

花蓮縣第 66 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物科

組 別：國小組

作品名稱：建置 Arduino 超音波感測系統監測圈養環境下蛇類之熱點偏好

關鍵詞：Arduino、蛇類、熱點偏好

編 號：

目錄

摘要.....	1
壹、前言.....	1
貳、文獻回顧.....	2
參、研究設備與器材.....	6
肆、研究架構.....	8
伍、研究方法.....	9
陸、研究過程.....	15
一、研究項目一：蛇類於不同溫度梯度下之熱點偏好.....	15
二、研究項目二：蛇類進食後於不同溫度梯度下之熱點偏好.....	16
三、研究項目三：遮蔽條件對蛇類熱點偏好之影響.....	19
四、研究項目四：不同底材條件下，蛇類於熱點偏好之比較.....	20
柒、結論與未來展望.....	23
捌、參考文獻.....	24

摘要

本研究以玉米蛇為研究對象，並建置 Arduino 超音波感測系統，記錄蛇在不同條件熱點下之停留時間，以探討其熱點偏好行為。玉米蛇屬於無特殊感熱器官之蛇類，主要透過體表感熱受器來感知環境溫度。研究結果顯示，在不同溫度梯度下，玉米蛇最偏好 30°C 熱點，其次為 20°C，而對 40°C 之偏好最低。在進食後，玉米蛇對 30°C 熱點之偏好明顯提高，顯示會因消化需求而更集中停留於該熱點。此外，在遮蔽條件有無之下，玉米蛇較偏好停留於有遮蔽之熱點，推測是因環境安全感而影響熱點偏好。在不同底材條件下，玉米蛇明顯偏好木屑底材，顯示在選擇熱點時，除溫度外，亦會受到原棲地特性與需求之影響。

壹、前言

一、研究動機

去年的研究中，我們發現在圈養環境下蛇類會主動選擇熱點進行體溫調節，此發現引發我們進一步思考：「在不同條件影響下，蛇類的熱點偏好是否會有所改變？」以往的研究我們採短時間錄影並以人工判讀方式收集數據，過程耗時且易受個人主觀所影響，因此，這次研究我們將結合科技來改良研究方法，透過自動化的方式來監測蛇在熱點停留時間，以更精準的角度去探討蛇類的行為特性。

二、研究項目

本研究以圈養的玉米蛇(*Pantherophis guttatus*)為實驗對象，透過改變環境下的不同條件如溫度、進食狀態、遮蔽物有無及底材種類，並建置 Arduino 超音波感測系統來監測蛇類行為，主要探討研究項目共有四項：

- (一)蛇類於不同溫度梯度下之熱點偏好。
- (二)蛇類進食後於不同溫度梯度下之熱點偏好。
- (三)遮蔽條件對蛇類熱點偏好之影響。
- (四)不同底材條件下，蛇類於熱點偏好之比較。

三、研究程序

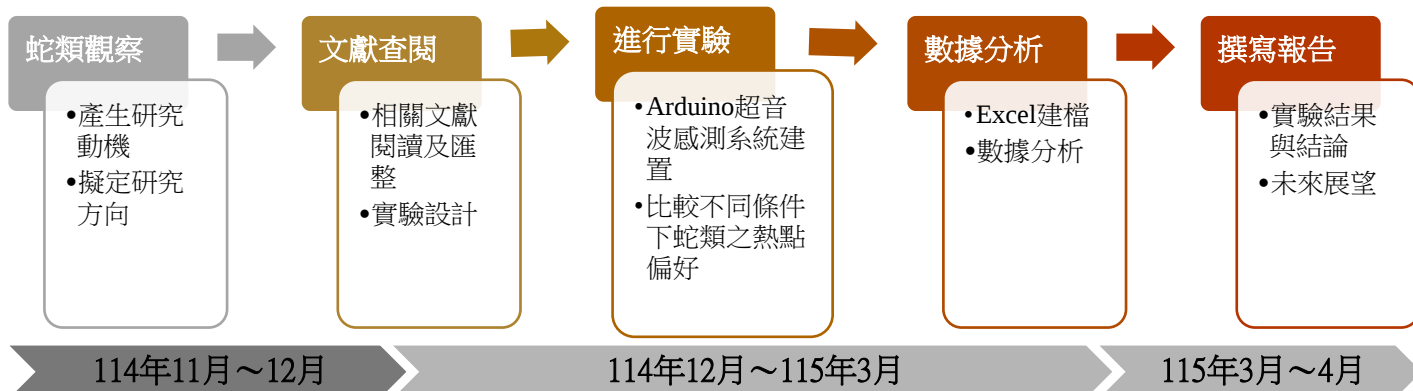


圖 1 研究過程(老師拍攝)

貳、文獻回顧

一、蛇的分類與溫度感知構造(生理) (Chris Mattison, 2000; 杜銘章, 2004; 維基百科)

蛇類在生物分類上屬於爬蟲綱(Reptilia)中的蛇亞目(Serpentes)，蛇亞目又可分为兩大類群，分別是盲蛇次亞目(Scolecophidia)與真蛇次亞目(Alethinophidia)(圖 2)。我們透過文獻整理，匯整這兩大類群的溫度感知構造，並比較其差異(表 1)。

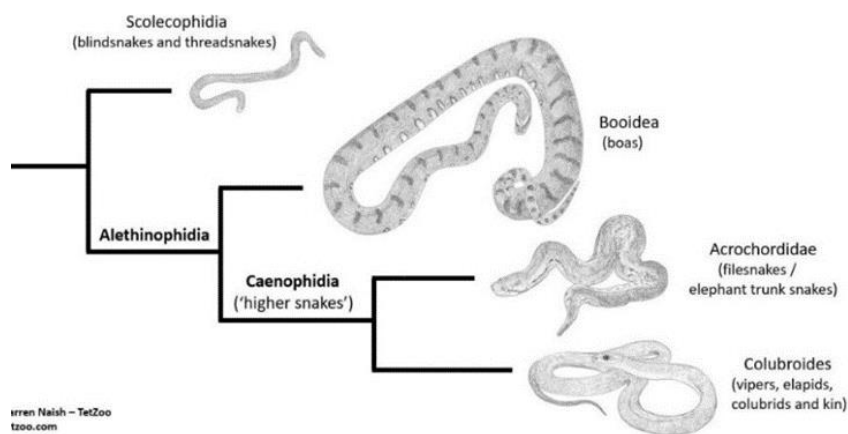


圖 2 盲蛇次亞目與真蛇次亞目分類樹狀圖

(資料來源: <https://tetzoo.com/blog/2024/7/19/grayiid-water-snakes>)

表 1 盲蛇次亞目與真蛇次亞目的溫度感知構造

分類	代表蛇類	溫度感知構造	備註	感知能力
盲蛇次亞目 (Scolecophidia)	盲蛇類	體表感熱受器	較原始的蛇類，多生活於土壤層，主要依靠體表來感知溫度	低
	多數一般蛇類	體表感熱受器	主要靠體表來感知環境溫度變化	中
真蛇次亞目 (Alethinophidia)	蚺蟒類	體表感熱受器、唇窩(labial pits)	唇窩可偵測內溫動物所釋放之紅外線	高
	腹蛇類	體表感熱受器、頰窩(loreol pits)	頰窩可偵測內溫動物所釋放之紅外線，並感應 0.003°C 溫差	極高

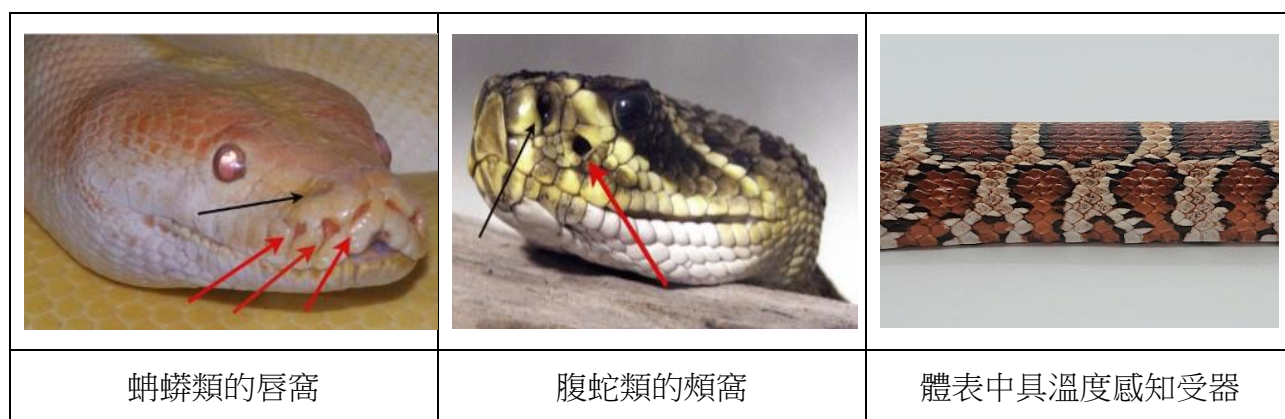


圖 3 蛇類的溫度感知構造
(圖片來源：維基百科、學生拍攝)

綜合上述，本研究對象玉米蛇屬於真蛇次亞目中未具特殊感熱構造之蛇類，在溫度感知上主要仰賴體表中的溫度感知受器，相較於具備唇窩或頰窩的蛇類，玉米蛇較無法精確偵測內溫獵物所釋放之熱源，因此在熱點選擇上，主要從環境溫度的變化作出反應

二、蛇類溫度選擇行為之相關研究(行為)

蛇類屬於外溫動物(ectotherm)，平時必須尋找環境熱源來提升體溫，才能維持正常的代謝

速率。若缺乏適當熱源，可能會造成代謝減慢或影響行為表現(杜銘章，2004)。我們初步整理幾篇於國內外有關於蛇類在溫度選擇上的研究，如表 2。

表 2 蛇類溫度選擇之相關研究(楊惠婷等，2005；林嘉貞，2000；Whitaker et al.，2000；Huey et al.，1989)

作者(年)	研究對象	環境條件	監控方式	主要發現概述
楊惠婷等 (2005)	鉤盲蛇 (<i>Ramphotyphlops sbraminus</i>)	於土壤中分 常溫區及暖 區	視覺觀察	•鉤盲蛇會選擇往溫度較高處 移動
林嘉貞 (2000)	菊池氏龜殼花 (<i>Pseudonaja textilis</i>)	於 5~40°C 溫度梯度 槽中	以植入溫度電 偶並連接溫度 記錄儀監控實 驗蛇的體溫	•菊池氏龜殼花於懷孕期偏好 溫度較高 •菊池氏龜殼花在不同季節偏 好溫度不同
Huey et al. (1989)	襪帶蛇 (<i>Thamnophis elegans</i>)	於野外不同厚 度岩石洞穴內	以植入無線溫 度發報器監控 實驗蛇的體溫	•在野外環境之下，襪帶蛇會 選擇厚度中等的岩石下躲 藏，因岩石厚度會 影響溫 度的穩定性

三、Arduino 超音波感測之原理及應用(科技)(慧手科技等，2001；趙英傑，2024)

(一)原理

Arduino 為一種開源微控制器平台，可與各類感測器結合進行資料蒐集與處理，廣泛應用於科學研究與科技產品的研發。

超音波感測器(Ultrasonic Sensor)主要透過聲波傳遞時間進行距離測量，其運作原理為：感測器發射高頻聲波(約 40 kHz)，當聲波遇到物體後反射回接收端(圖 4)，系統透過計算聲波從發射到接收的時間差，並結合聲速，即可推算物體與感測器之間的距離。

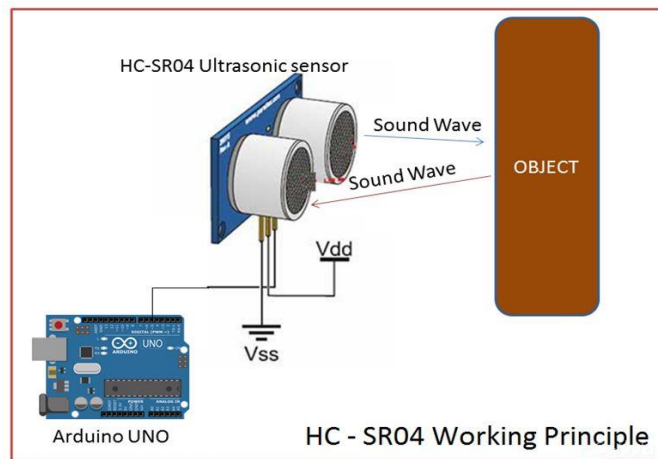


圖 4 超音波感測器原理示意圖

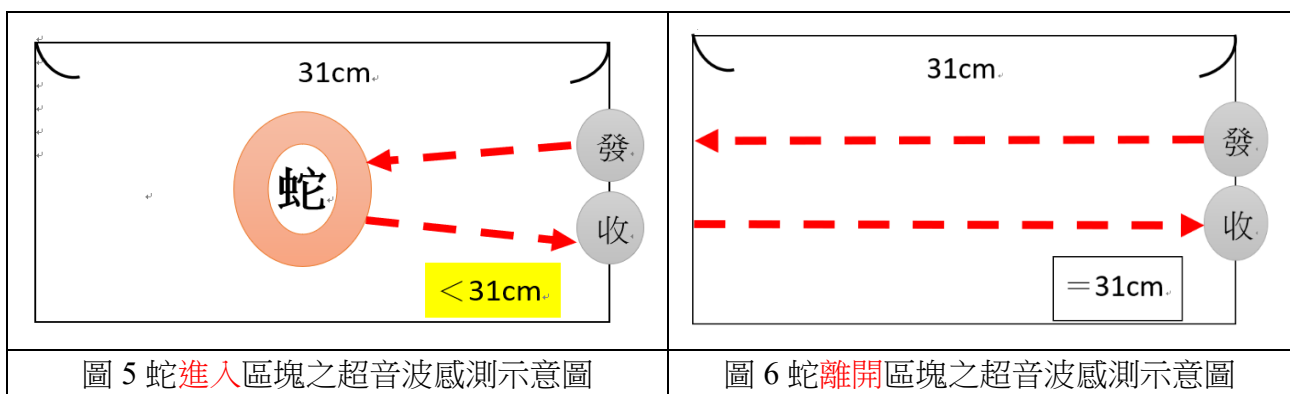
(圖片來源：<https://skw.cintakasihtzuchi.sch.id/2026/02/03/belajar-iot-berbasis-stem>)

(二)生活中應用

由於超音波感測器具有非接觸式量測、反應快速與成本低廉等優點，因此常被應用於距離量測、障礙物偵測與環境監測等用途。

(三)本研究之應用原理

本研究將 Arduino 超音波感測模組與溫度梯度槽結合，設計一套動物行為監測系統，用比較客觀的方式記錄實驗蛇在不同區塊停留的時間。我們把多個超音波感測器裝在溫度梯度槽外側，分別對應不同區域。當蛇進入某一區塊時，感測器所測得的距離會明顯縮短(圖 5)，當蛇離開時，距離則會增加(圖 6)。因此，我們透過距離變化判斷蛇是否位於該區域，並持續記錄各區域之累積停留時間。



(圖 5、圖 6 學生繪製)

參、研究設備與器材

一、實驗動物介紹與篩選

我們這次以玉米蛇(*Pantherophis guttatus*)為實驗對象。玉米蛇在五界法分類上為爬蟲綱(Reptilia)、有鱗目(Squamata)、遊蛇科(Colubridae)，在北美洲的郊區(森林、草原、農墾地等)尤為常見，以小型哺乳動物為主食(長板拓也，2002；杜銘章，2004)。本次實驗所選定之個體為 2025 年經由人工繁殖(Captive Bred)的玉米蛇幼體共五隻，親代源自 2021 年購自爬蟲專賣店-「蛇鼠一窩」。玉米蛇為常見之觀賞型寵物蛇，且未列入《華盛頓公約》(CITES)附錄物種，因此一般不需申請 CITES 相關輸入證明即可合法飼養。

在實驗前我們會確保蛇的健康情形避免在實驗上造成誤差，若發現蛇有體態或行為有異常情形(消瘦、拒食、下痢等)，則不納入本實驗對象，基本資料如圖 7 及表 3。

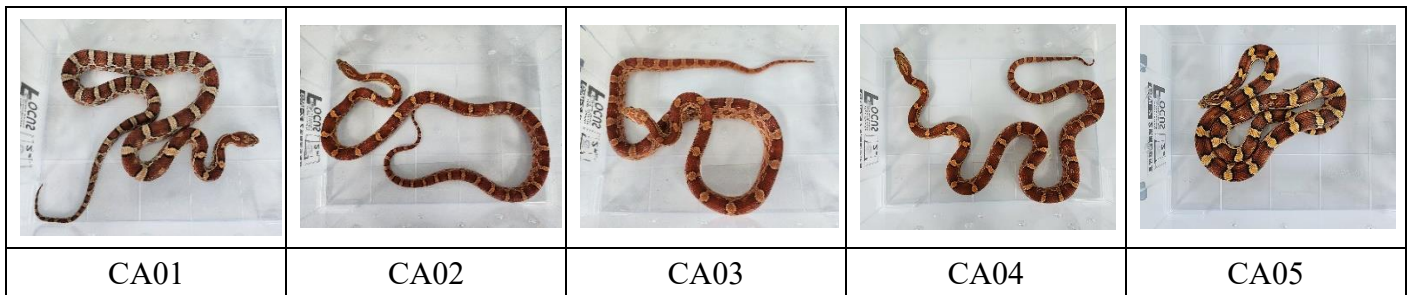


圖 7 本次實驗所選定的五隻玉米蛇樣本(學生拍攝)

表 3 實驗蛇基本資料

編號	玉米蛇品系	出生日期	性別	體長(cm)	體重(g)
CA01	原色	2025.08.02	雄	57	40
CA02	原色	2025.08.02	雌	55	38
CA03	原色	2025.08.23	雄	55	37.5
CA04	原色	2025.08.23	雄	53	33
CA05	原色	2025.08.23	雌	51	31

二、主要實驗器材與設備

本次實驗所使用的器材有筆記型電腦、超音波感測器(HC-SR04)、UNO 開發板、杜邦線、麵包板、USB 連接線、整理箱(K017；80.5×40.5×15cm)、海綿條、加熱片(8W/英尺)、控溫器(RC-112R)、核桃木屑、板岩、沙漠沙(Zoo med)、電子秤(TLO-5003)、溫控箱、紅外線測溫槍(FY580)、捲尺、布膠帶、鋁箔膠帶、蛇鉤、醫用手套等 (如圖 8)。

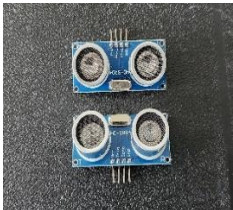
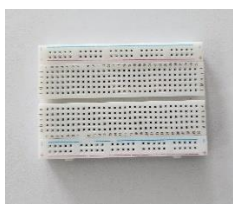
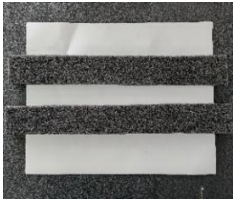
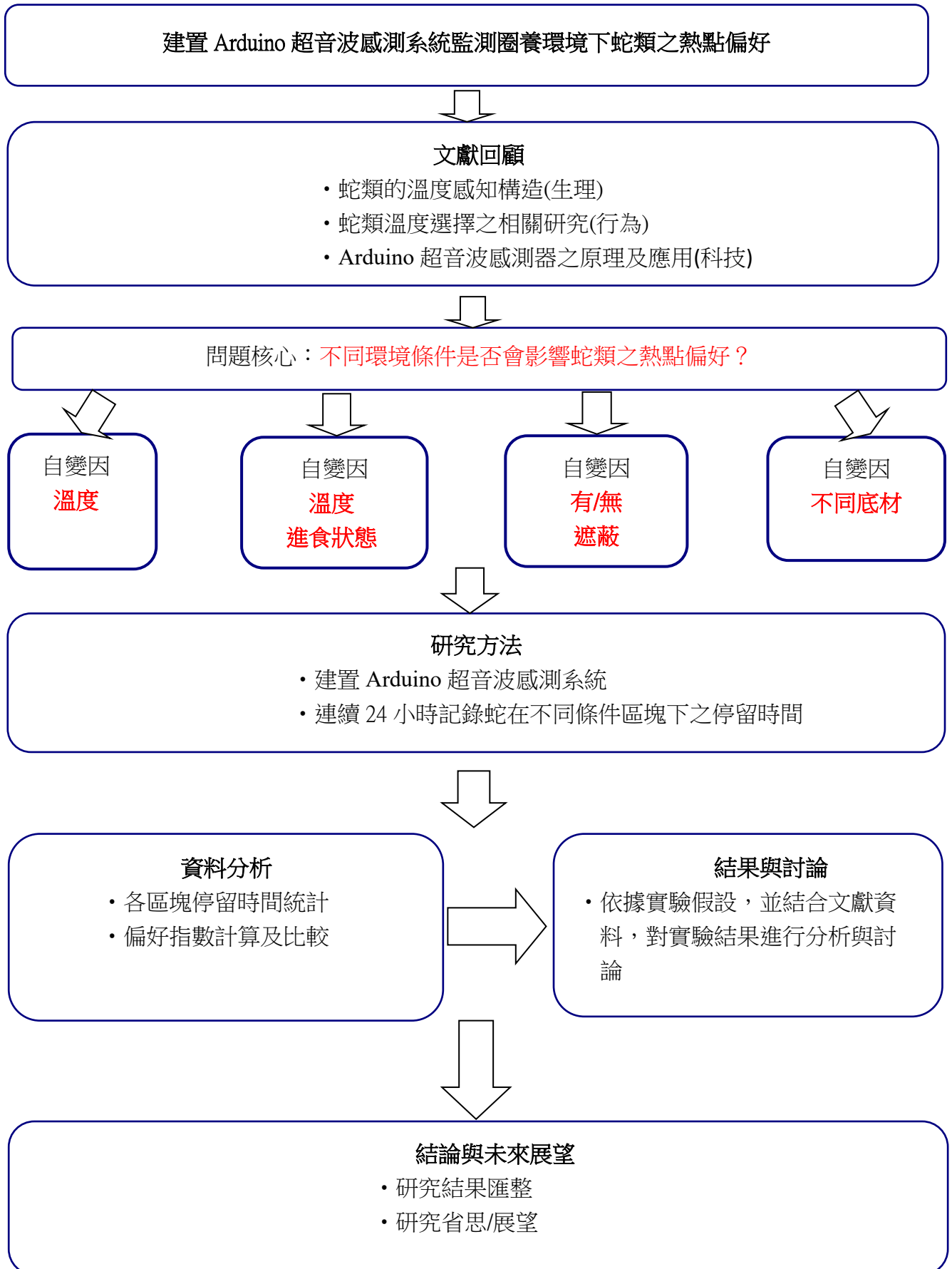
				
超音波感測器	UNO 開發板	杜邦線	麵包板	整理箱
				
海綿條	加熱片	控溫器	核桃木屑	板岩
				
沙漠沙	溫控箱	紅外線測溫槍	布、鋁箔膠帶	蛇鉤

圖 8 主要實驗設備與器材(學生拍攝)

三、數據統計

本研究以 Microsoft Excel 軟體進行實驗數據之建檔與統計。

肆、研究架構



伍、研究方法

一、溫度梯度槽的製作

(一)準備材料：整理箱、海綿條、布膠帶、鋁箔膠帶、加熱片、控溫器、紅外線測溫槍。

(二)步驟：

- 1.以海綿條將整理箱區隔為 A、B、C 三個區塊(21×31cm)，並以布膠帶將海綿條與整理箱之間的縫隙完全封閉，以防止實驗蛇鑽入縫隙躲藏。
- 2.將加熱片以鋁箔膠帶固定於溫度梯度槽外側底部，使各區塊受熱均勻，再將加熱片連接控溫器，以設定各區塊於實驗時所需之目標溫度。
- 3.實驗進行時，使用紅外線測溫槍測各區塊實際溫度，確認溫度分布符合實驗設定，若有溫差，則由控溫器端進行校正。



圖 9 溫度梯度槽的製作(老師、學生拍攝)

二、Arduino 超音波感測模組的組裝

(一)準備材料：Arduino Uno 開發板、超音波感測器×3、麵包板、杜邦線、熱熔膠。

(二)步驟

- 1.連接電源：將三個超音波感測器的電源腳位統一連接至 Arduino Uno 開發板，以提供穩定電源：

- VCC 接至 Arduino 5V(提供電力)
- GND 接至 Arduino GND(共地，確保電路穩定)

- 2.連接訊號腳位：為了讓 Arduino 能分辨不同區塊的超音波感測器，我們將三個感測

器分別接至不同的數位腳位：

- 感測器 1：Trig → D2，Echo → D3 (對應 A 區塊)
- 感測器 2：Trig → D4，Echo → D5 (對應 B 區塊)
- 感測器 3：Trig → D6，Echo → D7 (對應 C 區塊)

3.將各接點以熱熔膠加以固定，以避免鬆動影響實驗結果。



圖 10 Arduino 超音波感測模組的組裝(老師、學生拍攝)

三、Arduino 超音波感測系統的建置與測試

最後，我們將溫度梯度槽與 Arduino 超音波感測模組進行整合，建置一套超音波感測系統，用來記錄實驗蛇在各區塊(熱點)之停留時間。

(一)準備材料：上述所完成之溫度梯度槽及 Arduino 超音波感測模組。

(二)步驟：

- 1.將模組上三個超音波感測器分別對應槽中三個熱點區塊，並統一固定於槽體外圍(圖 11)。
- 2.使用布膠帶將超音波感測器與接點作固定，並確保三個感測器之高度與角度一致(圖 11)。
- 3.將筆記型電腦與 Arduino 超音波感測系統連接，啟動系統並輸入程式(圖 12)，測試各感測器是否能正常讀取距離，並以手動或置物遮擋方式確認偵測範圍與靈敏度。
- 4.將距離閾值設定為 31 cm，作為判斷蛇是否進入該區域之依據，當測得距離小於 31 cm 時，即判定蛇位於該區塊，並開始累積其停留時間(圖 5、圖 6)。

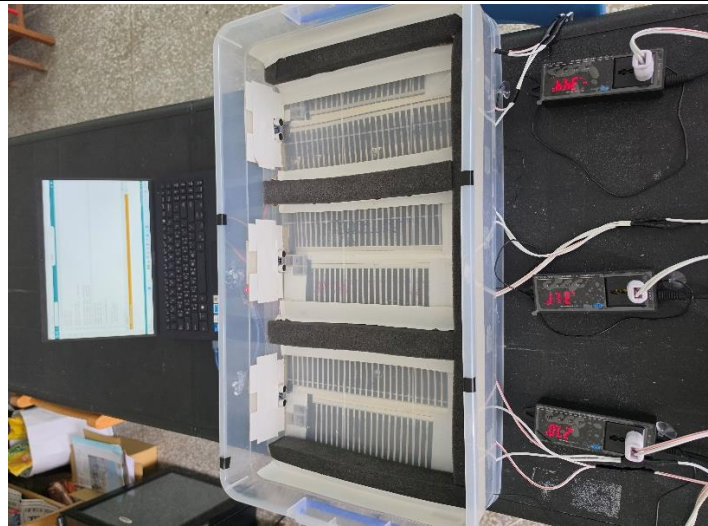


圖 11 Arduino 超音波感測系統(學生拍攝)

- 三個區塊同時監測(A/B/C 區)
- 距離小於 31cm 判定有蛇
- 進入區塊開始計時
- 累計各區停留時間
- 每秒顯示一次結果

```

ultrasonic3r11n1 | Arduino IDE 2.3.8
檔案 匯入(S) Sketch 工具 支援(H)
Arduino Nano

ultrasonic3r11n1
6 #define ECHO_B 5
7 #define TRIG_C 6
8 #define ECHO_C 7
9
10 #define MAX_DISTANCE 200
11 #define PRESENT_DISTANCE 29 // 判斷有沒有動物
12
13 NewPing sonarA(TRIG_A, ECHO_A, MAX_DISTANCE);
14 NewPing sonarB(TRIG_B, ECHO_B, MAX_DISTANCE);
15 NewPing sonarC(TRIG_C, ECHO_C, MAX_DISTANCE);
16
17 unsigned long timeA = 0;
18 unsigned long timeB = 0;
19 unsigned long timeC = 0;
20
21 unsigned long lastTime = 0;
22
23 void setup() {
24   Serial.begin(115200);
25 }
  
```

圖 12 程式需求與程式碼

四、各實驗進行方式

(一)研究項目一

1.實驗步驟

- (1)將溫度梯度槽透過控溫器分別設定為 20°C(低溫區)、30°C(中溫區)及 40°C(高溫區)三個熱點(表 4、圖 13)，並統一鋪上白紙作為底材。各熱點溫度以紅外線測溫槍量測為準，測量時與表面距離固定為 5 公分，以確保一致性。
- (2)實驗開始前，先將實驗蛇置於溫控箱中 24 小時(圖 13)，並將環境溫度設定為 14°C，使體溫降至低於室溫，以統一實驗起始條件。
- (3)實驗開始時，將蛇置於溫度梯度槽外圍之海綿條上(圖 13)，隨後蓋上槽蓋，靜置 15 分鐘讓蛇先適應環境。適應完成後，於 Arduino 系統輸入「S」開始計時，連續記錄 24 小時。實驗結束時輸入「P」停止感測，並統計蛇於三個熱點之累積停留時間(秒)。

(4)實驗時間自上午 9 時開始，至翌日上午 9 時結束，確保觀察期間涵蓋完整晝夜循環。本實驗於過程中避免人為干擾，並盡可能維持環境條件一致。

表 4 各區塊相關規格(變因：溫度)

槽編號(區塊)	底材種類	熱點面積(cm ²)	熱點溫度(°C)
A	白紙	651	20
B	白紙	651	30
C	白紙	651	40

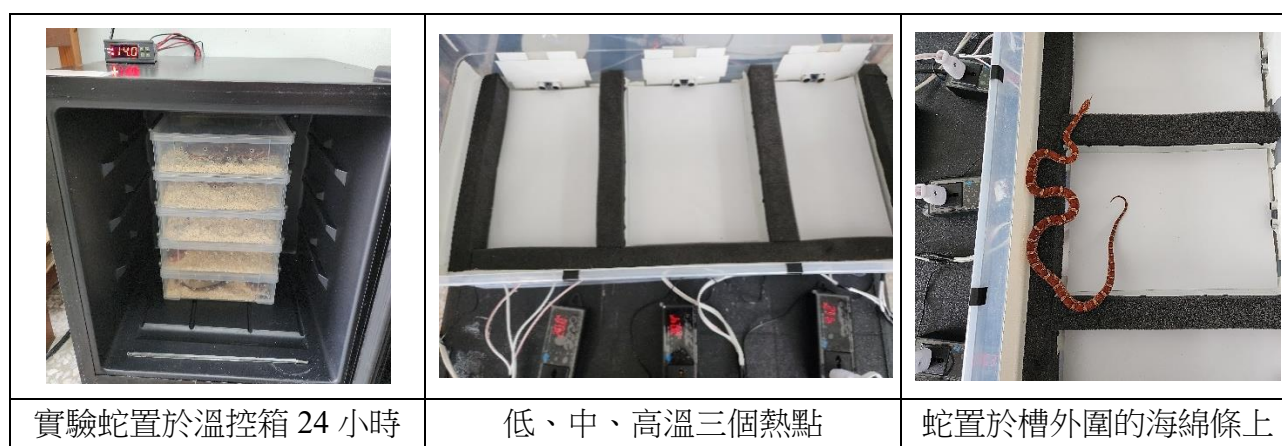


圖 13 實驗進行過程(學生拍攝)

(二)研究項目二

- 1.步驟一開始與研究項目一相同。將溫度梯度槽透過控溫器分別設定為 20°C(低溫區)、30°C(中溫區)及 40°C(高溫區)三個熱點。並先將實驗蛇置於 14°C 的溫控箱中 24 小時。
- 2.給蛇餵食約自身體重 20%(單位：公克)的冷凍食餌(小白鼠)，之後將蛇置於溫度梯度槽外圍之海綿條上，隨後蓋上槽蓋，靜置 15 分鐘讓蛇先適應環境。適應完成後，於 Arduino 系統輸入「S」開始計時，連續記錄 24 小時。實驗結束時輸入「P」停止感測，並統計進食後的蛇於三個熱點之累積停留時間(秒)。
- 3.實驗時間同樣自上午 9 時開始，至翌日上午 9 時結束。進行完實驗將蛇移至設有 30°C 熱點的飼養盒中讓牠完成消化。

(三) 研究項目三

- 1.本實驗以遮蔽條件之有無為主變因，所以僅使用溫度梯度槽中兩區塊，剩一區塊以海綿條填滿，避免蛇進入。

- 2.兩區塊熱點皆設定為 30°C，其中一區塊放上方以黑色瓦楞板覆蓋約二分之一作為「遮蔽區」，另一區塊無遮蔽為「開放區」(圖 14)。
- 3.實驗前將蛇置於 14°C溫控箱 24 小時。實驗開始時將蛇置於槽外圍海綿條上，靜置 15 分鐘適應環境後，輸入「S」開始記錄共 24 小時，結束時輸入「P」停止。實驗時間同樣自上午 9 時開始，至翌日上午 9 時結束。

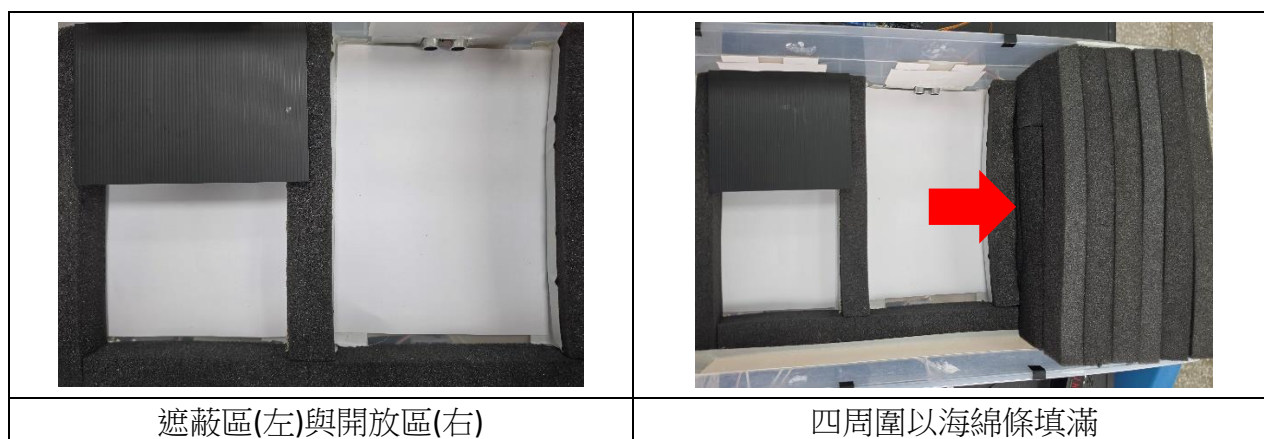


圖 14 實驗環境(學生拍攝)

(四) 研究項目四

- 1.將溫度梯度槽內的三個區塊，分別鋪設核桃木屑、板岩及沙漠沙，相關規格如表 5 所示。
- 2.將三個區塊之熱點溫度統一設定為 30°C，並每 20 分鐘使用紅外線測溫槍進行測量與記錄，直到各區塊溫度穩定達到 30°C為止。
- 3.實驗前，先將實驗蛇置於溫控箱中 24 小時，並將環境溫度設定為 14°C。之後將蛇置於溫度梯度槽外圍之海綿條上，蓋上槽蓋，靜置 15 分鐘以適應環境。適應完成後，於 Arduino 系統輸入「S」開始計時，連續記錄 24 小時。實驗結束時輸入「P」停止感測，並統計蛇於三個熱點之累積停留時間(秒)。
- 4.本實驗自上午 9 時開始，至翌日上午 9 時結束。

表 5 各區塊相關規格

槽編號(區塊)	底材種類	底材面積(cm ²)	底材厚度(cm)	熱點溫度(°C)
A	木屑	651	2	30
B	板岩	651	2	30
C	沙漠沙	651	2	30

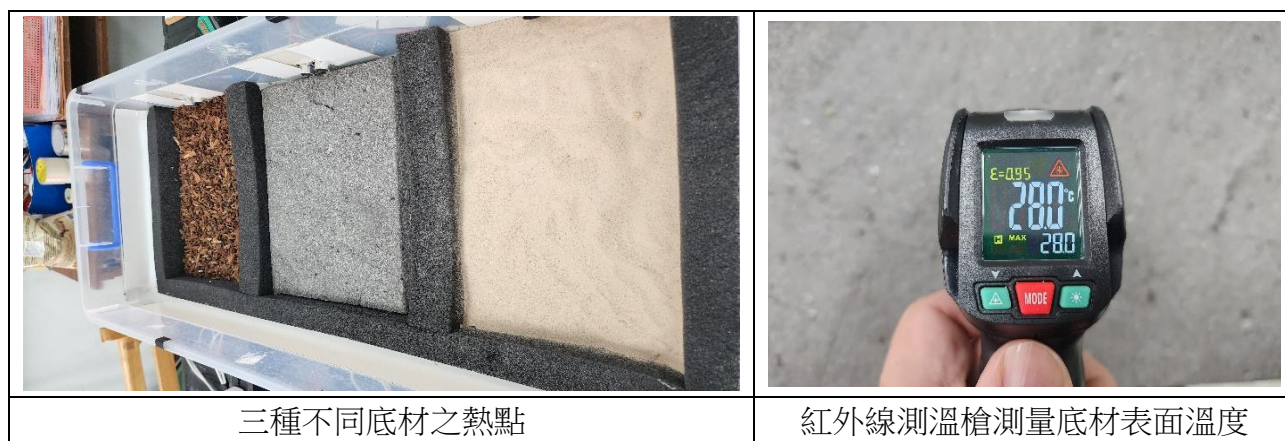


圖 15 實驗環境與過程(學生拍攝)

五、量化公式

(一) 熱點偏好指數(Preference Index)

本研究以停留時間作為偏好判斷依據，並以熱點偏好指數進行量化。其計算方式為各熱點停留時間占總停留時間之比率，偏好指數數值越高，表示蛇對該熱點的偏好程度越大。計算公式如下：

$$PI = \frac{T_i}{T_A + T_B + T_C} \times 100\%$$

備註：PI＝偏好指數(%)、 T_i ＝該區停留時間(秒)， T_A 、 T_B 、 T_C 分別代表三個熱點之停留時間(秒)。

(二)溫度達成率及升溫速率

主要應用於研究項目四，用以比較不同底材在相同加熱條件下之溫度表現。

1.溫度達成率：用來表示底材最終穩定溫度接近所設定熱點溫度的程度，計算公式如下：

$$RT(\%) = \frac{T_f}{T_s} \times 100\%$$

備註：RT＝溫度達成率(%)、 T_f ＝底材最終穩定溫度(°C)， T_s ＝設定熱點溫度(°C)

2.升溫速率：用來表示同樣加熱下，底材升溫的速度，計算公式如下：

$$VT = \frac{T_f - T_i}{t}$$

備註：VT＝升溫速率(°C/分)、 T_f ＝最終溫度(°C)、 T_i ＝初始溫度(°C)、 t ＝升溫所需時間(分)

陸、研究過程

一、研究項目一：蛇類於不同溫度梯度下之熱點偏好。

(一)實驗動機說明

研究發現，生活於台灣高海拔山區的菊池氏龜殼花，其體溫多維持在 15~18°C(林嘉貞，2000)，顯示蛇類會依棲地環境選擇適合自己的溫度。玉米蛇原產於北美洲溫帶地區，野外氣溫約介於 0~22°C，冬季甚至會進入冬眠(長板拓也，2002；維基百科)。而在圈養環境中，通常建議將熱點溫度控制在 25~30°C(長板拓也，2002)。綜合上述，玉米蛇的原棲地與圈養條件之間存在溫度落差。在我們圈養的環境下，玉米蛇實際會偏好哪一熱點溫度？本研究將進一步探討。

(二)實驗假設

在本實驗中設定的三個溫度梯度之下(20°C、30°C、40°C)，推測「玉米蛇最偏好 30°C 熱點，其次為 20°C，而對 40°C 的偏好較低」。

(三)結果

本研究比較玉米蛇在不同溫度梯度(20°C、30°C、40°C)下之熱點偏好，結果如表 6、7 與圖 16 所示。我們發現，玉米蛇對 30°C 熱點之平均偏好指數最高(58.7%±11.2%)。其次為 20°C 熱點(27.7%±9.2%)，而 40°C 熱點之偏好最低(13.6%±5.3%)。

進一步觀察各樣本(CA01~CA05)之表現，可以發現五隻玉米蛇在 30°C 條件下皆呈現較高的偏好指數(介於 45.5%~73.8%之間)。相較於 40°C 條件下，各樣本之偏好指數皆偏低(4.5%~17.9%)，顯示高溫環境較不受玉米蛇所偏好。

表 6 玉米蛇於不同溫度梯度熱點下之停留時間(秒)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均值	標準差
20°C熱點	22201	19897	29058	14698	9968	19164	7282.9
30°C熱點	42578	33589	32697	49897	40211	39794	7051.0
40°C熱點	11205	10602	10236	3058	10972	9215	3461.3

表 7 玉米蛇於不同溫度梯度熱點下之偏好指數(%)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均偏好指數	標準差
20°C熱點	29.2	31	40.4	21.7	16.3	27.7	9.2
30°C熱點	56	52.4	45.5	73.8	65.8	58.7	11.2
40°C熱點	15	16.5	14.2	4.5	17.9	13.6	5.3

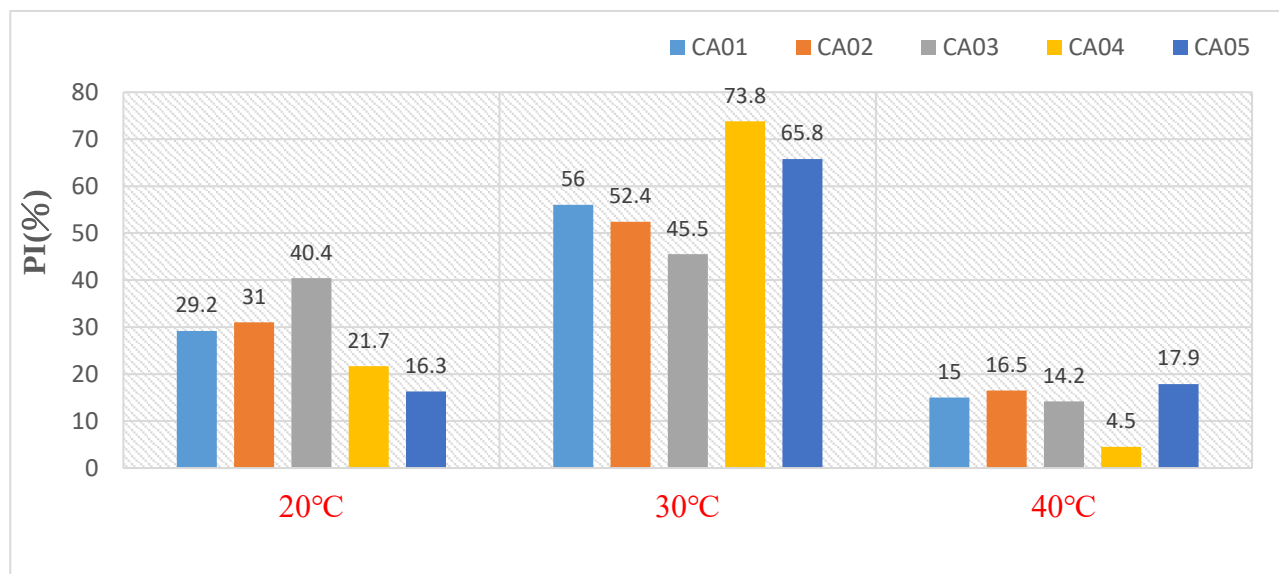


圖 16 玉米蛇(N=5)於不同溫度梯度熱點下之偏好指數(長條圖)

(四)討論

本實驗結果與實驗前假設相符合。我們推測「玉米蛇最偏好 30°C熱點，其次為 20°C，而對 40°C的偏好較低」。由於本實驗於冷季(一月至二月)進行，環境溫度約在 18~23°C，接近 20°C熱點，因此玉米蛇在 20°C熱點仍有一些停留，但偏好不明顯。相較之下，30°C應較符合提升體溫所需溫度，因此停留時間最多而偏好指數較高。40°C可能已超出玉米蛇所能接受範圍，因此普遍呈現迴避。

二、研究項目二：蛇類進食後於不同溫度梯度下之熱點偏好。

(一)實驗動機說明

我們在前研究有觀察到，玉米蛇在吃完東西後，會比較常待在約 30°C的熱點上，推測這可能和消化過程需要較高溫度有關。不過，當時的觀察只有在單一溫度(30°C)條件，還不

知若同時提供不同溫度，牠是否仍會做出相同的選擇？因此，我們想設計三種不同溫度的熱點，分別觀察玉米蛇在進食後的停留時間，進一步了解進食後是否會影響熱點偏好。

(二)實驗假設

本研究假設，玉米蛇在進食後的第一天，「因初步消化需要較高溫度，可能會偏好較高溫的 40°C 熱點」。

(三)結果

本研究探討玉米蛇在進食後於不同溫度梯度(20°C、30°C、40°C)下的熱點偏好，結果如表 8、9 與圖 17 所示。從結果可以看出，玉米蛇在進食後最偏好在 30°C 的熱點，平均偏好指數最高(69.8%±21.1%)。相較之下，20°C 的平均偏好指數明顯較低(20.4%±17%)。至於 40°C 的平均偏好指數是三者之中最低的(9.8%±4.3%)。每一隻蛇對於 40°C 的數值都不高(4%~13.4%)，顯示此溫度對於進食後的玉米蛇來說也可能過高。

表 8 玉米蛇進食後於不同溫度梯度熱點下之停留時間(秒)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均停留時間	標準差
20°C熱點	12236	4097	20985	2698	19952	11994	8558.7
30°C熱點	49850	68963	22697	69897	30211	48324	21670.9
40°C熱點	7052	5602	7236	3058	7770	6144	1902.5

表 9 玉米蛇進食後於不同溫度梯度熱點下之偏好指數(%)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均偏好指數	標準差
20°C熱點	17.7	5.2	41.2	3.6	34.4	20.4	17.0
30°C熱點	72.0	87.7	44.6	92.4	52.1	69.8	21.1
40°C熱點	10.0	7.1	14.2	4.0	13.4	9.8	4.3

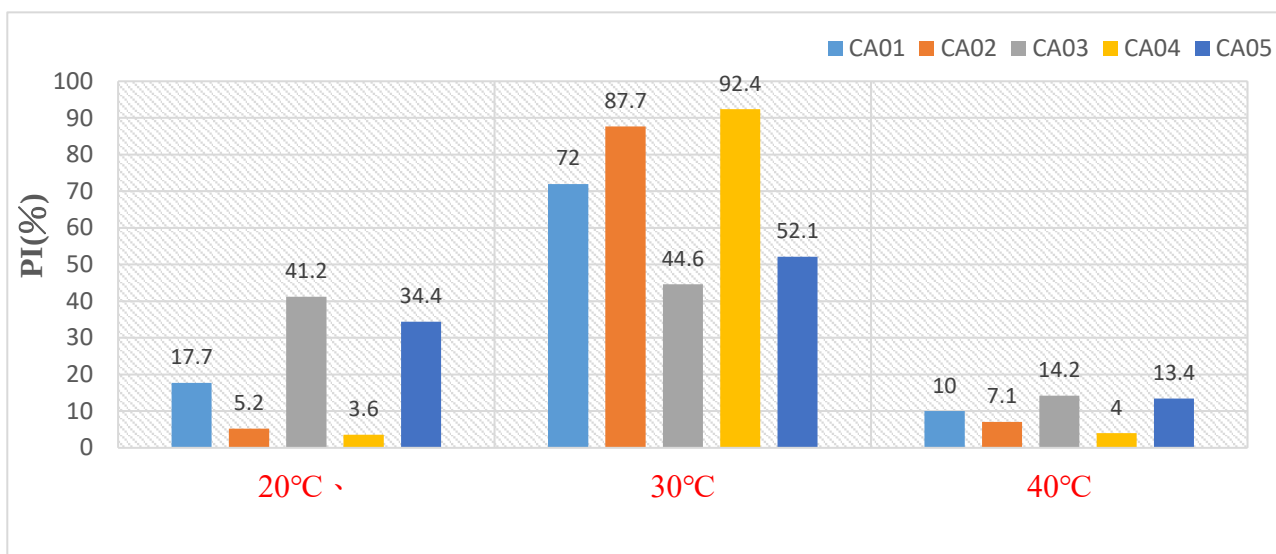


圖 17 玉米蛇(N=5)進食後於不同溫度梯度熱點下之偏好指數(長條圖)

(四)討論

最後，我們比較未進食(研究項目一)與進食後(研究項目二)的結果(圖 18)，可發現玉米蛇在兩種情況下皆最偏好 30°C 熱點，顯示此溫度為其主要偏好溫度。進一步比較可知，進食後玉米蛇對 30°C 熱點之偏好明顯提高（由 58.7% 上升至 69.8%），顯示其停留時間增加，推測可能與消化過程需維持較高體溫有關。以上結果為描述性分析，未來或許可透過統計檢定來進一步驗證差異之顯著性。

實驗前我們推測「因初步消化需要較高溫度，可能會偏好較高溫的 40°C 熱點」，但實驗結果顯示，玉米蛇實際上最偏好 30°C，在進食後並未偏好更高溫的 40°C。

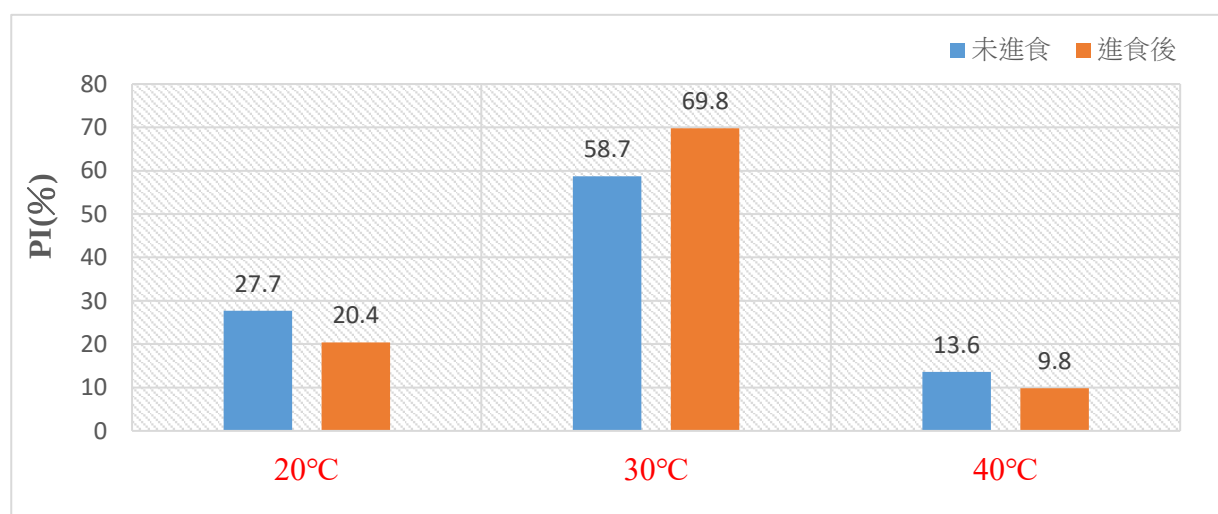


圖 18 比較玉米蛇未進食和進食後於不同溫度梯度熱點之平均偏好指數(長條圖)

三、研究項目三：遮蔽條件對蛇類熱點偏好之影響。

(一)實驗動機說明

在實驗蛇的飼育過程中，我們觀察到玉米蛇具有躲避行為，常會停留於遮蔽物內。因此，本研究以遮蔽的有無作為主要變因，設計「遮蔽區」與「開放區」兩種情境，並將兩區熱點皆控制在 30°C，觀察蛇在不同條件熱點的停留情形，以探討在遮蔽條件下是否會影響到熱點偏好。

(二)實驗假設

在相同溫度條件下，「玉米蛇較偏好停留於遮蔽區之熱點」，選擇遮蔽區熱點的偏好指數預期會高於開放區。

(三)結果

本研究比較玉米蛇在遮蔽區與開放區下之熱點偏好，結果如表 10、11 與圖 19 所示。在兩種條件下，玉米蛇對遮蔽區熱點之平均偏好指數較高(56.6%±22.2%)，顯示玉米蛇較傾向停留於有遮蔽的熱點。相較之下，開放區熱點之平均偏好指數為 44.4%±22.2%，相較之下略低。

進一步觀察各樣本(CA01~CA05)之表現，可發現不同個體之偏好具有差異。

CA01~CA03 在遮蔽區之偏好指數較高(59%~79%)，而 CA04 與 CA05 則在開放區之偏好指數較高(60.3%~73.4%)，顯示個體間可能存有不同的熱點偏好行為。

表 10 玉米蛇於遮蔽區與開放區熱點下之停留時間(秒)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均停留時間	標準差
遮蔽區	45287	35967	29874	12598	19875	28720	12908.0
開放區	12036	12986	20756	34780	30177	22147	10150.9

表 11 玉米蛇於遮蔽區與開放區熱點下之偏好指數(%)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均偏好指數	標準差
遮蔽區	79.0	73.5	59.0	26.6	39.7	55.6	22.2
開放區	21.0	26.5	41.0	73.4	60.3	44.4	22.2

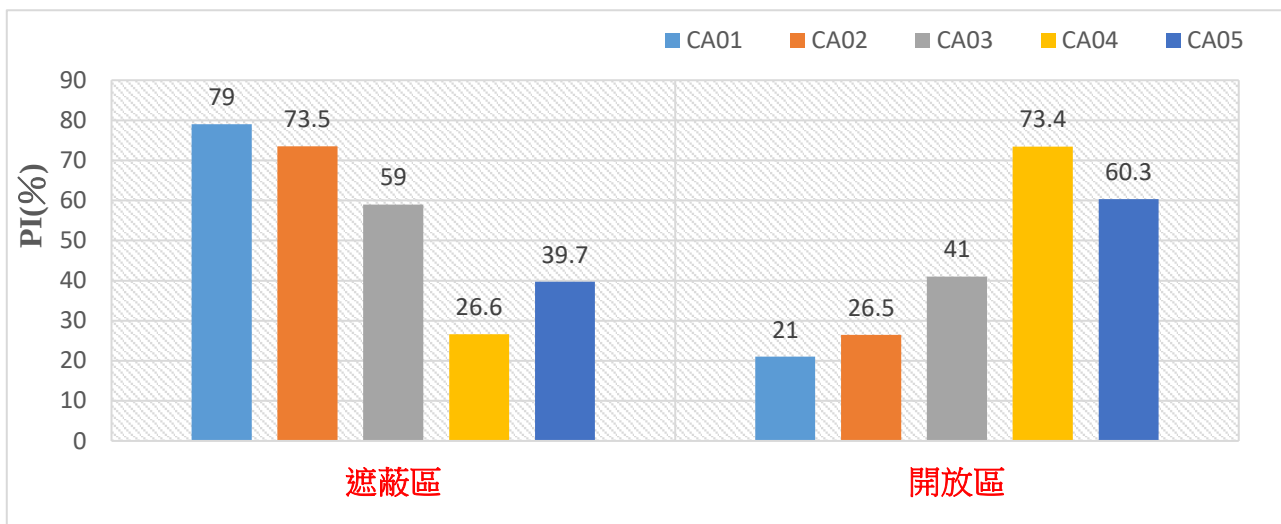


圖 19 玉米蛇(N=5)於遮蔽區與開放區熱點下之偏好指數(長條圖)

(四)討論

- 1.本研究結果大致與實驗假設相符。我們原本推測「玉米蛇較偏好停留於遮蔽區之熱點」，而結果顯示遮蔽區之平均偏好高於開放區，顯示玉米蛇整體上仍傾向偏好有遮蔽的熱點。
- 2.玉米蛇在遮蔽區與開放區的平均偏好指數兩者差異不大，且個體之間出現明顯差異，由此可知並非所有玉米蛇皆一致偏好遮蔽區熱點，原因可能與個體行為或活動時間有關，例如部分玉米蛇在夜間較活躍，可能會增加在開放區的停留時間。日後或許可以分日、夜間時段偵測再進行比較。

四、研究項目四：不同底材條件下，蛇類於熱點偏好之比較。

(一)實驗動機說明

在文獻中指出，襪帶蛇於野外環境中偏好選擇厚度適中的岩石下方躲藏，顯示周遭環境的物理性質(如厚度與導熱性)會影響溫度的穩定性，進而影響蛇類的選擇偏好(Huey *et al.*, 1989)。在圈養環境中，常見的蛇類飼養底材包含各式木屑、沙及岩石等，其物理特性(溫度等)都不相同，是否會影響蛇類對熱點的選擇偏好？我們想藉由本實驗進一步探討。

(二)實驗假設

我們推測，「玉米蛇對於傳熱效率較高的底材會有較高的熱點偏好」。

(三)結果

1.不同底材之物理特性比較：

關於本實驗所用的三種底材，於加熱過程及溫度測量結果如表 12 及圖 20 所示：

(1)在三種底材中，沙漠沙之溫度達成率最高(100%)，板岩次之(99%)，木屑最低(96.3%)。

(2)在升溫速率上，木屑最高(0.0142°C/分)，沙漠沙次之(0.012°C/分)，板岩最低(0.01°C/分)，顯示不同底材的升溫速率有所差異。

(3)綜合上述結果可知，木屑雖升溫較快但溫度達成率較低，而沙漠沙與板岩升溫較慢，但溫度達成率較高。

表 12 三種不同底材之物理特性比較

條件	熱點設定 溫度(°C)	底材表面 初溫(°C)	溫度達成 (°C)	溫度達成 率(%)	達成時間 (分)	升溫速率 (°C/分)
木屑	30	27.2	28.9	96.3	120	0.0142
板岩	30	27.7	29.7	99	200	0.01
沙漠沙	30	27.8	30.2	100	200	0.012

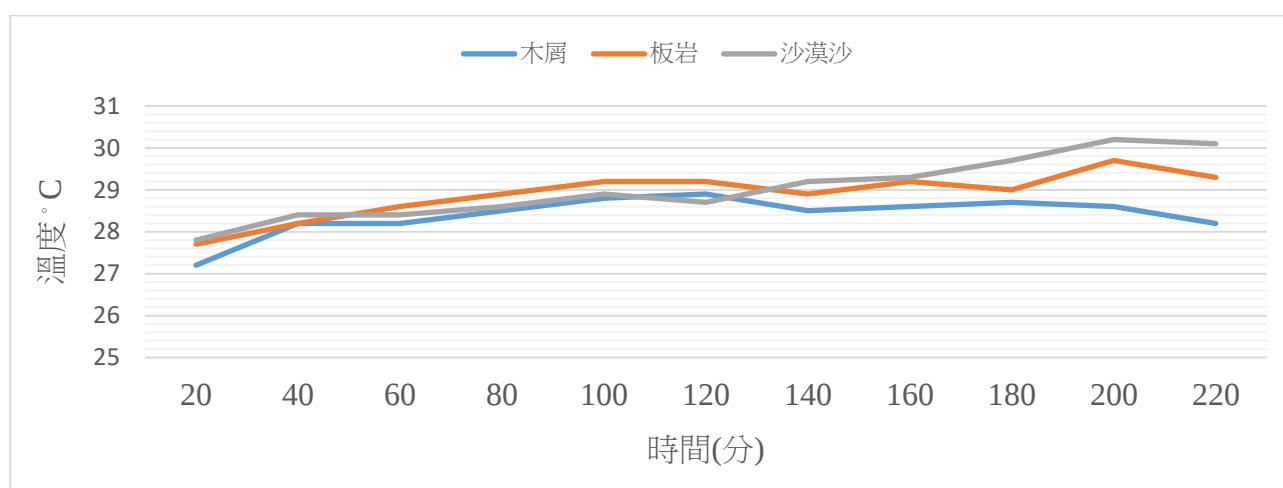


圖 20 三種底材溫度隨時間變化之折線圖

2.不同底材之熱點偏好

本研究比較玉米蛇在不同底材(木屑、板岩、沙漠沙)下之熱點偏好程度，結果如表 13、14 與圖 21 所示。玉米蛇對於鋪設木屑熱點之平均偏好指數最高(84.9%±6.1%)，其次

為板岩(14.8%±6.3%)，而沙漠沙之偏好最低(0.3%±0.2%)。

進一步觀察各樣本(CA01~CA05)之表現，可發現五隻玉米蛇在木屑熱點下皆呈現明顯較高的偏好指數(介於 76.8%~93.5%之間)。而在板岩熱點下，各個體之偏好指數皆偏低(5.9%~23.1%)，而在沙漠沙條件下則幾乎無停留行為(0~0.7%)，顯示玉米蛇對鋪設沙漠沙之熱點偏好程度極低。

表 13 玉米蛇於不同底材熱點下之停留時間(秒)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均停留時間	標準差
木屑	65265	44256	55632	56987	66689	57765.8	8993.6
板岩	14282	13289	8652	3569	10687	10095.8	4264.8
沙漠沙	78	101	187	401	336	220.6	142.9

表 14 玉米蛇於不同底材熱點下之偏好指數(%)

條件	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	平均偏好指數	標準差
木屑	82	76.8	86.3	93.5	85.8	84.9	6.1
板岩	18	23.1	13.4	5.9	13.8	14.8	6.3
沙漠沙	<1	0.2	0.3	0.7	0.4	0.3	0.2

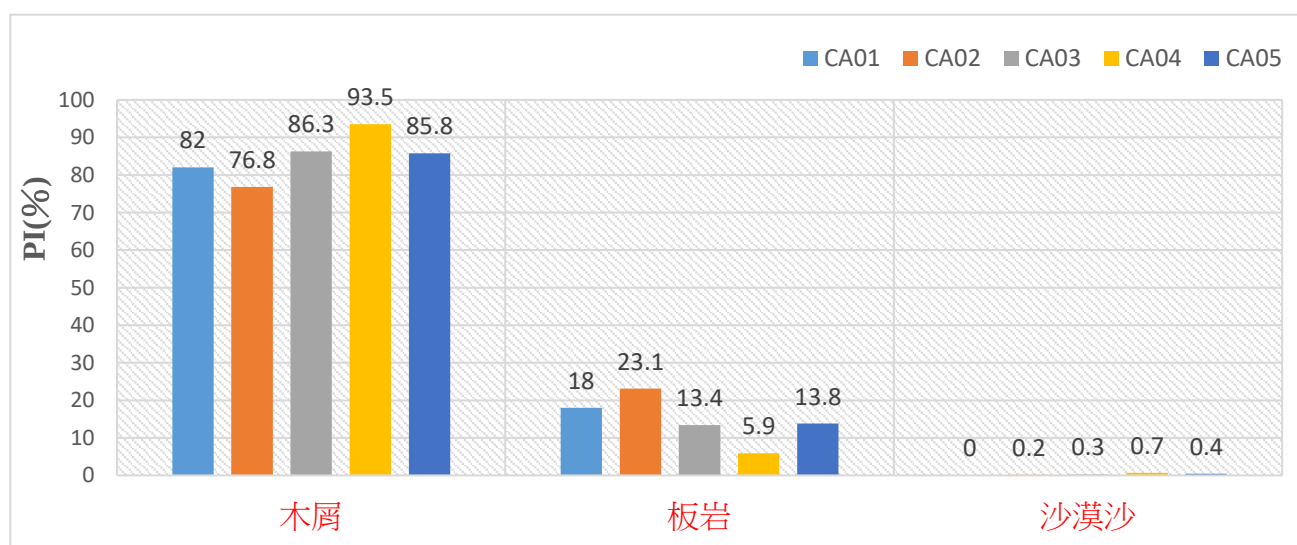


圖 21 玉米蛇(N=5)於不同底材熱點下之偏好指數(長條圖)

(四)討論

- 1.雖然板岩與沙漠沙在實驗中我們觀察到具有較高的溫度達成表現，但結果顯示玉米蛇仍明顯偏好木屑底材，我們認為可能與木屑具有較佳的躲藏性與舒適性有關，因此更符合玉米蛇的行為需求。
- 2.玉米蛇在野外多棲息於森林與農墾地等環境(長板拓也，2002；杜銘章，2004)，該環境地表可能常覆蓋落葉或鬆軟土壤，與木屑底材的特性相似，因此玉米蛇的接受度可能較高。
- 3.本研究原先假設「玉米蛇對於傳熱效率較高的底材可能有較高的熱點偏好」，但實驗結果並未支持此假設。從此我們可以知道玉米蛇在選擇熱點時，不僅考量溫度條件，也會受其它需求所影響。

柒、結論與未來展望

一、結論

- (一)玉米蛇屬於無特殊感熱器官之蛇類，主要透過體表感熱受器來感知環境溫度。
- (二)在不同溫度梯度下，玉米蛇最偏好 30°C 熱點，其次為 20°C，而對 40°C 熱點之偏好最低。
- (三)在進食後，玉米蛇對 30°C 熱點之偏好明顯提高，顯示會因消化需求而更集中停留於該熱點。
- (四)在遮蔽條件有無之條件下，玉米蛇較偏好停留於有遮蔽之熱點，推測是因環境安全感而影響熱點偏好。
- (五)在不同底材條件下，玉米蛇明顯偏好木屑底材，顯示在選擇熱點時，除溫度外，亦會受到原棲地特性與需求之影響。

二、未來展望

最後，我們將這次的研究方法與前人的研究作比較(表 15)。前研究大多會將溫度感測器(溫度電偶、無線溫度發報器)植入蛇的體內直接量測蛇的體溫，雖然很準確，但此方法對我

們來說較為困難，也可能會傷害到蛇，且較不適合在學校進行。因此，我們改用 Arduino 超音波感測系統，透過記錄蛇在不同熱點停留的時間，來推測蛇對熱點偏好行為。由於這兩種方法在做法和使用上有所差異，所以我們進一步做比較，看看各自的優點與限制。

表 15 植入式溫度感測器與 Arduino 超音波感測系統之比較表

比較面相	植入式溫度感測器	Arduino 超音波感測系統
測量內容	可測得核心體溫	記錄在熱點停留時間
準確性	直接測得體溫(高)	間接推論(透過熱點選擇)
對蛇的影響	侵入性植入(高)	非侵入性(低)
技術門檻	需醫療和專業設備(高)	學生尚可操作(中)
成本	高	低
實驗風險	有感染或手術風險	幾乎無風險
學習價值	學術研究	跨領域學習(生物+科技)

我們採用的方法雖然無法直接量測蛇類核心體溫，在準確性上可能有所限制，但在動物福利、操作與學習上則較為優勢。未來若能結合非侵入式溫度感測技術，將可進一步提升研究的準確性。

捌、參考文獻

一、書籍

1. Chris Mattison。(2000)。蛇類圖鑑。貓頭鷹出版社。台北。
2. 慧手科技、徐瑞茂、林聖修。(2001)。Arduino 智慧生活基礎應用-使用圖控
motoBlockly 程式語言。台科大。台北。
3. 長板拓也。(2002)。爬蟲類兩棲類 800 種圖鑑。展新文化事業股份有限公司。臺北。
4. 杜銘章。(2004)。蛇類大驚奇。遠流出版社。臺北。
5. 趙英傑。(2024)。超圖解 Arduino 互動設計入門第五版。旗標科技。台北

二、文獻與期刊

- 1.林嘉貞。2000。菊池氏龜殼花(*Trimeresurus gracilis*)溫度選擇行為之研究。國立台灣師範大學生命科學研究所碩士論文。台北。
- 2.楊惠婷、尤詩維、周慧、林家宏。(2005)。鉤盲蛇(*Ramphotyphlops braminus*)行為探奇。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 3.Huey, R. B.; Peterson, C. R.; Arnold, S. J.; Porter, W. P. 1989. Hot rocks and not-so-hot rocks: retreat-site selection by garter snakes and its thermal consequences. *Ecology*. 70(4): 931-944.

三、網站

- 1.維基百科：溫帶

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B8%A9%E5%B8%A6>

- 2.維基百科：鰓窩

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A0%B0%E7%AA%A9>