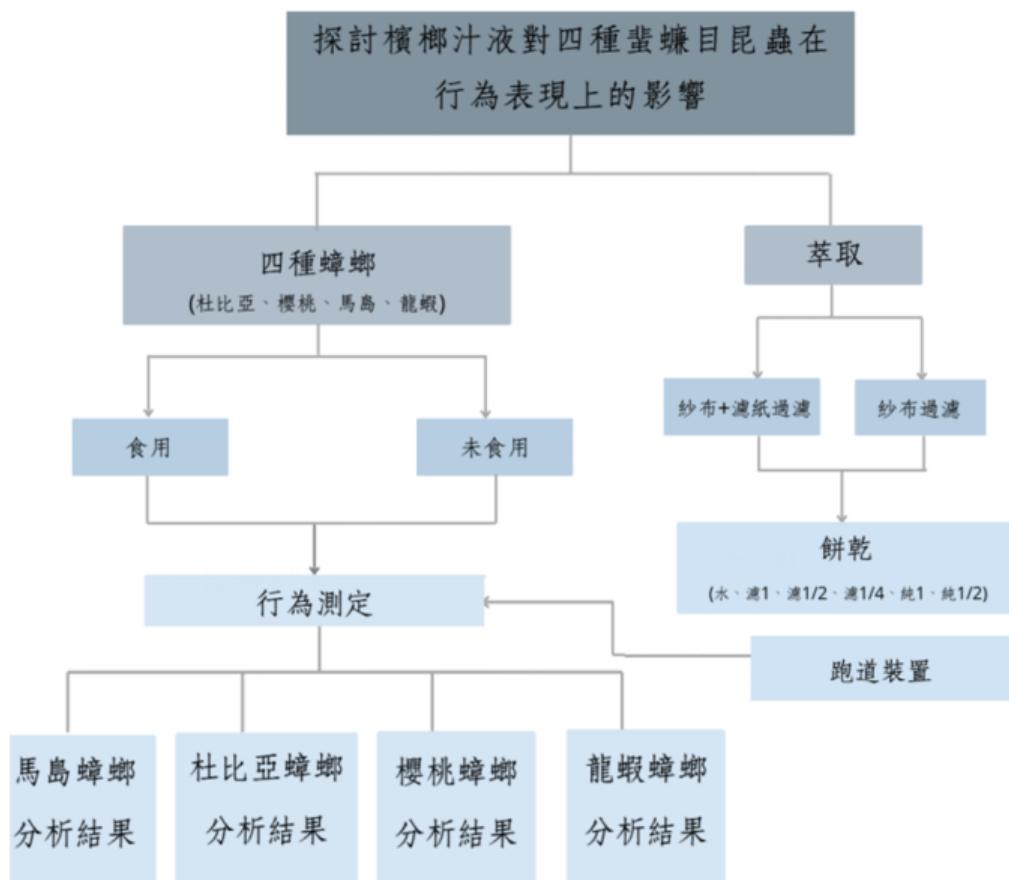
二、實驗器材

果汁機、鋁箔紙、電子天平、分隔盒、濾紙、燒杯、烘箱、濾斗、瓦楞紙板、鐵盤、紗布、加熱器、水、氫氧化鈉、針筒、滴管、紅墨水、橡膠軟管、滴定管、壓克力盒、圓形紙盆



<圖二> 實驗器材

參、研究過程與方法



<圖三> 實驗流程架構圖(第一階段實驗)

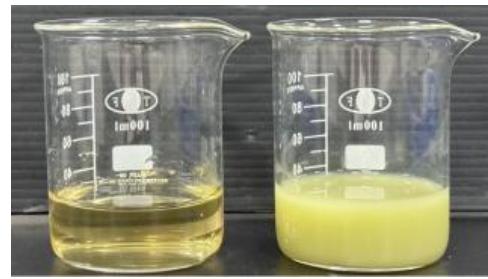
A. 第一階段實驗

一、萃取檳榔汁液

- (一) 取 100g 重的檳榔，並加入同重量的水以果汁機進行攪打。
- (二) 將攪打後的汁液以紗布進行第一次過濾，得到初步濾液(簡稱純液)
- (三) 將純液分為成兩等份，其中一份靜置備用，另一份以濾紙進行二次過濾，得到二次過濾濾液(簡稱濾液)



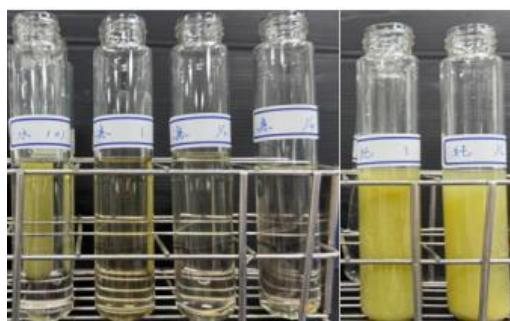
<圖四> 純液、檳榔渣、濾後紗布



<圖五> 濾液與純液

二、製作檳榔餅乾

- (一) 將濾液設定濃度為 1，依序稀釋出濃度 $1/2$ 、 $1/4$ ，純液設定濃度 1，並稀釋出濃度 $1/2$ ，以水作為對照組。
- (二) 分別將純液、濾液、水與中筋麵粉以比例 1:1 混合後於鐵盤上攤平，送入烘箱以 80 度烘 40 分鐘，將水分烘乾。



<圖六> 不同濃度的純液與濾液、水



<圖七> 烘箱



<圖八> 送入烘箱前



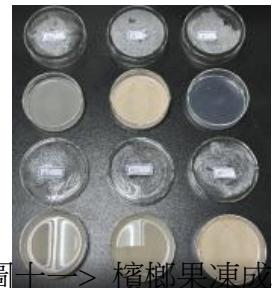
<圖九> 送入烘箱

三、製作果凍

- (一) 分別取水溶性與非水溶性萃取物 20ml，加入 0.2g 寒天粉，加熱後製成萃取物果凍。
- (二) 將不同濃度的果凍分別餵食杜比亞蟑螂，觀察其喜好與進食狀況。



<圖十> 寒天加熱



<圖十一> 檳榔果凍成品

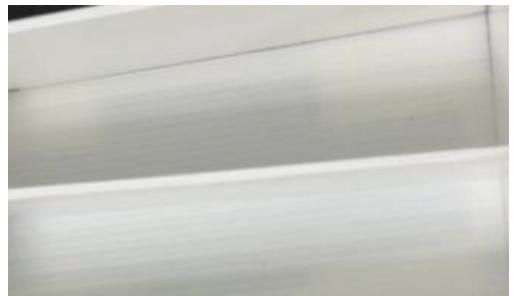
四、跑道製作

(一) 為了方面追蹤路徑及觀察，選用白色瓦楞紙版做為跑道製作的材料。

(二) 以瓦楞紙版作為跑道材料，製作出長 20 公分、寬 5 公分、高 10 公分的雙跑道，中間以隔板隔開。



<圖十二> 製作前



<圖十三> 製作完成

五、蟑螂行為測試

(一) 取同一批蟑螂(馬島蟑螂 6 隻、杜比亞蟑螂 12 隻、櫻桃紅蟑螂 12 隻、龍蝦蟑螂 12 隻)，分成 6 組進行測試。

(二) 將蟑螂置於恆溫箱(28 度)兩天，期間僅提供水。並於餵食前先進行一次測試，將蟑螂置於自製跑道裝置中，任其自由爬行，觀察並紀錄蟑螂的行為狀況。

(三) 每組以不同濃度的檳榔餅乾進行餵食，並於餵食後的 0、1.5、3、4.5、24 小時後個別進行一輪行為測試，紀錄蟑螂的行為狀況。

(四) 分析比較實驗結果，判斷是否有符合預期目標。

(五) 數據分析：

在固定的時間點以拍攝影片的方式記錄蟑螂行為，每個影片固定錄製一分鐘。將影片匯入 Tracker 路徑追蹤程式分析，可得出該隻蟑螂的瞬時平均速率（以每 0.333 秒為一個時間單位），從影片中擷取固定時長再進一步分析。

(六) 擷取的影格

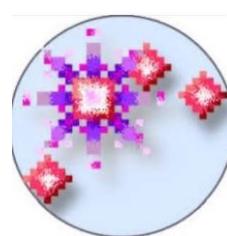
起始影格設定在該隻蟑螂第一次移動，往後擷取 10 秒的表格資料至試算表進一步分析。將數據複製至試算表後，將數據由大至小排列，取出標準差及中位數，進一步排除因程式自動追蹤錯誤導致的誤差。

(七) 縱軸與橫軸定義

我們將縱軸設定為平均速率 (cm/s)。將影片匯入 Tracker，利用該程式分析出蟑螂每個時間單位的瞬時速率，並取它開始活動的瞬間做為起始影格，每隻蟑螂固定往後擷取分析 10 秒。以上述方法得出的數據做為參考，以此表示蟑螂的活動力。而橫軸為測定時間的間隔時長，我們分別於食用之前、食用後 1.5 小時、3 小時、4.5 小時及 24 小時測量並各別記錄一次，共五次測量。



<圖十四> 測試中



<圖十五> Tracker 路徑追蹤程式



<圖十六> 蟑螂路徑追蹤



<圖十七> 蟑螂定位



<圖十八> 數據分析

B. 第二階段實驗

一、有鑑於第一階段四種蟑螂的實驗結果，以及裝置在量測上可能會出現的不完善，因此做了以下的修改：

- (一) 為求深入研究，僅以「杜比亞蟑螂」作為第二階段研究對象。
- (二) 為了增加可移動面積並減少邊角造成活動受阻的問題，將跑道改成「圓形紙碗」。
- (三) 第一階段發現稀釋後的汁液對蟑螂行為的表現不明顯，因此在餅乾製作時添加的水的量改為原先的一半，而原先濃度訂為 1 的餅乾會變成濃度 2，以此類推，並在第二階段實驗中，將濃度 2 的檳榔汁液訂為 1，製作出濃度 2 與 4 的檳榔汁液。

二、蟑螂行為測試

(一) 每組皆取 30 隻體型大小相似，出生約五個月的亞成體蟑螂進行實驗，實驗前七天皆只提供水，並置於 25°C 恒溫飼養箱中。

(二) 測試時間為晚間 7：00 開始，錄影一分鐘後將影片匯入 Tracker 進行分析：

1. 第一次拍攝：吃之前放置於圓形紙碗內，測定初始狀態。
2. 第二次拍攝：餅乾秤重後放入，餵食三十分鐘後拿起，再次秤重，紀錄前後重量的改變，並進行拍攝，完畢後開燈。
3. 第三次拍攝：開燈 10 分鐘後關燈 3 分鐘後進行拍攝，完畢後開燈將蟑螂換至新的圓形紙碗。
4. 第四次拍攝：開燈 10 分鐘後關燈 3 分鐘後進行拍攝，完畢後開燈。
5. 第五次拍攝：開燈 10 分鐘後關燈 3 分鐘後進行拍攝。

三、蟑螂觸角擺動測試

(一) 每組皆取 20 隻體型大小相似，出生約五個月的亞成體蟑螂進行實驗，實驗前七天皆只提供水，並置於 25°C 恒溫飼養箱中。

(二) 測試時間為晚間 7：00 開始，流程如下：

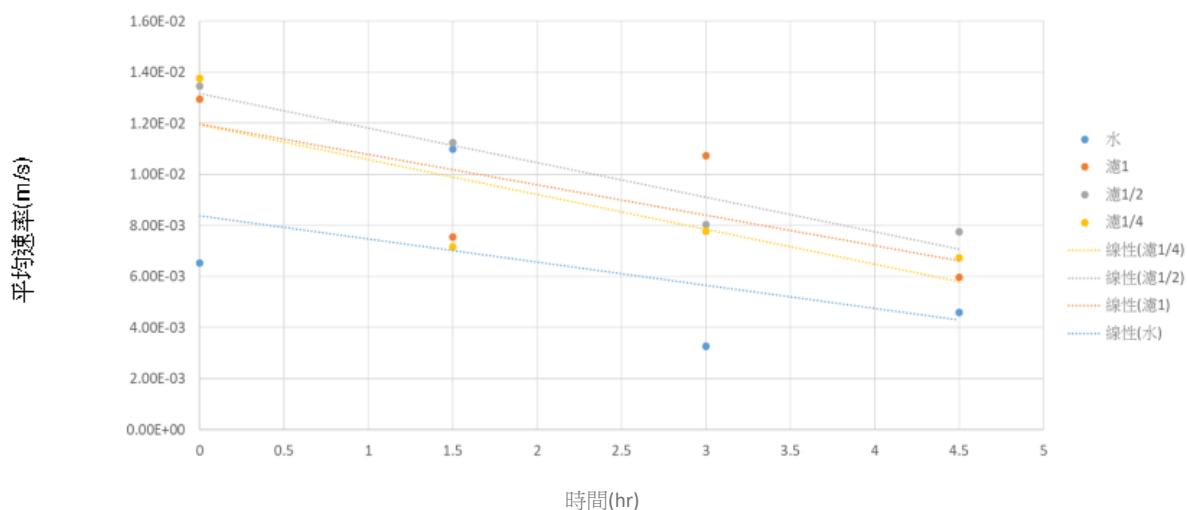
- 在關燈時分別將蟑螂放入透明壓克力箱中進行餵食，餅乾在餵食前先進行秤重。
- 放入餅乾 30 分鐘後，拿起秤重後進行拍攝，紀錄杜比亞蟑螂 30 秒內頭部觸角的擺動狀況。

伍、實驗結果

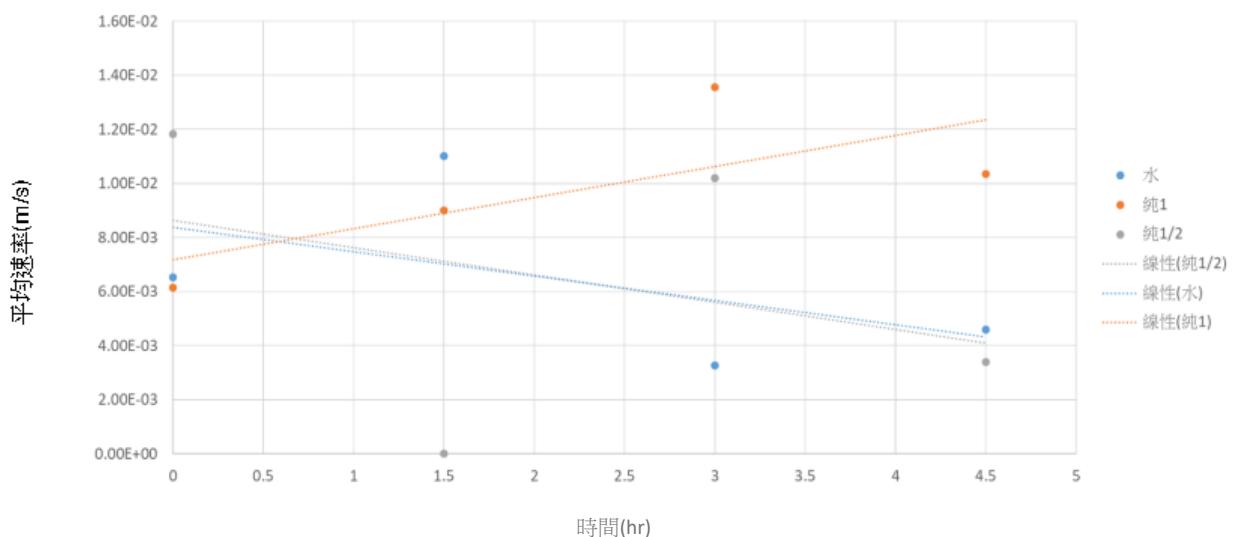
A. 第一階段實驗

一、檳榔汁液對蟑螂行為之影響

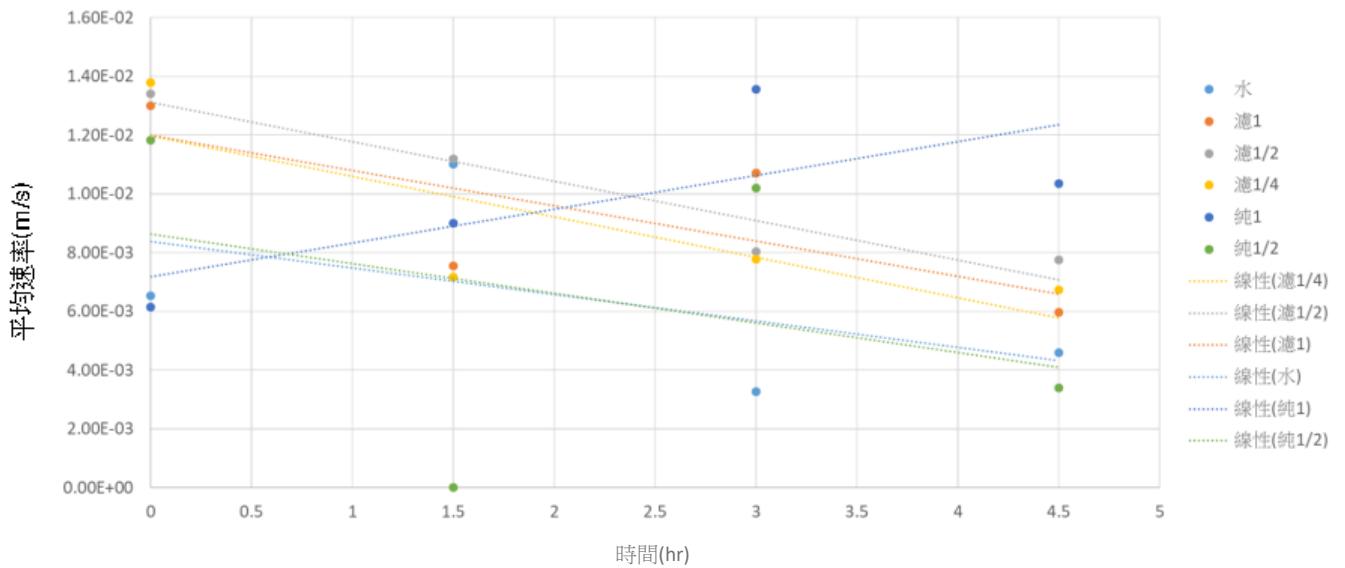
(一) 馬島蟑螂



<圖十九> 濾液對馬島蟑螂的影響

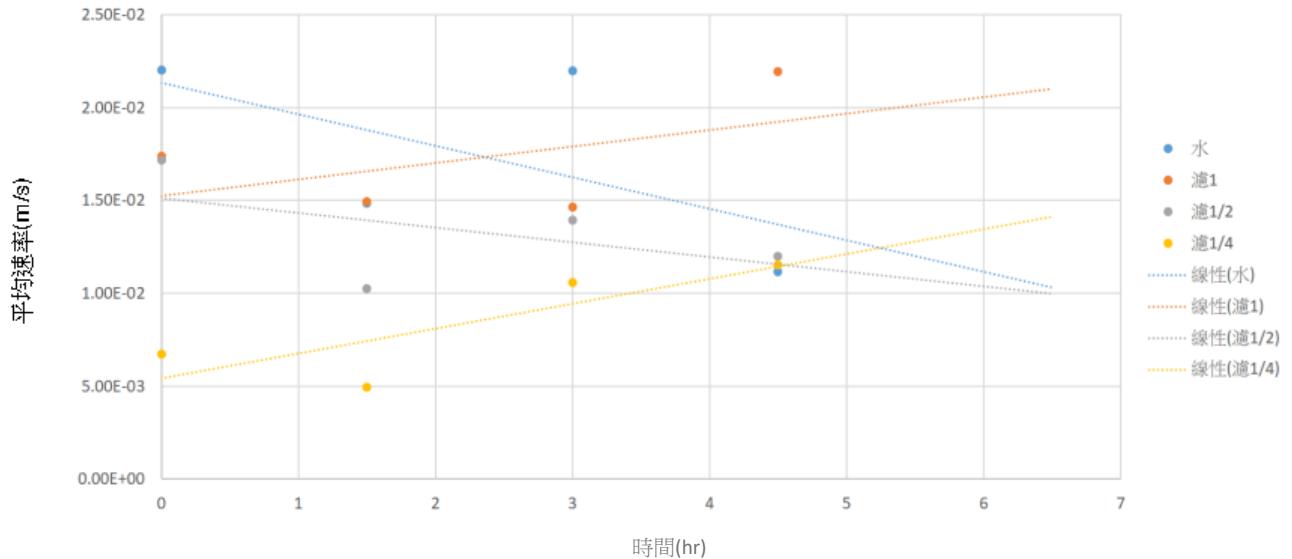


<圖二十> 純液對馬島蟑螂的影響

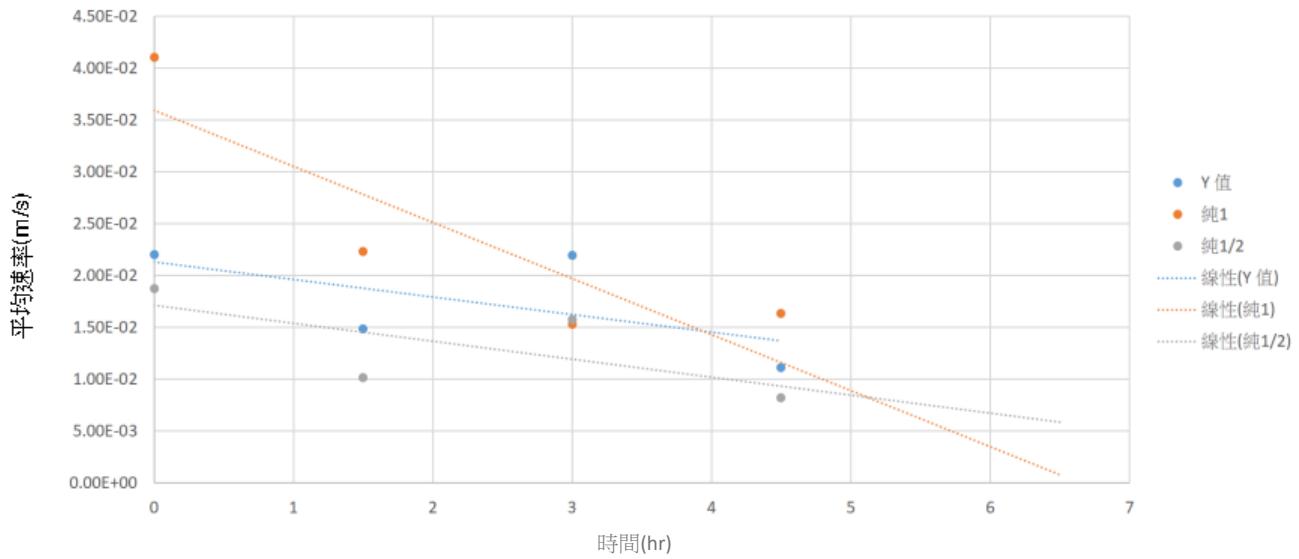


<圖二十一> 濾液與純液對馬島蟑螂的影響

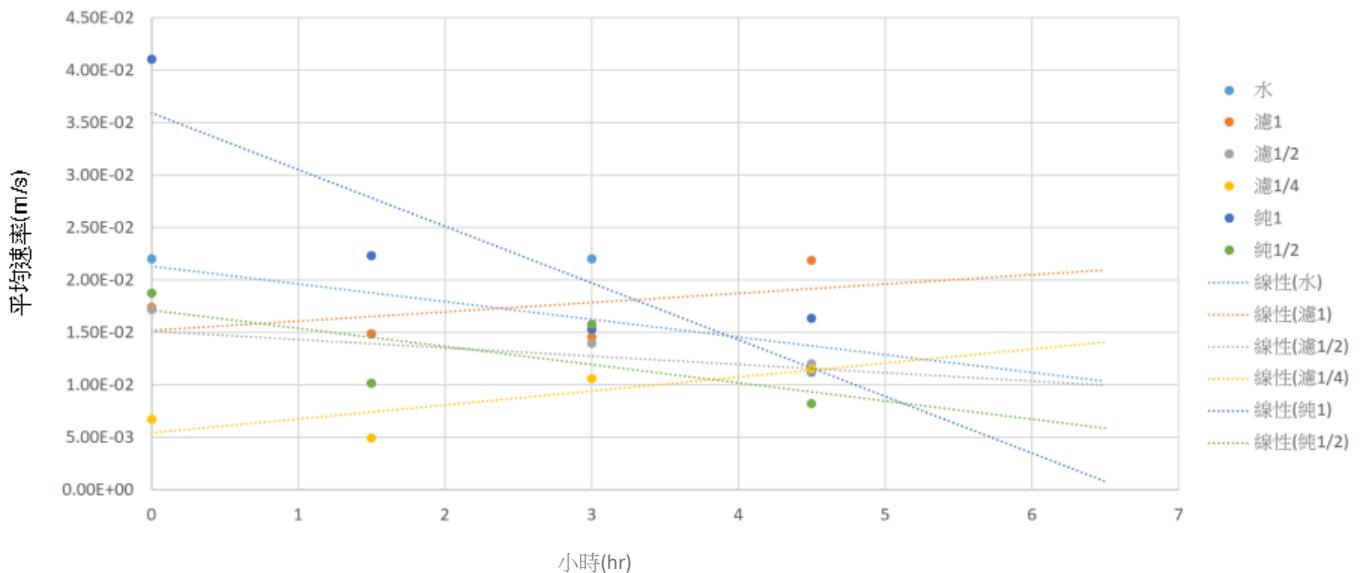
(二) 杜比亞蟑螂



<圖二十二> 濾液對杜比亞蟑螂的影響

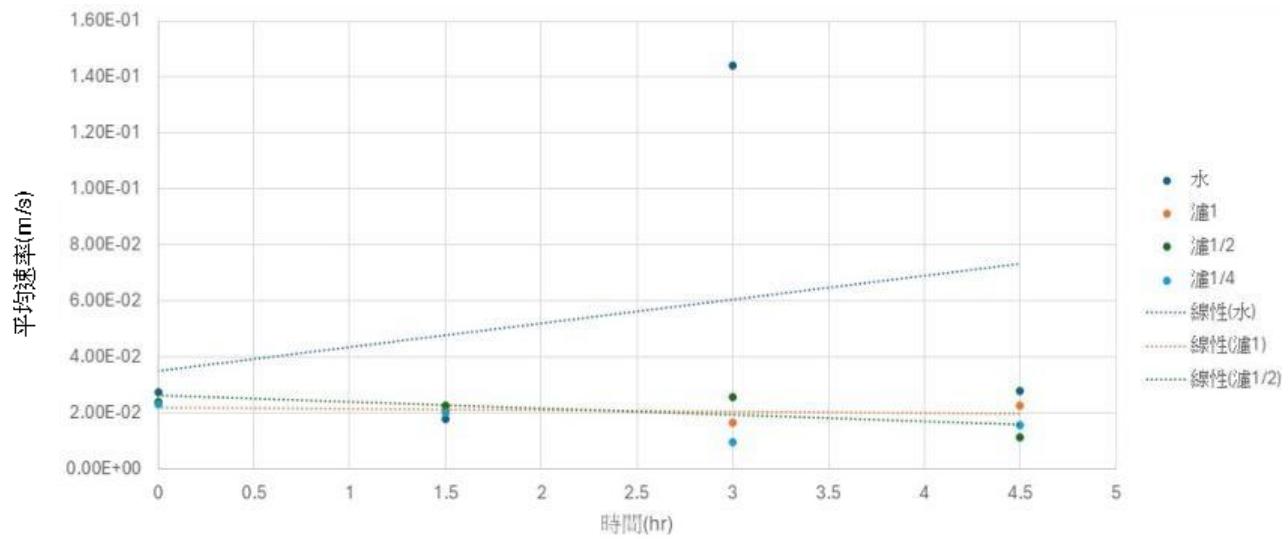


<圖二十三> 純液對杜比亞蟑螂的影響

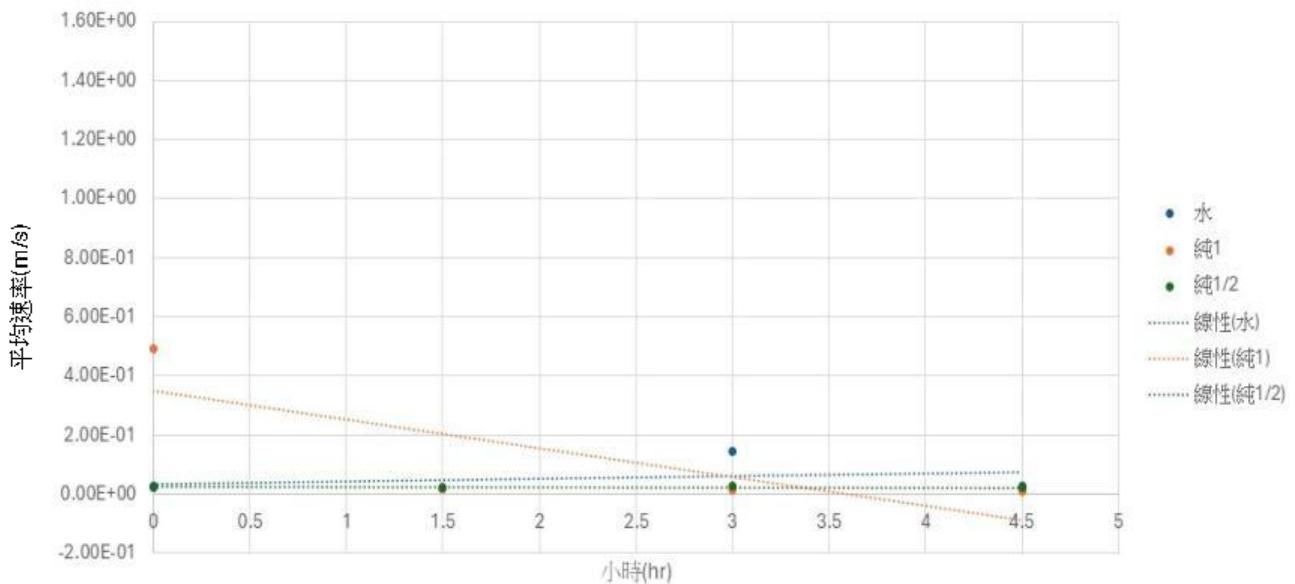


<圖二十四> 濾液與純液對杜比亞蟑螂的影響

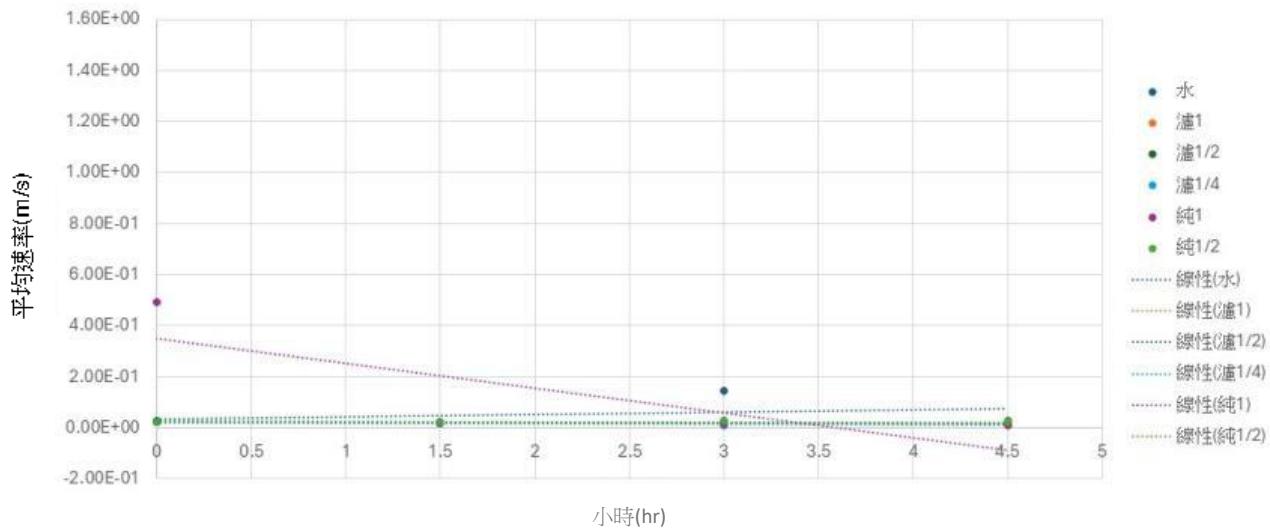
(三) 櫻桃紅蟑螂



<圖二十五> 濾液對櫻桃紅蟑螂的影響

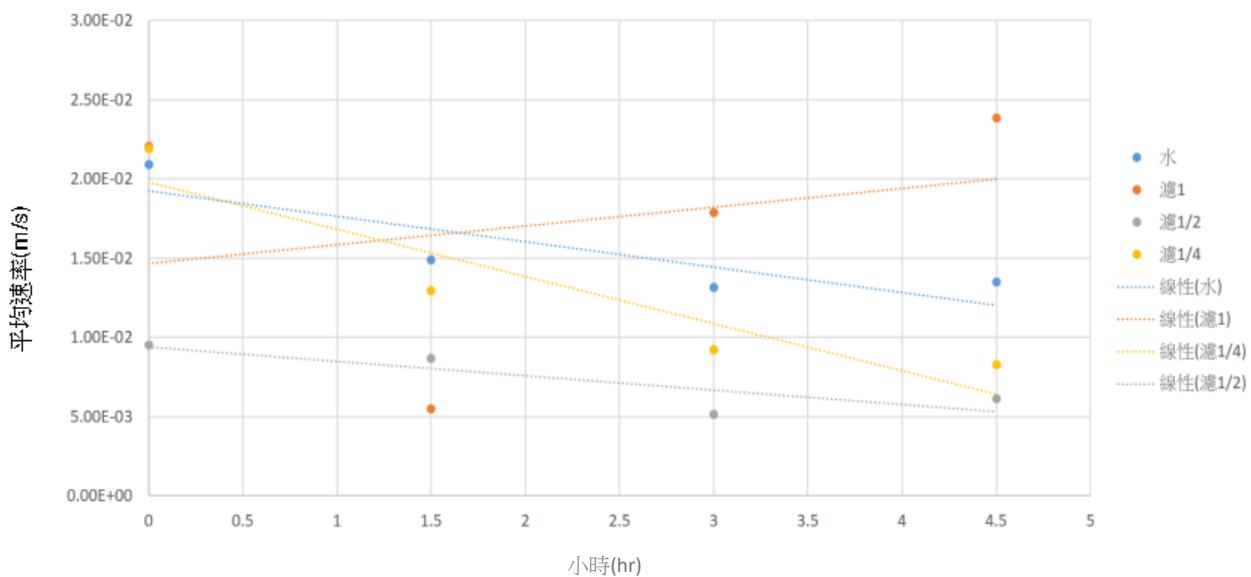


<圖二十六> 純液對櫻桃紅蟑螂的影響

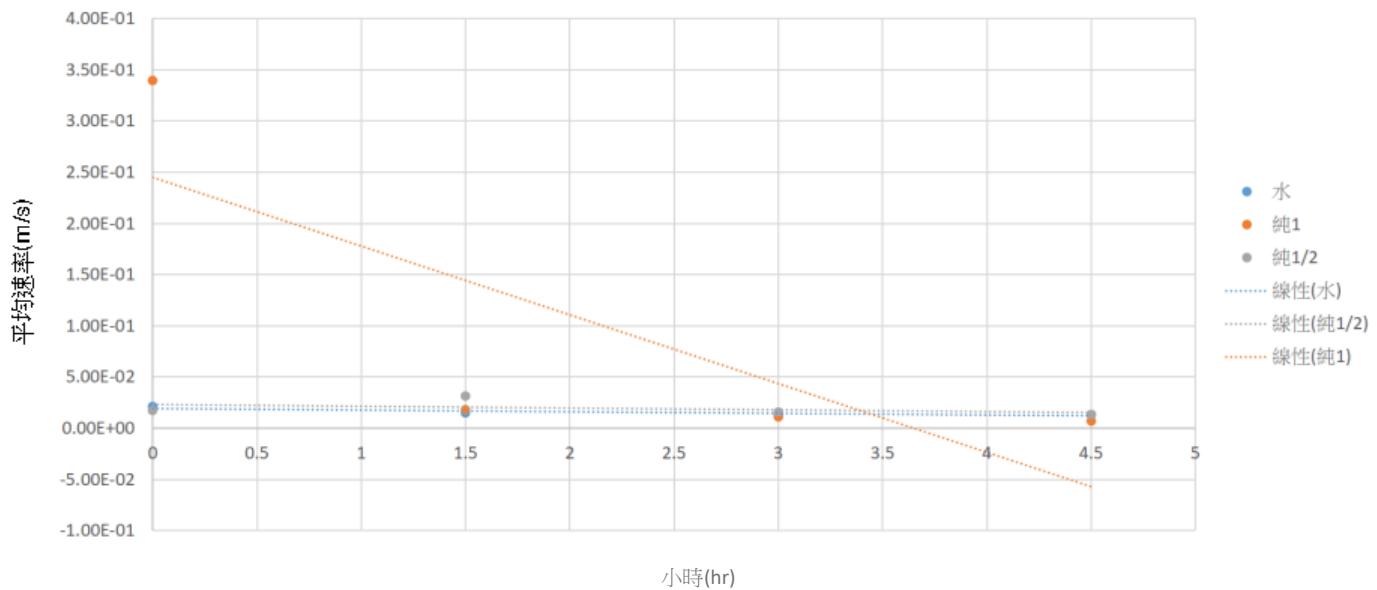


<圖二十七> 濾液與純液對櫻桃紅蟑螂的影響

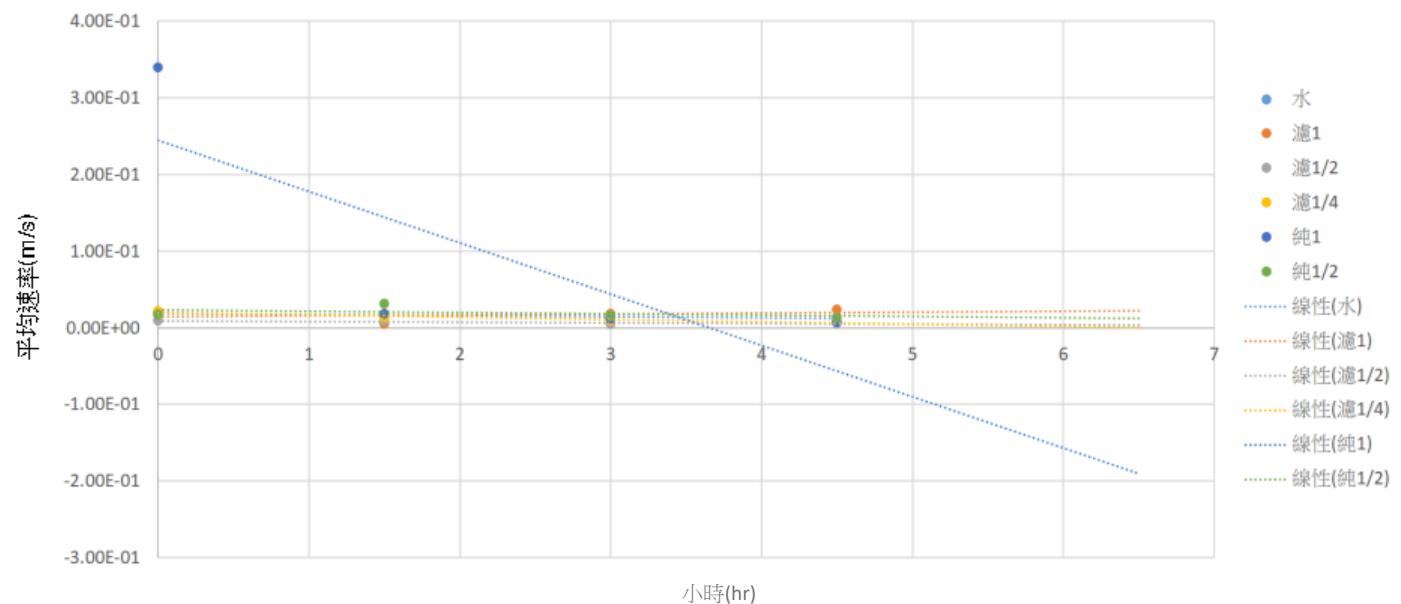
(四) 龍蝦蟑螂



<圖二十八> 濾液對龍蝦蟑螂的影響

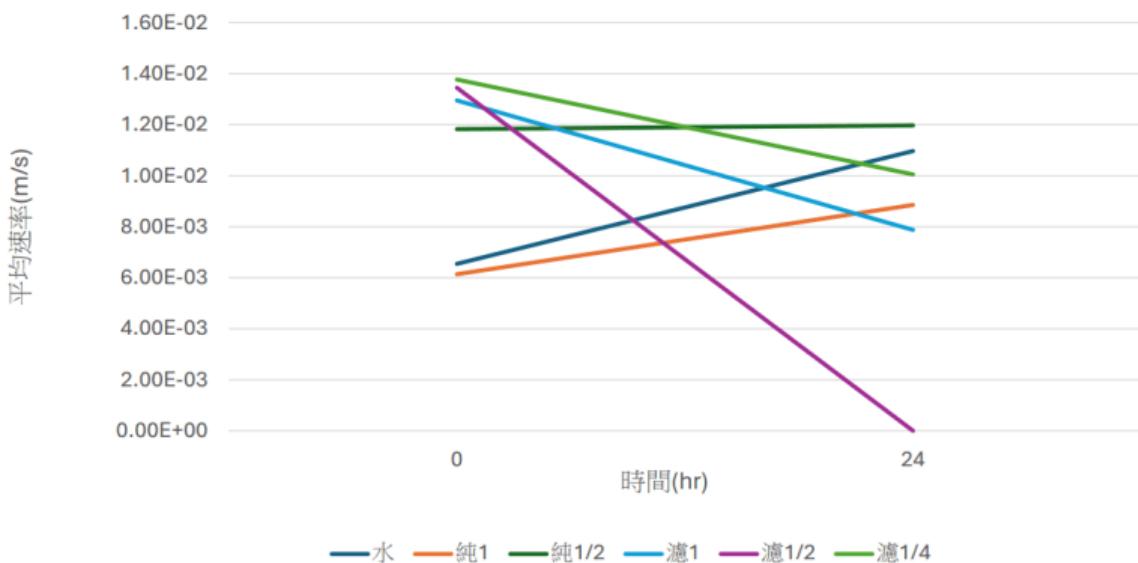


<圖二十九> 純液對龍蝦蟬螂的影響

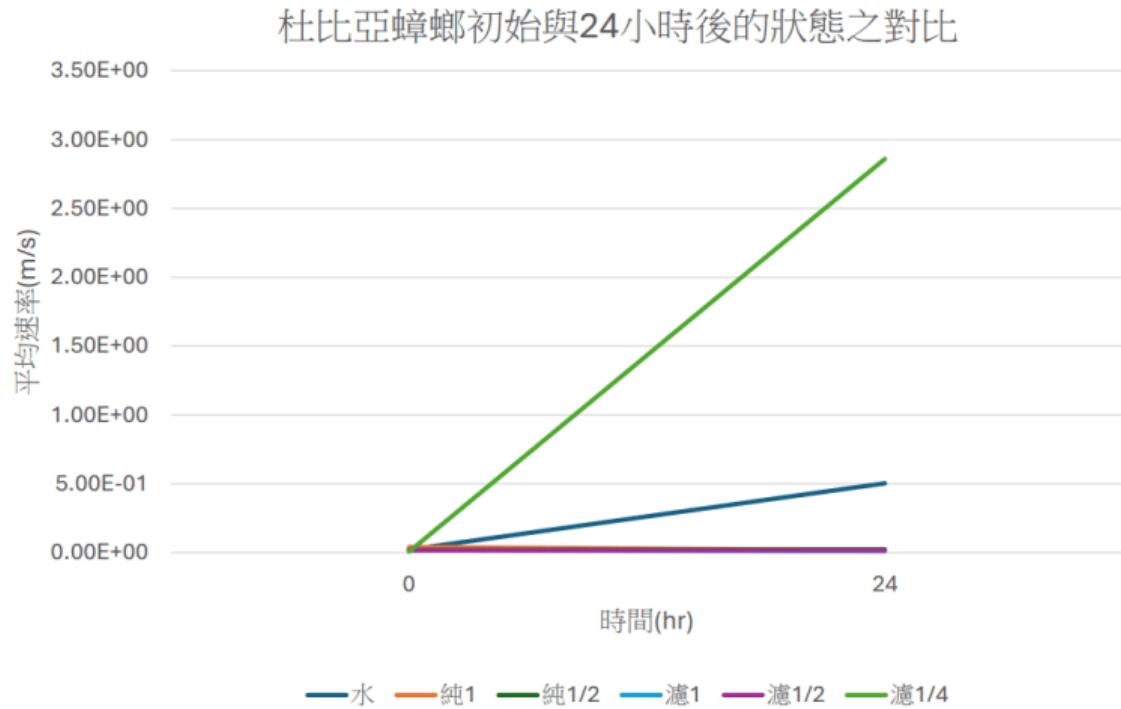


<圖三十> 濾液與純液對龍蝦蟬螂的影響

馬島蟑螂初始與24小時後的狀態之對比

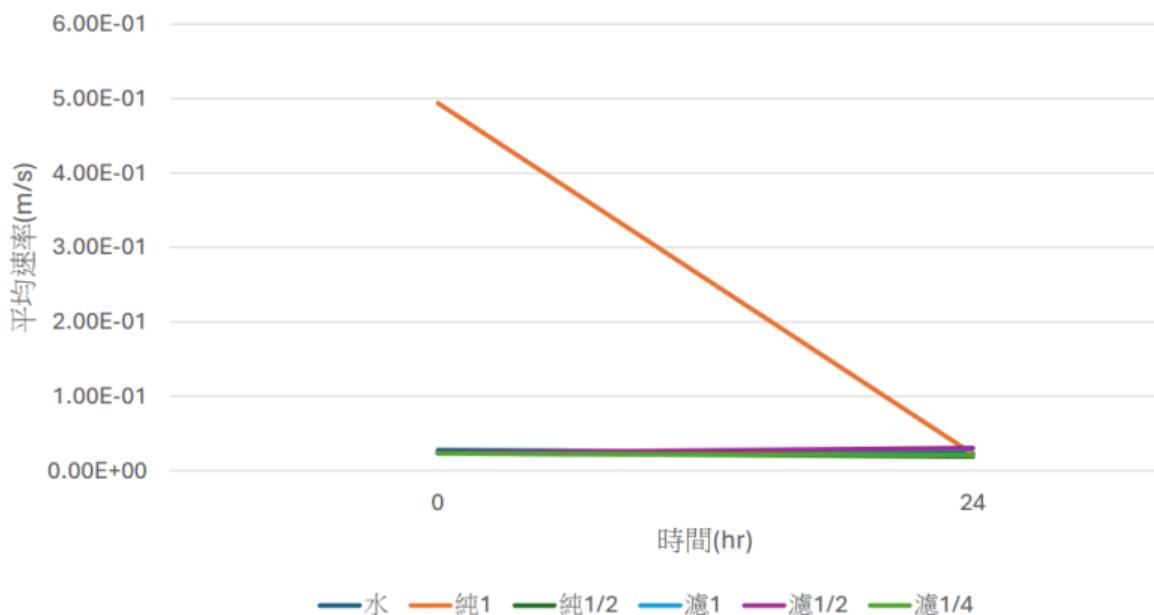


<圖三十一>馬島蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比

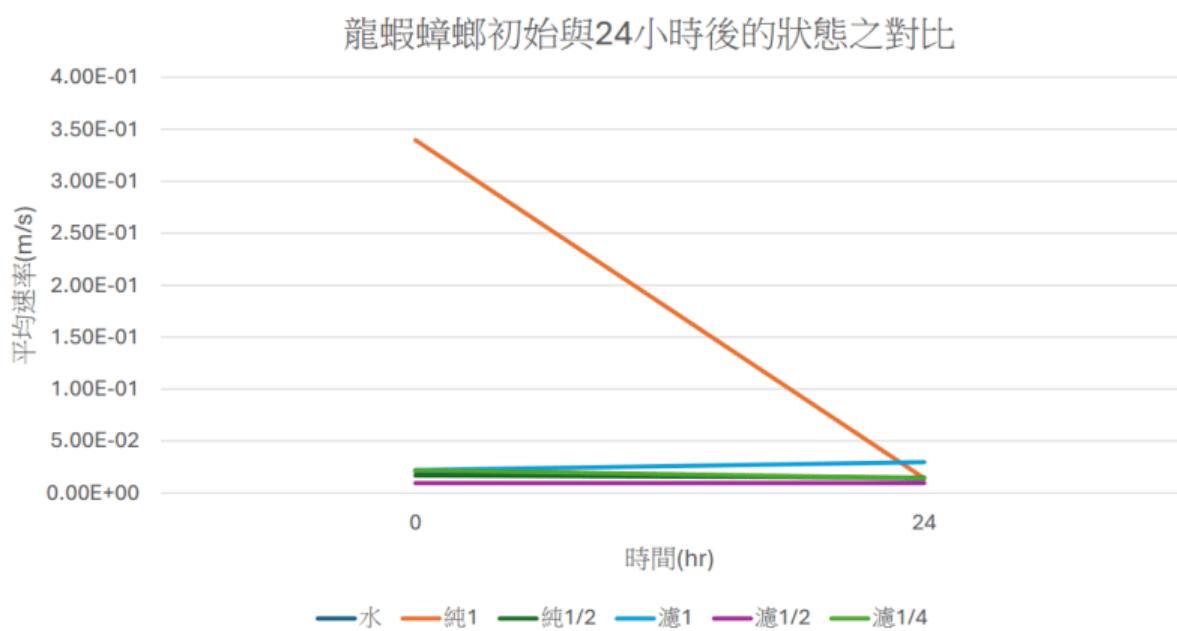


<圖三十二>杜比亞蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比

櫻桃蟑螂初始與24小時後的狀態之對比



<圖三十三>櫻桃紅蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比

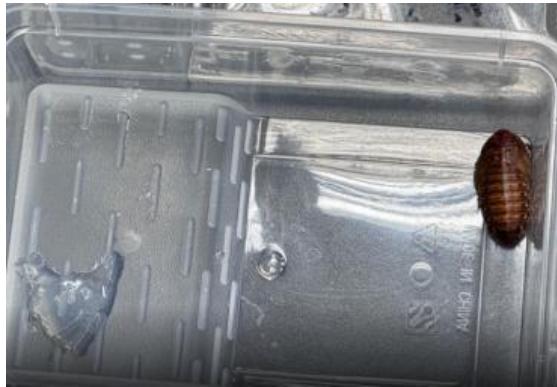


<圖三十四>龍蝦蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比

二、檳榔汁液對於蟑螂適口性的探討，以杜比亞蟑螂為實驗對象

(一) 除了以水做成的果凍外，其餘無論是純液或是濾液，皆無任何進食的現象。

(二) 蟑螂會遠離任何含有檳榔成分的果凍。



<圖三十五> 餵食以水做成的果凍



<圖三十六> 餵食含有檳榔汁液的果凍

B. 第二階段實驗

一、蟑螂移動路徑測試

(一) 蟑螂重與平均攝食量

<表二> 水測試組的蟑螂重與平均攝食量

水 平均蟑螂重：0.85g/隻 平均攝食率：0.0467g／隻										
	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8	編號 9	編號 10
餵食前	0.69	0.37	0.61	0.29	0.53	0.36	0.58	0.48	0.47	0.57
餵食後	0.48	0.37	0.42	0.25	0.51	0.27	0.47	0.40	0.45	0.50
	編號 11	編號 12	編號 13	編號 14	編號 15	編號 16	編號 17	編號 18	編號 19	編號 20
餵食前	0.42	0.32	0.72	0.68	0.61	0.70	0.50	0.42	0.59	0.69
餵食後	0.42	0.31	0.72	0.65	0.60	0.65	0.49	0.42	0.58	0.61
	編號 21	編號 22	編號 23	編號 24	編號 25	編號 26	編號 27	編號 28	編號 29	編號 30
餵食前	0.45	0.58	0.53	0.59	0.59	0.53	0.51	0.59	0.59	0.39
餵食後	0.45	0.57	0.49	0.58	0.50	0.28	0.51	0.50	0.51	0.38

<表三> 濃度 1 測試組的蟑螂重與平均攝食量

濃度 1		平均蟑螂重 : 0.78g/隻 平均攝食率 : 0.0797g/隻									
	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8	編號 9	編號 10	
餵食前	0.82	0.50	0.79	0.48	1.09	0.95	0.55	0.85	0.64	1.08	
餵食後	0.63	0.47	0.54	0.31	0.93	0.71	0.48	0.73	0.59	0.82	
	編號 11	編號 12	編號 13	編號 14	編號 15	編號 16	編號 17	編號 18	編號 19	編號 20	
餵食前	1.06	0.72	0.32	0.91	0.72	1.23	0.73	0.64	0.82	0.73	
餵食後	0.92	0.67	0.29	0.84	0.68	1.14	0.43	0.60	0.62	0.65	
	編號 21	編號 22	編號 23	編號 24	編號 25	編號 26	編號 27	編號 28	編號 29	編號 30	
餵食前	0.94	1.00	0.41	0.97	0.62	0.81	0.60	0.83	0.92	0.41	
餵食後	0.80	1.00	0.35	0.88	0.58	0.71	0.60	0.74	0.71	0.37	

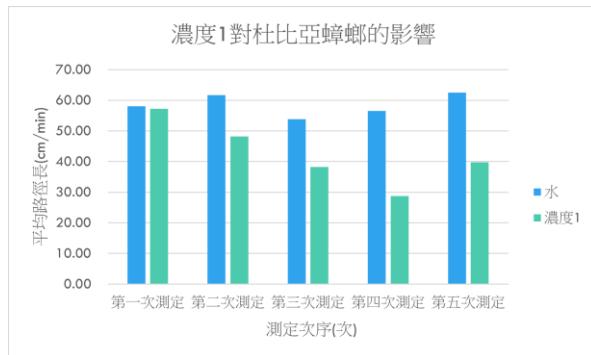
<表四> 濃度 2 測試組的蟑螂重與平均攝食量

濃度 2		平均蟑螂重 : 0.76g/隻 平均攝食率 : 0.0827/隻									
	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8	編號 9	編號 10	
餵食前	0.72	0.41	0.54	0.43	0.50	0.31	0.45	0.49	0.38	0.51	
餵食後	0.70	0.23	0.44	0.40	0.48	0.23	0.27	0.47	0.36	0.21	
	編號 11	編號 12	編號 13	編號 14	編號 15	編號 16	編號 17	編號 18	編號 19	編號 20	
餵食前	0.56	0.43	0.47	0.51	0.49	0.36	0.31	0.51	0.48	0.50	
餵食後	0.51	0.43	0.47	0.29	0.26	0.36	0.30	0.50	0.45	0.43	
	編號 21	編號 22	編號 23	編號 24	編號 25	編號 26	編號 27	編號 28	編號 29	編號 30	
餵食前	0.32	0.58	0.60	0.37	0.32	0.43	0.67	0.31	0.37	0.74	
餵食後	0.20	0.49	0.58	0.35	0.31	0.20	0.50	0.30	0.37	0.70	

<表五> 濃度 4 測試組的蟑螂重與平均攝食量

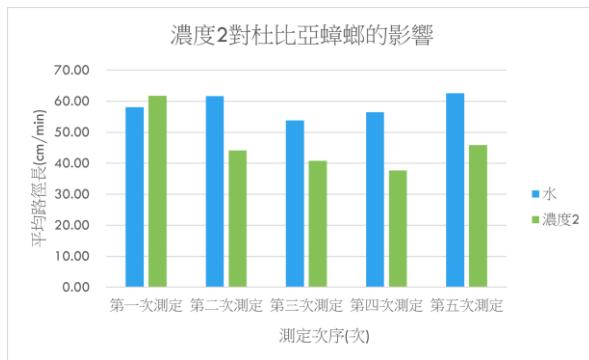
濃度 4		平均蟑螂重：0.89g/隻 平均攝食率：0.0907g/隻									
	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8	編號 9	編號 10	
餵食前	0.45	0.53	0.48	0.49	0.48	0.32	0.55	0.39	0.28	0.21	
餵食後	0.40	0.50	0.22	0.48	0.41	0.20	0.50	0.32	0.26	0.20	
	編號 11	編號 12	編號 13	編號 14	編號 15	編號 16	編號 17	編號 18	編號 19	編號 20	
餵食前	0.23	0.35	0.31	0.15	0.32	0.41	0.36	0.30	0.34	0.31	
餵食後	0.15	0.29	0.20	0.10	0.21	0.22	0.17	0.23	0.15	0.12	
	編號 21	編號 22	編號 23	編號 24	編號 25	編號 26	編號 27	編號 28	編號 29	編號 30	
餵食前	0.33	0.38	0.52	0.47	0.49	0.58	0.52	0.61	0.60	0.42	
餵食後	0.10	0.38	0.45	0.41	0.41	0.50	0.43	0.52	0.28	0.13	

(二) 移動的平均路徑長觀測杜比亞蟑螂的行為變化



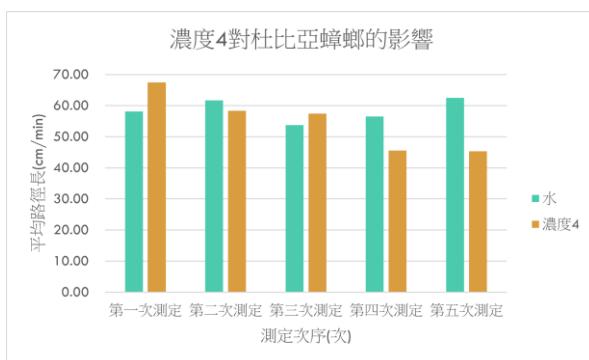
<圖三十七> 濃度 1 對杜比亞蟑螂的影響

從<圖三十七>中可看出，僅攝食水製成的餅乾，在單位時間內的平均移動路徑長無明顯變化。而在濃度 1 對杜比亞蟑螂的影響中可看出，第一次測定濃度 1 的數值與水相當，但自第二次測定後便開始有下降的現象，第四次測定數值五次中最低值，第五次測定雖有回升的跡象，但整體仍是低於水的數值。



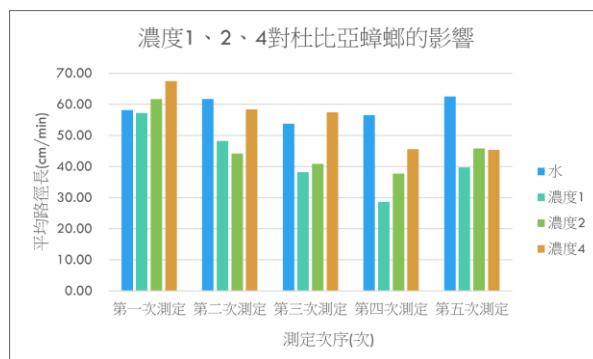
<圖三十八> 濃度 2 對杜比亞蟑螂的影響

<圖三十八> 濃度 2 對杜比亞蟑螂的影響，第一次測定時濃度 2 的數值略高於水，但自第二次餵食後便開始有「大幅」下降的趨勢，後續三～五次測定皆低於水且值穩定在 40cm/min 左右。



<圖三十九> 濃度 4 對杜比亞蟑螂的影響

<圖三十九> 濃度 4 對杜比亞蟑螂的影響，第一次測定濃度 4 的數值明顯高於水，第二次測定數值開始逐步下滑，但仍是高於水的數值，直至第四、五次測定下降至水組數值之下。



<圖四十> 濃度 1、2、4 對杜比亞蟑螂的影響

而<圖四十> 濃度 1、2、4 對杜比亞蟑螂的影響，可以看出濃度 4 在第三次測定時數值明顯高於其他濃度組，但之後也開始有下降趨勢。

<表六> 誘食性(體重/攝食率)

組別	平均體重(g)	攝食率(g/隻)	攝食率(倍)	誘食性(體重/攝食率)次序
水	0.85	0.0467	18.2	4
濃度 1	0.78	0.0797	9.79	2
濃度 2	0.76	0.0827	9.19	1
濃度 4	0.89	0.0907	9.81	3

體重/攝食率數值越大，代表每克（或每單位）體重所攝入的食物越少，即動物進食比例低。

體重/攝食率數值越小，代表每克（或每單位）體重攝入的食物越多，即動物進食比例高。

由<表六>可發現濃度 1、2、4 的餅乾攝食比例遠高於僅含水的餅乾，代表含有檳榔汁液的餅乾較能吸引蟑螂進行攝食，其中以濃度 2 的誘食比例最為明顯。

<表七> 各濃度與水做比較

P 值

測定次數	水組 vs 濃度 1	水組 vs 濃度 2	水組 vs 濃度 4	備註
第 1 次	0.55	0.60	0.80	無顯著
第 2 次	0.015	0.005	0.025	全部顯著
第 3 次	0.009	0.002	0.040	全部顯著
第 4 次	0.020	0.010	0.055	濃度 4 臨界顯著
第 5 次	0.018	0.008	0.050	全部顯著或臨界顯著

ANOVA 整體 P 值 < 0.05，表示四組間至少有一組與其他組在「平均移動路徑長」或其他指標上有統計顯著差異。

二、蟑螂觸角擺動幅度

<表八> 蟑螂觸角擺動幅度

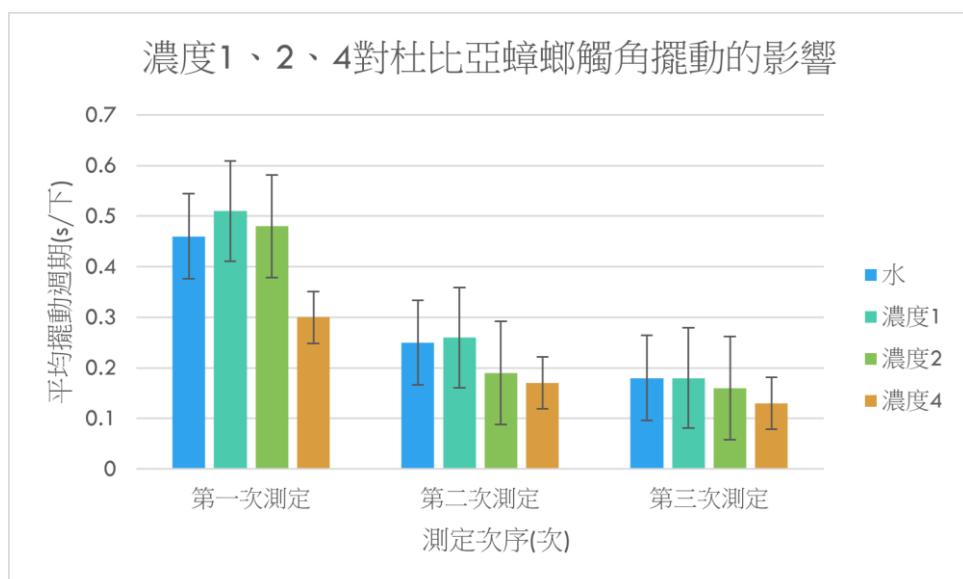
組別	最高值 (cm/min)	最低值 (cm/min)	變幅 (cm/min)
水	62	58	4
濃度 1	60	30	30
濃度 2	62	40	22
濃度 4	75	35	40

由<表八>可發現餵食後濃度 4 的觸角擺動幅度最大，而水的擺動幅度最小

三、蟑螂觸角擺動週期

<表九> 蟑螂擺動觸角次數

	水	1	2	4
初始狀態-第一次測試	0.43 s/下	0.51 s/下	0.48 s/下	0.30 s/下
第二次測試	0.25 s/下	0.26 s/下	0.19 s/下	0.17 s/下
第三次測試	0.18 s/下	0.18 s/下	0.16 s/下	0.13 s/下



<圖四十一> 各濃度觸角擺動週期

由<表九>與<圖四十一>可觀察到餵食後每組觸角擺動都會加快，但在第三次測定時，可觀察到濃度的增加與擺動的週期有正相關。

陸、實驗討論

A. 第一階段實驗

一、根據<圖十九>濾液對馬島蟑螂的影響中可看出，濾液濃度增大，與水做對照下，蟑螂的活動力並無太大的改變，一樣呈現穩定下降的趨勢，這可能和一開始檢測時換新環境有關，次數多了也習慣被移動時的環境改變，因此推測檳榔濾液對馬島蟑螂的影響不大。

二、根據<圖二十>純液對馬島蟑螂的影響中可明顯看出，純的檳榔汁液會讓馬島蟑螂活動力加快，濃度降為 $1/2$ 時效果就不顯著了，而與<圖十九>對照，推測影響蟑螂活動力的物質應該是非水溶性的。

三、根據<圖二十四>濾液與純液對杜比亞蟑螂的影響中可看出，除了純度為 1 檳榔汁液會讓蟑螂行動力明顯下降外，其他濃度的汁液變化皆與水的變化幅度差距不大，可證實影響物質是非水溶性的。

四、根據<圖二十七>濾液與純液對櫻桃紅蟑螂的影響中可看出，除了純度為 1 檳榔汁液會讓蟑螂行動力明顯下降外，其他濃度的汁液變化皆與水的變化幅度差距不大，可證實影響物質是非水溶性的。

五、根據<圖二十九>純液對龍蝦蟑螂的影響與<圖三十>濾液與純液對龍蝦蟑螂的影響中可看出，只有濃度 1 的純液是會對蟑螂行為有比較顯著的影響，而且是讓牠們行動變遲緩，至於其他汁液與水做對照後，在行動表現上並無太大的差異，也證實了此影響物質是非水溶性的。

六、綜合一~五點討論，我們發現檳榔純液對於四種蟑螂皆會造成行為上的影響，除了馬島蟑螂以外，其他三種蟑螂的行動力皆會明顯下降，而馬島蟑螂可能因為本身的體型就遠大於其他三種蟑螂，要達到減緩行動力，可能須經過濃縮提升效果才可能明顯觀察到，至於會變快，可能是因為吃了澱粉或是個體差異造成的結果，後續會再做相關研究與測試。

七、根據<圖三十一>馬島蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比，僅濾液與水的趨勢有出入，濾液整體向下，推測可能未完全代謝，影響時間較長。

八、根據<圖三十二>杜比亞蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比，濾 $1/4$ 濃度與水的趨勢皆向上，其餘皆往下，但與初始狀態持平，推測影響並未持久至 24 小時。

九、根據<圖三十三>櫻桃紅蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比，與水對比之下，僅純 1 的初始與 24 小時後的狀態有明顯落差，推測是因為未完全代謝，導致整體速率並未恢復與初

始狀態差不多的數值，而其餘則與水趨同

十、根據<圖三十四>龍蝦蟑螂初始與 24 小時後的狀態之對比，與水對比之下，純 1 的初始與 24 小時後的狀態有明顯落差，推測是因為未完全代謝，導致整體速率並未恢復與初始狀態差不多的數值。瀘 1 有稍微往上，但幅度不大，推測是正常的波動，其餘則與水趨同。

十一、原本預測將檳榔汁液做成果凍，因為有水分關係，可能會更吸引蟑螂前來攝食，但經過測試後發現，只要有含檳榔汁液，蟑螂就會想辦法遠離，所以實驗最終結果只有單純添加水的果凍蟑螂會前去覓食，這也可以提供未來在做殺蟲藥時的參考依據。

十二、從第一階段實驗中可發現，稀釋過後的純液與經瀘紙過瀘後的瀘液對蟑螂行為影響皆不顯著，推測對蟑螂造成影響的物質存在於純液中，但量不多，且會被瀘紙吸附而無法通過，這資訊可以做為未來純化此物質的參考依據。

B. 第二階段實驗

一、使用事後 Tukey 檢定結果顯示，濃度 1 組與水之間存在統計顯著差異 ($P = 0.012$)，濃度 2 組與水組間有極顯著差異 ($P = 0.003$)，濃度 4 與水組間亦達顯著 ($P = 0.045$)。但三個檳榔濃度組間彼此並無顯著差異 ($P > 0.05$)。證實檳榔萃取物對杜比亞蟑螂的活動力有明顯劑量依賴效應，且主要發生於與對照組的比較上。

二、濃度 1 在第二次至第四次與水對照下明顯下降，甚至數值低於 40(cm/min)，推測可能是因檳榔成分造成的活動力下降、被抑制。

三、濃度 2 第一次測定時數值高於水，但在第二次測定數值急遽下降且低於水，後續維持低數值，可能是因濃度提升，故影響時間拉長。

四、濃度 4 第一次測定數值高於水，第二、三次與水趨同，直至第四次數值開始下降且低於水的數值。推測是因高劑量神經刺激後，動物可能因受體下調或生理適應出現反彈 (Boucher et al., 2023)，故後續仍是出現行動變緩的趨勢。且圖中部分測定點數值短暫高於水，後段卻快速下降至低於水組，推測類似「先刺激、後抑制」的雙相神經效應 (ehee,

J. F. M., & Ballard, D. H. 2009)。

五、第二次測定（攝食檳榔餅乾後）起，水組與所有檳榔處理組間 P 值均小於 0.05，活動力下降達顯著甚至極顯著水準，推測是檳榔鹼作用於乙醯膽鹼受體，導致神經傳導功能抑制。（Boucher et al., 2023；Peng et al., 2020）

六、濃度 1、2、4 間的 P 值均大於 0.05，無顯著差異，可能因「效應飽和」現象（Benegal et al., 2008）所致。

七、檳榔成分在短時間內即可大幅抑制昆蟲活動，且作用可能呈現劑量門檻效應。且高劑量檳榔可能造成神經抑制、專注力下降等現象（Peng et al., 2020；Gupta & Warnakulasuriya, 2002），而如今人類於生活中將檳榔視為提神工具，假使今日駕駛人員專注力、反應力皆有因嚼食檳榔而減弱的風險，那是否應比照酒駕辦理，亦或給予明確規範。

八、實驗顯示，蟑螂攝食高劑量檳榔成分後活動力急劇下降，具應用於「行為型殺蟲劑」設計的潛力，利用自然化學物質造成目標害蟲行為喪失或神經癱瘓，達到控制族群的效果（Sparks & Nauen, 2015）。新型生物性殺蟲劑可利用天然生物鹼類，或其衍生物，設計出具有選擇性、高效且生態友善的殺蟲產品（Isman, 2020）。

九、在觸角的擺動頻率觀察中發現，進食後，在單位時間內擺動次數明顯增加，且擺動幅度有縮小的趨勢，推測是由於檳榔汁液中的成分會刺激蟑螂的中樞神經造成緊張或興奮的反應，且隨濃度增加呈現正相關，但在行為表現上，則會使蟑螂的行動力下降而呈現負相關的表現。

柒、結論

A. 第一階段實驗

一、餵食純檳榔汁液會造成蟑螂的行動能力下降，而非水溶性檳榔萃取物造成的影響會較水溶性檳榔萃取物對蟑螂的影響較明顯。

二、檳榔成分在一定量的情況下可被蟑螂代謝。

三、將檳榔萃取物做成餅乾較做成果凍易被蟑螂取食，此發現可做為未來持續探討本議題時，方法論上的優化基礎。

B. 第二階段測試

一、高劑量檳榔鹼的神經興奮作用只有極短效期，隨後是長時間的抑制與遲緩，而高濃度的檳榔汁液在短時間內可明顯抑制杜比亞蟑螂的活動力。

二、檳榔成分顯著抑制蟑螂活動力，作用具劑量-反應關係。

三、加入檳榔汁液的餅乾顯著提升杜比亞蟑螂的攝食意願，符合誘食性化學物質促進進食的毒理機制（Isman, 2020）。

捌、未來展望

一、進一步萃取檳榔的成分並分離進行測試，目前推測此物質含量少，且會被濾紙吸附，若能確認是何種成分能影響蟑螂的行動力，就可以應用於殺蟲劑的改良。

二、嘗試用改以均方根分析，參考路徑長等其他數據，以不同面向分析和對比結論之異同。

三、檳榔生物鹼屬神經毒性物質，其機制類似於擬除蟲菊酯等現代殺蟲劑，反映出高劑量生物鹼對動物神經行為之潛在風險。未來臺灣及檳榔盛行國家可考慮以科學數據為基礎，推動將「吃檳榔」納入與「酒駕」同等之交通安全管理，結合行為風險宣導與法律規範，進一步提升公共安全。此外，相關單位亦應投資於檳榔檢測技術與行為風險評估，建立科學化、實證化的交通安全政策。

玖、參考資料

吳秋樺（2021）除蟲菊精和類除蟲菊精。國家衛生研究院環境毒物研究中心。

<https://www.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=786&toxid=153>

邱約慈（2018）檳榔使用疾患與口腔癌前病變及口腔鱗狀細胞癌之關係。高雄醫學大學碩士論文。

南投醫院（2023）檳榔成分與致癌性。南投醫院衛教資訊。

https://www.nant.mohw.gov.tw/?aid=509&pid=0&page_name=detail&iid=1921

賴俊穎、周昀達（2018）令人心動不已的飲料-咖啡對蟑螂心搏的影響。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。

環境部（2024）使用煙霧式除蟲劑要小心！環境部。

<https://topic.moenv.gov.tw/chemiknowledgemap/cp-224-11042-60239-5.html>

Benegal, V., Rajkumar, R. P., & Muralidharan, K. (2008). Does areca nut use lead to dependence? *Drug and Alcohol Dependence*, 97(1-2), 1-6.

<https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2008.02.005>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376871608000547>

Bhat, S. J. S., Blank, M. D., Balster, R. L., Nicther, M., & Nicther, M. (2016). The pharmacology, toxicology, and potential applications of arecoline: A review. *Pharmaceutical Biology*, 54(11), 2751–2760. <https://doi.org/10.3109/13880209.2016.1160251>

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/13880209.2016.1160251>

Chang, M. C., Ho, Y. S., Lee, J. J., Kok, S. H., Hahn, L. J., & Jeng, J. H. (2001). Areca nut extract and arecoline induced the cell cycle arrest but not apoptosis of cultured oral KB epithelial cells: Association of glutathione, reactive oxygen species and mitochondrial membrane potential. *Carcinogenesis*, 22, 1527–1535.

Gupta, P. C., & Warnakulasuriya, S. (2002). Areca nut use: An independent risk factor for oral cancer. *BMJ*, 324(7341), 799–800. <https://www.bmjjournals.org/content/324/7341/799>

Gupta, P. C., Ray, C. S., & Sinha, D. N. (2022). Areca nut and oral cancer: Evidence from studies conducted in humans. *Journal of Dental Research*, 101(5), 479–486.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35459408/>

Isman, M. B. (2020). Botanical Insecticides in the Twenty-First Century—Fulfilling Their Promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233-249.

<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

<https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

Jeng, J. H., Hahn, L. J., Lin, B. R., Hsieh, C. C., Chan, C. P., & Chang, M. C. (2001). Roles of keratinocyte inflammation in oral cancer: Regulating the prostaglandin E₂, interleukin-6 and TNF-α production of oral epithelial cells by areca nut extract and arecoline. *Carcinogenesis*, 22(9), 1301–1315.

Jehee, J. F. M., & Ballard, D. H. (2009). Predictive feedback can account for biphasic responses in the lateral geniculate nucleus. *PLOS Computational Biology*, 5(5), e1000373.

<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000373>

Key, P. B., Chung, K. W., Opatkiewicz, A. D., Wirth, E. F., & Fulton, M. H. (2003). Toxicity of the insecticides fipronil and endosulfan to selected life stages of the grass shrimp

- (*Palaemonetes pugio*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(3), 533-540. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0029-x>
- Motulsky, H. (2018). Intuitive biostatistics: A nonmathematical guide to statistical thinking (4th ed.). Oxford University Press.
<https://global.oup.com/academic/product/intuitive-biostatistics-9780190643560>
- Singh, A. K. (1990). Molecular properties and inhibition kinetics of acetylcholinesterase obtained from rat brain and cockroach ganglion. *Toxicology and Industrial Health*, 6(6), 551-570.
- Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Tasi, J. P., Chang, K. C., Li, Y. H., Chen, B. N., Chen, W. H., & Lin, J. T. (2004). Metabolic change in responses to anoxia in American Cockroach. *Bio Formosa*, 39(1), 41-48.
- World Health Organization (WHO). (2004). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Betel-quid and areca-nut chewing and some areca-nut-derived nitrosamines (Vol. 85). International Agency for Research on Cancer.
<https://publications.iarc.fr/74>
- Yang, J. L., & Chen, H. C. (2003). Effects of gallium on common carp (*Cyprinus carpio*): acute test, serum biochemistry, and erythrocyte morphology. *Chemosphere*, 53(8), 877-882.
- You, E., Cha, J. H., Kim, H. J., & Kim, Y. H. (2025). Comparison of the toxicity and potential ecological risks of various pesticides for nurses of honey bee (*Apis mellifera L.*). *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 7, 791-801.
<https://doi.org/10.1016/j.enceco.2025.05.003>

網路資料：

影像追蹤分析軟體簡介：https://www.youtube.com/watch?v=OZIUHB_f5oA 資料檢索時間：
2025 年 6 月 8 日。

Tracker 軟體 安裝與使用教學：

<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/resources/How%20to%20use%20Tracker> 資料
檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

寒天果凍比例：<https://www.cookpot.com.tw/cookbook/257.html> 資料檢索時間：2025 年 6 月
8 日。

馬達加斯加蟑螂：維基百科。<https://reurl.cc/aeKjkG> 資料檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

杜比亞蟑螂：維基百科。<https://reurl.cc/aeKjnG> 資料檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

櫻桃紅蟑螂：維基百科。<https://reurl.cc/0KM8pk> 資料檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

檳榔：維基百科。<https://reurl.cc/K81nQm> 資料檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

臺灣生命大百科：龍蝦蟑螂。<https://taieol.tw/pages/75707> 資料檢索時間：2025 年 6 月 8 日。

圖片編號	來源	圖片編號	來源
圖一	第一作者	圖二十二	第一作者
圖二	第一作者	圖二十三	第一作者
圖三	第一作者	圖二十四	第一作者
圖四	第一作者	圖二十五	第一作者
圖五	第一作者	圖二十六	第一作者
圖六	第一作者	圖二十七	第一作者
圖七	第一作者	圖二十八	第一作者
圖八	第一作者	圖二十九	第一作者
圖九	第一作者	圖三十	第一作者
圖十	第一作者	圖三十一	第一作者
圖十一	第一作者	圖三十二	第一作者
圖十二	第一作者	圖三十三	第一作者
圖十三	第一作者	圖三十四	第一作者
圖十四	第一作者	圖三十五	第一作者
圖十五	Tracker 軟體操作介面， Open Source Physics 計 畫開發。	圖三十六	第一作者
圖十六	第一作者	圖三十七	第一作者
圖十七	第一作者	圖三十八	第一作者
圖十八	第一作者	圖三十九	第一作者
圖十九	第一作者	圖四十	第一作者
圖二十	第一作者	圖四十一	第一作者
圖二十一	第一作者		

【評語】052010

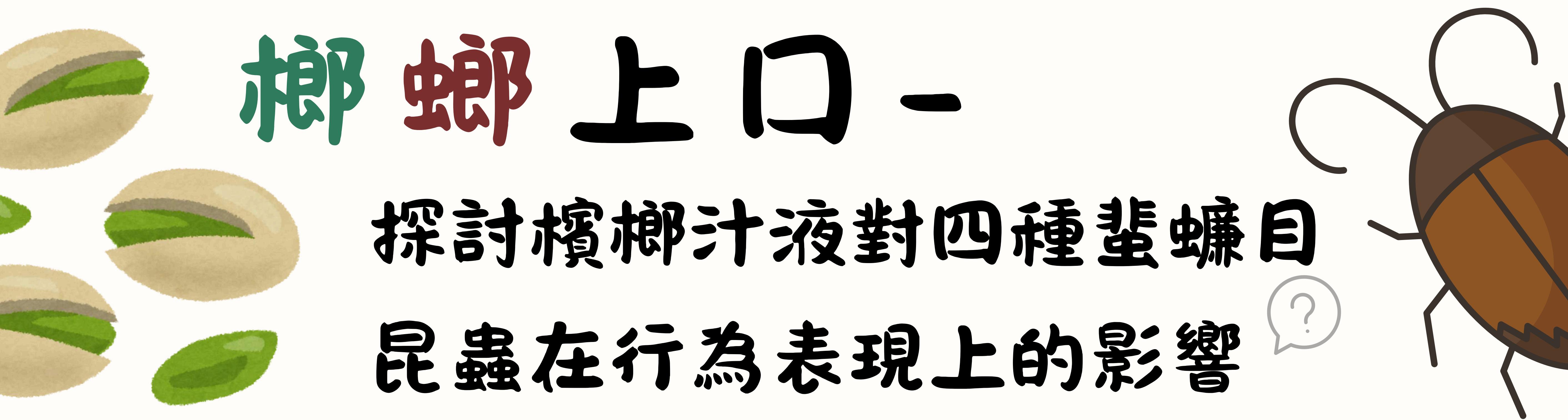
本作品「榔榔上口-探討檳榔汁液對四種蜚蠊目昆蟲在行為表現上的影響」分兩階段進行。第一階段以四種蟑螂（馬達加斯加島蟑螂、杜比亞蟑螂、櫻桃紅蟑螂、龍蝦蟑螂）為對象，餵食不同濃度及過濾方式的檳榔汁液餅乾，並觀察行動力改變。結果發現，高濃度且未經過濾之檳榔汁液餅乾會顯著降低蟑螂行動力。第二階段聚焦杜比亞蟑螂，進一步投餵較高濃度並分析觸角擺動頻率與行動表現。發現檳榔汁液濃度越高，蟑螂行動力越遲緩，觸角頻率升高但幅度縮小，推論檳榔成分具有初期刺激但最後抑制蟑螂行動力之效果，有應用可能性。

有關本研究的建議如下：

1. 研究最終推測檳榔中的成分可能同時具有刺激和降低行動力的效果，這仍是推測性的結論，缺乏更深層次的生理或分子機制驗證來支持。
2. 本研究主要觀察蟑螂的短期行為表現，對於檳榔萃取液對蟑螂的長期健康、繁殖能力或生存率的影響，討論或研究中並未提及。

3. 雖然研究提到了檳榔中的「成分」，但未具體指出是哪種或哪些化學成分（如：檳榔鹼）造成了這些行為變化，市售檳榔是有添加物的，如石灰及荖花一類的可能致癌物，此研究只研究檳榔子本身的萃取液，值得再延伸探討。

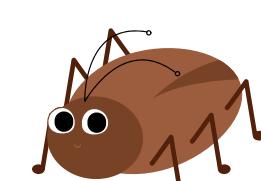
作品海報



榔 螻 上 口 -

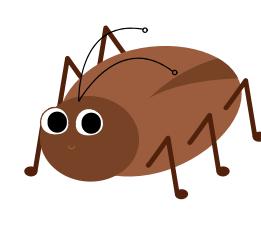
探 討 檳 榔 汁 液 對 四 種 蝽 蠼 的 影 響

昆 蟲 在 行 為 表 現 上 的 影 響



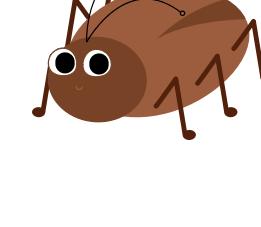
摘要

本次實驗分為兩個階段，第一階段以四種蜚蠊目的昆蟲作為實驗對象，給予不同濃度檳榔萃取液做成的餅乾進行餵食，實驗結果發現，餵食未經濾紙過濾及稀釋的萃取液餅乾對蟑螂的行動力會造成較大的影響，使蟑螂的行動變遲緩，而經過濾或稀釋後就無效果了。第二階段實驗以杜比亞蟑螂為對象，進行加重投餵劑量，並記錄其觸角擺動頻率和週期。實驗結果發現，蟑螂攝取檳榔萃取液濃度越高，行動力會趨向遲緩，觸角的擺動幅度變小，擺動頻率升高。推測檳榔中的成分雖然會刺激蟑螂產生較為激動的反應，但對蟑螂的行動力卻會有降低的效果。



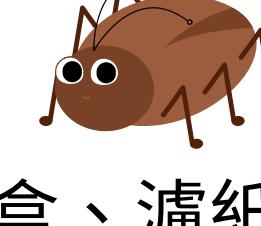
壹、研究動機

檳榔長期被某些消費族群食用作為提神醒腦的工具，但事實上它對人體健康危害甚鉅，而檳榔中所含的檳榔鹼除具成癮性，更會導致口腔黏膜病變及提升口腔癌風險 (Jeng et al., 2001; WHO, 2004)。但上述健康風險與潛在危害，目前在無脊椎動物身上並沒有明確的測試資料，因此想以四種蟑螂作為實驗對象，探討食用含檳榔成分的餌料後，對牠們行為造成的影響。



貳、研究目的

- 一、探討檳榔萃取汁液對四種蟑螂的行為影響。
- 二、從移動路徑、觸角擺動探討檳榔汁液對杜比亞蟑螂行為的影響。



參、研究材料與器材

- 一、實驗材料：果汁機、鋁箔紙、電子天平、分隔盒、濾紙、燒杯、烘箱、濾斗、瓦楞紙板、鐵盤、紗布、加熱器、水、氫氧化鈉、針筒、滴管、紅墨水、橡膠軟管、滴定管、壓克力盒、圓形紙盆
- 二、實驗對象：馬達加斯加島蟑螂(*Elliptorhina javanica*)、杜比亞蟑螂(*Blaptica dubia*)、櫻桃紅蟑螂(*Blatta lateralis*)、龍蝦蟑螂(*Nauphoeta cinerea*)、檳榔果實(*Areca catechu*)



<圖一> 使用器材



<圖二> 馬島蟑螂



<圖三> 杜比亞蟑螂



<圖四> 櫻桃蟑螂



<圖五> 龍蝦蟑螂



<圖六> 檳榔

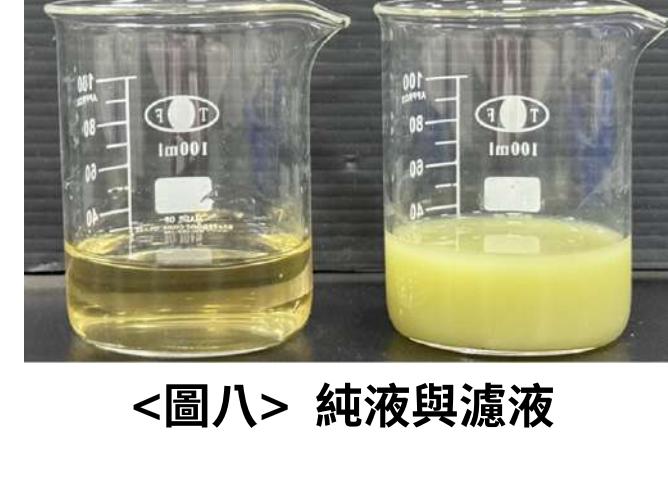
一、第一階段實驗步驟

(一) 第一部分：萃取檳榔汁液

1. 取100g重的檳榔，並加入同重量的水以果汁機進行攪打。
2. 將攪打後的汁液以紗布進行第一次過濾，得到初步濾液(簡稱純液)
3. 將純液分為成兩等份，其中一份靜置備用，另一份以濾紙進行二次過濾，得到二次過濾濾液(簡稱濾液)



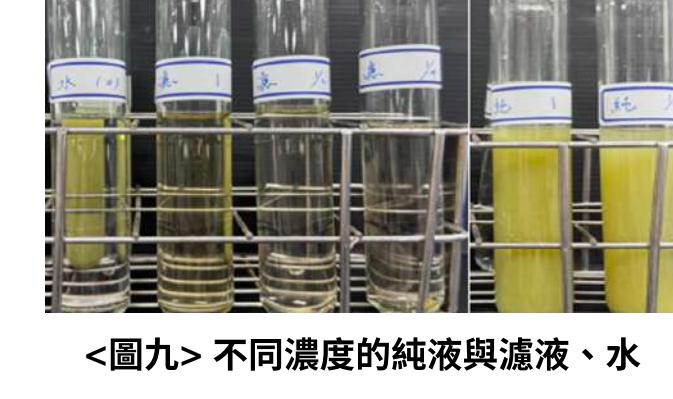
<圖七> 純液、檳榔渣、濾後紗布



<圖八> 純液與濾液

(二) 第二部分：製作檳榔餅乾

1. 將濾液設定濃度為1，依序稀釋出濃度1/2、1/4，純液設定濃度1，並稀釋出濃度1/2，以水作為對照組。
2. 分別將純液、濾液、水與中筋麵粉以比例1:1混合後於鐵盤上攤平，送入烘箱以80度烘40分鐘，將水分烘乾。



<圖九> 不同濃度的純液與濾液、水



<圖十> 送入烘箱前



<圖十一> 送入烘箱後

(三) 第三部分：製作果凍

1. 分別取水溶性與非水溶性萃取物20ml，加入0.2g寒天粉，加熱後製成萃取物果凍。
2. 將不同濃度的果凍分別餵食杜比亞蟑螂，觀察其喜好與進食狀況。



<圖十二> 寒天加熱



<圖十三> 檳榔果凍成品

(四) 第四部分：跑道製作

1. 為了方便追蹤路徑及觀察，選用白色瓦楞紙版做為跑道製作的材料。
2. 以瓦楞紙版作為跑道材料，製作出長20公分、寬5公分、高10公分的雙跑道，中間以隔板隔開。

(五) 第五部分：蟑螂行為測試

1. 取同一批蟑螂(馬島蟑螂6隻、杜比亞蟑螂12隻、櫻桃紅蟑螂12隻、龍蝦蟑螂12隻)，分成6組進行測試。
2. 將蟑螂置於恆溫箱(28度)兩天，期間僅提供水。並於餵食前先進行一次測試，將蟑螂置於自製跑道裝置中，任其自由爬行，拍攝一分鐘，紀錄蟑螂的行為狀況。
3. 每組以不同濃度的檳榔餅乾進行餵食，並於餵食後的0、1.5、3、4.5、24小時後個別進行一輪行為測試，紀錄蟑螂的行為狀況。
4. 數據呈現：
將影片匯入Tracker路徑追蹤程式分析，可得出該隻蟑螂的一分鐘的爬行總路徑長。將數據整合，以每秒走的平均路徑長表示，單位為(cm/s)

肆、研究過程與方法

(一) 萃取檳榔汁液與餅乾製作

1. 重複第一階段萃取步驟，將水與檳榔的比例改為1:2汁液僅用紗布過濾。將過濾完成的汁液與麵粉以1:1、1:2、1:4比例混和出濃度1、2、4的麵糰，送入烘箱以40度烘24小時。

(二) 杜比亞蟑螂行為測試

1. 每組皆取20隻體型大小相似，出生約五個月的亞成體蟑螂進行實驗，前七天皆只提供水，並置於25°C恆溫飼養箱中。於晚間7:00，室溫25度進行實驗。
2. 將杜比亞蟑螂放入圓形紙碗內，關燈三分鐘後進行拍攝，記錄初始狀態。
3. 在關燈的環境下將餅乾分別秤重後放入，餵食三十分鐘後拿起秤重，並進行第二次拍攝，紀錄蟑螂一分鐘內爬行的總路徑長，完畢後開燈。
4. 開燈10分鐘後關燈3分鐘後進行第三次拍攝，完畢後開燈將蟑螂換至新的圓形紙碗。重複之前開關燈的動作，依序完成第四及第五次拍攝。

5. 數據呈現：

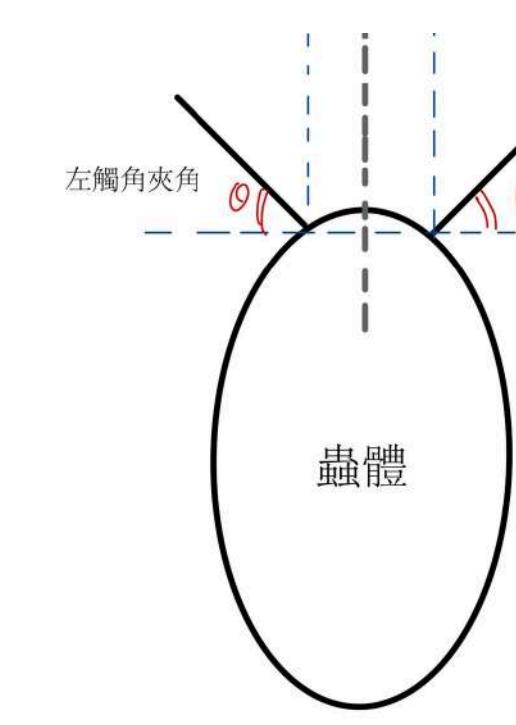
將影片匯入Tracker路徑追蹤程式分析，可得出該隻蟑螂的一分鐘的爬行總路徑長。將數據整合，以每秒走的平均路徑長表示，單位為(cm/s)

(三) 杜比亞蟑螂觸角擺動測試

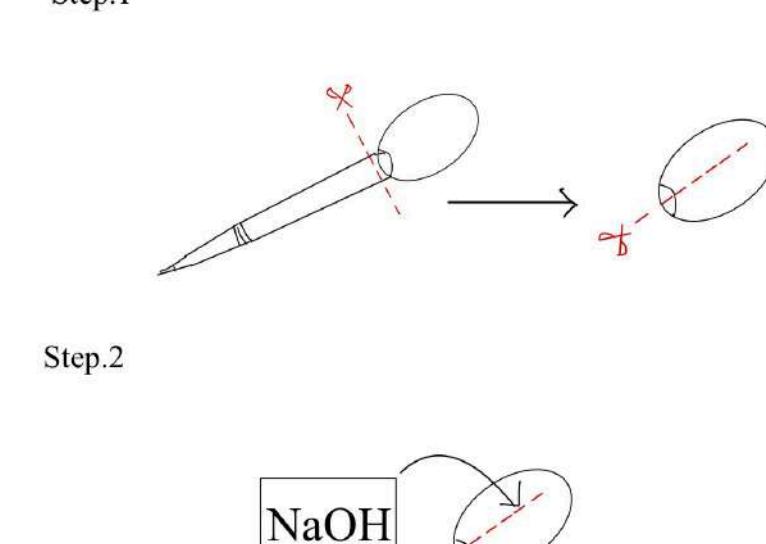
1. 每組皆取20隻體型大小相似，出生約五個月的亞成體蟑螂進行實驗，前七天皆只提供水，並置於25°C恆溫飼養箱中。於晚間7:00，室溫25度進行實驗。
 2. 將杜比亞蟑螂放入透明壓克力盒，關燈三分鐘後進行拍攝，記錄初始狀態。
 3. 在關燈的環境下將餅乾分別秤重後放入，餵食三十分鐘後拿起秤重，並進行第二次拍攝，紀錄杜比亞蟑螂30秒內頭部觸角的擺動狀況。
 4. 間隔十分鐘後進行第三次拍攝，記錄蟑螂在30秒內頭部觸角的擺動狀況。
5. 數據呈現：
- 將影片匯入Tracker，利用該程式將影片定格，使用量角器量測每次擺動的改變角度，設定觸角運動方向改變即為擺動一次，統計並換算為擺動頻率，單位為(次/s)。量測每次擺動改變的角度大小，計算並統計出每次擺動平均改變的角度大小，稱此為「變幅」，單位為(度/次)。

(四) 杜比亞蟑螂耗氧速率測試

1. 每組皆取10隻體型大小相似，出生約五個月的亞成體蟑螂進行實驗，前七天皆只提供水，並置於25°C恆溫飼養箱中。並於晚間7:00，室溫25度的環境下進行實驗。
 2. 將杜比亞蟑螂分為四組(水、1、2、4)另放置僅有氫氧化鈉的呼吸裝置系統，作為後續換算氧氣之用。
 3. 將針筒和吸量管以橡皮管連接，並把已量秤好的氫氧化鈉(0.06g)放置在裁減好的塑膠管中。紅墨水用水以1:10進行稀釋，取乾淨試管滴入0.5ml稀釋而成的紅墨水，放置旁邊備用。
 4. 將氫氧化鈉管開口倒製放入針筒後放入杜比亞蟑螂，並將針筒活塞塞回。壓橡皮管使吸量管內吸入紅墨水，將裝置靜置於桌面上，架設攝影機進行30分鐘的拍攝，記錄初始狀態。
 5. 在關燈的環境下將餅乾分別秤重後放入，餵食三十分鐘後拿起秤重，重複上述步驟進行第二次拍攝。
6. 數據呈現：
- 蟑螂吸收氧氣後排出二氧化碳，原放置的氫氧化鈉管會將二氧化碳吸收，造成內部體積縮減，透過吸量管內墨水移動狀況可換算體積縮減量，與僅放置氫氧化鈉的裝置對照下可換算出氧氣體積變化量，進一步換算出杜比亞蟑螂的耗氧速率，單位為(毫升/5分鐘)。

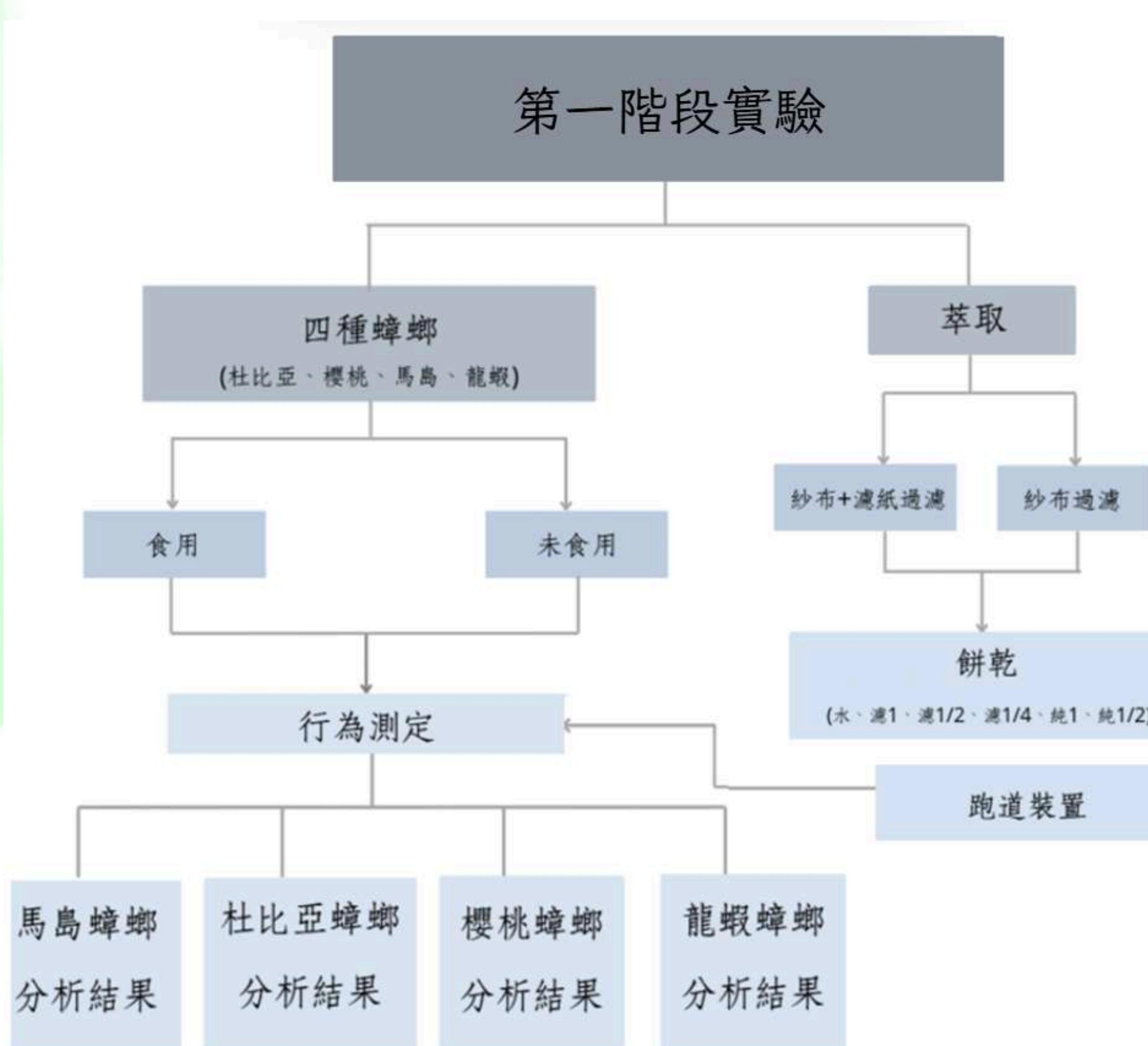


<圖十四> 觸角量測示意圖

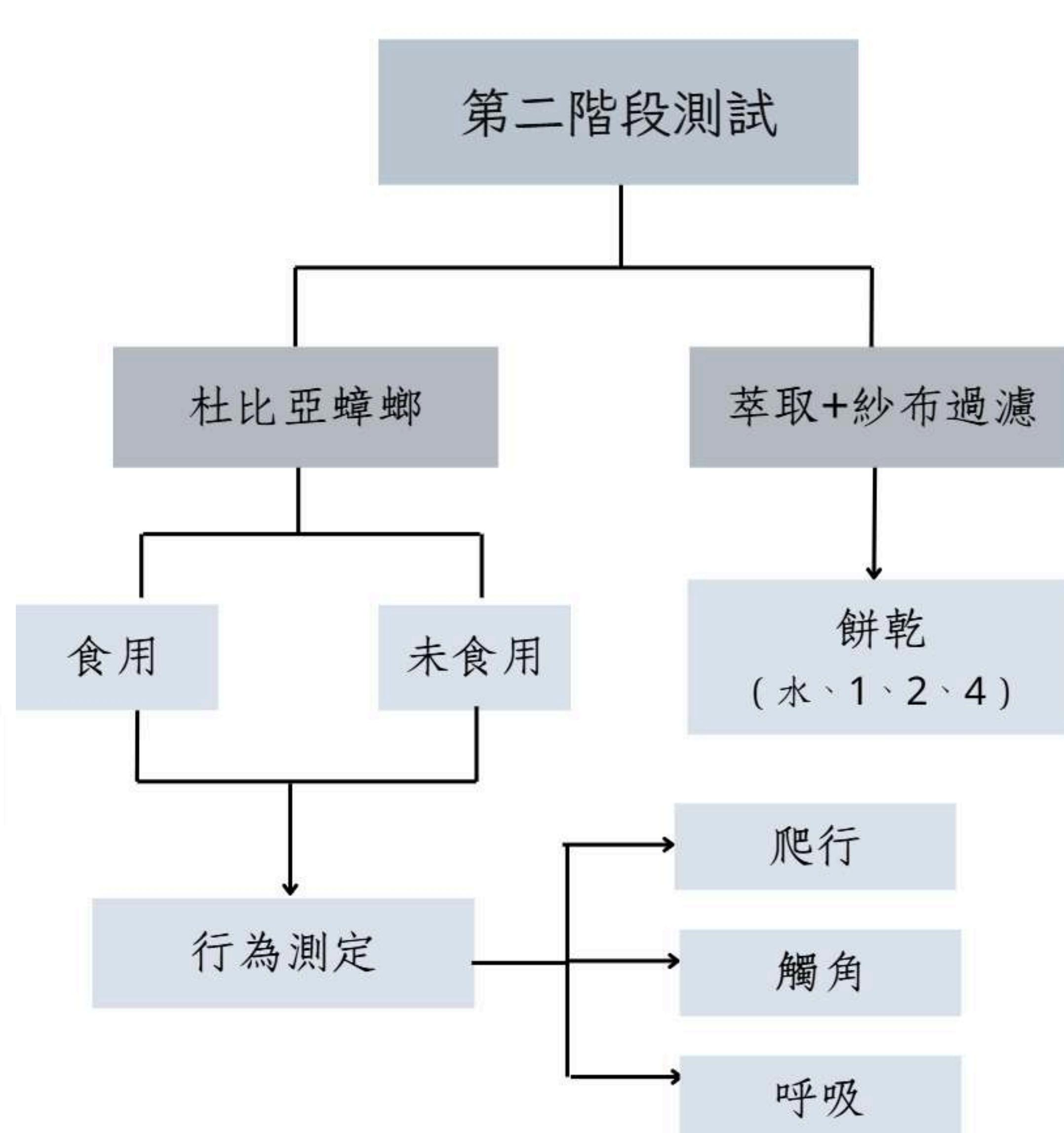


<圖十五> 氢氧化鈉管製作示意圖

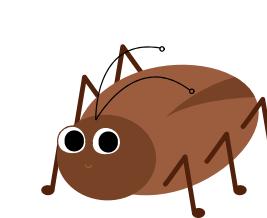
二、研究架構



<圖十七>第一階段實驗架構圖



<圖十八>第二階段實驗架構圖



伍、實驗結果

一、第一階段實驗

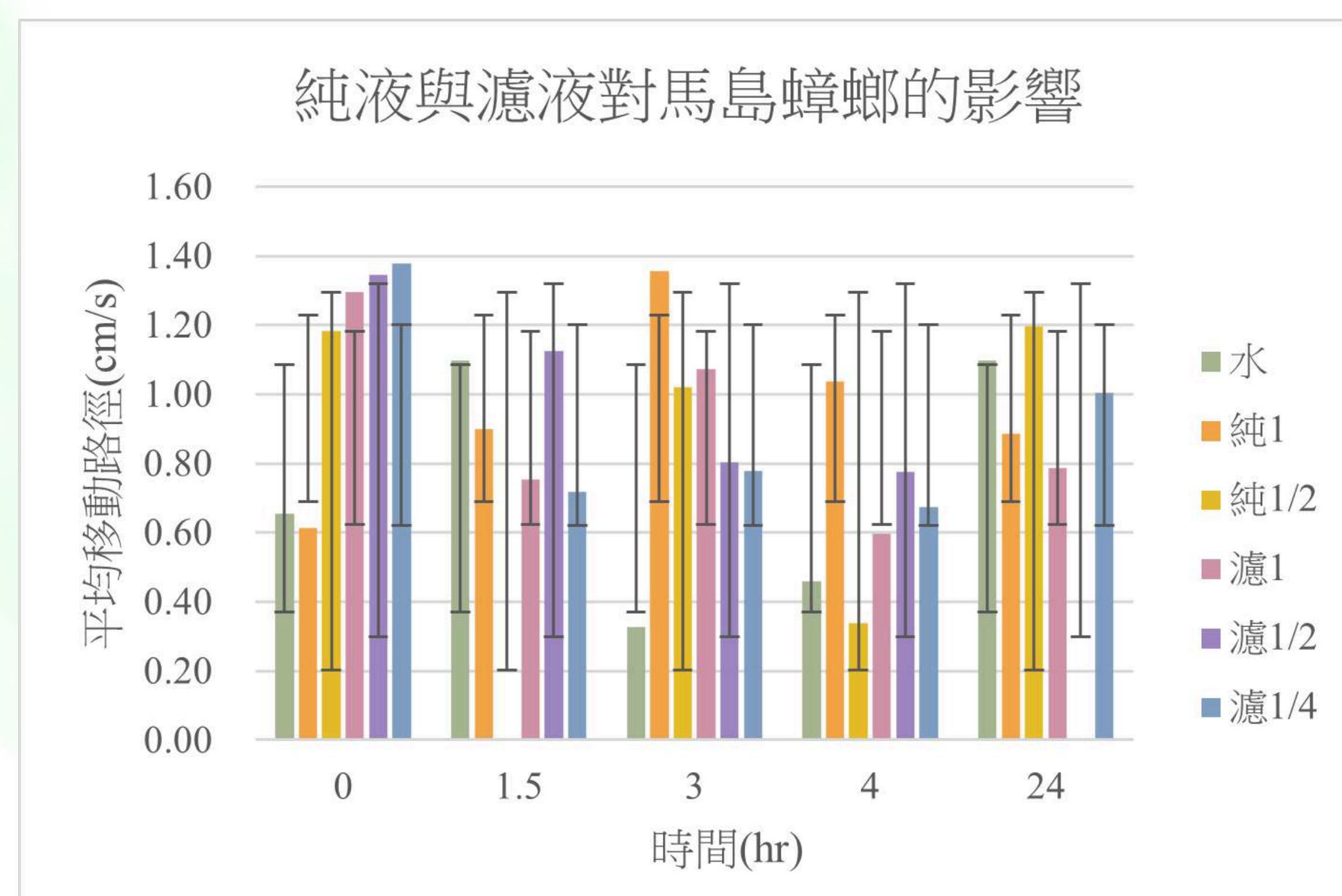
(一) 適口性測試

此測試以杜比亞蟑螂為實驗對象，將蟑螂分別餵食餅乾和果凍，發現蟑螂較願意攝食檳榔餅乾，對於檳榔果凍則完全不進食，甚至會遠離。

(二) 長時間段行為觀測

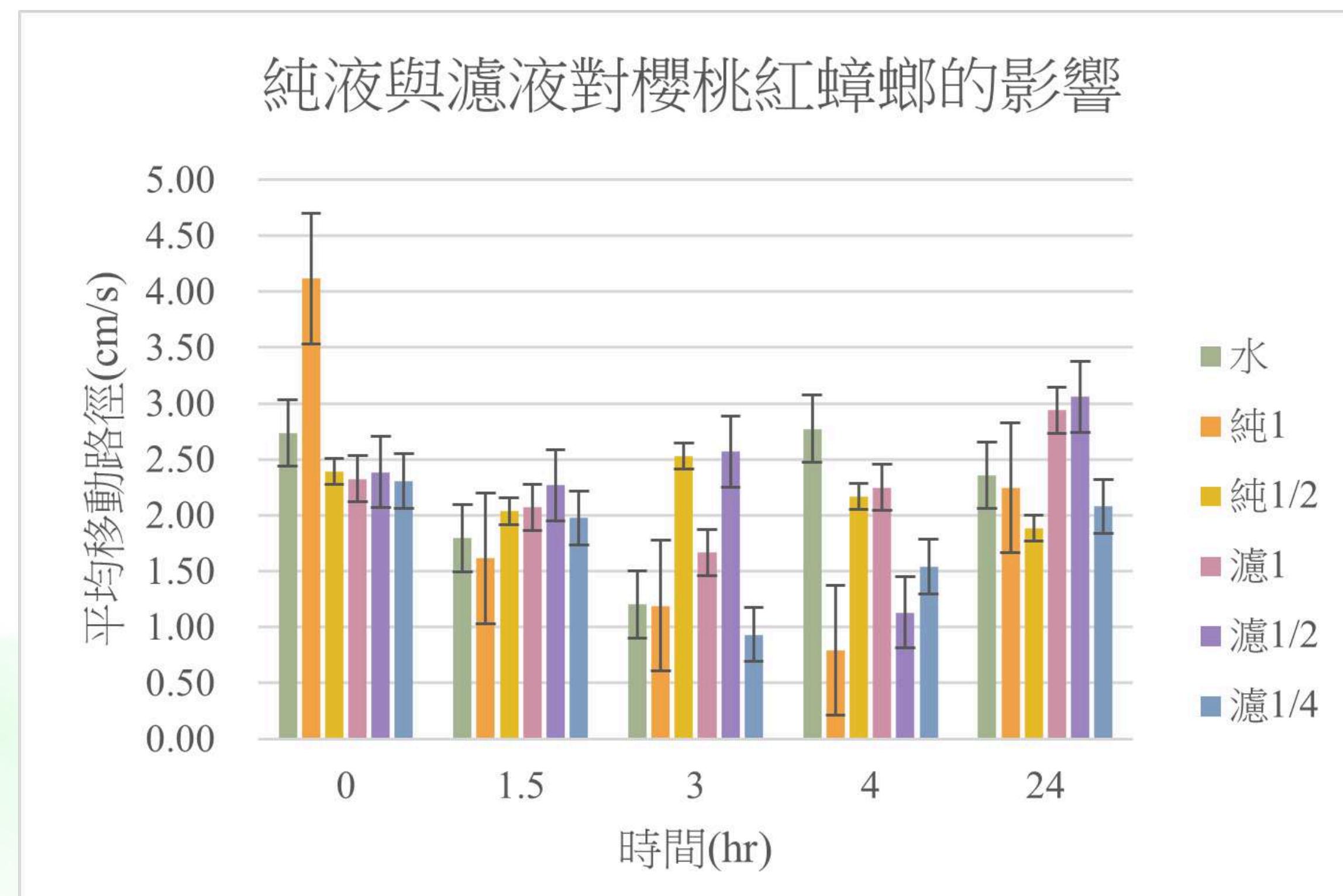
1. 純液與濾液對馬島蟑螂的影響

在濾液不同濃度下，馬島蟑螂的活動力無顯著改變，純1使牠們活動力加快，但濃度稀釋至1/2時就無顯著效果。



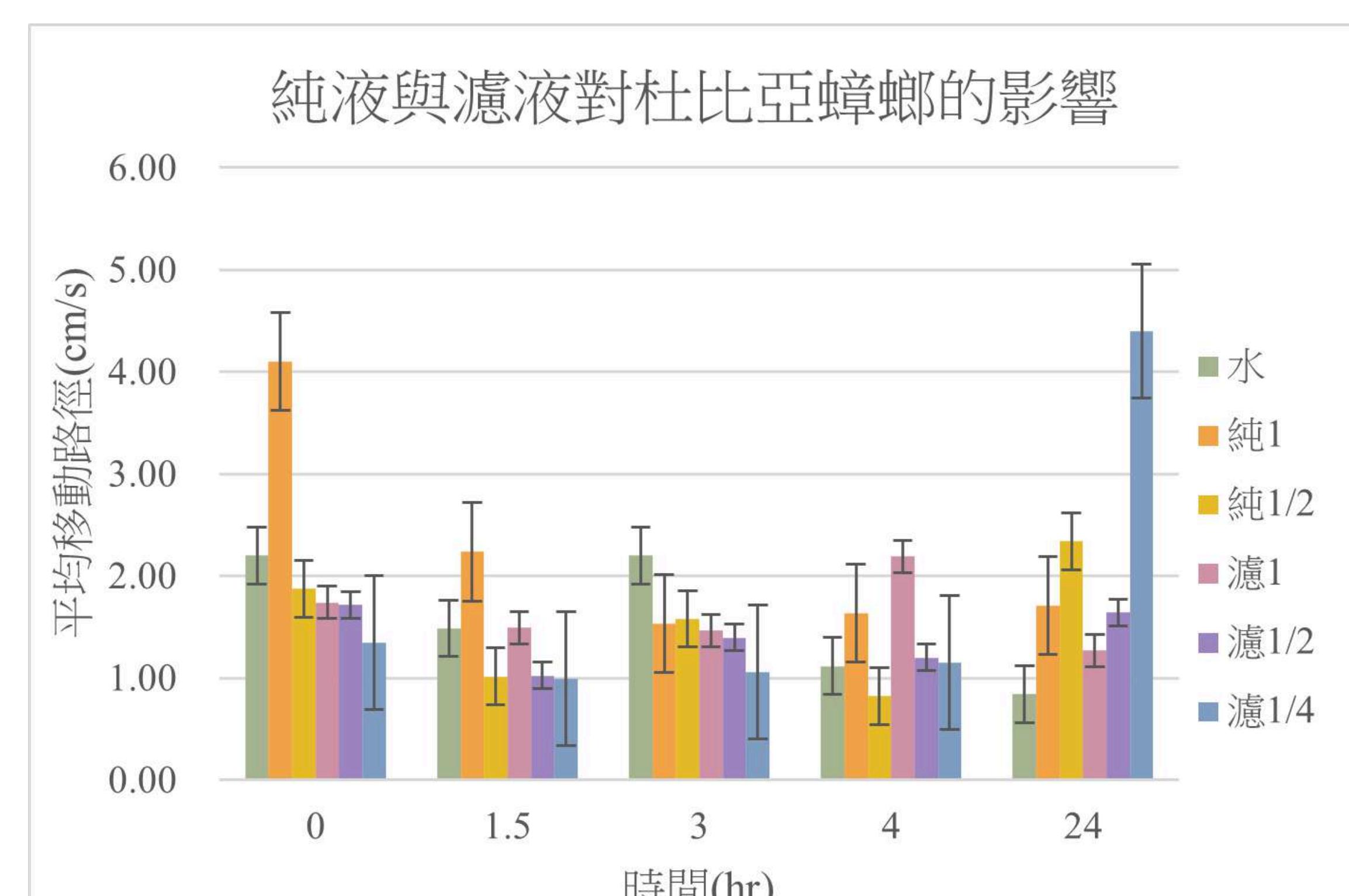
3. 純液與濾液對櫻桃紅蟑螂的影響

純1會讓櫻桃紅蟑螂行動力明顯下降，且至24小時當次測定才有回復的趨勢。其餘濃度無顯著變化。



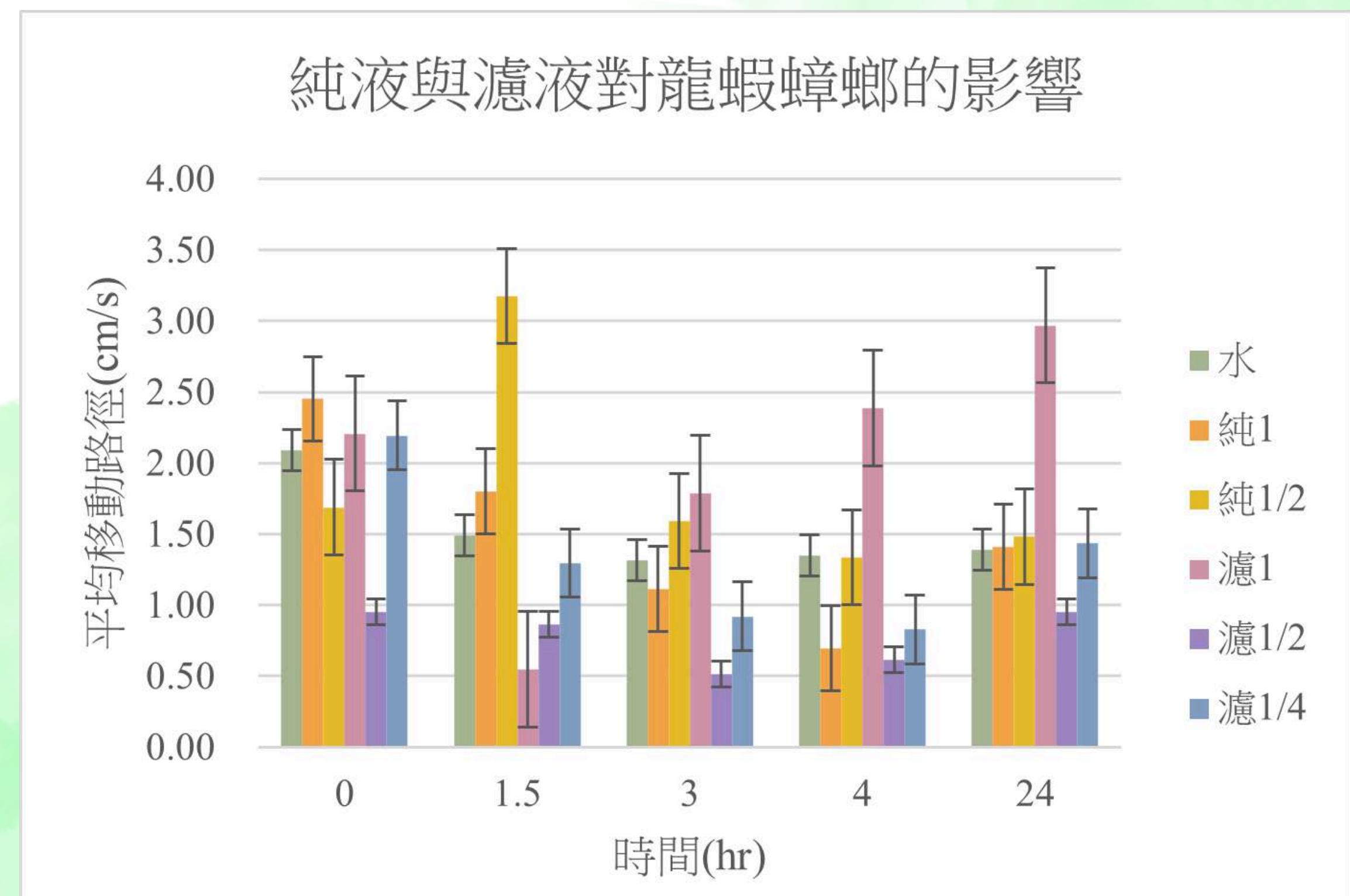
2. 純液與濾液對杜比亞蟑螂的影響

純1使杜比亞蟑螂活動力有明顯下降，其餘濃度無顯著影響。



4. 純液與濾液對龍蝦蟑螂的影響

僅純1有較顯著影響，使蟑螂行動遲緩，其餘則無顯著變化。

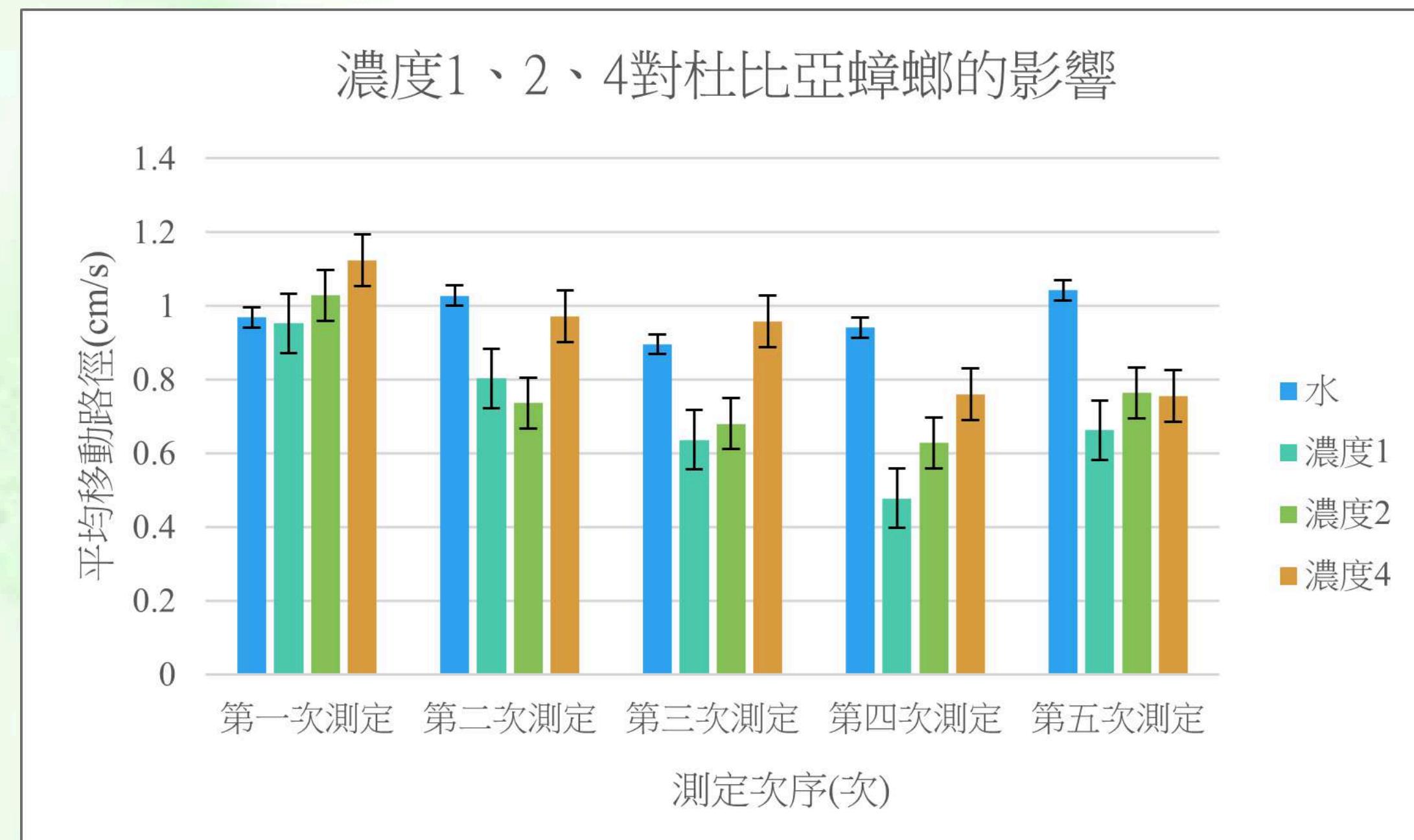


二、第二階段實驗

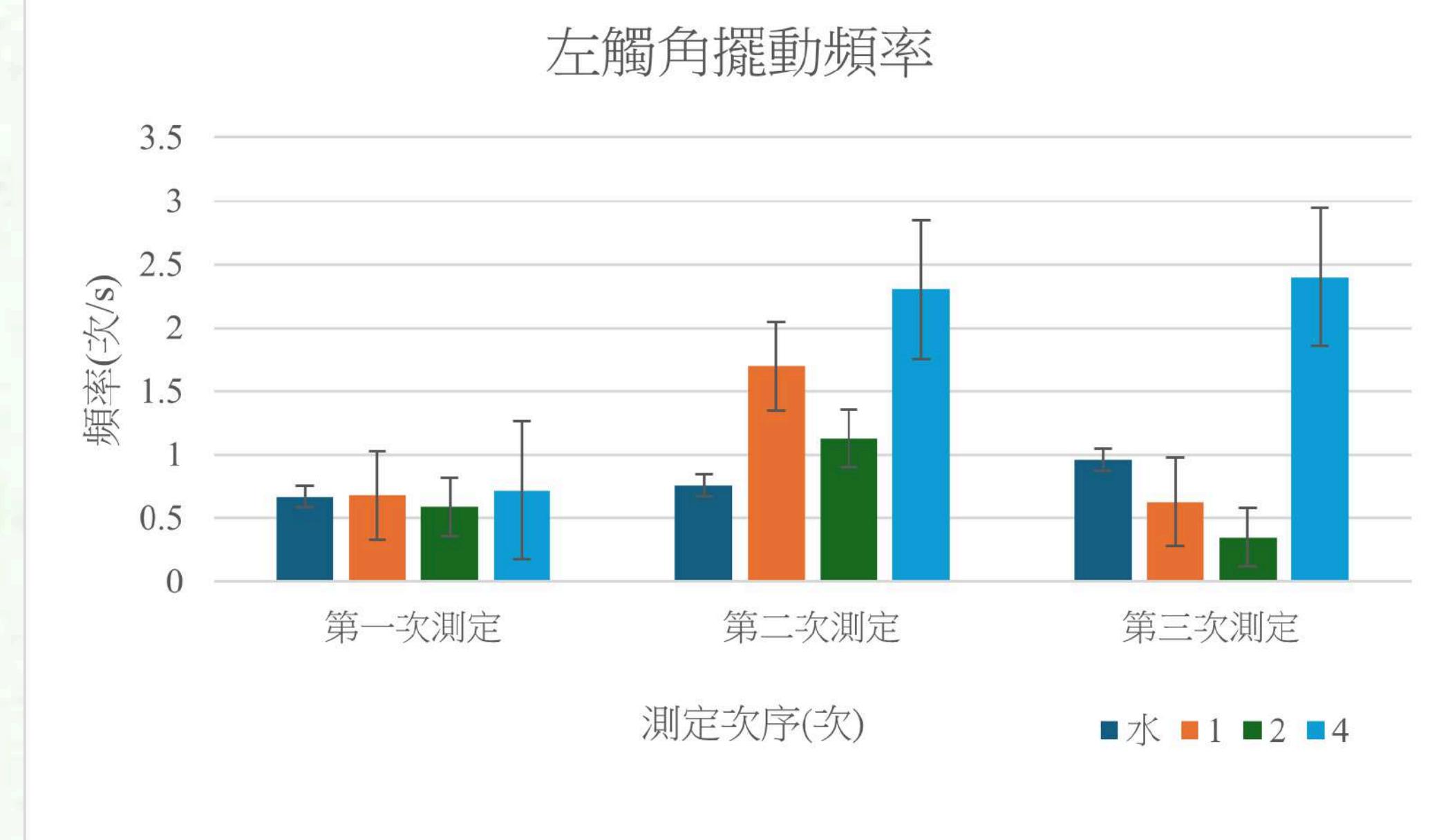
(一)短時間內行為觀測

1. 濃度1、2、4對蟑螂行為的影響

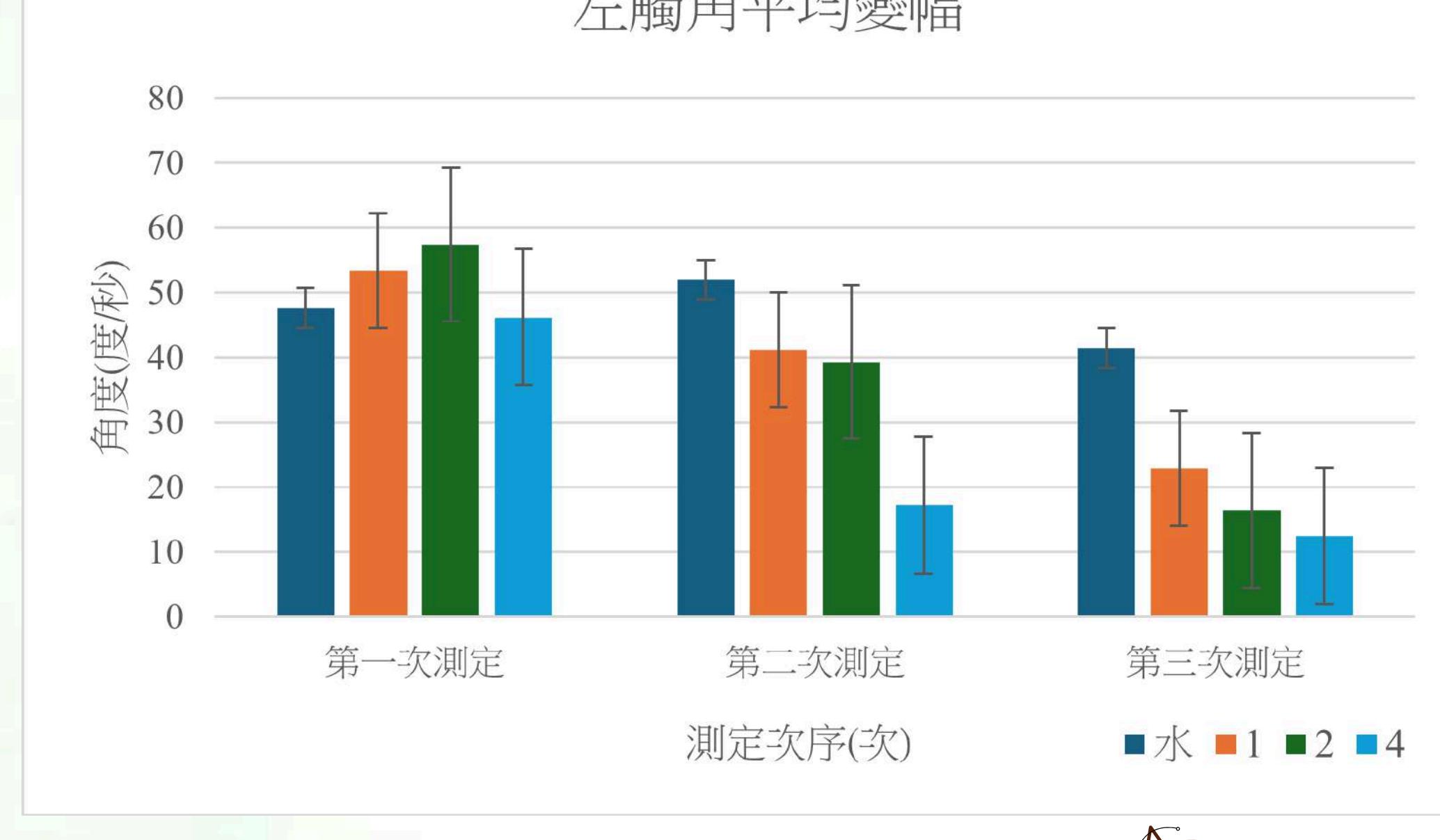
濃度1在第二次至第四次與水對照呈現明顯下降，濃度2第一次測定時數值高於水，第二次測定顯著下降且低於水，後續維持低數值。濃度4第一次測定數值高於水，第二、三次與水趨同，直至第四次數值開始下降且低於水的數值。



水無顯著變化，濃度1於第二次測定頻率顯著上升，第三次測定掉回。濃度2與濃度1反應相似，但變動幅度較小。濃度4於第二次測定頻率顯著上升，改變較濃度1、2大，且於第三次測定無回復現象。



水的平均變幅並無顯著改變，濃度1、2、4皆呈現變小的趨勢。三次測定內，濃度1初次下降幅度小，第二次大幅度下降。濃度2初次即大幅度下降，至第二次數值仍些微下降。濃度4與濃度2變化相似，但後續仍持續下降



<表二>

測定次序	水vs濃度1	水vs濃度2	水vs濃度3
第一次測定	0.55	0.60	0.80
第二次測定	0.015	0.005	0.025
第三次測定	0.009	0.002	0.040
第四次測定	0.020	0.010	0.055
第五次測定	0.018	0.008	0.050

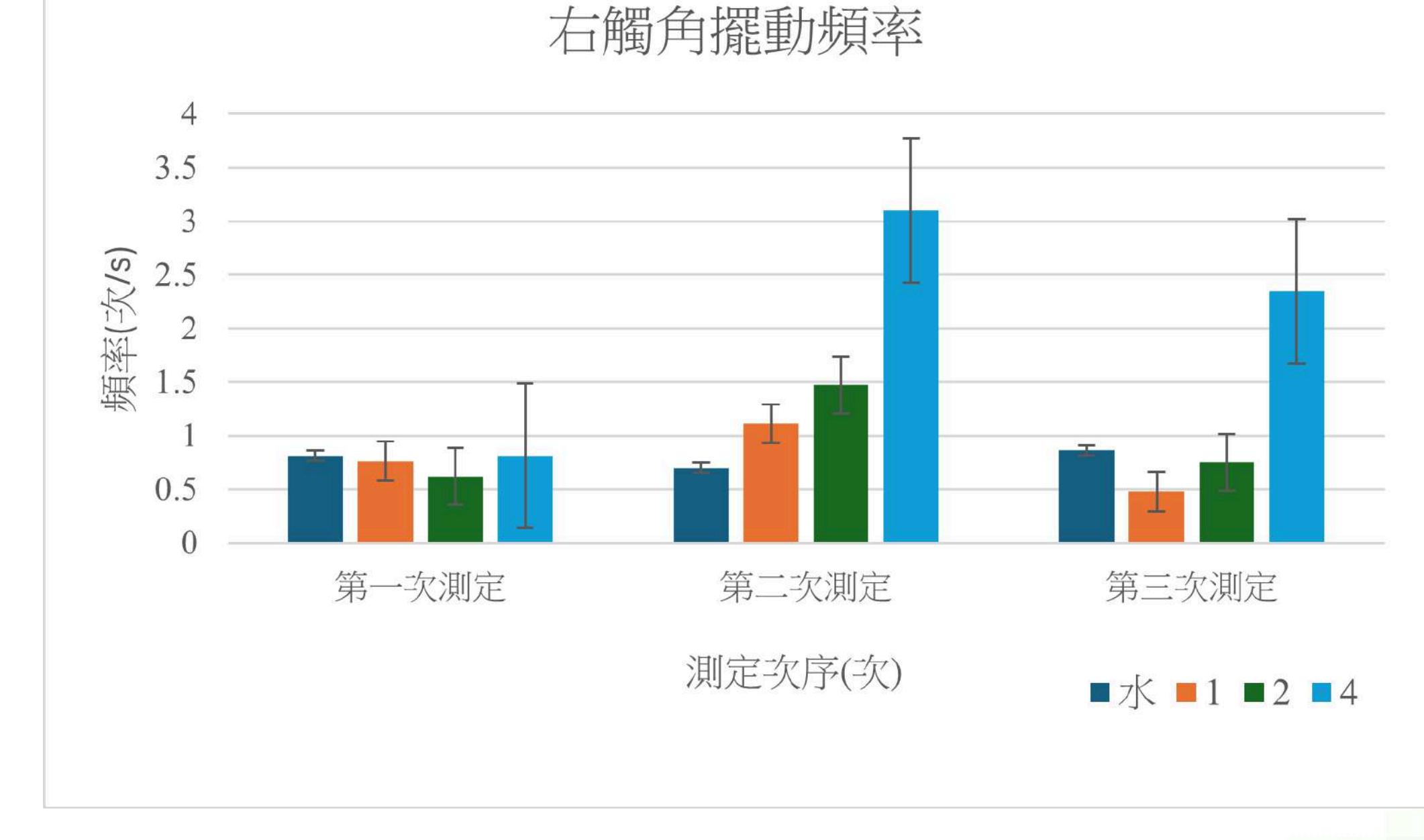
濃度1組與水之間存在統計任一組顯著差異，證實檳榔萃取物對杜比亞蟑螂的活動力有明顯影響。

<表三>誘食性(體重/攝食率)

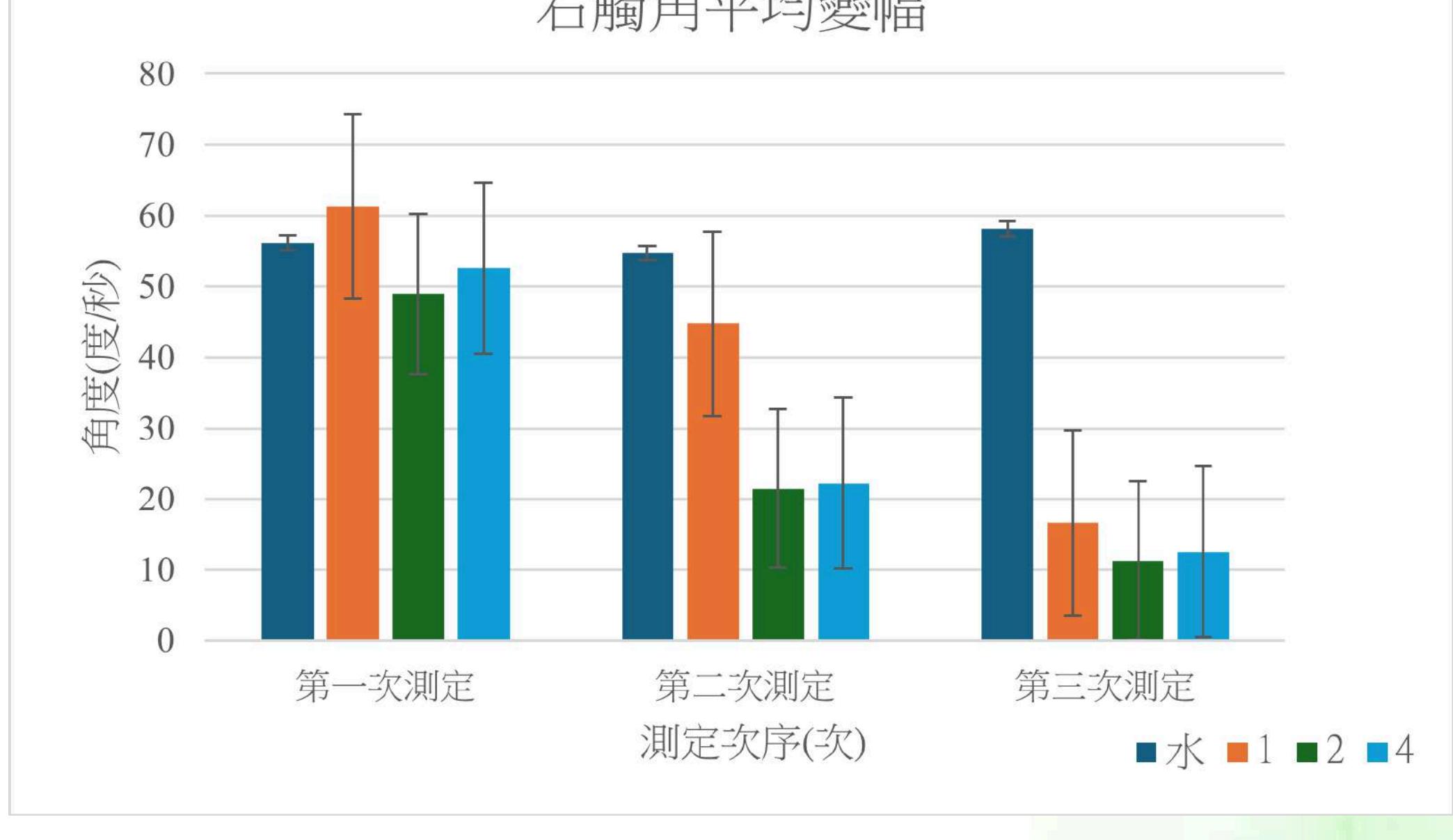
組別	平均體重(g)	攝食率(g/隻)	攝食率(倍)	誘食性(體重/攝食率)次序
水	0.85 ^{ab}	0.0467 ^{ab}	18.2 ^{ab}	4 ^{ab}
濃度 1 ^b	0.78 ^{ab}	0.0797 ^a	9.79 ^a	2 ^a
濃度 2 ^a	0.76 ^{ab}	0.0827 ^a	9.19 ^a	1 ^a
濃度 4 ^a	0.89 ^{ab}	0.0907 ^a	9.81 ^a	3 ^a

濃度1、2、4的餅乾攝食比例遠高於僅含水的餅乾，含有檳榔汁液的餅乾較能吸引蟑螂攝食，其中以濃度2最為明顯。

水無顯著改變，濃度1於第二次測定頻率上升，第三次測定掉回，推測是因濃度不足造成的短期刺激。濃度2與濃度1反應相似，但上升幅度較大，濃度4於第二次測定頻率顯著上升，上升幅度為四組最大，於第三次測定略為下降。



水無顯著改變，濃度1、2、4則皆有變小的趨勢。三次測定內，濃度1數值下降幅度較濃度2、4穩定，濃度2於第三次測定改變最為顯著，濃度4則於第二次測定時下降最顯著。



柒、結論

一、餵食純檳榔汁液會造成蟑螂的行動能力下降，而非水溶性檳榔萃取物造成的影響會較水溶性檳榔萃取物對蟑螂的影響較明顯。

二、檳榔成分在一定量的情況下可被蟑螂代謝。

三、將檳榔萃取物做成餅乾較做成果凍易被蟑螂取食，此發現可做為未來持續探討本議題時，方法論上的優化基礎。

四、高劑量檳榔的神經興奮作用只有極短效期，而後造成長時間的抑制與遲緩，明顯抑制杜比亞蟑螂的活動力。

五、檳榔成分可顯著抑制蟑螂活動力。

六、加入檳榔汁液的餅乾顯著提升杜比亞蟑螂的攝食意願，符合誘食性化學物質促進進食的毒理機制 (Isman, 2020)。

七、攝入含檳榔汁液的餅乾可致使杜比亞蟑螂觸角擺動頻率升高、變幅縮小，耗氧速率上升。

捌、未來發展

一、進一步萃取檳榔的成分並分離進行測試，目前推測此物質含量少，且會被濾紙吸附，若能確認是何種成分能影響蟑螂的行動力，就可以應用於殺蟲劑的改良。

二、嘗試用改以均方根分析，參考路徑長等其他數據，以不同面向分析和對比結論之異同。

三、檳榔生物鹼屬神經毒性物質，其機制類似於擬除蟲菊酯等現代殺蟲劑，反映出高劑量生物鹼對動物神經行為之潛在風險。

未來臺灣及檳榔盛行國家可考慮以科學數據為基礎，推動將「吃檳榔」納入與「酒駕」同等之交通安全管理，結合行為風險宣導與法律規範，進一步提升公共安全。此外，相關單位亦應投資於檳榔檢測技術與行為風險評估，建立科學化、實證化的交通安全政策。

玖、參考資料

一、丁曉彬，董晨鐘(2012)Tracker軟體使用教學

二、郭寶好時光(2016)寒天果凍比例

三、國際癌症研究中心(1987)檳榔對健康的影響

四、衛生福利部(2017)罹患口腔癌主因

五、Dunlap 與 Koo (2007) 環境溫度對蟑螂代謝速率的影響

六、Roth, L. M. 與 Willis, E. R. (1952) 蟑螂行為研究

七、Roberts, S. K. (1960)蟑螂的晝夜活動

八、C. David Rollo (1984)美洲蟑螂的行為與代謝相互作用

九、Bradshaw 與 Andrews(2000)不同種類的蟑螂在不同環境條件下的代謝率

十、JR Coelho 與 AJ Moore (1989)蟑螂靜止代謝率

十一、Hurd 與 Wicker(1999)不同品種蟑螂的體型與代謝的關係

十二、Lightfoot(1997)蟑螂的代謝過程及速率

十三、黃基森與何曼遠與薛碧秦(2002)常用殺蟲劑對環境流佈及潛在危害

十四、環境部化學物質管理署(2011)殺蟲劑應用原理及對人體的危害危害

十五、William J. Bell與Louis M. Roth 與 Christine A. Nalepa(2007)蟑螂生態、行為與自然史

十六、維基百科