

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

080303

甜蜜負擔—探討高糖高脂肪對學習和記憶的影響

學校名稱： 新北市板橋區中山實驗國民小學

作者：  小五 林綾瑩	指導老師：  蘇亭云  汪惟詩
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 含糖飲料、高脂肪食物、學習記憶

# 摘要

本研究目的在於探討高糖高脂飲食對小鼠學習、記憶與生活自理能力的影響，以及加強運動是否具有改善作用。規劃正常對照組、高糖水組、高脂飼料組與高糖高脂組，並加入加強運動計畫，對小鼠進行實驗。最後透過水迷宮、Y 型迷宮及築巢能力實驗，以行為測試評估小鼠的學習與自理能力。結果顯示，高糖高脂飲食顯著降低了小鼠在水迷宮中尋找平台的能力，以及降低了小鼠在 Y 迷宮中探索新區域的傾向，顯示學習記憶能力受到干擾而減弱；同時，築巢行為亦顯示出類似趨勢，指出小鼠的生活能力有所下降。然而，加強運動能夠改善這些受到干擾的學習與認知功能，尤其在高糖高脂組中效果最為明顯。本研究強調了健康飲食與運動在小鼠學習與自理能力方面的重要性。

## 壹、前言

### 一、研究動機

街上常見的飲料店與炸雞店提供了很多好吃的食物，我也常常聽到家人以及同學說要放鬆的方式，就是點一杯全糖珍珠奶茶加一塊香噴噴的雞排來享受。除此之外，現代人對於飲用含有高糖份飲料與攝取高脂肪食物，已經變成習以為常的生活方式，但也因此攝取了過多的熱量造成肥胖與心臟血管相關的疾病，或因為只偏好喝飲料導致營養不均衡。近期報章雜誌指出，長期攝取高糖高脂食物，加上缺乏運動習慣，可能會導致學習與記憶能力變差，以及改變生活本能與自理行為。在參訪國家實驗動物中心過程中，我認識了實驗動物的飼養條件與科學應用的普遍性，另外在參加中央研究院的科普活動中，也了解到小鼠與人類有約 99% 的基因相似度，且小鼠的神經系統與人類極為相似，科學家能夠藉由小鼠行為實驗呈現出與人類相似的記憶與生活行為。因此，我想利用小鼠行為觀察實驗來探討高糖高脂飲食對學習記憶和生活本能的影響。

### 二、研究目的

- (一) 探討高糖高脂飲食對小鼠成長發育與食物偏好的影響。
- (二) 探討高糖高脂飲食對小鼠學習記憶與生活能力的影響。
- (三) 探討規律加強運動對降低高糖高脂飲食影響的潛力。

### 三、文獻回顧

- (一) 食物營養成分與功能

人體能量來源主要來自於食物中的三大營養素：醣類（碳水化合物）、脂肪與蛋白質。這些營養素經過體內的化學反應後，產生能量提供身體所需（衛生福利部國民健康署，2013）。

1. 常見的醣類，如果糖、蔗糖、乳糖、澱粉等等，最後都會轉化為葡萄糖來供應身體的能量需求。每1公克的醣類可產生4大卡的熱量，人體會優先使用醣類作為能量來源，其次才是分解脂肪與蛋白質，在大腦中的神經細胞幾乎只使用葡萄糖。當葡萄糖進入細胞後，會進行糖分解過程，最後產生細胞能量分子—三磷酸腺苷（adenosine triphosphate, ATP）。當糖攝取過多，會產生蛀牙、肥胖、代謝症候群、心血管疾病等常見問題（林慧淳，2021）。
2. 脂質的主要來源有植物性油脂（例如大豆油）及動物性脂肪（例如豬油），經過分解成脂肪酸後，由血液運送到全身各組織和器官，在細胞的線粒體中產生能量。每1公克脂肪能產生9大卡熱量，並可反向作為儲存多餘熱量的形式。此外，脂質也具有保護內臟不受震動傷害、維持皮膚健康、構成細胞外膜等功能。當過多熱量轉變成脂肪組織，會導致體重過重甚至肥胖，增加血中膽固醇濃度，提升心血管疾病風險及代謝症候群（陳姤君，2008）。
3. 蛋白質的來源有植物性（例如豆類）及動物性（例如蛋、奶、肉），主要功能為建造與修補組織，對生長發育、生理機能和免疫力非常重要。雖然每1公克的蛋白質也可產生4大卡的熱量，但只有當醣類不夠時，才會以蛋白質作為能量來源。

## （二）高糖與高脂肪飲食對大腦學習與記憶的影響

高糖高脂飲食除了會引起代謝症候群（如高血壓、高血糖、高血脂），也會對大腦造成影響。根據 Molteni 等人於 2002 年研究指出，高糖高脂飲食會降低大腦中重要的神經傳導物質—腦源性神經滋養因子（brain-derived neurotrophic factor, BDNF）的產生。BDNF 是大腦中含量豐富的營養蛋白質，功能如下：

1. 促進神經細胞的生長。
2. 促進神經細胞突觸連結的形成。
3. 大腦中掌管記憶學習能力的「海馬迴」中含有豐富的 BDNF。
4. 缺乏 BDNF 將造成學習力低下、記憶喪失及認知功能障礙。

根據 Fritz 等人於 2018 年研究指出，高糖高脂飲食也會在大腦中的紋狀體區域降低多巴胺（dopamine）的產生。多巴胺也是重要的神經傳導物質，當運動、購物、比賽或是學習獲得成就感時都會產生多巴胺，讓我們感到心情愉悅或

是更積極樂觀，功能如下：

1. 調節學習和記憶的過程，對於記憶形成具有重要作用。
2. 影響情緒狀態，如愉悅、興奮和期待。
3. 增強決策能力和學習動機。
4. 提高對外在事件的關注程度和集中注意力。
5. 缺乏多巴胺將造成情緒低落、學習記憶失常與注意力不集中等問題。

### (三) 如何運用小鼠實驗模擬人類行為

小鼠與人類有約 99% 的基因相似性，且小鼠的生理系統，如免疫系統、心血管系統、神經系統等，都與人類有許多相似之處。也因為小鼠的神經系統與人類極為相似，能夠藉由行為實驗表現出與人類類似的記憶與生活行為。透過觀察小鼠對行為實驗的重複性反應，可以推測在人類上可能的反應 (Rosenthal & Brown, 2007; 林好庭, 2020)。

### (四) 歷屆全國科展的相關作品表格

表1. 全國科展相關研究主題作品分析表

屆數	中華民國第 48 屆中小學科學展覽會	中華民國第 49 屆中小學科學展覽會
作品內容	傑利鼠的健身房—規律運動對小鼠的生長與學習記憶的影響 (林嘉容等, 2004)	市售飲料對學齡兒童的影響—以銀狐鼠為例 (杜季昀等, 2005)
研究方法	透過長時間飼養與觀察紀錄，分析規律運動對小鼠的影響。將 30 隻母鼠隨機分成六組，進行一個月的飼養，讓小鼠自主運動兩週後，實施強制規律運動兩週，再進行迷宮實驗。	比較運動飲料、奶茶、牛奶、可樂等不同飲品對銀狐鼠體重增加和飲用習慣的影響。在約一個月的觀察期間，測量體重和飲水量的變化，顯示出不同飲料的差異。
研究結論	實驗發現規律運動對小鼠成長與記憶有正面影響，能使飲食正常、減輕體重，提升動作敏捷度與長期記憶力。	實驗發現銀狐鼠偏好含糖市售飲料，導致飲用量增加、飼料攝取減少。飲食變化也使得體重明顯增加，顯示含糖飲料對健康與行為有顯著影響。

透過文獻回顧，我了解食物中三大營養素的基本功能，以及高糖高脂飲食會對 BDNF 與多巴胺的產生造成影響，改變神經細胞的健康與連結。此外，小鼠已被證實可表現出與人類類似的學習記憶與生活自理行為。歷屆科展相關主題作品內容顯示 (表1)，規律運動對記憶有正面影響，而含糖飲料會改變

銀狐鼠的飲食習慣跟行為習性。但由於銀狐鼠不像實驗用小鼠，牠們的遺傳背景沒有經過培育和標準化，會導致實驗結果變異較大，難以重複和驗證，因此不是適合做實驗的動物，且市售飲料成分與含糖量不一致。因此我選用科學界廣泛使用的小白鼠作為實驗對象，並給予成份比例明確的高糖飲水、高脂飼料與運動計畫。再利用迷宮實驗來偵測學習與記憶的能力，以及利用築巢實驗來探討生活自理能力是否有改變。

## 貳、研究材料

本研究所有實驗相關照片與圖片都為作者/指導教師所拍攝或軟體繪製。

### 一、實驗小鼠（屬種名：*Mus musculus*）

#### （一）動物照護與使用

本研究由中央研究院協助提供實驗用 ICR 小鼠，此品系為科學界廣泛使用的小白鼠品種，並依照行政院農業委員會公告的「實驗動物照護與使用指引」進行小鼠日常照顧與實驗操作（圖1）。此外，依照國家實驗動物中心指示的「3R 與 5F 準則」，我們也很注重動物福祉，提供舒適的飼養環境與健康照顧。整個實驗過程中，由作者獨立進行小鼠日常照顧與行為實驗，由獸醫師監督小鼠的基本照護，由中央研究院科學家監督小鼠行為實驗進行。

#### （二）行為實驗選擇

本研究以「觀察小鼠的本能行為」來判斷特殊飲食對學習記憶與生活自理能力的影響，依據行為測試對動物福利影響的評級（d'Isa & Gerlai, 2022），選擇科學界認可的行為觀察，以及獸醫師確保實驗過程中不涉及任何形式的動物解剖或可能導致動物受傷的操作，並每周進行小鼠狀況檢核。經由科學影片學習操作，確認過程中均不會對小鼠造成危害，並且具有科學驗證的功效。

1. 利用小鼠游泳能力與逃避水域的本能進行水迷宮實驗（Bromley et al., 2011）。
2. 利用小鼠自發性探索行為進行 Y 型迷宮實驗（Dieterich et al., 2022）。
3. 利用小鼠自發性築巢行為進行生活認知能力評估（Neely et al., 2019）。

#### （三）動物資訊

1. 為了避免合籠後打架影響行為表現，本研究選用較不具地域性的雌性小鼠。
2. 為了模擬人類的學齡階段，選用 5 週齡，體重約為 18-22 公克的年輕小鼠開始進行實驗。依據 Wang 等人於 2020 年的計算方式，這個時期約為人類 5-10 歲的年齡，具有成長快速與學習力旺盛的特性。

3. 依照飼料、飲水與運動的實驗設計方式，總共分成 6 組（表2）。
4. 為了增加實驗的重複性和可靠性，每組至少需要 3 隻小鼠，總共需要 18 隻。
5. 採用在尾巴用不同顏色奇異筆畫線的方式編號。
6. 研究結束後，所有組別回復成正常的飼養條件，並持續提供舒適的飼養環境與健康照顧。

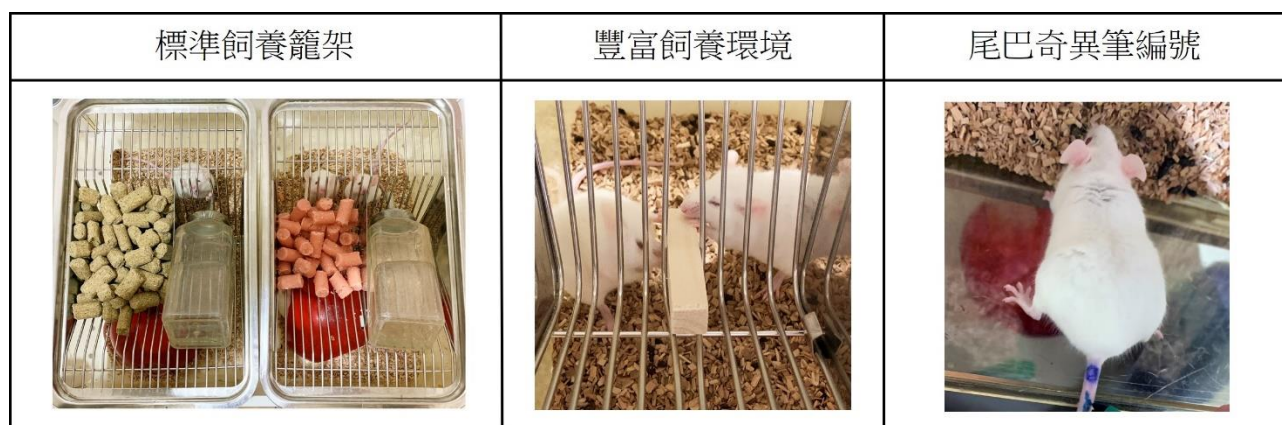


圖1.小鼠飼養與照顧 (本系列照片由作者拍攝)

表2. 小鼠實驗分組

組別	A	B	C	D	E	F
隻數	3	3	3	3	3	3
飼料	正常	高脂	高脂	高脂	正常	正常
飲水	正常	高糖	高糖	正常	高糖	正常
運動	加強	正常	加強	加強	加強	正常

## 二、飼料種類（表3）

### （一）常規飼料 (LabDiet 5001)

實驗室小鼠常用的飼料，已包含小鼠日常所需的營養成份與熱量來源。成份表顯示 60% 熱量主要由醣類來供應。此外，脂肪含量約為 4.5%，提供整體 12% 的熱量來源。這種飼料質地堅硬，除了當食物以外，小鼠同時也可以磨牙，避免門牙過長影響進食。

### （二）高脂飼料 (High fat diet, HFD)

典型的美式飲食中約含有 36-40% 的脂肪，提供 50-60% 的熱量來源 (Speakman, 2019)。我們選用相似的脂肪比例來模擬人類飲食。此為特殊飼料，添加食用色素做區別，主要提高脂肪含量至 36%，提供整體 58% 的熱量來源。由於高脂飼料富含油脂容易變質，因此須保存在冰箱，並且每隔 3 天就必須更換新鮮飼料。這種飼料質地較柔軟，必須額外提供木條給小鼠磨牙。

表3. 飼料主要成份與提供熱量比例 (本系列照片由作者拍攝)

常規飼料 LabDiet 5001				高脂飼料 HFD			
成份	比例	熱量	外觀	成份	比例	熱量	外觀
蛋白質	23%	28%		蛋白質	23%	17%	
醣類	48%	60%		醣類	35%	25%	
脂肪	4.5%	12%		脂肪	36%	58%	

### 三、飲水種類 (表4)

#### (一) 一般飲水

飲用水沒有熱量，此為對照組別。

#### (二) 高糖飲水

此為調配後的特殊飲水，含有 15% 高果糖玉米糖漿 (high fructose syrup, HFS)，濃度大約為常見手搖飲中的全糖含量。高果糖玉米糖漿是玉米澱粉水解後，製成的一種水溶液狀甜味劑，具有高甜度與生產成本較低的特性，常添加於含糖飲料、碳酸汽水、冰淇淋、餅乾與蛋糕等食物。常見的 HFS-55 含有 55% 的果糖，以及 42% 的葡萄糖，是果糖跟葡萄糖的混和物 (孫國清，2016)。由於玉米糖漿容易變質，因此每隔 3 天就必須更換新鮮飲水。

表4. 飲水主要成份與提供熱量比例 (本系列照片由作者拍攝)

一般飲水				高果糖玉米糖漿			
成份	比例	熱量	外觀	成份	比例	熱量	外觀
蛋白質	0	0		蛋白質	0	0	
醣類	0	0		醣類	100%	100%	
脂肪	0	0		脂肪	0	0	

### 四、運動規劃

實驗小鼠飼養於標準籠架當中，並無安裝滾輪，可視為小鼠日常活動量。本實驗專為加強運動組別訂定規律運動計畫，利用小鼠愛跑滾輪的天性，進行每天 30 分鐘，每週 3 天的滾輪跑步訓練。並在滾輪外架設磁力感應的計數器來計算小鼠的運動量。若以跑輪直徑 14 公分，推算圓周長約 44 公分 ( $3.1416 \times 14$ )，平均每隻小鼠在 30 分鐘大約可以跑 900-1000 圈，推算約為 400-440 公尺的跑步距離 (圖2)。

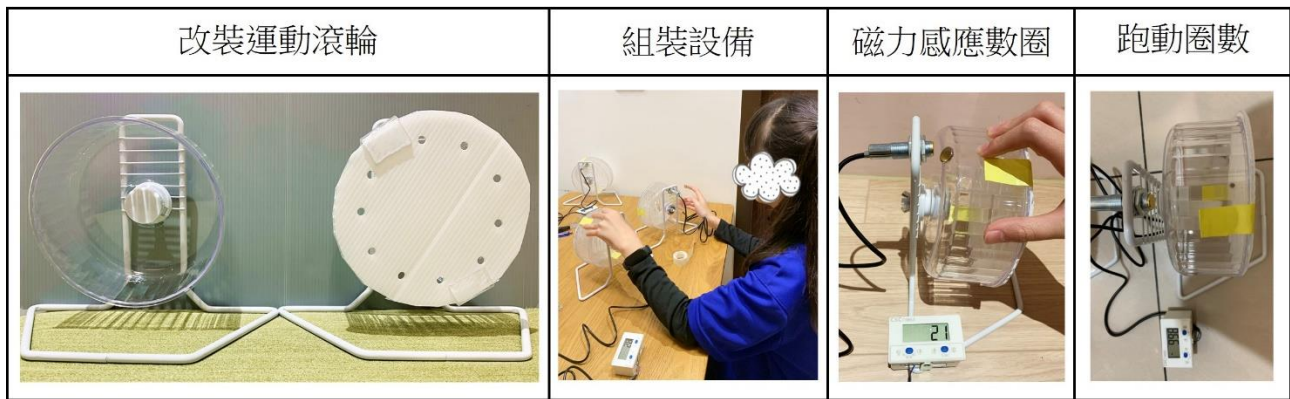


圖2. 小鼠運動滾輪設計 (本系列照片由第一指導教師拍攝)

## 參、研究方法

研究架構及規劃如表5。小鼠自年紀 5 週齡起開始給予特殊飲食及運動訓練，每週進行體重秤重至第 15 週實驗結束；期間連續 10 週秤量飼料與飲水以記錄攝食狀況；於第 4 週進行水迷宮實驗；於第 7 週進行 Y 型迷宮實驗；於第 9 週進行築巢實驗。

表5. 研究架構及實驗日期規劃

小鼠週齡	5週	6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週	13週	14週	15週	16週	17週	18週	19週	20週
實驗週數	第0週	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週	第10週	第11週	第12週	第13週	第14週	第15週
高糖/正常飲水	●															
高脂/正常飼料	●															
加強/正常運動	●															
體重記錄(每週)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
攝食記錄(每週)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
飲水記錄(每週)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水迷宮實驗					■											
Y迷宮實驗							■									
築巢實驗										■						

### 一、特殊飲食與運動計畫

- (一) 對照組給予正常（標準）飲食以及飼養籠內正常活動量（F 組）。
- (二) 實驗組先給予 4 週特殊飲食以及滾輪加強運動，再進行行為測試。
- (三) 每週將小鼠取出以電子天平秤重，以公克為單位登記。
- (四) 連續 10 週記錄攝食量，以公克為單位登記。
- (五) 連續 10 週記錄飲水量，以毫升為單位登記。
- (六) 實驗結束後，所有組別恢復成標準飲食以及飼養籠內正常活動量。

### 二、水迷宮實驗

水迷宮是一種用於評估小鼠學習和記憶的神經行為實驗方法。這個實驗利用了小鼠的自然游泳本能和逃避水域的動機，讓小鼠去學習透過辨認標記圖案來記憶隱藏在水面下的平台位置。以下是進行水迷宮實驗的基本流程（圖3）：



## (一) 實驗準備

1. 水池選擇：本研究因為使用小白鼠觀察學習能力變化，為了讓攝影機清楚記錄小鼠游泳軌跡，因此選用深藍色水池，讓水池背景能與小鼠毛色產生強對比。經測試後結果非常清晰。
2. 水迷宮設置：將直徑 120 公分、高度 30 公分、厚度 1 公分的摺疊水池攤開定位，並用膠帶在池底分成四個區塊。
3. 水下平台：水池的固定位置放入一個直徑 12 公分、高度 11 公分的圓形平台。為了讓小鼠看不到平台，平台的頂部需低於水面 1 公分。加入清水，使水面高度達到 12 公分，並保持水溫在 20 至 23°C。
4. 視覺標記板：在水池的四個區塊周圍，各貼上一種顯眼的黑白圖案。為了避免小鼠無法區分差異，因此選用圖形差異大的視覺標記，如圓形、正方形、三角形、X 型，以幫助小鼠清楚記憶平台的位置。
5. 藍芽攝影機：與手機即時連線，用來觀察小鼠尋找平台的游泳路徑與計算秒數，設置在水池中心點的正上方。
6. 暖風機：讓小鼠在游泳後用來保溫，以及乾燥毛髮。

## (二) 適應期

1. 在學習實驗前，先讓小鼠適應水池環境，並觀察小鼠的游泳能力是否異常。
2. 讓小鼠在沒有平台及標記板的情況下，在水中自由游泳 2 次，每次 60 秒。

## (三) 學習期(第 1 天到第 5 天)

1. 每日訓練：每隻小鼠每天進行 3 次行為學習，每次間隔至少休息 30 分鐘。
2. 施放位置：設定 3 個施放點，每次均由不同施放點開始（圖 4）。
3. 自由探索：讓小鼠自行游泳尋找隱藏的平台。
  - (1) 若小鼠在 60 秒內站上平台，讓小鼠停留在平台上 10 秒觀察標記圖案。
  - (2) 若小鼠在 60 秒內找不到平台，則由人員協助上平台停留 10 秒觀察標記。
4. 維持體溫：小鼠移回到飼養籠內，並以暖風機協助保暖及乾燥毛髮。

## (四) 數據分析

1. 記錄小鼠每次尋找到平台的時間。
2. 將每天得到的 3 次游泳數據取平均，作為當天結果。
3. 連續記錄 5 天，繪製各組學習曲線。
4. 以 Tracker 影像分析軟體繪製小鼠代表性游泳軌跡，以評估記憶能力（圖 4）。











水迷宮設置	平台設置	視覺標記圖案	視覺標記圖案	攝影機
				
計時60秒/次	尋找平台	發現平台	觀察標誌	保暖乾燥
				

圖3. 水迷宮實驗設計 (本系列照片由第一指導教師拍攝)

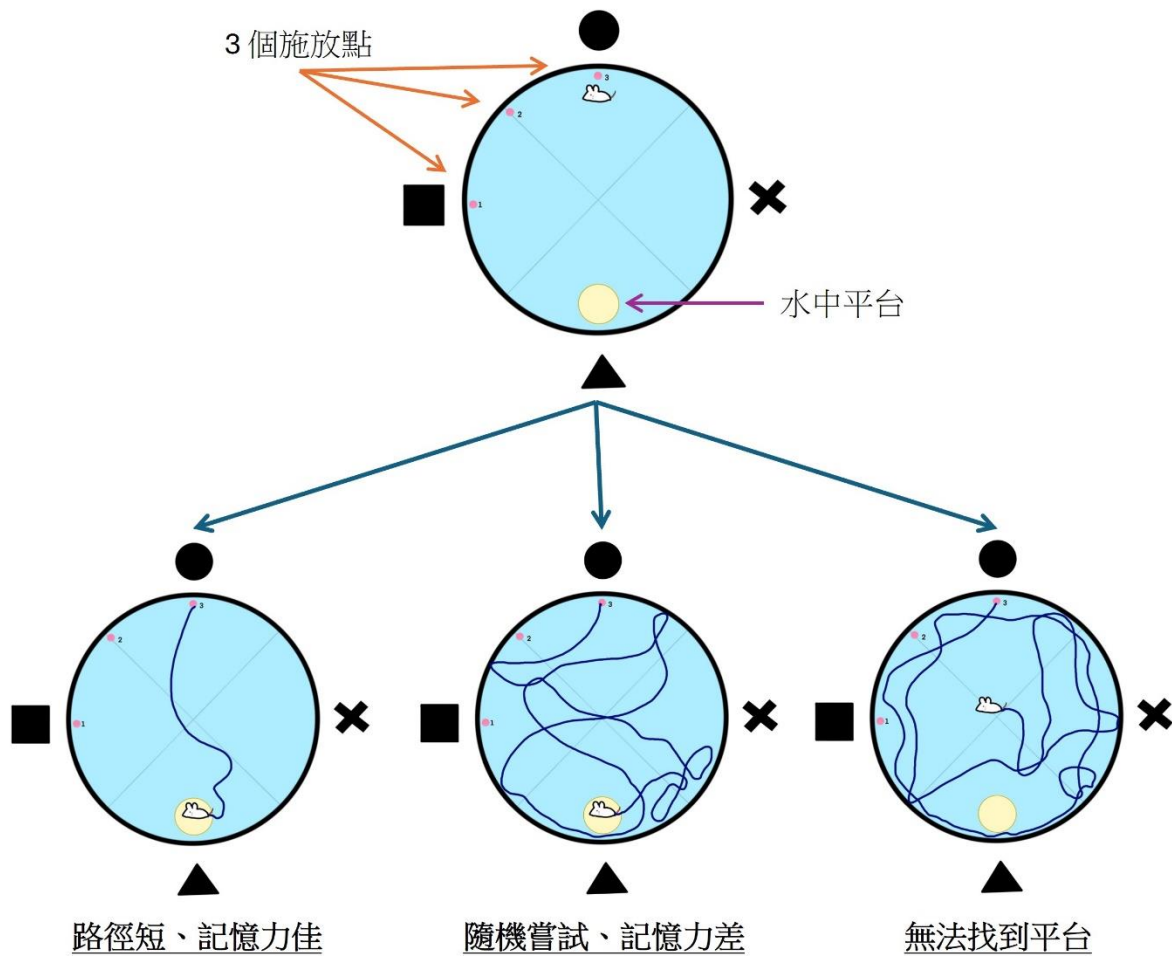


圖4. 水迷宮結果示意圖 (本圖片由作者繪製)

### 三、Y 型迷宮實驗

Y 型迷宮是一種用於評估小鼠空間記憶和探索行為的實驗方法。在 Y 迷宮中，小鼠傾向於去探索新區域而不是留在已經熟悉的區域，這是因為小鼠對探索新環境感興趣，是天生具有的「探索行為」。對新環境刺激的持續性約 5-8 分鐘，等小鼠適應後，會在三個區域隨機移動。根據小鼠探索目標區域的頻率來評估其記憶力好壞，高於平均值即表示記憶力佳。以下是進行 Y 型迷宮實驗的基本流程（圖5）：

#### （一）實驗準備

1. Y 迷宮設置：迷宮的構造為三個相同的長方形組成，中心點有一個三角形連通區，各邊長度為 30 公分，寬度為 10 公分，高度為 30 公分，由裁切後的壓克力板組裝而成。
2. 探索空間：鋪上全新的 2 公分墊料，並確保三個通道都是乾淨、乾燥且無味，避免影響小鼠的選擇。此外，迷宮放置在安靜、光線適中的空間中，以減少外界干擾。
3. 視覺標記板：在迷宮通道的末端各豎立一種顯眼的黑白圖案，如圓形、三角形、X 形，以幫助小鼠形成空間記憶。
4. 藍芽攝影機：與手機即時連線，用來觀察小鼠探索路徑與進入各通道秒數，設置在迷宮的正上方。

#### （二）適應期

1. 在探索實驗前，將其中一個通道用隔板關閉，讓小鼠在另外兩個通道中活動 5 分鐘。
2. 適應活動結束後，讓小鼠回到原本的飼養籠中，休息 2 分鐘。

#### （三）探索期

1. 先將隔板移開，並將迷宮內的所有墊料混合均勻後平均分散，避免適應期的氣味影響。
2. 讓小鼠重新回到迷宮，在三個通道間自由探索 5 分鐘。
3. 實驗結束後，將小鼠移出迷宮並清除墊料，再用 75% 酒精擦拭去除氣味，避免前一隻小鼠氣味影響下一隻實驗。

#### （四）數據分析

1. 記錄小鼠進入新開啟通道探索的時間。
2. 以 300 秒為總數，計算進入新開啟通道的頻率。
3. 繪製小鼠探索頻率光譜圖，用來比較空間記憶能力（圖6）。

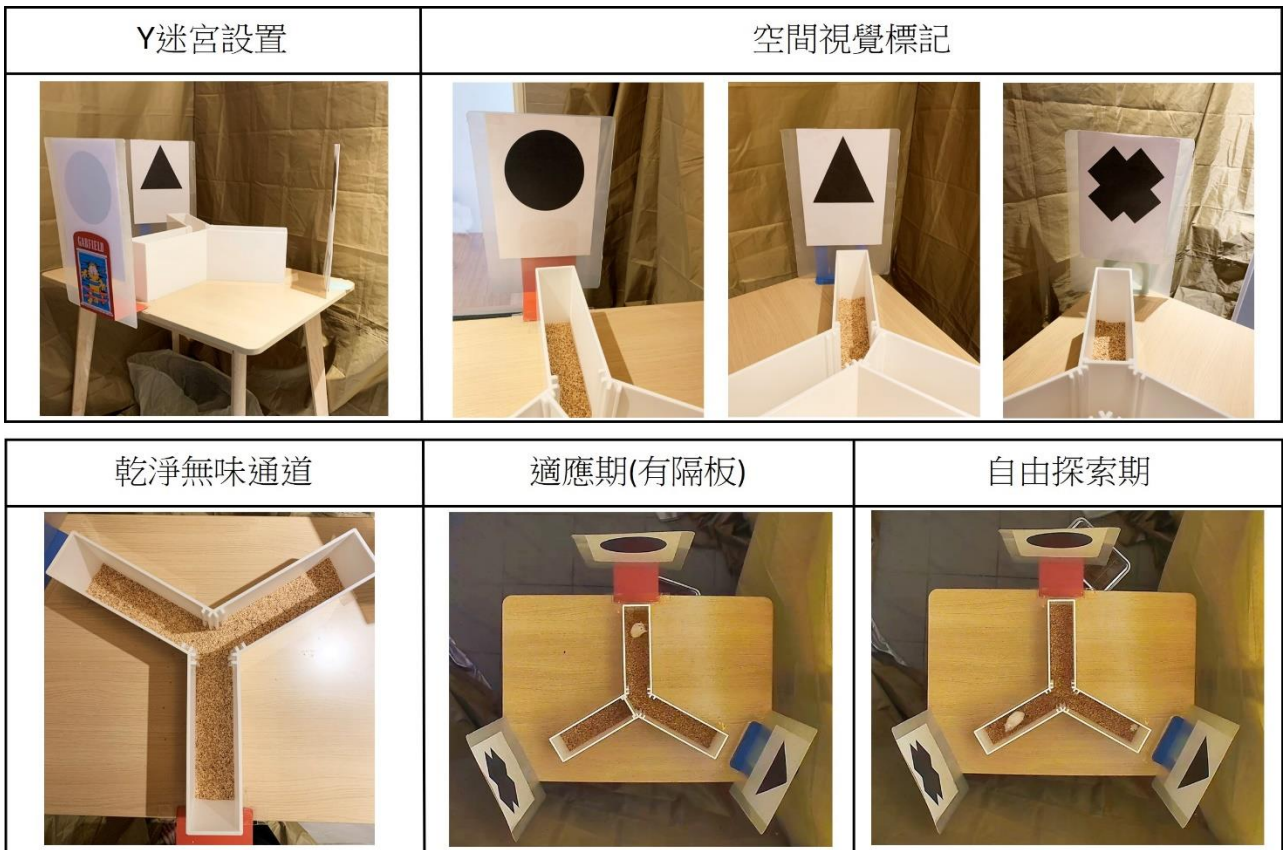


圖5. Y型迷宮實驗設計 (本系列照片由第一指導教師拍攝)

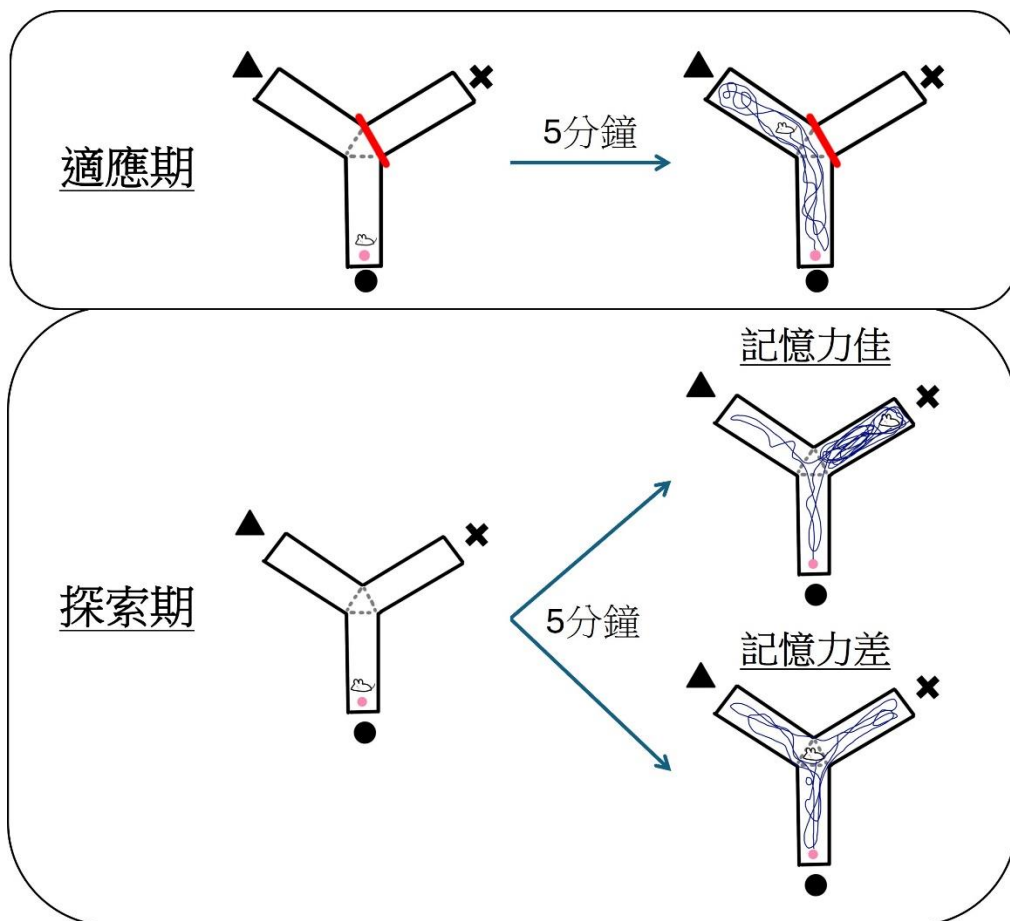


圖6. Y迷宮結果示意圖 (本圖片由作者繪製)

#### 四、築巢實驗

築巢行為是雄性與雌性小鼠都具有的自發性本能，利用小鼠的築巢動機、撕咬抓叨棉塊等活動力、對巢穴的立體空間設計等綜合行為，進行小鼠生活自理能力以及神經功能評估。這個實驗利用壓縮的巢料片來觀察小鼠建造巢穴的能力和品質，可做為定義認知能力的一種方法。以下是進行築巢行為實驗的基本流程（圖7）：

##### （一）實驗準備

1. 提供築巢材料：巢料片的種類很多種，有壓縮塊狀、長條狀、紙屑狀的材料可使用。本次實驗選用築巢難度最高的壓縮棉片，邊長為 5 公分，厚度為 0.5 公分，需透過撕咬拉扯才能解開。
2. 築巢空間：為小鼠準備獨立籠架，放置在安靜且照度 150-250 Lux 的空間中。

##### （二）築巢期

1. 實驗開始，將每隻小鼠分配至獨立飼養籠，並給予一片壓縮棉片。
2. 觀察小鼠使用築巢材料建造巢穴的過程，10 小時後拍照記錄最後成果。

##### （三）巢穴完整度評估

1. 使用文獻提供標準化的評分系統，從 1 到 5 分進行評分（圖8）。
2. 評分員先經由已評分的範例圖片進行訓練，再隨機給予實驗圖片，根據完整性、大小和結構複雜度來評分，共選定 6 位評分員獨立評分。



圖7. 築巢實驗設計 (本系列照片由作者拍攝)

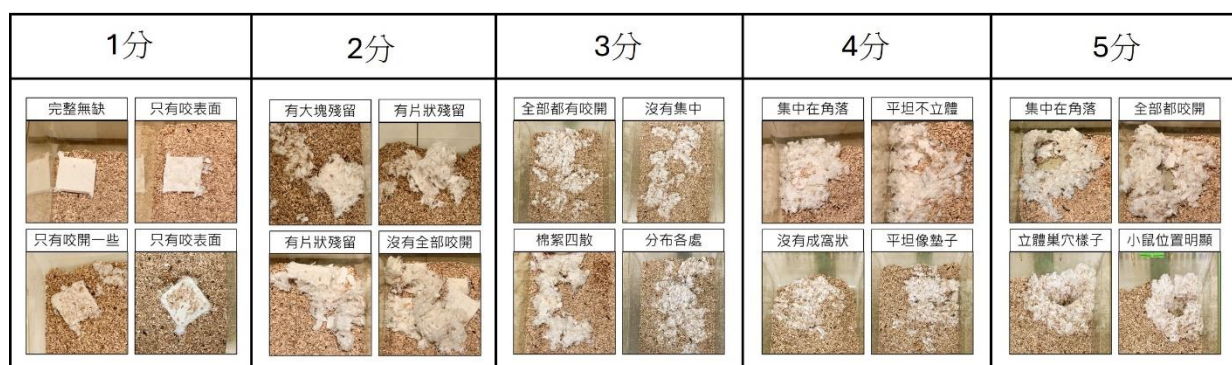


圖8. 築巢評分標準 (本系列照片由第一指導教師拍攝)

# 肆、研究結果

## 一、體重結果分析

測量體重的目的，是用來追蹤小鼠成長的趨勢，以及比較正常飲食、特殊飲食與運動習慣對小鼠成長發育的影響（表6、圖9、圖10）。

表6. 小鼠體重記錄表

小鼠週齡				5週	6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週	13週	14週	15週	16週	17週	18週	19週	20週			
特殊飲食實驗週數				第0週	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週	第10週	第11週	第12週	第13週	第14週	第15週			
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	體重(公克)																	
A	正常	正常	O	A1	18.4	23.0	23.6	25.5	27.1	26.8	27.6	28.5	30.1	30.0	30.0	30.2	30.3	30.5	30.9	31.1		
				A2	19.0	19.2	19.8	20.7	21.5	22.9	23.0	23.2	24.7	26.0	26.6	26.6	26.4	26.7	27.1	27.5		
				A3	20.4	24.1	26.1	26.2	26.0	23.7	22.9	24.7	25.8	29.0	29.5	29.3	29.1	29.4	29.5	30.0		
				平均值	19.3	22.1	23.2	24.1	24.9	24.5	25.5	26.9	28.3	28.7	28.7	28.6	28.9	29.2	29.5			
				標準差	1.0	2.6	3.2	3.0	3.0	2.1	2.7	2.9	2.1	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.8			
B	高脂	高糖	X	B1	22.9	22.8	23.1	21.9	25.0	26.0	24.5	25.3	25.8	26.0	27.4	28.0	28.6	29.0	31.1	32.3		
				B2	22.9	23.8	23.7	25.0	26.2	26.2	26.2	26.7	27.1	26.0	27.5	27.7	27.9	28.3	28.5	29.1		
				B3	22.2	22.5	22.6	23.5	23.9	24.5	26.8	29.7	30.5	31.5	32.0	35.6	37.8	38.3	38.6	38.9		
				平均值	22.7	23.0	23.1	23.5	25.0	25.6	25.8	27.2	27.8	27.8	29.0	30.4	31.4	31.9	32.7	33.4		
				標準差	0.4	0.7	0.6	1.6	1.2	0.9	1.2	2.4	3.2	2.6	4.5	5.5	5.6	5.2	5.0			
C	高脂	高糖	O	C1	22.0	24.1	25.3	25.8	26.0	25.8	26.5	26.3	26.8	27.5	26.8	27.6	28.0	28.6	29.1	30.2	30.4	
				C2	19.5	20.0	20.8	21.7	23.4	24.2	24.6	24.1	25.3	26.6	26.3	26.8	27.0	27.7	29.1	30.3		
				C3	19.5	20.9	23.8	24.2	26.7	27.6	28.4	30.2	32.8	34.4	35.6	35.6	36.2	36.9	37.2	37.5		
				平均值	20.3	21.7	23.3	23.9	25.4	25.9	26.5	26.9	28.3	29.5	29.6	30.0	30.4	31.2	32.2	32.7		
				標準差	1.4	2.2	2.3	2.1	1.7	1.7	1.9	3.1	4.0	4.3	5.2	4.9	5.0	5.0	4.4	4.1		
D	高脂	正常	O	D1	20.4	18.9	22.9	23.6	24.9	25.7	28.1	29.7	30.3	30.5	31.1	31.4	31.7	32.0	32.6	33.6		
				D2	22.0	21.2	22.7	23.6	24.2	25.0	25.6	26.9	25.6	26.3	26.4	27.0	27.6	27.9	28.2	28.6		
				D3	24.5	21.7	22.4	22.3	23.3	23.7	24.3	24.8	26.0	26.6	25.1	25.9	27.1	28.2	30.5	31.4		
				平均值	22.3	20.6	22.7	23.2	24.1	24.8	26.0	27.1	27.3	27.8	27.5	28.1	28.8	29.4	30.4	31.2		
				標準差	2.1	1.5	0.3	0.8	0.8	1.0	1.9	2.5	2.6	2.3	3.2	2.9	2.5	2.3	2.2	2.5		
E	正常	高糖	O	E1	20.1	20.2	18.3	19.0	19.6	19.9	21.1	21.6	23.8	24.0	23.5	23.5	24.2	23.7	23.9	24.3	24.7	25.0
				E2	21.8	22.2	21.2	21.4	22.2	22.5	23.7	22.9	23.5	24.2	22.7	23.4	23.9	24.3	24.7	25.0		
				E3	21.2	22.2	19.4	17.7	19.9	22.2	26.0	26.4	28.5	29.0	29.1	29.6	31.1	30.7	30.5	30.8		
				平均值	21.0	21.5	19.6	19.4	20.6	21.5	23.6	23.6	25.3	25.7	25.1	25.5	26.4	26.2	26.4	26.7		
				標準差	0.9	1.2	1.5	1.9	1.4	1.4	2.5	2.5	2.8	2.8	3.5	3.6	4.1	3.9	3.6	3.6		
F	正常	正常	X	F1	19.9	17.3	19.2	22.8	24.8	26.3	26.4	26.3	27.6	31.0	31.7	31.9	32.2	32.6	32.8	33.0		
				F2	22.3	23.6	23.5	25.9	26.3	25.3	24.8	26.6	26.8	26.2	25.2	25.6	26.1	26.4	26.9	27.5		
				F3	22.5	22.2	23.5	26.7	26.5	28.9	28.1	30.7	31.0	27.1	27.1	27.6	27.9	28.2	28.7	29.2		
				平均值	21.6	21.0	22.1	25.1	25.9	26.8	26.4	27.9	28.5	28.1	28.0	28.4	28.7	29.1	29.5	29.9		
				標準差	1.4	3.3	2.5	2.1	0.9	1.9	1.7	2.5	2.2	2.6	3.3	3.2	3.1	3.2	3.0	2.8		

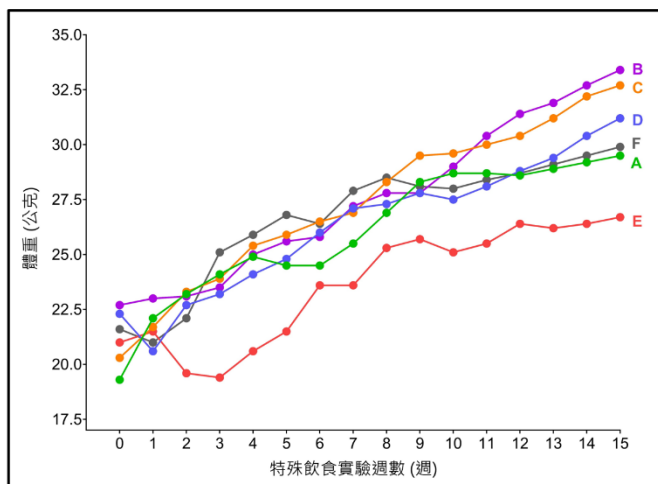


圖9.每週體重成長曲線

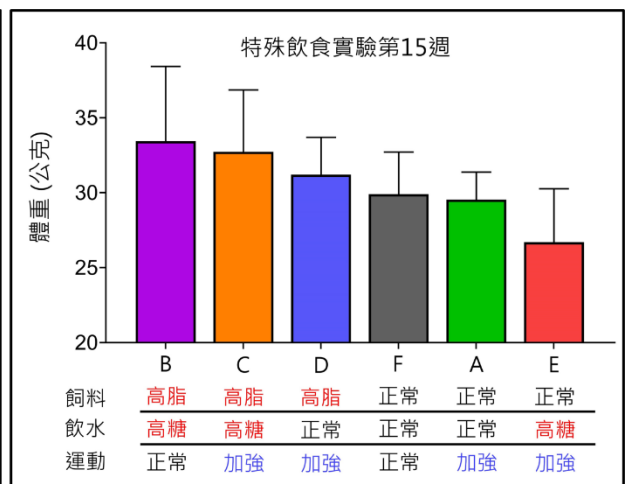


圖10.實驗最後一週體重比較

## (一) 實驗結果

1. 小鼠離乳的時間約為出生後 4 週齡，本研究從 5 週齡開始給予一般固體食物。從實驗週數來看，各組別小鼠們都有明顯成長，因為 20 週齡（給予特殊飲食第 15 週）平均體重都比一開始增加了 5 到 10 公克，但也同時觀察到不同條件下產生的成長差異。
2. 從每週體重成長曲線來看，攝取正常飼料與正常飲水的 A 組與 F 組屬於正常發展曲線。而攝取高脂飼料的 B、C、D 組，體重在攝取第 11 週後，開始有明顯的增加。而飲用高糖水搭配正常飼料的 E 組，體重成長趨勢在攝取第 2 週以後就落後其他組別（圖9）。
3. 從記錄體重的最後一週（給予特殊飲食的第 15 週）結果顯示（圖10）：
  - (1) 飼料比較：攝取高脂飼料的 B、C、D 組，體重比攝食正常飼料的 F、A、E 組都高。
  - (2) 飲水比較：高糖水搭配正常飼料的 E 組，體重是所有組別中最低的。另外搭配高脂飼料的 B、C 組，體重是最高的兩組。
  - (3) 運動比較：在正常飲食的組別中，加強運動的 A 組，體重比對照組 F 較低；在高脂高糖組別中，加強運動的 C 組，體重也比對照組 B 較低。顯示加強運動能些微降低體重增加。

## (二) 實驗討論

1. 高脂飼料因含有較多脂肪，提供 58% 的熱量來源，可能是讓小鼠體重超過正常對照組的主要原因。
2. 單方面增加高糖水的攝取，不一定會讓體重大幅增長，還必須考量到對飼料的攝取量。因為醣類主要提供能量來源，而脂肪與蛋白質雖然也會提供熱量，但也是成長發育過程中重要的營養成份。E 組過度攝取糖水但減少飼料攝食，因此只有增加醣類的熱量來源，但缺乏體重成長必須的蛋白質與脂質。最後體重比正常飲水 A 與 F 組都低。
3. 本實驗設計的加強運動對減輕體重有產生些微影響，若未來提高運動頻率或時間，預期對體重控制會更加明顯。

## 二、飼料攝取量分析

記錄飼料攝食量的目的，是用來觀察各組小鼠是否有正常進食或是選擇偏好。由於無法測得單獨 1 隻小鼠的進食量，因此記錄表內容為各組別中 3 隻小鼠在 1 週內的攝食量總和。由第 1 週開始記錄，到第 10 週確認趨勢後停止（表7、圖11、圖12）。

表7. 攝食量記錄表

小鼠週齡					6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週	13週	14週	15週		
特殊飲食實驗週數					第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週	第10週	平均值	標準差
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	每週飼料攝食量(公克)											
A	正常	正常	O	A1~A3	67.1	89.2	96.1	93.3	96.3	88.7	76.8	95.0	72.3	97.4	86.1	11.1
B	高脂	高糖	X	B1~B3	29.4	26.7	26.3	41.4	38.6	32.6	34.5	33.2	32.2	31.4	32.8	4.8
C	高脂	高糖	O	C1~C3	29.2	29.3	24.9	30.3	33.4	29.2	31.5	32.9	31.7	23.7	30.3	3.2
D	高脂	正常	O	D1~D3	29.0	36.7	43.3	40.1	39.4	38.1	46.9	47.6	41.7	49.1	40.3	6.0
E	正常	高糖	O	E1~E3	47.3	44.6	50.7	55.8	68.5	51.6	46.7	55.8	46.3	43.8	51.9	7.5
F	正常	正常	X	F1~F3	66.9	91.2	103.4	93.0	111.0	103.5	92.4	117.1	93.4	101.4	96.9	13.7

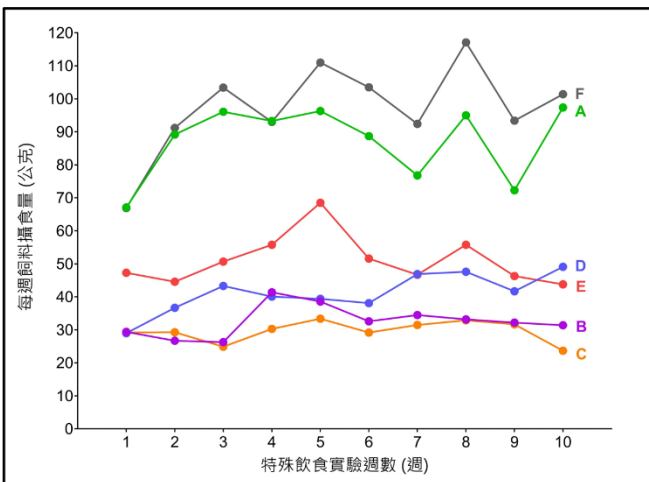


圖11. 每週飼料攝取曲線

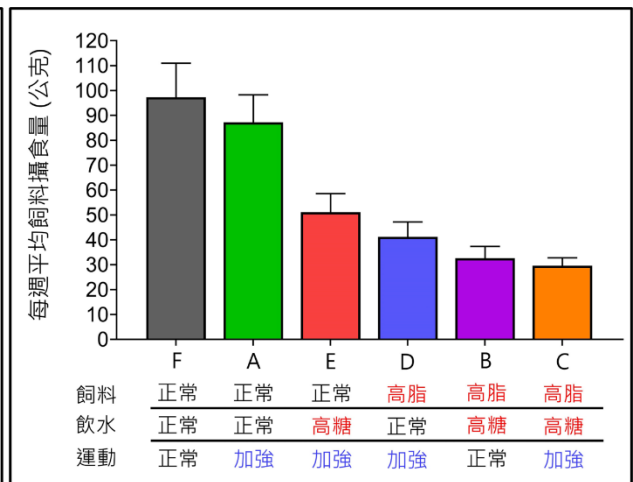


圖12. 平均飼料攝取量

(一) 實驗結果

1. 從實驗週數來看，各組別小鼠攝食量都保持在一定範圍，不會有大幅度的改變。從每週飼料攝食曲線來看，攝取正常飼料與正常飲水的A組與F組在第2週後都保持在70公克以上，而攝取高脂飼料的D、B、C組，則一直保持在50公克以下。而飲用高糖水的E組，雖然也是攝取正常飼料，但是數值落在兩大群之間（圖11）。

2. 從每週平均攝取量結果顯示（圖12）：

- (1) 飼料比較：攝取高脂飼料的D、B、C組，攝食量比正常飼料的F、A、E組低。
- (2) 飲水比較：高糖水搭配正常飼料的E組，因為偏好飲用高糖水，導致大幅度降低正常飼料的攝取。
- (3) 運動比較：在正常飲食的組別中，加強運動的A組，攝取比對照組F較低；在高脂高糖組別中，加強運動的C組，攝取也比對照組B較低。但差距都不是太明顯。運動對攝食量影響不大。



## (二) 實驗討論

1. 為避免小鼠藉由啃咬飼料來磨牙，本實驗有提供木條作為小鼠磨牙使用。
2. 雖然有提供木條，但在正常飼料組中，依然有發現粉狀或是小塊狀飼料混合在墊料中。由於無法分離墊料與飼料，因此正常飼料組攝食量可能高估。
3. 高脂飼料質地較軟，但富含脂肪，可能讓小鼠較容易有飽足感，使得攝取量比正常飼料低。
4. 高糖水的偏好選擇，會導致小鼠飲用過多糖水而產生飽足感，使得飼料攝取量降低。

## 三、飲水攝取量分析

記錄飲水攝取量的目的，是用來觀察各組小鼠是否有飲水選擇偏好。由於無法測得單獨 1 隻小鼠的飲水量，因此記錄表內容為各組別中 3 隻小鼠在 1 週內的飲水量總和。由第 1 週開始記錄，到第 10 週確認趨勢後停止（表8、圖13、圖14）。

表8. 攝水量記錄表

小鼠週齡					6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週	13週	14週	15週		
特殊飲食實驗週數					第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週	第10週	平均值	標準差
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	每週飲水攝取量(毫升)											
A	正常	正常	O	A1~A3	70	89	92	66	78	59	73	67	74	81	74.2	10.3
B	高脂	高糖	X	B1~B3	57	107	154	147	159	144	166	182	199	201	146.1	43.3
C	高脂	高糖	O	C1~C3	84	155	207	198	206	173	186	206	198	160	179.2	38.0
D	高脂	正常	O	D1~D3	35	45	45	37	38	51	57	47	50	44	45.0	6.9
E	正常	高糖	O	E1~E3	143	176	173	207	233	238	242	269	300	302	220.1	53.8
F	正常	正常	X	F1~F3	48	89	95	75	94	82	109	97	83	107	85.8	17.6

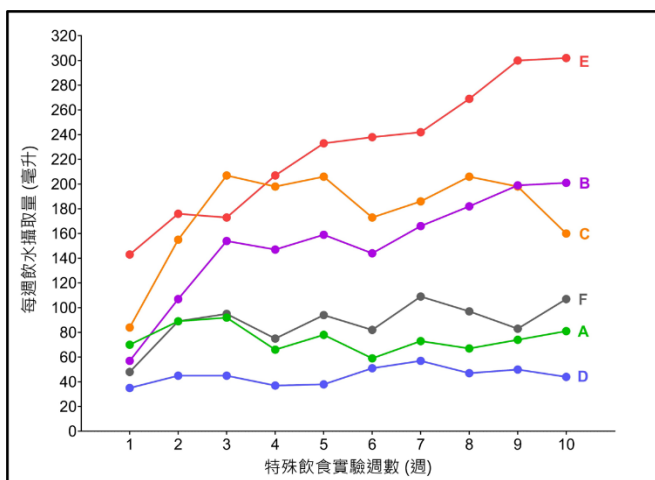


圖13. 每週飲水攝取曲線

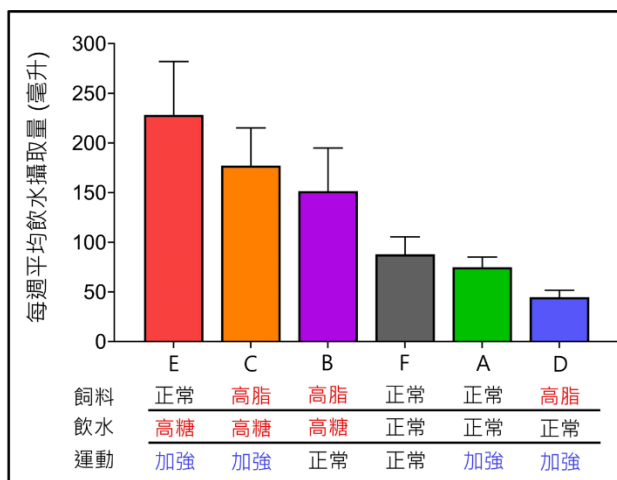


圖14. 平均飲水攝取量

## (一) 實驗結果

1. 從實驗週數來看，提供正常飲水的 F、A、D 組別小鼠，飲水量都保持在一定範圍，不會有大幅度的改變，大部分時間保持在每週 100 毫升以下。但是提供高糖水的 E、C、B 組別，則有隨著週數上升的趨勢。在第 3 週以後，已經超過每週 140 毫升。而飲用高糖水(正常飼料)的 E 組，甚至已經超過每週 300 毫升 (圖13)。
2. 從每週平均飲水量結果顯示 (圖14):
  - (1) 飼料比較：攝取高脂飼料的 C、B 組，飲水量比對照的正常飼料 E 組低。攝取高脂飼料的 D 組，飲水量比對照的正常飼料 F、A 組低。顯示若從高脂飼料中獲得足夠熱量，糖水攝取就會少一些。
  - (2) 飲水比較：攝取高糖飲水的 E、C、B 組，飲水量比正常飲水的 F、A、D 組明顯提高。
  - (3) 運動比較：差距並不明顯。

## (二) 尿液分析結果

1. 實驗最後一週 (第15週)，從墊料潮濕度及尿液重量結果顯示 (圖15):
  - (1) 墊料比較：高糖飲水組 E、C、B 的墊料很快就被尿液浸濕，每隔 3 天就必須要更換新墊料。正常飲水組 F、A、D 只有角落有部分潮濕。
  - (2) 尿液比較：墊料烘乾前後均秤重，計算出尿液的重量。攝取高糖飲水的 E、C、B 組，尿液量比正常飲水的 F、A、D 組明顯提高，與飲水量相符合。
2. 恢復正常飲水 (第16週)，從墊料潮濕度及尿液重量結果顯示 (圖16):
  - (1) 墊料比較：所有組別都只有角落有部分潮濕。
  - (2) 尿液比較：原本攝取高糖飲水的 E、C、B 組，恢復攝取正常飲水一週後的尿液量明顯降低，與正常飲水組相符合。

## (三) 實驗討論

1. 高糖飲水會一直吸引小鼠去攝取，產生很明顯的偏好選擇。
2. 水瓶中的飲水保存完整不易外洩，攝取量測量相對飼料來說更準確。
3. 恢復正常飲水後，原先的偏好選擇消失，飲水量與尿液量都恢復正常。
4. 相對於高脂食物，高糖水更容易使動物過度攝取。
5. 喝水量主要差異為飲水成分，在一般飲水組中沒有觀察到運動與喝水量的差異，可能是運動量(每天30分鐘)尚未達到強烈口渴的程度。

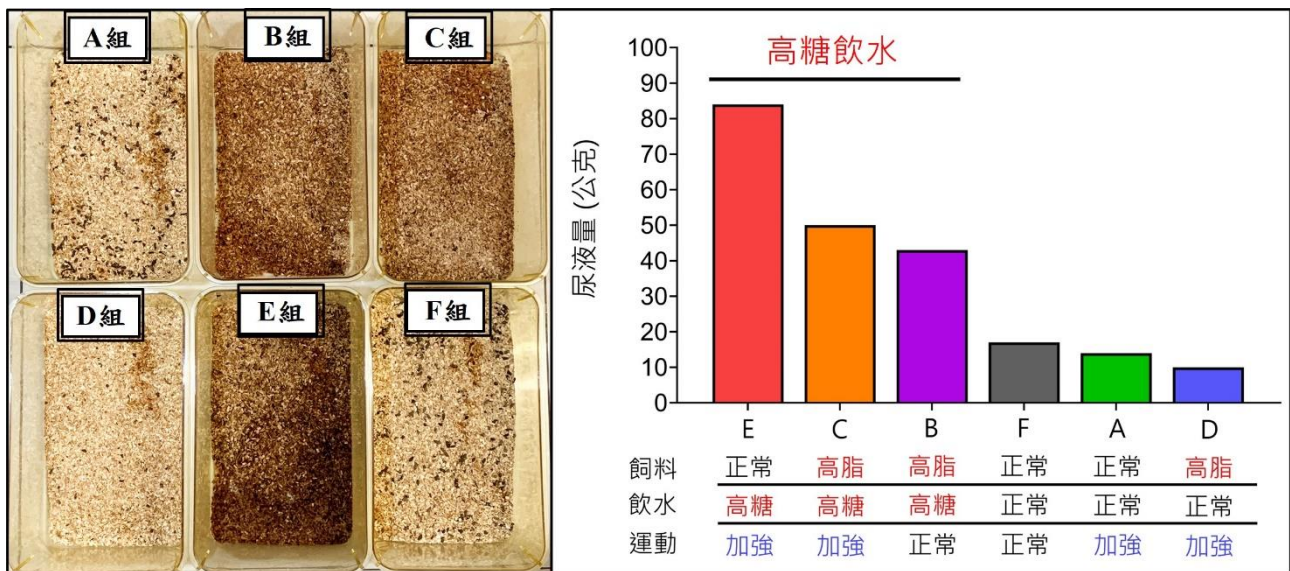


圖15. 實驗最後一週 (第15週) 墊料潮濕度及尿液重量 (照片由作者拍攝)

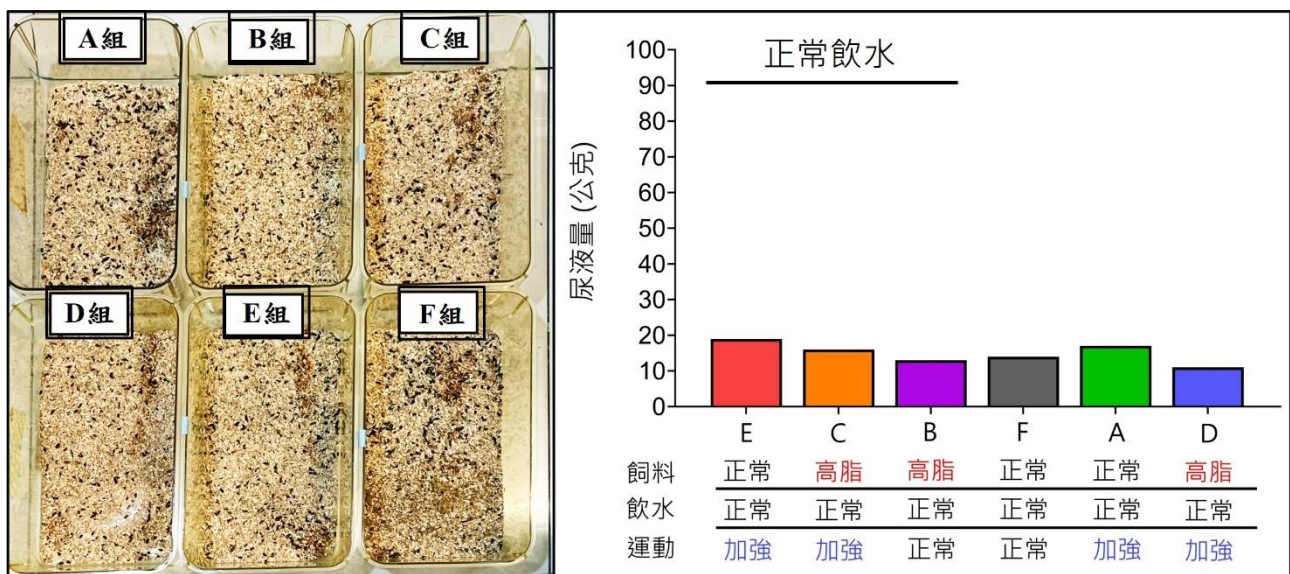


圖16. 恢復正常飲水 (第16週) 墊料潮濕度及尿液重量 (照片由作者拍攝)

#### 四、熱量來源分析

熱量分析主要用來說明各組小鼠熱量來源的主成份，以及後續對行為實驗的影響。由於生物體熱量來源主要為蛋白質、醣類（碳水化合物）以及脂肪，需要達到適合的比例才能促進生物成長，並非熱量越高越好。在正常飲食組 A、F 中，熱量主要來自飼料中的醣類，佔比 60%，而蛋白質與脂肪亦提供部分熱量。而攝取高脂組 D，熱量主要來自飼料中的脂肪，佔比 58%。正常飼料的 E 組另外給予高糖水，則將醣類佔比推升到 76%。攝取高脂高糖的 B、C 組則同時擁有醣類 46%，脂肪 42% 的高熱量來源（圖17）。

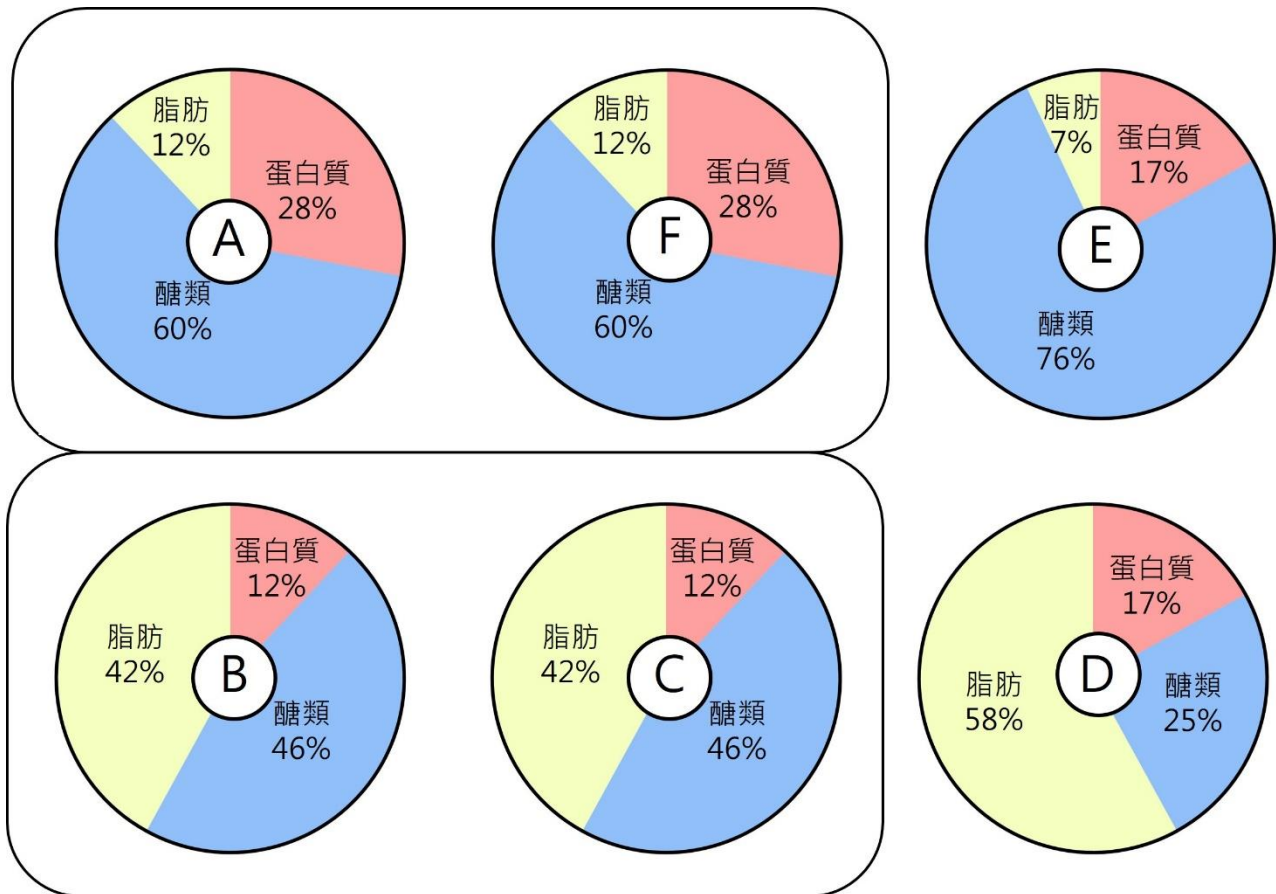


圖17. 各組別熱量來源分析(本圖片由作者繪製)

### 五、水迷宮數據分析

水迷宮是一種用於評估小鼠學習和記憶的神經行為實驗方法。這個實驗利用了小鼠的自然游泳本能和逃避水域的動機，讓小鼠去學習透過標記圖案來尋找隱藏在水面下的平台。記錄表呈現每隻小鼠在每天經過 3 次訓練後，尋找到水中平台的平均時間。並以連續五天持續訓練，使得每隻小鼠共有 15 次下水尋找平台的機會，過程中強化了空間記憶能力，尋找到平台的時間也隨之下降。此外，依照影片繪製每隻小鼠在第 5 天的代表性游泳軌跡圖，圖中黃色圓圈為水中平台，紅點為入水出發起始點。隨著小鼠出發尋找平台，可以藉由水迷宮軌跡圖的路徑複雜度與轉折，來評估其學習和記憶能力的改善情況、了解小鼠對不同區域的偏好和探索行為、觀察小鼠可能採用的學習策略，小鼠可能會通過短暫停留或轉向來記住目標平台的位置。(表9)。

表9. 水迷宮實驗數據與代表性游泳軌跡圖

小鼠週齡				第9週										
特殊飲食實驗週數				第4週										
水迷宮實驗天數				第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	代表性軌跡圖					
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	尋找到平台的時間(秒)					#1	#2	#3		
A	正常	正常	O	A1	39	37	23	15	X					
				A2	18	34	27	13	11					
				A3	38	26	10	5	8					
				平均值	31.7	32.3	20.0	11.0	9.5					
				標準差	11.8	5.7	8.9	5.3	2.1					
B	高脂	高糖	X	B1	43	27	12	22	35					
				B2	45	11	21	28	37					
				B3	40	43	37	16	17					
				平均值	42.7	27.0	23.3	22.0	29.7					
				標準差	2.5	16.0	12.7	6.0	11.0					
C	高脂	高糖	O	C1	35	37	14	21	26					
				C2	25	41	22	16	28					
				C3	31	60	20	53	29					
				平均值	30.3	46.0	18.7	30.0	27.7					
				標準差	5.0	12.3	4.2	20.1	1.5					
D	高脂	正常	O	D1	44	17	16	40	14					
				D2	46	27	17	8	24					
				D3	58	23	13	13	23					
				平均值	49.3	22.3	15.3	20.3	20.3					
				標準差	7.6	5.0	2.1	17.2	5.5					
E	正常	高糖	O	E1	53	25	24	37	26					
				E2	51	34	23	30	26					
				E3	27	28	23	16	27					
				平均值	43.7	29.0	23.3	27.7	26.3					
				標準差	14.5	4.6	0.6	10.7	0.6					
F	正常	正常	X	F1	41	35	13	9	10					
				F2	60	7	30	21	12					
				F3	14	41	10	11	11					
				平均值	38.3	27.7	17.7	13.7	11.0					
				標準差	23.1	18.1	10.8	6.4	1.0					

(一) 實驗結果

- 從實驗天數來看，各組別小鼠在第5天找到平台的時間都比第1天還快，顯示出小鼠們都具有學習的能力，但是尋找到平台的能力有所差別。
  - 整體表現來看，攝取正常飼料與正常飲水的A組與F組表現最佳，最後一天僅花8~12秒即可找到平台。而飲用高糖水的B、C、E組，不論攝取何種飼料都表現較差，需花17~37秒才可以找到平台。此外，攝取高脂飼料但飲用正常水的D組，則介於兩大分群之間。整體而言，給予高糖高脂飲食的組別明顯要比正常飲食組耗費更多時間才能找到平台(圖18)。
2. 從水迷宮實驗的最後一天(第5天)結果顯示(圖19):
- 飲水比較: 飲用高糖水的B、C、E組, 學習表現都比飲用正常水的A、F、D組差。
  - 飼料比較: 攝取高脂飼料的D組, 學習表現比對照組A差; 攝取高

脂飼料的 C 組，學習表現比對照組 E 差。

(3) 運動比較：在正常飲食的組別中，加強運動的 A 組，表現比對照組 F 略為優異；在高脂高糖組別中，加強運動的 C 組，表現比對照組 B 略為優異。

3. 從游泳軌跡圖來看（表9），具有優異學習能力的 A 及 F 組，軌跡都非常短，顯示出小鼠能夠快速辨識平台所在位置的標誌物，並以最短的路徑成功抵達水中平台。而高脂飼料組別 D，則顯示出受到影響的學習能力，需要兩倍的時間才能抵達平台。長時間飲用糖水的 B、C、E 組軌跡都非常複雜，不斷在水池中反覆來回游動，顯示出小鼠無法準確找到水中平台，而是盲目地猜測。

## (二) 實驗討論

1. 高糖飲水與高脂飼料明顯降低小鼠的學習記憶能力。
2. 加強運動能夠增加小鼠的學習記憶能力。
3. A1小鼠在最後一天實驗時都在漂浮不移動，因此不列入結果。
4. 每天三重複的實驗都由不同的下水點啟動，避免小鼠學到刻板印象。
5. 無法在 60 秒找到平台的小鼠，要人工協助停留在平台上10秒，誘導學習。
6. 游泳非常消耗體力，每天三次游泳之間要間隔 30 分鐘讓小鼠休息。
7. 水迷宮也可以提供一些間接證據用於評估小鼠的焦慮程度。焦慮的小鼠可能會表現出較少的探索行為，並且在水迷宮中移動較少或表現出較長的停留時間。本實驗小鼠都持續探索不停留，移動距離短是因為已經找到平台，因此可判定與焦慮較無關，以學習記憶力為主。

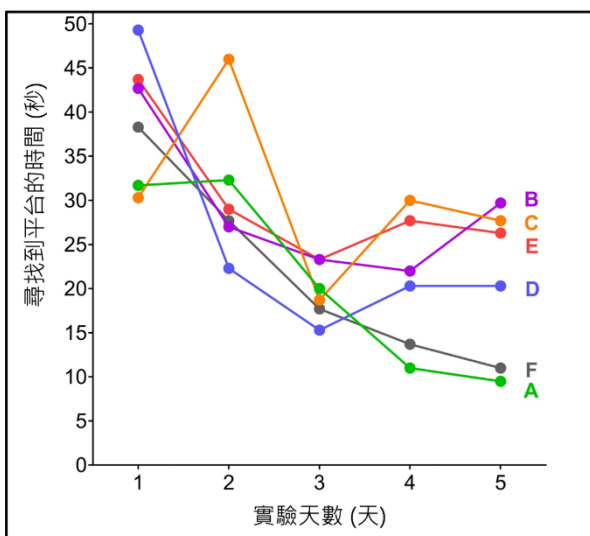


圖18. 空間記憶學習曲線

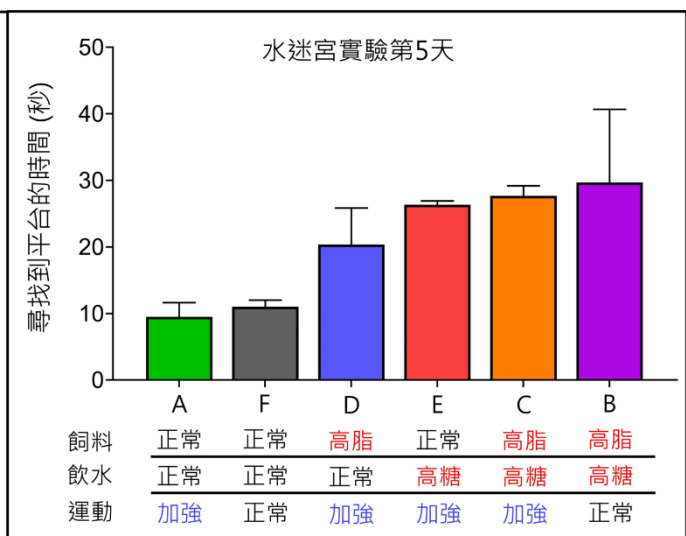


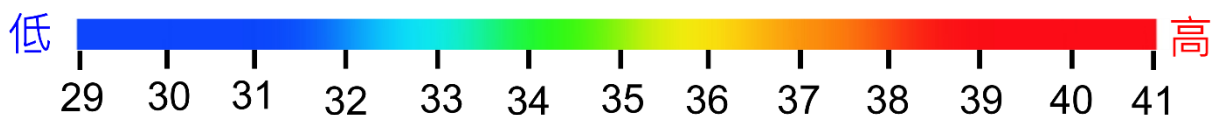
圖19. 尋找平台時間比較

## 六、Y 型迷宮數據分析

Y 型迷宮是一種用於評估小鼠空間記憶和探索行為的實驗方法。這個實驗利用了小鼠天生愛探索新奇事物和空間的特性，讓小鼠去學習透過標記圖案來尋找尚未探索過的區域。記錄表呈現 每隻小鼠在經過適應期與探索期後，探索新開放區域所需要的時間。此外，依照頻率百分比數值繪製每隻小鼠的新區域頻率光譜圖，紅橘黃色為高於平均，綠色為無偏好隨機探索，藍色為低於平均，以此評估其空間記憶能力（表10）。

表10. Y 型迷宮實驗數據與頻率光譜圖

小鼠週齡					第12週				
特殊飲食實驗週數					第7週				
探索新開放區域					秒數	百分比(%)	頻率圖		
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	原始數據		#1	#2	#3
A	正常	正常	O	A1	115	38.3			
				A2	112	37.3			
				A3	123	41.0			
				平均值	116.7	38.9			
				標準差	5.7	1.9			
B	高脂	高糖	X	B1	95	31.7			
				B2	100	33.3			
				B3	89	29.7			
				平均值	94.7	31.6			
				標準差	5.5	1.8			
C	高脂	高糖	O	C1	94	31.3			
				C2	93	31.0			
				C3	103	34.3			
				平均值	96.7	32.2			
				標準差	5.5	1.8			
D	高脂	正常	O	D1	112	37.3			
				D2	108	36.0			
				D3	99	33.0			
				平均值	106.3	35.4			
				標準差	6.7	2.2			
E	正常	高糖	O	E1	103	34.3			
				E2	104	34.7			
				E3	91	30.3			
				平均值	99.3	33.1			
				標準差	7.2	2.4			
F	正常	正常	X	F1	109	36.3			
				F2	113	37.7			
				F3	120	40.0			
				平均值	114.0	38.0			
				標準差	5.6	1.9			



## （一）實驗結果

1. 若是隨機探索的情況下，小鼠在三個通道的進出頻率可能會是趨近平均的 33%。但是若先讓小鼠待在其中兩個通道自由探索 5 分鐘，再開啟第 3 個通道，則小鼠探索新區域的時間會較長，多於 33%。整體表現來看，攝取正常飼料與正常飲水的 A 組與 F 組表現最佳，花了 37~41% 的時間在探索新區域。而飲用高糖水的 B、C、E 組，不論攝取何種飼料都表現較差，只花 29~34% 的時間在探索新區域。此外，攝取高脂飼料但飲用正常水的 D 組，則介於兩大分群之間（圖20）。
2. 從 Y 迷宮實驗的結果顯示（圖21）：
  - （1）飲水比較：飲用高糖水的 E、C、B 組，表現都比飲用正常水的 A、F、D 組差。
  - （2）飼料比較：攝取高脂飼料的 D 組，表現比對照組 A 差；攝取高脂飼料的 C 組，表現比對照組 E 差。
  - （3）運動比較：在正常飲食的組別中，加強運動的 A 組，表現比對照組 F 略為優異；在高脂高糖組別中，加強運動的 C 組，表現比對照組 B 略為優異。
3. 從探索頻率來看（表10），具有優異記憶能力的 A 及 F 組，探索新區域的時間較長，顯示出小鼠能夠透過觀察空間視覺標記，發現該區域是之前未探索過。而高脂飼料組別 D，選擇性略高於隨機探索的平均值，但明顯低於正常飲食組別。長時間飲用糖水的 B、C、E 組，選擇性低於平均值，顯示出小鼠只展現出隨機探索的能力，但並未展現空間記憶能力。

## （二）實驗討論

1. 高糖飲水明顯降低小鼠的學習記憶能力。
2. 高脂飼料也會降低小鼠的學習記憶能力。
3. 加強運動能夠增加小鼠的學習記憶能力。
4. 此部分結果與水迷宮實驗結果相符合。
5. 不論是水中的迷宮，或是路面上的迷宮，高脂高糖飲食都會降低學習與記憶能力。



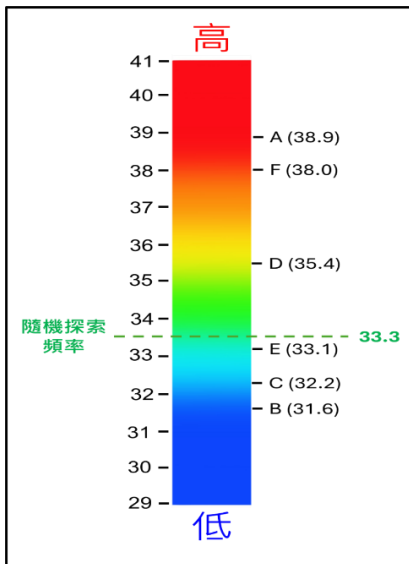


圖20. 空間記憶頻率光譜

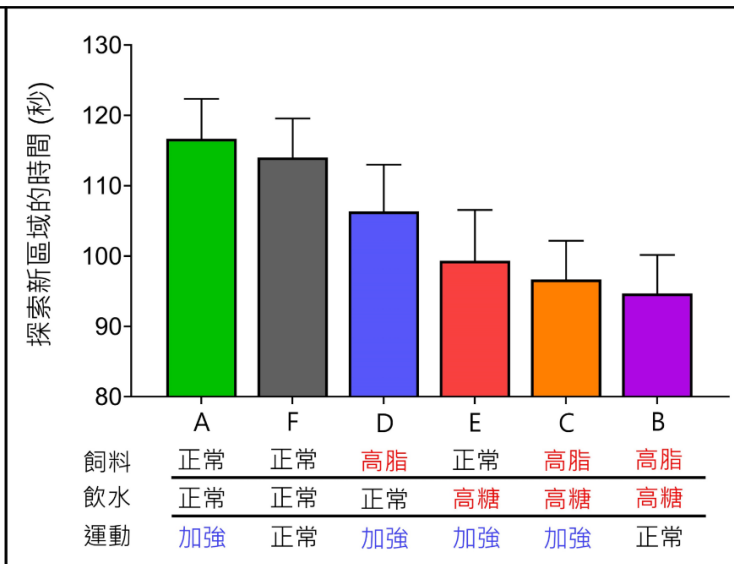
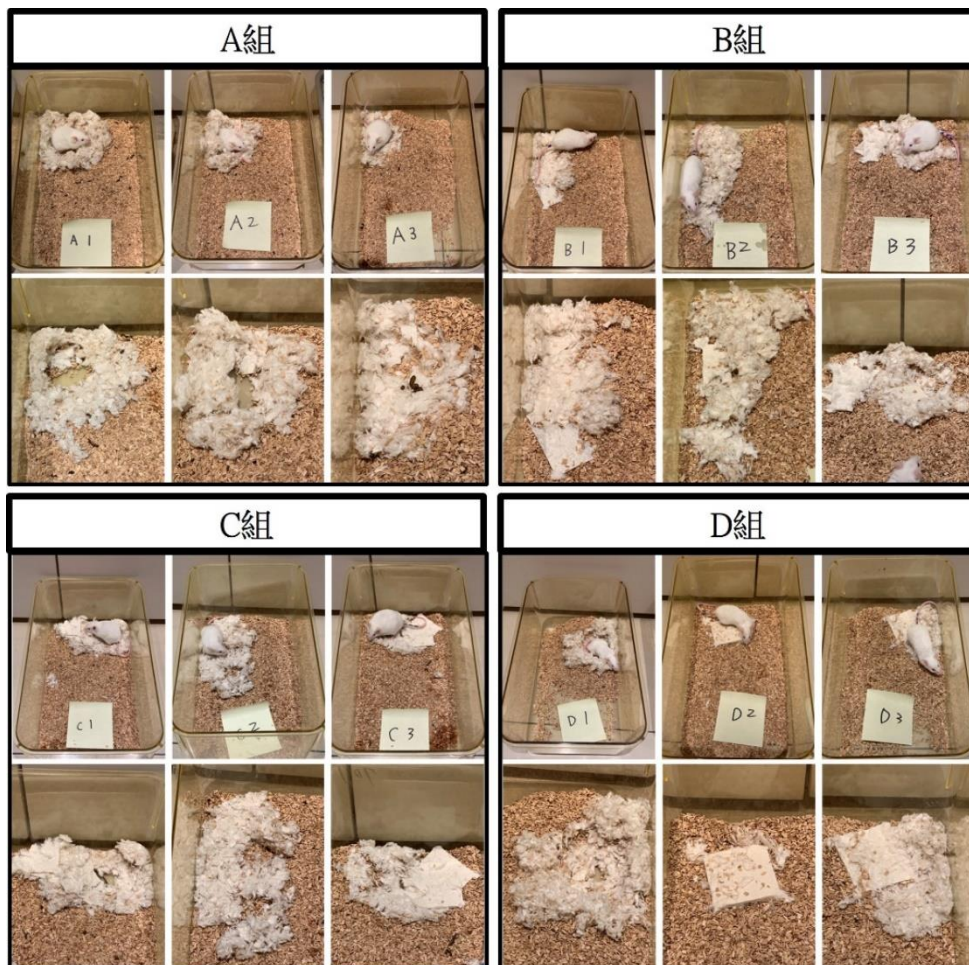


圖21. 探索新區域時間比較

### 七、築巢實驗數據分析

築巢行為用於評估小鼠的生活自理能力以及神經功能。這個實驗利用壓縮的巢料片來觀察小鼠建造巢穴的能力和品質。築巢結果於給予巢料片 10 小時後記錄，小心將巢穴細節記錄下來，並提供給 6 位評分員評分（圖22）。評分員是盲測給分，不知道每個組別代表的意義。記錄表呈現每隻小鼠的平均評分（表11）。



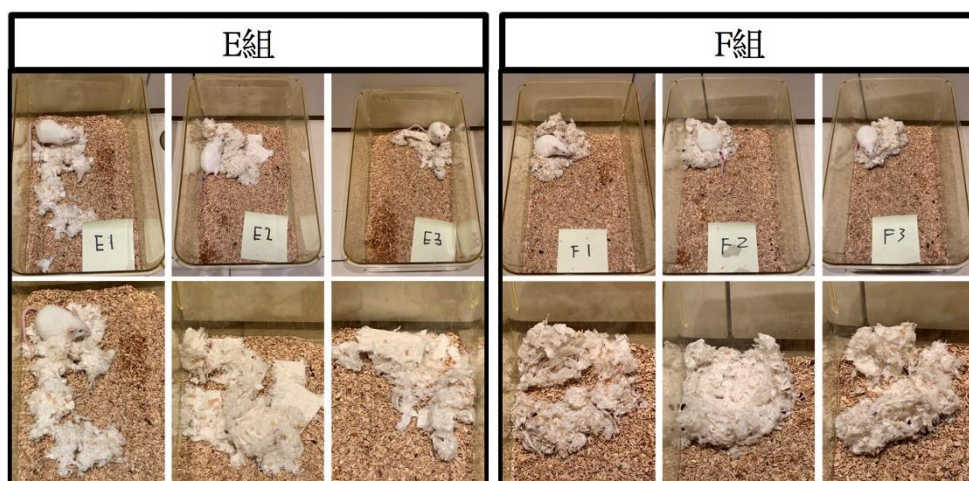


圖22. 小鼠築巢結果 (本系列照片由作者拍攝)

表11. 築巢實驗評分記錄表

小鼠週齡					第14週							
特殊飲食實驗週數					第9週							
評分人員					第1位	第2位	第3位	第4位	第5位	第6位	總平均	
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	築巢完整度分數							
A	正常	正常	O	A1	5	5	5	5	5	5	5	5.0
				A2	5	5	5	5	5	5	5	5.0
				A3	4	4	5	4	4	4	4	4.2
				平均值	4.7	4.7	5.0	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
				標準差	0.6	0.6	0.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
B	高脂	高糖	X	B1	2	2	2	2	2	2	2	2.0
				B2	2	2	2	2	2	4	2.3	
				B3	2	2	2	2	2	2	2.0	
				平均值	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	2.1	
				標準差	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.2	
C	高脂	高糖	O	C1	2	2	2	2	2	2	2.0	
				C2	3	3	3	4	3	4	3.3	
				C3	2	2	2	2	2	2	2.0	
				平均值	2.3	2.3	2.3	2.7	2.3	2.7	2.4	
				標準差	0.6	0.6	0.6	1.2	0.6	1.2	0.8	
D	高脂	正常	O	D1	4	3	5	4	5	5	4.3	
				D2	1	1	1	1	1	1	1.0	
				D3	2	2	2	2	2	2	2.0	
				平均值	2.3	2.0	2.7	2.3	2.7	2.7	2.4	
				標準差	1.5	1.0	2.1	1.5	2.1	2.1	1.7	
E	正常	高糖	O	E1	3	3	3	3	3	2	2.8	
				E2	2	2	2	2	2	2	2.0	
				E3	2	2	2	2	2	2	2.0	
				平均值	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.0	2.3	
				標準差	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.5	
F	正常	正常	X	F1	5	5	5	5	5	5	5.0	
				F2	5	4	5	5	5	5	4.8	
				F3	5	4	5	5	5	5	4.8	
				平均值	5.0	4.3	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	
				標準差	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	

## (一) 實驗結果

1. 整體表現來看，攝取正常飼料與正常飲水的 A 組與 F 組表現最佳，是接近滿分的 4.7~4.9 分。而飲用高糖水的 B、C、E 組，或是攝取高脂飼料的 B、C、D 組，不論怎麼搭配，都是很低的 2.1-2.4 分（表11）。

2. 從築巢實驗的結果顯示（圖23）：

(1) 飲食比較：正常飲食組別 A 及 F 組表現明顯比特殊飲食組 B、C、D、E 組來得優異。無論是單獨攝取高脂飼料或是高糖飲水，或是同時攝取高脂高糖飲食，都會明顯降低築巢能力，使得巢穴的完整度明顯變差，雖然特殊飲食組別中仍有些微差異，但其差距僅在 0.1 至 0.3 分，彼此之間並無明顯差距。由此結果顯示，飲食成份會明顯改變小鼠築巢的生活自理行為。

(2) 運動比較：在這次的實驗中，加強運動並沒有辦法明顯改變築巢完整性。以正常飲食組別來看，A 組跟 F 組，只相差了 0.2 分，而築巢實驗的最小差距分數為 1 分，因此可判定兩者之間並無明顯差異。以特殊飲食組別來看，不論是單獨攝取高脂飼料或是高糖飲水，以及同時攝取高脂飼料及高糖飲水的組別，無論有沒有加強運動，彼此之間的差距都非常微小差距僅在 0.1 至 0.3 分。

## (二) 實驗討論

1. 高糖飲水明顯降低小鼠的認知及生活自理能力。
2. 高脂飼料也會降低小鼠的認知及生活自理能力。
3. 加強運動無法改變小鼠的認知及生活自理能力。
4. 高脂高糖造成功能退化的結果與水迷宮及 Y 迷宮實驗相符合。

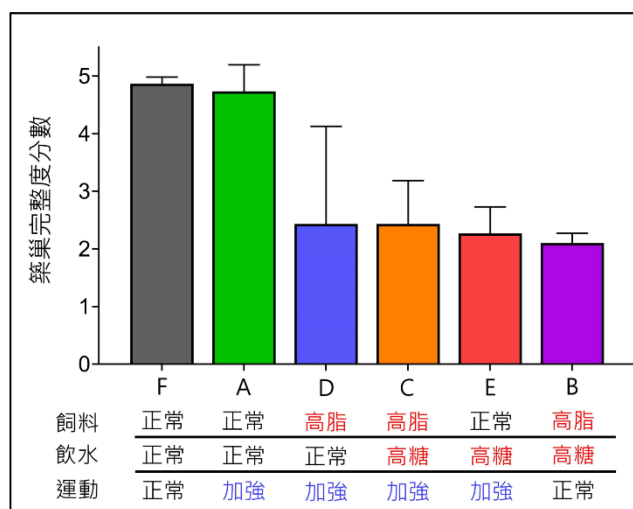


圖23. 築巢完整度比較

## 八、行為實驗綜合比較 (圖24)

### (一) 高糖飲水的影響：

高糖水的攝取 (E) 會明顯降低學習與記憶能力，即便有搭配加強運動，但還是比正常對照組 (F) 多花 139% 的時間才能找到水下平台。此外，空間記憶能力也降低 13%，生活自理能力降低 53%。

### (二) 高脂飼料的影響：

高脂飼料的攝取 (D) 也會降低學習與記憶能力，即便有搭配加強運動，但還是比正常對照組 (F) 多花 85% 的時間才能找到水下平台。此外，空間記憶能力也降低 7%，生活自理能力降低 50%。

### (三) 高糖高脂飲食的影響：

高糖高脂的攝取 (B、D) 會非常顯著降低學習與記憶能力，不論有無搭配加強運動，但還是比正常對照組 (F) 多花 152-170% 的時間才能找到水下平台。此外，空間記憶能力也降低 15-17%，生活自理能力降低 50-57%。

### (四) 運動有無改善：

加強運動在高糖高脂的組別比較中，有觀察到一些改善效果。有運動組 (C) 比沒運動組 (B) 改善了 18% 的時間找到水下平台。此外，空間記憶能力也改善 2%，生活自理能力改善 7%。

### (五) 整體危害程度比較：

高糖高脂飲食 > 高糖飲水 > 高脂飼料

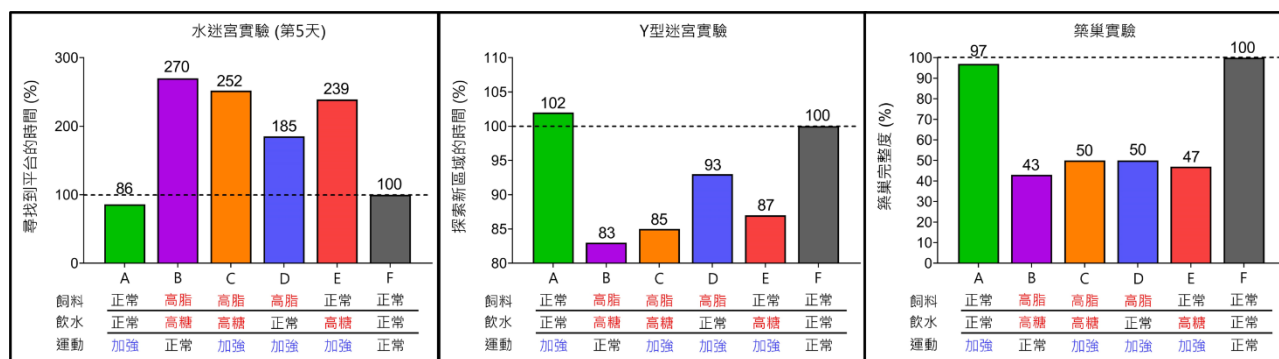


圖24. 行為實驗綜合比較

## 伍、討論

### 一、小鼠日常照顧：

(一) 剛開始實驗時，小鼠還沒有適應新環境，所以有部分小鼠的體重沒有增加。還好經過兩週以後，所有的小鼠都恢復正常狀況。

(二) 小鼠是夜行性動物，白天大部分時間都在睡覺，接近傍晚才醒來活動。因此，我的小鼠行為實驗，都設計在放學後或晚上的時間進行。

## 二、飲食攝取：

(一) 小鼠需要磨牙，所以每一組都放入小木條，避免用飼料磨牙。

(二) 高糖水在第四天就有懸浮物出現，高脂飼料則有出油跟崩解的狀況。因此更改一週才更換的規劃，減少飼料跟飲水份量，每三天就更換一次。

## 三、水迷宮實驗：

(一) 參訪中央研究院時，他們是用黑色小鼠進行水迷宮實驗，會在水中加入牛奶調色，讓黑色小鼠能夠在白色的水域中被攝影機辨識到。

(二) 我使用的是白色小鼠，因此我們最後選擇深藍色水池，讓白色小鼠也能清楚的被攝影機記錄到。

## 四、Y 迷宮實驗：

(一) 在某一次的適應期間，雖然其中一個通道有隔板擋住，但是因為隔板放在墊料上方，導致有小鼠在隨意挖掘的過程中，不小心跑到尚未開放的區域。後續實驗都改成先放隔板，再加墊料。

(二) 小鼠都是透過簡單明確的標示圖案來記憶，所以在迷宮的四周不能有其他雜物出現讓小鼠混淆。我使用露營用的天幕圍繞迷宮四周，讓背景變得單純。

## 五、築巢實驗：

(一) 由於巢料片一放下去，小鼠就很興奮的開始拆散巢料片。所以我們一開始想測試是否 3 小時就能看到築巢結果。可是後來發現 3 小時的時間太短，連最正常的對照組 F 都還沒有完成築巢，因此改回橫跨一整晚的 10 小時策略。

(二) 不要驚嚇到小鼠，不然小鼠一從巢穴跳出來就會破壞巢穴的完整性。

## 六、代謝疾病問題：

手搖飲料店、鹽酥雞攤與便利超商已佈滿大街小巷，這樣的飲食環境已經對國人健康造成長期的影響。近年來，青少年代謝性疾病，尤其是肥胖和腎臟功能等問題日益嚴重，根據國家衛生研究院論壇針對「減糖增健康，勿嗜糖成癮」的報告顯示，若青少年每天的熱量需求為2千大卡，則建議每天吃下的糖總量不要超過 50 公克。

(楊健良，2024)。除了代謝性疾病，高糖高脂飲食也會對大腦造成負面影響，尤其是學習和記憶。我的研究主題可以連結科學與生活，不須昂貴的儀器即可以研究呈現健康警訊，也可以讓青少年們認識健康飲食的重要性。

## 七、校園飲食政策：

教育部規定，國中以下校園合作社，不能賣「含糖飲料」和「高油食物」，僅純果汁、鮮乳、保久乳、豆漿、優酪乳、包裝飲用水、礦泉水等七類飲品可在校內販售。這樣的規定是非常好的，因為可以避免學生攝取過多糖與脂肪。同時校園方面也加強對含糖飲料與高脂食物的營養教育（方俊丁，2022；張乃文，2007）。

#### 八、社會性議題：

目前法令只有規定距離校園 50 公尺以內，不得開設夾娃娃機店跟網咖，但沒有限制飲料店及速食店。建議在學校附近的店家減少做高糖高脂食品的廣告宣傳，以免影響學生的飲食選擇和營養健康，同時避免在校園附近設置自動販賣機，以減少學生接觸不健康食品的機會。便利商店裡已經有多種減糖、少糖、無糖的飲品，以及低熱量食品，代表社會越來越重視飲食平衡及健康。

## 陸、結論與亮點

本研究目的在於探討高糖高脂飲食對小鼠成長、學習、記憶與生活自理能力的影響，以及加強運動是否具有改善作用。(1). 透過對小鼠進行長期飼養，觀察體重的變化，以及對食物的偏好程度得知，高糖高脂飲食對小鼠的成長發育產生不良影響，包括高脂造成體重增加，對高糖的偏好則造成發育不良。(2). 透過迷宮實驗和築巢行為觀察得知，長期食用高糖高脂飲食對小鼠的學習記憶和生活能力產生負面影響，導致學習記憶能力下降。(3). 透過定期運動訓練，觀察小鼠生理和行為參數的變化得知，規律加強運動對於降低高糖高脂飲食對小鼠的不良影響具有一定的潛力。我的研究結果證明了長期攝取高糖或高脂飲食，對年輕小鼠成長發育、食物偏好、學習能力與生活自理能力都會產生負面影響。整體危害程度比較：高糖高脂飲食 > 高糖飲水 > 高脂飼料。運動雖然能夠改善高糖高脂造成的影響，但是效果有限，最重要的還是管理好吃進肚子裡的食物。研究亮點包括以下幾個方面：(1). 實際應用：研究高糖高脂肪飲食對學習和記憶的影響，這個主題對目前飲食習慣和健康政策具有重要意義，尤其是在兒童和青少年中，能夠引起社會和教育界的關注。(2). 創新觀念：使用小鼠模型來探討高糖高脂肪對學習記憶的影響，幫助理解不健康飲食除了造成代謝疾病，也會引發學習功能障礙。(3). 教育價值：對正在發育與學習中的國小學生們來說，這些發現強調了長期且連續食用含糖飲料或是高油炸物對學習與發育可能造成的危害，具有明確的教育價值，能夠啟發學生重視飲食與健康之間的關聯。除了含糖飲料常用的高果糖糖漿以外，未來我也想進一步探討在食物中不同類型的糖，例如蔗糖、黑糖、冰糖、代糖等等不一樣的糖，對學生學習與記憶功能的影響，因為這些糖也廣泛存在甜點、麵包、蛋糕、冰淇淋等等學生很愛吃的食物裡頭。

## 柒、參考文獻

- 一、 Bromley-Brits, K., Deng, Y., & Song, W. (2011). Morris water maze test for learning and memory deficits in Alzheimer's disease model mice. *Journal of Visualized Experiments*, (53):2920.
- 二、 Dieterich, A., Yohn, C.N., & Samuels, B.A. (2020). Chronic stress shifts effort-related choice behavior in a Y-maze barrier task in mice. *Journal of Visualized Experiments*, (162):10.3791/61548.
- 三、 d'Isa, R., & Gerlai, R. (2022). Designing animal-friendly behavioral tests for neuroscience research: The importance of an ethological approach. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16:1090248.
- 四、 Fritz, B.M., Muñoz, B., Yin, F., Bauchle, C., & Atwood, B.K. (2018). A high-fat, high-sugar 'Western' diet alters dorsal striatal glutamate, opioid, and dopamine transmission in mice. *Neuroscience*, 372, 1-15.
- 五、 Molteni, R., Barnard, R.J., Ying, Z., Roberts, C.K., & Gómez-Pinilla, F. (2002). A high-fat, refined sugar diet reduces hippocampal brain-derived neurotrophic factor, neuronal plasticity, and learning. *Neuroscience*, 112(4), 803-814.
- 六、 Neely, C.L.C., Pedemonte, K.A., Boggs, K.N., & Flinn, J.M. (2019). Nest building behavior as an early indicator of behavioral deficits in mice. *Journal of Visualized Experiments*, 19;(152).
- 七、 Rosenthal, N., & Brown, S. (2007). The mouse ascending: perspectives for human-disease models. *Nature Cell Biology*, 9(9), 993-999.
- 八、 Speakman, J.R. (2019). Use of high-fat diets to study rodent obesity as a model of human obesity. *International Journal of Obesity*, 43(8), 1491-1492.
- 九、 Wang, S., Lai, X., Deng, Y., & Song, Y. (2020). Correlation between mouse age and human age in anti-tumor research: Significance and method establishment. *Life Sciences*, 242:117242.
- 十、 方俊丁 (2022)。含糖飲料健康認知、健康態度、購買意願與行為意圖之研究-以國小高年級學童為例 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 十一、 行政院農業委員會 (2018)。實驗動物照護與使用指引。取自 <https://animal.moa.gov.tw/download/file/181205-1.pdf>
- 十二、 杜季昀、盧冠好、羅于茜 (2005)。市售飲料對學齡兒童的影響-以銀狐鼠為例。中華民國第49屆中小學科學展覽會。取自國立臺灣科學教育館。
- 十三、 林嘉容、許芷菱、吳翔祐、祝梓芸、陳嫻羽、李佳珉 (2004)。傑利鼠的健身房-規律運動對小鼠的生長與學習記憶的影響。中華民國第48屆中小學科學展覽會。取自國立臺灣科學教育館。
- 十四、 林好庭 (2020)。人鼠之間：生醫研究的幕後英雄—實驗鼠。科技大觀園。  
取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=83bdf57-ca2b-4c20-aa5c-370950334f7a>
- 十五、 林慧淳 (2021)。糖毒!揭開糖的甜蜜陷阱。康健雜誌, 272, 38-50。
- 十六、 孫國清 (2016)。甜蜜的毒藥。科技大觀園。  
取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=f28e0094-5fdb-41bc-8567-00637628d38c>
- 十七、 陳姘君 (2008)。高油飲食或糖水誘發代謝症候群之作用機制探討 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 十八、 張乃文 (2007)。國中學生含糖飲料主題課程介入之效果研究 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 十九、 國家實驗動物中心 (2016)。生活中的實驗動物。取自 <https://animal.moa.gov.tw/download/file/P10-14.pdf>
- 二十、 楊健良 (2024)。減糖增健康，勿嗜糖成癮。國家衛生研究院論壇。取自 <https://forum.nhri.edu.tw/r181/>
- 二十一、 衛生福利部國民健康署 (2013)。食物營養與熱量。取自 <https://www.hpa.gov.tw/Pages/TopicList.aspx?nodeid=544>

## 【評語】 080303

研究主題：

這份研究探討了高糖高脂飲食對小鼠學習、記憶和生活自理能力的影響，以及加強運動對這些影響的改善作用。

創意、學術或實用價值：

研究結果顯示高糖高脂飲食顯著降低了小鼠在水迷宮中尋找平台的能力，並減弱了在 Y 型迷宮中探索新區域的傾向，這些結果表明飲食對學習和記憶能力有負面影響。築巢能力實驗顯示高糖高脂飲食組的小鼠生活自理能力有所下降，這進一步證實了飲食對生理功能的影響。加強運動計畫對改善受到高糖高脂飲食影響的學習和認知功能具有積極效果，尤其是在高糖高脂組中效果最為明顯，這點強調了運動在健康飲食之外的重要性。本研究主題與生活息息相關，研究探討高糖高脂飲食對於學習與記憶的影響，對於學童與家長來說本計畫具有吸引力與重要性。實驗設計細膩，具有學術與實用價值。

科學方法之適切性：

本作品使用小白鼠進行實驗，研究設計包括正常對照組、高糖水組、高脂飼料組和高糖高脂組，利用水迷宮、Y 型迷宮進行學習記憶行為分析，並以小鼠建造巢穴的能力和品質定義認知能力。



總結：

這份研究深入探討了飲食和運動對小鼠行為和生理功能的影響，結果顯示高糖高脂飲食對學習、記憶和生活自理能力有明顯的負面影響，而加強運動能夠有效改善這些影響。這些發現對於理解人類健康與疾病之間的關係，特別是飲食和運動的角色，具有重要的啟示意義。

## 作品簡報

# 甜蜜負擔

探討高糖高脂肪對學習和記憶的影響



## 摘要

本研究目的在於探討高糖高脂飲食對小鼠學習、記憶與生活自理能力的影響，以及加強運動是否具有改善作用。規劃正常對照組、高糖水組、高脂飼料組與高糖高脂組，並加入加強運動計畫，對小鼠進行實驗。最後透過水迷宮、Y型迷宮及築巢能力實驗，以行為測試評估小鼠的學習與自理能力。結果顯示，高糖高脂飲食顯著降低了小鼠在水迷宮中尋找平台的能力，以及降低了小鼠在Y迷宮中探索新區域的傾向，顯示學習記憶能力受到干擾而減弱；同時，築巢行為亦顯示出類似趨勢，指出小鼠的認知能力有所下降。然而，加強運動能夠改善這些受到干擾的學習與認知功能，尤其在高糖高脂組中效果最為明顯。本研究強調了健康飲食與運動在小鼠學習與認知能力方面的重要性。(本研究所有照片與圖表，均由作者與指導老師拍攝或繪製)

## 壹、研究動機

現代人對於飲用含有高糖份飲料與攝取高脂肪食物，已變成習以為常的生活方式，但也因此攝取了過多的熱量造成肥胖與心臟血管相關的疾病，或因為只偏好喝飲料導致營養不均衡。長期攝取高糖高脂食物，是否會導致學習與記憶能力變差，以及改變生活本能與認知行為，尚未非常清楚。由於小鼠的神經系統及行為表現與人類非常相似，因此，我想利用小鼠行為觀察實驗來探討高糖高脂飲食對學習記憶和生活本能的影響。

## 貳、研究目的

- 一、高糖高脂對小鼠**成長發育**與**食物偏好的**影響。
- 二、高糖高脂對小鼠**學習記憶**與**生活能力**的影響。
- 三、規律加強運動對改善高糖高脂影響的潛力。

## 參、研究材料

### 一、實驗小鼠 (ICR品系)

- (一) 天生具有游泳、探索、記憶與築巢能力。
- (二) 由獸醫師監督小鼠的基本照護，由科學家監督小鼠行為實驗進行，遵守實驗動物福祉。

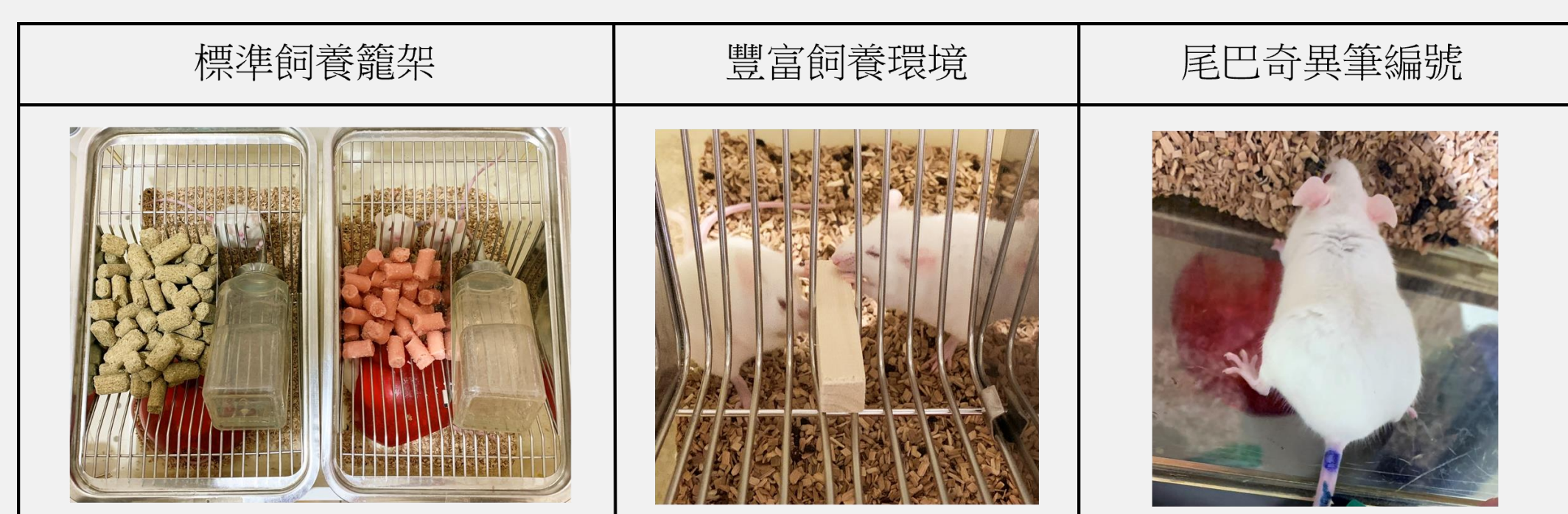


圖1. 小鼠飼養與照顧

組別	A	B	C	D	E	F
隻數	3	3	3	3	3	3
飼料	正常	高脂	高脂	高脂	正常	正常
飲水	正常	高糖	高糖	正常	高糖	正常
運動	加強	正常	加強	加強	加強	正常

表1. 小鼠分組

### 二、飲食種類

常規飼料 LabDiet 5001			高脂飼料 HFD		
成份	熱量	外觀	成份	熱量	外觀
蛋白質	28%		蛋白質	17%	
醣類	60%		醣類	25%	
脂肪	12%		脂肪	58%	
一般飲水			15%高果糖玉米糖漿		
成份	熱量	外觀	成份	熱量	外觀
蛋白質	0		蛋白質	0	
醣類	0		醣類	100%	
脂肪	0		脂肪	0	

表2. 飼料與飲水主要成份與提供熱量比例

## 肆、實驗流程與方法

### 一、實驗流程規劃

小鼠週齡	5週	6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週	13週	14週	15週	16週	17週	18週	19週	20週
實驗週數	第0週	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週	第10週	第11週	第12週	第13週	第14週	第15週
高糖/正常飲水	[Timeline bar]															
高脂/正常飼料	[Timeline bar]															
加強/正常運動	[Timeline bar]															
體重記錄(每週)	[Timeline bar]															
攝食記錄(每週)	[Timeline bar]															
飲水記錄(每週)	[Timeline bar]															
水迷宮實驗	[Timeline bar]															
Y迷宮實驗	[Timeline bar]															
築巢實驗	[Timeline bar]															

表3. 研究流程規劃

### 二、滾輪運動

- (一) 小鼠愛跑滾輪的天性。
- (二) 每天 30 分鐘，每週 3 天的滾輪運動。
- (三) 滾輪圓周長約 44 公分，平均可跑 1000 圈，約為 440 公尺的跑步距離。

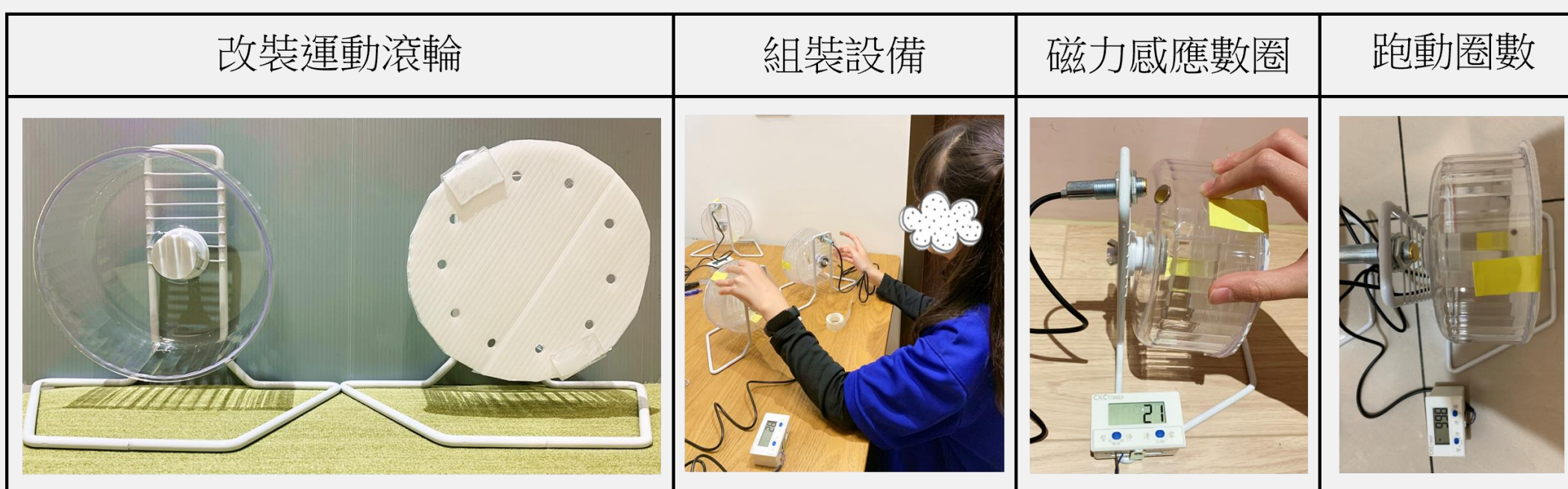


圖2. 滾輪運動

### 三、水迷宮實驗

水迷宮是一種用於評估小鼠學習和記憶的神經行為實驗方法。這個實驗利用了小鼠的自然游泳本能和逃避水域的動機，讓小鼠去學習透過標記圖案來尋找隱藏在水面下的平台。

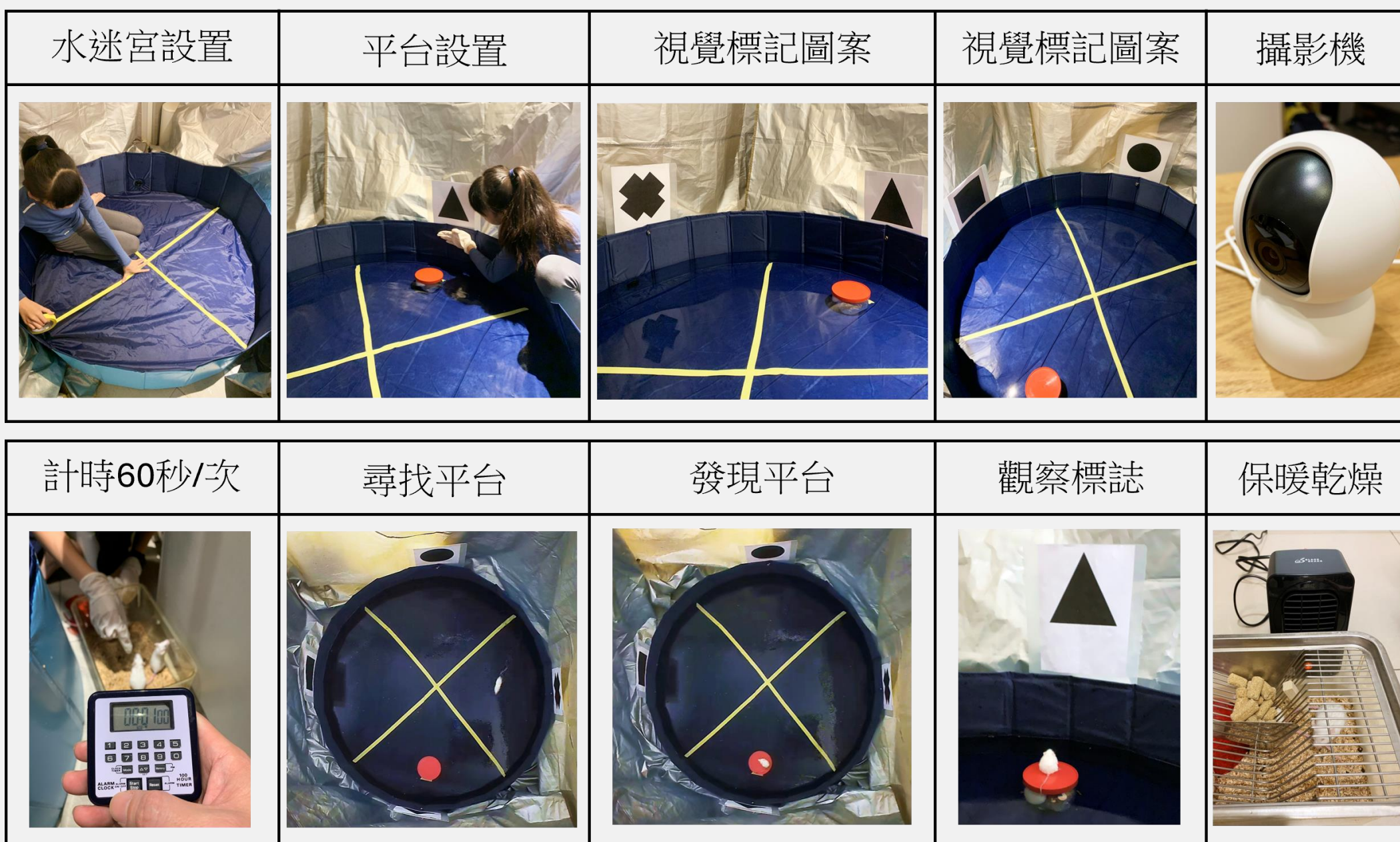


圖3. 水迷宮實驗設計

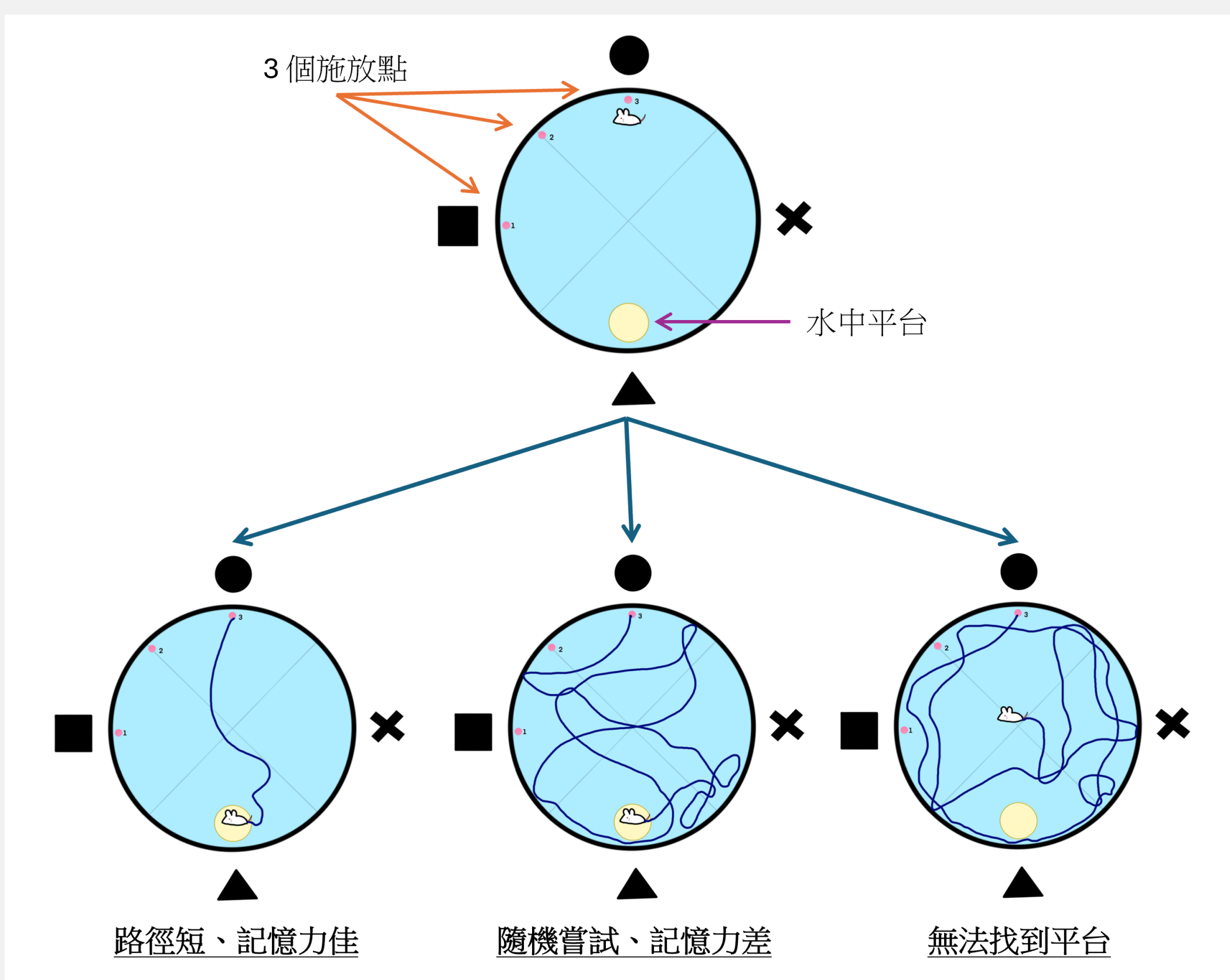


圖4. 水迷宮結果示意圖

### 四、Y型迷宮實驗

Y型迷宮是一種用於評估小鼠空間記憶和探索行為的實驗方法。這個實驗利用了小鼠天生愛探索新奇事物和空間的特性，讓小鼠去學習透過標記圖案來尋找尚未探索過的區域。

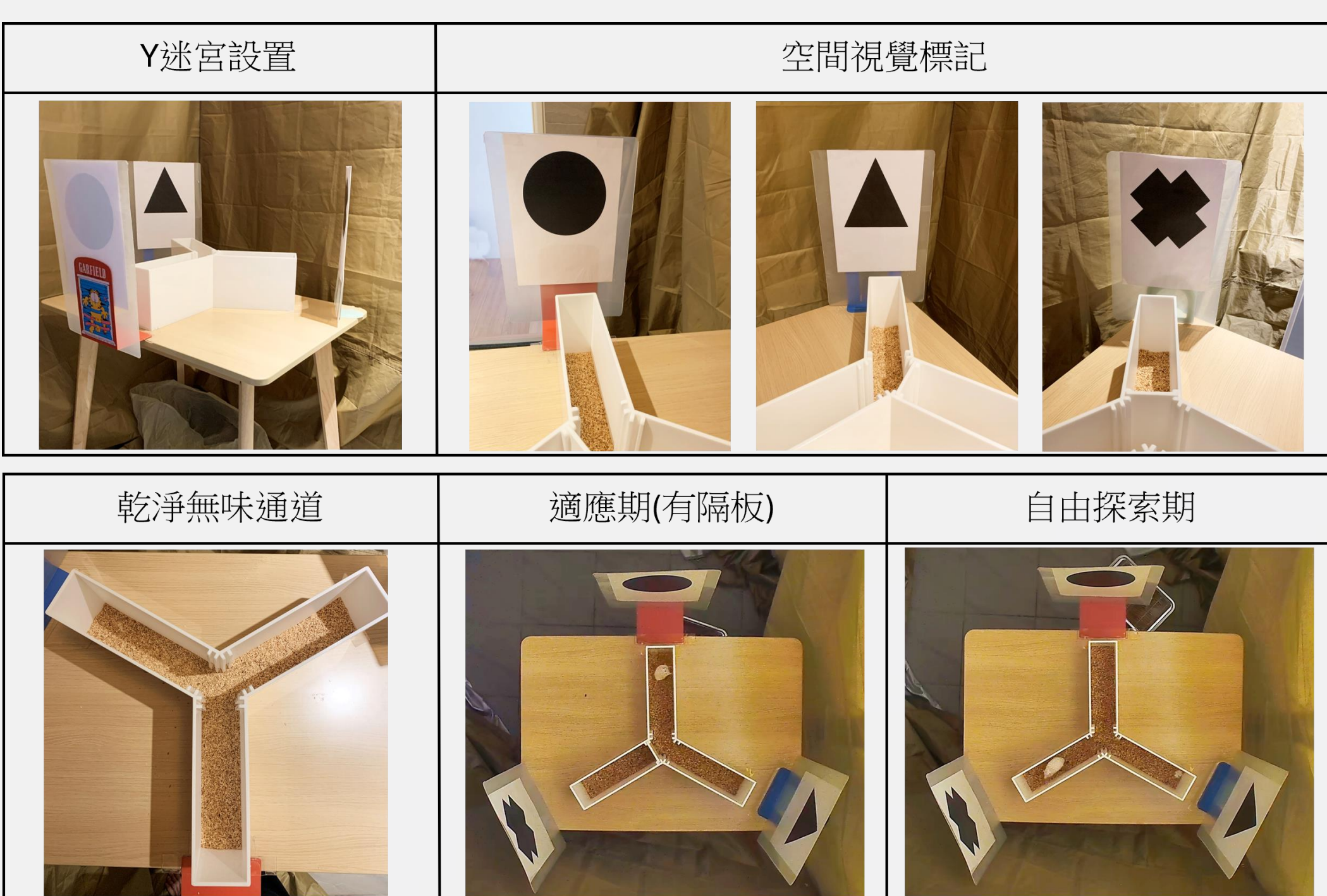


圖5. Y型迷宮實驗設計

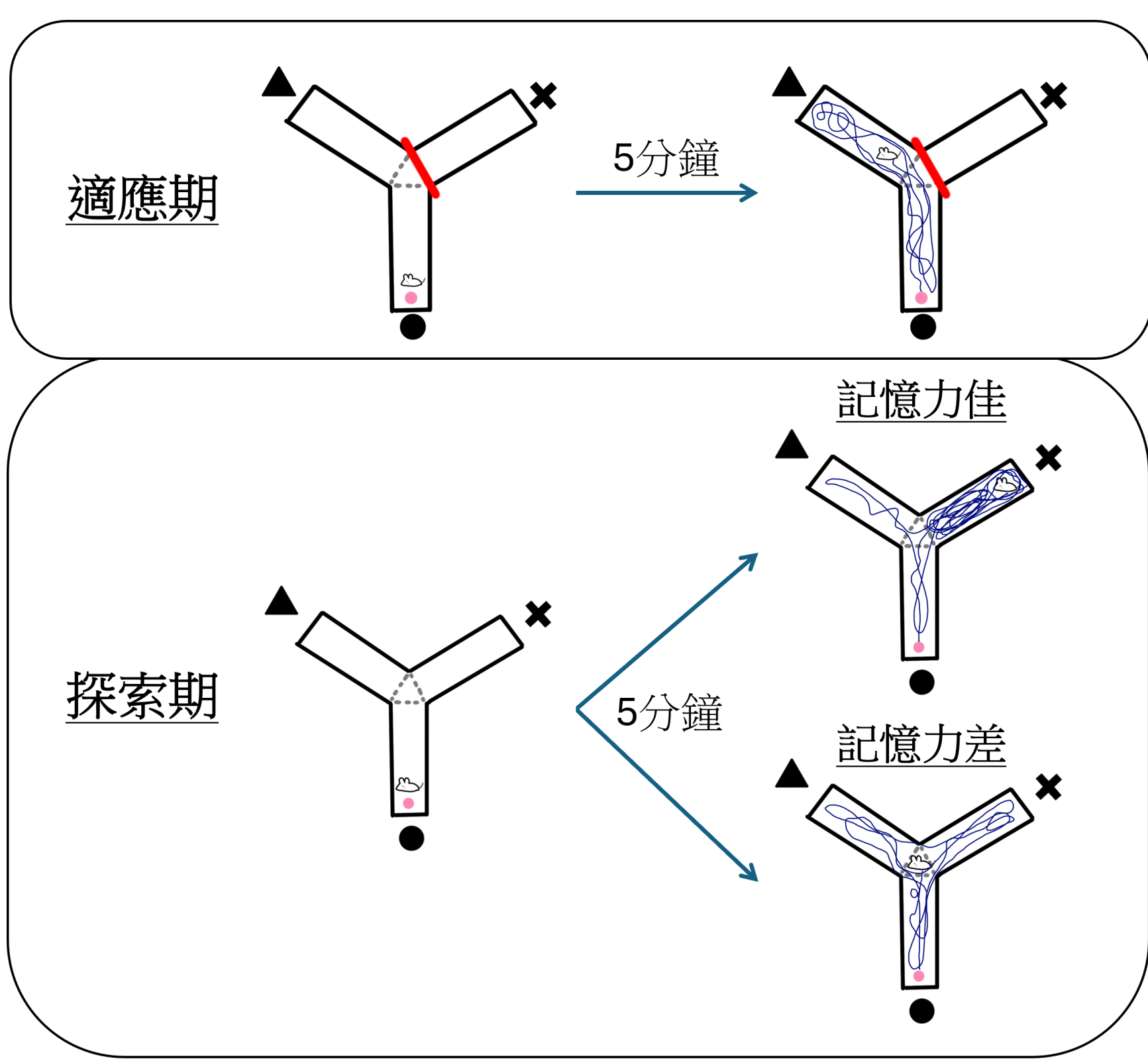


圖6. Y迷宮結果示意圖

## 五、築巢實驗

築巢行為是小鼠的一種自然行為，用於評估小鼠的生活自理能力以及神經功能。這個實驗利用壓縮的巢料片來觀察小鼠建造巢穴的能力和品質。

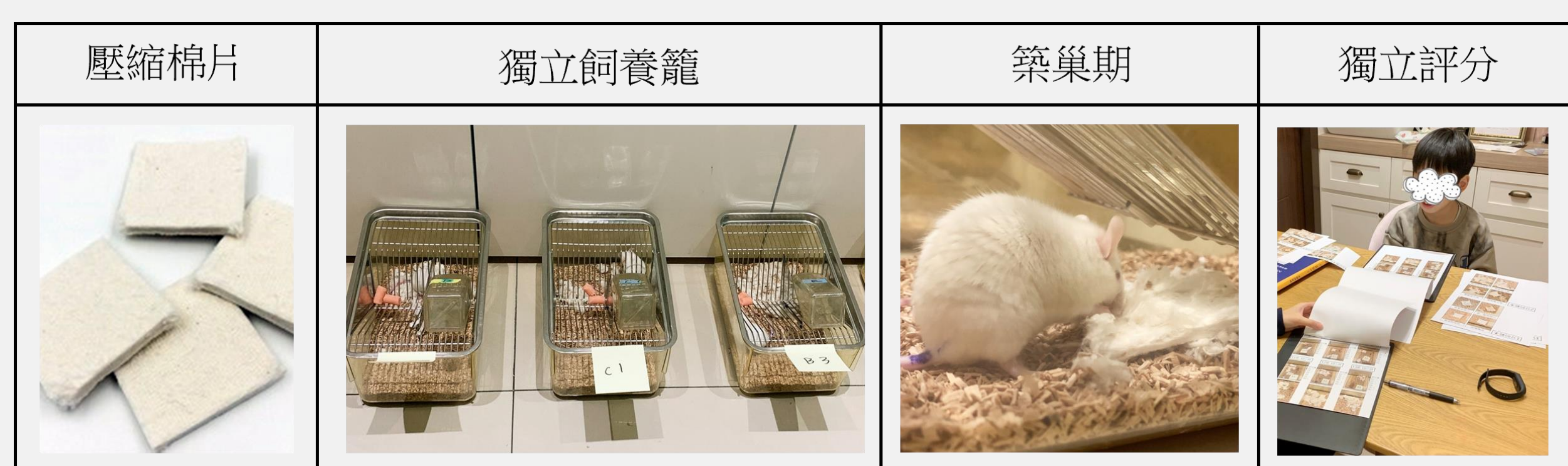


圖7. 築巢實驗設計

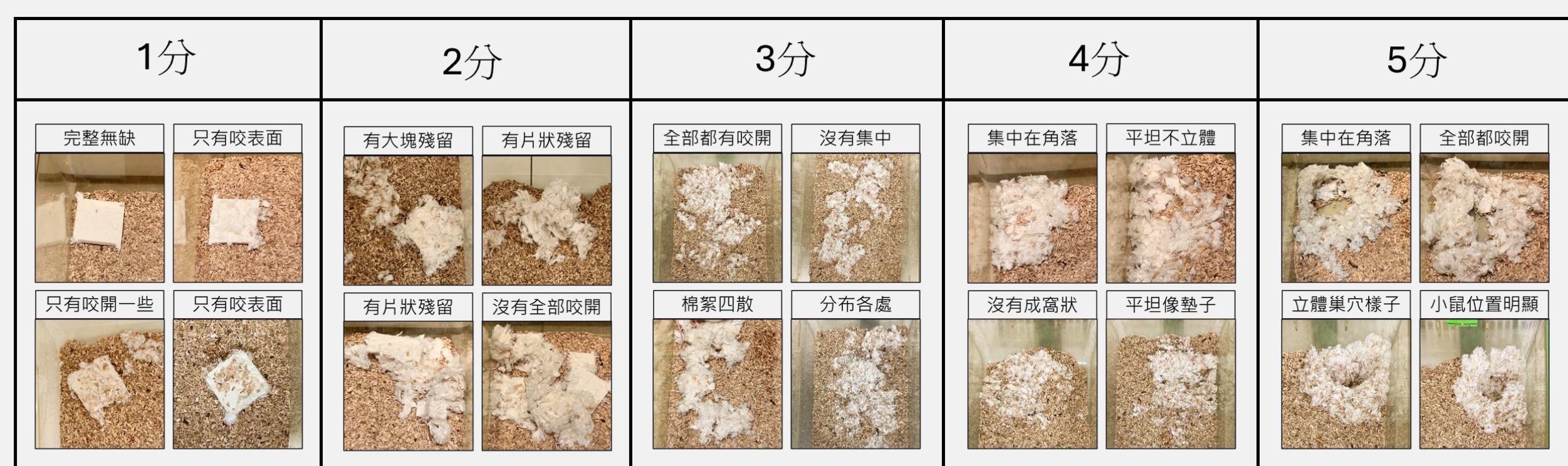


圖8. 築巢評分標準

## 伍、實驗結果

### 一、體重結果分析

測量體重的目的，是用來追蹤小鼠成長的趨勢，以及比較正常飲食、特殊飲食與運動習慣對成長發育的影響。

- 飼料影響：高脂飼料明顯增加小鼠的體重 (BCD)。
- 飲水影響：高糖水搭配正常飼料 (E) 造成嚴重偏食。
- 運動影響：加強運動能降低體重增加 (C<B, A<F)。

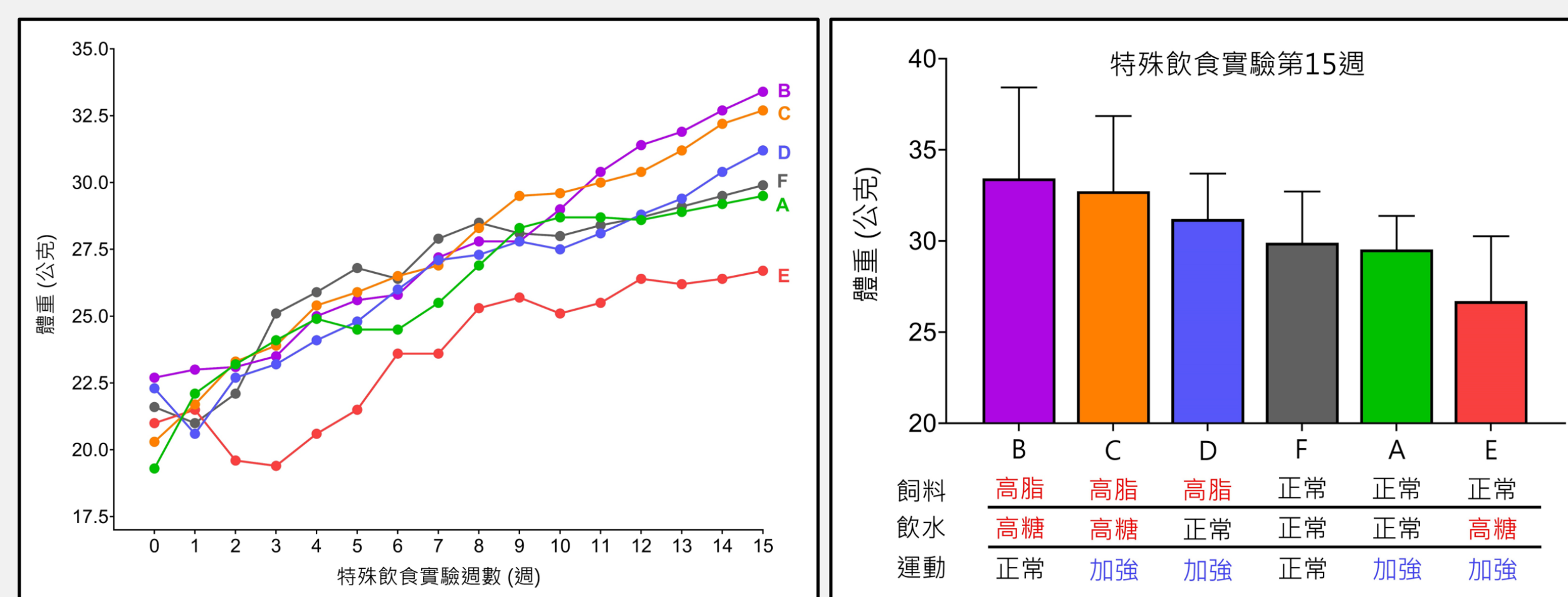


圖9. 每週體重成長曲線

圖10. 實驗最後一週體重比較

### 二、飼料攝取量分析

記錄飼料攝食量的目的，是用來觀察各組是否有正常進食或是食物選擇偏好。由於無法測得單獨 1 隻小鼠的進食量，因此結果為各組別中 3 隻小鼠在 1 週內的攝食量總和。由第 1 週開始記錄，到第 10 週確認趨勢後停止。

- 飼料影響：高脂飼料易有飽足感，攝食量較低 (DBC)。
- 飲水影響：高糖水搭配正常飼料 (E) 造成嚴重偏食。
- 運動影響：加強運動對攝食量影響不大。

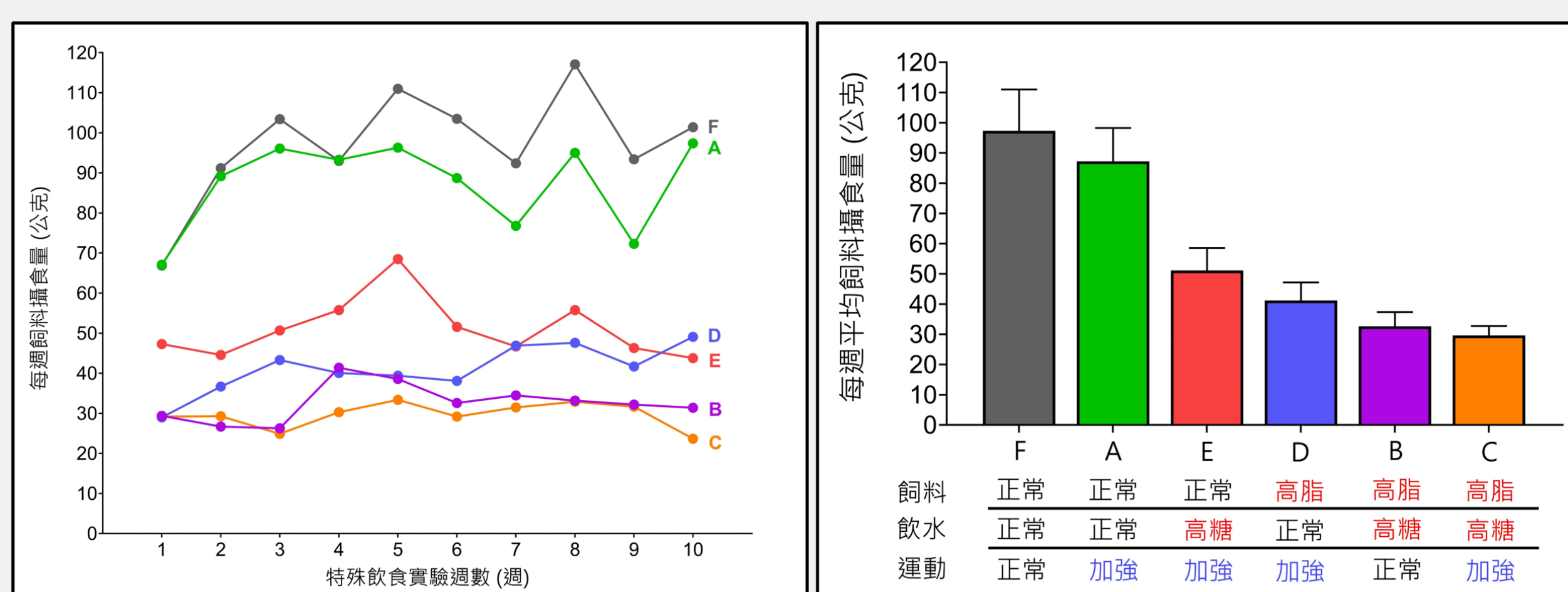


圖11. 每週飼料攝取曲線

圖12. 平均飼料攝取量

### 三、飲水攝取量分析

記錄飲水攝取量的目的，是用來觀察各組小鼠是否有飲水選擇偏好。內容為各組別中 3 隻小鼠在 1 週內的飲水量總和。

- 飲水影響：高糖水明顯增加小鼠的飲水量與偏好 (ECB)。
- 飼料影響：高脂飼料易有飽足感，飲水量少一些。
- 運動影響：加強運動對飲水量影響不大。

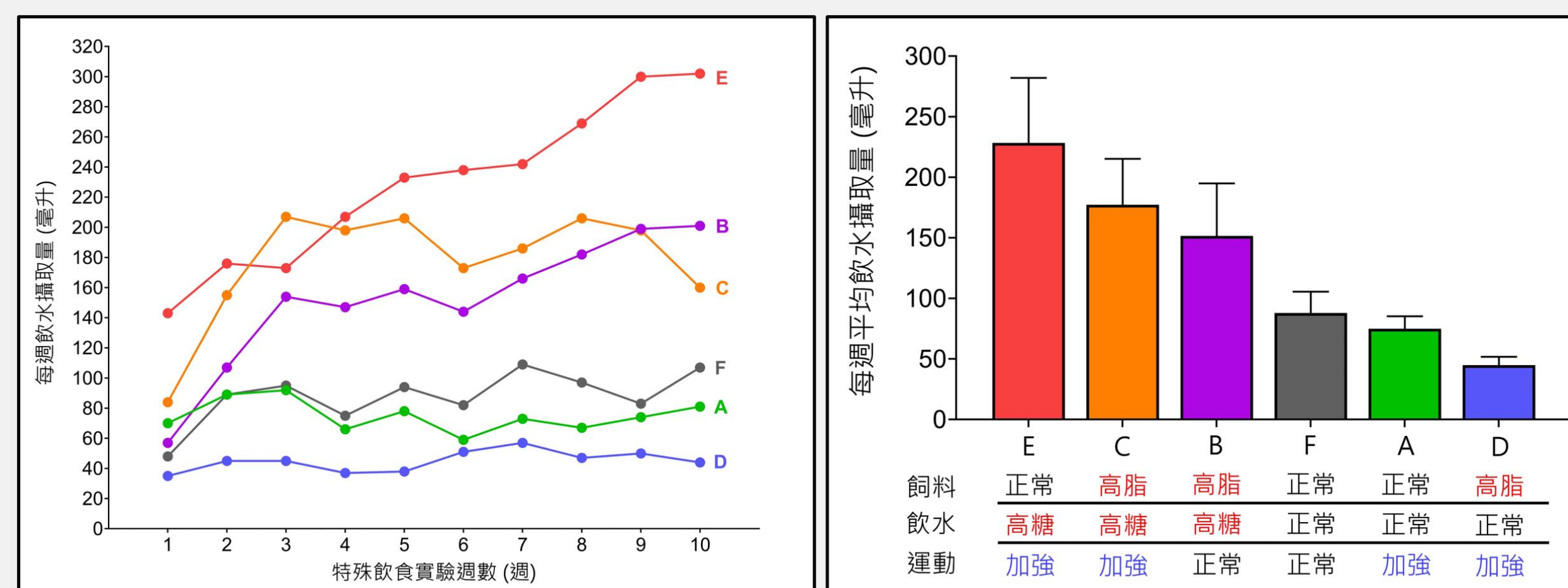


圖13. 每週飲水攝取曲線

圖14. 平均飲水攝取量

### 四、尿液量分析

高糖飲水組 ECB 的墊料很快就被尿液浸濕，每隔 3 天就必須要更換新墊料。正常飲水組 FAD 只有角落有部分潮濕。墊料烘乾前後均秤重，計算出尿液的重量。攝取高糖飲水的 ECB 組，尿液量比正常飲水的 FAD 組明顯提高，與飲水量相符合。

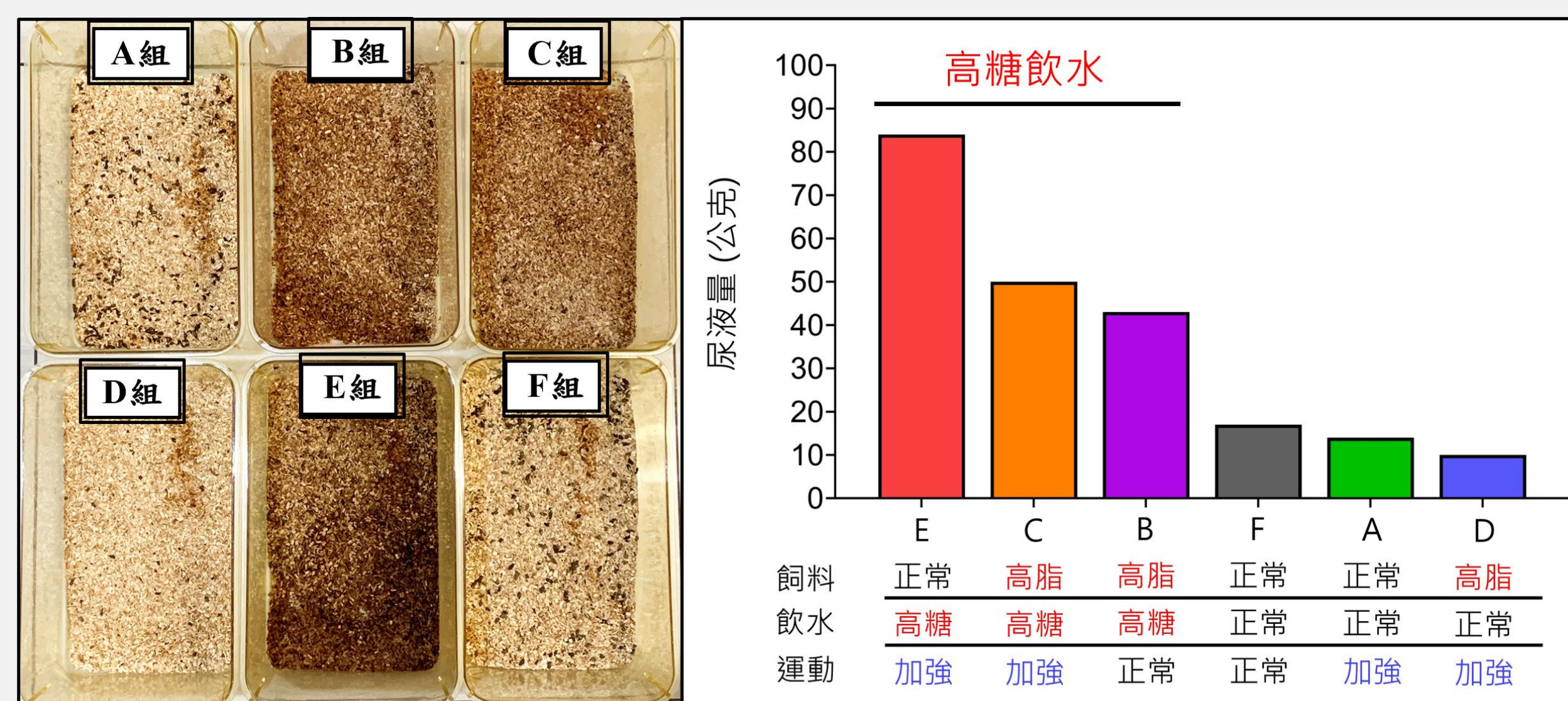


圖15. 實驗最後一週 (第15週) 墊料潮濕度及尿液重量

恢復正常飲水後，所有組別都只有角落有部分潮濕。原本攝取高糖飲水的 ECB 組，恢復攝取正常飲水一週後的尿液量明顯降低，與正常飲水組 FAD 相符合。

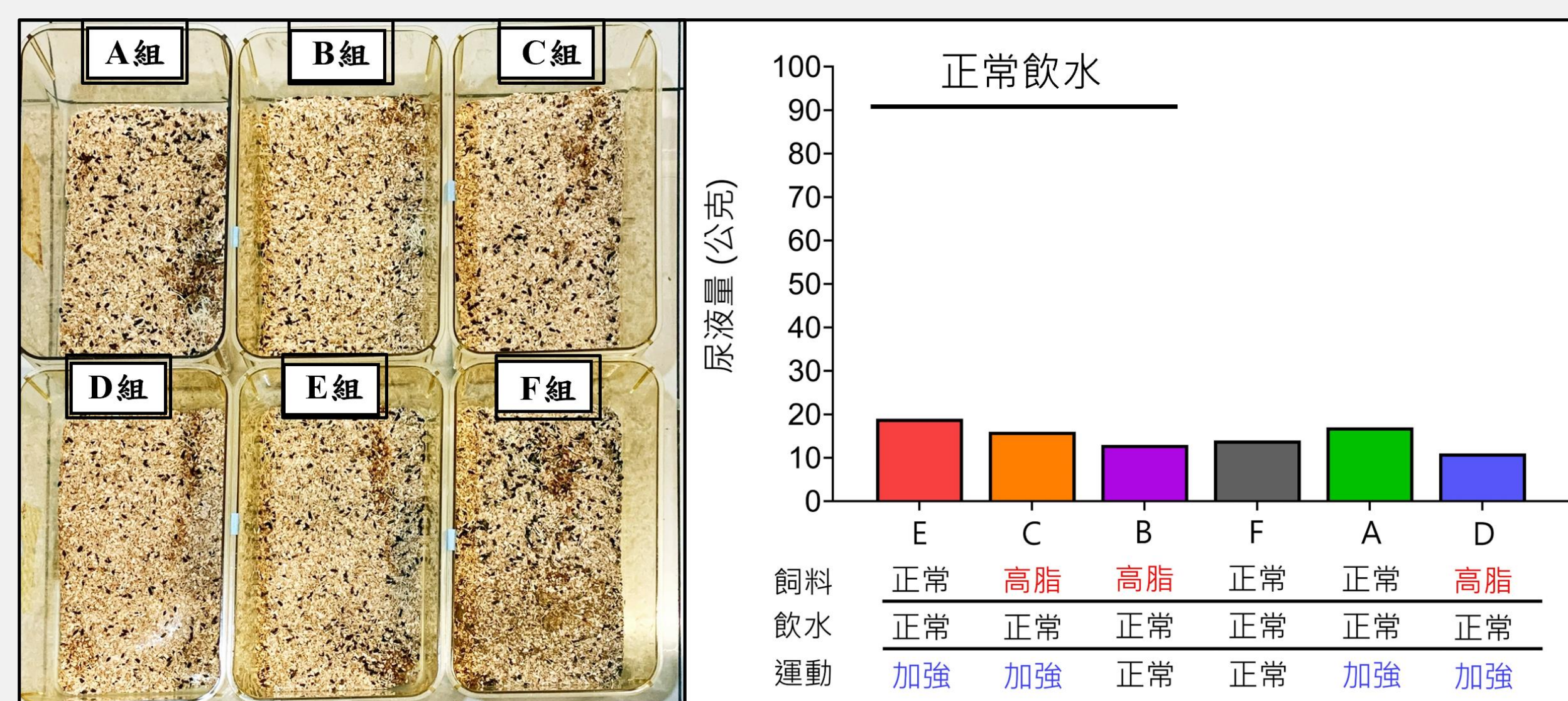


圖16. 恢復正常飲水 (第16週) 墊料潮濕度及尿液重量

### 五、水迷宮數據分析

依照影片繪製每隻小鼠在第 5 天的代表性游泳軌跡圖，圖中黃色圓圈為水中平台，紅點為入水出發起始點，可藉由路徑的複雜度與轉折來判斷小鼠的學習和記憶能力。

小鼠週齡		第9週										
特殊飲食實驗週數		第4週										
水迷宮實驗天數		第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	代表性軌跡圖					
組別	飼料種類	飲水種類	加強運動	編號	尋找到平台的時間(秒)					#1	#2	#3
A	正常	正常	O	A1	39	37	23	15	X			
				A2	18	34	27	13	11			
				A3	38	26	10	5	8			
				平均值	31.7	32.3	20.0	11.0	9.5			
				標準差	11.8	5.7	8.9	5.3	2.1			
B	高脂	高糖	X	B1	43	27	12	22	35			
				B2	45	11	21	28	37			
				B3	40	43	37	16	17			
				平均值	42.7	27.0	23.3	22.0	29.7			
				標準差	2.5	16.0	12.7	6.0	11.0			
C	高脂	高糖	O	C1	35	37	14	21	26			
				C2	25	41	22	16	28			
				C3	31	60	20	53	29			
				平均值	30.3	46.0	18.7	30.0	27.7			
				標準差	5.0	12.3	4.2	20.1	1.5			
D	高脂	正常	O	D1	44	17	16	40	14			
				D2	46	27	17	8	24			
				D3	58	23	13	13	23			
				平均值	49.3	22.3	15.3	20.3	20.3			
				標準差	7.6	5.0	2.1	17.2	5.5			
E	正常	高糖	O	E1	53	25	24	37	26			
				E2	51	34	23	30	26			
				E3	27	28	23	16	27			
				平均值	43.7	29.0	23.3	27.7	26.3			
				標準差	14.5	4.6	6.3	10.7	0.6			
F	正常	正常	X	F1	41	35	13	9	10			
				F2	60	7	30	21	12			
				F3	14	41	10	11	11			
				平均值	38.3	27.7	17.7	13.7	11.0			
				標準差	23.1	18.1	10.8	6.4	1.0			

表4. 水迷宮實驗數據與代表性游泳軌跡圖

具有優異學習能力的AF組，軌跡都非常短，顯示出小鼠能夠快速辨識平台所在位置的標誌物，並以最短的路徑成功抵達水中平台。而高脂飼料組別D，則顯示出受到影響的學習能力，需要兩倍的時間才能抵達平台。長時間飲用糖水的BCE組軌跡都非常複雜，不斷在水池中反覆來回游動，顯示出小鼠無法準確找到水中平台。

- 飼料影響：高脂明顯降低小鼠的學習記憶能力。
- 飲水影響：高糖明顯降低小鼠的學習記憶能力。
- 運動影響：加強運動能夠增加學習記憶能力。

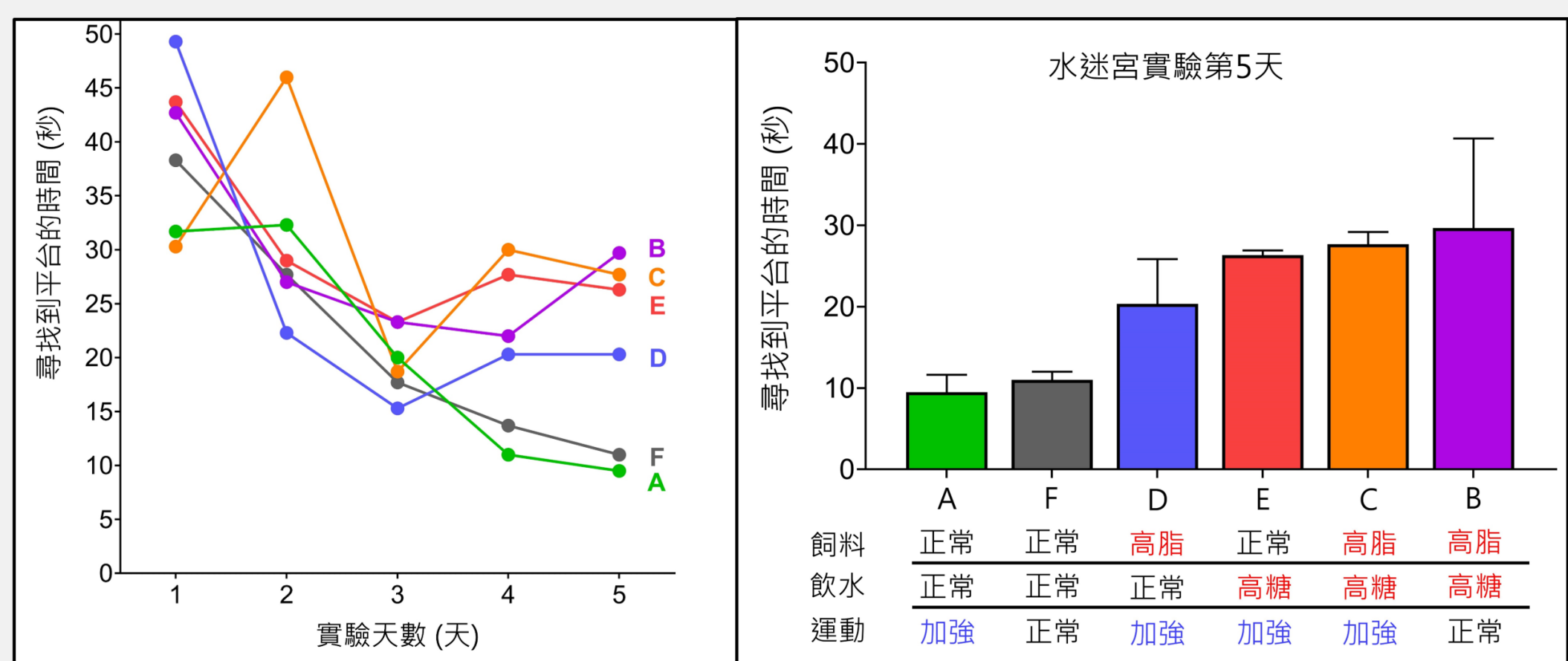


圖17. 空間記憶學習曲線

圖18. 尋找平台時間比較

## 六、Y型迷宮數據分析

依照頻率百分比數值繪製每隻小鼠的新區域頻率光譜圖，紅橘黃色為高於平均，綠色為無偏好隨機探索，藍色為低於平均，以此評估其空間記憶能力。

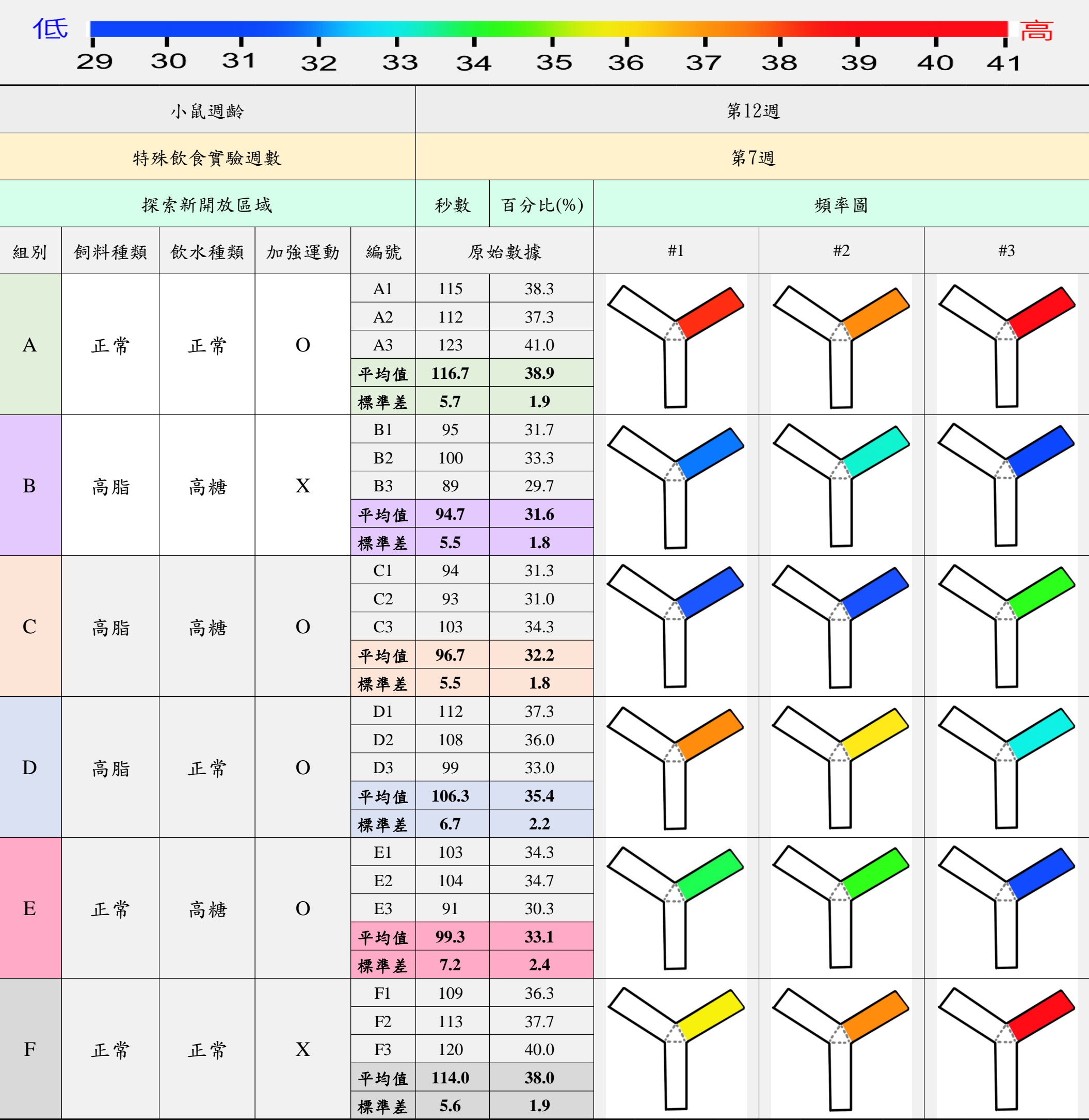


表5. Y型迷宮實驗數據與頻率光譜圖

具有優異記憶能力的AF組，探索新區域的時間較長，顯示出小鼠能夠透過觀察空間視覺標記，發現該區域是之前未探索過。而高脂飼料組別D，選擇性略高於隨機探索的平均值，但明顯低於正常飲食組別。長時間飲用糖水的BCE組，選擇性低於平均值，並未展現空間記憶能力。

- 飼料影響：高脂明顯降低小鼠的學習記憶能力。
- 飲水影響：高糖明顯降低小鼠的學習記憶能力。
- 運動影響：加強運動能夠增加學習記憶能力。

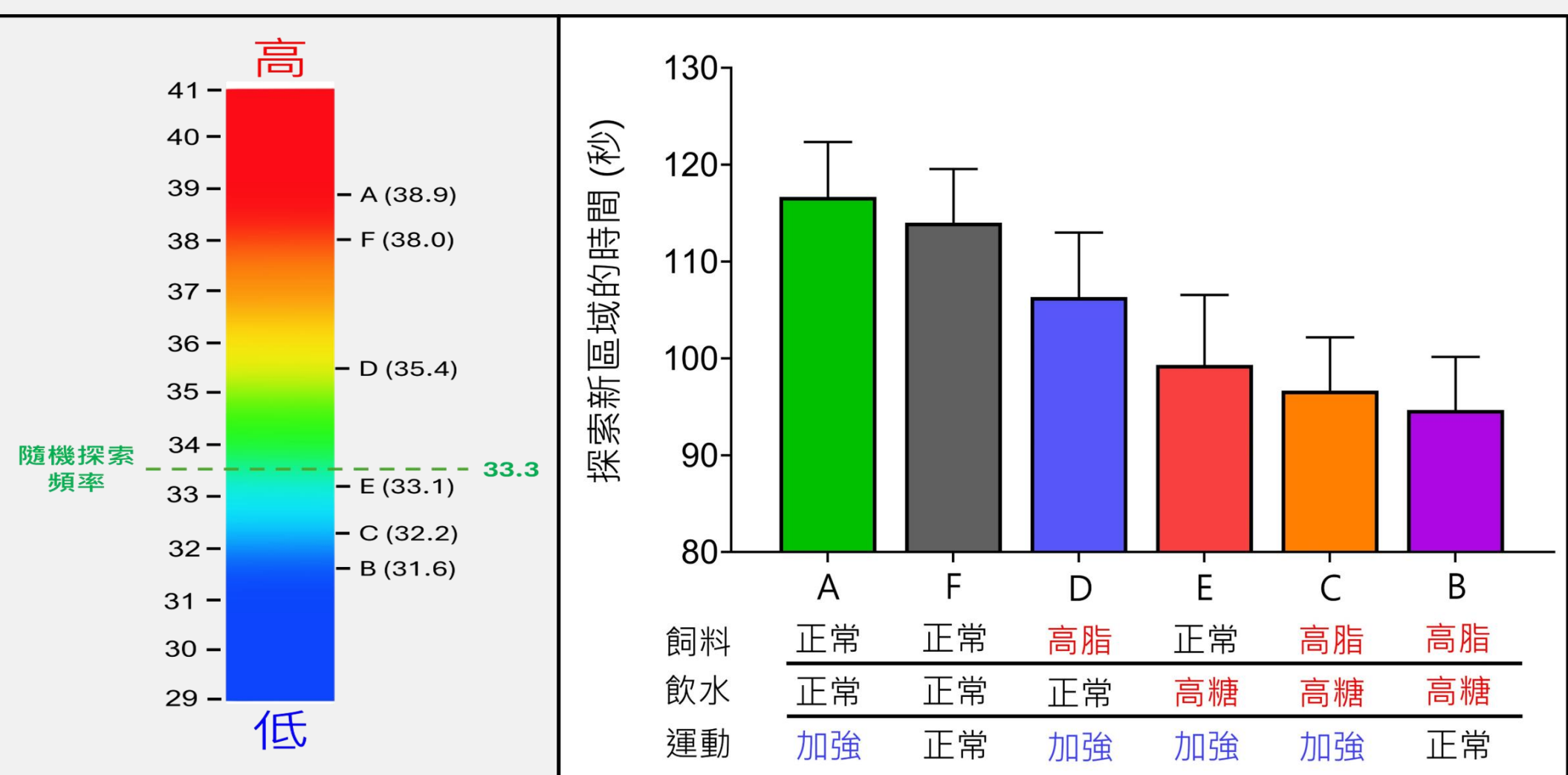


圖19. 空間記憶頻率光譜

圖20. 探索新區域時間比較

## 七、築巢實驗數據分析

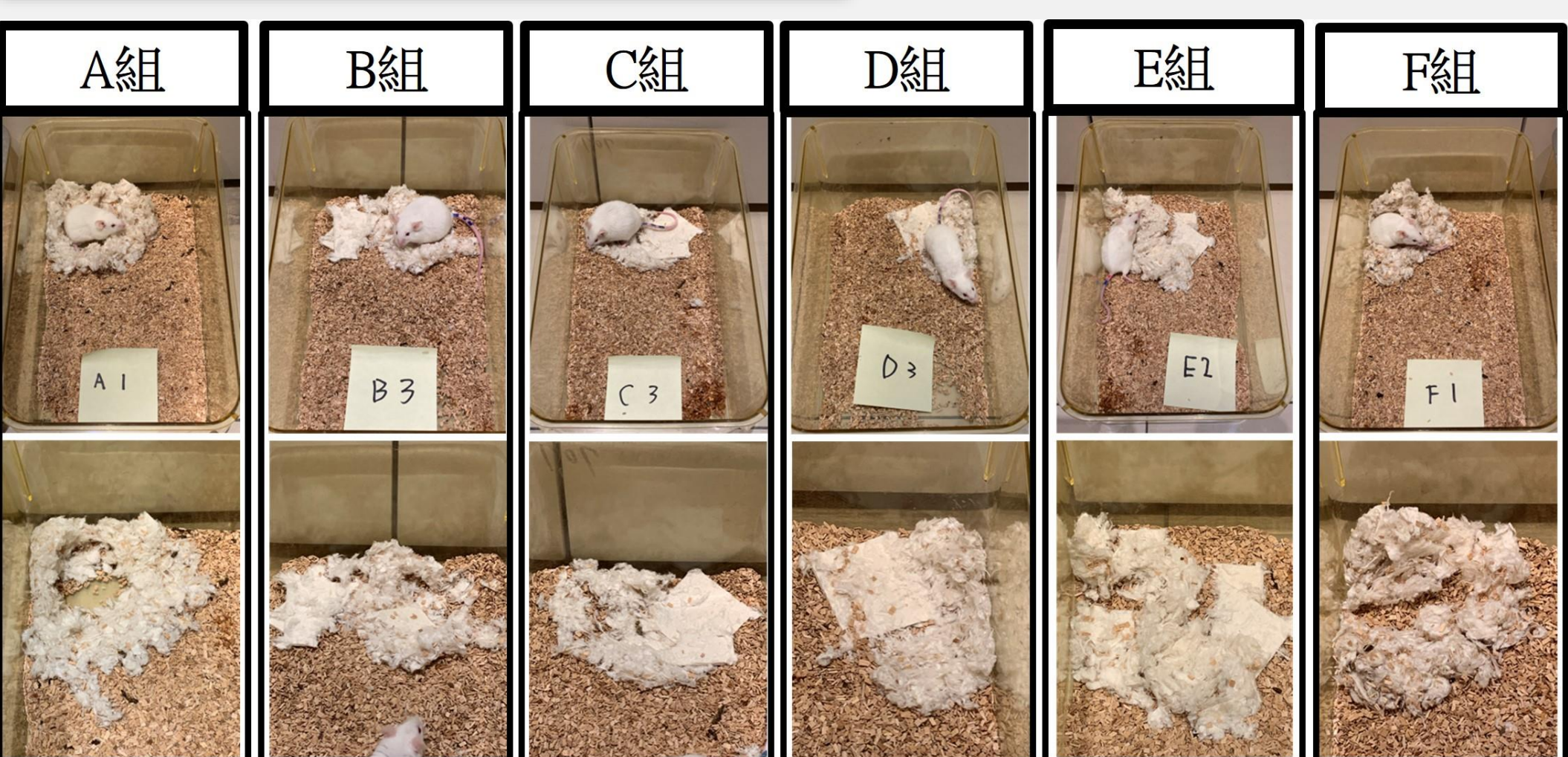


圖21. 小鼠築巢結果 (各組別代表性圖片)

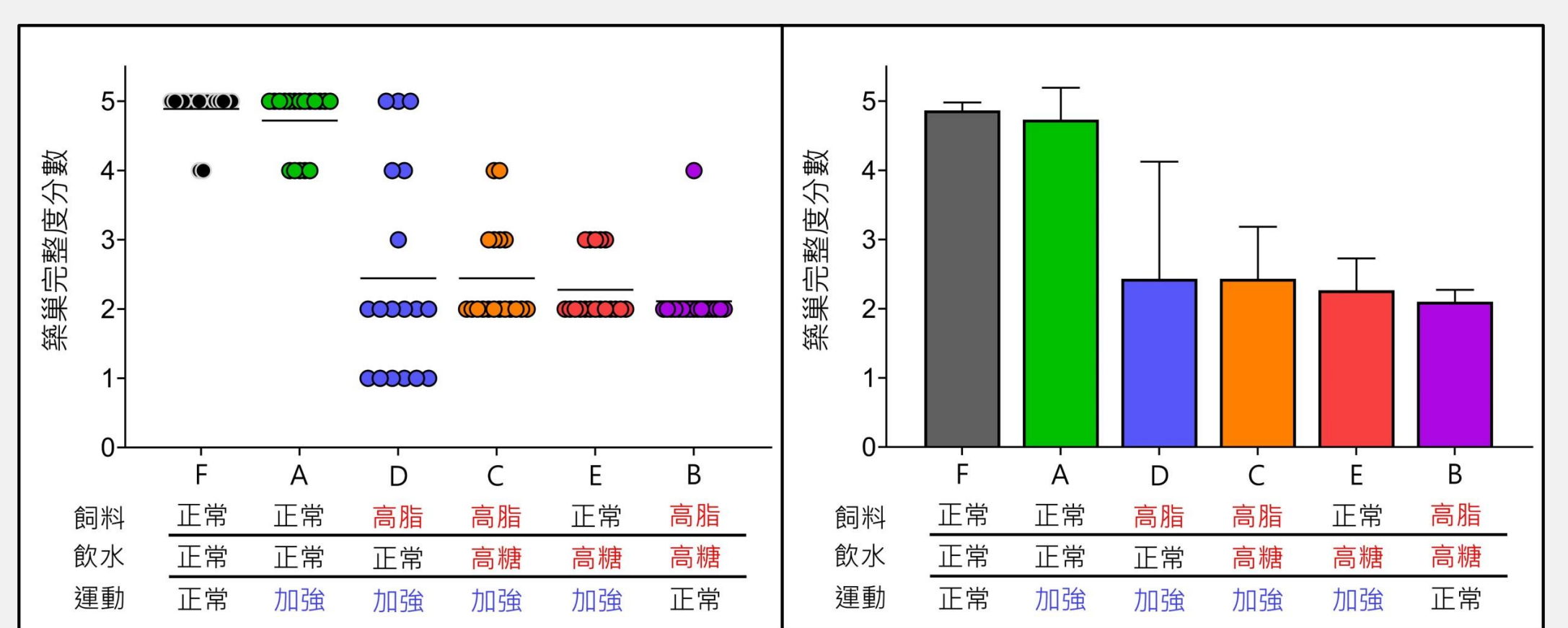


圖22. 築巢完整度-原始數據

圖23. 築巢完整度-平均值

- 飼料影響：高脂明顯降低小鼠的生活自理能力。
- 飲水影響：高糖明顯降低小鼠的生活自理能力。
- 運動影響：加強運動能夠增加生活自理能力。

## 八、行為實驗綜合比較

以飲食正常組 (F組) 作為 100% 來進行比較:

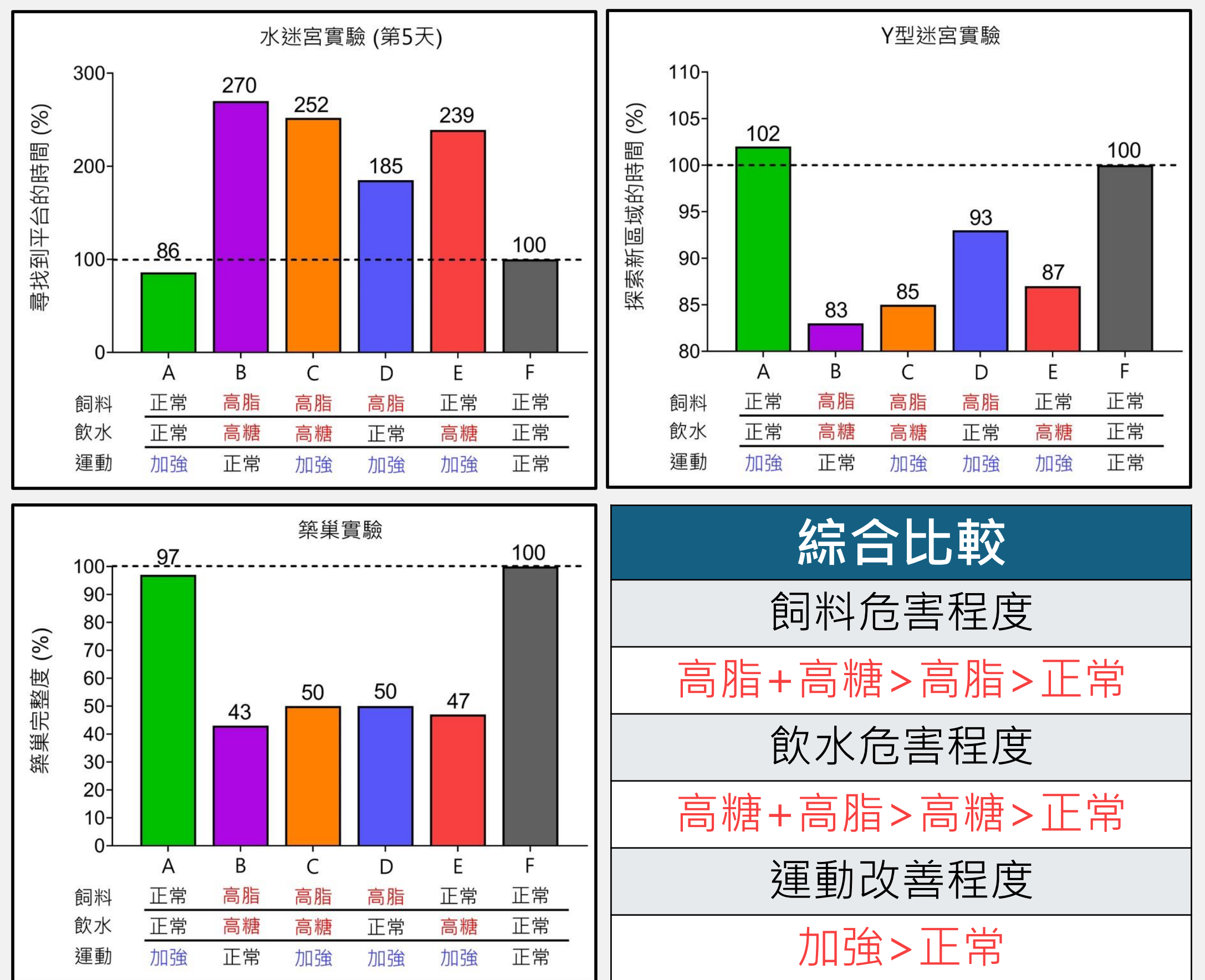


圖24. 行為實驗綜合比較

## 陸、討論與結論

### 一、討論

- (一) 代謝疾病問題：高脂肪食物的高熱量將導致體重過重，而高糖飲料缺乏蛋白質和脂肪，無法單獨支持正常成長發育。
- (二) 學習記憶影響：需控制糖攝取量及關注高糖高脂飲食對大腦學習和記憶造成的影響。
- (三) 學習成效預警：以往都是透過教學方法來提升學生成績，現在需要關心飲食習慣與學習成效，作為一種預警機制。

### 二、結論與建議

- (一) 整體危害程度：高糖高脂 > 高糖 > 高脂。
- (二) 成長發育與食物偏好：高糖高脂飲食對小鼠成長發育造成不良影響，高脂導致體重增加，偏好糖水導致發育不良。
- (三) 學習記憶與生活能力：長期食用高糖高脂飲食的小鼠，其學習記憶能力和生活自理能力明顯下降。
- (四) 運動訓練的潛在好處：規律加強運動能減少高糖高脂飲食對小鼠的不良影響。
- (五) 校園飲食教育：由校內開始推行健康飲食計畫，避免學生攝取過多糖和高油食物。
- (六) 社會政策議題：飲食健康，智慧成長!

### 三、亮點與貢獻

- (一) 實際應用：本研究對目前飲食習慣和健康政策具有重要意義。
- (二) 創新觀念：不健康飲食除了造成代謝疾病，也會引發學習功能障礙。
- (三) 教育價值：啟發重視飲食與學習的關聯性。

## 柒、參考文獻

- Bromley-Brits, K., Deng, Y., & Song, W. (2011). Morris water maze test for learning and memory deficits in Alzheimer's disease model mice. *Journal of Visualized Experiments*, (53), 2920.
- Dieterich, A., Yohn, C.N., & Samuels, B.A. (2020). Chronic stress shifts effort-related choice behavior in a Y-maze barrier task in mice. *Journal of Visualized Experiments*, (162), 10.37971.61548.
- d'Sa, R., & Gerlai, R. (2022). Designing animal-friendly behavioral tests for neuroscience research: The importance of an ethological approach. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 1090248.
- Fritz, B.M., Muñoz, B., Yin, F., Bauchle, C., & Atwood, B.K. (2018). A high-fat, high-sugar 'Western' diet alters dorsal striatal glutamate, opioid, and dopamine transmission in mice. *Neuroscience*, 372, 1-15.
- Molteni, R., Barnard, R.J., Ying, Z., Roberts, C.K., & Gómez-Pinilla, F. (2002). A high-fat, refined sugar diet reduces hippocampal brain-derived neurotrophic factor, neuronal plasticity, and learning. *Neuroscience*, 112(4), 803-814.
- Neely, C.L.C., Pedemonte, K.A., Boggs, K.N., & Finn, J.M. (2019). Nest building behavior as an early indicator of behavioral deficits in mice. *Journal of Visualized Experiments*, 19(152).
- Rosenthal, N., & Brown, S. (2007). The mouse ascending: perspectives for human-disease models. *Nature Cell Biology*, 9(9), 993-999.
- Speakman, J.R. (2019). Use of high-fat diets to study rodent obesity as a model of human obesity. *International Journal of Obesity*, 43(8), 1491-1492.
- Wang, S., Lai, X., Deng, Y., & Song, Y. (2020). Correlation between mouse age and human age in anti-tumor research: Significance and method establishment. *Life Sciences*, 242, 117242.
- 方俊丁 (2022)。含糖飲料健康認知、健康態度、購買意願與行為意圖之研究-以國小高年級學童為例 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 行政院農業委員會 (2018)。實驗動物照護與使用指引。取自https://animal.moa.gov.tw/download/file/181205-1.pdf
- 杜季鈞、盧冠婷、魏于堯 (2005)。市售飲料對學齡兒童的影響-以臨江區為例。中華民國第49屆中小學科學展覽會。取自國立臺灣科學教育館。
- 林嘉西、許芷蕙、吳瑋祐、祝梓五、陳維羽、李佳妮 (2004)。便利的健身房-規律運動對小鼠的生長與學習記憶的影響。中華民國第48屆中小學科學展覽會。取自國立臺灣科學教育館。
- 林嘉西 (2020)。人鼠之間：生醫研究的幕後英雄——實驗鼠。科技大觀園。取自https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/CO00003/detail?ID=838df57-ea2b-4c20-aa5c-3709503347a
- 林慧萍 (2021)。糖類攝入與腸胃健康。康健雜誌, 272, 38-50。
- 孫國清 (2016)。甜食的毒藥。科技大觀園。取自https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/CO00003/detail?ID=f28e0094-5fbb-41bc-8567-00637628d38c
- 陳振君 (2008)。高油飲食或糖水誘發代謝症候群之作用機制探討 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 張乃文 (2007)。國中學生含糖飲料主理課程介入之效果研究 (碩士論文)。取自臺灣博碩士論文網。
- 國家實驗動物中心 (2016)。生活中的實驗動物。取自https://animal.moa.gov.tw/download/file/P10-14.pdf
- 楊健良 (2024)。減糖健康。勿讓糖成癮。國家衛生研究院論壇。取自https://forum.nhi.edu.tw/P181/
- 衛生福利部國民健康署 (2013)。食物營養與熱量。取自https://www.hpa.gov.tw/Pages/TopicList.aspx?nodeid=544