花蓮縣第 65 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：光與色的交織－色素缺乏對玉米蛇的形態與行為之影響

關鍵詞：玉米蛇、色素、行為

編　　號：

目錄

摘要 1

壹、前言 1

一、研究動機 1

二、研究項目 1

三、研究程序 2

貳、研究設備與器材 2

一、實驗動物介紹 2

二、主要實驗器材與設備 3

三、數據統計分析 4

參、研究架構 5

肆、研究過程 6

一、研究項目一：色素缺乏玉米蛇的形態特徵與遺傳。 6

二、研究項目二：色素缺乏玉米蛇之成長率。 12

三、研究項目三：可見光與不可見光對色素缺乏玉米蛇的避光程度。 15

四、研究項目四：不同光照條件是否會對玉米蛇的進食行為產生影響。 19

五、研究項目五：在不同熱源下，玉米蛇對熱點的選擇偏好。 23

伍、結論與未來展望 26

一、結論 26

二、未來展望 26

陸、參考文獻 27

附件一 28

附件二 29

摘要

本研究針對五種不同品系的玉米蛇在形態、遺傳、成長及行為上進行觀察與實驗。首先，透過文獻查閱，我們了解到玉米蛇是因基因突變導致色素缺乏，從而表現出多樣的外觀與特徵，並依孟德爾遺傳學說遺傳至後代。在四個月的成長觀察顯示，海波與白化的玉米蛇在體重與體長的成長率明顯高於其它品系，碳黑與超白化玉米蛇的成長率則相對緩慢。在避光行為方面，白化玉米蛇於全光譜與 UV 光照下表現出偏高的避光程度。而在紅光、藍光、綠光與紅外線光照下，各品系之間的避光程度差異較小，顯示玉米蛇對這四種光有一定的適應性。在進食行為的觀察中發現，玉米蛇在無光照條件下的進食率最高且反應時間最短，當光線以正面角度照射時將呈現明顯的干擾，進食率隨之下降。最後，玉米蛇於進食後在熱點選擇上，玉米蛇偏好選擇無光熱點，尤其是透過傳導方式傳熱的加熱片，推測其原因可能與加熱片能快速提升核心體溫有關。

壹、前言

一、研究動機

今年是十二生肖中的蛇年，老師不僅向我們宣導對蛇類應有的正確觀念，還特地帶來他飼養的寵物蛇來讓我們觀察與認識。在觀察的過程中，我們發現：「玉米蛇的體色變化多樣，有褐色、紅色、白色等」、「蛇似乎喜歡躲進黑暗的躲避屋內？」、「如果正常的蛇和有白化的蛇交配，牠們的子代會生出什麼？」。基於這些問題，啟發了我們對蛇類的表現與行為產生好奇，因此決定以蛇為研究對象，透過進一步的探究，來解答我們心中的疑問。

本次的專題研究與國小教學單元相連結的有：自然課本五年級上學期第一單元「動物世界」及第二單元「探索聲光世界」。

二、研究項目

本次實驗我們以玉米蛇(*Pantherophis guttatus*)為研究對象，以色素缺乏表現的四種品系作為實驗組，品系的中文名稱分別為：白化(缺乏黑色素)、海波(黑色素減少 A 型)、碳黑(缺乏紅色素)、超白化(黑色素減少)，原色(正常)作為對照組，樣本數為各五隻(圖 1)。透過觀察、文獻查閱、實驗三個層面來進行研究，主要想探討的項目共有五項：

(一)色素缺乏玉米蛇的形態特徵與遺傳。

(二)色素缺乏玉米蛇之成長率。

(三)色素缺乏玉米蛇對可見光與不可見光的避光程度。

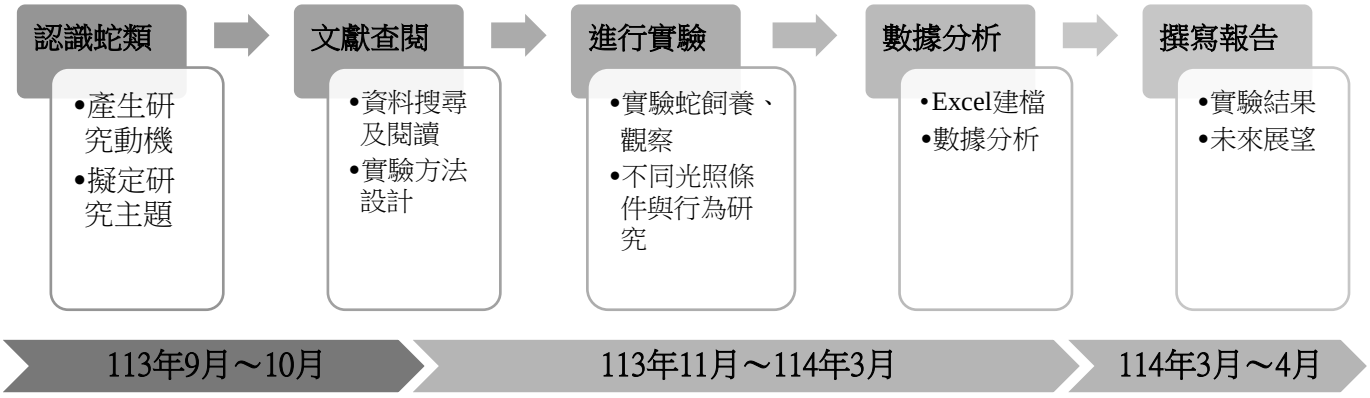
(四)不同光照條件是否對玉米蛇的進食行為產生影響。

(五)在不同熱源下，玉米蛇對熱點的選擇偏好。

白化	海波	碳黑	超白化	原色
實驗組(N＝5)				對照組(N＝5)

圖 1 實驗組與對照組

三、研究程序



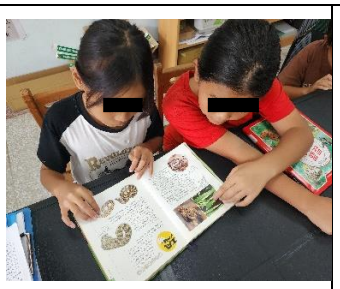
			
認識蛇類	文獻查閱	實驗操作	數據統計

圖 2 研究過程

貳、研究設備與器材

一、實驗動物介紹

這次所研究的對象為玉米蛇(*Pantherophis guttatus*)。玉米蛇在分類上屬於爬蟲綱(Reptilia)、有鱗目(Squamata)、遊蛇科(Colubridae)。原產於北美洲，在當地的森林、草原、農

墾地十分常見，以小型哺乳動物為主食。本次實驗所選定的個體為 2024 年經由人工繁殖(Captive Bred)的玉米蛇幼體(圖 3)，其親代源自 2021 年購自爬蟲專賣店-「蛇鼠一窩」。因玉米蛇非 CITES(華盛頓公約，又稱瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約)中之附錄物種，一般不需要 CITES 證明即可合法飼養。

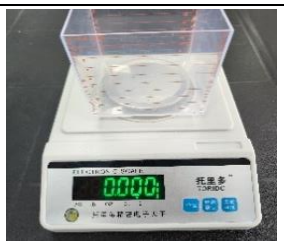
在實驗前我們會進行健康個體的篩選，以目視來觀察蛇的健康狀態，若蛇的體態消瘦、拒食、下痢、有呼吸道感染或行為異常，則不予用來實驗。另外，在實驗前我們會確保每隻蛇在飼養環境中能主動進食至少五次，以確認蛇能適應環境，避免有緊迫情形而影響實驗。

人工繁殖(卵生)	實驗蛇的飼養空間

圖 3 實驗蛇的繁殖與飼養

二、主要實驗器材與設備

本次實驗的器材主要有玻璃飼養箱(50×30×25cm)、手機(POCO F6)、三腳架、單眼相機(Nikon D5600)、整理箱(120×40×22cm)、飼養盒(28×14×14cm)、蛇鉤、醫用手套、光度計(WT81)、直尺、量角器、電子秤(TLO-5003)、紅外線測溫槍(AHOYE)、全光譜 UL 燈管(ZOOMED)、紅、藍、綠光 LED 燈泡、紅、藍、綠光 LED 燈管、UV 黑燈管、紅外線發光模組、紅外線加熱燈泡(25W)、加熱片(8W/英尺)、陶瓷加熱器(25W)、陶瓷燈罩、鋁箔紙、金屬反光片(如圖 4)，燈具的相關規格如表 1。



玻璃飼養箱	單眼相機	光度計	電子秤

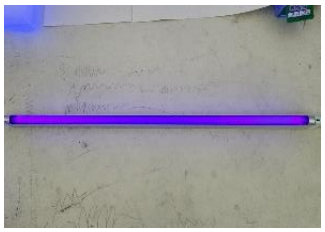
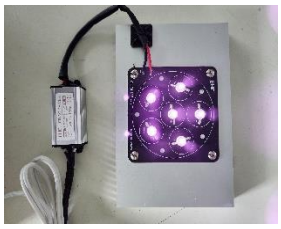
紅外線測溫槍	全光譜 UL 燈管	紅、藍、綠 LED 燈泡	紅、藍、綠 LED 燈管
			
UV 黑燈管	紅外線發光模組	紅外線加熱燈泡	加熱片
陶瓷加熱器	陶瓷燈罩	鋁箔紙	金屬反光片

圖 4 實驗設備與器材

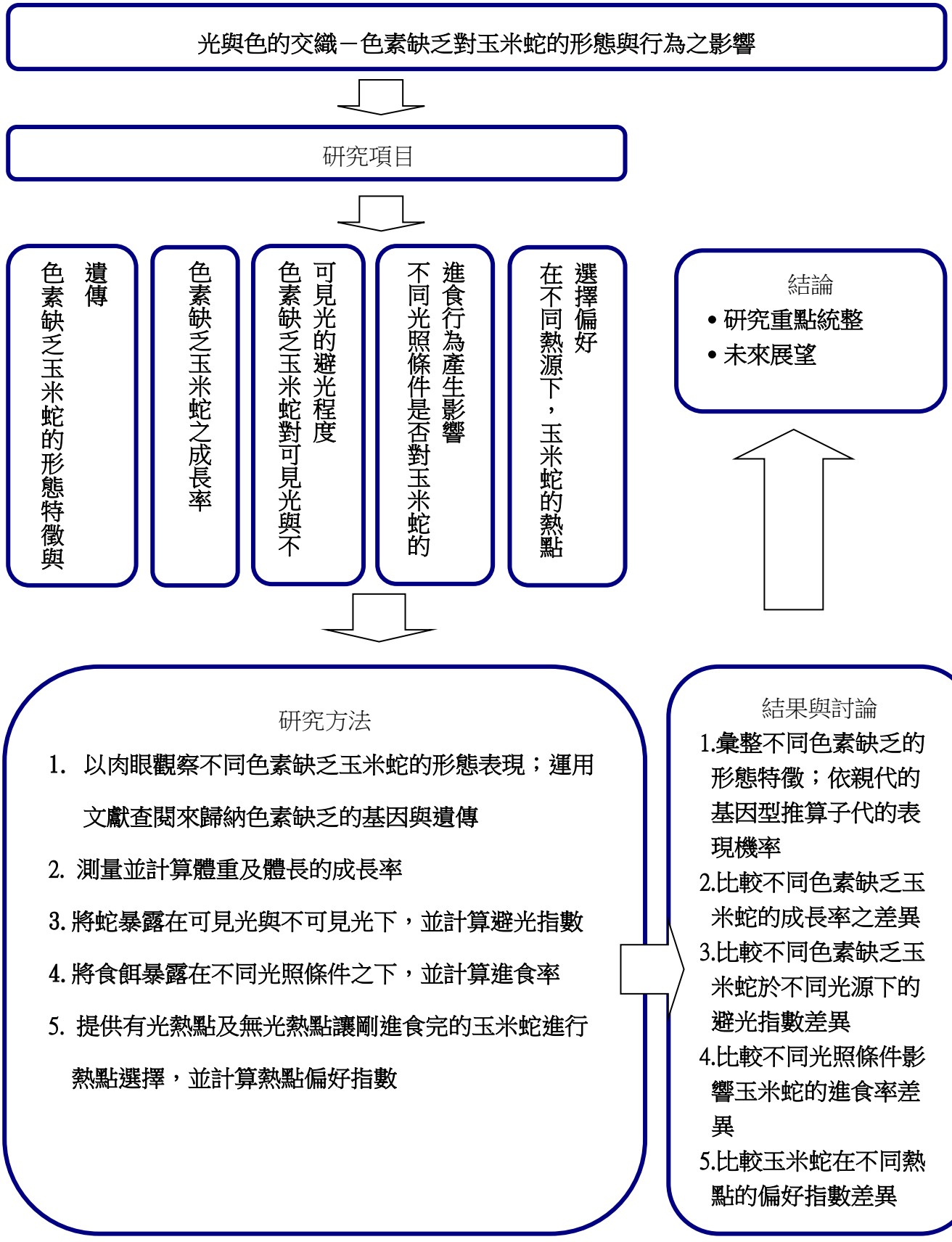
表 1 實驗燈具的相關規格

光類別	器材種類	光種類	功率 (W)	亮度 (流明)	紫外線	紅外線
可見光+不可見光	UL 燈管	全光譜	13	90~140	有	無
可見光	LED 燈管	紅光	14	90~140	無	
		藍光	14	90~140		
		綠光	14	90~140		
	LED 燈泡	紅光	14	90~140		
		藍光	14	90~140		
		綠光	14	90~140		
不可見光	UV 黑燈管	黑燈管	14	無	有	
	紅外線發光模具	紅外線	15		無	有

三、數據統計分析

我們使用 Microsoft Excel 軟體來做實驗數據的建檔及分析。

參、研究架構


光與色的交織－色素缺乏對玉米蛇的形態與行為之影響
研究項目
遺傳
色素缺乏玉米蛇的形態特徵與
色素缺乏玉米蛇之成長率
可見光的避光程度
色素缺乏玉米蛇對可見光與不
進食行為產生影響
不同光照條件是否對玉米蛇的
選擇偏好
在不同熱源下，玉米蛇的熱點
結論
• 研究重點統整
• 未來展望
研究方法
1. 以肉眼觀察不同色素缺乏玉米蛇的形態表現；運用文獻查閱來歸納色素缺乏的基因與遺傳
2. 測量並計算體重及體長的成長率
3. 將蛇暴露在可見光與不可見光下，並計算避光指數
4. 將食餌暴露在不同光照條件之下，並計算進食率
5. 提供有光熱點及無光熱點讓剛進食完的玉米蛇進行熱點選擇，並計算熱點偏好指數
結果與討論
1.彙整不同色素缺乏的形態特徵；依親代的基因型推算子代的表現機率
2.比較不同色素缺乏玉米蛇的成長率之差異
3.比較不同色素缺乏玉米蛇於不同光源下的避光指數差異
4.比較不同光照條件影響玉米蛇的進食率差異
5.比較玉米蛇在不同熱點的偏好指數差異

肆、研究過程

一、研究項目一：色素缺乏玉米蛇的形態特徵與遺傳。

(一)實驗說明

不同品系的玉米蛇因色素缺乏而使體色呈現多樣性的差異。因此，我們想進一步比較各品系之間的形態特徵。另外，我們也聯想到：如果正常體色(原色)的玉米蛇和一隻具色素缺乏(e.g. 白化)的玉米蛇交配，牠們的子代會生出什麼？為了釐清玉米蛇在體色上的遺傳，我們將透過文獻查閱來深入了解。

(二)實驗假設

若一隻原色(正常)玉米蛇與一隻具有色素缺乏的玉米蛇(如白化)進行交配，則子代我們預估有一半表現正常體色，另一半則是色素缺乏(如白化)的體色。

(三)實驗方法(過程如圖 5)

1.形態特徵觀察：以肉眼觀察蛇的背部、腹部、眼睛及蛇蛻，紋路因個體差異較大，暫不列入比較範圍；蛇蛻會先用超音波清洗機清洗 3 分鐘後晾乾，製成樣本。將以上觀察使用單眼相機搭配微距鏡頭做拍攝，並使用 Photoroom 軟體進行影像處理。

2.體色與基因遺傳的關聯性：採用文獻查閱（書籍、google 搜尋等）初步探討玉米蛇的體色表現與基因遺傳，並學習推測子代表現的遺傳機率。

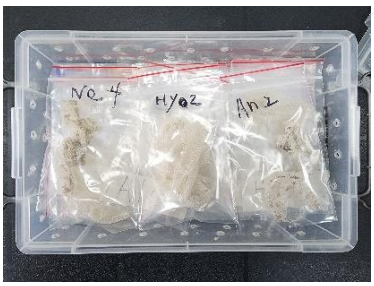
<table>
<tr><td> </td><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">形態特徵拍攝(體色與蛇蛻)</td><td>蛇蛻樣本蒐集</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>蛇蛻樣本製作</td><td>文獻查閱</td><td>文獻查閱</td></tr>
</table>

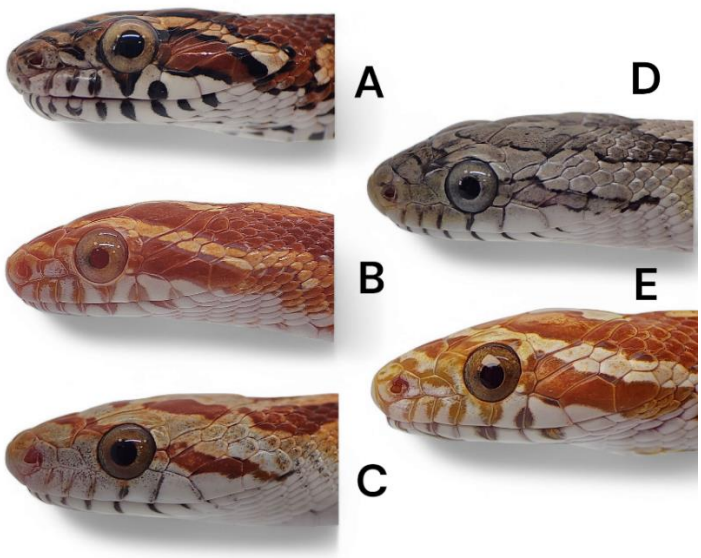
圖 5 研究項目一的實驗操作與過程

(四)結果與討論

1.形態特徵

(1)我們將這次的觀察結果進行彙整，如表 2、表 3 及表 4。

表 2 五種品系玉米蛇的眼睛形態觀察

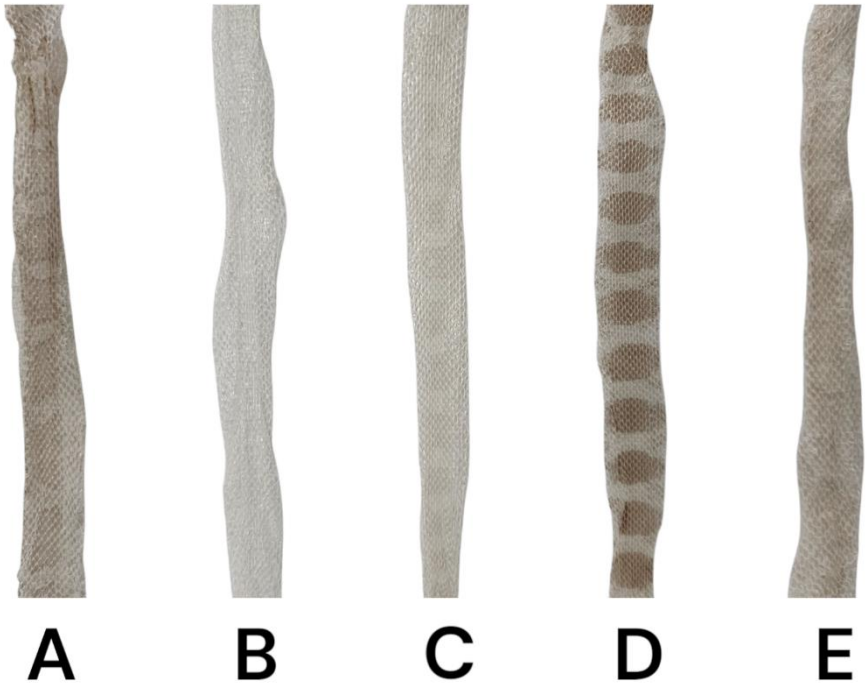


編號	品系(中/英文)	色素缺乏類型	眼睛色彩特徵描述
A	原色 Normal	無	˙虹膜-黃棕色；瞳孔-黑色 ˙兩者對比清晰
B	白化 Albino	缺乏黑色素	˙虹膜-橘紅色；瞳孔-泛紅 ˙整體透光性高
C	海波 HYPO	黑色素減少 (A 型)	˙瞳孔-黑棕色接近黑色；虹膜-淺棕色略帶紅色 ˙兩者有對比但不明顯
D	碳黑 Anery	缺乏紅色素	˙虹膜-淺灰色；瞳孔-黑色 ˙整體顏色偏冷、清淡
E	超白化 Ultramel	黑色素減少	˙虹膜-棕色帶有金色調；瞳孔-黑棕色接近黑色 ˙虹膜及瞳孔顏色表現接近海波

表 3 五種品系玉米蛇的背部及腹部形態觀察

編號	品系(中/英文)	色素缺乏類型	腹部及背部色彩特徵描述
A	原色 Normal	無	˙腹部-黑白棋盤格狀花紋，強烈對比，帶有點棕色碎斑 ˙背部-底色是黃棕色，塊狀斑紋為紅褐色，周圍有黑色邊框
B	白化 Albino	缺乏黑色素	˙腹部-無黑色素，剩下橘紅與白色相間 ˙背部-橘紅色為底，斑紋與底色反差不大
C	海波 HYPO	黑色素減少 (A 型)	˙腹部-白色、黑色及棕色交錯，保有黑色素 ˙背部：橘紅色偏棕色底，斑紋比紅褐色再淺些，帶有細微的黑色邊框
D	碳黑 Anery	缺乏紅色素	˙腹部-黑白相間，但底色有點偏灰 ˙灰白底色配上黑色斑紋
E	超白化 Ultramel	黑色素減少	˙腹部-白色底與橘紅、淡灰斑交錯，黑色素看似被沖淡 ˙橘紅色偏棕色底，磚紅色斑紋，極細微的黑色邊框

表 4 五種品系玉米蛇的蛇蛻形態觀察



編號	品系(中/英文)	缺乏色素類型	蛇蛻觀察描述
A	原色 Normal	無	・顏色偏深，底色灰暗，有塊狀紋路殘留
B	白化 Albino	缺乏黑色素	・幾乎全白，沒有任何紋路殘留
C	海波 HYPO	黑色素減少 (A 型)	・底色雖然也是白色，但略帶淡淡的塊狀紋路
D	碳黑 Anery	缺乏紅色素	・底色較 A 淡，有明顯的塊狀斑紋，對比度高
E	超白化 Ultramel	黑色素減少	・底色跟 A 相似，但紋路較不明顯

(2)討論：經由以上觀察得知，白化個體因缺乏黑色素，導致眼睛與體色呈現偏紅的特徵。當黑色素完全排除時，我們更能清楚的觀察到紅色素的存在；海波與超白化屬於黑色素「減少」的類型，與正常的原色玉米蛇相比，可以明顯看出黑色素含量降低，但不像白化個體完全消失，這樣的比較使我們能進一步理解「缺乏」與「減少」間的差異。若仔細觀察，也可發現超白化的黑色素減少程度似乎比海波更為明顯，但需經過量化才能知道；碳黑玉米蛇則是缺乏紅色素，因此眼睛與體色呈現較為冷色系的表現。

蛇蛻是蛇類皮層中最外層的部分(杜銘章，2004)。本次觀察中發現，白化玉米蛇因缺乏黑色素，蛇蛻呈現全白，顯示其餘品系的蛇蛻上皆含有黑色素，且黑色素位在皮層中的最外層。

2.體色與遺傳(Go!! Suzuki，2015；吳明，2023；沈昌，2024)

(1)體色與基因：生物體上的構造特徵稱為**性狀(**character)，例如人類的眼睛或膚色就是一種性狀，而性狀的不同表現稱為**表徵(**phenotypic trait)，例如眼睛的顏色可以是黑色、棕色或藍色。玉米蛇的體色也是一種性狀，因色素缺乏產生不同的體色即是表徵。負責決定生物體的性狀及表徵的基本物質稱為**基因**(gene)。

基因儲存於生物的**細胞核**(nucleus)內的**染色體**(chromosome)上，而染色體則是由長長的 **DNA**（去氧核醣核酸）緊密纏繞而成(圖 6)，DNA 上的特定片段就是基因，基因負責控制生物性狀。有時，基因會產生突變，導致生物體的性狀及表徵產生改變。例如，白化玉米蛇是因負責合成黑色素的基因產生突變，使身體無法產生酪胺酸酶(tyrosinase)而無法製造黑色素，最終呈現白化的表徵。而碳黑(缺乏紅色素)、海波(黑色素減少)等，也都是玉米蛇的基因突變造成。

(2)基因與遺傳：一般而言，生物體的體細胞內具有成對的雙套染色體（2N），稱為**同源染色體**(homologous chromosome)。負責控制某一性狀與表徵的基因通常以兩個一組的形式，分別位於一對同源染色體的相對位置上，這對基因稱為**等位基因**(allele)(圖 7)。等位基因的組合形式稱為**基因型**(genotype)，它會決定生物的性狀與表徵。

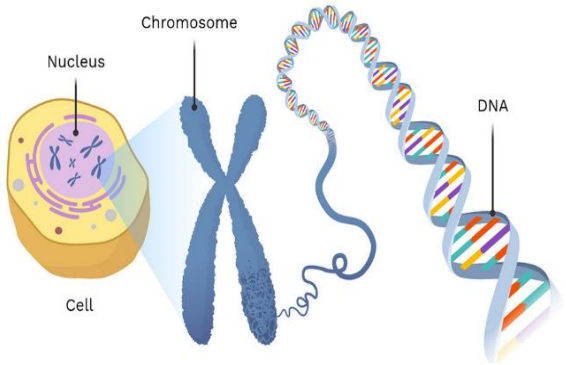


圖 6 染色體與 DNA

資料來源：

https://theory.labster.com/dna-location/

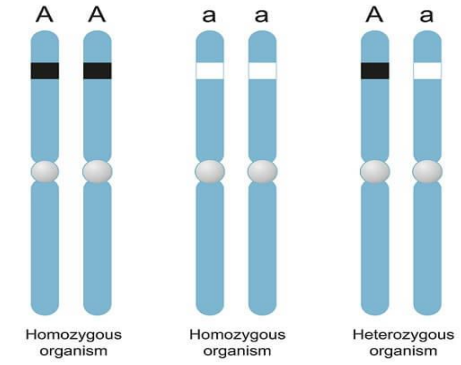


圖 7 等位基因

資料來源：

https://biologydictionary.net/homozygous/

遺傳學之父孟德爾(Johann Mendel)在遺傳學說中提到：生物的性狀可分為顯性

(dominant)表徵與隱性(recessive)表徵。以他的豌豆實驗為例，豌豆莖的高度是一項性狀，其表徵分為高莖與矮莖兩種。實驗結果顯示，高莖具有優先表現的特性，因此被稱為顯性表徵，當個體的兩個等位基因上只要有一個是顯性基因，便會表現出高莖的特徵。相對的，矮莖表徵僅在兩個等位基因皆為隱性基因時才會表現出來，因此被稱為隱性表徵。

我們若以英文字母的大寫表示顯性基因，小寫字母表示隱性基因，就可以利用大小寫的英文字母組合來表示基因型。以豌豆的莖長性狀為例，若以大寫 **T** 表示控制高莖的顯性基因，小寫 **t** 表示控制矮莖的隱性基因，則豌豆可能的基因型有三種(表 5)。

表 5 基因型與表徵

基因型	**TT**	**Tt**	**tt**
表徵	高莖(顯性)		矮莖(隱性)

由此我們可知道，基因型中只要有一個顯性基因，顯性的表徵就會表現出來，而隱性表徵則要兩個基因都是隱性時才會呈現。若基因型由一大寫及一小寫組成(Tt)，則表徵乃為顯性，但帶有隱性基因。就此次研究的玉米蛇來說，白化(缺乏黑色素)、碳黑(缺乏紅色素)、海波(黑色素減少 A 型)、超白化(黑色素減少）這四種皆屬於隱性表徵，而原色(正常)則屬於顯性表徵，基因型如表 6。

表 6 五種品系玉米蛇基因型與表現

品系名稱(中/英文)	表徵	基因符號	基因型及表現	顯/隱性
白化(Albino)	缺乏黑色素	a	**aa** 才會表現缺乏黑色素	隱
碳黑(Anery)	缺乏紅色素	n	**nn** 才會表現缺乏紅色素	隱
海波(HYPO)	黑色素減少	h	**hh** 才會表現黑色素減少	隱
超白化(Ultramel)	黑色素減少	u	**uu** 才會表現黑色素減少	隱
原色(Normal)	正常	A	**AA** 表現正常	顯

了解完體色與基因的關係之後，接著我們要繼續討論：**如果一隻原色的玉米蛇與與任一隻有色素缺乏的玉米蛇交配之後，那牠們的子代究竟會如何表現？**根據孟德爾學說中的**分離律**(Law of segregation)：當生物在生殖時，每對等位基因會分離，各自進入不同的配子(精子或卵子)，下一代的基因型，是由父母各提供一個基因所組成(圖 8)。所以，我們可先從親代的基因型進行確認，再依分離率推算子代可能出現的基因型與表徵。**旁氏表**(Punnett Square)是一種常用的方法，可以幫助我們清楚的推算子代的基因

型和表徵的表現機率。

(3)討論：原先，我們預估**一隻原色(正常)玉米蛇與一隻具有色素缺乏的玉米蛇(如白化)進行交配，則子代我們預估有一半表現正常體色，另一半則是色素缺乏(如白化)的體色**。但我們學會使用旁氏表進行推算後，發現此假設並不正確。舉例來說，當原色玉米蛇與白化玉米蛇交配後，子代外觀看起來都是正常體色，但其實都帶有白化的隱性基因(基因型：Aa)。若這些子代再彼此交配，則有機會生出白化的個體 (圖 9、圖 10)。

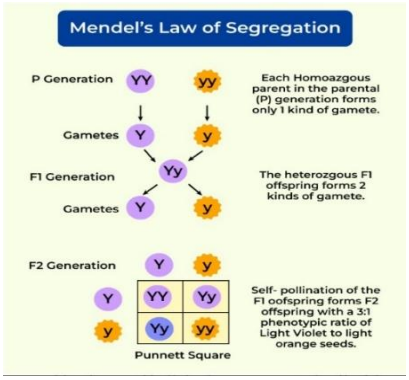


圖 8 孟德爾的分離率

圖 9 旁氏表的學習和操作

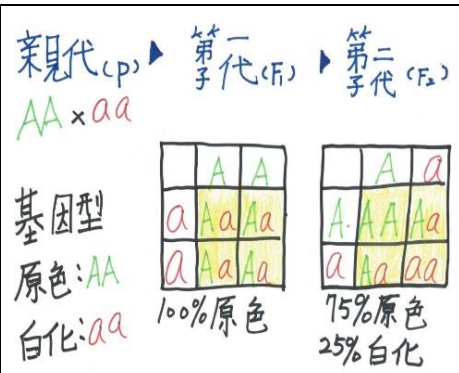


圖 10 由旁氏表推算子代機率

最後，我們也延伸思考：若兩隻具有不同隱性表徵的玉米蛇(例如：白化與碳黑)進行交配，那子代又會有怎樣的變化？老師提到，這涉及到多基因遺傳(dihybrid inheritance)，是更進階的遺傳概念，有機會的話可以作為日後探索方向。

二、研究項目二：色素缺乏玉米蛇之成長率。

(一)實驗說明

寵物藍貓(Russian Blue)及蘇格蘭摺耳貓(Scottish Fold)等，身上的毛色及折耳表現和玉米蛇的體色變化一樣為基因突變所致，在擁有這些特殊外觀的同時，也普遍出現心臟、骨骼等方面的生理問題(維基百科)。所以，我們也想知道基因突變而導致色素缺乏的玉米蛇是否也有潛在的生理問題？將藉此了解其成長率是否與正常個體有所差異。

(二)實驗假設

沒有基因突變的玉米蛇(原色)，其體重跟體長的成長率都會高於其它有色素缺乏的玉米蛇。

(三)實驗方法(圖 11)

1.飼養環境：以壓克力飼養盒為容器，底部鋪設餐巾紙以便觀察排泄情形，提供躲避屋供蛇躲藏，並供應 RO 水讓蛇飲用。飼養盒底部三分之一鋪設加熱片，溫度設定為 30°C，以形成熱點讓蛇調節體溫。飼養空間每週消毒一次。

2.餵食頻率：每週餵食一次，食餌（冷凍小白鼠）重量固定為蛇體重的 10%。

3.體重及體長測量：從 113 年 12 月起至 114 年 3 月止，每週測量一次體重，使用精度 0.001g 的電子秤進行測量，記錄至小數點後三位（單位：g）。體長採用 ImageJ 測量及記錄吻端至尾端長度（單位：mm），在實驗開始與結束各測量一次。

4.量化公式：以體重成長率(Body Weight Growth Rate)及體長成長率(Body Length Growth Rate)來量化，計算公式如下。

$$\mathbf{BWGR} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times \mathbf{100\%}$$

備註：BWGR＝體重成長率(%)、W_1＝初始體重(g)、W_2＝最終體重(g)

$$\mathbf{BLGR} = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times \mathbf{100\%}$$

備註：BLGR＝體長成長率(%)、L_1＝初始體長(mm)、L_2＝最終體長(mm)

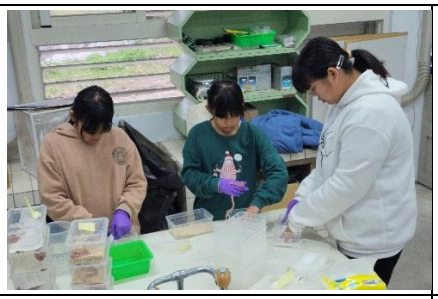
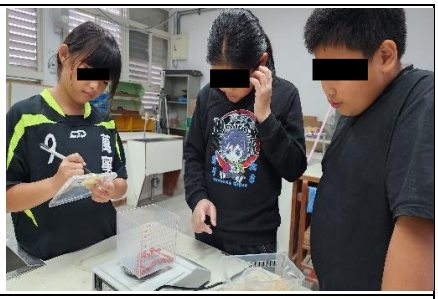
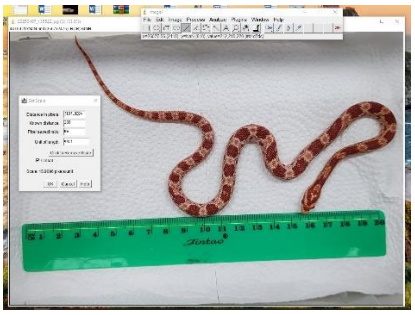
<table>
<tr><td> </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>實驗室的飼養環境</td><td>每週清理及消毒飼養容器</td><td>每週體重測量</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>每週一次餵食</td><td colspan="2">ImageJ 使用教學與體長測量</td></tr>
</table>

圖 11 研究項目二的實驗操作與過程

(四)結果(詳細資料如附件一)

1.體重成長率的月變動：本次實驗共進行了四個月的觀察。從圖表中可以看到，原色(No)、白化(AI)與海波(HY)的 BWGR 明顯高於碳黑(An)與超白化(Ua)。原色、白化與海波的 BWGR 大多維持在 9% 到 12% 之間，整體變化趨於穩定。相對的，碳黑與超白化的 BWGR 則多落在 4% 到 6% 之間。進一步觀察 BWGR 的月變動，自十二月起至隔年三月，除了碳黑玉米蛇的 BWGR 從 5.9% 略為下滑至 5.2%，其餘四個品系皆有逐漸上升的趨勢。

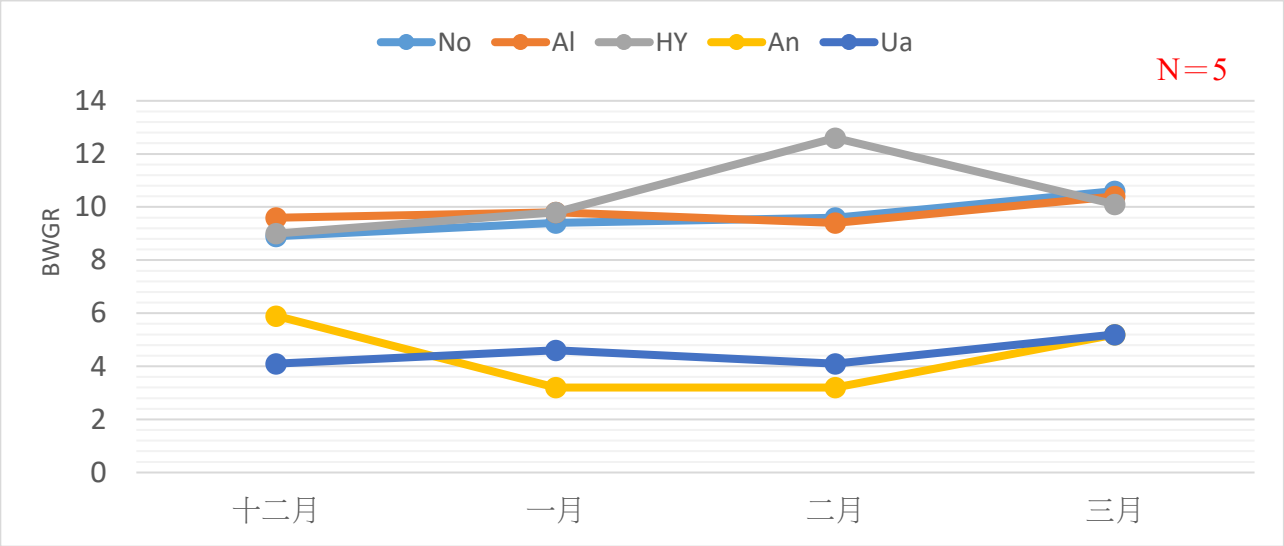


圖 12 十二月至隔年三月五種品系玉米蛇的成長率

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、BWGR＝體重成長率

2.體重與體長成長率：若比較四個月的 BWGR 和 BLGR 總值，從圖 13 及圖 14 可以看出，海波(HY)與白化(Al)在此期間的 BWGR 最高，分別成長了初始體重的 53.3%和 48.7%。相較之下，碳黑(An)與超白化(Ua)的體重成長幅度較小，分別為 35.3%與 27.5%，而 BLGR 也有相同趨勢。整體看來，海波與白化的成長表現皆高，而碳黑與超白化較低。

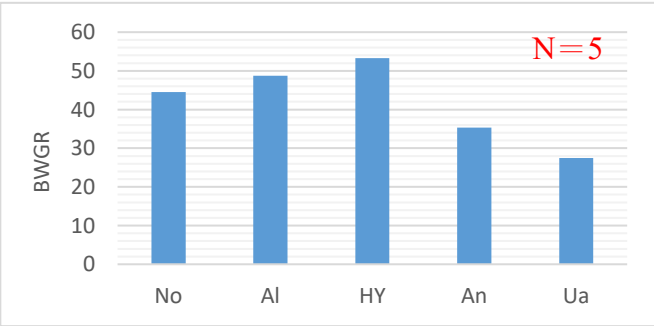


圖 13 五種品系玉米蛇的 BWGR

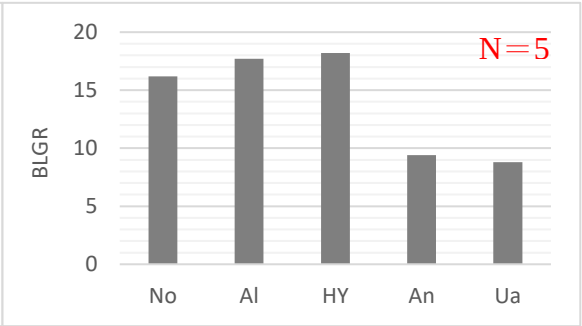


圖 14 五種品系玉米蛇的 BLGR

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、BWGR＝體重成長率 、BLGR＝體長成長率

(五)討論

1.我們原先假設**沒有基因突變的玉米蛇(原色)，其體重跟體長的成長率都會高於其它有色素缺乏的玉米蛇**。從這四個月的成長率來看，原色玉米蛇的成長速度並不是最快的，在五種品系中排第三，反而是海波和白化這兩種有色素缺乏的玉米蛇的成長率較高(圖15)。

2.蛇在進食之後，會由消化液把食物中的大分子養分分解成小分子，最後由小腸絨毛吸收，並同化成肌肉等組織(Stephen J. & Scott J.，2019)。我們推想，也許是因不同品系的基因特性影響到牠們吸收養分的效率，或是代謝率上的影響而導致成長間的差異，但還需更多層面的檢測才能確認。

3.最後，我們還觀察到有幾隻剛蛻皮完的蛇體重都有微微下降，這可能是因蛻皮的過程中蛇需要水分來滋潤皮層(杜銘章，2004)而造成水分散失所導致。

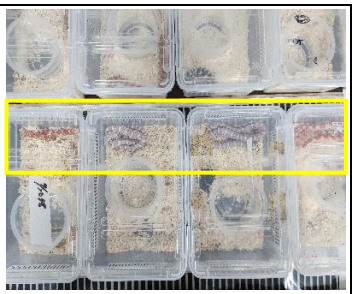
			
海波與碳黑的成長差異	蛇進食狀態	進食後都趨向熱點	固定時段蛻皮與排便

圖 15 玉米蛇成長過程中的觀察

三、研究項目三：色素缺乏玉米蛇對可見光與不可見光的避光程度。

(一)實驗說明

經由觀察與文獻查閱我們得知：蛇似乎偏好躲藏在飼養箱中黑暗的躲避屋內、白化蛇天生具有畏光行為(長坂拓也，2000；杜銘章，2004)。光包含可見光與不可見光，紅、綠、藍為光的三原色(維基百科)。綜合這些資訊，我們希望透過本實驗探討玉米蛇對不同光源的畏光程度，除了白化的玉米蛇之外，其它色素缺乏是否也具畏光行為，並嘗試將畏光的程度進行量化。

(二)實驗假設

我們認為在全光譜、紅光、藍光、綠光、UV(紫外線)及紅外線等不同光照之下，黑色素的缺乏與減少會使玉米蛇產生較強的避光行為。因此假設**白化、海波及超白化這三種品系的避光指數應會高於原色與碳黑玉米蛇**。

(三)實驗方法(圖 16)

1.光源設置(規格如表 1)：使用全光譜 UL 燈管、紅、藍、綠光 LED 燈管、UV 黑燈管還有紅外線發光模組作為實驗光源。紅外線發光模組我們使用 5 顆 3W、波長 830nm 的紅外線燈與鋁基板、散熱器、AC 恆流模組、電源線來拼組而成(如圖 4、圖 16)。

2.觀察箱配置：將實驗燈管以鋁箔紙包覆一半進行遮光，而全光譜及紅外線部分則以燈具附加金屬燈罩讓光線集中。將以上備製好的燈具放置在觀察箱的網蓋上，約距離箱底 25 公分，此時觀察箱底部就形成了一半光照區及另一半的遮光照區。為了讓兩區塊區分的更明顯，我們在觀察箱的中間放置一塊區隔板來避免光線越界，也在燈管上方加裝反光板讓讓光線更為集中。

為排除兩區塊因溫差而導致蛇產生停留點偏好而誤差，先使用紅外線測溫槍來測量兩區塊的溫度，確定 14W 左右的燈具不會造成溫差。由於實驗期間為冬季，為讓蛇維持體溫且正常活動，我們在觀察箱底部放置加熱片 ，讓兩區塊的溫度均維持在 30°C。

3.實驗程序：將蛇放入實驗觀察箱內適應環境 15 分鐘，之後開啟手機進行錄影 3600 秒(一小時)。從影片中記錄蛇在光照區停留時間，停留時間達 10 秒以上才作記錄，蛇在遊走時段則不算在內。

4.量化公式：以避光指數(Light Avoidance Index)來量化蛇畏光的程度。計算公式如下，當總時間固定(3600 秒)，蛇在光照區停留的時間越長，所計算出來的避光指數就會越小，代表蛇越不畏光。

$$\mathbf{LAI} = \frac{T_t}{L_t}$$

備註：LAI=避光指數、T_t=光照總時間(秒)、L_t=光照區停留時間(秒)

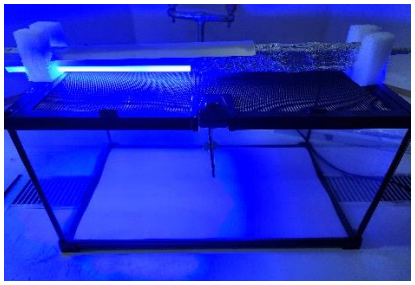
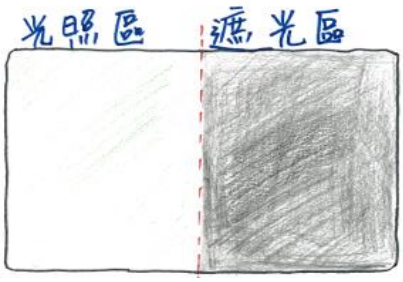
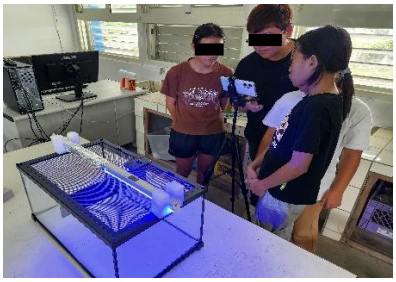
<table>
<tr><td> </td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>紅外線發光模組製作</td><td>實驗觀察箱(藍光)</td><td>實驗觀察箱(全光譜)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>光照區與遮光區示意圖</td><td>實驗操作過程</td><td>實驗結果記錄</td></tr>
</table>

圖 16 研究項目三的實驗操作與過程

(四)結果(詳細資料如附件二)

1.色素缺乏玉米蛇在全光譜下的避光指數：從圖中我們可以看到，在全光譜光照下，白化(Al)的 LAI 最高(3.12±2.314)，其次是超白化(Ua)與海波(HY)與碳黑(An)，整體而言，原色(No)的 LAI(1.767±1.001)為五種品系之中最低 (圖 17)。

2.色素缺乏玉米蛇在紅、藍、綠三種色下的避光指數：從圖 18 可以看出，在紅光、藍光與綠光照射下，原色玉米蛇的 LAI 都不是最低的。在紅光之下，原色玉米蛇的 LAI 最高(2.391±2.086)。在藍光之下，各品系的差距不大，白化(Al)LAI(2.102±1.136)微低於原色(2.145±1.028)，相較下，原色(No)的 LAI 也沒有明顯比較低。在綠光下，海波(HY)LAI(2.110±1.131)則較明顯高於原色(1.575±0.912)。

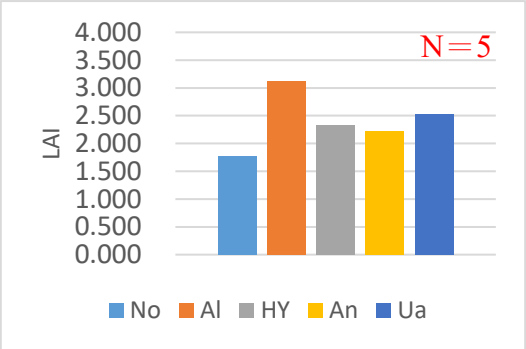


圖 17 五種品系玉米蛇在全光譜光照下的 LAI

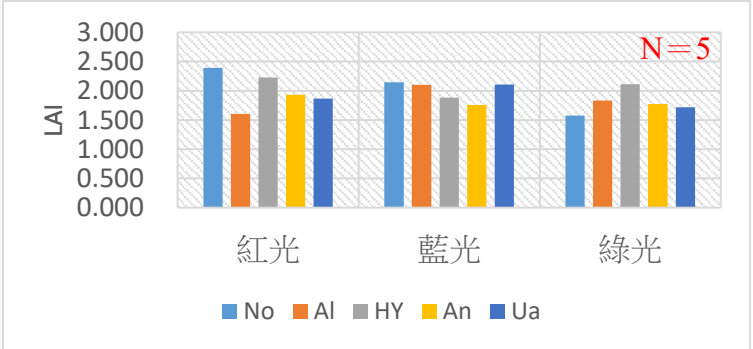
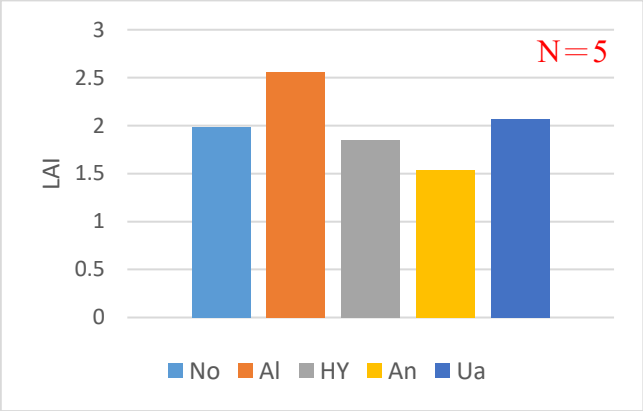


圖 18 五種品系玉米蛇在三種色光照下的 LAI

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、LAI＝避光指數

3.色素缺乏玉米蛇在 UV 下的避光指數：由圖 19 可以看到，只有白化(Al)玉米蛇的 LAI (2.556±1.604)明顯高於原色(No)(1.99±1.115)。此外，海波(HY)與碳黑(An)的 LAI 也都微低於原色。

4.色素缺乏玉米蛇在紅外線下的避光指數：從圖 20 中可以看出，在紅外線照射下，LAI 高於原色(No)(1.861±0.942)的只有海波(2.046±1.307)。



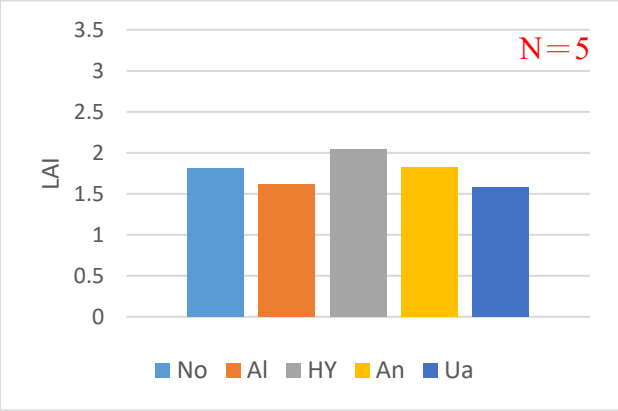


圖 19 五種品系玉米蛇在 UV 光照下的 LAI　圖 20 五種品系玉米蛇在紅外線光照下的 LAI

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、LAI＝避光指數

(五)討論

1.在實驗前我們假設，在六種光照之下，**白化、海波及超白化這三種品系的避光指數應會高於原色與碳黑玉米蛇**。但結果顯示，彼此間的差異並不如預期明顯。

2.我們一開始先將五種品系的玉米蛇在全光譜照射之下進行比較，此部分符合實驗前的假設。會此推論的原因主要是根據**研究項目一**，我們觀察到有缺乏及減少黑色素的玉米蛇其眼睛顏色擁有較高的透光度，因黑色素缺乏和減少而使保護效果降低。

3.當光源改為紅光、藍光、綠光以及紅外線時，身上仍保有黑色素的原色與碳黑玉米蛇其避光指數並非五種品系中最低，此結果與實驗前的假設不符。在實驗過程中，我們觀察到玉米蛇常停留在光照區，並展開身體表面，甚至有些個體會直接爬到光源下方棲息(圖 21)，此行為與蛇類在野外透過日曬調節體溫(杜銘章，2004)的情形十分相似。我們推測這可能是受到光的刺激而產生的反應。未來我們可嘗試調整光照區的位置，並與本實驗結果做比較，進一步了解玉米蛇是否有因光而選擇空間的行為。

4. UV 照射下，缺乏黑色素的白化玉米蛇避光指數明顯高於正常(原色)，此結果與全光譜實驗的結果相呼應。由此可推論，缺乏黑色素在 UV 之下會有更明顯的避光行為，而

黑色素減少的品系(海波、超白化)，因身上保有部分黑色素，可能具備一定程度的保護作用。

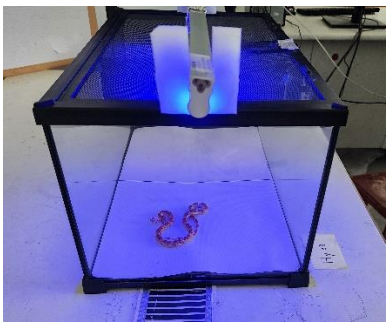
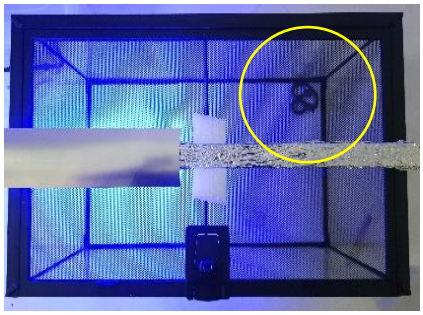
		
蛇類似調節體溫行為	蛇移動至燈管下方	蛇在遮光區下

圖 21 實驗觀察記錄

四、研究項目四：不同光照條件是否會對玉米蛇的進食行為產生影響。

(一)實驗說明

在人工飼養環境中，部分飼者為了提供蛇熱點或是營造特定的造景效果，會在飼養箱內的不同位置設置各式光源。因此，我們希望探討不同照射角度的光是否會對玉米蛇的進食行為產生影響。

(二)實驗假設

若不考慮玉米蛇的品系與光源種類，我們認為光照角度會對玉米蛇產生不同程度的刺激，進而影響進食行為。**進食率最高出現在無光照之下，最低則為 180 度角照射時。進食反應時間以無光照時最短，180 度角照射時最長。**

(三)實驗方法(圖 22)

1.光源設置(規格如表 1)：使用全光譜 UL 燈管及紅、藍、綠 LED 燈泡作為實驗光源，並搭配可調式燈罩來調整光照角度。

2.觀察箱配置：在觀察箱底材紙的中央繪製一條基準線，基準線的左側放置透明食皿，食皿內放置三隻食餌(冷凍小白鼠)，以增加化學訊號(chemical cue)，提高蛇對食餌的感知。距離食皿約 25 公分處設置光源，光源直照讓食餌可以照射到光(圖 22)。

3.光照條件：在實驗組中，實驗觀察箱左側由全光譜、紅光、藍光、綠光照射，並將光照角度調整為 45 度、90 度 和 180 度，右側不施加任何光照(圖 22)。

4.實驗程序：先開啟光源，將實驗蛇放置於觀察箱中央基準線上，之後啟動碼錶計時，同

時觀察蛇是否進食，並記錄進食的反應時間。若超過 20 分鐘沒進食，即視為不進食。

5.量化公式：計算進食率(feeding rate)及進食的反應時間來比較不同光源及照射角度對攝食行為的影響，計算公式如下。

$$\mathbf{FR} = \frac{\boldsymbol{S}}{\boldsymbol{N}} \times \mathbf{100\%}$$

備註：FR＝進食率、N＝總實驗個體數、S＝成功進食個體數

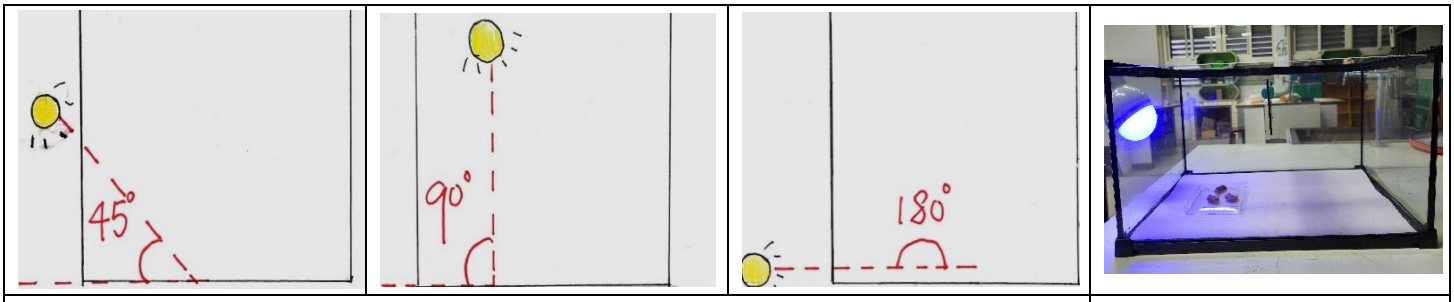
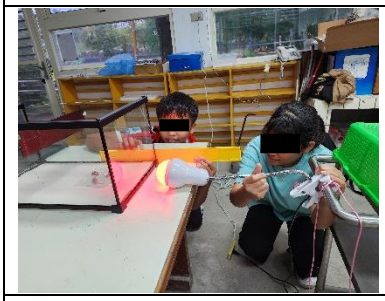
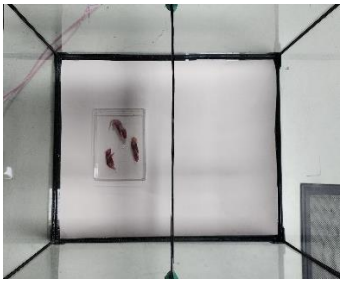
<table>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">45 度、90 度、180 度角光照示意圖</td><td>實驗觀察箱</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>實驗觀察箱佈置</td><td>實驗觀察箱佈置</td><td>實驗觀察箱底面</td><td>實驗進行與觀察</td></tr>
</table>

圖 22 研究項目四的實驗操作與過程

(四)結果

1.玉米蛇在不同光度角照射下的進食率：本次實驗我們測試了 5 種品系的玉米蛇在 4 種不同光源下各以 45 度角、90 度角和 180 度角照射，並比較牠們的進食率(FR)。將光從三種不同角度照射之下，玉米蛇的進食率有明顯差異(圖 23、24、25、26)。

45 度角及 90 度角光源分別自玉米蛇眼睛(光受器)的側方及上方，當光線在 45 度角照射時，與無光照相比，FR 明顯降低，大多只能維持在 60% 至 80% 之間。換到 90 度角光照時，FR 略有提升。在紅光、藍光及綠光照射下，FR 多還有維持在 80%至 100%，顯示玉米蛇對於這三種色光來自側方及上方時較能適應。然而將光源來自 180 度角與眼睛達水平時，玉米蛇的 FR 普遍下降，原色玉米蛇為 60%到 80%，白化玉米蛇更僅剩 20%至 40%(圖 23、24、25)。

整體來看，玉米蛇在無光照下的 FR 最佳，所有個體的 FR 均達 100%。當光照角度與

玉米蛇的眼睛接近平行時，進食率則明顯下降(圖 26)。

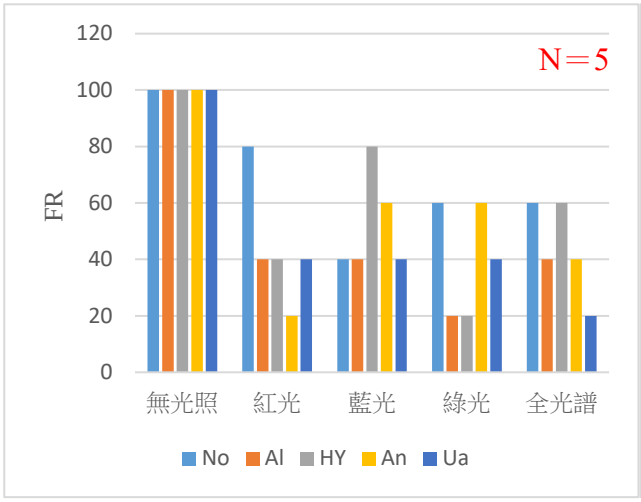


圖 23 45 度角光照下的 FR

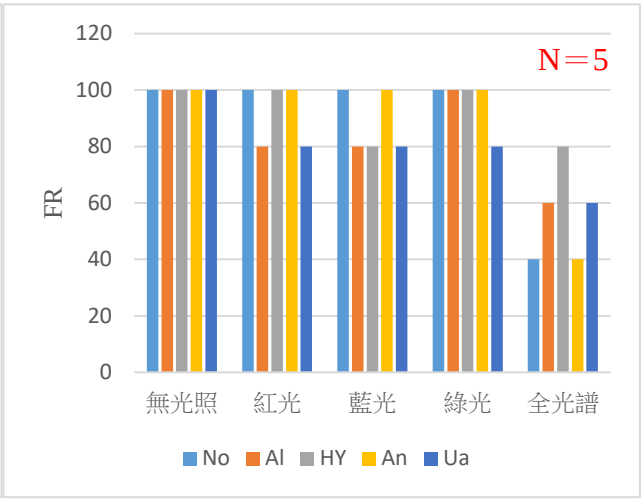


圖 24 90 度角光照下的 FR

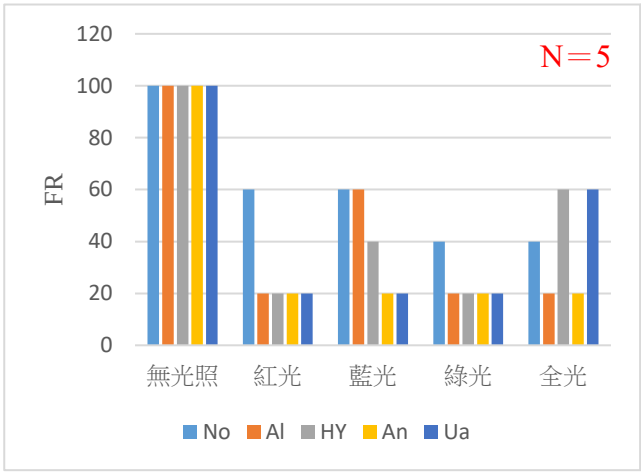


圖 25 180 度角光照下的 FR

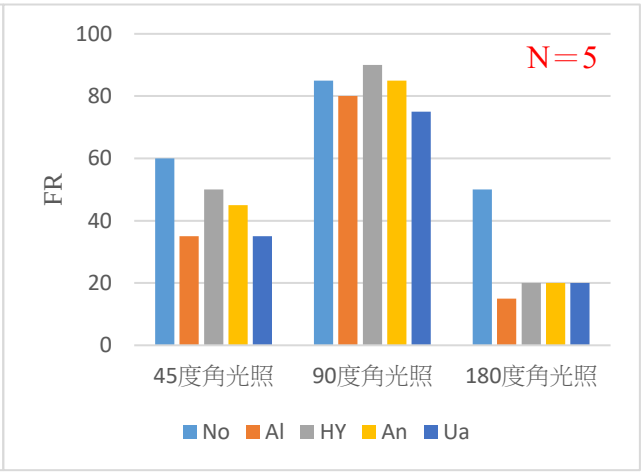


圖 26 三種不同角度光照下的 FR

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、FR＝進食率

2.玉米蛇在不同光照角下進食的反應時間：本實驗將玉米蛇有進食的個體進行時間記錄(單位：秒)，比較進食反應時間之平均值。實驗結果顯示，在無光照情況下，各品系的反應時間均較低，都在 100 秒內就開始進食。當光源以 45 度、90 度和 180 度角照射時，反應時間都大幅上升。原色(No)及白化(Al)玉米蛇在 45 度角光照時反應時間最長，平均為 293 秒及 595 秒。海波(HY)、碳黑(An)及超白化(Ua))的最高峰則是在 90 度角照射下，平均為 271、476 及 706 秒，都與無光照下有明顯差別(圖 27)。

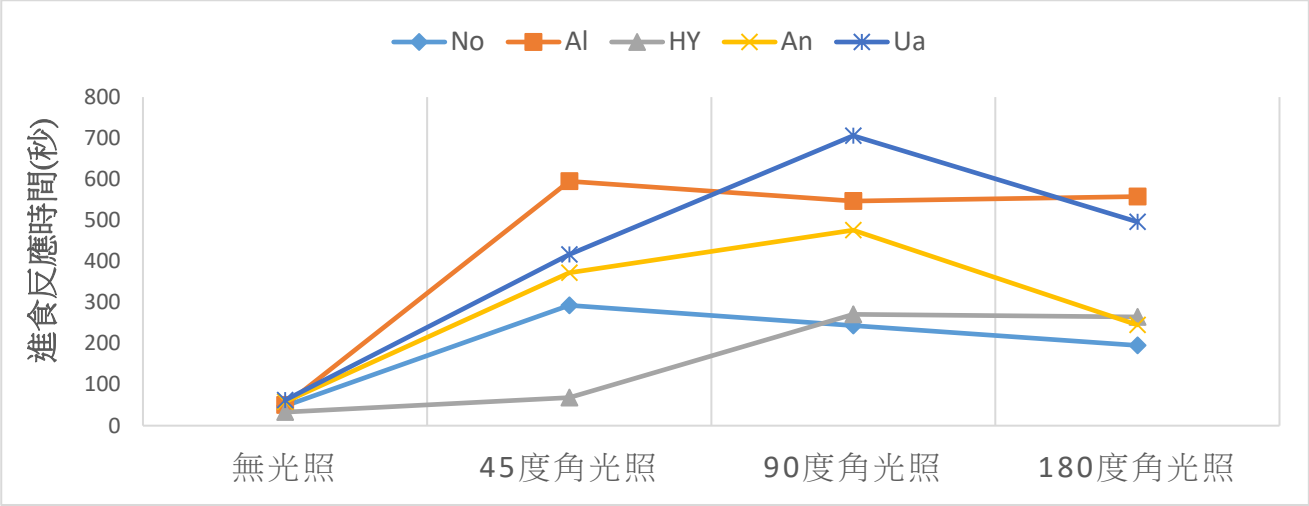


圖 27 有進食的玉米蛇在三種不同角度光照下進食的反應時間

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化

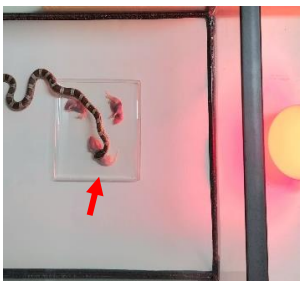
(五)討論

1.本次實驗結果與實驗前的假設相符。在無光照下，玉米蛇的進食率達 100%。雖然實驗操作時未開啟室內光源，但仍有部分的自然光從門窗透入，亮度約為 80 至 100 流明，雖不是完全無光，但玉米蛇仍能穩定進食，顯示玉米蛇在微光環境下有良好的適應性(圖 28)。

3.蛇類眼睛上方有一塊鱗片稱為眼上鱗(supraocular)(杜銘章，2004)。當光線從 45 度或 90 度角照射時，光可能會先被眼上鱗反射。而 180 度角的光線則會直接照射眼睛。因此，我們推測此反射功能有助於減少光對眼睛的刺激。

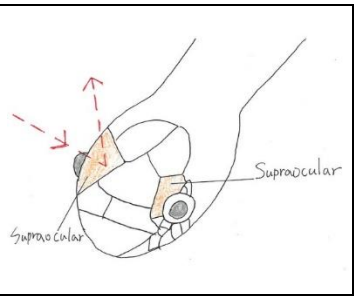
4.當有光照時，部分個體會在觀察箱內不斷遊走(圖 28)，過一段時間後才進食，我們推測此行為可能與受光的刺激有關，因空間有限，蛇無法遠離光源，透過遊走的行為來回應環境刺激，而影響到進食時間。

蛇在無光照下進食



蛇在紅光照下進食

實驗進行與觀察



眼上鱗與光反射示意圖

圖 28 實驗觀察記錄

五、研究項目五：在不同熱源下，玉米蛇對熱點的選擇偏好。

(一)實驗說明

觀察期間發現，蛇在進食後會立即尋找熱點以調節體溫，促進消化(圖 15)，顯示熱點的重要性。目前市場上常見的熱源有分為有光熱(如加溫燈)與無光熱(如陶瓷加熱器)，因此我們想比較蛇在進食後對這兩種熱源的選擇偏好是否不同。

(二)實驗假設

若不考慮玉米蛇品系，我們假設玉米蛇在進食後對熱點的選擇會受到光線有無的影響。**玉米蛇偏好選擇無光的加熱片熱點進行體溫調節，對含 UV 的全光譜熱點偏好最低**。若將熱點區分為有光熱點與無光熱點，**玉米蛇多會偏好無光熱點**。

(三)實驗方法(圖 29)

1.熱源設置(格式參考表 1)：選用全光譜 UL 燈管、紅外線加熱燈泡(25W)、陶瓷加熱器(25W)及加熱片(8W/英尺)作為熱源。

2.觀察箱設計：使用壓克力整理箱，於兩側分別安裝四種熱源，並在箱底放置加溫片，以將熱點溫度統一維持在 30°C，避免區域間溫差影響結果。

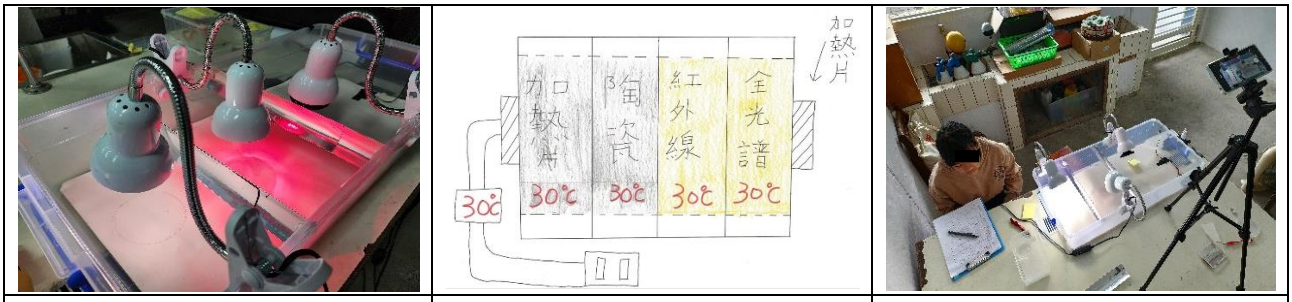
3.實驗程序：先啟動所有熱源，確認四個熱點溫度穩定達 30°C，再將剛進食完的蛇置於觀察箱中央，讓牠適應環境 5 分鐘，之後開始進行 1800 秒(30 分鐘)的錄影觀察，從影片中記錄蛇在各熱點的停留時間(單位：秒)。

5.量化公式：我們以計算蛇在熱點停留時間的比率做為熱點偏好指數(Heat Source Preference Index)，若熱點偏好指數越高，代表蛇對該熱點的偏好程度越高，計算公式如下。

$$\mathbf{HSPI} = \frac{T_i}{T_t}$$

備註：HSPI＝熱點偏好指數、T_i = 蛇在熱點總停留時間(秒)、T_t= 觀察總時間(秒)

加熱片製作	實驗前的試作與觀察	實驗觀察箱佈置



實驗觀察箱	實驗觀察箱空間示意圖	實驗操作

圖 29 研究項目四的實驗操作與過程

(四)結果

實驗結果顯示，大多數玉米蛇在進食後偏好選擇加熱片熱點進行體溫調節，其 HSPI 總值為 1.211，為各熱點中最高。相較之下，玉米蛇對全光譜、紅外線及陶瓷熱點的偏好較低，HSPI 總值都在 1 之下(圖 30)。原先假設**玉米蛇偏好選擇無光的加熱片熱點進行體溫調節，對含 UV 的全光譜熱點偏好最低**。前半部與實驗結果相符，而蛇對全光譜熱點的 HSPI 雖非最低，但明顯低於加熱片(圖 30)。

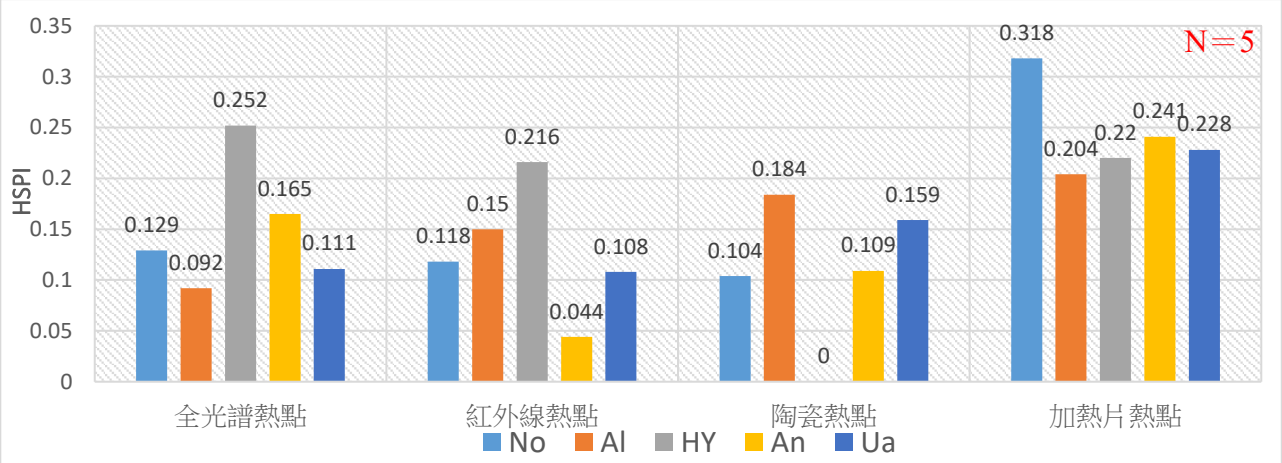


圖 30 玉米蛇在四種不同熱點下的 HSPI

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、HSPI＝熱點偏好指數

最後，我們將全光譜及紅外線熱點歸為「有光熱點」，陶瓷及加熱片熱點歸為「無光熱點」，並比較 HSPI 的總值。結果顯示，蛇對無光熱點的 HSPI(1.767)明顯高於有光熱點(1.385)。代表玉米蛇有較偏好選擇無光熱點的趨勢，與實驗前的假說(**玉米蛇多會偏好無光熱點**)相符。

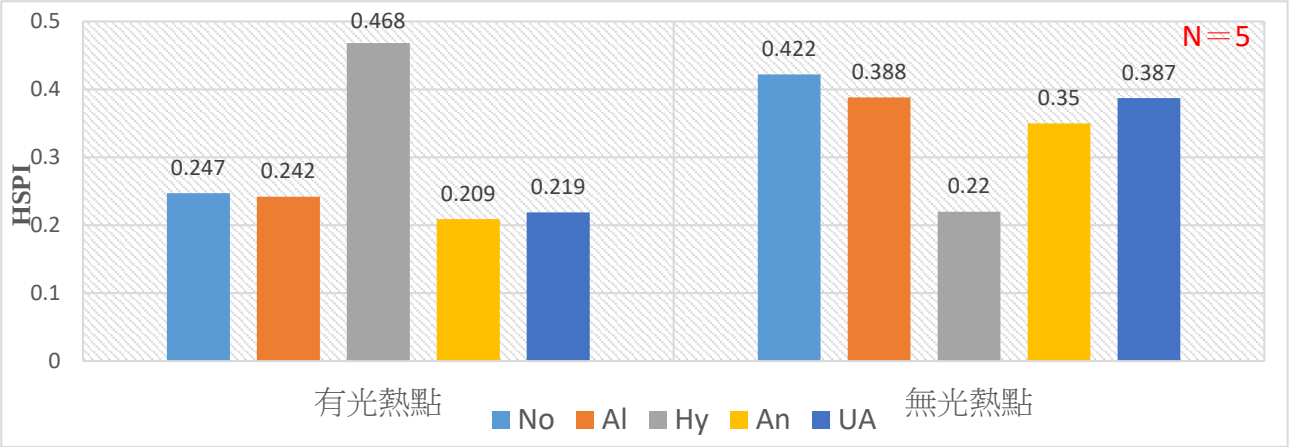


圖 31 玉米蛇在有光熱點及無光熱點下的 HSPI

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、HSPI＝熱點偏好指數

(五)討論

熱的傳播方式可分為輻射、傳導與對流。本實驗中使用的四種加熱設備中，全光譜燈管、紅外線加熱燈與陶瓷加熱器皆透過輻射原理來傳熱，而加熱片則是透過傳導方式傳熱。根據研究項目三與四的結果，得知部分光對玉米蛇具有刺激性，若排除含光源的全光譜與紅外線熱點，僅剩無光的陶瓷與加熱片熱點可供選擇。但結果顯示玉米蛇對加熱片的偏好高於陶瓷加熱器。我們推測，這可能與熱傳導能更快速提升玉米蛇核心體溫(core body temperature)有關。因加熱片與蛇腹部直接接觸，可能更有效率的幫助蛇完成進食後的體溫調節。

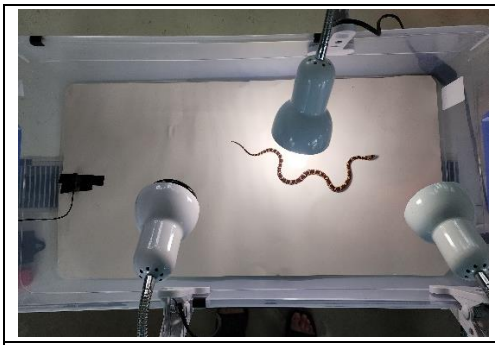
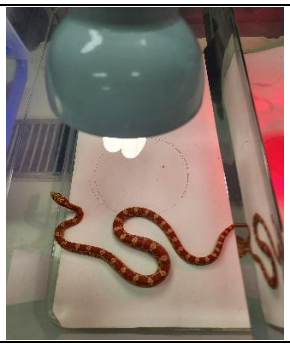
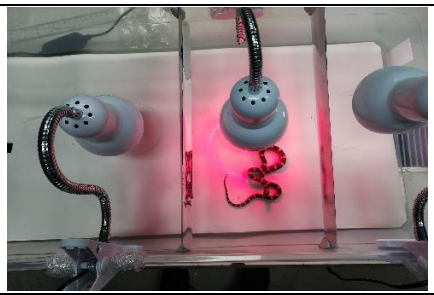
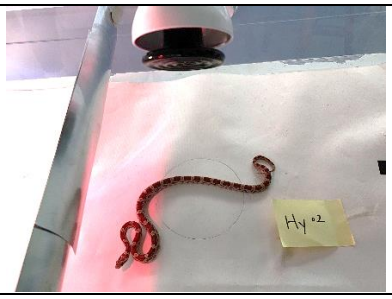
		
蛇在選擇熱點	蛇在全光譜熱點下	蛇在全光譜熱點下
		
蛇在紅外線熱點下	蛇在陶瓷熱點下	蛇在加熱片熱點下

圖 32 實驗觀察記錄

伍、結論與未來展望

一、結論

(一)玉米蛇因基因突變而產生色素缺乏，從而表現出多種體色等特徵。這些特徵可透過生殖過程遺傳至後代，並符合孟德爾遺傳學說，也可藉由旁氏表推算其遺傳機率。

(二)在四個月的觀察中，海波與白化品系的玉米蛇在體重與體長的成長率皆高於其它品系，相較之下，碳黑與超白化的成長率則明顯較低，反映出不同品系之間在成長率上可能有差性異的存在。

(三)在全光譜與 UV 照射下，白化玉米蛇表現出較高的避光指數，顯示在有 UV 成分的光下有較明顯的避光趨勢。相較之下，在紅光、藍光、綠光與紅外線光下，各品系的避光指數差異較小，顯示對這四種光源具有一定的適應性。

(四)玉米蛇在無光照下的進食率最高且進食的反應時間最短。當光線以正面角度照射時，進食行為受到明顯干擾。

(五)玉米蛇在進食後明顯偏好無光熱點，且在加熱片的熱點選擇上偏好最高。推測透過傳導方式能更有效率的提升蛇的核心體溫，因而成為首要選擇。

二、未來展望

在文獻中常提到「白化蛇天生具有畏光行為」，其餘動物也是如此。原以為「畏光」是指牠們對光極為敏感，會主動躲避光源，與喜歡往暗處躲的蟑螂或蚯蚓相似。但透過本次對白化玉米蛇的實驗，我們發現牠們對光的反應並不如預期強烈，甚至對特定光源有一定的適應性。這讓我們重新思考「畏光」的定義，或許不是單純的遇光就會躲避，而是依不同的光照條件而有不同的行為和反應。未來，或許可以調整光照強度或實驗空間，以獲得更多對於「畏光」的行為反應。

陸、參考文獻

一、書籍

1.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。
2.杜銘章。(2004)。蛇類大驚奇。遠流出版社。臺北。
3. Go!! Suzuki(2015)。《玉米蛇超圖鑑：簡單了解玉米蛇的飼養要訣》(王怡山譯)。台灣東販。
4.吳明。(2023)。那一天，人類發現了 DNA：大腸桿菌、噬菌體研究、突變學說、雙螺旋結構模型……基因研究大總匯，了解人體「本質」上的不同！。崧樺出版。中國。
5.沈浩。2024。普通生物學(上)(10 版)。及第出版社。台北。
6.Stephen J. and scott J.。(2019)。Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery 3rd。Elsevier Ine。Netherlands。

二、網站

1.維基百科：白化症
https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%99%BD%E5%8C%96%E7%97%87
2.維基百科：可見光
https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%AF%E8%A7%81%E5%85%89
3.維基百科：英格蘭摺耳貓
https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E8%98%87%E6%A0%BC%E8%98%AD%E6%91%BA%E8%80%B3%E8%B2%93
4.維基百科：貓隻顏色
https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%B2%93%E9%9A%BB%E9%A1%8F%E8%89%B2
5.國立臺灣科學教育館：可見光不可見光的奧秘。
https://www.ntsec.edu.tw/The_Eye_of_Science/exhibit02-02.html

附件一、五種品系玉米蛇自 113 年 12 月起至 114 年 3 月止之成長率

品系	樣本 1 BWGR	樣本 2 BWGR	樣本 3 BWGR	樣本 4 BWGR	樣本 5 BWGR	平均值	標準差
No	35.2	61.4	47.9	30.6	47.2	44.5	12.1
Al	35.4	30.9	68.1	61.6	47.5	48.7	16.1
HYPO	45.9	47.1	56.7	77.1	39.9	53.3	14.6
An	22.3	43.5	40.5	45.4	24.8	35.3	10.9
Ua	40.1	32.6	35.4	16.2	13.4	27.5	12
	樣本 1 BLGR	樣本 2 BLGR	樣本 3 BLGR	樣本 4 BLGR	樣本 5 BLGR	平均值	標準差
No	18.8	17.5	14	12.6	18.1	16.2	2.7
Al	16.5	20.3	18.8	16.3	16.6	17.7	1.8
HYPO	22.1	16.5	17.3	17.7	17.5	18.2	2.2
An	5.7	6.2	12.6	17.7	4.8	9.4	5.6
Ua	12.5	8.8	10.8	7.3	4.8	8.8	3

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、BWGR＝體重成長率、BLGR＝體長成長率

附件二、五種品系玉米蛇在六種光源下的光照指數

光源種類	品系	樣本數	樣本 1 LAI	樣本 2 LAI	樣本 3 LAI	樣本 4 LAI	樣本 5 LAI	平均值	表準差
全光譜	No	5	0.051	1.787	2.077	2.336	2.568	1.764	1.001
	Al		0.076	6.475	3.197	3.564	2.287	3.120	2.314
	HYPO		0.247	2.043	3.509	3.614	2.266	2.336	1.366
	An		0.498	2.397	4.068	2.471	1.632	2.213	1.306
	Ua		0.185	2.273	2.026	2.469	5.643	2.519	1.969
紅光	No	5	0.358	1.718	5.921	1.868	2.091	2.391	2.086
	Al		0.271	1.466	1.946	2.097	2.246	1.605	0.801
	HYPO		0.545	1.749	3.237	1.464	4.143	2.228	1.443
	An		0.488	4.143	2.034	1.754	1.243	1.932	1.368
	Ua		0.336	2.765	2.256	2.051	1.926	1.867	0.913
藍光	No	5	0.553	3.399	2.119	2.495	2.161	2.145	1.028
	Al		0.431	1.797	2.148	2.611	3.523	2.102	1.136
	HYPO		0.389	1.674	2.915	2.315	2.115	1.882	0.946
	An		0.479	1.917	1.833	1.923	2.632	1.757	0.784
	Ua		0.599	2.866	2.359	2.418	2.281	2.105	0.872
綠光	No	5	0.205	1.552	2.717	1.465	1.938	1.575	0.912
	Al		0.652	1.941	1.830	2.441	2.294	1.832	0.705
	HYPO		0.406	2.553	2.131	1.941	3.519	2.110	1.131
	An		0.196	3.596	1.638	1.834	1.610	1.775	1.211
	Ua		0.336	3.607	1.242	1.631	1.778	1.719	1.196
UA	No	5	0.528	1.755	3.655	1.944	2.067	1.990	1.115
	Al		0.277	4.489	2.655	3.512	1.898	2.566	1.604
	HYPO		0.524	1.932	3.509	1.899	1.390	1.851	1.087
	An		0.436	1.527	2.004	1.862	1.832	1.532	0.637
	Ua		0.516	4.651	1.754	2.015	1.410	2.069	1.550
紅外線	No	5	0.738	1.435	3.306	1.997	1.832	1.861	0.942
	Al		0.801	1.745	1.795	1.899	1.840	1.616	0.459
	HYPO		0.346	3.579	3.064	1.940	1.303	2.046	1.307
	An		0.379	1.390	2.028	1.851	3.478	1.825	1.124
	Ua		0.824	1.291	1.940	1.840	1.998	1.579	0.507

備註：No＝原色、Al＝白化、HY＝海波、An＝碳黑、Ua＝超白化、LAI＝避光指數