

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物科

第三名

030302

比蚯蚓在此~探討八德地區蚯蚓分布與土壤因子的  
的關係

學校名稱：桃園市立大成國民中學

作者：  國二 吳芯漩  國二 戴子馨	指導老師：  劉彥民  賴昱龍
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：蚯蚓分布、校園土壤、土壤性質

## 壹、摘要

本研究主要針對八德地區校園及公園的蚯蚓種類及數量進行調查，結果發現該地區的蚯蚓共有八種，其中外來種黃頸捲蚓族群數量多，在酸鹼值、含水量及植被覆蓋率上呈現廣適應性，是強勢外來種，明顯排擠其他物種。

同時在研究過程中，我們也透過野外採集蚯蚓以及進行土質調查，嘗試分析蚯蚓分布情形與各項土壤因素之間的相關性，顯示影響蚯蚓分布的主要因素是酸鹼值與土壤濕度。土壤密度及地表植被覆蓋率對於蚯蚓的分布也有影響但相關性較低。而氮磷鉀總含量的多寡對於蚯蚓的分布則沒有明顯影響。同時我們更進一步透過實驗室的選擇偏好及活動力實驗，證實蚯蚓對土壤的選擇除了受溼度及酸鹼值影響，也改變蚯蚓在土壤中的活動力。

## 貳、研究動機

在上生物課時，透過老師的描述，我們了解到蚯蚓是農業的益蟲，可以透過挖地道時鬆化土壤，我們對這件事十分的好奇，所以進而思考，那在我們生活地方-八德呢?這個農業，工業，住宅合併的城市裡，在過度使用農藥肥料以及充滿汙染的環境中，蚯蚓還存在嗎?

於是我們上網去搜尋了一些資料後，發現前人曾經針對林口地區的土質分析與蚯蚓種類進行調查，這項研究報告激起了我們的好奇心。當時作者針對林口地區土壤 pH 值的調查方式，是挖了 20 個地點的土壤後求平均，再以平均值代表該地區的酸鹼值。但每個地點的 pH 值差異都可能是影響蚯蚓分布的因素。因此我們希望針對不同樣區不同深度的土壤作詳細的土質調查及分類，應該能夠更清楚描繪出影響蚯蚓分布的樣貌。同時我們也希望藉此了解八德地區與林口地區的土質差異對蚯蚓分布是否有影響。

除此之外，根據先前報告顯示，黃頸捲蚓(*Pontoscolex corethrurus*)在臺灣是入侵非常嚴重的外來種，在林口地區發現的蚯蚓中比例高達六成(楊，2017)。所以我們也想知道在同一地區但不同校園內的蚯蚓種類分布情形是否會有差異。我們挑選了大 O 國中、大 O 國小、大 O 國小、大湳公園進行調查。希望可以透過實地調查，了解八德地區校園內的蚯蚓分布種類及數量。並進一步透過實驗室內單項土質變因控制探討影響蚯蚓活動的可能因素。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材

編號	名稱	型號或規格	備註
1	二聯通飼養箱	60*45*18cm	腳高度 20cm
2	基材	木屑堆肥 1 年	養殖蚯蚓用
3	壓克力通道模具	30*30*0.5cm	底座 20*20cm
4	土壤濕度、酸鹼值測定	SPHC05 DM-5	
5	燈具組	東亞 13W 燈泡	白光
6	塑膠盆		拌土用
7	蘋果酸 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>		
8	量筒		50ml、100ml
9	培養土	花少爺	pH7.4
10	鐵鏟		
12	熱風循環烘箱	JB-150	PRECISION OVEN
13	Rapidtest soil test kit	土質分析組	Luster leaf

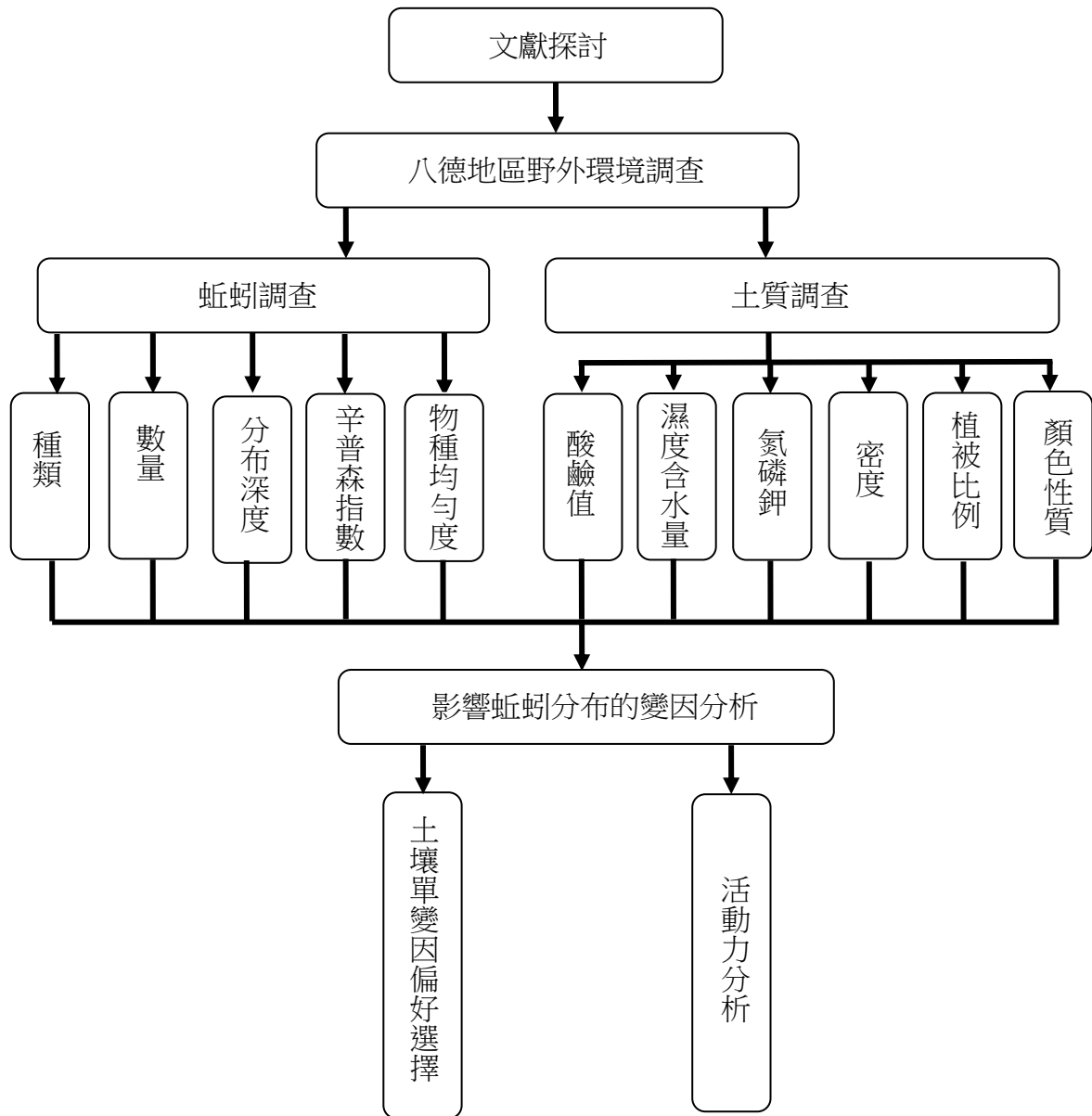
### 二、活體材料

蚯蚓來源為普吉蚯蚓農場俗稱太平二號的品種，但實際上內含不同種類的蚯蚓包括掘穴環爪蚓以及尤金真蚓，另外也挑選從野外挖掘到健康成熟的參狀遠環蚓以及黃頸捲蚓進行單項土質變因選擇及活動力實驗以了解蚯蚓對環境的偏好，四種蚯蚓的特徵列舉如下表。利用二聯通飼養箱，飼養環境為 25~28°C，每 90 天更換一次基材，提供切碎的蔬菜、水果作為飼料。實驗的進行皆以色澤明亮、身體外表無破損之蚯蚓作為實驗動物。

中文名	參狀遠環蚓	掘穴環爪蚓	尤金真蚓	黃頸捲蚓
俗名	黑蚯蚓	印度藍蚯蚓	非洲夜蚯蚓	黃頸透鈣蚓
學名	<i>Amyntas aspergillum</i>	<i>Perionyx excavatus</i>	<i>Eudrilus eugeniae</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i>
體型	個體的長度變化很大 成熟可長 40 公分左右	體長 5-18 公分 環帶寬 0.2-0.5 公分 尾端尖細如頭部	體長 9-18.5 公分 環帶寬 0.4-0.8 公分 尾部漸扁漸細	放鬆體長 9.2~12.8 公分 外觀看起來體節密集
體色	活體背紅褐色，腹面灰色；環帶為黃褐色至黑褐色。	背面體色均勻，粉紅、深紅、紅紫或藍紫，具有強烈的藍紫色繞射反光。	背面體色紅褐或藍紫，越向尾部體色越淡，體表有明顯的藍色或綠色繞射反光。	身體透明，經常可見成段的消化道；背面體色環帶前粉紅，環帶後淺灰或淺紫，尾部偏蒼白。
環帶型態	環帶起始於 24-27 節，長 8 節，馬鞍型，膨大，顏色為淺紅或淺栗。	環帶位於 13-17 節，環帶不膨大，顏色明顯較淺。	環帶起始於 13-15 節，結束於 18 節，環形，膨大，顏色為淺紅或淺栗。	環帶始於第 14 或 15 節，通常七節；馬鞍形，分節不癒合，顏色橘黃。

## 肆、研究架構及方法

### 一、研究架構



### 二、研究方法

#### (一)文獻探討

1. 透過台灣博碩士論文知識加值系統進行相關蚯蚓與土壤關係文獻的探討。
2. 至圖書館搜尋蚯蚓相關知識書籍並上網購買台灣蚯蚓圖鑑。
3. 分析相關文獻，了解影響蚯蚓在土壤中分布的相關因素。

## (二)八德區野外環境調查

根據前人的研究調查，影響蚯蚓分布的因素可能有很多，包括土壤中有機質含量、酸鹼值、濕度等影響(Hendrix et.al, 1992)。我們希望透過本實驗去了解在八德大湳地區的鄰近校園環境內，是否會有相同的蚯蚓種類分布情形，同時也想比較校園內及校園外的環境是否會有差異。

因此我們從大○國中、大○國小、大○國小三所學校挑選挖掘樣區，並在學校外的環境外另挑選原為保一總大湳營區現為大湳生態公園作為我們野外調查的四個探索地點。

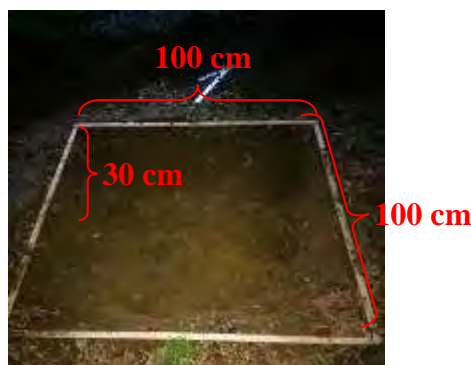


圖一、蚯蚓採集樣區分布圖。A-大○國中中庭；B-大○國中圍牆；C-大○國小花圃；D-大○國小廢棄菜園；E-大湳公園楓樹下

### 1.野外蚯蚓調查

#### (1)蚯蚓種類、數量、深度分布調查

我們選擇在當周都沒有下雨時進行挖掘，避免因為濕度影響蚯蚓的分布。挖掘時的氣溫皆為 20~25°C。每個地點取三個樣區，其樣區大小為長 100 cm X 寬 100 cm X 深 30 cm，每個樣區依深度分為三種土樣：淺層(0~10 cm)，中層(11~20 cm)及深層(21~30 cm)，故共計 5 個地點，15 個樣區，45 個土樣。每塊樣區挖掘發現蚯蚓時，需根據蚯蚓圖鑑記錄蚯蚓的種類並記錄長度及挖掘時的深度。



圖二、挖掘樣區時的範圍示意圖

## (2)計算八德各地區蚯蚓生物多樣性指數(Biodiversity, Keyluck, C. J. 2005)

### ①辛普森指數(Simpson's Index, $\lambda$ )

$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$$

$S$ ：樣區中的種類總數； $n_i$ ：第  $i$  種個體數； $N$ ：總個體數

辛普森多樣性指數=隨機取樣的兩個個體屬於不同種的機率。樣區中物種數越多，各種個體分配越均勻，指數越高，代表生物多樣性越高。

### ②夏儂-威納多樣性指數(Shannon-Wiener's Index, $H'$ )

$$H' = -\sum_{i=1}^s (n_i / N) \ln(n_i / N)$$

$S$ ：樣區中的種類總數； $n_i$ ：第  $i$  種個體數； $N$ ：總個體數

### ③皮耶諾物種均勻度指數(Pielou's evenness Index, $J'$ )

$$J' = H' / \log S$$

$S$ ：樣區中的種類總數； $H'$ ：夏儂-威納多樣性指數

物種均勻度用來描述物種中的個體的相對豐富度或所占比例。 $J'$ 值範圍在 0~1 之間。 $J'$ 值大時，顯示種間個體數分布較均勻。反之，代表種間個體數分布不均勻。

## 2.進行八德大湍地區土質分析調查

每個探索地點各隨機挑選三塊  $1\text{m}^2$  的土地作為挖掘樣區，並拍照進行表土植被覆蓋紀錄。每塊樣區挖掘深度為 30 公分，並在挖掘的過程中分別出取 0~10 公分、11~20 公分、21~30 公分的土樣回學校進行酸鹼值、含水量、氮磷鉀含量、土質密度、土樣顏色等性質分析。



圖三、(A)在標記樣區進行濕度及酸鹼值測定 (B)挖掘樣區內的蚯蚓並記錄結果

### (1)酸鹼值及濕度測定

使用 SPHC05 土壤 pH 濕度測定計進行土壤酸鹼值及濕度測量，使用時將 PH 測定計直接插入土中，使金屬錐面與周圍土壤密合，經一分鐘後，儀表上的指針即指出土壤中的 pH 值，另外按下白色按鈕即可測定土壤濕度。



## (2)含水率測定

取體積大約相等的樣土，置入玻璃培養皿中，利用電子秤稱其土壤重量至小數後一位，再將置入烘箱以 80℃ 烘乾，20 小時後取出培養皿，將烘乾前重量減去烘乾後的重量並除以烘乾前重量即為樣土的含水率。

$$\text{含水率} = \frac{\text{烘乾前重量} - \text{烘乾後重量}}{\text{烘乾前重量}}$$

## (3)氮、磷、鉀肥含量測定

以 50ml 的燒杯裝滿待測樣土，倒入 250ml 的蒸餾水，依體積比 1:5 的比例充分搖勻約一分鐘，靜置 24hr 等樣土沉澱。取上清液於待測瓶中，加入各項試劑藥粉並充分混勻，待反應完成後利用比色卡進行比對，判定該樣土的酸鹼值及氮磷鉀含量等級，依顏色變化分為 1~5 個等級，等級數字越大代表土壤含該養分的量越大。

## (4)土質密度

取土塊以電子秤稱其重量，之後利用排水法進行土塊體積測定，將土塊的重量除以土塊體積，所得即為土塊密度。用以評估該區土塊的緻密程度。

## (5)表土植被比例

我們利用相機將每個樣區的表土植被覆蓋情形記錄下來，之後利用 Image J 軟體進行分析，將相片中特定的顏色範圍選取，計算框架中綠色區塊與淺褐色區塊所佔的比例，加總後即為框架中植被覆蓋的比例。



圖四、以 Image J 軟體分析樣區框架中綠色(植被)及淺褐色(落葉)區域所佔的比例，加總即為植被覆蓋率。

## (6)土壤顏色及性質

將挖掘出各樣區不同深度之樣土帶回實驗室後，利用解剖顯微鏡觀察並記錄土壤顏色。

## (7)土壤因子檢定分析

45 種土樣的 pH 值、濕度、含水量及密度三重覆測量，並以 SPSS 軟體進行 ANOVA 多變異數分析及分配次數作圖，說明土質的差異性是否有顯著不同及樣本分配情形說明樣本代表性。

## (三)影響八德地區蚯蚓分布的變因相關分析

為探討各項環境變因對蚯蚓分布的影響，我們綜合調查蚯蚓的種類及數

量、發現蚯蚓的深度，以及土質的酸鹼值、濕度、含水量、密度、植被覆蓋率、土壤中氮、磷、鉀含量等級等性質，計算各種土壤因子與蚯蚓數量間的相關決定係數( $R^2$ )，探討土壤因子與蚯蚓之間相關程度。另外，針對樣本數大於 30 隻以上的蚯蚓，進行單一種類蚯蚓與各種土壤因子的相關性分析。

#### (四)土壤單變因對蚯蚓的偏好選擇

根據相關性分析結果，選擇 pH 值與濕度兩種土壤變因探討對蚯蚓的分布影響。實驗材料為普吉蚯蚓農場培養之太平二號(掘穴環爪蚓和尤金真蚓)及野外採集到健康成熟的參狀遠環蚓和黃頸捲蚓，記錄不同種類蚯蚓對於酸鹼值或土壤濕度的選擇結果，以了解各種蚯蚓對於 pH 值與濕度的偏好。

##### 1.探討不同種類的蚯蚓對不同土壤酸鹼值及濕度的偏好選擇

我們將長 28cm\*寬 36cm\*深 10cm 的塑膠盆分為四個等分的區塊，相同酸鹼值或濕度的培養土填入對角線區塊，並將 10 隻蚯蚓放在盆中央後用黑布遮蓋，記錄各區塊蚯蚓數量。因此蚯蚓不論往哪種方向移動，都須對兩種土壤的環境進行選擇，可避免蚯蚓因方位偏好而影響實驗結果。

土壤酸鹼值變因選取三種 pH 值：6、6.7 及 7.4(八德區土質調查酸鹼值結果最低為 5.9，最高為 7.3)，濕度變因為 50%、70%及 100%。原烘乾後的培養土 pH 值為 7.4，濕度為 50%，我們利用蘋果酸(malic acid)調整酸鹼度，以純水調整濕度。每盆有兩種不同酸鹼度或濕度的土壤，因此酸鹼度選擇實驗中包含 pH6 v.s.6.7、pH6.7 v.s.7.4、pH6 v.s.7.4 三種(濕度皆為 100%)；濕度選擇實驗中有 50% v.s.70%、70 v.s.100%、50% v.s.100%三種(pH 值皆為 7.4)，以上皆進行三重覆，並黑布遮蓋四小時後，計算不同區塊內的蚯蚓數量。

最後採計分方式統計量化蚯蚓偏好性，蚯蚓選取的土壤得 2 分，未選取得 0 分，若選擇於兩土之間休息，則兩土皆各得 1 分。



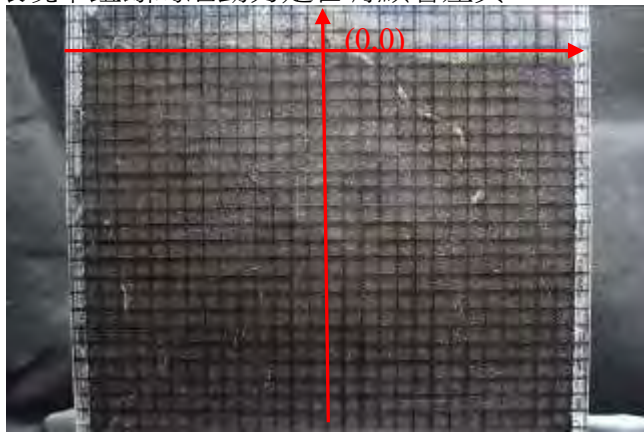
圖五、不同種類蚯蚓對不同土壤濕度偏好探討實驗示意圖，將相同濕度土壤放在對角，並將蚯蚓置於中央，蚯蚓往任一方向走都會面臨兩種不同濕度的選擇。

#### (五)探討蚯蚓在不同濕度、酸鹼值環境下的活動力(有光照影響)

在前述選擇實驗中，因為用黑布蓋住而無法觀察到蚯蚓的活動情形，而我們想探究不同種蚯蚓在不同濕度、酸鹼值下的活動情形，因此我們設計了以兩片繪有座標方格(單位方格 1 cm \*1 cm)的壓克力板，夾取長 30 cm\*深 25 cm\*厚 0.5 cm，濕度環境為 50%或 100%(pH 值 7.4)；或是酸鹼值環境為 6、7.4(濕度 100%)的培養土，並以木板藉其本身重量將土壤表面夯平。



我們將土表水平線的中點定義為原點(0, 0)，每次實驗把一隻蚯蚓(包括太平二號掘穴環爪蚓、太平二號尤金真蚓、野生參狀遠環蚓、黃頸捲蚓)置於原點，之後每 30 秒記錄一次蚯蚓頭部前端的座標點，直至達到休息狀態為止(約 15 分鐘)。每種環境皆利用 10 隻蚯蚓進行實驗，並記錄 10 隻蚯蚓平均在 15 分鐘內離原點最遠的水平距離記為**平均最寬**；離原點最遠的垂直距離記為**平均最深**；而在 15 分鐘內移動的平均路徑總和記為**平均位移**。位移計算方式為  $\Sigma [(X_{n+1}-X_n)^2+(Y_{n+1}-Y_n)^2]^{0.5}$ 。並將各種蚯蚓在不同溼度(50%、100%)及不同酸鹼值(pH6、pH7.4)環境下的活動結果進行雙尾 t-test 檢定，藉此比較不同環境下蚯蚓的活動力是否有顯著差異。



圖六、蚯蚓活動力觀察實驗裝置，每格單位為 1cm

## 伍、研究結果

### 一、蚯蚓與土壤相關文獻資料探討

#### (一)蚯蚓文獻探討

##### 1.蚯蚓分類資料

蚯蚓屬於動物界(Animalia)、環節動物門(Annelida)、寡毛綱(Oligochaeta)，下面分為帶絲蚓目(Lumbriculida)、顫蚓目(Tubificida)、單向蚓目(Haplotaxida)共三個目。根據台灣蚯蚓資料庫 2007 年的資料顯示，台灣目前的蚯蚓共有 7 個科 18 個屬 108 個種，其中包含 71 個特有種。其中巨蚓科(Megascolecidae)90 種最多(賴、陳，2018)。

##### 2.蚯蚓生活型態

蚯蚓主要會透過鑽地行為以及排泄物兩種方式來影響土壤，因此蚯蚓對自然環境常常可以產生許多直接或間接的影響。蚯蚓可藉由鑽地過程攝食土壤，並且同時加速枯枝落葉的分解並排出帶有共生菌的蚓糞，同時也可將土壤中的礦物質和有機質在腸道中混合，增加礦物質的可利用性的同時也可以輔助土壤的形成(Lavelle, 1988)。而蚯蚓的鑽地行為可以將表層含有有機物豐富的土壤與底層有機物含量較少的土壤加以混和，其搬動量隨蚯蚓的數量及土質可達 2-250 噸/年，使翻到表層的土達 0.1-5 cm 厚，這樣也可增加土壤的透氣性，使土壤中的空氣含量增加 20%。同時使土壤毛細

作用增加，提高對降雨的吸收與保持。

### 3. 蚯蚓適合生活的環境

蚯蚓一般適應的土壤或有機質狀況為潮濕、陰涼、軟硬適中。最適合的溫度大約是 20°C。溫度超過 3°C 會導致蚯蚓停止生長，溫度若低於 10°C 會使蚯蚓活動遲緩，低於 5°C 時會進入休眠狀態並萎縮。適應環境濕度則在 20%~80%，最佳濕度大約在 70%。蚯蚓大多喜歡待在通氣良好的中性土壤，容忍範圍在 pH6-8 間(謝宜敏，民 87)。棲息深度約為 10-20 cm，夜晚才會到地面上活動。

## (二) 土壤文獻探討

土壤是一個包含礦物質、有機物、水和空氣的混合物。適合生物生存的土壤必須在水分、空氣、固體粒子間保持適當的比例，而這又會受到土壤酸鹼值、濕度、深度、質地、構造、通氣、顏色等影響。而土壤中的營養物質也會直接或間接的影響生物的生長，其中包括氮、磷、鉀、硫、鈣、鎂等巨量元素不同物理及化學因素的的影響，土壤內會產生各種化育作用包括變質作用(transformation)、位移作用(translocation)、增添作用(addition)、流失作用(loss)，這些作用會直接影響土壤內部性質的形成與變化(Buol et al., 1997; Brady and Weil, 2008)，土壤化育作用可能會使土壤朝向多層位的發展途徑，因此同一區塊的土壤可能會因為不同的化育作用導致在不同的深度產生不同的物理及化學環境。

## 二、八德區野外環境調查結果

### (一) 採集蚯蚓調查

#### 1. 蚯蚓種類調查

我們將挖掘到的蚯蚓透過蚯蚓圖鑑進行分類，並計算數量，在挖掘過程中會因蚯蚓挖斷不易辨識，因此將其紀錄為未知物種。結果顯示如下表一。

#### 2 蚯蚓種類與數量分析

##### (1) 採集蚯蚓總數分析

挖掘的五個地點，我們統計蚯蚓種類與總數整理如圖七，發現出現頻率最高的蚯蚓種類前三名分別為黃頸捲蚓(47.1%)、參狀遠環蚓(19.9%)及加州腔環蚓(10.3%)，其樣本數皆超過 30。



圖七、採集蚯蚓總數調查。(長條圖顯示該種蚯蚓總數量，括號內數字為所占比例)

種類名稱	照片	特徵描述
參狀遠環蚓		體表虹彩結構色不明顯，腹面體色較淺，常可見體腔內有許多白色細碎顆粒。
皮質遠環蚓		背面體色深褐且經常偏綠，剛毛環明顯凸起且顏色稍淺，體表因此具纖細淺色橫紋感
加州腔環蚓		背面體色紅褐或深褐，均勻無橫紋或花紋，尾部經常偏土黃，腹面體色較淺。
黃頸捲蚓		背血管邊緣模糊，彎曲且分叉，口前葉極尖細且長，於環帶前具有明顯的白色蓋腺三對，幼體亦可藉此輕易辨識。
掘穴環爪蚓		背面體色可能呈粉紅、深紅、紅紫或藍紫；體表虹彩結構強烈，個體上經常僅有接近尾部的背血管較為可見。
福爾摩沙遠環蚓		背面體色暗褐或深灰均於無橫紋或花紋，體表虹彩結構色強烈
壯偉遠環蚓		本種常被孢子蟲寄生，因此體表常可見白色或粉紅色顆粒。

表一、大湍地區挖掘到的蚯蚓種類及特徵

## (2)採集蚯蚓的生物多樣性指數調查

將各種地點採集到的蚯蚓進行辛普森指數( $\lambda$ )及物種均勻度( $J'$ )分析如表(二)，可觀察到成中中庭和圍牆兩地的 $\lambda$ 值和 $J'$ 值一致偏高，可見該地蚯蚓種數分布均勻，土壤適合發展蚯蚓生態。而大湍公園雖然蚯蚓數量最多，但多樣性指數偏低，推測和黃頸捲蚓的外來種入侵破壞蚯蚓生態有關。此外，學校中庭活動量大，而圍牆邊和荒廢地都是人類鮮少活動區域，大湍公園在該區屬自然環境，人為因素更少，從蚯蚓總量可觀察到隨人為活動越少的環境，蚯蚓分布越多，可見地表活動的震動極可能影響蚯蚓生存。

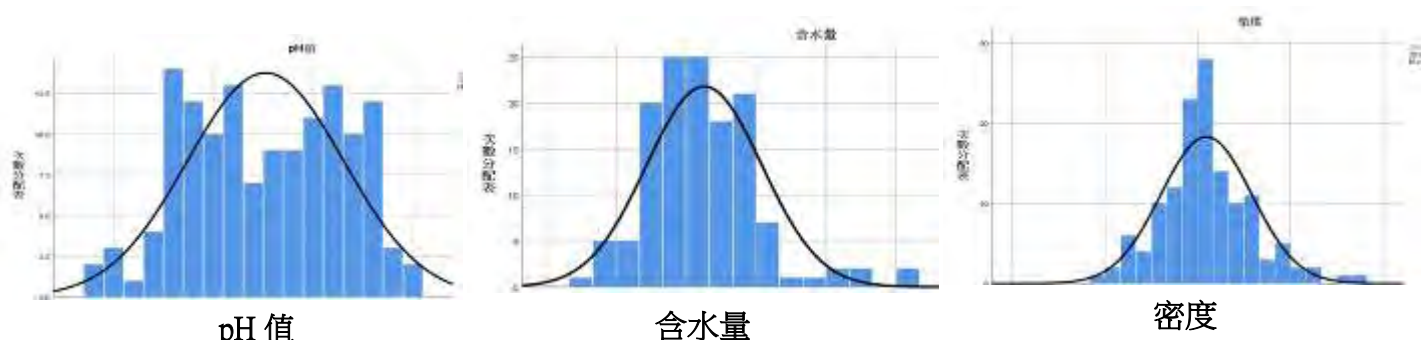
物種名稱	學名	○ 中中庭	○ 中圍牆	○ 小菜園	○ 小花圃	大湍公園
		(活動多)	(土表活動較少)			(自然環境)
參狀遠環蚓	<i>Amyntas aspergillum</i>	20	38	1		
皮質遠環蚓	<i>Amyntas corticis</i>	21	9			
加州腔環蚓	<i>Metaphire schmaridae</i>		29	3		
黃頸捲蚓	<i>Pontoscolex corethrurus</i>			47		109
掘穴環爪蚓	<i>Perionyx excavatus</i>			12		
土後腔環蚓	<i>Metaphire posthuma</i>				25	
福爾摩沙遠環蚓	<i>Metaphire formosae</i>				5	
壯偉遠環蚓	<i>Amyntas robustus</i>					11
未知		2	9	3	2	0
總數		41	85	66	32	120
辛普森指數( $\lambda$ )		0.449	0.564	0.403	0.277	0.166
物種均勻度( $J'$ )		0.999	0.83	0.463	0.65	0.442

表二、採集地點的蚯蚓物種多樣性分析

## (二)採集地區的土質分析調查

### 1.採集土樣的代表性

我們將五個地點，各地點三樣區，每一區再區分成三種深度，總計 45 個土樣測量 pH 值、濕度、含水量、密度、沙土比例、壤土比例、黏土比例、及氮、磷、鉀肥，其結果顯示於附錄一。我們發現各項因子都有極多數值，且多項因子都有所不同。而其中這些土樣 pH 值、含水量、濕度及密度的次數分配如圖(八)，結果皆呈現極端數值少，中間範圍數值高的常態分佈，可見土壤採樣具有代表性。



圖八、採集 45 個樣土各項土壤因子次數分配圖



## 2. 土壤變異數分析

透過 ANOVA 分析 45 個土樣三次量測各種土壤因子，結果如表三。顯示不同地點、不同深度甚至同地點的不同樣區，土質都有差異，故我們可將這些土樣各自視為獨一無二的土樣，同一樣區土壤依深度分成淺層(0-10 cm)、中層(11-20 cm)、深層(21-30 cm)來討論，希望可以從更微觀的角度探討影響蚯蚓分布的可能因素。

		平方和	自由度	均方	F	顯著性
pH 值	群組間	20.120	44	0.457	97.986	*.000
	群組內	0.42	90	0.005		
	總計	20.54	134			
含水量	群組間	0.097	44	0.002	1.513	*0.049529
	群組內	0.131	90	0.001		
	總計	0.227	134			
密度	群組間	2.736	44	0.062	1.046	0.419
	群組內	5.348	90	0.059		
	總計	8.084	134			

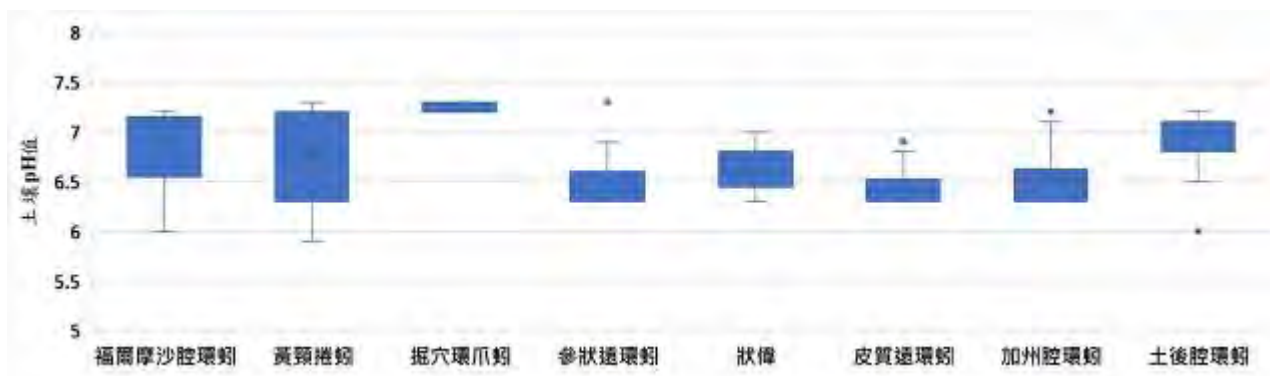
表三、 45土樣的四種土壤因子多變異分析。(\*代表達顯著差異)

## 三、影響蚯蚓分布的變因分析

### (一) 土壤 pH 值對蚯蚓分布的影響

#### 1. 研究採集蚯蚓在不同 pH 值環境下的分布情形

將各種採集得到的蚯蚓搭配土壤酸鹼值資料繪製盒鬚圖如圖(九)，該區採集的黃頸捲蚓從 pH 值 5.9-7.3 都可發現其蹤跡，代表其適應土壤酸鹼範圍較大，屬廣適應型。而掘穴環爪蚓分布於 pH7.2~7.3，推測可能性喜鹼性土壤。其他數量較多的蚯蚓，包括參狀遠環蚓、皮質遠環蚓、加州腔環蚓的分布都偏弱酸外，酸鹼忍受性也較黃頸捲蚓來得小。

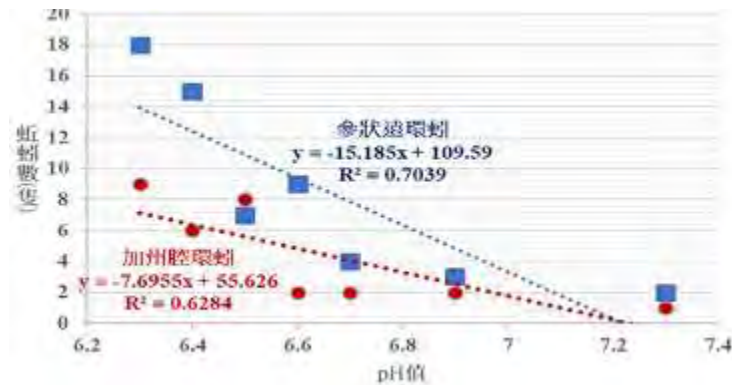


圖九、不同種類蚯蚓在不同 pH 值環境下的分布情形(盒鬚圖線段由上而下代表理論最大值、第三分位數、中位數、第一分位數、理論最小值，x 代表平均值，盒外點代表極端值)。

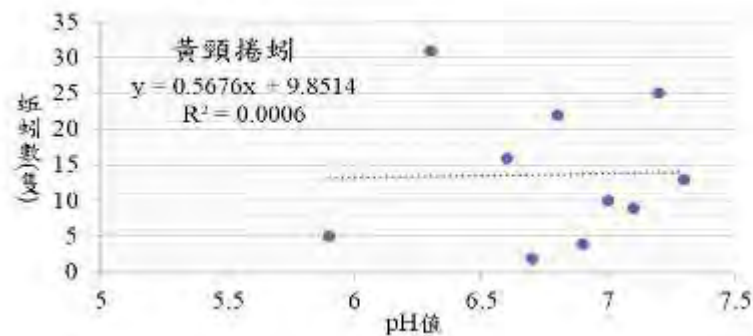


## 2. 探討同種蚯蚓分布與土壤 pH 值的關係

針對數量比例較高的參狀遠環蚓、加州腔環蚓和黃頸捲蚓個別種類與土壤 pH 值相關分析結果如圖(十)。參狀遠環蚓、加州腔環蚓在土壤 pH 值在 6.2~6.3 時分布數量較多，而土壤 pH 值在越接近 7 時分布數量越少，這兩種蚯蚓的分布數量與土壤 pH 值呈現高度負相關( $R^2 > 0.6$ )，說明這兩種蚯蚓對於土壤 pH 值相當敏感，且越酸性的環境分布數量有偏高的趨勢，這與野外採集資料相符圖(九)。黃頸捲蚓與土壤 pH 值的相關係數接近 0，顯示黃頸捲蚓的分布與 pH 值較無關，且酸鹼度容受力較強。



(A) pH 值與參狀遠環蚓(方形)與加州腔環蚓(圓形)的數量的相關分析



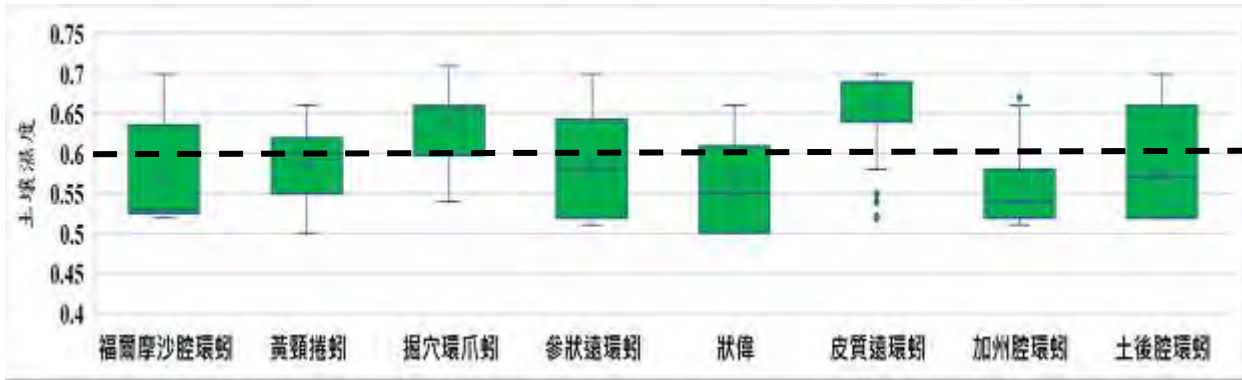
(B) pH 值與黃頸捲蚓的數量的相關分析圖

圖十、參狀、加州與黃頸三種蚯蚓與土壤酸鹼度的相關分析結果

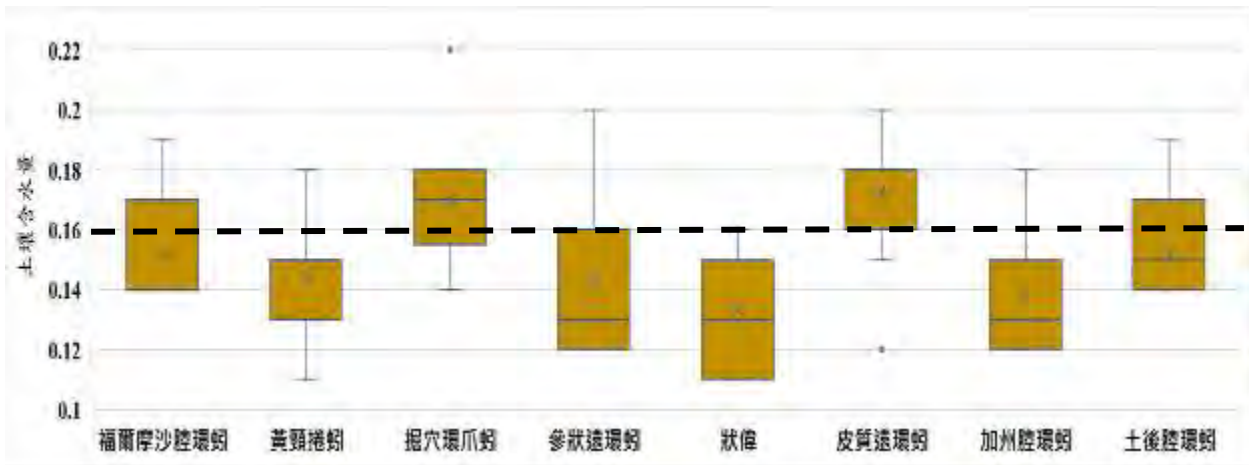
## (二) 濕度及土壤含水量對蚯蚓數量分布的影響

### 1. 探討蚯蚓在不同土壤濕度與含水量環境下的分布情形

從採集土壤資料顯示深度 30 公分內的濕度大約在 50%到 70%之間；土壤含水量則在 11.5%到 20%之間(附錄一)。我們繪製盒鬚圖以探討蚯蚓與分布土壤的濕度圖(十一)及含水量圖(十二)。以濕度 60%以及含水量 16%為界線，顯示掘穴環爪蚓與皮質遠環蚓的生存土壤，其中濕度或含水量數據的中位數及平均數皆高於界線，說明這兩種蚯蚓可能喜歡土壤溼度或含水量偏高的土壤環境，我們也針對掘穴環爪蚓進一步做濕度選擇實驗，看是否符合推論。



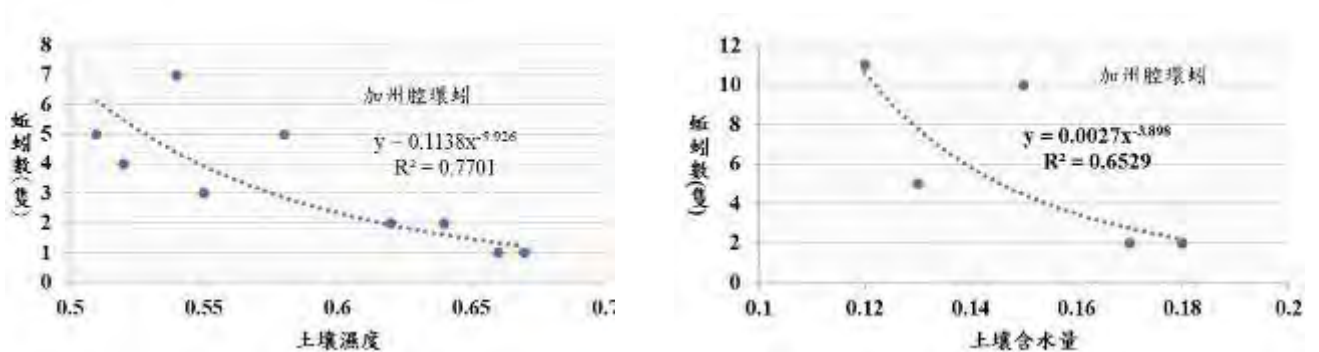
圖十一、不同種類蚯蚓在不同土壤濕度下的分布情形



圖十二、不同種類蚯蚓在不同土壤含水量下的分布情形

## 2. 探討加州腔環蚓分布與土壤濕度或含水量關係

根據圖(十一)和圖(十二)不難發現加州腔環蚓分布土壤的濕度或含水量明顯偏低，且其樣本數足夠(n=30)，故我們進行該種蚯蚓與濕度及含水量相關分析，結果如圖(十三)，顯示呈現高度負相關( $R^2 > 0.65$ )，說明加州腔環蚓對土壤水分感受較敏感，在濕度 50%~70%或含水量 10%~20%區間，濕度(含水量)越低，分布量越多。

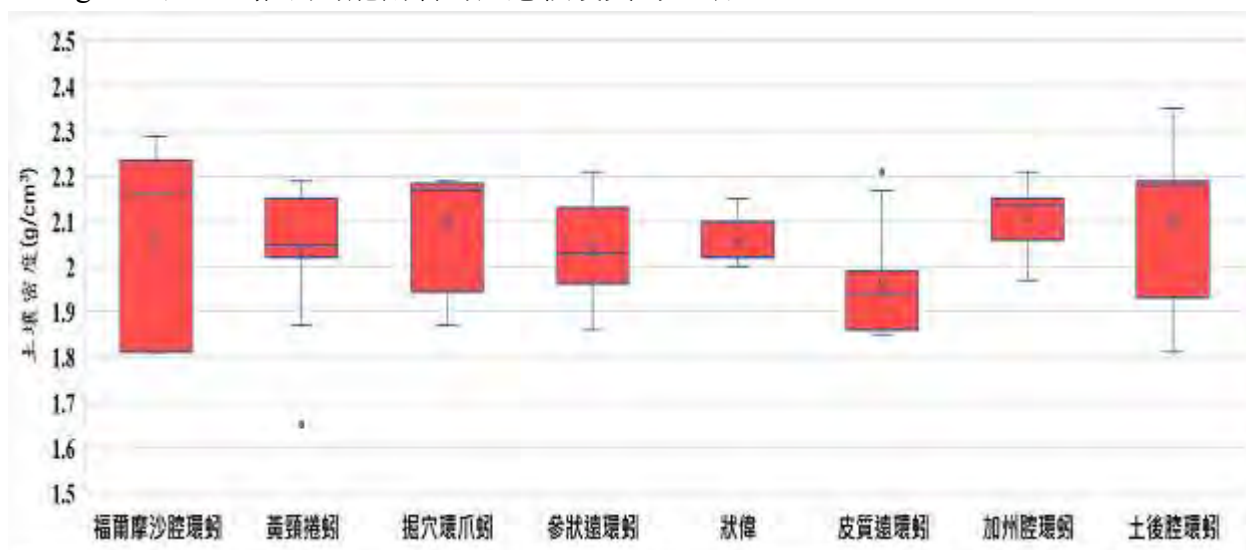


圖十三、加州腔環蚓分布與土壤濕度、含水量的相關分析結果

### (三)土壤密度對蚯蚓數量分布的影響

#### 1.探討蚯蚓在不同土壤濕度與含水量環境下的分布情形

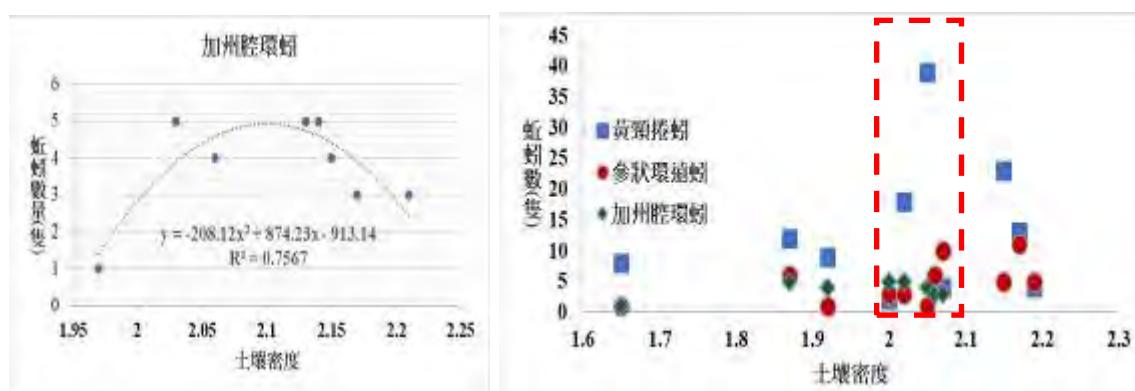
採集土樣密度大約分布在  $1.8-2.3\text{g/cm}^3$  之間，將蚯蚓種類與分布土壤密度繪成盒鬚圖圖(十四)，發現加州腔環蚓與壯偉遠環蚓分布範圍較侷限在密度  $2\text{g/cm}^3$  以上，推測可能兩者可適應較硬質的土壤。



圖十四、不同種類蚯蚓在土壤密度下的分布情形

#### 2.探討單一類型的蚯蚓分布與土壤密度的關係

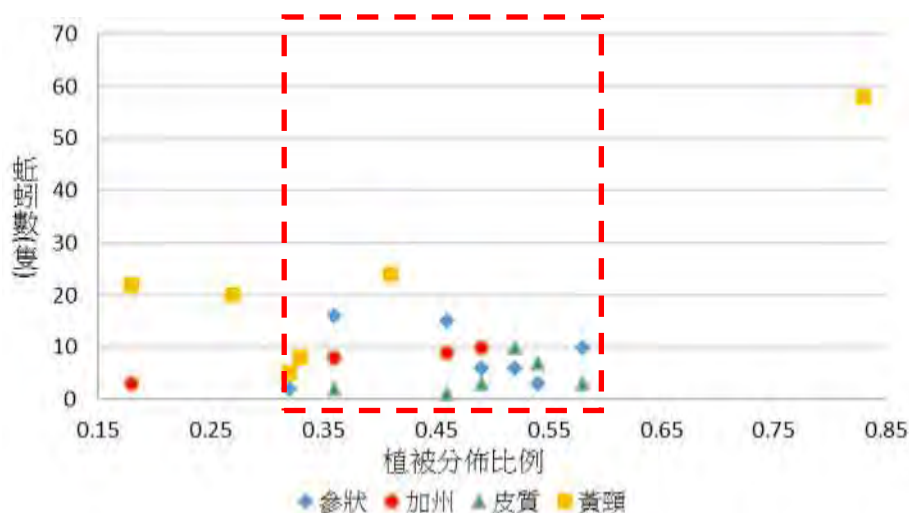
針對樣本數足量的三種蚯蚓數量與分布土壤密度做相關分析及散布圖如圖(十五)，我們得知加州腔環蚓與密度有高度相關，可見加州腔環蚓對土壤密度感受較有集中趨勢，適合生存於密度  $2.1\text{g/cm}^3$  左右。另外兩種蚯蚓雖然與密度相關性偏低( $R^2 < 0.3$ ，資料未呈現)，但在散佈圖也可看到多數蚯蚓集中於密度  $2\sim 2.1\text{g/cm}^3$  區間，可見蚯蚓對土壤密度偏好雖不明顯，但對蚯蚓分布仍有影響。



圖十五、單一類型蚯蚓數量與土壤密度相關分析圖與分布圖

#### (四)表土植被比例對於蚯蚓數量分布的影響

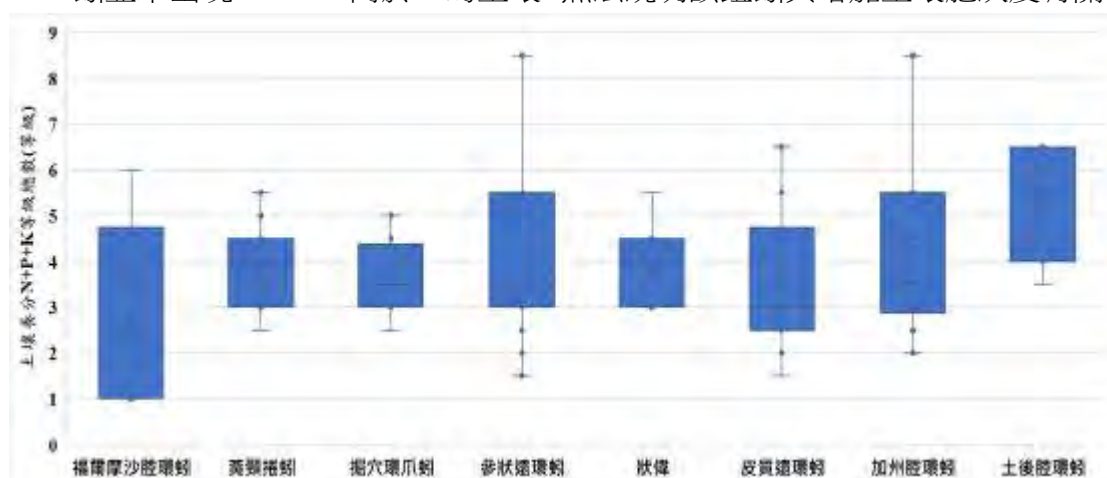
經由 Image J 計算不同樣區的表土植被覆蓋率後，與不同蚯蚓的分布情形進行相關分析，我們並沒有發現蚯蚓分佈數量並不會隨著植被覆蓋率的增加而增加。但我們發現在我們發現四種主要的蚯蚓當中，除了廣適應性的黃頸捲蚓之外，另外三種蚯蚓有極高的比例分布在植被覆蓋率 30%~60%之間。而黃頸捲蚓在植被覆蓋率 15%~85%之間的數量都比另外三種蚯蚓來得多，其中在植被覆蓋率 82%時，黃頸捲蚓分佈數量最大。



圖十六、不同種蚯蚓與地表植被比例的分佈關係

#### (五)土壤中養分(氮質、磷質與鉀質)量對於蚯蚓數量分布的影響

土壤內的養份對生產者極為重要，蚯蚓也對土壤肥沃度有一定提升能力，本研究土樣氮含量等級、磷含量等級、鉀含量等級的總和(簡稱 N+P+K 總等級數)分布 2~8.5 範圍，顯示各土樣養分含量差異極大。我們將 N+P+K 總等級數，搭配分布蚯蚓種類繪成盒鬚圖如圖(十七)，發現大多種類蚯蚓分布於等級總和 2~4 之間，其中土後腔環蚓的分布土壤養分雖偏高，但該種蚯蚓並未出現 N+P+K 高於 7 的土壤，無法說明該蚯蚓與增加土壤肥沃度有關。



圖十七、各種蚯蚓與土壤氮+磷+鉀的總等級分布關係圖



為討論蚯蚓與土壤養分的關係，我們整理表格如表(四)，發現中層土壤的蚯蚓數量最多，但養分含量並未有特別大量，反而是淺層平均養分含量高於其他，推測養分可能和土表生物腐植質及風化程度有比較大的關係。另外五個樣區的蚯蚓量和養分含量也並沒有明顯相關性，故結果表明蚯蚓數量與土壤肥沃度並未有高度相關性。

	全部 淺層	全部 中層	全部 深層	O 中 中庭	O 中圍 牆	大 O 國小	大 O 國小	大滿 公園
蚯蚓數(隻)	80	165	46	41	85	66	32	120
N+P+K 總等級平均數	4.5	4.0	3.0	3.7	4.1	3.5	4.0	3.8
N+P+K 總等級標準差	±1.2	±1.8	±1.0	±1.7	±1.9	±0.9	±1.9	±1.0

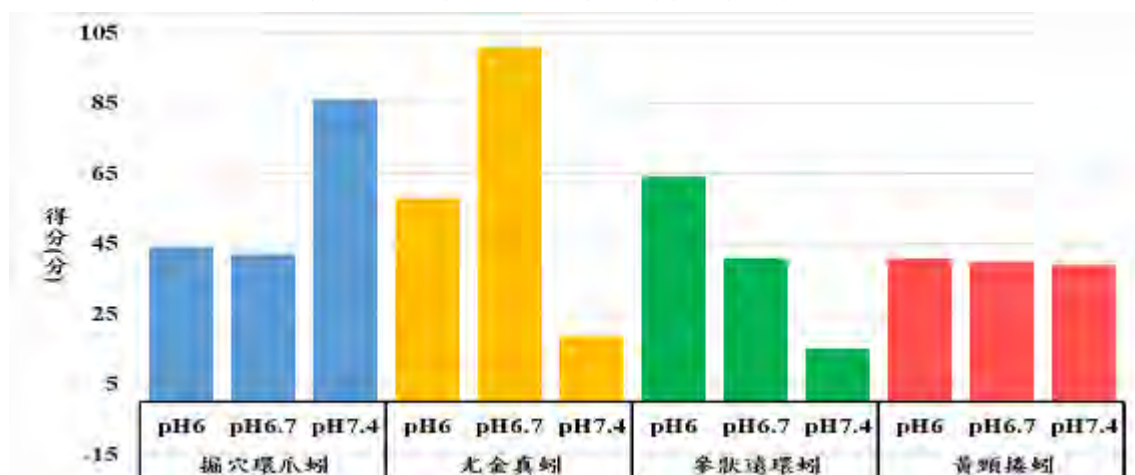
表四、各樣土中蚯蚓數量與 N+P+K 總等級分析

#### 四、土壤單變因對蚯蚓的偏好選擇(有光照影響)

我們野外調查中發現大滿公園出現外來種蚯蚓問題，所以我們想觀察黃頸捲蚓在實驗室中的習性選擇行為，同時我們也採用野外調查頻率出現高的參狀遠環蚓，以及兩種培養室蚯蚓：太平二號的掘穴環爪蚓和尤金真蚓一起比較。此外，我們經由野外調查的土壤酸鹼度及濕度範圍數據，以 pH=7.4 的培養土為基準，設計六種土壤：pH=6、6.7 及 7.4(濕度皆 100%)，以及濕度 50%、70%和 100%(pH 值皆 7.4)進行選擇測試。

##### (一)探討不同種類的蚯蚓對不同土壤酸鹼值的偏好選擇

利用選擇實驗測試蚯蚓對三種酸鹼值土壤(pH 值 6、6.7 及 7.4)得分情形如圖(十八)。1.掘穴環爪蚓：在 pH 值 6 與 6.7 之間的選擇幾乎相同，但對於 pH 值 7.4 的環境選擇性較高，推測掘穴環爪蚓較偏好偏弱鹼性的環境。2. 尤金真蚓：對 pH 值 7.4 的環境較低，對 pH 值 6.7 環境較偏好。3.參狀遠環蚓：隨著 pH 值下降，對環境偏好越明顯，屬於喜歡弱酸性環境的蚯蚓。4. 黃頸捲蚓：在三種環境下的選擇差異不大，對弱酸、中性、弱鹼的偏好皆差異不大。以上結果都與野外調查的相關分析結果相符。

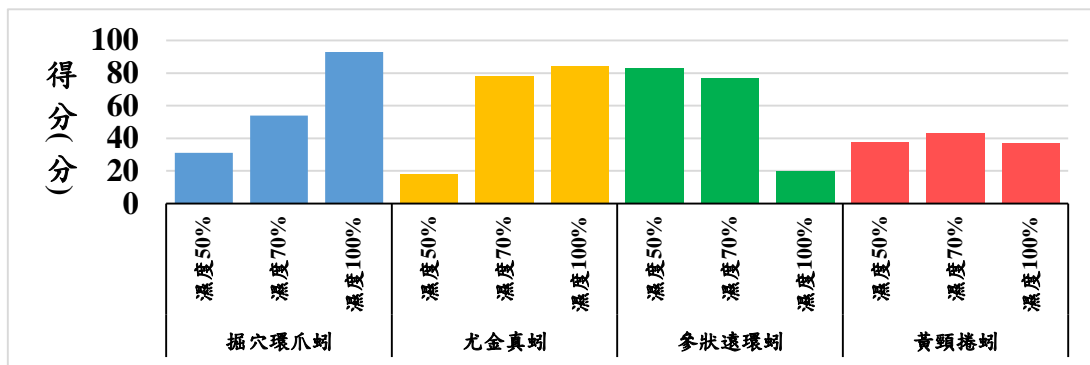


圖十八、四種不同蚯蚓在 pH 值 6、6.7、7 的環境下進行偏好選擇。



## (二)探討不同種類的蚯蚓對不同土壤濕度的偏好選擇

利用不同濕度土壤供蚯蚓偏好選擇，得分情形如圖(十九)所示。1.掘穴環爪蚓：顯示較喜歡 100%濕度土壤，濕度越低喜好程度越低。2.尤金真蚓：偏好 70%及 100%較高濕度的環境。3.參狀遠環蚓：比較偏好低濕度的環境，但在 50%與 70%之間的選擇則看不出差異。4.黃頸捲蚓：對濕度的選擇則沒有明顯偏好，對於 50%、70%、100%濕度的土壤呈現出相同的選擇偏好。這些結果都與野外調查分析結果相符。



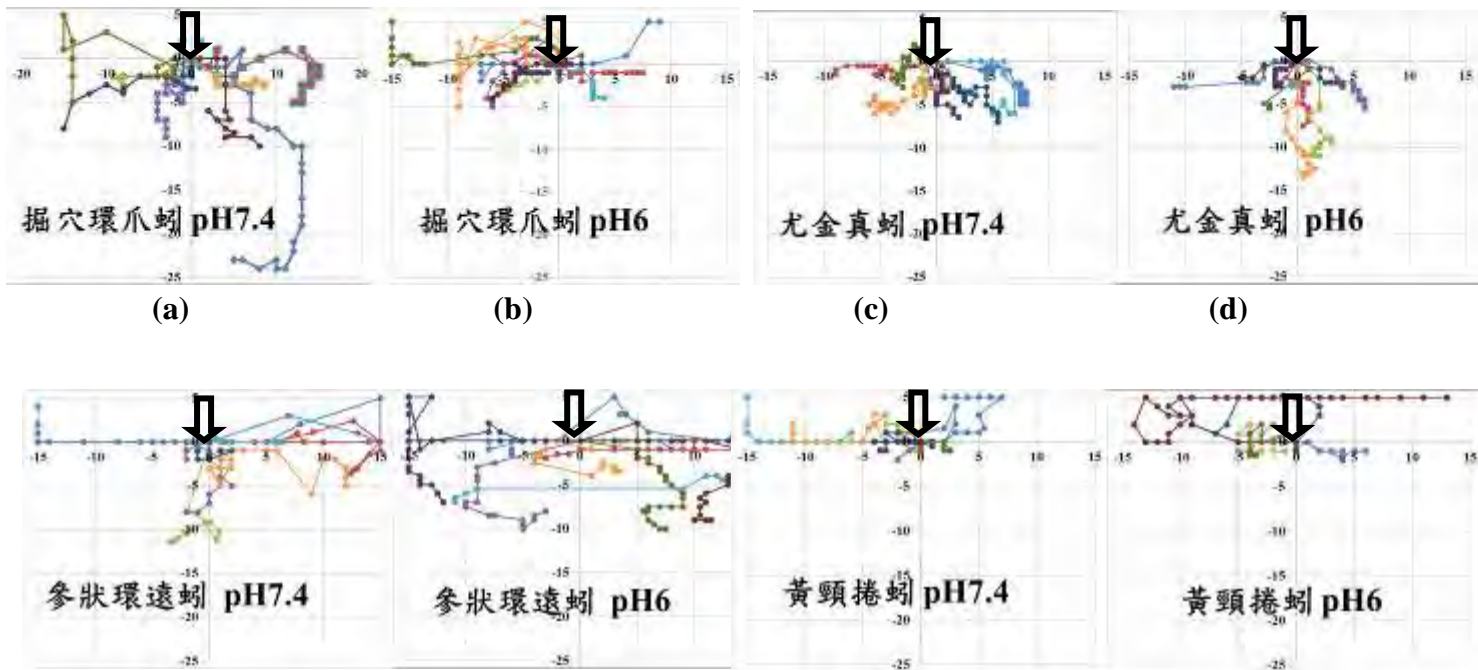
圖十九、四種不同蚯蚓在濕度 50%、70%、100%的環境下進行偏好選擇。

## 五、土壤單變因對蚯蚓活動路徑模式的影響(有光照影響)

我們想知道這四種蚯蚓於不同土壤的酸鹼度或濕度下，其移動路徑及鑽土行為模式是否有甚麼差異，因此我們設計四種土壤：pH=6、7.4(濕度皆 100%)，及濕度 50%、100%(pH 值皆 7.4)，搭配座標方格背景，紀錄移動軌跡。同時我們也採用四種量化數據探討活動路徑：最深深度的平均、最寬寬度的平均、平均移動長度以及土上探索路徑比例。

### (一)探討不同種類的蚯蚓對不同土壤酸鹼值的活動路徑模式

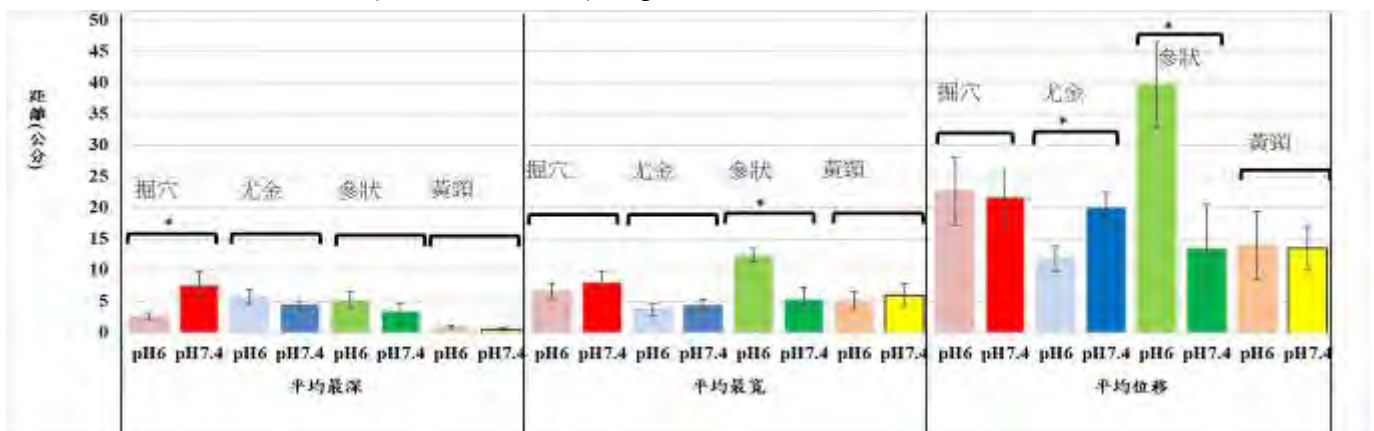
四種蚯蚓在 pH6 及 7.4 的移動路徑如圖(二十)，且利用雙尾 t 檢定測定各種蚯蚓不同酸鹼度下，在平均最深、平均最寬及平均路徑長是否有顯著差異，結果如圖(二十一)及表(五)。搭配選擇測試結果，我們歸納幾項結果：1.掘穴環爪蚓：在偏好的微鹼性土壤，鑽土路徑水平方向和垂直方向都有發展，其中和酸性土壤相比，地面上留置比例減少，且活動垂直深度有明顯增加，說明掘穴在偏好的微鹼土壤，有垂直方向趨地模式。2.尤金真蚓：在不同酸鹼度土壤上，留置土上的比例比其他種類還低，且鑽土範圍較淺層，活動力及土中探索程度偏低。3.參狀遠環蚓：發現他鑽土前土上留置時間明顯比其他種類高，且土上移動寬度甚大(如圖二十 e 和 f)，說明參狀遠環蚓著重在鑽土前的探索行為。此外它偏好的酸性土壤，移動路徑長度明顯增加(達顯著水準)，土中活動力明顯高於其他種類，初步推測與該種蚯蚓的體型及長度較大有關。4.黃頸捲蚓：沒有偏好的 pH 值土壤，故在鹼性或酸性土壤下，深度及寬度皆無明顯差異，且活動能力極弱，似乎不喜歡培養土土質，鑽地行為甚弱。



圖二十、四種蚯蚓在 pH7.4 及 6 土壤中移動過程(每個點為每隔 30 秒紀錄蚯蚓頭部的位置。箭頭處為出發原點)

	pH 值選擇 偏好	平均最深(cm)		平均最寬(cm)		平均位移(cm)		土上留置比例(%)	
		pH7.4	pH6	pH7.4	pH6	pH7.4	pH6	pH7.4	pH6
掘穴	7.4	7.6±2.1	2.6±0.6	8.1±1.8	6.7±1.2	21.7±4.3	22.6±5.4	10%	58%
p 值		0.05*		0.632		0.730			
尤金	6.7	4.5±0.6	5.7±1.2	4.5±0.9	3.7±1	20±2.5	12±2	7%	12%
p 值		0.401		0.543		0.044*			
參狀	6	3.45±1.2	5.2±1.34	5.3±2	12.4±1.1	13.6±7	40±6.8	70%	63%
p 值		0.316		0.007*		0.358			
黃頸	6/6.7/7.4	0.6±0.2	0.9±0.2	6±1.8	5.2±1.4	13.5±3.5	13.9±5.4	89%	81%
p 值		0.350		0.729		0.945			

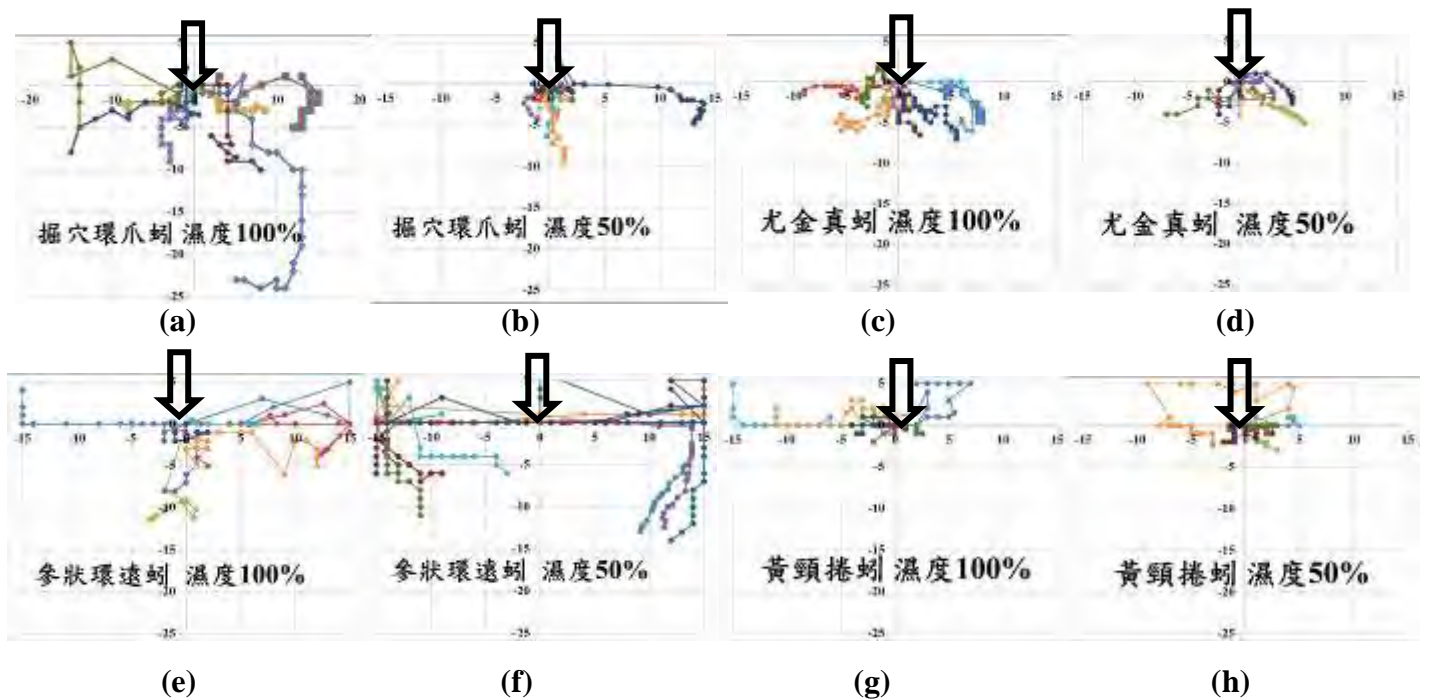
表五、四種蚯蚓在不同 pH 值土壤時，土上留置比例、進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較(雙尾 t-test 檢定)：\* $p < 0.05$



圖二十一、三種蚯蚓各自於 pH=7.4 及 6 環境下時，進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較圖(雙尾 t-test 檢定)：\* $p < 0.05$ 。

## (二)探討不同種類的蚯蚓對不同土壤濕度的活動路徑模式

四種蚯蚓在溼度 50%及 100%的移動路徑如圖(二十二)，且利用雙尾 t 檢定測定各種蚯蚓不同濕度下的這項指標是否有顯著差異，結果如圖(二十三)及表(六)。我們歸納幾項結果：1.掘穴環爪蚓：喜好高濕度土壤，故在濕度 100%土壤中，其活動範圍有明顯的最寬寬度和移動路徑，說明掘穴在適當溼度下，偏好水平方向的趨地行為。2.尤金真蚓：土中移動範圍侷限在鑽地處，但仍可觀察到喜愛的高濕度土壤，平均移動路徑長明顯增加，說明高濕度的土壤可增強土中探索力。3.參狀遠環蚓：喜愛低濕度土壤，且在濕度 50%土壤中，其活動路徑的平均最寬，平均最深和平均路徑長都顯著增加，說明參狀遠環蚓在低濕度土壤活動力強盛，且水平與垂直方向的探索模式皆具。4.黃頸捲蚓：沒有偏好的濕度土壤，故在不同濕度的土壤下，深度及寬度皆無明顯差異，且活動能力較侷限於表層，鑽地行為甚弱。

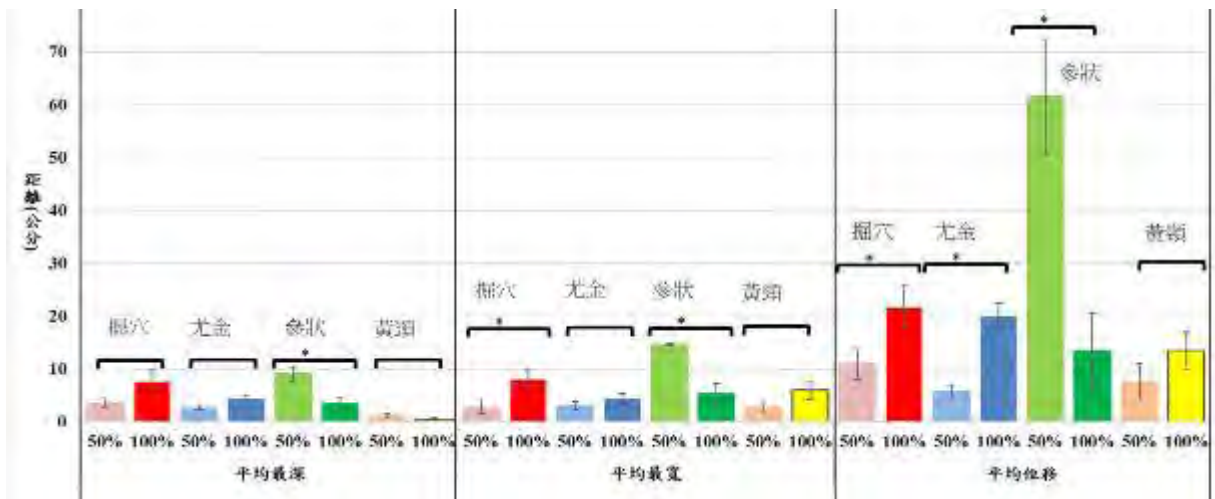


圖二十二、四種蚯蚓在濕度 100%及 50%土壤中移動過程(每個點為每隔 30 秒紀錄蚯蚓頭部的位置。箭頭處為出發原點)。

	濕度選擇偏好	平均最深(cm)		平均最寬(cm)		平均位移(cm)		土上留置比例(%)	
		100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%
掘穴	100%	7.6±2.1	3.6±0.8	8.1±1.8	2.8±1.2	21.7±4.3	11±2.9	10%	9%
<i>p</i> 值		0.192		0.009*		0.022*			
尤金	70%/100%	4.5±0.6	2.8±0.5	4.5±0.9	3.0±0.8	20±2.5	5.9±1.2	7%	21%
<i>p</i> 值		0.106		0.308		0.004*			
參狀	50%/70%	3.45±1.2	9.1±1.3	5.3±2	14.7±0.2	13.6±7	62±11	70%	78%
<i>p</i> 值		0.014*		0.001*		0.037*			
黃頸	50%/70%/100%	0.6±0.1	1.2±0.3	6±1.8	2.9±0.8	13.5±3.5	7.6±3.5	89%	82%
<i>p</i> 值		0.141		0.142		0.245			

表六、四種蚯蚓在不同濕度土壤時，土上留置比例、進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較(雙尾 t-test 檢定)：\**p*<0.05。





圖二十三、三種蚯蚓各自於濕度 50%及 100%環境下時，進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較圖(雙尾 t-test 檢定)：\* $p < 0.05$ 。

## 陸、討論

### 一、野外調查蚯蚓數量與種類

根據本實驗在五處地點各選三塊  $1\text{m}^2$  的樣區的實驗結果，八德地區校園內蚯蚓密度約有 11~40 隻蚯蚓/ $\text{m}^2$ 。而根據前人紀錄發現：台北市大安森林公園平均有 78 隻蚯蚓/ $\text{m}^2$ (陳, 2015)；而林口國中校園內的菜園、中庭、操場周圍平均分別有 73、29、31 隻蚯蚓/ $\text{m}^2$ (楊, 2017)。三地相較之下，八德地區的蚯蚓數量少了許多。若只觀察酸鹼值及濕度的比較，八德與林口兩地並沒有明顯差異，但我們也發現地表人為活動越高度，蚯蚓數量越少，各地蚯蚓總量不同，可能與土地開發程度以及土質條件相關，可再進一步探究原因。

此次實驗中，我們總共在八德地區發現有 8 種蚯蚓分布在此。但每個地點大約只有 2~4 種蚯蚓，因此計算出生物多樣性指數亦不高。此種狀況與林口國中相似，顯示校園環境中的蚯蚓種類缺乏多樣性的分布。這也可能與蚯蚓本身的遷徙能力受到限制，大多只能依靠人為的方式來影響蚯蚓的遷移有關(王、施, 2018)。

### 二、外來種黃頸捲蚓與與八德地區土壤環境的關係

我們在八德區的大 O 國小及大湳公園兩處發現有南美洲外來種黃頸捲蚓的蹤跡，該種類比例分別占約 71%及 90%，造成兩個地點物種均勻度偏低。由於黃頸捲蚓是廣泛分佈於熱帶地區的入侵種，可隨著植栽的轉移快速散播，其繁殖力高且適應力強 (Edwards and Bohlen 1995)，同樣在北美洲森林的外來種蚯蚓影響下，使得碳循環及氮循環效率受阻(Bohlen 等人 2004)，且黃頸捲蚓反而會造成土壤硬化與透水性下降，使土壤變得不適合植物與動物生存 (Chang 2008)。綜合以上及我們調查結果，八德地區的確面臨外來種蚯蚓的生態破壞。

### 三、影響蚯蚓分布的各項土壤變因

野外調查中，黃頸捲蚓、參狀遠環蚓和加州腔環蚓樣本數皆超過 30，選用其分析與土壤因子相關性較具意義。而透過 ANOVA 分析 45 個土樣土壤因子的結果顯示在不同地點、不同深度甚至同地點的不同樣區，土質都有明顯差異，故

我們可將這些不同深度和樣區的土樣視為各自獨立作分析。此外，各項土質因素包括 pH 值、含水量、濕度及密度的次數分配皆呈現常態分佈，也說明採集的土樣足夠具有代表性。

### (一) 土壤 pH 值對蚯蚓分布具有關聯性

加州腔環蚓、參狀遠環蚓及皮質遠環蚓(樣本數=26，結果未顯示)的分布與土壤 pH 值皆呈現高度負相關( $R^2>0.6$ )，意即這三種蚯蚓在弱酸性的環境有分布偏高的趨勢，有趣的是，參狀遠環蚓在後續進行酸鹼值偏好實驗時，也是表現偏好酸性土壤，同時在酸性土壤活動力明顯增加。雖然掘穴環爪蚓在野外採集樣本數少，但其培養品種同樣在 pH 值選擇實驗中也呈現出對弱鹼性環境的偏好，並增加其挖掘深度。因此我們從實驗結果可知 pH 值對蚯蚓分布的影響相當大。

但在黃頸捲蚓身上，不論在野外採集的結果上或是在 pH 值偏好選擇的實驗中，皆無明顯的偏好。在金門地區蚯蚓種類及分布的調查中，甚至可以在 pH 值 4 的土壤中發現黃頸捲蚓(Chen et al., 2012)。可見雖然黃頸捲蚓活動能力極差，但與一般野外的蚯蚓相比，其對於 pH 值的容忍範圍明顯來得廣，而調查指出黃頸捲蚓有三對發達鈣腺(calcigerous glands)，可中和土壤酸度，這可能也是它能夠快速適應土壤環境，成為強勢物種的原因。

我們知道土壤酸鹼值會影響到土壤的各種化學作用，甚至引發生物的生理反應，因此土壤酸鹼值與蚯蚓的生長繁殖與 pH 值有密切關係。如過高或過低，常出現不良反應，如脫水萎縮，體色變黑紫，感覺遲鈍，以至逃逸影響生產(羅煌木等，2009)。若 pH 值過低會影響蚯蚓胚胎發育(Chen et al. 2007)，整體而言，不適當的酸鹼值環境會降低蚯蚓在土壤中的生存率。

### (二) 土壤濕度、含水量對蚯蚓分布也具相當程度的影響

在濕度偏好選擇與蚯蚓活動力探討的實驗中，掘穴環爪蚓、尤金真蚓偏好高濕度土壤，野外調查也指出掘穴環爪蚓多分布超過濕度 60%的環境；參狀遠環蚓明顯偏好低濕度土壤，且濕度對鑽土路徑的寬度、深度、土上留置時間及活動能力都有明顯的影響，明白指出濕度的感受的確會影響鑽地行為模式。同時野外調查也看到加州腔環蚓呈現高度負相關( $R^2>0.65$ )。在美洲草原生態系，土壤的水分張力和蚯蚓夜間活動呈現負相關(Onrust 2019)，上述結果皆說明土壤濕度與含水量對蚯蚓分布相關不如酸鹼值影響來的大，但仍對蚯蚓分布有一定的影響力。可見濕度亦是影響蚯蚓分布的主要因素之一。

### (三) 土壤密度對蚯蚓分布的影響

根據我們的結果顯示，土壤密度除了與加州腔環蚓分布有較高的相關性( $R^2>0.75$ )之外，對大部分蚯蚓的分布並沒有明顯的相關性( $R^2<0.4$ )，然而我們還是可以從圖(十三)中發現黃頸捲蚓、參狀遠環蚓皆有集中於 2 ~ 2.1 g/cm<sup>3</sup> 的區間內。此一結果可能與我們挖掘過程中觀察到蚯蚓地道有關，我們發現較硬的土壤，蚯蚓通道容易被保留下來，即使在挖掘過程也不易被破壞。如



此蚯蚓在挖掘過程中留下的通道空間，可能可以增加土壤中的通氣性，若是過於鬆軟的土壤則通道不易成形；過於堅硬的土壤則不利蚯蚓鑽地道。但此一推論仍需要經由實驗驗證。

#### (四)表土植被物覆蓋率對與蚯蚓分布的影響

根據前人文獻指出發現蚯蚓的地方植生覆蓋率會較高，因為植物覆蓋率越高的地方，能提供蚯蚓較佳的棲息環境(林等，2004)。然而我們發現四種數量較多的蚯蚓當中，包含加州腔環蚓、皮質遠環蚓及參狀遠環蚓主要分布在植被覆蓋率30%~60%之間，而黃頸捲蚓則是從18%~82%的植被覆蓋率環境中都有分佈。我們認為植被覆蓋率高不一定對蚯蚓有絕對的幫助，因為受限於植被種類，有些植物可能會改變土壤的性質，或是釋放出不利土壤中生物生存的物质，導致蚯蚓的分布數量受到影響。然而植被覆蓋率低的環境相對能提供的食物較少，對蚯蚓的生存較為不利。

#### (五)土壤中氮+磷+鉀的總等級與蚯蚓分布的關係

土壤中大量蚯蚓不斷的繁殖與更替，腐爛的屍體可以使土壤中氮的總含量增加，有實驗證實如果每公頃有 300 萬條蚯蚓，那麼一公頃土壤可以自然增加 217 公斤的硝酸鹽肥料(任，1995)。不過根據表(四)的結果顯示，氮磷鉀總等級數與蚯蚓數量並沒有顯著相關。推測對蚯蚓而言，酸鹼值與濕度會更直接影響蚯蚓的分布，因為蚯蚓的皮膚上遍布許多感覺細胞，甚至皮膚更直接與氣體交換有關，因此土壤環境中的酸鹼值與濕度更會直接影響到蚯蚓對所處環境的感受。至於土壤中養分的多寡，只要不是過度貧瘠的情形，對蚯蚓的分布影響也不大。

四、在蚯蚓偏好選擇及活動力實驗當中，我們觀察到在不同的溼度及酸鹼值環境之下，蚯蚓會表現出明顯的差異。除此之外，不同種類的蚯蚓所偏好的環境也截然不同。但中三種蚯蚓表現出來的結果與我們在八德區校園環境中調查到蚯蚓的分布一致，代表酸鹼值及溼度確實會影響蚯蚓對土壤環境的選擇。而我們透過活動力實驗的觀察，也同時觀察到每種蚯蚓在進行鑽土前的活動模式有不一樣的地方，而且除了黃頸捲蚓之外，我們皆可在掘穴環爪蚓、尤金真蚓以及參狀遠環蚓身上觀察到活動力受濕度及酸鹼值的影響而有顯著改變。

#### 五、與林口國中調查的差異比較

最初進行文獻探討時，我們發現林口國中已經做了土質分析對蚯蚓分布影響的報告。但我們看完這篇報告後並沒有解決我們全部的疑惑，因此我們希望改良實驗方法後針對八德大湳地區進行土壤調查並從中分析影響蚯蚓分布的因素。下面將針對我們與林口國中實驗方法的差異做比較：

##### (一)土壤性質調查

土壤化育作用可能使土壤出現各種化育層次，因此同一區塊的土壤可

能會因為不同的化育作用導致在不同的深度產生不同的物理及化學環境。相較於林口國中在不同地點取 20 處求平均值做為該地點的酸鹼值代表。我們則是在每一個挖掘地點的不同深度分別進行 pH 值、濕度、含水量、氮磷鉀含量、土壤密度的檢測，以了解每一區塊的土壤的各項數值的差異。

### (二) 蚯蚓種類對環境的偏好

我們在挖掘的過程中，除了紀錄該地點發現的蚯蚓種類之外，同時也記錄了每隻蚯蚓被發現時所在的深度，配合土質調查結果，我們可以透過盒鬚圖更清楚的了解不同種類間的蚯蚓，是否對特定環境有偏好的現象。如此可以對影響蚯蚓分布的因素有更清楚的認識。

### (三) 挖掘深度

原本一開始挖掘的深度參考林口國中設定為 15 公分，但我們在最開始挖掘時便發現，許多蚯蚓分布的深度會超過 15 公分。因此為了能夠完整的將該樣區的蚯蚓找完，因此我們將挖掘的深度提高一倍，增加為 30 公分。結果在我們所有調查樣區中共挖出 312 隻蚯蚓，其中有 137 隻是分布在超過 15 公分深的土壤中，比例高達 43%。

### (四) 單變因對蚯蚓偏好選擇

為了確認不同種類蚯蚓是受機率影響或是受環境差異影響而呈現不同的分布結果。我們以八德地區的土壤環境(pH 值 5.9~7.3)為基準將實驗組分為 pH 值 6、6.7、7.4(濕度皆為 100%)三種環境，再分別讓四種不同的蚯蚓包括掘穴環爪蚓、尤金真蚓、參狀遠環蚓、黃頸捲蚓(每種 30 隻)各別做選擇。同時我們每次實驗只提供兩種環境，避免蚯蚓同時處於多種環境下會干擾選擇的結果。

### (五) 單變因對蚯蚓活動力的影響

我們想要了解不同變因下的環境對蚯蚓的活動力是否會受影響。所以設計壓克力板模型，以觀察蚯蚓的活動，然而為了觀察，在實驗過程中無法完全避光，但其結果和選擇實驗有同樣相似之處，因此讓我們可以更進一步確認酸鹼值與濕度對蚯蚓可能造成的影響。

六、野外採集實驗的過程中，為了要挑選校園內適合挖掘蚯蚓的地點，其實我們費了一番功夫，因為偌大的校園裡，其實能挖的地點不多幾乎都以水泥地為主，這就代表校園中對水土保持的能力其實非常不好，在未來氣候變遷，常常出現瞬間驟雨的情況下，更應該思考如何利用校園環境去進行水土保持。此外，我們在五處挖掘地點共十五個樣區的土壤中，挖出各式各樣不同的掩埋廢棄物，包括飲料罐、鋁箔包、塑膠袋、文具用品、甚至有廁所門板。也許這也是導致八德地區蚯蚓分布數量與種類較少的原因之一也讓我們深深感慨人類活動對於土壤環境的破壞有多嚴重。也希望有機會能夠透過不同的方式向大眾呼籲友善土地的重要性，畢竟土地是孕育一切生命的重要基礎，若不能夠好好愛護我們的土地，勢必最終還是會反饋到我們身上。

## 柒、結論

一、八德地區校園環境蚯蚓分布種類並不多，主要還是以常見的種類，例如加州腔環蚓、參狀遠環蚓、皮質遠環蚓為主。而目前外來種黃頸捲蚓的入侵只出現在其中一所校園中以及大湳公園中，未來如何避免進一步的擴散值得相關單位好好注意。

二、對於蚯蚓的分布，影響較大的土質因素主要還是酸鹼值、濕度和含水量；土壤密度也會有影響，但影響不大。而植被覆蓋率以及土壤中氮、磷、鉀的含量則對蚯蚓分布的影響較小。

三、酸鹼值及濕度會影響蚯蚓對土壤的選擇以及在土壤中的活動力，直接影響野外蚯蚓在不同土質裡的分布情形。但每種蚯蚓喜歡的酸鹼值與濕度並不相同。例如：掘穴環爪蚓喜歡弱鹼性的環境，而參狀遠環蚓及加州腔環蚓則偏好弱酸性的環境。黃頸捲蚓則對於酸鹼值及溼度並無明顯的偏好。

四、黃頸捲蚓對環境容忍範圍較大，但表現出來的活動力較其他蚯蚓差，儘管如此，相較於其他蚯蚓，黃頸捲蚓還是展現出能夠適應多樣化的環境的能力，進一步成為野外的優勢物種，但也因此容易導致生物多樣性降低。

### 五、未來展望

(一)擴大八德地區的蚯蚓調查，對校園內其他環境作更進一步探討，描繪更完整的蚯蚓分布情形，以了解八德地區整體的土壤環境與蚯蚓資訊。

(二)野外蚯蚓的人工養殖方式的探討，如果可以透過穩定的環境設定進行本土蚯蚓繁殖，未來也許可以透過野放來改善土壤環境。

(三)針對黃頸捲蚓的防治找出有效的方法，以防止黃頸捲蚓對本土種類蚯蚓的危害，避免使土壤中的生物多樣性持續減少。

## 捌、參考文獻

Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils, 14th ed. New Jersey: Person Prentice Hall.

Bohlen, P., Pelletier, D., Groffman, P. 等。生態系統 (2004) 7: 13

Buol, S. W., Hole, F. D., McCracken, R. J., & Southard, R. J. (1997). Soil genesis and classification 4th ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

Chang C.H., H.P. Shen., S.C. Chuang, and J.H. Chen, 2008. Earthworm taxonomic

- studies in Taiwan: a historical review and biodiversity. Oral presentation for “the International Workshop on Research and Status of Taiwan Species Diversity” August 15-16. 2008. Natural Museum of Natural Science, Taichung, Taiwan. Program. pp. 110-125 (in Chinese).
- Chen J.H., S.H. Yang and S.C. Chuang. 2007. Earthworm activities in the red soils of Taiwan. International Symposium on Soil Biodiversity and Ecology, Taipei, Taiwan. pp.384-389.
- Edwards,C.A. (ed.). 1998. Earthworm Ecology. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa
- Edwards,C .A., and N.Q. Arancon. 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic waste to produce vermicomposts and animal feed protein. Earthworm Ecology. P.345-438.
- Edwards C.A. and P.J. Bohlen. 1995. Biology and Ecology of Earthworms. Springer. pp. 440.
- Keyluck, C. J. 2005. Simpson diversity and the Shannon-Wiener index as special cases of a generalized entropy. *Oikos* 109: 203-207.
- Onrust, J, Wymenga, E, Piersma, T, Oloff, H. Earthworm activity and availability for meadow birds is restricted in intensively managed grasslands. *J Appl Ecol.* 2019; 00: 1– 10.
- 張仲民。1981。土壤化育與形態學，台北：國立編譯館。
- 賴奕德、陳俊宏。2018。台灣常見蚯蚓圖鑑。遠足文化。P15。
- 謝宜敏。民 87 年。蚯蚓的利用與養殖。五洲出版社。p198。
- 林俐玲、何國謙、林文英。2004。植物覆蓋與土壤性質對蚯蚓族群影響之探討。水土保持學報 36(4)：333-344
- 羅煌木、劉鴻恩、吳紘宇、趙子維、王新春、林家鋒。2009。重金屬與灰燼對蚯蚓分解有機廢棄物之研究。朝陽科技大學碩士論文。
- 王玉璽、施習德。2018。臺灣蚯蚓之分類與東亞蚯蚓地理之分布探討。中興大學博士論文。
- 張文亮。1992。蚯蚓活動改變表土入滲之研究。農業工程學報。38: 62-68。
- 陳俊宏、施習德。1996。福山植物園區蚯蚓種類與分布之研究。生物科學 39: 52-59。
- 張智涵、李其倫、沈慧萍、池文傑、楊尚燁、陳俊宏。2012。金門地區蚯蚓種類及分布。國家公園學報。22(3)：58-67
- 楊子萱。2017。土生土長-蚯蚓種類與土質分析。第 57 屆中小學科學展覽

附錄

表六、大成國中中庭土質分析結果

樣區一	pH 值	濕度	含水量	密度	沙土	壤土	黏土	N	P	K
淺層	6.4	70%	20%	1.99	83.9%	9.7%	6.5%	1	1	1.5
中層	6.5	62%	15%	1.88	67.7%	16.1%	16.1%	1.5	0.5	1
深層	6.5	64%	16%	1.86	80.6%	12.9%	6.5%	0.5	0.5	2
樣區二										
淺層	6.2	67%	18%	1.91	62.5%	30.0%	7.5%	3	0.5	3
中層	6.3	69%	18%	1.94	53.6%	28.6%	17.9%	1	0	1.5
深層	6.6	66%	16%	1.93	75.0%	12.5%	12.5%	1	0	0.5
樣區三										
淺層	6.4	70%	20%	1.85	43.5%	47.8%	8.7%	2.5	1.5	2.5
中層	6.9	67%	17%	1.99	59.3%	14.8%	25.9%	0.5	0.5	2
深層	6.9	64%	17%	1.92	76.4%	9.1%	14.5%	1.5	1	1

表七、大成國中圍牆土質分析結果

樣區一	pH 值	濕度	含水量	密度	沙土	壤土	黏土	N	P	K
淺層	6.8	64%	18%	2.17	82.4%	14.7%	2.9%	1	0.5	1
中層	6.6	54%	15%	2.14	81.6%	8.2%	10.2%	1	0.5	2
深層	6.6	55%	15%	2.21	81.3%	8.3%	10.4%	1	0.5	0.5
樣區二										
淺層	6.4	67%	17%	1.97	59.5%	31.0%	9.5%	1.5	1	2
中層	6.4	58%	12%	2.13	36.6%	58.5%	4.9%	1	0	2.5
深層	6.7	54%	12%	2.15	53.6%	32.1%	14.3%	2	0	1
樣區三										
淺層	6.4	68%	19%	2.11	63.2%	29.8%	7.0%	0.5	2.5	1
中層	6.3	51%	13%	2.03	62.5%	32.1%	5.4%	2.5	4	2
深層	6.3	52%	12%	2.06	60.3%	32.8%	6.9%	3	0.5	2

表八、大成國小荒廢菜園土質分析結果

樣區一	pH 值	濕度	含水量	密度	沙土	壤土	黏土	N	P	K
淺層	7.1	54%	14%	1.92	50.0%	36.8%	13.2%	2	1	1
中層	7.2	66%	17%	2.17	50.0%	37.5%	12.5%	2	1	0
深層	7.1	62%	15%	2.15	60.0%	22.9%	17.1%	1	1	0.5
樣區二										





















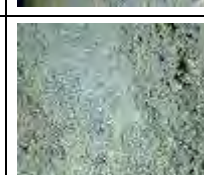


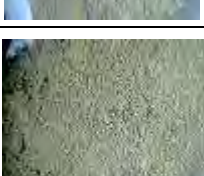








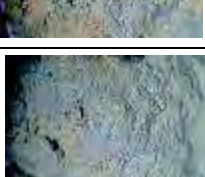









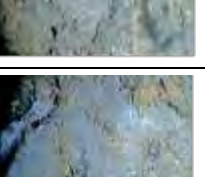
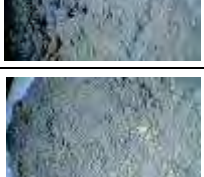



淺層	7.3	54%	14%	1.92	62.2%	27.0%	10.8%	1	2	2
中層	7.3	65%	18%	2.19	50.0%	38.9%	11.1%	2	1	1
深層	7.2	71%	22%	2.02	60.0%	31.4%	8.6%	1.5	1	0
樣區三										
淺層	7.2	58%	15%	1.87	36.4%	45.5%	18.2%	1.5	2	1
中層	7.3	65%	18%	1.65	45.7%	45.7%	8.6%	2	0.5	0.5
深層	7.4	71%	22%	2.27	65.8%	28.9%	5.3%	1	1	1

表九、大忠國小花園土質分析結果

樣區一	pH 值	濕度	含水量	密度	沙土	壤土	黏土	N	P	K
淺層	6.5	67%	18%	1.88	48.4%	32.3%	6.5%	3	1	1.5
中層	6.8	66%	17%	1.93	55.6%	37.0%	7.4%	2	2	2.5
深層	6	70%	19%	2.29	65.6%	18.8%	15.6%	1	0.5	2
樣區二										
淺層	6.8	50%	14%	2.01	43.3%	46.7%	10.0%	1	2	2
中層	7.2	52%	14%	2.16	54.8%	35.5%	9.7%	2	2	2
深層	7.1	52%	14%	2.35	78.9%	13.2%	7.9%	2	1	1
樣區三										
淺層	7.1	57%	15%	2.18	60.0%	31.4%	8.6%	0.5	1	1
中層	7.1	53%	14%	1.81	67.4%	21.7%	10.9%	1	0	0
深層	7.2	52%	14%	2.19	66.7%	23.8%	9.5%	0.5	1	0.5

表十、大滿公園土質分析結果

樣區一	pH 值	濕度	含水量	密度	沙土	壤土	黏土	N	P	K
淺層	6.8	55%	13%	2.15	62.2%	24.4%	13.3%	1	1.5	1.5
中層	6.3	61%	15%	2.05	68.9%	24.4%	6.7%	2	1.5	1
深層	5.9	54%	12%	2.06	72.7%	15.9%	11.4%	0.5	2	0.5
樣區二										
淺層	7	62%	15%	2.05	57.8%	28.9%	13.3%	1	1.5	2
中層	6.6	50%	11%	2.02	70.0%	20.0%	10.0%	1.5	0.5	1
深層	6.3	67%	16%	2.22	78.6%	14.3%	7.1%	1	1	0.5
樣區三										
淺層	7	66%	16%	2.02	69.2%	17.9%	12.8%	2	1.5	2
中層	6.9	58%	14%	2.07	65.9%	22.0%	12.2%	1.5	1	2
深層	6.7	60%	15%	2	59.5%	23.8%	16.7%	1	0.5	1.5

		大成國中中庭	大成國中圍牆	大成國小菜園	大忠國小花圃	大湳公園
樣區一	淺					
	中					
	深					
樣區二	淺					
	中					
	深					
樣區三	淺					
	中					
	深					

## 【評語】 030302

1. 本研究首先調查八德地區校園及公園的蚯蚓種類及數量，同時分析蚯蚓分布情形與各項土壤因素之間的相關性，並透過實驗室的選擇偏好及活動力實驗，證實蚯蚓對土壤的選擇除了受溼度及酸鹼值影響，還有蚯蚓本身在土壤中的活動力。
2. 實驗中包含一個完整的野外調查，關於野外調查的內容以及後續的變因分析都很完整，包含研究採集蚯蚓在不同 pH 值環境下的分布情形，濕度 及土壤含水量對蚯蚓數量分布的影響，以及利用 ImageJ 計算表土植被比例對於蚯蚓數量分布的影響，土壤中養分(氮質、磷質與鉀質)的影響，整體環境影響分析做得算是完整，值得稱許。
3. 最後探討土壤變因對蚯蚓活動路徑模式的影響，並設計實驗觀察蚯蚓對於不同土壤 酸鹼值及濕度的偏好選擇。實驗設計變因合理，不過因為蚯蚓是在黑暗土壤中移動，而本實驗設計在是將蚯蚓放在土壤表面以便觀察移動。這樣的實驗設計較無法符合蚯蚓本身行為模式，所以建議可以修正實驗方式，實驗模型應以貼近生物本身行為模式為佳。



## 壹、摘要

本研究主要針對八德地區校園及公園的蚯蚓種類及數量進行調查，結果發現該地區的蚯蚓共有八種，其中外來種黃頸捲蚓族群數量多，在酸鹼值、含水量及植被覆蓋率上呈現廣適應性，是強勢外來種，明顯排擠其他物種。

同時在研究過程中，我們也透過野外採集蚯蚓以及進行土質調查，嘗試分析蚯蚓分布情形與各項土壤因素之間的相關性，顯示影響蚯蚓分布的主要因素是酸鹼值與土壤濕度。土壤密度及地表植被覆蓋率對於蚯蚓的分布也有影響但相關性較低。而氮磷鉀總含量的多寡對於蚯蚓的分布則沒有明顯影響。同時我們更進一步透過實驗室的選擇偏好及活動力實驗，證實蚯蚓對土壤的選擇除了受溼度及酸鹼值影響，也改變蚯蚓在土壤中的活動力。

## 貳、研究動機

在上生物課時，透過老師的描述，我們了解到蚯蚓是農業的益蟲，可以透過挖地道時鬆化土壤，我們對這件事十分的好奇，所以進而思考，那在我們生活地方-八德呢?這個農業，工業，住宅合併的城市裡，在過度使用農藥肥料以及充滿汙染的環境中，蚯蚓還存在嗎?

於是我們上網去搜尋了一些資料後，發現前人曾經針對林口地區的土質分析與蚯蚓種類進行調查，這項研究報告激起了我們的好奇心。當時作者針對林口地區土壤pH值的調查方式，是挖了20個地點的土壤後求平均，再以平均值代表該地區的酸鹼值。但每個地點的pH值差異都可能是影響蚯蚓分布的因素。因此我們希望針對不同樣區不同深度的土壤作詳細的土質調查及分類，應該能夠更清楚描繪出影響蚯蚓分布的樣貌。同時我們也希望藉此了解八德地區與林口地區的土質差異對蚯蚓分布是否有影響。

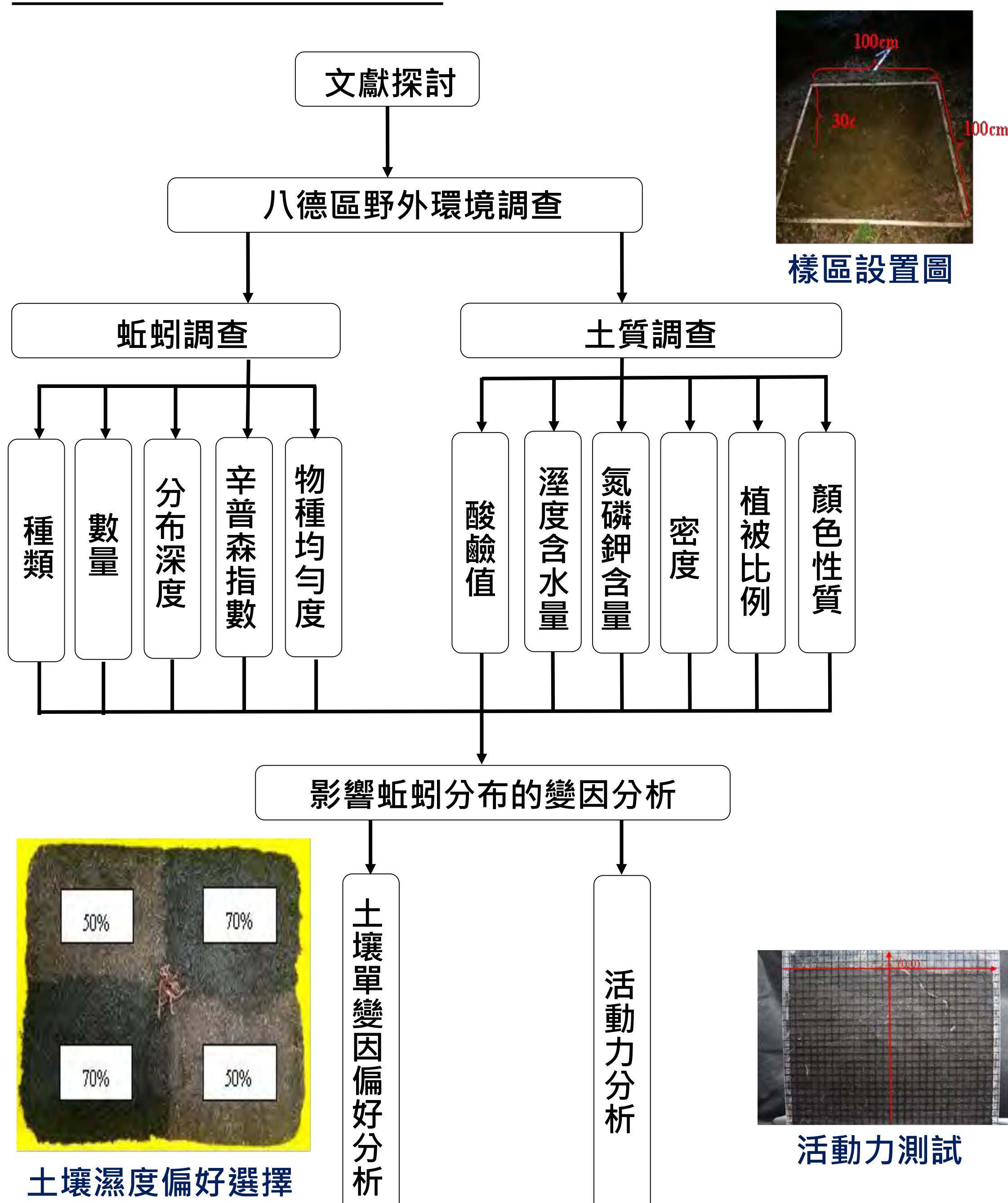
除此之外，根據先前報告顯示，黃頸捲蚓(*Pontoscolex corethrurus*)在臺灣是入侵非常嚴重的外來種，在林口地區發現的蚯蚓中比例高達六成(楊, 2017)。所以我們也想知道在同一地區但不同校園內的蚯蚓種類分布情形是否會有差異。我們挑選了大○國中、大○國小、○忠國小、大湍公園進行調查。希望可以透過實地調查，了解八德地區校園內的蚯蚓分布種類及數量。並進一步透過實驗室內單項土質變因控制探討影響蚯蚓活動的可能因素。

## 參、研究設備及器材

- 1.二聯通飼養箱
- 2.基材
- 3.壓克力模具
- 4.土壤酸鹼溼度計
- 5.燈具組
- 6.塑膠盆
- 7.蘋果酸
- 8.量筒
- 9.培養土
- 10.鐵鏟
- 11.熱風循環烘箱
- 12.Rapidtest soil test kit
- 13.活體蚯蚓

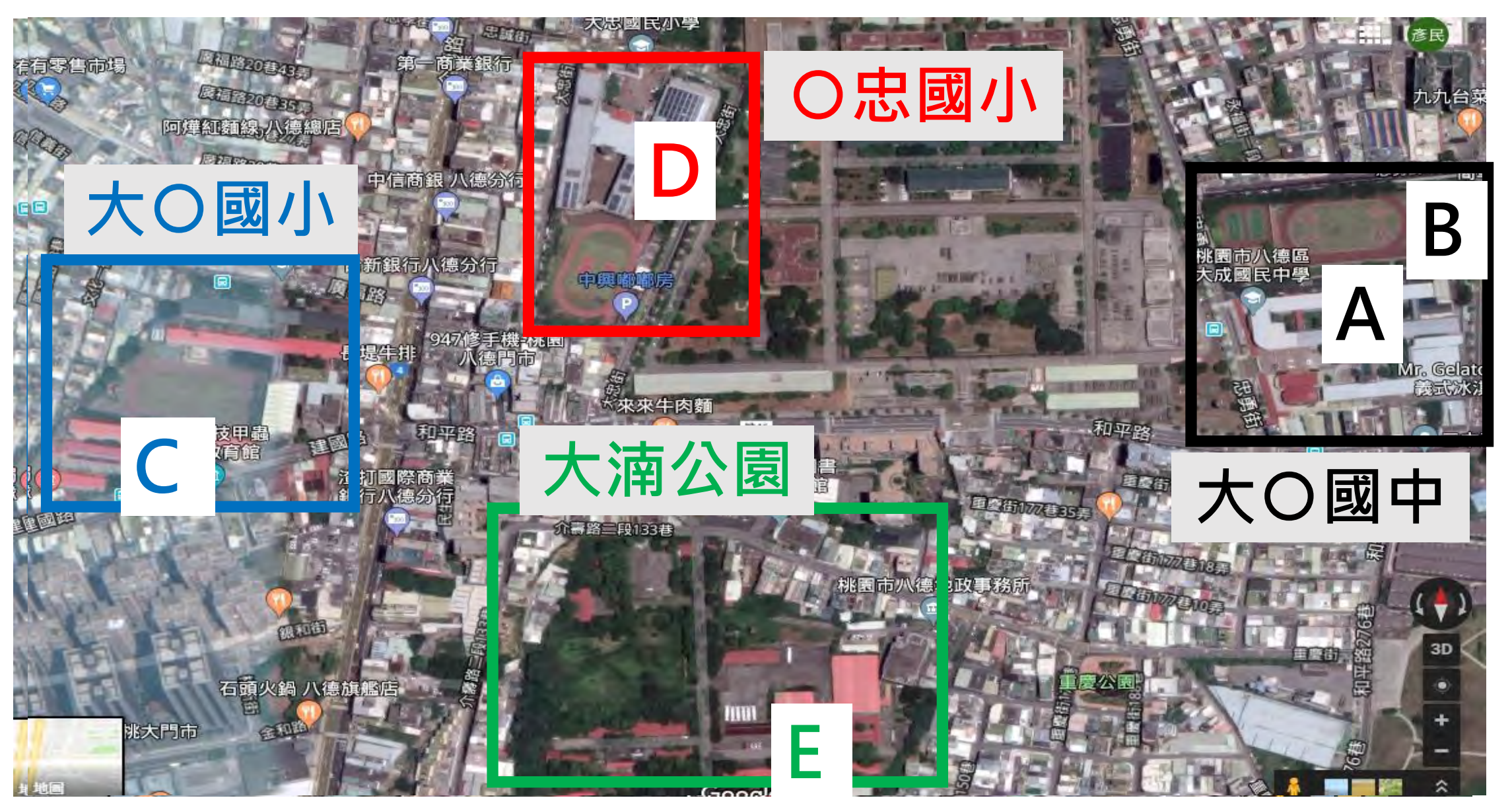
蚯蚓來源為普吉蚯蚓農場俗稱太平二號的品種，但實際上內含不同種類的蚯蚓包括掘穴環爪蚓以及尤金真蚓，另外挑選從野外挖掘到健康成熟的參狀遠環蚓以及黃頸捲蚓以了解蚯蚓對環境的偏好，利用二聯通飼養箱，飼養環境為25-28°C，每90天更換一次基材，提供切碎的蔬菜、水果作為飼料。實驗的進行皆以色澤明亮、身體外表無破損之蚯蚓作為實驗動物。

## 肆、研究過程與方法

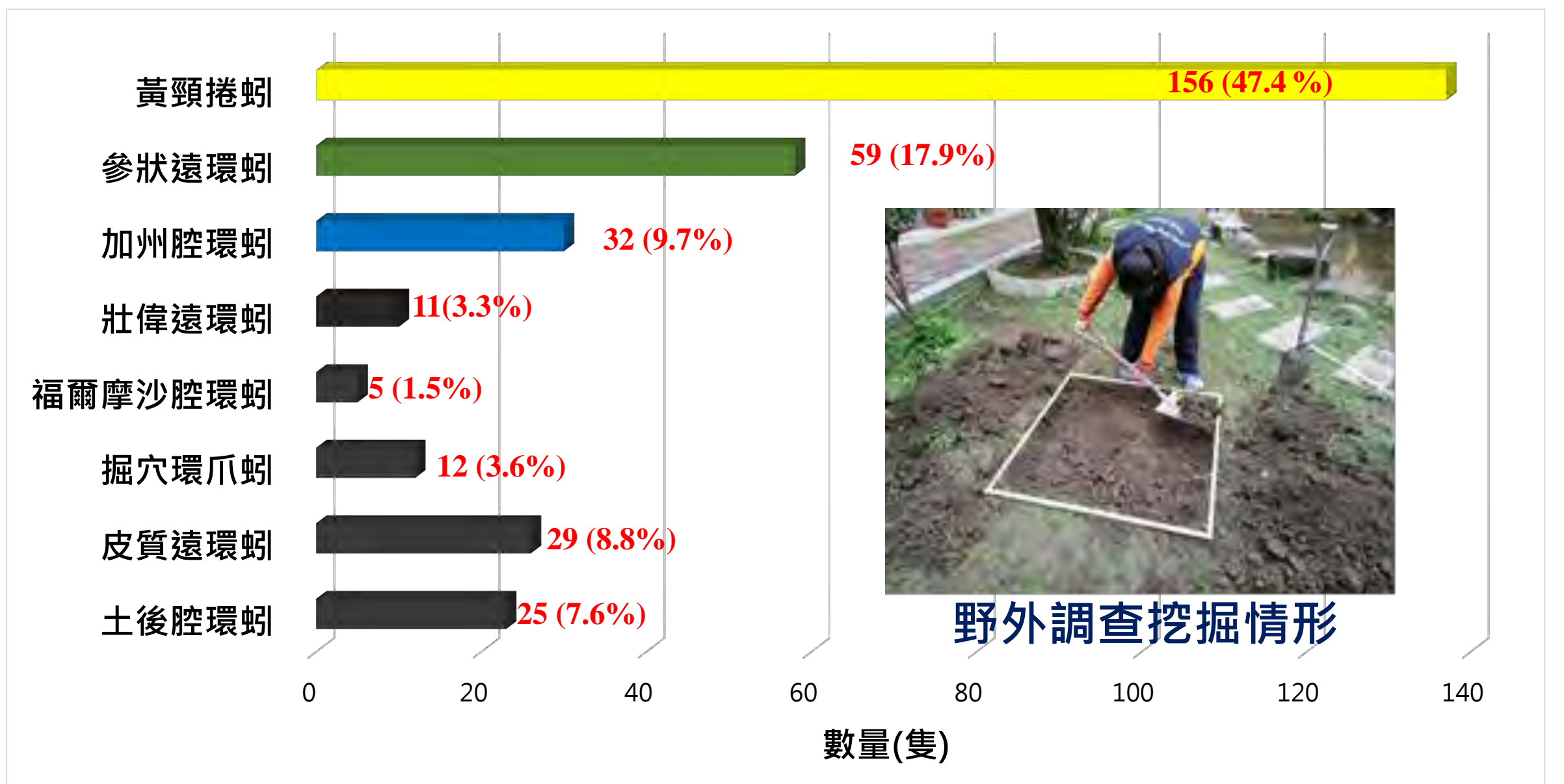


## 伍、研究結果

### 一、野外蚯蚓數量、種類、分布調查



圖一、蚯蚓採集樣區分布圖。  
A-大○國中中庭、B-大○國中圍牆、C-大○國小菜園；  
D-○忠國小花園、E-大湍公園



圖二、採集蚯蚓總數調查。(長條圖顯示該種蚯蚓總數量，括號內數字為所占比例)

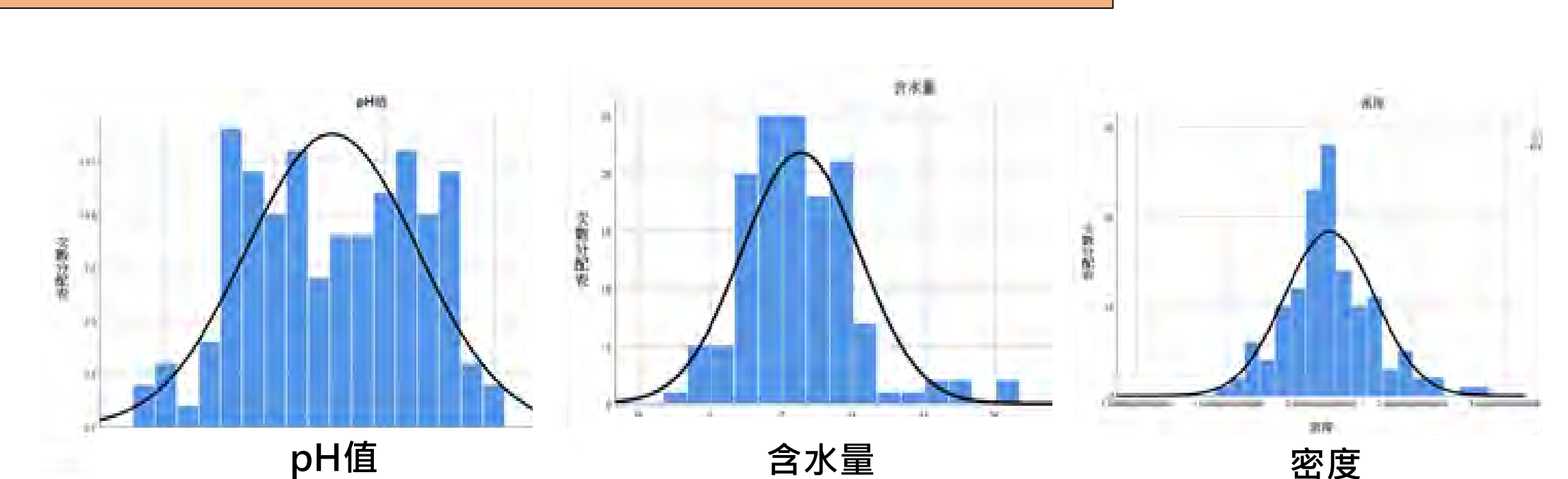
採集地點	A	B	C	D	E
	活動多	土表活動較少			自然環境
參狀遠環蚓	20	38	1		
皮質遠環蚓	21	8			
加州腔環蚓		29	3		
黃頸捲蚓			47		109
掘穴環爪蚓			12		
土後腔環蚓				25	
福爾摩沙遠環蚓				5	
壯偉遠環蚓					11
未知	2	9	3	2	0
總數	41	85	66	32	120
辛普森指數λ'	0.449	0.564	0.403	0.277	0.166
物種均勻度J'	0.999	0.83	0.463	0.65	0.442

表一、5個採集地點蚯蚓多樣性分析

大○國中中庭和圍牆兩地的λ值和J'值一致偏高，可見該地蚯蚓種數分布均勻，土壤適合發展蚯蚓生態。而大湍公園雖然蚯蚓數量最多，但多樣性指數偏低，推測和黃頸捲蚓的外來種入侵破壞蚯蚓生態有關。

此外，學校中庭活動量大，而圍牆邊和荒廢地都是人類鮮少活動區域，大湍公園在該區屬自然環境，人為因素更少，從蚯蚓總量可以觀察到隨人為活動越少的環境，蚯蚓分布越多，可見地表活動的震動極可能影響蚯蚓生存。

### 二、八德大湍地區土質分析調查



圖三：將五個地點，各地點三樣區，每一區再區分成三種深度，總計45個土樣進行土壤因子次數分配圖。

	平方和	自由度	均方	F	顯著性	
pH值	群組間	20.120	44	0.457	97.986	*0.000
	群組內	0.42	90	0.005		
	總計	20.54	134			
含水量	群組間	0.097	44	0.002	1.513	*0.049
	群組內	0.131	90	0.001		
	總計	0.227	134			
密度	群組間	2.736	44	0.062	1.046	0.419
	群組內	5.348	90	0.059		
	總計	8.084	134			

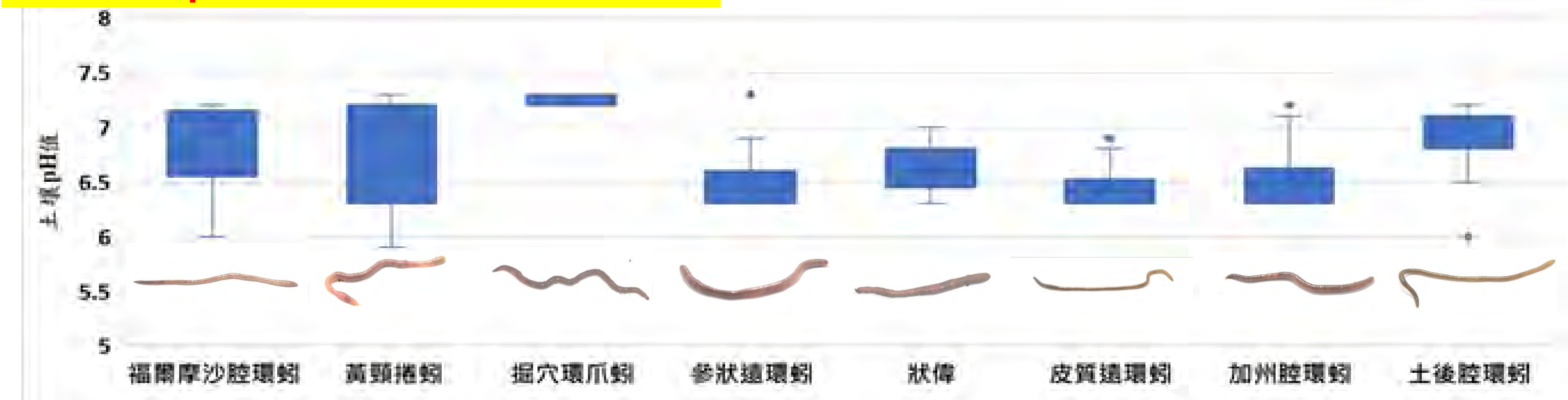
表二、45種土壤因子多變異分析

圖三結果顯示土樣pH值、含水量、濕度及密度的次數分配皆呈極端數值少，中間範圍數值高的常態分佈，可見土壤採樣具代表性。透過ANOVA分析45個土樣三次量測各種土壤因子，結果如表二。顯示不同地點、不同深度甚至同地點的不同樣區，土質都有差異，故我們可將這些土樣各自視為獨一無二的土樣。



### 三、影響蚯蚓分布的變因分析

#### (一) 土壤pH值對蚯蚓分布的影響

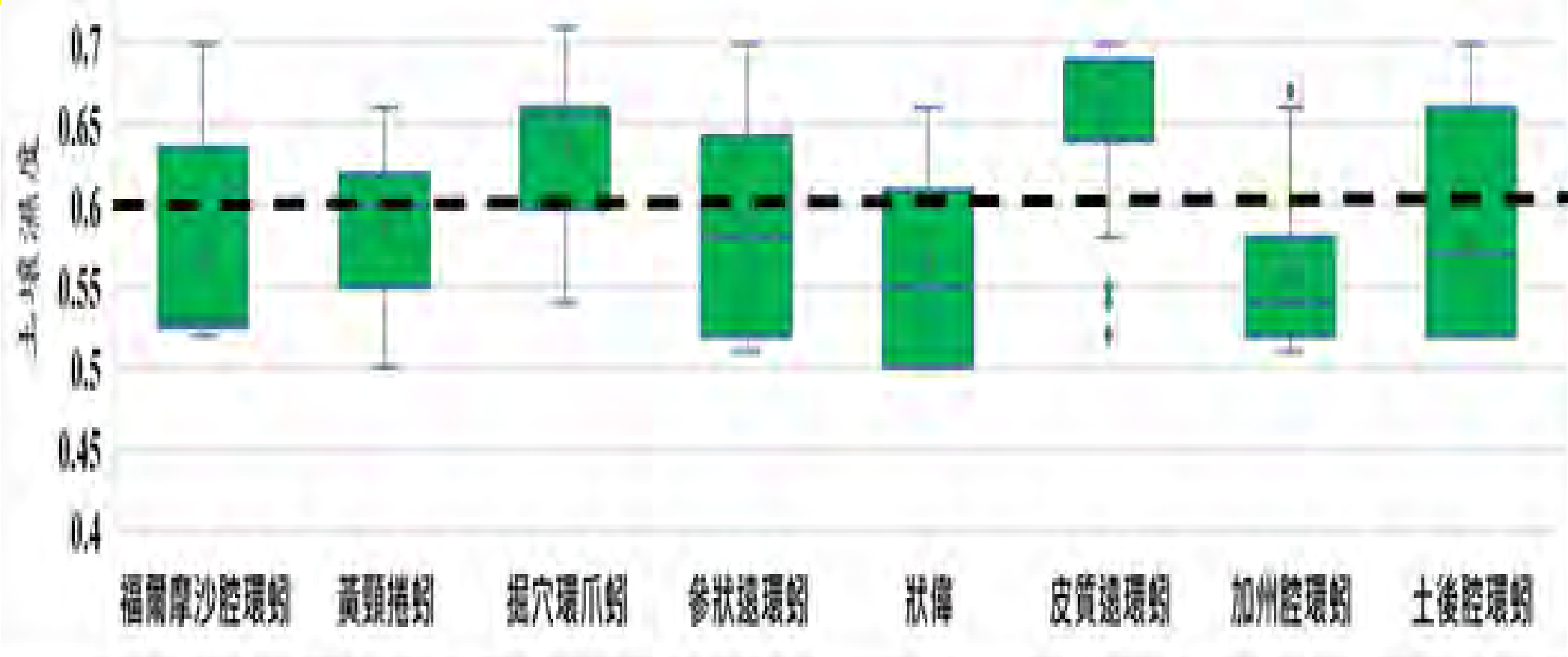


圖四、不同種類蚯蚓在不同pH值環境下的分布情形(盒鬚圖線段由上而下代表理論最大值、第三分位數、中位數、第一分位數、理論最小值，x代表平均值，盒外點代表極端值)。

參狀遠環蚓、加州腔環蚓這兩種蚯蚓的分布數量與土壤pH值呈現高度負相關( $R^2 > 0.6$ )，說明這兩種蚯蚓對於土壤pH值相當敏感。黃頸捲蚓與土壤pH值的相關係數接近0，顯示黃頸捲蚓的分布與pH值較無關，且酸鹼度容受力較強。

黃頸捲蚓從pH值5.9-7.3都可發現其蹤跡，代表其適應土壤酸鹼範圍較大，屬廣適應型。而掘穴環爪蚓分布於pH7.2~7.3，推測可能性喜鹼性土壤。其他數量較多的蚯蚓，包括參狀遠環蚓、皮質遠環蚓、加州腔環蚓的分布都偏弱酸外，酸鹼忍受性也較黃頸捲蚓來得小。

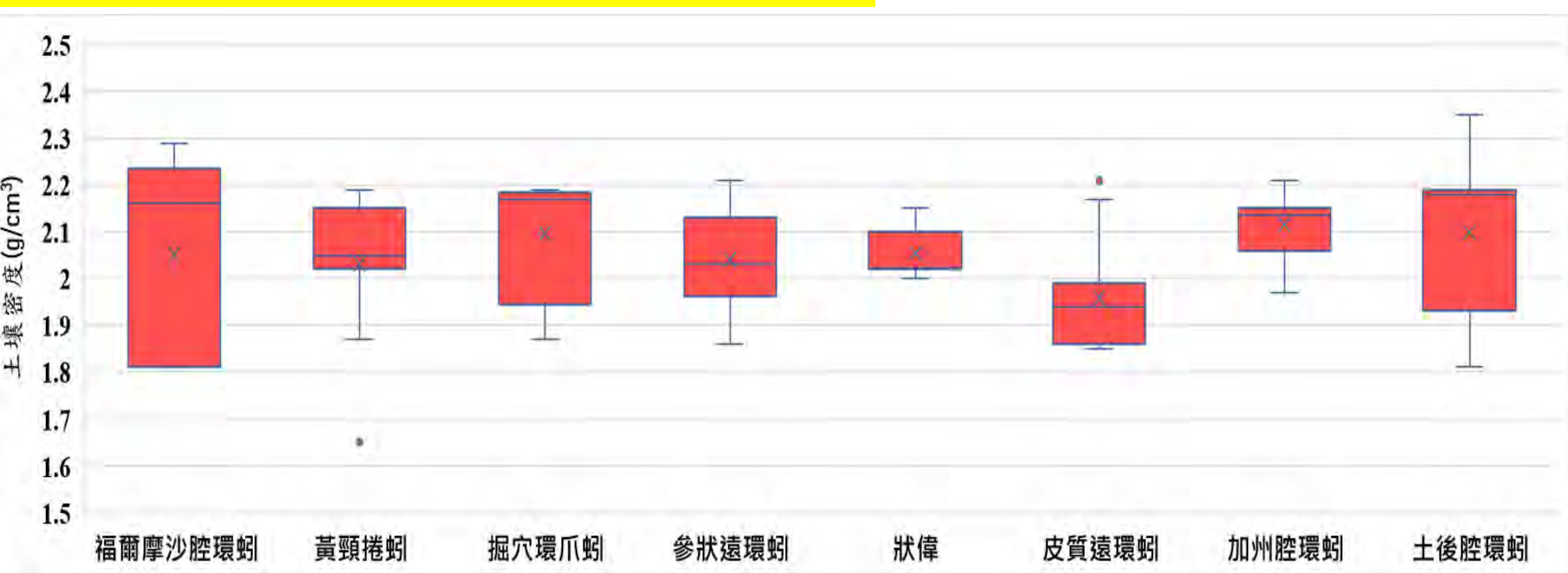
#### (二) 土壤濕度與含水量對蚯蚓分布的影響



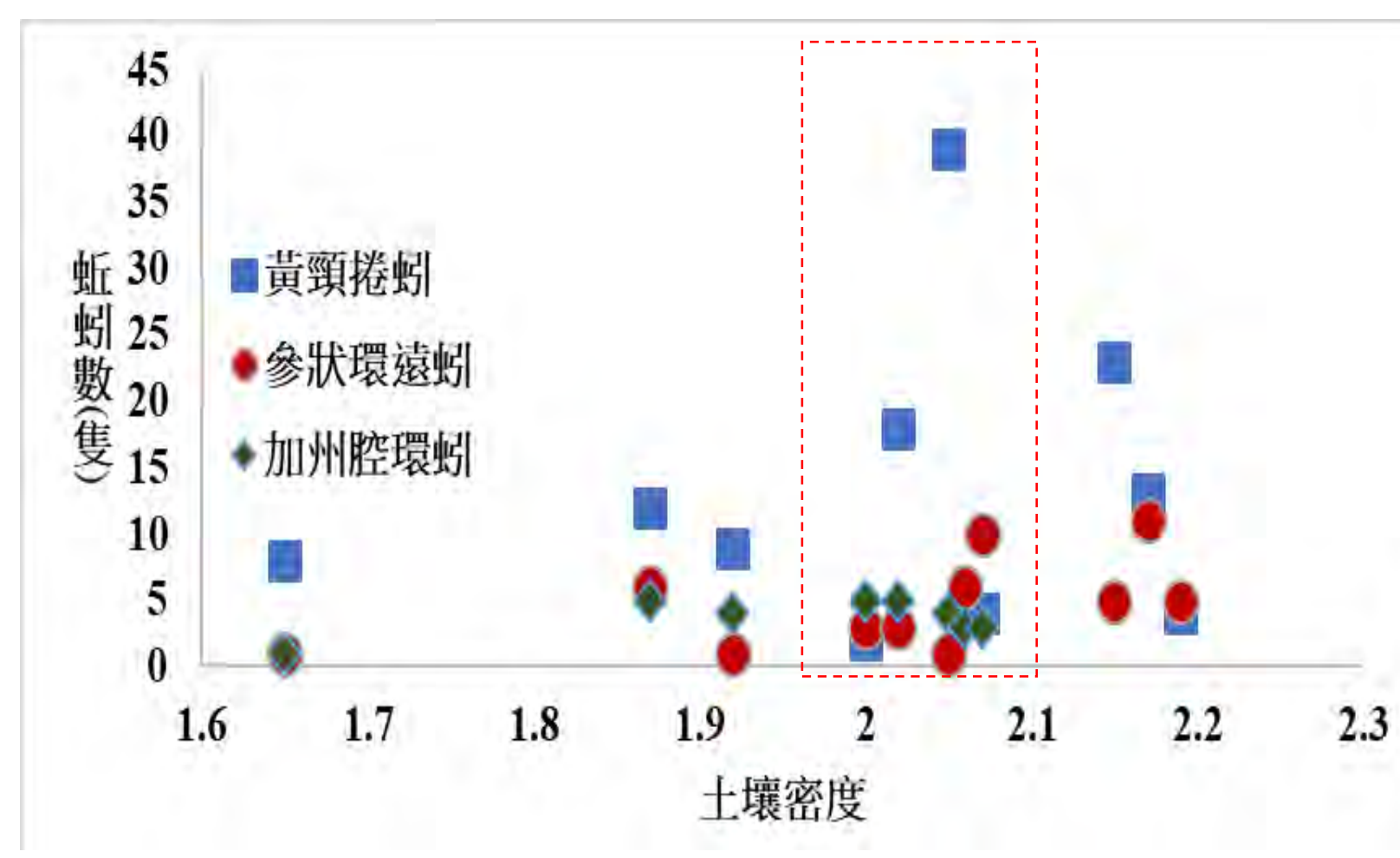
圖七、不同種類蚯蚓在不同土壤濕度下的分布情形

以濕度60%以及含水量16%為界線，顯示掘穴環爪蚓與皮質遠環蚓的生存土壤，可能喜歡土壤溼度或含水量偏高的土壤環境。加州腔環蚓分布土壤的濕度或含水量明顯偏低，且分析結果顯示呈現高度負相關( $R^2 > 0.65$ )，說明加州腔環蚓對土壤水分感受較敏感，在濕度50%~0.7%或含水10%~20%區間，濕度(含水量)越低，分布量越多。

#### (三) 土壤密度對蚯蚓分布的影響



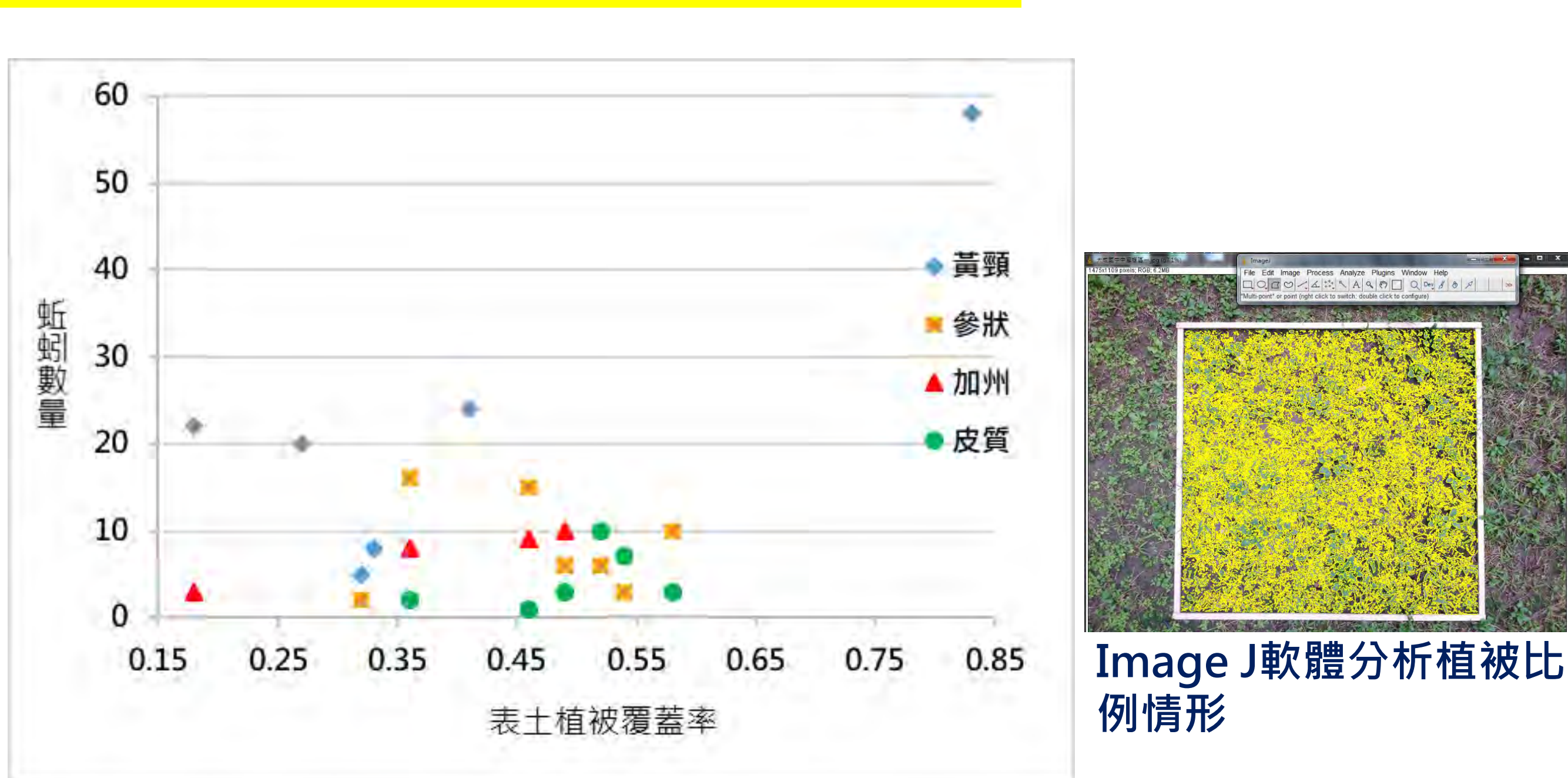
圖十、不同種類蚯蚓在土壤密度下的分布情形



圖十一、蚯蚓數量與土壤密度相關分布圖

針對三種蚯蚓數量與分布土壤密度做相關分析。在散佈圖可看到多數蚯蚓集中於密度2~2.1 g/cm<sup>3</sup>區間，可見蚯蚓對土壤密度偏好雖不明顯，但對蚯蚓分布仍有影響。

#### (四) 表土植被比例對蚯蚓分布的影響



圖十二、四種蚯蚓與地表植被比例的分布關係

經由Image J計算不同樣區的表土植被覆蓋率後，與不同蚯蚓的分布情形進行相關分析，我們並沒有發現蚯蚓分佈數量並不會隨著植被覆蓋率的增加而增加。但我們發現在我們發現四種主要的蚯蚓當中，除了廣適應性的黃頸捲蚓之外，另外三種蚯蚓有極高的比例分布在植被覆蓋率30%~60%之間。而黃頸捲蚓在植被覆蓋率15%~85%之間的數量都比另外三種蚯蚓來得多，其中在植被覆蓋率82%時，黃頸捲蚓分佈數量最大。

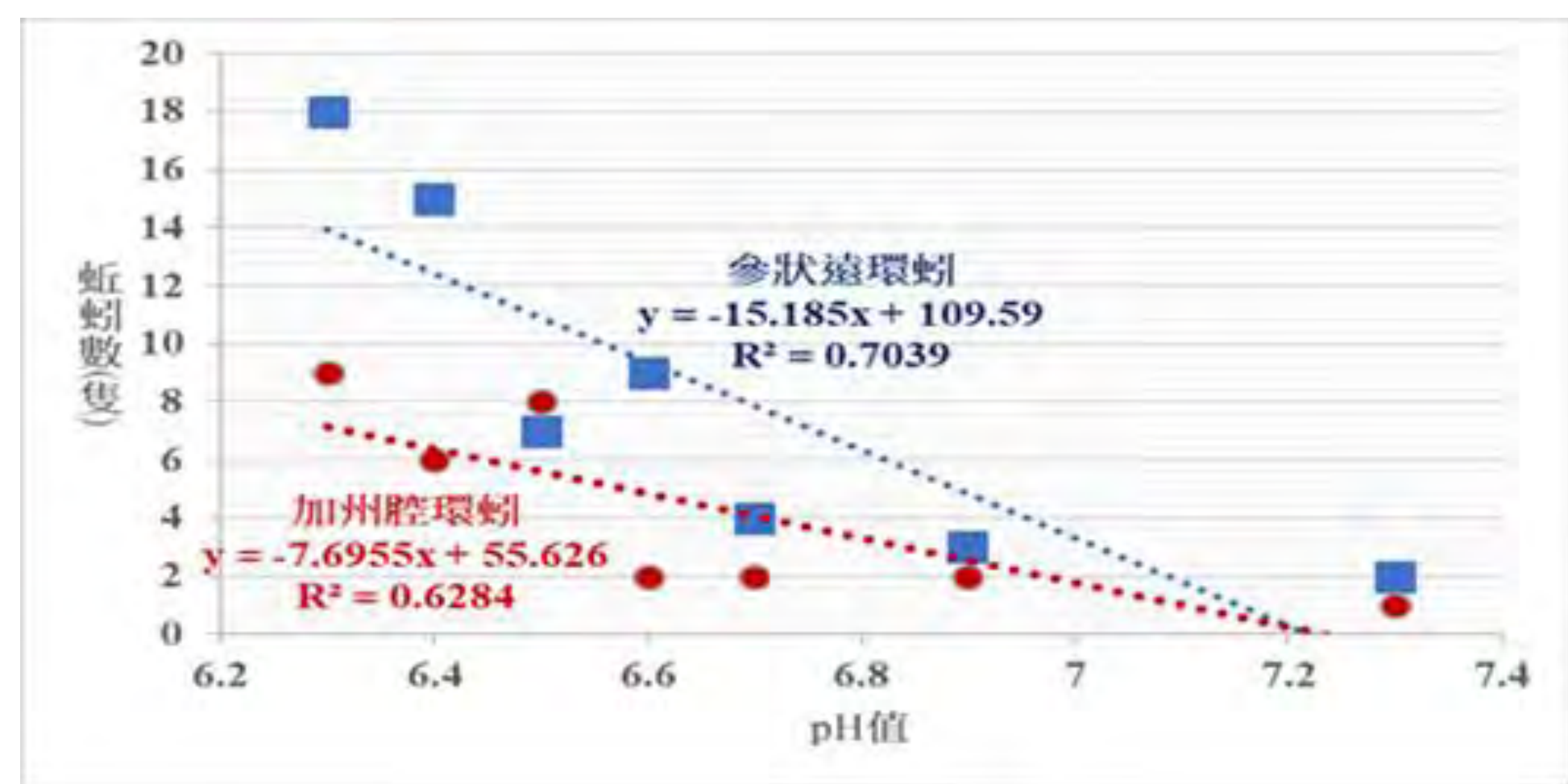
### 四、蚯蚓的選擇測試

#### (一) 蚯蚓對土壤中pH值選擇偏好測試

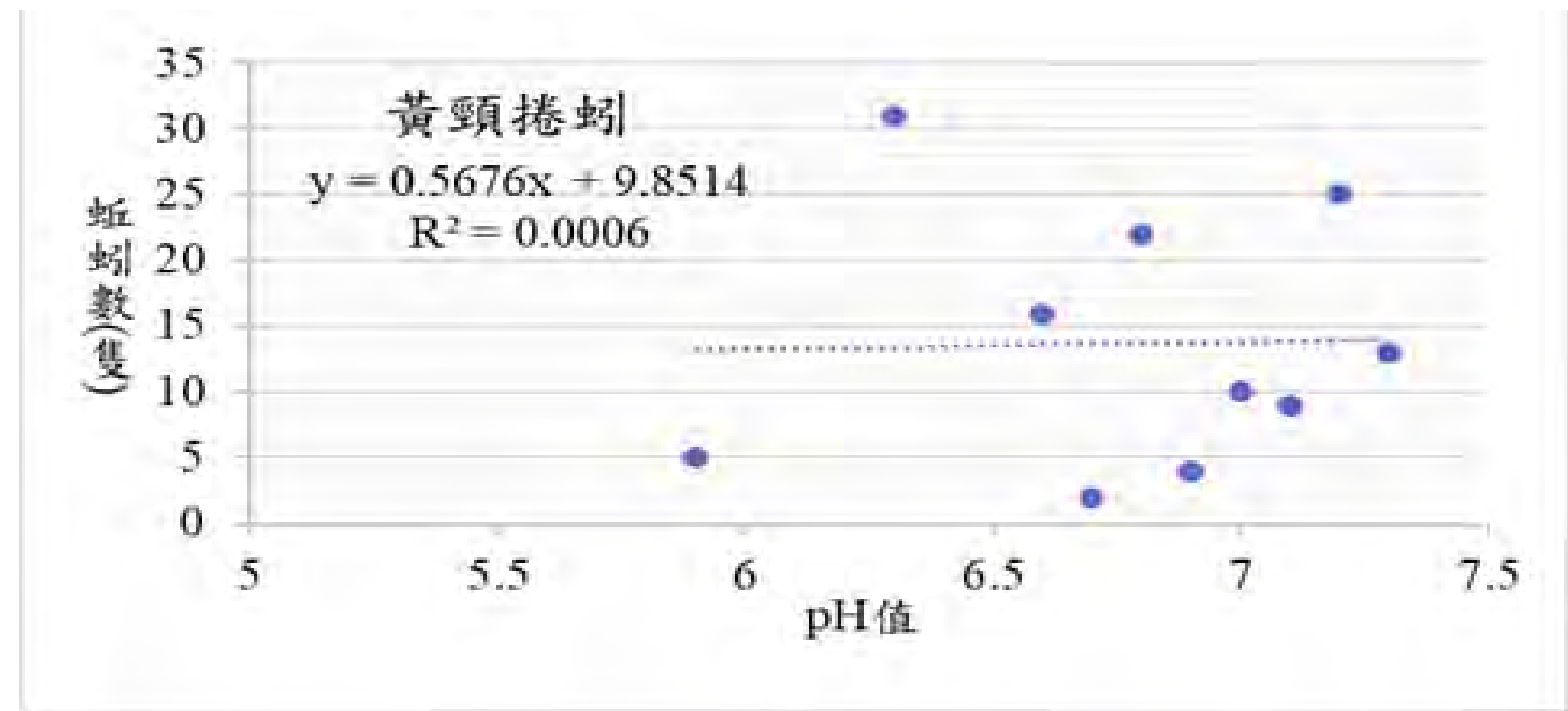


1. 掘穴環爪蚓：pH值7.4的環境選擇性較高
  2. 尤金真蚓：對pH值6.7環境較偏好。
  3. 參狀遠環蚓：隨著pH值下降，對環境偏好越明顯，屬於喜歡弱酸性環境的蚯蚓。
  4. 黃頸捲蚓：對各酸鹼度的偏好差異不大。
- 以上都與野外調查的相關分析結果相符。

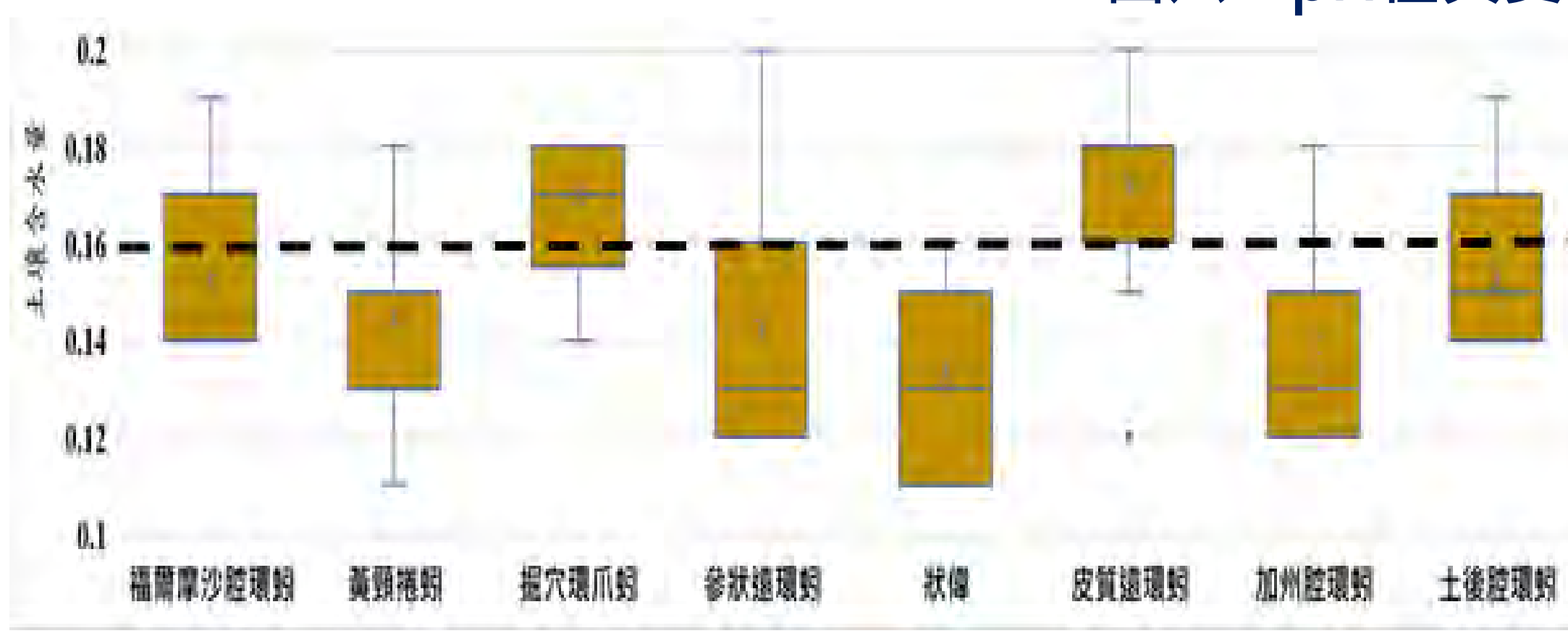
(被選中土壤得2分，邊界處各得1分)



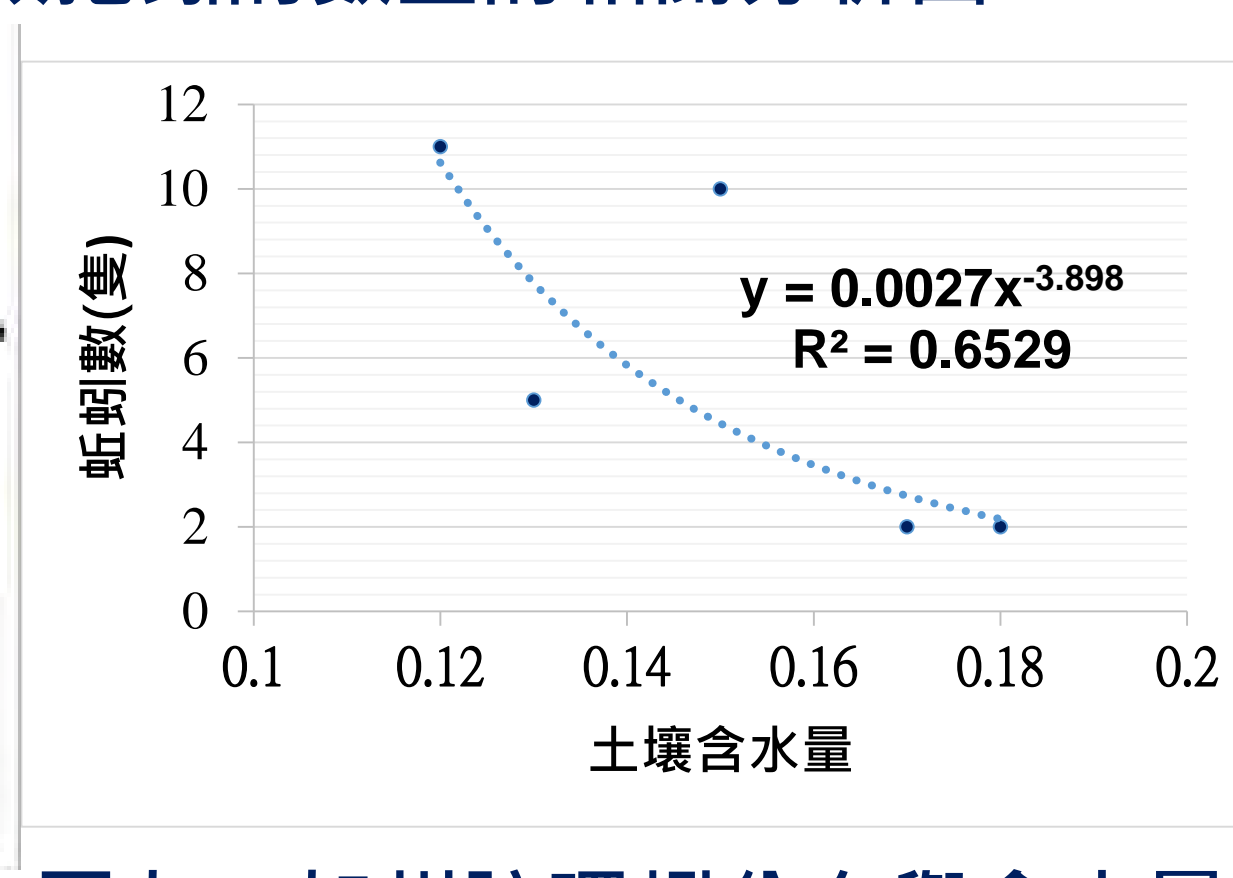
圖五、pH值與參狀遠環蚓(方形)與加州腔環蚓(圓形)的數量的相關分析



圖六、pH值與黃頸捲蚓的數量的相關分析圖

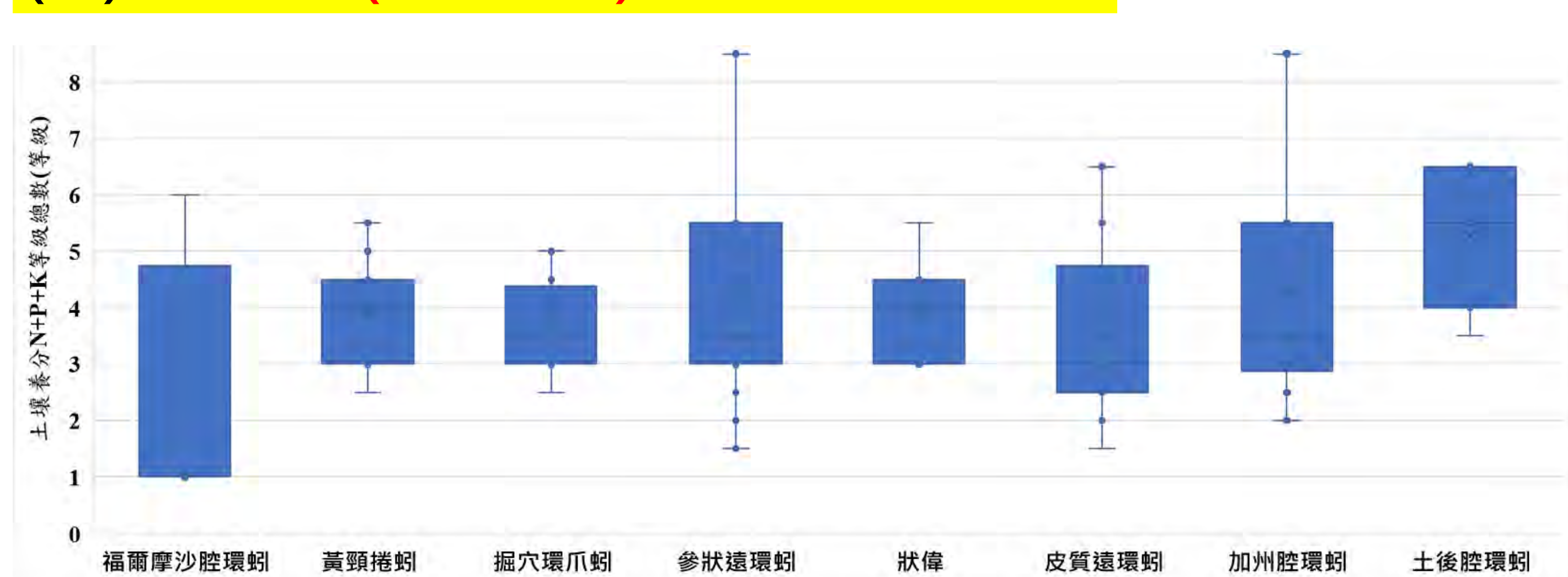


圖八、不同種蚯蚓在土壤含水量下的分布情形



圖九、加州腔環蚓分布與含水量的相關分析

#### (五) 土壤養分(氮磷鉀質)對蚯蚓分布的影響

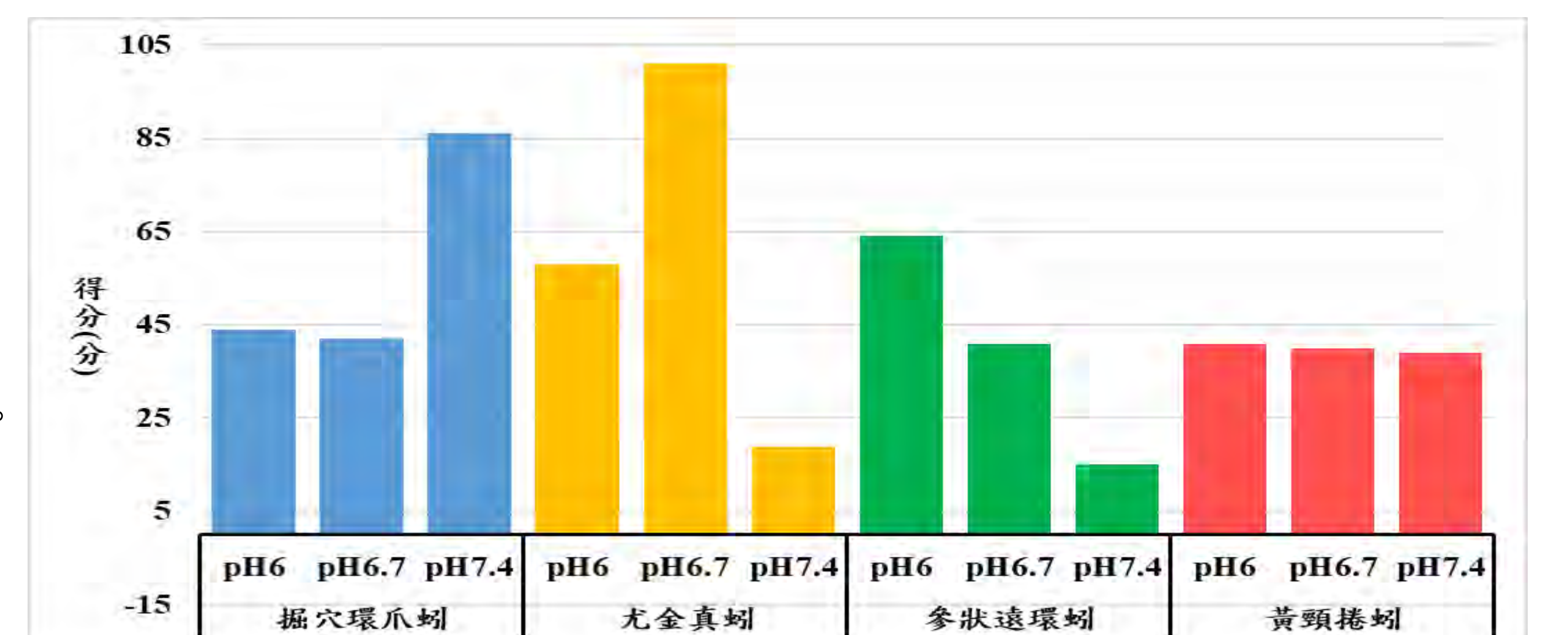


圖十三、各種蚯蚓與土壤氮+磷+鉀的總等級分布關係

	全部淺層	全部中層	全部深層	成中中庭	成中圍牆	大成國小	大忠國小	大滿公園
蚯蚓數(隻)	80	165	46	41	85	66	32	120
氮磷鉀總含量(等級數)	4.5±1.2	4.0±1.8	3.0±1.0	3.7±1.7	4.1±1.9	3.5±0.9	4.0±1.9	3.8±1.0

表二、各樣土中蚯蚓數量與氮磷鉀總含量等級數分析

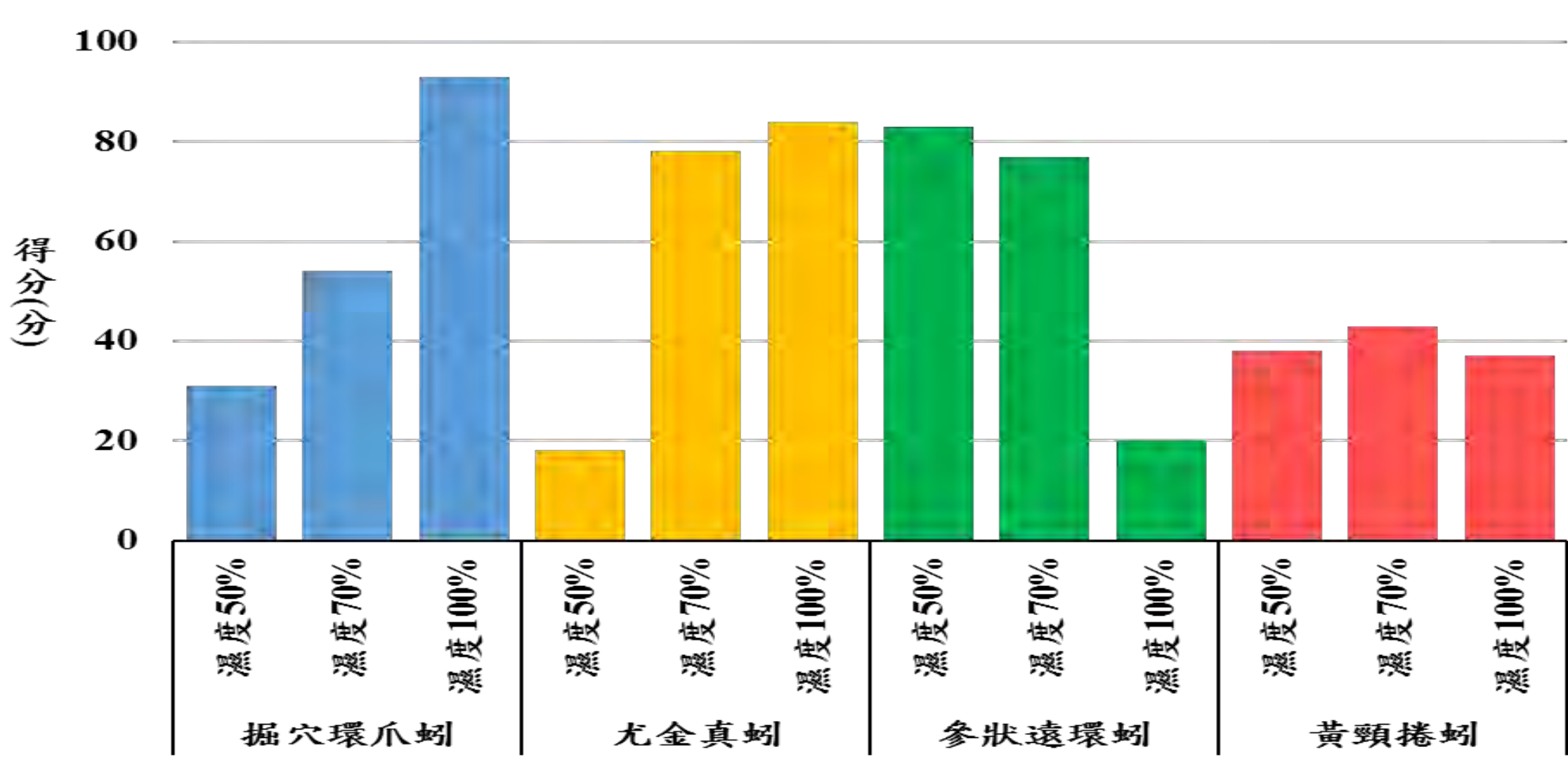
研究土樣氮含量等級、磷含量等級、鉀含量等級的總和(簡稱氮磷鉀總等級數)分布2~8.5範圍，顯示各土樣養分含量差異極大。為討論蚯蚓與土壤養分的關係，表二發現中層土壤的蚯蚓數量最多，但養分含量並非最大，而淺層養分含量高於其他，推測養分可能和腐植質有關。結果顯示樣區的蚯蚓數量與土壤肥沃度並未有高度相關性。



圖十四、四種蚯蚓在不同酸鹼度的得分比較圖



## (二) 蚯蚓對土壤濕度的偏好選擇



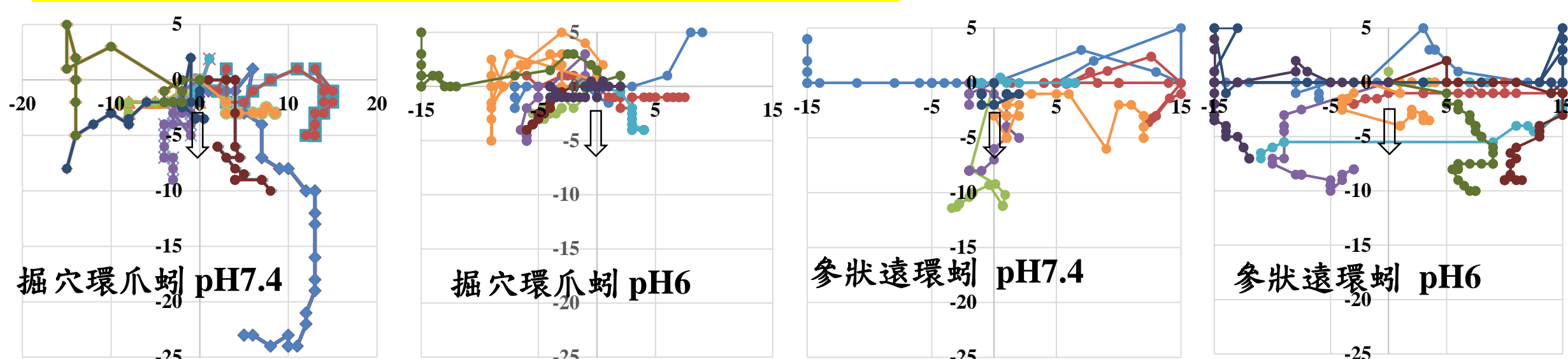
圖十五、四種蚯蚓在濕度50%、70%及100%偏好選擇(被選中土壤得2分，邊界處各得1分)

- 1.掘穴環爪蚓：顯示較喜歡100%濕度土壤，濕度越低喜好程度越低。
- 2.尤金真蚓：偏好70%及100%較高濕度的環境。
- 3.參狀遠環蚓：比較偏好低濕度的環境。
- 4.黃頸捲蚓：對濕度的選擇則沒有明顯偏好。

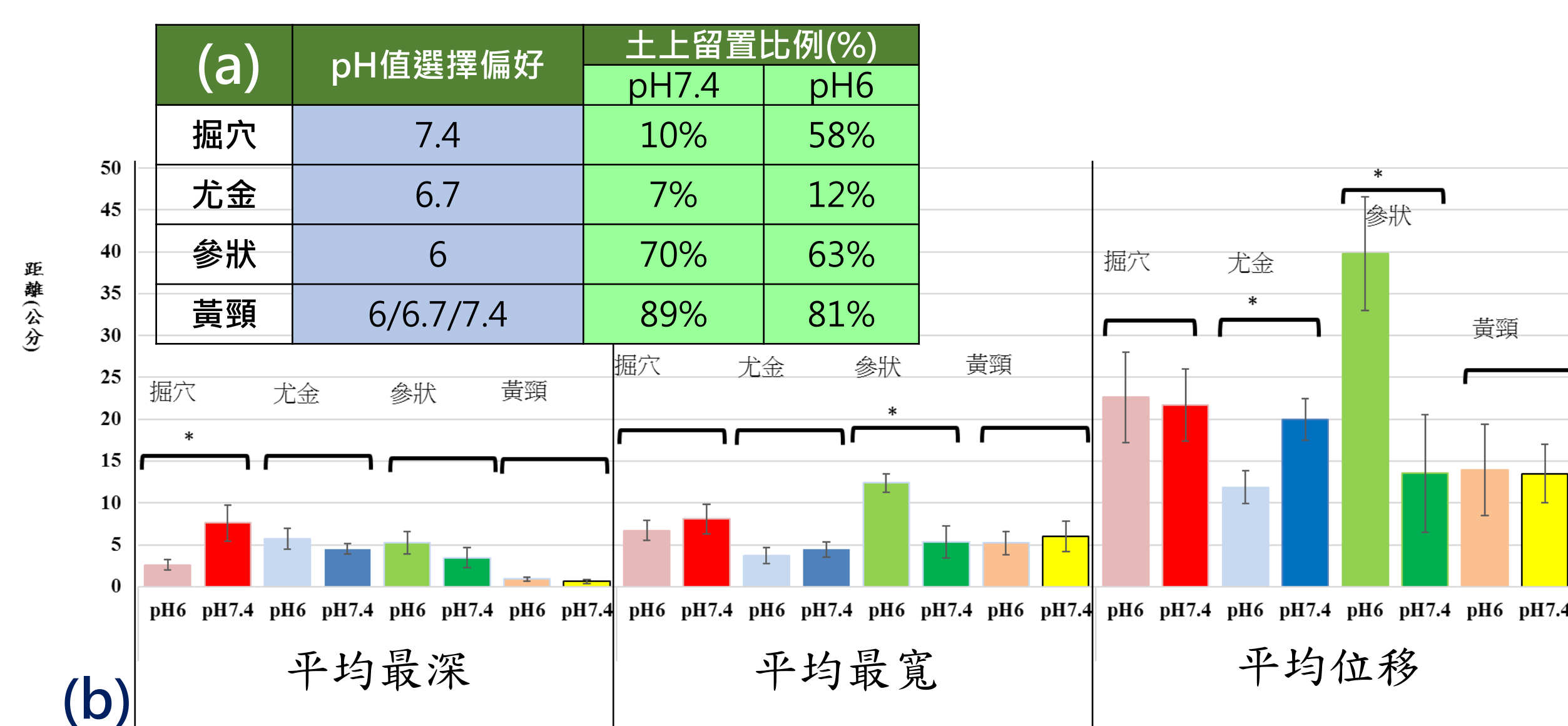
這些結果都與野外調查分析結果相符。

## 五、蚯蚓的活動路徑

### (一) 不同pH值活動路徑模式



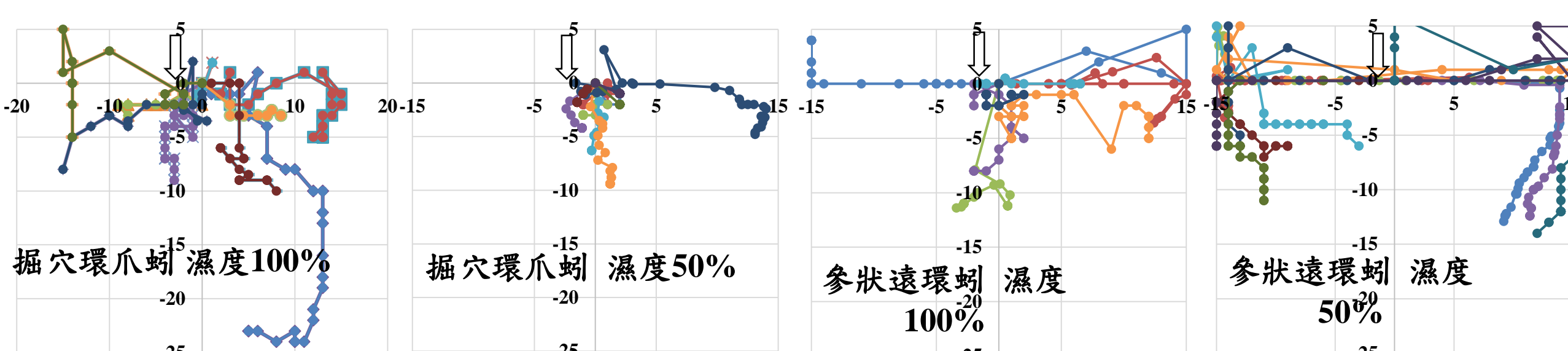
圖十六、蚯蚓在不同pH值土壤中移動過程(每個點為每隔30秒記蚯蚓頭部的位置，箭頭為起點位置)(以掘穴環爪蚓及參狀遠環蚓為例)



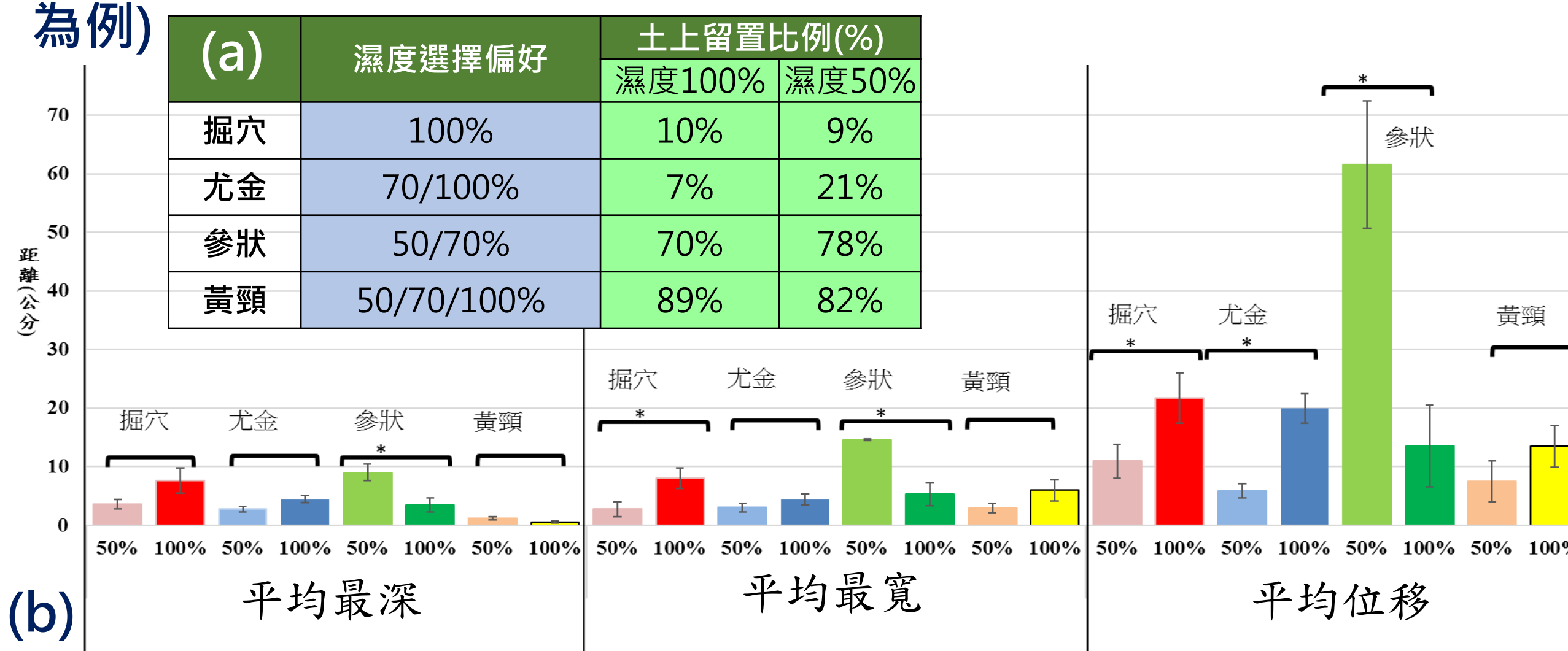
圖十七、四種蚯蚓各自於pH值6及7.4環境下時，(a)pH值選擇偏好、土上留置比例。(b)針對進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較(雙尾t-test檢定)： $p < 0.05$ 。

- 1.掘穴環爪蚓：在偏好微鹼性土壤，土上留置比例少，且有垂直方向趨地模式
- 2.尤金真蚓：留土上比例、鑽土範圍及土中探索程度偏低。
- 3.參狀遠環蚓：土上留置時間、土上移動寬度明顯比其他種類高，說明著重在鑽土前的探索行為。此外它偏好的酸性土壤，移動路徑長度，土中活動力明顯高於其他種類，初步推測與該種蚯蚓的體型及長度較大有關。
- 4.黃頸捲蚓：沒有偏好的pH值土壤，且活動能力極弱，似乎不喜歡培養土土質，鑽地行為甚弱。

### (二) 不同濕度活動路徑模式



圖十八、蚯蚓在不同濕度土壤移動過程(以掘穴環爪蚓及參狀遠環蚓為例)



圖十九、四種蚯蚓各自於濕度50%及100%環境下時，(a)pH值選擇偏好、土上留置比例。(b)針對進行移動寬度、深度、平均位移距離進行比較(雙尾t-test檢定)： $p < 0.05$ 。

- 1.掘穴環爪蚓：在喜好的高濕度土壤偏好水平的趨地行為。
- 2.尤金真蚓：移動範圍侷限在鑽地處，但仍可觀察到喜愛的高濕度土壤，移動路徑長增加，高濕度可增強探索力。
- 3.參狀遠環蚓：喜愛低濕度土壤，在低濕度土壤活動力強盛，且水平與垂直方向的探索模式皆具。
- 4.黃頸捲蚓：沒有偏好的濕度土壤，且活動能力較侷限於表層，鑽地行為甚弱。

## 陸、討論

### 一、八德地區的蚯蚓數量與種類

八德與林口兩地在溼度與酸鹼值比較並無明顯差異，但為何八德地區的蚯蚓密度會比另外兩處低，需要再進行其他項目的比較才能知道原因。我們共發現8種蚯蚓。但每個地點只有2~4種，顯示校園中的蚯蚓種類缺乏多樣性分布。可能與蚯蚓的遷徙能力受到限制，大多只能靠人為方式來影響蚯蚓的遷移有關。

### 二、外來種黃頸捲蚓與土壤關係

大○國小及大湳公園的黃頸捲蚓的數量高達該地蚯蚓的71%、90%，也導致這兩處物種均勻度偏低。這可能與黃頸捲蚓的廣適應性並改變土壤性質有關。

### 三、八德地區的土壤分析

透過ANOVA分析結果顯示土質有差異，我們認為酸鹼值、濕度、含水量的分布沒有一定的規則，與土壤深度等其他因素亦沒有明顯的相關性。

### 四、影響蚯蚓分布的變因分析

#### (一)pH值

蚯蚓的分布與pH值有高度相關，且不同種類蚯蚓偏好的酸鹼值不同。此趨勢亦重現在選擇實驗及活動力實驗中。從實驗結果可知pH值對蚯蚓分布的影響很大。但黃頸捲蚓無此現象，不論野外採集或是在pH值偏好選擇實驗，黃頸捲蚓皆無明顯偏好，可能與設定pH值範圍太小(6-7.4)，或是與本身的鈣腺能中和酸鹼有關。

#### (二)濕度、含水量

與pH值相比，濕度與含水量對蚯蚓分布影響較小。在偏好選擇及移動路徑實驗中，掘穴環爪蚓、尤金真蚓、參狀遠環蚓皆對不同的溼度表現出不同程度的反應。可見濕度亦是影響蚯蚓分布的因素。

#### (三)土壤密度

我們發現較硬的土壤，蚯蚓通道容易被保留下來，即使在挖掘過程也不易被破壞。挖掘過程中留下的通道空間，可以增加土壤中的通氣性，若是過於鬆軟的土壤則不易成形；過於堅硬的土壤不利蚯蚓鑽地道。但此一推論仍需要經由實驗驗證。

#### (四)表土植被比例

植被覆蓋率高不一定對蚯蚓有絕對的幫助，因受限於植被種類，有些植物可能會改變土壤的性質，或是釋放出不利土壤中生物生存的物質，導致蚯蚓的分布數量受到影響。

#### (五)土壤中氮+磷+鉀的總等級

氮磷鉀總等級數與蚯蚓數量並無顯著相關。推測酸鹼值與濕度會直接影響蚯蚓的分布，是因為蚯蚓的皮膚上遍布許多感覺細胞，亦會直接進行氣體交換，因此相較於土壤肥力，環境中的酸鹼值與濕度會更直接影響到蚯蚓對所處環境的選擇。

## 五、單變因對蚯蚓選擇及移動路徑的影響

野外環境調查的結果，有許多變因會同時影響蚯蚓在環境中的分布。透過單變因控制，我們進一步確認酸鹼值及濕度對蚯蚓選擇與野外調查結果一致。並且觀察到酸鹼值和濕度皆會影響蚯蚓移動路徑。但四種蚯蚓的移動模式，如黃頸捲蚓鑽地行為表現皆弱、參狀在鑽地前水平探索行為、尤金留置土上比例較低在不同環境下仍有保持一致性的趨勢。

## 柒、結論

- 一、八德地區校園環境蚯蚓種類不多，以常見的如加州腔環蚓、參狀遠環蚓、皮質遠環蚓為主。目前外來種黃頸捲蚓的入侵，只出現在其中一所校園中以及大湳公園中，但仍需注意未來如何避免進一步的擴散。
- 二、影響蚯蚓分布的主因是酸鹼值、濕度和含水量；密度也有影響，但影響不大。而植被的比例以及土壤中氮、磷、鉀的含量則對蚯蚓分布的影響則較小。
- 三、酸鹼值及濕度會影響蚯蚓對土壤的選擇以及在土壤中的活動力，直接影響野外蚯蚓在不同土質裡的分布情形。但每種蚯蚓喜歡的酸鹼值與濕度並不相同。
- 四、黃頸捲蚓對環境容忍範圍較大，因此相較於其他蚯蚓，更能夠適應多樣化的環境，成為野外的優勢物種，但也因此容易導致生物多樣性降低。

## 捌、參考文獻

- 林俐玲、何國謙、林文英。2004。植物覆蓋與土壤性質對蚯蚓族群影響之探討。水土保持學報36(4)：333-344
- 王玉璽、施習德。2018。臺灣蚯蚓之分類與東亞蚯蚓地理之分布探討。中興大學博士論文。
- 張智涵、李其倫、沈慧萍、池文傑、楊尚燁、陳俊宏。2012。金門地區蚯蚓種類及分布。國家公園學報。22(3)：58-67