

彰化縣 108 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

作品編號：

組別： 國小組

國中組

數學類

自然與生活科技類

人文社會類

作品名稱：模擬杜比亞蟑螂在高倍重力的生長情形

## 第一階段 研究訓練階段

### 一、近二年學校獨立研究課程之規劃

1. 本校主要由對指導學生研究有興趣的教師主動發起規劃，從國一開始於任教班級先介紹獨立研究、科展、科學創意競賽等活動內容，並由歷年參加的學長姊經驗分享，建立學生對此型態活動的憧憬。

2. 研究的過程是漫長且經常會遇到瓶頸的，因此會對學生先進行心理建設必須投入相當的時間及精力才有機會完成，甚至不一定會得到預期的結果，最後由學生主動組隊尋求協助與資源，如此才能找到對研究確實有興趣者，並以這些學生為班底逐步培養能力。

3. 創造前的第一步是模仿，首先研讀歷屆的作品是建立概念與研究框架的最佳方式，一般會先請小組研讀對題目有興趣的作品數份，了解研究方法與如何設計實驗，並共同討論與分析做法，以及如果是自己會如何研究。

4. 有框架後就是嘗試由錯誤中學習以及從需要中學習，從題目的尋找、實驗的設計、器材的自製、實驗的分析、報告的格式等，都沒有一定的規劃，只能因此路不通而不斷的檢討修正，或發覺研究中需要新的知識或技能立即去學。

5. 只要解決的問題夠多，研究就完成了。

### 二、學校如何提供該生獨立研究訓練

1. 學校行政支援部分：提供獨立研究競賽得獎作品供其取經，學校網站上闢有科展、網博、獨立研究、科學競賽等學校歷屆作品與簡章，提供研究資訊、提供研究經費補助的申請。

2. 設備組規畫實施多場的獨立研究、科展、資訊系列研習，讓指導老師與學生可將研習所習得的方法與新的軟硬體，套用在獨立研究。

3. 由有經驗的老師主導，以小組形式定期與專題性的討論，營造學生嚴謹的研究態度及研究方向的引導。

4. 硬體方面，學生無論是週六、日或暑假期間，均全面開放電腦教室、理化與生物實驗教室，供學生使用，並有老師陪同現場指導。

5. 針對該生報告內容，討論、修改，完成報告。

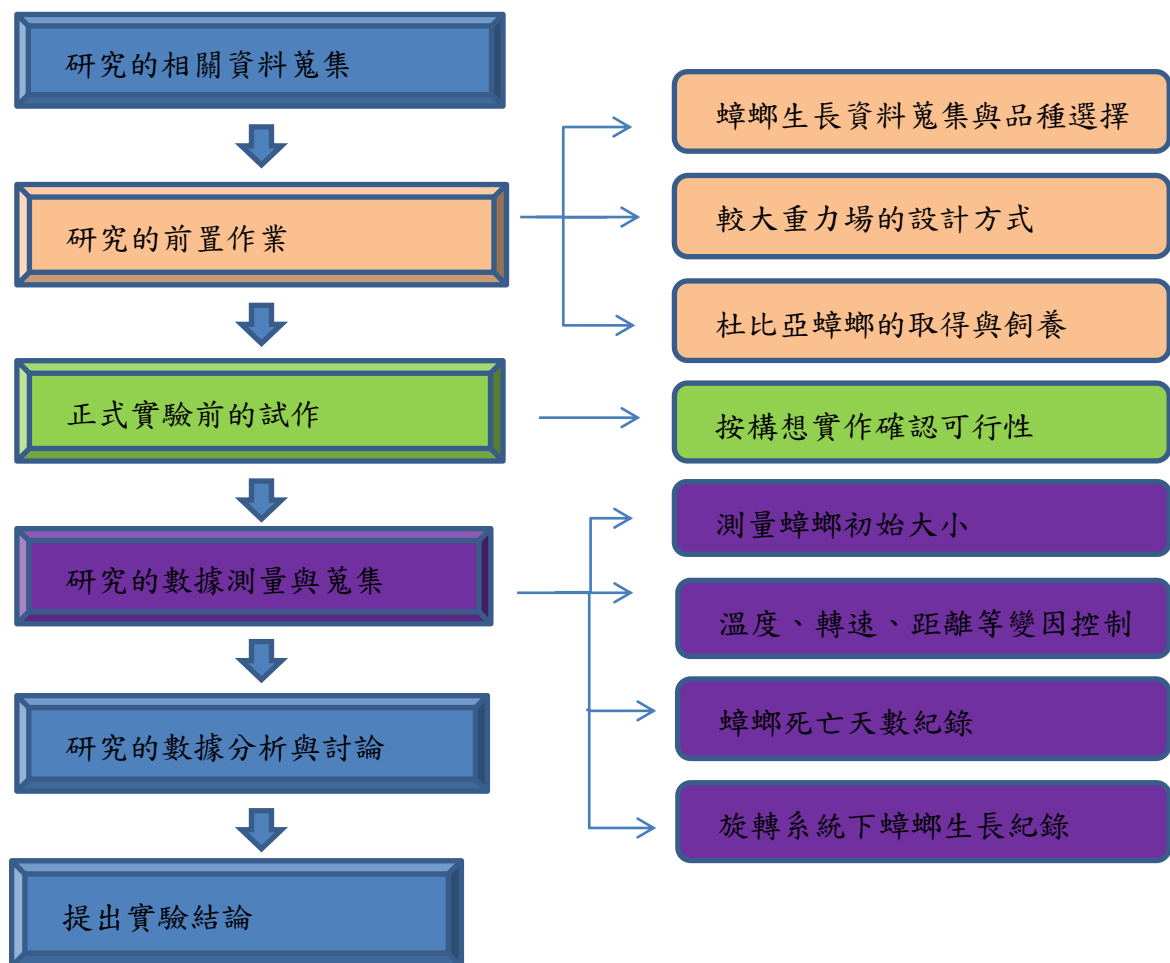
## 第二階段 獨立研究階段

### 一、研究動機

研究初期大家總想些異想天開的題目，比如說「無重力狀況下植物的生長」，又或者聽完學長姊的科展經驗也想跟著研究蟑螂，因此很莫名其妙的大家決定研究「無重力蟑螂」，可是在查詢資料及與老師的討論後發覺「無重力情境」的創造，遠遠超出在我們的能力範圍，剛好我們理化又接觸到向心加速度概念，可以圓周運動模擬出較大重力的條件，所以我們反其道而行的將研究方向改成「**蟑螂在高倍重力的生長**」。

### 二、擬定正式計畫、研究問題及工作表

#### (一)研究計畫



## (二)、擬定初步研究問題

1. 如何設計高倍重力的情境
2. 初步試作重力是否影響蟑螂生長
3. 討論不同半徑旋轉對杜比亞蟑螂的生長影響
4. 討論不同轉速旋轉對杜比亞蟑螂的生長影響
5. 綜合數據以重力大小討論對杜比亞蟑螂的生長影響
6. 研究過程的相關發現討論

## (三)工作表

| 預定工作      | 完成時間               | 備註        |
|-----------|--------------------|-----------|
| 確定研究主題    | 2018/7/3           | 蒐集與討論     |
| 初步文獻與資料蒐集 | 2018/8/4           | 昆蟲網與歷屆科展  |
| 研究框架與方向確認 | 2018/8/12          |           |
| 蒐集材料與製作器材 | 2018/8/30          | 針對如何具體化步驟 |
| 初步研究實驗試作  | 2018/9/5~10/4      | 確認可行性     |
| 討論與分析試作結果 | 2018/10/21         | 確定可行      |
| 改良試作研究方式  | 2018/10/23~11/4    | 增加可研究變因   |
| 改良後第一次實驗  | 2018/12/1~2019/1/2 | 觀察與紀錄     |
| 討論第一次實驗結果 | 2019/1/9           | 太冷、生長不明顯  |
| 第二次改良研究方式 | 2019/2/25          | 增加蟑螂存活率   |
| 改良後第二次實驗  | 2019/6/26~7/31     | 考量氣溫暑假才做  |
| 研究數據整理分析  | 2019/8/1~8/31      | 開學前整理資料   |
| 書面資料      | 2019/9/1~11/7      |           |

### 三、彙整相關文獻與研究

#### (一)、蟑螂生態相關資料

表 1-1 昆蟲書籍相關資訊

| 書名(出版社) | 作者     | 參考資料心得  |
|---------|--------|---|
| 昆蟲生理學精要 | 關崇智(譯) | 最主要想知道蟑螂的神經系統運作，因為我們在閱讀太空人的訓練時看到一開始很難適應旋轉系統下的暈眩感，但無蟑螂會不會暈的相關研究。 |

表 1-2 網頁相關資訊

| 名稱                 | 來源  | 參考資料心得  |
|--------------------|---|---|
| 「快、狠、準」~ 蟑螂學習行為之研究 | 第48屆中小學科展   | 研究樣品也是杜比亞蟑螂，因此可先對其部分的習性與實務有事先的了解。                 |
| 櫻桃紅蟑的成長與飼養觀察       | 中學生網站小論文作品  | 由櫻桃紅蟑的完整飼養觀察，藉此推測與設計我們研究杜比亞蟑螂時的應該觀察的細節與可能狀況。      |
| 杜比亞繁殖場             | <a href="https://www.facebook.com/xxx2369/">https://www.facebook.com/xxx2369/</a> | 實驗到後期時，設備及物理部分沒有問題，主要困難發生在蟑螂的存活率低，因此在專業的養殖網站尋求幫助。 |



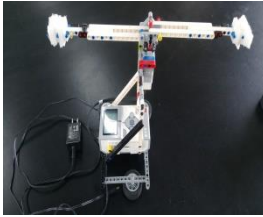






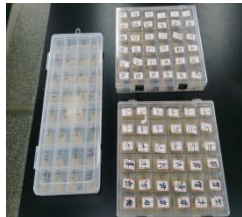
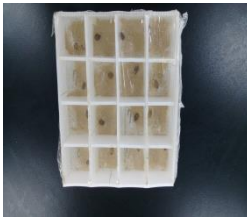

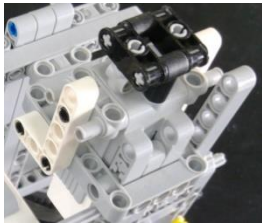






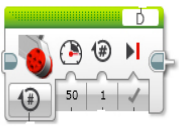
#### (二)、不同重力場生物生長相關實驗

表 1-3 不同重力場生物生長實驗資料整理

| 名稱               | 來源         | 參考資料心得  |
|------------------|------------|---|
| 重力對植物生長的影響       | 第43屆中小學科展  | 此份資料是以電扇改造成圓周運動的實驗器材，我們考量後以機器人競賽器材的可變速馬達操作。                           |
| 重力改變對於含羞草觸發運動的影響 | 中學生網站小論文作品 | 此份資料的特色是在旋轉軸的另一側放置手機錄影以便觀察，但是我們的實驗歷時很長，因此採取短暫中斷旋轉紀錄數據。                |
| 無重力狀態下的那些事       | 泛科學網站      | 查詢資料都找不到在高倍重力下動物的生長實驗，絕大部分都是討論微重力下的動物生長，但是至少可知道重力改變的確會對動物的生力產生各種不利影響。 |

## 四、研究過程與數據分析

### (一)、研究設備

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| 樂高 EV3 組  | 智慧機器人主機   | 短臂旋轉組  | 長臂旋轉組   |
|    |    |    |    |
| 杜比亞蟑螂   | 飼養箱   | 甲蟲果凍   | 衛生清潔工具  |
|   |   |   |   |
| 各式飼養材料  | 硬盒塑膠盒   | 自製輕量塑膠盒  | 寶特瓶組  |
|  |  |  |  |
| 伺服馬達  | 各式測量工具  | 溫度、濕度計   | 攝影工具  |
|  |  |  |  |
| 紀錄表格 a  | 紀錄表格 b  | 倉庫暗室   | 電腦設定 EV3 軟件   |
|  |  |  |  |

## (二) 實驗設計與結果分析

### (1) 自製圓周運動模擬重力實驗器材

我們為了實現改變重力場大小的目的，選擇採用樂高機器人組進行實驗設備的建構，其型號為EV3教育版，先將零件拼裝成台車形狀底部以輪胎為防震的緩衝，將橫樑支點架於馬達軸心最後使用機器人主機控制伺服馬達的轉速，組裝過程如下：

拼裝零件



組合主體



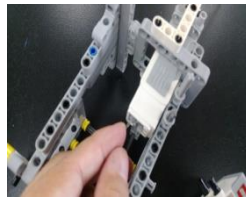
伺服馬達



緩衝墊



旋轉架



旋轉架完成



聯接主機



架上懸臂



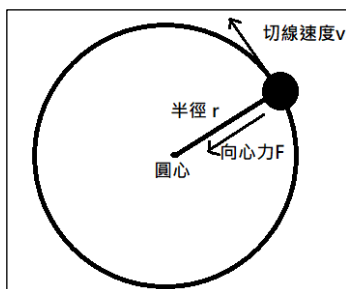
### (2) 模擬重力場的相關計算與理論討論

在許多科幻片中有出現巨型的旋轉太空站，太空人可站立於圓周的牆壁上，根據我們研究資料與三年級時學到圓周運動的概念後，我們將實驗的原理整理成以下兩點。

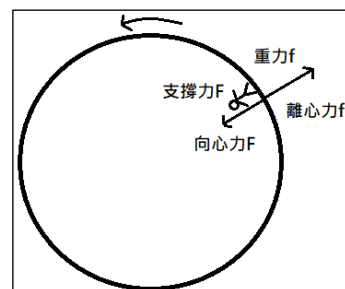
#### 1. 圓周運動與向心力

我們的器材是以機器人競賽的馬達與零件組裝，可當成是等速率圓周運動，而圓周運動中則需要一股向心力使運動物體不斷改變其慣性，也可以理解成向心力使物體朝圓心加速但墜落不了，實驗中使用的公式與概念如下：

◆對旁觀者而言：



◆對在旋轉系統的人而言：



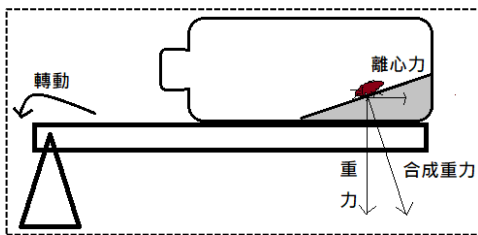
◎其中向心力產生的向心加速度為： $a = v^2 / r$

◎切線速度大小則為： $v = 2\pi r / T$ ，(T為轉動一圈的時間)

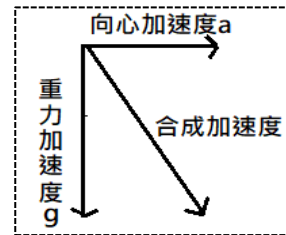
## 2. 向心加速度與重力加速度合成

在我們的實驗中除了圓周運動產生的加速度外，還有原本的重力加速度 $g$ ，因此實驗中的蟑螂所處的實際重力應為合成重力，其大小與方向如以下所示：

◆ 蟑螂所處的合成重力：



◆ 對應的合成加速度：



◎由以上圖示分析，合成的加速度為： $\sqrt{g^2 + a^2}$

### (3) 「試作實驗」過程與結果討論

剛開始實驗時不確定我們的實驗設計是否可行，因此想先測試實驗器材的運作情形，與改變重力對杜比亞蟑螂的生長是否有影響？因此進行以下初步的實作。

#### a. 實驗流程

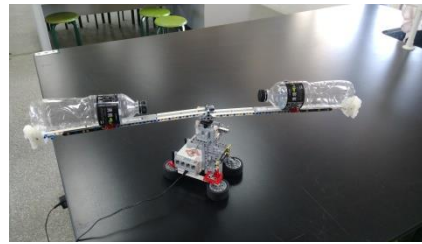
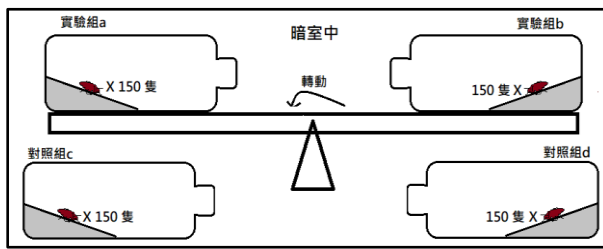
我們從網路訂購約800隻一齡的杜比亞蟑螂，長度都在接近1cm，並以甲蟲果凍餵養在透明箱中，將其分成四批150隻分裝在600ml保特瓶中，兩組實驗組分別置於旋轉臂兩端，另兩組為對照組置於平地的接近地點儘量做好變因的控制，測量完每一隻蟑螂的長寬後，將四組實驗都放在學校的掃具間暗室中，設定好實驗組轉速並投放等量貓飼料後開始實驗，每日巡視是否有異狀與測量溫度，避免過度干擾實驗因此每隔7日暫停旋轉隨機各組抓取50隻測量長度，過程中發現有死亡者記錄日期與組別。



## b. 實驗裝置與示意圖

◆裝置圖(日期：2018/9/5~10/4)

◆照片



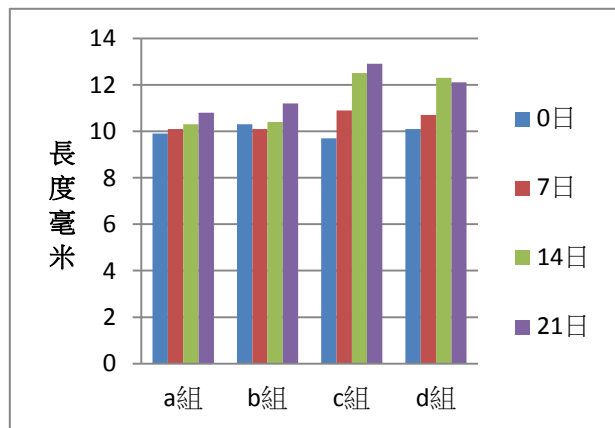
## c. 實驗結果：

◆蟑螂生長長度與天數結果：

表一、各組平均長度

|     | a組   | b組   | c組   | d組   |
|-----|------|------|------|------|
| 0日  | 9.9  | 10.3 | 9.7  | 10.1 |
| 7日  | 10.1 | 10.1 | 10.9 | 10.7 |
| 14日 | 10.3 | 10.4 | 12.5 | 12.3 |
| 21日 | 10.8 | 11.2 | 12.9 | 12.1 |
| 28日 |      |      |      |      |

圖一、各組生長柱狀圖

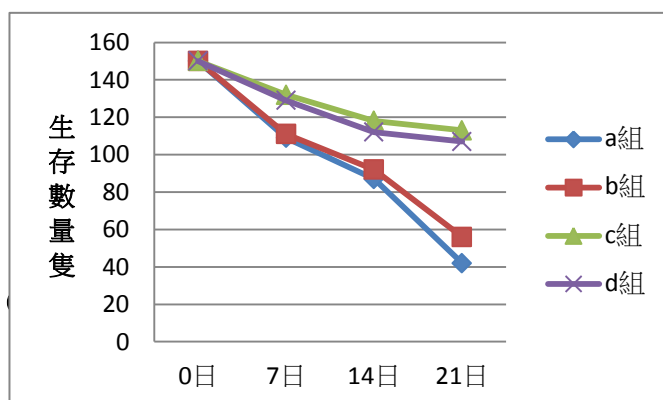


◆蟑螂生存數量與天數結果：

表二、各組生存數目

|     | a組  | b組  | c組  | d組  |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0日  | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 7日  | 109 | 111 | 132 | 129 |
| 14日 | 87  | 92  | 118 | 112 |
| 21日 | 42  | 56  | 113 | 107 |
| 28日 | 3   | 6   | 101 | 99  |

圖二、各組生存數目折線圖



我們將試作的結果分析討論後整理成以下幾點討論，並作為後續實驗方向的修正參考，此外也從試作中觀察到許多資料上所沒注意到

的細節：

### 1. 簡略計算合成g值：

我們約略以蟑螂活動範圍的中點為半徑，並以馬達設定的轉速帶入合成的加速度公式計算如下：

轉動半徑 $r=30\text{cm}=0.3\text{m}$ 、轉速100圈/分，換算成週期 $T=0.6\text{秒}$

故圓周上的平均速率 $v=2\pi r/T$ ，代入得 $v=3.14\text{m/s}$

而向心加速度 $a=v^2/r$ ，代入得 $a=32.87\text{m/s}^2$

因此模擬的重力場 $=\sqrt{g^2+a^2}$ ，代入得合成g值 $=34.3\text{m/s}^2$

約g值 $=9.8\text{m/s}^2$ 的3.5倍，以下都以3.5g方式表示。

### 2. 重力增加對蟑螂生長與生存率有負面影響

以圖一結果觀察，杜比亞蟑螂在3.5g的環境下生長速度的確較一般重力時緩慢，由於考量測量蟑螂長度是隨機抓取50隻因此在第二週出現長度變小的狀況，但是以21天觀察可看出在3.5g組與對照組平均長度分別增加約0.9mm與2.6mm。

以圖二結果分析，3.5g組與對照組在21天存活率約33%與73%，第28天存活率則分別為3%與67%，單純以此結果判斷可以得到高倍重力會使杜比亞蟑螂死亡率提高，但是我們對照網路上許多養殖老手的資料發現即使是對照組，我們的死亡率還是太高，因此可能這組試作實驗的結果會因為我們養殖經驗與技巧不足而影響結果。

### 3. 增加以不同距離為操作變因

在確認旋轉系統下的確對蟑螂生長有影響後，我們想更進一步確認重力大小的影響程度，因此必須有不同的重力環境，因此我們必須調整實驗方式，最後我們想到將蟑螂放在同一塑膠盒中的不同小方格中飼養，放上旋轉臂後不同的旋轉半徑就會對應不同的重力，後續將增加以重力大小為操作變因來探討。

### 4. 養殖技巧必須改善

由於實驗組在28天幾乎全死光，因此只好中斷了實驗，加上對照組在正常環境下也一直死亡的跡象，所以我們更詳細查詢與詢問飼養細節後推測最可能是飼料的問題，由於杜比亞蟑螂對食物水分有頗

高的需求，且在旋轉狀況下食物必須一次添加一星期份量，所以我們以寵物分享網推薦的甲蟲果凍當食物除有蛋白質外本身就有水分。

### 5. 沒考慮到蟑螂蛻皮影響

我們設計時驗時忽略了一個最基本的問題，昆蟲具有外骨骼幼蟲生長到一定程度必須要經過多次的蛻皮才能長大，每蛻皮一次增加一齡而大小會比原本大許多，而我們使用的杜比亞蟑螂從幼蟲到成蟲大約要蛻皮5次，因此我們購買的一齡蟑螂扣除繁殖場飼養天數，可能在1~2星期內蛻皮進入二齡，而我們紀錄的長度會受到有無二齡蟑螂影響很大，因此圖一中對照組c、d在14天後的生長長度明顯增加約原長的20%，而實驗組則在21天測量時長度才略有增加約原長的8%，此點我們於後續會特別注意處理。

### (4) 「第一次改良版」實驗過程與結果討論

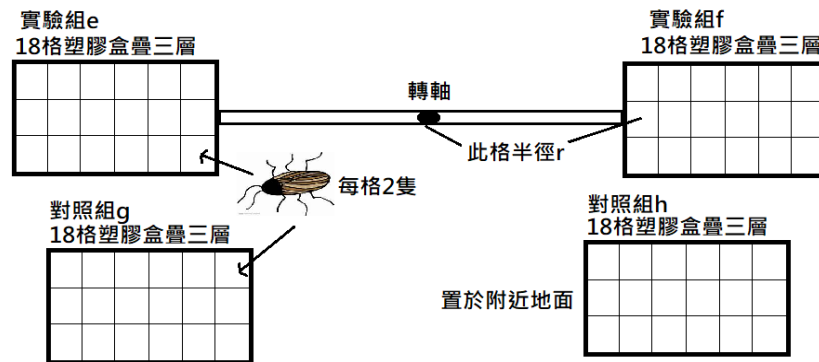
由試作實驗觀察，我們主要進行兩項調整，第一是為了解蟑螂在不同重力下的生長，我們必須將半徑列為操作變因藉以改變蟑螂的重力環境，第二是參考與詢問杜比亞蟑螂的飼養方式以增加存活率。

#### a. 實驗流程

我們在次訂購約1000隻一齡的杜比亞蟑螂，長度都在接近1cm但略小於第一批實驗，仍以甲蟲果凍餵養在透明箱中，將其分成四批各216隻分裝在18格硬盒塑膠盒中，每格放4隻投放果凍，然後將兩組實驗組疊三層塑膠盒分別置於旋轉臂兩端，另兩組為對照組也疊成三層置於接近地點，實驗前亦測量完每一隻蟑螂的長寬後，將四組實驗都放在學校的掃具間暗室中，設定好實驗組轉速後開始實驗，每日巡視是否有異狀與測量溫度，同樣採每隔7日暫停旋轉隨機各組抓取54隻測量長度並補充食物，過程中發現有死亡者記錄日期與組別。

## b. 實驗裝置與原理圖

◆裝置圖(日期 2018/12/1~2019/1/2)



### ◆裝置照

螞蟥放入盒中    組裝旋轉設備    硬盒上架實驗    定期測量長度



原本計畫為上面示意圖，但實際操作時發現有兩大狀況，我們進行改進克服後計算出各組合成的g值：

#### 1. 負重後轉速變慢

馬達設定的轉速已經不是真正轉速，因此我們錄影後放慢撥放速度，直接用數的計算實際轉速，本組實驗計時5分中共轉357圈。

無負重旋轉



#### 2. 負重後旋轉臂向下傾斜

因半徑影響最後的加速度計算，因此我們也是以錄影後暫停畫面測量傾斜角度後估算實際半徑，並按距離將18格塑膠盒每六格分成3組，並以兩格中點當基準測量。

旋臂負重傾斜



#### 3. 計算合成後每格的g值

我們將測量到的轉速轉換成週期，加上測量到的各組半徑帶入前述的公式計算合成的加速度值，並以重力g的倍數表示。

| 轉動週期<br>(s) | 旋轉半徑<br>(m) | 平均速率<br>(m/s) | 向心加速度<br>(m/s <sup>2</sup> ) | 合成加速<br>度(m/s <sup>2</sup> )<br>值 | 轉換成g的<br>倍數 |
|-------------|-------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 0.84        | 0.35        | 2.6           | 19.56                        | 21.88                             | 2.2g        |
| 0.84        | 0.28        | 2.1           | 15.65                        | 18.47                             | 1.9g        |
| 0.84        | 0.2         | 1.5           | 11.18                        | 14.87                             | 1.5g        |

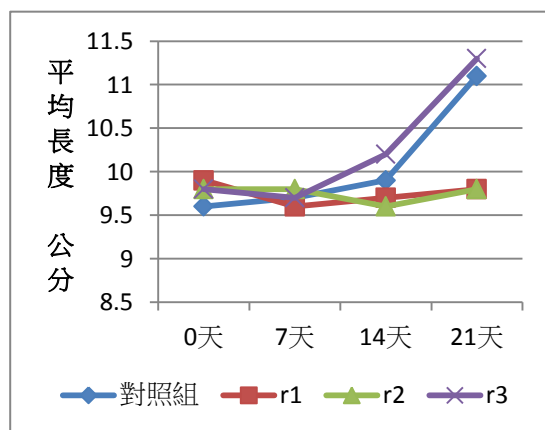
e. 實驗結果：

表三、「第一次改良版」蟑螂生長與天數實驗結果表

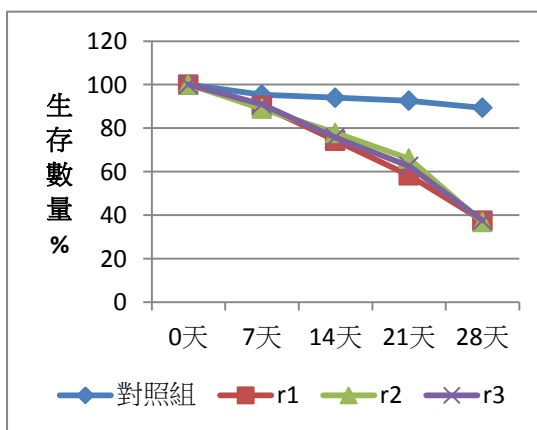
| 天數 | 0天   |     |     | 7天  |     |     | 14天 |     |      | 21天  |     |      | 28天  |     |    |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|----|
|    | r1   | r2  | r3  | r1  | r2  | r3  | r1  | r2  | r3   | r1   | r2  | r3   | r1   | r2  | r3 |
| e組 | 9.6  | 9.7 | 9.7 | 9.5 | 9.7 | 9.6 | 9.6 | 9.4 | 10.1 | 9.5  | 9.6 | 12.5 |      | 9.6 |    |
| f組 | 10.1 | 9.8 | 9.9 | 9.7 | 9.9 | 9.7 | 9.7 | 9.8 | 10.2 | 10   | 9.9 | 10.1 | 10   |     | 10 |
| g組 | 9.5  |     |     | 9.6 |     |     | 9.8 |     |      | 11.2 |     |      | 11.2 |     |    |
| h組 | 9.7  |     |     | 9.7 |     |     | 9.9 |     |      | 10.9 |     |      | 10.7 |     |    |

其中r1、r2、r3所計算出的合成加速度分別為1.5g、1.9g、2.2g。

圖三、平均長度與天數折線圖



圖四、生存比例與天數折線圖



d. 結果分析與討論：

雖然經過試做實驗我們修正了飼養方式與增加距離的變因，但是由於急著想繼續完成研究因此忽略掉最重要的季節影響，故我們將此部

分的實驗結果進行以下檢討分析。

### 1. 杜比亞蟑螂生長速度變得極緩慢

根據圖三的各組平均長度折線圖看似有兩組在21天時長度明顯增加，但實際觀察塑膠盒內的蟑螂絕大多數幾乎沒成長都停在一齡階段，總共只有8隻進入二齡，所以扣除二齡蟲外生長幾乎是停滯的，因此在冬季杜比亞蟑螂的生長速率以此實驗看不出重力改變的影響。

### 2. 杜比亞蟑螂的在旋轉的模擬重力場生存率下降

意識到可能與冬天氣溫過低造成蟑螂停止生長後，我們立即詢問了專業的飼養網站，杜比亞蟑螂最適合的生長環境約在30~34度左右，而冬天的確會有生長極緩的狀況，但存活率也較高，此現象我們由圖四的結果也可看到比試作時生存率更高，28天存活率對照組從66%上升到85%，而實驗組由30%上升到38%，但是實驗組三組的存活率仍只有對照組的45%，結果仍與試作時相同即使在冬季蟑螂代謝緩慢情形下，只要重力有增加不論是1.5g、1.9g、2.2g時生存率還是明顯下降，且下降的曲線很接近。

### 3. 實驗器材部分問題修正

因黴菌與水分不足是杜比亞蟑螂死亡的很大因素，考量此組實驗塑膠盒的不通風與水分補充不易，同時為減輕重量避免旋轉臂過於傾斜，我們改以塑膠板裁減製作16格的方盒，並以保鮮膜包覆方便戳洞透氣保濕。

### 4. 意識到對杜比亞蟑螂的生長週期資料仍不夠完整

冬天時專業飼養者往往會利用暖氣等調節溫度，此項為我們一大敗筆，也讓我們意識到不先把杜比亞蟑螂養好並儘量減少各項影響生長因素的影響，很難證實我們得到的結果是因為重力倍數增加所造成的，極有可能是我們沒有考量到的因素，只是此因素也受到旋轉時的影響。

## (5) 「第二次改良版」實驗過程與結果討論

由於「第一次改良版」實驗結果，我們遭遇極大挫折，雖然裝置運作順利但因為天氣寒冷因素，導致實驗結果很不明顯因此，我們除了再度進行實驗細節調整外，因為使用暖氣或暖爐提高溫度方式耗電且沒人看管時怕有危險，所以我們決定等到氣溫回暖才進行下階段實驗，同時根據杜比亞蟑螂繁殖場資訊，水分與濕度對其蛻皮成功率影響很大，因此我們改用自製的16格塑膠盒並以包鮮膜封口以利透氣與澆水，此外飼養密集度也會影響生長速度，所以我們另外增加一組飼養密度高環境的對照組，並增加一組使用轉速較快的馬達的實驗組。

### a. 實驗流程

我們於暑假前估計實驗的蟑螂數量，這次訂購約2000隻一齡的杜比亞蟑螂，長度也都在1cm左右，仍以甲蟲果凍餵養在透明箱中，之前於郵寄收到蟑螂包裹時常有部分蟑螂死傷，可能影響實驗結果，因這次在實驗前先在透明箱中養三天等待蟑螂穩定，並按實驗規劃將其分成6組各192隻分裝在16格塑膠盒中，另有2組為密集飼養放置在寶特瓶也是各192隻，各組配置如下：

實驗組i與實驗組j中每格放4隻後投放果凍，並將塑膠盒以保鮮膜覆蓋封住後撮洞透氣，然後將兩組實驗組疊三層塑膠盒分別置於長旋轉臂兩端，轉速設定為90轉/分，而實驗組k與實驗組l重複以上動作，但將兩組實驗置於短旋轉臂兩端，轉速設定為。以上實際轉速要另外錄影計算。

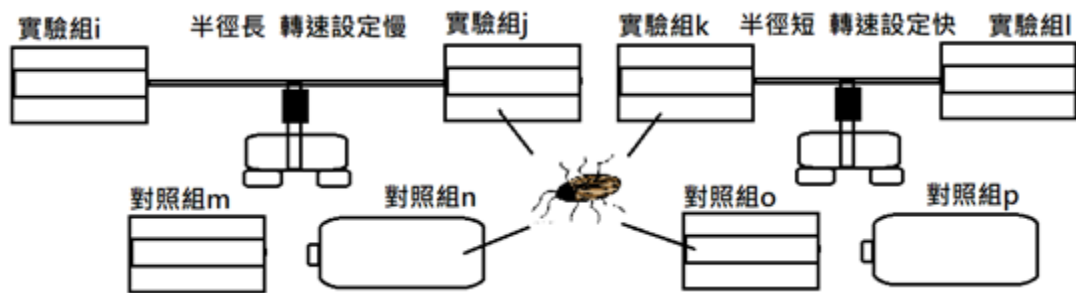
對照組m與對照組o也疊成三層分別置於長旋轉臂與短旋轉臂組接近地點，對照組n與對照組p則是將192隻全部密集飼養於600ml寶瓶中其餘則相同方式操作。

最後在實驗前亦測量完每一隻蟑螂的長寬後，將八組實驗都放在學校的掃具間暗室中開始實驗，每日巡視是否有異狀與測量溫度，溫度高於32度時灑水、開電扇降溫，飼養過程每天固定以噴霧灑水增加濕氣與水分，同樣採每隔7日暫停旋轉隨機每方格抓取2隻，各組共抓

取96隻測量長度並補充食物，過程中發現有死亡者填寫紀錄單註記日期與組別，而各小組蟑螂剩餘數量如小於抓取數則該組結束記錄。

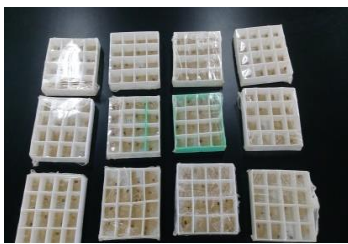
## b. 實驗裝置與原理圖

### ◆ 示意圖



### ◆ 實驗流程照片

16格輕量版



長臂、短臂組



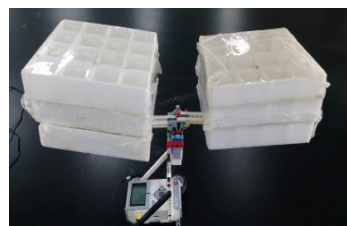
EV3主機選定程序



保鮮膜戳洞透氣



短臂組上架



轉速過快失誤



按照之前實驗仍須另外處理負重後轉速變慢與旋轉臂向下傾斜的問題，才能計算真正的g值因此我們比照前次方式錄影計算與測量，長臂組由90轉/分降至74轉/分，短臂組由150轉/分降至134轉/分，並計算出四組實驗組共4個不同的g值過程如下：

輕量化後  
傾斜較小



短臂組原轉速



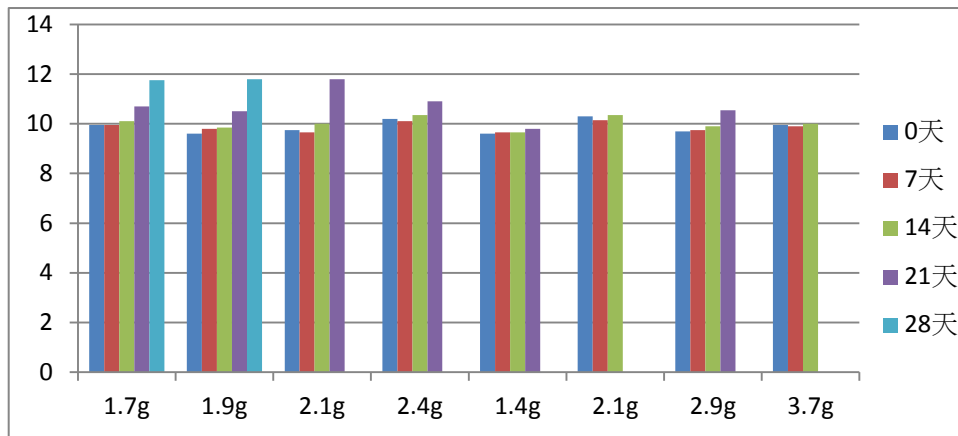


c. 實驗結果：

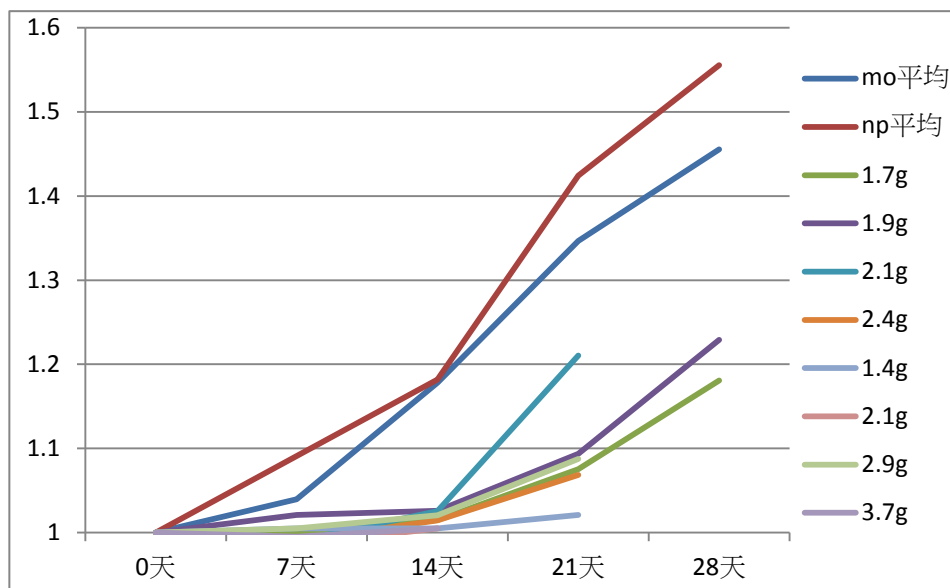
表四、長軸轉速慢與短軸轉速快組別蟑螂生長結果

| 組別   | 長軸78cm、轉速0.81秒/圈 |      |      |       | 短軸38cm、轉速0.44秒/圈 |       |       |      |
|------|------------------|------|------|-------|------------------|-------|-------|------|
| 半徑cm | 23               | 27   | 31   | 35    | 5                | 9     | 13    | 17   |
| 重力倍數 | 1.7g             | 1.9g | 2.1g | 2.4g  | 1.4g             | 2.1g  | 2.9g  | 3.7g |
| 0天   | 9.95             | 9.6  | 9.75 | 10.2  | 9.6              | 10.3  | 9.7   | 9.95 |
| 7天   | 9.95             | 9.8  | 9.65 | 10.1  | 9.65             | 10.15 | 9.75  | 9.9  |
| 14天  | 10.1             | 9.85 | 10   | 10.35 | 9.65             | 10.35 | 9.9   | 10   |
| 21天  | 10.7             | 10.5 | 11.8 | 10.9  | 9.8              | fail  | 10.55 | fail |
| 28天  | 11.75            | 11.8 | fail | fail  | fail             | fail  | fail  | fail |

圖五、不同重力下蟑螂生長柱狀圖結果



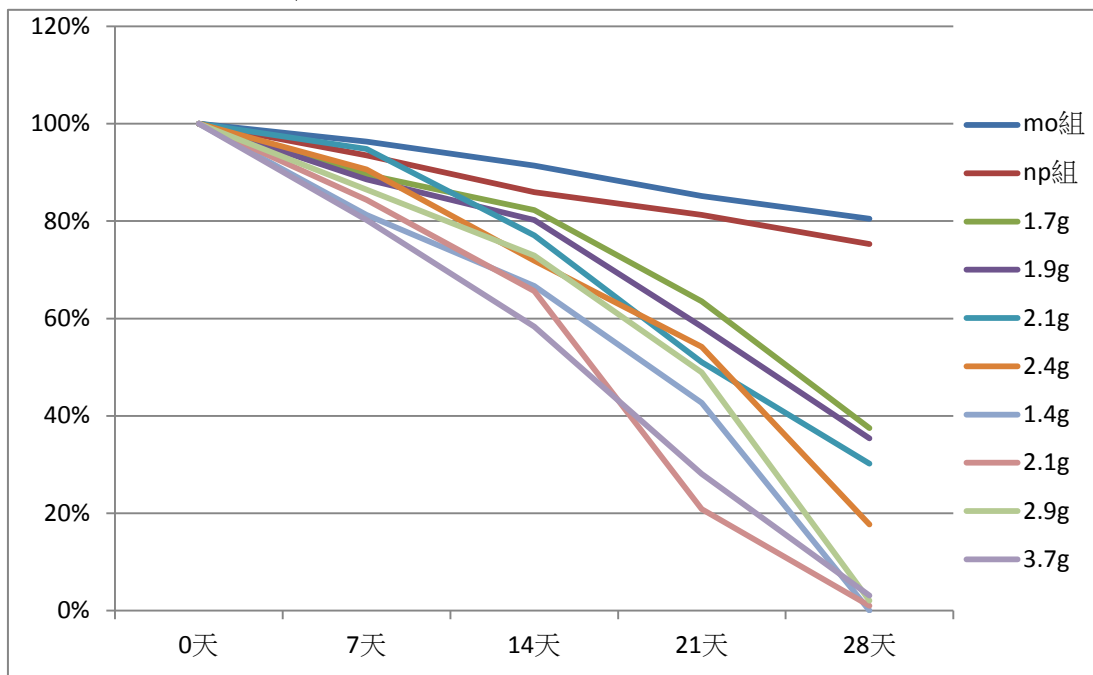
圖六、各組生長倍數折線圖結果



表五、長軸轉速慢與短軸轉速快組別蟑螂存活數目

| 組別   | 對照組 |     | 長軸轉速慢 |      |      |      | 短軸轉速快 |      |      |      |
|------|-----|-----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
|      | 方格  | 瓶裝  | 23    | 27   | 31   | 35   | 5     | 9    | 13   | 17   |
| 半徑cm | 方格  | 瓶裝  | 23    | 27   | 31   | 35   | 5     | 9    | 13   | 17   |
| 重力倍數 | g   | g   | 1.7g  | 1.9g | 2.1g | 2.4g | 1.4g  | 2.1g | 2.9g | 3.7g |
| 0天   | 384 | 384 | 96    | 96   | 96   | 96   | 96    | 96   | 96   | 96   |
| 7天   | 370 | 359 | 86    | 85   | 91   | 87   | 78    | 81   | 83   | 77   |
| 14天  | 351 | 330 | 79    | 77   | 74   | 69   | 64    | 63   | 70   | 56   |
| 21天  | 327 | 312 | 61    | 56   | 49   | 52   | 41    | 20   | 47   | 27   |
| 28天  | 309 | 268 | 36    | 34   | 29   | 17   | 0     | 1    | 2    | 3    |

圖七、各組存活率折線圖



d. 結果分析與討論：

由於蛻皮前外骨骼韌性有限因此蟑螂長大的程度有限，而成功蛻皮到達二齡後長度大約多0.5cm，因此單純計算長度的變化會受蛻皮時間與蟑螂的代謝的活躍程度影響很大，因此後來我們解讀實驗結果時，將偏重重力影響杜比亞蟑螂的生長速率與蛻皮成功率及存活數。

我們將改良二版實驗結果分析整理成以下幾點：

### 1. 在旋轉的重力系統下長成二齡蟲機會下降很多

綜合試作、改良一、改良二等三次實驗，我們發現只要有旋轉情形下很少能發育到二齡蟲，一般而言成長到二齡蟲以飼養網站的資料與我們實驗的對照組只要氣溫適合大約都在2~3星期內蛻皮到二齡，而我們實驗中選轉組別能發育到二齡低於5%而且很可能在購買時賣家給的杜比亞蟑螂就有部分接近蛻皮階段。

### 2. 生長速度與體型變慢變小類似冬天

觀察圖五、圖六發現，只要有旋轉的組別生長速率也是明顯低於對照組，與換算後不同的重力倍數生長情形並無明顯影響，反而生長狀況很類似圖三時於冬天做出的生長曲線，故我們推測在旋轉狀況下蟑螂為因應環境變化採取減少活動以降低代謝，造成了生長幾乎停滯的情形，以我們數據而言21天時不同重力下六組生長長度從2%~20%，而對照組分散飼養與密集飼養則生長約34%與55%，這點同時也應該是影響前一項蛻皮機率的原因。

### 3. 短半徑時此生長停滯現象越明顯

在前面討論雖看不出高倍重力是否影響生長較明顯，但是觀察圖五可得到一個特別的現象，在較短旋轉半徑這組明顯生長曲線偏平緩在21天時約生長2%~9%，而長半徑組約7%~20%，這項結果我們猜想可能是在方格空間中重力不一，短半徑時同一方格的g值與轉軸最近與最遠處約相差0.7g，而長半徑則只相差0.2g，故推論杜比亞蟑螂可能也會「暈」或是要克服重力劇烈變化要消耗較多能量導致。

### 4. 對照組存活率很高、實驗組仍然活超不過28天

討論表五與圖七的生存率結果可呼應前述的推測，蟑螂在前7~14天的生存率與冬天時蟑螂生長停滯的生存率接近，都約在82%~95%，甚至有部分數據還略高於正常飼養的情形86%~96%，但是到了第21天

後旋轉的組別生存率暴跌約只有21%~38%，甚至許多組別到第28天全數死亡，生存率約0%~35%，而在短軸組的四組不同重力下生存率更是只有0%~3%，故我們認為蟑螂一方面想減少活動，但在重力變化大的情形又不易攝食，且維持機能必須消耗更多能量，故長時間下造成入不敷出而大量死亡。

## 5. 密集飼養生長略快、死亡率略高

此項研究原本不在計畫中，但是後期得到的資訊越多發現影響杜比亞蟑螂生長的變數越多，因此額外探討飼養的密度的影響，以圖六與圖七可以發現兩組皆在一般重力飼養的蟑螂，生長速率是密集飼養 > 分散飼養，而存活率則相反密集飼養 < 分散飼養，此項結果與我們看到的資料結果相符，根據資料應是聚集時蟑螂互相摩擦使體溫偏高利於生長的原因。

## 伍、結論與未來展望

### 一、結論

1. 以本研究操作過程評估，用簡易的機器人組件或風扇改裝來模擬高倍重力的情境是可行的，可應用在各種科學實驗中，以樂高機器人EV3的馬達轉速60~240轉/分而言，半徑30cm大小的旋臂可模擬出約1.5倍~19倍g值的重力。
2. 以本實驗結果來說在600ml塑膠瓶中密集飼養杜比亞蟑螂的生長速度與生存率都呈現旋轉系統造成負面影響，以21天觀察可看出在3.5g組與對照組平均長度分別增加約0.9mm與2.6mm，而在21天存活率約33%與73%，第28天存活率則分別為3%與67%。
3. 於冬天平均溫度約20°C情形下，實驗的折線圖顯示不管在一般重力或旋轉系統的1.5g~2.2g，杜比亞蟑螂生長都幾乎是停滯的，因此在冬季杜比亞蟑螂的生長速率以此實驗看不出重力改變的影響。
4. 同上述，但是在杜比亞蟑螂的28天存活率相較於夏天瓶子密集方式則生存率對照組約從66%上升到85%，而實驗組由30%上升到38%，但是實驗組三組的存活率仍只有對照組的45%，故仍顯示即使冬天蟑螂代謝變低，旋轉系統還是對其生存率有負面影響。
5. 實驗選擇的杜比亞蟑螂屬節肢動物，蛻皮前外骨骼韌性有限，蟑螂長大的程度受限，而成功蛻皮到達二齡後長度大約多0.5cm，因此單純計算長度的變化會受蛻皮時間影響很大，所以解讀實驗結果時，將偏重重力影響杜比亞蟑螂的生長速率與存活率較為合理。
6. 只要有旋轉生長速率就明顯降低，但生長速率大小與重力倍數並無明顯影響，並且生長狀況很類似於冬天做出的生長曲線，故推測在旋轉狀況下蟑螂為因應環境變化降低代謝，造成了生長幾乎停滯的情形，以我們數據而言21天時重力範圍從1.4g~3.7g時，生長長度從2%~20%，而對照組則生長約55%。
7. 推測飼養範圍的重力變化量才是影響杜比亞蟑螂的生長速率主因，推測原因是短旋轉半徑時生長曲線偏平緩，在21天時約生長2%~9%，而長半徑組約7%~20%，且短半徑時同一方格的g值範圍約相差0.7g

，而長半徑則只相差0.2g，故推論杜比亞蟑螂可能也會「暈」或是要克服重力劇烈變化要消耗較多能量導致。

8. 同上，杜比亞蟑螂的生存率結果也呼應了此推測，前14天生存率旋轉組別與對照組接近，第21天後旋轉組開始暴跌約只有21%~38%，到第28天生存率約0%~35%，而在短軸組的生存率更是只有0%~3%，故我們推測蟑螂一方面想減少活動，但在重力變化大的情形又不易攝食，且維持機能必須消耗更多能量，長時間下造成入不敷出而大量死亡。

## 二、未來展望

### (一)、在物理部分

我們認為以旋轉系統模擬不同重力的研究方式還有許多的應用，由於本次挑選的杜比亞蟑螂以我們的能力很難比較出蟑螂生理上更細微的變化，因此我們認為如挑選受重力的影響較明顯且易觀察到的生物種類也許更適合此實驗方法，例如植物的向地性觀察或蚯蚓鑽地等，此外本次研究在設計部份可以改進的是旋轉的半徑不夠大，造成在同一方格的重力變化太大影響實驗，此點供後續研究者參考。

### (二)、在生物部分

我們熟知的目前杜比亞蟑螂與櫻桃紅蟑是很熱門的寵物餌食，更是有龐大的商機與發展空間，原本研究立意是想找出杜比亞蟑螂於高倍重力下的生長是否有可應用的結論，但得到的結果是不利於生長的，而本次研究我們認為如果能有詳細的實驗前後蟑螂營養比例化驗資料，如蛋白質等比例有助於分析利用價值。

其次我們認為還能改進的買來的蟑螂品質不一，個體間本來就有生長上的優劣性，因此如果能自己飼養育種並挑選接近大小與年齡的蟑螂應該可以做得更精準。

## 六、評鑑與檢討：上述每一階段的省思與收穫

### 1. 欣賞歷屆作品與蒐集資料階段：

一開始想到的研究題目都很不切實際，常常沒考慮可行性與是否能負擔的問題，在研讀了許多作品後逐漸對設計實驗與對建立整體研究的架構有模糊的想法，終於比較有科學研究的樣子，但會仍會擔心我們是否有能力完成研究。

### 2. 擬定研究方向與大綱階段：

在擬訂計畫時對我們的規劃事情能力與把想法具體化的能力有很大的提升，原來許多實驗步驟想的時候很簡單，但在要真的落實時常有沒考慮到變因冒出來或研究基礎知識不足造成的笨方式，往往幾句話結束很簡單的實驗設計，要經老師提醒才驚覺有許多不夠嚴謹或是很難取得實驗設備測量的，擬訂計畫過程中總是隨蒐集的資料與研究的部分結果得時時修正。

### 3. 實驗與器材準備與製作階段：

我們這份研究在實驗的準備有兩大問題，一是實驗的重力模擬設計方式，原本想模仿前輩用電扇但是我們組員剛好有樂高機器人製作的經驗與設備嘗試下可行，我們其他人也藉此機會接觸學習到的機器人的簡易操作，另外實驗過程常有突發狀況要解決，常常卡在部分器材無法完全符合需求，還要自己加工或製作才行；其次是杜比亞蟑螂的購買與後續飼養善後的問題，一開始龐大的數量與蟑螂這名詞令人畏懼，而後來已能徒手抓，同時死亡的蟑螂還能一把抓餵魚。

### 4. 實驗過程與數據蒐集階段：

測量各組蟑螂長度時最大感想是「很煩」，一組實驗數據從抓到蟑螂、測量、餵食、紀錄花費的時間都要一整天且多人幫忙，而此份實驗對於控制變因的掌握也難，例如溫度、濕度、水分食物等等要儘量一樣，但是環境因素對我們而言常常是無力控制，只能儘量做好，其次是本次研究的統計數目問題，當然我們希望能全部測量求平均，但是因為每次中斷旋轉進行測量就花上一整天，但是又怕中斷旋轉太久影響結果，只能折衷選取部分測量。

## 七、參考資料

1. 關崇智 (譯) (1992)。 昆蟲生理學精要。興大書齋。
2. 謝秉洋(2017)。 櫻桃紅蟑的成長與飼養觀察 。 國立內埔農工。
3. 邱雁、江亭誼、陳學鴻 (2016)。 重力改變對於含羞草觸發運動的影響。 台北市立中正高中。
4. 無重力狀態下的那些事。 泛科學。 2019 年 10 月 15 日，取自 <https://pansci.asia/archives/137925>
5. 杜比亞簡易飼養。 痞客邦。 2019 年 10 月 15 日，取自 <https://fencing119.pixnet.net/blog/post/102326182-%E6%9D%9C%E6%AF%94%E4%BA%9E%E7%B0%A1%E6%98%93%E9%A3%BC%E9%A4%8A>
6. 陳柏君、林賢銘、呂少森、方柏仁。「快、狠、準」~ 蟑螂學習行為之研究。 中華民國第 48 屆中小學科展。
7. 詹睿瑜、吳怡秀、盧宜君、夏瑋廷。 重力對植物生長的影響。 中華民國第四十三屆中小學科展。
8. B. Dubia 杜比亞蟑螂的飼養補充資料。 小楊子的龜窩爬蟲寵物論壇。 2019 年 10 月 16 日，取自 <http://www.turtle-family.com/Discuss50/redirect.php?tid=32271&goto=lastpost>
9. 杜比亞-飼養。 隨意窩。 2019 年 10 月 16 日，取自 <https://blog.xuite.net/deantmt/blog/193056865-%E6%9D%9C%E6%AF%94%E4%BA%9E-%E9%A3%BC%E9%A4%8A>
10. 普物演示廳-向心力裝置。 中興大學物理系。 2019 年 10 月 16 日，取自 <http://experiment.phys.nchu.edu.tw/device/exp54.htm>