

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

030314

暗地裡的情人淚—藍綠菌的無光養殖大揭密

學校名稱：臺中市立忠明高級中學(附設國中)

作者：  國二 林子靖  國二 許硯婷  國二 廖庭翊	指導老師：  林喬盈  謝宜誠
---	-----------------------------

關鍵詞：藍綠菌、碳氮源、光照環境

## 摘要

本實驗希望能透過添加不同配方的營養素來幫助雨來菇在無光或弱光的環境下生存。

實驗結果發現：

- 一、強光下雨來菇適合架鐵網半乾半溼養殖，弱光及無光下適合架鐵網、鋪上不織布養殖。
- 二、強光下不需添加營養素僅需加水，以光合作用自營方式生長，添加營養素會有混和營養導致的生長遲滯期甚至抑制生長。
- 三、弱光下重量增加最多的為配方水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g，其次為水+BG11、水+BG11+醋酸鈉10g、水+尿素5g，顯示弱光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 四、無光下重量增加最多的為配方水+BG11+醋酸鈉10g，其次為水+BG11、水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g、水+尿素5g，顯示無光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 五、我們認為醋酸鈉必須搭配BG11才有較佳效果，尿素5g可能只夠一週的養分所需。

## 壹、研究動機








我們在網路上看到了一篇關於人工光合作用和一篇透過加醋酸鹽使植物、綠藻或真菌在無光狀態下可持續生長的文章令我們感到驚訝[1] [2]，在國一生物的課程裡提到植物生存的必要條件之一就是陽光，無光養殖超出了我們的認知範圍。因此，我們對這個議題非常感興趣。至於要用什麼植物來研究又難倒了我們，查詢資料後發現有科學家在地底發現藍綠菌[3]，一種原始又簡單的生物，但是如何取得以及品種選用又是個大問題。後來發現菜市場中就可以買到的一種藍綠菌——雨來菇，以它作為實驗對象。接著我們查詢常用的營養素，實驗過程我們以各種配方養殖雨來菇，並觀察它在強光、弱光、無光三種環境的生長情形，想讓無光或弱光環境的雨來菇可以與強光環境的生存生長相媲美。

## 貳、研究目的

- 一、探討雨來菇以水耕添加營養素的養殖方式。
- 二、探討雨來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11、醋酸鈉、尿素，對其生存、生長情形的影響。
- 三、探討雨來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11+醋酸鈉、醋酸鈉+尿素、BG11+尿素，對其生存、生長情形的影響。
- 四、探討雨來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11+醋酸鈉+尿素，對其生存、生長情形的影響。

## 參、研究設備及器材




### 一、測量用具(由第二作者拍攝及截圖)

			
溶氧計	pH 計	500ml 量筒	電子秤 1
			
電子秤 2	秤量紙	Light meter 光度計 (手機軟體)	

### 二、藥品(由第二作者拍攝)

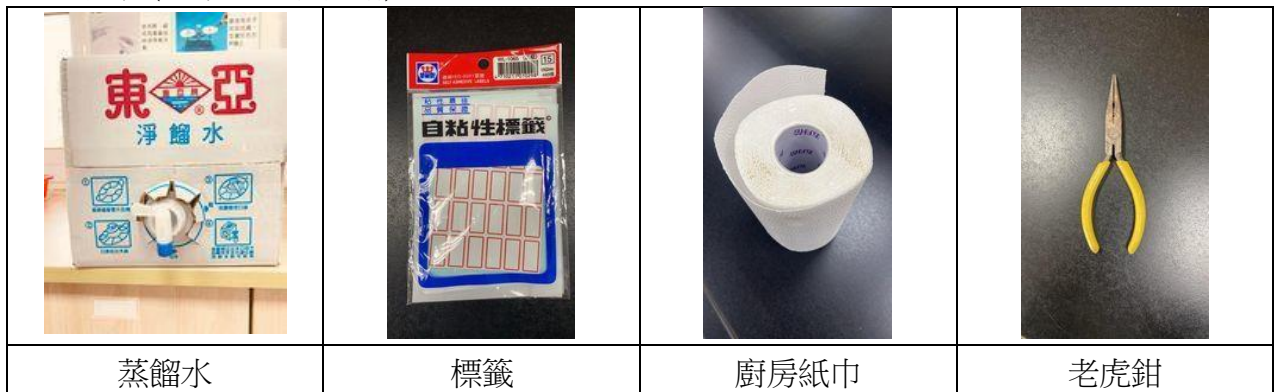
		
醋酸鈉	尿素	BG11

### 三、裝置及用具(由第二作者拍攝)

			
鐵絲	培養皿	紗布及不織布	生長箱

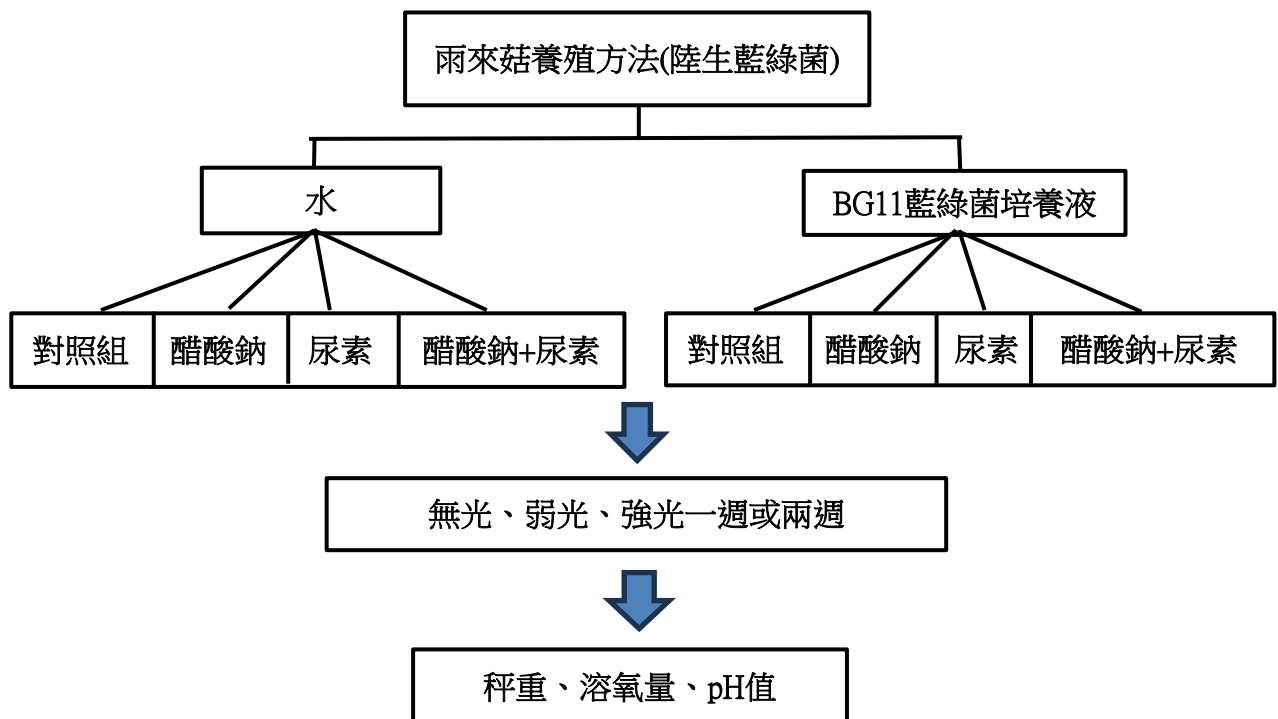


四、其他(由第二作者拍攝)



肆、研究過程及方法

一、架構圖



圖一、實驗架構圖(由第二作者繪製)

## 二、選用雨來菇的原因：

(一)選用雨來菇的原因：文獻三提到有科學家在地底發現藍綠菌[3]，因此我們覺得藍綠菌可以作為實驗對象。我們在網路上看到很多種藍綠菌，不知如何選擇，且有取得的困難。之後發現菜市場上的雨來菇也是藍綠菌的一種，因此選用來自台灣屏東珍臻公司的雨來菇作為實驗對象。

(二)雨來菇的介紹：雨來菇（地木耳、葛仙米藻、學名：Nostoc commune）是一種陸生的藍綠菌，沒有葉綠體，但有能行光合作用的葉綠素在細胞質中。此藍綠菌會形成膠質，並吸收水分，膠質呈片狀，其外型似木耳，顏色呈藍綠色至黑褐色，一年四季皆可生長，多生長在潮溼的草地，雨後生長繁殖快速。可行固氮作用，適合生長在中性至微鹼性的環境，文獻中提及雨天或夜晚等光照較弱時、土壤中含水量高及 pH 值 8.0 時固氮活性最高[16]。栽培時需要有足夠的水分，但不宜澆水，建議栽培溫度為 25~30°C，若溫度低於 15°C 或高於 40°C 時，藻體生長將減緩，夏季栽培一個月後，藻體直徑達 5 公分以上時即可採收，冬季因溫度低將延長到 1.5~2 個月可採收[11]。

## 三、營養素的選擇：

(一)BG11：查詢文獻發現 BG11 是藍綠菌的專用培養液[4]。

(二)尿素：文獻五中提到尿素是目前被廣泛使用的固態氮肥，在文獻六中也有使用尿素作為藍綠菌的肥料[5][6]，因此我們選擇尿素作為氮源。

(三)醋酸鈉：在科技新聞中提到植物可以利用醋酸鹽在黑暗中生長[7]，而查詢文獻八發現以醋酸鈉及果糖、葡萄糖等作為藍綠菌菌株 CH1 碳源[8]，綜合以上資訊，我們選擇醋酸鈉作為碳源。

## 四、營養素的定量：

(一)BG11：前測二依據產品說明每 1000ml 的水添加 1.7g 的 BG11，但實驗結果不如預期。於是再次查詢後，發現文獻九添加 BG11 的實驗配方為稀釋 15 倍效果為最佳——每 1000ml 的水添加 0.11g 的 BG11 [9]，因此實驗二到實驗七的 BG11 添加量改為 0.11g。

(二)尿素：根據文獻十所述，用於葉面施肥時應稀釋至 1/200 或 1/400 (每 200ml 或 400ml 的水添加 1g 的尿素)[10]，又以本實驗過程中推論增加尿素的添加量。故本實驗先使用尿素 2.5g/1000ml (每 1000ml 的水添加 2.5 克尿素)和 5g/1000ml，再用 10g/1000ml 進行實驗。

(三)醋酸鈉：根據文獻八所述，添加 1000mg/L 醋酸鈉時藍綠菌菌株 CH1 的氫氣累積量最高，在文獻中提及添加碳源可加到 2000mg/L[8]。我們推論在無光下生長可能需要更多碳源，故本實驗先使用醋酸鈉 3g/1000ml (每 1000ml 的水添加 3 克醋酸鈉)和 5g/1000ml，再用 10g/1000ml 進行實驗。

## 五、實驗流程

(一)前測一：(養殖方式試驗、一週)

1. 挑選大塊雨來菇泡水 30 分鐘。
2. 確認大塊雨來菇不散開，擦乾放在秤量紙上無水痕後秤前重。
3. 將一半雨來菇碾碎作為乾種與溼種使用。
4. 溼種加 200ml 的水進入燒杯；乾種將紗布放入培養皿加 20ml 的水並蓋上培養皿

→ 雨來菇  
前置準備



蓋。

5. 將片狀和碎狀雨來菇分別放入燒杯和培養皿。
6. 一週期間每兩~三天加水進培養皿和燒杯。
7. 一週後將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算增加的重量。

#### (二) 前測二：(藥品配方試驗、兩週)

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置十種配方的水溶液，秤量以下藥品後，取 1000ml 的水溶解藥品後完成製備  
(1) 水 (對照組)、(2) 醋酸鈉5g、(3) 醋酸鈉3g、(4) 尿素5g、(5) 尿素2.5g、(6) BG11 1.7g、(7) BG11 1.7g+醋酸鈉5g、(8) BG11 1.7g+醋酸鈉3g、(9) BG11 1.7g+尿素 5g、(10) BG11 1.7g+尿素2.5g。
3. 將雨來菇放入溶液中。
4. 十種配方各一杯為一組，配置三組分別擺放置強光、弱光和無光的環境中。
5. 養殖兩週後，先測溶液 pH 值。
6. 再將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

#### (三) 實驗一：(碳源、一週)

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置四種配方的水溶液：(1) 水 (對照組)、(2) 醋酸鈉5g、(3) 醋酸鈉10g、(4) 醋酸鈉+尿素各5g，四種配方各三杯為一組，共三組。
3. 架設鐵網於水面浸水處並加入 1000ml 的水進燒杯。
4. 將雨來菇均勻放置在鐵網上，使其浸水不泡水，以半乾半方式養殖。
5. 前測溶液 pH 值。
6. 將三組雨來菇分別擺放置強光、弱光和無光環境，一週期間視情況加水，無光環境不加水。
7. 養殖一週後，後測溶液 pH 值。
8. 測定水中溶氧量，照光前先測各燒杯的水中溶氧量，接著包上保鮮膜，照光 1.5 小時後再測一次水中溶氧量。
9. 將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

#### (四) 實驗二：(碳源、一週)

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置四種配方的水溶液：(1)BG11 0.11g、(2)BG11 0.11g+醋酸鈉5g、(3)BG11 0.11g+醋酸鈉10g、(4)BG11 0.11g+醋酸鈉+尿素各5g，四種配方各三杯為一組，共三組。
3. 架設鐵網於水面浸水處並加入 1000ml 的水進燒杯。
4. 將雨來菇均勻放置在鐵網上，使其浸水不泡水，以半乾半溼方式養殖。
5. 前測溶液 pH 值。
6. 將三組雨來菇分別擺放置強光、弱光和無光環境，一週期間視情況加水，無光環境不加水。
7. 養殖一週後，後測溶液 pH 值。
8. 測定水中溶氧量，照光前先測各燒杯的水中溶氧量，照光 1.5 小時後再測一次水中溶氧量。
9. 將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

(五) 實驗三、四、五：

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置溶液：
  - (1)實驗三（氮源、一週），配置四種配方的水溶液：a.水（對照組）、b.尿素5g、c. 尿素10g、d.BG11 0.11g+尿素5g，四種配方各三杯為一組，共三組。
  - (2)實驗四和實驗五（碳氮源、一週），配置六種配方的水溶液：a.水（對照組）、b.BG11 0.11g、c.醋酸鈉5g、d.BG11 0.11g+醋酸鈉5g、e.BG11 0.11g+醋酸鈉+尿素各5g、f.尿素5g，六種配方各二杯為一組，共三組。
3. 架設鐵網於水面浸水處並加入 1000ml 的水進燒杯。
4. 將雨來菇均勻放置在鐵網上，使其浸水不泡水，以半乾半溼方式養殖。
5. 將三組雨來菇分別擺放置強光、弱光和無光環境養殖，一週期間視情況加水，無光環境不加水。
6. 養殖一週後，測定水中溶氧量，照光前先測各燒杯的水中溶氧量，照光 1.5 小時後再測一次水中溶氧量。
7. 將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

(六) 實驗六：(碳氮源、兩週)

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置四種配方的水溶液：(1)水（對照組）、(2)BG11 0.11g+醋酸鈉5g、(3)醋酸鈉 5g、(4)尿素5g，四種配方各三杯為一組，共三組。
3. 架設鐵網並加入 1000ml 的水進燒杯。
4. 將雨來菇均勻放置在鐵網上，使其浸水不泡水，以半乾半溼方式養殖。
5. 將三組雨來菇分別擺放置無光、弱光和強光環境養殖，兩週期間視情況加水，無光環境不加水。
6. 養殖兩週後，測定水中溶氧量，照光前先測各燒杯的水中溶氧量，照光 1.5 小時後再測一次水中溶氧量。
7. 將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

(七) 實驗七：(碳氮源、一週、精進養殖方式)

1. 雨來菇前置準備。
2. 配置四種配方的水溶液：(1)水（對照組）、(2)尿素5g、(3)BG11 0.11g+醋酸鈉 10g、(4)醋酸鈉10g，四種配方各三杯為一組，共三組。
3. 架設鐵網，鋪上不織布並加入 1000ml 的水進燒杯。
4. 將雨來菇均勻放置在不織布上，使其浸水不泡水，以半乾半溼方式養殖。
5. 將三組雨來菇分別擺放置強光、弱光和無光環境養殖，一週期間視情況加水，無光環境不加水。
6. 養殖一週後，測定水中溶氧量，照光前先測各燒杯的水中溶氧量，照光 1.5 小時後再測一次水中溶氧量。
7. 將雨來菇取出，擦乾秤後重，計算重量增加率。

## 六、實驗流程細部說明：

### (一) 強光、弱光及無光環境的定義：

1. 強光環境：將實驗設置在陽台水槽上，會被陽光直接照射，中午時照度約在 100000 lux 以上，見圖二。
2. 弱光環境：將實驗設置在陽台水槽下方，不被陽光直接照射並使用紙箱來遮擋部分反射的光線，中午時照度約在 1000~3000 lux，見圖三。

相似於弱光的環境：五月的環境大約下午五點時，在教室內把電燈全部關掉，窗簾全部打開，站在教室正中間時手機平放測量到的照度大約是 1800 lux，與我們在同時測到的水槽下弱光環境照度相似。

3. 無光環境：將實驗設置在內側紙箱，使用強力膠帶封箱。在內側紙箱短邊分別戳 5 個針孔大小的洞確保通風，並確認除了針孔之外的所有縫隙皆用膠帶遮蓋完畢。將外側紙箱倒置於內側紙箱上方，內箱與外箱間仍留有空隙，以確保空氣流動。接著使用強力膠帶將外側紙箱黏貼在地板上。在外側紙箱長邊戳上 5 個針孔大小的洞，使內外箱在不同邊戳洞讓陽光無法直接入射至內箱中。內側紙箱照度約在 0.098 lux。見圖四。



圖二、強光環境  
(由第一作者拍攝)



圖三、弱光環境  
(由第一作者拍攝)



圖四、無光環境  
(由第二作者拍攝)

### (二) 兩來菇挑選及秤重說明：

1. 盡量挑選較大塊的兩來菇，且購買相同廠商的相同品牌(實驗四除外)。
2. 前測時先將兩來菇放入水中浸泡 30 分鐘，確保其吸收足夠的水分。將其取出後把表面擦乾，確認放在秤量紙上無水痕，即可秤重紀錄。
3. 後測時將其取出，表面擦乾後，確認放在秤量紙上無水痕，即可秤重紀錄。
4. 使用的兩來菇重量範圍：實驗一~六為 7.5~8.5g，實驗七為 10.6~15.8g。

### (三) 水量控制：

1. 前測一：乾種初始水量為 20ml，溼種初始水量為 200ml。乾種每兩~三天補水 4ml，溼種每兩~三天補水至燒杯水位 200ml。
2. 前測二：初始水量為 1000ml，實驗過程無補水。
3. 實驗一~七：初始水量 1000ml，實驗過程中當水面低於鐵網邊緣處時加水至鐵網邊緣處(約在 950ml)，確保兩來菇處於半乾半溼狀態，無光環境皆未補水。

### (四) 溶氧量測量：

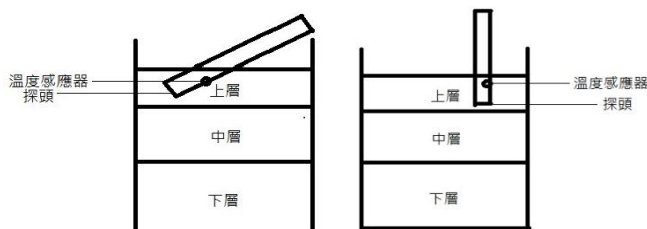
1. 制定溶氧量測量方式：

(1) 溶氧前測一——我們擔心兩來菇所產生的氧氣散逸，於是設計實驗以驗證燒

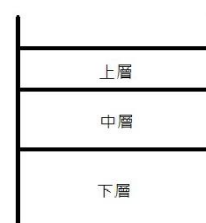


杯口有無包保鮮膜對溶氧量數值的影響。將燒杯加入1000ml的水並架設鐵網，將兩來菇放置鐵網上，在燒杯口上包上保鮮膜留一缺口使二氧化碳可以進入行光合作用(另一杯不包保鮮膜)，照光兩小時左右進行溶氧量測量。發現有保鮮膜之溶氧量為7.3mg/L，不包保鮮膜之溶氧量為7.6mg/L，顯示燒杯口有無包保鮮膜對於水中溶氧散逸量並無太大的影響，故實驗二~七進行溶氧量測試時皆不包保鮮膜。

- (2)溶氧前測二——溶氧計探頭擺放位置：將燒杯加入1000ml的水，架設鐵網並將兩來菇放至鐵網上，照光 2小時左右，確保其產生足夠氧氣。我們分別將溶氧計以斜插和直插的方式擺放(圖五)，再各放置於水中的上層及中層進行測量(圖六)。上層斜插測量到的溶氧量為7.4mg/L、中層斜插為6.5mg/L、上層直插為7.0mg/L、中層直插為7.0mg/L，結果顯示以上層斜插測到的溶氧量最高，且我們認為是因為兩來菇照光後產出的氧氣會在上層，故本實驗使用此方法進行溶氧量測量。
- (3)依文獻所述，溶氧測定之照光時間不宜太長以免環境出現太大變化，文獻建議以兩個小時照光時間較佳[18]。故我們選用1.5小時做為照光時間。



圖五、溶氧計探頭位置擺放斜插及直插  
(由第二作者繪製)



圖六、水位上中下層示意圖  
(由第二作者繪製)

## 2. 實驗一~七溶氧量測量步驟

- (1)實驗一~七：為了使溶氧計溫度感應器接觸到水面，加水到燒杯中至鐵網上方 1~1.2cm 處。
- (2)使用前在無風處校正到 20.9 mg/L。
- (3)完成測量一組(12 杯)後再進行校正。
- (4)將溶氧計斜插放入溶液上層中。
- (5)等待數值穩定(約 5~10)分鐘。
- (6)測量完一杯後用蒸餾水洗淨。

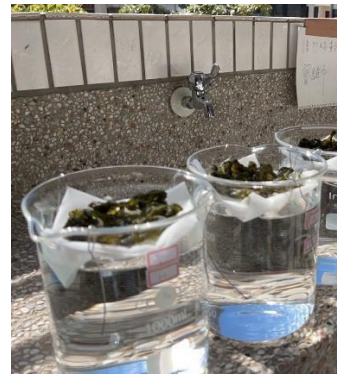
## 3. 溶氧計操作說明書提及本溶氧計測量誤差值為 $\pm 0.4\text{mg/L}$ 。

### (五) pH 值測量：

1. 將 pH 計探測頭放入水中盡量接近上層。
2. 等待數值穩定(約 3-5 分鐘)。
3. 測量完一杯後用蒸餾水沖洗淨。

### (六) 實驗一~七之裝置架設：

1. 實驗一~六：兩來菇為陸生藍綠菌，自然環境下適合生長在瀝水能力佳的砂土上。為了在無光環境下添加營養素以水耕養殖，我們參考了文獻十七，利用鐵絲穿過鐵網，並將鐵絲掛在杯緣使鐵網邊緣處位於燒杯950毫升處，將兩來菇放在鐵網上[17]，以半乾半溼的狀況養殖，見圖七。
2. 實驗七：為了使兩來菇不會有任何部位直接泡在溶液中，卻又能吸收營養素，我們用鐵絲穿過鐵網並將鐵絲掛在杯緣使鐵網邊緣處位於燒杯 950 毫升處，並鋪上不織布，將兩來菇放在不織布上，見圖八。



圖七、實驗一~六裝置圖(由第二作者拍攝) 圖八、實驗七裝置圖(由第二作者拍攝)

(七) 實驗數據平均說明

1. 重量增加率： $\text{雨來菇後重} - \text{雨來菇前重} \div \text{雨來菇前重} * 100\%$ 。
2. 重量增加率平均：同配方每杯重量增加率相加除以杯數。
3. 前測溶氧量平均：同配方每杯前測溶氧量相加除以杯數(四捨五入至小數點第一位)。
4. 後測溶氧量平均：同配方每杯後測溶氧量相加除以杯數(四捨五入至小數點第一位)。

## 伍、實驗結果

### 一、前測一：(養殖方式試驗、一週)

(一) 說明：

1. 我們欲知道何種養殖方法及環境有助於雨來菇重量增長，養殖方式使用了乾種及溼種，且我們嘗試了碎狀的養殖方法，希望使雨來菇更容易吸收養分。
2. 環境則是分成了照光良好的陽台及固定光照和溫度的生長箱。

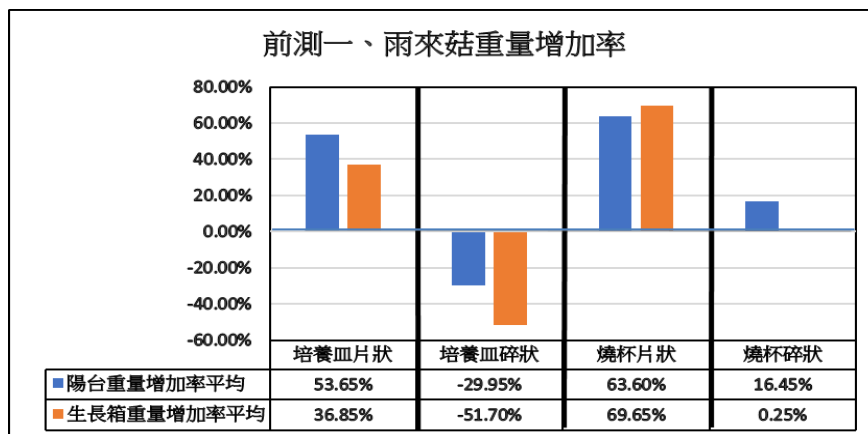
(二) 養殖條件：

1. 養殖時間：一週。
2. 氣溫範圍：陽台室外處一週中最低溫至最高溫為 21~31 度。
3. 生長箱：12 小時照光、28 度。

(三) 養殖方式：

1. 乾種：將紗布放入培養皿中，加入 20ml 水，再放入片狀或碎狀雨來菇。
2. 溼種：將燒杯加水至 200ml，直接放入片狀或碎狀雨來菇。

(四) 前測一陽台及生長箱環境實驗結果



圖九、前測一重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)

(五) 小結

1. 在兩種環境下碎狀的養殖方式重量都較片狀少，兩來菇應不適合磨碎養殖。此外，秤前重的磨碎過程及秤後重的過濾過程皆有不少兩來菇殘留在濾紙及研磨鉢上無法刮下來秤重，故後續以片狀的兩來菇進行實驗。
2. 在兩種環境下燒杯片狀養殖的兩來菇重量皆有增加，且比培養皿片狀的重量增加來的多，故接下來的實驗選用燒杯養殖片狀兩來菇。
3. 陽台跟生長箱的生長情況沒有太大差異，考量接下來的實驗燒杯的數量超出生長箱的容納範圍，故我們選用陽台作為實驗地點。

二、前測二：（藥品配方試驗、兩週）

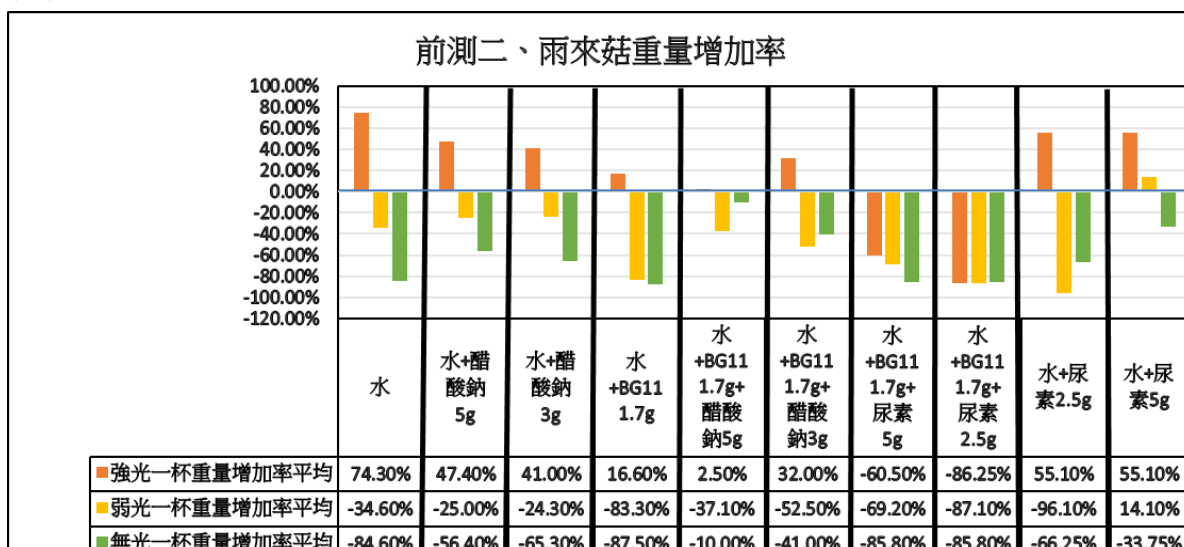
(一) 說明：

1. 我們依照文獻添加了 BG11、醋酸鈉及尿素三種營養素並加水1000ml，詳細配方定量可參照研究過程及方法的營養素定量。
2. 依照前測一小結2選用燒杯片狀的養殖方式。
3. 我們配置了九種配方和水作為對照組，十個配方各一杯為一組，共三組分別放入強光、弱光和無光環境。
4. 測量兩週後溶液的 pH 值及重量增減，了解生長情形與 pH 值的關係。

(二) 養殖條件：

1. 養殖時間：兩週。
2. 氣溫範圍：兩週中最低溫至最高溫之範圍 14~29 度。

(三) 強光、弱光、無光實驗結果



圖十、前測二重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)

配方 環境	水	水+BG11 1.7g	水+醋酸鈉 3g	水+醋酸鈉 5g	水+BG11 1.7g+醋酸鈉 3g	水+BG11 1.7g+醋酸鈉 5g	水+BG11 1.7g+尿素 2.5g	水+BG11 1.7g+尿素 5g	水+尿素 2.5g	水+尿素 5g
強光	9.2	9.5	9	9.3	9.6	9.4	8.6	8.5	8.4	8.4
弱光	8.1	8.4	8.3	8.4	9.2	9.4	8.5	8.5	8.4	8.4
無光	7.8	8.5	8.2	8	9.3	9.4	8.8	8.6	8.5	8.5

表一、前測二 pH 值測量結果(由第三作者繪製)

#### (四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水（對照組），可能在強光下添加營養素無助於生長，還可能抑制生長。重量增加較多的還有添加尿素5g及添加醋酸鈉5g、3g。
2. 重量減少最多的為 BG11+尿素5g及2.5g兩配方，且 BG11+尿素2.5g的重量減少比尿素2.5g多，BG11+尿素5g的重量減少也比尿素5g多，故我們認為尿素不適合單純與 BG11加在一起，會影響雨來菇的生長。
3. 尿素 5 克的雨來菇重量率增加比尿素2.5克多 7~8 倍。
4. 在兩週後溶液 pH 值全部呈鹼性，對照組也呈現鹼性。此外，我們發現 pH 值和雨來菇重量增長沒有太大的關連，例如對比水、水+BG11+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉3g三種配方，其 pH 值依序為 9.2、9.4、9.6，但重量增加率平均沒有遞增或遞減的趨勢。
5. BG11+尿素5g和BG11+尿素2.5g的水溶液呈現黃綠色，且雨來菇的外膠質大部分消失了。使用顯微鏡觀察後發現水中仍有串狀念珠藻型態的雨來菇，可能是因為泡在溶液中太久，使得雨來菇呈現游離狀態，此情況會影響雨來菇重量的秤重結果，使得可測得的重量較輕。
6. BG11+醋酸鈉5g及BG11+醋酸鈉3g的水質異常，溶液呈現混濁發白冒泡等情形。

#### (五) 弱光下實驗結果討論

1. 僅有添加尿素 5g 的重量有些微的增長，其餘重量皆減少。
2. 添加醋酸鈉5g及醋酸鈉3g的組別重量減少程度小於水（對照組），其中醋酸鈉5g減少的更少，我們認為添加醋酸鈉可能有助於雨來菇在光線較弱的環境生存。
3. 重量減少最多的是配方是尿素2.5g，次多為 BG11+尿素2.5g，我們推測加入尿素 2.5g 並不會幫助雨來菇在弱光下存活；但尿素 5 克卻有明顯增加重量。
4. 在兩週後溶液 pH 值全部呈鹼性，對照組方面也呈現鹼性，我們推測養殖雨來菇會使水或水溶液變鹼。此外，我們發現 pH 值和雨來菇重量增長沒有太大的關係。
5. 在雨來菇外觀方面，除配方尿素5g之外，其餘皆呈現泥狀，使用顯微鏡觀察後，發現水中仍有串狀念珠藻型態的雨來菇，可能是因為泡在溶液中太久，使得雨來菇呈現游離狀態，此情況會影響雨來菇重量的秤重結果。
6. BG11+醋酸鈉5g及 BG11+醋酸鈉3g的水質有混濁發黃冒泡等情形。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 水（對照組）其雨來菇重量減少超過80%，說明在無光照時無法行光合作用下，雨來菇沒有足夠的能量轉化形成葡萄糖或澱粉進行生長。
2. 所有配方的雨來菇重量皆減少，其中配方BG11+醋酸鈉5g雨來菇的重量減少最少，我們認為該配方可能有助於雨來菇在無光下存活。
3. 配方為水+BG11和配方為水的對照發現重量減少幾乎差不多，但依文獻四可知此營養素為專門培養藍綠的培養液[4]，應有助於雨來菇生長，然而在無光下卻無法促進雨來菇生長甚至存活，不知是否是因為營養成分不足以替代光合作用。



4. 減少最多之配方為BG11+尿素2.5克，BG11+尿素2.5g的重量減少比尿素2.5g多，BG11+尿素5g的重量減少也比尿素5g多，故我們認為尿素不適合單純與BG11 加在一起，會影響雨來菇的生長。
5. 尿素 5 克的重量增加率減少程度是尿素2.5克的一半。
6. 在兩週後溶液 pH 值全部呈鹼性，在水（對照組）也呈現鹼性，應是養殖雨來菇會使溶液變鹼。推測 pH 值和雨來菇重量增長沒有太大的關係。
7. 除了配方水+BG11+醋酸鈉5g外，其餘水溶液當中的雨來菇皆呈現泥狀，使用顯微鏡觀察後，發現水中仍有串狀念珠藻型態的雨來菇，此情況會影響雨來菇重量的秤重結果，後續討論改變養殖方式。
8. 全部配方的水溶液都有發黃混濁的情形。

#### (七) 小結

1. 依上述討論，配方尿素5g 在三種環境下重量增加率相對較佳，配方醋酸鈉5g在強光及弱光下算重量增加率相對較佳，配方BG11+醋酸鈉5g在無光中重量減輕最少。故以醋酸鈉5g、BG11+醋酸鈉5g、尿素5g 為配方基底，進行實驗一、實驗二、實驗三的實驗設計。
2. 在三種環境下，配方尿素5g的重量增長情況都比尿素2.5g好，我們推測尿素的添加量較多有助於雨來菇的生長，故在實驗三嘗試添加尿素10g。此外，我們也認為尿素與BG11加在一起使用會不利雨來菇的生長，故後續實驗捨棄此配方。
3. 在三種環境下，醋酸鈉5g的重量增長情況都比醋酸鈉3g好，我們推測醋酸鈉的添加量較多時有助於雨來菇的生長，故在實驗一嘗試添加醋酸鈉 10g。
4. 在三種環境下，我們發現 pH 值和雨來菇重量增長狀況沒有太大的關聯，而且依文獻所述雨來菇原本就適合生長在鹼性環境[11]。但是本次實驗只有測量養殖後的 pH 值，為進一步確認影響 pH 值最多的因素為配方溶液之酸鹼性，還是養殖雨來菇造成的，故在後續實驗會測量養殖前與養殖後的 pH 值以便比對。
5. 在這次實驗中有許多雨來菇變為泥狀，不知其是否還存活，因此在後續實驗中進行溶液中溶氧量測量，讓養殖後的雨來菇照光 1.5 小時測溶氧量，觀察雨來菇是否有進行光合作用，如果溶氧量有顯著增加代表雨來菇仍然可行光合作用製造氧氣。
6. 添加BG11+醋酸鈉的燒杯中觀察到水質有發黃(或發白)冒泡的出現，但只添加醋酸鈉的組別卻無異常。再者BG11為專門培養藍綠菌的培養液，但水+BG11在三種環境下的重量增加率皆比水（對照組）更差，說明BG11的添加量可能需要調整，參考文獻九之後，我們將實驗二之後的 BG11 添加量改變為每 1000ml的水添加 0.11g [9]。
7. 添加BG11+醋酸鈉5g在三種環境皆有白色漂浮物，用顯微鏡觀察後我們推測應該是黴菌。
8. 在三種環境下都有觀察到雨來菇變成泥狀、無法維持類似木耳的外型膠質，使得最後我們能撈起來秤重的量明顯變少，我們推測是泡在溶液太久導致，且文獻十一中提及養殖雨來菇不能泡過多水分[11]，因此我們決定在後續實驗使用半乾半溼的養殖方式[17]。



### 三、實驗一：（碳源、一週）

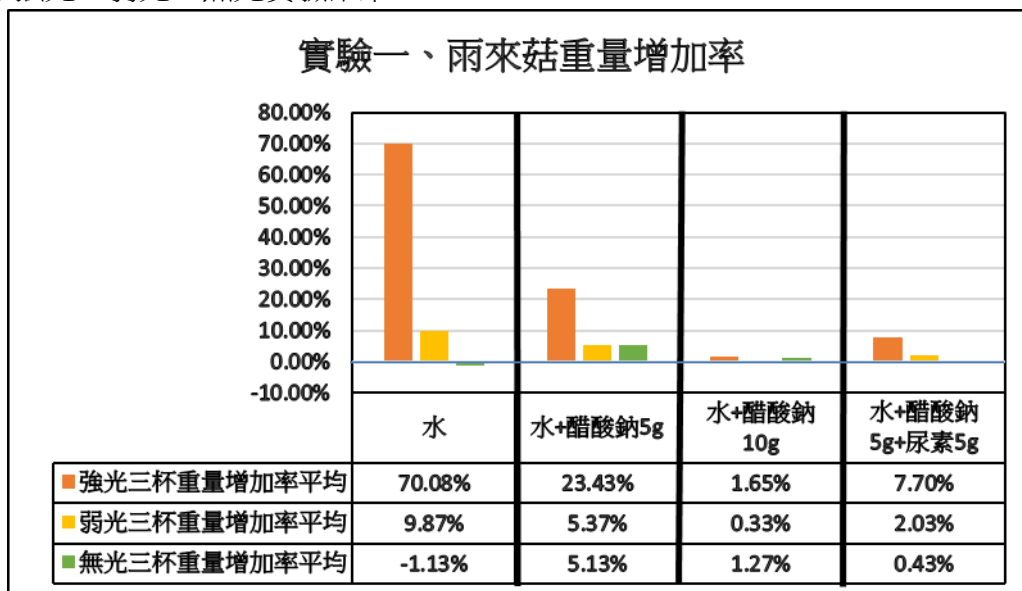
#### （一）說明：

1. 依前測二小結 1、3，水+醋酸鈉5g及水+醋酸鈉10g作為實驗一的配方之二。
2. 在前測二中尚未做過水+醋酸鈉5g+尿素5g，因此我們想知道該配方對於雨來菇重量增長有無幫助，所以作為實驗一的配方之一。
3. 依前測二小結 8，接下來的實驗將雨來菇放在水面交界所架設的鐵網上，以半乾半溼的方式養殖。
4. 依前測二小結 5，對經過一週養殖後的雨來菇進行溶液溶氧量測量，檢測方式及步驟可見研究過程及方法中的溶氧量測量。
5. 依前測二小結 4，會測量養殖前與養殖後的 pH 值，觀察溶液的酸鹼性是受雨來菇養殖還是藥品的影響。
6. 測量水中溶氧量(照光 1.5 小時之照度為3400 lux)。

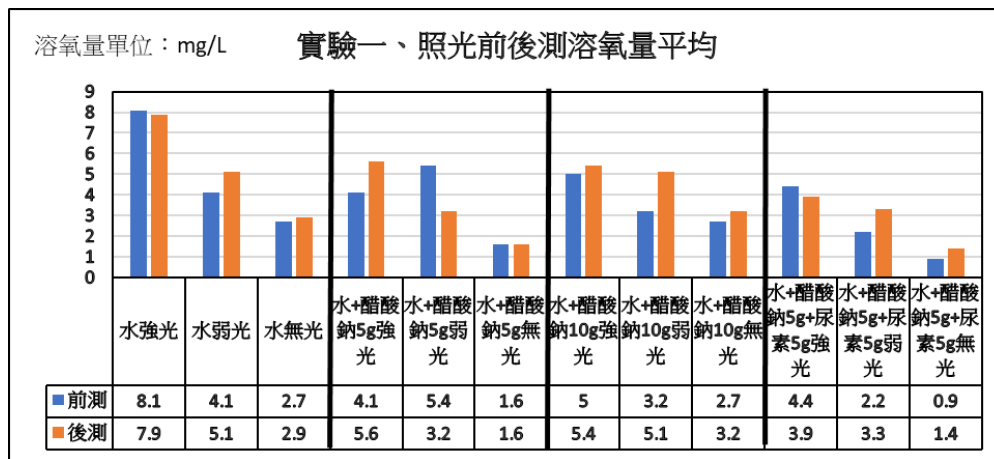
#### （二）養殖條件：

1. 養殖時間：一週。
2. 氣溫範圍：一週中最低溫至最高溫之範圍 19~31 度。

#### （三）強光、弱光、無光實驗結果



圖十一、實驗一重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)



圖十二、實驗一溶氧量及直方圖(由第三作者繪製)

配方 環境	水			水+醋酸鈉 5g			水+醋酸鈉 10g			水+醋酸鈉 5g+尿素 5g		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
強光	7.3/7.5	7.3/8.0	7.3/8.4	7.5/8.5	7.5/8.5	7.4/8.4	7.6/8.3	7.6/8.4	7.5/8.5	7.7/8.7	7.8/8.7	7.9/8.7
弱光	7.3/7.5	7.3/7.6	7.5/8.0	7.5/8.2	7.5/7.9	7.5/8.2	7.6/8.3	7.6/8.2	7.7/8.8	7.6/8.8	7.6/8.8	7.8/8.8
無光	7.3/7.6	7.2/7.6	7.3/7.5	7.5/7.6	7.5/7.7	7.4/7.6	7.6/7.8	7.5/8.5	7.5/8.6	7.7/9.2	7.8/9.1	8.0/9.2

表二、實驗一 pH 值前/後測量結果(由第三作者繪製)

#### (四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水，我們認為在強光下正常光合作用可，添加營養素沒有明顯幫助生長。
2. 重量增加最少的配方為醋酸鈉 10g，對比醋酸鈉 5g 的結果說明增加醋酸鈉的添加量對雨來菇的生長較無幫助。
3. 一週後溶液 pH 值全部呈鹼性，對比前測 pH 值皆有上升，其中水（對照組）的提升幅度較小，表示養殖一週使溶液鹼性程度提高，可能為雨來菇本身或者雨來菇跟藥品交互作用結果。此外，比較前後測的 pH 值和雨來菇重量，發現重量增長和 pH 值沒有太大的關係。
4. 照光前溶氧量以水最高，若用產氧表示光合作用程度，而添加醋酸鈉或尿素無助光合作用效率提高。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多的是醋酸鈉 5g；其餘三者溶氧量增加量在溶氧計誤差值  $\pm 0.4$  mg/L 間，表示照光時光合作用狀態沒有太大改變。

#### (五) 弱光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水，但是和強光的結果相比減少非常多，添加醋酸鈉 5g 和對照組較為接近，似乎能幫助雨來菇在弱光下生長。
2. 重量增加最少的配方為醋酸鈉 10g，但還能讓雨來菇重量沒有減少。
3. 一週後溶液 pH 值全部呈鹼性，對比前測 pH 值皆有上升，其中水（對照組）的提升幅度較小，水+醋酸鈉 10g、水+醋酸鈉 5g+尿素 5g 提升幅度較大。表示養殖一週使溶液鹼性程度提高，可能為雨來菇本身產生鹼性物質或者雨來菇跟藥品交互作用結果。此外，前後測 pH 值和雨來菇重量增長沒有直接關係。
4. 照光前溶氧量以醋酸鈉 5g 最高，表示光合作用效率較對照組水及其他配方為佳。但是照光 1.5 小時後溶氧量增加最多的是醋酸鈉 10g。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+醋酸鈉5g，我們認為此種配方的碳源量也許有助於兩來菇在無光下生長。對比醋酸鈉10g的結果說明醋酸鈉添加量增加對養殖一週的兩來菇生長或許沒有幫助。
2. 重量減少最多的配方為水，其餘配方重量皆有增加，顯示兩來菇在無光下生長可能需要營養素代替光合作用形成之養分。
3. 一週後溶液 pH 值全部呈鹼性，對比前測 pH 值皆有上升，其中水（對照組）的提升幅度較小，醋酸鈉10g、醋酸鈉5g+尿素5g提升幅度較大，表示養殖一週使溶液鹼性程度提高，可能為兩來菇本身產生或者兩來菇跟藥品交互作用結果，但比較前後測的 pH 值和兩來菇重量，發現重量增長和 pH 值沒有太大的關係。
4. 照光前溶氧量以水、水+醋酸鈉10g 最高。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多的是醋酸鈉10g、醋酸鈉5g+尿素5g。值得一提的是重量增加較多的醋酸鈉5g，反而溶氧量很低，且照光後沒有增加，我們猜測兩來菇可能利用醋酸鈉作為碳源，細胞在無光時呼吸作用大於光合作用，所以溶氧量都偏低，另外，細胞可能直接利用碳源，甚至不用光合作用，所以照光後尚未轉換或轉換較慢。

#### (七) 小結

1. 依上述討論，我們認為在強光和弱光環境下不須添加額外營養素幫助兩來菇生長。而在無光下須添加營養素，其中以配方水+醋酸鈉5g重量增加率最多。
2. 在三種環境下添加醋酸鈉5g的重量增加率皆比添加醋酸鈉10g多，故我們認為醋酸鈉添加量增加對兩來菇一週生長沒有幫助，在實驗四~六之配方調整醋酸鈉添加量皆為5g。
3. 在三種環境下養殖一週皆使溶液鹼性程度提高，可能為兩來菇本身產生或者兩來菇跟藥品交互作用結果，而且 pH 值和兩來菇重量增長沒有直接相關。
4. 依上述討論，照光前溶氧量最高者、照光 1.5 小時後溶氧量增加最多者沒有一致性，其中的原因還有待之後實驗觀察。依圖十二，照光 1.5 小時後溶氧量大部分有增加，說明經一週養殖後兩來菇仍有行光合作用的能力，兩來菇仍具有生命力。此外，光合作用的產物之一為氧氣，理論上照光前的溶氧量會依強光組、弱光組、無光組遞減，於圖十二也可看出這種趨勢。

#### 四、實驗二：（碳源、一週）

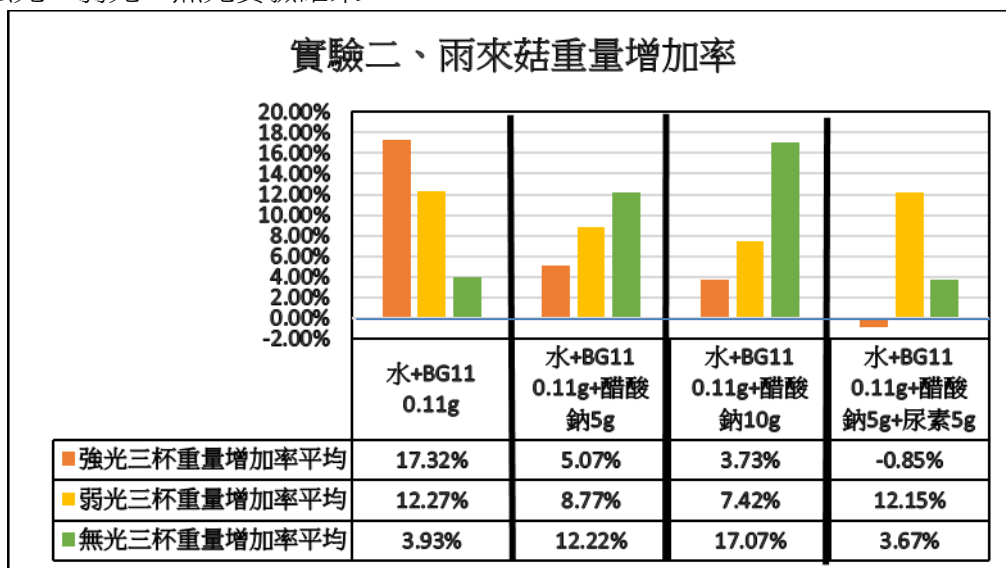
##### (一) 說明：

1. 依前測二小結 1、3、6，將BG11 0.11g做為實驗二的配方。
2. 測量水中溶氧量(照光 1.5 小時之照度為35000 lux)。

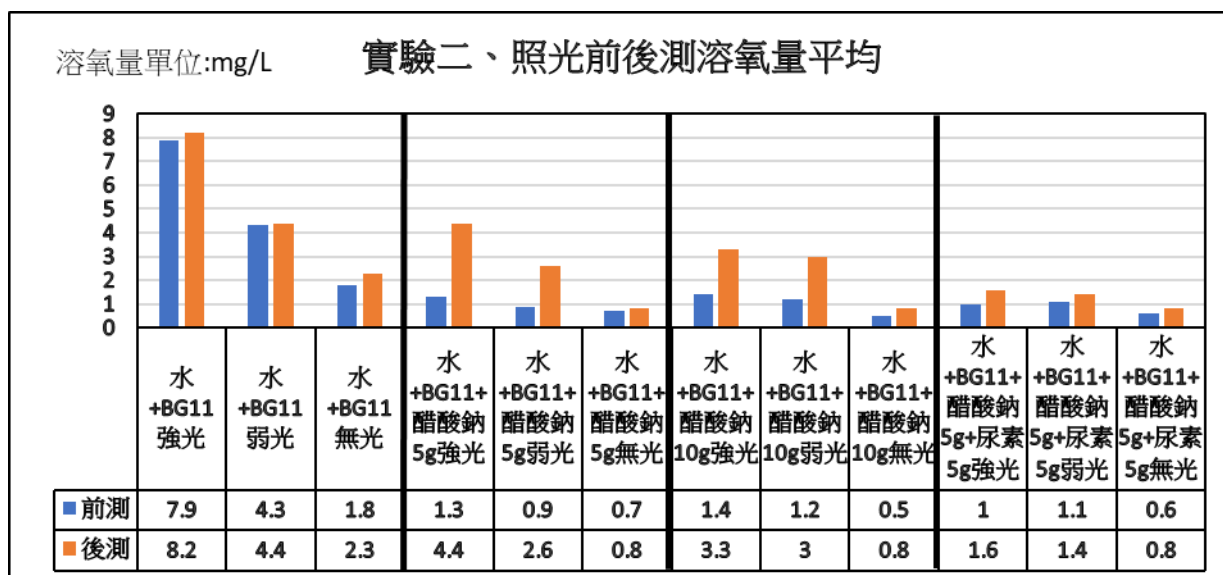
##### (二) 養殖條件：

1. 養殖時間：一週。
2. 氣溫範圍：一週中最低溫至最高溫之範圍 10~25 度。

(三) 強光、弱光、無光實驗結果



圖十三、實驗二重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)



圖十四、實驗二溶氧量及直方圖(由第三作者繪製)

環境 \ 配方	水+BG11 0.11g			水+BG11 0.11 醋酸鈉 5g			水+BG11 0.11 醋酸鈉 10g			水+BG11 0.11 醋酸鈉 5g+尿素 5g		
	7.1/8.0	7.2/8.4	7.1/7.8	7.5/8.6	7.5/8.8	7.5/8.6	7.5/8.2	7.6/8.9	7.6/8.8	7.5/8.9	7.5/8.9	7.5/8.8
強光	7.1/8.0	7.2/8.4	7.1/7.8	7.5/8.6	7.5/8.8	7.5/8.6	7.5/8.2	7.6/8.9	7.6/8.8	7.5/8.9	7.5/8.9	7.5/8.8
弱光	7.1/7.6	7.1/7.5	7.1/7.4	7.4/8.5	7.4/8.6	7.4/8.7	7.6/8.8	7.5/8.7	7.5/8.6	7.4/8.9	7.4/9.1	7.4/8.9
無光	7.6/7.4	7.3/7.5	7.3/7.6	7.5/8.2	7.5/8.6	7.5/8.8	7.5/8.6	7.5/8.4	7.6/8.4	7.4/9.2	7.5/9.2	7.4/9.1

表三、實驗二 pH 值前/後測量結果(由第三作者繪製)

(四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多為水+BG11且與其他配方有著明顯的差距，推測在強光環境下其他添加物無助於兩來菇生長。
2. 重量減少最多的為水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g，推測此配方應不助於兩來菇在強光下生長。
3. pH 值方面如同實驗一小結 3 所述，pH 值和兩來菇重量增長沒有直接的關係。

4. 照光前溶氧量以水+BG11 最高，其餘配方溶液照光前溶氧量都非常低。代表養殖雨來菇一週中水+BG11 光合作用效率較高，添加其餘營養素無助於其光合作用。照光 1.5 小時後溶氧量皆有增加，水+BG11+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉10g有明顯上升，但照光後溶氧量仍以水+BG11 高，表示其光合作用效果好，也可能證明光合作用效率與重量增加率的相關性。

#### (五) 弱光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+BG11，而水+BG11+醋酸鈉5g+尿素 5g重量增加與水+BG11幾乎相同。另外，水+BG11+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉10g雖然重量增加率較對照組少，但是對比實驗一的結果可推測這四種配方似乎是更有助於雨來菇生長。
2. pH 值方面如同實驗一小結 3 所述，前後測pH值和雨來菇重量增長沒有太大的關係。
3. 照光前溶氧量以水+BG11最高，其餘配方溶液照光前溶氧量都非常低。代表養殖雨來菇一週中光合作用效率水+BG11較高，添加其餘營養素沒有幫助光合作用效率，重量增加率說明可能有相關性。照光 1.5 小時後溶氧量皆有增加，水+BG11+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉10g有明顯上升，但在水+BG11 0.11 醋酸鈉5g+尿素5g配方中溶氧量低而重量增加率卻有較佳表現，或許碳氮源的添加在光線不足、溫度較低時對細胞生長有幫助，但不是以增進光合作用效率的方式幫助雨來菇生長。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+BG11+醋酸鈉10g，增加次多的配方為水+BG11+醋酸鈉5g與前者差異不大，和對照組比較可推測添加醋酸鈉可能有助於雨來菇在無光下生長。
2. 重量增加最少的配方為水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g，但弱光時表現較佳，推測尿素與捕捉光線有關。
3. pH 值方面如同實驗一小結 3 所述，pH 值和雨來菇重量增長沒有太大的關係。
4. 照光前溶氧量以水+BG11 較高，但所有配方溶液在照光前的溶氧量都非常低。照光 1.5 小時後所有配方溶液的溶氧量皆有些微增加，但部分不超過溶氧計測量誤差值 $\pm 0.4\text{mg/L}$ 。

#### (七) 小結

1. 改變 BG11 的添加量後，水+BG11 在弱光和無光環境下的表現都比前測二中好許多。
2. 依上述討論，在強光和弱光環境下添加 BG11 的雨來菇重量增加最多，但在無光下須再添加營養素，其中以配方水+ BG11+醋酸鈉10g重量增加最多，在無光環境下是否還需要較多碳源以協助細胞生長所需，仍需驗證。
3. 承上，與實驗一小結 2 有所不同，添加 BG11 之後醋酸鈉添加量增加會對雨來菇生長有所影響。綜合三種環境下的結果，水+BG11+醋酸鈉5g雨來菇的重量增加情況只略差於水+ BG11+醋酸鈉10g，但營養素添加量少了一倍，我們認為水+BG11+醋酸鈉 5g是較為經濟有效的配方，因此實驗四中使用水+BG11+醋酸鈉 5g作為配方之一。



4. 依上述討論，pH 值方面如同實驗一小結 3 所述，pH 值和雨來菇重量增長沒有太大的直接相關。綜合前測二小結 4 及實驗一小結 3，我們認為添加本實驗配方養殖雨來菇對酸鹼值造成的影響，與雨來菇的重量增加率沒有直接相關，且實驗溶液pH值都在雨來菇適宜的pH值範圍[11]，故之後的實驗不再測 pH 值。
5. 三種環境照光前溶氧量最高者皆為配方水+BG11，其餘配方溶液在照光前的溶氧量都非常低。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多者為強光組和弱光組配方水+BG11+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉10g，無光組各配方間無明顯差異。依圖十四，照光 1.5 小時後溶氧量大多都有增加，說明經一週養殖後雨來菇仍有行光合作用的能力，雨來菇仍具有生命力。
6. 承上，光合作用的產物之一為氧氣，理論上照光前溶氧量會依強光組、弱光組、無光組遞減，於圖十四也可看出這種趨勢。然而在強光組和弱光組，配方水+BG11+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉10g 和水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g三種配方照光前溶氧量皆很低，顯示即使有光照產氧狀況仍不佳、光合作用效率也不佳。對比實驗一的配方與重量增加率的實驗結果，我們猜測同時添加 BG11和醋酸鈉足以作為雨來菇生長的養分(碳源提供)，使光合作用的機制進入休眠狀態。

#### 五、實驗三：（氮源、一週）

##### （一）說明：

1. 依前測二小結 1、2，水+尿素鈉5g及水+尿素10g作為實驗三的配方之二。
2. 依前測二小結 2 中我們認為尿素與BG11加在一起使用會不利雨來菇的生長，然而實驗三我們採取半乾半溼的養殖方式與前測二不同，因此我們再次嘗試以水+BG11+尿素5g，沒有加醋酸鈉，作為實驗三的配方之一。
3. 依實驗二小結 4 取消 pH 值的測量。
4. 本次實驗雨來菇前重記錄遺失，故無法討論、分析實驗結果。

#### 六、實驗四：（碳氮源、一週）

##### （一）說明：

1. 依前測二小結 1，我們以水+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉5g、水+尿素5g為配方基底，分別進行實驗一、實驗二、實驗三的實驗設計。實驗一小結 1 及實驗二小結 3 得知，水+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉5g 在無光下有助於雨來菇的生長，而實驗三原本應該測試尿素對雨來菇生長的影響，卻發生失誤，於是我們打算再次取這三種配方進行實驗。
2. 依實驗二實驗結果得知，水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g在弱光的表現佳，故選用為實驗四的配方之一。
3. 除了水之外，再增加配方水+BG11作為對照組。
4. 由於缺貨，實驗四使用的雨來菇來源、品牌與其他實驗不同。
5. 本次實驗因雨來菇太碎小，品質較差，因此實驗結果不參考，無法討論、分析。

七、實驗五：（碳氮源、一週）

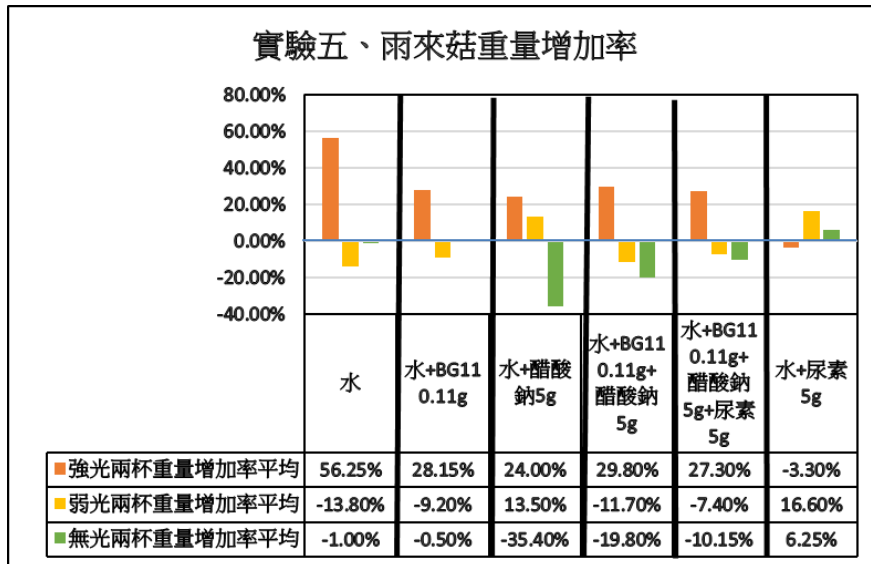
(一) 說明：

1. 由於實驗四實驗結果無法參考，我們決定重做實驗四的配方。
2. 測量水中溶氧量(照光 1.5 小時之照度為25000 lux)。

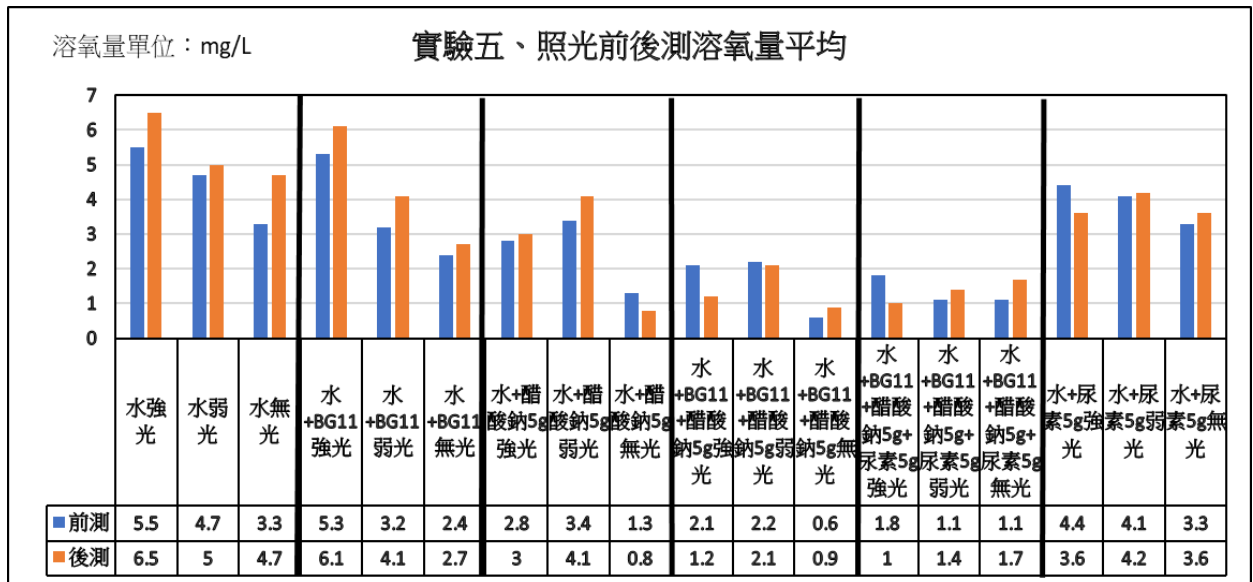
(二) 養殖條件：

1. 養殖時間：一週。
2. 氣溫範圍：一週中最低溫至最高溫之範圍 9~25 度。

(三) 強光、弱光、無光實驗結果



圖十五、實驗五重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)



圖十六、實驗五溶氧量及直方圖(由第三作者繪製)

(四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水，且與水+BG11以及其他配方有著明顯的差距，我們認為在強光下正常光合作用即可，添加營養素沒有明顯幫助生長。

2. 承上，重量增加次多的是水+BG11+醋酸鈉5g。
3. 照光前溶氧量以水及水+BG11較高，再來是水+尿素5g，其餘配方溶液相較下皆明顯較低。照光 1.5 小時後溶氧量只有水和水+BG11有明顯上升。
4. 我們觀察到配方水+尿素的雨來菇顏色比原本雨來菇及其他配方的雨來菇明顯偏黃，且看起來較透明、透光。

#### (五) 弱光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+尿素5g，增加次多的配方為水+醋酸鈉5g，推測添加尿素、醋酸鈉有助於雨來菇在弱光下生長。
2. 重量減少最多的為水（對照組），與實驗一實驗結果不同。減少次多為水+BG11+醋酸鈉5g，與實驗二實驗結果不同。或許是因為本週降溫，對於無法照射到陽光的弱光組更不利，環境溫度相較強光組更低。
3. 照光前溶氧量以水最高，其次為配方水+尿素5g，顯示一週間光合作用產氧穩定。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多的是水+BG11，其次為水+醋酸鈉5g。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+尿素5g，推測添加尿素有助於雨來菇無光下生長。
2. 重量減少最多的配方為水+醋酸鈉5g，次多的配方為水+BG11+醋酸鈉5g。兩配方雨來菇重量減少程度皆大於水，此與實驗一、實驗二實驗結果不同，或許因為本週降溫，對於無法照射到陽光的無光組更不利，環境溫度相較強光組更低。
3. 照光前溶氧量以水及水+尿素5g為最高，水+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉5g、水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g 照光前溶氧量都很低。照光 1.5 小時後溶氧量只有水+醋酸鈉5g下降，其餘配方皆有增加；配方水+醋酸鈉5g的水中溶氧量照光前測時溶氧量很低，可能是因光合作用微弱或呼吸作用耗氧所致，而後或許細胞活性降低甚至可能休眠。

#### (七) 小結

1. 依上述討論，我們認為在強光下無須添加營養素，雨來菇以水養殖即可。但在弱光、無光下須添加營養素，本次實驗中以配方水+尿素5g重量增加最多。
2. 依上述討論，配方水+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉5g對雨來菇的生長影響和實驗一、實驗二的實驗結果不同，故我們打算在下次實驗再次重做這兩個配方並增加養殖時間至兩週，觀察是否能找出原因。
3. 三種環境下照光前溶氧量最高者皆為配方水，弱光、無光下照光前溶氧量次高的為水+尿素5g，表示添加尿素培養時光合作用效率產氧較佳。依圖十六顯示照光 1.5 小時後溶氧量大多都有增加，說明經過一週養殖後雨來菇仍有行光合作用的能力，雨來菇仍具有生命力。
4. 承上，如圖十六所示，溶氧量的高低似乎與添加配方類型有較高的相關，其中三種環境下水+尿素5g的照光前溶氧量皆偏高，而且照光 1.5 小時後溶氧量變化不大，值得觀察。
5. 三種環境下添加尿素 5g 的雨來菇在養殖一週後的外觀顏色比一週前及其他配方明顯偏黃，看起來較透明、透光，且變化程度依照強光組、弱光組、無光組遞減，如圖十七所示。

無光組較不黃，但還是明顯不同於其他配方在無光組養殖的兩來菇。

6. 配方水+BG11+醋酸鈉5g有兩杯有白色漂浮物，水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g有一杯有白色漂浮物，我們推測是黴菌污染。



圖十七、添加尿素養殖一週的兩來菇在三種光照環境下顏色差異  
(由左到右依序為強光、弱光、無光)(由第二作者拍攝)

#### 八、實驗六：(碳氮源、兩週)

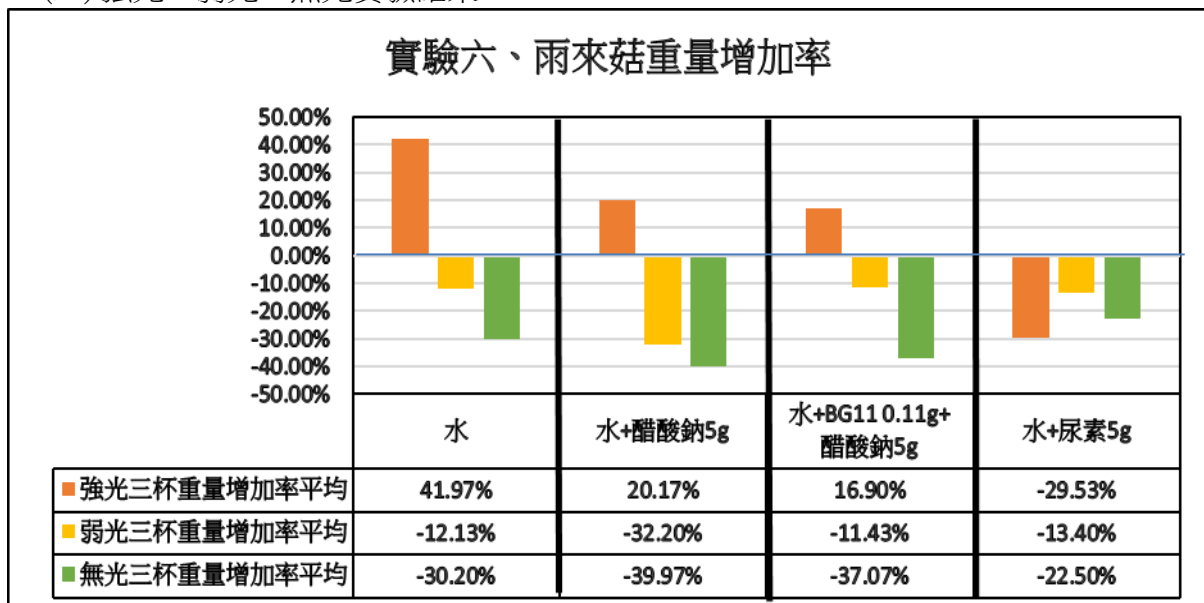
##### (一)說明：

1. 依實驗五小結 2，使用水+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉5g作為實驗六的配方選擇。
2. 依實驗五小結 1 配方水+尿素5g在弱光和無光下有助兩來菇生長。本次實驗欲增加養殖時間至兩週，我們想知道此配方對兩來菇重量增長的影響是否相同，故水+尿素5g作為實驗六的配方之一。
3. 測量水中溶氧量(照光 1.5 小時之照度為25000 lux)。

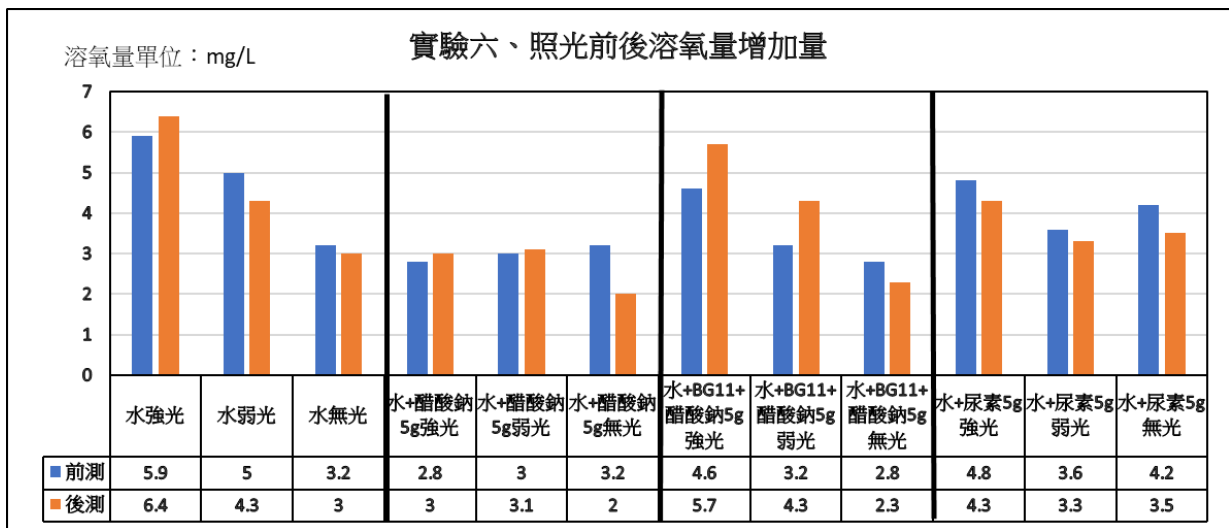
##### (二)養殖條件：

1. 養殖時間：兩週。
2. 氣溫範圍：兩週中最低溫至最高溫之範圍 8~26 度。

##### (三)強光、弱光、無光實驗結果



圖十八、實驗六重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)



圖十九、實驗六溶氧量及直方圖(由第三作者繪製)

#### (四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水，我們認為在強光下正常光合作用即可，添加營養素沒有明顯幫助生長。
2. 重量減少最多的配方為水+尿素5g，與實驗五強光下的結果相同。
3. 照光前溶氧量以水最高，次高為水+BG11+醋酸鈉5g和水+尿素5g，在照光後有明顯增加的只有配方水和水+BG11+醋酸鈉5g，配方為水+尿素5g的溶氧量與我們在實驗五的結果大致相同，照光後都沒有明顯增加。另外配方水+BG11+醋酸鈉5g與實驗二相同，溶氧量有明顯提升，但在實驗五的溶氧量結果是無增加的，兩實驗結果不同。

#### (五) 弱光下實驗結果討論

1. 重量減少最少的配方為水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g，重量減少最多的配方為水+醋酸鈉5g。
2. 配方水+尿素5g的兩來菇重量減少程度與水差不多，這與實驗五的結果不同。
3. 照光前溶氧量以配方水為最高，其次為配方水+尿素5g，但兩配方溶氧量都在照光後略減。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 重量減少最少的配方為水+尿素5g，與實驗五的結果相同，但實驗五兩來菇重量有增加，我們認為添加尿素可能有助於兩來菇在無光中存活。
2. 重量減少最多的配方為水+醋酸鈉5g，與實驗五的結果相同。
3. 照光前溶氧量以配方水+尿素5g相對較高，但在照光後所有配方的溶氧量都有減少。

#### (七) 小結

1. 依上述討論，我們認為在強光下無須添加營養素，以水養殖即可。但在弱光環境則以配方水+BG11+醋酸鈉5g，無光環境下則以配方水+尿素5g對兩來菇的重量維持較佳。



2. 承上，水+BG11+醋酸鈉5g於實驗六和實驗五在弱光下重量增加率差不多，然而實驗六養殖時間多一週。再比較無光下實驗六配方水+BG11+醋酸鈉5g重量增加比實驗五低不少，說明在無光下此營養素添加量不足，故實驗七我們將養殖時間縮短為一週。
3. 依上述討論，配方水+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉5g對兩來菇的生長影響和實驗一、實驗二、實驗五實驗結果並無一致，在弱光和無光下的重量增加率也不突出。故依實驗二小結 2、3，我們打算以水+BG11+醋酸鈉10g作為下次實驗的配方之一。
4. 三種環境下，水+尿素5g的照光前溶氧量都較其他實驗組高，與實驗五結果相同。
5. 同實驗五小結 5，三種環境下配方水+尿素5g的兩來菇顏色比新鮮的及其他配方的兩來菇還要黃，看起來較透明，且變化程度依照強光組、弱光組、無光組遞減，如圖十七所示。
6. 在實驗一~六中採架鐵網半乾半溼的養殖方式，我們發現兩來菇部分泡水的地方呈現泥狀的情形，其中又以無光環境下最明顯。所以我們決定改進養殖方式，在鐵網上鋪上不織布，將兩來菇放在不織布上避免直接泡水，兩來菇也可透過不織布吸取溶液中的水分與營養素。

#### 九、實驗七：（碳氮源、一週、精進養殖方式）

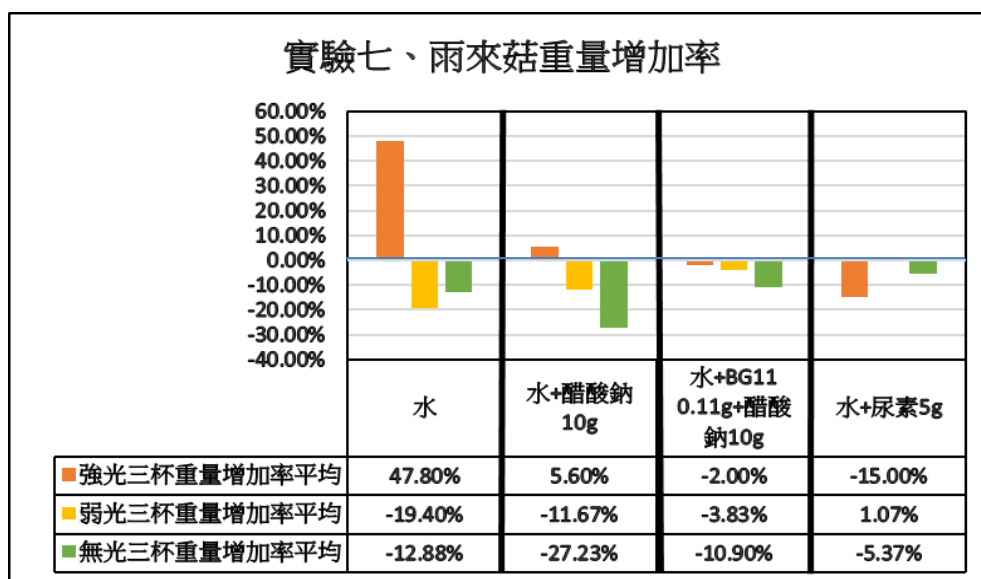
##### （一）說明：

1. 依實驗五小結 1、實驗六小結 1 配方水+尿素5g有助於兩來菇在無光下生長，故為實驗七的配方之一。
2. 依實驗六小結 3，水+BG11+醋酸鈉10g作為實驗七的配方之一。
3. 承上，在實驗一實驗結果中配方水+醋酸鈉10g在無光下重量增加率高於配方水，此配方也可做為水+BG11+醋酸鈉10g的對照組，故水+醋酸鈉10g作為實驗七的配方之一。
4. 依實驗六小結 2 縮短養殖時間為一週。
5. 依實驗六小結 6 改變養殖方式。
6. 測量水中溶氧量(照光 1.5 小時之照度為80000 lux)。

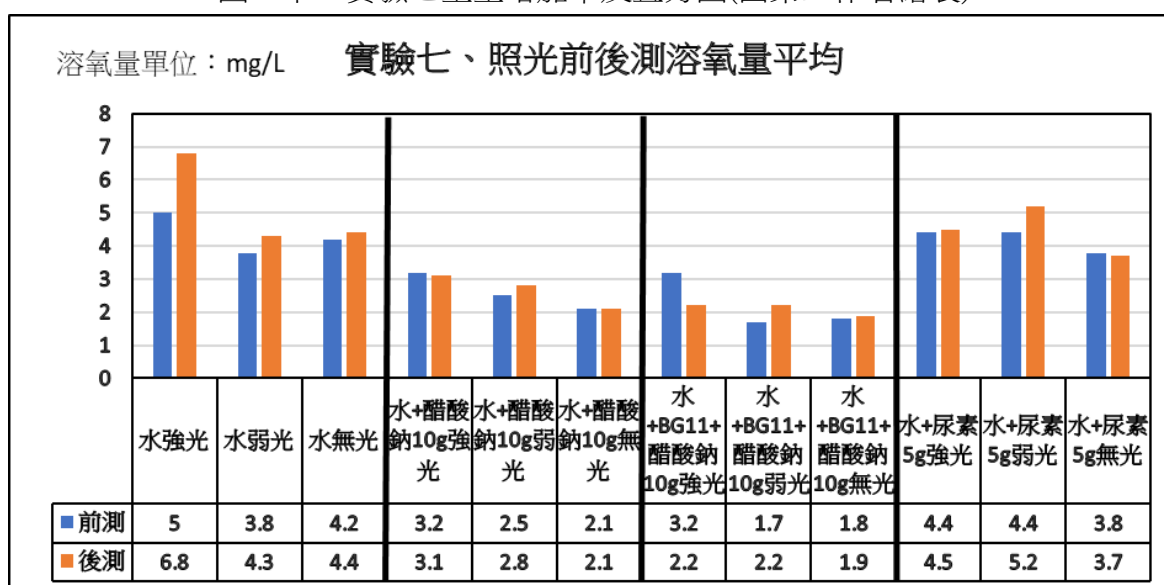
##### （二）養殖條件：

1. 養殖時間：一週。
2. 氣溫範圍：一週中最低溫至最高溫之範圍 13~28 度。

(三) 強光、弱光、無光實驗結果



圖二十、實驗七重量增加率及直方圖(由第三作者繪製)



圖二十一、實驗七溶氧量及直方圖(由第三作者繪製)

(四) 強光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的為水，我們認為在強光下正常光合作用即可，添加營養素沒有明顯幫助生長。
2. 承上，重量增加次多的為水+醋酸鈉10g，但遠不及水的養殖結果。
3. 重量減少最多的配方為水+尿素5g，與我們在實驗五、六的結果相同，我們認為尿素在強光中並不會幫助兩來菇生長，還可能抑制生長。
4. 照光前溶氧量以水最高，其次是水+尿素5g，顯示光合作用穩定。照光 1.5 小時後溶氧量只有水有明顯上升，添加碳源的兩組水中溶氧量反而下降了。

(五) 弱光下實驗結果討論

1. 重量增加最多的配方為水+尿素5g，與實驗五結果相符。雖與實驗六結果相異，但實驗六配方水+尿素5g的重量增加率接近於水，故我們還是認為水+尿素5g有助於兩來菇在弱光下生長。

2. 重量減少最多的為水，但與實驗一結果相異，兩者最大差異在於溫度，實驗一有到 30 度，可能對雨來菇有生長較有助益；另推測在弱光下雨來菇應需添加碳氮源以維持生存。
3. 照光前溶氧量以水+尿素5g為最高，還高於水。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多的是配方水+尿素5g。在弱光環境養殖的雨來菇溶氧量在照光 1.5 小時後溶氧量數值甚至較強光環境養殖的為高。

#### (六) 無光下實驗結果討論

1. 重量減少最少的配方為水+尿素5g，此結果與實驗五和實驗六相同，我們認為添加尿素有助於雨來菇在無光下存活。在文獻十三中說明若添加氮源在強光下會抑制藍綠菌生長，而弱光或無光下氮源可形成藻膽蛋白提供自己捕捉光能或儲存蛋白質使用，使其生存，推測此為在無光和弱光下雨來菇重量增加較強光時為佳的原因[13]。
2. 重量減少最多的為水+醋酸鈉10g，約為對照組水的兩倍，實驗一時此配方和對照組差異不大，除了實驗期間氣溫較低之外，我們由實驗二結果和本實驗的水+BG11+醋酸鈉10g結果發現，醋酸鈉若搭配 BG11 在弱光環境下會提升雨來菇的重量增加率，而單獨使用卻沒有幫助雨來菇生長，因此推測無光環境下雨來菇無法行光合作用時，應需要碳源協助代謝，而以醋酸鈉作為碳源還需搭配其他微量元素使用（BG11 中有提供）。
3. 照光前溶氧量以水最高，其次為水+尿素5g。照光 1.5 小時後溶氧量皆沒有明顯上升。另外無光時配方水+尿素5g是否可能因氮源用完，進入衰退狀態而導致溶氧量無明顯上升[15]。

#### (七) 小結

1. 依上述討論，我們認為在強光下無須添加營養素，以水養殖即可。但在弱光和無光下以配方水+尿素5g對雨來菇的重量增加、維持情況較佳。
2. 承上，同實驗五小結 1、實驗六小結 1，配方水+尿素5g有助於雨來菇在無光下生長，較對照組水的重量增加率高 7~8%。
3. 實驗七在鐵網上鋪不織布的養殖方式更適合弱光組和無光組，不會讓雨來菇產生泡在水中的游離現象。但是在強光下由於光照強烈、蒸發量也較大，未接觸到不織布的雨來菇邊角有乾掉的現象。
4. 添加BG11+醋酸鈉10g在弱光和無光下有助雨來菇生長，但效果不如添加尿素5g。
5. 照光前測得溶氧量最高者在強光和無光組是水（對照組），在弱光組溶氧量最高者為配方水+尿素5g。照光 1.5 小時後溶氧量增加最多者在強光組為水（對照組）、弱光組為配方水+尿素5g，無光組皆無明顯上升。由配方水+尿素5g在弱光組溶氧量的增加，可知添加尿素有助於雨來菇生存。
6. 承上，如實驗二小結 6 所述理論上照光前溶氧量會依強光組、弱光組、無光組遞減，但於圖二十一看不出這種趨勢。
7. 承上，其中三種環境下水+尿素5g的照光前溶氧量皆偏高，而且照光 1.5 小時

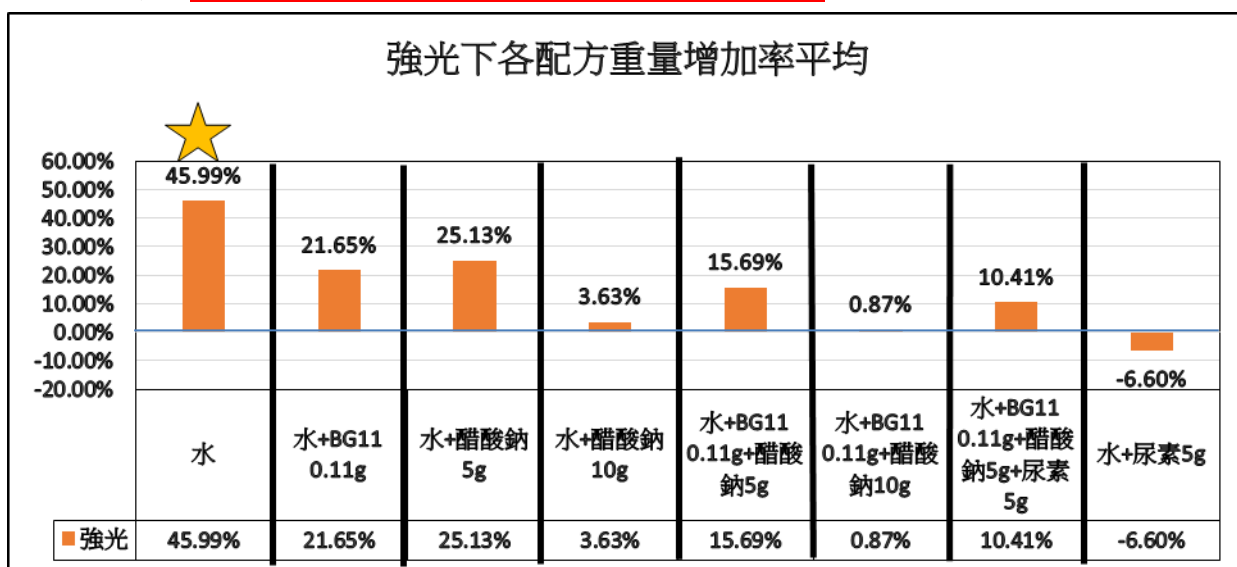
後溶氧量變化不大，同實驗五小結 4。

- (1)弱光時，添加尿素可能有助雨來菇合成光合作用酵素，又文獻中提到藍綠菌有一種碳捕捉機制可儲存二氧化碳[1]，故推測添加尿素可使雨來菇提高光合作用效率，因此照光1.5小時後溶氧量數值甚至較強光環境養殖的溶氧量為高。
  - (2)無光時，添加尿素可能使蛋白質充足，細胞不需自行固氮，所以減少耗氧。另外，無光下養殖後的雨來菇顏色較強光和弱光組深，我們推測其葉綠素可能分解較少，此現象也會減少耗氧，因此照光後溶氧值較其他配方高。
8. 同實驗五小結 5、實驗六小結 5，三種環境下配方水+尿素5g的雨來菇顏色比新鮮的及其他配方的雨來菇明顯偏黃，看起來較透明、透光，且變化程度依照強光組、弱光組、無光組遞減，如圖十七所示。根據文獻所述藍綠菌的葉綠素和藻藍蛋白為其呈現藍綠色原因，在強光下鹽澤螺旋藻兩者可能會減少，但其藻藍葉黃素會倍增，而雨來菇添加尿素強光下呈現黃色也可能是因為藻藍蛋白減少或藻藍葉黃素增加所致[12]。

## 陸、討論

### 一、強光下各配方重量增長之討論

- (一)此環境下，水的平均重量增加率為最高，在加入營養素後，並不會幫助雨來菇生長，甚至會抑制生長。
- (二)在文獻十二中提到，在正常光照下，混合營養養殖時加入碳源(葡萄糖)會使螺旋藻產生遲滯期 200 小時，在該期間生長速率會變慢[12]。我們認為雨來菇可能也有此現象，因此強光下加入醋酸鈉或BG11不利於雨來菇生長。
- (三)水+尿素 5g 為配方時，雨來菇重量減少的原因可能如文獻十三所述，螺旋藻在正常光照下，加入過量尿素大於 0.25g/L 可能會抑制生長[13]。

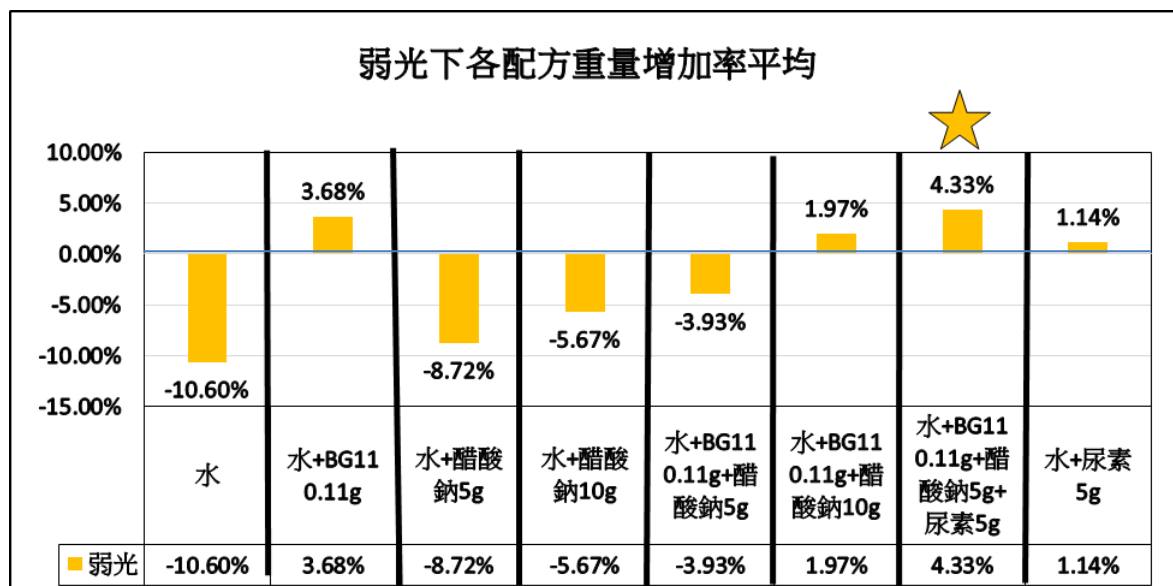


圖二十二、強光環境下各配方重量增減結果(由第三作者繪製)

### 二、弱光下各配方重量增長之討論

- (一)此環境下，重量增加最多的配方為水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g+尿素5g，其次為水+BG11 0.11g、水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g、水+尿素5g，我們認為這四種配方皆有助於雨來菇生長存活。

- (二)BG11為一種低碳源藍綠菌培養液，需有光源下才可協助固碳。另BG11內有碳源、氮源及微量元素，而醋酸鈉只有碳源，所以單獨添加可能助益較少，缺少BG11重量增加下降 5~6%，見圖二十三。只要有添加醋酸鈉的配方，在弱光時重量增加平均為醋酸鈉10g比5g好，不確定是否加入越多醋酸鈉效果會越好，因為碳源提供對植物生長重要，在光合作用效率不足情況下，混和營養養殖可以確保雨來菇生長，在文獻中說混合營養提供的碳源會優先被使用，在一公升溶液中添加 1g 葡萄糖 80 小時後使用完畢，但混合營養可能會有生長遲滯期 200 小時問題[12]，所以碳源提供可協助生長維持，但是生長遲滯期可能使雨來菇生長不如強光時雨來菇自營生長還快。
- (三)依照文獻十四所述，添加尿素重量增加率表現較好的原因可能是因其可以有助於藻膽蛋白形成(藻藍蛋白等色素)，而藻膽蛋白會幫助光線吸收，藉此提高光合作用效率，提供足夠能量[14]，因此弱光時添加尿素重量增加率較無光時多12%，且同配方重量增加率弱光時也較強光時佳，見圖二十三、二十四。
- (四)水（對照組）在弱光下為重量減少最多的，弱光組在混和營養培養時添加營養素之配方皆比水好，我們認為在弱光下光合作用可能無法提供足夠能量給雨來菇生長而增加重量，反而會因細胞行呼吸作用耗氧，若營養不足則會分解細胞色素或細胞本體而使重量減少。



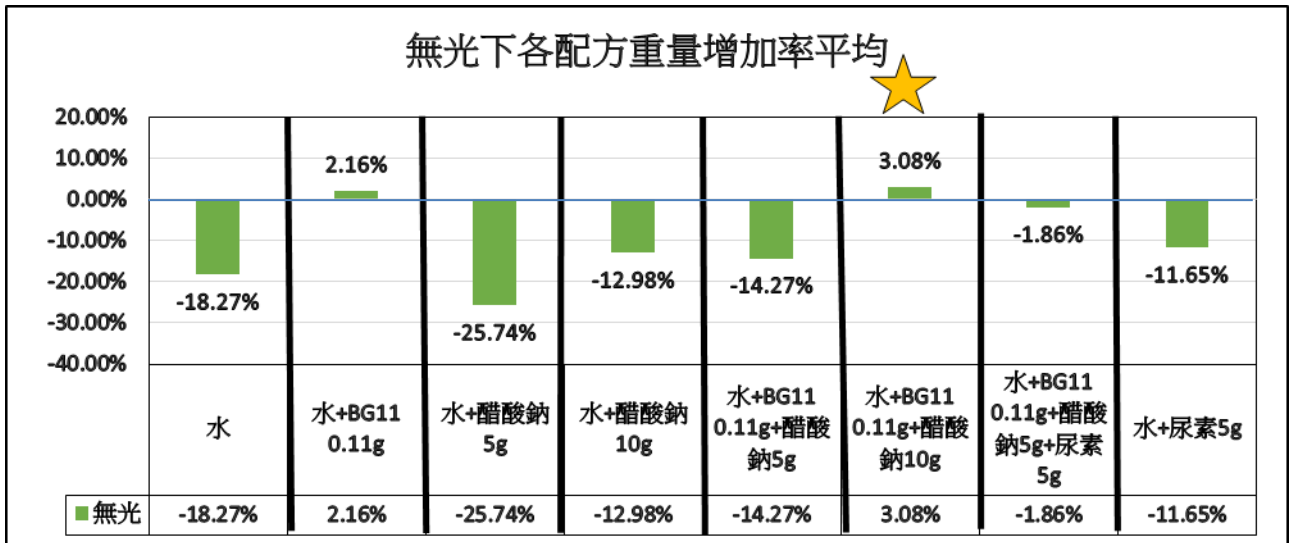
圖二十三、弱光環境下各配方重量增減結果(由第三作者繪製)

### 三、無光下各配方重量增長之討論

- (一)依平均數據來看，最好的配方為水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g，其次為水+BG11、水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g，但三種配方皆有兩次實驗數據，實驗二中三者皆增加、實驗五中後兩者皆減少，所以BG11及醋酸鈉搭配有助於無光是可以確定的。
- (二)醋酸鈉提供碳源有其重要性，但單純添加醋酸鈉可能在無光環境下養分還不夠，因此需要搭配BG11(有微量碳源、氮源及微量元素提供)，BG11+醋酸鈉相較單獨使用相同克數醋酸鈉重量增加高達 10~15%，見圖二十四。
- (三)實驗五小結 1、實驗六小結 1 及實驗七小結 2 中，配方水+尿素 5g 有助於雨來菇在無光下生長，較對照組水的重量增加率高 7~8%，另外前測二重量增加率更是比對照組水高了50%左右。由此可知，水+尿素5g的結果幾乎在每次實驗皆為減少最少或



增加最多的，結果相對可靠。但在實驗六的兩週培養時間重量下降 22%，導致最後重量增加率總平均數值拉低，我們認為氮源5g可能不足以支撐兩週雨來菇的生長，所以分解葉綠素、碳基養份或細胞本體，使重量下降較多，扣除實驗六的數據，則重量增加率總平均可排名前三，因此我們認為此配方在無光下有較佳效果。



圖二十四、無光環境下各配方重量增減結果(由第三作者繪製)

#### 四、三種環境下水中溶氧量之討論

- (一) 我們認為在強光下溶氧量增加很多，可能是因為雨來菇的光合作用效率很好，因此白天照光時產生氧氣使溶氧量持續上升。
- (二) 我們推測無光下的雨來菇可能以添加的營養素協助代謝，細胞產氧的光合作用暫時休眠，只進行耗氧的呼吸作用，因此從暗箱取出時測得的照光前溶氧量較低，而且照光1.5小時其光合作用機制可能尚未恢復或是呼吸作用和光合作用同時提升速率導致耗氧和產氧量幾乎相等，故無光下雨來菇照光溶氧量變化較少。
- (三) 弱光組的溶氧量變化通常較無光組大，我們推測弱光下混合營養培養的雨來菇可能以添加的碳源進行後段光合作用反應，因此測得光反應產生的氧氣量相對較少。但照光1.5小時後因為光合作用恢復正常進行，產氧量提高，因此溶氧量變化相對無光組為高。此外，對照組水在弱光環境下沒有添加營養素，雖然照光後溶氧量也增加，但溶氧量變化會較實驗組還少。
- (四) 我們發現有加入BG11和醋酸鈉溶液水中溶氧量幾乎都較低，有可能是在此配方下，營養素已提供了足夠的養分，雖然可能會進入混合營養培養的生長遲滯期而使強光下重量增加不及水的自營培養[12]，導致三種光源下光合作用效率相對較差，然而呼吸作用仍持續正常進行，所以耗氧較多，溶氧較低。
- (五) 尿素為氮源，添加尿素有助合成蛋白質，而且又因添加氮源不須細胞自行固氮作用減少利用氧氣，所以耗氧量較少，因此添加尿素後水中溶氧值皆較高。

#### 五、前測二~實驗二 pH 值之討論

- (一) 在前測二、實驗一、實驗二中都觀察到酸鹼值對雨來菇質量的增長沒有直接關係，且透過實驗一、實驗二發現主要使 pH 值發生變化的原因為營養素，或雨來菇與營養素的交互作用，因為酸鹼值與重量增加沒有直接相關，所以後續實驗就不測pH值。
- (二) 文獻中說明雨來菇在鹼性環境下生長較佳[16]，根據這三次實驗測量發現我們選擇

添加營養素的溶液(BG11、醋酸鈉及尿素)皆呈現弱鹼性，不用進行溶液酸鹼調整。

## 六、養殖方式討論

(一) 前測一小結 2 說明片狀培養較適合，根據文獻所示認為大於 2 公分的雨來菇才是成熟[11]，與我們前測一雨來菇不能磨碎養殖的結果相同，為避免浸泡水中使雨來菇不容易形成膠質，甚至使雨來菇游離至水中，但又要方便營養素提供，故以燒杯加鐵網架高培養[17]。

(二) 實驗七小結 3 我們嘗試更有利於弱光及無光的不織布架高養殖方式，使雨來菇與不織布接觸，不織布協助吸收燒杯中營養素且避免直接浸泡在水中。但在強光下不適合此養殖方式，雨來菇容易被曬乾或因溶液蒸發速度過快而吸收不到，而弱光及無光蒸發量就相對較小，因此適合此養殖方式。

## 柒、結論

- 一、添加營養素水耕養殖雨來菇時，強光下雨來菇適合架鐵網半乾半溼養殖，弱光及無光下適合架鐵網、鋪上不織布養殖。
- 二、強光下不需添加營養素，僅需加水，以光合作用自營方式生長，添加營養素會有混和營養導致的生長遲滯期甚至抑制生長。
- 三、弱光下重量增加最多的為配方水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g+尿素5g，其次為水+BG11 0.11g、水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g、水+尿素5g，皆較以水培養還好，顯示弱光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 四、無光下重量增加最多的為配方水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g，其次為水+BG11 0.11g、水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g+尿素5g、水+尿素5g，皆較以水培養還好，顯示無光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 五、我們認為醋酸鈉必須搭配BG11才有較佳效果，尿素5g可能只夠一週的養分所需。

## 捌、未來展望

- 一、本次實驗以養殖雨來菇為主，可以使用其他藍綠菌品種或植物進行培養，找到無光或弱光時可能最佳的營養素配方及添加量。
- 二、本次實驗以一週為主，雖然嘗試兩週養殖藍綠菌，但是BG11、碳源及氮源的需求量需要進一步調整，希望未來能改善弱光及無光環境的水源供應，拉長養殖時間至一個月，試著找出不同時間和營養素添加量的比例關係。
- 三、希望未來能在無光環境下以鐵網搭配不織布，放大雨來菇的養殖量，進一步確認營養素對雨來菇的光合作用產氧量及生長的關係。

## 玖、參考資料

- 一、許大全、陳根云（2018）。展望人工光合作用。中國科學院上海生命科學研究院植物生理生態研究所光合作用與環境生物學實驗室。
- 二、技術一再突破，在無光環境亦可以光合作用。2022 年 6 月 27 日。取自 <https://qooah.com/2022/06/27/the-technology-has-made-breakthroughs-again-and-again-and-photosynthesis-can-also-be-performed-in-a-dark-environment/?fbclid=IwAR1vLJ7u4AHof5HvQSfGo h-YFQ7yF7el2A7egJQl6VJUaeqJcs6ZpkCnvrM>

- 三、科學家在地底發現藍綠菌，為何和尋找火星生命有關？2018 年 10 月 9 日，取自  
<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-6385.html>
- 四、商廣明 (2011)。耐熱藍綠菌光反應的特殊保護機制—狀態變遷。美國第 62 屆國際科技展覽會
- 五、國際植物營養研究所。肥料品種簡介。取自  
[http://www.ipni.net/publication/nss-cn.nsf/0/0F23188FF4E4902D852579C10048703D/\\$FILE/NS\\_S-ZH-01%20%E5%B0%BF%E7%B4%A0.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-cn.nsf/0/0F23188FF4E4902D852579C10048703D/$FILE/NS_S-ZH-01%20%E5%B0%BF%E7%B4%A0.pdf)
- 六、陳思帆、陳宗赫 (2018)。水中的生質能 ----- 海藻的油脂探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
- 七、人工光合作用獲突破，植物可在無光環境中生長。2022 年 07 月 02 日，取自  
<https://www.epochtimes.com/b5/22/7/2/n13771758.htm>
- 八、張時雨 (2004)。碳源對藍綠菌 *Anabaena* ch1、ch2、ch3 光合產氫能力影響之研究。中興大學環境工程學系。
- 九、黃國領 (2016)。雨來菇栽培技術改進。國立屏東科技大學農園生產系所。
- 十、台灣肥料股份有限公司。尿素。取自  
<https://www.taifer.com.tw/ProductDetailC003210.aspx?Cond=e450e48d-f368-44b5-bc57-c55ecaa71410>
- 十一、離開土壤更潔淨雨來菇的無土栽培技術。2020 年 5 月 13 日，取自  
<https://www.agriharvest.tw/archives/37668>
- 十二、曾文盧(2002)。螺旋藻的營養方式及光合作用影響因素。植物學報。
- 十三、翁婉琳(2008)。探討碳氮源於螺旋藻生長及葉綠素、藻藍蛋白產量之影響。國立中興大學化學工程學系所。
- 十四、藍細菌 *Cyanobacteria* 百科全書、科學新聞和研究評論。取自  
<https://academic-accelerator.com/encyclopedia/zh/cyanobacteria>
- 十五、陳志義(2013)。探討使用螺旋藻開發微生物光合燃料電池之可行性。修平學報 102 期。
- 十六、李敦海、劉永定 (2008)。近十年中國地木耳研究概況。水生生物學報。27(4): 408-412。  
<http://ssswxb.ihb.ac.cn/article/id/d4802eb4-44ac-4182-8177-b07cf0a9f564>
- 十七、嚴小軍、周成旭、駱其君、王亞軍、趙麗娟、蔣瑩(2011)。一種地木耳的簡易培養方法及培養裝置。發明專利。中華人民共和國國家知識產權局。
- 十八、許大全 (2006)。光合作用測定及研究中一些值得注意的問題。中國科學院上海生命科學研究院植物生理生態研究所。

## 【評語】 030314

1. 研究主題：本研究探討在無光或弱光環境下，透過添加不同配方的營養素來促進雨來菇的生長。結果顯示，添加碳源和氮源可以顯著提高雨來菇的生長速度，特別是在無光條件下，BG11 等碳源和氮源是必要的。
2. 創意、學術或實用價值：詳細記錄雨來菇在無光和弱光環境下的生長條件。研究結果的實用價值應標準化後找出最低成本之最高生長，以利生產使用。就現有成果在無光情況下雨來菇無法生長，除非提供 BG11 等碳源及氮源。研究成果可能有助於商業生產之應用價值。
3. 科學方法之適切性：研究方法整體適當，部分方面具改進空間。例如，樣本量偏小可能影響結果的普適性。數據收集和統計分析方法可，但缺標準差且缺乏長期觀察，無法確定結果的穩定性和可重複性。以下有幾點建議：1) 強弱光的定義不明確，是否每天可以維持相同的光強度及光照時間應該要加以控制，否則影響到實驗的精準性。2) 如果要在陽台使用，需要控制每日光照時間；3)

報告中對不同營養配方下雨來菇的生長情況進行數值紀錄與平均值計算，對未標註標準偏差，數值結果包括重量增加率、溶氧量 and pH 值等。4) 數值統計分析以平均值顯示，組內與組間缺少顯著性分析，無法了解組間是否呈現顯著性。5) 討論部分為實驗結果的延伸，缺乏與其他相關研究結果的比對與比較，限制研究結果的廣泛應用和理解。6) 雨來菇在無光情況下可以存活多久，感覺可以進行持續性研究。

4. 展示及表達能力：報告的展示條列清楚。報告中對不同營養配方案下雨來菇的生長情況進行數值紀錄與平均值計算，但未標註標準偏差，數值結果包括重量增加率、溶氧量和 pH 值等。



## 作品簡報

# 暗地裡的情人淚

藍綠菌的無光養殖大揭密



## 摘要

本實驗希望能透過添加不同配方的營養素來幫助兩來菇在無光或弱光的環境下生存。實驗結果發現：

- 一.我們以水耕法添加營養素養殖兩來菇，強光下雨來菇適合架鐵網半乾半溼養殖，弱光及無光下適合架鐵網、鋪上不織布養殖。
- 二.強光下不需添加營養素僅需加水，以光合作用自營方式生長，添加營養素會有混和營養導致的生長遲滯期甚至抑制生長。
- 三.弱光下重量增加最多的為配方水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g，其次為水+BG11、水+BG11+醋酸鈉10g、水+尿素5g，顯示弱光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 四.無光下重量增加最多的為配方水+BG11+醋酸鈉10g，其次為水+BG11、水+BG11+醋酸鈉5g+尿素5g、水+尿素5g，顯示無光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 五.在弱光及無光下，我們認為醋酸鈉必須搭配BG11才有較佳效果，尿素5g可能只夠一週的養分所需。

## 研究動機

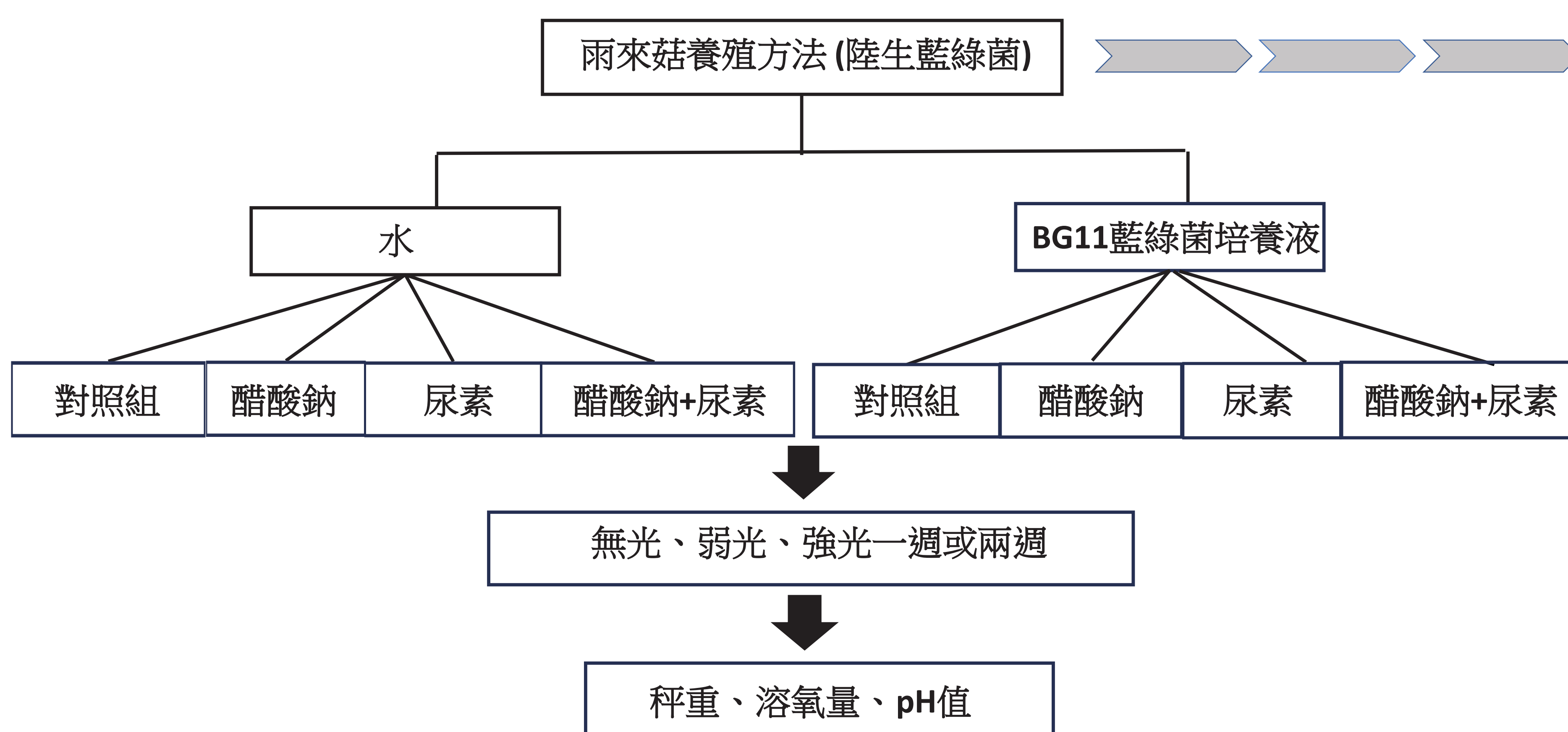
我們在網路上看到了一篇關於人工光合作用和一篇透過加醋酸鹽使植物、綠藻或真菌在無光狀態下可持續生長的文章令我們感到驚訝[1][2]，在國一生物的課程裡提到植物生存的必要條件之一就是陽光，無光養殖超出了我們的認知範圍。因此，我們對這個議題非常感興趣。至於要用什麼植物來研究又難倒了我們，查詢資料後發現有科學家在地底發現藍綠菌[3]，一種原始又簡單的生物，但是如何取得以及品種選用又是個大問題。後來發現菜市場中就可以買到的一種藍綠菌——兩來菇，以它作為實驗對象。接著我們查詢常用的營養素，實驗過程我們以各種配方養殖兩來菇，並觀察它在強光、弱光、無光三種環境的生長情形，想讓無光或弱光環境的兩來菇可以與強光環境的生存生長相媲美。

## 研究目的

- 一.探討兩來菇以水耕添加營養素的養殖方式。
- 二.探討兩來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11(專門給藍綠菌的培養基)、醋酸鈉、尿素，對其生存、生長情形的影響。
- 三.探討兩來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11+醋酸鈉、醋酸鈉+尿素、BG11+尿素，對其生存、生長情形的影響。
- 四.探討兩來菇在強光、弱光、無光下，添加BG11+醋酸鈉+尿素，對其生存、生長情形的影響。

## 實驗流程及方法

- 一.實驗架構、裝置圖及強光弱光無光環境圖(由第二作者繪製)



圖一、實驗架構圖

兩來菇介紹：

學名：Nostoc commune

俗名：地木耳、情人淚

品種：葛仙米藻

特徵及習性：

- 1.會形成膠質，並吸收水分，膠質呈片狀。
- 2.顏色呈藍綠色至黑褐色。
- 3.沒有葉綠體，但有能行光合作用的葉綠素，也可行固氮作用。
- 4.適合生長在中性至微鹼性的環境。
- 5.栽培時需要有足夠的水分，但不宜澆水，建議栽培溫度為25~30°C。
- 6.夏季栽培一個月後即可採收，冬季因溫度低將延長到1.5~2個月可採收。



圖二、實驗一~六裝置(由第二作者拍攝)



圖三、實驗七裝置(由第二作者拍攝)



圖四、強光環境(由第二作者拍攝)



圖五、弱光環境(由第一作者拍攝)

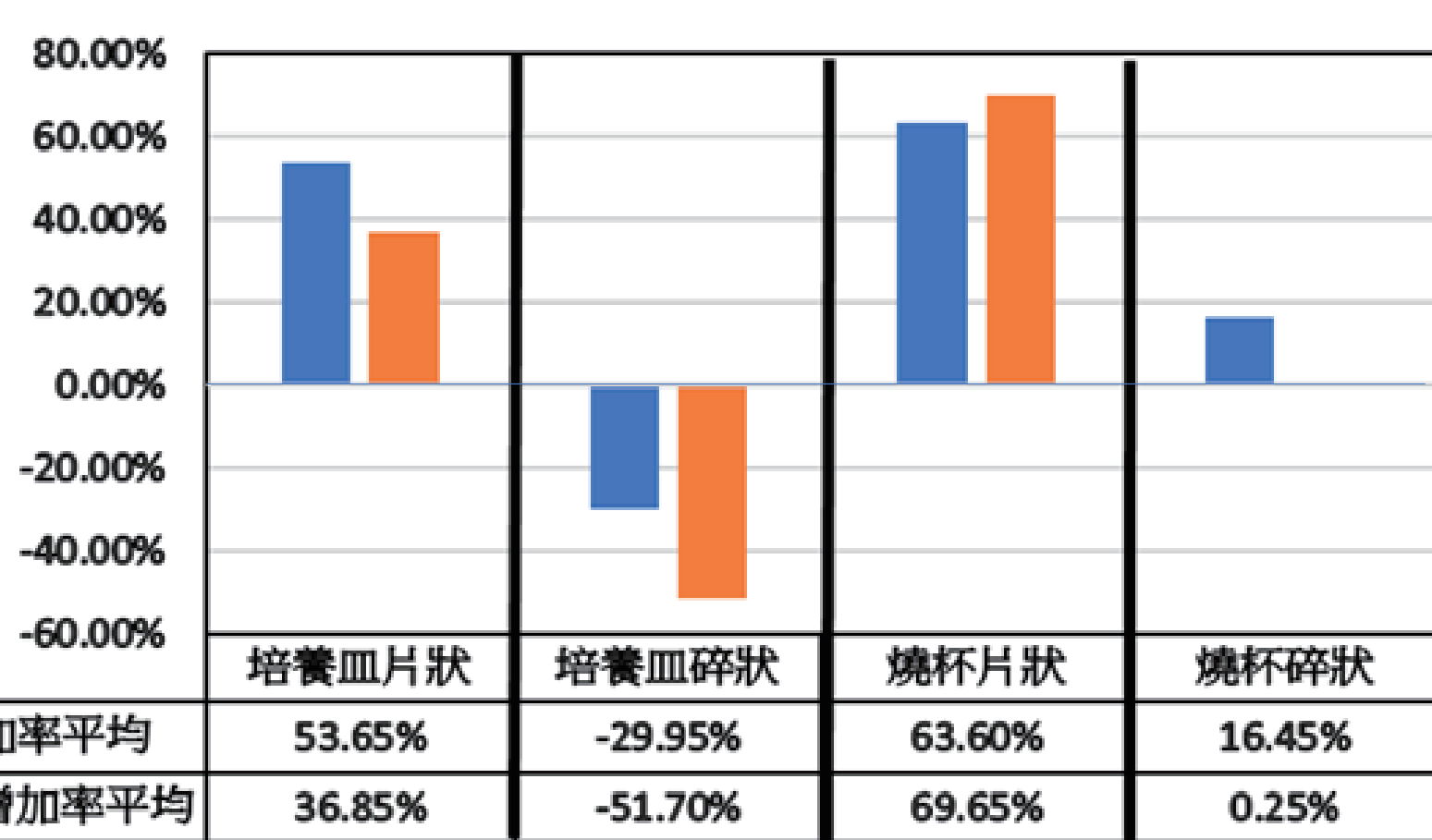


圖六、無光環境(由第二作者拍攝)

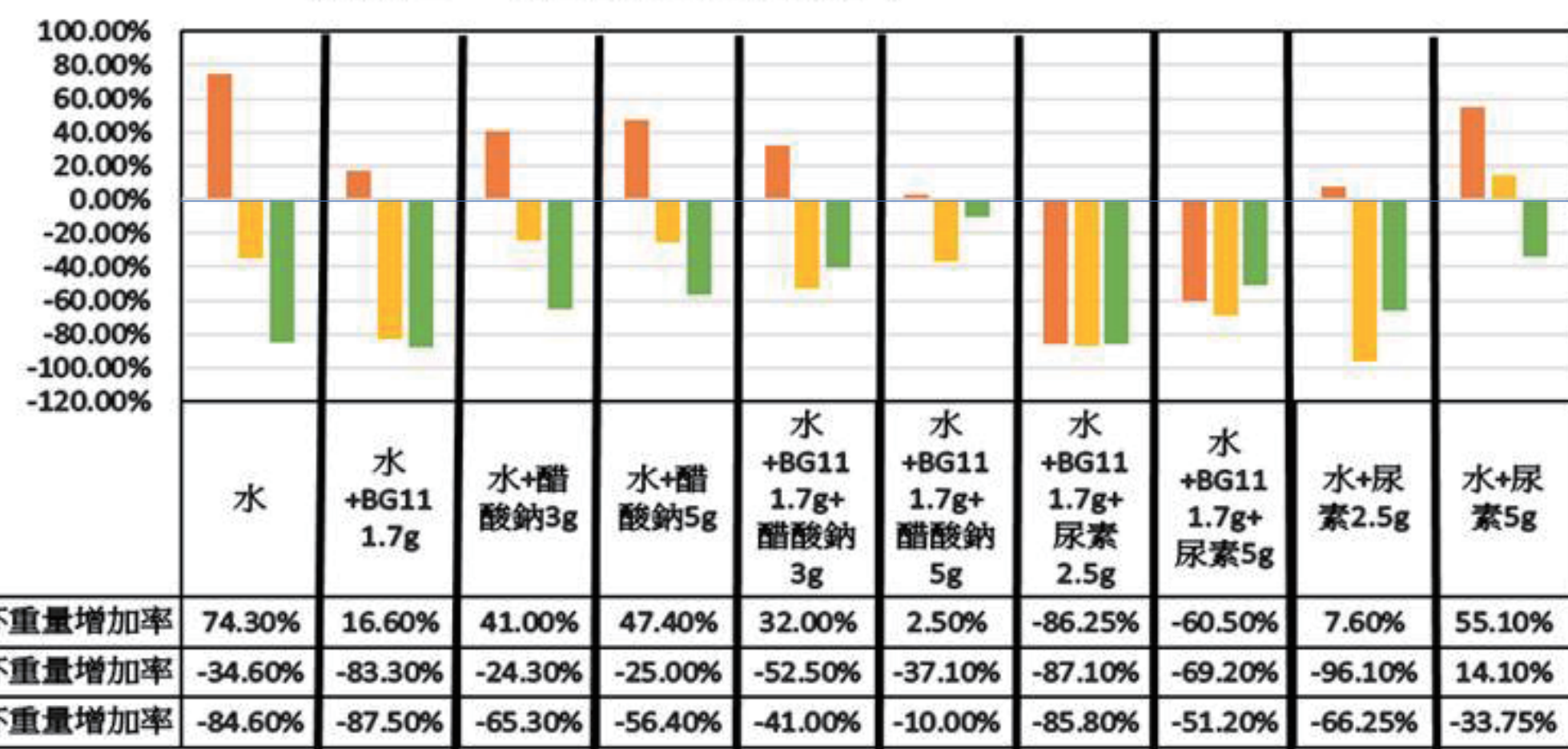
## 實驗結果

前測一(養殖方式試驗、一週)(下圖由第三作者繪製) 前測二(藥品配方試驗、兩週)(下圖由第三作者繪製)

前測一、兩來菇重量增加率



前測二、兩來菇重量增加率



一.前測一小結：

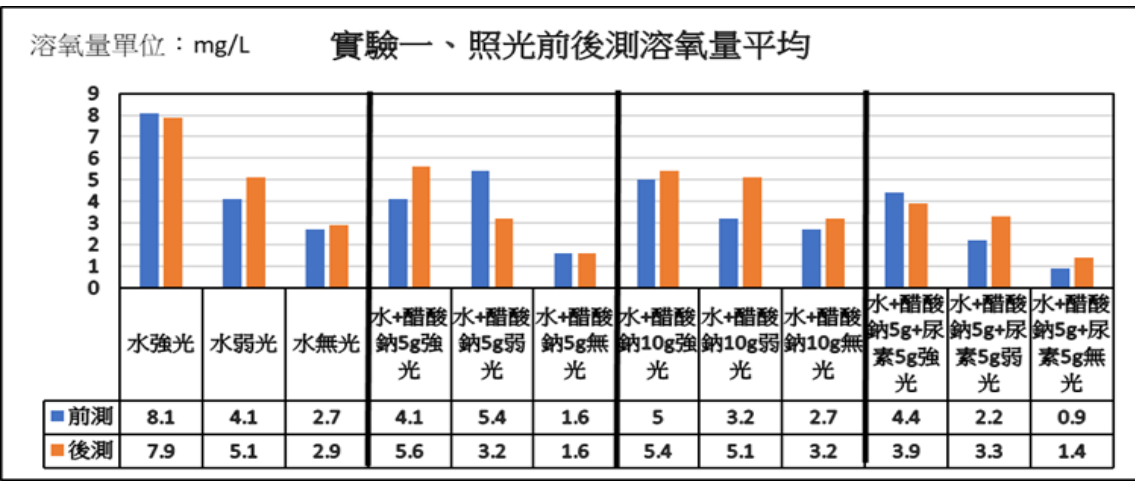
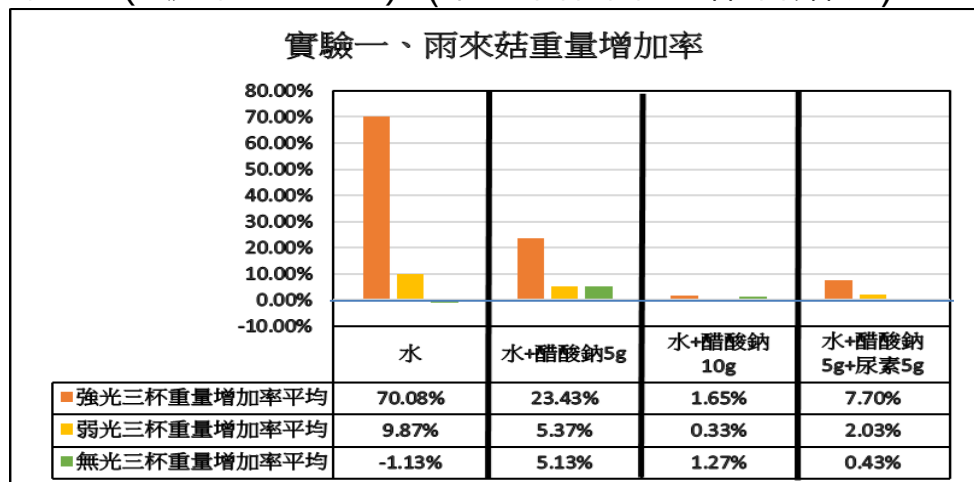
在兩種環境下燒杯片狀養殖的兩來菇重量皆有增加，且比培養皿片狀的重量增加來的多，故後續的實驗選用燒杯片狀做為養殖方式。此外，依實驗需求我們使用陽台作為接下來的實驗環境。

二.前測二小結：

- 1.強光下重量增加最多的為水，在此環境下添加營養素可能無助於甚至會抑制生長，且以下實驗中都呈現相同情況。
- 2.水+尿素5g在三種環境下的生長情況較對照組以外的配方好，另外在弱光下除尿素外以水+醋酸鈉的生長情況較佳，無光下以水+BG11+醋酸鈉5g的生長情況為最佳，故實驗一、二、三使用上述配方為基底進行實驗。
- 3.此實驗中有許多兩來菇變為泥狀，為確認其是否存活且可行光合作用，決定後續實驗將測量照光前後的水中溶氧量，且參考文獻四和五將養殖方式改為架鐵網半乾半溼，避免浸水太久[4][5]。

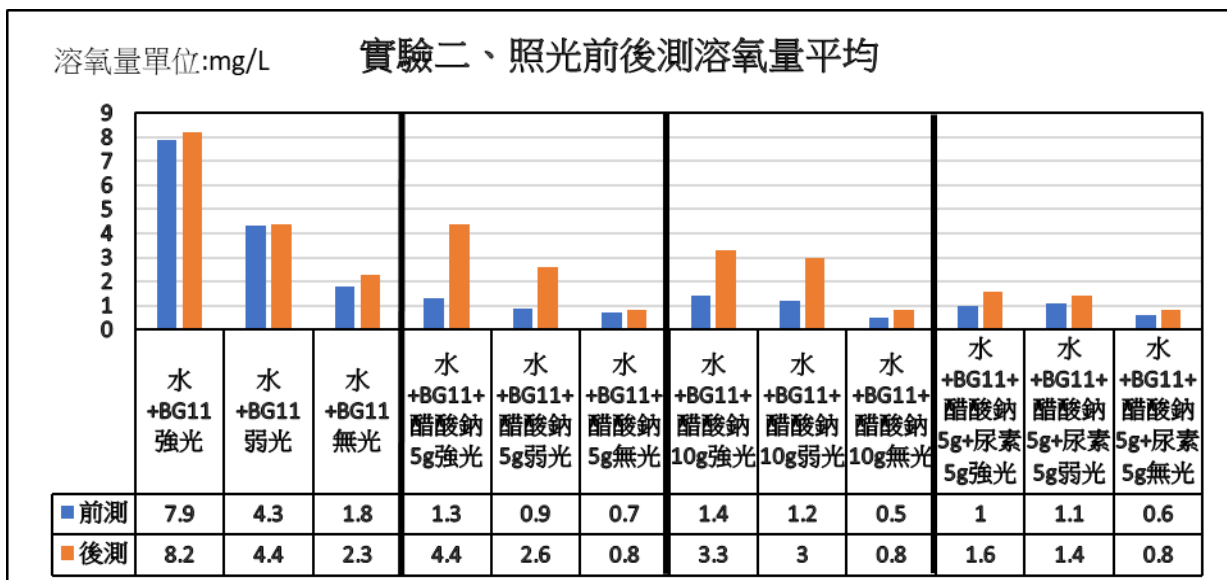
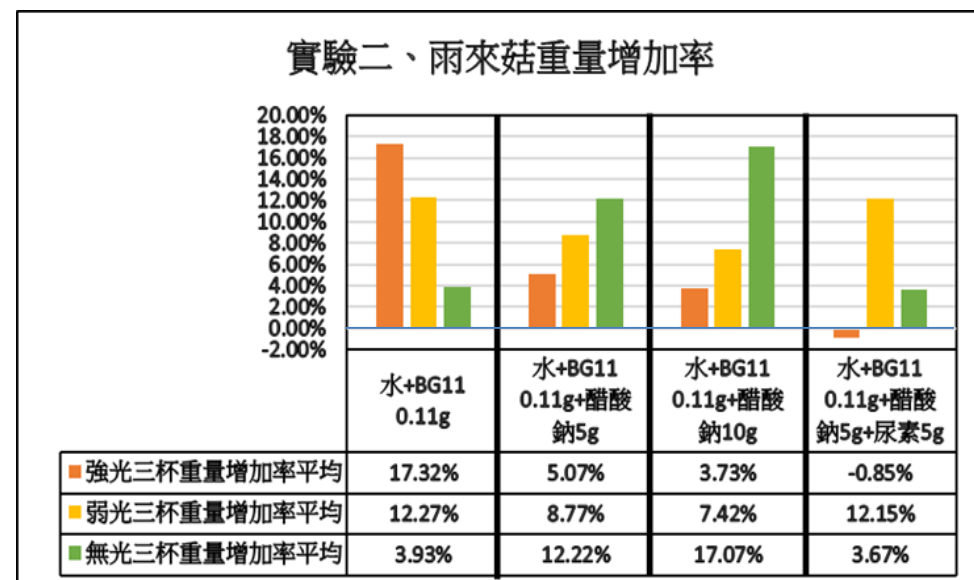


實驗一 ( 碳源、一週 ) (下圖皆由第三作者繪製)



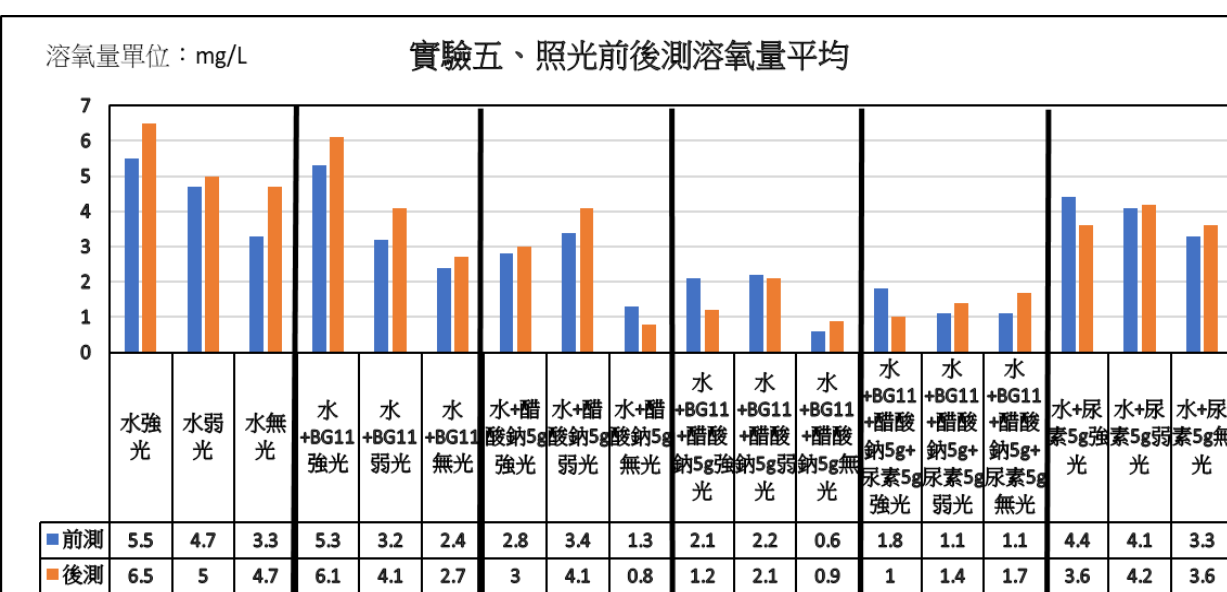
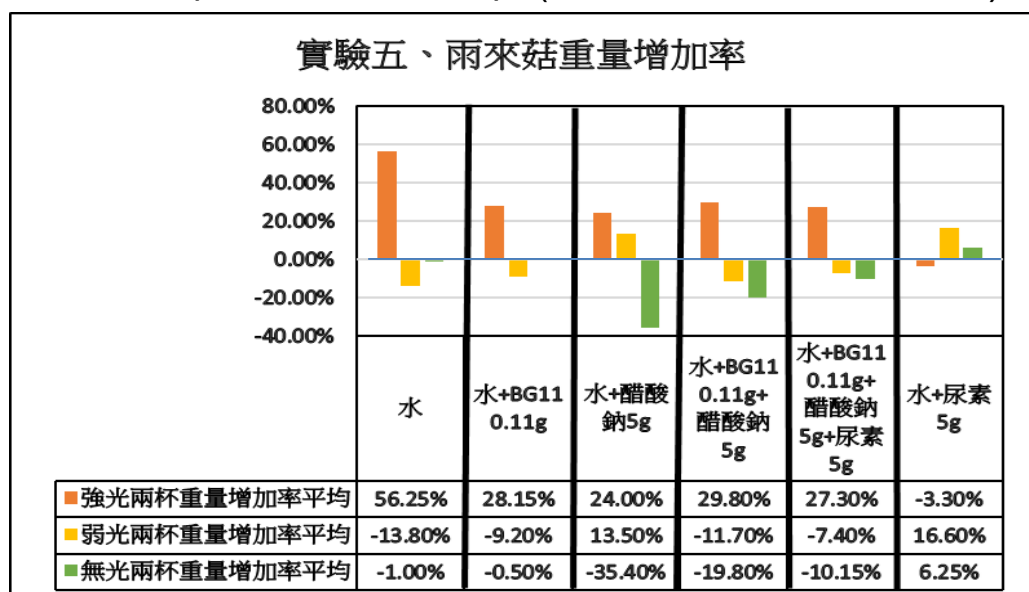
- 綜合弱光及無光重量增加率之結果，我們認為水+醋酸鈉5g有較佳的效果，且水+醋酸鈉5g在三種環境下的生長情況皆比水+醋酸鈉10g好。
- 依圖所示，大部分配方之照光後溶氧量有增加，說明兩來菇仍可行光合作用，且接下來大部分實驗有此現象。

實驗二 ( 碳源、一週 ) (下圖皆由第三作者繪製)



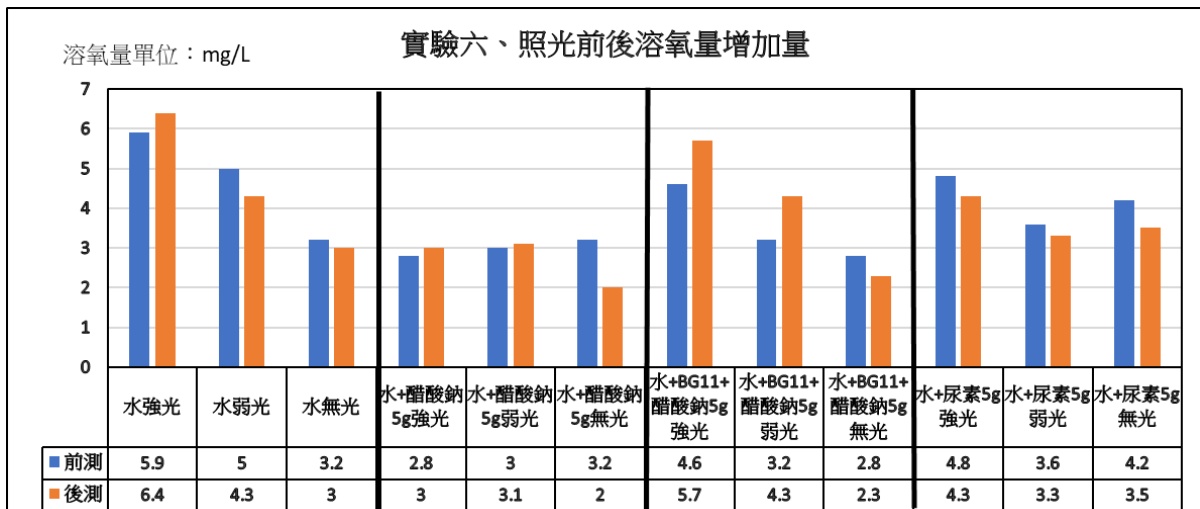
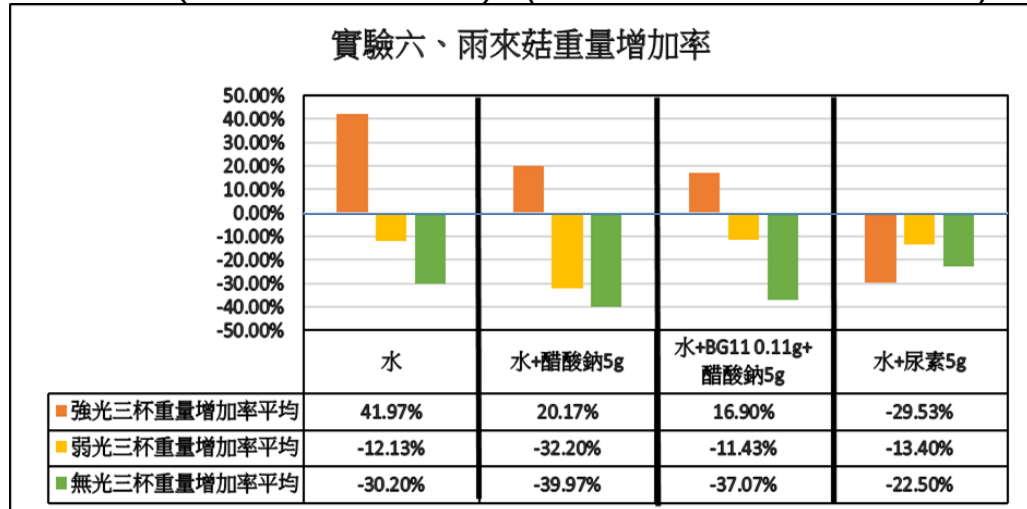
- 無光下以水+BG11+醋酸鈉10g的生長情況為最佳，但與水+BG11+醋酸鈉5g的增加量相差不大，考量經濟效果，實驗五選用醋酸鈉5g。
- 水+BG11+醋酸鈉5g及10g在無光環境下與對照組水+BG11相比重量增加率高8~13%以上，比實驗一的水+醋酸鈉5g及10g增加得多。故我們認為醋酸鈉與BG11搭配會有較佳的效果，在實驗五、六、七也都有此現象。

實驗五 ( 碳氮源、一週 ) (下圖皆由第三作者繪製)



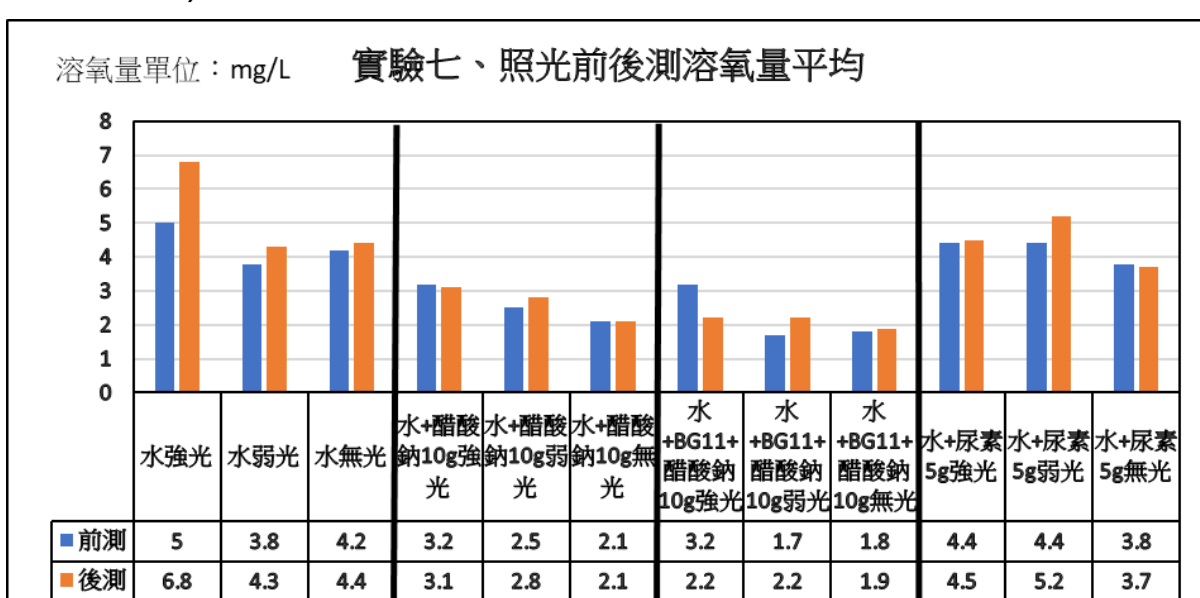
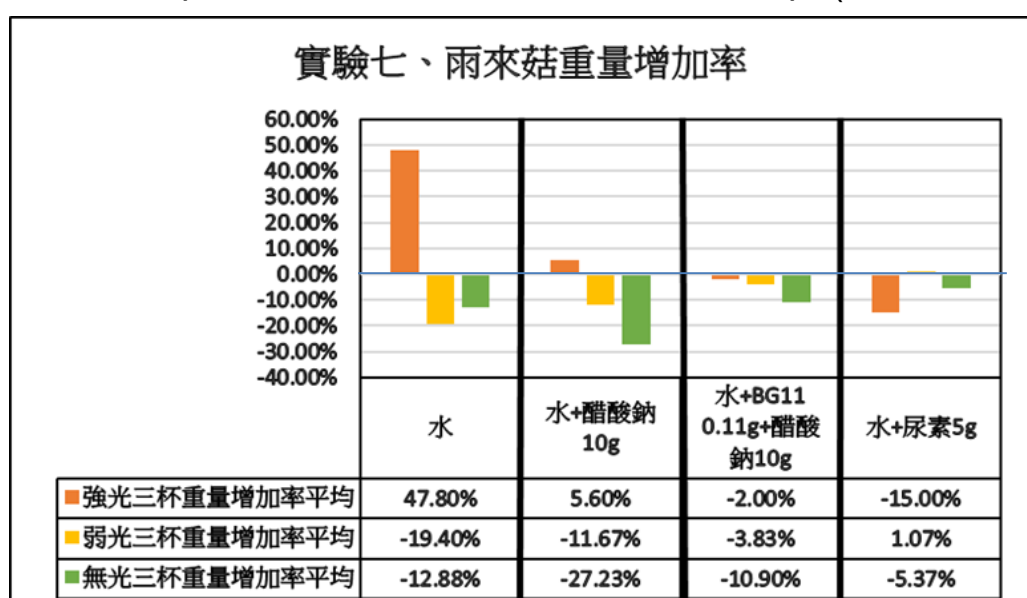
- 弱光與無光下皆以水+尿素5g為最佳，並觀察到加入尿素的兩來菇顏色都偏黃，程度依強光、弱光、無光遞減，在實驗六、七也有此現象。
- 水+醋酸鈉5g和水+BG11+醋酸鈉5g的結果與實驗一、二不同，此次實驗中無光下重量增加率皆比水低，故將在實驗六再做一次。

實驗六 ( 碳氮源、兩週 ) (下圖皆由第三作者繪製)



- 無光下以水+尿素5g對比對照組重量減少最少，但相比實驗五仍低許多，水+BG11+醋酸鈉5g的重量增加率相比實驗五也低不少，可能是因兩週情況下營養素已不足，故實驗七改回一週養殖。
- 無光下水+醋酸鈉5g及水+BG11+醋酸鈉5g的重量增加率皆比水低，故依實驗一、二將實驗七此配方醋酸鈉5g改為10g。
- 我們觀察到在無光及弱光下架鐵網半乾半溼養殖時，泡水的部分有呈現泥狀，故實驗七改良養殖方式，將在鐵網上鋪上不織布，避免兩來菇浸水。

實驗七 ( 碳氮源、一週、精進養殖方式 ) (下圖皆由第三作者繪製)

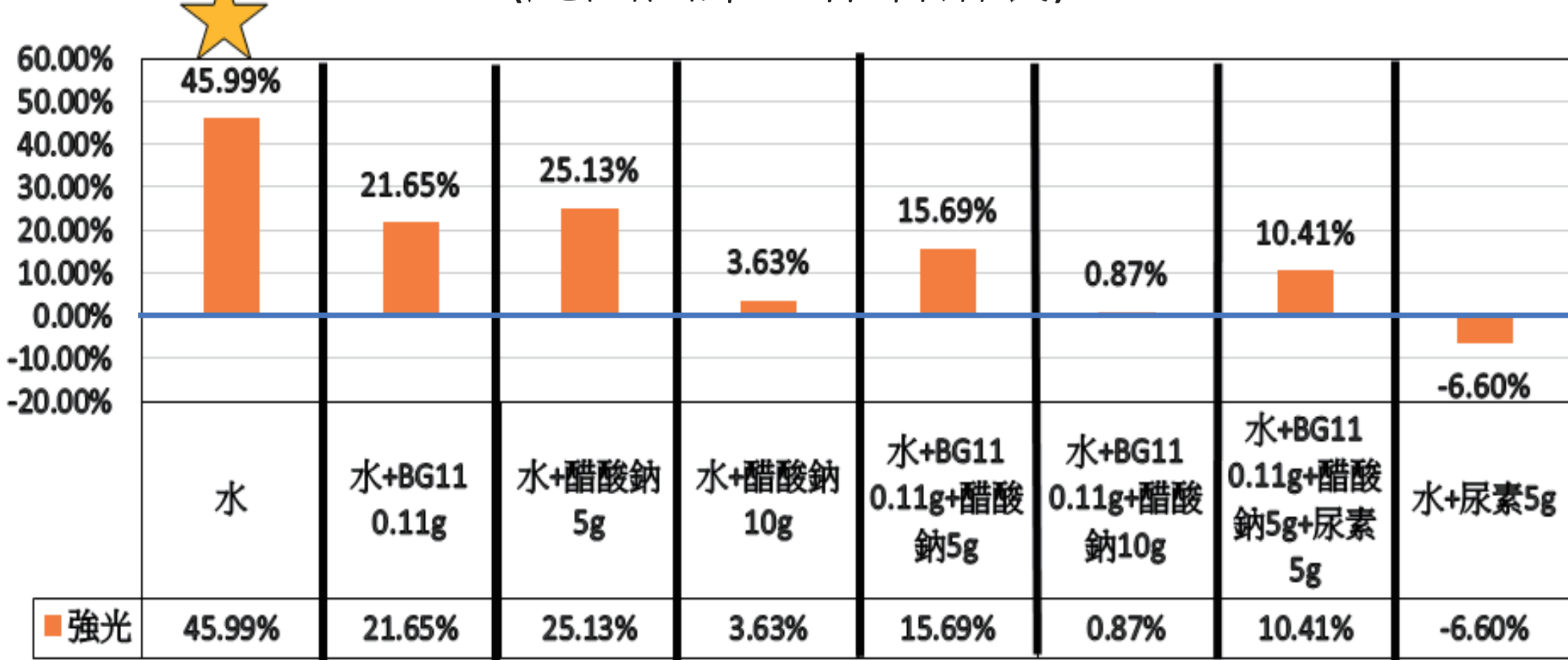


- 弱光及無光下皆以水+尿素5g重量增加最多，且BG11+醋酸鈉10g也有助於兩來菇在無光中生長。
- 鐵網上鋪不織布的養殖方式適合弱光及無光組，兩來菇形狀完整，未成泥狀。但在強光下蒸發量較大，兩來菇邊角有乾掉現象，故此方式不適合用於強光環境。
- 水+尿素5g在三種環境下前後測的溶氧量相較其他配方都較高(除對照組水外)，在實驗六也有此現象。

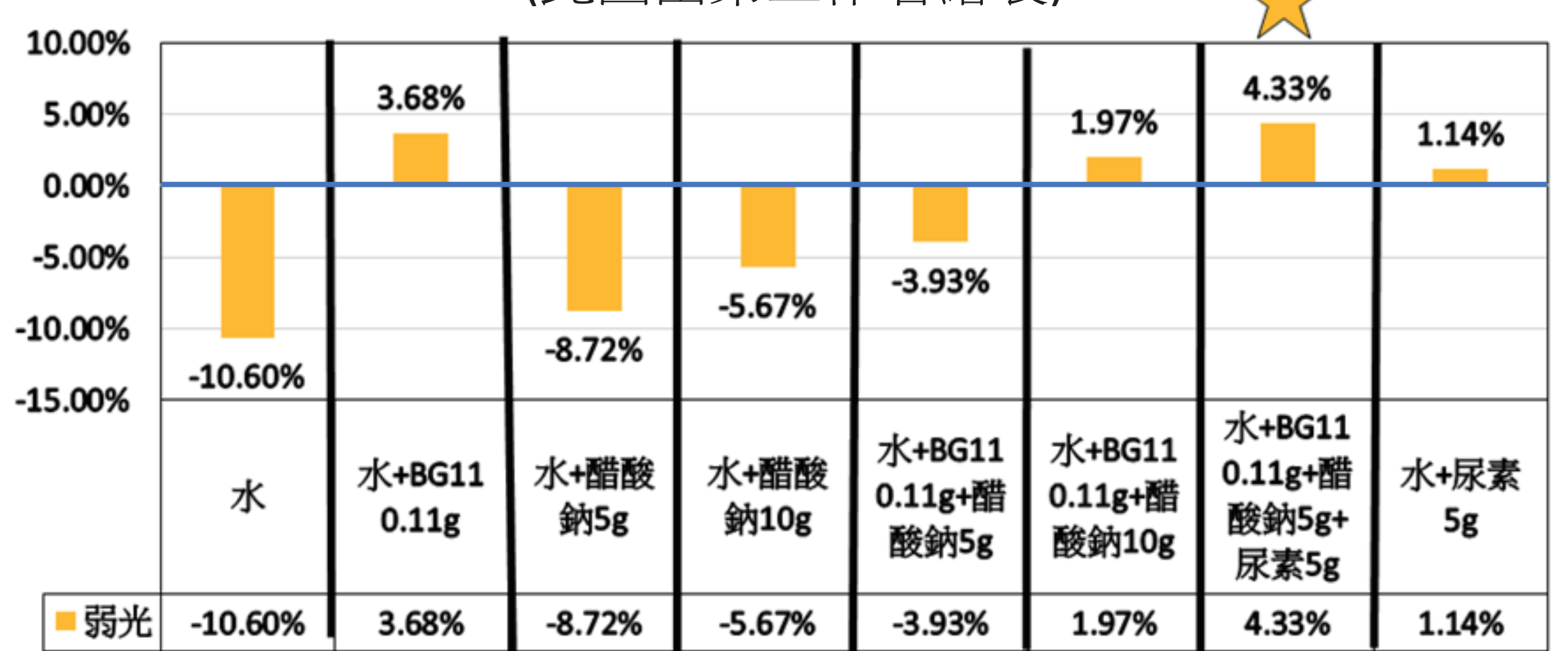


## 討論

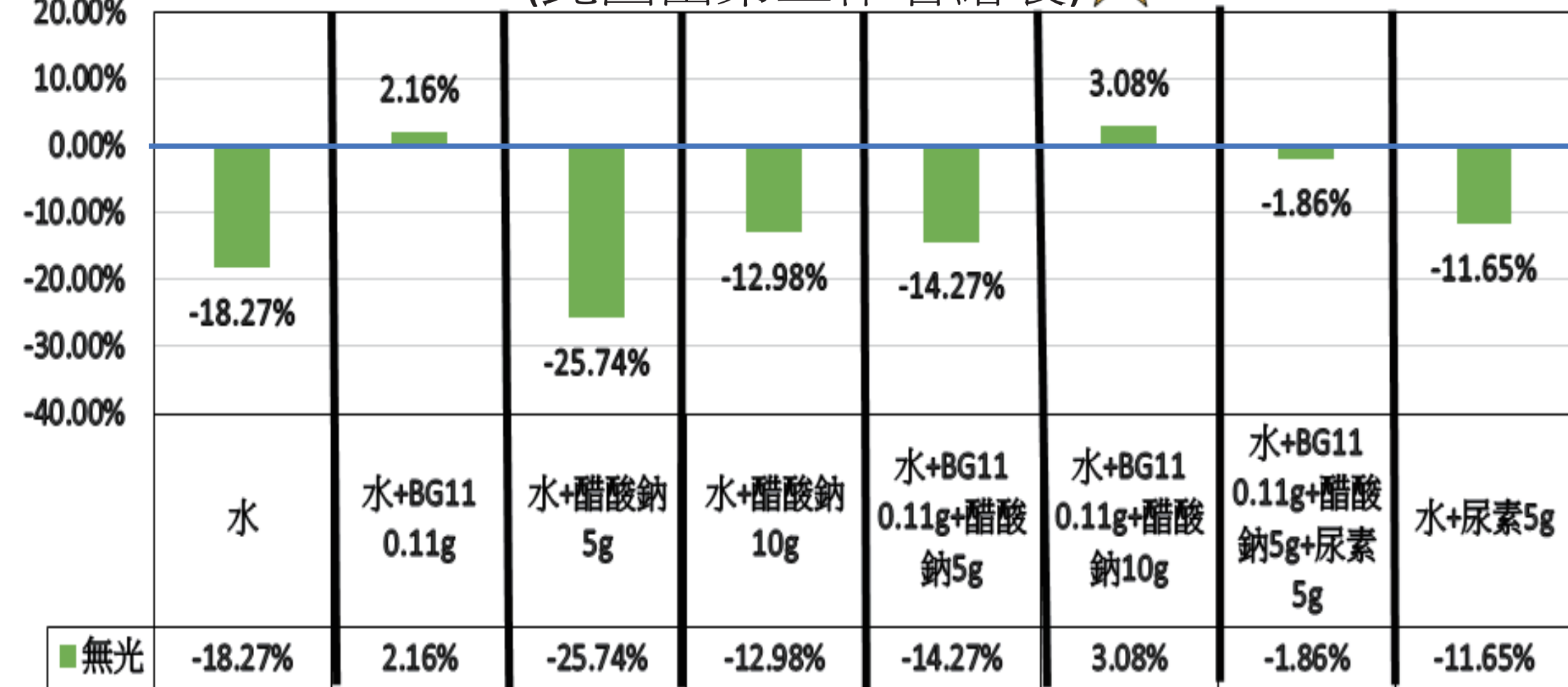
強光下各配方重量增加率平均  
(此圖由第三作者繪製)



弱光下各配方重量增加率平均  
(此圖由第三作者繪製)



無光下各配方重量增加率平均  
(此圖由第三作者繪製)



### 四.三種環境下水中溶氧量之討論：

- (一)我們推測無光下的雨來菇可能以添加的營養素協助代謝，細胞產氧的光合作用暫時休眠，只進行耗氧的呼吸作用，因此從暗箱取出時測得的照光前溶氧量較低，而且照光1.5小時其光合作用機制可能尚未恢復或是呼吸作用和光合作用同時提升速率導致耗氧和產氧量幾乎相等，故無光下雨來菇照光溶氧量變化較少。
- (二)弱光組的溶氧量變化通常較無光組大，我們推測弱光下混合營養培養的雨來菇可能以添加的碳源進行後段光合作用反應，因此測得光反應產生的氧氣量相對較少。但照光1.5小時後因為光合作用恢復正常進行，產氧量提高，因此溶氧量變化相對無光組為高。此外，對照組水在弱光環境下沒有添加營養素，雖然照光後溶氧量也增加，但溶氧量變化會較實驗組還少。
- (三)我們發現有加入BG11和醋酸鈉的重量增加率較只添加醋酸鈉的會更高，但此配方的照光前溶氧量卻偏低，我們推測此配方會使雨來菇優先使用營養素，減少產氧的光合作用，然而呼吸作用仍持續正常進行，所以耗氧較多，因此，此配方的照光前溶氧量偏低。
- (四)尿素為氮源，有助合成藻膽蛋白提高光合作用效率。又因添加氮源不須細胞自行固氮減少利用氧氣，所以耗氧量較少，導致添加尿素的照光前溶氧量皆較高。

五. 養殖方式討論：鋪不織布架鐵網養殖方式在強光下因溶液蒸發速度過快，造成雨來菇邊角有乾掉的情形，故此養殖方式不適合使用在強光環境。而在弱光及無光下鋪不織布可避免雨來菇變成泥狀，且仍可吸收到營養素，故較適合此種養殖方式[4]。

六. 其他討論：在實驗五、六、七中，三種環境下配方水+尿素5g的雨來菇顏色比新鮮的及其他配方的雨來菇明顯偏黃，看起來較透明、透光，且變化程度依照強光組、弱光組、無光組遞減，見圖八。根據文獻所述藍綠菌的葉綠素和藻藍蛋白為其呈現藍綠色原因，在強光下鹽澤螺旋藻兩者可能會減少，但其藻藍葉黃素會倍增[6]。而雨來菇添加尿素強光下呈現黃色也可能是因為藻藍蛋白減少或藻藍葉黃素增加所致。



圖七、雨來菇正常狀態圖  
(由第二作者拍攝)



圖八、雨來菇添加尿素後變黃圖  
(由第二作者拍攝)

## 結論

- 一. 添加營養素水耕養殖雨來菇時，強光下雨來菇適合架鐵網半乾半溼養殖，弱光及無光下適合架鐵網、鋪上不織布養殖。
- 二. 強光下不需添加營養素，僅需加水，以光合作用自營方式生長，添加營養素會有混和營養導致的生長遲滯期甚至抑制生長。
- 三. 弱光下重量增加最多的為配方水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g+尿素5g，其次為水+BG11 0.11g、水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g、水+尿素5g，皆較以水培養還好，顯示弱光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 四. 無光下重量增加最多的為配方水+BG11 0.11g+醋酸鈉10g，其次為水+BG11 0.11g、水+BG11 0.11g+醋酸鈉5g+尿素5g、水+尿素5g，皆較以水培養還好，顯示無光下需添加碳源及氮源協助生長。
- 五. 我們認為醋酸鈉必須搭配BG11才有較佳效果，尿素5g可能只夠一週的養分所需。

## 未來展望

- 一. 本次實驗以養殖雨來菇為主，可以使用其他藍綠菌品種或不同植物進行培養，找到無光或弱光時可能最佳的營養素配方及添加量。
- 二. 本次實驗以一週為主，雖然嘗試兩週養殖藍綠菌，但是BG11、碳源及氮源的需求量需要進一步調整，希望未來能改善弱光及無光環境的水源供應，拉長養殖時間至一個月，試著找出不同時間和營養素添加量的比例關係。
- 三. 希望未來能在無光環境下以鐵網搭配不織布，放大雨來菇的養殖量，進一步確認營養素對雨來菇的光合作用產氧量及生長的關係。

## 參考文獻

- 一. 許大全、陳根云 (2018)。展望人工光合作用。中國科學院上海生命科學研究院植物生理生態研究所光合作用與環境生物學實驗室。
- 二. 技術一再突破，在無光環境亦可以光合作用。2022年6月27日。取自<https://qooah.com/2022/06/27/the-technology-has-made-breakthroughs-again-and-again-and-photosynthesis-can-also-be-performed-in-a-dark-environment/?fbclid=IwAR1vLJ7u4AHof5HvQsfGoh-YFQ7y7el2A7egJQl6VJUaeqJcs6ZpkCnvrM>
- 三. 科學家在海底發現藍綠菌，為何和尋找火星生命有關？2018年10月9日，取自<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-6385.html>
- 四. 黃國領 (2016)。雨來菇栽培技術改進。國立屏東科技大學農園生產系所。
- 五. 嚴小軍、周成旭、駱其君、王亞軍、趙麗娟、蔣瑩(2011)。一種地木耳的簡易培養方法及培養裝置。發明專利。中華人民共和國國家知識產權局。
- 六. 曾文盧(2002)。螺旋藻的營養方式及光合作用影響因素。植物學報。
- 七. 翁婉琳(2008)。探討碳氮源於螺旋藻生長及葉綠素、藻藍蛋白產量之影響。國立中興大學化學工程學系所。
- 八. 藍細菌 Cyanobacteria 百科全書、科學新聞和研究評論。取自<https://academic-accelerator.com/encyclopedia/zh/cyanobacteria>