

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

第三名

080303

「光」芒非你莫「鼠」

學校名稱：新竹縣竹北市興隆國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳郁潔	葉雅宜
小六 王宥鈞	洪聖偉
小四 林立喆	
小四 林益安	
小六 黃晨祐	
小四 劉欣穎	

關鍵詞：小白鼠、晝夜節律、單一波長光

摘要

本研究透過紀錄小鼠的能量代謝與行為分析，探究光照環境與小鼠內在晝夜節律的相關性。相較於晝夜週期正常的小鼠，日夜顛倒與全光照的小鼠能量代謝皆呈現減少狀態，學習能力也大幅度減弱。但日夜顛倒組的小鼠到了第七天會逐漸同步外部光照，呈現了類似調整時差的狀態。此實驗發現透過「光照」可以驅動與調整小鼠內在的晝夜節律。

若以小時為單位小規模破壞光照週期，實驗發現四天內可以被小鼠的內在晝夜週期調整回來，五天後則會對小鼠的生理產生明顯的影響，導致小鼠產生肥胖、便秘、運動能力衰退與學習能力低落等狀態。不同波長的光照實驗裡，相較於照射紅光、黃光長波長的光，照射短波長藍光與紫光的小鼠在生理數據與行為模式會產生較大的變化。

壹、研究動機

放假時有些同學會晚睡，考試前有同學會熬夜唸書，想說隔天再多睡幾個小時「補眠」，睡眠真的可以「補」回來嗎？還有常常聽到睡前不要用 3C 產品，原因是手機螢幕的藍光照射會影響到睡眠，這是真的嗎？這麼多的問題，我們想透過小鼠實驗來找到答案。

貳、實驗目的

- 一、了解小鼠的日夜週期
- 二、大規模改變晝夜光照週期觀察小鼠的生理變化
- 三、小規模破壞晝夜週期觀察小鼠的生理變化
- 四、不同波長的光照射小鼠來觀察小鼠的生理變化

研究架構：

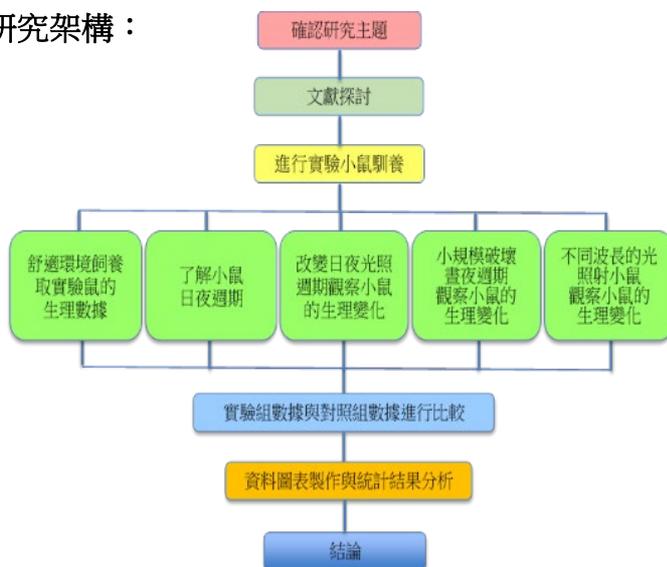


圖 1 研究架構

參、研究設備及器材

表 1 設備及器材

				
圖 2 同尺寸鼠籠	圖 3 電子秤	圖 4 Micro:bit 晶片	圖 5 計步器	圖 6 束線帶
				
圖 7 定時開關插座	圖 8 助焊膏	圖 9 實驗鼠飼料	圖 10 LED 晶片燈	圖 11 黑色不織布
				
圖 12 長短木條	圖 13 磁簧開關	圖 14 電線	圖 15 黑色瓦楞版	圖 16 同尺寸滾輪
				
圖 17 電線連接器	圖 18 工業用電扇	圖 19 除濕機	圖 20 三層篩網	圖 21 熱循環烘箱

實驗材料：

(一) 實驗動物：

我們向縣市政府合法立案的生物繁殖場購買小鼠，也就是我們常說的小白鼠（mice），此種小鼠白毛紅眼，因為黑色素無法合成，因此屬於白化種。合格獸醫徐國睿獸醫師基於動物實驗倫理守則 4R 原則，並按照行政院農業委員會的「實驗動物使用與照護指引」，檢視了我們的實驗環境規劃與實驗步驟設計，確認實驗過程不會對小白鼠有任何傷害。定期檢查與照護實驗小鼠，保障實驗小鼠的身體健康與生理狀態，並且在實驗期間提供諮詢。實驗結束之後，我們把小白鼠帶回家飼養，讓他們在實驗結束後也能獲得最好的照顧。

我們提早向繁殖場預訂雄性小鼠 16 隻，並且飼養到出生後 45~60 天，此時小鼠的生命分期約為青少年後期。之後我們帶回學校在實驗室持續飼養到小鼠出生後 90 天，讓每一隻小鼠完全成年之後才開始做實驗。如此的設定是為了減少青少年小鼠在成長過程裡因生理狀態不穩定，而全部都選擇雄性小鼠是為了去除掉母鼠每個月分泌雌性激素而影響到實驗結果。



圖 22 白化種之實驗小鼠

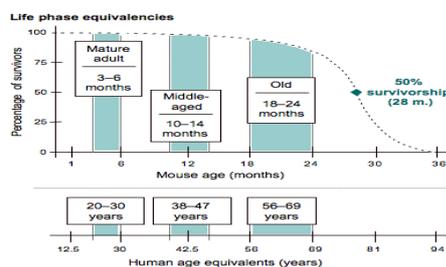


圖 23 小鼠與人類生命分期對照圖

(二) 小鼠飼養方法

每個 23cm X17cm 大小的飼養籠內放置 3 隻白化種的雄性成年小鼠，總共六籠，最後一籠小鼠為預備籠，以備實驗時若有小鼠生病時可以替換。同一籠小鼠則在尾部用奇異筆畫上不同顏色的線條做標示，並在每一個鼠籠外貼上標籤以供辨識。

把所有鼠籠放置在以早上 6 點開燈為夜週期，傍晚 18 時關燈為日週期，日夜週期保持在 12-12 小時的獨立實驗室內。小鼠在飼養籠內可以自由取用水與飼料，並且在實驗的過程中不換籠，直到實驗結束。小鼠飼料則選用實驗鼠專用 LabDiet5001，此類飼料不需另外添加其他物質，就可以供給小鼠足夠的營養，這些飼料質地堅硬可以藉機磨損小鼠的門牙，避免過度生長。



圖 24
飼養籠擺放的位置與環境



圖 25
飼養籠的大小與配置



圖 26
小鼠尾部以奇異筆標示做區分

肆、研究方法與過程

一、 文獻探討：

「補眠」這個想法來自於夜晚熬夜沒有睡覺，利用早上的時間來睡覺。我們把這現象理解為睡眠時間和外在環境時間不同，可能是日夜顛倒也有可能只是晚睡晚起。

所謂的日夜週期又稱為晝夜節律，原始的意義是指接近 24 小時的週期性生理現象，包括動物、植物、真菌等，都被觀察到有類似的生理變化。科學家定義是當沒有任何環境因子存在時，依舊能保持接近 24 小時的週期生理現象才能稱為晝夜節律。人類的週期一天大約是 24.3 小時，小鼠的週期大約是 23.5 小時，雖然人類為日行性動物，小鼠為夜行性動物，但是因為週期相差只有不到一個小時，所以可以透過小鼠實驗來推論人類週期的變化。

在歷史文獻中，很早就有記載動植物每一天會有一些規律的生理現象。然而，這些記載並沒有明確指出這些現象是因為外在環境所調控或是生物體內有內生性節律。在 18 世紀一位天文學家麥蘭利用實驗方式來探討生物時鐘的問題。他發現含羞草在白天時葉子會打開朝向太陽，而在晚上會合起。為了證明此現象是由外在日夜週期所誘導或是體內真的有一個生理時鐘，他將含羞草放在暗盒中，發現就算沒有環境日夜週期，在暗盒中含羞草依舊保持每日週而復始的葉片開合循環，他認為在生物中應該有個生理時鐘在控制一天中相對應的生理週期。

全國科展對這主題研究比較相關的作品有兩件：

表 2 全國科展相關研究主題作品表

屆數-組別	第 45 屆全國科展高中生物組	第 56 屆全國科展國小組
作品名稱	酢醬草的睡眠運動	不同光源環境對倉鼠生活影響之基本探究
研究內容	利用不同的光週期、不同的色光與日夜顛倒的週期來觀察酢醬草葉片的睡眠運動。實驗結論是光照會干擾酢江草的睡眠運動，不同色光則無影響，日夜顛倒對睡眠運動影響不大。	把倉鼠分成日常組、明亮組和暗黑組，觀察倉鼠的生理變化與走迷宮時間的長短。他們的實驗結論是光照對倉鼠的生理變化沒有顯著的影響，明亮組與暗黑組通過迷宮的速度都優於日常組。

透過文獻探討我們歸納出兩個重點：

1. 想了解補眠的狀況，需要先了解晝夜節律模式，人類與小鼠的生理週期接近，可以透過小鼠的實驗來推論人類生理時鐘的變化。
2. 全國科展國小組關於倉鼠的實驗結果令人覺得意外，他們認為全光照與全黑暗對倉鼠的生理變化沒有顯著的影響，所以本研究想透過我們的實驗設計進一步確認。

二、 實驗流程與方法

(一) 設立樣本基準線：

1. 馴化

小鼠到達實驗室後的一週為了讓小鼠適應環境，只有固定日夜週期，其他時間讓小鼠無

干擾的生活在飼養籠內，小鼠們可以任意取用食物與飲水。日夜週期設定則按照行政院 農委會所提供的<小鼠飼養手冊>內建議以日 12 小時夜 12 小時為正常的晝夜週期。一週之後開始進行馴化步驟。

實驗者會帶上乳膠手套取鼠，使小鼠進入相同大小的塑膠罐內，讓小鼠待在罐中五分鐘。這個操作會持續 15 天，目的是為了讓小鼠習慣在實驗時我們把小鼠從飼養籠放入塑膠罐內的模式，避免小鼠在這過程中產生焦慮感。



圖 27

實驗者會帶上乳膠手套取鼠，使小鼠進入相同大小的塑膠罐內



圖 28

讓小鼠待在罐中持續五分鐘，讓小鼠習慣進入塑膠罐內的模式



圖 29

小鼠在塑膠罐內馴化時，順便取其每天的體重數據

2. 曠野測試 (open field test, 簡稱 OFT)

實驗說明：

在加入每一次實驗變因前都會先進行一次曠野實驗，目的是確認每一隻小鼠都有正常的行為能力，避免有外表無法辨識的病鼠或是前一次實驗後還未完全恢復正常狀態的小鼠。

這實驗為目前最常用的動物行為分析方法，一般採用的動物為啮齒類動物。主要根據動物行為學啮齒類動物對新環境有趨觸性，啮齒類動物天生有靠近周邊的傾向，因中央區塊意味著威脅情境，而周邊區塊相對安全。若小鼠在曠野實驗時，行走周邊與中央區塊的面積接近，代表小鼠處於行為能力正常，心理狀態也無焦慮的狀態。

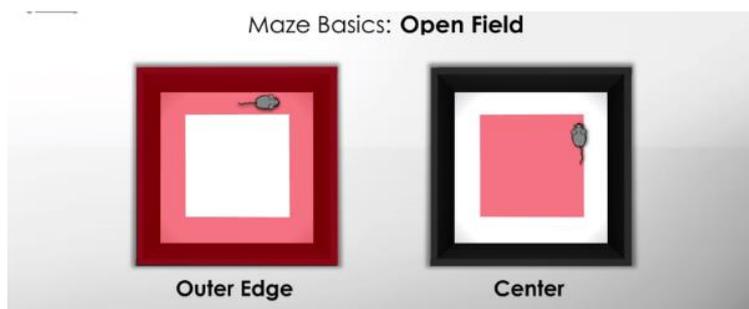


圖 30 OFT 測試主要是分析小鼠在中央區塊與周圍區塊行走的路徑

實驗步驟：

- (1) 使用白色瓦楞版裁切成 40 公分 X 40 公分的底板。
- (2) 與邊長相隔 11.8 公分用黑筆畫出一個正方形。
- (3) 四周用高 20 公分的白色瓦楞紙圍起來，固定住。
- (4) 在瓦楞紙的上方裝置錄影機。
- (5) 把小鼠放入白色箱體正中央，按下攝影機記錄小鼠在三分鐘內活動的情形。
- (6) 每一隻小鼠實驗結束之後，都得用 75% 的酒精擦拭箱體內部，以清潔一隻小鼠的氣味方可進行下一隻的實驗。

- (7) 把透明的投影片壓在 iPad 上，用黑色奇異筆畫出邊框後，播放小鼠移動的影片。
- (8) 用紅色奇異筆隨著小鼠移動的行跡畫出移動路徑。
- (9) 把畫好的路徑掃描到電腦內，用 image J 計算色塊的面積比例。



圖 31
使用白色瓦楞紙板切割成 40 公分 X 40 公分的底板。



圖 32
四周用高 20 公分的白色瓦楞紙圍起來，固定住



圖 33
在瓦楞紙的上方裝置錄影機

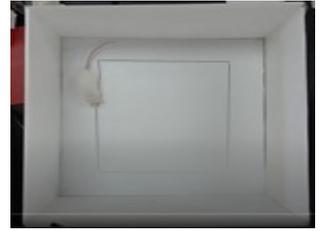


圖 34
把小鼠放入白色箱體正中央，按下攝影機記錄小鼠在三分鐘內活動的情形



圖 35
每一隻小鼠實驗結束後，都用 75% 的酒精擦拭箱體內部

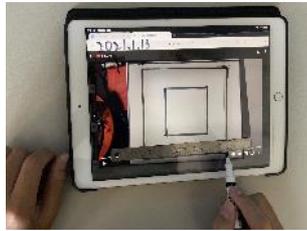


圖 36
把透明的投影片壓在 iPad 上，用黑色奇異筆畫出邊框

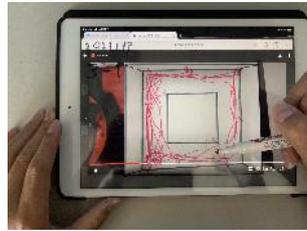


圖 37
用紅色奇異筆隨著小鼠移動的行跡畫出移動路徑

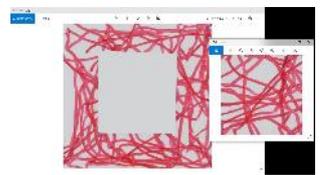


圖 38
把畫好的路徑掃描到電腦內，用 image J 計算色塊的面積比例

(二) 加入實驗變因

實驗一：改變不同的日夜週期，觀察小鼠生理與行為的變化

實驗說明：

我們想知道外在的環境光照是否會影響到小鼠內在的晝夜週期變化，或是小鼠是依循自己的內在生理規律而生活，於是設計了這個實驗。

實驗步驟：

1. 用長木條釘出木條架子。
2. 在木條架的上方釘上一個黑色瓦楞板。
3. 在黑色瓦楞板上安裝色溫 5500K 瓦數 3W 的 LED 晶片燈，色溫在 5300K 以上的白光接近自然光，這種光又稱為日光色，於是我們以這色溫來模擬日光。

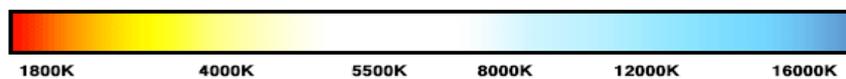


圖 39 不同色溫下的色光

4. 用定時開關插座設定光照的小時數來控制日夜週期，分別為日夜顛倒組、全光照組、全黑暗組，與正常週期組。
5. 選擇透氣度佳的不織布當作遮蓋外界光源的阻隔物。
6. 用工業用電扇增加空氣的流動，減少小鼠因為悶熱而產生不適。
7. 把四組鼠籠放置於相同濕度、相同環境的實驗室內進行連續 12 天的照光實驗。

8. 每天紀錄小鼠的體重、食量、糞便重量、滾輪圈數與 MB (Micro:bit) 震動的數據。
9. 第六天開始進行巴恩斯迷宮實驗，第十天進行長期記憶測驗。

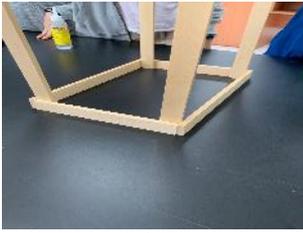


圖 40
用長木條釘出木條架子



圖 41
在木條架的上方釘上一個黑色瓦楞板

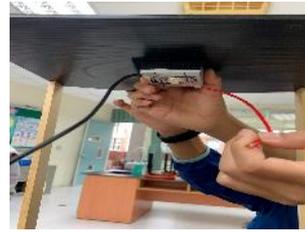


圖 42
在黑色瓦楞板上安裝色溫 5500K 白光 LED 晶片燈



圖 43
用定時開關插座設定光照的小時數來控制日夜週期



圖 44
藉由紙張在布內飄動的狀態，確認不織布的透氣度



圖 45
每個鼠籠上都安裝有滾輪計數器與 micro:bit 的晶片



圖 46
蓋上不織布之後，鼠籠內照光的情形



圖 47
用工業用電扇增加空氣的流動，減少小鼠因為悶熱而產生不適

實驗二：小規模破壞環境光照的情況下，觀察小鼠生理與行為的變化

實驗說明：

從實驗一可知光照時間的確會影響到小鼠的生理數據與行為模式，我們想進一步探討在日夜節律正常的情況之下，以小時為單位小規模延長光照時間，是否會影響到小鼠生理與行為的變化。

實驗步驟：

1. 正常飼養小鼠 11 天後，分析小鼠的生理數據與之前的對照組是否接近。接著進行一次曠野實驗，確認小鼠活動能力與行為模式都恢復正常之後進行延長光照實驗。
2. 利用定時開關插座來延長光照時間，第一組延長光照一個小時，第二組延長光照兩個小時以此類推，第五組則為延長光照五個小時。
3. 連續進行延長光照實驗 10 天。
4. 每天紀錄小鼠的體重、食量、糞便重量、滾輪圈數與 MB 的數據。
5. 第六天開始進行巴恩斯迷宮實驗，第十天進行長期記憶測驗。

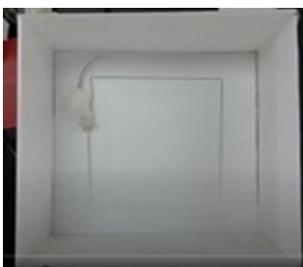


圖 48
進行曠野實驗，確認小鼠活動能力與行為模式都恢復正常



圖 49
利用定時開關插座來延長光照時間



圖 50
連續進行延長光照實驗 10 天



圖 51
第六天開始進行巴恩斯迷宮實驗

實驗三：探討在不同波長的光照下，觀察小鼠生理與行為的變化

實驗說明：

有研究說夜晚照射 3C 產品的藍光會影響睡眠，因為藍光會抑制褪黑激素，褪黑激素一種能幫我們進入深眠的賀爾蒙，少了褪黑激素會讓我們保持清醒。我們想知道只有藍光這種波長會干擾睡眠，改變人體的日夜節律。還是其他的波長也會呢？

實驗步驟：

1. 正常飼養小鼠 11 天後，分析小鼠的生理數據與之前的對照組是否接近。接著進行一次曠野實驗，確認小鼠活動能力與行為模式都恢復正常之後進行單一波長光照實驗。
2. 準備好波長 650nm 紅光、波長 580nm 黃光、波長 520nm 綠光、波長 450nm 藍光、波長 385nm 紫光瓦數 3W 的 LED 晶片燈五個，安裝好在黑色瓦楞版上。
3. 日夜週期設定為 12-12 光照時間，連續進行單一波長光照實驗 10 天。
4. 每天紀錄小鼠的體重、食量、糞便重量、滾輪圈數與 MB 的數據。
5. 第六天開始進行巴恩斯迷宮實驗，第十天進行長期記憶測驗。

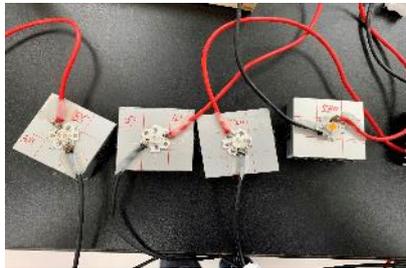


圖 52

準備好 650nm 紅光、580nm 黃光、520nm 綠光、450nm 藍光、385nm 紫光瓦數 3W 的 LED 晶片燈



圖 53

安裝好在木架上，光照時間設定為 12-12 的日夜週期



圖 54

蓋上黑色透氣的不織布，連續進行單一波長光照實驗 10 天

(三) 實驗分析方法

小鼠生理數據監控設備與行為模式測試設計

實驗說明：

觀察小鼠的生理與行為變化是我們推論日夜週期改變會不會影響到小鼠的最重要依據。我們觀察的指標分為兩種：一是**小鼠的能量代謝**，包括小鼠的攝食、體重、糞便重量、滾輪運動能力、一般活動力。二是**小鼠的行為分析**，包括開放空間移動軌跡（open field test）可作為焦慮相關的檢測。迷宮測試（本研究選擇巴恩斯迷宮設計）可以量化小鼠的空間學習記憶能力。

利用小鼠清醒活動時會跑滾輪的特性，我們在滾輪外架設一個電子式的滾輪計數器來計算小鼠的運動量，此為跑步測試，藉此評估小鼠的活動力與平衡感等身體狀況。

1. 製作滾輪計數器

實驗步驟：

- (1) 把電子式計步器的蓋子打開，把計次的兩條信號線延長，連接到市售的磁簧開關，再把計步器的蓋子鎖好。
- (2) 取一片透明投影片，把市售的磁簧開關固定平貼在鼠籠上。

- (3) 在鼠籠的滾輪上貼上強力磁鐵。
- (4) 調整位置，確認鼠籠的強力磁鐵在滾動時能準確經過磁簧開關。
- (5) 找一隻小鼠上滾輪測試。



圖 55
把電子式計步器的蓋子打開，把計次的兩條信號線延長



圖 56
把訊號線連接到市售的磁簧開關



圖 57
在鼠籠的滾輪上貼上強力磁鐵



圖 58
調整位置，確認鼠籠的強力磁鐵在滾動時能準確經過磁簧開關



圖 59
找一隻小鼠上滾輪測試

2. 安裝設定 micro:bit 的數據

實驗說明：

一般活動力也可以稱為籠內行為檢測 (home cage)，藉此了解小鼠的清醒與活動狀態，適合晝夜週期觀測。想了解小鼠清醒或睡眠狀態，最常使用的方式就是安裝有夜視功能的攝影機，但是這種觀察很難把活動力量化，經過思考，我們決定測量鼠籠震動的幅度把小鼠活動力量化。

我們安裝 micro:bit 這種微型電腦版編寫程式來量化小鼠在飼養籠內活動情形。micro:bit 內建多項常見的感測器，其中有內建的「加速度器」，我們可以利用它來測震動鼠籠的次數。我們設定 X、Y 軸數值，只要鼠籠震動安裝在上頭的 micro:bit 便會測到水平方向和垂直方向加速的數據，我們把數值範圍設定在測得+50 或-50 以上算一次。沒有從 0 開始就計算的原因是要扣掉小鼠睡眠時的微小振動，例如抓癢或是伸展。

實驗步驟：

- (1) 取 micro:bit 微型電腦版，設定 X、Y 軸數值。
- (2) 在電腦上編寫程式後輸入。
- (3) 把 micro:bit 安裝在鼠籠上，進行測試。
- (4) 每天記錄數據後歸零。

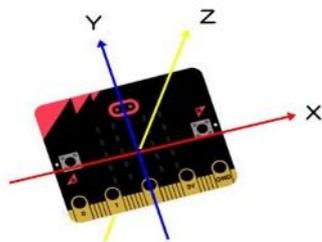


圖 60
micro:bit 三軸定義如上圖

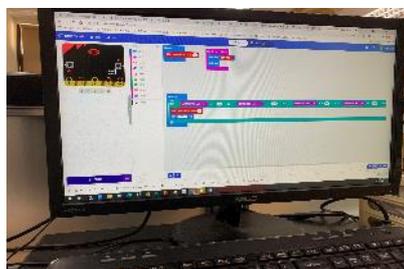


圖 61
在電腦上編寫程式



圖 62
安裝在鼠籠上進行測試

3. 改善夾取小鼠糞便的方式

實驗說明：

排泄物數量是觀察小鼠生理狀態一個很重要的指標，例如小鼠變胖了是因為只吃不動，

還是只是因為便秘而造成的體重增加呢？而為了維持鼠籠的清潔與乾燥，避免小鼠罹患皮膚病，我們不測量尿液，尿液由鼠籠裡的墊材吸收，我們只過濾出糞便來秤重作為觀察的指標。

一開始我們使用木屑當墊材，但是木屑非常細小，要過濾出同樣也是很細小的糞便需要花費相當長的時間。於是後來我們改成用廚房紙巾當作墊材，除了顏色對比強烈容易夾取之外，在烘乾的時間上也節省很多。



圖 63
把鼠籠內的木屑墊材放入定溫烘箱設定溫度 50°C 烘四個小時取出



圖 64
烘乾後的木屑與鼠便



圖 65
用大小不同的篩網過濾木屑之後再夾取



圖 66
因夾取不易，改用廚房紙巾當墊材，維持一樣的烘乾溫度與時間



圖 67
更改墊材之後的鼠籠狀態



圖 68
公鼠因發情而互相啃咬產生的傷口



圖 69
幫小鼠用優典擦藥後放置隔離籠



圖 70
在隔離籠內等到發情期結束後再進行合籠

4. 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze)

實驗說明：

小動物的迷宮測試有很多方式，一般常見的有水迷宮、十字迷宮或 Y 臂迷宮，還有一些是自製的迷宮路線，用食物來當作獎勵手法，我們則選擇巴恩斯迷宮。

小鼠厭惡強光、噪音與高處，所以會本能地尋找可以安全休息的場所，而巴恩斯迷宮的實驗設計藉由小鼠尋找可以休息小黑盒的過程來測試實驗動物對空間與位置的學習與記憶能

實驗步驟：

- (1) 取一瓦楞版切割出一個半徑 30 公分的圓
- (2) 按照時鐘的位置分佈，在大圓上切割出半徑 4.5 公分 12 個相同的小圓。
- (3) 在其中一個小圓底下裝置一個黑色不織布袋子，讓小鼠可以進入躲藏。
- (4) 在迷宮相隔 90 度黏貼一個視覺輔助記號。
- (5) 把迷宮架高上放安置攝影機，紀錄小鼠尋找迷宮的路徑。把小鼠放置於迷宮的中心點，然後產生 110 分貝的噪音。
- (6) 若小鼠在 3 分鐘內找不到小黑袋，便將其引導至小黑袋內，待小鼠進入之後用瓦楞板將洞口蓋起，結束噪音，讓小鼠在小黑袋內待 1 分鐘。
- (7) 如此的流程讓小鼠休息兩小時之後重複進行，一天三次，重複四天，第五天把小黑袋收起，只留下洞口。紀錄小鼠找到原本放置小黑袋洞口所需要的時間。

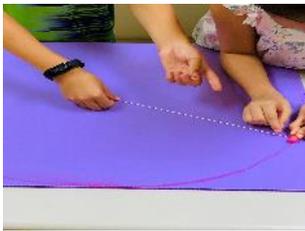


圖 71
取一瓦楞版切割出一個半徑 30 公分的大圓



圖 72
按照時鐘的位置分佈，切割出 12 個半徑 4.5 公分大小相同的圓



圖 73
在其中一個小圓底下裝置一個黑色不織布袋子，讓小鼠可以進入躲藏



圖 74
在迷宮相隔 90 度黏貼一個視覺輔助記號



圖 75
把迷宮架高上放安置攝影機，紀錄小鼠尋找迷宮的路徑



圖 76
產生 110 分貝的噪音



圖 77
紀錄小鼠找尋小黑袋洞口的時間



圖 78
用瓦楞板將洞口蓋起，結束噪音，讓小鼠在小黑袋內待 1 分鐘

伍、實驗結果與討論

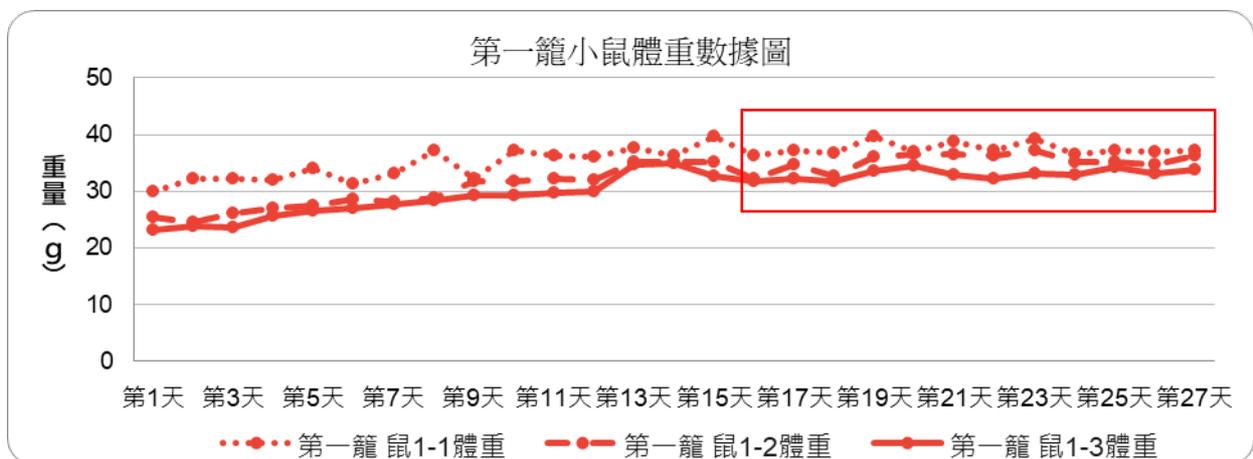
一、樣本基準線數據分析

(一) 小鼠的生理數據

包括小鼠的體重、攝食、糞便重量、滾輪運動能力、一般活動力。小鼠的行為分析，包括開放空間移動軌跡（曠野實驗）與巴恩斯迷宮測試。

在實驗室經過 27 天舒適環境控制日夜週期 12-12 小時的飼養，收集這些天數的所有數據取其穩定的一段數據的平均值來當作實驗組的比較數據。因為每一籠小組都有個別差異，無法在實驗中設立對照組進行比較，於是我們以小鼠穩定時段數據的平均值當作基準線來進行分析。

1. 小鼠體重的實驗數據



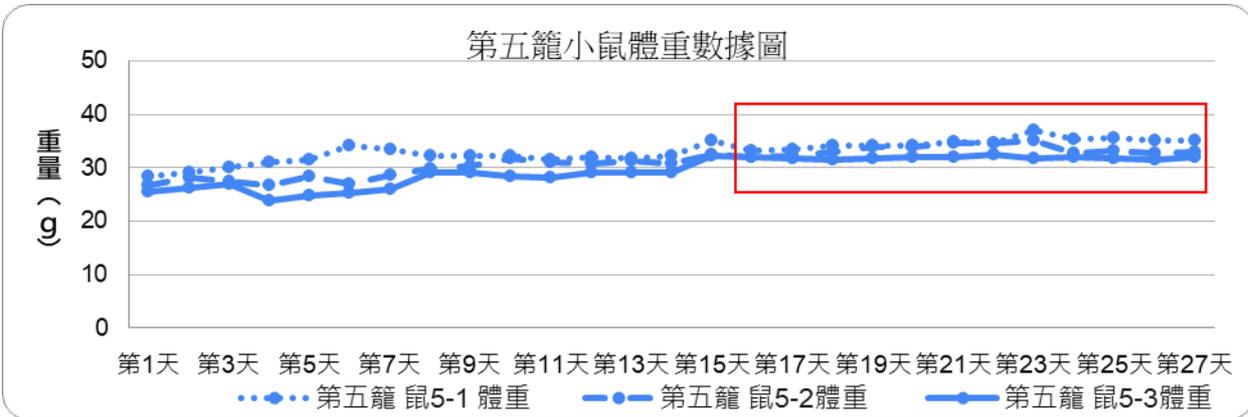
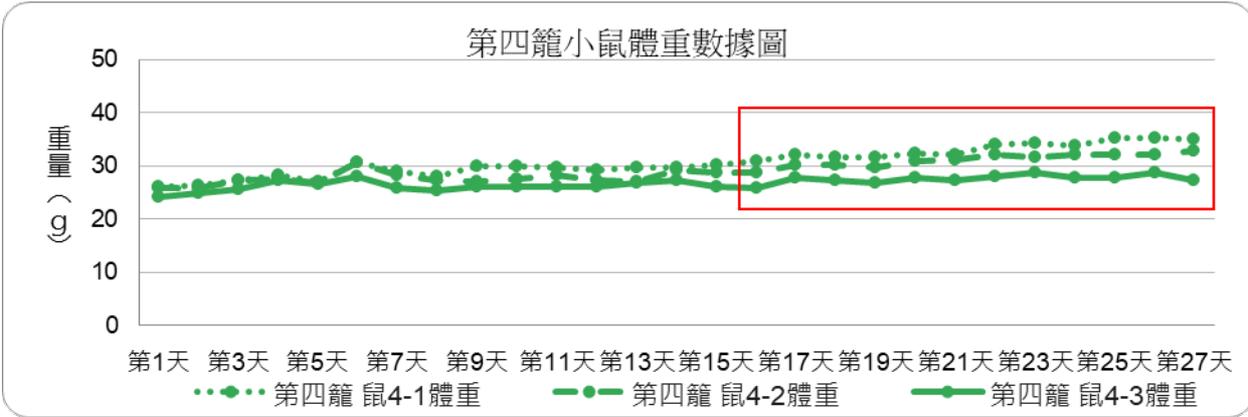
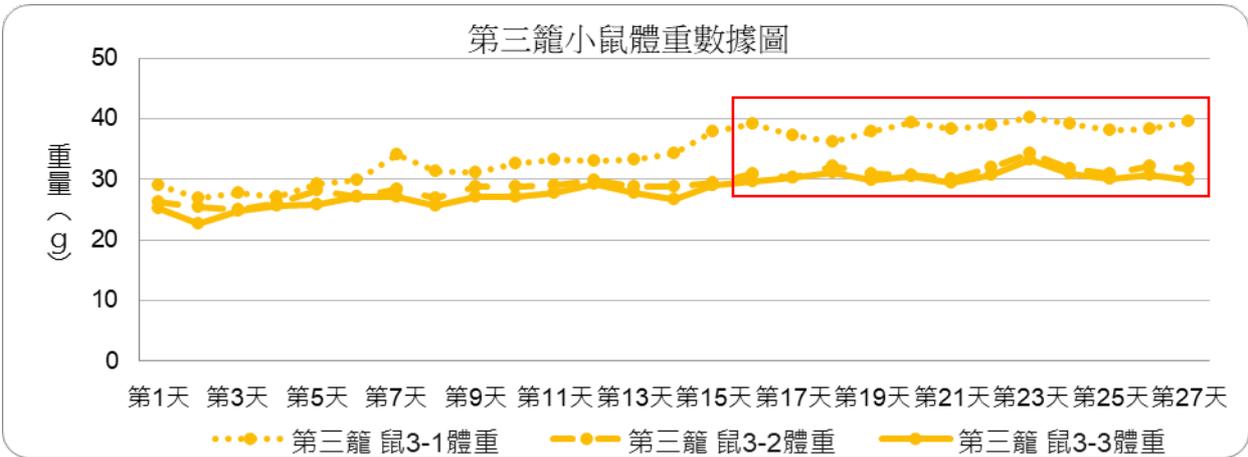
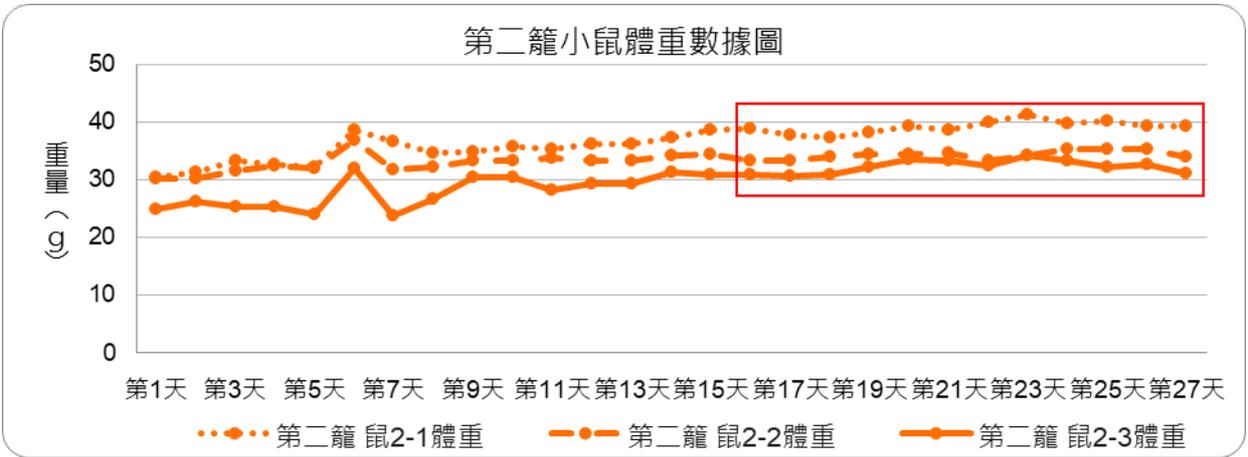


圖 79 小鼠鼠體重數據圖

實驗討論：

- (1) 從實驗數據中可知每一籠每一隻小鼠的體重都增加了，但增加的幅度有個別差異，所以實驗的對照組須以每籠小鼠自身的體重來做比較。
- (2) 前 14 天的體重上下起伏波動較大，很可能是小鼠還在適應新的環境。後 13 天的數據線段趨於平緩，代表體重不再有大幅度的增減，於是我們決定取最後 12 天的數據來當作所有實驗的對照組。
- (3) 根據陽明交通大學實驗動物中心所提供的小鼠生理學數值表，成年公鼠體重落在 20~40g 之間，從數據中可知我們最重的小鼠體重為 37.2g，最輕的小鼠體重為 26.7g，均落在正常值內，適合當作對照組參考。

2. 小鼠攝食的實驗數據：

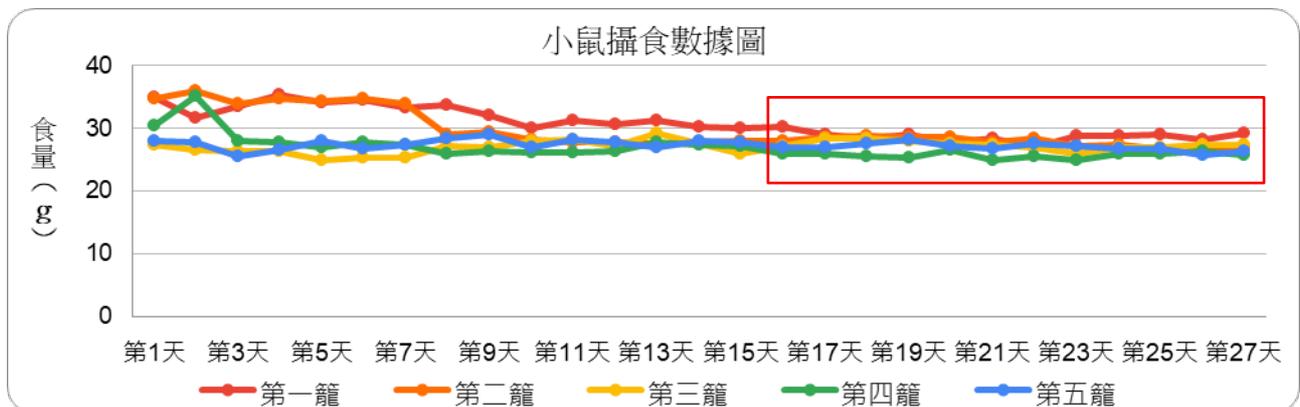


圖 80 小鼠攝食數據圖

實驗討論：

- (1) 從實驗數據中可知剛開始在實驗室飼養時，不同籠小鼠們的食量落差非常大，有些籠的小鼠可以吃到 34g，有些籠小鼠只吃 25g。根據陽明交通大學實驗動物中心所提供的小鼠生理學數值表，成年公鼠的食量最高一天為 15g（3 鼠同籠則為 45g），所以我們的小鼠食量均落在正常值內，可當對照組參考。
- (2) 小鼠食量約在 14 天後呈現穩定，於是我們決定取最後 12 天數據來當作所有實驗的對照組。

3. 小鼠糞便重量的實驗數據：

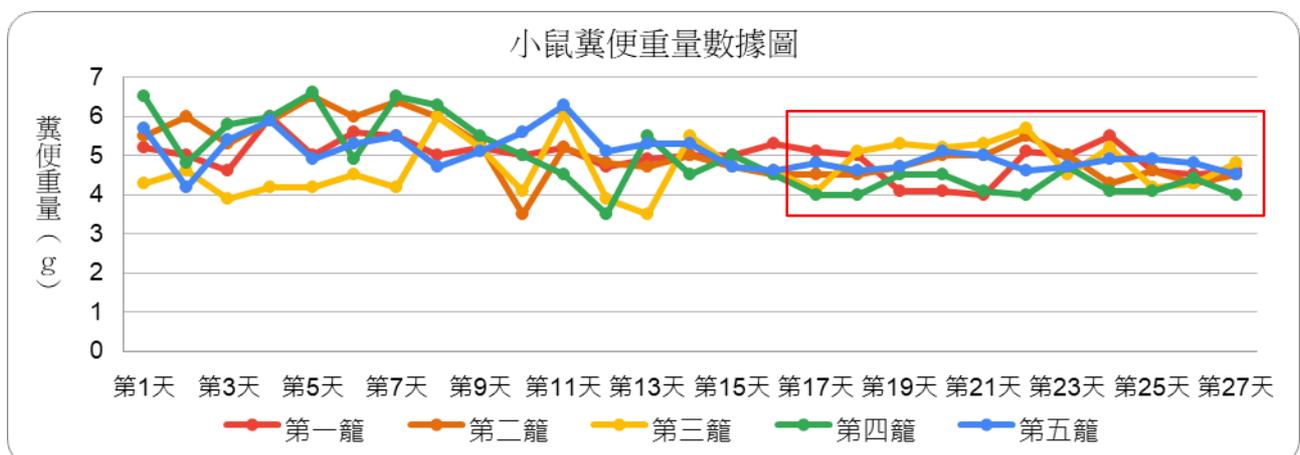


圖 81 小鼠糞便重量數據圖

實驗討論：

- (1) 正常情況下小鼠糞便的重量會和飲食量相關，有學者提出小鼠排便的次數、重量與焦慮感有關，從數據中可知在實驗室飼養的前兩週每一籠的小鼠們在排便數量上有大幅度的升降，隨著飼養的時間拉長，小鼠的排便量也維持在 2g 的差距裡。代表小鼠的生理與心理趨近於穩定，適合開始進行實驗。小鼠食量約在 14 天後呈現穩定，於是我們決定取最後 12 天的數據來當作所有實驗的對照組。
- (2) 為了避免水分與尿液影響到糞便的重量，所以我們採取完全烘乾後再秤重，以維持數據的穩定性。

4. 小鼠滾輪運動能力的實驗數據

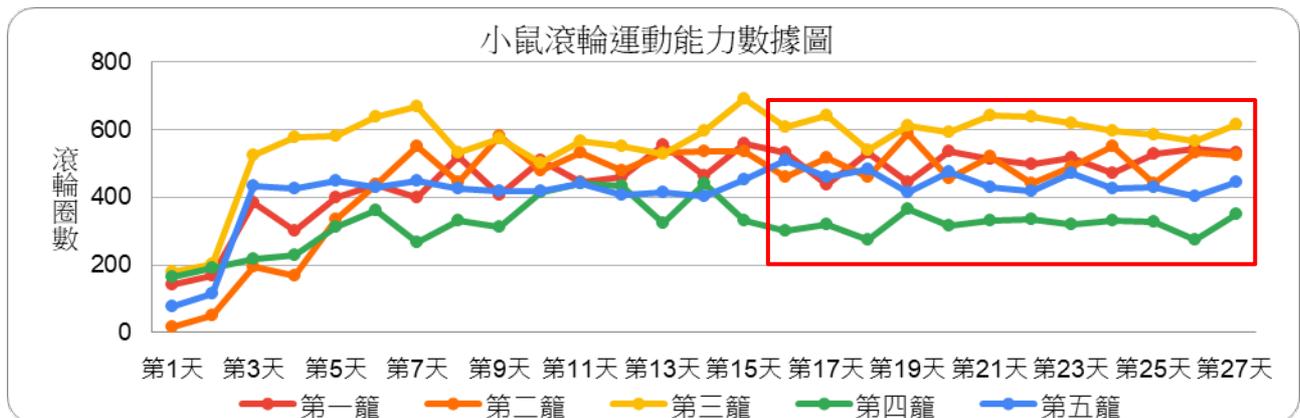


圖 82 小鼠滾輪運動能力數據圖

實驗討論：

- (1) 剛開始幾天的數據可以得知小鼠跑滾輪需要學習，學會了之後跑滾輪的圈數就會維持在一定的範圍。第一籠小鼠滾輪次數維持在 400~600 圈，第二籠小鼠滾輪次數維持在 500~650 圈，第三籠小鼠滾輪次數維持在 400~600 圈，第四籠小鼠滾輪次數維持在 200~400 圈，第五籠小鼠滾輪次數維持在 400~500 圈。
- (2) 從數據中可知每籠小鼠的運動量有個別差異，在實驗室飼養兩週後活動量也趨於穩定。

5. 小鼠一般活動力的實驗數據：

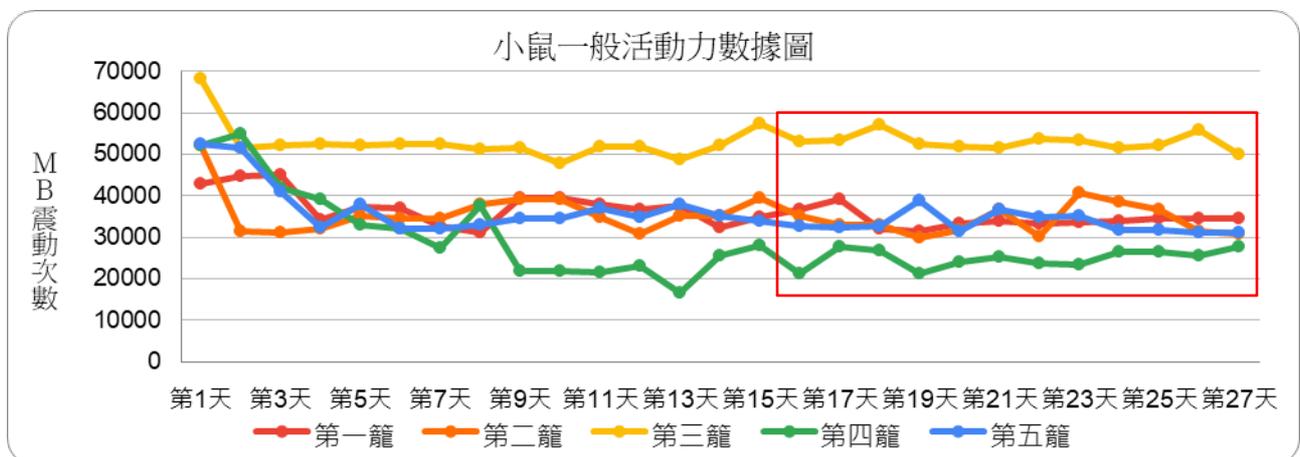


圖 83 小鼠一般活動力數據圖

實驗討論：

- (1) 一開始飼養時每一籠的 MB 數據都很高，後來逐漸下降，直到兩週後逐漸穩定下來，代表剛到新環境的小鼠們對於環境探索的需求比較高，導致震動鼠籠的頻率偏高。
- (2) 因為我們把 X、Y 軸水平方向和垂直方向加速的數值範圍設定在測得+50 或-50 以上算一次，所以一天差距 5000 次上下都屬合理範圍，因為鼠籠內有三隻小鼠同時居住，三隻小鼠同時活動，或是只有一隻小鼠活動 MB 的數據都算一次。
- (3) 與滾輪圈數交叉分析，滾輪圈數多的 MB 的次數也高，因為跑動滾輪也會震動 MB，所以運動能力高的小鼠 MB 次數也會提高。

(二) 小鼠的行為分析

1. 曠野實驗 (open field test, 簡稱 OFT)

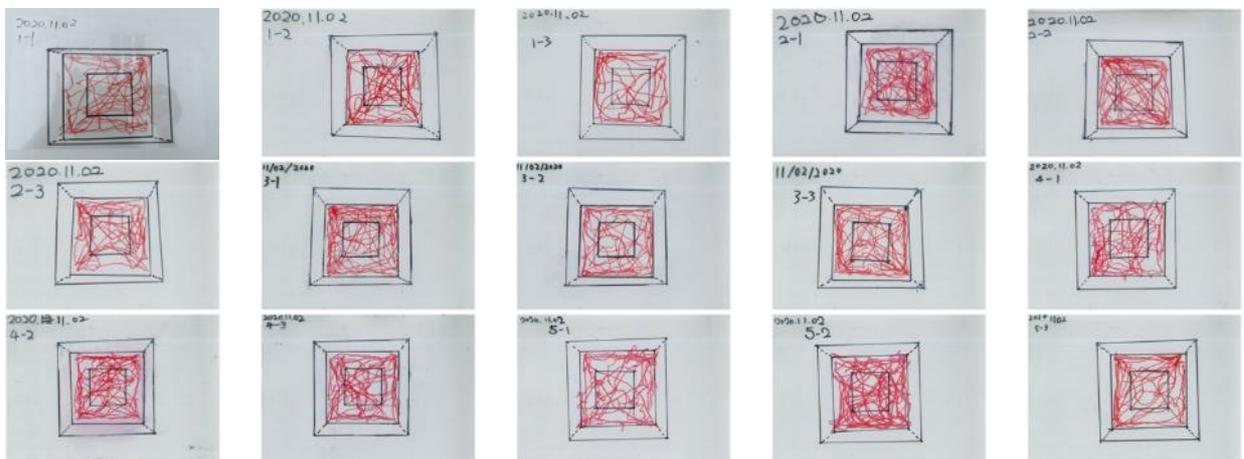


圖 84 第一次曠野實驗

實驗數據：

表 3 第一次曠野實驗數據表

單位：pixel

	第一籠			第二籠			第三籠			第四籠			第五籠		
	鼠 1-1	鼠 1-2	鼠 1-3	鼠 2-1	鼠 2-2	鼠 2-3	鼠 3-1	鼠 3-2	鼠 3-3	鼠 4-1	鼠 4-2	鼠 4-3	鼠 5-1	鼠 5-2	鼠 5-3
中央區域	52870	93560	65002	100350	109968	76056	90256	67889	87950	83560	88056	83650	85025	125560	75065
周邊區塊	120950	165561	154331	221802	243636	172820	218051	162161	194930	180223	163228	177217	190299	271179	172413
中央區域面積比率	30.42%	36.11%	29.64%	31.15%	31.10%	30.56%	29.27%	29.51%	31.09%	31.68%	35.04%	32.07%	30.88%	31.65%	30.33%
周邊區塊面積比率	69.58%	63.89%	70.36%	68.85%	68.90%	69.44%	70.73%	70.49%	68.91%	68.32%	64.96%	67.93%	69.12%	68.35%	69.67%

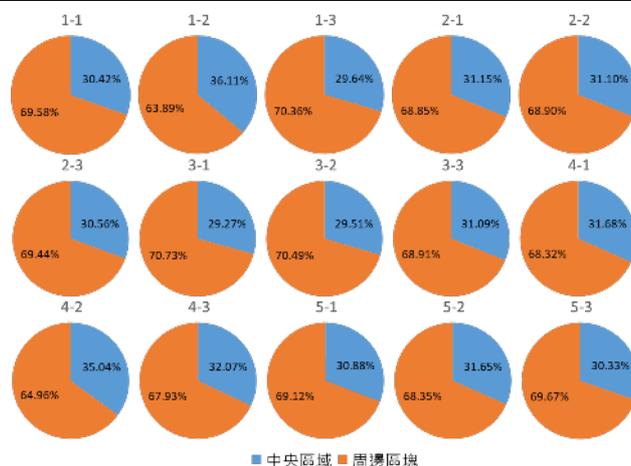


圖 85 小鼠曠野實驗數據圖

實驗討論：

- (1) 從實驗數據可知，小鼠在中央區域與周邊區塊行走的路徑面積比接近 1:2。根據動物行為學齧齒類動物對新環境有趨觸性，齧齒類動物天生有靠近周邊的傾向，因中央區塊意味著威脅情境，而周邊區塊相對安全。若小鼠在曠野實驗時，行走周邊與中央區塊的面積接近，代表小鼠處於行為能力正常，心理狀態也無焦慮的狀態。
- (2) 經過 O F T 的測試之後，代表所有的小鼠都在無焦慮的狀態下進行了不同日夜週期的實驗。

2. 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據

表 4 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據表

時間 (秒)

天 數	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天 (測驗)	
第一籠	鼠 1-1	146	35	23	17	10
	鼠 1-2	176	57	23	19	9
	鼠 1-3	124	55	12	5	2
	平均	148.7	49.0	19.3	13.7	7.0
第二籠	鼠 2-1	180	29	26	14	6
	鼠 2-2	136	47	30	19	10
	鼠 2-3	136	23	14	17	3
	平均	150.7	33.0	23.3	16.7	6.3
第三籠	鼠 3-1	148	48	17	11	6
	鼠 3-2	125	57	19	13	9
	鼠 3-3	152	54	20	10	8
	平均	141.7	53.0	18.7	11.3	7.7
第四籠	鼠 4-1	116	40	20	16	9
	鼠 4-2	180	57	31	14	6
	鼠 4-3	140	46	21	12	4
	平均	145.3	47.7	24.0	14.0	6.3
第五籠	鼠 5-1	135	46	33	17	7
	鼠 5-2	154	37	23	12	8
	鼠 5-3	125	30	21	11	8
	平均	138.0	37.7	25.7	13.3	7.7

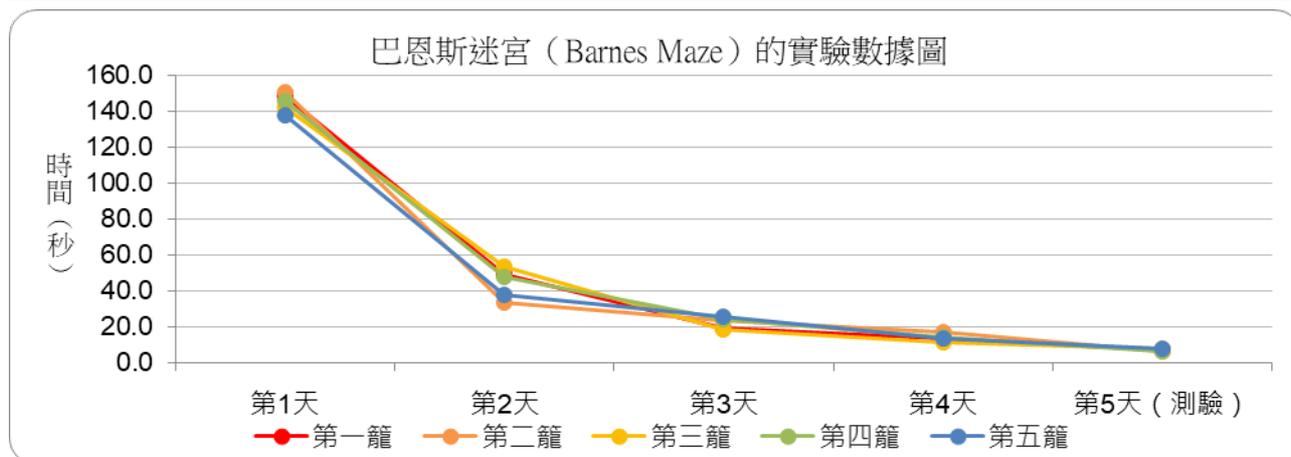


圖 86 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據圖

實驗討論：

- (1) 雖然不同籠的小鼠學習的曲線有快有慢，但是都能透過連日的學習，逐漸減少尋找小黑袋的時間，在測驗當天都能在 25 秒內找到目標物。代表小鼠是有長期記憶能力，也能透過學習來加強自己的認知能力。
- (2) 巴恩斯迷宮的實驗可知小鼠有長期記憶，可以透過學習來找到安全的庇護所，因此可以透過巴恩斯迷宮來檢測小鼠的長期記憶或是學習能力的變化。

二、加入實驗變因後的數據討論

(一) 實驗一：改變不同的日夜週期，觀察小鼠生理與行為的變化

1. 小鼠體重的實驗數據

表 5 不同光照週期小鼠體重比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天	第11天	第12天
日夜顛倒組	5.49	6.91	7.85	9.27	10.31	9.74	10.69	10.22	7.85	7.85	6.44	6.44
全日照組	2.60	2.90	8.28	8.28	9.97	13.15	12.56	12.06	10.57	9.57	10.07	8.58
全黑暗組	4.89	5.87	5.65	6.63	6.63	5.65	5.10	5.10	6.74	5.10	5.65	6.19
正常週期組	3.13	2.73	3.13	4.63	4.43	6.13	4.63	5.63	4.63	6.63	6.21	7.13

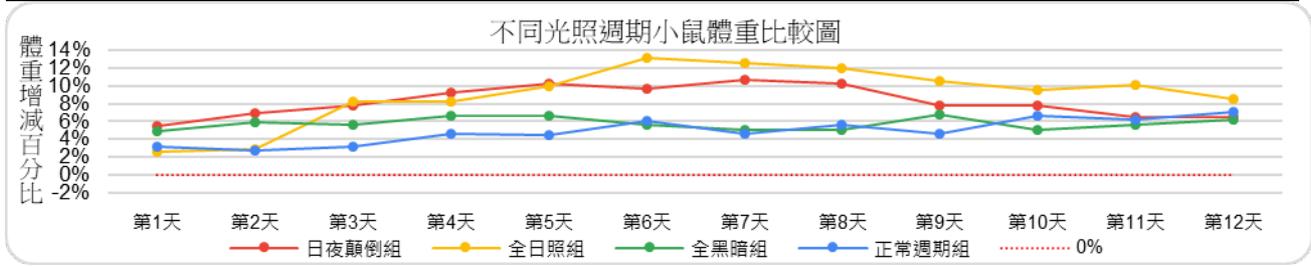


圖 87 不同光照週期與對照組小鼠體重比較圖

實驗討論：

從體重的數據發現所有小鼠的體重都增加了。全日照組的小鼠體重上升最多，最高值增加了 13.15%。日夜顛倒組的小鼠體重持續增加到第 8 天，才逐漸下降。全黑暗組的小鼠增加的比例與正常週期組的小鼠增加的比例相近，維持在 2%~7% 中間。

2. 小鼠食量的實驗數據

表 6 不同光照週期小鼠食量比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天	第11天	第12天
日夜顛倒組	4.86	11.51	10.11	9.41	8.71	1.37	-11.56	-10.52	-8.07	-7.37	-5.97	-6.67
全日照組	-7.78	-3.75	-7.04	-3.39	-5.58	-6.68	1.01	-0.46	-1.19	-4.85	-3.02	-4.85
全黑暗組	4.60	5.38	6.55	3.43	5.38	3.82	4.99	4.99	3.05	4.99	6.93	4.21
正常週期組	1.82	2.56	0.71	2.19	1.45	1.82	5.15	-0.03	-1.88	-0.03	1.82	0.71

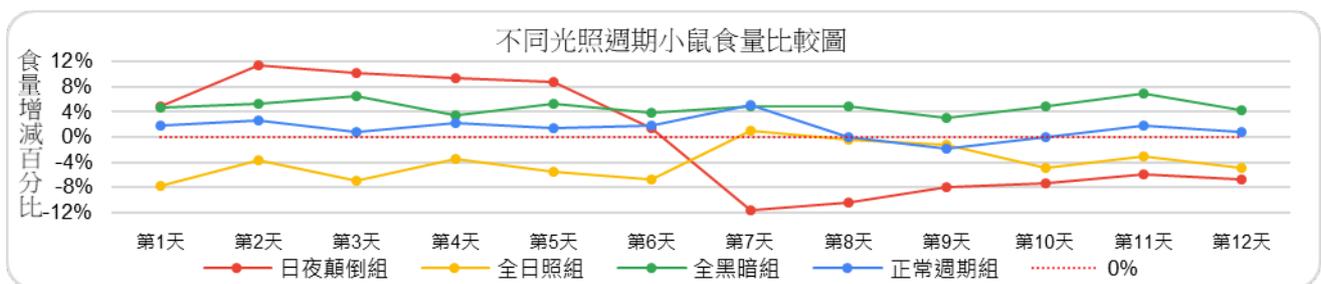


圖 88 不同光照週期與對照組小鼠食量比較圖

實驗討論：

日夜顛倒組的小鼠在實驗的 12 天內食量持續增加到第 6 天，第 7 天食量大幅減少 11.56% 之後，才又緩慢的逐漸增加。全日照組的小鼠食量除了第 7 天是增加的，其餘都是減少的，全黑暗組食量雖然 12 天都是增加的，但是增加的數值不多在 3%~6% 之間。正常週期組的小鼠增減的波動平緩，在 3% 上下。

3. 小鼠糞便重量的實驗數據

表 7 不同光照週期小鼠糞便重量比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天	第11天	第12天
日夜顛倒組	18.10	7.56	18.10	15.99	15.99	20.21	22.32	15.99	13.88	15.99	22.32	7.56
全日照組	-9.43	-19.73	-15.61	-3.26	-27.96	-17.67	-9.43	7.03	31.73	-25.90	-15.61	-11.49
全黑暗組	6.09	6.09	6.09	-5.70	-5.70	3.73	6.09	6.09	-3.34	6.09	6.09	6.09
正常週期組	2.80	-1.40	-5.59	2.80	9.09	6.99	6.99	-1.40	-9.79	-16.08	-1.40	-7.69

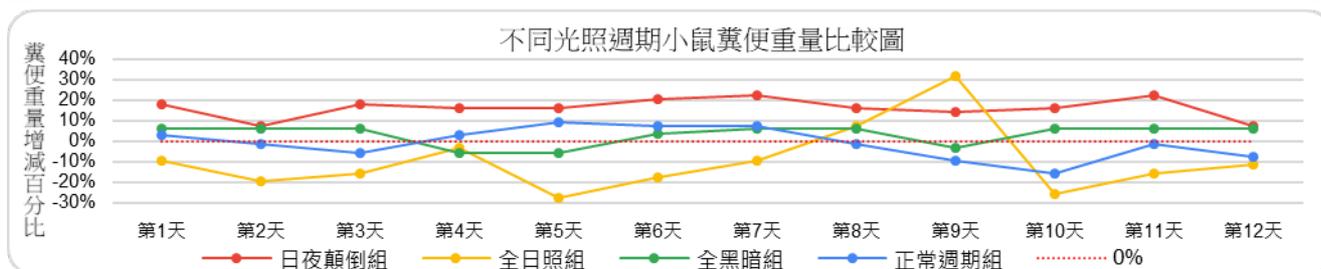


圖 89 不同光照週期與對照組小鼠糞便重量比較圖

實驗討論：

從糞便的數據來看，日夜顛倒組的糞便重量增加最多，小鼠的排便也是焦慮的指標之一，代表日夜顛倒的小鼠焦慮感較高。全光照組則持續減少到第九天，突然增加到31.73%，接著又減少了。從糞便重量可見全光照組的小鼠有便秘的問題。全黑暗組與正常組的糞便重量變化不大，維持平穩。

4. 小鼠滾輪運動能力的實驗數據：

表 8 不同光照週期小鼠滾輪運動能力比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天	第11天	第12天
日夜顛倒組	6.64	-2.43	-4.01	-35.55	-34.56	-55.26	-48.36	-11.50	-17.02	-10.71	-14.26	-18.99
全日照組	-28.62	-31.10	-46.96	-45.81	-47.62	-36.89	-36.89	-47.13	-60.84	-47.29	-65.14	-62.49
全黑暗組	-3.23	-2.29	0.21	5.83	1.77	-5.10	-5.10	14.26	4.89	2.08	0.21	-6.04
正常週期組	-8.36	-9.70	6.84	-3.22	-5.90	-5.90	-4.79	-12.39	7.51	0.13	-3.67	-3.22

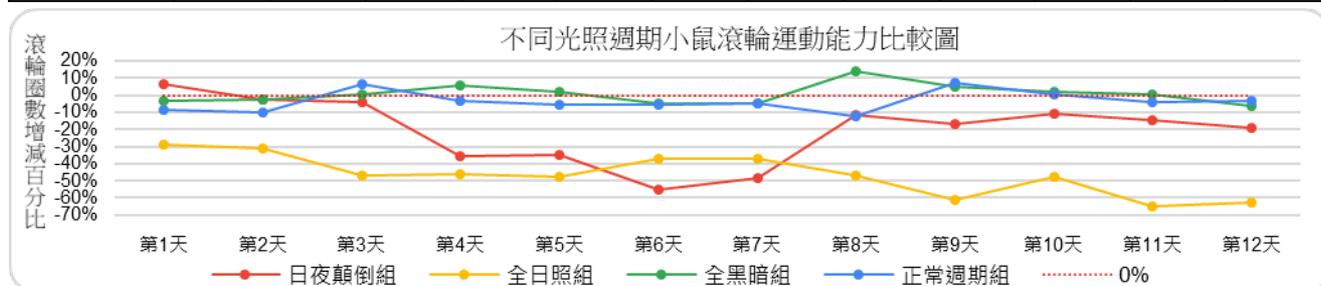


圖 90 不同光照週期與對照組小鼠滾輪運動能力比較圖

實驗討論：

滾輪圈數代表的是小鼠們的運動能力，日夜顛倒組的小鼠滾輪圈數下降可高達50%，代表小鼠們的運動能力減低許多，到第7天才逐漸回升但是仍低於平均值。全光照組的小鼠滾輪圈數則是大幅下降，代表全光照的環境下會使小鼠大量降低運動能力。全黑暗組則是略增，代表小鼠在全黑暗的環境下活動力會略增，很有可能與小鼠是夜行性動物有關。

5. 小鼠一般活動力的實驗數據：

表 9 不同光照週期小鼠一般活動力比較表

單位:%

組 別	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天	第 11 天	第 12 天
日夜顛倒組	171.00	197.18	174.01	155.79	174.33	140.66	60.20	24.13	26.14	53.81	83.25	98.97
全日照組	-55.81	-41.35	-58.67	-25.44	-43.75	-61.50	-30.70	-38.98	-75.27	-52.89	-34.30	38.45
全黑暗組	-28.59	26.60	24.95	23.72	15.74	14.97	35.39	74.48	33.19	33.56	47.06	21.00
正常週期組	-12.73	0.86	7.64	-1.07	-7.00	0.44	-3.45	9.19	13.50	13.50	-5.65	10.50

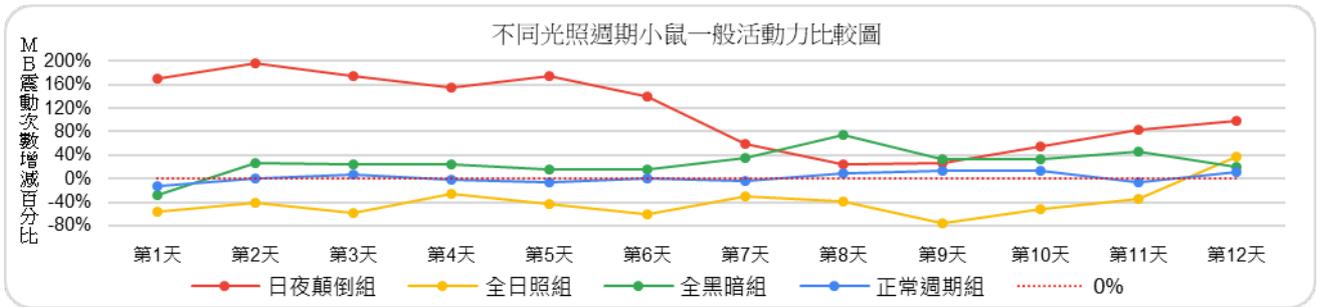


圖 91 不同光照週期與對照組小鼠一般活動力比較圖

實驗討論：

MB 的數據代表的是小鼠的活動力。日夜顛倒組的小鼠 MB 次數大量增加，第 5 天甚至高達 174%，而滾輪圈數卻大幅下降，代表小鼠們是清醒的，但是運動能力卻不佳，很有可能是日夜顛倒影響到了小鼠們的晝夜節律。全光照組則是活動力大幅減弱，除了第 12 天其餘天數皆在平均值之下，與滾輪數據一起分析，推測全光照可能增加了小鼠的睡眠時間。黑暗組的 MB 數則是小幅度增加，代表黑暗的環境中小鼠的活動力會上升，這跟小鼠是夜行性動物的本性也是有相關的。至於正常光照組則是在 13% 上下增減變化不大。

6. 小鼠進行巴恩斯迷宮的實驗數據

表 10 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據表

時間 (秒)

天 數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天 (測驗)
日夜顛倒組	鼠 1-1	139	116	74	68	47
	鼠 1-2	149	126	78	70	45
	鼠 1-3	165	133	75	66	41
	平均	151.0	125.0	75.7	68.0	44.3
全光照組	鼠 3-1	163	166	180	150	163
	鼠 3-2	171	155	175	180	180
	鼠 3-3	125	160	180	144	180
	平均	153.7	160.3	178.3	158.0	174.3
全黑暗組	鼠 4-1	114	43	23	15	11
	鼠 4-2	163	50	34	17	9
	鼠 4-3	138	53	20	10	7
	平均	138.3	48.7	25.7	14.0	9.0
正常週期	鼠 5-1	161	48	27	15	8
	鼠 5-2	180	35	30	19	8
	鼠 5-3	135	31	21	12	7
	平均	158.7	38.0	26.0	13.3	7.7

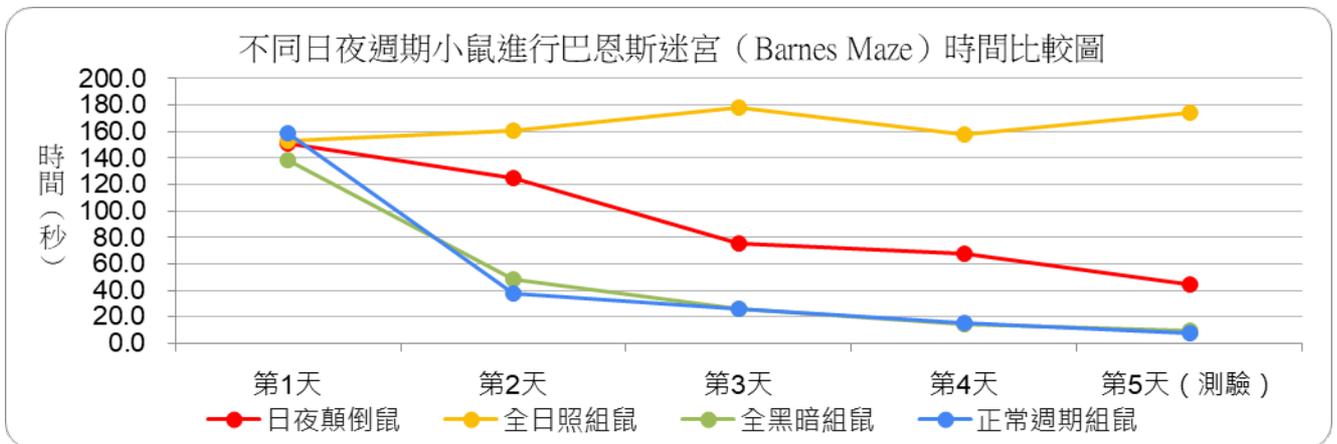


圖 92 不同光照週期小鼠進行巴恩斯迷宮時間比較圖

實驗討論：

- (1) 日夜顛倒組的小鼠雖然依然擁有學習曲線逐步下降的趨勢，但是尋找小黑袋的時間時間卻變長了，雖然最後一天測驗狀況有改善，但是也可以中看出身體因為環境光照與內在節律不同，進行調整時差的過程中學習能力會減弱。
- (2) 全光照組直到最後一天尋找小黑袋的時間都很長，沒能呈現出學習的曲線，直到最後一天還是需要 177 秒才能找到小黑袋，代表沒能記憶小黑袋的位置。推測過度的光照可能會影響到睡眠，進一步影響到學習能力。
- (3) 全黑暗組前面的學習能力似乎感覺沒有被影響，但是到了最後幾天學習能力還是有略為減少的趨勢。而正常組的學習曲線就如同對照組般，可以透過學習而增加長期記憶的能力，進而快速的找到庇護所所在的位置。

綜合討論：

- (1) 綜合所有的數據來看，日夜顛倒的小鼠有逐漸調整自己內在的晝夜週期來配合外在環境週期的能力，大部分的觀察指標到了第 7 天都都逐漸調整趨近於平均值，就像是在調時差一般，但是運動能力與學習能力是下降的，代表這兩項指標可能需要更多時間才能恢復。
- (2) 全光照組的小鼠，在食量減少的情況下，體重卻增加了，觀察排便量數據發現小鼠們有便秘的狀況，所以有可能是便秘導致了體重增加，因為第 9 天大量排便之後，小鼠們的體重就降了 2%。運動能力、一般活動量與學習能力方面都變差了，代表全光照的晝夜週期全面性的影響到小鼠的生理與認知狀態。
- (3) 全黑暗的小鼠狀態卻與正常組的差異不大，可能的原因是小鼠本身內在有屬於自己的晝夜節律系統，在沒有環境光照的影響下，小鼠便按照自己自身的晝夜節律系統生活，小鼠的晝夜節律是 23.5 小時，與地球一天 24 小時差距不大，所以全黑暗組的小鼠與正常組的小鼠生理與認知狀態相接近，唯一的差別在於黑暗的環境下，小鼠的活動量會增加。
- (4) 綜合以上的實驗結果，我們發現**控制小鼠晝夜節律的是「光照」**，光照會改變小鼠內在的晝夜節律，讓小鼠逐漸配合外在環境的晝夜規律。如果沒有光照的條件因素存在，小鼠們則會按照自己內在的週期生活。

(二) 實驗二：小規模破壞環境光照的情況下，觀察小鼠生理與行為的變化

1. 曠野實驗 (open field test, 簡稱 OFT)

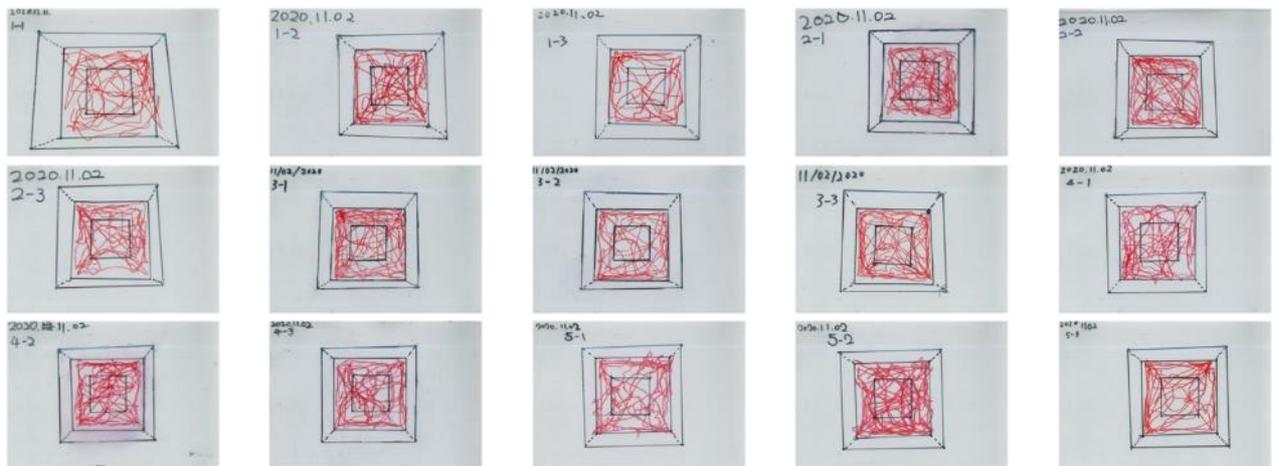


圖 93 第二次曠野實驗

實驗數據：

表 11 第二次曠野實驗數據表

單位：pixel

	第一籠			第二籠			第三籠			第四籠			第五籠		
	鼠 1-1	鼠 1-2	鼠 1-3	鼠 2-1	鼠 2-2	鼠 2-3	鼠 3-1	鼠 3-2	鼠 3-3	鼠 4-1	鼠 4-2	鼠 4-3	鼠 5-1	鼠 5-2	鼠 5-3
中央區域	63098	56850	65251	118526	89573	98665	68558	72052	82223	93865	63826	89662	96256	88365	98536
周邊區塊	120950	118812	128016	244417	189815	239592	160751	166622	190587	209793	140651	198465	218843	209704	225917
中央區域面積比率	34.28%	32.36%	33.76%	32.66%	32.06%	29.17%	29.90%	30.19%	30.14%	30.91%	31.21%	31.12%	30.55%	29.65%	30.37%
周邊區塊面積比率	65.72%	67.64%	66.24%	67.34%	67.94%	70.83%	70.10%	69.81%	69.86%	69.09%	68.79%	68.88%	69.45%	70.35%	69.63%

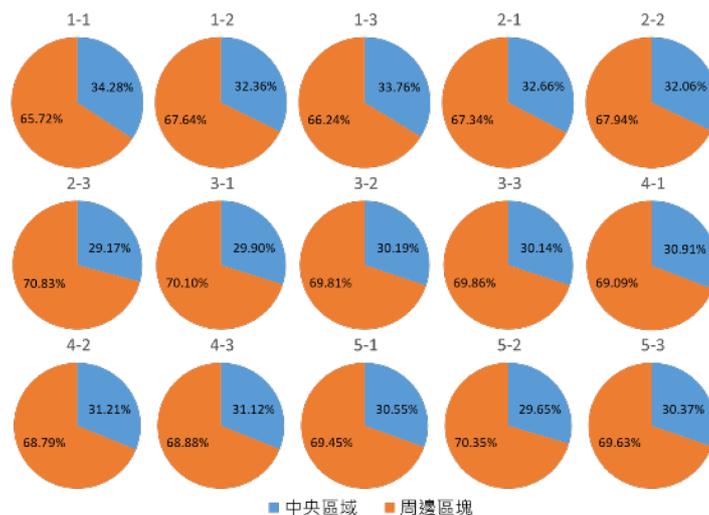


圖 94 小鼠曠野實驗數據圖

實驗討論：

- (1) 讓小鼠回到正常的晝夜節律與舒適環境 (去除掉黑布) 之後，正常飼養 11 天，觀察小鼠的體重、食量、鼠便重量、運動能力與活動力恢復到與對照組接近之後進行曠野實驗。
- (2) 從實驗數據可知，小鼠在中央區域與周邊區塊行走的路徑面積比接近 1:2。代表小鼠處於行為能力正常，心理狀態也無焦慮的狀態，才開始進行延長睡眠實驗。

2. 小鼠體重的實驗數據

表 12 延長不同光照時間小鼠體重比較表

單位:%

組 別	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天
延長光照 1 小時	9.27	10.69	6.91	6.25	1.71	3.51	2.18	1.99	3.22	1.05
延長光照 2 小時	3.33	3.71	8.53	8.15	7.40	8.91	7.96	8.63	7.96	5.69
延長光照 3 小時	8.08	12.46	8.67	13.55	10.17	9.67	12.06	11.06	9.57	8.08
延長光照 4 小時	11.63	13.37	11.52	15.22	15.44	11.52	13.59	11.42	11.74	12.07
延長光照 5 小時	11.53	12.13	11.13	13.63	14.93	12.63	14.13	11.93	9.63	11.93

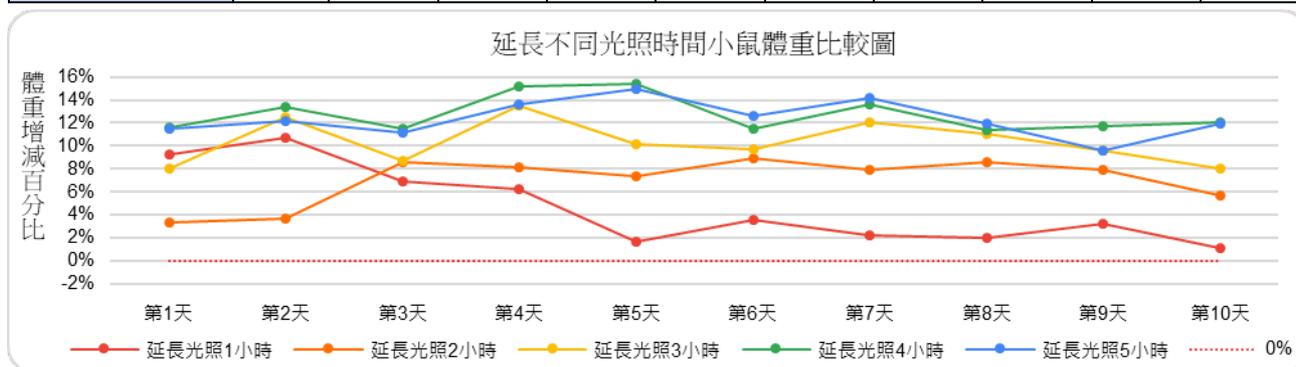


圖 95 延長不同光照時間與對照組小鼠體重比較圖

實驗討論：

從體重的數據可以發現所有的小鼠體重都增加了，特別是延長光照 4 小時與 5 小時的小鼠們體重增加了 10% 以上，可見增加光照時間會使小鼠增加體重。

3. 小鼠食量的實驗數據

表 13 延長不同光照時間小鼠食量比較表

單位:%

組 別	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天
延長光照 1 小時	1.37	3.12	-1.78	-3.87	-16.81	-22.05	-17.86	-19.60	-20.30	-17.16
延長光照 2 小時	18.74	0.75	-6.09	-13.28	-19.76	-11.84	-9.69	-17.96	-19.04	-15.44
延長光照 3 小時	0.27	-9.61	-4.12	-7.78	-15.10	-18.39	-12.90	-14.36	-16.56	-15.10
延長光照 4 小時	-7.84	-15.62	-17.95	-18.34	-23.40	-25.34	-24.56	-21.84	-22.23	-20.67
延長光照 5 小時	2.93	-13.36	-8.92	-10.03	-11.51	-5.58	-7.81	-19.65	-17.80	-8.92

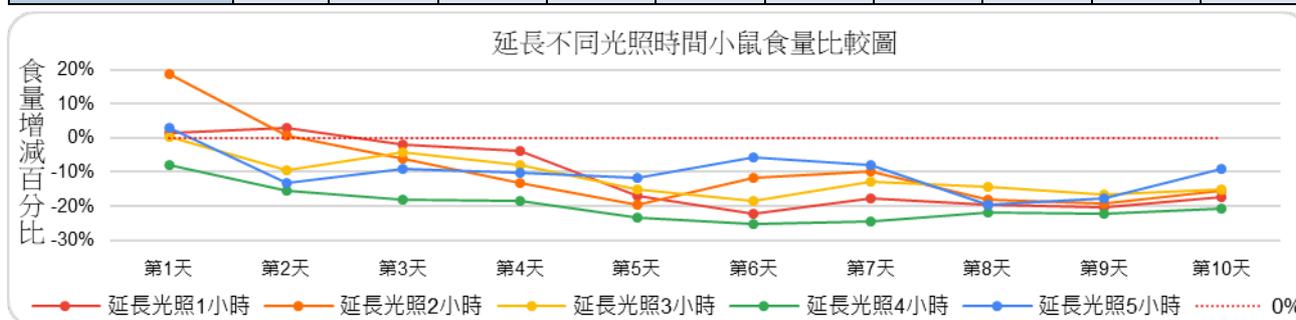


圖 96 延長不同光照時間與對照組小鼠食量比較圖

實驗討論：

從食量的數據來看，除了延長光照 1 和 2 小時的小鼠在前 2 天食量是增加的，其餘的天數都是逐漸減少。而延長光照 1 小時的小鼠食量則是逐步下降到第 6 天為最低，後又逐步增加，但是與平均值有 15% 以上的差距。延長光照 3、4、5 小時的小鼠的食量都一直低於平均值，有些天數甚至高達 20% 以上。推測增加光照時間讓小鼠的食慾下降。

4. 小鼠糞便重量的實驗數據

表 14 延長不同光照時間小鼠糞便重量比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
延長光照 1 小時	-0.88	11.78	-0.88	-11.42	1.23	11.78	-11.42	9.67	7.56	11.78
延長光照 2 小時	6.38	2.13	-8.51	10.64	10.64	2.13	6.38	0.00	17.02	8.51
延長光照 3 小時	11.15	19.38	13.21	-1.20	4.97	19.38	-15.61	-19.73	-27.96	-30.02
延長光照 4 小時	-19.84	-19.84	-22.20	-19.84	-26.92	-10.41	-29.27	-29.27	-10.41	-26.92
延長光照 5 小時	-1.40	-26.57	-32.87	-30.77	-20.28	-18.18	-22.38	-18.18	-22.38	-11.89

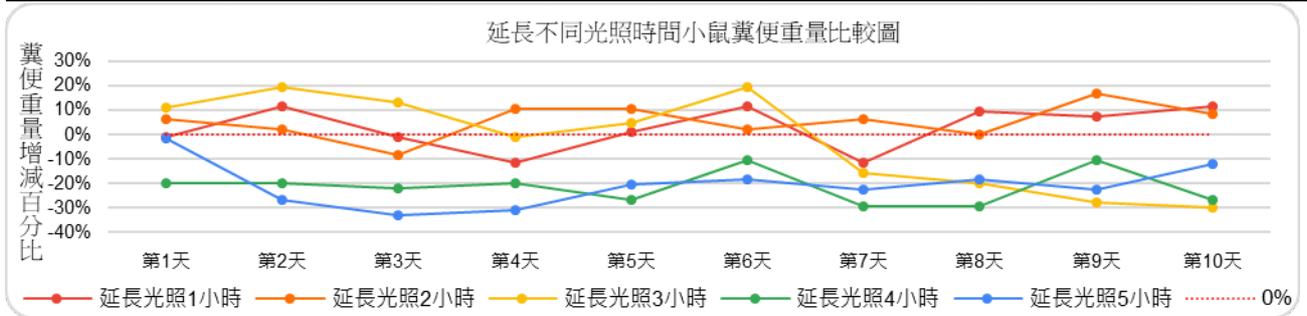


圖 97 延長不同光照時間與對照組小鼠糞便重量比較圖

實驗討論：

從糞便重量可知，延長光照 1、2 小時的小鼠糞便增減約在 10% 上下大致維持平穩。延長光照 3 小時的小鼠糞便在前 5 天都還能保持平穩，第 6 天突然增加了 19.38%，第 7 天又陡降 15.61%，代表延長光照 3 個小時的小鼠在多天數的照射下，身體狀況產生了變化，延長光照 3 小時可能是小鼠晝夜週期的一個耐受度的轉折時間。而延長光照 4、5 小時的小鼠的糞便量從第 2 天開始就都大量減少鼠便重量 20% 以上，代表增加光照時間會讓小鼠有便秘的情形產生。

5. 小鼠滾輪運動能力的實驗數據

表 15 延長不同光照時間小鼠滾輪運動能力比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
延長光照 1 小時	5.26	-7.56	-3.81	-25.30	-22.73	-25.10	-32.98	-58.61	-43.43	-56.44
延長光照 2 小時	-4.34	-17.58	-23.60	-38.64	-48.06	-55.28	-53.28	-57.89	-55.88	-57.69
延長光照 3 小時	-3.02	-33.42	-31.76	-47.96	-39.03	-78.36	-67.29	-73.07	-73.07	-75.55
延長光照 4 小時	-8.84	-15.71	-12.59	-41.94	-45.99	-51.93	-53.49	-65.66	-64.10	-65.35
延長光照 5 小時	-16.19	-67.37	-76.53	-58.65	-60.44	-59.32	-65.80	-63.79	-65.36	-69.16

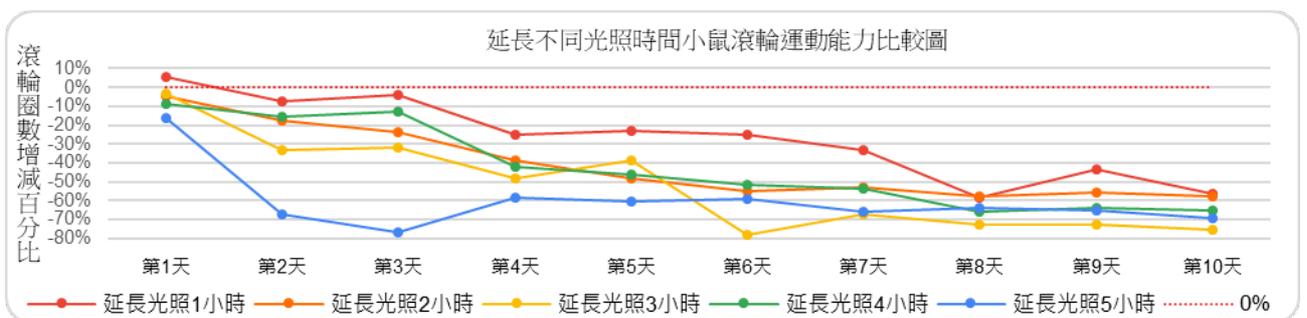


圖 98 延長不同光照時間與對照組小鼠滾輪運動能力比較圖

實驗討論：

滾輪運動能力，隨著延長光照的時間越長，運動能力就表現越差。延長光照 1 小時的小鼠在前 3 天的運動能力還能維持在增減 8% 之間，但是到了第 4 天後便開始持續下降，到了第 10 天運動能力下降了 56.44%，接近一半。而第五籠延長光照 5 個小時，從第 2 天開始運動能力變下降了 67.37%，可見延長光照時間對小鼠的運動能力有很大的影響。

6. 小鼠一般活動力的實驗數據

表 16 延長不同光照時間小鼠一般活動力比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
延長光照 1 小時	6.95	13.98	0.58	20.78	-2.03	2.25	15.91	22.70	-1.67	-24.15
延長光照 2 小時	38.71	35.51	35.97	-0.32	-1.30	-6.74	9.91	-15.00	-38.19	-25.84
延長光照 3 小時	8.73	-3.52	-3.73	-18.47	-8.09	-36.82	-28.51	-40.57	-40.68	-48.55
延長光照 4 小時	-10.47	-2.56	2.81	6.26	-45.17	-48.37	-28.35	-38.71	-21.59	-26.17
延長光照 5 小時	9.72	6.49	-33.37	-47.08	-62.17	-68.77	-66.67	-63.79	-67.82	-68.63

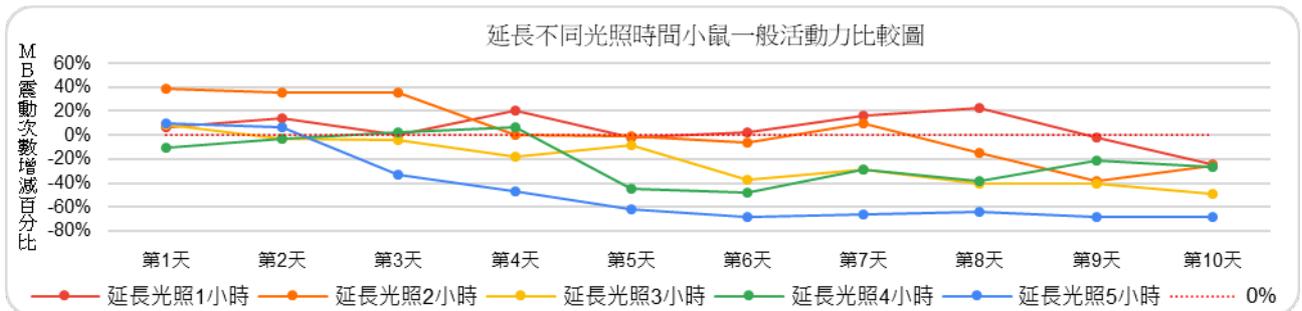


圖 99 延長不同光照時間與對照組小鼠一般活動力比較圖

實驗討論：

從 MB 的震動次數來看，延長光照 1 小時的小鼠 MB 次數增減約 20% 上下幅度不大，可知延長光照 1 個小時對小鼠的睡眠或活動沒有造成太大的影響。但是延長光照 2 小時的小鼠從第 4 天之後便可以觀察到增加光照時間，會逐漸減少小鼠的活動力。推測可能因為延長光照增減了他們的睡眠時間，進而破壞了小鼠的晝夜週期，導致小鼠的運動能力下降。

7. 小鼠進行巴恩斯迷宮的實驗數據：

表 17 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據表

時間 (秒)

天數	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天 (測驗)	
延長光照 1 小時	鼠 1-1	167	80	80	78	63
	鼠 1-2	131	83	82	77	65
	鼠 1-3	144	78	80	81	69
	平均	147.3	80.3	80.7	78.7	65.7
延長光照 2 小時	鼠 2-1	161	110	98	91	88
	鼠 2-2	155	103	96	93	85
	鼠 2-3	175	108	98	89	83
	平均	163.7	107.0	97.3	91.0	85.3
延長光照 3 小時	鼠 3-1	160	121	121	110	113
	鼠 3-2	152	137	133	123	120
	鼠 3-3	142	129	129	121	117
	平均	151.3	129.0	127.7	118.0	116.7
延長光照 4 小時	鼠 4-1	153	140	138	128	126
	鼠 4-2	140	139	135	133	130
	鼠 4-3	156	143	130	138	133
	平均	149.7	140.7	134.3	133.0	129.7
延長光照 5 小時	鼠 5-1	168	165	162	153	149
	鼠 5-2	158	163	160	149	151
	鼠 5-3	160	161	162	151	154
	平均	162.0	163.0	161.3	151.0	151.3

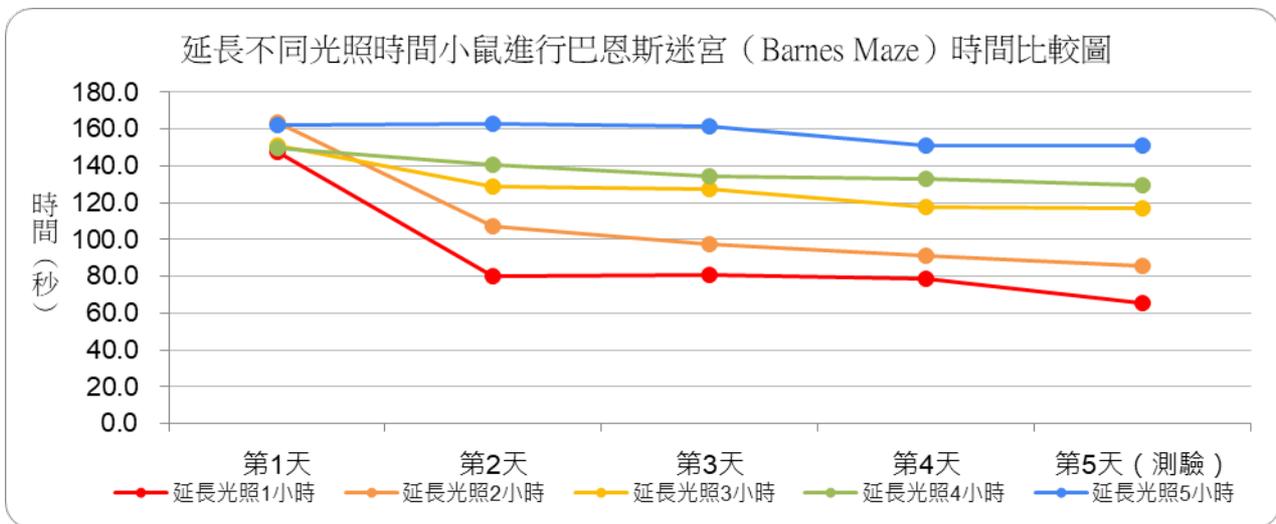


圖 100 延長不同光照時間與對照組小鼠進行巴恩斯迷宮時間比較圖

實驗討論：

- (1) 延長光照 1 小時和 2 小時組的小鼠，雖然依然有呈現學習曲線的狀態。但是找到小黑袋的時間變長了。最後的測驗也表現不佳比對照組多了 10% 以上的時間。
- (2) 延長光照 4、5、6 組的小鼠學習的曲線並不明顯，從第二、三、四天開始找到小黑袋的秒數差異不大，顯示學習能力都大大衰退了。實驗結果表示即使每天小規模的破壞晝夜節律的作息，時間一長對學習能力依然會造成巨大的影響。

綜合討論：

- (1) 綜合所有的實驗數據來看延長光照對小鼠的影響，可知延長光照 1 個小時，小鼠可以依靠自己內在的晝夜節律去調整，所以在生理與認知上影響不太大，但是到實驗 7 天後，延長光照 1 個小時的影響就逐漸明顯，可見自身的晝夜節律能力有限，超過負荷的範圍還是會被在外的環境所影響。而延長光照 5 個小時的小鼠，則是立即受到了外在光照環境的影響，不僅飲食量排泄量降低，活動力與運動能力也降低。
- (2) 從巴恩斯迷宮的數據可知，不論是一天增加光照 1 個小時，或是一天增加光照 5 個小時，延長光照對於學習能力的影響是巨大的，就算**每天些微的破壞晝夜節律的作息，天數一多依然會導致學習能力的衰退。**
- (3) 綜合以上的實驗結果，我們可以推論延長光照對小鼠的生理狀態與行為模式有全面性的影響。極短時間例如 1 個小時的延長光照，小鼠可以依靠自身的晝夜節律調整過來，但是天數拉長了還是會被外在光照環境影響。而一次大量增加長時間的光照例如 5 個小時，小鼠會改變自身的晝夜節律去配合外在環境，導致生理與認知能力都產生了變化。

(三) 實驗三：探討在不同波長的光照下，觀察小鼠生理與行為的變化

1. 曠野實驗 (open field test, 簡稱 OFT)

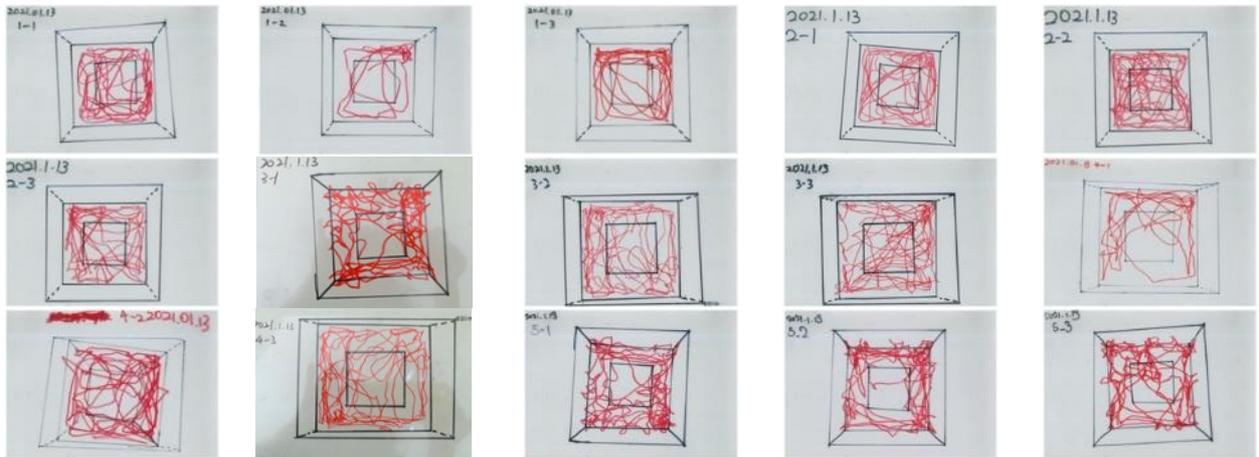


圖 101 第三次曠野實驗

實驗數據：

表 18 第三次曠野實驗數據表

單位：pixel

	第一籠			第二籠			第三籠			第四籠			第五籠		
	鼠 1-1	鼠 1-2	鼠 1-3	鼠 2-1	鼠 2-2	鼠 2-3	鼠 3-1	鼠 3-2	鼠 3-3	鼠 4-1	鼠 4-2	鼠 4-3	鼠 5-1	鼠 5-2	鼠 5-3
中央區域	96852	43002	72365	96521	108586	85967	66558	65021	70221	39614	92227	86529	100654	73321	100985
周邊區塊	181840	96727	168214	208873	222770	179607	156157	134189	134129	92744	203159	186302	232864	178537	211387
中央區域面積比率	34.75%	30.78%	30.08%	31.61%	32.77%	32.37%	29.88%	32.64%	34.36%	29.93%	31.22%	31.72%	30.18%	29.11%	32.33%
周邊區塊面積比率	65.25%	69.22%	69.92%	68.39%	67.23%	67.63%	70.12%	67.36%	65.64%	70.07%	68.78%	68.28%	69.82%	70.89%	67.67%

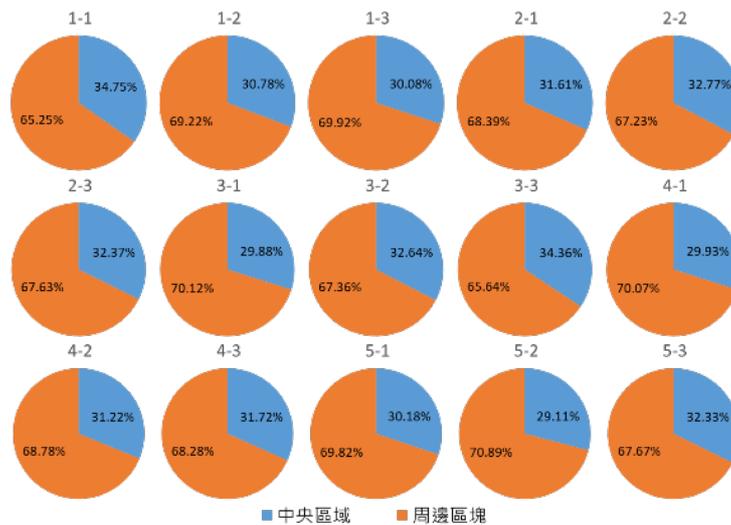


圖 102 小鼠曠野實驗數據圖

實驗討論：

- (1) 讓小鼠回到正常的晝夜節律與舒適環境（去除掉黑布）之後，正常飼養 16 天，觀察小鼠的體重、食量、鼠便重量、運動能力與活動力恢復到與對照組接近之後進行曠野實驗。
- (2) 從實驗數據可知，小鼠在中央區域與周邊區塊行走的路徑面積比接近 1:2。代表小鼠處於行為能力正常，心理狀態也無焦慮的狀態，才開始進行不同波長光照的實驗。

2. 小鼠體重的實驗數據

表 19 不同波長光照小鼠體重比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
紅光波長光照	5.21	6.91	-1.41	8.04	8.14	5.30	7.85	7.76	6.81	0.20
黃光波長光照	10.80	10.71	10.23	11.28	9.67	10.52	10.33	9.95	10.42	9.86
綠光波長光照	3.00	5.49	8.97	7.58	3.20	6.09	3.10	3.30	1.81	5.69
藍光波長光照	11.63	15.99	15.66	16.75	22.40	21.75	24.80	21.10	19.68	24.36
紫光波長光照	8.63	14.63	20.63	23.63	24.23	24.63	23.63	19.13	21.63	23.63

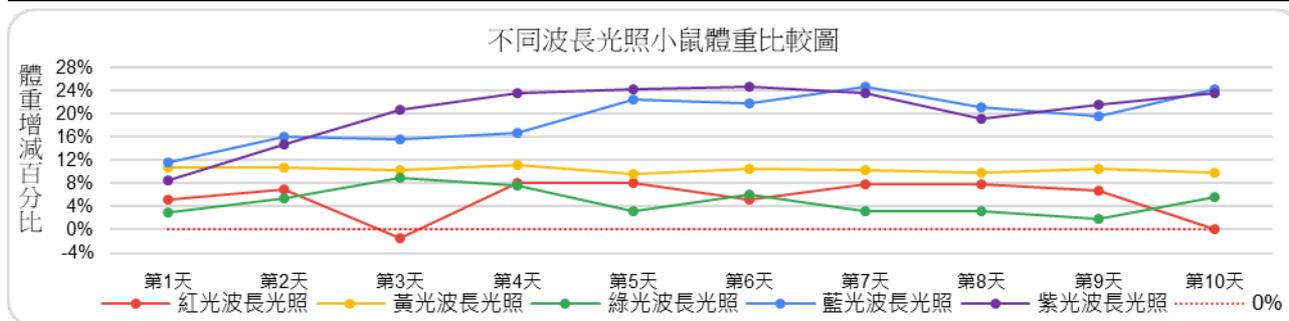


圖 103 不同波長光照與對照組小鼠體重比較圖

實驗討論：

從體重的數據上可以觀察到除了照射紅光的小鼠體重在第3天有小幅度 1.41%的減少之外，所有的小鼠體重都增加了。照藍光與紫光的小鼠體重增加的幅度高達 24%。為何照藍光與紫光會增加體重，我們查詢一些研究說藍光與紫光對褪黑激素分泌有非常強的抑制作用，褪黑激素會影響瘦體素 (leptin) 的分泌，所以這項因素很可能是小鼠肥胖的原因。

3. 小鼠食量的實驗數據

表 20 不同波長光照小鼠食量比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
紅光波長光照	4.86	-6.32	-6.67	-13.31	-10.52	-10.87	-14.71	-15.06	-3.87	-7.02
黃光波長光照	-9.69	-5.37	-4.65	-8.61	-7.17	-5.37	-8.25	-12.56	-10.76	-3.57
綠光波長光照	8.33	3.57	9.42	-0.82	5.03	-4.12	-11.44	-15.10	-19.49	-12.53
藍光波長光照	-11.73	-21.45	-21.06	-14.84	-18.73	-30.40	-26.12	-27.28	-25.34	-27.67
紫光波長光照	4.04	-4.84	2.19	1.45	1.08	-4.47	-4.10	-4.84	4.41	-1.51

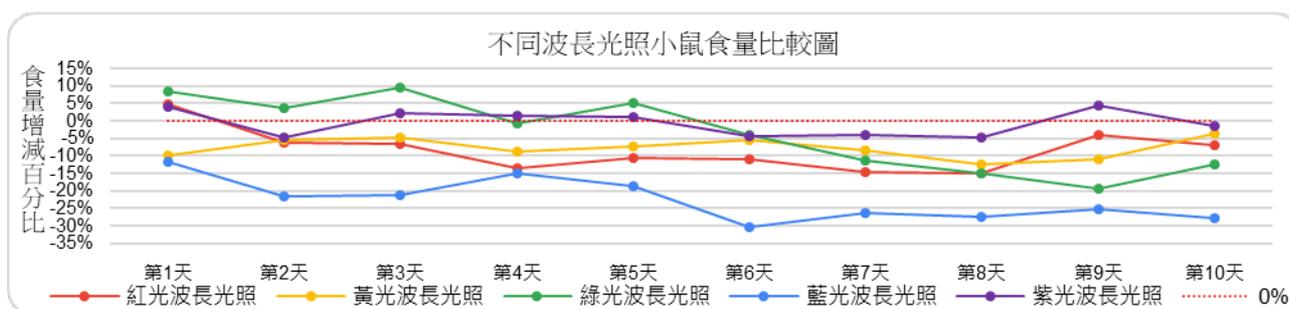


圖 104 不同波長光照與對照組小鼠食量比較圖

實驗討論：

從食量的數據來看，只有照綠光的小鼠食量是增加的，到了第6天食量開始逐漸下滑，照紅、黃食量都是明顯減少的，照藍光的小鼠食量減少最多，高達 27%。但照紫光的小鼠食

量則無明顯改變。有研究指出食慾與食物看起來的樣子有關，不同波長光照射下，在小鼠眼中食物的顏色是否產生了變化，導致小鼠食慾的降低，這推論還需要更進一步的研究。

4. 小鼠糞便重量的實驗數據

表 21 不同波長光照小鼠糞便重量比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
紅光波長光照	-0.88	-34.62	-28.30	-26.19	-9.31	7.56	1.23	13.88	-11.42	-13.53
黃光波長光照	19.15	25.53	6.38	10.64	6.38	25.53	10.64	25.53	10.64	29.79
綠光波長光照	-19.73	-13.55	-19.73	-23.84	-30.02	-25.90	-40.31	-40.31	-30.02	-27.96
藍光波長光照	1.38	-3.34	-0.98	-10.41	-0.98	13.16	-3.34	-15.13	-15.13	1.38
紫光波長光照	2.80	4.90	4.90	4.90	6.99	15.38	17.48	-5.59	-1.40	-3.50

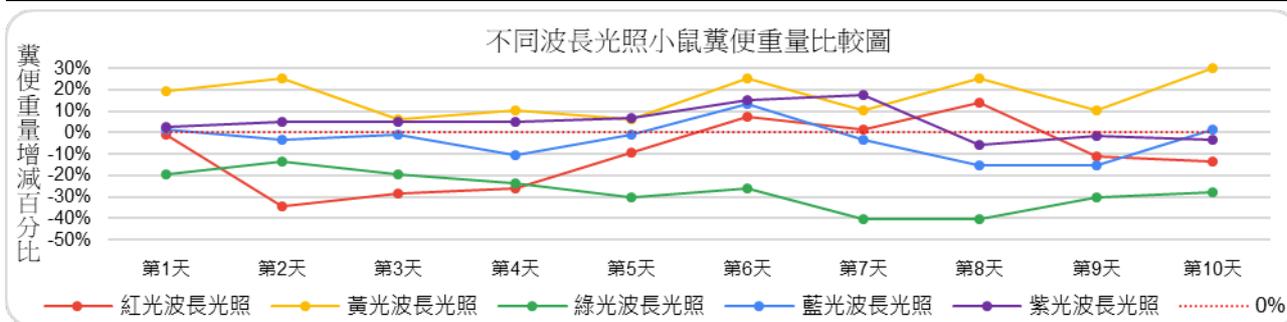


圖 105 不同波長光照與對照組小鼠糞便重量比較圖

實驗討論：

小鼠糞便重量的數據看來，照紅光的小鼠在前 5 天排便量是減少的，到了第 6 天逐漸恢復正常。而照綠光的小鼠排便量則是大量減少，照綠光的小鼠的食量減少狀況不大，但是排便量卻大量減少，代表小鼠有便秘的情況。至於為何是照射綠光的小鼠有這種情況，還需等待更進一步的研究才能解答。

5. 小鼠滾輪運動能力的實驗數據

表 22 不同波長光照小鼠滾輪運動能力比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
紅光波長光照	-31.60	-27.46	-38.50	-37.71	-37.32	-32.59	-60.18	-36.14	-38.50	-54.66
黃光波長光照	4.68	12.90	-5.75	-7.95	-16.38	6.89	-36.83	-42.05	-57.29	-44.65
綠光波長光照	311.90	379.80	256.22	375.18	246.14	300.50	233.42	349.24	225.49	324.78
藍光波長光照	154.73	169.09	255.88	324.25	239.02	217.17	340.48	193.13	204.37	200.62
紫光波長光照	828.66	852.80	835.15	1053.06	1059.77	960.31	1048.37	1209.52	921.64	951.59

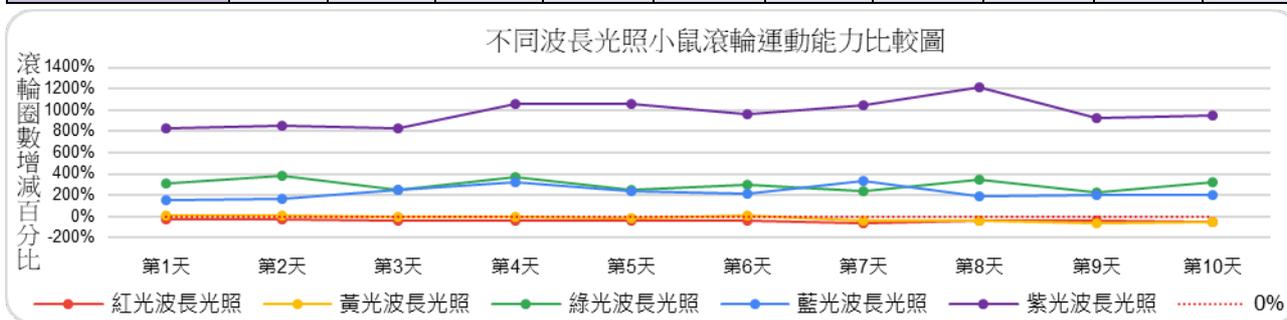


圖 106 不同波長光照與對照組小鼠滾輪運動能力比較圖

實驗討論：

小鼠滾輪運動能力，照射紅光和黃光的小鼠運動能力改變不明顯。照綠光、藍光與紫光的小鼠運動能力都增加許多，特別是照紫光的小鼠運動能力增加高達了 1053%，增加了 10

倍以上，我們的紫光波長 385nm 已經涵蓋了長波紫外線（400nm~315nm）的波長，也可以視其為紫外線，所以照射紫外線是否能增加運動能力，未來或許可以研究繼續這方面的研究。

6. 小鼠一般活動力的實驗數據

表 19 不同波長光照小鼠一般活動力比較表

單位:%

組別	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
紅光波長光照	8.53	-37.80	-33.28	-22.94	-23.11	-27.51	-29.13	-23.36	-16.45	-32.45
黃光波長光照	-5.77	23.61	24.28	13.08	12.50	11.21	17.12	16.76	-9.60	-12.74
綠光波長光照	37.13	37.11	36.04	23.98	14.97	28.66	24.25	33.56	24.37	38.38
藍光波長光照	168.51	156.71	189.73	196.68	195.59	212.81	205.61	193.18	188.85	202.61
紫光波長光照	101.92	99.72	81.32	116.18	136.10	83.73	80.47	116.45	120.21	140.40

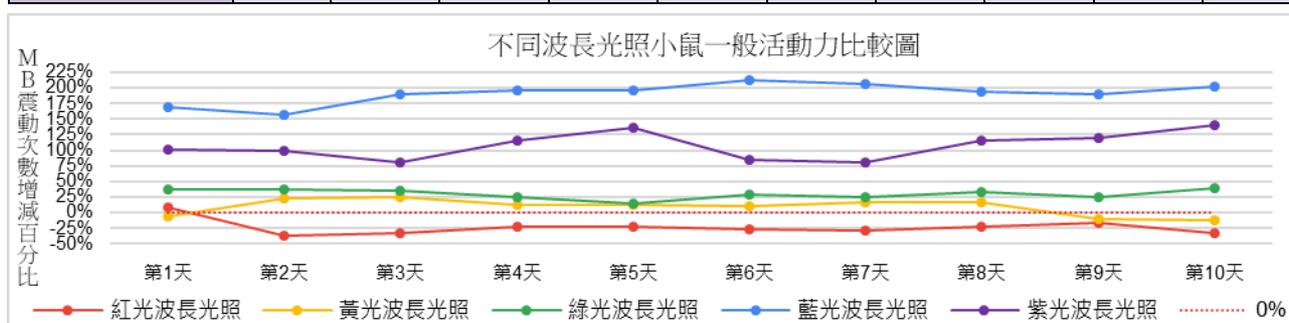


圖 107 不同波長光照與對照組小鼠一般活動力比較圖

實驗討論：

小鼠一般活動力的實驗數據，照紅光的小鼠 MB 數據皆減少許多，代表照射紅光減少了小鼠的活動力，對照滾輪次數也減少，可推論小鼠的睡眠時間可能增加了，所以才減少活動。照黃光與綠光的小鼠 MB 的次數大致維持穩定，與平均值相差不大。照藍光與紫光的小鼠 MB 的次數則是大幅的提升，配合滾輪的次數來看，可以推論小鼠的活動力與活動時間有增加的趨勢，代表睡眠時間應該是減少了許多才會增加這麼多的活動量。

7. 小鼠進行巴恩斯迷宮的實驗數據

表 20 巴恩斯迷宮 (Barnes Maze) 的實驗數據表

時間 (秒)

天數	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天 (測驗)
紅光波長光照	鼠 1-1	172	134	80	58
	鼠 1-2	152	138	89	50
	鼠 1-3	142	131	81	51
	平均	155.3	134.3	83.3	53.0
黃光波長光照	鼠 2-1	143	135	85	53
	鼠 2-2	132	131	83	52
	鼠 2-3	180	137	79	54
	平均	151.7	134.3	82.3	53.0
綠光波長光照	鼠 3-1	145	101	73	43
	鼠 3-2	151	109	75	41
	鼠 3-3	157	113	70	44
	平均	151.0	107.7	72.7	42.7
藍光波長光照	鼠 4-1	136	133	110	113
	鼠 4-2	180	156	122	121
	鼠 4-3	145	131	123	115
	平均	153.7	140.0	118.3	116.3
紫光波長光照	鼠 5-1	139	128	93	87
	鼠 5-2	156	118	105	85
	鼠 5-3	120	124	101	88
	平均	138.3	123.3	99.7	86.7

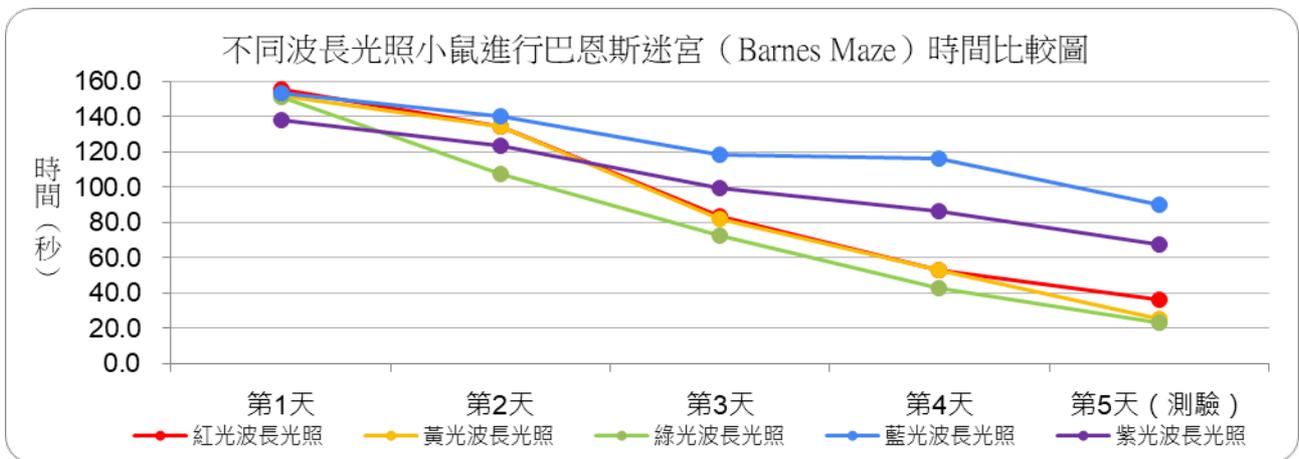


圖 108 不同波長光照與對照組小鼠進行巴恩斯迷宮時間比較圖

實驗討論：

- (1) 照射不同波長的色光，相較於照射白光，找到小黑袋的時間明顯拉長許多，但是秒數隨著時間有逐漸縮短的趨勢，代表在不同色光的照射下，小鼠依然還有保有學習能力，只是學習能力無法像照射白光那般優良。
- (2) 照藍光的小鼠學習能力最差，同樣是短波長，照紫光的小鼠學習能力卻比照藍光的小鼠好。Hongying Zhu、Ning wang 發表在<cell>雜誌上的一篇論文摘要：「適量的照射紫外線會提高學習能力，因為 UV 能刺激突觸前神經元 (presynaptic neuron)，讓神經元內的尿刊酸 (Urocanic acid) 增加，進而增加學習與記憶能力。」是否是因為這個原因讓照射紫光的小鼠學習能力比照藍光的小鼠好，還需要更進一步的研究才能確認。

綜合討論：

- (1) 綜合來看，照藍光與紫光小鼠的一般活動力與運動能力都增加不少，但是食量卻沒有增加，照藍光的小鼠食量還減少了。但是兩籠的小鼠體重卻都有明顯的增加，很有可能是其他的機制導致了小鼠肥胖的原因。我們查了資料美國洛克菲勒大學在 1994 年的研究，小鼠身上有一種叫瘦體素 (leptin) 的蛋白質。有研究指出睡眠不足會使血清中的瘦體素濃度降低，所以照射藍光與紫光的小鼠可能因為睡眠不足的關係而導致了肥胖，但是更詳細的體內機制還要靠更多的研究來解開其相關性。
- (2) 常聽到睡前不要使用 3C 產品，因為藍光會影響到睡眠，從我們的實驗上看是正確的，而且不只藍光，紫光也會影響到睡眠，由此證明短波長的光會影響到我們的晝夜節律系統。

陸、 結論

- 一、透過 180 天紀錄小鼠體重、食量、排泄、運動能力、一般活動能力等能量代謝狀態，和曠野實驗、巴恩斯迷宮的行為模式測試，我們可以全面性的瞭解到小鼠內在晝夜節律與環境晝夜節律的交互影響下，所產生的生理性與行為模式的變化。

- 二、改變不同的日夜週期，把小鼠區分成日夜顛倒、全光照與全黑暗三組，這實驗讓我們知道控制小鼠晝夜節律的是「光照」，光照會改變小鼠內在的晝夜節律，讓小鼠逐漸配合外在環境的晝夜時間。
- 三、小規模破壞環境光照的實驗裡，極短時間例如一個小時的延長光照，小鼠可以依靠自身的晝夜節律調整過來，但是 4 天後延長一個小時的光照，小鼠依然會被外在光照環境影響。而一次大量增加 5 個小時與 6 個小時的光照，小鼠會直接改變自身的晝夜節律去配合外在環境，進而導致生理與認知能力都造成了影響。所以如果**熬夜小規模的破壞環境光照**，短時間還能依靠內部的晝夜節律調整過來，但是長時間的**熬夜**就會直接對生理狀態，學習能力與長期記憶造成明顯的影響。
- 四、常說睡前不要使用 3C 產品，因為藍光會影響到睡眠，從我們的實驗結果而言看是正確的，而且不只藍光，紫光也會影響到睡眠，**透過這個實驗瞭解到短波長的光會影響到我們的晝夜節律系統**，因此夜間人造光源儘量選擇少藍光與紫光的光源。
- 五、第五十六屆國小組科展研究結論認為光照不會影響到倉鼠的生理變化，與我們的實驗解果相反。我們探究原因主要有三點：（一）他們的光源的控制不穩定，只使用了書桌檯燈。環境光源也不單一，沒有用黑布遮蓋鼠籠，導致其他間接性光源影響了實驗結果。本研究的光源採取色溫 5500K 瓦數 3W 的 LED 晶片燈，且每一籠實驗鼠皆蓋上黑色不織布，阻隔了其他環境光源。（二）關於生理數值測量的時間，他們一週取一次生理數值。本研究每日測量登記所有實驗組與對照組的生理數值。（三）實驗鼠的樣本數多寡問題。他們全部的實驗鼠樣本數為 4 隻，本實驗的樣本數為 18 隻。**以上這些因素可能都是造成實驗結果相反的原因。**

柒、 參考資料

- 一、行政院農業委會（2010）實驗動物使用與照護指引。農委會網頁 PDF 檔
- 一、丁偉洋、韓筠茜、張友勳（2005）酢醬草的睡眠運動。中華民國第 49 屆國中小科展作品說明書。
- 二、蘇昕禾、陳子廷、張恩碩、曾亭瑋（2016）老鼠走迷宮—不同光源環境對倉鼠生活影響之基本探究。
- 三、林冠婷、郭妙真（2019）探討睡眠剝奪對青少年學習與記憶的影響—以小鼠為模式探討生理、心理與大腦變化。台灣國際科學展覽會優勝作品專輯。
- 四、陳明德、許惠恆（1997）瘦體素。台灣醫學期刊 1:6 期。
- 五、Hongying Zhu、Ning wang、Lei Yau（2018）Moderate UV Exposure Enhances Learning and Memory by Promoting a Novel Glutamate Biosynthetic Pathway in the Brain。Cell 2018 Jun 14

【評語】 080303

本件作品探討小白鼠的日週律動行為與相關的生理狀態。說明書內容撰寫相當清楚、實驗設計以及敘述邏輯性強，從生理變化與活動力綜合實驗探討、驗證假設、分析結果，實驗記錄詳實，實驗精神值得鼓勵，並引用國際知名期刊做為參考，是一件很好的作品。本研究其中探討藍光對於小鼠活動影響，內容貼近孩子的生活經驗加以實證，內容有趣且與人類生活習慣相關。能具體分析出實驗結果並與歷屆科展相關研究比較，物種不同行為模式是否能夠互相比較值得思考。惟以不同的 LED 燈來進行不同波長對小白鼠日週律動的影響實驗時，沒考慮到亮度的影響，殊為可惜，應該更嚴謹地定義刺激光源的物理性狀，結論才不會被不嚴謹的實驗設計所誤導。

作品簡報

國小組生物科

「光」芒非你莫「鼠」

研究問題探討

關於晝夜節律的研究很多，大部分著重於「運作機轉」

上，本研究則把焦點放在「補眠」這個行為。

根據臺灣睡眠醫學學會2019的調查，國人34%有在週末補眠的習慣，我們想知道在非規律睡眠時間的情況下，即使睡眠時間充足，是否仍會對生理的能量代謝與行為認知產生影響？

我們把「非規律睡眠時間」定義為：睡眠時間和外在日夜時間不同。本研究以小鼠為例，透過不同光照週期，觀察小鼠的生理能量代謝與行為認知的變化。

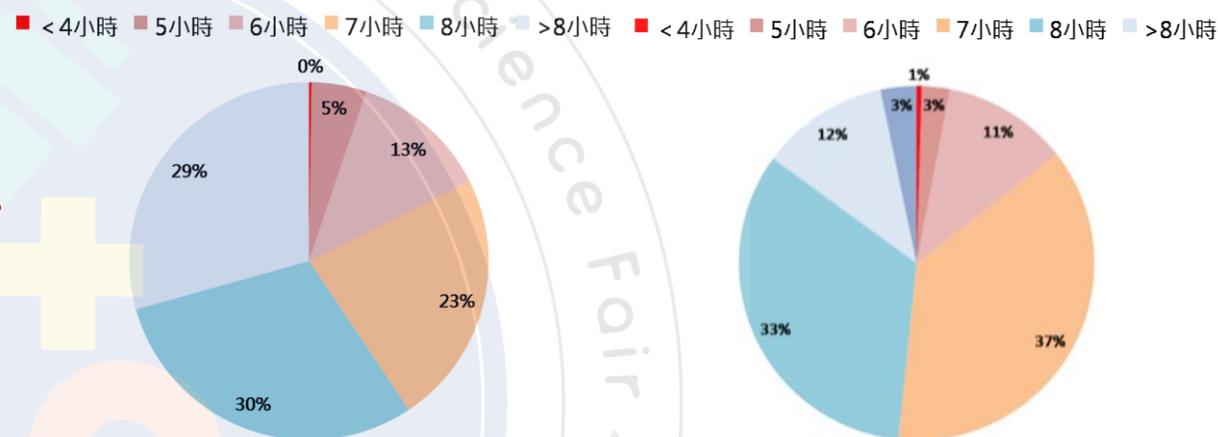
非規律睡眠時間的情況

週一到週五正常睡眠，週末晚睡晚起

每天晚上都延遲睡眠，晚睡晚起

需要輪班導致的日夜顛倒

週末平均睡眠時間



2019 國人週間與週末睡眠時間調查

研究方法

輪班導致的日夜顛倒



大規模改變的晝夜節律

全日照組、全黑暗組
日夜顛倒組、正常組

分析方法為：能量代謝、行為分析



延遲睡眠晚睡晚起



小規模破壞環境光照

延長1小時、延長2小時.....
以此類推到延長5小時

分析方法為：能量代謝、行為分析



正常日夜週期下不同光源

探討不同波長光照下的影響



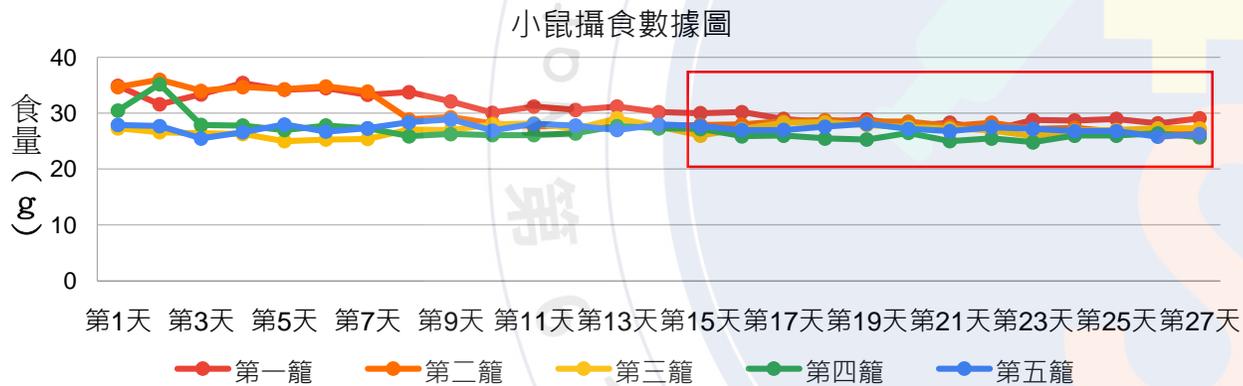
分析方法為：能量代謝、行為分析



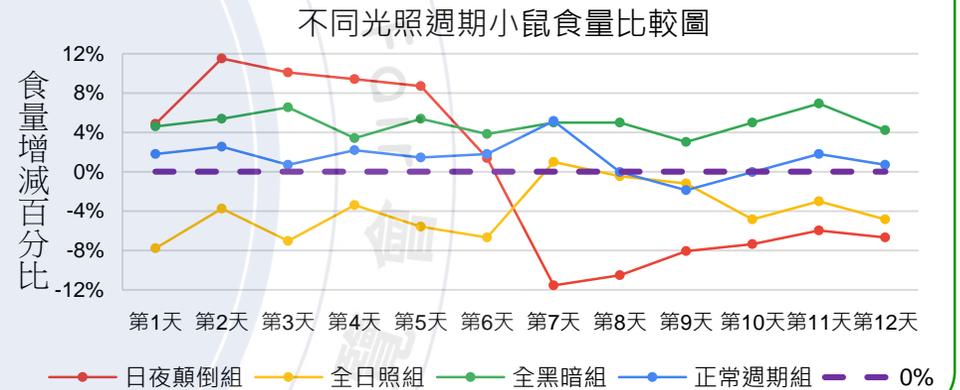
樣本基準線

- 每一隻小鼠都有個別差異，所以只能自己和自己做比較。
- 以小鼠穩定時段數據的平均值當作基準線來進行分析。

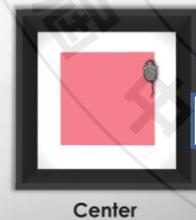
在舒適環境控制日夜週期環境下飼養，取其穩定的一段數據的平均值來當作實驗組的比較數據。



每一籠小鼠的12天的平均值，即為其基準線。加入實驗變因之後數值的增減以「比值」呈現，下圖紫色虛線則為各組的對照組數值。



觀察路徑



手繪路徑

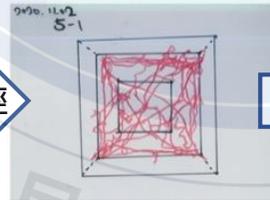
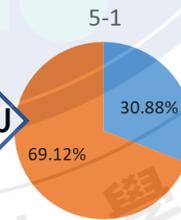


image J



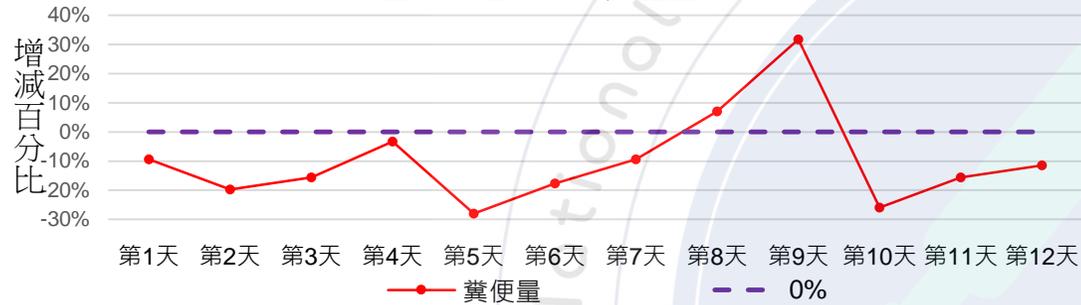
透過曠野實驗 (OFT)，小鼠行走周邊與中央區塊的面積接近，代表小鼠處於行為能力正常，心理狀態也無焦慮的狀態，才加入實驗變因進行實驗。

大規模改變光照週期



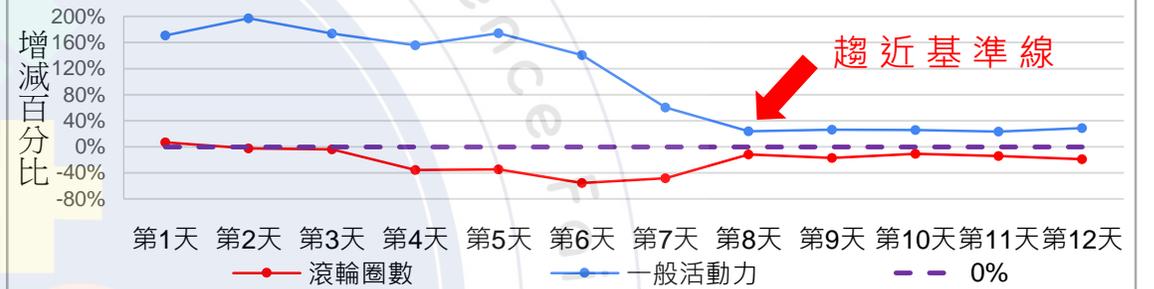
能量代謝方面

全日照組小鼠糞便重量圖



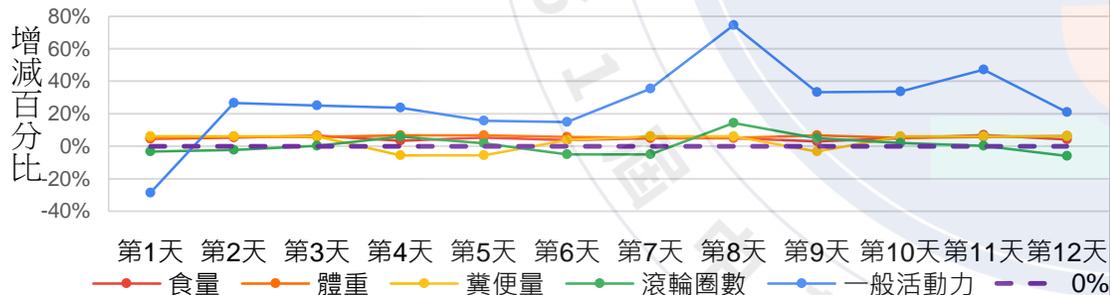
從全光照組小鼠的排便量數據，前七天的排便量減少，可知小鼠們有便秘的狀況，代表小鼠的代謝變慢了。

日夜顛倒組小鼠滾輪圈數、一般活動力比較圖



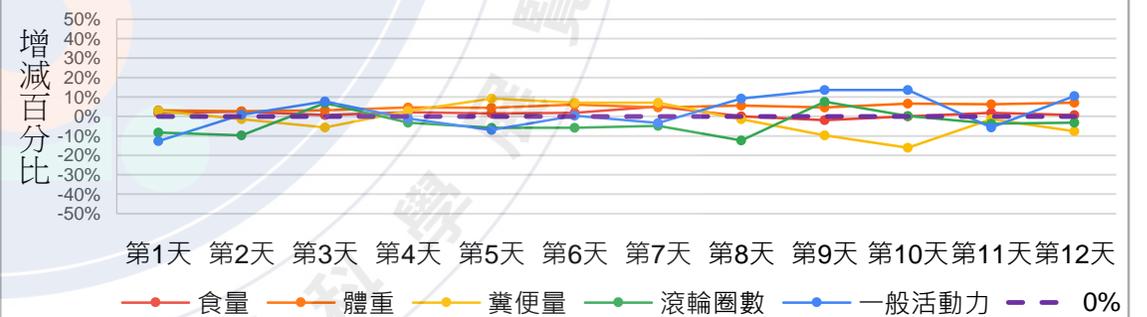
日夜顛倒組的小鼠，食量、排便量、運動量觀察指標到了第8天都逐漸調整趨近於平均值，呈現類似調整時差的狀態。

全黑暗組小鼠食量、體重、糞便重量、滾輪圈數、一般活動力比較圖



全黑暗組的小鼠滾輪運動能力略增，很有可能與小鼠是夜行性動物有關。

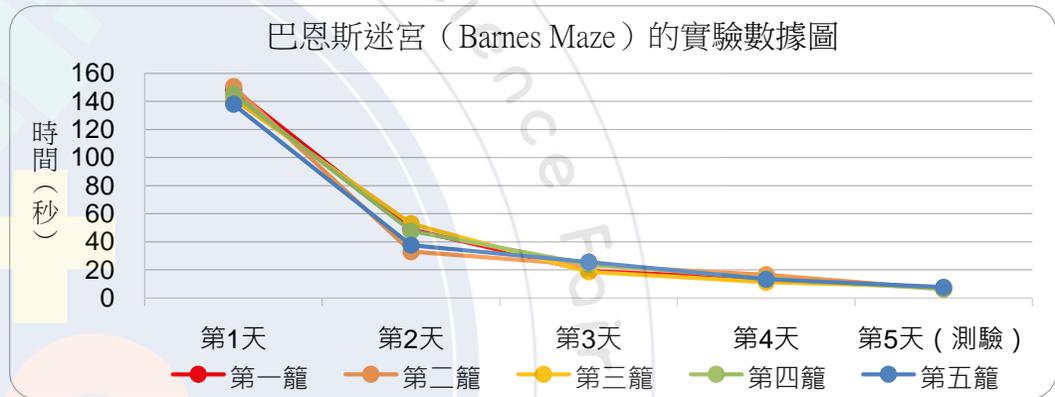
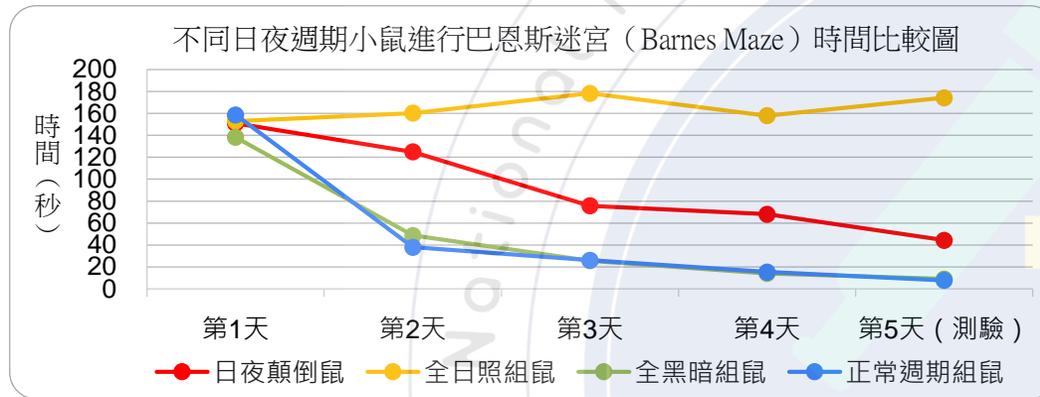
正常週期組小鼠食量、體重、糞便重量、滾輪圈數、一般活動力比較圖



正常組的小鼠，除了食量略微增加2~3%，其餘數據與基準線差異不大。

實驗結果-1 大規模改變光照週期

行為認知方面

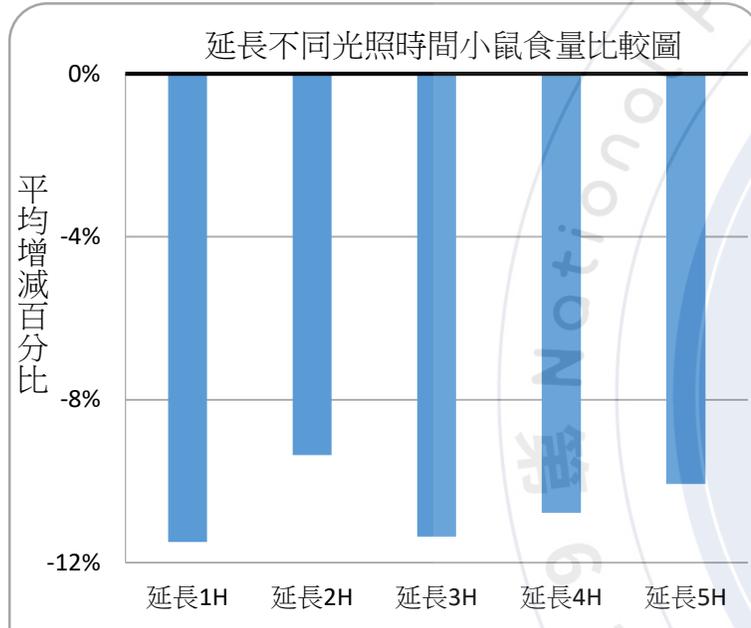


- 巴恩斯迷宮 (BMT) 觀察的是：學習曲線的變化，非秒數的增減。
- 全黑暗組和正常組小鼠保有學習曲線。
- 日夜顛倒組學習曲線趨緩，代表學習能力減弱。
- 全日照組喪失了學習曲線，代表在全光照的環境下無法透過學習找到庇護所的位置，外在的環境影響到了學習能力。

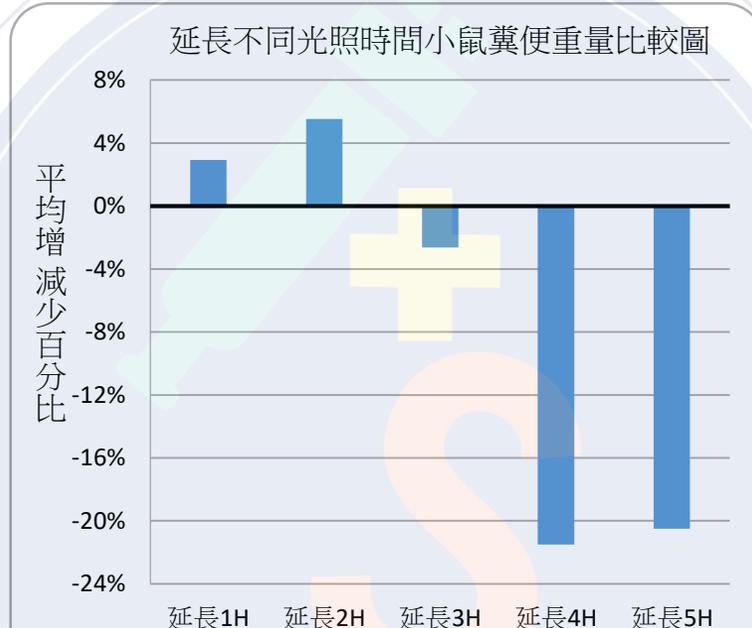
實驗結果-2 小規模破壞環境光照



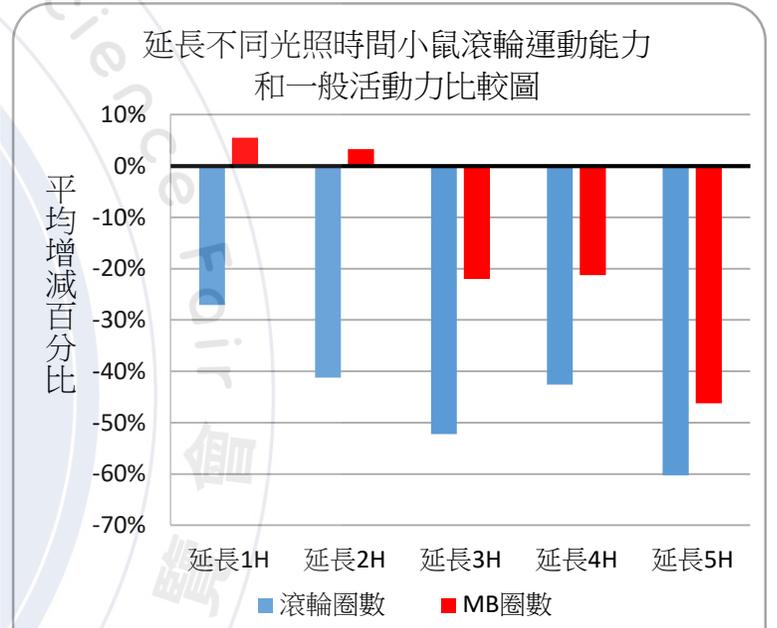
能量代謝方面



所有組別的小鼠，食量皆減少了。



觀察數據發現小鼠有便秘的情形產生，便秘的狀況代表代謝變慢了，所以增加光照會使小鼠的代謝變慢。

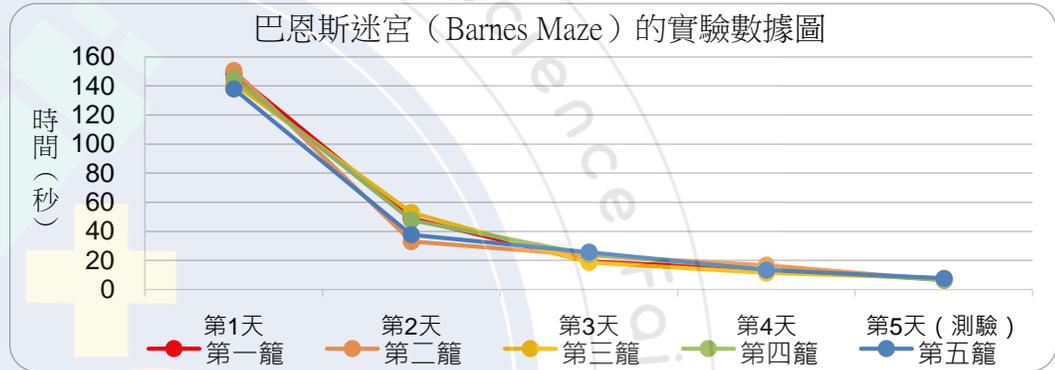
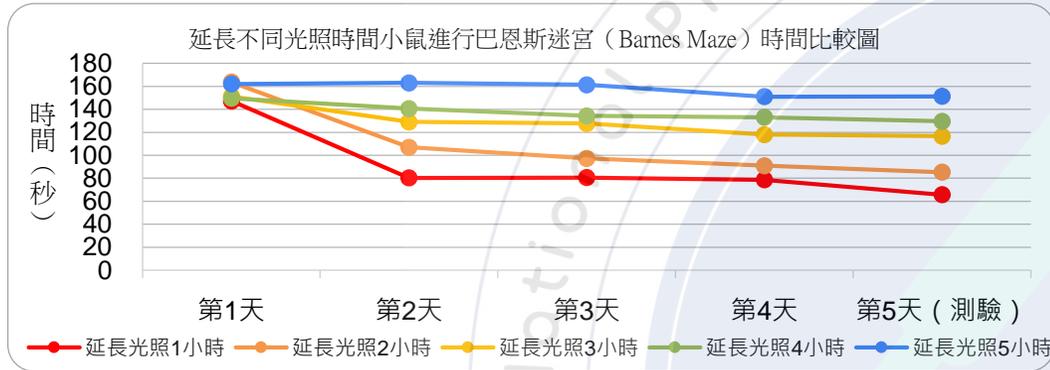


滾輪運動能力和一般活動力的數據皆隨著延長光照的時間越長，運動能力就表現越差。

- 小鼠的體重增加了，可能原因是因為便秘，加上活動量減少所導致的。可見增加光照時間使小鼠的能量代謝變慢了，而導致肥胖。

實驗結果-2 小規模破壞環境光照

行為認知方面



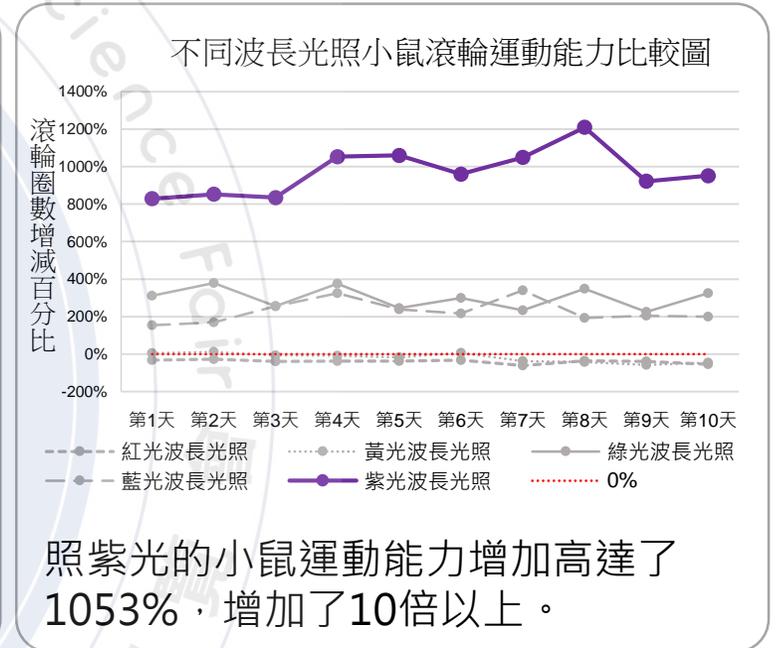
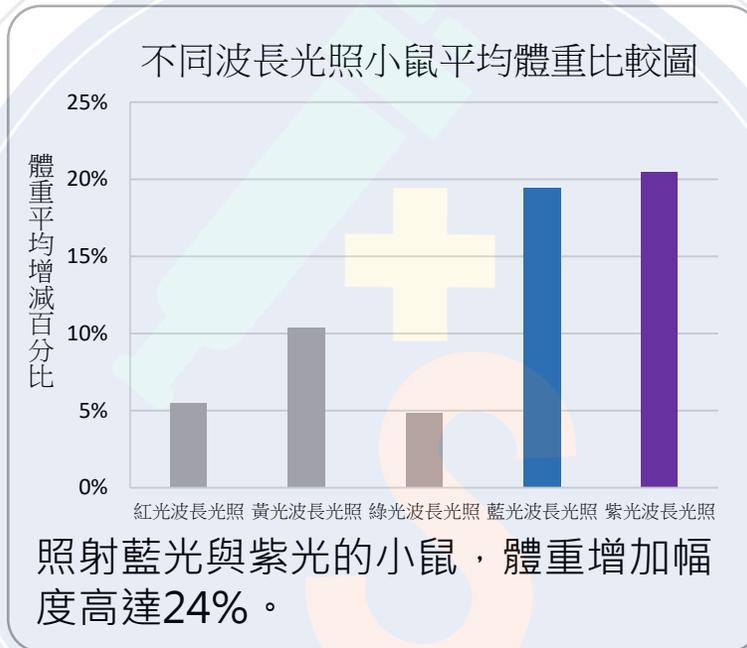
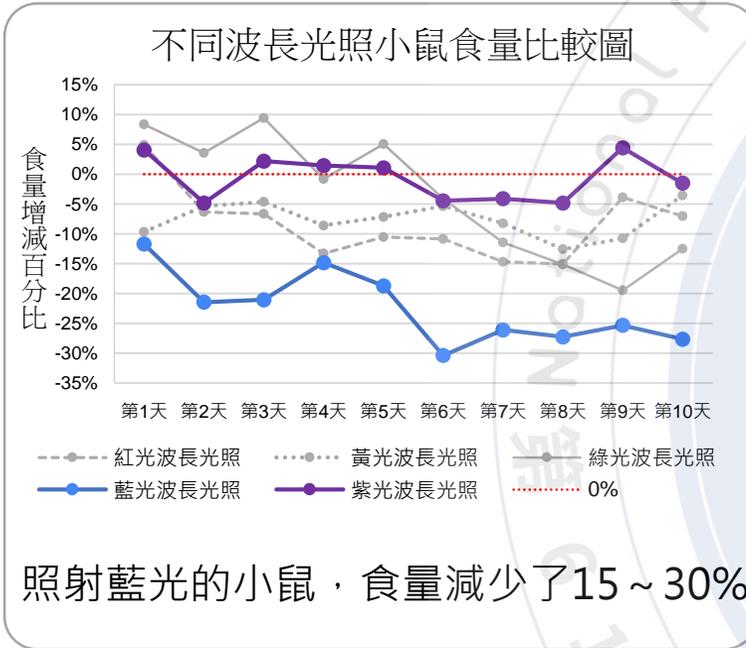
- 延長光照1小時和2小時組的小鼠，雖然有呈現學習曲線的狀態。但是找到庇護所的時間變長了。
- 延長光照3、4、5組的小鼠學習的曲線並不明顯，顯示學習能力都大大衰退了。

1. 綜合以上的實驗結果，我們可以推論延長光照對小鼠的生理狀態與行為模式有全面性的影響。極短時間例如1個小時的延長光照，小鼠可以依靠自身的晝夜節律調整過來，但是天數拉長了還是會被外在光照環境影響。
2. 從巴恩斯迷宮的數據可知，不論是一天增加光照1個小時，或是一天增加光照5個小時，延長光照對於學習能力的影響是巨大的，就算每天些微的破壞晝夜節律的作息，天數增加依然會導致學習能力的衰退。

實驗結果-3 不同波長的光照的環境



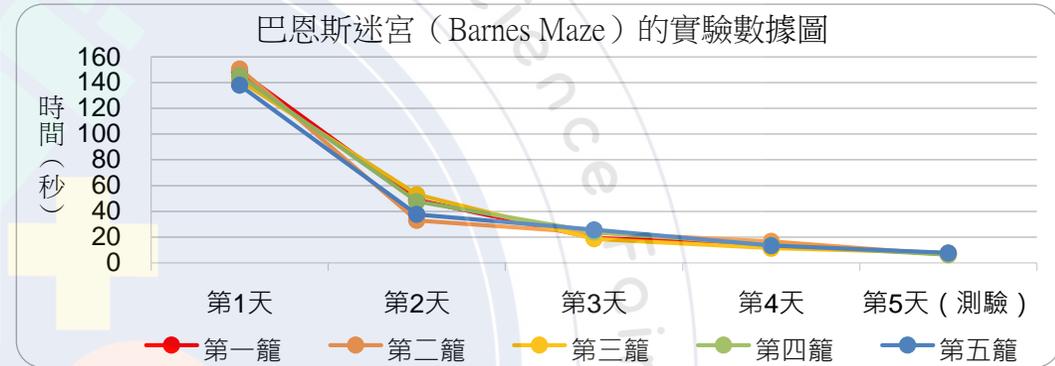
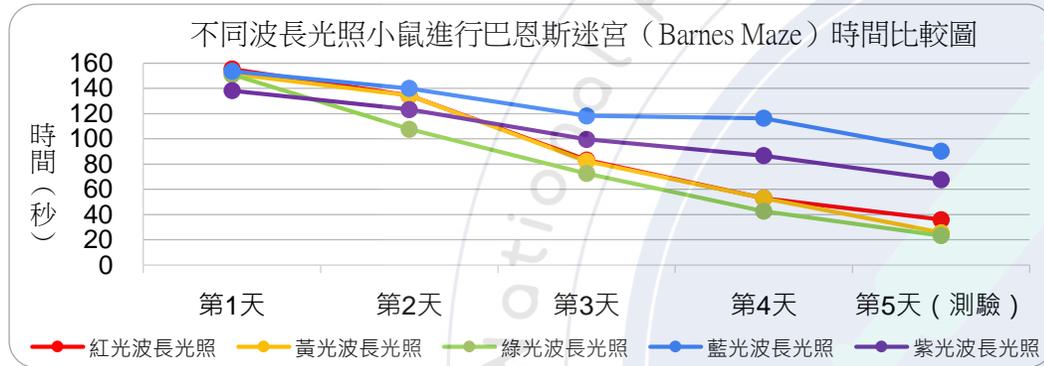
能量代謝方面



1. 照射藍光與紫光的小鼠食量減少，體重卻增加接近20%。我們查詢一些研究說藍光與紫光對褪黑激素分泌有非常強的抑制作用，褪黑激素會影響瘦體素的分泌，所以這項因素很可能是小鼠肥胖的原因。
2. 我們的紫光波長385nm已經涵蓋了長波紫外線 (400nm~315nm) 的波長，也可以視其為紫外線，所以照射紫外線是否能增加運動能力，未來或許可以研究繼續這方面的研究。

實驗結果-3 不同波長的光照的環境

行為認知方面



1. 照射不同波長的色光，相較於照射白光，找到小黑袋的時間明顯拉長許多，但是秒數隨著時間有逐漸縮短的趨勢，代表在不同色光的照射下，小鼠依然還有保有學習能力，只是學習能力無法像照射白光那般優良。
2. 同樣是短波長，照紫光的小鼠學習能力卻比照藍光的小鼠好。Hongying Zhu、Ning wang發表在<cell>雜誌上的一篇論文摘要：「適量的照射紫外線會提高學習能力，因為UV能刺激突觸前神經元 (presynaptic neuron)，讓神經元內的尿刊酸 (Urocanic acid) 增加，進而增加學習與記憶能力。」是否是因為這個原因讓照射紫光的小鼠學習能力比照藍光的小鼠好，還需要更進一步的研究才能確認。

結論

1. 週一到週五正常睡眠，週末晚睡晚起的補眠方式，在小規模破壞環境光照實驗裡可以看出，短時間內小鼠生理變化不明顯，但是學習能力明顯變差。
2. 每天晚上都延遲睡眠，晚睡晚起的補眠方式，總睡眠時間或許沒有減少，但是從小鼠的能量代謝數據可知身體的代謝減慢，容易發胖與便秘。
3. 需要輪班導致日夜顛倒的補眠，從大規模破壞環境光照實驗得知，小鼠短時間容易暴飲暴食，活動力減弱，導致體重增加。長時間日夜顛倒則會調整自身晝夜節律系統配合外在光照環境。
4. 在晝夜節律正常的週期下，相較於紅、黃長波長的光，藍、紫短波長的光影響小鼠的生理變化更大。從研究數據可知短波長的光對於生理系統與行為認知的影響不亞於晝夜系統混亂。

未來展望

光照週期對成年小鼠的睡眠與活動有重大的影響，未來我們想繼續研究光照對老年小鼠的影響，想瞭解「光療」對老年失眠的是否有幫助。

參考書目

1. 行政院農業委會 (2010) 實驗動物使用與照護指引。農委會網頁PDF檔
2. 丁偉洋、韓筠茜、張友勳 (2005) 酢醬草的睡眠運動。中華民國第49屆國中小科展作品說明書
3. 蘇昕禾、陳子廷、張恩碩、曾亭瑋 (2016) 老鼠走迷宮—不同光源環境對倉鼠生活影響之基本探究
4. 林冠婷、郭妙真 (2019) 探討睡眠剝奪對青少年學習與記憶的影響—以小鼠為模式探討生理、心理與大腦變化。台灣國際科學展覽會優勝作品專輯
5. 陳明德、許惠恆 (1997) 瘦體素。台灣醫學期刊1:6期
6. Hongying Zhu、Ning wang、Lei Yau (2018) Moderate UV Exposure Enhances Learning and Memory by Promoting a Novel Glutamate Biosynthetic Pathway in the Brain。Cell 2018 Jun 14