

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030305

「馬陸」三寶－探討小紅黑馬陸的棲地、動物行為與族群生態

學校名稱：臺南市私立長榮高級中學(附設國中)

作者： 國二 何仔芯 國二 林信珩 國一 邱家樂	指導老師： 卓猛暉 黃怡倩
---	-----------------------------

關鍵詞：小紅黑馬陸、動物行為、族群生態

摘要

台灣原生種小紅黑馬陸棲息在潮濕腐質土。齡數愈接近成蟲，棲息土壤的位置愈深。喜愛棲息在落葉層下的腐質土，呈叢生分布。成蟲有正趨地性、負趨光性。隨齡數增長，複眼避光程度漸增。成蟲對水的耐受度較幼體高。馬陸遇乾燥性粉末會迴避，對具刺激味道的植物較不會迴避。驚嚇時身體捲曲呈圓環狀或出現排泄行為。成蟲不會因土壤震動而從土壤中外出活動。成蟲發生期在夏初，喜愛食用腐爛的水果。 $\text{步足數目} = (\text{體節數}) \times 4 - 18$ 。族群中雄性占 19.8%，雌性占 80.2%。夏末時交配最頻繁。眼為複眼，幼體五齡前，單眼數目的三角形底邊與齡數有規則關係。幼體期約一年，蛻皮八次後為成蟲。族群的生存曲線屬於平均死亡率型。蛻皮前體色變淡，呈螺旋狀蛻皮。

壹、研究動機

馬陸週期性的大發生，常被以訛傳訛而成了「馬陸大量出現，代表地震要來了」。這些錯誤的觀念起因於人們對馬陸的不了解，人因無知而恐懼，很多民眾看見這些受到驚嚇便捲曲成團的無害生物—馬陸，不是害怕恐懼，就是驅趕殺害。國內馬陸相關研究書籍資料很少，其實馬陸是生態系中不能缺席的重要角色—腐食者，了解馬陸的生態行為對民眾在環境教育上有很大的幫助，維護馬陸的生物多樣性也是對生態保護有非常大的貢獻，所以我們決定組成科展團隊，希望透過研究探討馬陸，來改變一般民眾對馬陸的刻板印象。我們研究的馬陸品種為台灣南部常出現的小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sorornus*。我們先設計馬陸的生態問卷調查，了解中學生對馬陸的正確認知程度，接著進行馬陸生態學層級的實驗研究，期盼研究成果能使中學生對環境教育意義有更正確的體會。

我們研究馬陸生態學層級的排序為：生物分類→環境棲地→動物行為→族群生態→物種的交互作用。我們設計實驗方法與過程，接著分析實驗結果，最後進行主題討論。

貳、研究目的

- 一、利用問卷調查來了解一般學生對馬陸是否存在錯誤的認知
- 二、探討小紅黑馬陸的生物分類
- 三、探討小紅黑馬陸的棲息環境
- 四、探討小紅黑馬陸的動物行為
- 五、探討小紅黑馬陸的族群生態

參、研究設備及器材


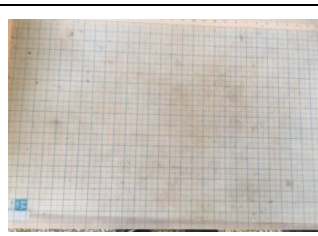
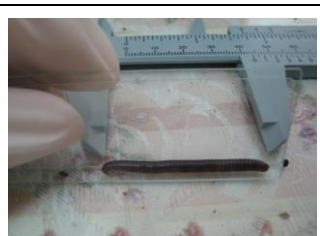





1.採集的用具：採集箱、小鏟子、手套

			
採集箱(用來裝野外採集的馬陸與腐質土)	小鏟子(用來挖腐質土與各齡馬陸)	手套(採集時配戴，用來保護採集者)	腐質土(馬陸原棲地採集回來的腐質土)

2.飼養的設備：各種大小透明飼養箱、透明壓克力盒、噴水瓶、腐植土、水苔、枯葉、腐木。

			
透明飼養箱(方便觀察各齡馬陸的行為)	噴水瓶(定期噴水，保持飼養環境的濕度)	花藝店專賣腐質土(用來飼養各齡馬陸)	各種大小透明觀察箱(用來觀察各齡馬陸)
			
水苔(鋪設在環境底材，用來保濕)	枯葉(讓馬陸可躲藏與取食)	腐木(讓馬陸可躲藏與取食)	透明壓克力盒(30x10x10cm)(進行動物實驗之用)

3.實驗的器材：溫度計、培養皿、鑷子、方格紙、測量尺、強力手電筒、碼表、pH值檢測器、智慧型手機、解剖顯微鏡、複式顯微鏡。

			
解剖與複式顯微鏡(觀察各齡馬陸身體構造)	方格紙(用來測量各齡馬陸的體長)	測量尺(用來測量各齡馬陸的體長)	pH值儀器(用來檢測土壤的酸鹼值)
			
碼表(實驗時，用來量測時間)	鑷子(用來抓取各齡馬陸，避免其受傷)	培養皿(解剖顯微鏡觀察時，用來觀察拍照)	強力手電筒(用來測試趨光性實驗)

肆、研究方法與結果

一、利用問卷調查來了解一般學生對馬陸是否存在錯誤的認知

(一)實驗目的：我們設計此問卷(如下表：馬陸認知程度的問卷調查)來了解大多數人對馬陸的認知和想法。我們針對 12~18 歲的國中高中學生做問卷調查。

(二)問卷調查統計結果：

1.問卷調查總人數：國一到高三(12~18 歲)，問卷結果 504 人(有效問卷)

2.問卷調查統計分析：如下表

『馬陸』認知程度的問卷調查

一、基本資料

您的性別為？ 男 女 您的年齡為？ _____歲

二、問題

1. 以前是否曾經聽/看過馬陸？ 是 否

2. 對於牠的第一印象為?(複選)

奇怪 噁心 害怕 有趣 可愛 黏黏的 濕濕的 冰冰的 軟軟的 硬硬的

其他:_____

3. 請問馬陸是一種昆蟲？ 是 否

4. 請問所有的馬陸都是同一種生物？ 是 否

5. 請問馬陸與蜈蚣何者的步足(腳)，何者較多？ 馬陸 蜈蚣

6. 請問馬陸與蜈蚣何者移動速度，何者較快？ 馬陸 蜈蚣

7. 請問你可以從外型判斷出該種生物為馬陸還是蜈蚣嗎？ 是 否

8.你認為馬陸的棲息地在何處?(複選)

森林 草原 沙漠 農田 公園 水溝 河流 池塘

9.你認為馬陸棲息環境為何？

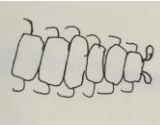
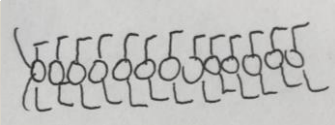
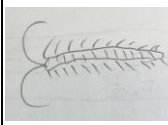
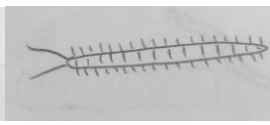

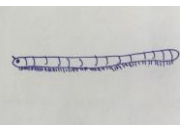



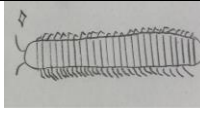


草叢中 落葉堆內 砂土 石堆 腐植土 樹幹上 枯枝內

10. 是否認為小紅黑馬陸是台灣特有種的馬陸？ 是 否

11. 馬陸成蟲是否為群居動物？ 是 否

12. 請畫出你想像中的小紅黑馬陸(畫在下面)

1 是否看(聽)過	是				否			
	91%				9%			
2 第一印象	害怕	有趣	可愛	黏黏的	濕濕的	冰冰的	軟軟的	硬硬的
	48%	18%	3%	2%	38%	35%	23%	56%
3 馬陸是一種昆蟲？	是				否			
	43%				57%			
4 所有馬陸都是同一種？	是				否			
	48%				52%			
5 馬陸與蜈蚣誰的步足較多？	馬陸				蜈蚣			
	55%				45%			
6 馬陸與蜈蚣何者移動速度快？	馬陸				蜈蚣			
	38%				62%			
7 從外型可辨別馬陸或蜈蚣嗎？	是				否			
	85%				15%			
8 馬陸棲息地在何處？	森林	草原	沙漠	農田	公園	水溝	池塘	河流
	42%	39%	0%	32%	37%	0%	1%	5%
9 馬陸的棲息環境	草叢中	落葉堆內	砂土	石堆	腐植土	樹幹上		枯枝內
	38%	59%	41%	33%	65%	3%		47%
10 小紅黑馬陸是否為台灣原生種？	是				否			
	64%				36%			
11 馬陸成蟲是否為群居動物？	是				否			
	57%				43%			

					
同學會將蜈蚣與馬陸搞混		同學將馬陸的觸角畫的太長		同學畫的馬陸軀幹體節太少	
					
部分同學有畫出馬陸的假死狀態		軀幹比例太細長或過於粗胖		少許同學畫出正確小紅黑馬陸	

結論：問卷統計結果顯示如下

- (1) 有超過 90% 的中學生看過馬陸。顯示馬陸算是常見的動物。
- (2) 同學對馬陸的第一印象依序為硬硬的、害怕、濕濕的，約一半比例的同學會害怕馬陸。
- (3) 中學生仍有 43% 認為馬陸為昆蟲。同學對昆蟲的定義仍有待解釋說明清楚。因為昆蟲綱的生物步足數目為六隻，馬陸為節肢動物門，但是馬陸不是昆蟲。
- (4) 只有 52% 同學正確知道所有馬陸並不是同種。顯示同學對「族群」與「群集」的定義仍有錯誤的認知。

- (5) 45%中學生對於馬陸的步足數目有錯誤的認知，只有 55%知道馬陸的步足比蜈蚣多。
- (6) 中學生有 62%正確答對蜈蚣爬行速度比馬陸快。
- (7) 中學生有 85%自認可以從外型辨別出馬陸還是蜈蚣，但是同學在繪畫馬陸時，卻仍出現不少將馬陸畫成蜈蚣的外型的例子。
- (8) 有高比例的同學對馬陸棲息地有正確的認知(森林、農田、公園等地)
- (9) 棲息環境為落葉堆、腐植土或枯木等處，但有 41%的同學認為馬陸會棲息在砂土中，顯示同學們對馬陸的棲息環境仍有一些錯誤的觀念。
- (10) 有 64%同學正確答出，認為小紅黑馬陸是台灣原生物種。
- (11) 有 57%同學正確答出，認為小紅黑馬陸是群居動物。
- (12) 整體而言，問卷結果統計顯現國、高中生對馬陸的棲息環境、生物分類與形態構造的概念有很多錯誤的認知。我們針對問卷內容去進行實驗的探討，來找出問卷题目的正確答案。
- (13) 我們從問卷中「對馬陸的第一印象」的資料結果，分成二大類：(一)48%同學對馬陸會害怕；(二) 58%同學對馬陸不會害怕。針對這兩類的同學，我們進行分析其問卷题目的答題正確率作比較。統計結果發現對馬陸會害怕的同學整體答題正確率只有 31%，而不害怕馬陸的同學整體答題正確率卻有 73%。顯示對馬陸會害怕，有「恐蟲症」的同學對馬陸的正確認知程度較低。我們覺得土壤動物的環境教育在中小學校園中，仍有值得推廣的必要性。若有更深入的環境教育，可讓中小學學生對土壤動物或馬陸有正確的了解與認知。



二、探討小紅黑馬陸的生物分類

小紅黑馬陸在生物學上的分類階層：動物界→節肢動物門→倍足綱→山蛩目→厚甲馬陸科→黑馬陸屬→小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sorornus*。臺灣的倍足綱生物，已知的種類計有 11 目、23 科、44 屬、104 種(王友燮 Wang, Y.H.M. 1955-1964，陳昭君 Chen, C.C. 2004，陳昭君 Chen, C.C.等 2006)。小紅黑馬陸身體為黑色，有黑、紅色環，半圓形色環為紅色，及後生殖肢的頂端延伸向下。中型馬陸的小紅黑馬陸的紅黑體色近似大型馬陸的福爾摩沙山蛩 (*Spirobolus formosae formosae*)。福爾摩沙山蛩是臺灣原生三種大型懸刺馬陸科之一，為臺灣北部地區的大型馬陸，體長可超過 10 公分。台灣還有另一群外型像蜈蚣的條馬陸。

	小紅黑馬陸	福爾摩沙山蛩	條馬陸
形態構造			
體長	成蟲約 40mm(中型馬陸) 台灣南部常見的蜈蚣	成蟲約 85mm(大型馬陸) 台灣最大型的馬陸	成蟲約 20 mm 外型像蜈蚣
分類	山蛩目 厚甲馬陸科	山蛩目 旋刺馬陸科	條馬陸目 有 6 科、21 屬、34 種
特徵	遇到危險常會裝死，體色黑紅相間(警戒色) 移動速度慢 	遇到危險常會裝死。體色黑紅相間，有警戒色 移動速度慢 	遇到危險較不常裝死 移動速度較快 



以下圖表是台灣各種馬陸的生態介紹(馬陸圖片取自於網路)：

馬陸圖片	生態介紹
	<p>擬旋刺馬陸 (<i>Pseudospirobolellus avernus</i>) 體色為紅褐到深紫色，分布在台灣平地及低海拔地區，多棲息在土壤表面，偶爾也出現在我們的生活環境中。這種體長小於 3 公分的馬陸，有時會沿著門縫、窗縫爬進潮濕的地下室或低樓層的住家內。我們在室內栽種的盆栽或從花市買回來的培養土，有時會因夾帶了馬陸的卵而導致牠們出現在室內。</p>
	<p>非洲的非洲巨馬陸 (<i>Archispirostreptus gigas</i>)，此種馬陸是體型最大的馬陸，分布肯亞、坦尚尼亞等國家，體長可達 30 公分，其身上的步足數目大約有 256 隻。體型大小與步足數目未必成正比關係。非洲巨馬陸因為體型超大，受到很多蟲友的喜愛，所以台灣的甲蟲店常有販售。若人為飼養不周或惡意遺棄，可能會造成此外來物種入侵台灣的生態危機。</p>
	<p>在台灣常見的粗直形馬陸 (<i>Orthomorpha coarctata</i>)，在戶外有時能觀察到多達數百隻個體聚集的壯觀現象。牠們只棲息在潮濕的土壤環境，有時會成群出現，也可能在建築物周圍活動。粗直形馬陸外觀深褐至黑色，身體側方具有凸出的黃色板片，分布於台灣平地及低海拔地區。</p>
	<p>磚紅厚甲馬陸(<i>Trigoniulus corallinus</i>)是臺灣最常見的中型馬陸之一，身體為磚紅色，兩側各有一列淡黑色的斑帶，觸角與足部為橘色，成體體長約 5 公分左右，尾部圓滑無明顯尖翹。白天有群聚的行為，常成群躲藏於土中，清晨或黃昏時在植物公園的落葉堆或石塊堆成的花圃邊緣矮牆上常可發現其蹤跡。</p>

三、探討小紅黑馬陸的棲息環境

(一)小紅黑馬陸的採集與飼養：

1.採集方法：我們先進行田野觀察，了解小紅黑馬陸棲息環境的分布(時間：2021年9月開始，地點：台南、高雄的農田、樹林以及低海拔的大崗山山區林地等處)。我們紀錄小紅黑馬陸棲息環境的生態資料，發現小紅黑馬陸普遍分布在台灣平地到低海拔山區，其為台灣南部低海拔山區常見的中型馬陸，多棲息在森林邊緣及樹林內落葉堆下，有時可以在死亡的椰子樹的樹幹腐植質中發現其蹤跡。體色黑且體表具有許多紅色環紋。白天通常棲息在土壤中，晚上才出來活動，常在

腐爛的樹幹、枯木或潮濕的土壤地面上活動。白天時，我們利用小鏟子挖掘小紅黑馬陸所棲息的土壤，並採集成蟲、幼體數隻，將土壤與蟲體裝入採集桶內，帶回學校的實驗室進行實驗觀察。

2.採集地點：小紅黑馬陸棲息環境通常為土壤潮濕、富含腐質、陰暗的隱蔽處，如戶外的石頭、枯木、落葉堆下、腐菜、稻草堆、材堆下。小紅黑馬陸則屬於**腐食性動物**，取食潮濕腐爛的植物屍體，並未發現對農作物有明顯危害。

接下來，我們對小紅黑馬陸的棲地環境的**喜愛土層、棲息深度與族群分布**將有一系列的實驗探討。

(1)【樹林落葉堆下層的腐質土中】：我們最常採集的馬陸棲地是落葉堆下的腐植土，除了採集過小紅黑馬陸之外，有時也會發現磚紅馬陸與條馬陸等不同品種的馬陸。

			
農田旁的落葉堆	落葉堆發現成蟲	棲地發現磚紅馬陸	棲地發現條馬陸

(2)【死亡的椰子樹的樹幹腐植質中】：我們在農田死亡的椰子樹的樹幹中，發現樹幹腐植木屑有豐富的腐質土，土內有不同種的馬陸、蜈蚣、螞蟻、金龜子的成蟲與幼體等生物族群。

			
死亡的椰子樹	樹幹的腐植木屑中	小紅黑馬陸的棲地	發現犀角金龜成蟲





(3)【戶外的石頭或磚頭下】：我們在農田的石頭或磚頭下的土壤中，也發現過小紅黑馬陸的成蟲與幼體。因為瓦礫石塊下陰暗又潮濕，小紅黑馬陸可食用枯枝落葉的腐殖質，可幫助土壤有機化。














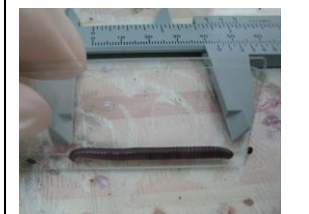
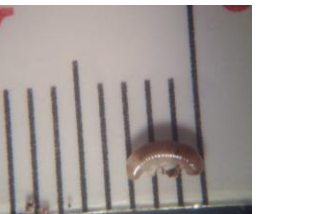
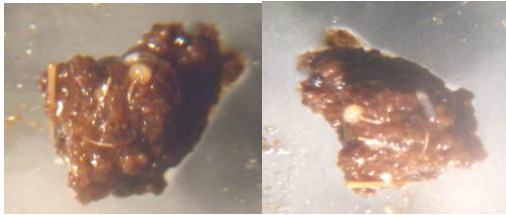


3.飼養方式：

將採集的小紅黑馬陸的成蟲、幼體分別放在飼養箱中，定期噴水和更換腐植土，飼養箱要放在陰涼通風處。人為飼養馬陸有以下四項的注意事項：

(1)**環境底材的腐植程度**：我們利用厚度10公分濕潤的椰纖土作為鋪底，再加入發酵的木屑、腐植土、枯枝落葉等有機腐質，當作環境底材，模擬野外生活環境。因為椰子樹樹幹的腐質椰土有機養分成分很高，所以可當作很好的飼養環境底材。底材土壤酸鹼度為中性。飼養約一個月後，飼養過後的腐植土需移除，並再加入全新的腐質土當作環境底材，以避免有機養分的流失。













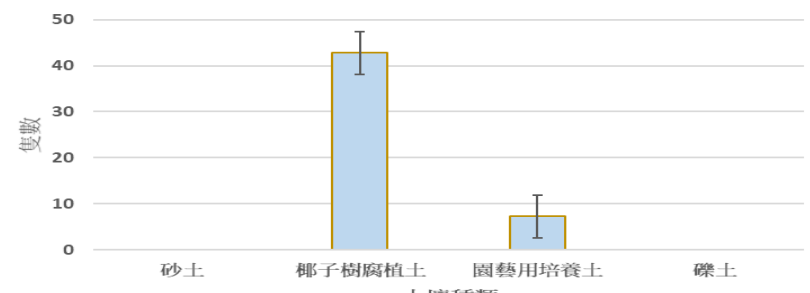
			
椰子樹樹幹的腐質土	成蟲養在椰子腐質土	廣用試紙檢測土壤為中性	模擬野外生活環境

			
<p>飼養後舊的腐質土需移除，加入新腐質土，避免有機養分的流失。飼養箱上層保持通風。</p>		<p>透明觀察箱方便觀察其動物行為</p>	<p>潮濕的水苔可以幫助環境保濕</p>
<p>(2)飼養環境條件：環境溫度維持在25~30°C，環境濕度大約40~60%。每日可利用噴水器進行噴水，以保持土壤一定的溼度，並放入潮濕的水苔以保濕，須考慮對水分的需求。但是不能放水盆在飼養箱，因為馬陸若進入水盆喝水，有時會溺死。另外，飼養箱上方一定要保持通風。</p>			
<p>(3)食物種類：查詢資料發現馬陸屬於清除者(腐食性動物)。小紅黑馬陸取食潮濕腐爛的植物，棲息在含有機物質的土壤，但並不會對農作物有明顯的危害。我們將進行各種食性的實驗探討。</p>			
<p>(4)分齡飼養：將馬陸的成蟲與各齡幼體進行分開飼養，可以觀察紀錄生活史與其特定的動物行為。雌蟲在土中築巢產卵，用潮濕的土壤將卵包裹保護，並用糞渣來襯裏。飼養卵堆一定要特別注意環境濕度。我們利用專用量尺來紀錄各齡期的蟲體成長情形，並利用解剖顯微鏡觀察拍攝各齡期身體構造的變化。下方有我們飼養過程中所觀察紀錄的照片：卵→幼體→成蟲。</p>			
			
<p>雌蟲用土將卵包裹保護</p>	<p>卵囊有150—200顆卵</p>	<p>卵囊周圍土壤更為潮濕</p>	<p>卵由黃色慢慢轉為黑色</p>
			
<p>幼體分齡飼養，以利觀察</p>	<p>每天觀察紀錄成長變化</p>	<p>成蟲具有群聚性</p>	<p>成蟲飼養在有機腐質土</p>
			
<p>用鑷子抓取馬陸，再用解剖顯微鏡觀察其形態構造</p>		<p>用量尺測量蟲體體長，避免身體呈彎曲狀時測量</p>	
<p>卵</p>			<p>小紅黑馬陸的黃色卵常成堆狀，卵外有一層透明的黏性物質，卵囊周圍有潮濕的土壤，卵堆內大約有150顆卵。卵在發育成熟過程中會慢慢變成黑色。</p>

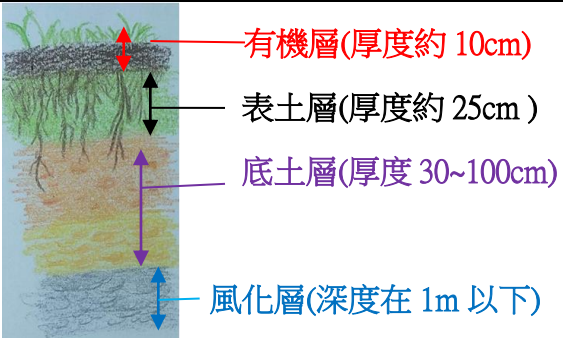

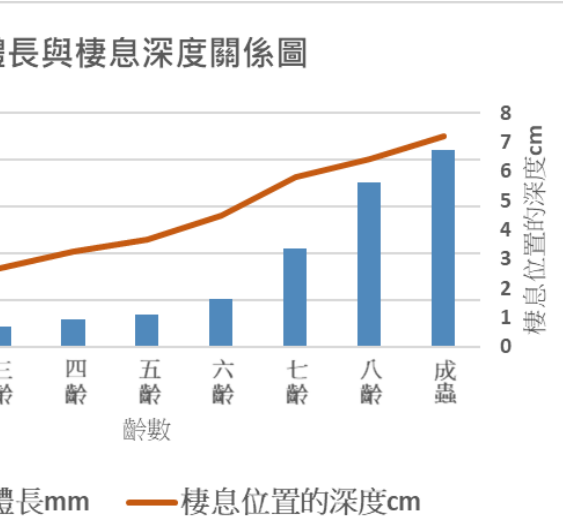
幼體	 <p>幼體體色約為半透明 幼體體內的消化系統 快蛻皮時體色會變白</p>	 <p>任何齡數的小紅黑馬陸觸角節數皆為7節</p>	
成蟲	 <p>馬陸遇到障礙物會爬上去</p>	 <p>爬行時身體略呈直線狀</p>	 <p>從土裡挖出時，身體會呈捲曲狀</p>

(二)比較小紅黑馬陸對不同土壤的喜好

實驗動機：研究小紅黑馬陸的生態行為，要先了解小紅黑馬陸喜愛棲息在何種土質的環境中，才能進一步探討各種環境因子對其動物行為的影響。

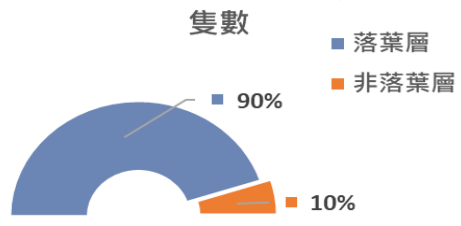

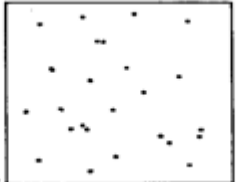

實驗目的	<p>1.我們在大型飼養箱中，利用分隔板區隔出四個空間，分別放入四種不同的土壤： (1) 沙土 (2) 椰子樹腐植土 (3) 園藝用培養土 (4) 礫土。 2.抽離分隔板後，我們在箱內的表土上均勻地放入50隻小紅黑馬陸成蟲。 3.一星期後，我們觀察並紀錄成蟲的分佈情形。(共進行4次實驗，取其平均)</p>																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>沙土</th> <th>椰子樹腐植土</th> <th>園藝用培養土</th> <th>礫土</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一</td> <td>0</td> <td>45</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>二</td> <td>0</td> <td>49</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>三</td> <td>0</td> <td>40</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>四</td> <td>0</td> <td>37</td> <td>13</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	沙土	椰子樹腐植土	園藝用培養土	礫土	一	0	45	5	0	二	0	49	1	0	三	0	40	10	0	四	0	37	13	0			
次數	沙土	椰子樹腐植土	園藝用培養土	礫土																									
一	0	45	5	0																									
二	0	49	1	0																									
三	0	40	10	0																									
四	0	37	13	0																									
實驗結果	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="191 1254 518 1467">  </td> <td data-bbox="542 1254 821 1467">  </td> <td data-bbox="845 1254 1157 1467">  </td> <td data-bbox="1181 1254 1476 1467">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="191 1478 518 1568"> <p>分隔板區隔出四個空間，放入不同的土壤</p> </td> <td data-bbox="542 1478 821 1568"> <p>表土上放置50隻小紅黑馬陸成蟲</p> </td> <td data-bbox="845 1478 1157 1568"> <p>多數的成蟲棲息在椰子樹腐植土</p> </td> <td data-bbox="1181 1478 1476 1568"> <p>少數的成蟲選擇棲息在園藝用培養土</p> </td> </tr> </table>								<p>分隔板區隔出四個空間，放入不同的土壤</p>	<p>表土上放置50隻小紅黑馬陸成蟲</p>	<p>多數的成蟲棲息在椰子樹腐植土</p>	<p>少數的成蟲選擇棲息在園藝用培養土</p>																	
																													
<p>分隔板區隔出四個空間，放入不同的土壤</p>	<p>表土上放置50隻小紅黑馬陸成蟲</p>	<p>多數的成蟲棲息在椰子樹腐植土</p>	<p>少數的成蟲選擇棲息在園藝用培養土</p>																										
<p>實驗開始時，馬陸先在表土上四處爬行，發現其喜愛的腐植土後，開始往下鑽，最後大部分馬陸會選擇棲息在養分充足的椰子樹腐植土、少部分的馬陸選擇棲息在培養土。</p>																													
<p style="text-align: center;">不同土壤喜好比較</p>  <p style="text-align: center;">土壤種類</p>				<p>討論：小紅黑馬陸會選擇棲息在養分充足的椰子樹腐植土與培養土，不會選擇棲息在土壤缺乏有機物的砂土和土壤顆粒較大的礫土。</p>																									

(三)了解小紅黑馬陸幼體與成蟲所棲息的環境土壤深度：

實驗目的	<p>一般土壤的分層由上而下可分為：有機層(厚度約10cm)、表土層(厚度約25cm)、底土層(厚度30~100cm)、風化層(深度在1m以下)等四層。我們在野外採集小紅黑馬陸時，發現其成蟲與幼體皆棲息在有機層，此層有未分解的落葉、枯枝與動植物腐化分解後的有機腐植質。我們想進一步了解小紅黑馬陸的幼體與成蟲所棲息的土壤深度是否有不同。</p>																															
實驗方法	<p>1.因為野外的土壤的有機層厚度約10cm，所以我們在大型透明觀察箱中放入厚度10cm的腐植土當環境底質，分別放入不同齡數的小紅黑馬陸幼體與成蟲各10隻，均勻分布在表土中。</p> <p>2.一星期後，觀察各齡數的小紅黑馬陸棲息在土壤中的深度(距離土壤表層的深度)。</p>	 <p>在20cm厚度的腐植土上，放入10隻馬陸</p> <p>成蟲鑽土時，身體會呈彎曲狀，往土表下鑽洞</p>																														
實驗結果	<p>不同齡數的各組分別調查並記錄10隻小紅黑馬陸分布土壤位置深度的平均值。</p> <table border="1" data-bbox="164 1055 600 1581"> <thead> <tr> <th></th> <th>平均體長</th> <th>棲息深度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一齡幼體</td> <td>2.3mm</td> <td>2.54 cm</td> </tr> <tr> <td>二齡幼體</td> <td>3.1mm</td> <td>2.56 cm</td> </tr> <tr> <td>三齡幼體</td> <td>4.3mm</td> <td>2.68 cm</td> </tr> <tr> <td>四齡幼體</td> <td>5.8mm</td> <td>3.26 cm</td> </tr> <tr> <td>五齡幼體</td> <td>6.9mm</td> <td>3.68 cm</td> </tr> <tr> <td>六齡幼體</td> <td>10.2mm</td> <td>4.50 cm</td> </tr> <tr> <td>七齡幼體</td> <td>21mm</td> <td>5.82 cm</td> </tr> <tr> <td>八齡幼體</td> <td>35.2mm</td> <td>6.42 cm</td> </tr> <tr> <td>成蟲</td> <td>42.0mm</td> <td>7.20 cm</td> </tr> </tbody> </table>		平均體長	棲息深度	一齡幼體	2.3mm	2.54 cm	二齡幼體	3.1mm	2.56 cm	三齡幼體	4.3mm	2.68 cm	四齡幼體	5.8mm	3.26 cm	五齡幼體	6.9mm	3.68 cm	六齡幼體	10.2mm	4.50 cm	七齡幼體	21mm	5.82 cm	八齡幼體	35.2mm	6.42 cm	成蟲	42.0mm	7.20 cm	<p>體長與棲息深度關係圖</p> 
	平均體長	棲息深度																														
一齡幼體	2.3mm	2.54 cm																														
二齡幼體	3.1mm	2.56 cm																														
三齡幼體	4.3mm	2.68 cm																														
四齡幼體	5.8mm	3.26 cm																														
五齡幼體	6.9mm	3.68 cm																														
六齡幼體	10.2mm	4.50 cm																														
七齡幼體	21mm	5.82 cm																														
八齡幼體	35.2mm	6.42 cm																														
成蟲	42.0mm	7.20 cm																														
討論	<p>實驗結果發現小紅黑馬陸的雌蟲會產卵在土表下2-3公分處。幼體大部分棲息在土壤表面下2~6公分，成蟲則會棲息在土壤表面下超過7公分處。馬陸齡數愈接近成蟲，其棲息土壤的位置愈深。推測馬陸會配合其體長而能在土壤中鑽洞的最佳深度。我們觀察發現，成蟲鑽土時，身體會呈彎曲狀，往土表下鑽洞。馬陸白天會爬進土表下層休息，晚上則會爬出表土外進食，馬陸會將土表的細菌及真菌孢子帶入土壤較深的枯葉層中，藉此幫助枯葉的分解。幼體不會在土中進行蛻皮，而會爬出土表外蛻皮。</p>																															

(四) 分析小紅黑馬陸族群分布的情況：

目的	<p>因為馬陸喜愛棲息在充滿腐植的土壤中，我們想進一步比較腐植土壤上若有落葉層覆蓋，是否會影響其棲息的選擇？另外我們也想了解馬陸成蟲在土壤中的族群分布情形？</p>
----	--

實驗方法	(1)將大型飼養箱中放入 10 cm 厚度且充滿腐植的土壤。 (2)將箱內土壤分為有落葉層覆蓋與沒有落葉層覆蓋兩種環境。 (3)放入 50 隻馬陸成蟲，三天後，觀察其分布區域的數量。	小紅黑馬陸族群在有落葉層覆蓋與沒有落葉層覆蓋兩種環境棲息分布情形(如下圖)					
實驗結果	(1)50 隻成蟲中，有 45 隻棲息在落葉層下的土壤中，5 隻在沒有落葉層覆蓋的土壤中。馬陸喜愛棲息在落葉層下的土壤。 (2)有落葉覆蓋的腐質土層內，成蟲具有群聚性，族群屬於叢生分布。各齡幼體做族群分布實驗，結果也是有明顯的叢生分布的群聚性。	 <p>隻數</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 落葉層 90% ■ 非落葉層 10% 					
成蟲屬於叢生分佈（如 C 圖），各齡幼體也屬於叢生分佈。							
<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td style="width:33%;">A. 均勻分佈</td> <td style="width:33%;">B. 任意分佈</td> <td style="width:33%;">C. 叢生分佈</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C.</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">成蟲 分佈</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">幼體 分佈</td> </tr> </table> </div> </div>			A. 均勻分佈	B. 任意分佈	C. 叢生分佈	成蟲 分佈	幼體 分佈
A. 均勻分佈	B. 任意分佈	C. 叢生分佈					
成蟲 分佈	幼體 分佈						
討論	我們觀察發現小紅黑馬陸成蟲有叢生分佈的情形，我們推測馬陸的趨聚性(叢生聚集)與其聚集腐食促進產生代謝熱，進而促進馬陸的生長發育速度。						








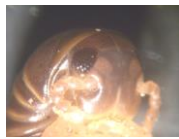
四、探討小紅黑馬陸的動物行為

我們探討小紅黑馬陸的行走方式、趨性、對水的耐受度、忌避行為與干擾後的行為模式。

(一)探討小紅黑馬陸步足行走的方式：


目的	小紅黑馬陸擁有眾多步足，我們想了解其步足是如何進行移動？				
方法	1.我們將馬陸放置在透明壓克力盒，觀察其步行方式並攝影拍照記錄。 2.用手機攝影可調成慢動作模式，藉此方法可清楚了解步足行走的模式。				
實驗結果	小紅黑馬陸行走時，左右兩側步足同時行動，前後步足依次前進，眾多步足碰到地面上會形成一連串連續的 三角形狀 ，步足密集皆呈波浪式運動，很有節奏。				
					馬陸無法快速行走，速度為 0.73cm/sec。但鑽土速度卻很快。飼養觀察過程中，未看過馬陸倒退行走。
					
					以旋刺馬陸為例，步足呈波浪狀運動

(二)本能行為—趨性：趨地性、趨光性

目的	了解小紅黑馬陸個體生態中的本能行為，探討馬陸對特定的刺激(如地球引力、光線)在不需有經驗的情況下，接受到此刺激時就能立即誘發某一特定的行為反應。我們先探知其對地球引力與光線是否有偏好與趨性。																
實驗方法	1.探討小紅黑馬陸成蟲的正、負趨地性行為：放置在試管中觀察行為。 2.探討小紅黑馬陸成蟲的正、負趨光性行為：黑暗中，放置試管中，手電筒照光在試管一側，觀察其行為。 3.觀察不同齡數的小紅黑馬陸對光的反應：黑暗中，將不同齡數的小紅黑馬陸分別放置試管中，手電筒照光在試管一側，觀察其行為。																
實驗結果	1.小紅黑馬陸屬於 正趨地性 。 <table border="1" data-bbox="209 645 1410 837"> <tr> <td data-bbox="209 645 421 696">放置的形態</td> <td data-bbox="421 645 619 696">頭朝下</td> <td data-bbox="619 645 874 837" rowspan="2">  </td> <td data-bbox="874 645 1198 696">頭朝上</td> <td data-bbox="1198 645 1410 837" rowspan="2">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="209 696 421 837">反應</td> <td data-bbox="421 696 619 837">直接往下方爬行</td> <td data-bbox="874 696 1198 837">會轉頭，將頭部朝下方並往下方爬行</td> </tr> </table>									放置的形態	頭朝下		頭朝上		反應	直接往下方爬行	會轉頭，將頭部朝下方並往下方爬行
放置的形態	頭朝下		頭朝上														
反應	直接往下方爬行		會轉頭，將頭部朝下方並往下方爬行														
2.試管照光那一側，小紅黑馬陸的複眼出現畏光現象，表現出 負趨光性 ，開始往沒有光線的那一側爬行。																	
3.以光照射小紅黑馬陸眼睛，除了一齡幼體無任何避光反應，我們發現馬陸隨齡數增長，其避光反應程度漸增，避光反應程度愈高的蟲體，其逃離光源的時間愈快。推測避光反應的強度與單眼的數量有關，因為成蟲眼睛已完全成熟，所以避光反應最為明顯。																	
齡數	一	二	三	四	五	六	七	八	九 (成蟲)								
照光後的反應	無任何的反應	 以光照射，隨齡數增長，避光反應程度漸增。							用手電筒向其複眼照光，出現迴避光線行為反應。 								
1. 雖然小紅黑馬陸屬於正趨地性，但是我們在飼養馬陸的過程中，曾因箱子忘了加蓋子，仍發現其會往箱子的周圍向上爬行，逃脫飼養箱，而發現成蟲在地面上爬行。所以飼養馬陸的飼養箱仍要記的加通風的蓋子。																	
2. 我們在飼養過程中，發現晚上若把燈關掉後，部分的馬陸就會從土中鑽出來，在土表上活動或覓食。																	

(三)小紅黑馬陸對水的耐受度：

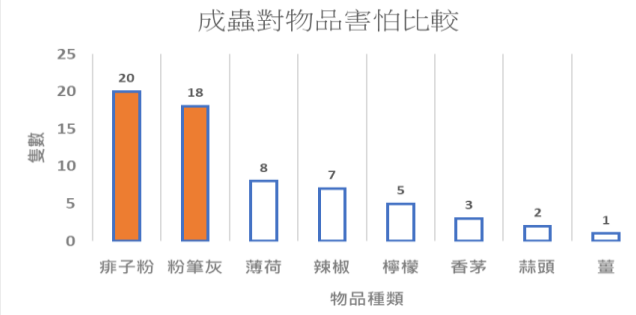
目的	因為我們常在下雨後看見大量的馬陸從土壤中出來並在外面行動，所以我們想知道水分對小紅黑馬陸的影響，並觀察幼體與成蟲對水的耐受度。		
方法	分別將5隻各齡幼體與成蟲放入水中，觀察記錄其保持清醒的時間，每齡都取5隻的平均時間。		
實驗結果	齡數	平均保持清醒的時間	實驗結果發現： (1)幼體隨著齡數的增加，其在水中保持清醒的時間會愈久。我們推測蟲體愈大，其氣管與氣孔愈
	一齡幼體	28分鐘	
	二齡幼體	34分鐘	

果	三齡幼體	39分鐘	發達，在水中進行交換氣體能力愈強。 (2)成蟲在水中的初期甚至會在水底爬行，後期則出現利用步足抱住氣泡，步足快速擺動的現象，成蟲對水的耐受度較高。
	四齡幼體	42分鐘	
	五齡幼體	49分鐘	
	六齡幼體	63分鐘	
	七齡幼體	94分鐘	
	八齡幼體	160分鐘	
	成蟲	543分鐘	
 <p>馬陸成蟲甚至有一段時間還在水底下爬行。馬陸成蟲在水中，其步足會抱住氣泡。</p>			



討論	<ol style="list-style-type: none"> 1.從實驗結果得知成蟲對水的耐受力很高，但是雨量太大，已經達到使土壤排水不易，甚至造成淹水的情形，馬陸仍會從土中爬出到地面活動。 2.離開水中約10分鐘後後，馬陸在陸地休息，其氣管內的水慢慢排掉或蒸發，馬陸則會清醒過來，開始會緩慢的移動。
----	--



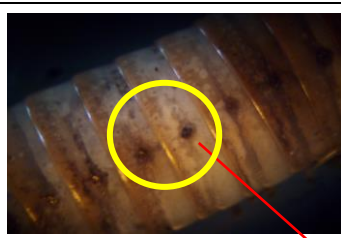


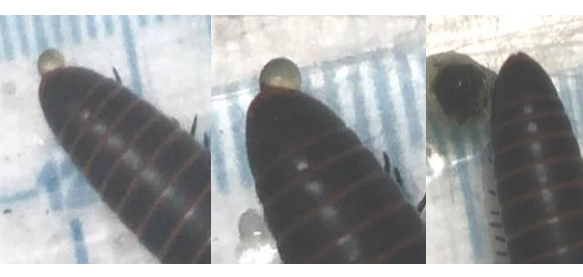
(四)探討小紅黑馬陸的忌避行為：

目的	馬陸長相不討喜，若無意闖入家中，常常會遭到人類的驅趕或撲殺。我們想了解馬陸對會害怕什麼物品？了解其忌避行為，進一步知道如何防治馬陸進入家中，以避免被人類無情地撲殺。																			
實驗方法	<ol style="list-style-type: none"> 1.在大型觀察箱中的一側，在 3 X 3 cm 的正方形面積中，分別依序放入以下物品 (辣椒、薄荷、痂子粉、粉筆灰、檸檬、香茅、蒜頭、薑)在方格區域中，再放入 20 隻馬陸成蟲在箱內，觀察並記錄出現迴避實驗物品的隻數。 2.當馬陸爬行進入放有實驗物品的方格區域後，出現迴避實驗物品的行為，進而離開方格區域，表示馬陸出現忌避行為。 																			
實驗結果	<ol style="list-style-type: none"> 1.結果顯示小紅黑馬陸不喜歡乾燥處，會害怕痂子粉、粉筆灰等乾燥性粉末而出現忌避行為。馬陸對於辛辣與具刺激味道的植物並不會出現明顯忌避行為。 2.成蟲對物品害怕程度的比較：痂子粉 > 粉筆灰 > 薄荷 > 辣椒 > 檸檬 > 香茅 > 蒜頭 > 薑 	<p style="text-align: center;">成蟲對物品害怕比較</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>物品種類</th> <th>數量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>痂子粉</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>粉筆灰</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>薄荷</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>辣椒</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>檸檬</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>香茅</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>蒜頭</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>薑</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	物品種類	數量	痂子粉	20	粉筆灰	18	薄荷	8	辣椒	7	檸檬	5	香茅	3	蒜頭	2	薑	1
物品種類	數量																			
痂子粉	20																			
粉筆灰	18																			
薄荷	8																			
辣椒	7																			
檸檬	5																			
香茅	3																			
蒜頭	2																			
薑	1																			

討論	馬陸侵入住家的防治是保持環境乾燥與乾淨，清除孳生源，清除地面腐爛植物或雜草堆，移除非必要的地面覆蓋物，以減少馬陸棲息。若馬陸數量過多，有時可撒石灰防治入侵。
----	--

(五)探討小紅黑馬陸受干擾後的行為模式：

1.機械式干擾刺激：

目的	了解小紅黑馬陸遇到機械式干擾刺激後會出現什麼行為？		
方法	在小紅黑馬陸前方，以筆碰觸小紅黑馬陸成蟲與幼體，觀察其受到干擾的反應。		
實驗結果	1.假死行為(物理性防禦)：當小紅黑馬陸在土表上受到驚擾或碰觸時，其長形身軀會捲曲成似圓環螺旋狀，頭部在圓環中間，將粗糙上表皮暴露在外，以保護脆弱的腹部及步足，呈現假死模樣，通常假死時間5~10分鐘後，便會復原而開始活動。受到干擾後，最常出現假死行為。		
			
	捲曲成圓形螺旋狀	假死狀態	馬陸死後可明顯看出臭腺
實驗結果	2.驅敵行為(化學性防禦)：小紅黑馬陸在體節背板兩邊的側緣有臭腺（驅拒腺）(防禦腺孔)，受到干擾時，有時會分泌臭液以保護自己，此情況不常見。		
	3.排泄行為(生理性防禦)：我們發現小紅黑馬陸被驚擾時，防禦腺孔不常放出防禦的分泌物，反而常常會出現排泄的行為。尤其是幼體受到物理性刺激或干擾，常常會排出糞便，有忌避或警示作用。		
			
	幼體受刺激會排出糞便	馬陸糞便成橢圓形	成蟲從尾部排出液體狀排泄物
討論	1.因為馬陸平時在土中休息的姿態，長形身軀多呈現圓環螺旋狀或身體微彎曲的狀態。若在土表上遇到機械性干擾，其身軀會捲曲成如在土中休息的樣貌，其目的是為了保護自己身體脆弱的部位而達到避敵的效果。		
	2.查詢資料發現有些馬陸分泌的臭液氣味特別難聞，使得鳥類(雞)都不敢啄牠，是很有效的驅敵方法。		

2.環境土壤震動的干擾：

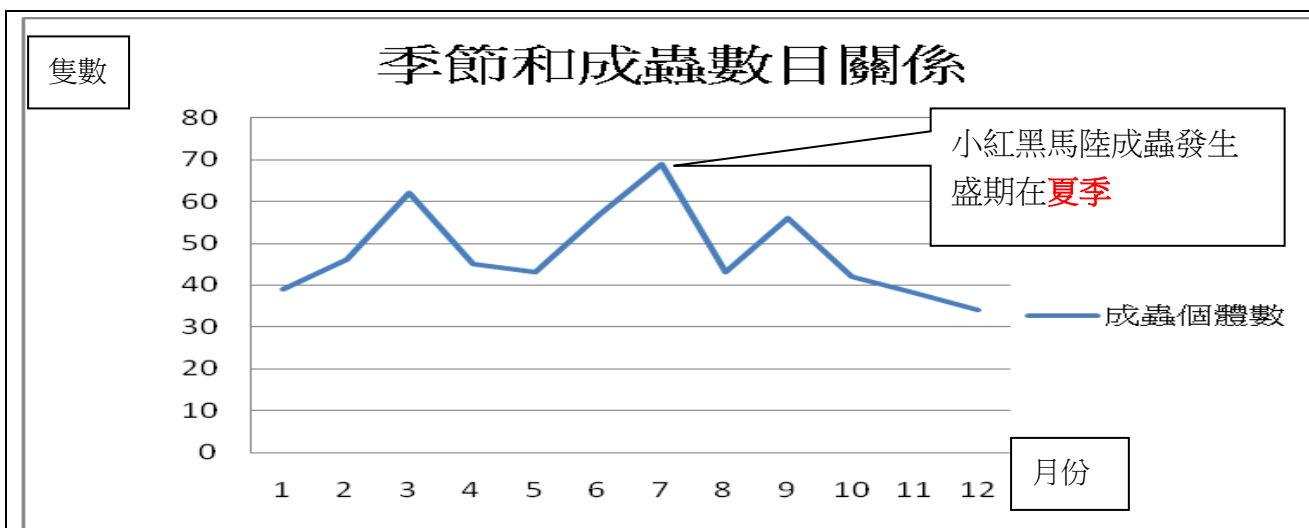
目的	因為部分民眾會將地震與馬陸大量外出活動的行為聯想在一起，所以我們設計土壤震動干擾的實驗，來檢測土壤的震動是否會造成馬陸從土中出來或改變其棲息位置。
實驗方	準備一個壓克力盒子、利用隔板隔成上、中、下三層（上層：表土—3公分、中層：3—6公分、下層：6—9公分）、隔板上有很多的孔洞，可讓小紅黑馬陸成蟲上下移動。取50隻小紅黑馬陸成蟲做實驗，放在中層土壤。準備可左右搖動的震動搖擺機作為左右搖動

法	組為實驗組。經過震動（實驗組）或靜置（對照組）20分鐘、40分鐘及60分鐘之後觀察成蟲分佈在上、中、下層的數目。實驗組及對照組每次處理各做兩次，取其平均值。																																			
實驗結果	比較左右晃動(實驗組)與對照組的小紅黑馬陸成蟲分佈情形，我們發現成蟲棲地分佈情形並不會受到左右搖動而有明顯地影響。成蟲也不會因土壤的震動而從土壤中外出活動。																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">20分鐘</th> <th colspan="2">40分鐘</th> <th colspan="2">60分鐘</th> </tr> <tr> <th></th> <th>實驗組</th> <th>對照組</th> <th>實驗組</th> <th>對照組</th> <th>實驗組</th> <th>對照組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上層</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>中層</td> <td>26</td> <td>24</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>下層</td> <td>23</td> <td>26</td> <td>35</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>		20分鐘		40分鐘		60分鐘			實驗組	對照組	實驗組	對照組	實驗組	對照組	上層	1	0	0	0	0	1	中層	26	24	15	14	12	14	下層	23	26	35	36	38	35
		20分鐘		40分鐘		60分鐘																														
	實驗組	對照組	實驗組	對照組	實驗組	對照組																														
上層	1	0	0	0	0	1																														
中層	26	24	15	14	12	14																														
下層	23	26	35	36	38	35																														
<p>土壤震動對小紅黑馬陸分佈情形的影響</p> <p>The chart shows the percentage distribution of termites in three soil layers (上層, 中層, 下層) for experimental and control groups at 20, 40, and 60 minutes. The y-axis represents the percentage from 0% to 100%. The x-axis shows the experimental and control groups for each time interval. The legend indicates: 上層 (blue), 中層 (orange), and 下層 (red).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時間</th> <th>組別</th> <th>下層 (%)</th> <th>中層 (%)</th> <th>上層 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">20分鐘</td> <td>實驗組</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>對照組</td> <td>52</td> <td>48</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">40分鐘</td> <td>實驗組</td> <td>70</td> <td>30</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>對照組</td> <td>72</td> <td>28</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">60分鐘</td> <td>實驗組</td> <td>75</td> <td>25</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>對照組</td> <td>70</td> <td>30</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	時間	組別	下層 (%)	中層 (%)	上層 (%)	20分鐘	實驗組	45	55	0	對照組	52	48	0	40分鐘	實驗組	70	30	0	對照組	72	28	0	60分鐘	實驗組	75	25	0	對照組	70	30	0				
時間	組別	下層 (%)	中層 (%)	上層 (%)																																
20分鐘	實驗組	45	55	0																																
	對照組	52	48	0																																
40分鐘	實驗組	70	30	0																																
	對照組	72	28	0																																
60分鐘	實驗組	75	25	0																																
	對照組	70	30	0																																
討論	成蟲棲地分佈情形並不會受到土壤左右搖動而有明顯地改變，我們推測地震後的馬陸大量出現在路上，應該與生殖季交配行為或者是大雨過後的大量外出活動有關。我們推測地震發生的時間點剛好是其生殖季或雨季發生的時期。																																			

五、探討小紅黑馬陸的族群生態

(一) 了解小紅黑馬陸在不同季節族群數量的變化：

目的	我們想了解小紅黑馬陸在野外棲地的族群數量的季節變化。											
實驗方法	<ol style="list-style-type: none"> 1.西元 2021 年 9 月開始，我們作野外實地的小紅黑馬陸觀察。我們選定在高雄同學家的一塊種芭樂樹的農田，進行定期觀察並記錄當地小紅黑馬陸的族群數量。 2.選定農田生態中，某一個充滿落葉又陰暗潮濕的區域(1 平方公尺)進行觀察紀錄。 3.將 1 平方公尺的採集樣區畫分成 25 個 20 cm X 20cm 的小樣區。土壤動物取樣方法為在樣區內隨機選擇三個小樣區進行樣本採集，首先掠去地表枯枝落葉物，挖掘土壤剖面 15 cm 深度取樣，利用 20 cm X 20cm 的方形採樣器採取土樣，將三個小樣區的成蟲數取平均值，並計算 1 平方公尺的土壤內成蟲數量。 4.分析小紅黑馬陸成蟲族群數量的月份變化。 											
月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
成蟲數量	39	46	62	45	43	57	69	43	56	42	38	34
結果分析	小紅黑馬陸成蟲發生盛期在夏季。在這農田中，小紅黑馬陸族群變化呈現動態波動狀態，成蟲的環境負荷量約為50隻（每平方公尺）。											



- (1) 採樣過程中，進行土壤動物分離的方式為將土堆收集放置大型透明夾鏈袋中進行分離，或直接由所採取的土壤中挑出其他的土壤動物。觀察紀錄其他肉眼可見的土壤動物如蜈蚣、鼠婦、大型昆蟲、蚯蚓等。我們發現蜈蚣喜愛棲息在土壤表面，而蚯蚓與鼠婦則較喜愛棲息在土壤下。
- (2) 異種競爭：小紅黑馬陸與蚯蚓、蜈蚣、鼠婦等土壤動物有出現競爭棲地與生存資源的現象。
- (3) 小紅黑馬陸越冬時偶爾會侵入住家，推測可能與天氣乾燥或尋找潮濕的越冬場所有關。



高雄芭樂樹農田



農田旁落葉區



1平方公尺的採集樣區

(二)食性：

目的：馬陸通常會在土壤表面，以死亡的植物殘骸、腐敗落葉等有機物為食。但是我們查詢資料得知有些種類的馬陸會取食真菌、吸食植物汁液，也有少數雜食性的馬陸會取食動物殘骸。我們想了解小紅黑馬陸喜愛的食物，藉以了解其食性喜好。

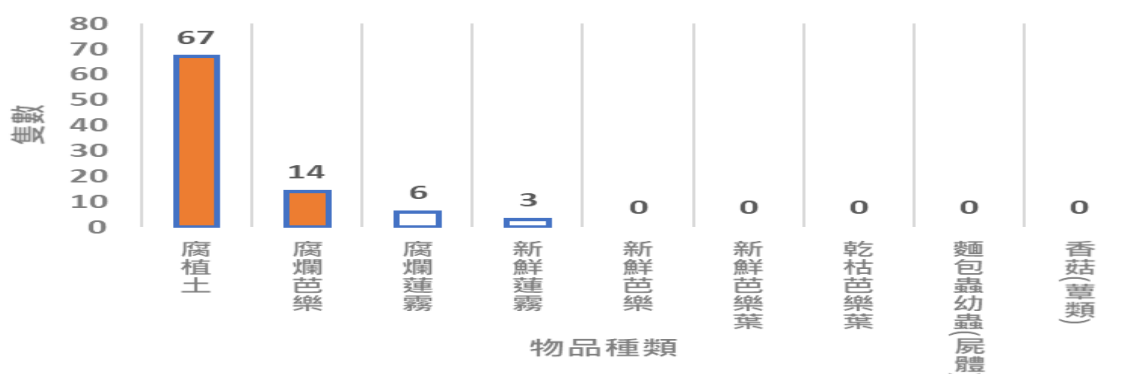
實驗方法：





- 1.因為馬陸採集的農田上有種植芭樂與蓮霧，所以我們實驗食物中有採用此兩種水果，我們放置不同的食物種類，實驗觀察小紅黑馬陸對各種食物的喜好程度。
- 2.將30隻馬陸成蟲先放在空盒子三天，再將其放入放置有各種食物的觀察箱中，觀察記錄馬陸停在食物上的隻數，放置觀察一天，進行統計分析。過程要記錄小紅黑馬陸攝食過程與方式。

實驗結果：

小紅黑馬陸口器屬於咀嚼式，大顎發達，馬陸的觸角偵測到食物的味道，開始爬向食物處，停留在食物上，開始進行攝食的動作。※本實驗進行三次，實驗樣品數為90隻。

食物吸引[成蟲停留之比較



實驗結果	食物	圖片	說明	停留隻數	喜愛度排行
	腐植土		土壤中的腐質養分是馬陸的主食，有高達67隻馬陸停留取食，尤其馬陸特別喜愛椰子樹的腐植養分	67	1
	腐爛芭樂		芭樂腐爛後，果肉變得柔軟，共有14隻馬陸進行取食	14	2
	腐爛蓮霧		蓮霧腐爛後，果肉仍偏硬，馬陸不易取食，共有6隻馬陸會取食	6	3
	新鮮蓮霧		新鮮的蓮霧具有香甜味，吸引部分馬陸在附近活動，但是只有3隻馬陸取食	3	4
	新鮮芭樂		對新鮮但味道較淡的水果(如芭樂)，馬陸不感興趣，沒有任何1隻馬陸停留	0	5
	新鮮芭樂葉		對新鮮的芭樂葉片，馬陸完全不感興趣，沒有任何1隻馬陸停留	0	5
	乾枯芭樂葉		馬陸不會直接取食乾枯的芭樂葉，須等到葉片腐爛分解成有機物，才會攝食	0	5
	麵包蟲幼蟲(屍體)		昆蟲為節肢動物，其外骨骼成分為幾丁質，馬陸對於昆蟲的屍體不感興趣	0	5
香菇(蕈類)		蕈類的細胞壁成分為幾丁質，馬陸對於蕈類不感興趣	0	5	

討論	<p>1.小紅黑馬陸會被新鮮水果味道吸引，會接近新鮮水果，但不一定會吃，明顯地較喜愛食用腐爛的水果。小紅黑馬陸食性為素食腐食性，對於昆蟲的屍體與蕈類不感興趣。</p> <p>2.馬陸最愛取食枯枝落葉分解後的腐植土，但枯葉一定要分解成有機腐質，馬陸才會取食。</p> <p>3.觀察發現小紅黑馬陸成蟲的攝食量隨氣溫的增高而增加。</p>
----	---

(三)觀察小紅黑馬陸的形態構造：

目的	了解小紅黑馬陸身體的形態構造與身體各部位的特定功能
方法	利用解剖顯微鏡拍攝小紅黑馬陸，影像放大後觀察小紅黑馬陸，並畫下身體各部位構造。

實驗結果	<p>1.身體構造：頭部及軀幹部所組成，呈長圓環形。</p> <p>(1) 頭部：</p> <p>頭部有一對短小念珠狀白色觸角，分為七節。其口器為咀嚼式，有大顎、小顎各一對，大顎發達，小顎常癒合為一板狀的小顎板，下唇已經退化。眼睛為複眼構造，位於頭部兩側。</p>			
				
	多個單眼聚集為複眼	頭部蛻皮留下來的外皮	複眼位於頭部兩側	成蟲複眼構造明顯
				
	口器大顎、小顎各一對	口器有發達的大顎	念珠狀的觸角分為7節	觸角上有些許剛毛
	<p>(2) 軀幹部(體節與步足)：</p> <p>小紅黑馬陸身體呈圓筒形，屬於「筒馬陸」。其體節呈黑紅色相間，紅色環從背部延伸到身體兩側中間就斷開，呈半圓環狀，步足為黃褐色。有幾丁質外殼的軀幹有很多體節，大部分馬陸的體節數目為 20~100 個，步足數量有 40~200 對。軀幹分為胸部、腹部兩部分。胸部四節，胸部的後三節各具一對步足。每個腹節有兩對步足，因其肢體較短，只能以步足作推進行走而無法快速運動。除了身體的前、後端外，身體各節均為兩個體節相癒合，每節有兩對步足。計算步足數的公式：$步足數目 = (體節數) \times 4 - 18$</p>			
				
	蛻皮後的幾丁質外骨骼	體色呈警戒色 (成蟲最明顯)	腹節上具有兩對步足	前三體節為一對步足 (其餘皆為兩對)



步足結構分為5節



腹面的構造



體節呈黑紅色相間

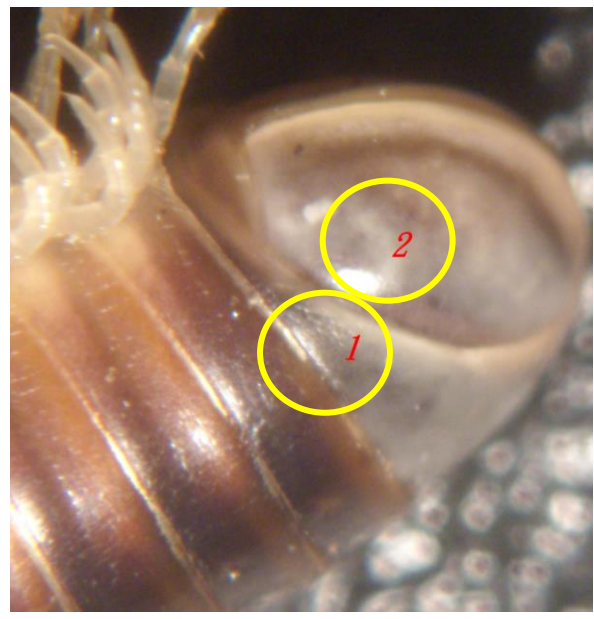


用放大鏡觀察步足

剛出生的幼體只有軀幹前幾個體節有步足，軀幹最後的12節沒有步足，齡期越接近成蟲，只剩下軀幹最後的2個體節沒有步足。

幼體：軀幹最後的12節沒有步足

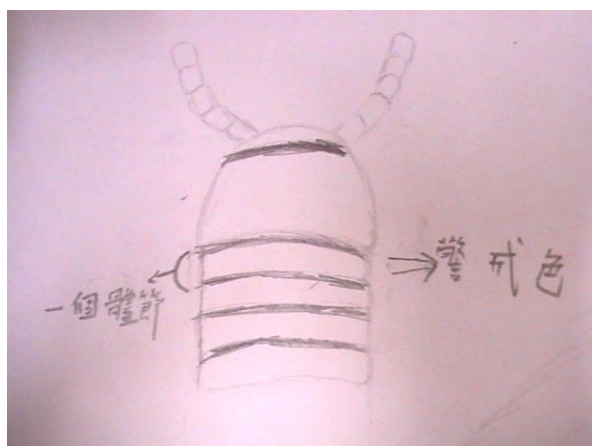
成蟲：軀幹最後2個體節沒有步足



(3) 呼吸系統：

馬陸利用氣管系統呼吸，每一腹節上除具兩對步足外，也有兩對氣孔、身體兩側有氣門(呼吸孔)來進行交換氣體。

2. 小紅黑馬陸的手繪圖：



背部體節紅黑相間，呈警戒色






























頭部腹面的構造，有口器、觸角等

		
	<p>小紅黑馬陸的背部體節構造</p>	<p>假死行為會將腹部保護在內部</p>

(四)小紅黑馬陸公母的區別：

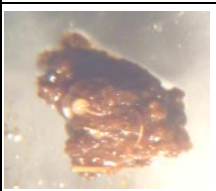
<p>實驗方法</p>	<p>1. 利用解剖顯微鏡拍攝，觀察小紅黑馬陸體節上的生殖器，來分辨公母。 2. 利用解剖顯微鏡拍攝，觀察小紅黑馬陸外型差異，來分辨公母。</p>						
<p>實驗結果</p>	<p>雌雄異體，雄體第七體節有交尾器，雌性第三體節有產卵器。</p> <table border="1" data-bbox="240 734 1460 1256"> <tr> <td data-bbox="240 734 831 792"> <p>公蟲交尾器</p> </td> <td data-bbox="831 734 1460 792"> <p>母蟲產卵器</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 792 831 1256">  </td> <td data-bbox="831 792 1460 1256">  </td> </tr> </table> <p>雄體交配器（位於第七體節） 雌體產卵器（位於第三體節）</p> <p>小紅黑馬陸可以從軀幹的第七體節來分辨公母，雄體的第七體節外觀有稍微凸起。</p> <table border="1" data-bbox="240 1375 1460 1742"> <tr> <td data-bbox="240 1375 831 1742">  <p>雄馬陸： 第七節稍微凸起</p> </td> <td data-bbox="831 1375 1460 1742">  <p>雌馬陸： 第七節沒有凸起</p> </td> </tr> </table> <p>1.小紅黑馬陸的生殖系統：雌體生殖腺開口在第三體節的腹面中央，雄體第七體節的生殖器可傳送精液入雌體，進行體內受精、卵生。我們觀察發現小紅黑馬陸的幼體要在四齡之後，才能因為體型夠大與形態外觀有所差異，較能分辨出公母的不同。 2.調查結果發現野外族群中雄性占 19.8%，雌性占 80.2%。小紅黑馬陸族群性別比例差異很大。</p>	<p>公蟲交尾器</p>	<p>母蟲產卵器</p>			 <p>雄馬陸： 第七節稍微凸起</p>	 <p>雌馬陸： 第七節沒有凸起</p>
<p>公蟲交尾器</p>	<p>母蟲產卵器</p>						
							
 <p>雄馬陸： 第七節稍微凸起</p>	 <p>雌馬陸： 第七節沒有凸起</p>						


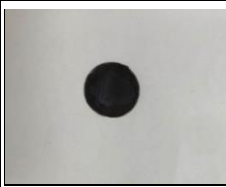

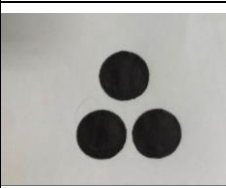

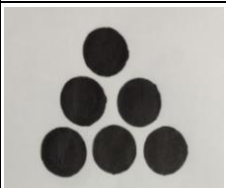

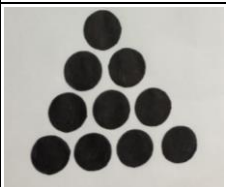
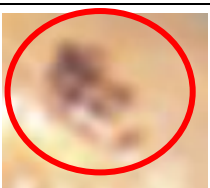
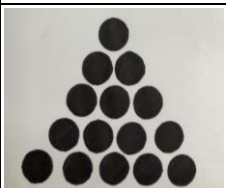
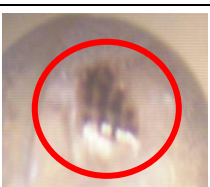
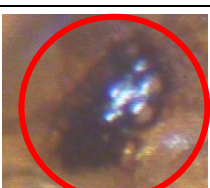

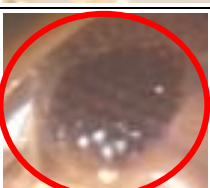
(五)交配行為：

方法	<p>1.野外長期觀察並記錄公、母小紅黑馬陸生殖行為與發生的季節。 2.在透明飼養箱中，觀察記錄公、母小紅黑馬陸成蟲交配的過程。</p>			
實驗結果	<p>1.生殖交配的季節： 小紅黑馬陸一年四季皆可交配，尤其在夏末秋初時交配情形最頻繁。 2.交配的過程：雌、雄成蟲互相接近對方，接著雌雄成蟲的腹面會相對，身體開始交纏在一起，雌體生殖腺開口在第三體節的腹面中央，雄體用位於第七體節處的生殖肢傳送精液入雌體的生殖孔。馬陸行體內受精，交配過程身體會一直扭動，交配時間約為1小時。</p>			
	<p>小紅黑馬陸交配過程的流程圖</p>			
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="199 584 624 875">  小紅黑馬陸交配前 </td> <td data-bbox="624 584 1023 875">  雌、雄蟲開始接近 </td> <td data-bbox="1023 584 1460 875">  雌雄身體腹面對 </td> </tr> </table>	 小紅黑馬陸交配前	 雌、雄蟲開始接近	 雌雄身體腹面對
	 小紅黑馬陸交配前	 雌、雄蟲開始接近	 雌雄身體腹面對	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="199 875 624 1211">  身體開始交纏一起 </td> <td data-bbox="624 875 1023 1211">  雄性交尾器深入生殖孔 </td> <td data-bbox="1023 875 1460 1211">  身體扭動，持續交配中 </td> </tr> </table>	 身體開始交纏一起	 雄性交尾器深入生殖孔	 身體扭動，持續交配中	
 身體開始交纏一起	 雄性交尾器深入生殖孔	 身體扭動，持續交配中		
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="199 1211 624 1503">  尾巴會擺動 </td> <td data-bbox="624 1211 1023 1503">  雌馬陸 雄馬陸 </td> <td data-bbox="1023 1211 1460 1503">  交配持續約一小時 </td> </tr> </table>	 尾巴會擺動	 雌馬陸 雄馬陸	 交配持續約一小時	
 尾巴會擺動	 雌馬陸 雄馬陸	 交配持續約一小時		
<p>小紅黑雌馬陸有時會出現用身體將卵堆包圍的行為，有點類似護卵。</p>				

(六)紀錄小紅黑馬陸各齡期的生活史天數：

實驗方法：將小紅黑馬陸分別飼養在小型透明觀察箱，以便我們觀察記錄其卵孵化所需的時間，並記錄小紅黑馬陸各齡期的生活史。

生活史的階段	圖示	單眼數目與齡數關係	各齡數的平均天數
卵		卵尚未出現單眼	平均18.2天後孵化出一齡幼體


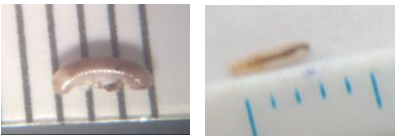



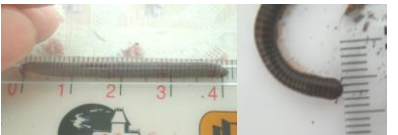
幼體一齡		有一顆單眼隱約出現		17.4天
幼體二齡		單眼三角形的底邊個數 (2 黑點) 為齡期的數目(二齡)		26.6 天
幼體三齡		單眼三角形的底邊個數 (3 黑點) 為齡期的數目(三齡)		29.1 天
幼體四齡		單眼三角形的底邊個數 (4 黑點) 為齡期的數目(四齡)		38.6 天
幼體五齡		單眼三角形的底邊個數 (5 黑點) 為齡期的數目(五齡)		41.4 天
幼體六齡		單眼的底邊數開始不規則，單眼逐漸聚集在一起，難以分辨各個單眼		48.4 天
幼體七齡		單眼的底邊數完全不規則，各個單眼聚集並連在一起，已經完全無法分辨各個單眼		53.4 天
幼體八齡		八齡幼體接近成蟲，各個單眼已經聚集成堆，複眼大致上成形		62.4 天
九齡 (成蟲)		成蟲的複眼已經完全成熟		成蟲可活一年以上

1. 【孵化】：觀察卵的孵化期約2－3星期。根據飼養經驗，卵的孵化與溫度有關係：

- (1) 通常在夏天【25℃以上】母蟲所產的卵會在2－3星期內孵化。
- (2) 秋末冬初【21℃以下】母蟲所產的卵會在3－4星期內孵化。

2. **【蛻皮】**：小紅黑馬陸的幼體通常蛻皮八次成為成蟲，步足及體節的數目隨每次蛻皮而增加。小紅黑馬陸幼體期約一年，四齡之前約每一個月會進行蛻皮，四齡之後約1—2個月才會蛻皮。研究發現蛻皮次數、步足及體節的數目會隨馬陸種類不同而有所差異。
3. **【環境溫度、溼度】**：飼養箱有保持空氣流通的鑽孔，溫度維持24—30℃。因為馬陸生存非常注重溼度，所以每天用噴霧器並使用潮濕的底材來飼養，環境保持在**絕對溼度75%—85%**。
4. **【單眼數目與齡數的關係】**：我們意外地發現在幼體五齡之前，小紅黑馬陸**單眼數目的三角形底邊與齡數有規則關係**。但是6~9齡幼體無法明確透過單眼的數量來分辨齡數。

(七)紀錄小紅黑馬陸身體構造成長的情形：

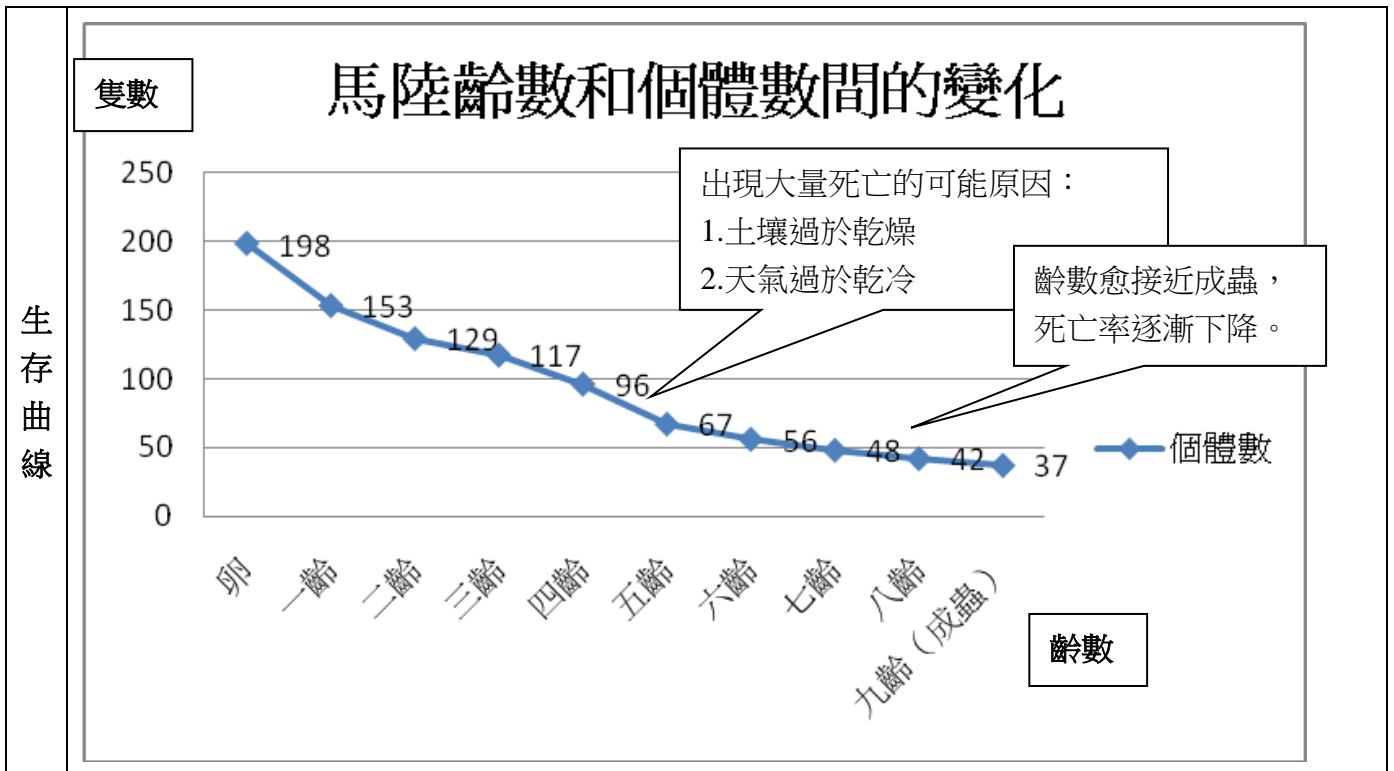
生活史	形態構造圖片	體長、體寬	身體構造的描述
卵		卵長：1.5mm	雌馬陸將身體蜷曲起來環抱以保護黃色的卵堆。
幼體一齡		體長：2.3mm 體寬：0.7mm	初齡乳白色的幼體具有三對步足，每蛻一次皮，步足數便會增加。
幼體二齡		體長：3.1mm 體寬：0.9mm	二齡幼體體色漸黃 蛻皮後體節、步足增加
幼體三齡		體長：4.3mm 體寬：1.1mm	三齡幼體體色為黃褐色 體節、步足增加
幼體四齡		體長：5.8mm 體寬：1.3mm	四齡幼體體色轉為偏紅褐色 身體內部器官漸趨明顯 體節、步足增加
幼體五齡		體長：6.9mm 體寬：1.6mm	五齡幼體體色為紅褐色 體節、步足增加
幼體六齡		體長：10.2mm 體寬：2.4mm	六齡幼體體色為紅黑相間 開始出現紅黑的警戒色 體節、步足增加
幼體七齡		體長：21.0mm 體寬：2.2mm	七齡幼體的體長急遽增加 體節、步足增加
幼體八齡		體長：35.2mm 體寬：2.8mm	八齡幼體的體長增加到3公分以上 體節、步足增加
成蟲		體長：42.0mm 體寬：3.0mm	成蟲體長可達4公分以上 成蟲個體生長達到性成熟時，就不會繼續蛻皮

1. **【卵】**：雌馬陸產卵前先用泥土築一個圓頂狀的巢，巢上有一個小洞，將卵產在洞內，卵堆用土壤包覆來保護，再將身體蜷曲起來環抱巢穴以保護卵，有時會將卵清潔乾淨。母成蟲產卵數約150顆，一年產卵1—2次，一生無固定交配次數也可重複產卵。飼養期間並無發現沒有受精的卵，幾乎都是受精卵，可孵育出新個體。
2. **【幼體】**：剛孵出的幼體身體呈半透明色。幼體和成蟲在外觀上差異不大，只有體型和顏色上的差異。卵孵化後的初齡幼體具三對足，經過二~三週時，變成有七個體節的幼體。馬陸幼體每次蛻皮後，步足及體節的數目就會隨之增加，馬陸屬於**異形發育**(anamorphic)，**孵化後幼體體節數只有成體的一部分**，幼體通常蛻皮八次，成為有生殖力的成蟲。
3. **【死亡】**：野外小紅黑馬陸族群中發生個體死亡原因，有以下四項：
 - (1)幼體易被水淹死(2)環境溼度不足，馬陸易脫水死亡(3)細菌、黴菌感染馬陸(4)天敵捕食。
 鳥類(雞)喜歡啄食馬陸，是馬陸最大的天敵。馬陸死亡時，身體偏直線微捲，不會捲成同心圓狀。

			
死後體節易分開	死亡後體色變淡，步足脫水變成捲曲狀	細菌、黴菌感染	跑出土表外蛻皮
文獻探討發現， 雌光螢的幼蟲 白天時躲藏在落葉層或土壤中， 晚上 爬出土表上，會捕食馬陸。			

(八)了解小紅黑馬陸族群的生存曲線：

實驗方法	1.生存曲線可顯示生物每一齡階段的存活率，曲線的變動分為三型： (1) 幼年低死亡型(凸型) (2) 平均死亡型(對角線型) (3) 幼年高死亡型(凹型)。										
	2.小紅黑馬陸的卵孵化後，將全部的幼體分別單獨飼養在透明飲料杯。紀錄小紅黑馬陸生活史各齡期存活的數量，之後各階段也詳細記錄剩下隻數並計算存活率。										
實驗結果	1.小紅黑馬陸生存曲線偏向屬於 平均死亡型(對角線型)										
	討論		孵出數 (總數隻)			一齡存活隻數 (第一次蛻皮後)			一齡存活率 (百分比)		
	種類	小紅黑馬陸		153			129			84%	
討論	齡數	卵	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡	六齡	七齡	八齡	九齡(成蟲)
	存活個體數	198	153	129	117	96	67	56	48	42	37
<ol style="list-style-type: none"> (1) 我們將齡數和個體數之間的變化，繪製成生存曲線圖(如下方)。 (2) 小紅黑馬陸有產卵量大或子代數目多的特性。但是我們發現小紅黑馬陸卵孵化後，一齡幼體的死亡率並不高。 (3) 1~4 齡的曲線顯示幼體初期小紅黑馬陸呈平均死亡率型(對角線型)。 (4) 5~8 齡的曲線得知小紅黑馬陸過了前幾齡後，死亡率逐漸下降。 (5) 4~5 齡的幼體，突然出現大量死亡，推測可能與人工飼養環境的溫度與土壤不佳有關。 (6) 幼體齡數愈接近成蟲，死亡率逐漸下降，成蟲壽命約1—2年。 (7) 小紅黑馬陸呈現平均死亡率型，我們推測可能與自疏現象有關。馬陸族群可能具有自我調節機制的生活系統，可以按照自身的性質及環境狀況調節族群的數量。 											



(九) 蛻皮：我們利用攝影設備觀察其蛻皮的連續過程

1. 小紅黑馬陸蛻皮的前幾天體色會漸漸變淡、體節紋路變得分明、步足會漸漸無法移動。蛻皮地點在土表上，若無外界干擾，小紅黑馬陸蛻皮的成功率相當的高，有9成以上。

2. 小紅黑馬陸蛻皮的過程：蛻皮呈現螺旋狀方式，蛻皮時間約20~30分鐘



平常的小紅黑馬陸（顏色深）



蛻皮前的小紅黑馬陸（顏色淡）



小紅黑馬陸即將蛻皮的體色變化

觀察結果



幼體準備蛻皮



舊外殼準備退去



身體呈螺旋狀



從舊外殼腹面蛻皮



蛻皮成功



準備離開舊外殼

 <p>舊外殼呈透明狀</p>	 <p>剛蛻皮的馬陸呈淡褐色</p>	 <p>剛蛻皮的馬陸體節數目增加</p>
 <p>蛻皮前：體色變淡、體節紋路變得分明、步足會暫時失去爬行能力。</p>	 <p>蛻皮中：身體以捲曲狀來進行蛻皮，身體腹面的外骨骼出現斷裂分離。</p>	 <p>蛻皮後：蛻皮後所留下的幾丁質外骨骼呈現半透明</p>

伍、討論

一、研究小紅黑馬陸與其他物種生物的交互作用：

小紅黑馬陸屬於土壤動物，土壤動物是一群龐大複雜的群集，尤其在森林的土壤生態系中，土壤動物的生活週期及棲息居所常在於森林土壤淺層中，而土壤動物的活動不僅會影響土壤環境的理化性質，也會受到周圍環境影響。馬陸不僅可以有效促進土壤中微生物的化學分解活動及泥土養分流動，並在泥土分解的過程中，馬陸在腐生生態系中擔任重要的角色。

(一)物種交互作用－馬陸與螞蟻「共生」：文獻中有提到部分的馬陸有時會與螞蟻合作，馬陸幫忙螞蟻清除蟻巢內的碎屑，防止黴菌生長，而螞蟻則會保護馬陸免於受到捕食性生物的攻擊。

(二)物種交互作用－天敵「捕食」馬陸：小紅黑馬陸在台灣的天敵有鳥類與雌光螢等，天敵種類較少。馬陸也不會攻擊其他生物，若棲地環境適合，就容易發現其族群，是環境中非常重要的清除者或腐食者。

(三)物種交互作用－馬陸「攝食」植物：馬陸不是捕食性的動物，有些馬陸為草食性，會取食柔嫩的根部與綠葉，但是小紅黑馬陸不是草食性。

(四)物種交互作用－馬陸與其他生物「競爭」資源：我們在野外挖掘腐質土時，觀察到馬陸生活的棲地，有時會出現鼠婦、潛蠊或蜈蚣等生物，我們推測鼠婦、潛蠊等土壤中的節肢動物應該與馬陸有競爭腐質有機物的可能。我們有時也會在馬陸的棲地發現蜈蚣的蹤跡，但是大部分的蜈蚣多棲息在土表上，而馬陸則是棲息在土壤下。

二、比較馬陸與蜈蚣的形態、習性與棲地：

因為民眾很容易將馬陸與蜈蚣這兩種生物混淆，我們製作圖表來比較兩者的異同處。馬陸是倍足綱的節肢動物，蜈蚣則是唇足綱。兩者生物分類上，屬於不同綱的節肢動物。兩者的生態角色也不同：馬陸在生態系中扮演清除者(腐食者)的重要角色，蜈蚣的生態角色只是一般的消費者(肉食者)，所以蜈蚣不是馬陸生活中的競爭者。

※蜈蚣與馬陸的比較：

名稱	蜈蚣(百足蟲)		馬陸(千足蟲)	
分類	節肢動物、唇足綱、蜈蚣目		節肢動物、倍足綱、馬陸目	
體節 步足		<p>蜈蚣步足數較少 體節較少，每一體節僅有一對步足 21~23 對步足</p>		<p>馬陸步足數較多 體節較多，除最後兩節外，每一體節皆有 2 對步足，前三體節為 1 對步足，步足數在 100 對以下</p>
毒顎		<p>第一步足特化為具毒腺鉗狀的顎足，為攻擊獵物的鉤狀毒鉤</p>		<p>沒有毒顎的構造</p>
尾節		<p>尾節有兩隻較長的步足</p>		<p>身體的尾節沒有步足</p>
行動	行動迅速		行動緩慢	
身體構造	<p>身體呈扁平</p> 		<p>身體呈圓筒形</p> 	
避敵行為	<p>受驚嚇縮成一團亂或呈 S 型，但大部分會選擇迅速地逃離現場並躲藏起來</p>		<p>受驚嚇縮成一團圓形螺旋狀，有時分泌異味或刺激性的化學物質，以保護自己。</p>	
生殖行為	<p>雄蟲吐絲結小網，將精液射置其上，雌蟲再將精液取入體內。雌蜈蚣產卵前會先建一個小泥塔，產卵後將身體捲曲環繞在外圍，直到幼體孵出。</p>		<p>雄蟲以特化生殖肢協助交配。產卵在一圓頂狀的巢，再將身體蜷曲起來環抱巢穴以保護卵，有時會把卵清潔乾淨。馬陸多在土中築巢產卵並以糞渣來襯裡。</p>	
食性	<p>肉食性，捕食其它節肢動物，有的會捕食較大的動物，如蛙、蛇、老鼠等。</p>		<p>腐食性，攝食分解後的枯葉，對土壤養分的形成發揮作用。</p>	
習性	<p>兩者白天棲息在岩石下、樹幹縫隙或枯葉堆內。夜晚進行覓食，皆屬於夜行性動物。</p>			

三、比較兩種形態不同的馬陸：筒馬陸與條馬陸

	筒馬陸 (以小紅黑馬陸為例)	條馬陸 (以粗直形馬陸為例)
身體形態		
	體節成圓筒狀排列	體節成片狀排列
頭部 觸角		
	頭部橢圓 觸角有較少的剛毛	頭部略尖 觸角有較多的剛毛
步足		
	每體節有兩對步足 步足有較少剛毛	每體節有兩對步足 步足有較多剛毛
尾節		
	尾節較圓	尾節較尖
討論	不管是何種馬陸，其身體體節並非終生固定，體節及步足的數目往往會隨著蛻皮成長而持續增加。	

陸、結論

一、問卷結果統計：

中學生對馬陸的棲息環境、生物分類、形態構造與動物行為**有很多錯誤的認知**。我們發現有「恐蟲症」的同學對馬陸的**正確認知程度較低**。我們認為土壤動物的環境教育在中小學校園中，仍有值得推廣的必要性。若有更廣泛與深入的**環境教育**，可以讓中小學學生對土壤動物或馬陸有**正確認知**，了解生物生態角色與環境保育的重要。

二、小紅黑馬陸的生物分類：

動物界→節肢動物門→倍足綱→山蛭目→厚甲馬陸科→黑馬陸屬→小紅黑馬陸

Leptogoniulus sorornus。小紅黑馬陸是台灣中南部常見的中型馬陸。

三、小紅黑馬陸的棲息環境：

- (一)採集與飼養：小紅黑馬陸棲息環境通常為土壤潮濕、富含腐植質、陰暗的隱蔽處，屬於腐食性動物。
- (二)對不同土壤的喜好：喜愛生活在養分充足的腐質土壤，不愛棲息在砂土與礫土。
- (三)幼體與成蟲棲息的環境土壤深度：雌蟲產卵在土表下約 2~3 公分處。幼體大部分棲息在土壤表面下 2~6 公分，成蟲則在土壤表面下 >7 公分處棲息。個體齡數愈接近成蟲，其棲息土壤的位置愈深。
- (四)族群分布：馬陸喜愛棲息在落葉層下的土壤，族群分布呈現叢生分布。

四、探討小紅黑馬陸的動物行為

- (一)步足行走的方式：眾多步足碰到地面上會形成一連串連續的三角形，呈波浪狀運動。
- (二)本能行為—趨性：正趨地性、負趨光性。
- (三)對水的耐受度：成蟲對水的耐受度較幼體高
- (四)忌避行為：馬陸不喜歡乾燥處，會害怕痲子粉、粉筆灰等乾燥性粉末而出現迴避行為。馬陸對於辛辣與具刺激味道的植物並無出現明顯迴避行為。
- (五)受干擾後的行為模式：
 - 1.機械式干擾刺激：
 - (1)物理性防禦—假死行為：長形身軀會捲曲成似圓形螺旋狀。
 - (2)化學性防禦—驅敵行為：體節背板兩邊的側緣有臭腺（驅拒腺）會分泌臭液以驅趕天敵。
 - (3)生理性防禦—排泄行為：排出糞便，有忌避或警示作用。
 - 2.環境土壤震動的干擾：成蟲棲地分佈情形並不會受到土壤左右搖動而有明顯地改變。

五、探討小紅黑馬陸的族群生態：

- (一)不同季節族群數量的變化：小紅黑馬陸成蟲發生盛期在夏季初期。
- (二)食性：小紅黑馬陸有時會被新鮮水果味道吸引，而在附近活動徘徊，但不一定會吃，整體而言，較喜愛食用腐爛的水果。
- (三)形態構造： $\text{步足數目} = (\text{體節數}) \times 4 - 18$ 。剛出生的幼體只有軀幹前幾個體節有步足，軀幹最後的12節沒有步足。而齡期越接近成蟲，只剩下軀幹最後的2個體節沒有步足。
- (四)公母比較：雌體生殖腺開口在第三體節的腹面中央，雄體的生殖器位在第七體節。雄性占19.8%，雌性占80.2%。族群性別比例差異很大。
- (五)交配：馬陸行體內受精，夏末秋初時交配情形最頻繁。雌馬陸的生殖腺開口於第三體節的腹面中央，雄體以位於第七體節處的生殖肢傳送精液入雌體。

- (六)生活史：4齡之前約1個月蛻皮一次，4齡之後約1~2個月蛻皮一次。眼為單眼聚集成的複眼，幼體五齡之前，單眼數目的三角形底邊與齡數有規則關係。
- (七)成長情形：幼體通常蛻皮八次成為成蟲，步足及體節的數目隨每次蛻皮而增加。幼體期約一年。四齡之後，因體型較大與形態外觀出現差異，而較能分辨出公母的不同。
- (八)小紅黑馬陸族群的生存曲線：生存曲線屬於平均死亡率型。幼體齡數愈接近成蟲，死亡率逐漸下降，成蟲壽命約1~2年。
- (九)蛻皮：蛻皮前幾天體色會漸漸變淡、體節紋路變得分明、步足會漸漸無法移動。在土表上蛻皮，呈螺旋狀蛻皮，蛻皮成功機率高。

柒、參考資料及其他

【文獻資料】

- 一、麥葛文 2008 世界昆蟲圖鑑 貓頭鷹出版 p241—p242。
- 二、吳聲海 2000 全球變遷-關刀溪森林生態系之研究—森林巨型食屑性動物群聚生態研究(III) —貧毛類及倍足類 行政院國家科學委員會計畫。
- 三、吳聲海 1999 全球變遷-關刀溪森林生態系之研究—森林巨型食屑性動物群聚生態研究—蚯蚓類及倍足類(II) 行政院國家科學委員會計畫。

【網路資料】

- 一、https://www.fehd.gov.hk/tc_chi/pestcontrol/images/Pestnews_17c.pdf
- 二、<http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/95/224/5.pdf>

【評語】 030305

優點：

小紅黑馬陸相關研究報告較為缺乏，此研究具有填補此部分的可行性。於實驗設計初期，先對 504 位同學做出問卷調查，結果顯示多數受試者對於馬陸有許多誤解，因此本研究的重要性在於能實質提升民眾對生態系統中扮演腐食者的馬陸有更多的認識。此研究對台灣小紅黑馬陸的生態特性研究完善。研究結果改變人群對馬陸的刻板印象，增進環境教育有重要意義。研究團隊對於問卷調查、田野觀察和飼養實驗的設計與執行都很詳細。

建議及檢討：

1. 摘要的內容似乎只是簡單介紹了小紅黑馬陸的概要，並未提供研究內容的摘要。
2. 實驗中提到問卷的問答有分析錯認繪圖的情況。建議在討論部分進一步討論這些錯誤分析的原因，並進行比較差異的討論。解釋和比較分析錯誤和正確的繪圖結果，有助於提高研究的準確性和可信度。

3. 在環境因子部分可以再加強設計相關實驗，以期獲得更多可測試與統計的資料進行後續相關性研究。

作品海報

摘要

台灣原生種小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sorornus* 多棲息在潮濕腐質土，齡數愈多，棲息土壤的位置愈深。族群呈叢生分布，成蟲有趨地性、負趨光性。隨齡數增長，複眼避光程度漸增。成蟲對水的耐受度較幼體高。馬陸遇乾燥性粉末會迴避，對具刺激味道的植物較不迴避，喜愛食用腐爛的水果。驚嚇時身體捲曲呈圓環狀或出現排泄行為。成蟲不會因土壤震動而從土壤中外出活動。主要發生期在夏初，夏末時交配最頻繁。其步足數目 = (體節數) X 4 - 18。族群中雄性占 19.8%，雌性占 80.2%。眼為複眼，幼體五齡前，單眼數目的三角形底邊與齡數有規則關係。幼體期約一年，蛻皮八次後為成蟲，蛻皮前體色變淡，呈螺旋狀蛻皮。族群的生存曲線屬於平均死亡率型。

研究動機

「馬陸大量出現，代表地震要來了」真的是這樣嗎？國內馬陸相關研究書籍資料很少，其實馬陸是生態系中不可或缺的重要角色 - 腐食者，了解馬陸的生態行為對民眾在環境教育上有很大的幫助。所以我們決定透過研究馬陸，來改變一般民眾對馬陸的刻板印象。我們以台灣南部常出現的小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sorornus* 為研究對象。先設計馬陸的生態問卷調查，了解中學生對馬陸的正確認知程度，接著觀察並設計相關實驗，期盼研究成果能使中學生對環境教育意義有更正確的認知。

研究目的

- 一、利用問卷調查來了解一般學生對馬陸是否存在錯誤的認知
- 二、探討小紅黑馬陸的生物分類
- 三、探討小紅黑馬陸的棲息環境
- 四、探討小紅黑馬陸的動物行為
- 五、探討小紅黑馬陸的族群生態

問卷調查、分類階層

1 是否看(聽)過	是 91%				否 9%			
2 第一印象	害怕 48%	有趣 18%	可愛 3%	黏黏的 2%	濕濕的 38%	冰冰的 35%	軟軟的 23%	硬硬的 56%
3 馬陸是一種昆蟲?	是 43%				否 57%			
4 所有馬陸都是同一種?	是 48%				否 52%			
5 馬陸與蜈蚣誰的步足較多?	馬陸 55%				蜈蚣 45%			
6 馬陸與蜈蚣何者移動速度快?	馬陸 38%				蜈蚣 62%			
7 從外型可辨別馬陸或蜈蚣嗎?	是 85%				否 15%			
8 馬陸棲息地在何處?	森林 42%	草原 39%	沙漠 0%	農田 32%	公園 37%	水溝 0%	池塘 1%	河流 5%
9 馬陸的棲息環境	草叢中 38%	落葉堆內 59%	砂土 41%	石堆 33%	腐植土 65%	樹幹上 3%	枯枝內 47%	
10 小紅黑馬陸是否為台灣原生種?	是 64%				否 36%			
11 馬陸成蟲是否為群居動物?	是 57%				否 43%			

小紅黑馬陸在生物學上的分類階層：

動物界
節肢動物門
倍足綱
山蛭目
厚甲馬陸科
黑馬陸屬
小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sorornus*

表一：台灣常見馬陸比較

	小紅黑馬陸	福爾摩沙山蛭	條馬陸
形態構造			
體長	成蟲約 40mm(中型馬陸) 台灣南部常見的蜈蚣	成蟲約 85mm(大型馬陸) 台灣最大的馬陸	成蟲約 20 mm 外型像蜈蚣
分類	山蛭目 厚甲馬陸科	山蛭目 旋刺馬陸科	條馬陸目 有 6 科、21 屬、34 種
特徵	遇到危險常會裝死，體色黑紅相間(警戒色) 移動速度慢	遇到危險常會裝死，體色黑紅相間，有警戒色 移動速度慢	遇到危險較不常裝死 移動速度較快

結論：48%同學對馬陸會害怕；對馬陸的知識，答題正確率只有31%
58%同學對馬陸不會害怕；對馬陸的知識答題正確率高達73%

小紅黑馬陸的採集、飼養

野外採集



人為飼養



生活史



卵囊(150 - 200顆卵)

卵變色(黃→黑)

幼蟲

幼蟲(身體透明)

任何齡數的小紅黑馬陸觸角節數皆為7節

成蟲

棲息環境探討

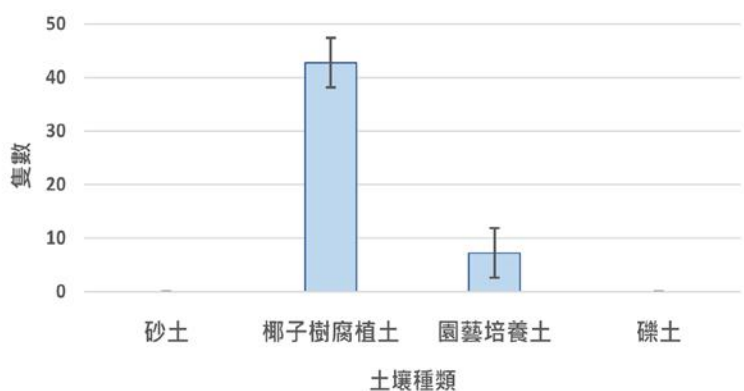
1 比較小紅黑馬陸對不同土壤的喜好

實驗方法：

準備四種不同質地土壤(中間先用紙板隔開),抽掉隔板後,放置50隻馬陸,一周後觀察馬陸的分布,重複四次試驗。



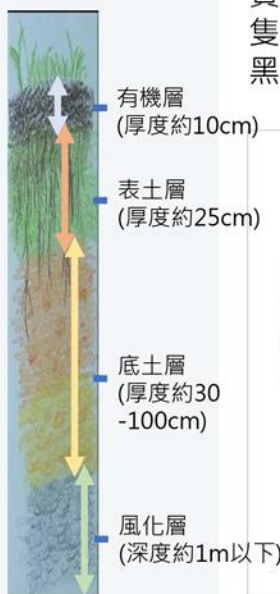
不同土壤喜好比較



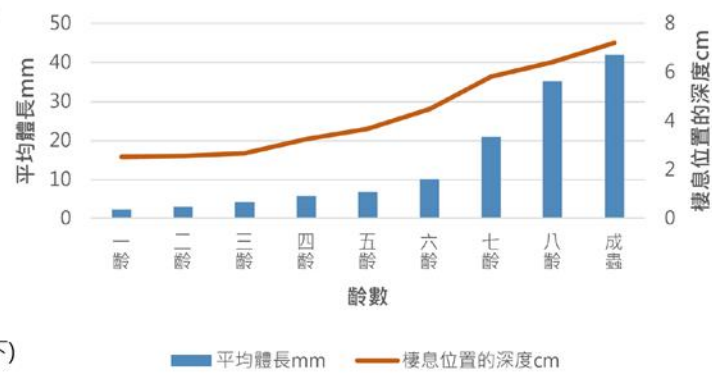
2 探討幼體與成蟲所棲息的環境土壤深度是否有差異

實驗方法：

在大型透明觀察箱中放入厚度10cm的腐植土當環境底質,分別放入不同齡數的小紅黑馬陸幼體與成蟲各10隻,均勻分布在表土中,一星期後,觀察各齡數的小紅黑馬陸棲息在土壤中的深度



體長與棲息深度關係圖



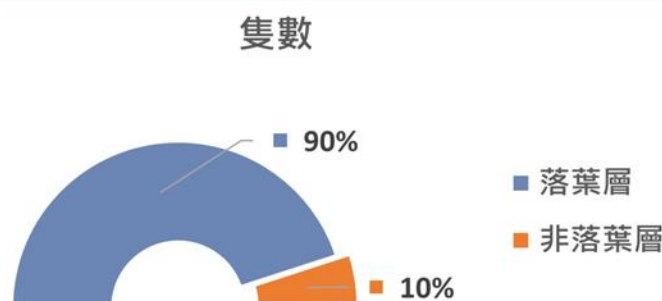
3 分析小紅黑馬陸族群分布的情況

實驗方法：飼養箱中放入10 cm厚度腐植土,將箱內土壤分為有落葉層覆蓋與沒有落葉層覆蓋兩種環境,放入50隻馬陸成蟲,三天後觀察

幼體和成蟲皆為叢生分布,推測馬陸的趨聚性可促進產生代謝熱,進而促進馬陸的生長發育速度



叢生分布



四 探討小紅黑馬陸的動物行為

1 分析步足型行走模式



馬陸行走速度為0.73cm/sec，鑽土速度很快。飼養觀察過程中，未看過馬陸倒退行走。步足呈波浪狀運動

3 分析對水耐受度



成蟲利用步足抱住氣泡，步足快速擺動

齡數與平均保持清醒時間之關係



4 忌避行為分析

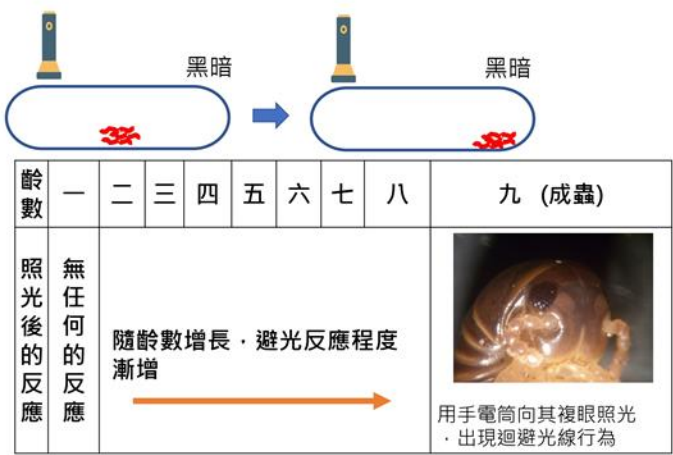
實驗方法：在3X3 cm的正方形面積中，分別不同物品，再放入20隻馬陸成蟲，做測試，記錄出現迴避現象的隻數

成蟲對物品迴避比較

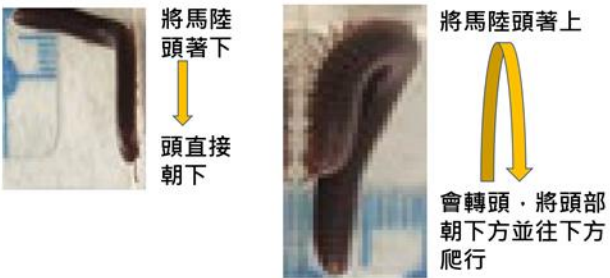


2 本能行為

A. 趨光性測試：負趨光性



B. 趨地性測試：趨地性

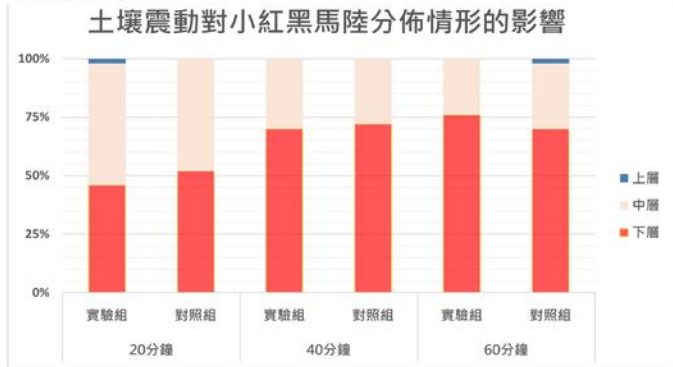


5 受干擾後行為模式

1. 機械式干擾刺激：



2. 土壤振動干擾：



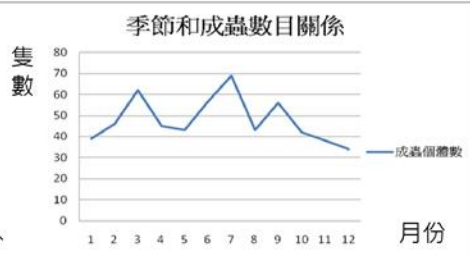
五 族群生態研究

1 季節變化

西元2021年9月開始，選定在高雄同學家的一塊種芭樂樹的農田進行定期觀察並記錄



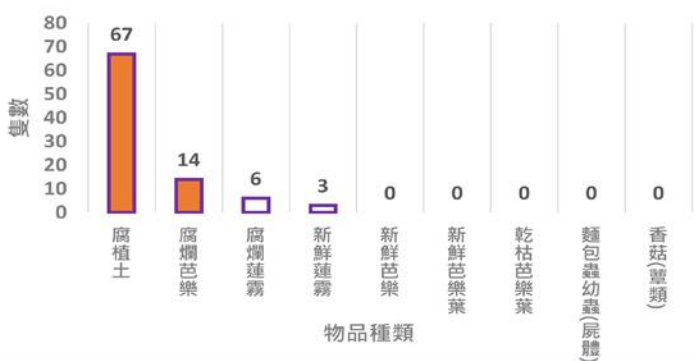
環境負荷量約為50隻(每平方公尺)。異種競爭：小紅黑馬陸與蚯蚓、蜈蚣、鼠婦等土壤動物有出現競爭棲地與生存資源的現象



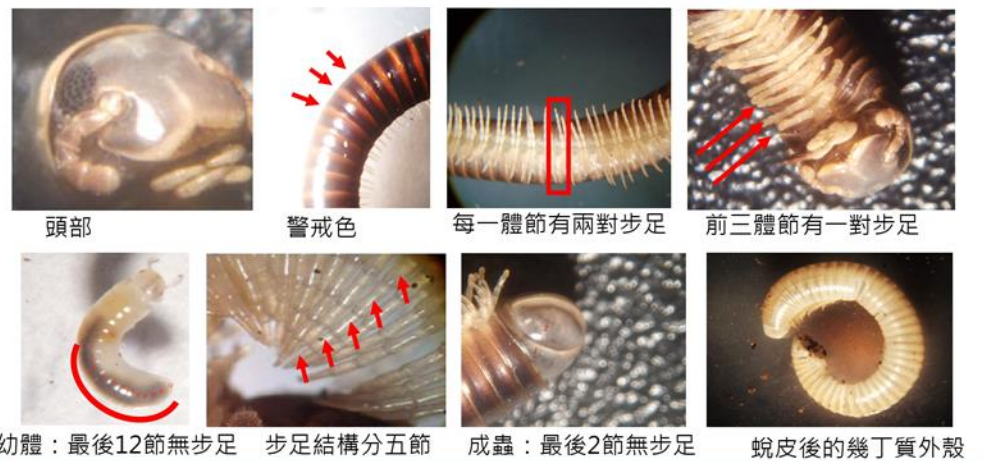
2 食性

實驗方法：將30隻馬陸成蟲先放在空盒子三天，再將其放入放置有各種食物的觀察箱中，觀察記錄馬陸停在食物上的隻數，放置觀察一天，進行統計分析。過程要記錄小紅黑馬陸攝食過程與方式。

食物吸引成蟲停留之比較



3 小紅黑馬陸型態構造



4 觀察小紅黑馬陸的雌、雄差異



5 交配行為



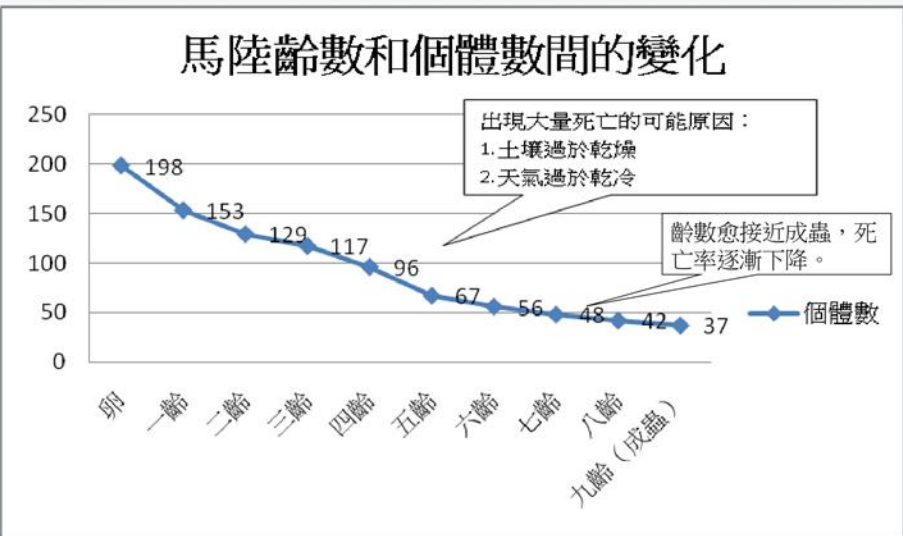
6 各齡期的生活史天數

階段	卵	幼體一齡	幼體二齡	幼體三齡	幼體四齡	幼體五齡	幼體六齡	幼體七齡	幼體八齡	幼體九齡(成蟲)	
照片											
單眼數目與齡數關係	卵尚未出現單眼	●	●●	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●●	單眼的底邊數開始不規則，單眼逐漸聚集在一起，難以分辨各個單眼	各個單眼聚集並連在一起，已經完全無法分辨各個單眼	八齡幼體接近成蟲，各個單眼已經聚集成一堆，複眼大致上成形	成蟲的複眼已經完全成熟

6 小紅黑馬陸族群的生存曲線：

小紅黑馬陸生存曲線偏向屬於**平均死亡型(對角線型)**

討論		孵出數 (總數隻)			一齡存活隻數 (第一次蛻皮後)				一齡存活率 (百分比)		
種類		153			129				84%		
年齡	卵	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡	六齡	七齡	八齡	九齡 (成蟲)	
存活個體數	198	153	129	117	96	67	56	48	42	37	



生活史	形態構造圖片	體長、體寬	身體構造的描述
卵		卵長：1.5mm	雌馬陸將身體捲曲起來環抱以保護黃色的卵堆。
幼體一齡		體長：2.3mm 體寬：0.7mm	初齡乳白色的幼體具有三對步足，每蛻一次皮，步足數便會增加。
幼體二齡		體長：3.1mm 體寬：0.9mm	二齡幼體體色漸黃，蛻皮後體節、步足增加。
幼體三齡		體長：4.3mm 體寬：1.1mm	三齡幼體體色為黃褐色，體節、步足增加。
幼體四齡		體長：5.8mm 體寬：1.3mm	四齡幼體體色轉為偏紅褐色，身體內部器官漸趨明顯，體節、步足增加。
幼體五齡		體長：6.9mm 體寬：1.6mm	五齡幼體體色為紅褐色，體節、步足增加。
幼體六齡		體長：10.2mm 體寬：2.4mm	六齡幼體體色為紅黑相間，開始出現紅黑的警戒色，體節、步足增加。
幼體七齡		體長：21.0mm 體寬：2.2mm	七齡幼體的體長急遽增加，體節、步足增加。
幼體八齡		體長：35.2mm 體寬：2.8mm	八齡幼體的體長增加到3公分以上，體節、步足增加。
成蟲		體長：42.0mm 體寬：3.0mm	成蟲體長可達4公分以上，成蟲個體生長達到性成熟時，就不會繼續蛻皮。

7 蛻皮過程全記錄：



討論

一、研究小紅黑馬陸與其他物種生物的交互作用：

小紅黑馬陸屬於土壤動物，在腐生生態系中擔任重要的角色。馬陸不僅可以有效促進土壤中微生物的化學分解活動及泥土養分流動，並在泥土分解的過程中，馬陸在腐生生態系中擔任重要的角色。

物種交互作用 -

- 馬陸與螞蟻「共生」**：文獻中有提到部分的馬陸有時會與螞蟻合作，馬陸幫忙螞蟻清除蟻巢內的碎屑，防止黴菌生長，而螞蟻則會保護馬陸免於受到捕食性生物的攻擊。
- 天敵「捕食」馬陸**：小紅黑馬陸在台灣的天敵有鳥類與雌光螢等，天敵種類較少。馬陸也不會攻擊其他生物，若棲地環境適合，就容易發現其族群，是環境中非常重要的清除者或腐食者。
- 馬陸「攝食」植物**：有些馬陸為草食性，會取食柔嫩的根部與綠葉，但是小紅黑馬陸非草食性生物。
- 與其他生物「競爭」資源**：我們在野外挖掘腐質土時，觀察到馬陸生活的棲地，有時會出現鼠婦、潛蠊或蜈蚣等生物，我們推測鼠婦、潛蠊等土壤中的節肢動物應該與馬陸有競爭腐質有機物的可能。我們有時也會在馬陸的棲地發現蜈蚣的蹤跡，但是大部分的蜈蚣多棲息在土表上，而馬陸則是棲息在土壤下。

二、比較馬陸與蜈蚣的形態、習性與棲地：

因為民眾很容易將馬陸與蜈蚣這兩種生物混淆，我們製作圖表來比較兩者的異同處。馬陸是倍足綱的節肢動物，蜈蚣則是唇足綱。兩者生物分類上，屬於不同綱的節肢動物。兩者的生態角色也不同：馬陸在生態系中扮演清除者(腐食者)的重要角色，蜈蚣的生態角色只是一般的消費者(肉食者)，所以蜈蚣不是馬陸生活中的競爭者。

	蜈蚣(唇足綱)	馬陸(千足綱)
分類	節肢動物、唇足綱、蜈蚣目	節肢動物、倍足綱、馬陸目
體節		
步足		
毒顎	 勾狀毒顎	 沒有毒顎的構造
尾節		
行動	行動迅速	行動緩慢
食性	肉食性，捕食其它節肢動物，有的會捕食較大的動物，如蛙、蛇、老鼠等。	腐食性，攝食分解後的枯葉，對土壤養分的形成發揮作用。
習性	兩者白天棲息在岩石下、樹幹縫隙或枯葉堆內。夜晚進行覓食，皆屬於夜行性動物。	

結論

一、問卷結果統計：

中學生對馬陸的有很多錯誤的認知。我們認為土壤動物的環境教育在中小學校園中值得推廣，也可以藉此了解生物生態角色與環境保育的重要。

二、小紅黑馬陸的生物分類：

動物界→節肢動物門→倍足綱→山蛩目→厚甲馬陸科→黑馬陸屬→小紅黑馬陸 *Leptogoniulus sororius*，是台灣中南部常見的中型馬陸。

三、小紅黑馬陸的棲息環境：

- 採集與飼養：棲息環境通常為土壤潮濕、富含腐植質、陰暗的隱蔽處，屬於腐食性動物。
- 對土壤的喜好：喜愛生活在養分充足的腐質土壤，不愛棲息在砂土與礫土。
- 幼體與成蟲棲息環境土壤深度：雌蟲產卵在土表下約2~3公分處。幼體大部分棲息在土壤表面下2~6公分，成蟲則在土壤表面下>7公分處棲息。個體齡數愈接近成蟲，其棲息土壤的位置愈深。
- 族群分布：喜愛棲息在落葉層下的土壤，叢生分布。

四、探討小紅黑馬陸的動物行為：

- 步足行走的方式：眾多步足碰到地面上會形成一連串連續的三角形，呈波浪狀運動。
- 本能行為 - 趨性：正趨地性、負趨光性。
- 對水的耐受度：成蟲對水的耐受度較幼體高。
- 迴避行為：馬陸不喜歡乾燥處，會害怕痱子粉、粉筆灰等乾燥性粉末而出現迴避行為。馬陸對於辛辣與具刺激味道的植物並無出現明顯迴避行為。
- 受干擾後的行為模式：
 - 機械式干擾刺激：
 - 物理性防禦 - 假死行為：長形身軀會捲曲成似圓形螺旋狀。
 - 化學性防禦 - 驅敵行為：體節背板兩邊的側緣有臭腺(驅拒腺)會分泌臭液以驅趕天敵。
 - 生理性防禦 - 排泄行為：排出糞便，有忌避或警示作用。
 - 環境土壤震動的干擾：成蟲棲地分佈情形並不會受到土壤左右搖動而有明顯地改變。

五、探討小紅黑馬陸的族群生態：

- 成蟲發生盛期在夏季初期。
- 食性：小紅黑馬陸有時會被新鮮水果味道吸引，而在附近活動徘徊，但不一定會吃，較喜愛食用腐爛的水果。
- 形態構造：步足數目 = (體節數) X 4 - 18。剛出生的幼體只有軀幹前幾個體節有步足，軀幹最後的12節沒有步足。而齡期越接近成蟲，只剩下軀幹最後的2個體節沒有步足。
- 公母比較：雌體生殖腺開口在第三體節的腹面中央，雄體的生殖腺位在第七體節。雄性占19.8%，雌性占80.2%。族群性別比例差異很大。
- 交配：體內受精，夏末秋初時交配情形最頻繁。雌馬陸的生殖腺開口於第三體節的腹面中央，雄體以位於第七體節處的生殖肢傳送精液入雌體。
- 生活史：4齡之前約1個月蛻皮一次，4齡之後約1~2個月蛻皮一次。眼為單眼聚集成的複眼，幼體五齡之前，單眼數目的三角形底邊與齡數有規則關係。
- 成長情形：幼體通常蛻皮八次成為成蟲，步足及體節的數目隨每次蛻皮而增加。幼體期約一年。四齡之後，因體型較大與形態外觀出現差異，而較能分辨出公母的不同。
- 小紅黑馬陸族群的生存曲線：生存曲線屬於平均死亡率型。幼體齡數愈接近成蟲，死亡率逐漸下降，成蟲壽命約1~2年。
- 蛻皮：蛻皮前幾天體色會漸漸變淡、體節紋路變得分明、步足會漸漸無法移動。在土表上蛻皮，呈螺旋狀蛻皮，蛻皮成功機率高。

參考文獻

- 麥葛文 2008 世界昆蟲圖鑑 貓頭鷹出版 p241 - p242。
 - 吳聲海 2000 全球變遷-關刀溪森林生態系之研究 - 森林巨型食屑性動物群聚生態研究(III) - 貧毛類及倍足類 行政院國家科學委員會計畫。
 - 吳聲海 1999 全球變遷-關刀溪森林生態系之研究 - 森林巨型食屑性動物群聚生態研究 - 蚯蚓類及倍足類(II) 行政院國家科學委員會計畫。
- 【網路資料】
- https://www.fehd.gov.hk/tc_chi/pestcontrol/images/Pestnews_17c.pdf
 - <http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/95/224/5.pdf>