

計畫編號：110 保發-8.1-保-01-06-001(12)

**建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維
(II)**

**An alternative new approach to
constructing eco-friendly sidewalls for
small animals (II)
(成果報告書)**

執行單位：國立嘉義大學

執行期間：110 年 01 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人：王柏青 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 110 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維 (II)

摘要

台灣水利工程與道路工程，多以垂直式混凝土設計，點狀或線性的蓄水池、排水溝、野溪治理工程，易造成小型動物受困或移動上的障礙。本實驗以台灣南海溪蟹(n=6)、黃灰澤蟹(n=6)探討不同角度對蟹類垂直攀爬的影響。以王錦蛇幼蛇(n=11)探討不同紋路樣式對蛇類垂直攀爬的影響。實驗分為兩大部分，垂直攀爬實驗和運動行為實驗。黃灰澤蟹 50 公分垂直攀爬平均完成時間為 97(±59.7)秒，台灣南海溪蟹則為 325(±199.4)秒，約為黃灰澤蟹的 3.3 倍。王錦蛇在 60 公分四種不同紋路的垂直攀爬平均完成時間為 26.2(±10.9)秒、30.9(±19.1)秒、21.5(±9.3)秒、26.2(±8.2)秒。最快者為倒卵型紋路，與最慢紋路相差 1.4 倍。基盤實驗中三種角度之平均完成距離和速度比例為 2.8:1.5:1，最高者為 60 度(216.1 公分，0.36 公分/秒)。轉折數比例為 3.6:1.3:1，最高者為 60 度(62 次)。軌跡在 60 度較其餘兩種角度來得曲折(值為 0.32)。總體而言角度對於台灣南海溪蟹的移動影響比黃灰澤蟹高。三種角度中，60 度在完成距離、速度、轉折數上都明顯高於其他兩者。

關鍵詞：甲殼類、蛇類、動物脫困、壁面紋路、生態設計

Abstract

Water conservancy and road constructions in Taiwan are mostly designed in vertical concrete. These point-shaped or linear reservoirs, drainage ditches, and river constructions may cause small animals trapped or blocked. In this study, small animals were selected as the experiment species which include *Nanhaipotamon formosanum*(n=6), *Geothelphusa albogilva*(n=6), and *Elaphe carinata*(n=11). The average completion time on 50 cm vertical climbing of *G.albogilva* is 97 (± 59.7) seconds, while *N.formosanum* is 325 (± 199.4) seconds, which is about 3.3 times of *G.albogilva*. The average completion time of *E.carinata*'s vertical climbing in four different patterns is 26.2 (± 10.9) seconds, 30.9 (± 19.1) seconds, 21.5 (± 9.3) seconds, and 26.2 (± 8.2) seconds. The fastest is the invert oval pattern, which is 1.4 times different from the slowest pattern. In behavior analysis, the average completion distance and speed ratio of the three angles is 2.8:1.5:1, and the highest is 60 degrees (216.1 cm, 0.36 cm/sec). The ratio of the number of turns is 3.6:1.3:1, and the highest is 60 degrees (62 times). The trajectory is more tortuous at 60 degrees than the other two angles (the value is 0.32). In general, the angle has a higher impact on the movement of *N.formosanum* than the *G.albogilva*. Among the three angles, 60 degrees is significantly higher than the other two in terms of completion distance, speed, and number of turns.

Keywords: crustacean, snake, animal rescue, wall textures , ecological design

目次

第一章	緒論	1-1
第一節	計畫緣起	1-1
一、	實驗環境	1-1
二、	實驗設計	1-2
三、	實驗成果	1-2
第二節	計畫目標	1-5
一、	計畫目標	1-5
第二章	工作執行方法與步驟	2-1
第一節	工作執行方法	2-1
第二節	工作執行步驟	2-2
一、	實驗物種選擇	2-2
二、	取樣方法	2-8
三、	形質測量	2-8
四、	飼養環境	2-8
第三節	實驗設計	2-9
一、	實驗地點	2-9
二、	實驗材料	2-10

三、 實驗流程	2-12
四、 紋路設計	2-14
五、 運動軌跡分析	2-15
六、 垂直攀爬分析	2-16
第三章 結果及討論	3-1
第一節 實驗樣本	3-1
一、 蟹類.....	3-1
二、 蛇類.....	3-2
第二節 垂直攀爬實驗	3-3
一、 蟹類.....	3-3
二、 蛇類.....	3-6
第三節 運動行為實驗	3-16
一、 不同角度的移動距離和速度	3-16
二、 不同角度的移動軌跡	3-20
第四節 討論	3-33
一、 蟹類.....	3-33
二、 蛇類.....	3-34
第四章 工作進度與交付項目	4-1
第一節 計畫甘特圖	4-1

第二節	計畫交付項目	4-2
第三節	計畫參與人員	4-2
參考文獻.....		參-1
附錄.....		附-1
附錄一	實驗物種飼養狀況	附-1
附錄二	黃灰澤蟹水平爬行軌跡圖	附-2
附錄三	基盤實驗象限角度變化圖（台灣南海溪蟹）	附-8
附錄四	基盤實驗象限角度變化圖（黃灰澤蟹）	附-11
附錄五	提案審查會議記錄回覆辦理情形	附-14
附錄六	期初審查會議記錄回覆辦理情形	附-16
附錄七	期中審查會議記錄回覆辦理情形	附-22
附錄八	期末審查會議記錄回覆辦理情形	附-25

表次

表 2-1 軌跡分析項目	2-15
表 2-2 量測項目	2-16
表 3-1 台灣南海溪蟹生理形質	3-1
表 3-2 黃灰澤蟹生理形質	3-1
表 3-3 王錦蛇生理形質	3-2
表 3-4 蟹類垂直攀爬完成時間	3-3
表 3-5 蛇類垂直攀爬完成時間	3-6
表 3-6 南海溪蟹基盤攀爬距離	3-16
表 3-7 黃灰澤蟹基盤攀爬距離	3-17
表 3-8 台灣南海溪蟹基盤攀爬速度	3-17
表 3-9 黃灰澤蟹基盤攀爬速度	3-18
表 3-10 台灣南海溪蟹軌跡轉折記錄	3-20
表 3-11 黃灰澤蟹軌跡轉折記錄	3-21
表 3-12 台灣南海溪蟹直線指數記錄	3-25
表 3-13 黃灰澤蟹直線指數記錄	3-25
表 4-1 計畫甘特圖	4-1
表 4-2 計畫交付項目表	4-2

圖次

圖 2-1 計畫流程圖	2-1
圖 2-2 台灣南海溪蟹特徵結構圖	2-4
圖 2-3 黃灰澤蟹特徵結構圖	2-6
圖 2-4 王錦蛇幼體特徵圖	2-7
圖 2-5 實驗地點位置圖	2-10
圖 2-6 實驗巢箱圖	2-11
圖 2-7 運動行為實驗基盤	2-11
圖 2-8 輔具製作流程(取自 109 年度成果報告書)	2-12
圖 2-9 運動行為實驗示意圖	2-13
圖 2-10 蟹類攀爬紋路圖	2-14
圖 2-11 蛇類攀爬紋路圖(局部)	2-15
圖 3-1 黃灰澤蟹垂直攀爬軌跡圖(每秒 1 點位)	3-4
圖 3-2 台灣南海溪蟹垂直攀爬軌跡圖(每秒 1 點位)	3-5
圖 3-3 垂直攀爬完成時間(蟹類)	3-6
圖 3-4 各組紋路攀爬完成時間(蛇類)	3-7
圖 3-5 紋路 A 王錦蛇攀爬軌跡圖	3-9
圖 3-6 紋路 B 王錦蛇攀爬軌跡圖	3-11
圖 3-7 紋路 C 王錦蛇攀爬軌跡圖	3-13

圖 3-8 紋路 D 王錦蛇攀爬軌跡圖	3-15
圖 3-9 蟹類各組攀爬速度比較圖	3-19
圖 3-10 基盤攀爬實驗溫濕度紀錄圖	3-19
圖 3-11 物種-角度轉折數占比圖	3-22
圖 3-12 台灣南海溪蟹轉折時間占比圖	3-23
圖 3-13 黃灰澤蟹轉折時間占比圖	3-24
圖 3-14 台灣南海溪蟹 90 度攀爬軌跡圖	3-27
圖 3-15 台灣南海溪蟹 78.7 度攀爬軌跡圖	3-28
圖 3-16 台灣南海溪蟹 78.7 度攀爬軌跡圖	3-29
圖 3-17 黃灰澤蟹 90 度攀爬軌跡圖	3-30
圖 3-18 黃灰澤蟹 78.7 度攀爬軌跡圖	3-31
圖 3-19 黃灰澤蟹 60 度攀爬軌跡圖	3-32

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

根據鄭偉群等人（2018）的野外觀察紀錄，受困於人工結構物的陸域動物物種總計 36 種，受困的動物含括小體型的蛙類、蜥蜴，至中小體型的鳥類與哺乳類。台灣的河川堤防、道路邊坡、溪溝整治因經濟效益與風險考量，多以混凝土設計。造成野生動物移動的障礙，並減少族群遷移與基因交流的可能。中小型動物如哺乳類、兩棲類、甲殼類與部分爬蟲類，因棲地周遭環境，加上其活動及體型限制，經常被困死在懸涯峭壁般的混凝土設施中。

本計畫的目標是建構小型動物的邊坡設計與施工原則。藉由動物的運動行為能力以及對建設環境的反應，探討動物在不同紋路的垂直壁面上之運動行為。國內大多地區為減少工程佔地面積，許多溪流或溝渠工程護岸與水平面之夾角大於 60° ，讓多數中小型野生動物難以從底部攀爬逃脫，形成動物受困及水陸域橫向阻隔等問題，而當前解決方式唯有採用臨時脫困設施協助動物，故本計畫旨在思考如何將工程之占地減至最小的同時，讓動物也可自行逃脫這些生態陷阱。

第一年度之計畫執行過程具有諸多不足之處將於本年度計畫進行檢討與改進，面臨問題如下：

一、實驗環境

前期因設備與經驗之不足，造成無法妥善管理每隻實驗個體，第一年度後期追加設備以後逐漸掌握管理技巧。本年度計畫將加強控制飼養環境濕度及溫度，盡量效仿原生棲地之溫濕度變化，提高飼養環境素質。

二、實驗設計

實驗動物的運動行為觀察方式與後續的輔具設計尚未建立高關聯性，本年度計畫將調整第一年度記錄有最高成功率、最短完成時間、多元使用物種的壁面紋路，並對目標物種之運動行為進行分析後，增強輔具或紋路的設計合理性與可行性。實驗過程中，物種的爬行意願與方向在第一年度並無法做到完全的控制，行為較難預測而產生多項變數，本年度將進一步加強動物行為方面的實驗方法與研究。

三、實驗成果

成果呈現方式因實驗方式變動影響後續分析的準確度，計畫將提升生物實驗與分析方法，期望能有更準確的統計成果呈現。

在過度開發的台灣社會中，有許多水土保持或農田灌溉(如垂直邊壁)等工法造成棲息於此的小型動物之生存危機，擋土牆、排水溝、沉砂池等邊壁，甚至過高的路緣石也會困住小型動物，在使棲地破碎化的大問題下又提升個體受傷或死亡的機率，造成的不只是族群結構的劣化，進而影響整個生態系統之健全。本計畫欲解決之問題如下：

提升人工結構物之親和性,利於受困於溝內動物攀爬逃脫。解決場域無足夠腹地施作的問題,採坡度較陡之友善動物通道。提供大面積的逃生空間,避免傳統單點式的設置,藉以增加受困物種之逃生機會,及降低其被捕食之風險。降低道路溝渠內設置附加生態攀爬斜坡的施工複雜度與施工成本。

由動物運動的角度去切入工程設計,改善基礎設施條件,能使建設工程對於動物生存的壓迫降低,也降低對生態系統的破壞。本研究希望從實務之角度,提供一種便捷替選工法協助小型動物攀爬,並減少對流水斷面(flow section)之影響,從實務角度,建構友善、簡易、快速佈建之輔具,協助動物自人工邊壁中脫困。水泥材質的工程結構物都有著幾乎垂直的牆面及表面較平滑的壁面,對於小型動物來說高度落差過大,高聳的垂直斷面使小型動物攀爬困難,而囊狀的排水設施宛如掉落式陷阱,受困的野生動物因摔落受傷,加上缺乏食物、水源,曝曬虛脫致死或是因結構物積水而溺死。此外,人工結構物多位於道路旁或外圍,野生動物因無法快速脫困,導致力竭或延遲反應,最終與路殺(roadkill)效應產生協同作用。目前相關之研究報告或生態工法多建議降地坡度、提供斜坡爬梯等對策,然而私有地的徵收的困難,使大面積的水利工程設計方式窒礙難行。於是輔具的角度將以近垂直的方式擺置減少額外空間使用。由生態學的角度來看,許多研究指出道

路網路建設持續地侵犯了生態環境,使得棲地持續的破碎、縮小、獨立互不相聯的現象(Collinge, 1996) , 生態系統功能與穩定趨於簡化(李俊生、張曉嵐、吳曉莆、全占軍、范俊韜, 2019) , 壓縮動物生存空間也造成生物移動的阻隔進而降低生態多樣性,局限生物的活動空間,側溝也成為了生物易受困的結構,阻礙生物移動、遷移、和基因流動的障礙 (Holderegger & Manuela Di Giulio, 2010)。物理性的之阻隔對小型野生動物而言,更容易因棲地被切割而形成副族群(subpopulation)而影響物種基因之交流(Langen, Gunson, Jackson, Smith & Ruediger, 2015)。環境意識抬頭的現今,許多動物生態相關的資訊被融合進了工程的研究與設計,發展出不同的生態工法,運用於道路開闢與建設的相關設計中。

第一年度前期因設備與經驗之不足,造成無法妥善管理每隻實驗個體,本年度計畫將加強控制飼養環境濕度及溫度,提高飼養環境素質。第一年度之實驗動物的運動行為觀察方式與後續的輔具設計尚未建立高關聯性,本年度計畫將調整第一年度的壁面紋路,增強輔具或紋路的設計合理性與可行性。第一年度實驗過程發現物種的爬行意願與方向並無法做到完全的控制,本年度將進一步加強動物行為方面的實驗方法與研究。第一年度成果呈現方式因實驗方式變動影響後續分析的準確度,本年度計畫將提升生物實驗與分析方法,期望能有更準

確的統計成果呈現。

第二節 計畫目標

一、計畫目標

目前動物廊道多針對中、大型動物的水平移動，較少針對小型動物的垂直移動需求方面提出見解，由動物行為基礎發展移動輔具的研究更是罕見。此類研究涵蓋了許多面向與專業領域，其範疇包含：

(1)兩棲類、爬蟲類、甲殼類、哺乳類等動物的行為觀察分析；

(2)針對不同實驗環節、實驗場域的實驗設計方法；

(3)還有壁面紋路的角度、材質、坡度、大小等輔具設計變項。

而本年度計畫將延續第一年度利用數位建模與 3D 打印技術製作壁面紋路樣式，並對甲殼類與爬蟲類進行運動行為實驗以及攀爬紋路實驗。此外，將針對檢討問題提出兩項策略：

(一)深化運動行為分析

由第一年度實驗過程觀察所得，每隻動物個體之間的移動意願與方向具有一定程度的差異性。故本年度計畫除了將進行物種在單向移動下的基本運動行為分析外，還預計深入探討動物在一表面上是否具有特定的移動方向或趨勢，藉由動物行為反應的結果取得更高關聯性的設計依據。

(二)改良攀爬輔具設計

除根據運動行為以及水利處認定其紋理斷面不影響水道排放之規範，本年度計畫將提取第一年度計畫結果優良、最具潛力之壁面紋路，考量縫距、縫寬、刻痕、工具等因素，進一步將紋路樣式設計細緻化，以求取最終的通用樣式。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

工作執行共三大階段，分別是籌備、執行與成果階段（圖 2-1）。籌備階段由確立計畫目標至擬定實驗設計。執行階段為材料製作與實驗進行。實驗又分為兩個部分，一為運動行為實驗、二為垂直攀爬實驗。成果階段將針對完成時間與移動軌跡進行分析。

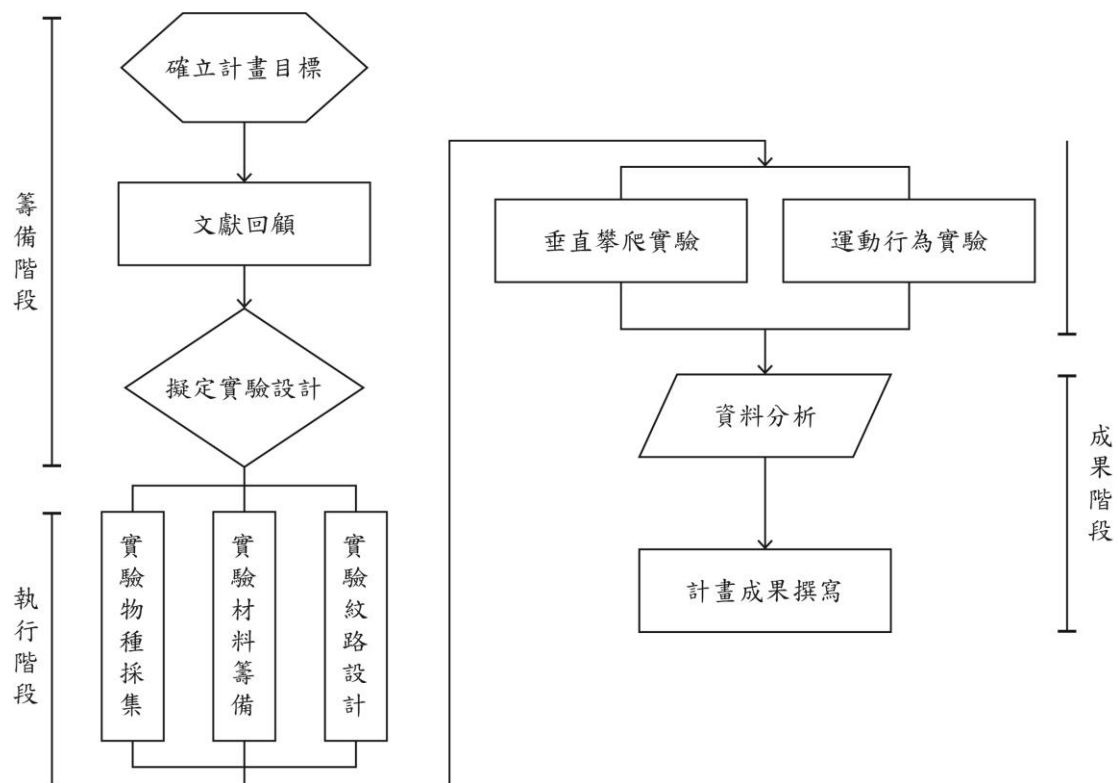


圖 2-1 計畫流程圖

第二節 工作執行步驟

一、實驗物種選擇

本年度計畫甲殼類的選種上，繼第一年度溪蟹科(Potamoidea)南海溪蟹屬(Nanhaipotamon)外，增加澤蟹科(Gecarcinucidae)澤蟹屬(Geothulpusa)之物種。爬蟲類的選種上，繼第一年度之黃領蛇科(Colubridae)錦蛇屬(Elaphe)。選種原因如下：

根據 2012-2017 年之野外調查資料（鄭偉群，2018），受困於人工結構物的陸域脊椎動物亞門，涵括從兩棲類、爬蟲類、哺乳類至鳥類幼體等主要族群，其中以中小型生物為多數，非脊椎動物門則有甲殼類。而部份兩棲爬行動物，如蜥蜴、樹蛙等因其具有於垂直粗糙面的移動能力，相關受困案例則較少，另結構物中經常形成積水環境，大幅增加偏好高濕度環境之物種受困可能性，如部分之蛇類與蛙類，因此本計畫目標物種將針對以上較易受困之中小型動物進行研究。

台灣的淡水蟹物種多樣性非常豐富，但每個物種的分布範圍都很狹窄，族群數特別容易受到人為干擾而大幅下降。螃蟹以頭胸甲為重心，使用四對步足進行移動，螯足為了防禦、進攻與掘洞，不參與運動。爬行時一側步足彎曲，用足尖抓住地面，另一側步足向外伸展，當足尖夠到遠處地面時便開始收縮，而原先彎曲的一側步足伸直，把身體往前推。螃蟹的運動行為涉及步足和粗糙表面的接觸，依賴抓地力進而移動身體，混凝土化的工程表面缺乏多孔隙的結構，使螃蟹移動時，指尖沒有施力點來支持身體移動，難以攀爬陡峭的邊壁，落入溝底便難以脫困。

蛇類爬行時，身體於地面上進行水平的波狀彎曲運動，使彎曲處の後邊施力於粗糙的地面上，由地面的反作用力推動蛇體前進，由於

蛇沒有胸骨，肋骨可以前後自由移動，肋骨與腹鱗之間有肌肉相連。肌肉收縮時便協助肋骨向前移動，這就帶動後側的腹鱗逐漸豎立，如同踩著地面，接著肌肉放鬆之後，腹鱗後緣施力於粗糙的地面，靠反作用把身體往前推，使蛇的身體向前爬行。現今的排水工程表面光滑缺乏顆粒，不同於在不規則的岩壁或樹梢移動時，蛇類可以利用骨骼、肌肉與外皮共同協調，以支援前半段的身軀，以懸空方式跨越兩端（林郁君、黃基礎、杜銘章，1999）。

（一）台灣南海溪蟹(*Nanhaipotamon formosanum*)

台灣南海溪蟹屬於溪蟹科南海溪蟹屬。臺灣南海溪蟹在國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄（IUCN Red List）中被列為易危（VU）保育類動物。台灣南海溪蟹是台灣特有的中型淡水陸蟹，早期是容易見到的螃蟹之一，近年道路相關建設造成了農村景觀破碎化，棲地面積下降使得族群數量大幅減少，台灣南海溪蟹棲息在山溝及田埂的泥質洞穴中，大多挖掘在隱密的草叢或樹根地下約 50 公分深處，以及山中水流兩岸泥洞中。繁殖季為春季至夏季。目前分布在彰化以南地區，嘉義地區嘉義市植物園、蘭潭後山步道、嘉大蘭潭校區及觸口自然教育中心皆有發現族群。頭胸甲寬約為 3.5 公分(圖 2-2)，體長狹小的淡水蟹棲地因灌溉渠道改為混凝土渠道導致族群數受影響，受困於排水設施、混凝土結構之間。

台灣南海溪蟹頭胸甲光滑，體色橘黃或磚紅，足部多呈黃色或紫色。眼窩緣明顯隆起，頰區有疣粒。具十足，前兩足為螯，成年個體具有一隻特化大螯。後八足為移動步足，前後兩對較短，中間兩對較長。



圖 2-2 台灣南海溪蟹特徵結構圖。(a) 台灣南海溪蟹有雙螯八足，其中一支螯為特化螯，都有可動指與不可動指，而每足有七節，由內到外分別為底節、基節、座節、長節、前節、腕節和指節；(b) 頭胸甲較圓滑，與澤蟹屬相似；(c) 頰區有疣粒。(修改自 109 年度成果報告書)

(二)黃灰澤蟹(*Geothelphusa albogilva*)

黃灰澤蟹是台灣特有之澤蟹。背甲呈黃白至黃灰色，且光滑並隆起。螯與步足比背甲顏色稍淺，螯指淺白色（施志昀、李伯雯，2009）。前額緣平直，眼眶上、下緣平滑。眼窩緣稜線明顯隆起，平滑不具顆粒。雄蟹的雙螯明顯大小不對稱，合併時有很大的縫隙。黃灰澤蟹屬於陸封型淡水蟹，繁殖期無須降海釋幼，幼體由卵孵化後經過一段雌蟹抱幼期並於近水源處釋放。目前黃灰澤蟹族群數因棲地破壞、人為獵捕、氣候變遷等因素而急遽減少，研究預期成果可提供人為建設上的改善建議。

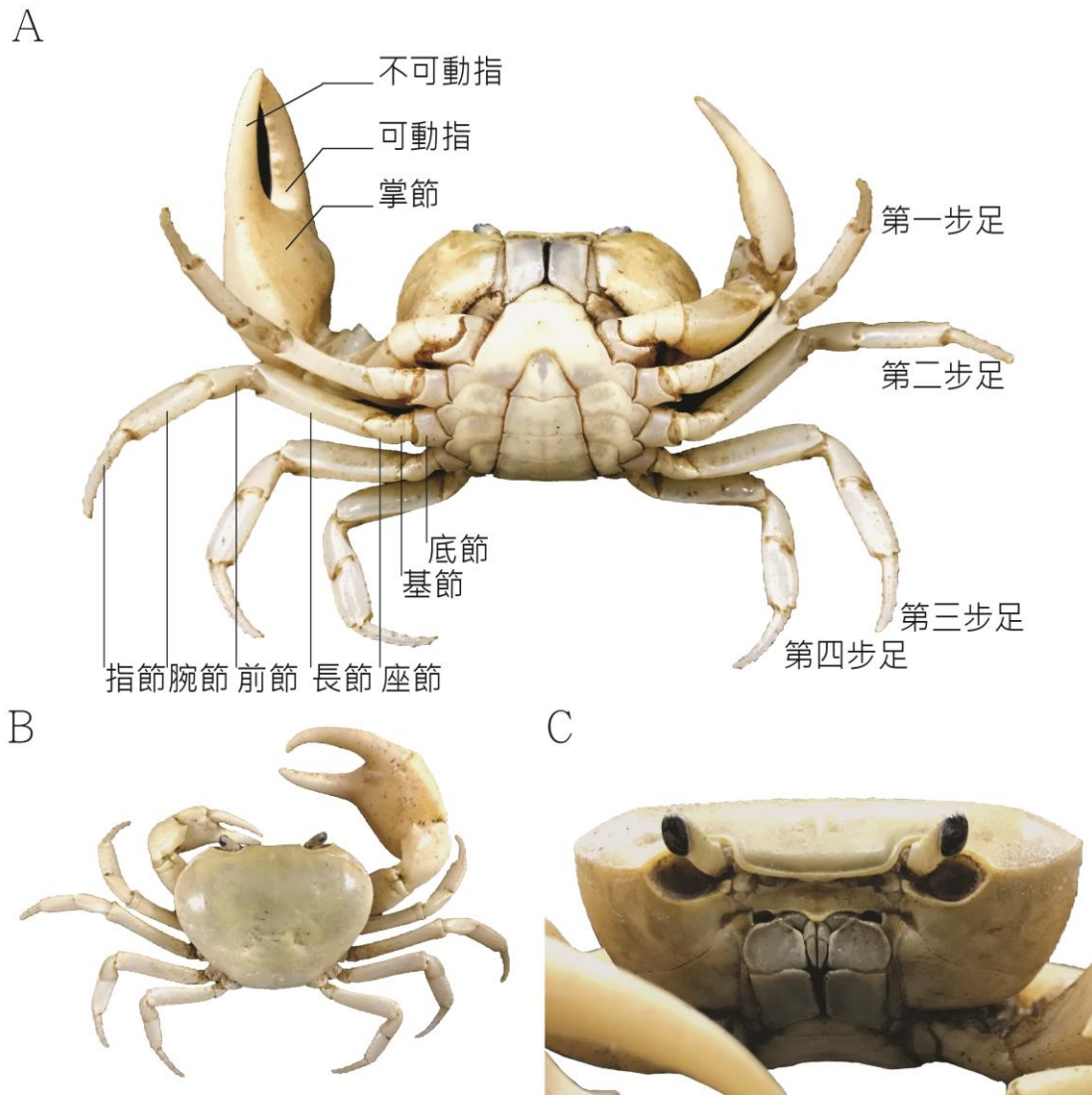


圖 2-3 黃灰澤蟹特徵結構圖。(a) 黃灰澤蟹有雙螯八足，螯部可分為可動指與不可動指。每足有七節，由內到外分別為底節、基節、座節、長節、前節、腕節和指節；(b) 頭胸甲較圓滑，體色偏鵝黃色；(c) 眼窩緣有明顯稜線。

(三) 王錦蛇 (*Elaphe Carinata*)

王錦蛇別名稜鱗錦蛇，因遇威脅時肛門腺會分泌強烈臭味，也俗稱王錦蛇、臭青母，是台灣常見的大型蛇類，蛇亞目黃領蛇科錦蛇屬下的一種無毒蛇類，最大體長約達 265 公分，成蛇體色

深棕色或橄欖綠，頭頸部之鱗片大且邊緣呈黑色，最大特徵為吻上至眼睛前緣經常呈現黑色「王」字紋，全身鱗片具明顯稜脊，而幼蛇全身呈淺棕色或灰綠色，帶有黑棕色之小斑點（呂光洋、陳世煌、陳賜隆，1989）。

分布於台灣本島、馬祖及蘭嶼 2000 公尺以下之中低海拔地區，主要棲息地為闊葉林、混生林、草地等，也會出現在人為環境之墾地、溝渠、建築物。喜歡在潮濕環境活動，曾是水田或農田的常見物種，經常被獵捕，供應蛇店做為食用，日間及夜晚皆會活動。以鼠類、鳥、蛙為主食，亦有捕食蟲類、蜥蜴及其他蛇類之記錄，食物缺乏時，甚至以同類為食。於夏季產卵，每窩可產卵 8 到 14 枚，孵化期約 1 個月，會有護卵的行為。

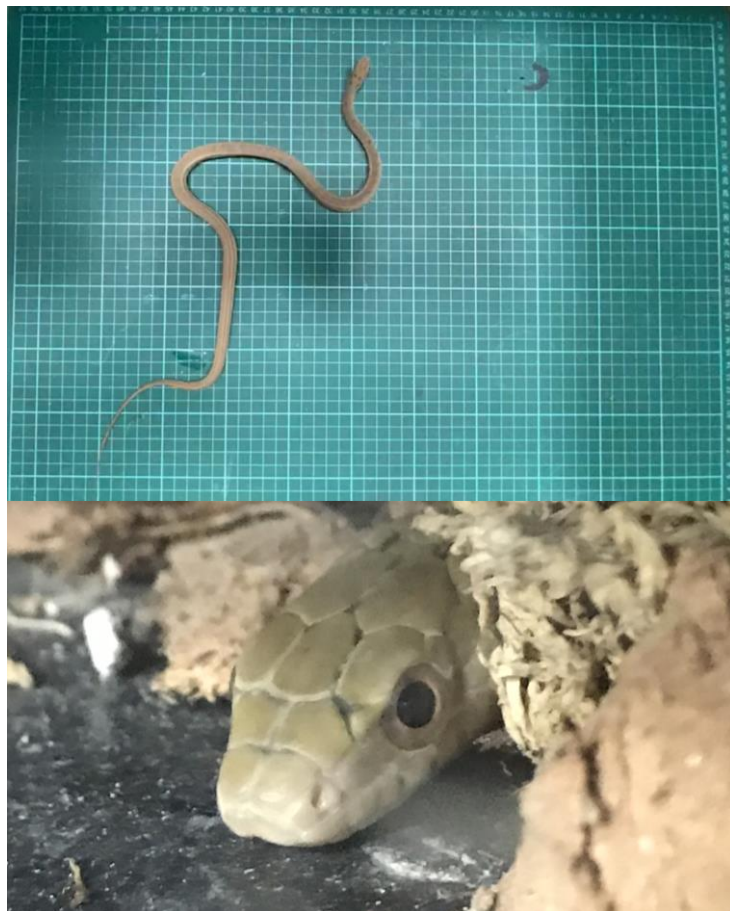


圖 2-4 王錦蛇幼體特徵圖

二、取樣方法

取樣分為兩部分進行，專業人士委託與自行補抓，委託之樣本部分來自台中、嘉義及雲林縣市民眾蛇類通報案件，另根據路死網提供有關嘉義縣市爬蟲類路殺之資訊，鹿寮里蘭潭地區、梅山鄉山區、番路鄉山區阿里山鄉地區路殺紀錄密度最高，定期自行前往上述地區之海拔 1000 m 以下採集。自行採集之部分為徒手與自制套具捕抓。採集地點位於嘉義大學蘭潭校區與恆春半島地區之近水源處。本研究均以活體進行，並將於實驗結束後返回野地釋放。

三、形質測量

蟹類樣本的基本條件量測記錄包括性別、體重、雄胸甲寬及最長指節的長度。以電子式計重秤量計體重，單位為公克，再以液晶游標卡尺進行指節、胸甲寬量測，單位為毫米。

蛇類樣本的基本條件量測包括體重與體長，由於幼體的性別需要較大的刺激才能辨識且差異性不大，故於本次實驗中剔除。由於以電子式計重秤量計體重，單位為公克。體長的部分先將蛇體放置於 A3 尺寸切割墊進行攝影記錄，再匯入電腦以軟體進行後製測量。

四、飼養環境

蛇類部分，馴養及實驗期間溫度控制在攝氏 28-30°C，每 1~2 條蛇飼養在 27 (長)*18 (寬)*16 (高) cm 之黑色爬蟲飼養箱中，箱內放置天然底材、一段乾枯樹枝、可供躲藏之遮蔽物及水盆以供水域棲息與飲用。此外馴養及實驗期間依其食性餵食，每隔 7 天餵食一次(蔡，2007)，餵食後三日蛇類消化完畢，進行清潔與換水工作，並根據林家蔚（2010）大多數個體於馴養一個月後開始進行實驗。

淡水蟹則將樣本各別飼養於 L16.5*W16.5*H25cm 之獨立飼養箱

(附錄一)，以避免個體間發生互鬥行為。飼養期間 3~5 天投餵麵包蟲、大麥蟲，並定期更換水源。每隻個體均餵養 3 日以上方才進行實驗。

第三節 實驗設計

一、實驗地點

北回歸線穿越嘉義形成亞熱帶、溫帶至寒帶等不同之氣候型態，氣溫與林相有顯著的垂直變化造成林相分層且植物種類豐富，形成多樣的動物棲息地，不同的棲地環境且交錯分布，許多動物生存空間與人類活動空間相當緊密，對於生態友善的工程技術，對於嘉義生態環境有著更加重要的需求。蘭潭風區景物資源豐富，兩棲類以拉都希氏赤蛙、貢德氏赤蛙、澤蛙、面天樹蛙、史丹吉氏小雨蛙、黑眶蟾蜍最為豐富。爬蟲類的調查以南蛇、紅斑蛇、斯文豪氏攀蜥、雨傘節、麗紋石龍子、斑龜、青蛇較易被發現(王柏青、尤仕丞、莊淑瓊，2016)。於 2011 之現地調查中，共發現兩棲類 12 種、爬蟲類 18 種(蕭文鳳，2011)。風景區因遊憩、交通機能進行多處土木工程，其中又以嘉義大學密度最高，校園內佈滿多處高聳擋土牆、排水溝，不利蛇、陸蟹爬行，常見個體受困，區域內亦常發現一些陸蟹，而實驗地點內有南海溪蟹之族群掘洞築巢，周邊亦有蛇類個體，可就地力之便，現場採取實驗材料進行實驗。實驗地點為嘉義市蘭潭風景區旁之嘉義大學景觀系一樓。



圖 2-5 實驗地點位置圖

二、實驗材料

(一)飼養箱

每隻個體各別飼養於長 16.5 公分，寬 16.5 公分及高 25 公分之透明飼養箱。並將六個飼養箱置於長 67 公分，寬 48 公分，高 32 公分之塑料桶內，並覆蓋塑膠瓦楞板。

(二)實驗巢箱

材料為木芯板。尺寸為內寬 20 公分，長 30 公分，高 120 公分。左右兩側與底部封閉，100 公分處有 5 乘於 10 公分之開口。

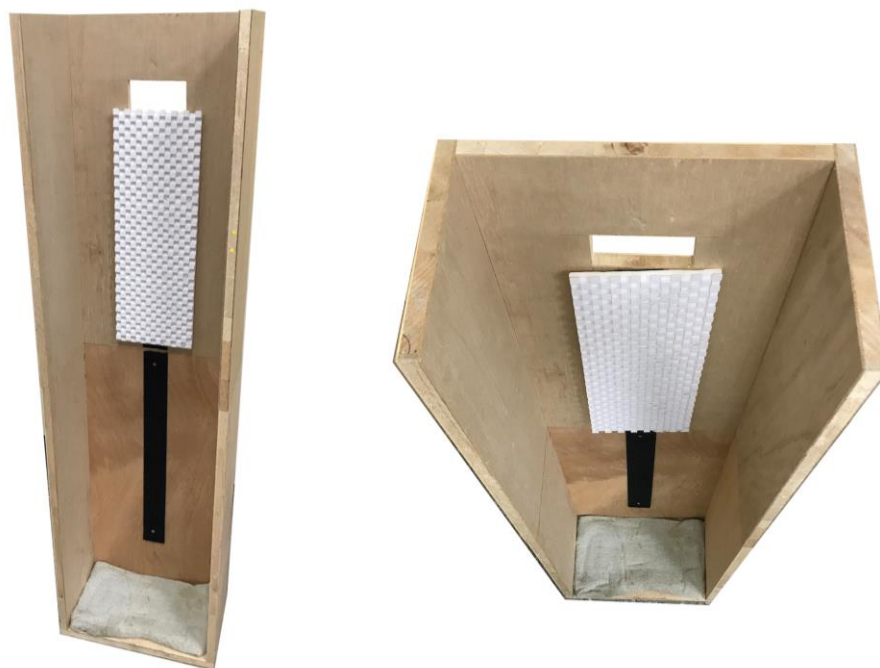


圖 2-6 實驗巢箱圖

(三)實驗基盤

材料為塑膠瓦楞板，長寬同為 100 公分，四面圍牆高 12.5 公分。
背部連接萬向接頭，並以腳架支撐。



圖 2-7 運動行為實驗基盤

(四)實驗紋路

紋路模板以 3D 列印聚乳酸(Polylactide, PLA)線材作為實驗材料。首先以建築常用之電腦 3D 建模軟體 Sketchup 建出模型，接著導入切片軟體 Ultimaker Cura4.8.0 匯出 gcode 檔，將記憶卡植入 3D 列印機 Creality Ender 5-plus 啟動列印，最後利用魔鬼氈貼上訂製好的爬箱。單片紋路尺寸為 25 公分寬，25 公分長。

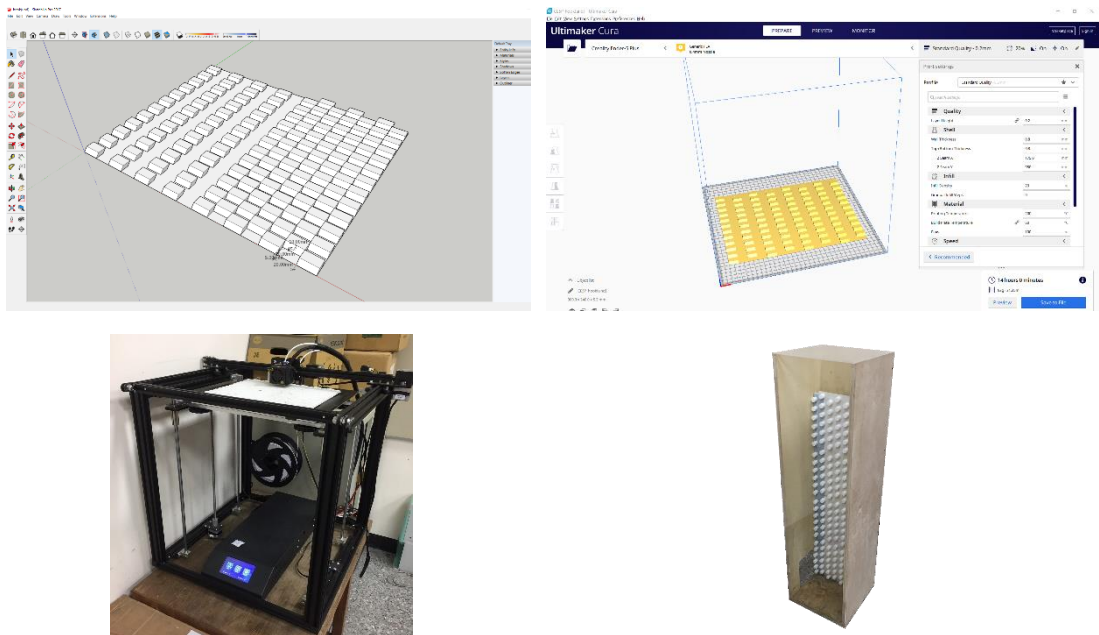


圖 2-8 輔具製作流程(取自 109 年度成果報告書)

三、實驗流程

實驗場景為附帶紋路之 1 平方公尺基盤，角度變化為 90 度、78.7 度(1:0.2)與 60 度。全程以攝影機每秒 60 貞紀錄，期間將以噴霧器灑水保持動物皮膚濕潤，並以 2mm 軟枝條或手套輕觸個體以刺激移動。流程共分為 3 個步驟，詳述如下：

前置：實驗前確認基盤/巢箱角度、以及室內溫度、照度。確認紋路穩定附著於基盤/巢箱上。實驗樣本從室外移至室內。將餌料塗抹在基盤四面圍牆內，或塗抹在巢箱開口處。並開啟錄影器材。

進行：將實驗放置於基盤正中，或置於巢箱紋路最低端。過程中每 5 分鐘使用灑水器噴灑水滴至樣本周圍，垂直攀爬時若靜止超過 30 秒將輕碰樣本以刺激移動。

結束：紀錄 10 分鐘內樣本移動之軌跡。紀錄樣本由巢箱底部至頂端之時間。時間截止或是完成攀爬距離便將樣本放回飼養箱內。

暗房操作

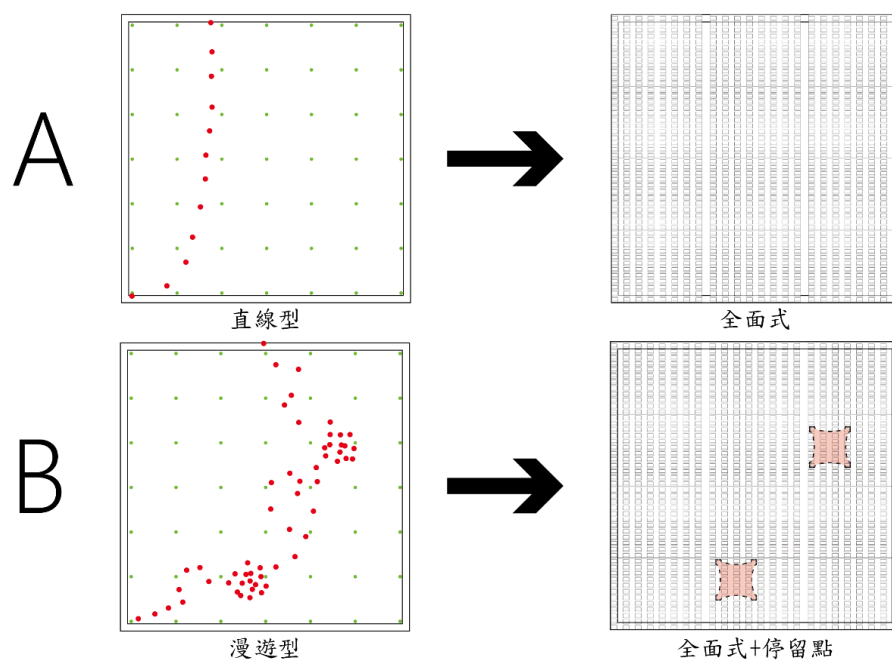
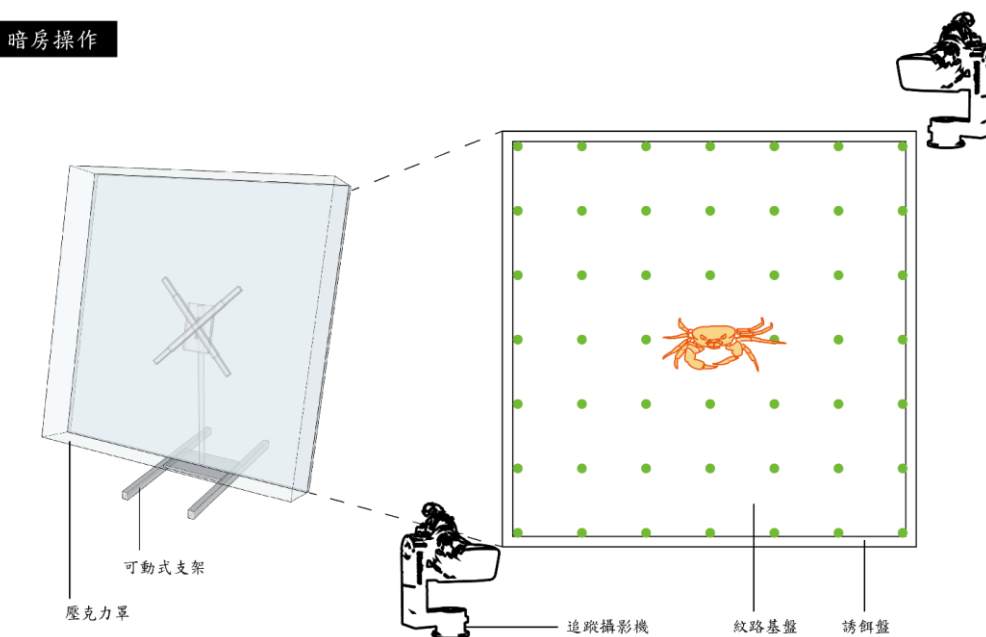


圖 2-9 運動行為實驗示意圖

四、紋路設計

本年度計畫紋路設計共兩種，參考 109 年度設計之紋路，蟹類攀爬紋路修改為 1 公分乘於 1 公分方格，橫排間距 1.5 公分，直排間距 1 公分，交錯並置，深 0.5 公分且內凹處帶有 45 度斜角設計，單片長寬 25 公分。蛇類攀爬紋路則為四種，圓柱型、2 公分乘於 2 公分的卵型（橫排間距 2 公分，直排間距 2 公分，高為 2 公分，單片寬 6 公分長 24 公分）以及橫版型。

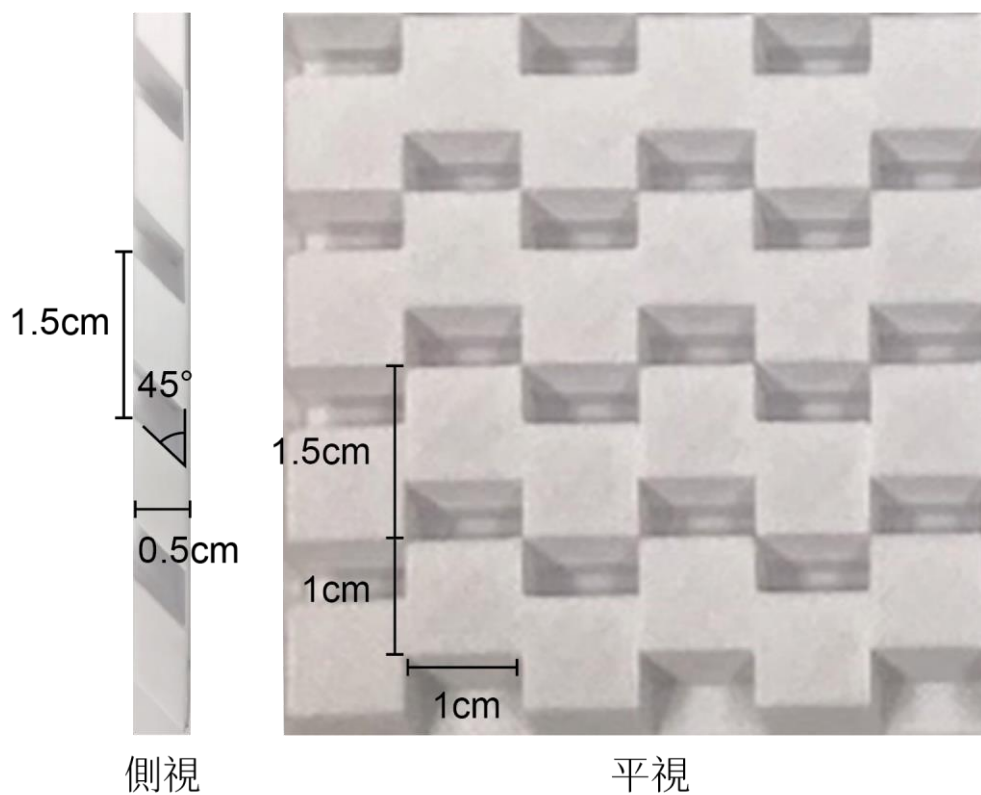


圖 2-10 蟹類攀爬紋路圖（局部）

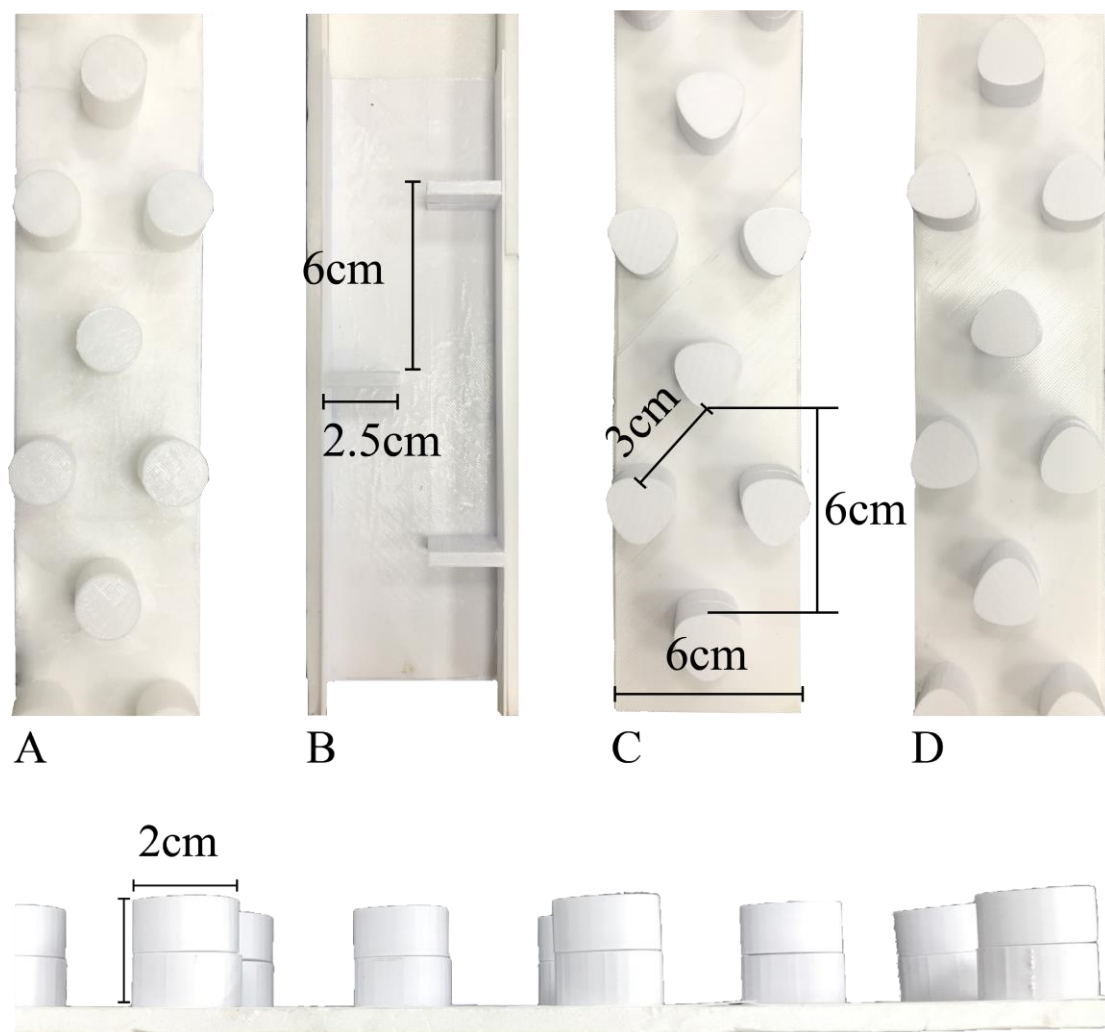


圖 2-11 蛇類攀爬紋路圖(局部)

五、運動軌跡分析

以 tracker 軟體每 5 秒紀錄一次樣本中心點位。網格最小單位為 1 公分。初級資料處理有 x、y 值增量，耗時，轉換方向，步伐距離以及移動速率。次級資料處理含維持度(persistence)，滯留時間(resident time)和直線指數(straightness index)。計算方式分為逐步及綜合步數。詳細描述見表 2-1：

表 2-1 軌跡分析項目

特性	描述	類別	計算方式
位移(Displacement)	兩個連續位置之間 x 和 y 值得增量，空間位置上的變化。	初級	逐步

耗時(Time lag)	兩個連續位置之間消耗的 時間（通常受採樣方式 影響）	首級	逐步
轉角/轉向(Turning angles/heading)	兩個連續位置之間的相 對或絕對轉變角度，方向 的變化。	首級	逐步
步伐距離(step length)	兩個連續位置之間的歐 氏距離。	首級	逐步
速率/速度 (velocity/speed)	兩個位置在既定時間內 所移動的距離	首級	逐步
維持度/轉換速率 (persistence/turning velocity)	速度與轉角的變化：速率 的持久度表示特定方向 下角度下的持續以及趨 勢。轉變速率表示位移的 趨勢轉向垂直或相反的 方向。	次級	逐步
滯留時間(Residence time)	首次跨越時間的擴充，既 定範圍下所有往返所消 耗的時間。	次級	逐步
直線指數 (Straightness index)	起點至終點（步伐距離的 總和）歐氏距離的比例。	次級	綜合步數

整理自 Edelhoff et al., 2016.

六、垂直攀爬分析

實驗採重複量數設計(repeated measure design)，由同一組樣本進行組間比較，找出不同紋路下完成時間的差異性。自變項為完成時間；依變項為完成時間；控制變項為攀爬角度、攀爬距離以及環境條件。每隻個體一天僅進行一次實驗，以確保有完整的休息時間。影片結果每秒記錄 1 點位。

表 2-2 量測項目

自變項	依變項	控制變項
紋路樣式	完成時間	攀爬角度 攀爬距離 環境氣候

第三章 結果及討論

第一節 實驗樣本

一、蟹類

蟹類實驗樣本有 6 隻台灣南海溪蟹，6 隻黃灰澤蟹。南海溪蟹採集自嘉義大學蘭潭校區，黃灰澤蟹採集地點為屏東恆春鎮與滿州鄉。

台灣南海溪蟹平均體重 25.3 ± 3.9 公克，大螯長度平均 30.1 ± 5.4 公分。

頭胸甲寬平均 32.1 ± 3.9 公分，頭胸甲長平均 22.3 ± 9.7 公分，指節長度

平均 13 ± 4.5 公分。黃灰澤蟹平均體重 15.4 ± 3.9 公克，大螯長度平均

29.6 ± 8.0 公分，頭胸甲寬平均 32.0 ± 3.8 公分，頭胸甲長平均 26.1 ± 3.7

公分，指節長度平均 9.6 ± 2.2 公分。

表 3-1 台灣南海溪蟹生理形質

編號	體重(g)	大螯長(mm)	頭胸甲寬(mm)	頭胸甲長(mm)	指節長(mm)
1	26	38.8	35.8	30.1	11.4
2	21	27	33.9	29.3	11.9
3	15	23.9	30.3	25.5	11.3
4	25	29.1	33.8	29.1	9.7
5	40	34	34	10	22
6	25	28	25	10	12
平均	25.3	30.1	32.1	22.3	13
標準差	3.9	5.4	3.9	9.7	4.5
最大	40	38.8	35.8	30.1	22
最小	15	23.9	25	10	9.7

表 3-2 黃灰澤蟹生理形質

編號	體重(g)	大螯長(mm)	頭胸甲寬(mm)	頭胸甲長(mm)	指節長(mm)
1	10	21.4	29.2	23	7.3
2	17	30.5	32.6	26.8	12.2
3	8	20.7	26.7	21.5	7.1
4	14	30.6	32.2	26.5	10.6
5	16	32	33.1	26.9	9

6	26	42.6	37.9	32.1	11.7
平均	15.2	29.6	32	26.1	9.6
標準差	6.3	8.0	3.8	3.7	2.2
最大	26.0	42.60	37.90	32.10	12.20
最小	8.0	20.70	26.70	21.50	7.10

二、蛇類

蛇類實驗樣本為雲林縣農業處提供之王錦蛇幼體，共計 11 隻。

平均體重 43 ± 11.4 公克，最大 66 公克，最小 29 公克。平均體長 66.7 ± 6.8 公分，最長 81 公分，最短 54.6 公分。

表 3-3 王錦蛇生理形質

編號	體重(g)	體長(cm)
1	52	69.6
2	43	66.7
3	48	68.2
4	41	66.2
5	55	71.1
6	38	69.9
7	31	63.1
8	38	63.4
9	29	54.6
10	66	81
11	32	60.1
平均數	43	66.7
標準差	11.4	6.8
最小	29	54.6
最大	66	81

第二節 垂直攀爬實驗

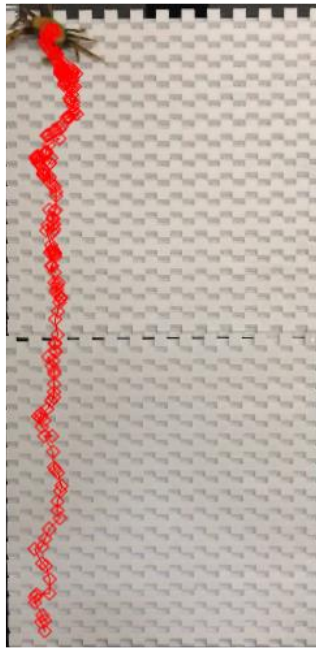
一、蟹類

在氣候條件為平均溫度 $25.5 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、平均照度 0Lux 的環境下，台灣南海溪蟹在 90 度、25 公分寬、50 公分長的垂直攀爬範圍上平均完成時間為 325 ± 199.4 秒，最長時間為 562 秒，最短時間為 62 秒。黃灰澤蟹的平均完成時間則為 97 ± 59.7 秒，最長時間為 209 秒，最短時間為 35 秒。黃灰澤蟹與台灣南海溪蟹的平均完成時間比例上為 1:3.3。

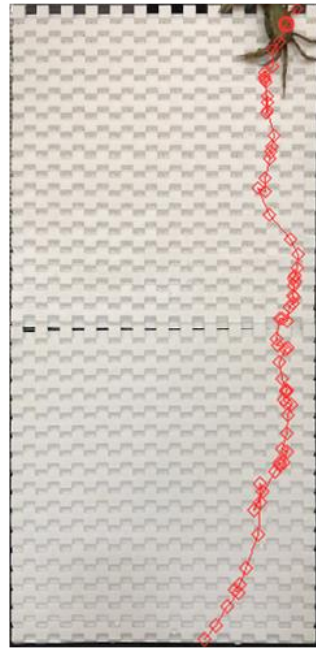
表 3-4 蟹類垂直攀爬完成時間

編號	完成時間(台灣南海溪蟹)	完成時間(黃灰澤蟹)
1	562	209
2	430	69
3	221	85
4	124	137
5	551	47
6	62	35
總計	1950	582
平均數	325.0	97.0
標準差	199.4	59.7
最小值	62	35
最大值	562	209

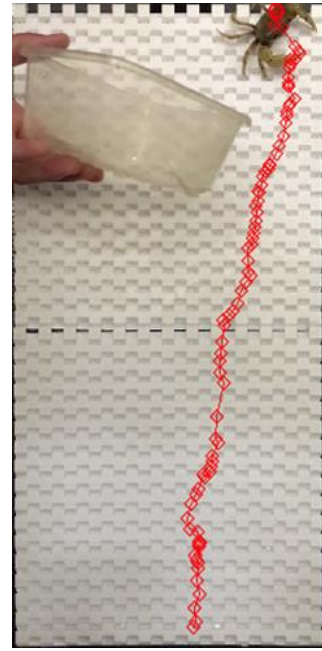
說明：時間單位為秒。



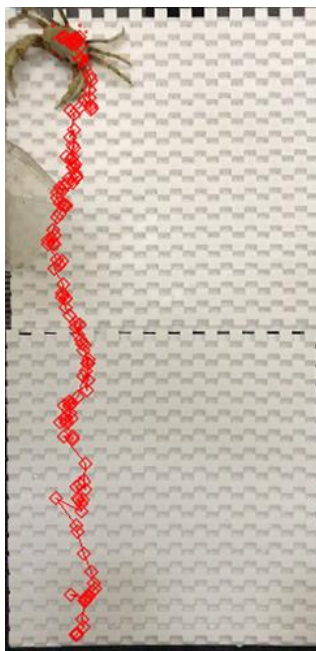
1



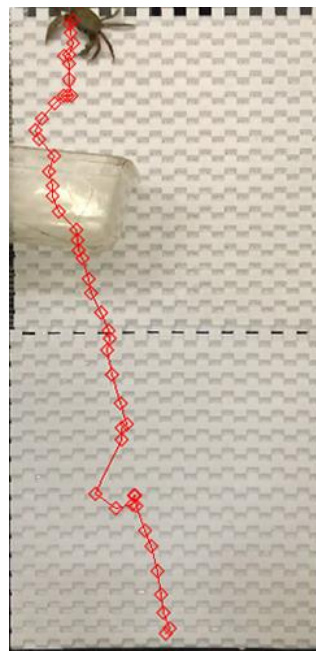
2



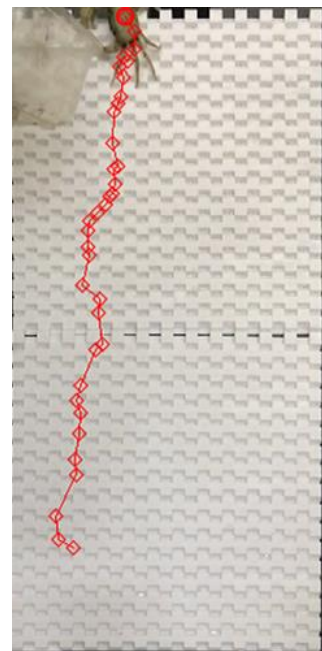
3



4

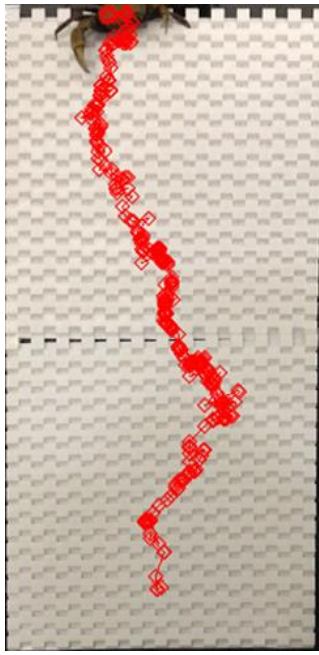


5

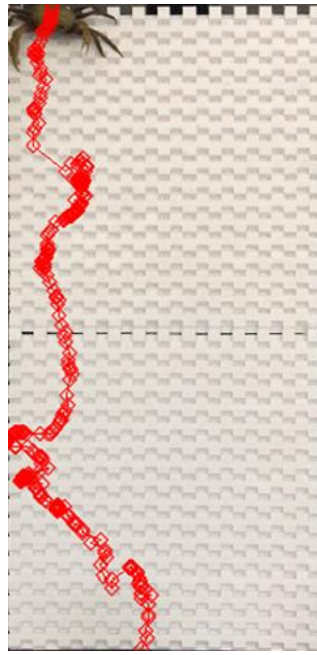


6

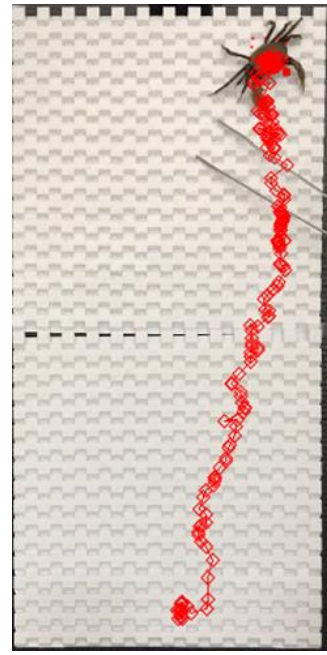
圖 3-1 黃灰澤蟹垂直攀爬軌跡圖(每秒 1 點位)



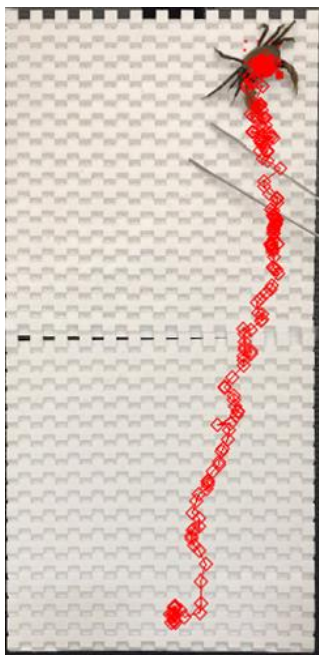
1



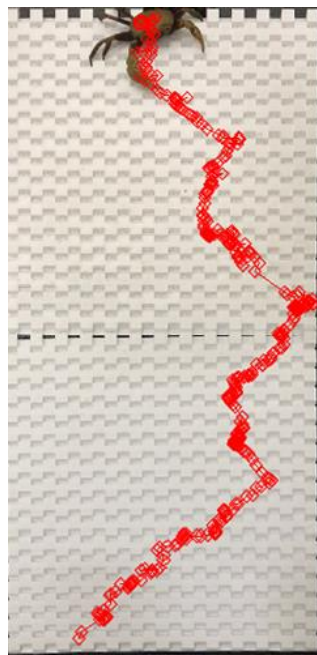
2



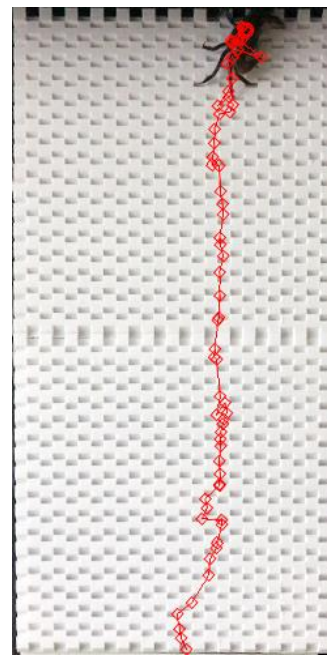
3



4



5



6

圖 3-2 台灣南海溪蟹垂直攀爬軌跡圖(每秒 1 點位)

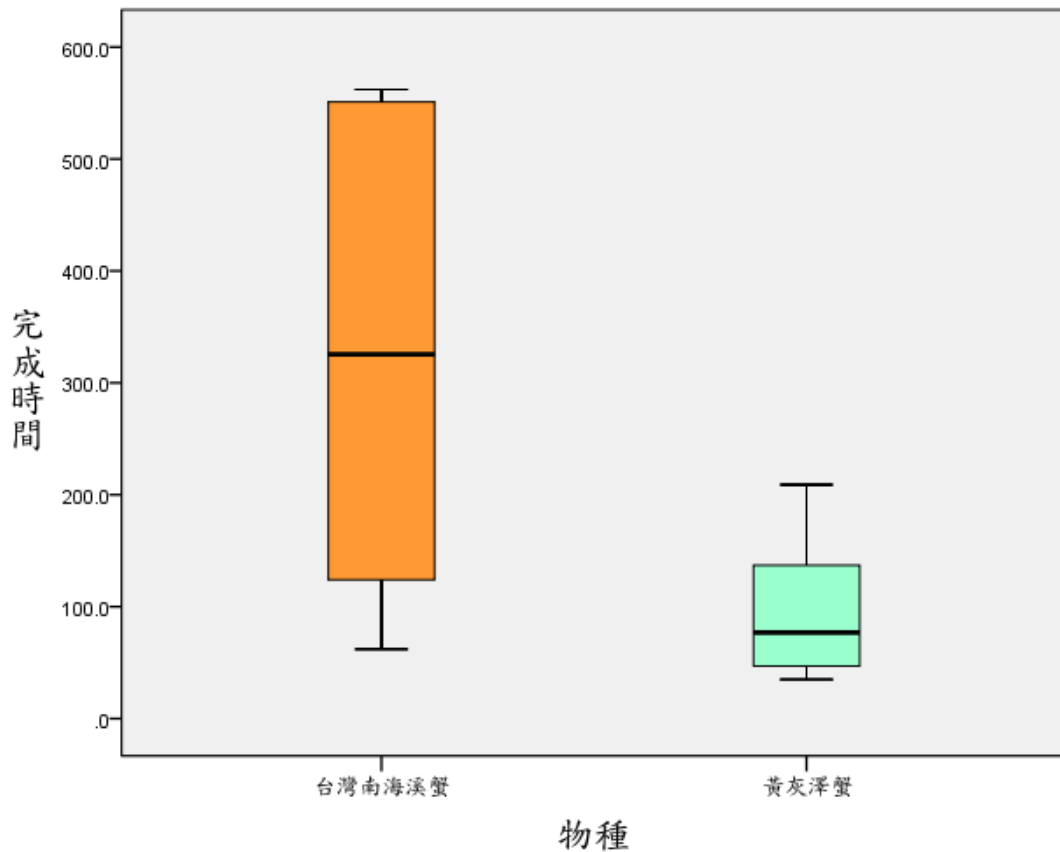


圖 3-3 垂直攀爬完成時間(蟹類)

二、蛇類

在氣候條件為平均溫度 $26.1 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、平均相對溼濕度 $71.5 \pm 1.35\%$ 、平均照度 0Lux 的環境下，王錦蛇在 90 度、60 公分距離，四種不同紋路上的垂直攀爬平均完成時間為 26.2 ± 10.9 秒、 30.9 ± 19.1 秒、 21.5 ± 9.3 秒、 26.2 ± 8.2 秒。將紋路依平均完成時間由短至長排列結果為 $C < D < A < B$ ，差異上比例為 1:1.2:1.2:1.4。

表 3-5 蛇類垂直攀爬完成時間

編號	A 組完成時間	B 組完成時間	C 組完成時間	D 組完成時間
1	31.0	15.6	17.0	21.0
2	10.9	31.0	22.0	25.4
3	9.0	9.9	8.0	28.3

4	33.0	18.0	12.0	18.0
5	40.6	75.0	19.0	37.0
6	44.0	26.0	20.0	31.0
7	19.0	53.0	14.0	14.0
8	24.0	21.0	30.0	20.0
9	26.0	35.0	34.0	32.0
10	24.0	17.0	38.0	40.0
11	26.8	38.0	22.0	21.0
總和	288.3	339.5	236.0	287.7
平均數	26.2	30.9	21.5	26.2
標準差	10.9	19.1	9.3	8.2
最小值	9.0	9.9	8.0	14.0
最大值	44.0	75.0	38.0	40.0

說明：時間單位為秒。攀爬角度為 90 度，距離為 60 公分。

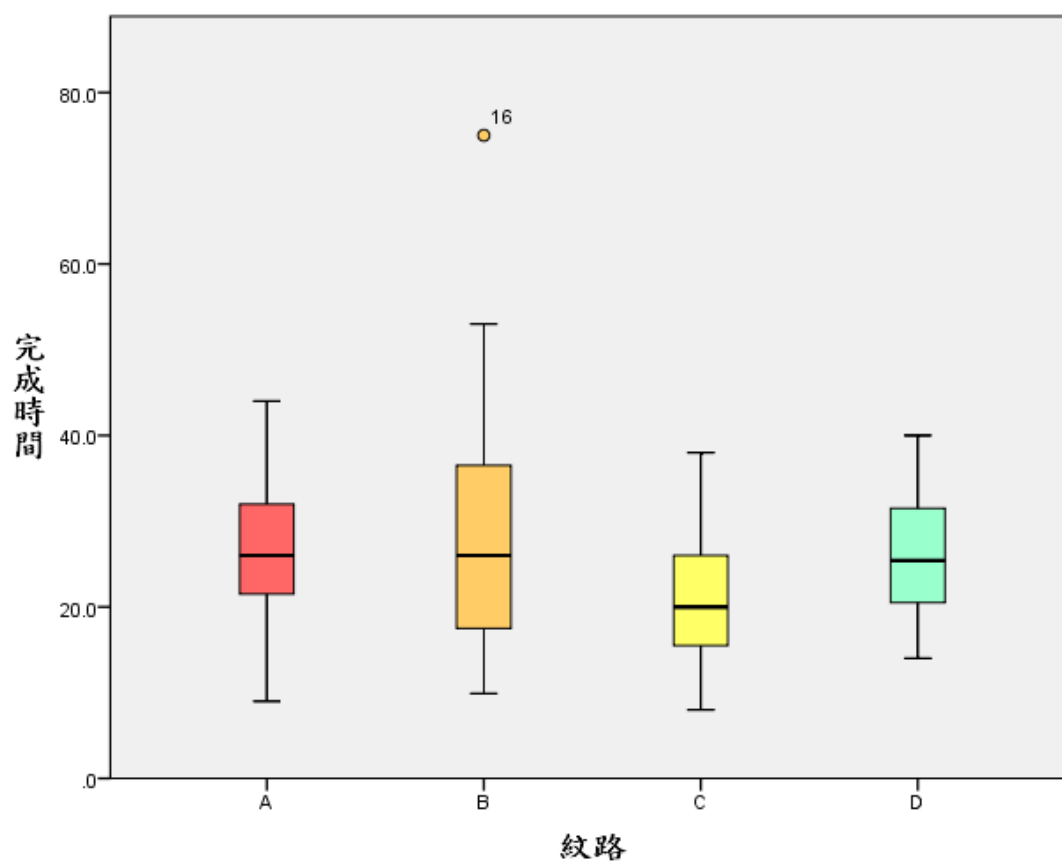
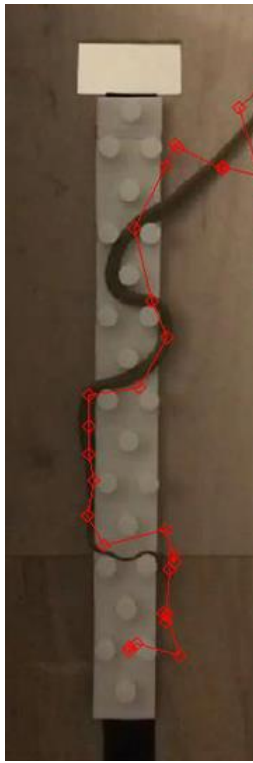


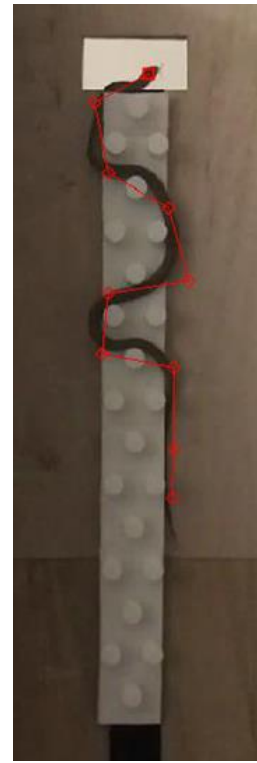
圖 3-4 各組紋路攀爬完成時間(蛇類)



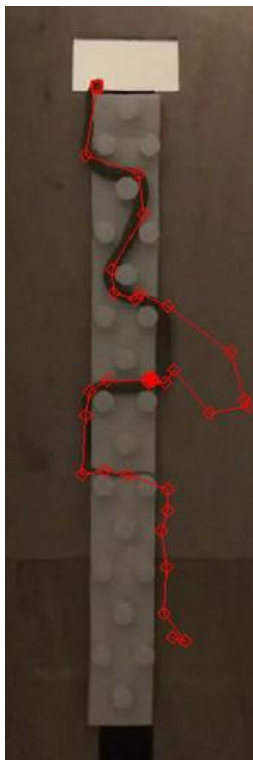
1



2



3



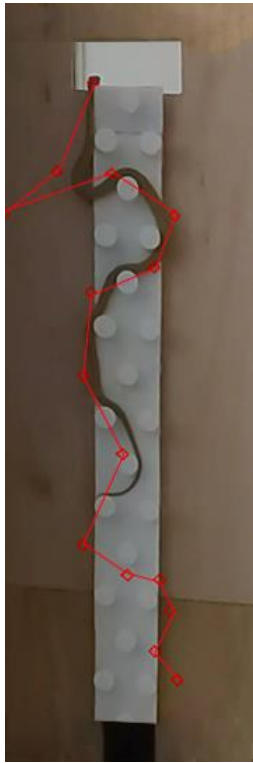
4



5



6



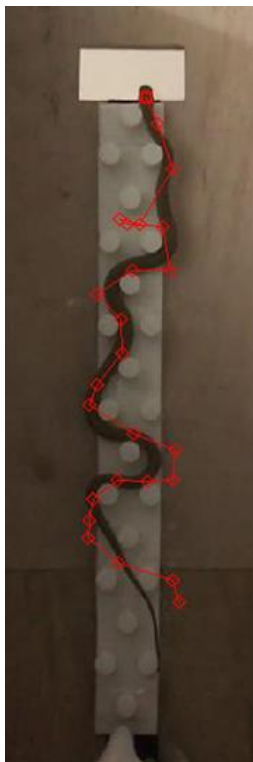
7



8



9

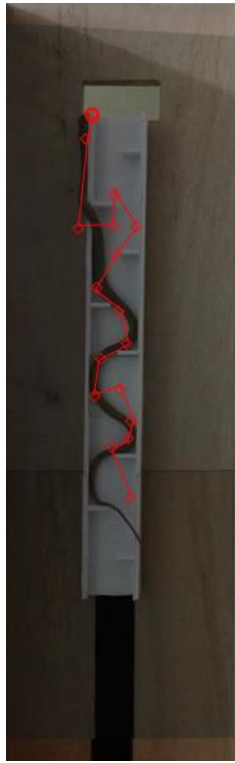


10

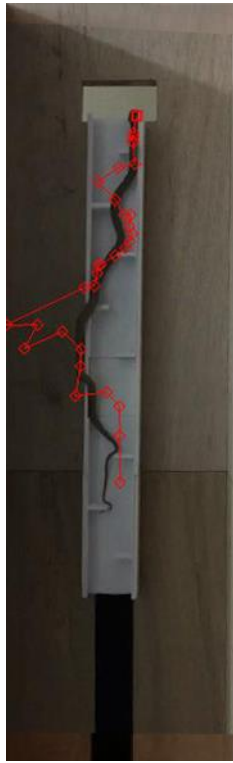


11

圖 3-5 紋路 A 王錦蛇攀爬軌跡圖



1



2



3



4



5



6



7



8



9

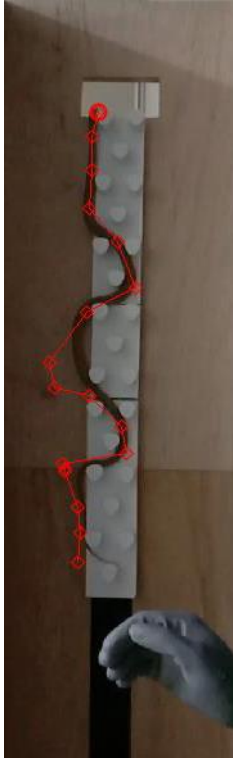


10

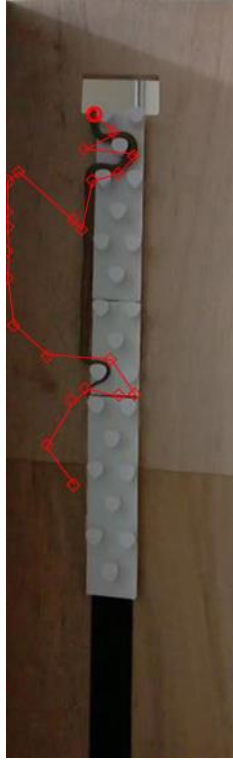


11

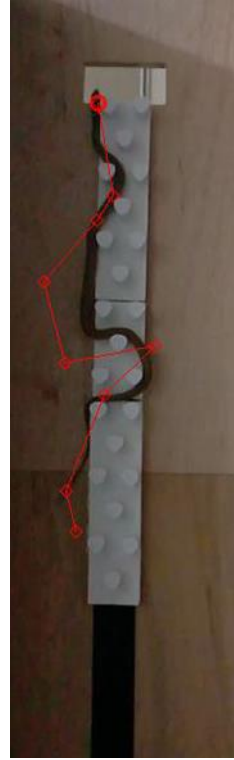
圖 3-6 紋路 B 王錦蛇攀爬軌跡圖



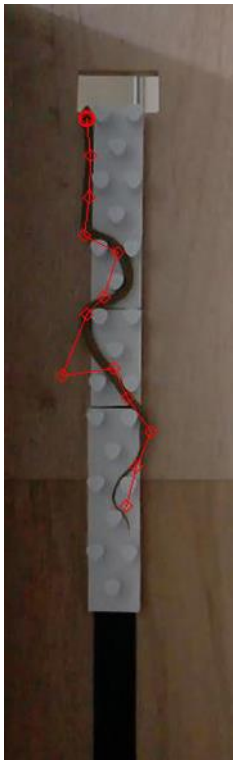
1



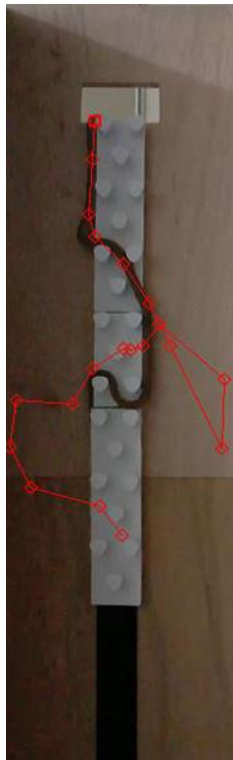
2



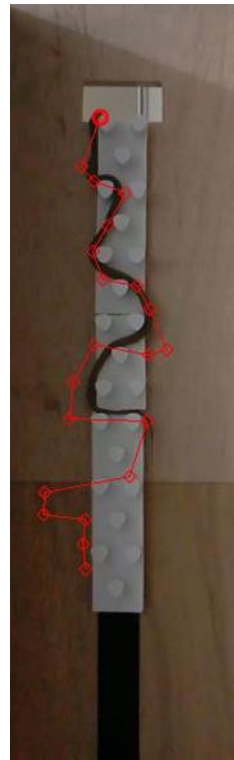
3



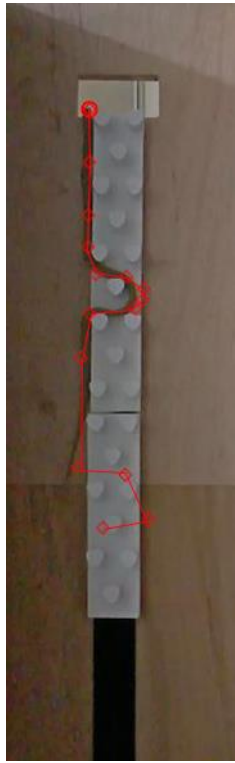
4



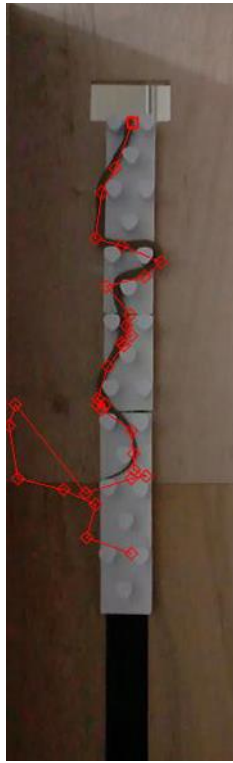
5



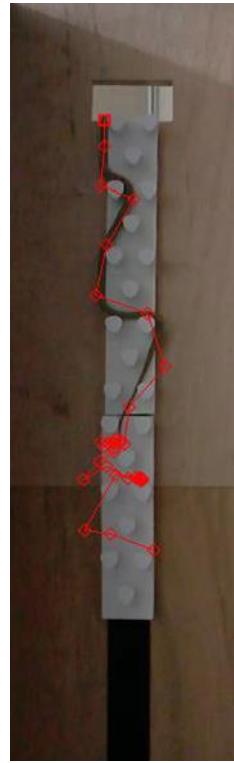
6



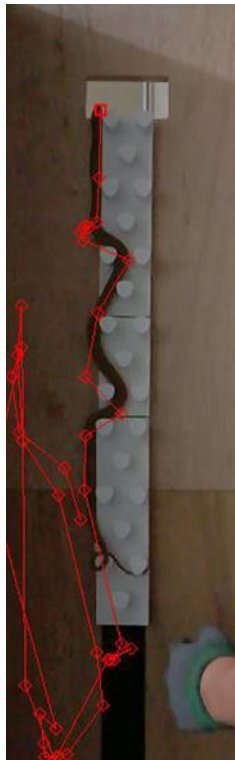
7



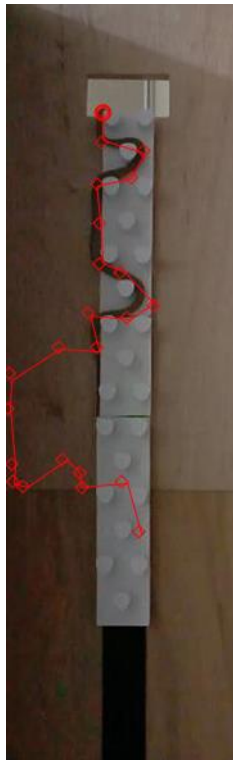
8



9

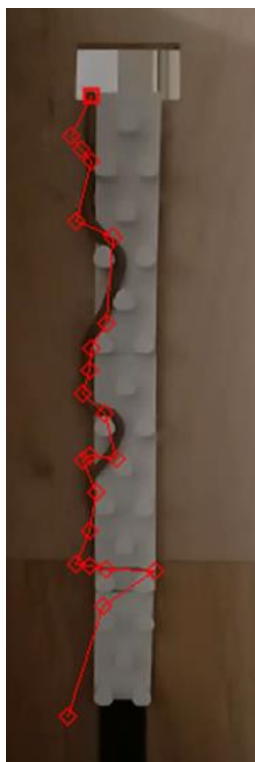


10

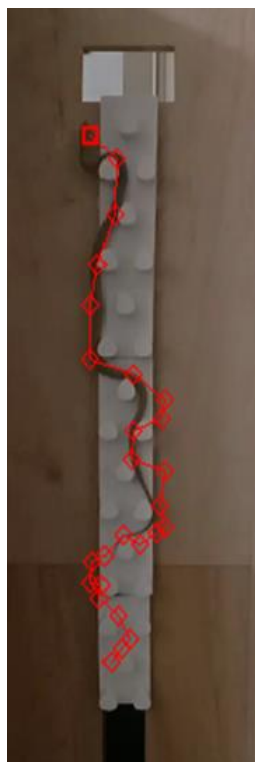


11

圖 3-7 紋路 C 王錦蛇攀爬軌跡圖



1



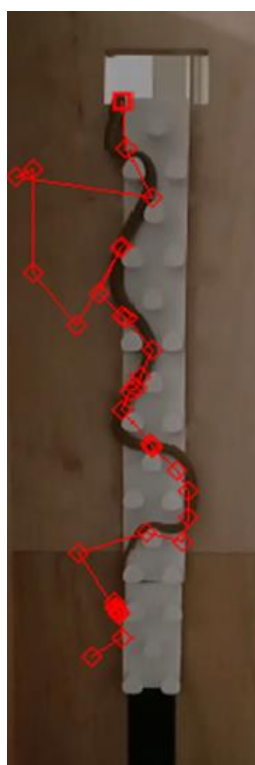
2



3



4



5



6



7



8



9



10



11

圖 3-8 紋路 D 王錦蛇攀爬軌跡圖

第三節 運動行為實驗

一、不同角度的移動距離和速度

(一)移動距離

在 90 度攀爬角度上，台灣南海溪蟹於 600 秒內的平均移動距離為 36.1 ± 36.7 公分。最長距離為 108.1 公分，最短距離為 11.9 公分。黃灰澤蟹的平均移動距離為 119.5 ± 28.7 公分，最長距離為 163.4 公分，最短距離為 83.9 公分。

在 78.7 度攀爬角度上，台灣南海溪蟹的平均移動距離為 104.8 ± 72.5 公分，最長距離為 221.8 公分，最短距離為 24.8 公分。黃灰澤蟹的平均移動距離為 134.5 ± 53.9 公分，最長距離為 209.9 公分，最短距離為 67.8 公分。

在 60 度攀爬角度上，台灣南海溪蟹的平均移動距離為 203.5 ± 99.6 公分，最長距離為 297.5 公分，最短距離為 57 公分。黃灰澤蟹的平均移動距離為 228.7 ± 87.6 公分，最長距離為 336.7 公分，最短距離為 100.5 公分。

表 3-6 南海溪蟹基盤攀爬距離

編號	90 度	78.7 度	60 度
1	15.3	221.8	57.0
2	13.7	70.2	273.0
3	34.8	61.3	155.0
4	11.9	24.8	143.0
5	108.1	64.2	297.5
6	32.9	186.6	295.4

平均數	36.1	104.8	203.5
標準差	33.5	72.5	90.9
最小值	11.9	24.8	57.0
最大值	108.1	221.8	297.5

說明：距離單位為公分。

表 3-7 黃灰澤蟹基盤攀爬距離

編號	90 度	78.7 度	60 度
1	163.4	209.9	307.9
2	83.9	154.1	175.3
3	134.3	84.2	100.5
4	129.8	67.8	202
5	97.8	120.5	336.7
6	107.9	170.3	249.8
平均數	119.5	134.5	228.7
標準差	26.2	49.2	80.0
最小值	83.89	67.8	100.5
最大值	163.3	209.9	336.7

說明：距離單位為公分。

(二)移動速度

以 90 度、78.7 度、60 度為排列，台灣南海溪蟹的平均速度為 0.06cm/s、0.17cm/s、0.34cm/s，比例為 1：2.8：5.7。黃灰澤蟹為 0.20cm/s、0.22cm/s、0.38cm/s，比例為 1：1.1：1.9。在黃灰澤蟹和台灣南海溪蟹的平均速度比較上，90 度上高出了 3.3 倍；78.7 度上高出了 1.3 倍；60 度上高出了 1.1 倍。以平均數而言，台灣南海溪蟹各角度的攀爬速度較低，而兩者在 90 度上的移動速度差別最高。

表 3-8 台灣南海溪蟹基盤攀爬速度

編號	90 度	78.7 度	60 度
1	0.03	0.37	0.10
2	0.02	0.12	0.46
3	0.06	0.10	0.26
4	0.02	0.04	0.24
5	0.18	0.11	0.49
6	0.05	0.31	0.49

平均數	0.06	0.17	0.33
標準差	0.06	0.12	0.16
最小值	0.02	0.04	0.10
最大值	0.18	0.37	0.49

說明：速度單位為公分/秒。

表 3-9 黃灰澤蟹基盤攀爬速度

編號	90 度	78.7 度	60 度
1	.27	.35	.51
2	.14	.26	.29
3	.22	.14	.17
4	.22	.11	.34
5	.16	.20	.56
6	.18	.28	.42
平均數	.19	.22	.38
標準差	.05	.09	.15
最小值	.14	.11	.17
最大值	.27	.35	.56

說明：速度單位為公分/秒。

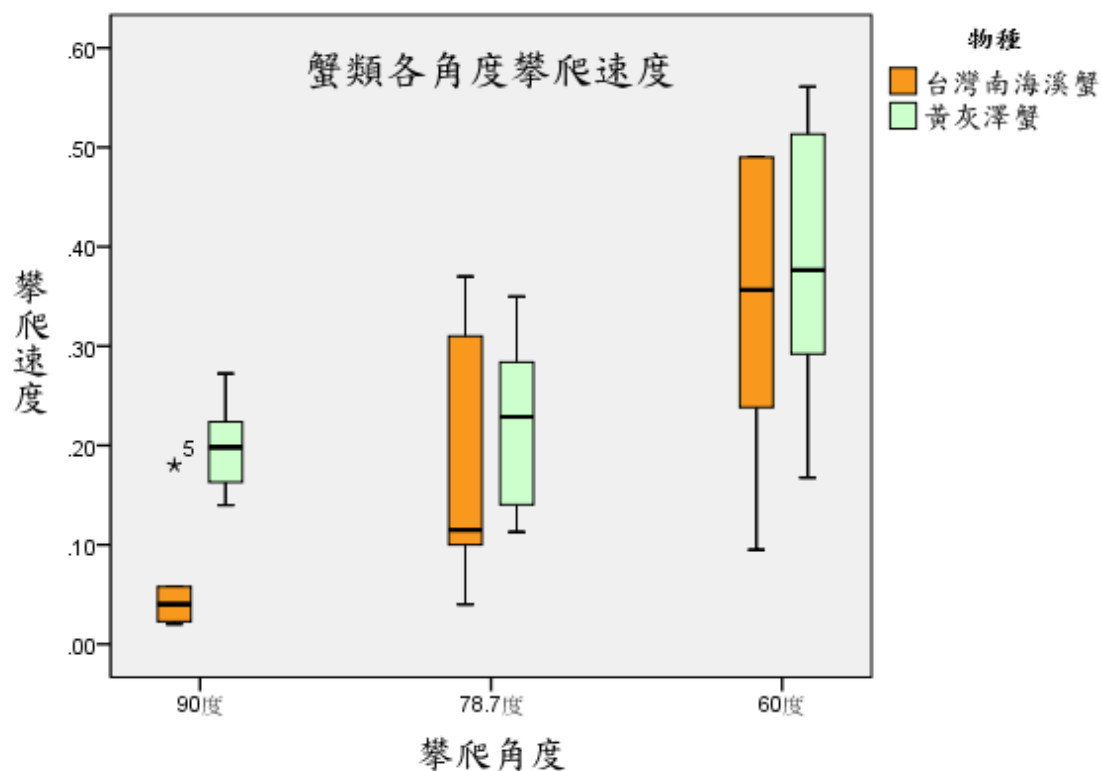


圖 3-9 蟹類各組攀爬速度比較圖

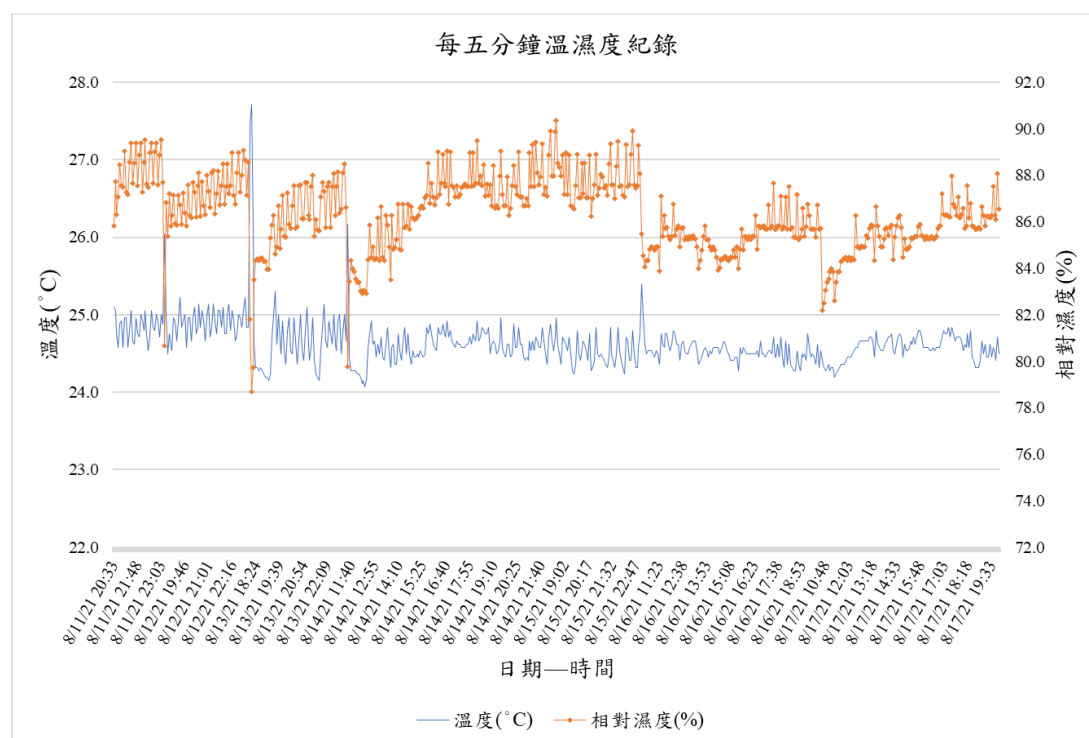


圖 3-10 基盤攀爬實驗溫濕度紀錄圖

二、不同角度的移動軌跡

(一)轉折行為

透過計算每單位時間內角度變化，第一象限的角度正負值變化累積大於 10° 標記為 1 次轉折（見附 3、4），結果為 90 度攀爬角度轉折數總計 17 次。台灣南海溪蟹轉折數總計為 9 次，黃灰澤蟹轉折數總計為 8 次。

78.7 度攀爬角度轉折數總計 22 次。台灣南海溪蟹轉折數總計為 11 次。黃灰澤蟹轉折數總計為 4 次。

60 度攀爬角度轉折數總計 62 次。台灣南海溪蟹轉折數總計為 44 次，黃灰澤蟹轉折數總計為 18 次。

台灣南海溪蟹總計 67 次，黃灰澤蟹總計 29 次。有 84%(21 隻)的第一次轉折發生在 50%(300 秒)前，台灣南海溪蟹的轉折頻度在 300 秒後提高，黃灰澤蟹則無明顯規律。

表 3-10 台灣南海溪蟹軌跡轉折記錄

編號	90 度	78.7 度	60 度	總計
1	0	15	1	16
2	0	0	13	13
3	1	0	2	3
4	0	0	13	13
5	6	1	7	14
6	0	2	6	8
總計	7	18	42	68
最小值	0	0	1	
最大值	7	15	13	
發生個體	2 隻	3 隻	6 隻	11 隻

說明：象限角變化大於 10° 記 1 次轉折，單位為「次」。

表 3-11 黃灰澤蟹軌跡轉折記錄

編號	90 度	78.7 度	60 度	總計
1	2	2	12	16
2	1	0	1	2
3	1	0	1	2
4	1	0	0	1
5	2	1	2	5
6	1	1	1	3
總計	8	4	17	30
最小值	1	0	0	
最大值	2	2	12	
發生個體	6 隻	3 隻	5 隻	14 隻

說明：象限角變化大於 10° 記 1 次轉折，單位為「次」。

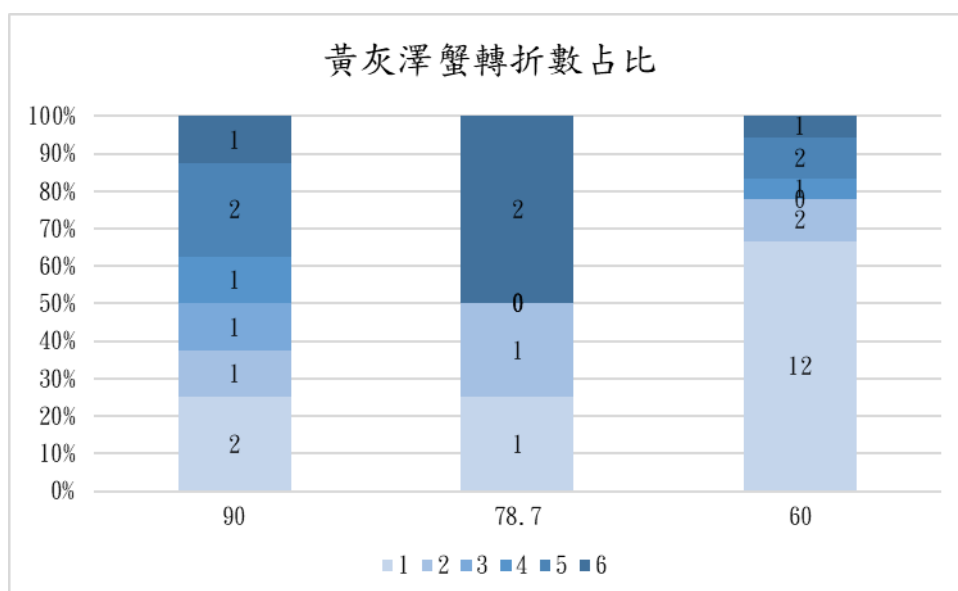
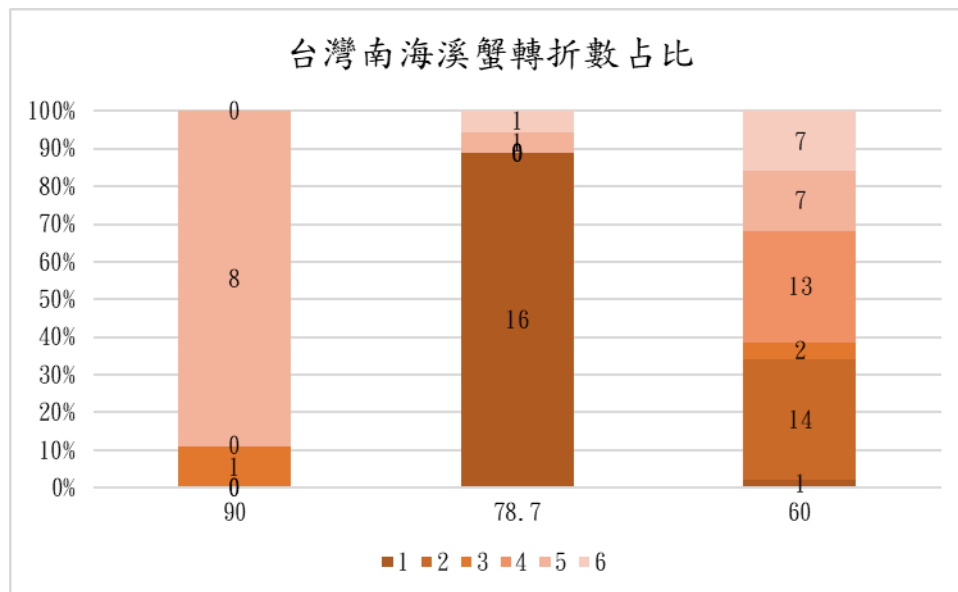


圖 3-11 物種-角度轉折數占比圖

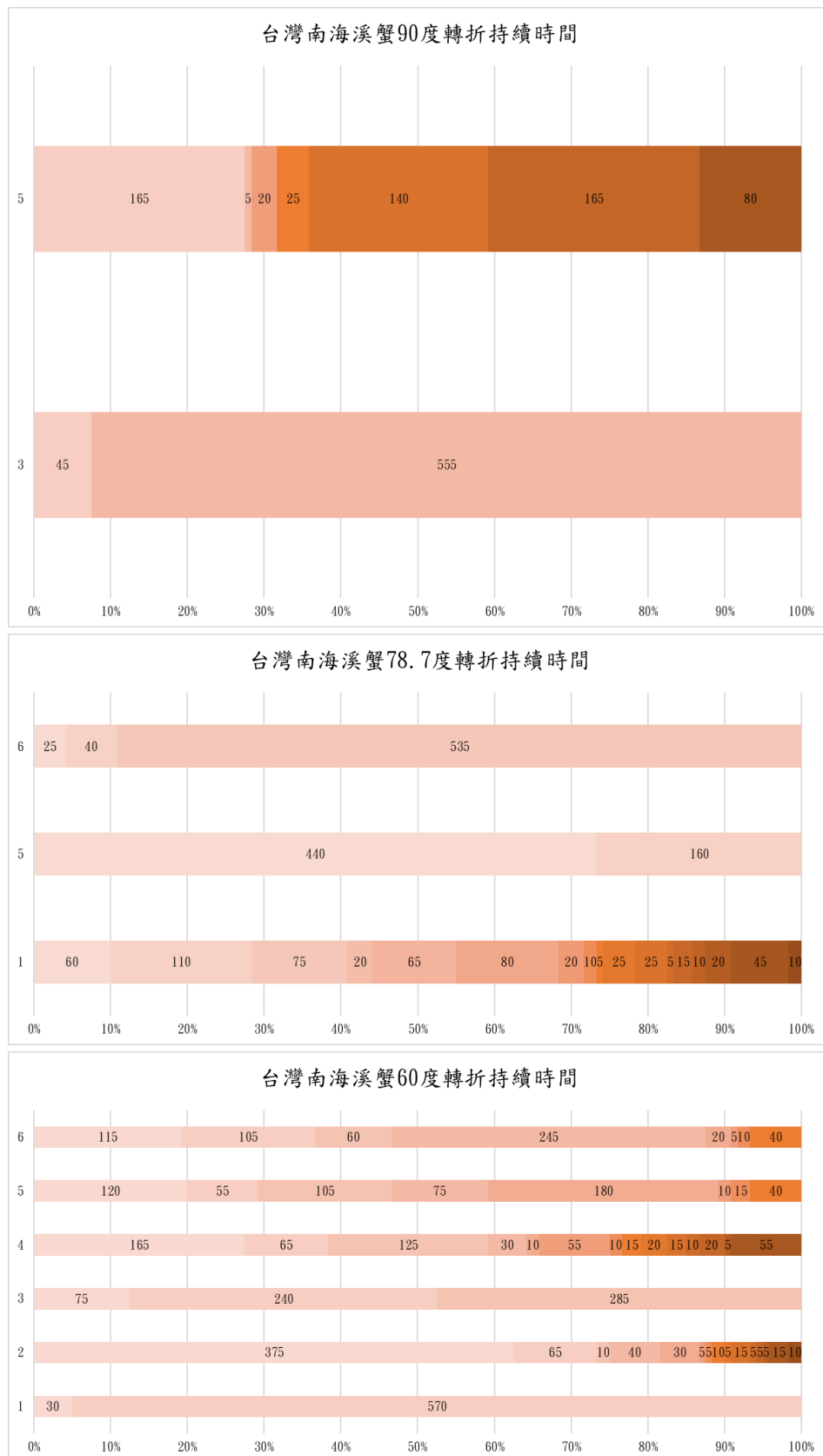


圖 3-12 台灣南海溪蟹轉折時間占比圖

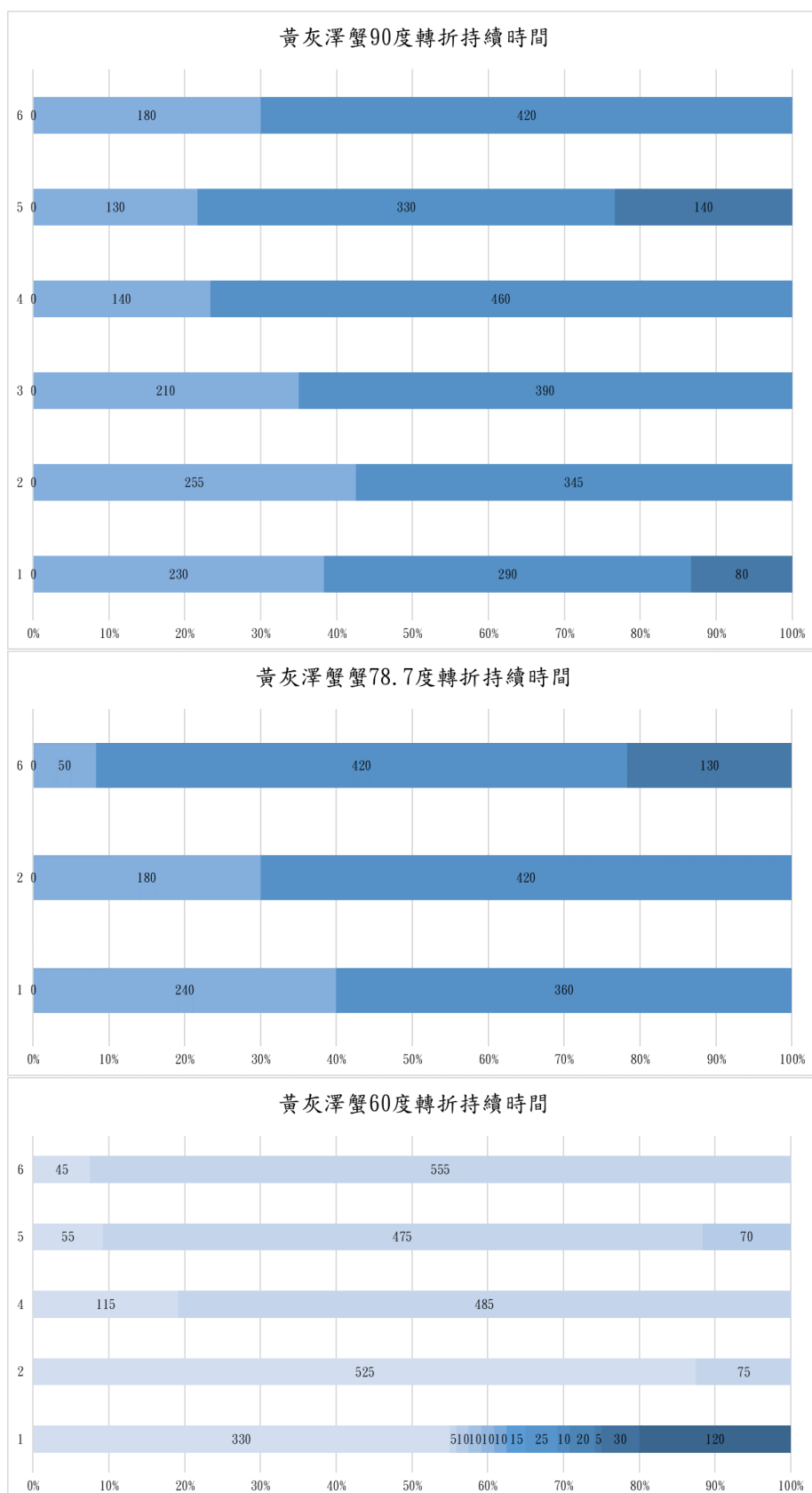


圖 3-13 黃灰澤蟹轉折時間占比圖

(二)直線指數

取樣本之起點和終點之間的最短距離除以實際攀爬距離，求得直線指數結果為 90 度攀爬角度上台灣南海溪蟹平均直線指數為 $0.49(\pm 0.25)$ ，最高 0.84，最低 0.16。黃灰澤蟹平均直線指數為 $0.49(\pm 0.10)$ ，最高 0.60，最低 0.32。

78.7 度攀爬角度上台灣南海溪蟹平均直線指數為 $0.49(\pm 0.27)$ ，最高 0.85，最低 0.09。黃灰澤蟹平均直線指數為 $0.51(\pm 0.17)$ ，最高 0.79，最低 0.26。

60 度攀爬角度上台灣南海溪蟹平均直線指數為 $0.36(\pm 0.23)$ ，最高 0.81，最低 0.18。黃灰澤蟹平均直線指數為 $0.28(\pm 0.17)$ ，最高 0.65，最低 0.15。

表 3-12 台灣南海溪蟹直線指數記錄

編號	90 度	78.7 度	60 度
1	0.16	0.30	0.81
2	0.32	0.44	0.23
3	0.74	0.79	0.18
4	0.25	0.44	0.49
5	0.60	0.85	0.22
6	0.84	0.09	0.22
平均數	0.49	0.49	0.36
標準差	0.25	0.27	0.23
最小值	0.16	0.09	0.18
最大值	0.84	0.85	0.81

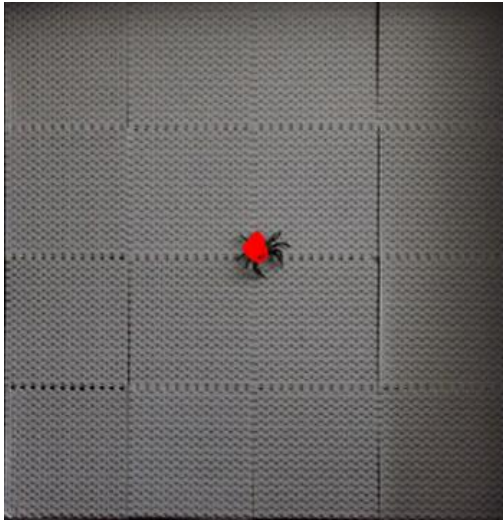
說明：最短距離除與攀爬距離。

表 3-13 黃灰澤蟹直線指數記錄

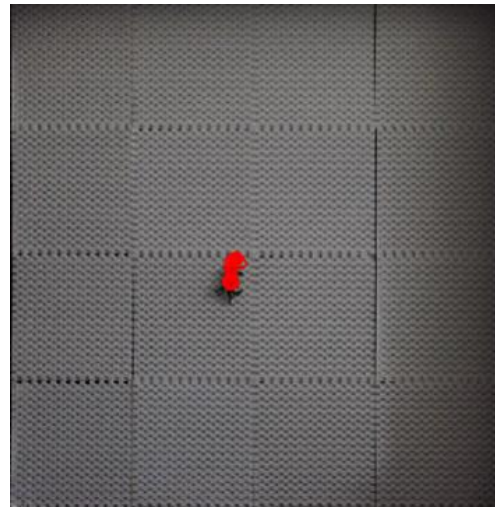
編號	90 度	78.7 度	60 度
1	0.32	0.26	0.15
2	0.60	0.40	0.17

3	0.38	0.62	0.65
4	0.50	0.79	0.28
5	0.52	0.56	0.16
6	0.60	0.41	0.27
平均數	0.49	0.51	0.28
標準差	0.10	0.17	0.17
最小值	0.32	0.26	0.15
最大值	0.60	0.79	0.65

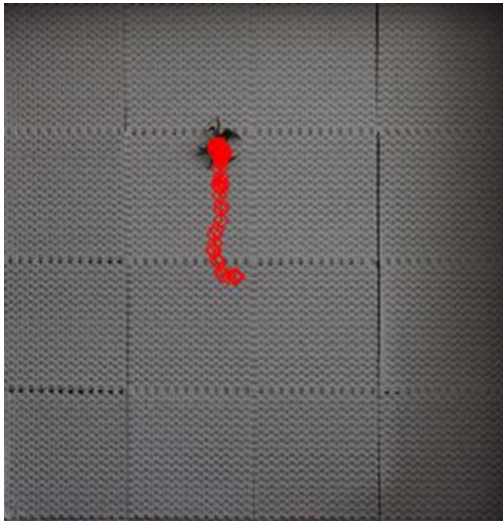
說明：最短距離除與攀爬距離。



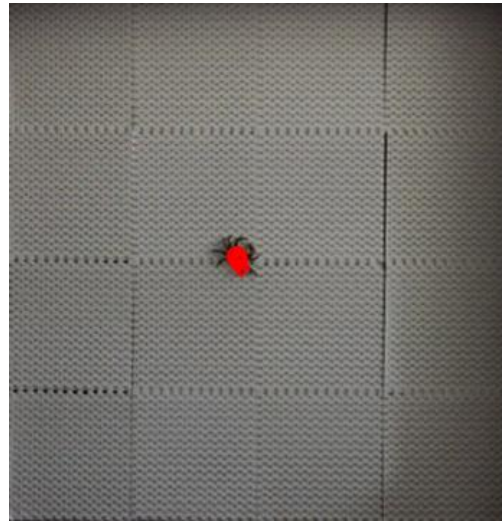
1



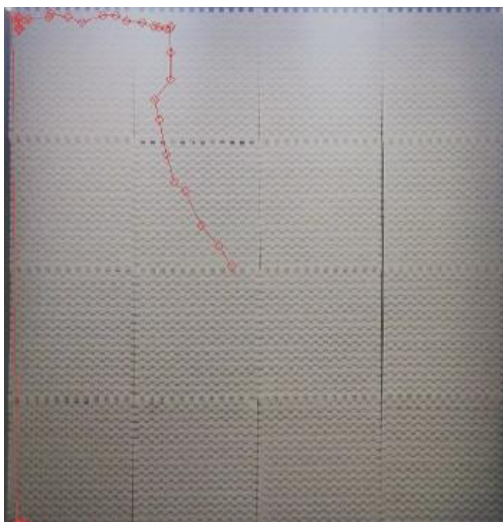
2



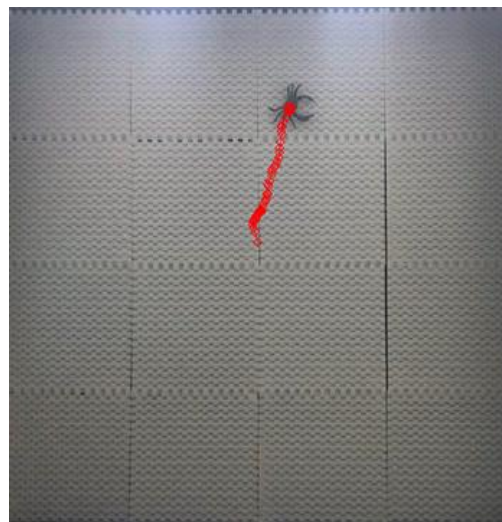
3



4

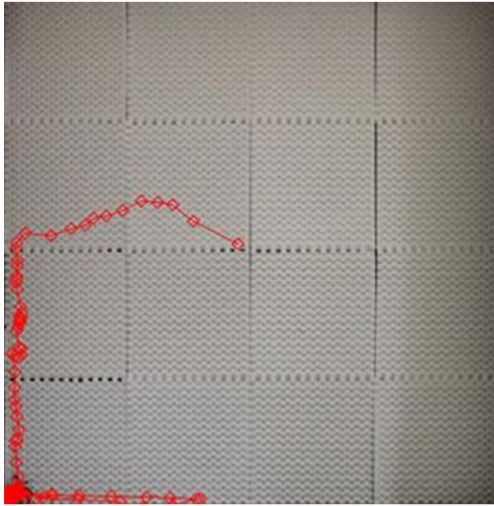


5

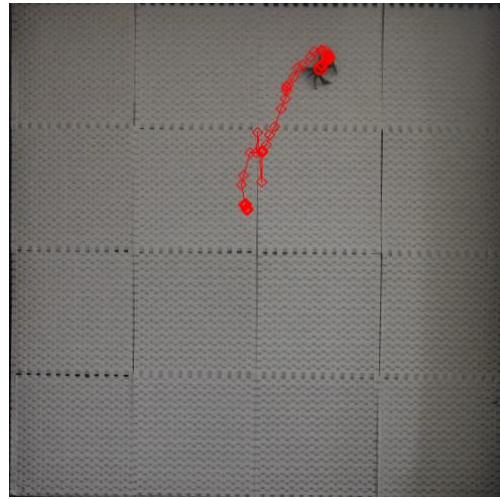


6

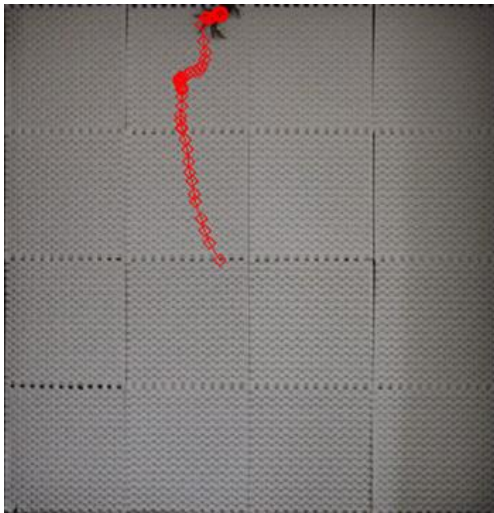
圖 3-14 台灣南海溪蟹 90 度攀爬軌跡圖



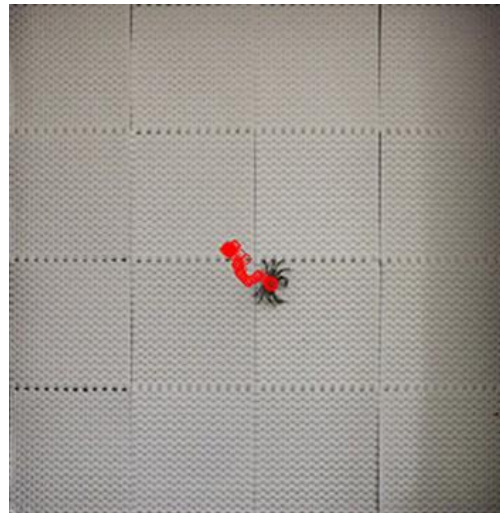
1



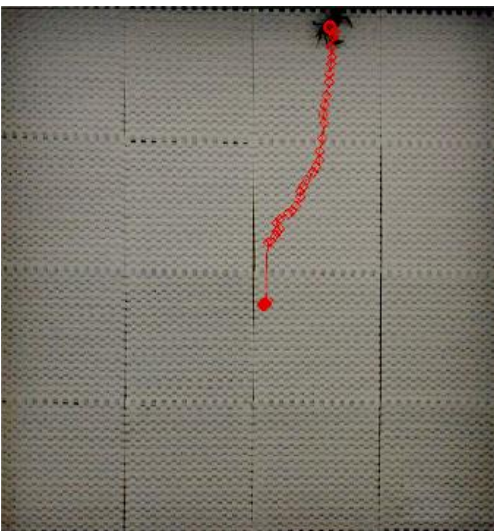
2



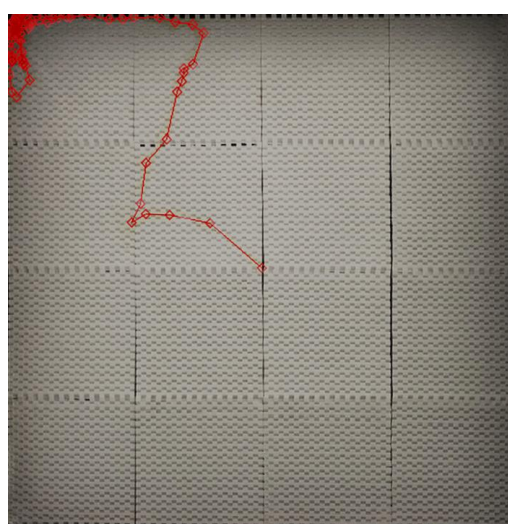
3



4

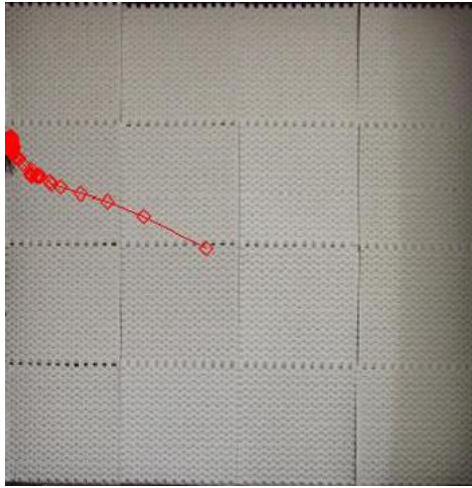


5



6

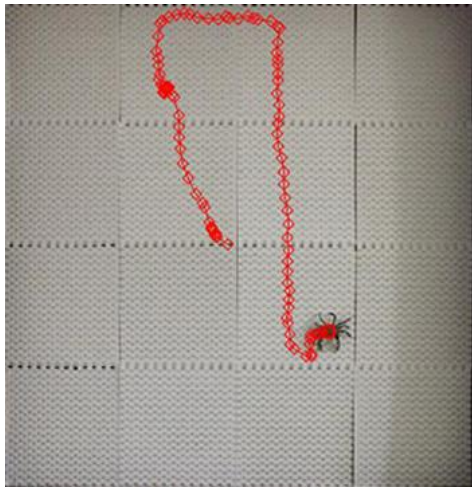
圖 3-15 台灣南海溪蟹 78.7 度攀爬軌跡圖



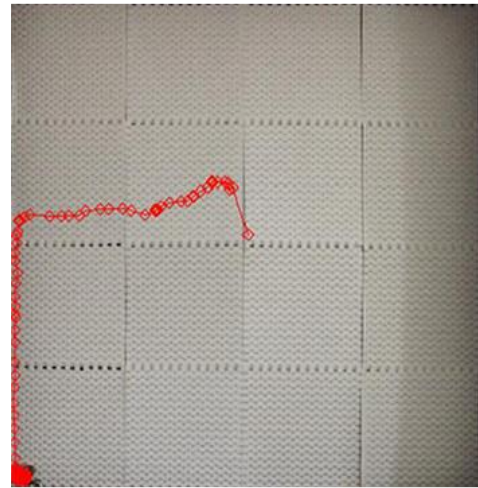
1



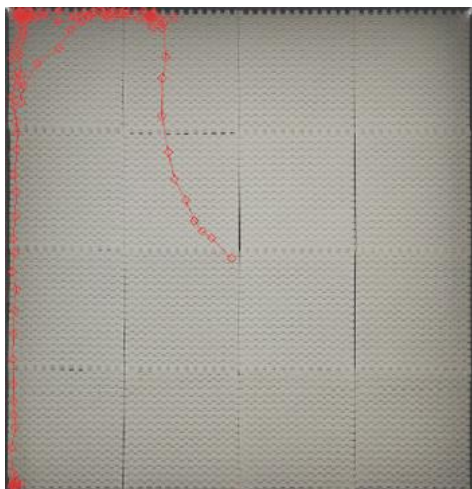
2



3



4

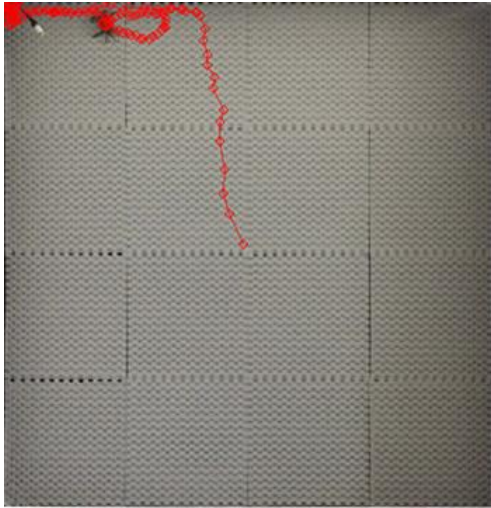


5

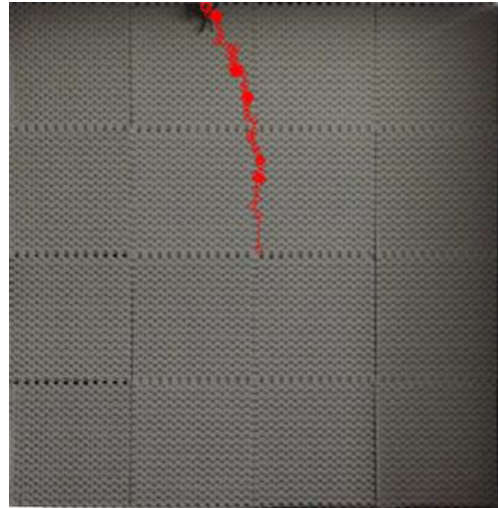


6

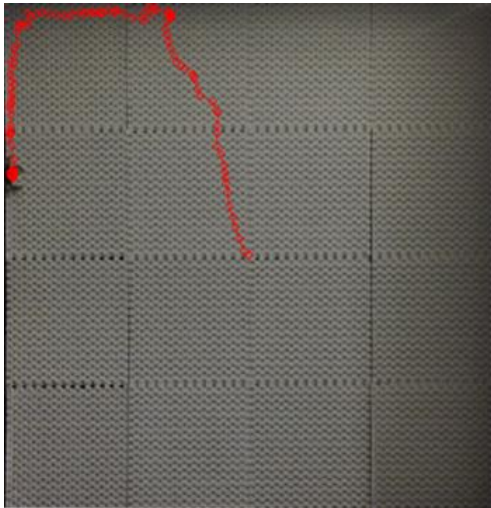
圖 3-16 台灣南海溪蟹 78.7 度攀爬軌跡圖



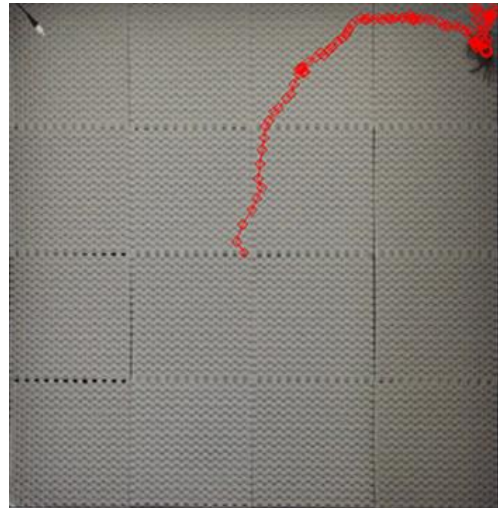
1



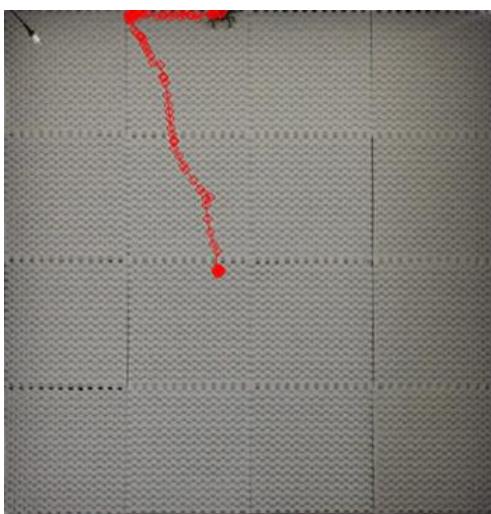
2



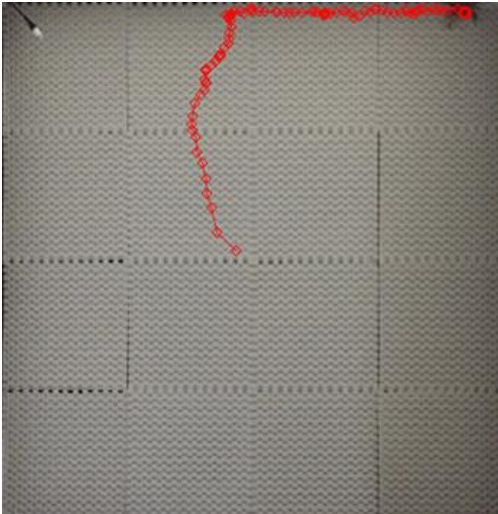
3



4

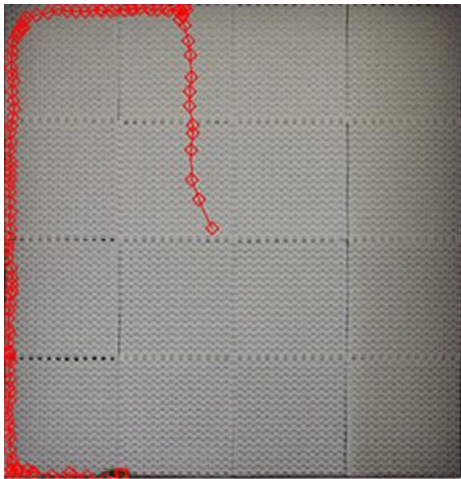


5



6

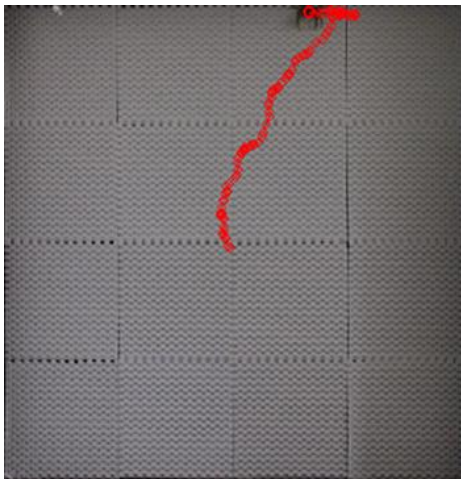
圖 3-17 黃灰澤蟹 90 度攀爬軌跡圖



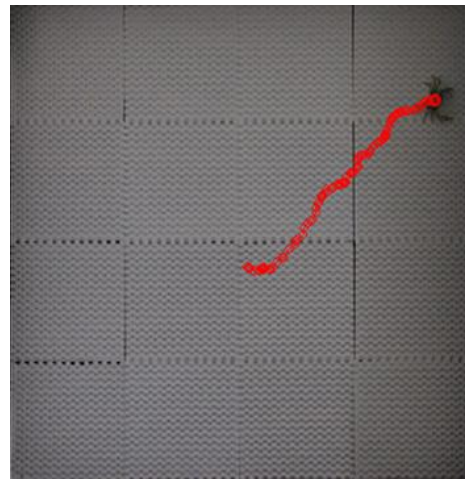
1



2



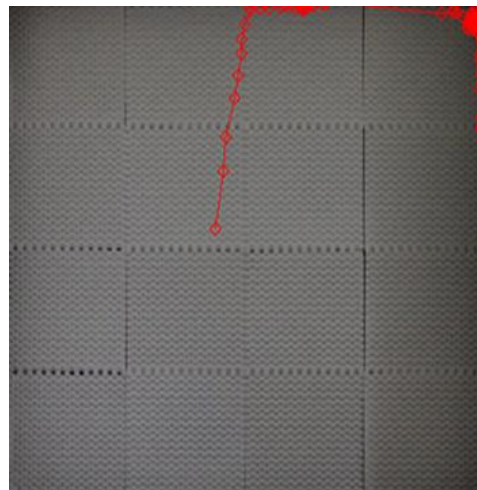
3



4



5



6

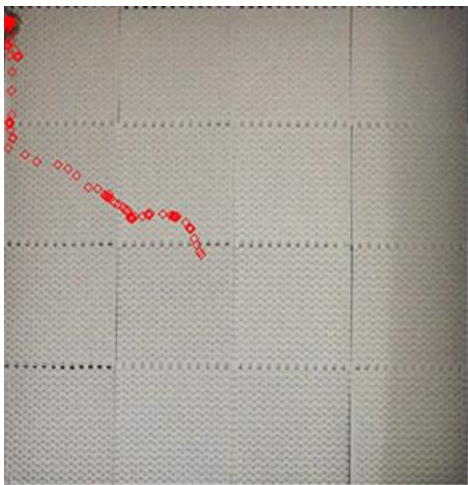
圖 3-18 黃灰澤蟹 78.7 度攀爬軌跡圖



1



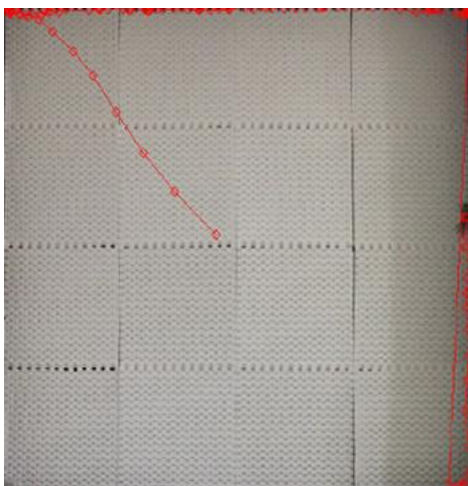
2



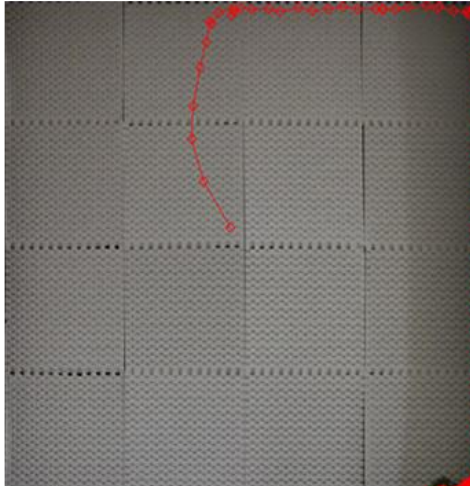
3



4



5



6

圖 3-19 黃灰澤蟹 60 度攀爬軌跡圖

第四節 討論

一、蟹類

在本年度的垂直攀爬實驗中，台灣南海溪蟹在附有紋路的 60 公分垂直壁面上的平均完成時間介於 2~8 分鐘，而黃灰澤蟹則介於 37 秒~3 分鐘之間，兩者相差約 3 倍。經符號檢定，兩者的體重和平均完成時間皆呈顯著相關($p=0.031$)，兩組的生理形質上台灣南海溪蟹的平均體重也明顯高出黃灰澤蟹將近 1.7 倍，表示蟹類體重越高平均完成時間越長。

在基盤實驗中，比較三種角度的平均完成距離和速度，由多至寡排列結果為 60 度>78.7 度>90 度，比例為 2.8：1.5：1，最高距離為 216.1(± 86.5)公分，每秒 0.36 公分。而黃灰澤蟹總體的平均完成距離和速度比台灣南海溪蟹多出約 1.4 倍(46.1 公分，0.08 公分/秒)。於各角度之間差異最大者為台灣南海溪蟹，60 度比 90 度多出 5.7 倍(167.4 公分，0.28 公分/秒)。而兩者間差異最大角度為 90 度，黃灰澤蟹比台灣南海溪蟹多出 3.3 倍(84 公分，0.14 公分/秒)。隨著坡度愈低差距也越低。

在移動行為上，比較三種角度總計轉折數，由多至寡排列結果為 60 度>78.7 度>90 度，比例為 3.9：1.5：1，最多轉折數為 59 次。台灣南海溪蟹總轉折數比黃灰澤蟹高出約 2.3 倍(38 次)。各角度之間差

異最大者為台灣南海溪蟹，60 度比 90 度多了 35 次。差異最大角度為 60 度，台灣南海溪蟹較黃灰澤蟹多 25 次。在轉折數占比和持續時間上，台灣南海溪蟹在 60 度的個別表現較平均，黃灰澤蟹則為 90 度。總體上黃灰澤蟹發生轉折行為的機會較台灣南海溪蟹高，但轉折數較低。

透過直線指數表示，蟹類的軌跡在 60 度上比 90 度和 78.7 度來的曲折(值為 0.32)。而兩者之間的曲線指數則無明顯差異(值為 0.01)。總體而言，角度對於台灣南海溪蟹的移動影響比黃灰澤蟹高。三種角度中，60 度在完成距離、速度、轉折數上都明顯高於其他兩者。唯獨與轉折後持續時間和轉折值數無明顯相關，表示角度的改變並不會對運動複雜程度造成直接影響。

二、蛇類

在 90 度 60 公分的壁面上，4 種紋路按平均完成時間順序為 $C < D < A < B$ 。CD 平均時間相差 4.7 秒，AB 相差 4.7 秒，CB 共差 9.4 秒，DA 秒數相同，但紋路 D 標準差較低。依據樣式描述，所有設計紋路中，適合蛇類垂直攀爬的紋路依序為：倒卵型 < 卵型 < 圓柱型 < 橫板型。經符號檢定，各組紋路完成時間皆與體長和體重呈顯著相關 ($p < 0.05$)，唯獨體重與紋路 B 完成時間呈不顯著相關 ($p = 0.549$, $p > 0.05$)，可能因樣本數不足導致標準差過大之緣故。

若以平均攀爬速度表示，結果為 A(2.29 公分/秒)、B(1.94 公分/秒)、C(2.79 公分/秒)、D(2.29 公分/秒)，蛇類在紋路輔助之下垂直攀爬平均每秒可達 2 至 3 公分。

第四章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本計畫主要工作項目有(1)籌備實驗器材；(2)實驗物種收集；(3)行為模式分析；(4)製作紋路設計；(5)進行攀爬實驗；(6)資料分析與彙整；(7)撰寫研究報告書，分別按初、中、末期程安排。器材籌備為期初主要工作，設備均以自行設計並委外製作。物種採集需較長時間方能達到足夠的樣本數，並視樣本數而調整期程。紋路的設計與印製也因設備限制而將花費大量時間。

表格 四-1 計畫甘特圖

重要工作項目	109 年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(1)相關資料與器材籌備												
(2)實驗物種收集												
(3)紋路設計與製作												
(4)運動行為實驗												
(5)垂直攀爬實驗												
(6)資料分析與彙整												
(7)報告書撰寫												

第二節 計畫交付項目

本研究計畫除創新研究報告書與成果展示簡報外，另將附上小型動物友善邊壁紋路設計圖，與印製紋路模板各 1 份。

表格 四-2 計畫交付項目表

交付項目	規格及數量	交付階段及時程
工作執行計劃書	10 份	04/12
期中報告書	5 份	07/19
期末報告書	5 份	11/15
成果報告書與會計報告	5 份	12/24
紋路設計與印製模板	5 件	11/15
成果展示簡報	1 份	12/14

第三節 計畫參與人員

主要研究人員除計畫主持人外，多為碩士班之在學生以及對本研究有興趣之大學生。計畫主持人除提供主要之研究構想外，並帶領學生團隊執行研究工作、撰寫成果報告、發展學生之研究論文等。本團隊之主要研究成員包括：王柏青（計畫主持人）、顏宏憲（碩士生）、謝旻臻（碩士生）、廖翊庭（大專生）、朱孝宸（大專生）…等。

參考文獻

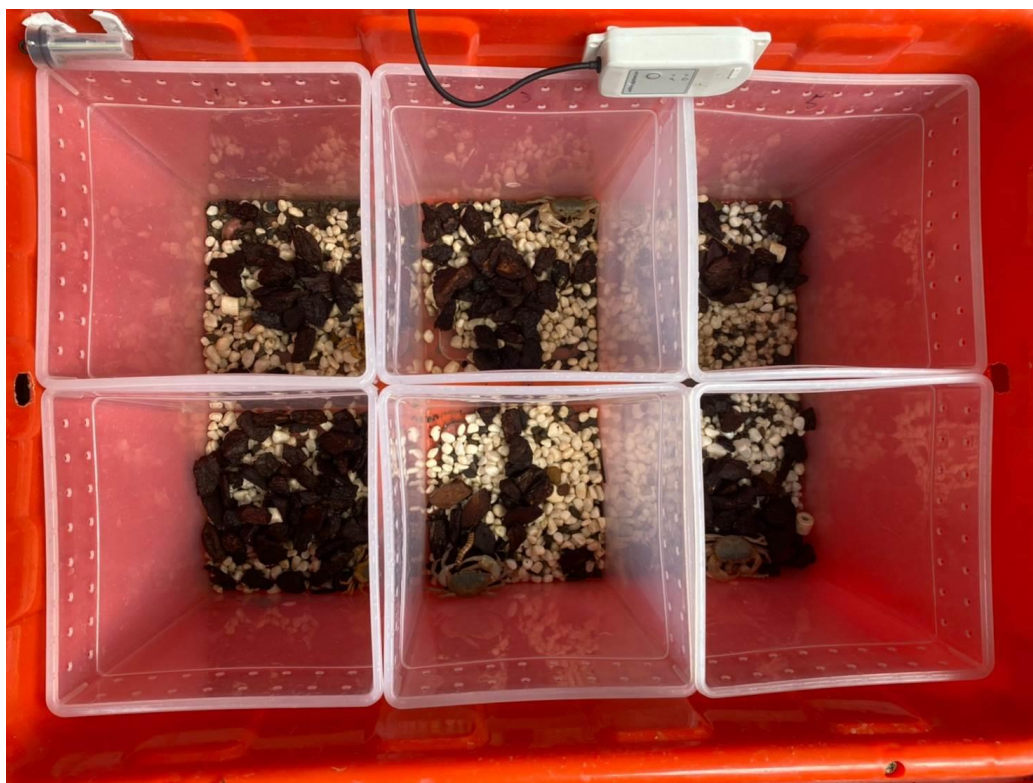
1. 王柏青，2020，建構小型動物生態友善邊壁之另類新思維（I）。
行政院農業委員會水土保持局。
2. 王柏青、尤仕丞、莊淑瓊，2016，嘉義市蘭潭風景區水質水量保護區周邊環境現況調查研究分析。未出版之研究報告。嘉義：國立嘉義大學。
3. 呂光洋、陳世煌、陳賜隆，1989，臺灣爬蟲類動物—《陸棲蛇類》，
臺北市：台灣省政府教育廳出版。
4. 林郁君、黃基礎、杜銘章，1999，影響蛇類跨越能力的變因，師
大生物學報 34 卷 2 期, 129-135。
5. 林家蔚，2010，臺灣鈍頭蛇對陸生軟體動物黏液的追蹤行為之探
討，臺灣師範大學生命科學研究所學位論文。
6. 李俊生、張曉嵐、吳曉莆、全占軍、範俊韜，2019，生態環境學
報 18 卷 3 期，1169 – 1175。
7. 施志昀、李伯雯，2009，台灣淡水蟹圖鑒，晨星出版社。
8. 俞渭江，1976，生物統計附試驗設計，農應出版社，234~262。
9. 蕭文鳳，2011，100 年嘉義市八掌溪及蘭潭地區生物資源調查計
畫成果報告書。未出版之研究報告。嘉義：國立嘉義大學。
10. 鄭偉群、林雅玲、劉威廷、蘇維翎、黃于玻，2018，野生動物

受困人工結構物初探，自然保育季刊第 102 期，24-35。

11. Collinge, S. K. 1996, Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning, *Landscape and Urban Planning*, 36(1):59-77.
12. Edelhoff, H., Signer, J. & Balkenhol, N. 2016. Path segmentation for beginners: an overview of current methods for detecting changes in animal movement patterns. *Movement Ecology*, 4:21.
13. Jackson, S.D., D.J. Smith, & K.E. Gunson. 2015. Mitigating road effects on small animals. In: K.M. Andrews, P. Nanjappa, S.P.D. Riley (eds.). *Roads and Ecological Infrastructure: Concepts and Applications for Small Animals*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins Press.
14. Langen, T.A., K.M. Andrews, S.P. Brady, N.E. Karraker, & D.J. Smith. 2015. Road effects on habitat quality for small animals. In: K.M. Andrews, P. Nanjappa, S.P.D. Riley (eds.). *Roads and Ecological Infrastructure: Concepts and Applications for Small Animals*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins Press.
15. Rolf Holderegger, Manuela Di Giulio, 2010, The genetic effects of roads: A review of empirical evidence, *Basic and Applied Ecology*, 11(6):522-531.

附錄

附錄一、實驗物種飼養狀況



附錄二、黃灰澤蟹水平爬行軌跡圖



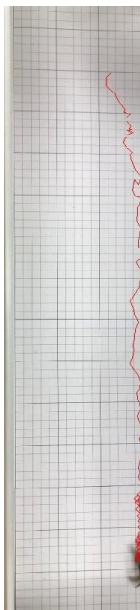
1-1



1-2



1-3



2-1



2-2



2-3



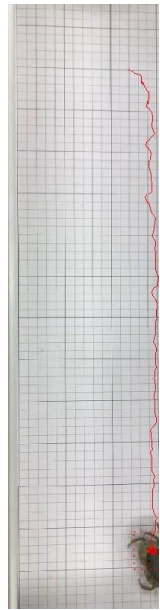
3-1



3-2



3-3



4-1



4-2



4-3



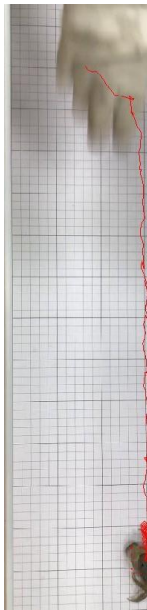
5-1



5-2



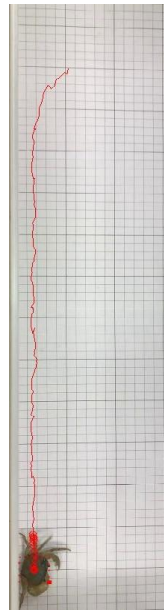
5-3



6-1



6-2



6-3



7-1



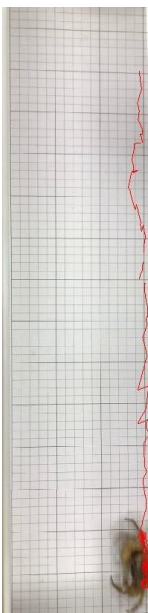
7-2



7-3



8-1



8-2



8-3



9-1



9-2



9-3



10-1



10-2



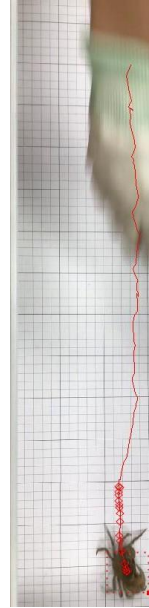
10-3



11-1



11-2



11-3



12-1

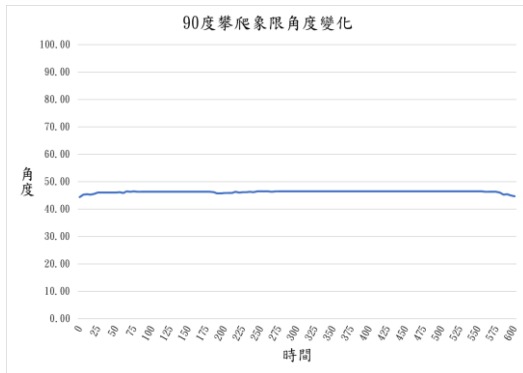


12-2

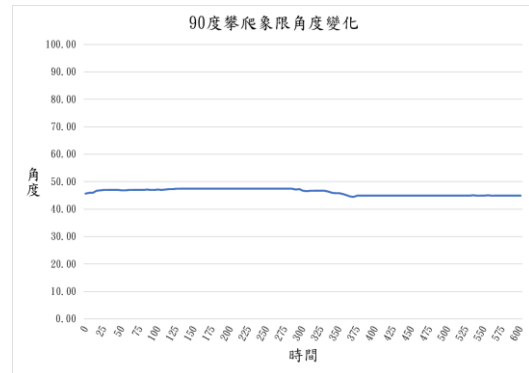


12-3

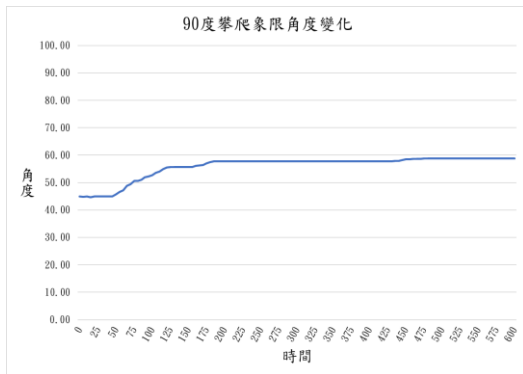
附錄三、基盤實驗象限角度變化圖（台灣南海溪蟹）



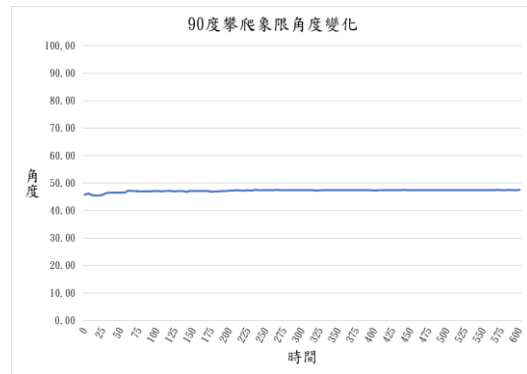
1



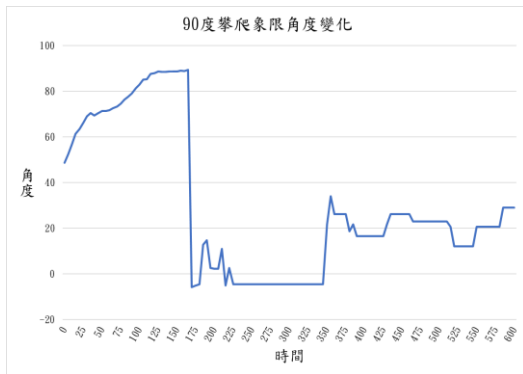
2



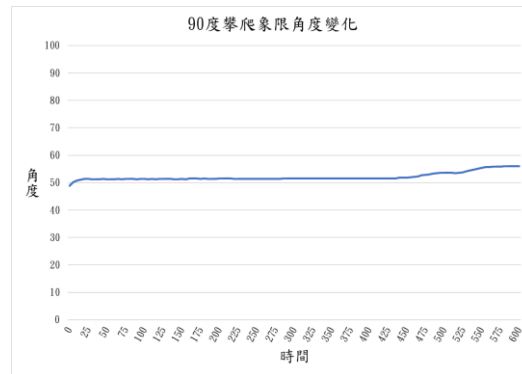
3



4



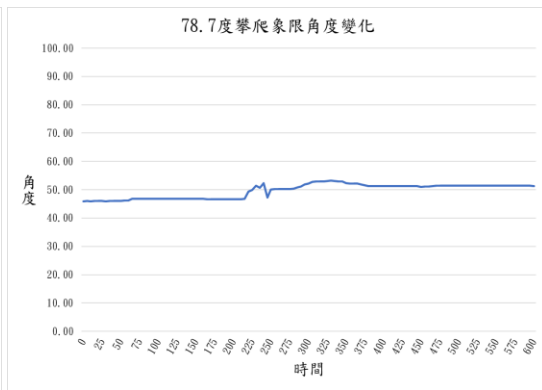
5



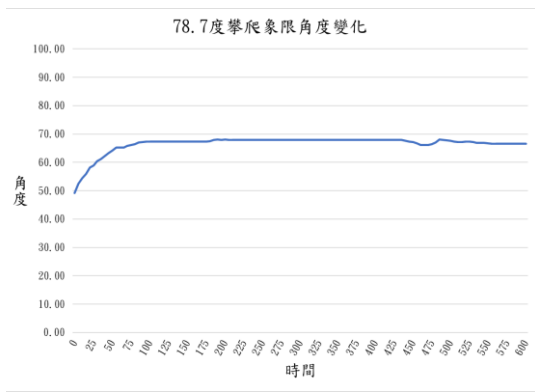
6



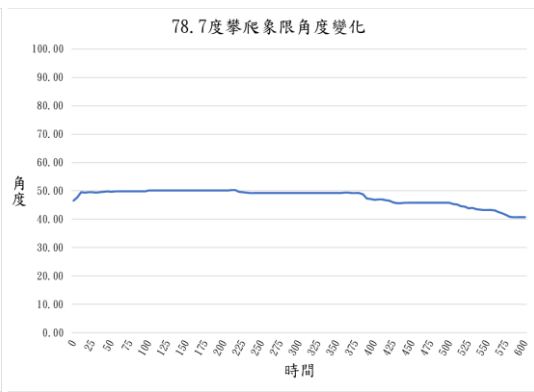
1



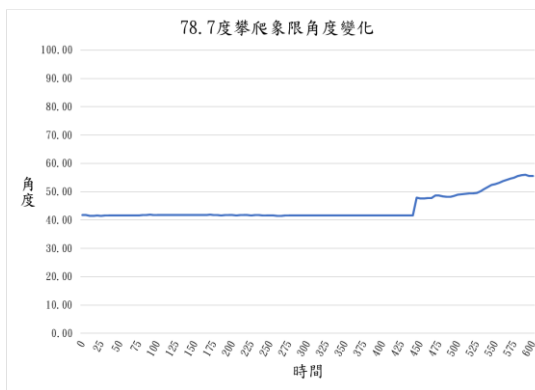
2



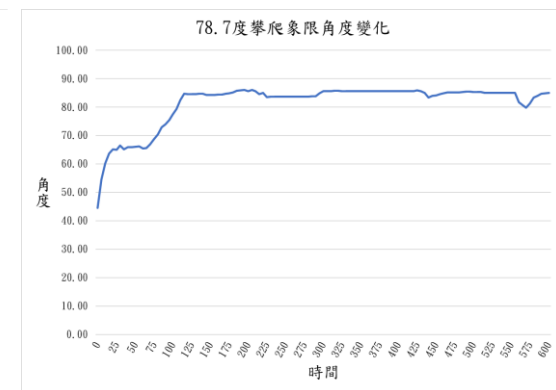
3



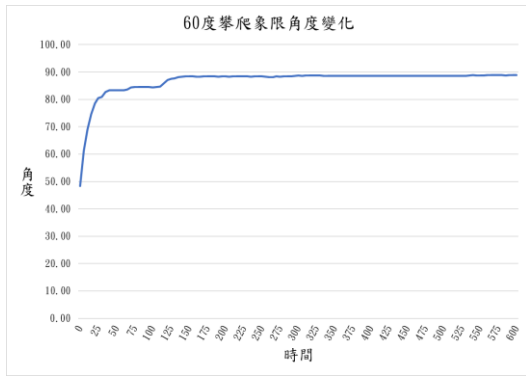
4



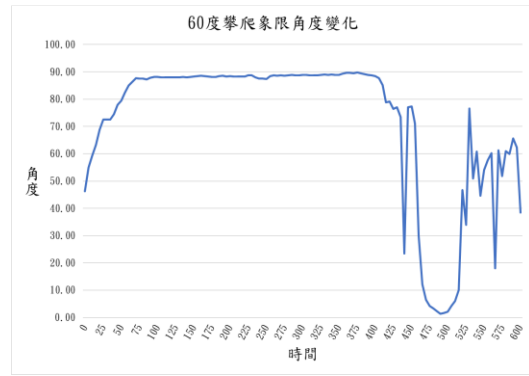
5



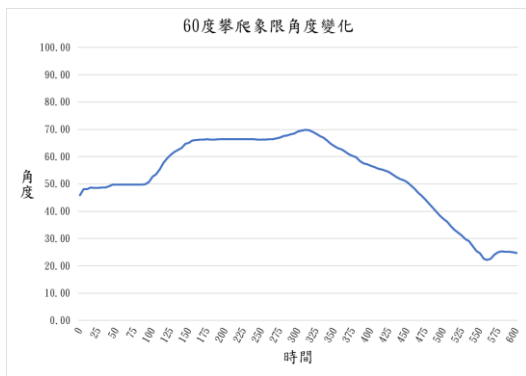
6



1



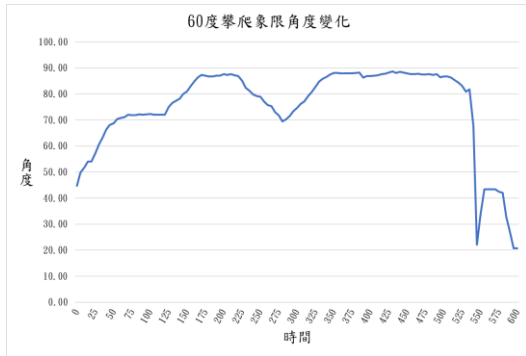
2



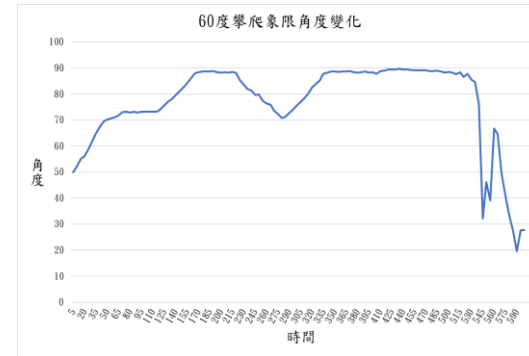
3



4

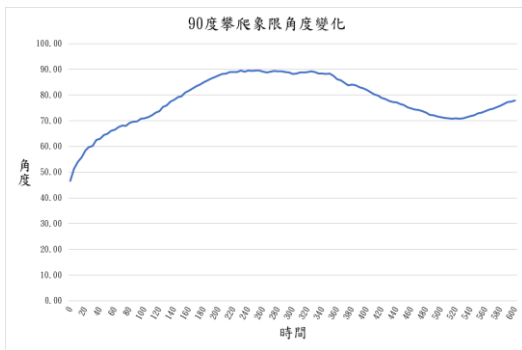


5

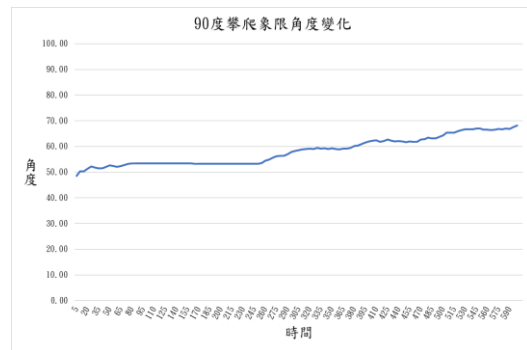


6

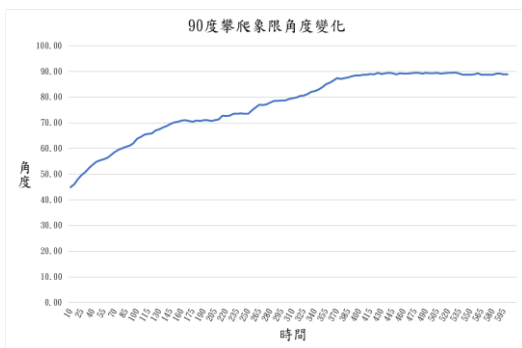
附錄四、基盤實驗象限角度變化圖（黃灰澤蟹）



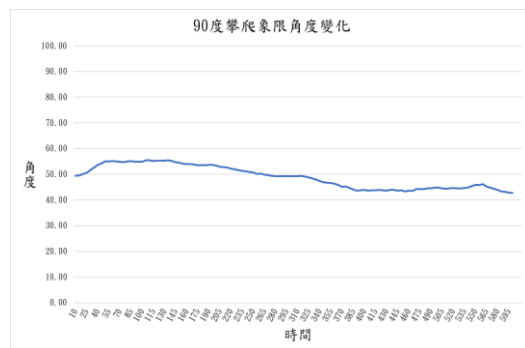
1



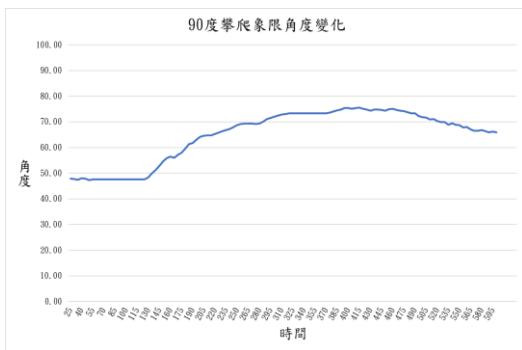
2



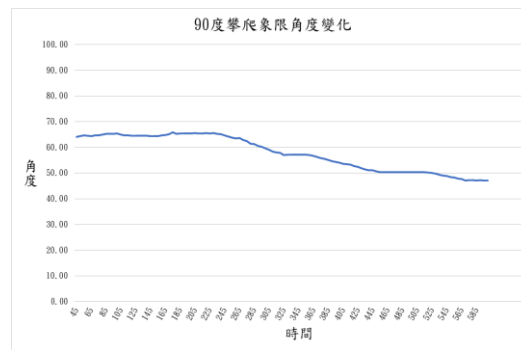
3



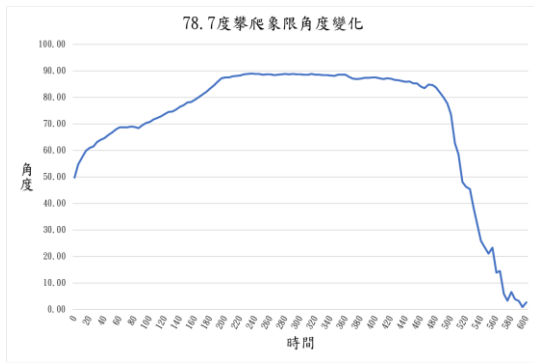
4



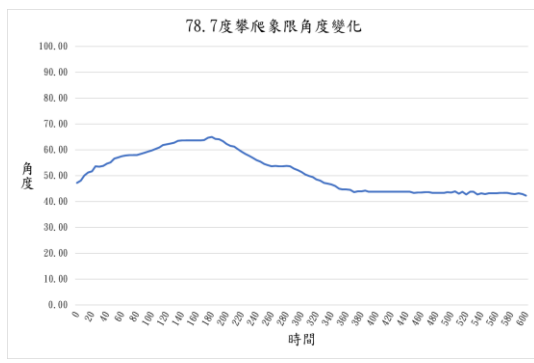
5



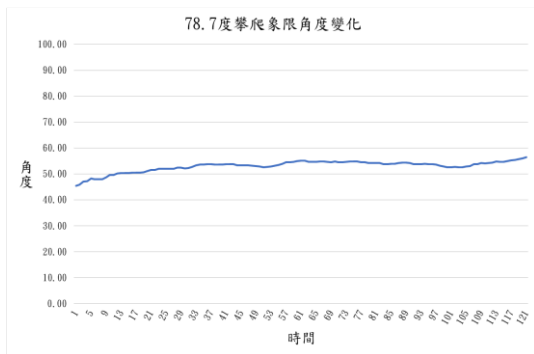
6



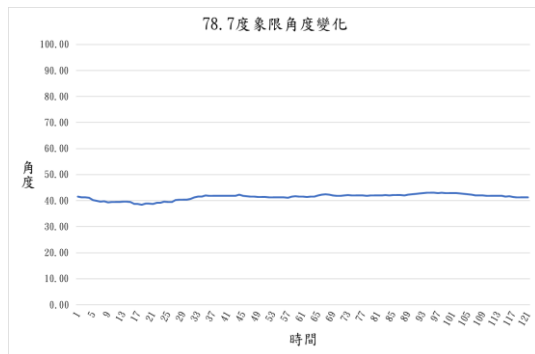
1



2



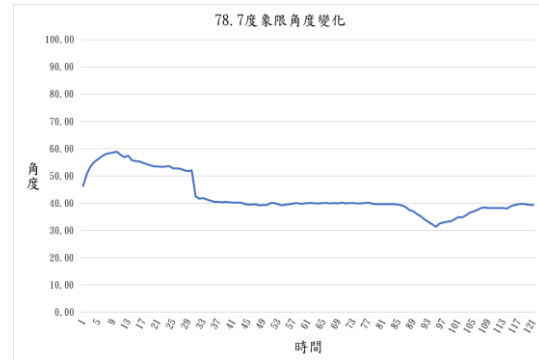
3



4



5



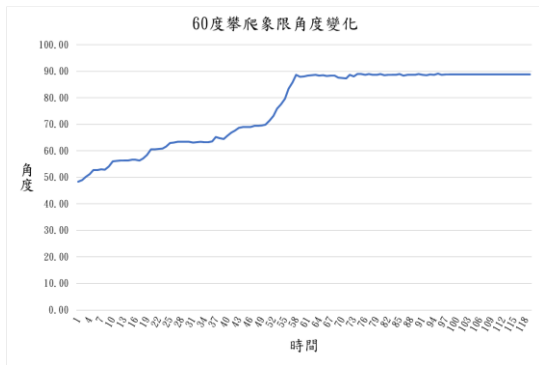
6



1



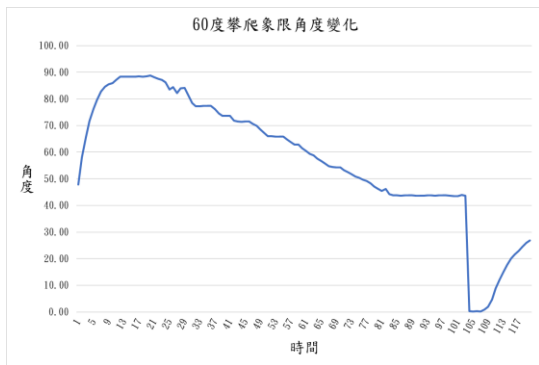
2



3



4



5



6

附錄五、提案審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(2/25)	提案報告修正說明
報告內容審查意見：			
一	本計畫請以補助經500 仟元調整編列。	感謝委員意見，遵照辦理。	
二	本年度執行期限請修正為自 110 年 1 月 27 日至 110 年 12 月 31 日。(11.1 個月)。薪俸、保險、退休離職儲金、主持人費、兼任研究助理，請以計畫執行期限 11.1 個月內編列。年終獎金亦配合計畫期限比例調整。	感謝委員意見，遵照辦理。	
三	研究選擇蟹與蛇，不同動物有不同攀爬需求，如何得到最佳的牆壁紋路。	感謝委員意見，本計畫設想如下：以適合蛇與蟹的紋路為例，蛇類攀爬需要間距較寬、厚度較高的突出物，而蟹類則需密度高、厚度相對較薄的縫隙即可攀爬，故可在蛇類紋路的間距中同時鑿刻出適合蟹類的紋路。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(2/25)	提案報告修正說明
四	牆壁紋路應考慮，適用的工程構造物有哪些。	感謝委員意見，本計畫主要考量水泥制之排水溝、蓄水池、擋土牆等野地中大型的水泥工程結構物。	
五	本計畫延續性研究，建議增加目前市售造型模不同紋路，進行動物(多樣性)運動行為分析，以利提出改善造型模紋路設計依據。	感謝委員意見，由於時間與經費限制，本計畫預計於後續計畫進行野地實驗，並連同市面造型模板進行比較。	

附錄六、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
報告內容審查意見：			
一	運動行為分析的實驗設計，在報告書中未說明基盤為水平、傾斜角度或垂直，實驗初始是將目標動物放置於中央或下方，誘餌盤是將誘餌放置於基盤哪些點位，請詳細說明此實驗的流程步驟及材料設備，及如何量化分析不同動物其趨性、向性、移動距離的差異。	感謝委員意見，攀爬實驗共有三種角度（90度、78.7度、60度），起點為中央，餌料將會平均塗抹在四周。 實驗流程步驟與分析方式已補充在第二章第三節實驗設計中（見 p2-14）。	
二	在垂直攀爬實驗的實驗設計，自變項為輔具類型，請詳細說明不同輔具類型其設計參數的差異，如停留點間距大小、厚度、密度等，以及說明預計實驗的次數，因實驗結果需以一定量的實驗數據為基礎。	感謝委員意見，實驗自變項更變為基盤角度。紋路設計為深 5mm，高 10mm，寬 10mm 方格，交錯排列，橫排間距 1.5mm，直排間距 10mm（見 p2-15）。實驗採重複量測同組樣本攀爬三種角度。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
三	在垂直攀爬實驗的實驗設計，完成時間越短並不一定表示該項輔具類型就比較容易攀爬，動物可能沒有完成攀爬，「是否完成攀爬」可能才是生態友善邊壁的重點，且此實驗是否有放置誘餌吸引動物移動，請詳細說明此實驗的流程步驟及材料設備。	感謝委員意見，樣本需完成 50cm 距離方才列入計算，若不達標則記錄為失敗，在垂直攀爬實驗中誘餌效果不顯著，因此會以接觸來刺激移動。	
四	在第 3-20 頁，「每隻個體進行一次實驗完畢後將確保休息滿 3 分鐘」，是否有參考相關文獻指出蟹及蛇休息 3 分鐘即不影響下一次實驗結果。	感謝委員意見，經文獻回顧已將休息時間更改為 30 分鐘。	Full & Herreid (1984)對大西洋砂招潮(<i>Uca pugilator</i>)的研究中提到在修復期，耗氧量與乳酸排除會在 30-45 分鐘內恢復至運動前期的狀態。
五	請補附參與研究人員學經歷及人力配置、分工。	感謝委員意見，已補充在第三章第三節（見 4-2）。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
六	報告書請兩面列印。	感謝委員意見，遵照辦理。	
七	P3-1 目前水保局工程已無三面光設計，且面材非平滑無紋路，建議修正內容。	感謝委員意見，遵照辦理。	
八	緒論提及「本計畫的目標是建構小型動物的邊坡設計與施工原則」，後續內容皆無施工原則相關探討，建議修正或補充說明。	感謝委員意見，施工原則與相關探討將在結果與討論章節進行說明。	
九	實驗物種選擇之黃灰澤蟹及王錦蛇減少原因似乎與構造物邊壁無關聯，建議補充說明挑選該物種與計畫之關聯。	感謝委員意見，澤蟹有同流域遷徙需求，王錦蛇為台灣淺山常見蛇類，皆易受人工環境影響之物種。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
十	P3-17 是否能補充爬行的材質是否會影響動物爬行意願之探討。	感謝委員意見，基於實驗限制，材質均以3D 列印線材為主，若考慮實際情況需重新施作實驗材料。	
十一	P3-19 圖 3-1 之圖與說明跳頁，請調整。	感謝委員意見，遵照辦理。	
十二	P3-20 控制變項包含攀爬距離，因動物無法控制移動行為，是否能有效控制？抑或是修正為攀爬高度？	感謝委員意見，攀爬距離即攀爬高度為50 公分，目前控制方式為觸碰個體刺激移動。	
十三	試問當以連續式或預鑄組合式等不同型式構造物建構後，因具有不同壁紋，研究上選擇何者？	感謝委員意見，目前紋路是根據動物運動行為所設計，未來將考量實際施作時的材質與工法因素。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
十四	補充說明動物試驗之數量及其代表性如何決定。	感謝委員意見，試驗數量因採樣限制而定，澤蟹與蛇類皆為台灣原生種。	
十五	運動行動模式是否有量化判斷基準以資分類？	感謝委員意見，已補充於第二章第三節之五（見 p00）。	
十六	攀爬距離與角度是否應設為自變因，以便判斷其有效性？	感謝委員意見，攀爬距離為 50 公分，攀爬角度更為自變項，攀爬時間為依變項。	
十七	本年度計畫係延續 109 年成果之檢討改善設計，並無新增試驗方法與預期產出成果描述請修正，以利檢視。	感謝委員意見，已補充於第二章（p00）與第三章（p00）。	
十八	宜納入瞭解試驗動物之移動、覓食、追獵、求生等仿生行為情境設計以符實況。	感謝委員意見，實驗過程將以人為觸碰作為刺激，模擬野外受干擾之情境。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(7/28)	期初報告修正說明(7/28)
十九	所述本計畫實驗地點，多處高聳擋土牆、排水溝不利蛇蟹爬行，類此情境即符合本計畫之試驗需求，宜考量是否於實驗地點擇適當棲地實施簡易監測或觀察並回饋比對試驗成果。	感謝委員意見，由於實驗限制，野地實驗將列入後續執行計畫。	
二十	檢視附入二(附 2~附 7)黃灰澤蟹水平爬行軌跡圖似乎期長向移動路徑均靠邊緣亦值得深入探討。	感謝委員意見，野生動物如蟹類與蛇類對於陌生環境或物體較為敏感，因此移動時常會緊靠角落或壁面以尋求防護與逃脫機會。	

附錄七、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(11/15)	期中報告修正說明(11/15)
報告內容審查意見：			
一	本計畫花了大量的時間飼養及 3D 列印實驗環境並進行紀錄實驗，唯目前報告書第三實驗結果卻僅止於討論移動時間，與期待較有落差，希望能就現有所蒐集到的資料(如移動軌跡)進行更多元、深入的分析與討論。另於，實驗於執行時是否能增加有餌料誘因及無餌料誘因(或非餌料誘因之刺激)移動時間或軌跡之比較。	感謝委員意見，期末報告第三章已加入移動軌跡分析、完成時間、完成距離和個體行為差異描述。唯獨餌料部分，因實驗物種並非高度馴化種，實驗操作時多處於不安穩地狀態，無法順利地執行餌料誘導，因此不將餌料納入自變項。	
二	後續邊壁紋路建議參考實際工程護岸的紋路，以供實務設計之參考，如砌石護岸、枝幹式護岸、生態槽護岸等。	感謝委員意見，實驗預設之工法為垂直型的預鑄混凝土塊。	
三	3D 列印的邊壁為何種材質？是否可採混凝土材料或水泥砂漿配合不同紋路試驗。	感謝委員意見，3d 列印材質為聚乳酸(Polylactide, PLA)線材。若需製成混凝土材質將需要增加翻	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(11/15)	期中報告修正說明(11/15)
		模、灌漿等工序，在經費、人力、時間上皆有所限制，因此無法列入本期計畫。	
四	5 個試驗個體，其代表性是否是否充足？建議在動物個數有限的情況下增加試驗的次數，並紀錄各別個體在攀爬方式、攀爬路線上的差異。	感謝委員意見，本次實驗個體已在多組不同的角度上進行攀爬，因考慮個體壓力承受問題，故不進行多重複實驗。	
五	表 3-3 建議補充說明編號意思。	感謝委員意見，已對表格進行修正（表 3-4 蟹類垂直攀爬完成時間）。	
六	請補充說明黃灰澤蟹有 7 隻實驗樣本，但只有 6 隻的攀爬紀錄。	感謝委員意見，由於該個體在前置實驗後已死亡，故無法納入後續的實驗中。	
七	實驗流程包含 90 度、78.7 度、60 度，實驗結果卻僅記錄 90 度，請補充說明原因。	感謝委員意見，三種角度的基盤實驗已補充在期末報告第三章第三節（頁 3-15）。	

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形(11/15)	期中報告修正說明(11/15)
八	建議實驗結果以比較不同角度間之差異，而非不同物種間之差異。	感謝委員意見，實驗結果會顯示不同角度下的移動距離差異，也同樣將比較不同物種的差異。	
九	附錄僅有黃灰澤蟹之爬行軌跡，建議補附南海溪蟹之爬行軌跡，並說明各組間爬行條件之是否有差異。	感謝委員意見，垂直攀爬軌跡已補充在第三章第二、三節。(頁 3-4,3-5,3-22~26) 垂直攀爬同為 90 度 50 公分距離，基盤攀爬則為三種角度，相同範圍和相同時間(600 秒)。	

附錄八、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	提案審查意見	提案修正回覆辦理情形	期末報告修正說明(12/22)
報告內容審查意見：			
一	請教各種網紋設計規格及尺寸設計，是否有所依循或符合蛇蟹類習性？	感謝委員意見，本計畫紋路原型係經由 109 年度計畫對此二實驗物種進行運動行為觀察所設計，蛇類以常見之蛇形 (serpentine) 運動，蟹類則以四足交替步態 (alternating tetrapod gait) 前進。除了蟹類的上下間距 (15mm) 外，其餘細部尺寸仍有待進一步實驗找出最佳方案。	
二	螃蟹的攀爬模組是 3D 列印的，後續有無實際應用的想法。	感謝委員意見，初步的構想是以 3D 列印模組之後再進行翻模，後續便可灌漿量產。目前市面已有不少混凝土列印的案例但僅限於大量體結構，而混凝土線材在家用列印機上的含量仍無法等達到建築用料的程度。	