

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

佳作

030304

陸遙知馬力——山蛭傳

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者： 國二 江予晴 國二 李苡榛 國二 張甯晴	指導老師： 葉玉君 林柏宗
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：行走模式、波長、佔空比

摘要

福爾摩沙山蛩(*Spiroboldus formosae*)，分布於台灣北部低中海拔地區，為台灣特有種，棲息在潮濕腐質土或是爛掉的木頭中。馬陸在成長過程中，體長會增加，但體節數不變。大部分的福爾摩沙山蛩體節數在 56-62 節之間。每節有四隻(兩對)步足，尾部一節沒有步足的，雄馬陸除此節外，第七節也因生殖器而沒有步足，雌蟲步足公式： $(體節數-1) \times 4$ ；雄蟲步足公式為： $(體節數-2) \times 4$ 。高強度震動 15 分鐘後，馬陸鑽土的深度從平均值 5 公分變成 7.375 公分。馬陸為間歇性行走，雌雄無差。不同介質對於馬陸的行走並無太大影響。介質傾斜角度對於馬陸有非常大的影響，到 0 度以後速率明顯下降，D 的速率在 90 度時甚至接近 0。

壹、前言

一、研究動機

馬陸因為下雨潮溼等因素大遷徙時，常被誤認為「是不是要大地震了？」許多人看到馬陸的第一反應是害怕，其實牠們是生態系中的重要角色:腐食者。在爺爺家附近發現了福爾摩沙山蛩 *Spiroboldus formosae*，帶去學校發現大家都不認識這個物種，認為馬陸怎麼會這麼大隻?或是認成蜈蚣。馬陸在不認識這個物種的人眼裡都是長一樣的，所以我們開始研究，希望透過實驗改變民眾的認知。

二、研究目的

- (一)探討福爾摩沙山蛩的身體構造和習性
- (二)探討福爾摩沙山蛩的喜好食物
- (三)探討震動和濕度對福爾摩沙山蛩棲息深度的影響
- (四)探討福爾摩沙山蛩的行走模式

三、文獻回顧

福爾摩沙山蛩(*Spiroboldus Formosae*)，旋刺馬陸屬，為台灣特有種，分布在北部低海拔地區，平時棲息在潮濕腐質土、落葉或是腐爛的木頭中，以此為食。

(一) 踩著波浪舞步的千足蟲---磚紅厚甲馬陸

磚紅厚甲馬陸為一年一世代物種，繁殖季集中於每年 10 至 12 月。幼期經六次蛻皮成長，每次增加約七體節與兩對步足。多棲息於土壤下層，具分解枯葉與促進土壤鬆化之功能。僅於繁殖期現身地表。其體側腺體可分泌具防禦功能之酸性物質，對部分捕食者具趨避效果。

(二) 「馬陸」三寶—探討小紅黑馬陸的棲地、動物行為與族群生態

台灣原生種小紅黑馬陸棲息於潮濕腐質土中，常呈叢生分布，偏好落葉層下環境。隨齡數增加，其棲息深度亦隨之加深。成蟲具正趨地性與負趨光性，且複眼避光反應隨齡數增強。對水分的耐受性，成蟲高於幼體。遭遇乾燥粉末時會迴避，但對具刺激氣味之植物反應不明顯。遇驚擾時常捲曲成環或排泄。成蟲對土壤震動無明顯反應，發生期集中於夏初，喜食腐爛水果。步足數依體節數計算，公式為： $(體節數 \times 4) - 18$ 。族群性別比例顯示雌性佔 80.2%。交配旺季在夏末，幼期經八次蛻皮約一年成蟲。其複眼由單眼構成，單眼排列與齡期有規律關係。生存曲線屬平均死亡率型，蛻皮前體色轉淡，呈螺旋形蛻皮。

(三) Fundamental understanding of millipede morphology and locomotion dynamics.

千足蟲有超強的步態能力，這正是牠們能夠熟練挖洞、產生強大推力的關鍵。牠們會用一波接一波的腳步動作來前進，這種被稱為「行波」的方

式，讓牠們可以靈活地控制行走、爬行或挖洞時的力量和方向。研究人員用一個「準靜態模型」來模擬千足蟲的動作，這個模型的結果和真實觀察到的千足蟲動作，以及仿生機器人的表現都非常一致。這幫助我們更清楚了解千足蟲如何利用特殊的步態來產生行波，進而增強向前的推力，也說明了牠們的身體構造是如何配合不同動作需求而設計的。這些發現不只對生物學有幫助，也能啟發我們打造能在泥沙或障礙地形中移動的小型仿生機器人。

貳、研究設備與器材

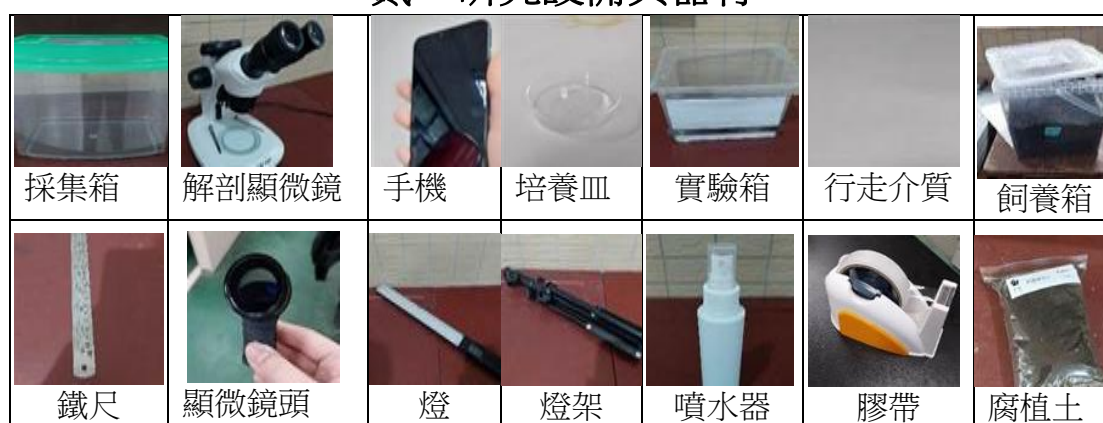


圖 2-1-1

參、研究過程與方法

一、探討福爾摩沙山蛭的身體構造和習性

(一)身體構造

1、長寬高、體節、步足

將馬陸(樣本數:53)和尺放在一起拍照，側邊(長、高、體節)、頂部(俯瞰)各一張(寬)，用 imageJ 測量長寬高。用照片數馬陸的體節數，並以每體節四隻腳、部分體節的概念推算出步足公式，並將結果記錄在 Excel 算平均及標準差。

2、頭部

使用手機加裝顯微鏡頭拍攝馬陸頭部構造。

3、軀幹部

觀察馬陸軀幹部外觀並拍照或上網找文獻。

4、步足

使用解剖顯微鏡和影印機掃描功能觀察步足的外觀和分布，且我們發現體節數跟步足數量是有關係的，進一步去觀察並找出規律。

(二)生物分類、地位及棲息環境

1、生物分類及地位

上網搜尋福爾摩沙山蛭的生物分類與生物地位。

2、棲息環境

分別在早上(9 點)、下午(3 點)、晚上(9 點)、是否有下過雨，去同一地點尋找福爾摩沙山蛭，並觀察牠們主要棲息在哪些環境及什麼時段最容易出現。

			
落葉堆中的馬陸	爛木頭中的馬陸	鑽進土裡的馬陸	在地上爬的馬陸

(三)防禦行為

在日常觀察和做實驗時，馬陸有時會爬到較光滑的地方，容易摔落;將馬陸抓起時也會捲起身體，發現馬陸出現防禦行為，於是我們觀察了從高處摔落、被從身體一端抓起、碰到觸角後馬陸的行為。

二、探討福爾摩沙山蛩的喜好食物

(一)製作裝置

用美工刀在紙箱側邊切割出六個孔，在瓶子裡裝入食物，再卡到紙箱孔洞中。

(二)使用食物

		
腐質土(原生地主食)	蘋果(平常會餵食)	橘子(柑橘類)
		
棗子(類似蘋果口感)	香蕉(軟，味道濃烈)	西洋梨(比蘋果軟)

(三)實驗方法

1、每隔 45 分鐘觀察一次(下課觀察)

2、放入 9 隻馬陸

三、探討震動和濕度對福爾摩探沙山蛩棲息深度的影響

(一)土壤震動

準備 34 公分(長)×27 公分(寬)的透明觀察箱，填入 10 公分厚的土壤，選取 20 隻體型相近的馬陸個體(5 雄 15 雌)置入箱中先適應 3 天。先標記土壤原本深度的位置(深度 0 公分)，撥開土壤直到看到馬陸，記錄初始潛土深度(Z 軸)及在箱

內的水平位置(X、Y)，並通過第七節是否突起辨別性別(雄性因生殖構造而突起)。接著依序進行小、中、大三種震動模式，每種處理間隔至少 1 小時靜止期。小震動以每秒 1 次頻率水平推移箱體 1 公分，持續震動 30 秒後靜置，於震後 0、15、30 分鐘分別測量個體的三維空間位置(X、Y、Z 軸)；中度震動改以每秒 5 公分速度推移箱體，連續震動 30 秒，分別在震後 0、15、30 分鐘記錄立體座標；大震動則以每秒 10 公分推移距離震動 30 秒，並於相同時間點重複量測。所有測量均透過箱體側面座標網格(1 公分間隔)及深度定位，同時維持環境恆定。實驗結束後，將數據按震動強度、時間梯度及性別分組，特別針對雄性(5 隻)與雌性(15 隻)的水平遷移範圍、垂直潛土深度變化進行對比統計，分析馬陸在震動刺激下的空間分佈策略。

(二)土壤濕度

準備 34 公分(長)×27 公分(寬)的透明觀察箱，裝入 2500 克初始 pH 值 7.7 的乾燥土壤，壓實為 10 公分厚土層，將 20 隻馬陸(5 雄 15 雌)置入箱中適應一晚。翌日記錄個體初始潛土深度(Z 軸)及箱內三維位置(以左下角為原點標註 X-Y 軸座標，並透過第七節是否突起確認性別)。隨後進行溼度梯度處理：每隔 1 小時均勻加入 750 毫升蒸餾水於土表，靜置 1 小時後，同步測量土壤溼度、pH 值變化，並定位每隻馬陸的三維座標。此加水流程重複 5 次，累積總加水量達 3750 毫升，實驗過程中，重點觀察乾燥土壤與逐次增溼條件下，馬陸的垂直遷移趨勢(Z 軸深度增減)及水平位移範圍(X、Y 軸座標變化)，並同步分析溼度與動態關聯性。數據記錄格式與震動實驗一致，包含性別、三維座標及環境參數。

四、探討福爾摩沙山蛩的行走模式

因馬陸行走時，同體節左側與右側步足同步，所以我們將只討論其中一側。在這些實驗中，我們將主要使用此兩隻馬陸：

性別	編號	全身圖	體節	體長
公	A		59	8.7
母	D		59	10.6

表 3-3-1

他們體節、體長相近，只差在雌雄，但 A 速度較 D 快。

設置四種介質（紙、木頭、壓克力、玻璃）與六種角度（0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°、180°）。介質以 0 度為例，大致環境如表 3-3-1 所示。

白紙	木頭
	
壓克力	玻璃

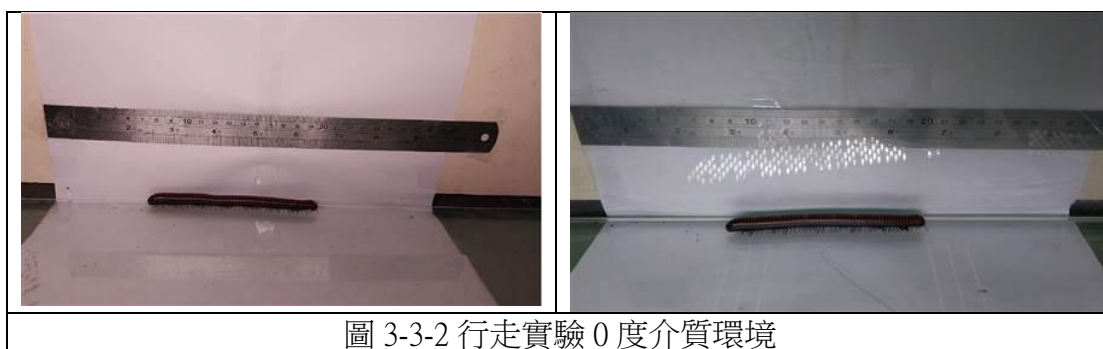


圖 3-3-2 行走實驗 0 度介質環境

用量角器確認角度後將介質固定，為了讓數據準確，手機也會擺放與介質相同的角度進行拍攝。

(一)行走趨勢

本實驗使用 Tracker 進行分析。設定一影格為 1/30 秒，點擊 150 個影格，一隻馬陸設定六個點，以 A 為例，體節 59-5（尾部一節沒有腳，頭部一節、尾部兩節腳藏在裡面不參與行走。） $=54$ ， $54/6=9$ ，以頭部有腳的第一個體節從左數 9，標記質量 A，再從質量 A 數 9 個體節標記質量 B，以此類推，直到質量 E，質量 F 為末足，皆標註步足的最末端。我們將探討以下三個小主題：1、行走模式，2、不同介質，3、不同角度

<p>點擊新增→校正桿</p>	<p>將校正桿拉到鐵尺刻度一公分的位置</p>
<p>再點擊軌跡 Track→新增→質點</p>	<p>按下 ctrl+shift 點擊欲追蹤的步足</p>
<p>圖 3-3-3 Tracker 使用步驟</p>	

(二)波

如圖 3-3-3 所示，馬陸行走時會抬起一段一段的腳，且這一段會持續向前傳遞。若將這行為視為一種波的傳遞，則會發現這類似於疏密波：最密的地方（抬起的步足湊在一起）為波峰；最疏的地方（步足無抬起在介質上）為波谷。以此基礎進行實驗。



圖 3-3-4 編號 D 馬陸行走

1、抬起一段腳的總數

點進 tracker，取隨機一格影格，數「馬陸總共抬起幾段腳」。使用的影片為 A 與 D 的全部。

馬陸腳抬起的情況為同時點好幾段一起抬起。

(1) 波長

點進 Tracker，取隨機一個影格，取其中兩段抬起的腳，以該段中抬最高的步足為波峰，兩段中的波峰連起來即為波長（如圖 3-3-4）。使用的影片為 A 與 D 全部。



以編號 F 作為範例，因馬陸抬起腳時有明顯的一段，所以使用 tracker 中的量尺測量一段中從頭數過來第一隻腳與最後一隻腳的總長度。將此結果設為一個波長（ λ ）。

因為馬陸抬起腳時是一段一段的，當一隻步足抬起來時其他隻較為靠近的步足也會抬起來。所以，我們將「馬陸在某一時間點抬起的腳的總長度」設為一個波長，並進行分析。

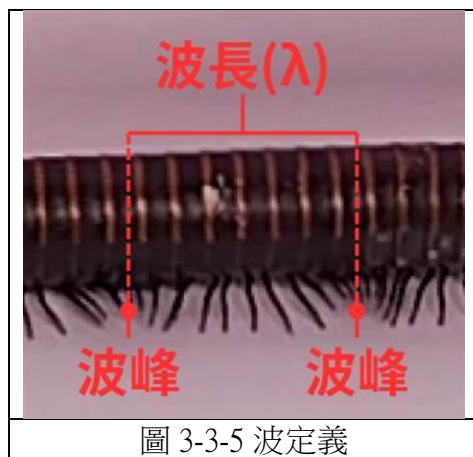
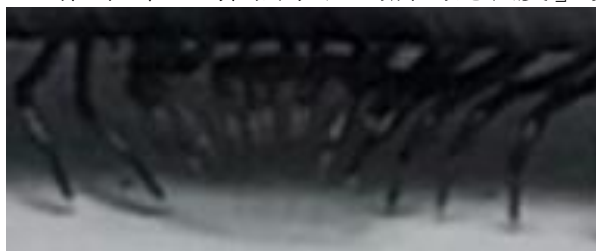


圖 3-3-5 波定義

(2) 波速

點進 Tracker，取一個影格，取其中一段抬起的腳，以該段中抬最高的步足為波峰，並使用追蹤器追蹤該步足，追蹤 30 格影格，計算從第 1 格到第 30 格的距離，從此算出波峰一秒總前進的距離（即為波速）。使用的影片為 A 與 D 全部。

（三）占空

影片中取 150 格影格，並數總抬起的腳，並計算該影片數據的平均數。使用的影片為 A 與 D 的全部。

我們發現，在馬陸行走的過程中，會有些腳往上抬，所以我們很好奇在不同時間點內馬陸抬起的腳佔全部腳的比例。

首先，先算出馬陸的體節，而馬陸約每個體節均有 2 對腳，一對為兩隻，最後三節和頭部兩節沒有腳，因此總腳數大約為 $(\text{體節數}-5) \times 2 \times 2$ ，但因拍攝影片時僅有拍攝馬陸的一面，也就是另一面的腳並不會拍到，所以僅需 $\times 2$ 再即可。

A=60 節， $(60-5) \times 2 = 110$ ，B=60 節， $(60-5) \times 2 = 110$ ，C=60 節， $(60-5) \times 2 = 110$ 。

D=56 節， $(56-5) \times 2 = 102$ ，E=59 節， $(59-5) \times 2 = 108$ ，F=60 節， $(60-5) \times 2 = 110$ 。

接著打開 tracker，選擇一個時間點截圖，在一秒後再次截圖，直到截到第五張圖。數在第一秒到第五秒抬起的腳數，再以抬起的腳數 $\div [(\text{體節}-5) \times 2]$ ，並將結果四捨五入到小數點後第三位，以此算出佔空比。

肆、研究結果




一、探討福爾摩沙山蛩的身體構造和習性




(一)身體構造

1、長寬高、體節、步足(單位:cm，數據四捨五入至小數點後兩位)

	長度	寬度	高度	體節	步足
平均	11.23 \pm 1.14	0.72 \pm 0.10	0.76 \pm 0.08	58.43 \pm 1.12	228.15 \pm 4.64

表 4-1-1

編號	A	B	C
馬陸照片			
長/寬/高(cm)	10.5/0.6/0.6	11.0/0.6/0.7	13.5/0.7/0.7
體節數量	60	60	60
步足數量	220(110 對)	220(110 對)	220(110 對)
編號	D	E	F

馬陸照片			
長/寬/高(cm)	9.2/0.7/0.6	12.0/0.8/0.8	8.7/0.5/0.5
體節數量	56	59	60
步足數量	204(102 對)	216(108 對)	220(110 對)

2、頭部

		
觸角在複眼下面	觸角有六節	口器在第二節

圖 4-1-1

3、軀幹部

- (1)第七節:根據網路文獻及觀察,雄蟲的第七節因生殖構造而突起,雌蟲則無。
- (2)半紅環:代表有顏色的環並非環繞全身,只有在身體上半部有環,福爾摩沙山蛩也有半黃環亞種,但我們沒有找到。
- (3)臭腺:體側(約在環的末端處)有可以分泌驅拒物質的腺體。





			
雄蟲	雌蟲	半紅環	臭腺

圖 4-1-2

4、步足

我們發現步足跟體節數是有關係的，觀察後每節有兩對腳(四隻)，最後一個體節沒有步足，頭部第一節的步足則是藏在口器附近，且不參與行走，推測是輔助進食，而雄蟲第七節因升值構造所以沒有步足。步足末端有白色的倒鉤，能幫助馬陸在岩石、樹幹攀爬。



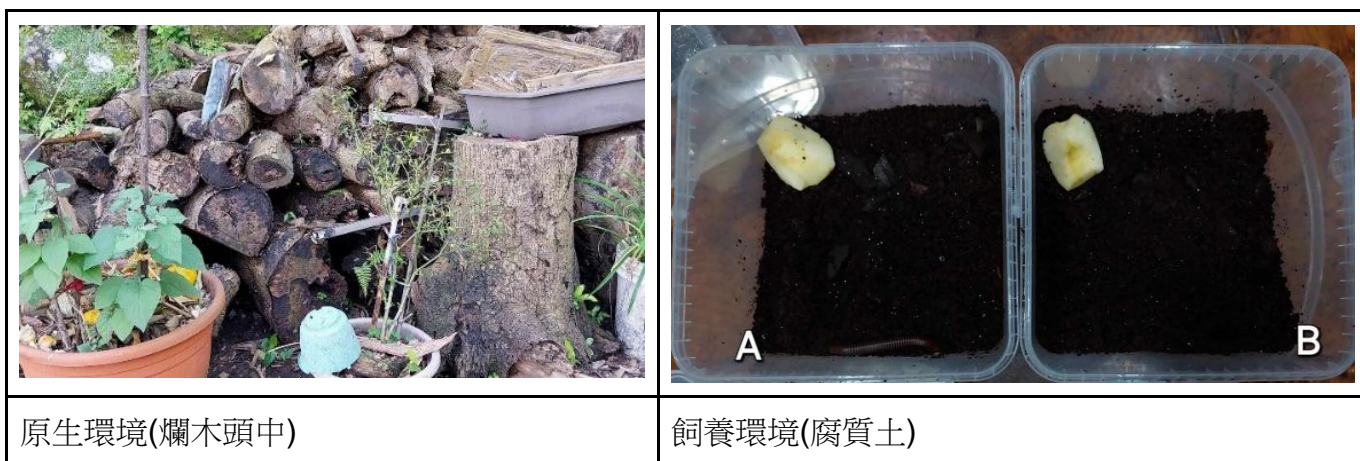
末端白色倒鉤

步足分布

圖 4-1-3

(二)生物分類、地位及棲息環境

根據文獻，福爾摩沙山蛭的生物分類為:動物界、節肢動物門、倍足綱、山蛭目、旋刺馬陸科、旋刺馬陸屬，為台灣特有種，棲息在北部低中海拔地區，屬於腐食者，以腐植質為食，故平時主要棲息在土壤、落葉堆、腐爛的木頭等富含腐植質的地方。我們發現通常在下午 3、4 點到晚上 9 點較常出現，尤其是下過雨後容易看到大量馬陸爬出的畫面。



原生環境(爛木頭中)

飼養環境(腐質土)

(三)防禦行為

當福爾摩沙山蛭受到驚嚇時，可能有以下三種防禦行為:

1、捲曲

將頭部捲在最裡面，身體側邊朝上，因為體側具能分泌驅拒物質的臭腺。

2、驅拒物質

有刺激性的黃色物質，有臭味，碰到皮膚會導致紅腫發炎，在平常的觀察中，我們發現越大的刺激可能導致分泌的驅拒物質顏色越深，根據文獻，驅拒物質中含有一種化學物質:苯醌。



	
驅拒物質	分泌位置

3、排泄行為

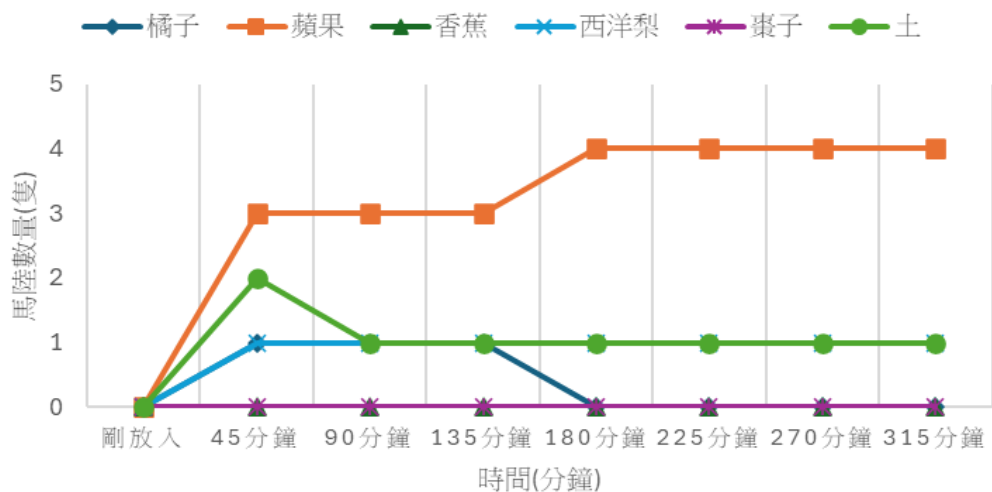
福爾摩沙山蛭受到驚嚇後也有可能出現排泄行為，我們在抓馬陸時發現，原生地剛抓到的馬陸排泄物與我們已經飼養一段時間的馬陸排泄物有所差異。

	
原生地剛抓獲時的排泄物: 較稀、顏色較黃	吃專門用的飼養土一段時間後: 偏橢圓形，像是結塊的土、顏色較黑

二、探討福爾摩沙山蛭的喜好食物

	橘子	蘋果	香蕉	西洋梨	棗子	飼養用土	在外面
剛放入	-	-	-	-	-	-	9
45min	1	3	0	1	0	2	2
90min	1	3	0	1	0	1	3
135min	1	3	0	1	0	1	3
180min	0	4	0	1	0	1	3
225min	0	4	0	1	0	1	3
270min	0	4	0	1	0	1	3
315min	0	4	0	1	0	1	3
產地	全台	中南部高海拔	中南部	中部偏北部	偏南部	網路購買	-

喜好食物



最吸引福爾摩沙山蛭的食物是蘋果和腐植土；最不吸引的是香蕉跟棗子。

三、探討震動和濕度對福爾摩沙山蛭棲息深度的影響

(一)土壤震動

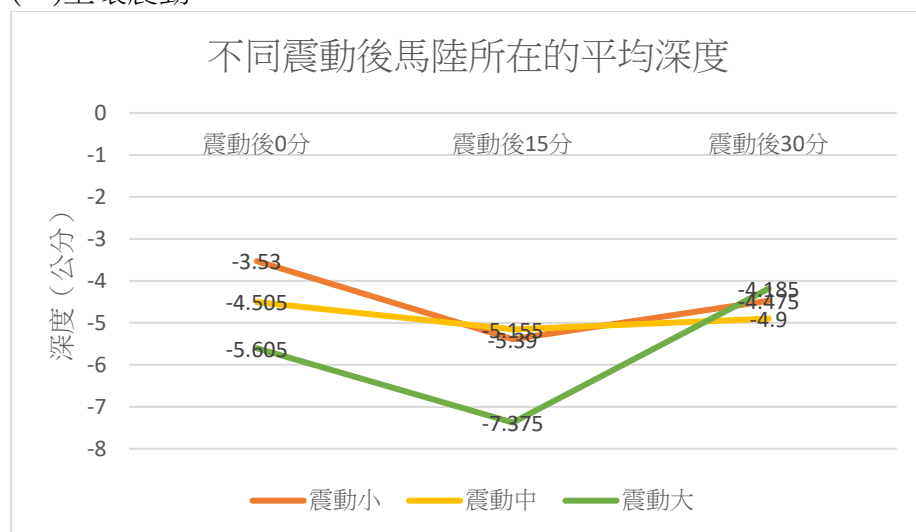
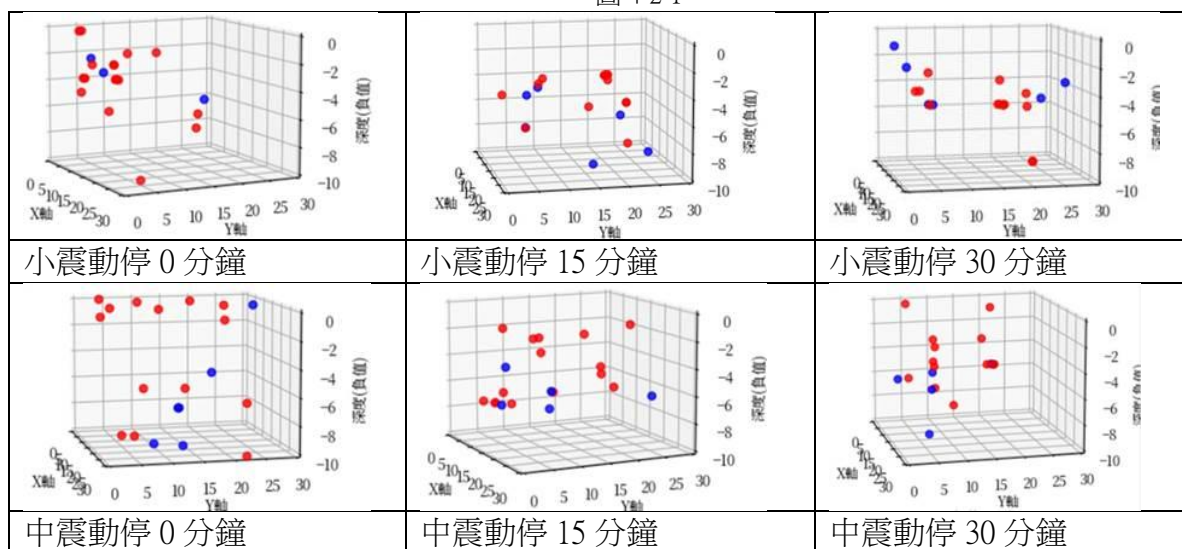


圖 4-2-1



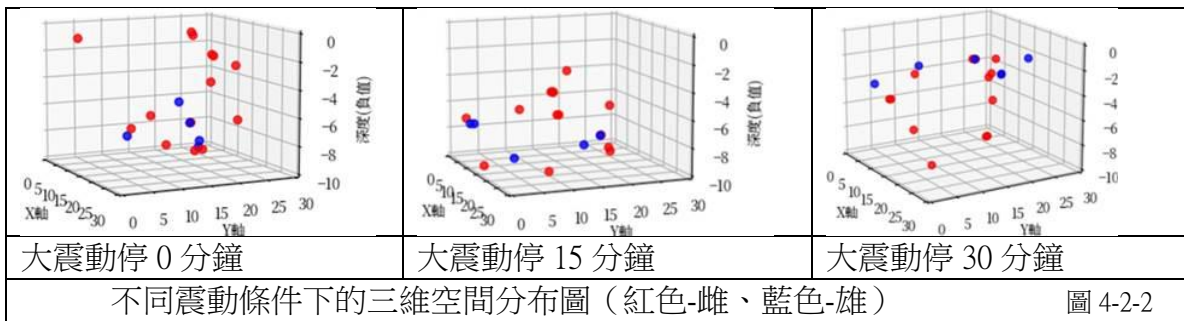


圖 4-2-2

在低強度震動（小震動）與中強度震動條件下，馬陸挖掘土壤的深度範圍維持在 3 至 5 公分之間。此階段無論是即時震動過程中或停止後的 15 分鐘內，馬陸挖土深度變化均未達顯著差異，顯示中低強度機械擾動對馬陸鑽地影響有限。當震動完全停止 15 至 30 分鐘後，我們在小震動組別中觀察到震動後會出現 2 至 3 隻馬陸聚集於相同位置的頻頻增加，此群聚行為在未震動組別中較少出現。高強度震動後，震動停止後 15 分鐘內，馬陸鑽土深度從平均值 5 公分快速上升至 7.375 公分，經 30 分鐘自然恢復後，該組土壤深度自動回歸原始平均。



如圖馬陸 2-3 隻聚集在一起

圖 4-2-3

(二)土壤濕度

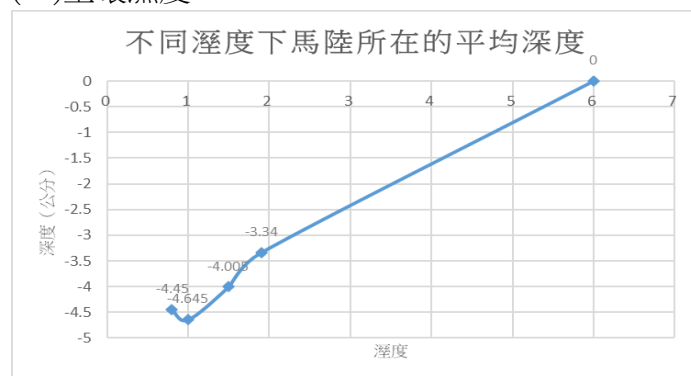


圖 4-2-4

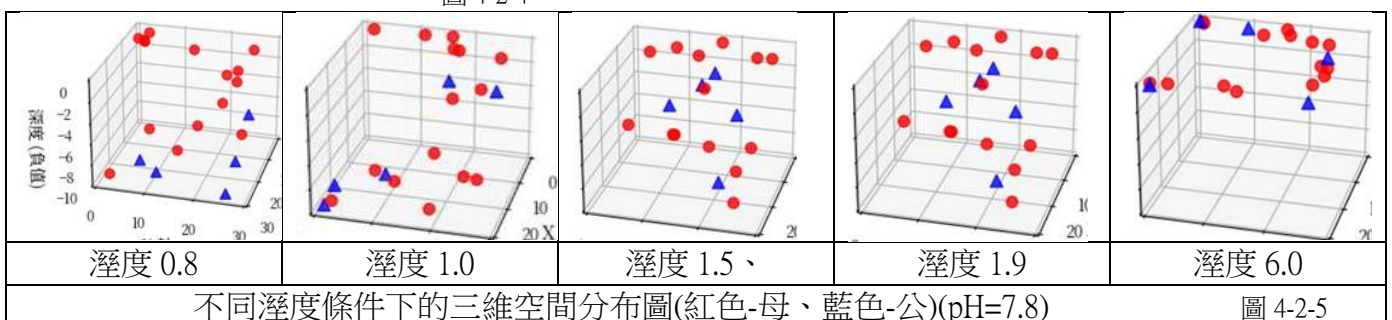


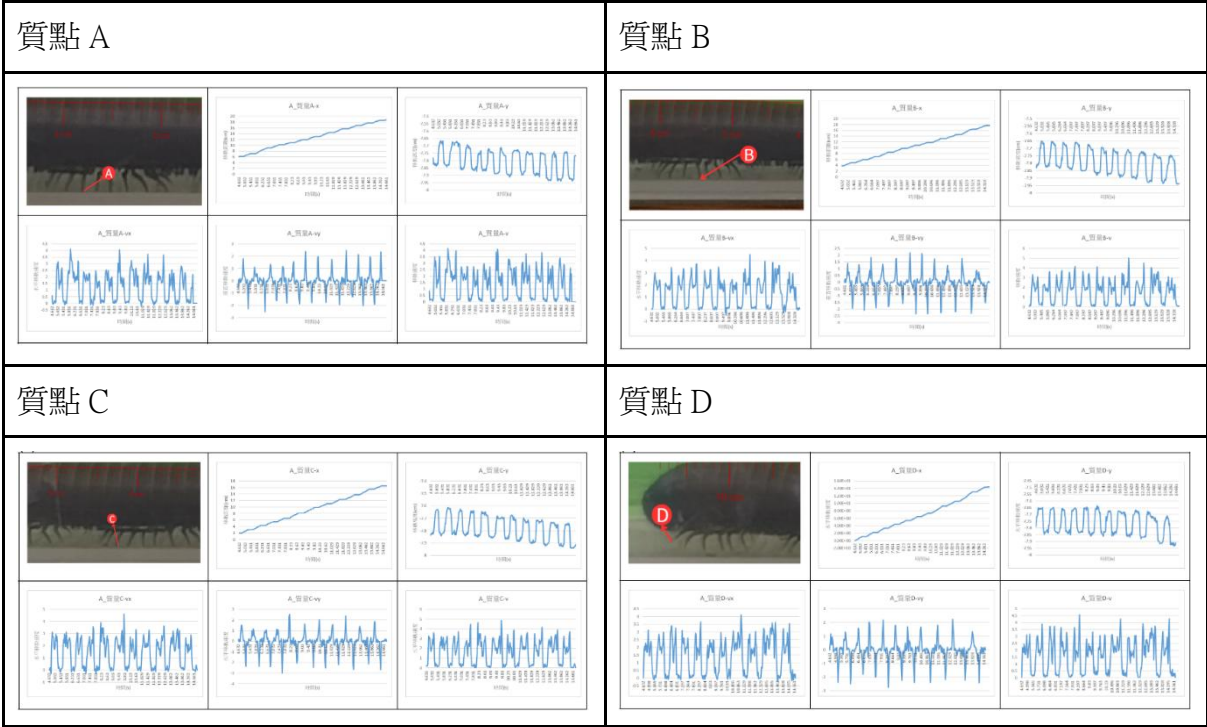
圖 4-2-5

在溼度梯度實驗中，發現每次加入 750 毫升水後，前三次土壤溼度僅緩慢上升（0.8~1.5），此時馬陸多停留於土層 4~5 公分深處，顯示其對輕微溼度變化反應不明顯。然而，第四次加水後溼度顯著提升至 1.9，馬陸平均潛土深度明顯變淺至 3.3 公分；至第五次加水時，因土壤孔隙飽和，水分積聚於土表，溼度驟增至 6.0，所有個體均逃逸至地表，甚至攀附於箱壁，顯示其對極端高溼環境的強烈迴避行為。

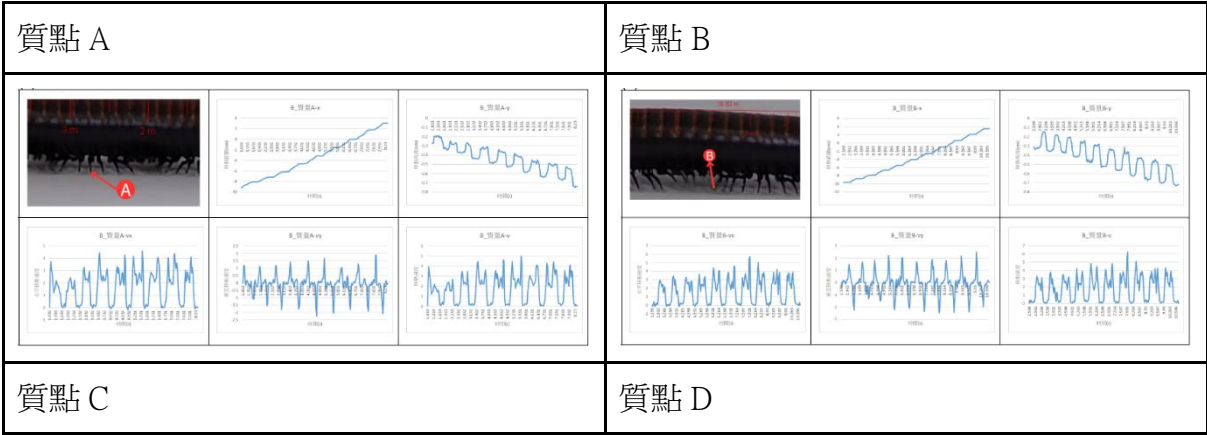
四、探討福爾摩沙山蛭的水平行走模式

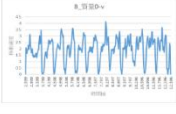
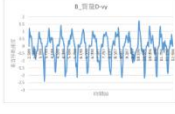
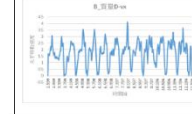
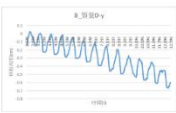
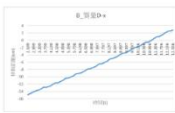
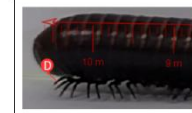
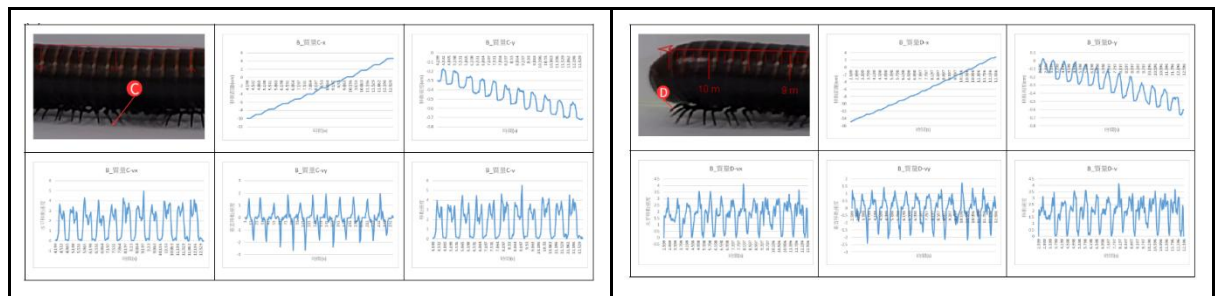
(一)移動趨勢

A：

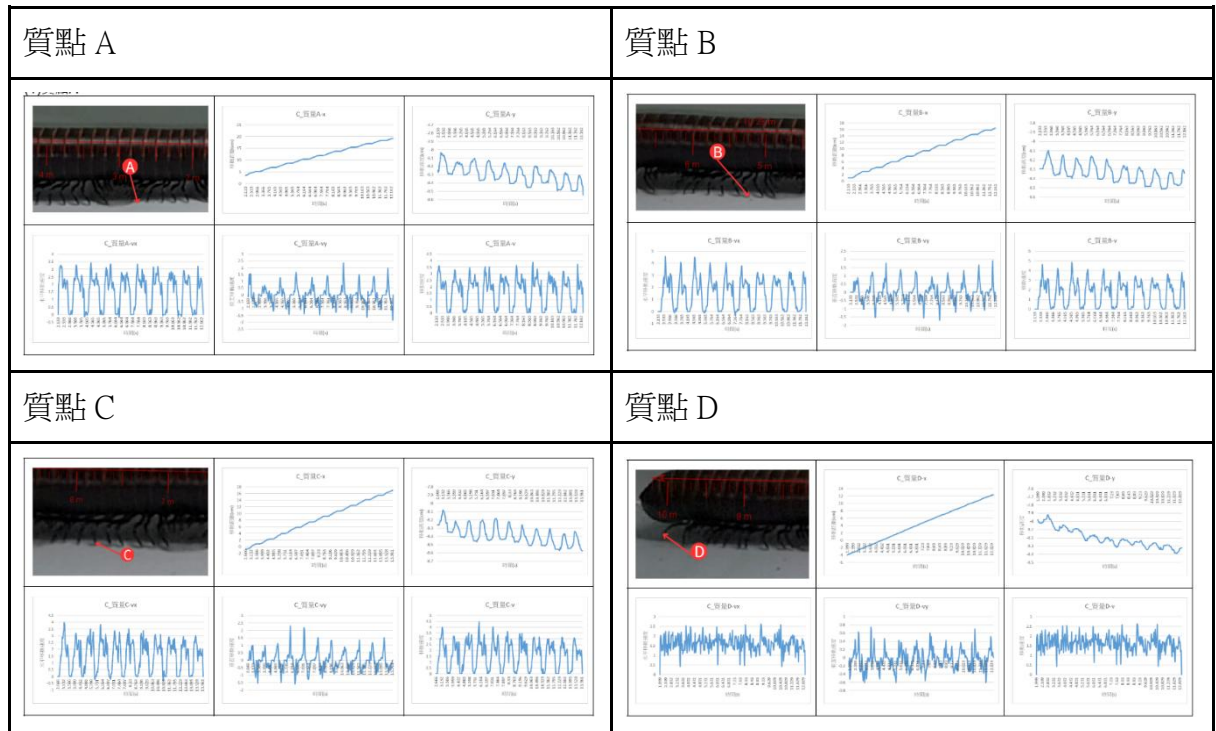


B：

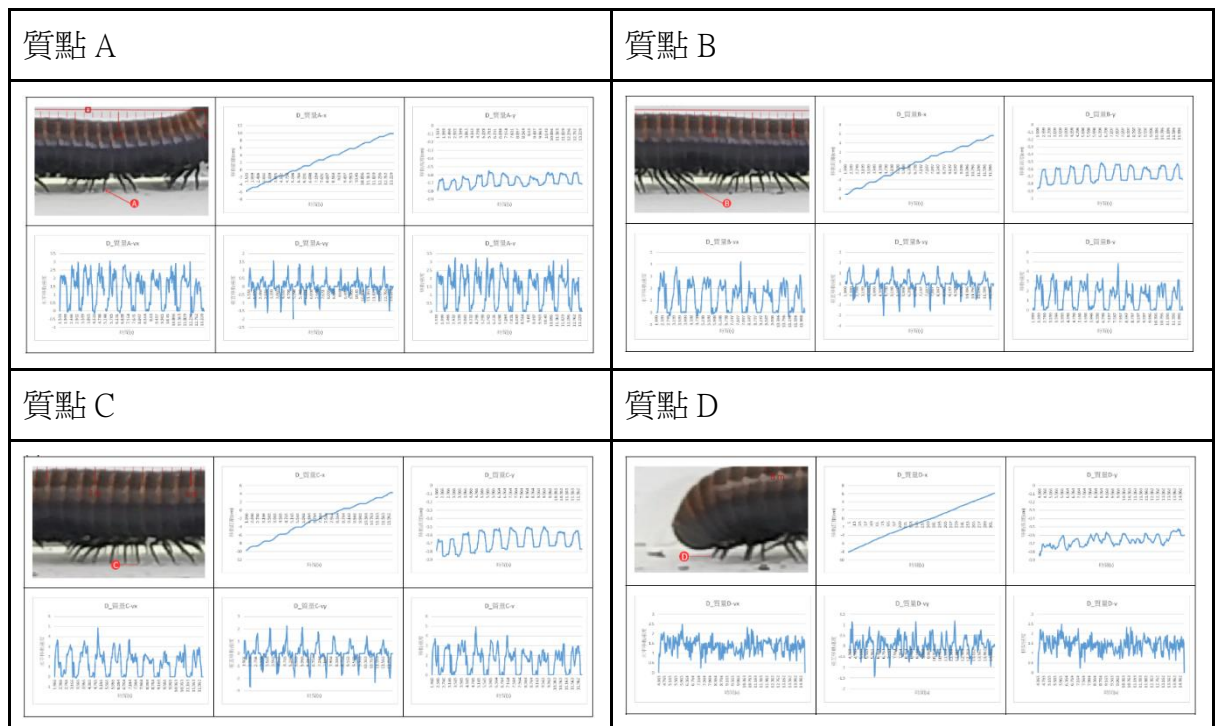




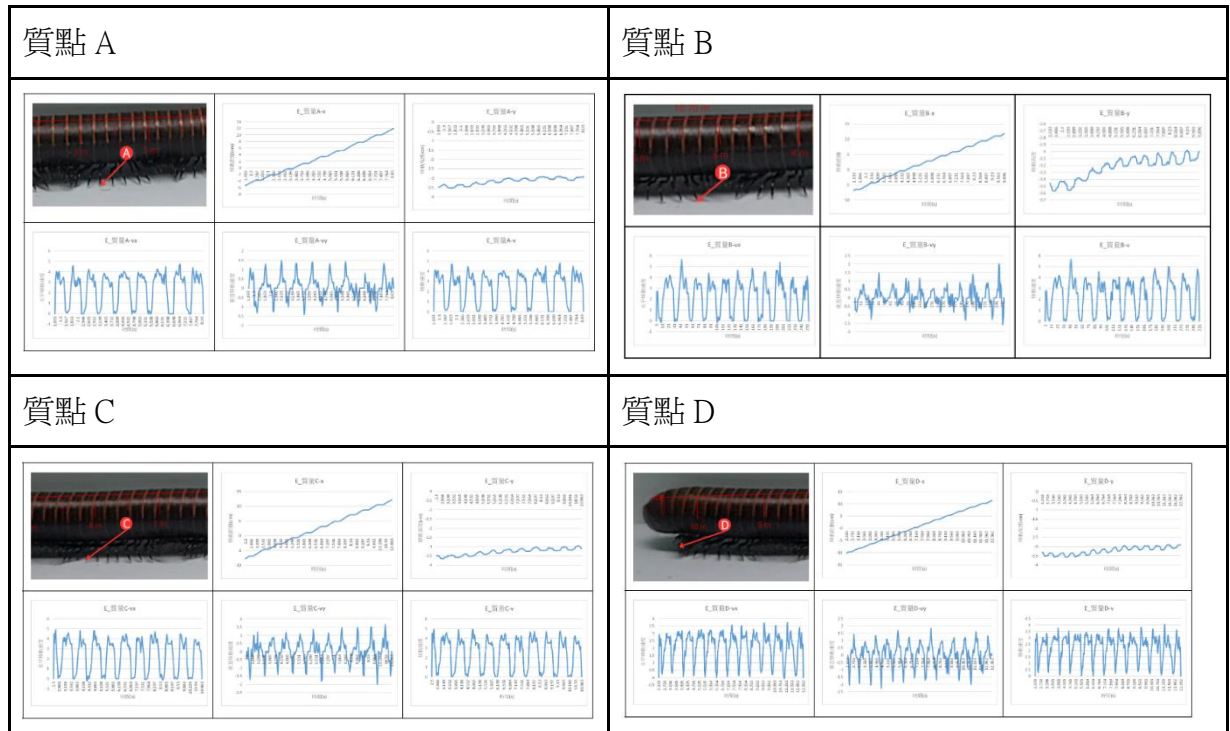
C :



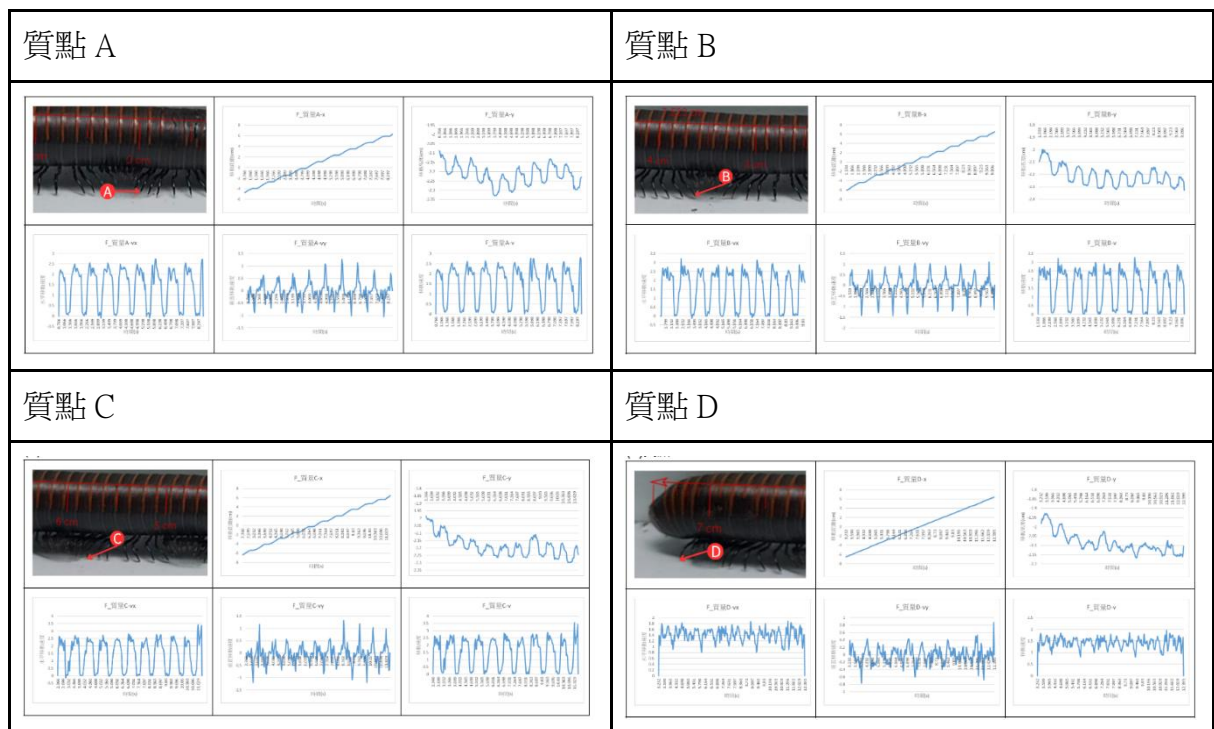
D :



E：



F：



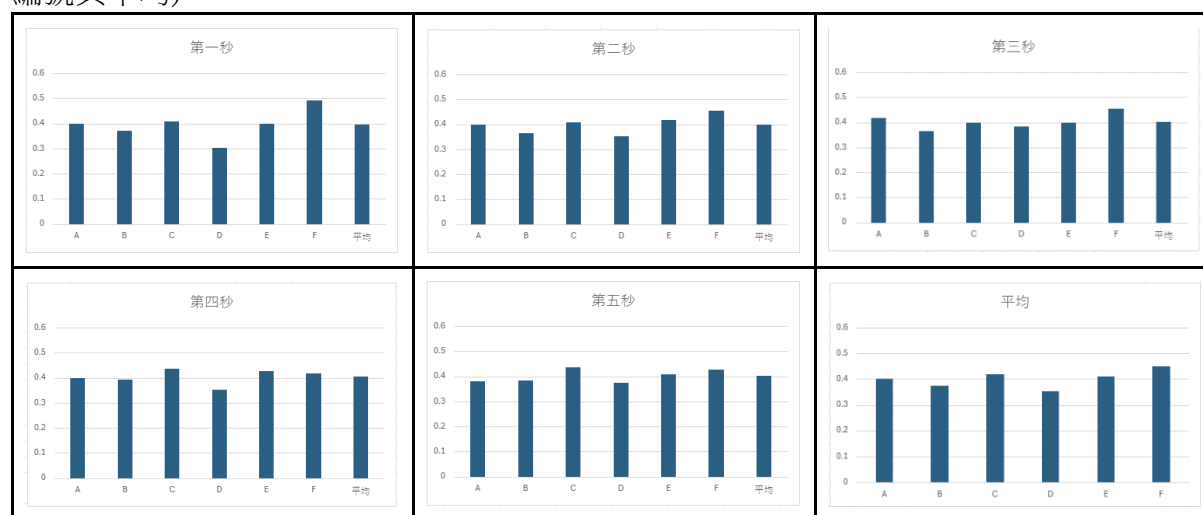
圖表顯示，馬陸的移動方式並非均勻，而是具有間歇性。以 v_x （水平移動速率）作範例，速率多次升高至 2-4 cm/s，之後迅速下降甚至接近 0，以 y 做對比的話，可以發現當 x （移動距離）逐漸增加時， y （移動高度）也在逐漸增加。當 x 並無上升趨勢時， y 也會平緩。以此推論馬陸在前進與短暫停頓中切換。經分析過後，發現 x 和 y 停頓時，步足正接觸地板； x 和 y 上升時，步足為懸空狀態。以此可知，步足移動最多的時間點是懸空階段。

馬陸其他步足都移動趨勢都是同樣的模式，不過末足較為特殊。舉例：其他點的 x 是呈「間歇式」，上升一段後會有停頓，因此圖表看上去像是波浪型；末足的 x 是直線上去，並無停頓的部分。但末足 y 的部分與其他步足並無明顯差異。**我們推論：末足應當是起到輔助的作用。**他雖然會隨著其他步足而微幅垂直移動，但並沒有「步足完全抬起到體節上面→依靠其他步足的滑動移動→放下」。

(二)懸空

1.占空比

下表為各隻不同編號的馬陸在不同時間點中的占空比。(縱軸為占空比，橫軸為編號與平均)

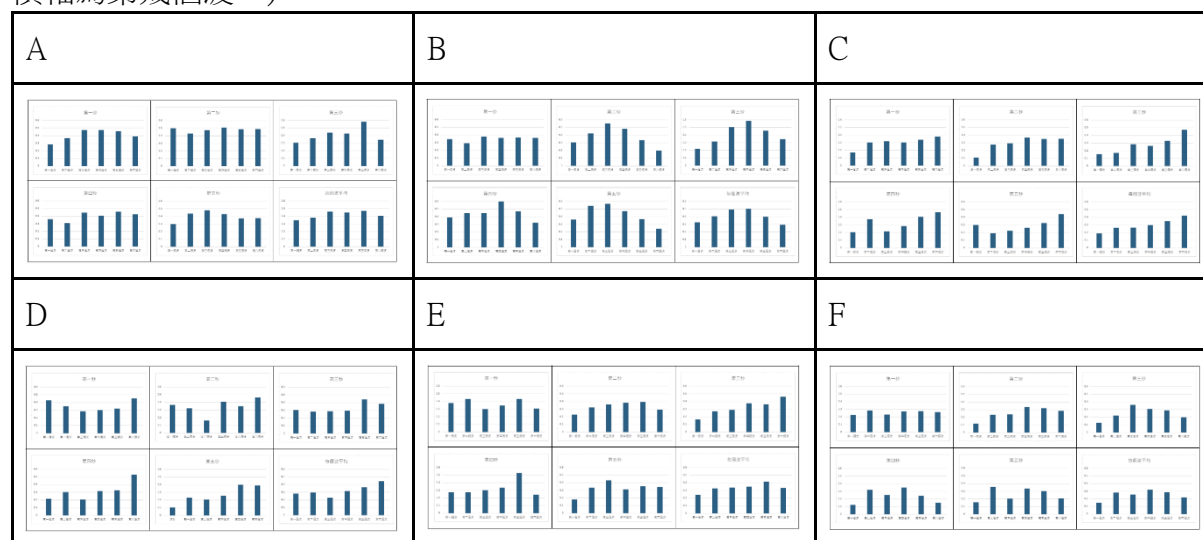


由圖可知，不同馬陸在不同時間點的懸空步足佔所有步足的比例皆約為 0.3~0.5 之間，平均下來，以 F 的佔空比最大，D 的佔空比最小。我們猜想是因為 D 為雄性，有些特定的體節因生殖器的關係所以並沒有步足，比 F 少了四節，所以造成結果的佔空比也小。

就算是不同時間點，佔空比的變化也僅有微幅變化。

2.波長

以下圖表是各隻馬陸在不同時間點內的波長，(縱軸為波長長度，單位為公分。橫軸為第幾個波。)



馬陸在行走時產生的波皆固定為六個。波長的變化穩定，當減少時就會慢慢減少，增長時就會慢慢增長，不會在五秒內激烈的忽長忽短。一個波都不會超過 0.6cm，最短也約有 0.1。

五、探討福爾摩沙山蛭的在不同角度行走模式

(一) 行動趨勢

1、行走模式

於拍攝過程中，發現壓克力與玻璃僅 15°就無法爬上去，白紙則是 60°無法爬，木頭的部分，A 各種角度皆能爬上去，D 則僅有 180°不行。

馬陸步足的移動步驟與軌跡為：

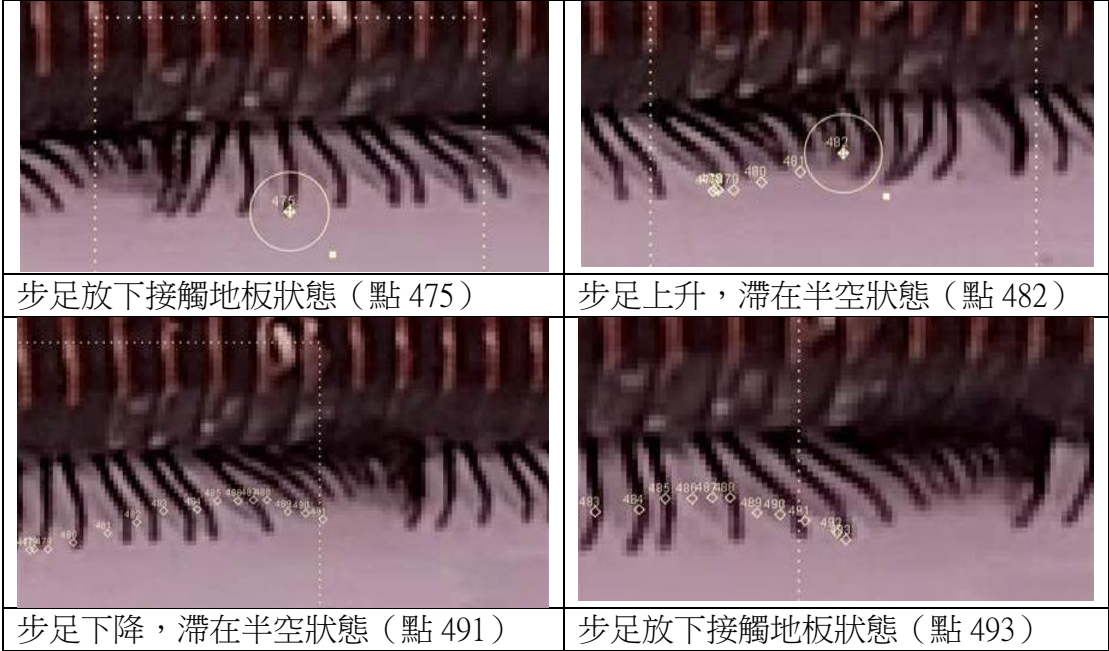


圖 4-3-1

先來看白紙 0 度 A 與 D 各質點的行走趨勢：

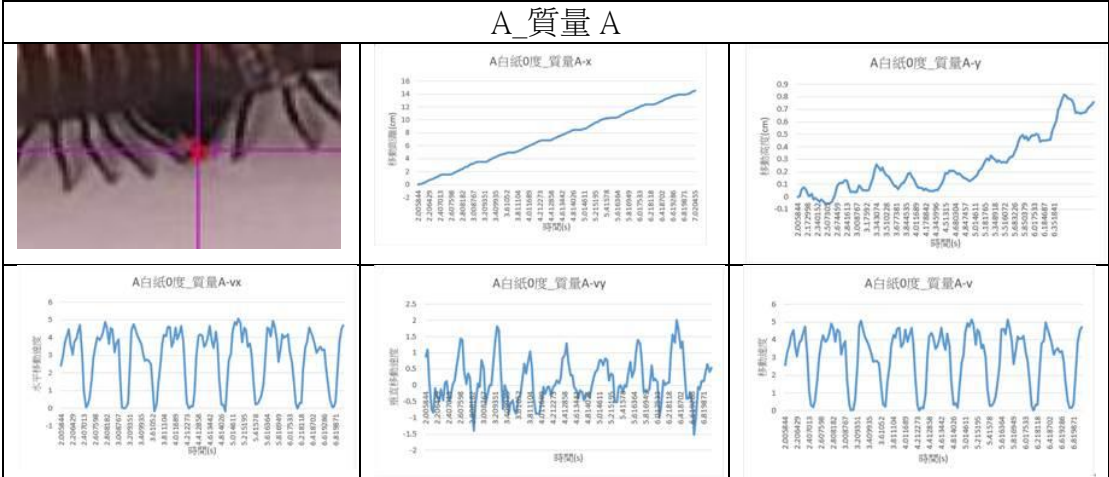


圖 4-3-2

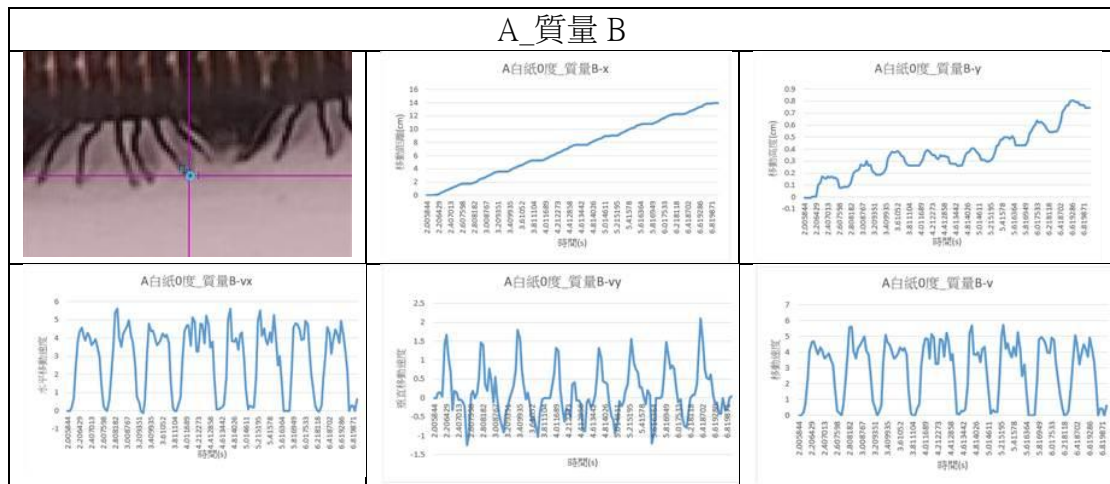


圖 4-3-3

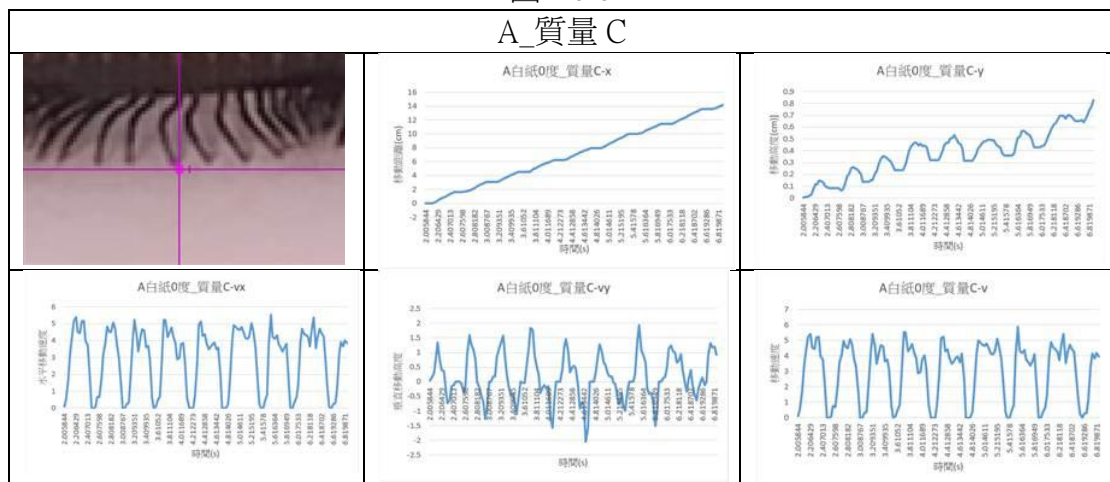


圖 4-3-4

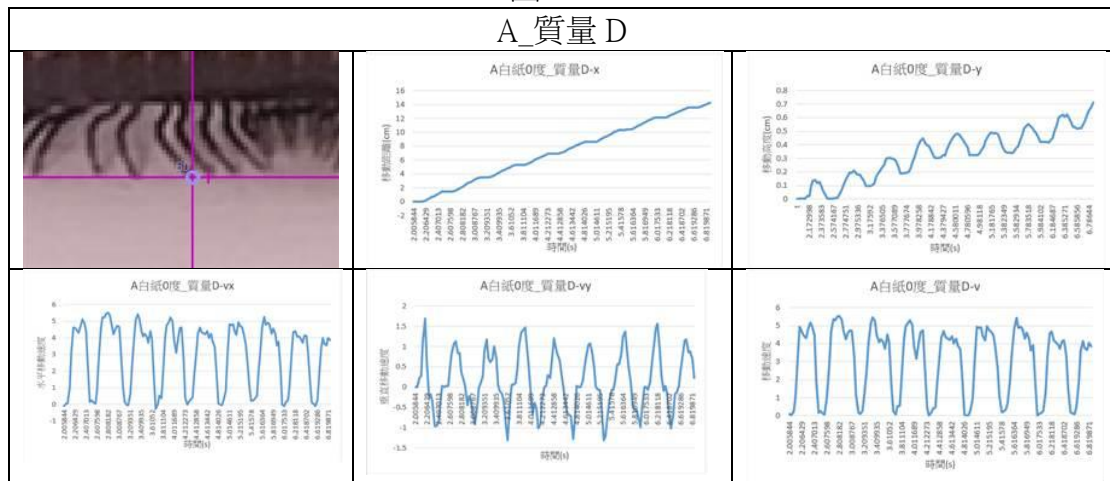
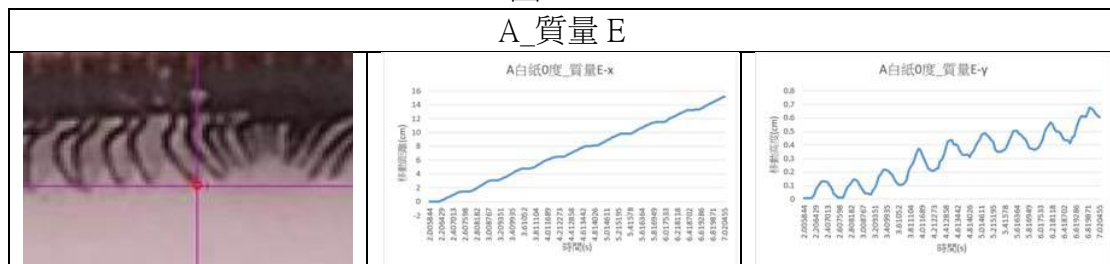


圖 4-3-5



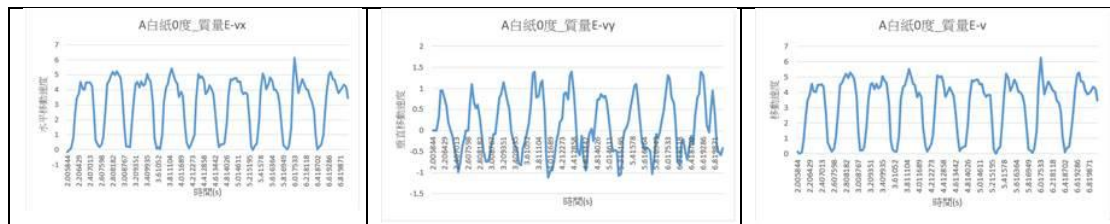


圖 4-3-6

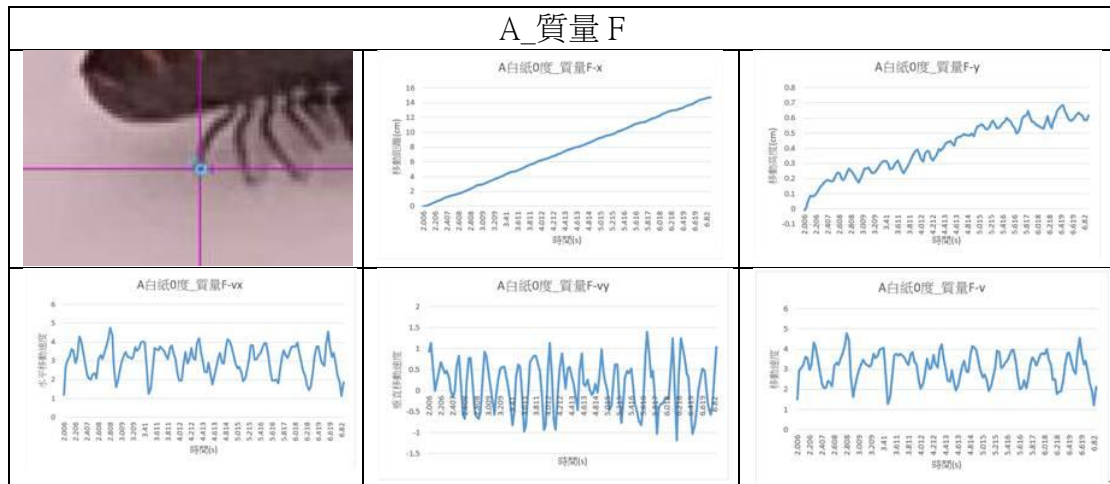


圖 4-3-7

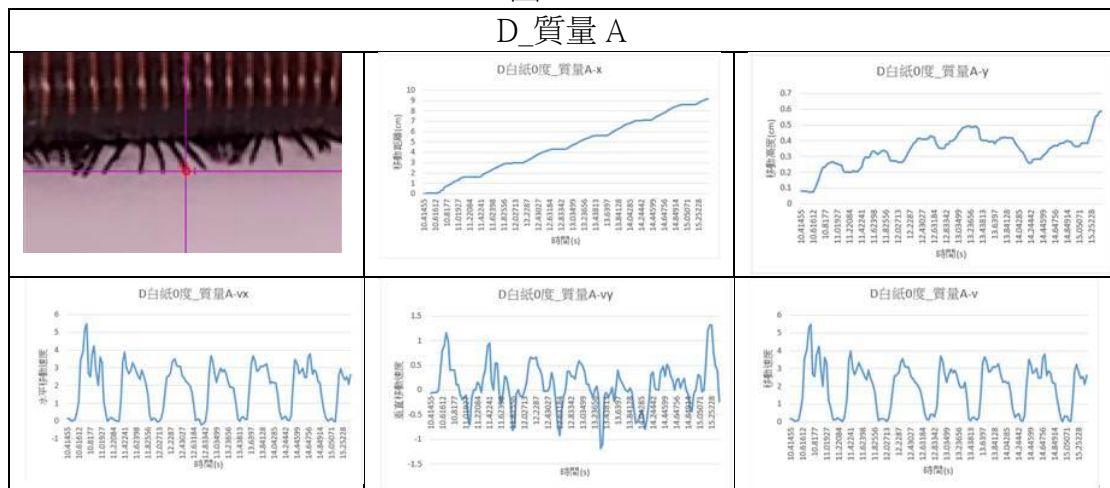


圖 4-3-8

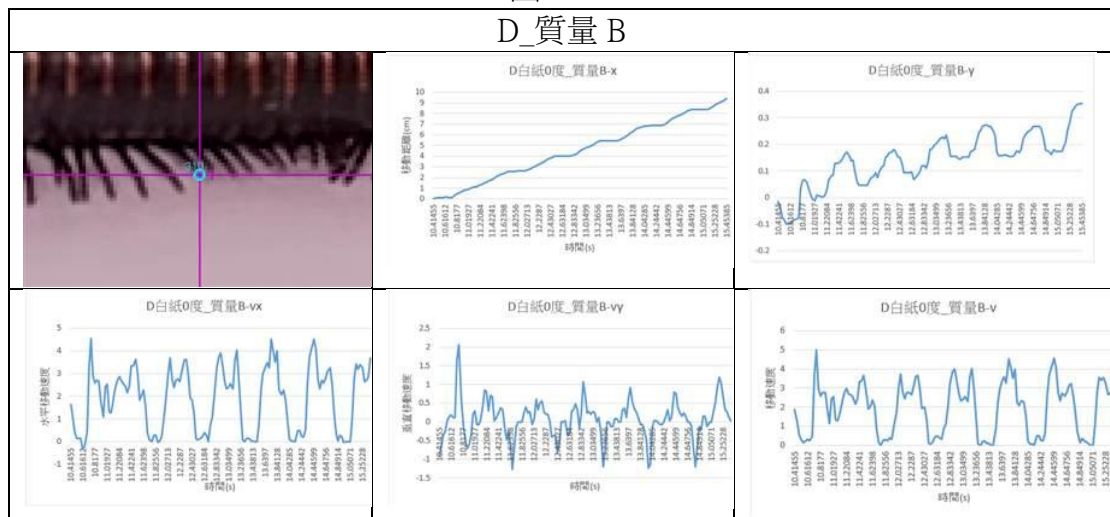


圖 4-3-9

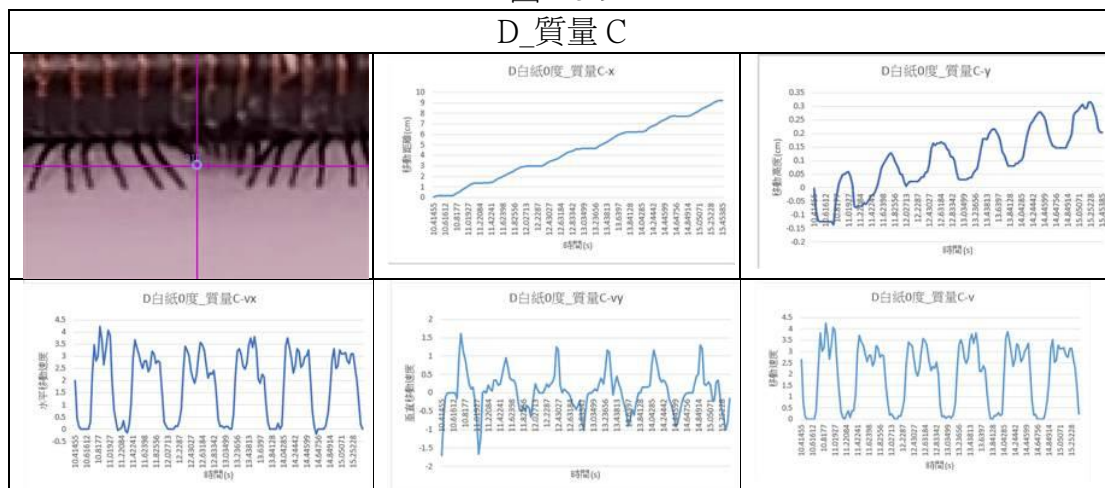


圖 4-3-10

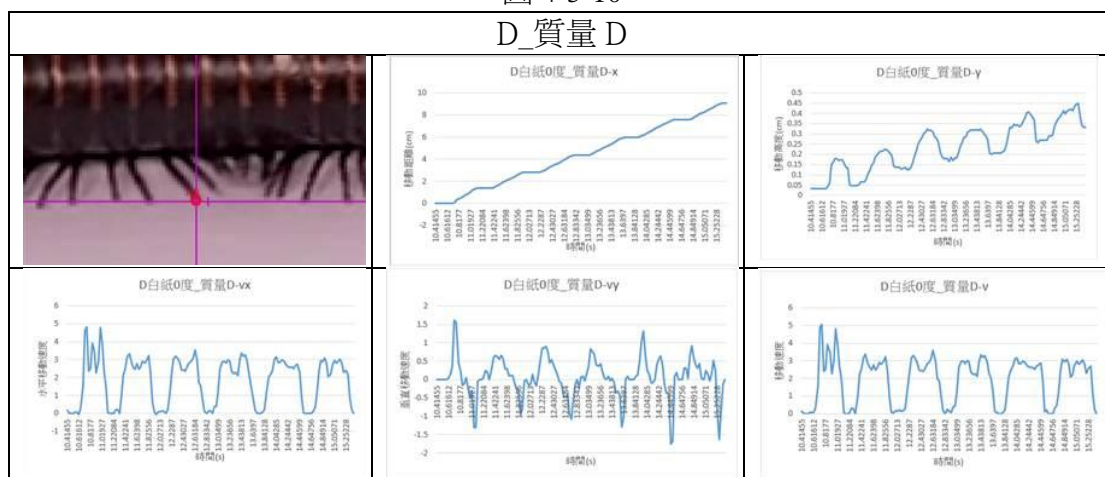


圖 4-3-11

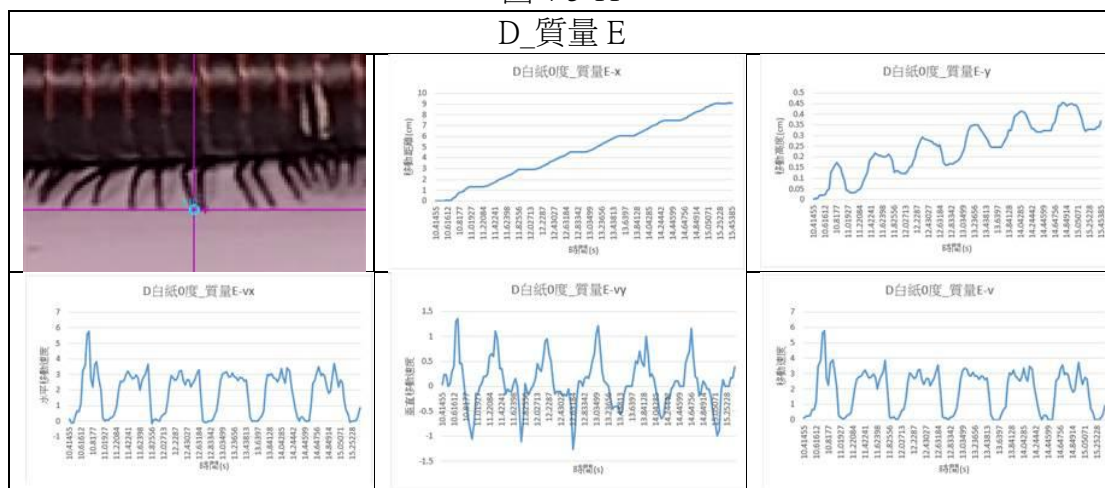


圖 4-3-12

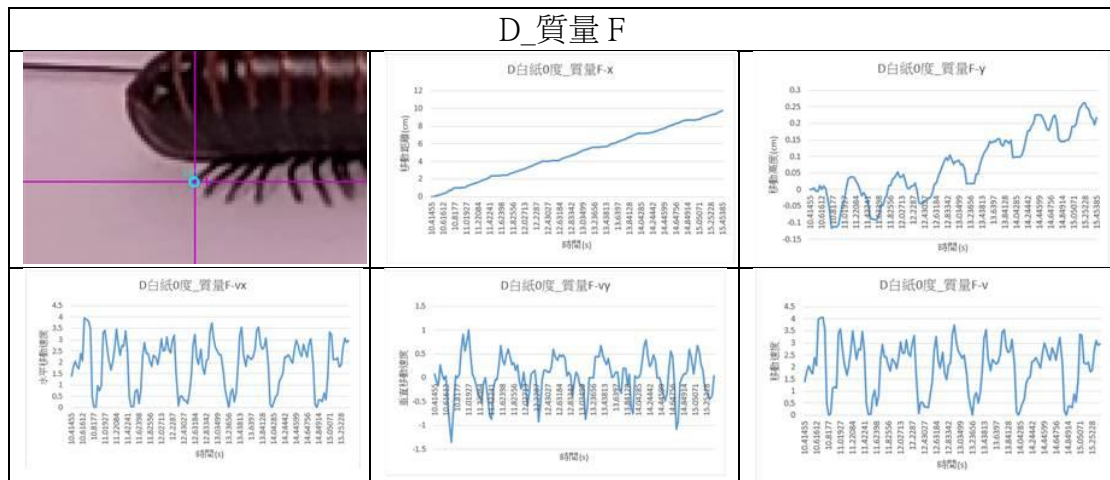
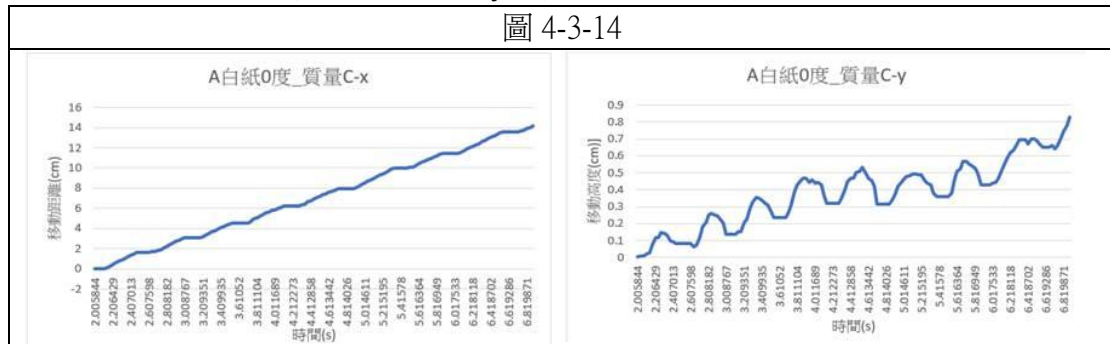


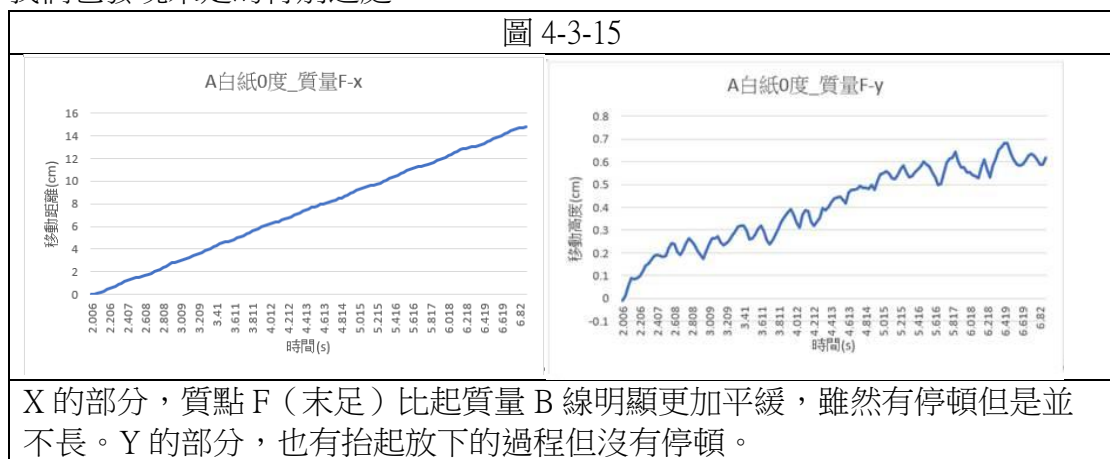
圖 4-3-13

在分析的過程中，我們發現馬陸單隻步足的行動模式為間歇性，以 A 的白紙 0 度質量 C 的 x（移動距離）與 y（移動高度）為例：



X 緩慢上升，並停頓一段時間。Y 也同理，不過 Y 有個類似小山丘的起伏，此為步足在地面上→抬起→放下到地面上的過程。當 X 上升時，Y 也上升；X 停頓，Y 也停頓。所以 X 變化最大的時間點為步足抬起的過程。

我們也發現末足的特別之處：



X 的部分，質點 F（末足）比起質量 B 線明顯更加平緩，雖然有停頓但是並不長。Y 的部分，也有抬起放下的過程但沒有停頓。

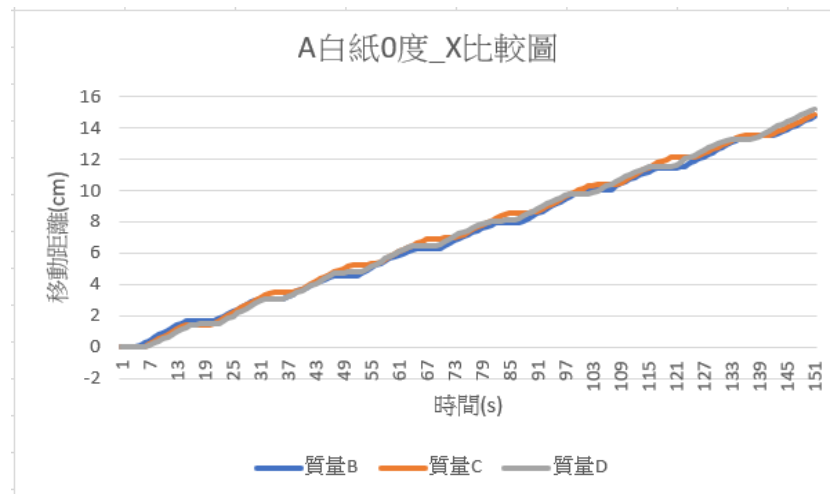


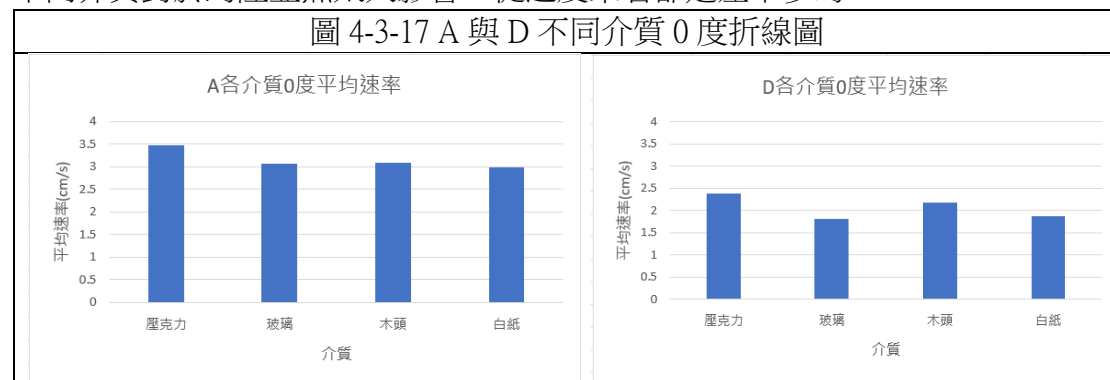
圖 4-3-16

以不同步足的配合來看的話，質量 B、C、D 幾乎是同步的。
抬腳時間與停頓時間差不多。

我們也發現，A 與 D 就算雌雄不同行走方式也並無不同，所有馬陸皆為間歇性行走，不過 A 走得比較快。一開始我們以為 A 第七節沒有腳，會影響行走模式，因此我們在點質點的過程中跳過第七節（即為：原本點第九節，而變成點第十節，後面的點也跟著變化。），結果發現並沒有同步，所以決定不跳過第七節。得出結論：公第七節不影響行走模式。

2、不同介質

不同介質對於馬陸並無太大影響，從速度來看都是差不多的。

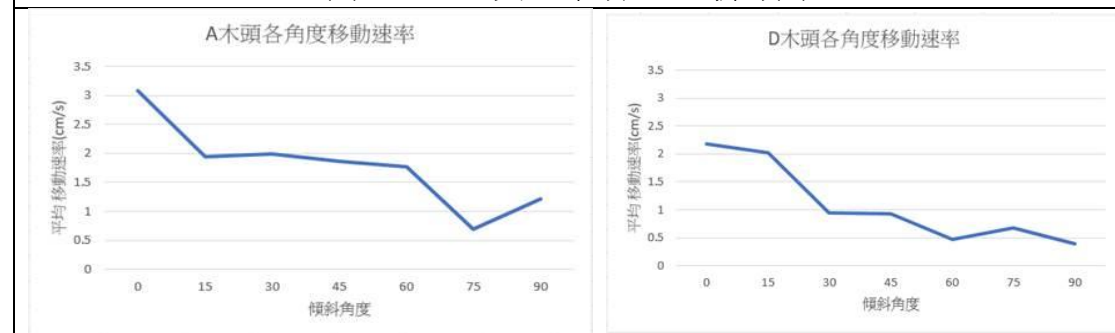


壓克力 A 與 D 的速度都會變得稍快一點，但並無太大變化。

3、不同角度

因 A 速度比 D 快，所以數字會高一點，但對總體趨勢並無影響。

圖 4-3-18 A 與 D 木頭 0°~90°折線圖



從 0°到 90°顯示慢慢下降的趨勢，D 的部分到最後甚至接近 0。

只有 A 完成 180°的任務。值得注意的是，在 180°時速率又上升。

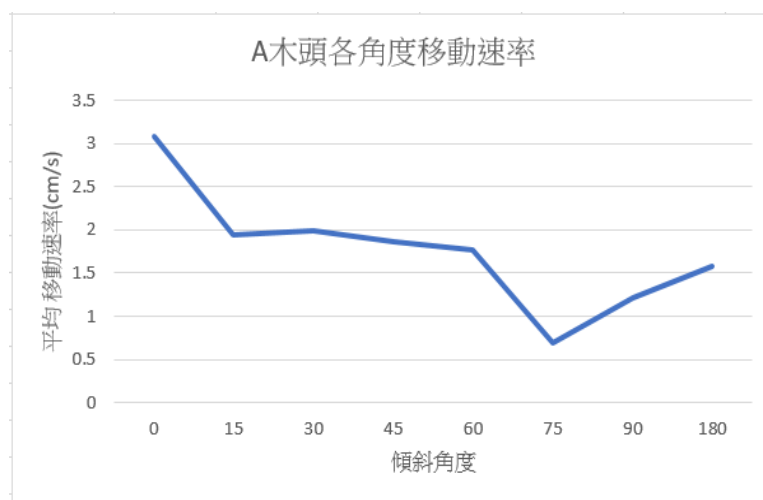
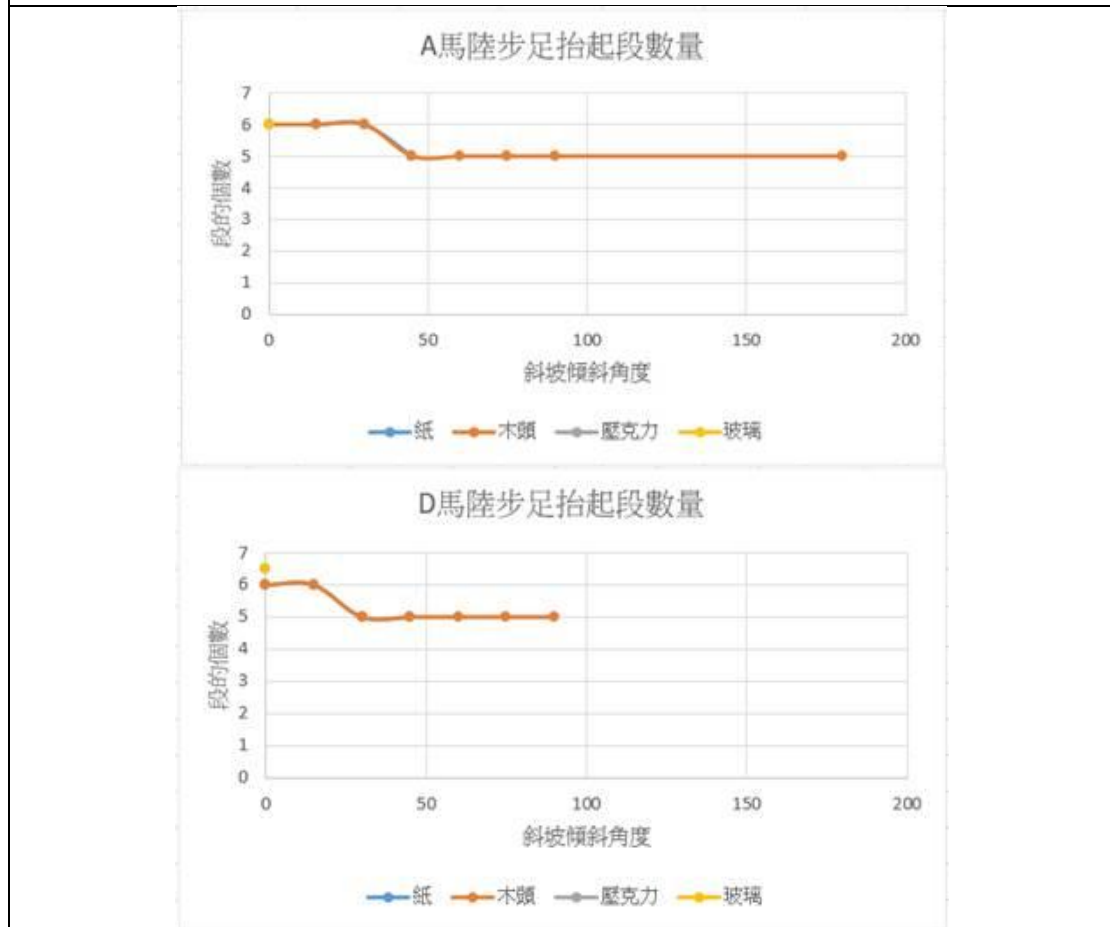


圖 4-3-19

(二) 波
1、抬起

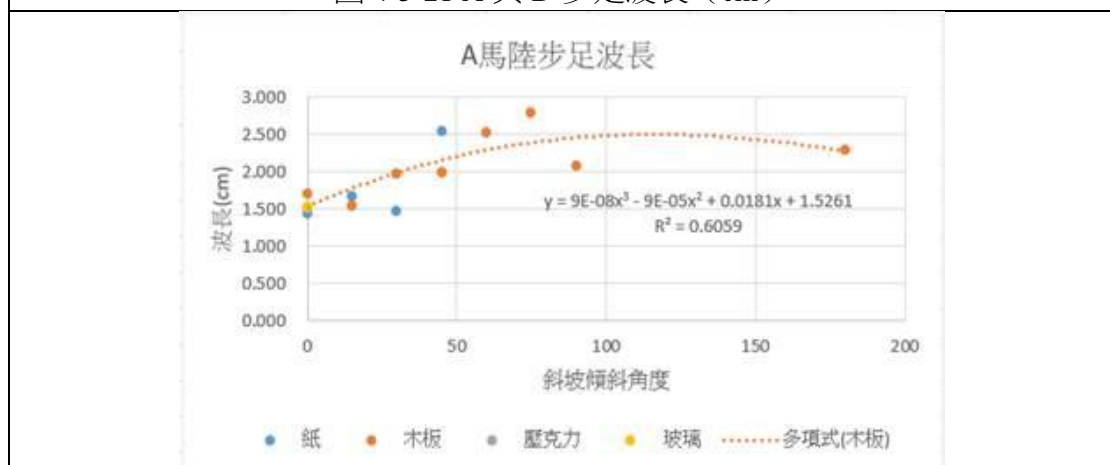
圖 4-3-20 A 與 D 抬起步足數量 (段)

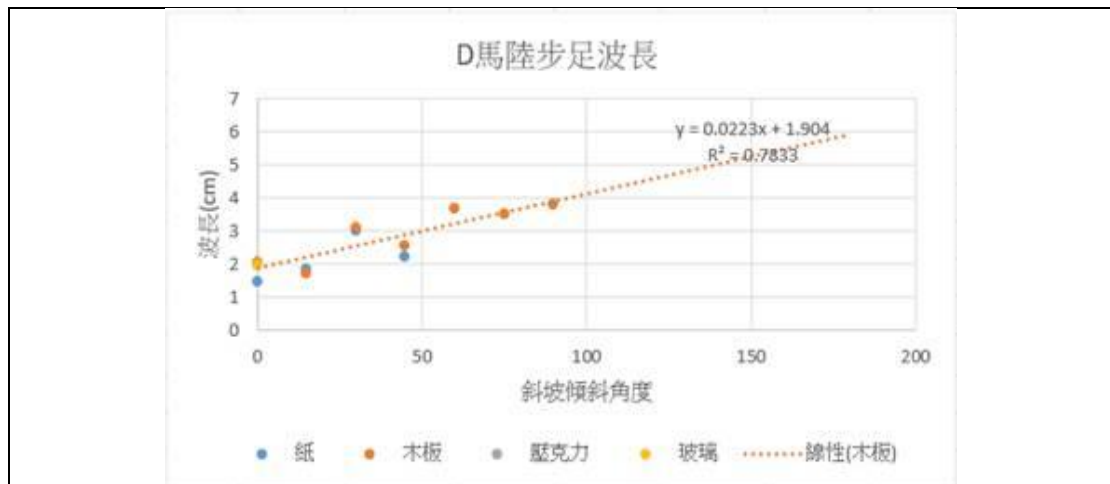


結果顯示，公在 0°~30°時皆為抬起六段腳，到了 45°以後都變成抬起五段腳；母在 0°~15°時皆為抬起六段~七段腳，到了 30°以後都變成抬起五段腳。

2、波長

圖 4-3-21 A 與 D 步足波長 (cm)

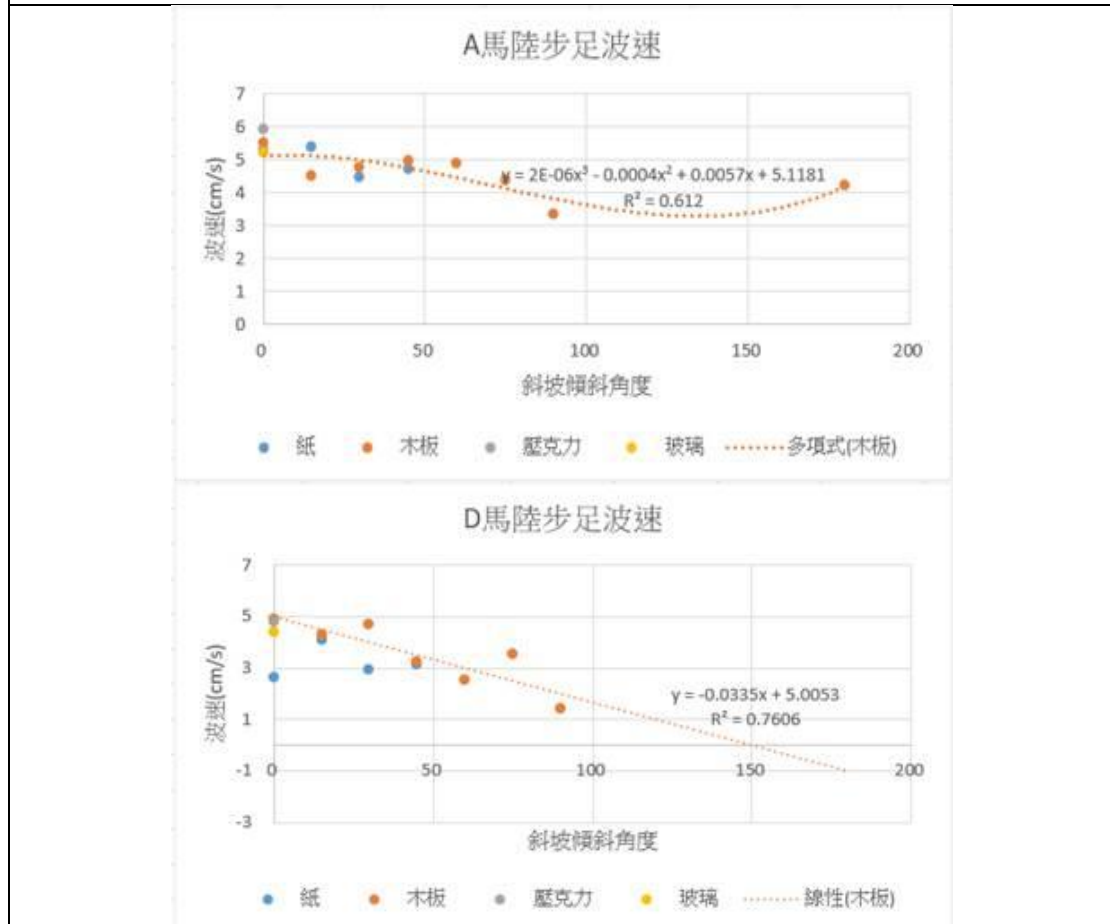




A 與 D 在角度逐漸增加時，波長也會跟著增加，A 在 180°的波長變平緩。D 的各波長明顯大於 A，推測是有較多腳的關係。

3、波速

圖 4-3-22 A 與 D 步足波速 (cm/s)



實驗結果顯示，在水平面 (0°) 時，A 步足波速略快於 D，隨著傾斜角度增加，兩者的波速均下降。A 在 180°時波速再次上升。

（三）占空

即使是不同介質，抬起的平均腳數也無太大變化，A 與 D 數字都無太大變動且很接近。

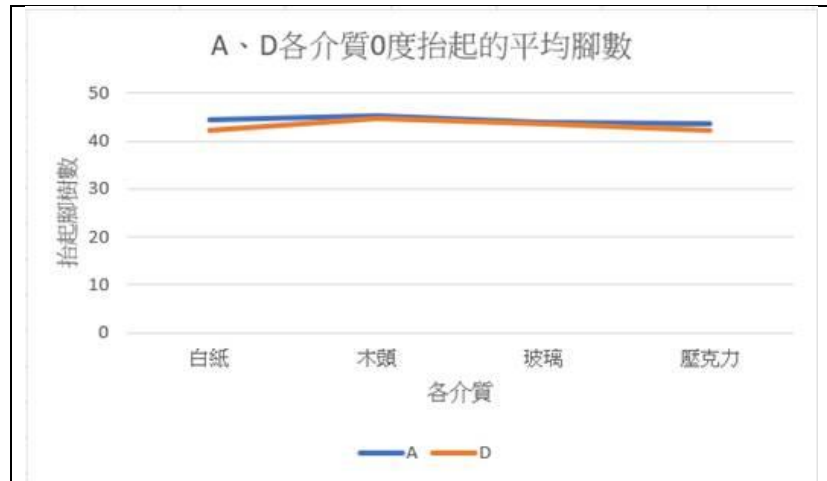


圖 4-3-23 A 與 D 各介質 0 度抬起的平均腳數

白紙僅有 0~45 度，可以看到不管是 A 與 D 抬起的腳數皆漸漸下降。所以傾斜角度越大，馬陸抬起的腳數會越少。

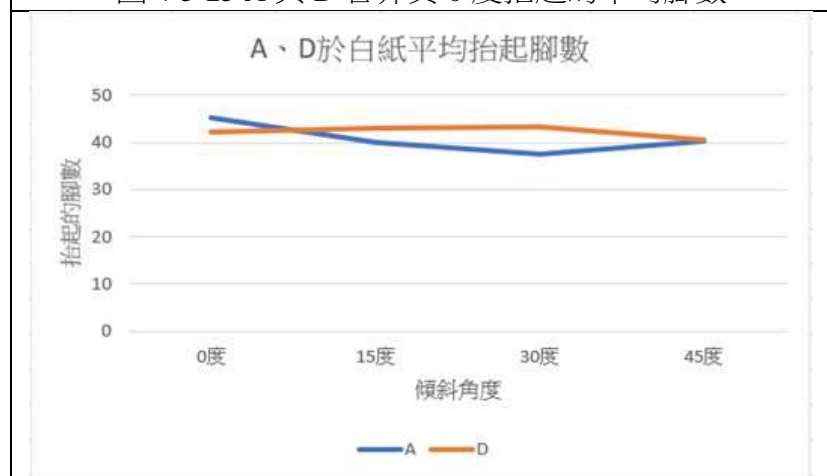


圖 4-3-24 A 與 D 白紙各角度抬起的平均腳數

D 因爬不上去 180 度而無數據。隨著角度越大，抬起的腳數都漸漸下降。不過 A 在 180 度時並沒有繼續下降到谷底，而是趨近平緩與 90 度一樣。

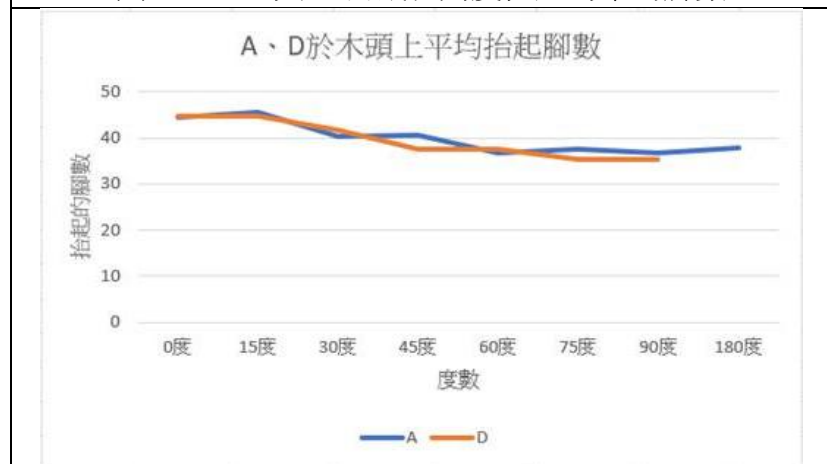


圖 4-3-24 A 與 D 木頭各角度抬起的平均腳數

伍、討論

一、探討福爾摩沙山蛩的習性

(一)步足

根據觀察到的結果，可以推算出雌蟲步足公式=(體節數-1)x4;雄蟲步足公式=(體節數-2)x4。

(二)棲息環境

棲息在北部低中海拔地區，因為馬陸是腐食者，所以主要棲息在富含腐植質的腐植土、落葉堆、爛木頭等地方，福爾摩沙山蛩主要在下午和晚上出現，應為夜行性的生物，且具負趨光性。

(三)防禦行為

當福爾摩沙山蛩受到驚嚇時，可能會捲曲，將頭部捲在最裡面，身體側邊朝上，因為體側具臭腺，能分泌有刺激性的黃色物質，有臭味，碰到皮膚會導致紅腫發炎，在平常的觀察中，我們發現越大的刺激可能導致分泌的驅拒物質顏色越深，味道也較強烈，推測福爾摩沙山蛩認定這個驚嚇來源是對自己危害較大的，需要立刻驅逐對方。排泄行為的部分，我們在抓馬陸時發現，原生地剛抓到的馬陸排泄物與我們已經飼養一段時間的馬陸排泄物有所差異，推測是食物的影響，原生地的馬陸以落葉、木頭腐爛的腐植質為食，而我們則是在網路上購買專門飼養這類生物(如鼠婦)的腐植土。

二、探討震動和濕度對福爾摩沙山蛩棲息深度的影響

(一)土壤震動

震動後會出現 2 至 3 隻馬陸聚集於相同位置的頻頻增加，此群聚行為在未震動組別中較少出現，推測應該能讓馬陸更安心。

(二)土壤濕度

根據文獻，馬陸(*Diplopoda*)雖偏好潮濕環境，但土壤水分過高可能引發缺氧或病原菌滋生，促使其遷移至地表(González et al., 2018)。本實驗中溼度>1.9 時個體行為逆轉，與 Rombke et al. (2020)提出「土壤水分閾值觸發逃逸反應」的假說一致。此外，性別差異分析顯示，雌性在第三次加水後即提早出現淺層化趨勢(平均深度 4.1→3.8 公分)，而雄性延至第四次加水才顯著移動(4.3→3.5 公分)，推測雌性對溼度敏感度較高，可能與繁殖期體液調節需求有關(Saito & Kikuchi, 2021)。此結果呼應農業研究指出，暴雨後馬陸大規模地表遷移可能加劇作物危害(Chen et al., 2022)，未來可結合溼度控制技術應用於害蟲防治策略。

三、探討福爾摩沙山蛩的行走模式

(一)行動趨勢

1、行走模式

馬陸為間歇式行走，且雌雄行走方式無差，B、C、D 質點會同步地抬起放下，A、E、F 則不會，由此可知馬陸抬腳應該是規律性的，至於 A、E、F 質點不同步的部分，我們推測原因可能是抬起的腳數不同、波長不同。所以位置就會不同步，以質點 A 為例，他身處第一段抬起的腳，比其他的都還要短，最後一個段也比其他的還要短。



圖 5-3-1 馬陸 0 度時抬起的腳段示意圖

且因質點 F（末足）在各種數據圖中皆無顯示有類似其他步足的停頓時間，僅有上升下降，且 X 穩定增加。我們推測末足僅有輔助作用，不會和圖 5-3-1 一樣跟其他步足簇在一起。不參與整體的傳遞波的行為。

2、不同介質

在紙、木頭、玻璃、壓克力的 0 度實驗中，都沒有明顯的不同。我們未來可以設置更多介質，例如：布。

3、不同角度

隨著角度越大，速率也會跟著變小，但在 180 度時 A 的速率又上升，顯示出馬陸對於環境翻轉的爬行能力。

(二)波

公與母在正常環境下行走時皆抬起六段腳，之後就變成五段腳，當波長隨著角度增加，波速會跟著變少。波速的計算公式為波長 \times 頻率=波速，波長增長但波速少，所以波產生的頻率就會變少。整體速率就會變低。

(三)占空

隨著角度增加，平均抬起腳數會變少。這點和波長變長與抬起幾段腳相呼應，因為波長的計算為某一段抬起最高腳與相鄰段最高腳的距離，所以角度增加，變成抬起五段腳，且占空的腳減少，距離增加=波長增加。

陸、結論

一、探討福爾摩沙山蛩的習性

(一)身體構造

我們發現體長跟體節是沒有關聯的，所以比較短的馬陸有顏色的環會較為密集，福爾摩沙山蛩平均體長 11.23(\pm 1.14)，也是全台最大的馬陸。步足的末端有白色倒鉤，每體節四隻步足，最後一體節沒有步足，雄性第七節因生殖構造也沒有步足，且第七節突起。雌性步足公式:(體節數-1) \times 4;雄性為:(體節數-2) \times 4。觸角在複眼的下方，有六節，口器在第二節下方的位置。紅色的環只繞身體上半部，故稱半紅環，環的末端處有可分泌驅拒物質的臭腺。

(二)生物分類、地位及棲息環境

福爾摩沙山蛩屬於動物界、節肢動物門、倍足綱、山蛩目、旋刺馬陸科、旋刺馬陸屬，為台灣特有種，棲息在北部低中海拔地區，主要在下午或晚上出沒，屬於夜行性，下過雨後馬路出現的機率也更高。為腐食者，平時棲息在腐植土、爛木頭、落葉堆等富含腐植質的地方。

(三)防禦行為

福爾摩沙山蛩受到驚嚇後可能會捲曲，頭在最裡面，讓體側臭腺朝上分泌驅拒物質。排泄物因為食物的差異而有所不同。

二、探討福爾摩沙山蛩的採集及飼養方式

在下午到晚上，較涼爽且黑暗的時候馬陸較常從土裡出來活動、覓食。在飼養箱中裝土，高度約 10cm，每隔約兩週加一次新的土，每週放蘋果補充營養，有時候會加入少量蛋殼粉，定期對土壤噴水並翻土，維持土壤濕度，上蓋打洞以保持通風。

三、探討震動和濕度對福爾摩沙山蛩的影響

(一)土壤震動

低、中強度震動後，馬陸的棲息深度並沒有明顯改變，但在低強度震動 15~30 分鐘過後，有 2、3 隻馬陸聚集在同一處的行為變得頻繁。高強度震動 15 分鐘後，馬陸鑽土的深度從平均值 5 公分變成 7.375 公分，可以發現馬陸反而是往下鑽，並非像新聞常報導的因地震馬陸大遷徙。

(二)土壤濕度

每次加入 750 毫升水後，前三次土壤溼度僅緩慢上升（0.8~1.5），此時馬陸多停留於土層 4~5 公分深處，顯示其對輕微溼度變化反應不明顯。然而，第四次加水後溼度顯著提升至 1.9，馬陸平均潛土深度明顯變淺至 3.3 公分；至第五次加水時，因土壤孔隙飽和，水分積聚於土表，溼度驟增至 6.0，所有個體均逃逸至地表，甚至攀附於箱壁，顯示這樣的環境使馬陸無法用體表的氣孔獲得氧氣，會想辦法逃離。

四、探討福爾摩沙山蛩的行走模式

(一)行動趨勢

1、行走模式

馬陸單隻步足為間歇性行走，雌雄無差，B、C、D 質點會同步地抬起放下，A、E、F 則不會。質點 F 為末足，不會和其他步足一樣有停頓的情形，

2、不同介質

不同介質對於馬陸的行走並無太大影響，壓克力稍快一點。

3、不同角度

角度對於馬陸有非常大的影響，到 0 度以後速率明顯下降，D 的速率在 90 度時甚至接近 0。

(二)波

1、抬起腳段的數量

公在 0°~30°時皆為抬起六段腳，到了 45°以後都變成抬起五段腳；母在 0°~15°時皆為抬起六段~七段腳，到了 30°以後都變成抬起五段腳。

2、波長

馬陸在角度逐漸增加時，波長也會跟著增加。

3、波速

在 0 度時，A 的波速會略快於 D，隨著傾斜角度增加，波速也跟著下降。

(三)占空

A 與 D 抬起的總腳數都差不多，角度增加，抬起的腳數就會變少。

柒、未來展望

一、於不同環境的行走模式

本研究中並無使用不同環境去比對、分析步足的移動趨勢，或許可以讓馬陸在不同角度、不同介質上去行走，並觀察比對正常情況步足移動是否會有改變？例如：步足移動的頻率、高度，亦是馬陸懸空步足數量。此外，也可以研究馬陸的鑽土模式。

二、製作仿生馬陸機器人

如果得知馬陸的行走模式，或許可以進一步製作走路機器。此外，因本研究中發現馬陸行走固定產生六個波，那如果不是產生六個波，而是其他數字呢？可以進一步研究產生不同數字的波對馬陸行走是否會有影響。前面提到可以研究鑽土模式，那將鑽土模式放進機器人，或許就可以製造出鑽土機器人。

捌、參考文獻

一、期刊文獻：

(一) 陳迦恩、楊易庭(2019)馬陸的捲曲螺線形態與其防禦作用之研究。中華民國第59屆中小學科學展覽會。

(二) 何仔苾、林信珩、邱家樂(2023)「馬陸」三寶－探討小紅黑馬陸的棲地、動物行為與族群生態。中華民國第63屆中小學科學展覽會。

(三)楊艾潔(2012)踩著波浪舞步的千足蟲---磚紅厚甲馬陸。中華民國第52屆中小學科學展覽會。

(三) Garcia, A., Krummel, G., & Priya, S. (2020). Fundamental understanding of millipede morphology and locomotion dynamics. *Bioinspiration & Biomimetics*, 16(2), 026003.

二、網路資料：

(一) 台灣生命大百科－福爾摩沙山蛩

https://taieol.tw/muse/digi_object/d0db55992b268c2535bc1ca8ba5ae3ab

(二) 教育百科－福爾摩沙山蛩

<https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E7%A6%8F%E7%88%BE%E6%91%A9%E6%B2%99%E5%B1%B1%E8%9B%A9>

(三) Reddit 論壇:如何辨別馬陸的性別 <https://www.getit01.com/55609/>

(四) Let's 探索家中昆蟲－居家非昆蟲»馬陸

(五) 馬陸-維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A6%AC%E9%99%B8>

※說明書中所有照片皆由我們自己拍攝，感謝馬陸支援。

【評語】 030304

1. 此研究以福爾摩沙山蛩為研究對象，經由觀察其形態結構、習性、食性及在不同震動、濕度與地形條件下的棲息與行走行為，內容全面且富有觀察深度，具體展現對台灣特有種的關注。
2. 實驗設計良好，涵蓋行為、生理與環境變因多重面向，惟樣本數配置不一與性別比例偏差可能影響資料穩定性，建議未來可標準化樣本數並補充不同季節與個體年齡層的資料，以提升數據代表性與推論廣度。
3. 食性實驗方面，使用水果作為偏好測試材料雖具操作便利性，但與其自然棲地中的實際食物來源不符，且目前僅以停留位置推測偏好，建議補充攝食量測定與自然食性調查，以提高生態解釋力。
4. 在仿生應用與步足波動分析方面提出有趣觀點，數據處理也涵蓋波長、波速與占空比等參數，惟現階段部分推導如步足數計算與波速公式仍存誤差或簡化處理，建議說明其估算性質並補充誤差範圍與測量標準差，以增強科學嚴謹性。
5. 震動與濕度對棲息深度的影響雖呈現趨勢，但未提供統計檢定資訊，僅以平均值比較，推論可信度有限，建議補充統計顯著性分析如 p 值、信賴區間，以增強結果解釋力。

6. 結果圖表呈現整體結構清晰，惟多數圖未附比例尺或簡要總結，亦有文字與圖像對應不明之處，建議補強圖文整合並加入示意圖說明。

作品海報



「陸」遙知「馬」力

——《山蛩傳》

摘要

福爾摩沙山蛩(**Spirobolus formosae**)，分布於台灣北部低中海拔地區，為台灣特有種，棲息在潮濕腐質土或是爛掉的木頭中。馬陸在成長過程中，體長會增加，但體節數不變。大部分的福爾摩沙山蛩體節數在**56-62節**之間。每節有四隻(兩對)步足，尾部一節沒有步足的，雄馬陸除此節外，第七節也因生殖器而沒有步足，雌蟲步足公式：**(體節數－1)×4**；雄蟲步足公式為：**(體節數－2)×4**。高強度震動**15**分鐘後，馬陸鑽土的深度從平均值**5公分**變成**7.375公分**。馬陸為間歇性行走，雌雄無差。不同介質對於馬陸的行走並無太大影響。介質傾斜角度對於馬陸有非常大的影響，到**0度**以後速率明顯下降，**D**的速率在**90度**時甚至接近**0**。

壹、前言

一、研究動機

馬陸因為下雨潮溼等因素大遷徙時，常被誤認「是不是要大地震了?」在爺爺家附近發現了福爾摩沙山蛩，帶去學校發現大家都不認識，所以我們開始研究，希望透過實驗改變民眾的認知。

二、研究目的

- (一)探討山蛩的身體構造和習性
- (二)探討山蛩的喜好食物
- (三)探討震動和濕度對山蛩棲息深度的影響
- (四)探討山蛩的行走模式

三、文獻回顧

福爾摩沙山蛩(**Spirobolus Formosae**)，旋刺馬陸屬，為台灣特有種，分布在北部低海拔地區，平時棲息在潮濕腐質土、落葉或是腐爛的木頭中，以此為食。

- (一) 踩著波浪舞步的千足蟲---磚紅厚甲馬陸
- (二)「馬陸」三寶－探討小紅黑馬陸的棲地、動物行為與族群生態
- (三) Fundamental understanding of millipede morphology and locomotion dynamics.

第一篇與第二篇皆是討論台灣原生種馬陸的，兩者都棲息於，皆為夜行性，以腐植植物為食物來源，扮演生態系中的腐食者。磚紅厚甲馬陸繁殖期為**10-12月**，小紅黑馬陸則為夏季。兩者皆有趨地，避光性。第三篇則為討論馬陸的行走模式，採用「行波」，腿部以波浪狀交替動作推進，靈活調整推力與方向以適應行走、攀爬或挖洞。實驗及仿生機器人研究指出：這種步態透過波動調控推力，兼具穩定性與動力。它是以分散式神經調控方式，透過局部觸感反饋生成行波步態，並切換不同波型以因應不同行動需求。

貳、研究設備與器材

						
採集箱	解剖顯微鏡	手機	培養皿	實驗箱	行走介質	飼養箱
						
鐵尺	顯微鏡頭	燈	燈架	噴水器	膠帶	腐植土

參、研究過程與方法

一、探討福爾摩沙山蛩的身體構造和習性

(一)身體構造

1、長寬高、體節、步足

將馬陸(樣本數:**53**)和尺放在一起拍照，側邊(長、高、體節)、頂部(俯瞰)各一張(寬)，用**imageJ**測量長寬高。用照片數馬陸的體節數，並以每體節四隻腳、部分體節的概念推算出步足公式，並將結果記錄在**Excel**算平均及標準差。

2、頭部

使用手機加裝顯微鏡頭拍攝馬陸頭部構造。

3、軀幹部

觀察馬陸軀幹部外觀並拍照或上網找文獻。

4、步足

使用解剖顯微鏡和影印機掃描功能觀察步足的外觀和分布，且我們發現體節數跟步足數量是有關係的，進一步去觀察並找出規律。

(二)生物分類、地位及棲息環境

1、生物分類及地位

上網搜尋福爾摩沙山蛩的生物分類與生物地位。

2、棲息環境

分別在早上**(9點)**、下午**(3點)**、晚上**(9點)**、是否有下過雨，去同一地點尋找福爾摩沙山蛩，並觀察牠們主要棲息在哪些環境及時段最容易出現。

			
落葉堆中的馬陸	爛木頭中的馬陸	鑽進土裡的馬陸	在地上爬的馬陸

(三)防禦行為

在日常觀察和做實驗時，馬陸有時會爬到較光滑的地方，容易摔落;將馬陸抓起時也會捲起身體，出現防禦行為，於是我們觀察了從高處摔落、被從身體一端抓起、碰到觸角後馬陸的行為。

二、探討福爾摩沙山蛩的喜好食物

(一)製作裝置

用美工刀在紙箱側邊切割出六個孔，在瓶子裡裝入食物，再卡到紙箱孔洞中。

(二)使用食物

		
腐質土	蘋果	橘子
		
棗子	香蕉	西洋梨

(三)實驗方法

- 1、每隔**45**分鐘觀察一次
- 2、放入**9**隻馬陸

三、探討震動和濕度對馬陸棲息深度的影響

(一)土壤震動

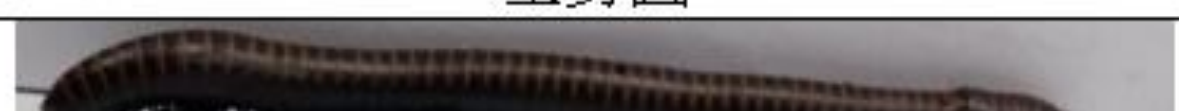

研究人員使用透明觀察箱並填入**10公分**厚的土壤，放入**20**隻體型相近的馬陸（**5雄15雌**）適應後，依序施加小、中、大三種震動強度（分別為每秒**1公分**、**5公分**與**10公分**的水平推動），每次震動持續**30秒**，並於震後**0、15**與**30分鐘**測量個體在**X、Y、Z軸**的三維空間位置，分析其垂直潛土深度與水平遷移距離的變化，並比較性別差異。

(二)土壤濕度

使用相同尺寸與初始條件的觀察箱，每小時均勻加入**750毫升**蒸餾水至土表，連續進行**5**次，使土壤逐漸增濕，並同步記錄土壤濕度、**pH**值與馬陸的三維座標。重點在於觀察馬陸在乾燥與濕潤條件下垂直遷移（**Z軸**）與水平位移（**X、Y軸**）的變化。最終將所有數據依震動強度、濕度梯度、性別與時間點進行分組統計分析。

四、探討福爾摩沙山蛩的行走模式

在這些實驗中，我們將主要使用此兩隻馬陸：

性別	編號	全身圖	體節	體長
公	A		59	8.7
母	D		59	10.6

設置四種介質（紙、木頭、壓克力、玻璃）與六種角度（**0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°、180°**）。介質以**0度**為例，大致環境如表**3-3-1**所示。



	
壓克力	玻璃

圖 3-3-2 行走實驗 0 度介質環境

（一）行走趨勢

使用Tracker分析。設定一影格為1/30秒，點擊150個影格，一隻馬陸設定六個點，以A為例，體節59-5（共五節不參與行走）=54，54/6=9，以頭部有腳的第一個體節從左數9，標記質量A，再從質量A數9個體節標記質量B，以此類推，直到質量E，質量F為末足，皆標註步足的最末端。探討以下三個主題：行走模式、不同介質、不同角度



點擊新增→校正桿↵



將校正桿拉到鐵尺刻度一公分的位置↵



再點擊軌跡 Track→新增→質點↵



按下 ctrl+shift 點擊欲追蹤的步足↵

（二）波

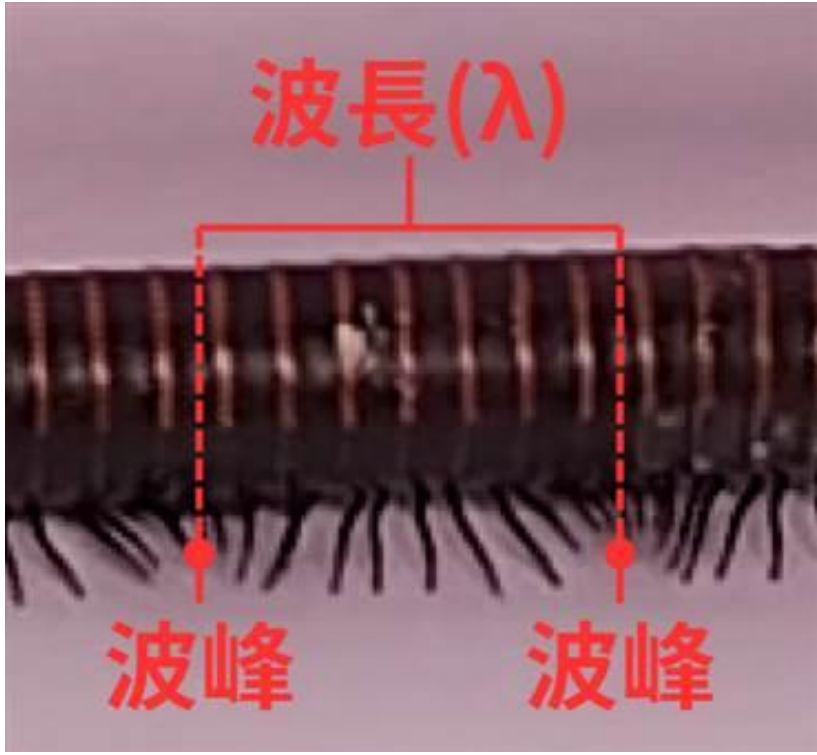
馬陸行走時會抬起一段一段的腳。若將這行為視為一種波的傳遞，則會發現這類似於疏密波。

1、抬起一段腳的總數

點進tracker，取隨機一格影格，數「總共抬起幾段腳」。使用的影片為A與D的全部。

(1)波長

點進Tracker，取隨機一個影格，取其中兩段抬起的腳，以該段中抬最高的步足為波峰，兩段中的波峰連起來即為波長。



(2)波速

點進Tracker，取一個影格，取其中一段抬起的腳，以該段中抬最高的步足為波峰，並追蹤該步足，追蹤30格影格，計算從第1格到第30格的距離，從此算出波峰一秒總前進的距離（即為波速）。

（三）占空

先算出馬陸的總腳數（僅算一面），影片中取150格影格，並數總抬起的腳，並計算該影片數據的平均數。

肆、研究結果

（一）身體構造

1、長寬高、體節、步足(單位:cm，數據四捨五入)

	長度	寬度	高度	體節	步足
平均	11.23±1.14	0.72±0.10	0.76±0.08	58.43±1.12	228.15±4.64

編號	A	B	C	D	E	F
長/寬/高	10.5/0.6/0.6	11.0/0.6/0.7	13.5/0.7/0.7	9.2/0.7/0.6	12.0/0.8/0.8	8.7/0.5/0.5
體節數	60	60	60	56	59	60
步足數	110對	110對	110對	102對	108對	110對

2、頭部

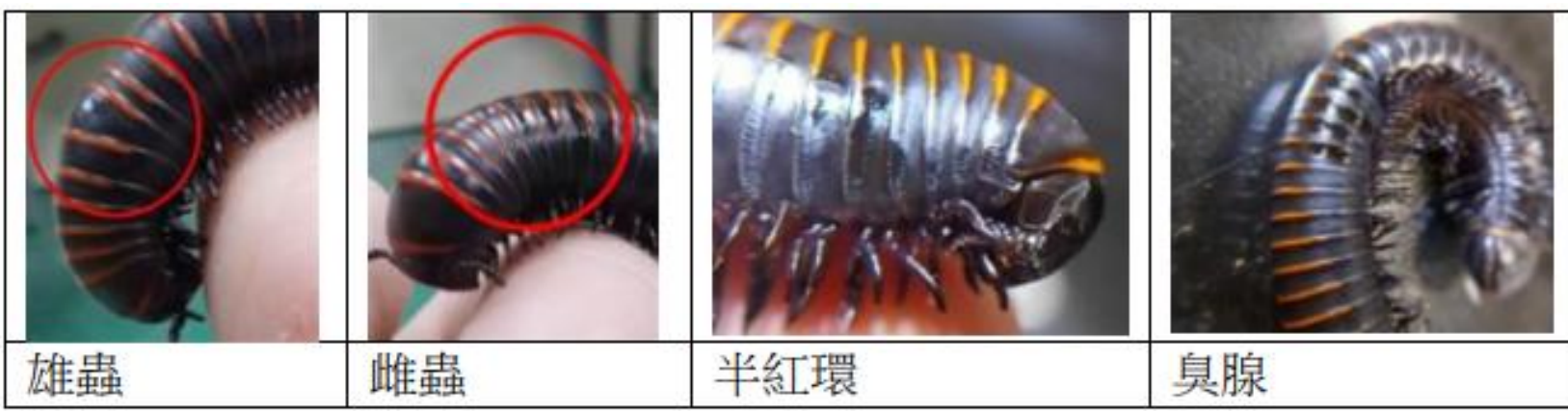


觸角在複眼下

觸角有六節

口器在第二節

3、軀幹部



雄蟲

雌蟲

半紅環

臭腺

4、步足

每節有兩對步足，最後一個體節沒有腳，頭部第一節的步足則是藏在口器附近，不參與行走，雄蟲第七節因生殖構造所以沒有步足。



末端白色倒鉤

步足分布

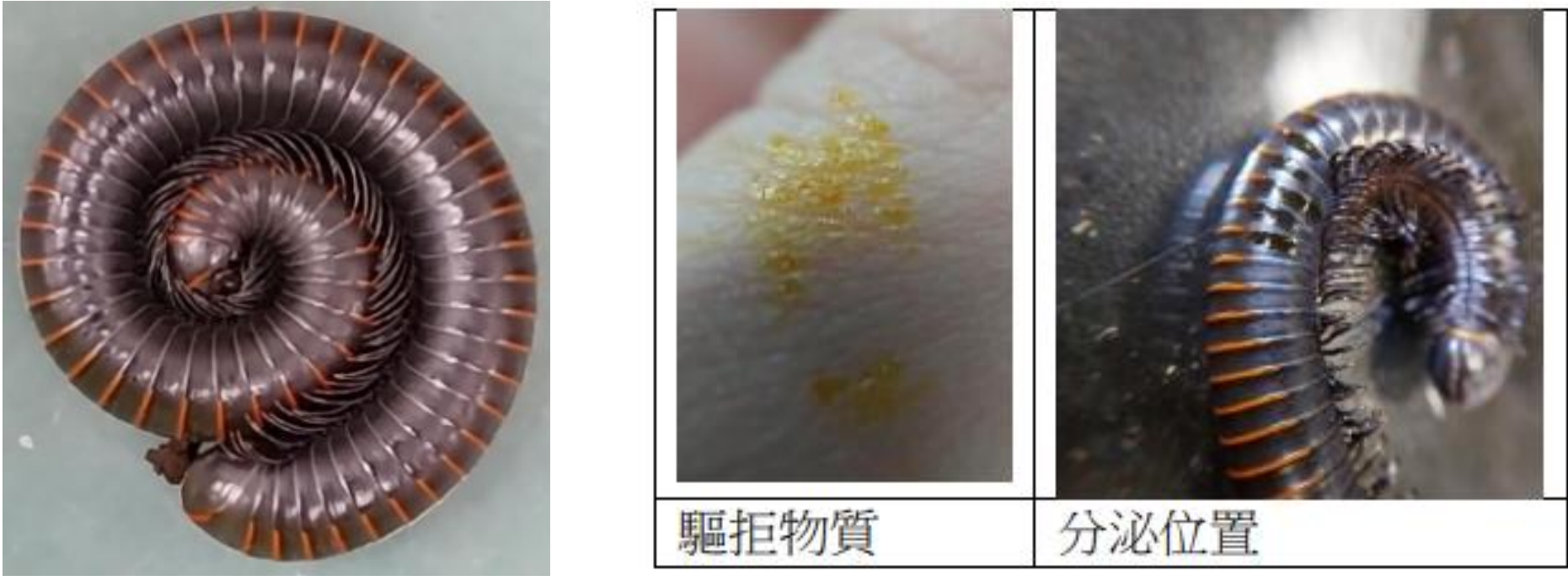
(二)生物分類、地位及棲息環境

根據文獻，福爾摩沙山蛩的生物分類為:動物界、節肢動物門、倍足綱、山蛩目、旋刺馬陸科、旋刺馬陸屬，為台灣特有種，棲息在北部低中海拔地區，屬於腐食者，以腐植質為食，故平時主要棲息在土壤、落葉堆、腐爛的木頭等富含腐植質的地方。我們發現通常在下午3、4點到晚上9點較常出現，尤其是下過雨後容易看到大量馬陸爬出的畫面。

（三）防禦行為

當馬陸受到驚嚇時，可能有以下三種防禦行為:

1、捲曲 2、驅拒物質



根據文獻，驅拒物質含有一種化學物質：苯醌。

3、排泄行為

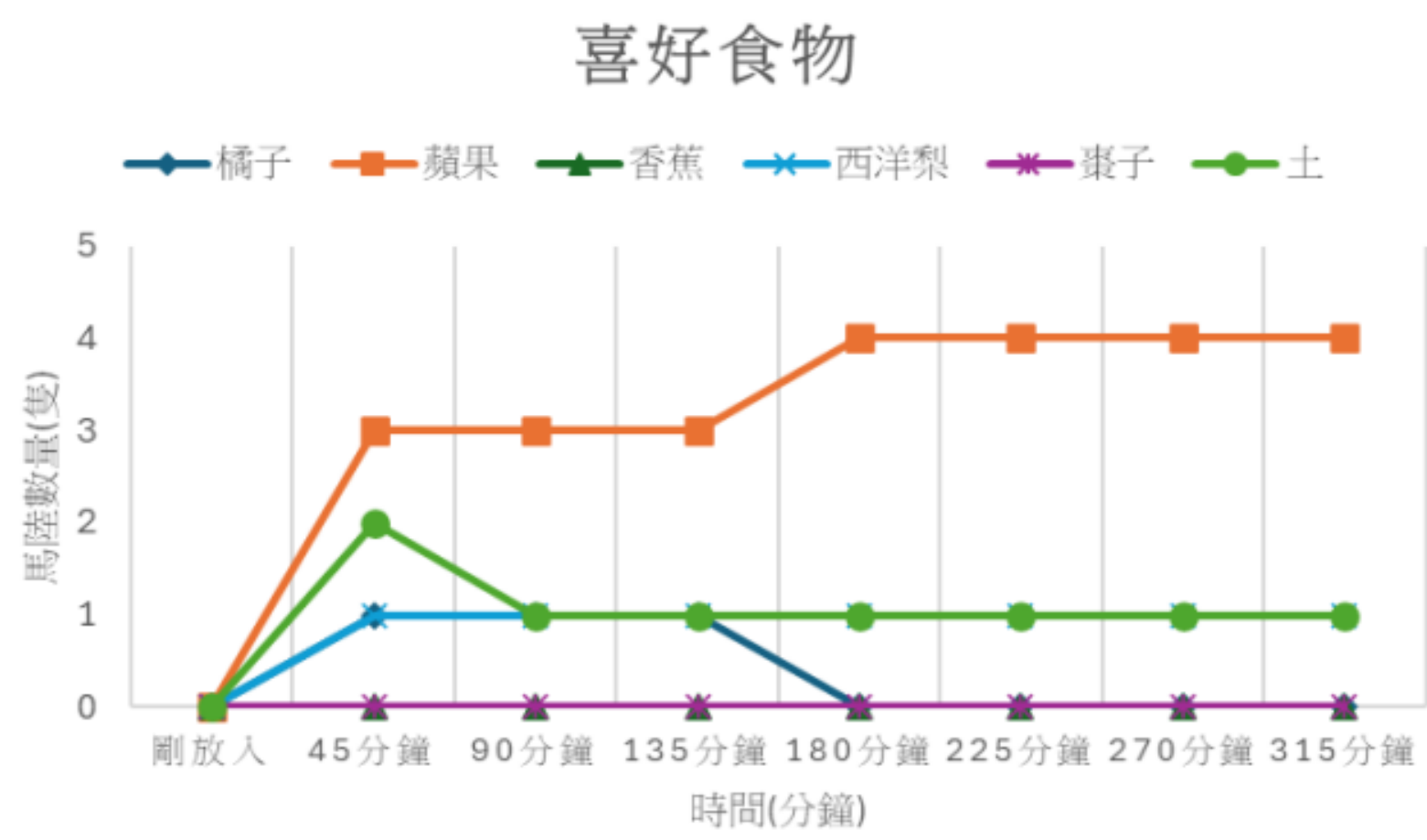
受到驚嚇後也有可能出現排泄行為，抓馬陸時發現，原生地和已經飼養一段時間的馬陸排泄物有所差異。



原生地剛抓獲時的排泄物: 較稀、顏色較黃

吃專門用的飼養土一段時間後: 偏橢圓形，像是結塊的土，顏色較黑

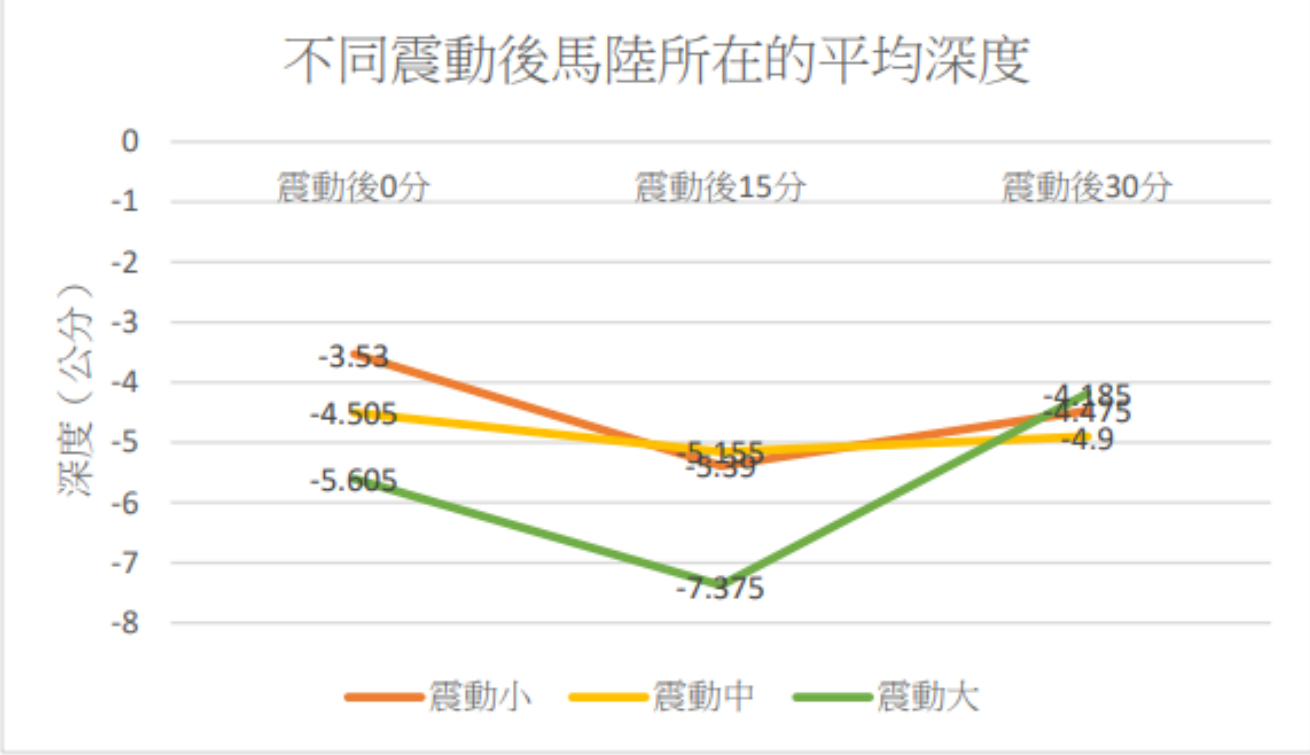
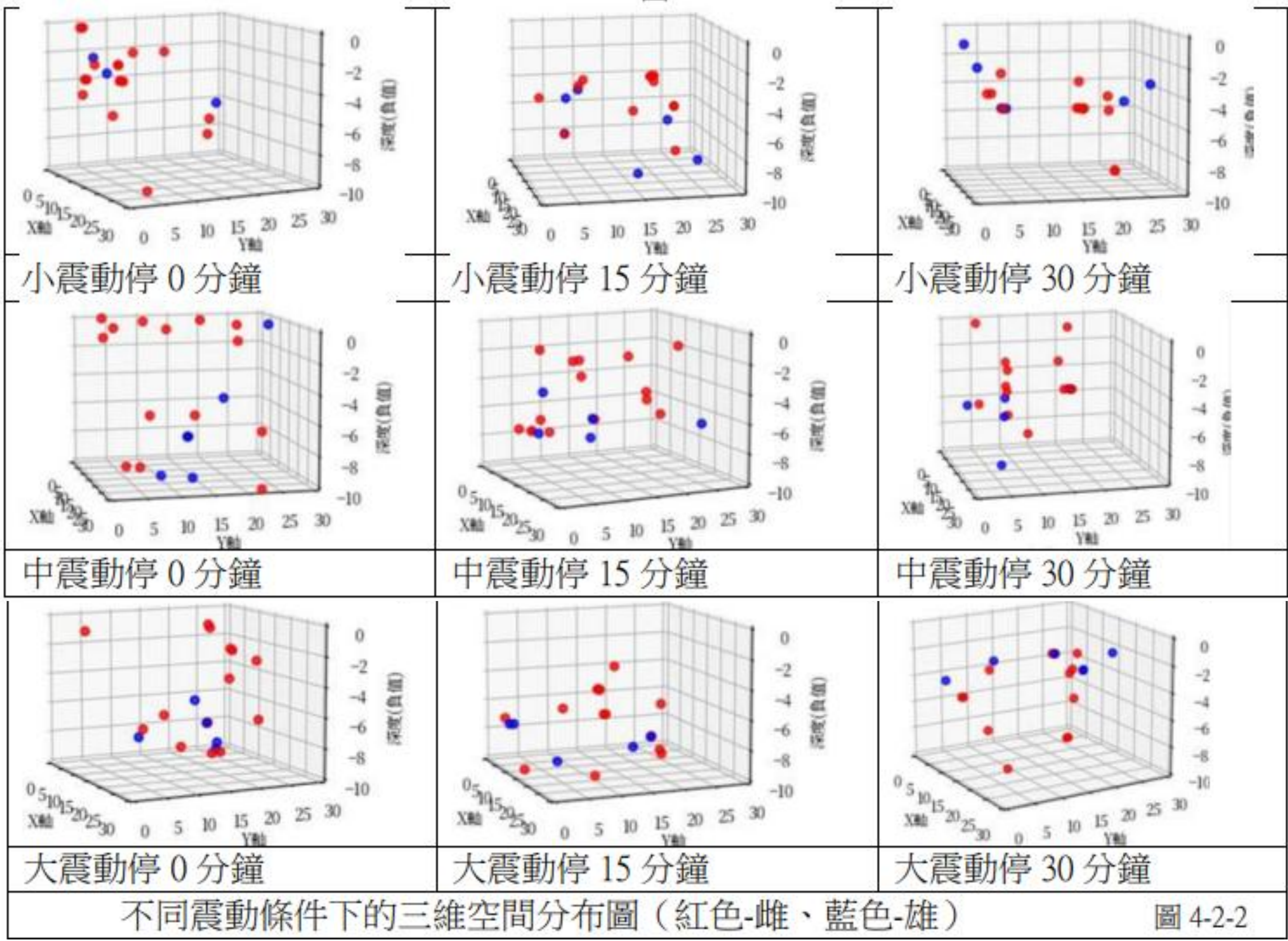
二、探討福爾摩沙山蛩的喜好食物



最吸引福爾摩沙山蛩的食物是蘋果和腐植土；最不吸引的是香蕉跟棗子。

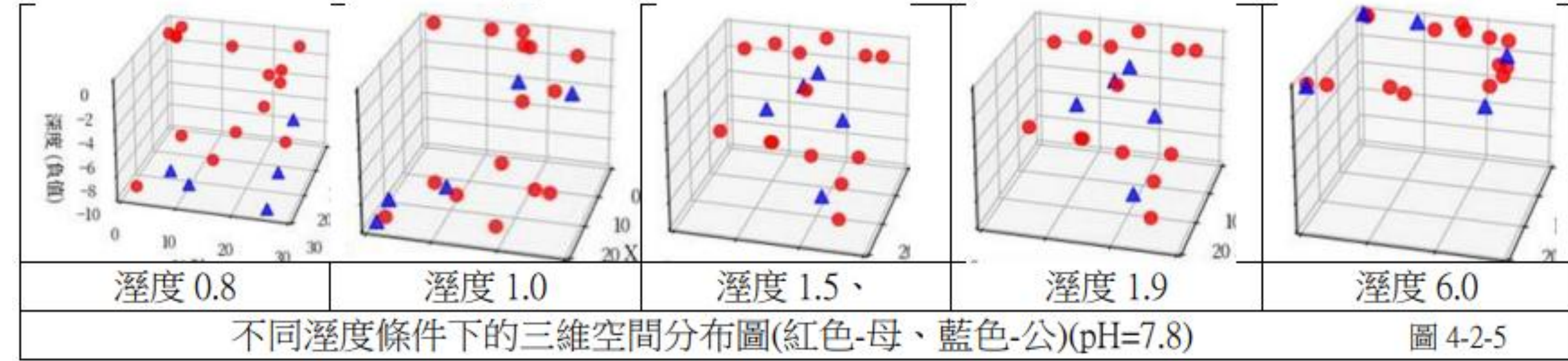
三、探討震動和濕度對福爾摩沙山蛩棲息深度的影響

(一)土壤震動

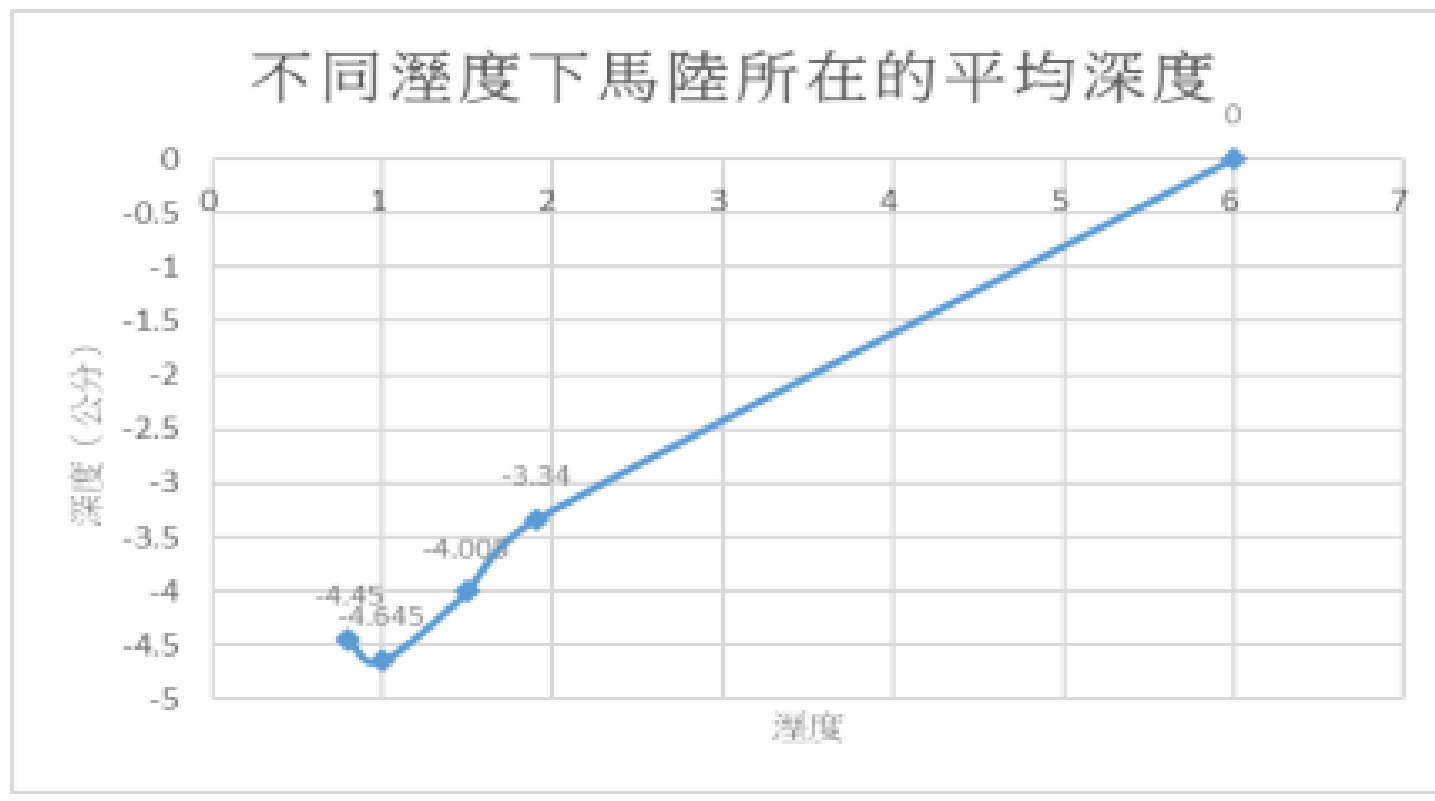


在小至中強度震動下，馬陸挖掘深度維持在3至5公分，震動期間及停止後15分鐘內變化不顯著。然而，小震動組在震後15至30分鐘內，出現馬陸2至3隻群聚行為，未震動組則較少見。高強度震動使馬陸在震後15分鐘內挖掘深度上升至7.375公分，30分鐘後自然回復至原始平均值。

(二)土壤濕度



在溼度梯度實驗中，前三次加水後溼度緩升（0.81.5），馬陸多停留在45公分深處，反應不明顯。第四次加水溼度升至1.9，潛土深度減至3.3公分。第五次加水後溼度驟升至6.0，馬陸全數逃至地表，甚至攀附箱壁，顯示對高溼度具強烈迴避反應。



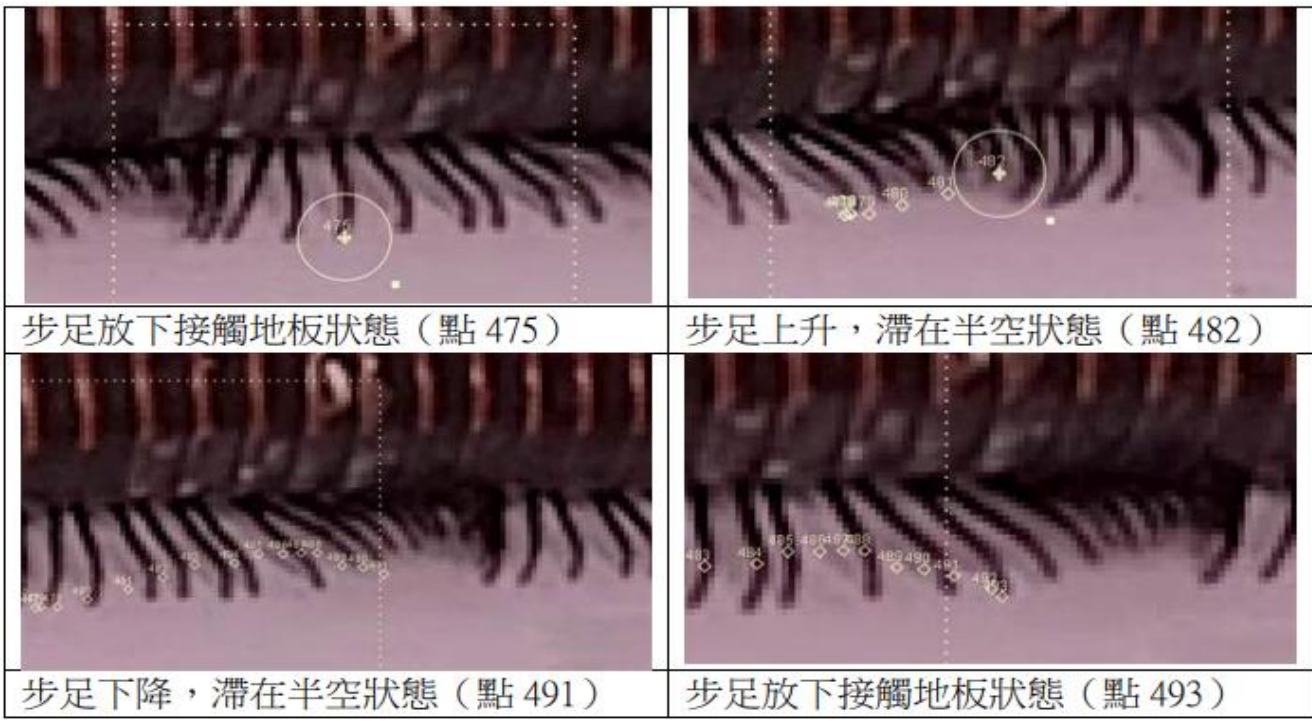
四、探討福爾摩沙山蛭行走模式

（一）行動趨勢

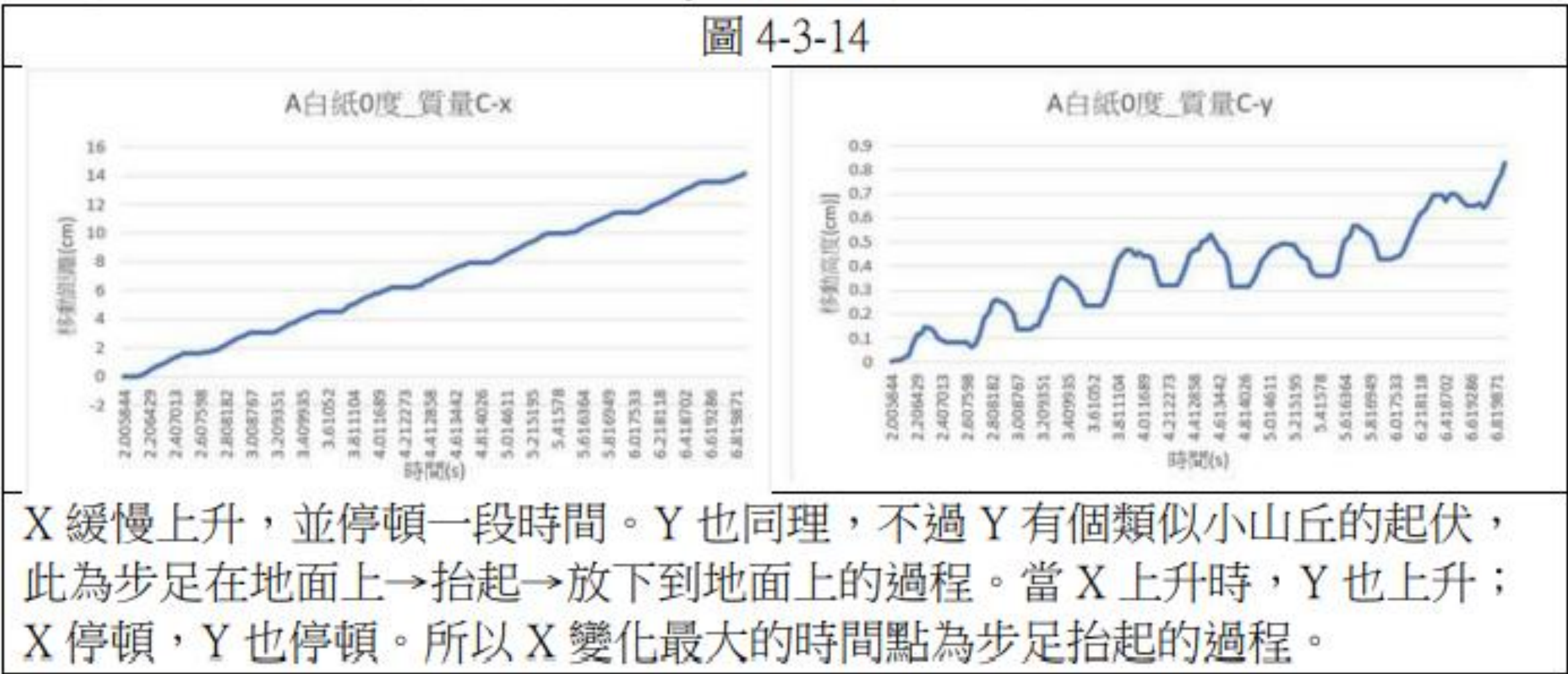
1、行走模式

壓克力與玻璃僅15°無法爬，白紙60°無法爬，木頭A各種角度皆能爬，D則僅有180°不行。

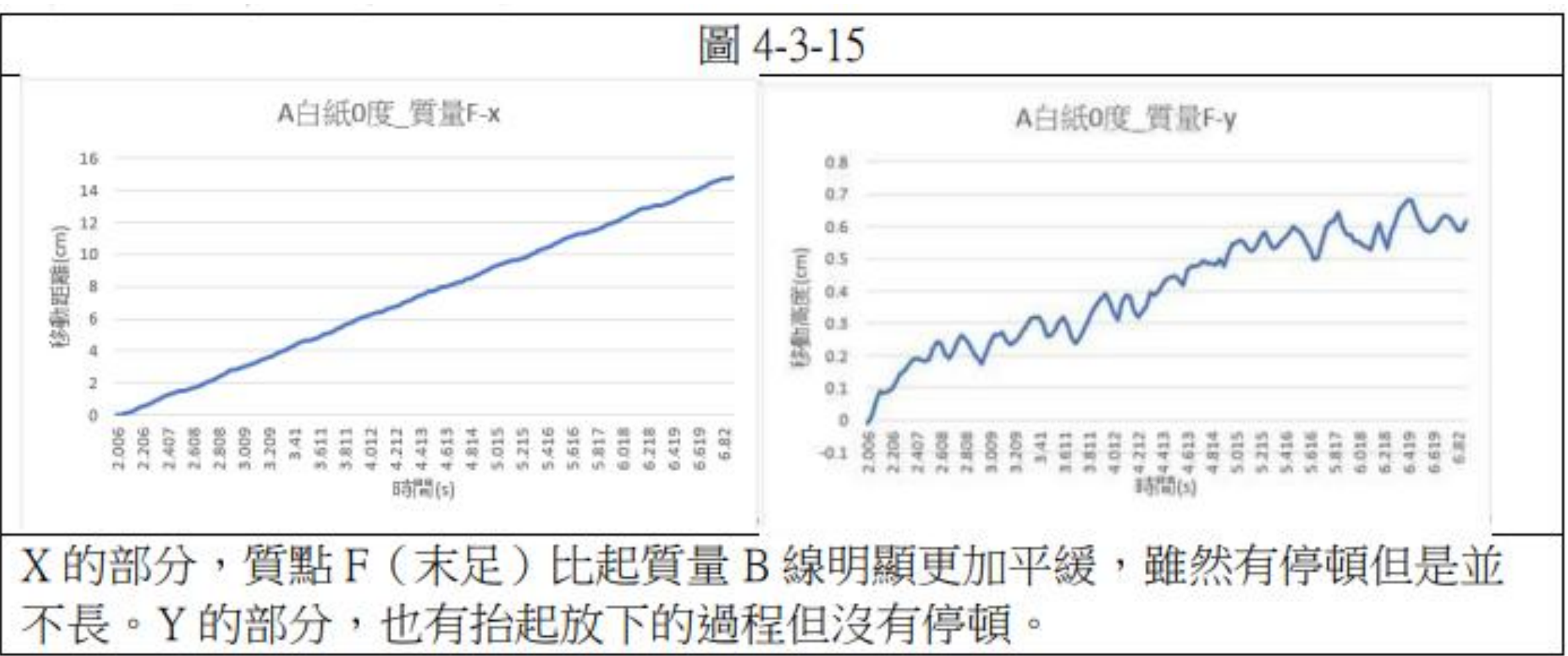
移動步驟與軌跡：



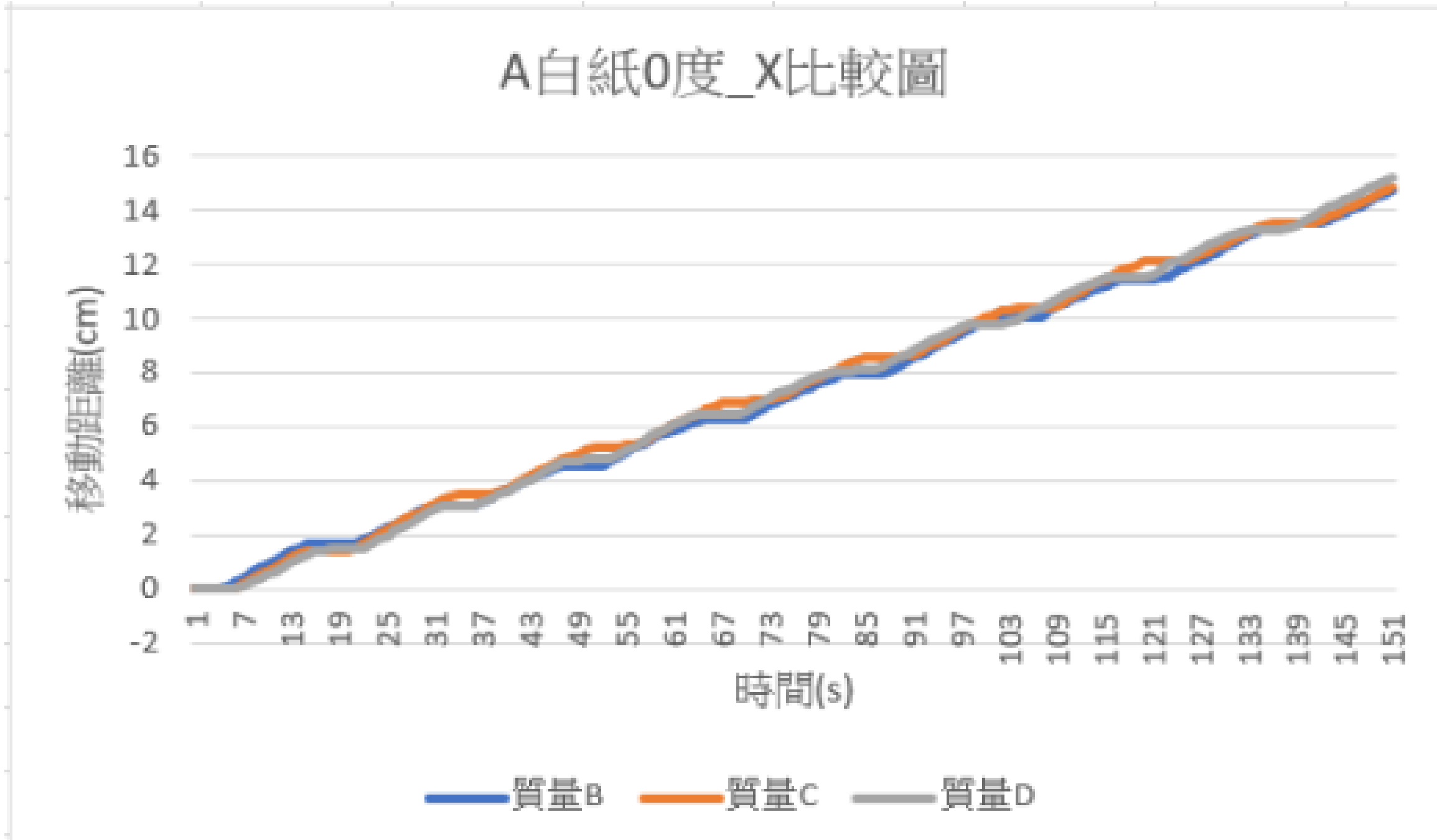
在分析的過程中，我們發現馬陸單隻步足的行動模式為間歇性，以A的白紙0度質量C的x（移動距離）與y（移動高度）為例：



我們也發現末足的特殊之處：



以不同步足的配合來看的話，質量 B、C、D 幾乎是同步的。抬腳時間與停頓時間差不多。



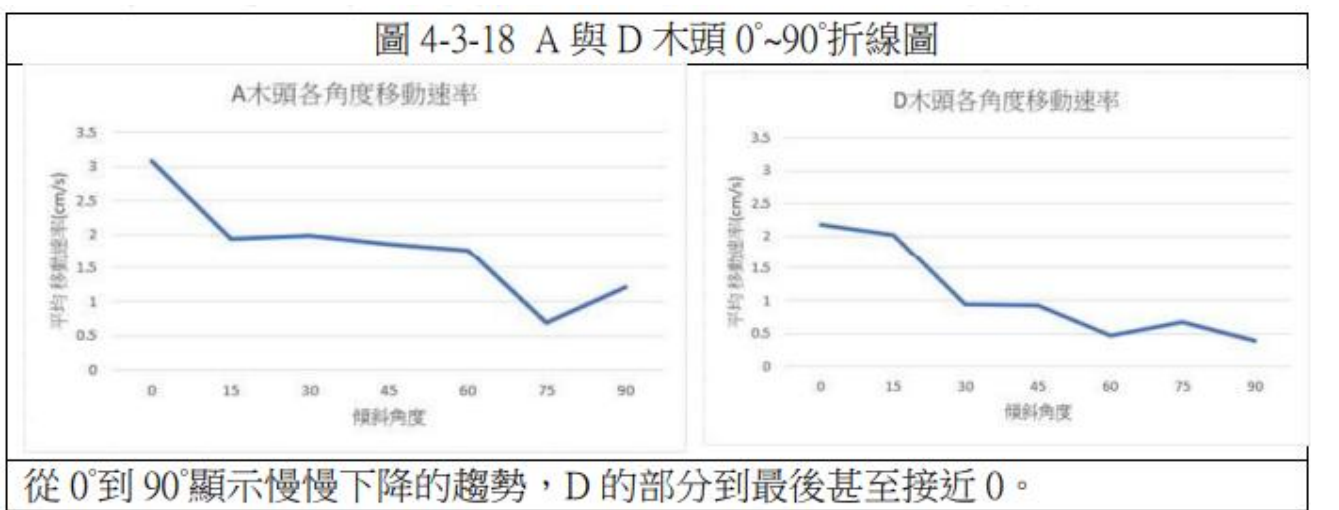
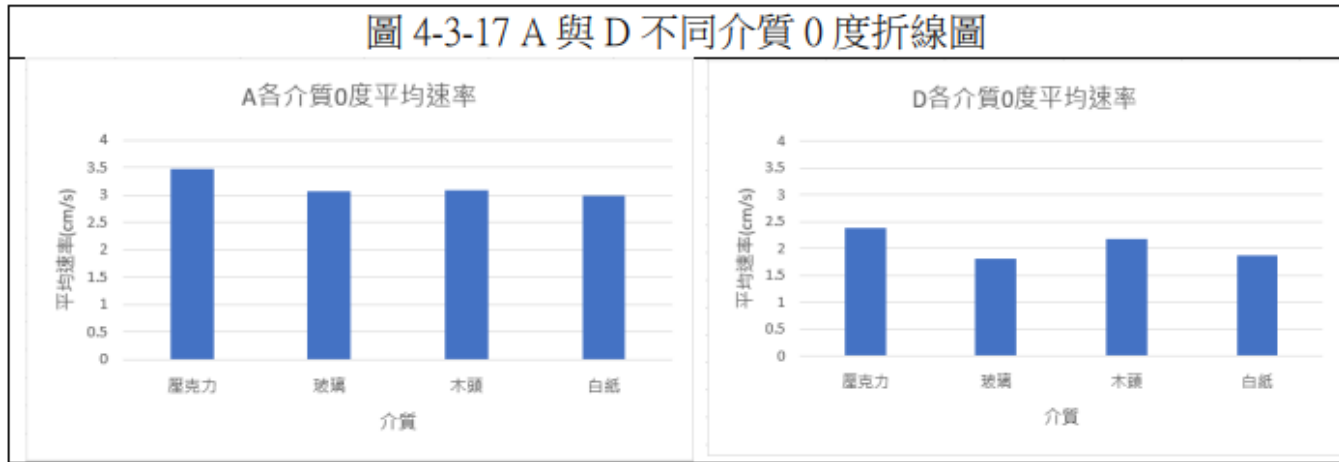
A 與 D 就算雌雄不同行走方式也並無不同。一開始我們以為 A 第七節沒有腳，會影響行走模式，因此我們在點質點的過程中跳過第七節，結果發現並沒有同步。得出結論：公第七節不影響行走模式。

2、不同介質

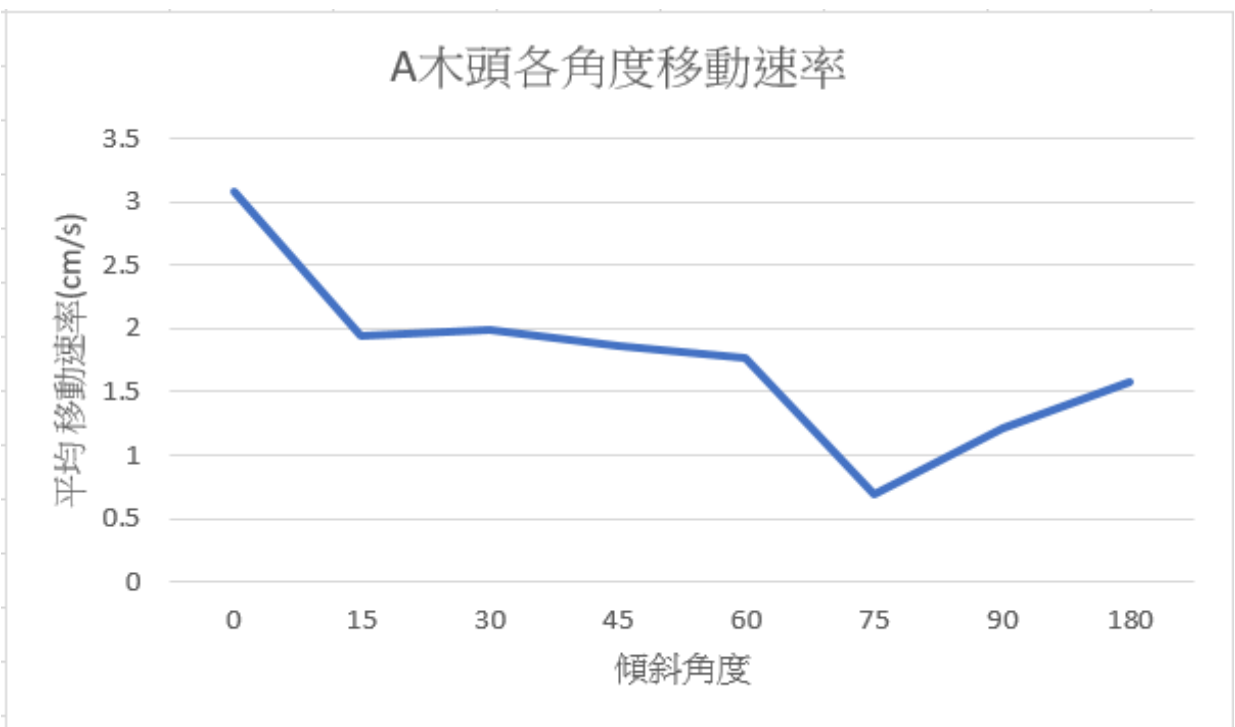
不同介質對於馬陸並無太大影響，從速度來看都是差不多的。

3、不同角度

因A速度比D快，所以數字會高一點，但對總體趨勢並無影響。

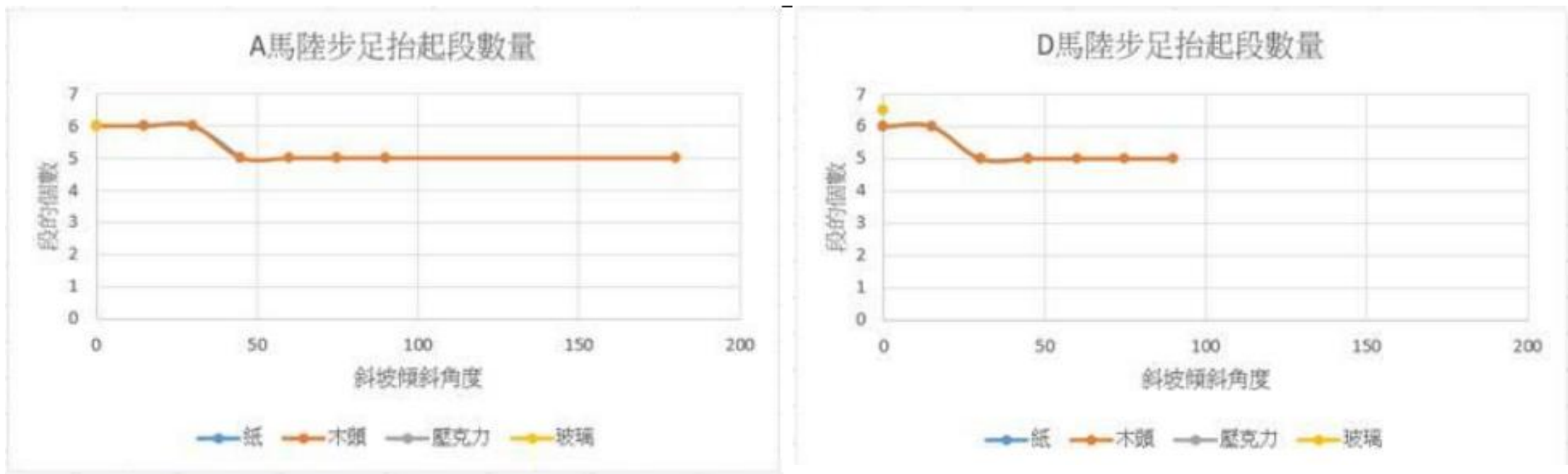


只有A完成180°的任務。值得注意的是，在180°時速率又上升。

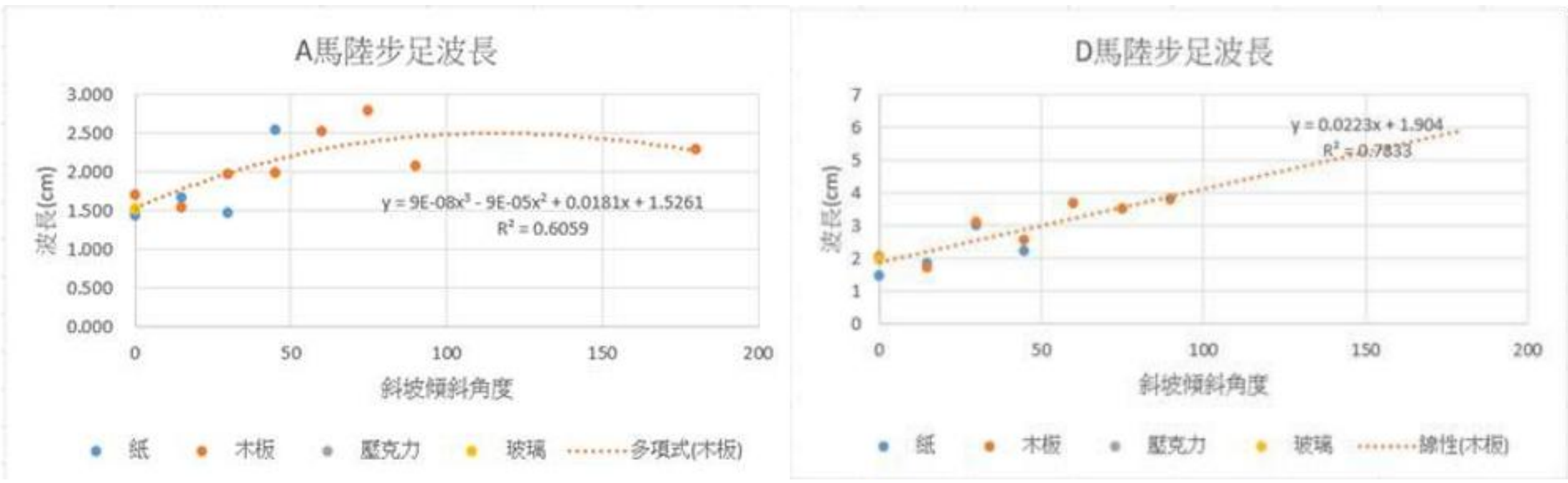


（二）波

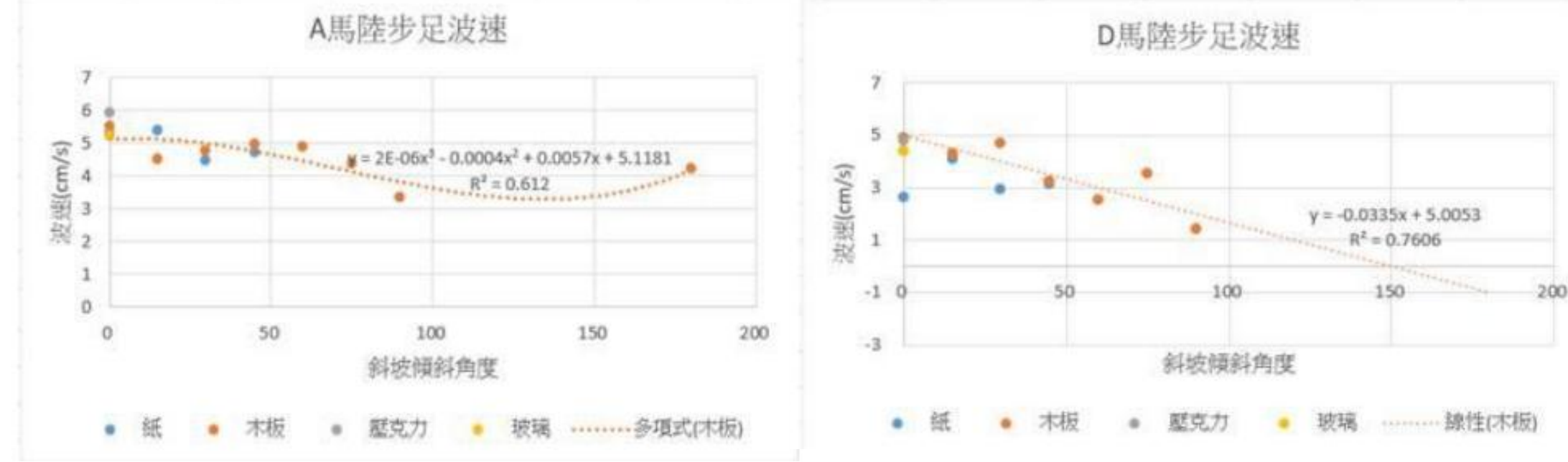
1、抬起



2、波長

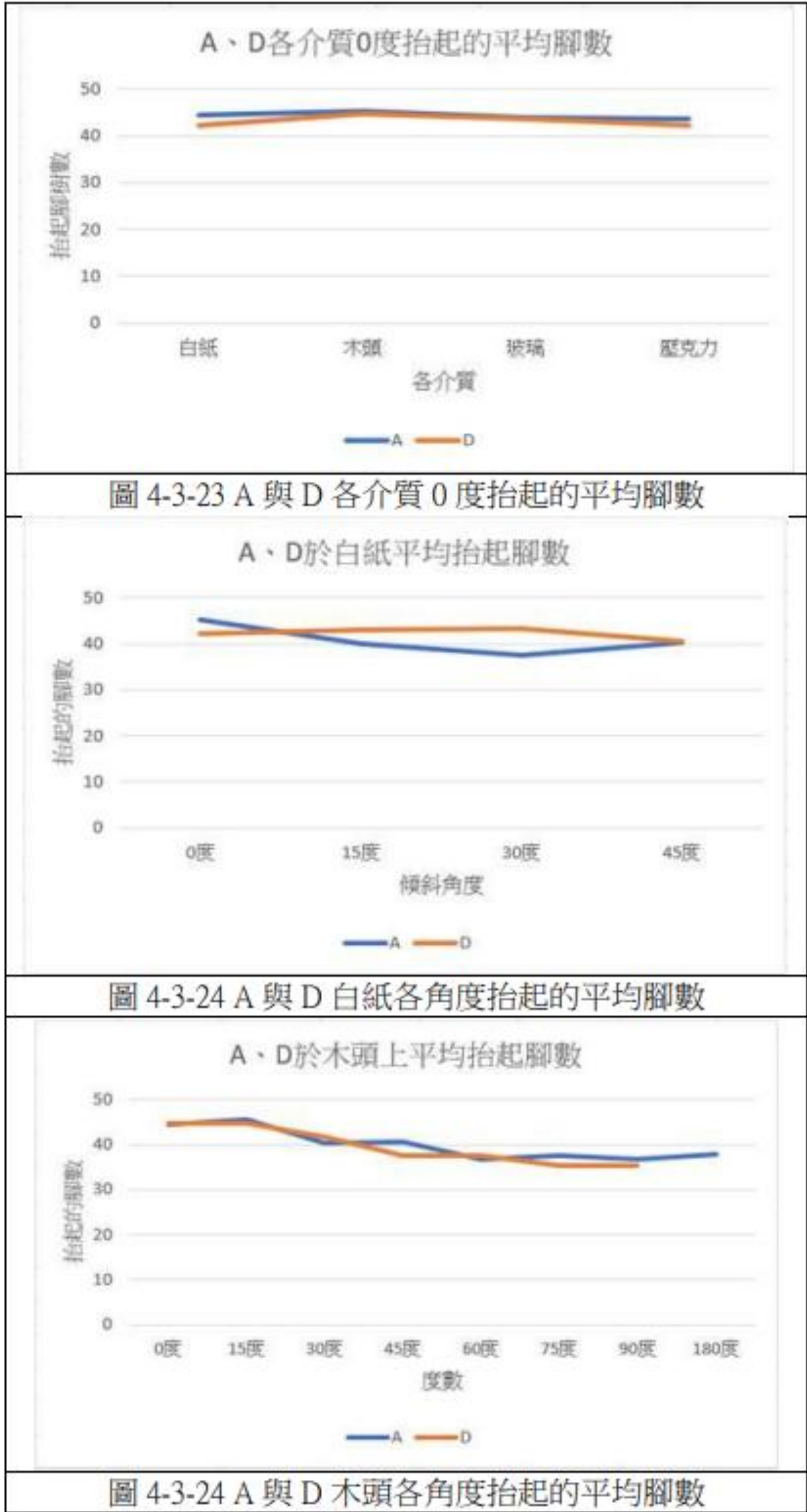


3、波速



（三）占空

不同介質，平均腳數也無太大變化，A與D數字很接近。



可以看到不管是A與D抬起的腳數皆漸漸下降。所以傾斜角度越大，馬陸抬起的腳數會越少。

D度而無數據。隨著角度越大，抬起的腳數都漸漸下降。不過A在180度時並沒有繼續下降。

結論、討論

一、福爾摩沙山蛭的習性

福爾摩沙山蛭棲息於北部低中海拔，喜好富含腐植質的落葉堆、爛木等，為夜行性、具負趨光性。雌蟲步足數為(體節數-1)×4，雄蟲為(體節數-2)×4。受驚嚇時會捲曲，露出具臭腺的體側，分泌刺激性黃色液體，氣味濃烈且具刺激性，接觸皮膚恐致紅腫，刺激越大分泌物越濃。野外與飼養個體的排泄物差異明顯。

二、探討山蛭的喜好食物

最吸引福爾摩沙山蛭的食物是蘋果和腐植土；最不吸引的是香蕉跟棗子。

三、震動和濕度對山蛭棲息深度的影響

(一)土壤震動

馬陸出現2至3隻聚集行為，未震動組較少，推測有助於增加安全感。

(二)土壤溼度

顯示溼度超過1.9時馬陸轉趨地表。性別分析發現雌性對溼度變化反應較快，可能與繁殖期體液調節有關，亦支持暴雨後馬陸大量遷移對作物造成危害的研究，未來可應用於濕度控制害蟲管理策略。

四、探討福爾摩沙山蛭的行走模式

馬陸行走為間歇式，雌雄無差異，B、C、D質點同步抬腳，A、E、F不同步，推測因抬腳數與波長不同，末足F僅具輔助作用，不參與傳遞波。在紙、木頭、玻璃與壓克力上行走無明顯差異，未來可測試其他介質如布。不同角度下，速率隨角度增加而降低，但180度時速率反升，顯示具環境翻轉爬行能力。公母在正常情況下抬六段腳，之後轉為五段。隨角度上升，波長增長、波速與頻率下降，平均抬腳數與占空比也隨之減少，對應波長變化。

以上圖片皆由作者自行拍攝