

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生物科

080316

溫塑效應

學校名稱： 臺中市私立華盛頓國民小學

作者：	指導老師：
小四 蔡欣承	周威廷
小四 沈羿睿	蕭宇青

關鍵詞： 塑膠溶出物、生長素影響、生物指標

## 摘要

隨外送餐飲盛行，熱食頻繁接觸塑膠容器，潛藏釋毒風險。本研究以 920 株小白菜進行水耕栽培，探討多種塑膠袋、塑膠瓶與保鮮膜經 100°C 處理後的溶出物對植物生長之影響，並結合 IAA 生長素模型推估其作用機制。實驗結果顯示，高溫處理後塑膠溶出物明顯提高小白菜矮化比例，其中以 PVC 保鮮膜最嚴重，短期矮化率達 41%。推估其作用濃度由  $10^{-4}$  ppm 上升至  $10^{-2}$  ppm，呈現濃度依賴性干擾。另以 TDS 值監測樣本水質，發現 TDS 偏低時常伴隨萌發率下降，單憑 TDS 難以反映實際毒性。本研究驗證高溫塑膠容器可能釋出具生理活性的物質，小白菜可作為早期生物指標。結果亦顯示高溫塑膠溶出物影響生物生理，對食品安全與環境健康構成潛在風險，建議避免以塑膠容器長時間盛裝高溫食物。

**關鍵字：**塑膠溶出物、生長素影響、生物指標

## 壹、前言

### 一、研究動機

塑膠容器與環境安全，我們為何關注這個議題？近年來，塑膠污染對環境與食品安全的影響日益嚴重，特別是在外送餐飲普及的情境下，熱食與塑膠容器的高溫接觸變得更加頻繁。然而，塑膠材料在高溫環境下可能釋放出潛在影響生物體的化學物質，其對人體與生態的影響仍有待進一步研究。

日常生活中，塑膠袋、保鮮膜、塑膠瓶等塑膠製品被廣泛用於食品包裝，甚至部分標榜「耐高溫、無塑化劑、無雙酚 A」的塑膠容器亦被用於盛裝熱湯或微波加熱（圖一、圖二）。然而，這些容器在高溫下是否仍然安全？是否仍有潛在的有害物質溶出，影響人體健康與環境？另一方面，許多研究已顯示，某些塑膠溶出的化學物質，如鄰苯二甲酸酯 (phthalates) 和雙酚 A (BPA)，可能干擾內分泌系統，影響生物生長發育。然而，對於這些物質是否影響植物生長，仍缺乏明確的實驗數據。因此，我們希望透過小白菜作為生物指標，測試不同塑膠容器高溫溶出的化學物質是否會影響植物的生長與種子萌發，進一步評估其潛在風險。研究假設（一）假設 1：塑膠容器在高溫環境下可能釋放化學物質，這些物質會影響小白菜的生長與發育，特別是在矮株比例的變化上。（二）假設 2：塑膠溶出的化學物質濃度可能隨著高溫處理時間增加而提高，對小白菜的影響也可能呈現正相關。（三）假設 3：小白菜的生長變化可用於推測塑膠溶出物是否具有類似生長素的作用，並與生長素模型相對應。

本研究將透過不同塑膠容器（塑膠袋、塑膠瓶、保鮮膜）進行實驗，透過科學數據驗證這些假設，進一步評估塑膠對環境與健康的潛在影響。

## 二、文獻回顧

### 塑膠溶出物的科學證據：影響生態與健康的隱形威脅

#### (一) 塑膠材料與化學溶出機制

研究指出，塑膠製品通常含有塑化劑、抗氧化劑等添加物，以增強其柔韌性與耐用性(Chen & Xu, 2019)。然而，這些化學物質在高溫、酸性或鹼性環境下可能溶出，進入食品或水源中 (Liu et al., 2021)。其中，鄰苯二甲酸酯 (phthalates) 和雙酚 A (BPA) 因其內分泌干擾特性，已被證實可能影響生育能力、發育過程，甚至增加癌症風險 (Zhao et al., 2022)。

#### (二) 塑膠溶出物對植物的影響

除了對人體的影響，近年的研究亦顯示，塑膠溶出的化學物質可能影響植物生長與發育，植物在接觸這些化學物質後，可能出現生長遲緩、葉片枯黃或根系發育異常 (何觀亘等人，2011)。然而，目前相關研究仍以水生植物或農作物為主，對於小白菜等短周期葉菜類作物的影響尚無詳細數據，因此本研究將填補此研究空白 (Chen, 2011)。

#### (三) 塑膠是否真的安全？標榜「無毒」的塑膠仍有溶出風險？

市售部分塑膠容器標榜「耐高溫、無塑化劑、無雙酚 A」，但這是否代表它們完全不會釋放有害物質？研究指出，即使某些塑膠不含 BPA，仍可能含有其他類似內分泌干擾物質(如BPS) (Smith et al., 2020)。因此，本研究將測試不同塑膠容器溶出物對植物的影響，評估其安全性。



圖一：熱食的塑膠袋 (第 1 作者攝)



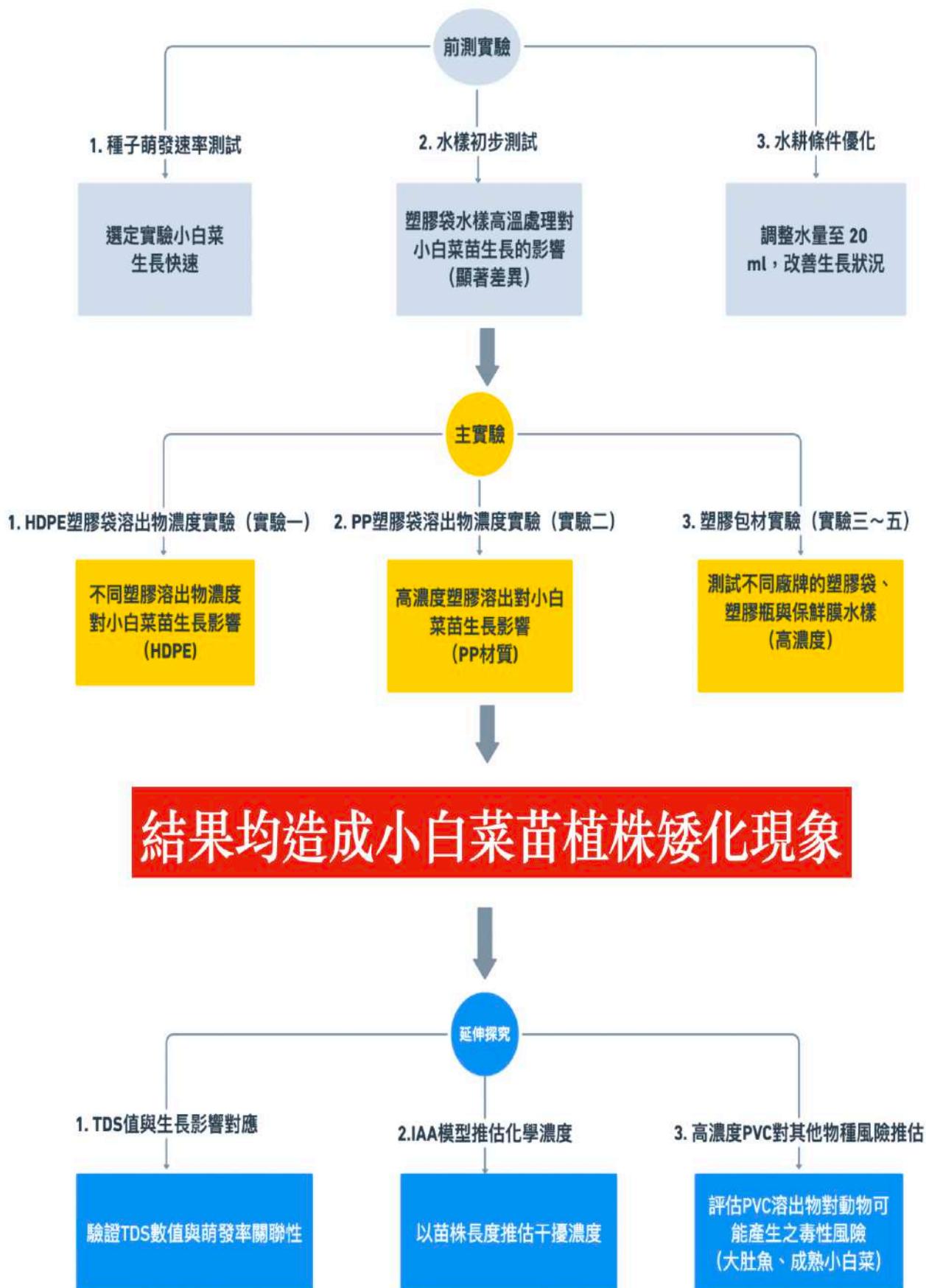
圖二：保鮮膜微波熱食(第 1 作者攝)

## 三、研究目的

本研究旨在透過實驗驗證塑膠容器在高溫下釋放的化學物質是否影響植物生長，並評估不同塑膠材質的影響程度。

- (一) 尋找適合檢測塑膠溶出物的模式生物。
- (二) 高溫塑膠溶出物濃度對小白菜苗生長影響。
- (三) 比較不同塑膠包材，塑膠袋、塑膠瓶、保鮮膜，對小白菜苗生長的影響。
- (四) 分析 TDS 值與小白菜萌發率的關聯性。
- (五) 建立小白菜生長與生長素濃度的對應模型，評估其作為生物指標的可行性。
- (六) 探討高濃度 PVC 塑膠溶出物對動物與其他品系小白菜生理的影響。

#### 四、研究架構圖



## 貳、研究設備及器材

### 一、研究背景：塑膠袋和小白菜的實驗

塑膠袋雖然方便用於盛裝食物，但在高溫下可能釋放有害化學物質。我們以小白菜為實驗對象，透過觀察其生長情況，檢測塑膠袋是否在高溫環境下釋放化學物質，進而影響植物發育。這是一種簡便的方法，可在缺乏專業設備時，初步檢測高溫塑膠釋放物對植物生長的影響。

### 二、什麼是小白菜？

小白菜是一種好吃又營養的蔬菜，有綠綠的葉子和白白的莖，富含維生素和礦物質。它長得很快，只要 40 到 50 天就能收成，是研究植物生長的好選擇。

### 三、小白菜喜歡什麼環境？

小白菜很容易種，最喜歡溫暖、濕潤的地方，15 到 25 度最適合。它需要充足的陽光和水分，但對土壤要求不高，只要土壤肥沃、排水良好，就能長得很好。我們用小白菜來看看塑膠袋裡的化學物質會不會影響它的健康生長！

### 四、實驗材料與設備（附錄二）

### 五、實驗材料

(一) 硬體設備：本實驗所使用的硬體設備包括保溫袋、塑膠袋、溫度計、濕度計、酸鹼度計、水質檢測儀 TDS (圖四)、熱水器3L、500 ml 燒杯、培養皿、鑷子、衛生紙、平板電腦、5 ml 滴管、保鮮膜、標籤紙、便條紙、橡皮圈和計時器、Micro:bit 溫、濕度感測器 (圖五)。

(二) 我們使用 Image J (圖六) 進行影像分析和測量，Microsoft Excel 處理數據，並採用統計方法 Student's t-test (圖七) 進行雙尾檢定，比較兩組平均數是否有顯著差異，而不預設方向。此外，數據存於 Google Drive，方便安全共享。

(三) 實驗種子：選用黑豆、綠豆、紅豆、黃豆及小白菜 (*Brassica chinensis L.*) 作為實驗種子，這些種子被認為對環境變化的反應較為敏感，適合用於本研究。

## 參、研究過程或方法

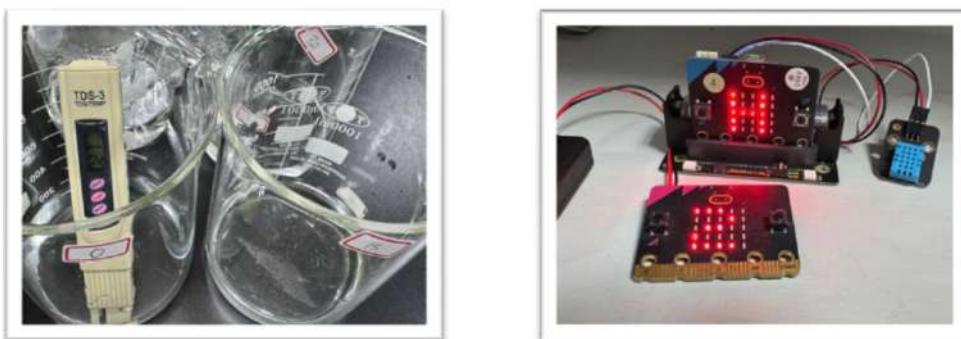
### 一、實驗方法

#### (一) 模擬外送保溫裝置與配送時間，澆灌用水的準備量。

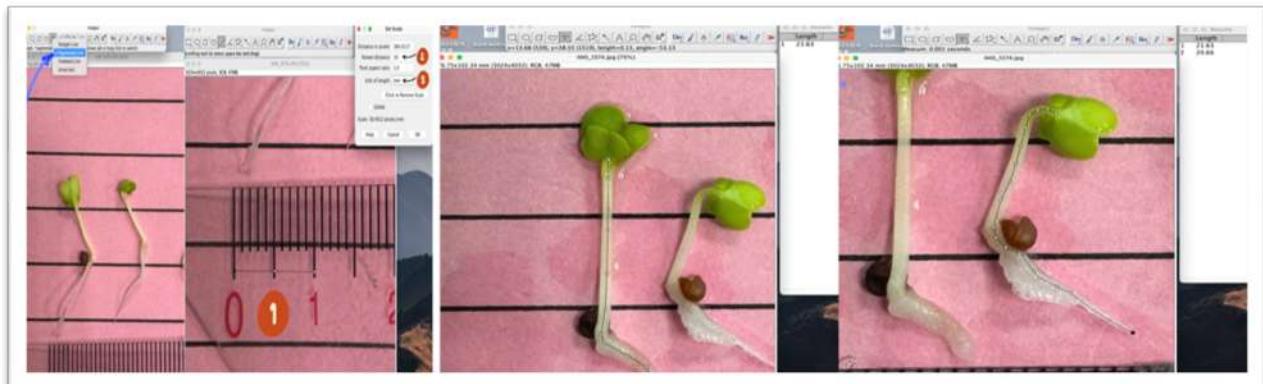
- 1.取 1500 ml 逆滲透 (RO) 水，這些水將用作實驗中的澆灌用水。
- 2.將其中 1500 ml 用熱水器加熱至 100°C。
- 3.然後將 200 ml 煮沸水倒入裝塑膠袋的燒杯中，並分別標記為「15 分鐘」、「30 分鐘」、「45 分鐘」、「60 分鐘」四個組別，用封口夾密封袋口。
- 4.對照組「0 分鐘」則是將沸水直接倒入燒杯中。將五個裝置置於保溫袋中保溫，以確保溫度均勻，設置計時器為 15、30、45 和 60 分鐘。
- 5.到達計時後，取出袋中水樣，倒入燒杯，冷卻至室溫作為澆灌用水，並再次標記「15 分鐘」、「30 分鐘」、「45 分鐘」、「60 分鐘」。
- 6.為防止污染，將燒杯口覆蓋塑膠袋或保鮮膜。

## (二) 實驗設置

- 樣本準備：在十個培養皿中鋪上兩層摺疊衛生紙，並加入 30 ml 逆滲透水，以保持濕潤。
- 種子播種：每個培養皿中放置 20 顆小白菜種子，對照組使用 RO 水，實驗組使用冷卻後，盛裝 45 分與 60 分鐘熱水的塑膠袋水作為澆灌用水。
- 培養皿覆蓋：每個培養皿覆蓋保鮮膜並標示組別，確保每個組別條件一致並防止污染。
- 環境監測：每日記錄培養皿中的溫度、濕度、酸鹼度和總溶解固體 (TDS) 值，並監測小白菜的萌發和生長情況（實驗平均溫度：26.7 度；實驗平均濕度：62.7%）。
- 數據將使用 Image J 進行影像分析並記錄，以增強準確性並減少操作誤差。
- 蒸發效應監測：記錄每組培養皿中的水量，以評估蒸發效應對水量的影響。
- 於實驗第四天添加 10 ml 澆灌用水，並覆蓋保鮮膜以減少蒸發（圖八、附錄一）。



圖四：TDS 水質檢測計(第 1 作者攝) 圖五：Micro:bit 溫濕度計(第 1 作者攝)



圖六：Image J 進行影像分析與測量(第 1 作者製作)

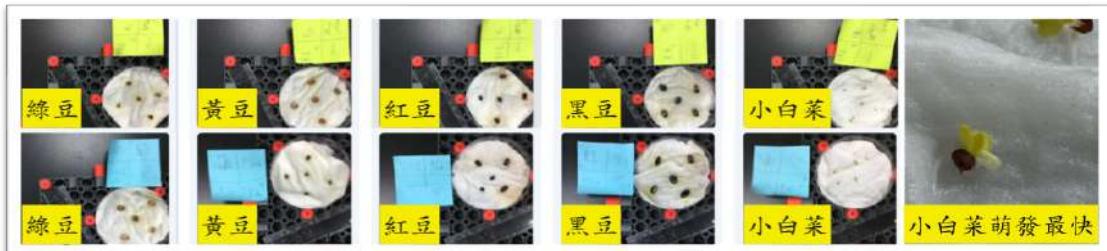


圖七：Student's t-test t 檢定，雙尾檢定 (two-tailed test) (第 1 作者製作)

## 二、前測實驗

### (一) 前測實驗一：種子萌發速率測試

1. 比較各種種子的萌發率和生長速率，綠豆、黃豆、紅豆、黑豆與小白菜，各五顆，經過四天栽種（圖九）。
2. 最終結果，小白菜因其高萌發率和生長速率成為理想實驗對象（圖九）。



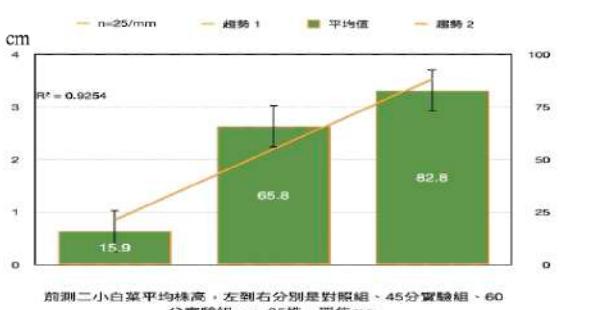
圖九：種子萌發速率測試(第1作者攝)

### (二) 前測實驗二：水樣初步測試

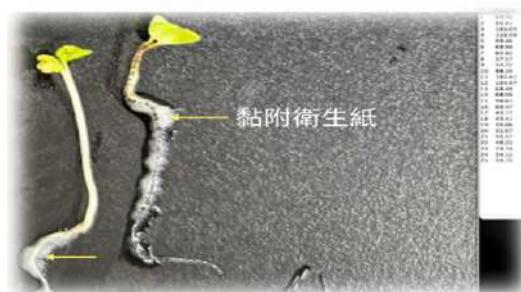
1. 實驗設置：小白菜分為對照組 (RO水) 和兩個實驗組 (塑膠袋水澆灌)，種植一週後，測量株長。
2. 操縱變因：浸泡 100 度熱水 45 分鐘塑膠袋水與浸泡 100 度熱水 60 分鐘袋塑膠袋水；每組實驗種 25 顆小白菜種子。
3. 應變變因：小白菜植株生長。
4. 結果：實驗組 45 分平均株長 65.8mm，實驗組 60 分平均株長 82.8mm，對照組平均株長 15.9mm。實驗組生長速率顯著高於對照組，塑膠袋水中可能有某些化學物質促進小白菜生長。（圖十、圖十一）。
5. 反思與改進：觀察到根部黏附衛生紙基底，易導致取樣測量時根部受損，影響量測數據（圖十二）。
6. 討論後，改為直接水耕法以避免此問題。



圖十：實驗組  
45分、60分的  
生長速率顯著高  
於對照組(第1作  
者攝)



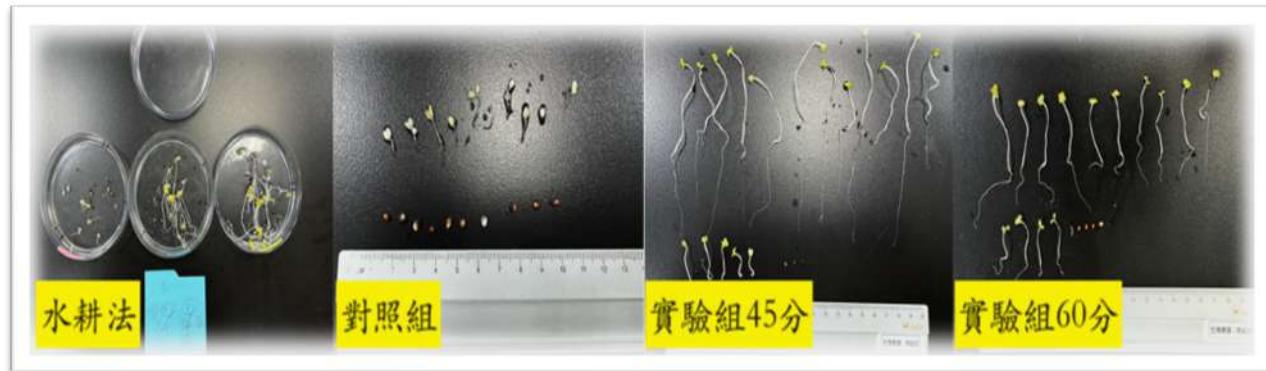
圖十一：實驗組明顯長於對照組  
(第1作者攝)



圖十二：根部黏附衛生紙基底  
(第1作者攝)

### （三）前測實驗三：水耕條件優化

1. 實驗設置：對照組與 45 分鐘、60 分鐘袋水的實驗組，每個培養皿注入 30ml 水溶液，小白菜生長良好。
  2. 實驗結果，顯示小白菜直接水耕法生長良好，方便測量（圖十三）。
  3. 反思與改進：為了讓小白菜生長得更健康，我們調整了水量。起初每個培養皿中加入 30 毫升的水，但觀察到小白菜的生長狀況不佳，部分植株出現變軟甚至腐爛的情況。因此，我們將水量調整為 20 毫升，結果小白菜的生長明顯改善，變得更加茁壯健康。



圖十三：直接水耕法小白菜生長良好，更方便測量株長(第1作者攝)

### 三、實驗一：HDPE 耐熱塑膠袋溶出物濃度對小白菜生長的影響

## （一）設定五種處理方式

我們準備了五組小白菜：

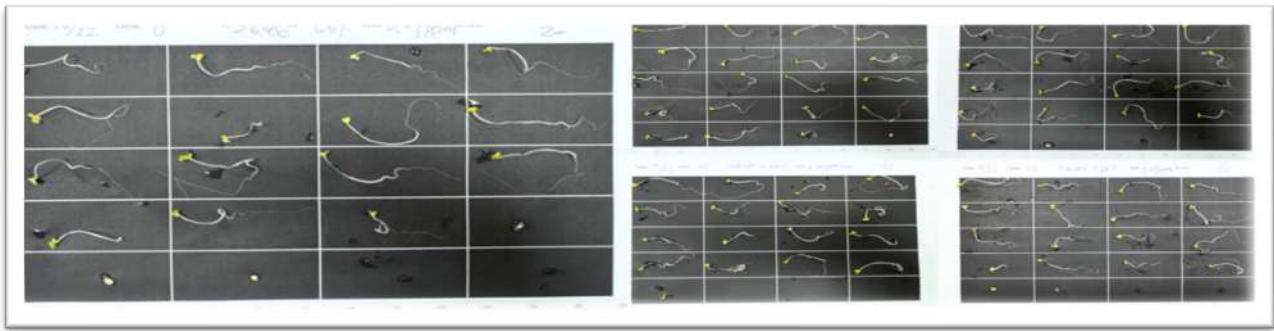
1. 實驗設置：小白菜分為對照組（RO 水，飲水機）和四個實驗組，使用 HDPE 楓康耐熱不含塑化劑塑膠袋，將 100 度熱水裝入塑膠袋中，放置保溫袋中，模擬外送時間 15 分、30 分、45 分、60 分，時間到後取出，待冷卻 24 小時後作為袋水澆灌用，每組實驗種 20 顆小白菜種子，一次實驗數量為 100 顆小白菜種子，種植一週後，將小白菜植株放置生長數據表上，拍照，使用 image J 測量株長；本實驗重複七次收集數據，總數量 700 顆種子（n=700）（圖十四、圖十五）。
  2. 操縱變因：浸泡 100 度熱水 15 分鐘塑膠袋水、浸泡 100 度熱水 30 分鐘塑膠袋水、浸泡 100 度熱水 45 分鐘塑膠袋水與浸泡 100 度熱水 60 分鐘塑膠袋水。
  3. 應變變因：觀察小白菜植株生長一週長度。
  4. 我們將計算對照組與實驗組的小白菜平均株長，以進行比較（圖十五），並透過組距百分比轉換數據，進行進一步分析。



圖十四：實驗一實驗流程圖（第1作者攝）

圖十五：生長數據表，將小白菜植株放置黑底表上，下方為（第1作者攝）

30公分比例尺，方便拍照後使用 image J 校正測量株長



圖十六：實驗一對照組（左）與實驗組（右）小白菜在生長數據表上的生長情況(第1作者攝)

#### 四、實驗二：PP 普通塑膠袋溶出物濃度對小白菜生長的影響

##### （一）設定五種處理方式

我們準備了五組小白菜：

1. 實驗設置：小白菜分為對照組 (RO 水) 和四個實驗組，使用 PP 普通塑膠袋 (三佳牌) (圖十七)，備至塑膠袋水澆灌，每組實驗加 20ml 塑膠袋水於玻璃培養皿中並種 10 顆小白菜種子，一次實驗數量為 50 顆小白菜種子，種植一週後，使用 image J 測量株長。
2. 操縱變因：浸泡 100 度熱水 15 分鐘塑膠袋水、浸泡 100 度熱水 30 分鐘塑膠袋水、浸泡 100 度熱水 30 分鐘一倍濃度塑膠袋水與浸泡 100 度熱水 30 分鐘五倍濃度塑膠袋水。「一倍：將一個普通塑膠袋裁切一半，再以兩公分寬度裁切成五條後再對裁成塑膠袋條；五倍：上述內容製作五份（圖十八、圖十九）」（何等，2011）。
3. 應變變因：觀察小白菜植株一週生長長度。
4. 將數據轉換為組距百分比後進行分析。



圖十七：三佳牌 PP 普通塑膠袋(第1作者攝)



圖十八：一倍與五倍濃度 PVC 水製備(第1作者攝)



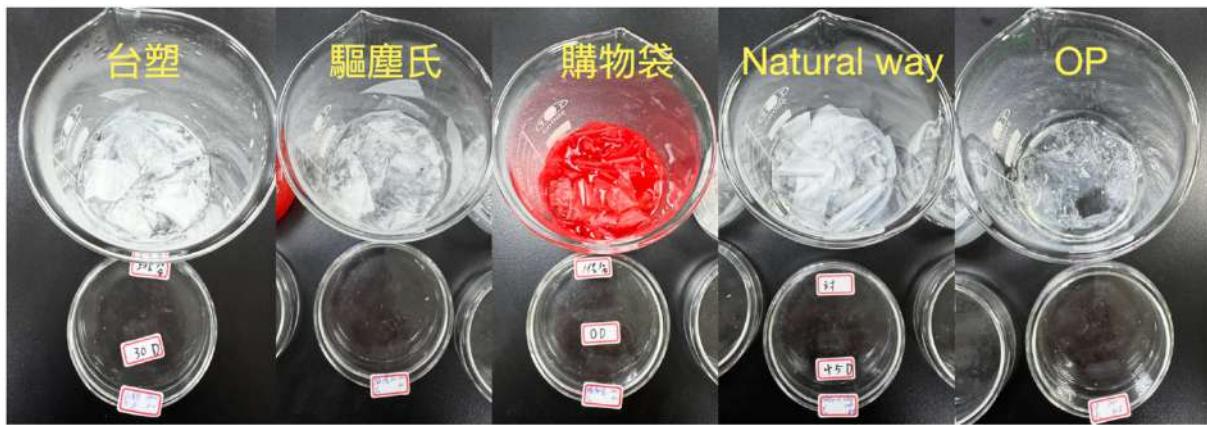
圖十九：PP 塑膠袋水製備(第1作者攝)

#### 五、實驗三：不同廠牌塑膠袋溶出物對小白菜生長影響

##### （一）設定五種處理方式

我們準備了五組小白菜：

1. 實驗設置：小白菜分為對照組 (RO 水) 和五個實驗組，使用五種廠牌塑膠袋，一倍塑膠袋水製備與澆灌 (圖二十)，每組實驗加 20ml 塑膠袋水於玻璃培養皿中並種 10 顆小白菜種子，一次實驗數量為 50 顆小白菜種子，種植一週後，使用 image J 測量株長。高溫處理：均浸泡 100 度熱水 60 分鐘 200ml 热水。
2. 操縱變因：HDPE 台塑塑膠袋水、HDPE 驅塵氏塑膠袋水、HDPE 購物袋塑膠袋水、HDPE Natural way 塑膠袋水與 LDPE OP 塑膠袋水。
3. 應變變因：觀察小白菜植株一週生長長度。
4. 將數據轉換為組距百分比後進行分析。



圖二十：五種廠牌塑膠袋水製備 100 度 60 分 200ml(第 1 作者攝)

## 六、實驗四：不同廠牌塑膠瓶溶出物對小白菜生長影響

### (一) 設定五種處理方式

我們準備了五組小白菜：

1. 實驗設置：小白菜分為對照組 (RO 水) 和五個實驗組，使用五種廠牌塑膠瓶，塑膠瓶水製備與澆灌（圖二十一），每組實驗加 20ml 塑膠瓶水於玻璃培養皿中並種 10 顆小白菜種子，一次實驗數量為 50 顆小白菜種子，種植一週後，使用 image J 測量株長。  
高溫處理：均浸泡 100 度熱水 60 分鐘 200ml 热水。
2. 操縱變因：PC 珍珠奶茶塑膠瓶水、PP 特福塑膠瓶水、PCT 樂扣 7 塑膠瓶水、PP 樂扣 5 塑膠瓶水與 LDPE 珍味調味瓶塑膠瓶水。
3. 應變變因：觀察小白菜植株一週生長長度。
4. 將數據轉換為組距百分比後進行分析。



圖二十一：五種廠牌塑膠瓶水(第 1 作者攝)



圖二十二：七種廠牌保鮮膜水(第 1 作者攝)

## 七、實驗五：不同廠牌保鮮膜溶出物對小白菜生長影響

### (一) 設定七種處理方式

我們準備了七組小白菜：

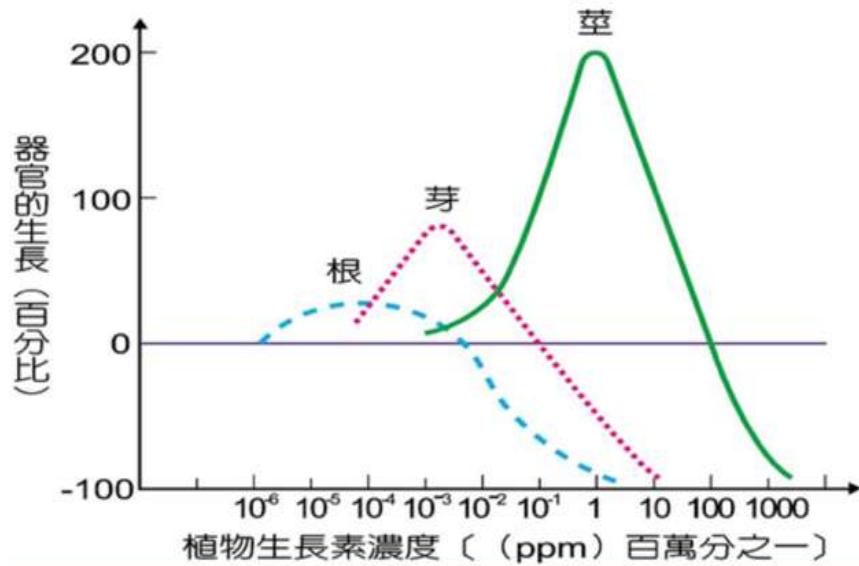
1. 實驗設置：小白菜分為對照組 (RO 水) 和七個實驗組，使用七種廠牌保鮮膜取 20 公分 X 20 公分保鮮膜模擬塑膠袋大小，至於燒杯中加入 200ml 一百度熱水，保鮮膜水製備與澆灌（圖二十二），每組實驗加 20ml 保鮮膜水於玻璃培養皿中並種 10 顆小白菜種子，一次實驗數量為 70 顆小白菜種子，種植一週後，使用 image J 測量株長。  
高溫處理：均浸泡 100 度熱水 60 分鐘 200ml 热水。
2. 操縱變因：PVC 家樂福保鮮膜水、PE 楓康保鮮膜水、PVC 南亞保鮮膜水、PE 妙潔保鮮膜水、PVDC 楓康吳羽保鮮膜水，PE 超值保鮮膜水與 PE OP 生物保鮮膜水。
3. 應變變因：觀察小白菜植株一週生長長度。
4. 將數據轉換為組距百分比後進行分析。

## 八、TDS 值與生長影響對應(實驗一到實驗五小白菜萌發率與 TDS 檢測值關聯性分析)

將實驗一到實驗五小白菜的種子萌發率與 TDS 水質檢測值(圖二十三、附錄三)製做成表格，進行探究。

## 九、IAA 模型推估化學濃度

將實驗一小白菜的生長變化與生長素(IAA)濃度影響植物根芽莖模型(圖二十四)進行對比，來推估塑膠容器在高溫釋放的化學物質濃度，進而探討是否可以將小白菜當作一種生物指標。



圖二十四：生長素濃度影響植物根芽莖模型（資料來源：教師手冊翰林版網頁）

## 十、高濃度 PVC 對其他物種風險推估

以大肚魚與蜜雪兒小白菜為生物指標，評估高溫 PVC 保鮮膜溶出物的急性毒性與生長影響。實驗組為高溫處理後稀釋 50% 的 PVC 水樣，對照組為 RO 純水。動物部分觀察大肚魚在兩組水樣中的行為與活性變化，紀錄時間為即時、10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘及 4 小時，並進行交叉互換以排除個體差異。植物部分則將蜜雪兒小白菜種子培養於各水樣中，持續觀察一週，紀錄每日發芽率、芽高與根長，綜合評估其生物毒性與潛在風險。



圖三十四：高濃度 PVC 水對魚體影響。(第 1 作者攝)



圖三十五：高濃度 PVC 水對小白菜萌發、生長影響。(第 1 作者攝)

## 肆、研究結果

### 一、實驗一結果：

(一) 如下(表一、附錄四)小白菜經過一週培養的結果，對照組：平均 73.98mm，實驗組：15 分平均長度 73.64mm、30 分平均長度 70.07mm、45 分平均長度 74.00mm、60 分平均長度 74.72mm。跑完 T-TEST 檢測，P-Value >0.05，均無顯著性差異。

### (二) 反思與改進

#### 1.小白菜的株長進行組距分組

我們把每一棵小白菜的株高記錄下來，然後分成不同的株高範圍(組距)：小於等於 20 mm、21-40 mm、41-60 mm、61-80 mm、81-100 mm、101-120 mm、121-140 mm、141-160 mm。再進行小白菜個數統計(棵)。

2.我們統計每個組距內的小白菜數量，並將其轉換為百分比，以便更清楚地比較不同處理組對小白菜生長的影響。

3.為了更清楚比較與分析，我們將小白菜株長分為三類：矮株(60 mm 以下)、中株(60 - 120 mm)、高株(120 - 160 mm)。

#### 4.繪製長條圖進行分析：

(1)我們做了長條圖，顯示每個株長範圍的小白菜數量，還有矮株、中株和高株這三類的變化趨勢。

(2)透過長條圖比較對照組與實驗組的生長狀況，以分析塑膠袋水化學物質是否影響小白菜的生長。我們將小白菜生長一週的數據轉化為百分比，並依組距分類，讓分析更加直觀且能夠明確呈現實驗結果。

5.我們將小白菜一週生長圖、株長組距表，以及對照組與實驗組的株長長條圖整合為實驗一結果圖(圖二十五)，以更清晰地呈現各組別的生長變化與數據分佈。

### (三) 實驗一結果分析：

本次實驗分析了不同時間高溫處理(100 度，30 分鐘)對小白菜生長的影響，並將數據轉換為組距百分比後，發現高溫處理時間長短對植株生長具有明顯影響，主要表現在矮株比例的提升與中株比例的下降(圖二十五)。

#### 1.矮株(60mm 以下)

實驗組的矮株比例平均為 33.3%，高於對照組的 29.1%，顯示高溫處理對植株生長產生了一定抑制作用。其中，30 分鐘處理組(37.6%) 的矮株比例最高，而 60 分鐘處理組(30.3%) 相對較低，顯示不同處理時間對植株的影響有所變化。

#### 2.中株(60~120mm 之間)

對照組的中株比例為 64.6%，而實驗組的平均中株比例為 60.4%，顯示高溫處理對植株生長有一定程度的影響，導致中株比例下降 4.17 個百分點。其中，15 分鐘(64.3%) 和 45 分鐘(57.6%) 的中株比例相對接近對照組，而 30 分鐘處理組(57.6%) 的中株比例最低，顯示較長時間的高溫可能影響植株的正常發育。

#### 3.高株(120mm 以上)

高株的比例在所有實驗組中皆較低，對照組的高株比例為 6.3%，而實驗組的平均高株比例為 6.3%，與對照組相當。其中，60 分鐘處理組(7.6%) 的高株比例相對較高，而 30 分鐘處理組(4.8%) 則相對較低，顯示高溫處理時間長短可能影響高株的

出現機率，但整體變化幅度較小。

#### 4. 整體趨勢與影響分析：

從長條圖可見，塑膠袋在高溫下溶出的化學物質對小白菜生長具有影響，表現為矮株比例提升，顯示部分植株生長受限，中株比例下降，可能影響植株正常發育，高株比例變化不明顯，部分植株仍能生長至較高水平但比例變動小。整體而言，塑膠袋溶出的化學物質可能導致植株矮化，長時間處理使整體高度略微降低。

### 二、實驗二結果：

#### (一) 實驗二結果分析：

在實驗二中，分析 PP 材質普通塑膠袋及其受熱時間對小白菜生長的影響，並將數據轉換為組距百分比後，發現不同處理條件下植株的生長分佈呈現明顯差異(圖二十六)。

##### 1. 矮株 (60mm 以下)

實驗組的矮株比例普遍高於對照組，對照組矮株的比例為 29.13%，而實驗組的平均矮株比例提升至 40.33%，增加了 11.2 個百分點。其中，「一倍%」與「五倍%」組別的矮株比例特別高，分別達 57.1% 和 37.5%，顯示出較強的矮化效果。

##### 2. 中株 (60~120mm)

中株比例方面，對照組為 64.57%，而實驗組的平均比例下降至 56.9%，減少 7.67 個百分點。部分組別，如「一倍%」，中株的比例甚至低於 43%，與對照組相比明顯下降。

##### 3. 高株 (120mm 以上)

高株的比例在各組間皆較低，對照組為 6.3%，而實驗組的平均值為 2.8%，整體差異不大。部分處理組別（如「五倍%」）仍能觀察到少數高株，但數量相對較少。

#### 4. 從長條圖分析可見，實驗組的植株長度整體呈現矮化趨勢。

表現為矮株比例顯著上升，中株比例減少，高株數量相對稀少。這顯示塑膠材質經高溫處理可能對小白菜的生長造成影響，使其生長受限並出現明顯的矮化現象。

### 三、實驗三結果：

#### (一) 實驗三結果分析：

在實驗三中，分析不同品牌塑膠袋在高溫處理後對小白菜生長的影響，並將數據轉換為組距百分比後，發現塑膠袋類型對植株生長表現出明顯差異(圖二十七)。

##### 1. 矮株 (60mm 以下)

實驗組塑膠袋處理的矮株比例平均為 97.8%，遠高於對照組的 29.1%，顯示高溫作用下不同塑膠袋普遍造成植株嚴重矮化。其中，「HDPE 台塑」、「HDPE 驅塵氏」、「HDPE natural way」與「HDPE OP 蔬果保鮮袋」組別的矮株比例均達 100%，顯示這些塑膠袋在高溫環境下對小白菜生長產生極大抑制作用。

##### 2. 中株 (60~120mm)

對照組的中株比例為 64.6%，而塑膠袋處理組的平均中株比例僅為 2.2%，顯示塑膠袋處理大幅降低了中等高度植株的比例。「購物袋」組別的中株比例最高，達 11.1%，但仍遠低於對照組，表明受塑膠袋影響的植株長度明顯下降。

### 3.高株 (120mm 以上)

高株的比例在所有塑膠袋處理組中幾乎消失，對照組的高株比例為 6.3%，而所有塑膠袋處理組的高株比例均為 0%，顯示塑膠袋加熱後對植株長度的影響極為顯著，使其幾乎無法生長至 120mm 以上。

#### 4.綜合長條圖分析：

塑膠袋經高溫處理後，對小白菜的生長抑制效果極為顯著，表現為矮株比例大幅提升 97.8%，中株與高株的比例則顯著下降 2.2%，甚至接近消失。這顯示不同品牌的塑膠袋在高溫環境下可能釋放特定化學物質，嚴重影響植株的生長發育。

## 四、實驗四結果：

### (一) 實驗四結果分析：

在實驗四中，分析不同品牌塑膠瓶經高溫處理後對小白菜生長的影響，並將數據轉換為組距百分比後，發現不同塑膠瓶材質對植株生長有明顯影響（圖二十八）。

#### 1.矮株 (60mm 以下)

實驗組塑膠瓶處理的矮株比例平均為 51.3%，明顯高於對照組的 29.1%，顯示塑膠瓶經高溫處理後對植株的生長造成一定抑制作用。其中，「PP 樂扣 7」與「PP 特福」的矮株比例最高，分別達 66.7% 與 62.5%，顯示這些材質對植株的影響較大。

#### 2.中株 (60~120mm)

對照組的中株比例為 64.6%，而塑膠瓶處理組的平均中株比例為 48.7%，明顯低於對照組，顯示塑膠瓶處理組的植株生長較為受限。「LDPE 珍味調味瓶」與「PP 樂扣 5」組別的中株比例較高，分別達 60% 和 70%，顯示這些材質對植株的影響相對較小。

#### 3.高株 (120mm 以上)

高株的比例在所有塑膠瓶處理組中皆較低，對照組的高株比例為 6.3%，而塑膠瓶處理組的高株比例幾乎為 0%，顯示塑膠瓶經高溫處理後對植株長度的影響顯著，使其幾乎無法生長至 120mm 以上。

#### 4.從長條圖分析：

塑膠瓶經高溫處理後對小白菜生長有明顯抑制作用，表現為矮株比例增加，中株比例減少，高株幾乎消失，顯示不同品牌塑膠瓶在高溫環境下可能釋放特定化學物質，影響小白菜的生長發育。

## 五、實驗五結果：

### (一) 實驗四結果分析：

本次實驗分析了不同品牌保鮮膜是否會影響小白菜的生長，並將數據轉換為組距百分比後，發現高溫處理後保鮮膜溶出物對植株生長有明顯影響（圖二十九）。

#### 1.矮株 (60mm 以下)

實驗組的矮株比例平均為 86.4%，明顯高於對照組的 29.1%，顯示保鮮膜對植株的生長產生抑制作用。其中，「PVC 家樂福」與「PE 楓康」的矮株比例最高，達 80% 及 100%，顯示這些保鮮膜可能對植物生長造成較大影響。

## 2.中株 (60~120mm)

對照組的中株比例為 64.6%，而保鮮膜組的平均中株比例為 13.6%，明顯低於對照組，顯示大多數保鮮膜對植株生長有抑制作用。不過，「PVDC 楓康吳羽」的中株比例相對較高，達 50%，顯示 PVDC 這材質保鮮膜對植株的影響較小。

## 3.高株 (120mm 以上)

高株的比例在所有保鮮膜組中皆接近 0%，對照組的高株比例為 6.3%，顯示使用保鮮膜可能影響植株長度，使其幾乎無法生長至 120mm 以上。

## 4.整體趨勢與影響分析：

從長條圖分析可見，使用不同保鮮膜對小白菜的生長具有顯著影響，表現為矮株比例增加，中株比例減少，高株幾乎消失。這顯示不同品牌的保鮮膜可能在高溫時釋放特定化學物質，進而影響植物的生長發育。

## 六、TDS 水質變化與小白菜萌發率的關聯性分析（含數據）

本實驗結果顯示，TDS（總溶解固體）數值並不能直接對應塑膠溶出物對小白菜萌發率的影響，某些 TDS 低的組別仍可能含有影響萌發的化學物質（表二）。

### （一）普通塑膠袋影響明顯

TDS：29-30 PPM，萌發率：80%（15 分鐘）、70%（30 分鐘）顯示隨塑膠袋浸泡時間增加，萌發率下降，可能因塑膠袋溶出更多影響發芽的化學物質。

### （二）不同品牌塑膠袋影響不一

TDS：24-32 PPM，萌發率：90%「HDPE 驅塵氏」、100%「HDPE natural way」、80%「HDPE 購物袋」雖然購物袋 TDS：32 PPM 為最高，但萌發率僅 80%，而 TDS：24 PPM 的 natural way 萌發率達 100%，顯示塑膠材質成分不同可能影響結果。

### （三）塑膠瓶影響較小

TDS：28-29 PPM，萌發率：100%「PP 樂扣 5、LDPE 珍味調味瓶」；TDS：29 PPM，萌發率：80%-90%「PP 特福、PCT 樂扣 7」；TDS：31 PPM，萌發率：70%「PC 珍珠隨行杯」雖然 TDS 差異不大，但不同塑膠瓶影響萌發率的程度有所不同。

### （四）保鮮膜影響最嚴重

TDS：20-21 PPM，萌發率：50%「PVC 家樂福」，萌發率：80%「PE 楓康、PVDC 楓康吳羽、PE 超值、PE OP 生物」，萌發率：70%「PVC 南亞、PE 妙潔」。保鮮膜組的 TDS 最低，但對萌發的影響最大，特別是「PVC 家樂福」下降至 50%！顯示塑膠溶出的有害物質無法透過 TDS 測得。

### （五）總結

萌發率最高組別（100%）：HDPE 楓康無塑化劑塑膠袋（15 分鐘）、HDPE natural way 塑膠袋、PP 樂扣 5、LDPE 珍味調味瓶，萌發率最低組別（50%）：PVC 家樂福保鮮膜。TDS 最高（32 PPM）：HDPE 購物袋、PVC 南亞保鮮膜 30 分，TDS 最低（20 PPM）：PE 楓康、PVC 南亞、PE 妙潔、PVDC 楓康吳羽、PE OP 生物保鮮膜。

### （六）由此可見，TDS 數據只能反映水中溶解物質的總量，無法判斷塑膠溶出的具體化學成分。因此，未來建議使用 HPLC（高效液相層析）或 GC-MS（氣相層析質譜儀）進一步分析水中化學成分，以更準確評估塑膠材料對植物生長的影響。

七、我們可以將小白菜的生長變化與生長素濃度影響模型進行對比，來推估塑膠釋放的化學物質濃度，進而探討是否可以將小白菜當作一種生物指標。

(一) 實驗一結果顯示兩個關鍵現象：在 30 分鐘時，實驗組中的矮株比例明顯高於對照組，而中等高度的植株比例則低於對照組。這表明在短時間內，塑膠袋受熱後可能釋放出低濃度的化學物質，影響小白菜的生長模式。根據植物根、芽、莖的生長素模型推測，此時的化學物質濃度可能接近  $10^{-4}$  ppm，因為該濃度範圍內的生長素對根部有輕微促進作用，但對芽與莖的影響較小（圖三十）。

(二) 在 60 分鐘時，實驗組與對照組的折線圖趨於重疊，顯示兩組植株的生長情況相似。假設塑膠袋在高溫下浸泡時間越長，溶出的化學物質濃度逐漸升高，則此時的濃度可能已接近  $10^{-2}$  ppm。根據生長素模型，當生長素濃度達到  $10^{-2}$  ppm 時，對根與莖的促進或抑制作用皆不明顯，這與實驗結果相符（圖三十三）。因此，我們推測塑膠袋釋放的化學物質可能與生長素作用機制相似，並隨時間推移影響植物的生長狀態。這些結果支持了小白菜作為生物指標的可能性，透過其生長變化可以間接反映塑膠在不同條件下釋放的化學物質濃度，為未來環境監測提供參考依據。

八、本研究在  $100^{\circ}\text{C}$  高溫下浸泡 60 分鐘，測試不同塑膠容器對小白菜矮化的影響。（表四）整理了對照組、塑膠袋、塑膠瓶、保鮮膜 的數據，並將 0 – 20 mm、21 – 40 mm、41 – 60 mm 三個高度區間的結果轉換為百分比（圖二十七~圖二十九）。我們主要探討哪種塑膠容器在高溫下釋放的化學物質對小白菜矮化影響最明顯，並比較不同塑膠對植株生長的影響，進一步釐清其作用機制。

(一) (表四) 所示 (各數值均以百分比計)

表四. 矮株小白菜在各組距之佔比

組距%	對照組	塑膠袋平均%	塑膠瓶平均%	保鮮膜平均%
<b>0-20 mm</b>	<b>27%</b>	<b>32%</b>	<b>30%</b>	<b>41%</b>
<b>21-40 mm</b>	<b>23%</b>	<b>41%</b>	<b>21%</b>	<b>26%</b>
<b>41-60 mm</b>	<b>48%</b>	<b>25%</b>	<b>48%</b>	<b>32%</b>

(二) 各別區間 (0 – 20、21 – 40、41 – 60) 的表現 (依百分比高低排序)

### 1. 0 – 20 區間

(1) 保鮮膜：41% (2) 塑膠袋：32% (3) 塑膠瓶：30% (4) 對照組：27%

保鮮膜在此區間數值最高，表示其干擾效果最強；塑膠袋次之，塑膠瓶仍高於對照組，

### 2. 21 – 40 區間

(1) 塑膠袋：41% (2) 保鮮膜：26% (3) 對照組：23% (4) 塑膠瓶：21%

塑膠袋在中度矮化區段表現尤為突出，顯示其溶出物在此區間的干擾最明顯。

### 3. 41 – 60 區間

(1) 對照組：48% (2) 塑膠瓶：48% (3) 保鮮膜：32% (4) 塑膠袋：25%

塑膠瓶數值接近對照組。

(三) 數據顯示在高溫條件下，塑膠容器所釋放的化學物質對小白菜生長具有顯著的干擾效應，其中保鮮膜和塑膠袋的影響尤為突出，這一結果為溫塑效應下塑膠容器安全使用提供了關鍵科學依據。

1. 保鮮膜：在 0-20mm 區間顯示高溫下其釋放物對小白菜矮化影響最嚴重。

2. 塑膠袋：特別在 21 – 40 區間影響顯著，仍遠高於對照組。

3. 塑膠瓶：影響明顯低於保鮮膜與塑膠袋，個組距間數據與對照組相似。

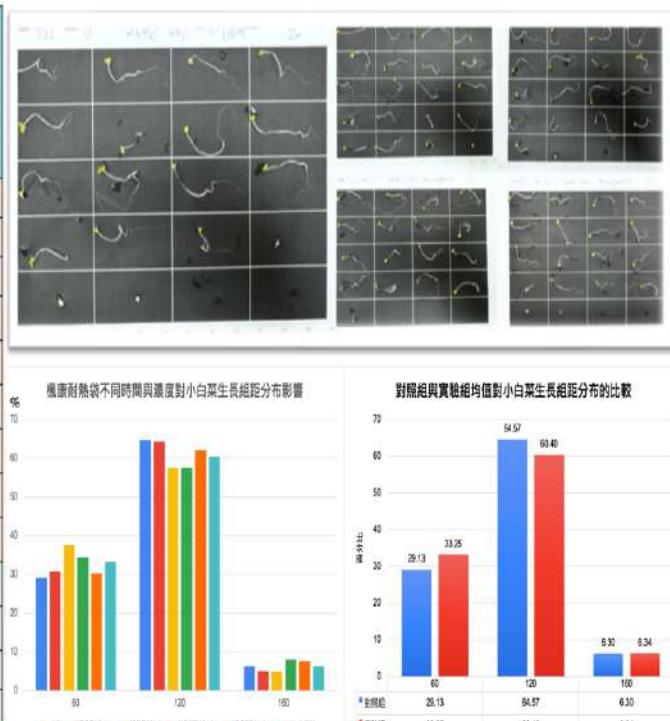
九、實驗組大肚魚短時間內出現躁動、翻身、無力，4 小時內死亡；對照組正常。交叉實驗確認毒性來自塑膠溶出物。行為變化具時序性與觀察性，補強植物矮化結果，證實高溫 PVC 保鮮膜釋出有害物質。

表二.TDS 與小白菜種子萌發率的關聯性分析表

此表整合了不同塑膠材質於高溫處理後的 TDS (總溶解固體) 與小白菜種子平均萌發率。整體而言，TDS 值的高低並未能完全反映對種子萌發的抑制程度，部分 TDS 相對較低的處理組別依然顯著影響種子發芽。以 HDPE 耐熱塑膠袋 為例，雖 TDS 僅 24~29 ppm，萌發率仍可保持在約 90% 以上；而 保鮮膜 組 TDS 僅 20~21 ppm，卻造成種子萌發率降至 50~80% 不等，顯示高溫條件下釋放的有害化合物並未全面反映在 TDS 數據中。換言之，僅憑 TDS 尚不足以評估塑膠溶出物對植物及食品安全的影響，需要結合萌發率等生物指標，才能更全面而準確地掌握其潛在風險。

實驗一樣本數	n=140	n=140	n=140	n=140	n=140	樣本總數	平均萌發率
實驗一HDPE 楊康無塑化劑塑膠袋	對照組	15分	30分	45分	60分	N=700	
萌發率%	90.7	100.0	89.3	89.3	94.3		92.7
TDS水質檢測	29 PPM	27 PPM	28 PPM	24 PPM	27 PPM		
實驗二樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗二PP普通塑膠袋濃度 (三佳牌)	普通塑膠袋15分	普通塑膠袋30分	普通塑膠袋一倍30分	普通塑膠袋五倍30分	南亞保鮮膜30分		
萌發率%	90	80	70	80	90		82.0
TDS水質檢測	29 PPM	30 PPM	30 PPM	30 PPM	32 PPM		
實驗三樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗三不同廠牌塑膠袋	HDPE台塑	HDPE麗康氏	HDPE購物袋	HDPE natural way	LDPE OP蔬果保鮮袋		
萌發率%	80	90	90	100	80		88.0
TDS水質檢測	29 PPM	24 PPM	32 PPM	24 PPM	24 PPM		
實驗四樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗四不同廠牌塑膠瓶	PC珍珠隨行杯	PP特福	PCT樂扣7	PP樂扣5	LDPE珍珠調味瓶		
萌發率%	70	80	90	100	100		88.0
TDS水質檢測	31 PPM	29 PPM	29 PPM	28 PPM	29 PPM		
實驗五樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=70
實驗五不同廠牌保鮮膜	PVC家樂福	PE楊康	PVC南亞	PE妙潔	PVDC楊康吳羽	PE超值	PE OP生物
萌發率%	50	80	70	70	80	80	72.9
TDS水質檢測	21 PPM	20 PPM	20 PPM	20 PPM	20 PPM	21 PPM	20 PPM

實驗一：HDPE楊康耐熱袋不同時間與濃度在高溫影響小白菜生長 (100度15分,30分,45分,60分,200ml,20ml/Ⅲ)						
2.統計組距百分比表、3.放大組距數據表，進行差異分析、4.計算實驗組平均值，與對照組進行比較，最後繪製生長趨勢圖，展示數據結果。						
2.組距%						
對照組 HDPE15min HDPE30min HDPE45min HDPE60min						
20	10	8	12	10	9	
40	9	12	15	8	15	
60	18	23	20	25	16	
80	29	39	26	30	28	
100	36	25	30	24	37	
120	17	26	16	18	17	
140	7	7	4	9	5	
160	1	0	2	1	5	
3.放大組距%						
對照組 HDPE15min HDPE30min HDPE45min HDPE60min 實驗組平均						
60	29.1	30.7	37.6	34.4	30.3	33.3
120	64.6	64.3	57.6	57.6	62.1	60.4
160	6.3	5.0	4.8	8.0	7.6	6.3
4.對照組：實驗組%						
對照組 實驗組						
60	29.13	33.25				
120	64.57	60.40				
160	6.30	6.34				

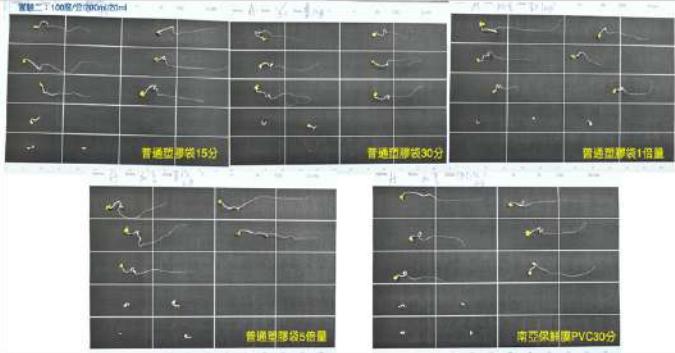


圖二十五：實驗一結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長組距數據%，長條圖比較。塑膠袋在高溫下溶出的化學物質對小白菜生長具有影響，表現為矮株比例提升，顯示部分植株生長受限，中株比例下降，可能影響植株正常發育。

實驗二：PP普通塑膠袋不同時間與濃度在高溫影響小白菜生長 (100度,15.30分,一倍,五倍200ml,20ml/皿)

1.收集與整理原始數據表, 2.統計組距百分比表, 3.放大組距數據表, 進行差異分析, 4.計算實驗組平均值, 與對照組進行比較, 最後繪製生長趨勢圖, 展示數據結果。

1.個數株長mm		PP普15%	PP普30%	PP一倍%	PP五倍%	PVC保鮮膜30%		
1	2.5	8.4	3.2	5.5	2.7			
2	7.6	9.2	5.5	5.7	3.8			
3	15.1	55.3	41.4	10.2	9.7			
4	65.0	75.3	51.2	84.1	62.5			
5	74.6	81.3	70.6	86.5	73.8			
6	85.6	81.8	75.7	86.6	74.2			
7	87.0	84.0	109.4	90.5	84.2			
8	98.3	112.0		98.4	86.7			
9	100.1				89.6			
10								
平均株長	59.5	63.4	51.0	58.4	54.1			
2.組距%		PP普15%	PP普30%	PP一倍%	PP五倍%	PVC保鮮膜30%		
20	7.9	33.3	22.2	28.6	37.5	33.3		
40	7.1		11.1					
60	14.2			28.6				
80	22.8	33.3	11.1	28.6	33.3			
100	28.3	22.2	33.3		62.5	33.3		
120	13.4	11.1	11.1	14.3				
140	5.5							
160	0.8							
3.放大組距%		對照組	PP普15%	PP普30%	PP一倍%	PP五倍%	PVC保鮮膜30%	
60	29.1	33.3	33.3	57.1	37.5	40.3		
120	64.6	66.7	55.6	42.9	62.5	56.9		
160	6.3							
4.對照組：實驗組%		對照組	實驗組平均					
60	29.13	40.33						
120	64.57	56.90						
160	6.30	0.00						

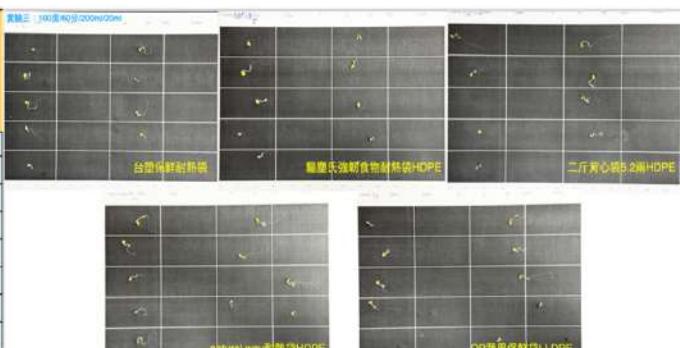


圖二十六：實驗二結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長組距數據%，長條圖比較。長條圖分析可見，實驗組的植株長度整體呈現矮化趨勢，表現為矮株比例顯著上升，中株比例減少，高株數量相對稀少。

實驗三：不同廠牌塑膠袋HDPE, LDPE高溫影響小白菜生長 (100度,60分,200ml,20ml/皿)

1.收集與整理原始數據表, 2.統計組距百分比表, 3.放大組距數據表, 進行差異分析, 4.計算實驗組平均值, 與對照組進行比較, 最後繪製生長趨勢圖, 展示數據結果。

1.個數株長mm		HDPE台灣	HDPE臺灣氏	HDPE購物袋	HDPE natural way	LDPE OP蔬果保鮮袋		
1	44.9	52.3	61.2	57.5	50.2			
2	39.5	31.5	48.5	48.5	46.9			
3	37.0	30.4	47.6	39.8	43.2			
4	28.5	28.5	40.6	38.4	40.0			
5	27.6	17.2	40.1	35.0	29.4			
6	19.7	15.2	18.9	30.7	26.3			
7	17.6	10.1	8.8	29.9	19.6			
8	15.5	6.5	7.9	27.5	5.8			
9	4.4	3.9	3.9	21.2				
10				9.2				
平均株長	26.1	21.7	30.8	33.8	32.7			
2.組距%		HDPE台灣	HDPE臺灣氏	HDPE購物袋	HDPE natural way	LDPE OP蔬果保鮮袋		
20	7.9	37.5	55.6	44.4	10.0	25.0		
40	7.1	50.0	33.3		70.0	25.0		
60	14.2	12.5	11.1	44.4	20.0	50.0		
80	22.8			11.1				
100	28.3							
120	13.4							
140	5.5							
160	0.8							
3.放大組距%		對照組	HDPE台灣	HDPE臺灣氏	HDPE購物袋	HDPE natural way	LDPE OP蔬果保鮮袋	塑膠袋平均
60	29.1	100.0	100.0	88.9	100.0	100.0	97.8	
120	64.6			11.1			22	
160	6.3							
4.對照組：實驗組%		對照組	塑膠袋平均					
60	29.1	97.8						
120	64.6	2.2						
160	6.3							

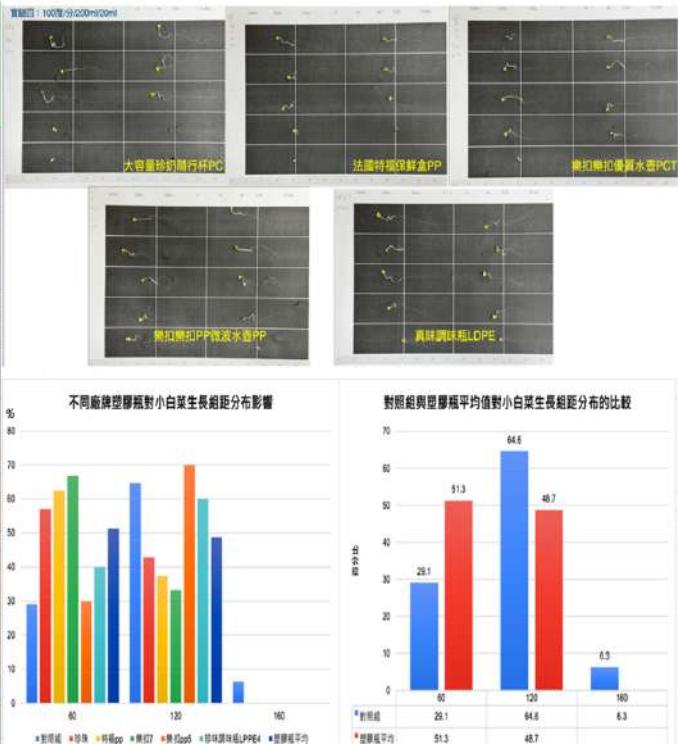


圖二十七：實驗三結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長組距數據%，長條圖比較。長條圖分析可見，塑膠袋經高溫處理後，對小白菜的生長抑制效果極為顯著，表現為矮株比例大幅上升，中株與高株的比例則顯著下降，甚至接近消失。

實驗四：不同廠牌保鮮膜PC,PP,PCT,LDPE高溫影響小白菜生長 (100度,60分,200ml/20ml/3)

1.收集與整理原始數據表 · 2.統計組距百分比表 · 3.放大組距數據表 · 進行差異分析 · 4.計算實驗組平均值 · 與對照組進行比較 · 最後繪製生長趨勢圖 · 展示數據結果。

1.個數/株長/mm						
	PC珍珠隨行杯	PP特福	PCT樂扣	PP樂扣S	LDPE珍珠調味瓶	
1	4.1	2.5	9.5	5.1	11.8	
2	45.7	10.6	30.4	32.7	24.8	
3	47.9	39.8	45.7	56.8	44.9	
4	53.7	42.2	46.7	62.6	56.8	
5	72.2	60.6	51.4	62.8	63.9	
6	79.7	63.7	53.7	65.1	66.0	
7	90.6	68.0	62.3	67.0	66.4	
8		71.4	69.4	68.1	73.7	
9			74.4	71.6	86.8	
10				88.4	88.4	
平均株長	56.3	44.8	49.3	58.0	58.3	
2.組距%						
	對照組	PC珍珠隨行杯	PP特福	PCT樂扣	PP樂扣S	LDPE珍珠調味瓶
20	7.9	14.2	25.0	11.1	10.0	20.0
40	7.1		12.5	11.1	10.0	
60	14.2	42.8	12.5	44.4	10.0	20.0
80	22.8	28.5	50.0	33.3	60.0	40.0
100	28.3	14.2			10.0	20.0
120	13.4					
140	5.5					
160	0.8					
3.放大組距%						
	對照組	PC珍珠隨行杯	PP特福	PCT樂扣	PP樂扣S	LDPE珍珠調味瓶
60	29.1	57.1	50.0	66.7	30.0	40.0
120	64.6	42.9	50.0	33.3	70.0	60.0
160	6.3					51.2
4.對照組：實驗組%						
	對照組	塑膠瓶平均				
60	29.1	51.3				
120	64.6	48.7				
160	6.3					

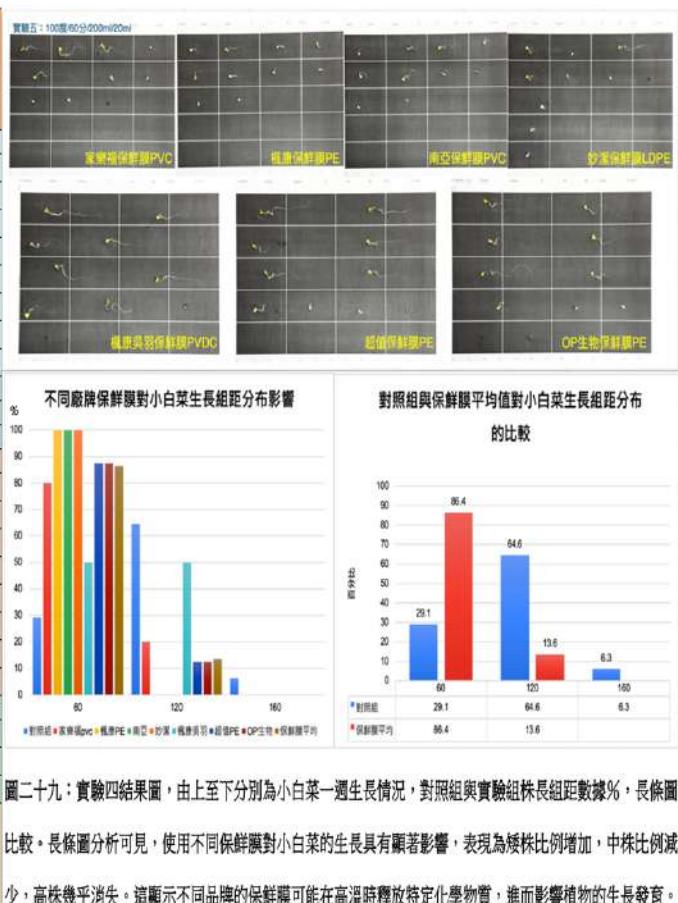


圖二十八：實驗四結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長組距數據%，長條圖比較。塑膠瓶經高溫處理後對小白菜生長有明顯抑制作用，表現為矮株比例增加，中株比例減少，高株幾乎消失，顯示不同品牌塑膠瓶在高溫環境下可能釋放特定化學物質，影響小白菜的生長發育。

實驗五：不同廠牌保鮮膜PVC,PE,PVDC高溫影響小白菜生長 (100度,60分,200ml/20ml/3)

1.收集與整理原始數據表 · 2.統計組距百分比表 · 3.放大組距數據表 · 進行差異分析 · 4.計算實驗組平均值 · 與對照組進行比較 · 最後繪製生長趨勢圖 · 展示數據結果。

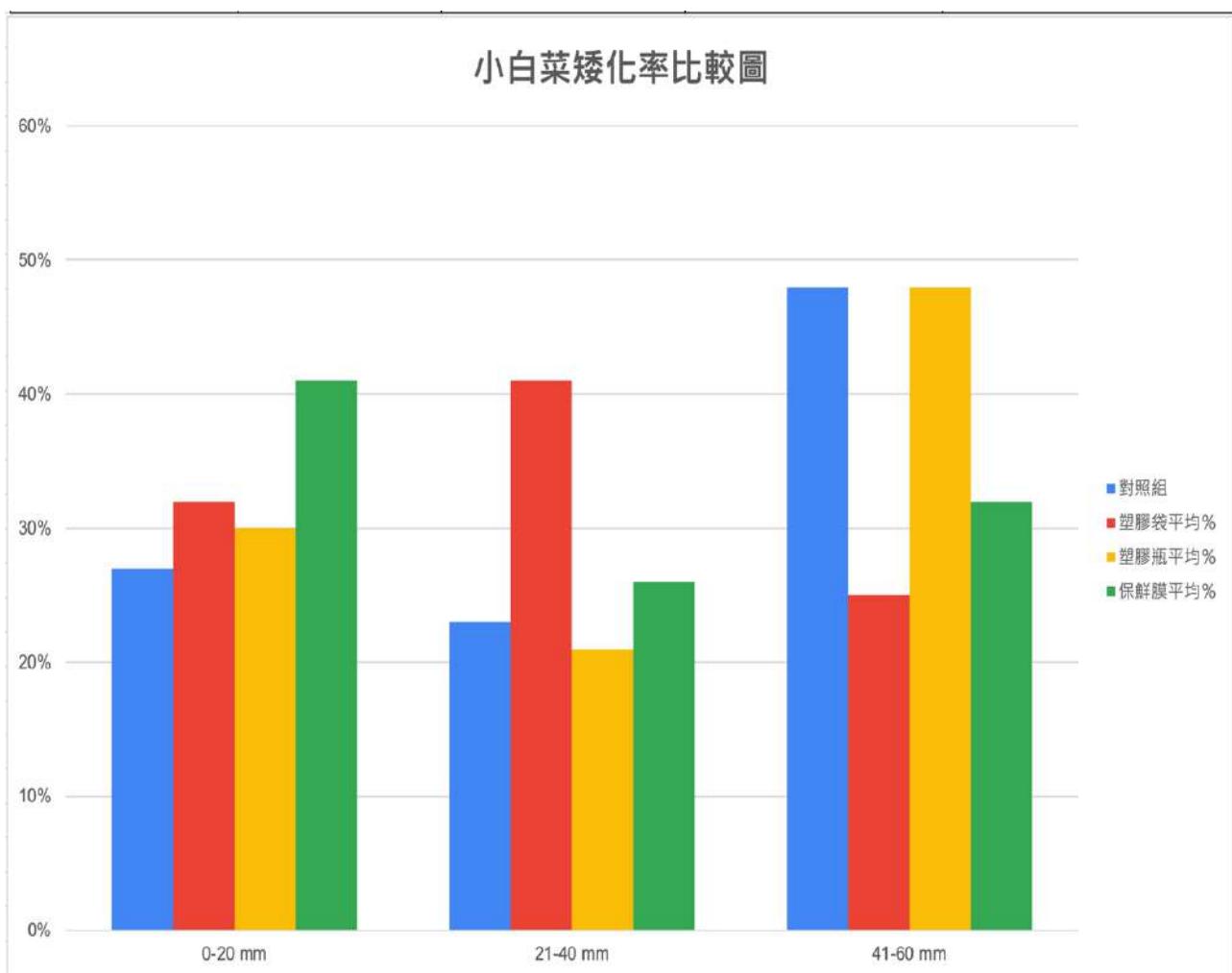
1.個數/株長/mm						
	PVC家樂福	PE福康PE	PVC南亞	PE妙潔	PVDC福康吳羽	PE超值PE
1	13.3	6.3	15.6	4.9	41.9	7.1
2	33.2	6.9	17.9	7.3	45.1	22.0
3	41.9	11.4	19.3	8.3	49.6	30.0
4	53.9	15.0	19.3	8.9	59.3	32.2
5	63.9	15.1	20.4	18.5	60.1	54.1
6		17.0	22.2	18.8	63.8	56.0
7	20.0	23.6	49.1	64.5	56.3	58.2
8	23.2			73.5	73.7	75.0
9						
10						
平均株長	41.3	14.4	19.8	16.5	57.2	41.4
2.組距%						
	對照組	PVC家樂福	PE福康	PVC南亞	PE妙潔	PVDC福康吳羽
20	7.9	20.0	75.0	57.1	85.7	12.5
40	7.1	20.0	25.0	42.9	14.3	37.5
60	14.2	40.0			50.0	37.5
80	22.8	20.0			50.0	12.5
100	28.3					
120	13.4					
140	5.5					
160	0.8					
3.放大組距%						
	對照組	PVC家樂福	PE福康	PVC南亞	PE妙潔	PVDC福康吳羽
60	29.1	80.0	100.0	100.0	100.0	50.0
120	64.6	20.0	0.0	0.0	0.0	50.0
160	6.3					86.4
4.對照組：實驗組%						
	對照組	保鮮膜平均				
60	29.1	86.4				
120	64.6	13.6				
160	6.3					



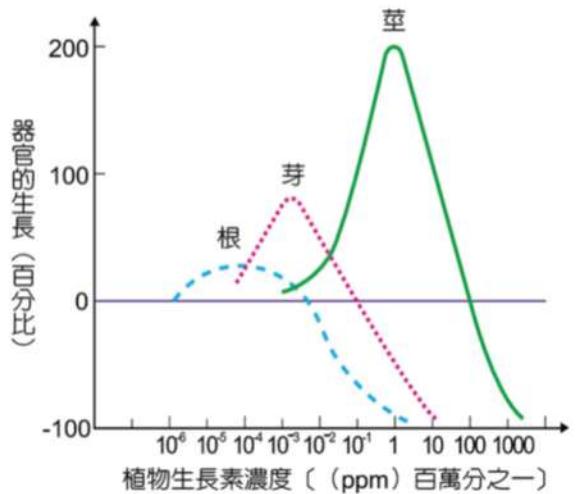
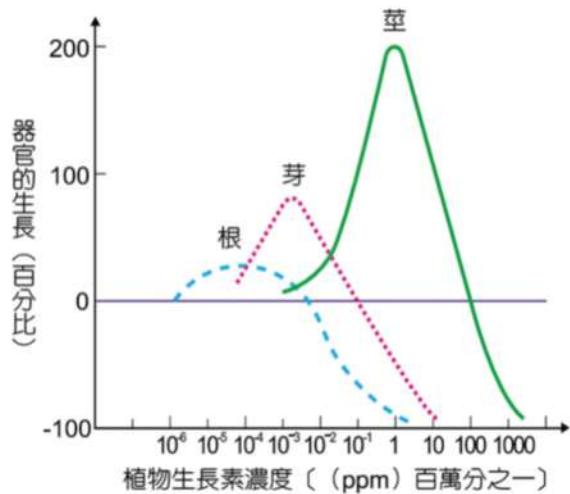
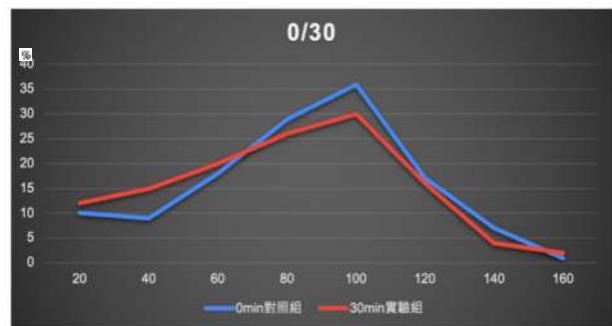
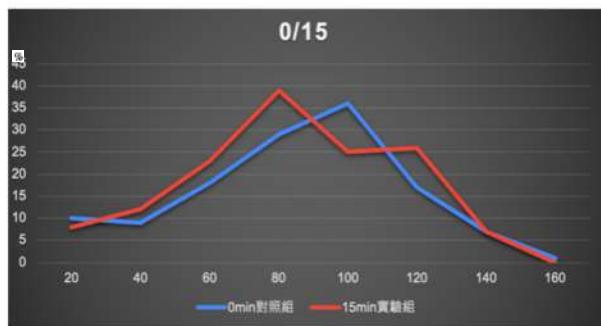
圖二十九：實驗四結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長組距數據%，長條圖比較。長條圖分析可見，使用不同保鮮膜對小白菜的生長具有顯著影響，表現為矮株比例增加，中株比例減少，高株幾乎消失。這顯示不同品牌的保鮮膜可能在高溫時釋放特定化學物質，進而影響植物的生長發育。

表三. 實驗一組距百分比表(每 20mm 為一組距)

組距\楓康塑膠袋浸泡時間	0min 對照組	15min 實驗組	30min 實驗組	45min 實驗組	60min 實驗組
20	10	8	12	10	9
40	9	12	15	8	15
60	18	23	20	25	16
80	29	39	26	30	28
100	36	25	30	24	37
120	17	26	16	18	17
140	7	7	4	9	5
160	1	0	2	1	5

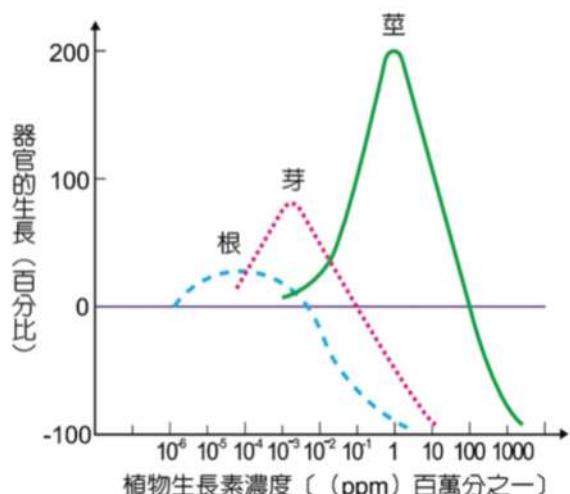
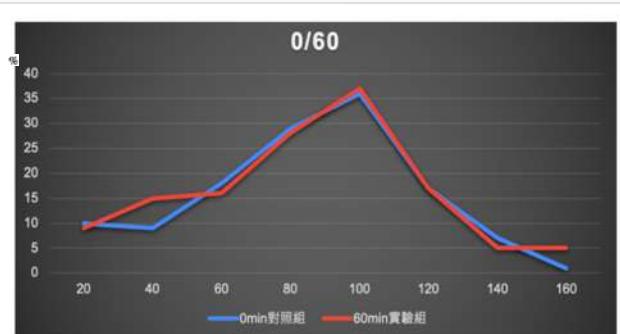
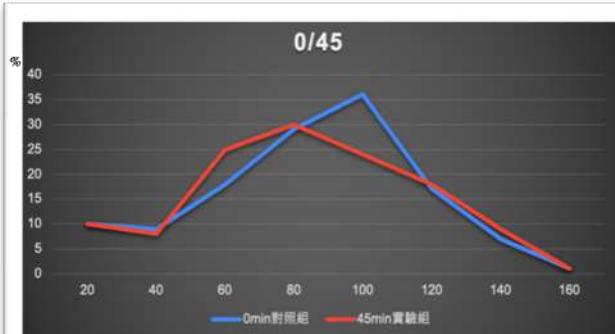


圖三十二：在 0 - 20mm、21 - 40mm、41 - 60mm 三區間，比較對照組與不同塑膠容器對小白菜矮化平均百分比。整體結果顯示保鮮膜與塑膠袋對矮化的影響最為顯著，塑膠瓶次之。在 0 - 20mm 保鮮膜組矮化率最高達 41%。(第 1 作者製作)

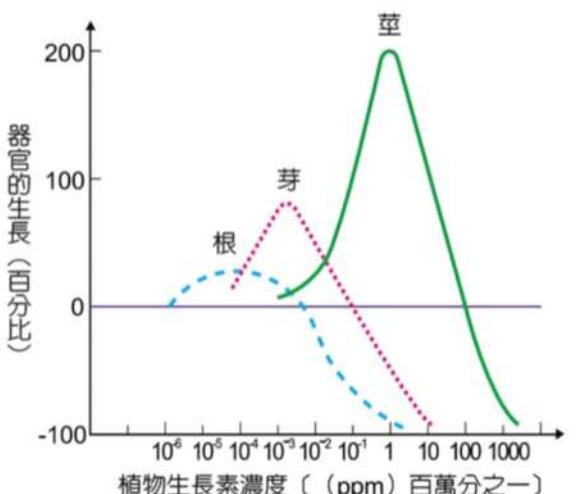


圖三十：實驗一對照組與實驗組 15 分折線圖對應植物生長素濃度模型圖

圖三十一：實驗一對照組與實驗組 30 分折線圖對應植物生長素濃度模型圖



圖三十二：實驗一對照組與實驗組 45 分折線圖對應植物生長素濃度模型圖



圖三十三：實驗一對照組與實驗組 60 分折線圖對應植物生長素濃度模型圖

## 伍、討論

本研究針對塑膠容器在高溫環境下溶出化學物質對小白菜生長的影響，並透過 IAA（生長素）模型推測其可能的作用機制。我們進行了七次獨立實驗（n=700），數據結果顯示塑膠溶出物對植株生長的影響具有穩定性，進一步驗證了其對環境與食品安全的潛在風險。以下為本研究的十項主要討論：

### 一、塑膠袋在高溫環境下釋放的化學物質是否影響植物生長？

數據顯示，隨著塑膠袋浸泡時間增加，小白菜的 矮株比例顯著上升（圖二十五），而中株比例下降，顯示塑膠袋可能釋放抑制植物生長的化學物質。本研究的結果顯示實驗組與對照組間具有顯著差異，證明高溫塑膠溶出物確實會影響植物的發育。

**小結：**塑膠溶出物可能干擾植物的生長模式，使植株生長受限，導致明顯的矮化效應。

### 二、塑膠袋溶出的化學物質如何影響小白菜的生長模式？

從 30 分鐘與 45 分鐘的數據（圖二十七）可見，小白菜的矮株比例顯著上升，顯示塑膠袋在高溫下可能釋放累積性化學物質，導致植株的生長受抑制。對照組的矮株比例僅 29.1%，而塑膠袋實驗組最高達 41%，顯示塑膠溶出物可能具有 植物生長調控作用，且效應 隨濃度變化。

**小結：**塑膠袋釋放的化學物質可能具有累積性作用，並干擾植物正常生長模式。

### 三、低濃度塑膠溶出物是否可能促進種子萌發？

實驗結果顯示，部分低濃度塑膠溶出物可能短暫促進種子萌發（表二）。

1. 對照組萌發率：92.7%。
2. 塑膠袋（15 分鐘）萌發率：94% → 萌發率微幅上升。
3. 塑膠袋（30 分鐘）萌發率：80% → 開始下降。
4. PVC 保鮮膜（60 分鐘）萌發率：50% → 顯著下降。

這顯示塑膠溶出物的影響可能與 生長素（IAA）濃度效應 相似，低劑量時可能產生短暫促進作用，但濃度升高後則轉為抑制。

**小結：**低濃度的塑膠溶出物可能與生長素作用類似，但隨濃度升高，抑制作用更顯著。

### 四、塑膠袋溶出的化學物質是否具有類似生長素的作用？

本研究透過 IAA（生長素）模型（圖三十一）進行對比分析，結果顯示：

1. 15 分鐘浸泡組：推測化學物質濃度約  $10^{-4}$  ppm，影響模式與低濃度生長素類似，對根部具有促進作用，但對莖與芽影響較小。
  2. 60 分鐘浸泡組：推測濃度約  $10^{-2}$  ppm，此時影響已達飽和，與對照組的生長趨勢接近。這驗證了塑膠溶出物可能具有生長素類似效應，並可能影響植物內源性激素調控機制。
- 小結：**塑膠溶出物可能類似生長素機制會干擾植物生長，影響根、莖、芽的發育。

## 五、高溫與長時間處理是否影響塑膠袋溶出的化學物質濃度？

實驗發現，當浸泡時間達 60 分鐘，實驗組與對照組的生長趨勢趨於一致，推測化學物質濃度已達穩定狀態（圖三十三）。這顯示塑膠袋的溶出物隨時間增加會逐步累積，但當達到某一閾值後，其影響效應不再顯著。

**小結：**長時間浸泡可能增加塑膠袋的溶出物濃度，但影響達到飽和後趨於穩定。

## 六、實驗結果是否具有再現性？

透過七次獨立實驗（n=700），數據顯示塑膠袋溶出物對植物的影響具有穩定性，不同批次的實驗結果趨勢一致（圖二十五）。

**小結：**塑膠袋溶出物影響植物生長的現象具有科學再現性，並非偶然發生。

## 七、標榜「耐熱、無塑化劑、無雙酚 A」的塑膠袋真的安全嗎？

研究結果（圖二十七）顯示，即使標榜「無塑化劑、耐熱」的塑膠袋，在高溫條件下仍可能釋放影響植物生長的化學物質。這意味著，即使符合食品安全標準，塑膠袋仍可能有未知的潛在風險，未來應進一步檢測其成分與安全性。

**小結：**「無塑化劑」 ≠ 完全安全，高溫仍可能產生未知的化學溶出物。

## 八、小白菜能否作為環境污染的生物指標？

研究顯示小白菜的生長變化可與塑膠溶出物濃度直接對應（圖三十～圖三十三），顯示其具備環境污染指標的潛力。

**小結：**小白菜生長模式可作為監測塑膠污染的「生物指標」，有助環境監測與水質評估。

## 九、塑膠溶出物對食品安全的影響？

本研究發現 保鮮膜 > 塑膠袋 > 塑膠瓶（圖三十二），其中 PVC 保鮮膜的影響最為顯著，這代表食品包裝材料的選擇可能影響食品安全。

**小結：**應避免在高溫環境下使用塑膠包裝，以減少食品污染風險。

## 十、是否有更安全的替代方案？

根據研究結果，建議減少高溫使用塑膠包裝，並改用 玻璃、陶瓷或不鏽鋼，以降低食品安全風險，並減少塑膠污染。

**小結：**應推動更安全的環保材質，降低塑膠污染與健康風險，促進永續發展。

## 十一、塑膠溶出物是否對水生生物具有急毒性？

本研究補充實驗以大肚魚作為急毒性指標，驗證高溫處理後 PVC 保鮮膜溶出物對水生生物的影響。結果顯示，實驗水樣能迅速引發魚體躁動、翻身、無力，最終導致死亡，且經交叉實驗排除個體差異，確認毒性來自水樣本身。行為反應具明顯時間序列，具觀察性與指標價值。本研究除佐證植物矮化效應外，亦從動物層面補強塑膠溶出物的毒性證據，突顯其潛在的食安與生態風險。（圖三十五）

**小結：**大肚魚可作為塑膠溶出物的生物急毒性指標，補強本研究對環境與健康風險的橫向驗證。

## 十二、PVC 保鮮膜高溫溶出物是否具有促進根系生長的潛在生理效應？

本研究進一步分析 PVC 材質於高溫處理後所釋出的塑膠溶出物，對蜜雪兒品系之小白菜苗根系生長的影響。實驗結果顯示，處理組幼苗之主根明顯延長，側根發育亦較早，呈現顯著促進效應。值得注意的是，該促進現象不僅侷限於農友牌品系，在蜜雪兒小白菜品系中亦可觀察到類似趨勢，顯示此生理反應具跨品系一致性。（圖三十六）

**小結：**PVC 高溫溶出物可能含有影響根系發育之化學物質，對不同品系小白菜皆具促進效果，具跨品系普遍性，顯示小白菜苗反應為可信且具生理代表性之驗證指標。

## 陸、結論

### 高濃度塑膠袋溶出物造成小白菜植株矮化現象

本研究首度發現，小白菜的植株高度受高濃度塑膠溶出物影響，產生顯著的矮化現象，證實塑膠容器在高溫條件下可能釋放影響植物生長的化學物質，其作用模式與生長素（IAA）調控機制相似。實驗結果顯示，當塑膠袋浸泡 15 分鐘時，小白菜的矮株比例顯著上升，推測當時釋放的化學物質濃度約為  $10^{-4}$  ppm，其效應與低濃度 IAA 類似，可能輕微促進根部生長，但對莖與芽的影響較小。然而，當浸泡時間延長至 60 分鐘，對照組與實驗組的生長狀況趨於一致，推測此時塑膠溶出物濃度約達  $10^{-2}$  ppm，影響已趨於穩定，與 IAA 生長素模型的趨勢相符。此外，即使標榜「耐熱、無塑化劑、無雙酚 A」的塑膠袋，在高溫環境下仍可能釋放影響植物生長的未知化學物質，顯示即便符合食品安全標準，仍可能對生物與環境產生潛在影響。因此，應審慎選擇食品包裝材料，避免高溫環境下使用塑膠製品，以降低攝取塑膠溶出物的風險。

進一步分析不同濃度塑膠溶出物對植株生長之影響，發現 PP 塑膠袋（一倍% 組）的矮株比例顯著上升至 57.1%，遠高於對照組（29.13%），顯示塑膠溶出物可能干擾 IAA 信號傳遞機制，導致芽與莖的生長受阻。然而，當濃度進一步提高至 PP 塑膠袋（五倍%組），矮株比例反而下降至 37.5%，中株比例回升（42.9%），顯示當濃度超過  $10^{-2}$  ppm，植物可能進入應激反應（Stress Response）狀態，導致生長停滯，而非持續矮化。此現象可能與高濃度 IAA 影響內源激素平衡有關，當生長素超過植物耐受閾值，可能影響細胞分裂與伸長，導致部分植株無法持續矮化，而是停滯於中等高度。此外，高株比例在 PP（一倍%組）和 PP（五倍% 組）均維持 0%，顯示高濃度塑膠溶出物已全面抑制頂芽優勢（Apical Dominance），使植株生長高度受限，並可能影響生長素分布的穩定性。

不同塑膠材質對植株矮化的影響亦存在顯著差異。本研究結果顯示，在高溫條件下，保鮮膜(PVC)釋放的化學物質對小白菜的矮化影響最為嚴重，其矮株比例顯著高於塑膠袋與塑膠瓶組別，顯示保鮮膜可能釋放較高濃度的干擾物質，進一步影響植物的生長機制。塑膠袋的影響次之，在不同時間與濃度條件下皆觀察到明顯的矮化效應，顯示其溶出物亦可能干擾植物激素調控。相比之下，塑膠瓶的影響相對較小，雖然仍可觀察到一定程度的生長抑制，但矮株比例相較於保鮮膜與塑膠袋組別較低，顯示不同塑膠材料在高溫條件下可能釋放不同類型與濃度的化學物質，對植物生長的影響亦有所不同。

本研究進一步證實，小白菜的生長變化可有效反映塑膠溶出物的濃度，顯示其具備生物指標潛力。當塑膠釋放的化學物質濃度較低時，可能短暫促進種子萌發；然而隨濃度升高，其影響轉為抑制作用，導致植株矮化甚至生長停滯。若能進一步確認小白菜對不同污染物的敏感性，未來可應用於水質檢測、污染監測及生態風險評估，提供一種簡單且具科學依據的環境監測工具。此外，PVC 高溫溶出物對魚類與多品系小白菜皆產生明顯生理影響，顯示這些化學物質可能同時作用於動物與植物，具有跨物種影響力，並對整體生態與食安帶來潛在風險。本研究結果提醒，塑膠製品的使用與食品安全及環境健康密切相關，塑膠溶出物不僅可能干擾植物生長，也可能透過生態系統與食物鏈進一步影響人體健康，此部分仍有待深入研究。因此，應審慎選擇食品包裝與烹調方式，尤其應避免在高溫條件下使用塑膠容器，以降低暴露於潛在污染物的風險。植株生長對塑膠溶出物濃度變化敏感，可作為簡易環境污染生物指標。**濃度低 → 促進萌芽；濃度高 → 抑制生長，出現矮化或停滯。**

綜合研究結果，本研究首次透過科學數據證實塑膠溶出物對植物生長的顯著影響，並發現高濃度塑膠溶出物可導致植株矮化現象，其影響機制與 IAA 生長素調控相關，並可能因高濃度暴露引發植物生理應激反應。此外，保鮮膜的影響最為嚴重，其次為塑膠袋，而塑膠瓶影響雖存在但相對較小。這些結果顯示，不同塑膠材料的化學溶出物特性不同，對生物體的影響亦可能有所差異，未來應進一步探討其化學成分與生物毒性機制。塑膠高溫溶出物可能影響作物生長與食品安全，應減少使用並強化監測。未來應進一步評估塑膠與環保材質的安全性，推廣玻璃、不鏽鋼及陶瓷，以降低污染與健康風險，促進永續發展與生態平衡。

## 柒、參考文獻資料

### 一、期刊文獻

Chen, K. F. (2011). Research on difference of nitrate content among cultivars of Chinese mustard (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.)).

Chen, X., & Lee, J. (2019). Bioaccumulation of plasticizers and their impact on plant metabolic processes. *Journal of Plant Biochemistry*, 45(2), 256–270.

Liu, P., Zhang, T., & Wang, H. (2021). Low-dose plasticizers as mimics of plant hormones. *Environmental Science and Technology*, 12(8), 1333–1341.

Peterson, R., Xu, M., & Chao, Q. (2023). Plastic contaminants and their effects on seedling development. *Plant and Soil Sciences*, 102(5), 78–85.

Smith, J., Wu, Y., & Naidu, R. (2020). Plant stress response mechanisms under pollutant exposure. *Journal of Plant Physiology*, 73(4), 231–238.

Zhao, L., & Li, F. (2022). Impact of phthalates on cellular growth in plants. *Agricultural Chemistry Review*, 32(6), 592–600.

### 二、科展文獻

何觀亘, 莊蕉華, 林久淳, 許惠華, 汪哲宇, 陳則璋, 趙靖瑄, & 蕭寓名. (2011). 喔喔！豆豆先生中毒了？！—塑膠水對豆類發芽的影響 [科學展覽會作品說明書]. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會.

### 三、網路文獻

JMP 統計學知識入口網站. (n.d.). *t* 檢定 (*t-test*). Retrieved February 12, 2025, from [https://www.jmp.com/zh\\_tw/statistics-knowledge-portal/t-test.html](https://www.jmp.com/zh_tw/statistics-knowledge-portal/t-test.html)

World Health Organization (WHO). (2012). *State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012*. Retrieved February 12, 2025, from <https://www.who.int/publications/i/item/state-of-the-science-of-endocrine-disrupting-chemicals>

植物 IAA 生長素模型圖. 教師手冊翰林版網頁  
<https://bioshchen.weebly.com/268932928930340215212232024615.html>

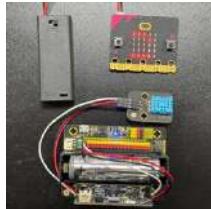
## 附錄

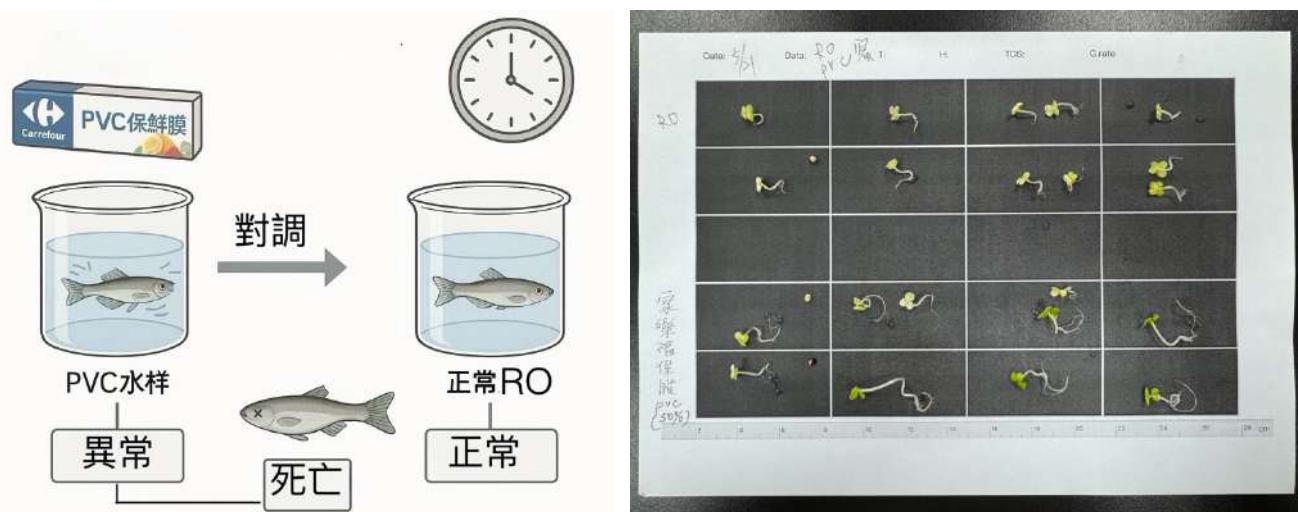
### 附錄一：實驗操作流程



圖八：實驗操作流程：我們準備了十個培養皿，鋪上濕衛生紙，放 20 顆小白菜種子。對照組用逆滲透水，實驗組用塑膠袋裝 100 度熱水放涼後的水（45 和 60 分鐘）。培養皿蓋上保鮮膜，避免污染，每天記錄溫度、濕度和酸鹼值，觀察小白菜的生長。第四天，我們加了 10 ml 水，繼續蓋上保鮮膜，讓水分不蒸發，並用特別軟體分析照片，確保結果更準確。（第 2 作者攝）

## 附錄二：實驗材料與設備

實驗材料與設備(第 2 作者攝)				
樂扣樂扣優質水壺	珍味調味瓶	樂扣樂扣微波水壺	NATURALWAY 耐熱袋	二斤背心袋 5.2 兩
				
驅塵氏耐熱袋	OP 蔬果保鮮袋	台塑保溫耐熱袋	500ml 燒杯	玻璃培養皿
				
細菌培養皿	鑷子	保溫袋	計時器	TDS 水質檢測筆
實驗材料與設備(第 2 作者攝)				
				
電子秤	Micro:bit 溫濕度計	電子溫度計	熱水器	微波爐



圖三十五：驗證 PVC 高溫塑膠溶出物  
對水生生物具有急性毒性。

(第 2 作者利用 Chatgpt 進行 AI 繪圖)

圖三十六：驗證 PVC 高溫溶出物促進小白菜  
根系生長，效應跨品系一致。

(第 2 作者攝)

附錄三：實驗一到實驗五進行 TDS 水質檢測



圖二十三：實驗一到實驗五進行 TDS 水質檢測(第 2 作者攝)

附錄四：實驗一小白菜生長一週株長紀錄表

(表一) 實驗一小白菜生長一週株長紀錄表，0min 為對照組，15min、30min、45min、60min 為實驗組

所有數據表不包含未萌芽數據 ( 10/22-12/31)												
株數	0min	15min	30min	45min	60min	株數	0min	15min	30min	45min	60min	
1	6.25	7.64	8.34	6.23	5.17	71	82.69	74.61	78.36	78.64	82.66	
2	8.05	11.68	9.86	10.55	7.95	72	83.11	74.7	78.6	78.73	83.79	
3	10.72	13.26	11.58	10.77	9.98	73	83.32	75.92	79.22	78.81	83.82	
4	11.33	16.33	12.13	13.75	10.04	74	83.71	76.27	83.42	80.14	83.94	
5	11.68	16.62	12.87	15.25	14.06	75	83.95	76.28	83.89	80.48	84.82	
6	15.04	17.2	12.87	15.45	14.64	76	84.39	77.7	84.23	81.13	85.27	
7	16.59	17.33	14.21	15.64	15.03	77	85.8	77.89	84.74	83.82	85.64	
8	16.86	17.42	17.07	16.29	15.17	78	86.15	77.98	85.57	84.24	85.99	
9	18.07	20.51	18.02	16.73	18.1	79	87.36	78.07	86.2	85.06	86.06	
10	19.49	21.29	19.05	19.77	20.24	80	88.03	78.56	86.85	85.84	87.54	
11	20.07	22.48	19.14	21.74	21.38	81	88.48	79.04	86.91	86.36	87.57	
12	21.39	30.03	19.78	23.04	21.97	82	89.02	79.75	87.42	86.88	88.03	
13	21.79	31.59	20.19	34.99	25.22	83	91.03	80.2	87.84	88.26	88.24	
14	22.99	32.81	20.49	37.77	26.66	84	91.37	80.56	88.27	88.69	88.28	
15	29.7	33.81	21.57	38.39	27.54	85	91.53	81.33	88.4	89.41	88.7	
16	29.84	35.64	22.6	38.8	30.13	86	91.84	81.36	88.4	90.67	88.9	
17	33.19	37.52	24.88	39.45	30.26	87	92.23	83.05	89.61	91.78	89.18	
18	34.06	38.57	25.03	39.53	30.51	88	92.3	83.95	90.13	93.45	89.48	
19	35.2	39.66	29.01	43.46	31.09	89	92.43	84.23	90.2	93.57	89.63	
20	41.85	39.83	30.22	44.56	32.71	90	92.71	85.37	90.38	94.78	90.56	
21	43.23	42.18	30.3	44.58	32.85	91	94.02	85.38	90.56	95.66	91.44	
22	45.13	42.72	30.74	45.95	35.84	92	94.08	85.64	90.77	95.98	91.66	
23	46	42.79	32.44	46.52	37.12	93	94.52	86.8	91.08	96.19	91.85	
24	47.05	43.84	32.48	46.9	38.23	94	94.55	86.97	91.41	97.26	92.14	
25	47.08	43.93	32.95	47.31	40.26	95	94.94	88.08	91.81	98.02	92.67	
26	47.29	43.94	34.52	47.33	40.8	96	95.17	88.17	94.2	98.99	92.69	
27	47.53	46.64	39.25	48.15	42.96	97	95.94	90.08	94.45	99.17	93.46	
28	47.53	47.84	40.55	48.29	42.98	98	96.16	90.41	95.28	100.42	93.58	
29	48.36	48.75	41.19	48.34	43.58	99	96.64	90.56	95.44	102.04	93.78	
30	48.86	49.06	43.92	48.36	44.05	100	96.98	91.44	96.45	102.21	94.08	
31	52.44	49.23	46.76	51.03	46.27	101	97.54	92.21	96.58	102.71	95.03	
32	53.64	50.66	48.67	51.19	47.09	102	97.96	92.29	98.87	102.76	95.57	
33	53.71	52.34	49.28	51.77	47.19	103	100.29	92.7	98.99	103.86	97.56	
34	53.74	53.01	49.29	52.1	50.15	104	100.55	93.25	100.18	103.87	98.14	
35	58.31	53.4	49.44	52.55	52.14	105	100.62	94.04	100.38	105.18	98.43	
36	58.32	53.62	49.73	52.89	55.42	106	101.27	94.77	100.81	105.44	100.18	
37	59.15	53.77	53.52	52.95	55.57	107	102.44	98.66	101.4	105.57	102.15	
38	61.04	53.91	54.84	54.92	56.37	108	103.25	100.04	105.35	105.74	102.95	
39	61.9	54.26	55.21	55.04	58.16	109	103.69	100.36	106.2	106.21	103.38	
40	62.41	55.72	55.59	57	58.56	110	104.09	100.55	108.7	109.3	104.1	
41	62.56	57.76	56.63	57.38	60.78	111	105.37	101.73	108.84	114	104.33	
42	62.69	58.17	57.03	59.79	60.87	112	105.54	101.75	109.42	116.44	104.39	
43	62.89	59.35	57.34	59.87	62.87	113	108.69	103.1	111.46	116.82	105.17	
44	63.31	60.18	57.88	60.19	63.7	114	109.56	103.2	111.54	118.03	105.67	
45	63.6	60.48	58.88	60.83	65.22	115	111.66	103.81	113.62	119.58	106.9	
46	63.61	60.66	58.92	61.04	65.77	116	116.28	104.3	114.63	120.34	107.34	
47	64.63	61.16	59.25	63.43	65.8	117	117.07	104.73	117.4	124.21	107.69	
48	65.24	61.17	61.1	64.45	67.41	118	119.55	104.99	118.03	128.72	108.48	
49	67.13	61.19	61.88	65	68.35	119	119.6	107.07	119.99	129.17	108.88	
50	67.24	62.36	62.19	65.43	69.07	120	121.12	107.28	125.58	129.73	116.19	
51	67.3	62.43	62.41	66.23	69.95	121	122.58	107.44	129.21	136.83	118.39	
52	67.46	62.76	63.65	66.67	70.74	122	123.77	108.05	136.66	137.37	119.63	
53	68.6	63.44	65.13	69.61	71.21	123	127.6	108.28	136.89	138.15	123.98	
54	69.9	64.2	65.61	70.07	71.73	124	135.4	109.41	146.77	139.21	127.87	
55	70.8	64.92	67	70.31	72.66	125	136.88	109.5	147.31	147.01	131.45	
56	71.34	66.9	67.16	70.84	73.63	126	137.79	109.75			133.03	
57	71.71	67.26	68.04	71.15	75.2	127	144.23	109.83			136.79	
58	72.87	67.73	68.66	71.26	76.54	128		112.21			141.32	
59	73.26	71.06	68.7	71.9	77.09	129		113.1			141.83	
60	74.02	71.17	69.09	72.06	77.36	130		114.56			144.97	
61	75.32	71.19	69.72	72.23	77.49	131		116.42			146	
62	76.54	72.04	73.25	72.84	77.84	132		117.56			149.08	
63	76.8	72.22	74.18	75.32	77.88	133		118.44				
64	77.77	72.68	74.31	75.4	78.21	134		122.35				
65	77.98	73.01	74.45	75.47	78.22	135		122.42				
66	79.66	73.15	74.49	75.77	78.74	136		128.22				
67	80.42	73.73	75.65	75.87	78.8	137		128.43				
68	80.43	73.98	75.87	76.34	79.19	138		130.15				
69	82.06	74.02	77.63	76.92	82.21	139		135.91				
70	82.36	74.6	77.74	78.04	82.64	140		138.11				
							平均株長	73.98	73.64	70.07	74.00	74.72

## 【評語】080316

1. 主題緊扣日常生活，關注外送餐飲與塑膠包裝的食安議題，展現學生對生活環境的敏銳觀察力。
2. 研究結果具應用性，能釐清不同塑膠材質在高溫下的潛在風險，並提出減少高溫使用塑膠容器、推廣安全材質的具體建議。
3. 若能增加各組實驗的樣本數與重複次數，將使數據更具說服力與統計意義。
4. 若有機會進行更長期的追蹤觀察，或延伸至其他作物與不同塑膠製品的比較，將使研究更具廣度與深度。

作品海報



溫室效應

塑膠溶出物、生長素影響、生物指標

# 摘要

隨外送餐飲盛行，熱食頻繁接觸塑膠容器，潛藏釋毒風險。本研究以920株小白菜進行水耕栽培，探討多種塑膠袋、塑膠瓶與保鮮膜經100°C處理後的溶出物對植物生長之影響，並結合IAA生長素模型推估其作用機制。實驗結果顯示，高溫處理後塑膠溶出物明顯提高小白菜矮化比例，其中以PVC保鮮膜最嚴重，矮株矮化率達41%。推估其作用濃度由  $10^{-4}$  ppm上升至  $10^{-2}$  ppm，呈現濃度依賴性干擾。另以TDS值監測樣本水質，發現TDS偏低時常伴隨萌發率下降，單憑TDS難以反映實際毒性。本研究驗證高溫塑膠容器可能釋出具生理活性的物質，小白菜可作為早期生物指標。結果亦顯示高溫塑膠溶出物影響生物生理，對食品安全與環境健康構成潛在風險，建議避免以塑膠容器盛裝高溫食物。

# 壹、前言

## 一、研究動機

- 近年來塑膠容器與高溫接觸頻繁，可能釋放對生物體有害的化學物質，引發食品與環境安全疑慮。
- 即使標榜無毒或耐熱的塑膠製品，在高溫下仍可能產生潛在有害物質。
- 目前已有研究指出塑膠溶出物可能干擾內分泌系統，但對植物生長的影響尚缺乏實證資料。
- 本研究以小白菜為生物指標，探討不同塑膠容器在高溫下對植物生長與種子萌發的影響。
- 實驗將驗證塑膠溶出物是否造成矮化現象、濃度與加熱時間是否相關，以及其是否具生長素類似效應。



圖一：熱食的塑膠袋  
(第一作者攝)



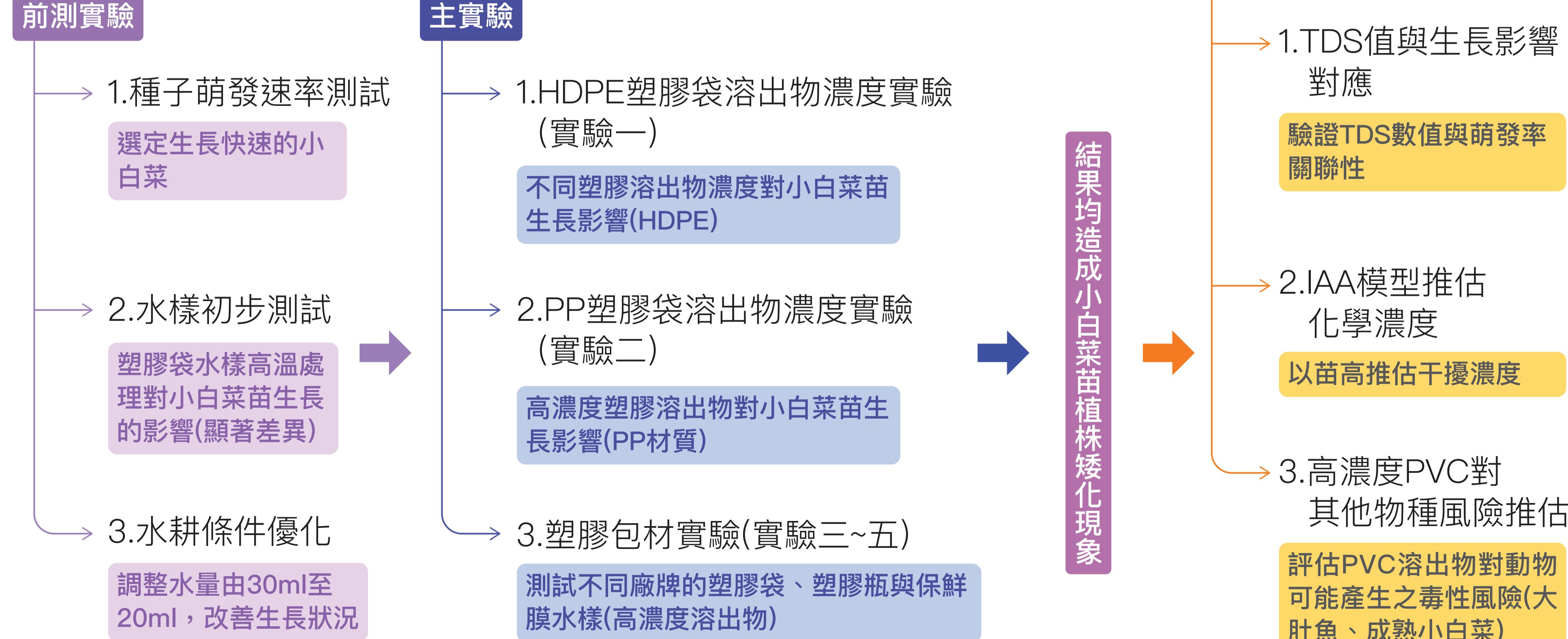
圖二：保鮮膜微波熱食  
(第一作者攝)

## 二、研究目的

本研究旨在透過實驗驗證塑膠容器在高溫下釋放的化學物質是否影響植物生長，並評估不同塑膠材質的影響程度。

- (一)尋找適合檢測塑膠溶出物的模式生物。
- (二)高溫塑膠溶出物濃度對小白菜苗生長影響。
- (三)比較不同塑膠包材，塑膠袋、塑膠瓶、保鮮膜，對小白菜苗生長的影響。
- (四)分析TDS值與小白菜萌發率的關聯性。
- (五)建立小白菜生長與生長素濃度的對應模型，評估其作為生物指標的可行性。
- (六)探討高濃度PVC塑膠溶出物對動物與其他品系小白菜生理的影響。

## 三、研究架構圖



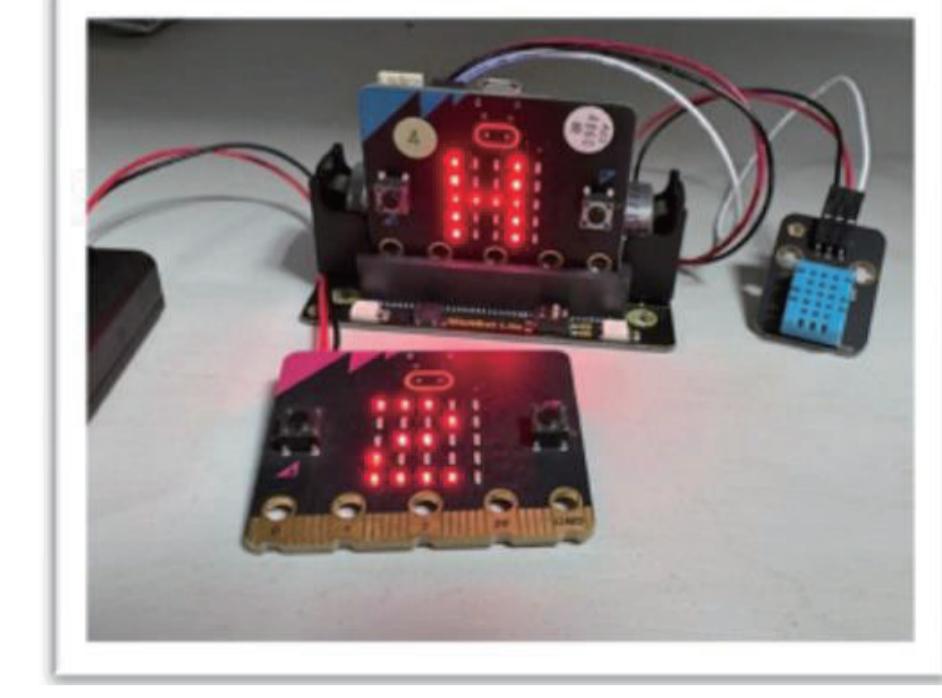
# 貳、研究設備及器材

本實驗使用塑膠袋、小白菜種子、水培容器及加熱設備，進行高溫下塑膠溶出物對植物生長的影響觀察。

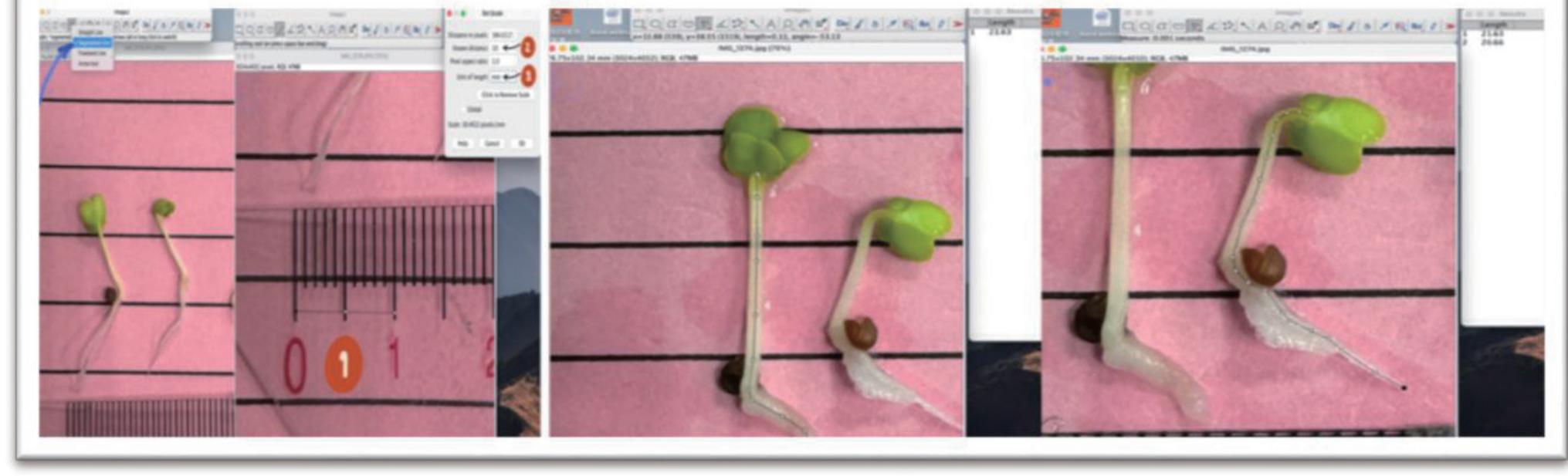
# 參、研究過程與結果



圖三：TDS水質檢測計 (第一作者攝)



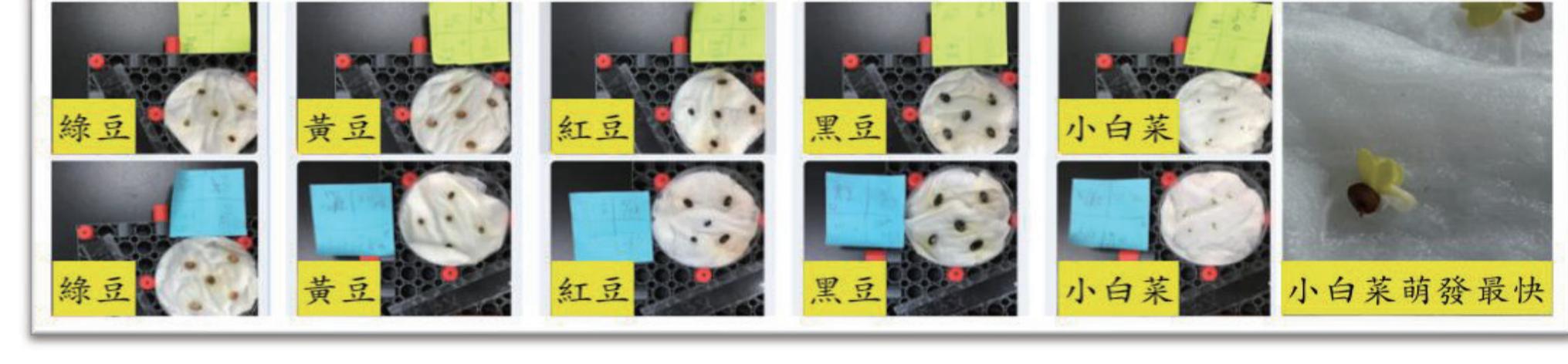
圖四：Micro:bit溫濕度計 (第一作者攝)



圖五：Image J 進行影像分析與測量 (第一作者攝)

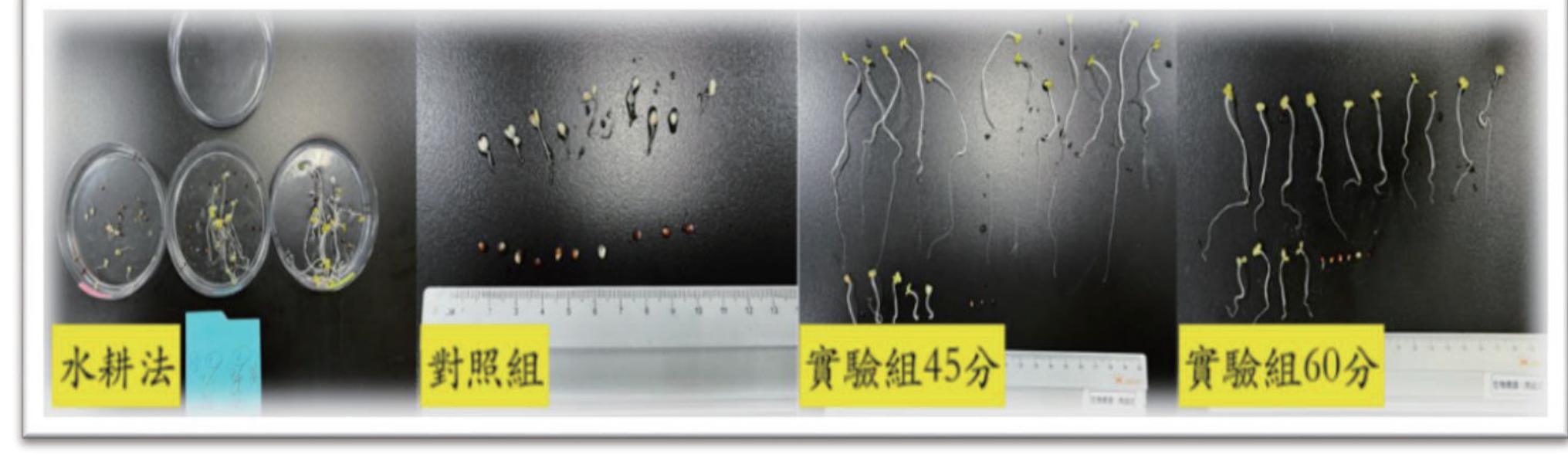
## 前測實驗

### (一) 前測實驗一：種子萌發速率測試

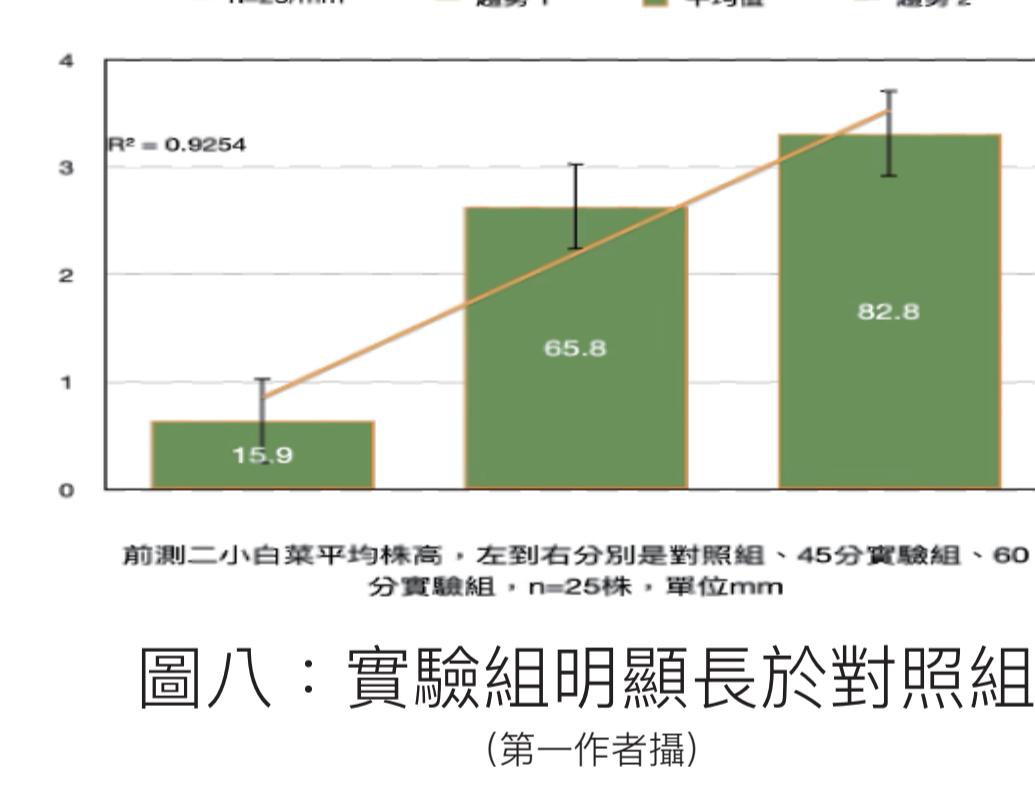


圖六：小白菜高萌發率和生長速率快成為理想實驗對象 (第一作者攝)

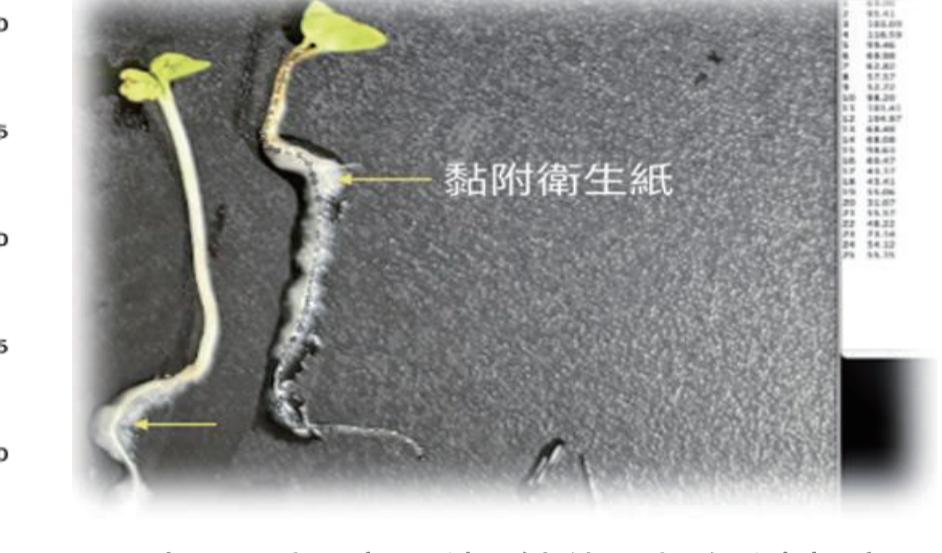
### (二) 前測實驗二：水樣初步測試



圖七：實驗組45分、60分的生長速率顯著高於對照組 (第一作者攝)

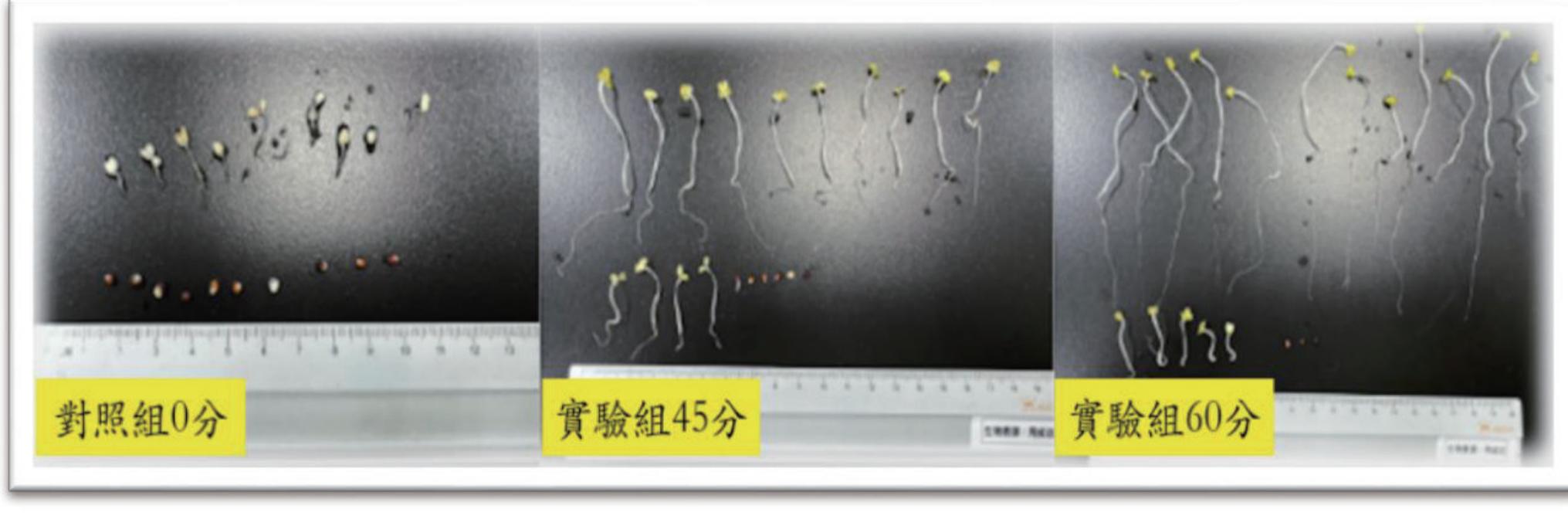


圖八：實驗組明顯長於對照組  
(第一作者攝)



圖九：根部黏附衛生紙基底  
(第一作者攝)

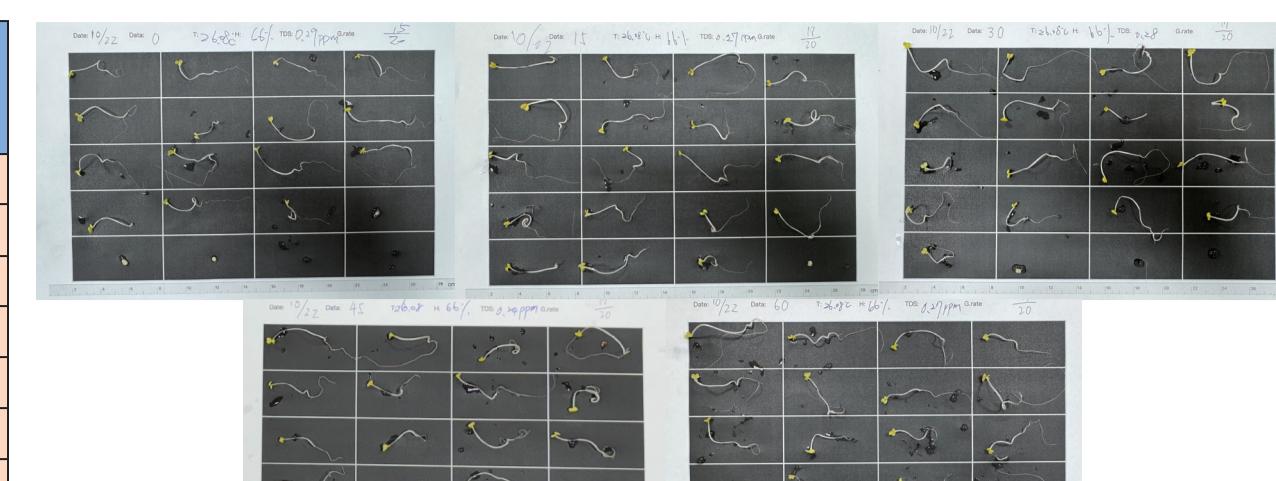
### (三) 前測三：小白菜直接水耕法測試



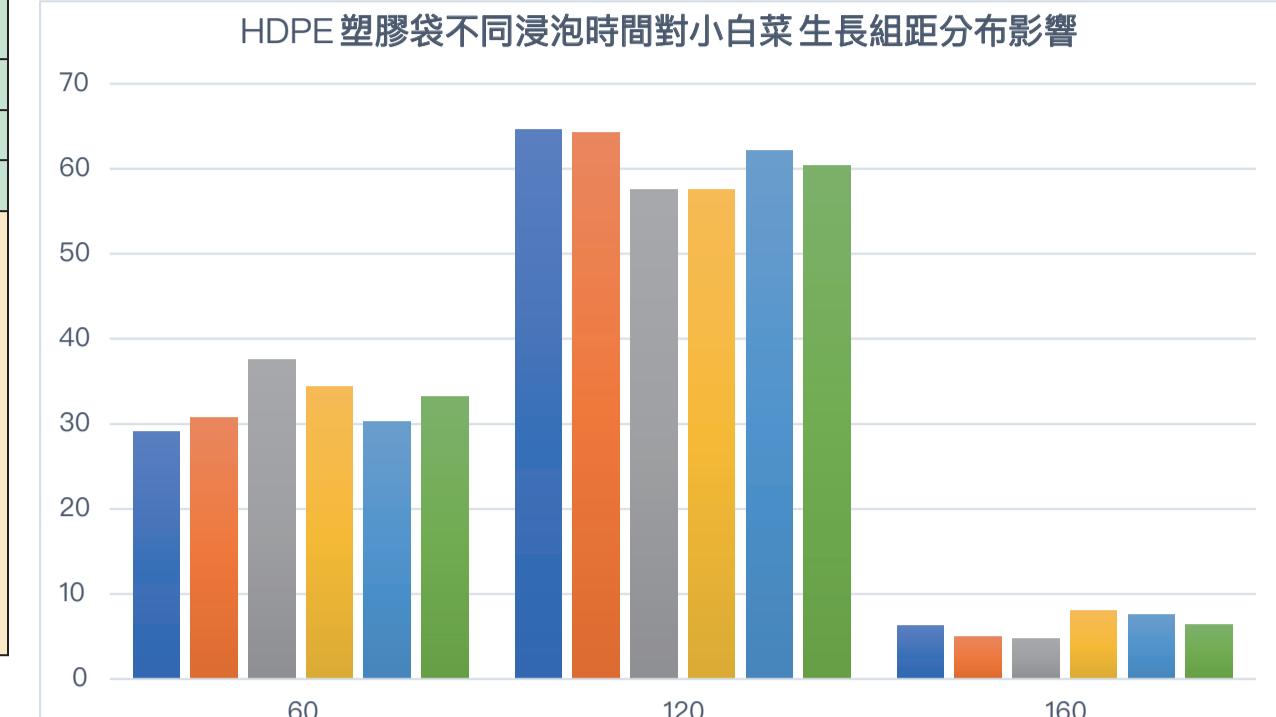
圖十：直接水耕法小白菜生長良好，更方便測量株長 (第一作者攝)

## 實驗一：HDPE耐熱塑膠袋溶出物濃度對小白菜生長的影響

實驗一：HDPE耐熱塑膠袋溶出物濃度對小白菜生長的影響						
2組距%	對照組	15min	30min	45min	60min	實驗組平均
20	10	8	12	10	9	
40	9	12	15	8	15	
60	28	23	20	25	16	
80	29	39	26	30	28	
100	36	25	30	24	37	
120	17	26	16	18	17	
140	7	7	4	9	5	
160	1	0	2	1	5	
3放大組距%	對照組	15min	30min	45min	60min	實驗組平均
60	29.1	30.7	37.6	34.4	30.3	33.3
120	64.6	64.3	57.6	57.6	62.1	60.4
160	6.3	5.0	4.8	8.0	7.6	6.3



(第二作者攝)



圖十一：實驗一結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長距數據%，長條圖比較。塑膠袋在高溫下溶出的化學物質對小白菜生長具有影響，表現為矮株比例提升，顯示部分植株生長受限，中株比例下降，可能影響植株正常發育。

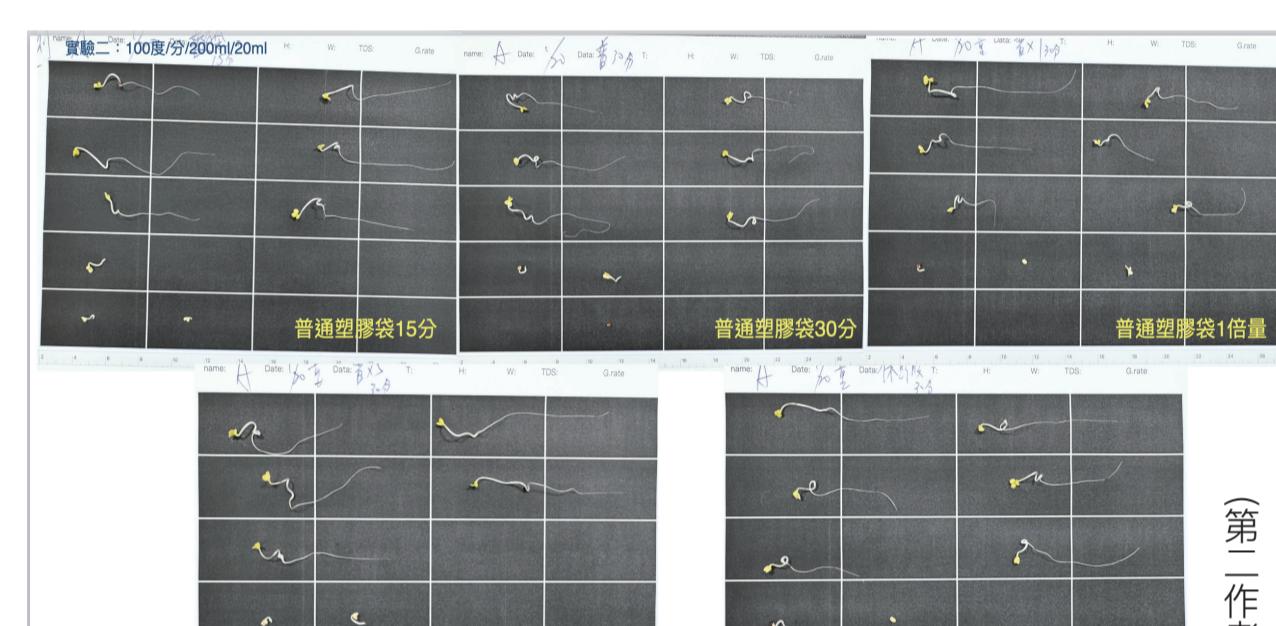
表一：實驗一小白菜生長一週株長紀錄表，0min為對照組，15min、30min、45min、60min為實驗組

實驗一數據平均值，不包含未萌芽數據(10/22-12/31)(N=700;n=萌發個體數)					
組別	0min(n=127) 對照組	15min(n=140)	30min(n=125)	45min(n=125)	60min(n=132)
平均值(mm)	74.0	73.6	70.1	74.0	74.7

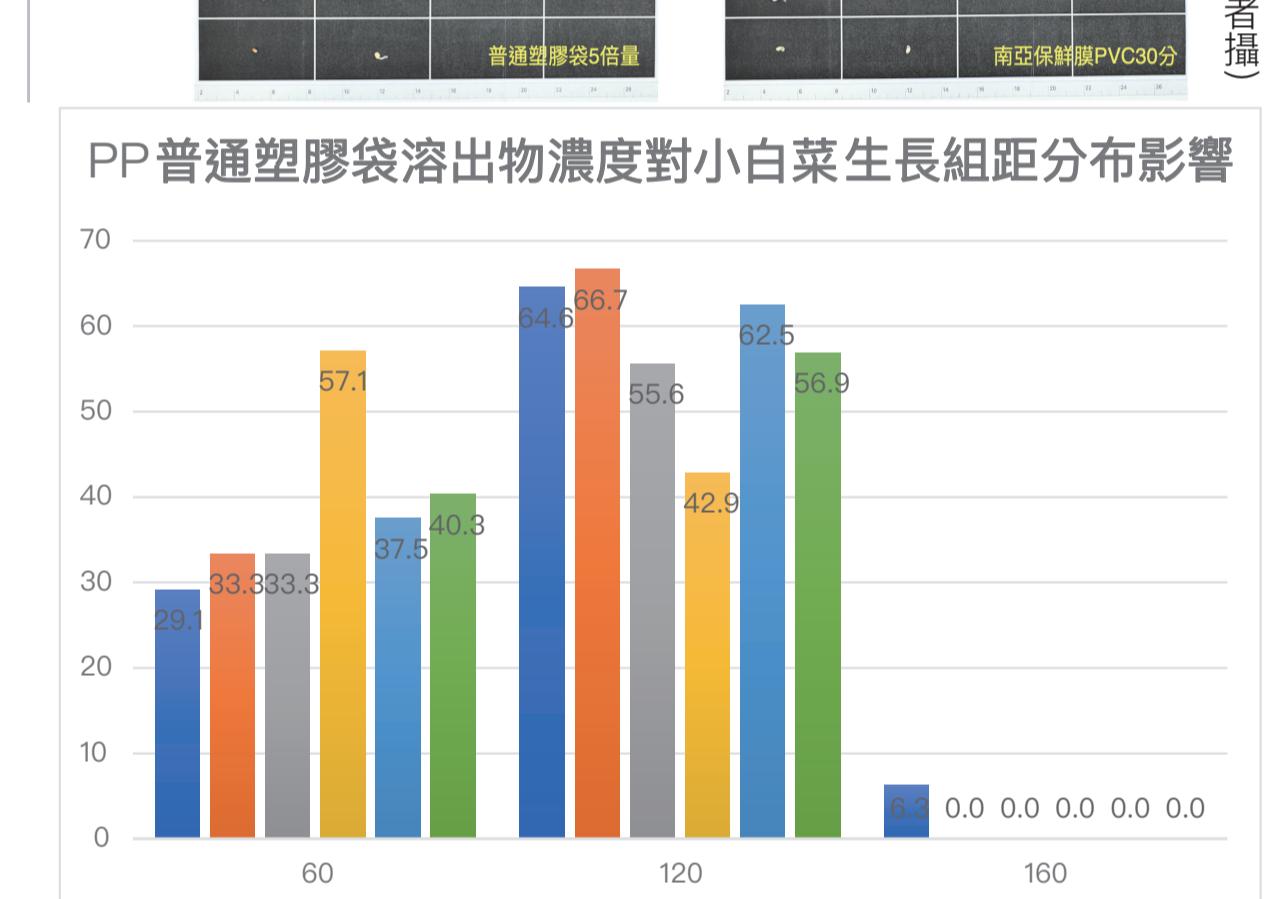
T檢定 P value > 0.05 實驗組與對照組均無顯著性差異(詳細數據附於報告書附錄四)

## 實驗二：PP普通塑膠袋溶出物濃度對小白菜生長的影響

實驗二：普通塑膠袋不同時間與濃度在高溫影響小白菜生長							
1.個數株長mm	普 15%	普 30%	一倍%	五倍%	保鮮膜 30%	實驗組平均	
1	2.5	8.4	3.2	5.5	2.7		
2	7.6	9.2	5.5	5.7	3.8		
3	15.1	55.3	41.4	10.2	9.7		
4	65.0	75.3	51.2	84.1	62.5		
5	74.6	81.3	70.6	86.5	73.8		
6	85.6	81.8	75.7	86.6	74.2		
10							
平均株長	41.7	51.9	41.3	46.4	37.8		
2組距%	對照組	普 15%	普 30%	一倍%	五倍%	保鮮膜 30%	
20	7.9	33.3	22.2	28.6	37.5	33.3	
40	7.1		11.1				
60	14.2		28.6				
80	22.8	33.3	11.1	28.6		33.3	
100	28.3	22.2	33.3		62.5	33.3	
120	13.4	11.1	11.1	14.3		66.7	
140	5.5						
160	0.8						
3放大組距%	對照組	普 15%	普 30%	一倍%	五倍%	實驗組平均	
60	29.1	33.3	33.3	57.1	37.5	40.3	
120	64.6	66.7	55.6	42.9	62.5	56.9	
160	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4對照組： 實驗組%	對照組	實驗組平均	(100度；30分；200ml；20ml/皿)	1.收集與整理原始數據表。 2.統計組距百分比表。 3.放大組距數據表，進行差異分析。 4.計算實驗組平均值，與對照組進行比較，繪製生長趨勢圖，展示數據結果。			
60	29.13	40.33					
120	64.57	56.90					
160	6.30	0.00					



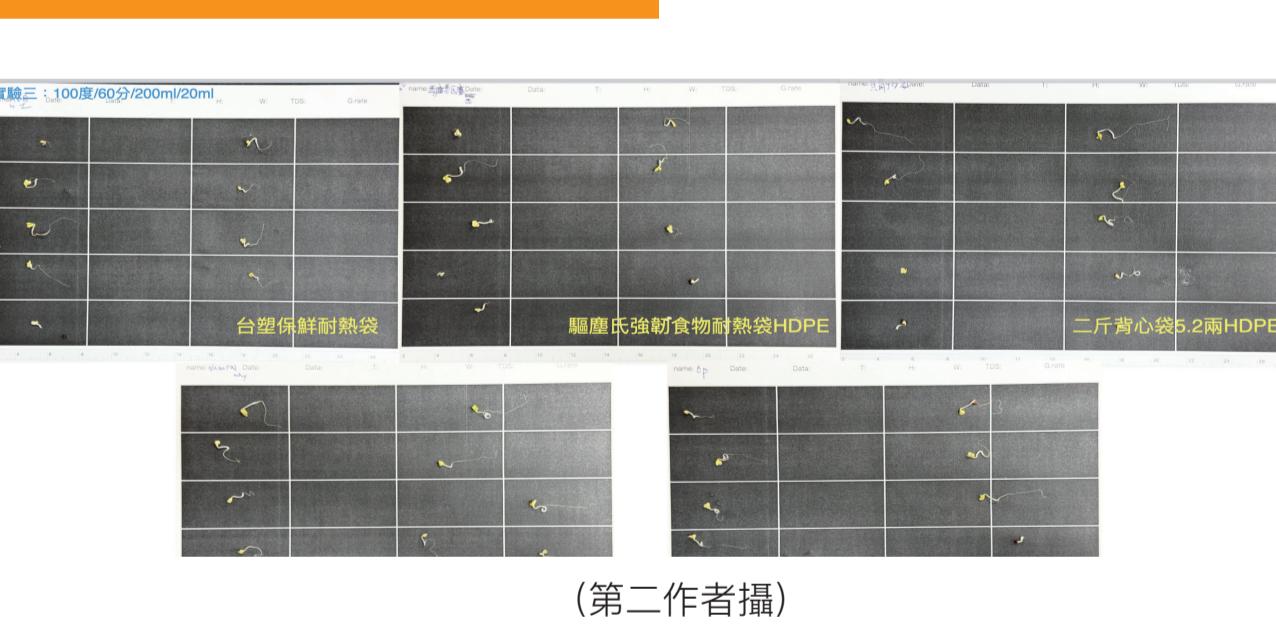
(第二作者攝)



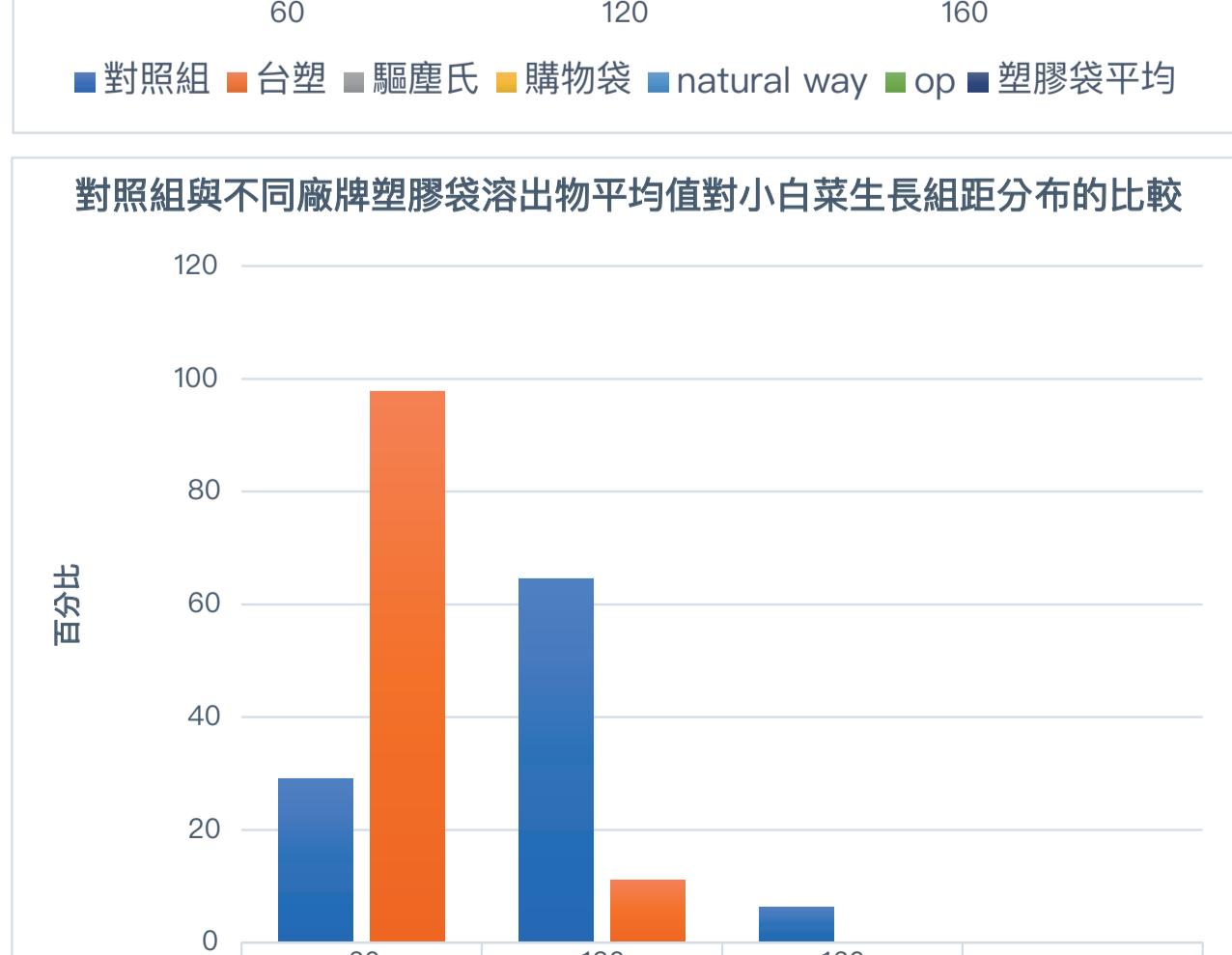
圖十二：實驗二結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長距數據%，長條圖比較。長條圖分析可見，實驗組的植株長度整體呈現矮化趨勢，表現為矮株比例顯著上升，中株比例減少，高株數量相對稀少。

## 實驗三：不同廠牌塑膠袋溶出物對小白菜生長影響

實驗三：不同廠牌塑膠袋高溫影響小白菜生長							
1.個數株長mm	台塑	驅塵氏	購物袋	natural way	op	實驗組平均	
1	44.9	52.3	61.2	57.5	50.2		
2	39.5	31.5	48.5	48.5	46.9		
3	37.0	30.4	47.6	39.8	43.2		
4	28.5	28.5	40.6	38.4	40.0		
5	27.6	17.2	40.1	35.0	29.4		
6	19.7	15.2	18.9	30.7	26.3		
10							
平均株長	32.9	29.2	42.8	37.0		39.3	
2組距%	對照組	台塑	驅塵氏	購物袋	natural way	op	
20	7.9	37.5	55.6	44.4	10.0	25.0	
40	7.1	50.0	33.3		70.0	25.0	
60	14.2	12.5	11.1	44.4	20.0	50.0	
80	22.8			11.1			
100	28.3						
120	13.4						
140	5.5						
160	0.8						
3放大組距%	對照組	台塑	驅塵氏	購物袋	natural way	op	
60	29.1	100.0	100.0	88.9	100.0	100.0	
120	64.6	11.1				11.1	
160	6.3						
4對照組： 實驗組%	對照組	實驗組平均	(100度,60分,200ml,20ml/皿)	1.收集與整理原始數據表。 2.統計組距百分比表。 3.放大組距數據表，進行差異分析。 4.計算實驗組平均值，與對照組進行比較，繪製生長趨勢圖，展示數據結果。			
60	29.1	97.8					
120	64.6	11.1					
160	6.3						



(第二作者攝)



圖十三：實驗三結果圖，由上至下分別為小白菜一週生長情況，對照組與實驗組株長距數據%，長條圖比較。長條圖分析，塑膠袋經高溫處理後，對小白菜生長抑制效果極為顯著，表現為矮株比例大幅提升，中株與高株的比例則顯著下降，甚至接近消失。

## 實驗四：不同廠牌塑膠瓶溶出物對小白菜生長影響

實驗四：不同廠牌塑膠瓶高溫影響小白菜生長						
1.個數株長mm	珍珠	特福 pp	樂扣 7	樂扣 pp5	珍珠調味瓶 LPPE4	實驗組平均
1	45.7	63.7	30.4	68.1		66.8
2	79.7	71.4	74.4	65.1		73.7
3	53.7	39.8	62.3	88.4		88.4
4	72.2	68.0	69.4	62.6		66.4
5	47.9	42.2	46.			

## 六、實驗一到實驗五小白菜萌發率與TDS檢測值關聯性分析

表三：TDS與小白菜種子萌發率的關聯性分析表

此表整合了不同塑膠材質於高溫處理後的TDS(總溶解固體)與小白菜種子平均萌發率。整體而言，TDS值的高低並未能完全反映出對種子萌發的抑制程度，部分TDS相對較低的處理組別依然顯著影響種子發芽。以HDPE耐熱塑膠袋為例，雖TDS僅24~29ppm，萌發率仍可保持在約90%以上；而保鮮膜組TDS僅20~21ppm，卻造成種子萌發率降至50~80%不等，顯示高溫條件下釋放的有害化合物並未全面反映在TDS數據中。換言之，僅憑TDS尚不足以評估塑膠溶出物對植物及食品安全的影響，需要結合萌發率等生物指標。

	n=140	n=140	n=140	n=140	n=140	樣本總數	平均萌發率
實驗一HDPE耐熱塑膠袋	對照組	15分	30分	45分	60分	N=700	92.7
萌發率%	90.7	100.0	89.3	89.3	94.3		
TDS水質檢測	29 PPM	27 PPM	28 PPM	24 PPM	27 PPM		
實驗二樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗二PP普通塑膠袋浓度(三佳牌)	普通塑膠袋15分	普通塑膠袋30分	普通塑膠袋1倍30分	普通塑膠袋5倍30分	普通塑膠袋30分		
萌發率%	90	80	70	80	90		82.0
TDS水質檢測	29 PPM	30 PPM	30 PPM	30 PPM	32 PPM		
實驗三樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗三HDPE台塑	HDPE臺塑	HDPE臺塑	HDPE耐熱袋	HDPE natural way	LDPE OP保鮮袋		
萌發率%	80	90	90	100	80		88.0
TDS水質檢測	29 PPM	24 PPM	32 PPM	24 PPM	24 PPM		
實驗四樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=50	
實驗四PC珠隨行杯	PP特福	PCT塑料	PP樂扣	PP樂扣	LDPE珍珠調味瓶		
萌發率%	70	80	90	100	100		88.0
TDS水質檢測	31 PPM	29 PPM	29 PPM	28 PPM	29 PPM		
實驗五樣本數	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	N=70	
實驗五PVC家樂福	PVC家樂福	PVC南亞	PE炒菜	PVDC保康吳羽	PE短管	PE OP生物	
萌發率%	50	80	70	70	80	80	72.9
TDS水質檢測	21 PPM	20 PPM	20 PPM	20 PPM	20 PPM	20 PPM	



圖二十：PVC水溶液對於成熟蜜雪兒品系小白菜影響相對小。(第一作者攝)

日期	RO	家樂福 PVC	南亞 PVC
2025/5/14(三)	14.26	14.33	13.83
2025/5/15(四)	14.34	14.54	13.90
2025/5/19(一)	14.28	14.09	13.54
2025/5/20(二)	14.30	14.36	14.04
四天平均成長	0.04	0.04	0.21

圖二十一：30分鐘、1小時與4小時內兩組存活率皆為100%；至72小時後，RO水與PVC 50%水樣組死亡率分別為41.6%與33.3%，顯示對蛆蟲低度影響。(第一作者攝)

## 肆、討論

### 1.高溫HDPE塑膠袋溶出物影響生長：

高溫處理下，塑膠袋溶出物會提高小白菜矮株比例，顯示其可能釋放抑制植物生長的化學物質。

### 2.高濃度抑制，低濃度促進生長：

濃度隨浸泡時間增加，對植株生長的抑制作用更加明顯，呈現累積性趨勢。

### 3.塑膠溶出物作用機制：

初期低濃度塑膠溶出物可能促進種子萌發，但濃度升高後反而抑制發育。

### 4.作用機制類似生長素(IAA)：

不同濃度塑膠溶出物與 IAA 模型反應相似，可能干擾植物內源激素調控。

### 5.浸泡時間長影響達飽和：

當浸泡超過 60 分鐘，化學物質濃度趨穩定，對生長影響不再顯著上升。

### 6.實驗結果具穩定性與規律性：

七次實驗結果一致，驗證塑膠袋對植物影響具科學規律性。

### 7.塑膠溶出物是否對水生生物具有急毒性？

大肚魚可作為塑膠溶出物的生物急毒性指標，補強本研究對環境與健康風險的橫向驗證。

### 8.PVC保鮮膜高溫溶出物是否具有促進根系生長的潛在生理效應？

PVC高溫溶出物可能含有影響根系發育之化學物質，對不同品系小白菜皆具促進效果，具跨品系普遍性，顯示植物反應為可信且具生理代表性之驗證指標。

## 伍、結論

### 塑膠袋的高溫溶出物對小白菜造成植株矮化現象

1.高溫下塑膠容器釋放的化學物質會導致小白菜植株矮化，其作用模式與生長素(IAA)相似，影響根、莖與芽的發育。

2.不同濃度的塑膠溶出物呈現非線性影響：中濃度導致矮化最明顯，高濃度則可能引發應激反應，使生長停滯而非持續矮化。

3.塑膠袋中的溶出物會干擾IAA訊號傳遞，並抑制頂芽優勢，使植株生長受限，高濃度下更可能破壞內源激素平衡。

4.不同塑膠材質對植物的影響程度不同，以保鮮膜最為嚴重，其次為塑膠袋，塑膠瓶影響最小，顯示化學釋出物成分與濃度有異。

5.小白菜具備作為生物指標的潛力，可應用於污染監測與水質檢測，並提醒應避免高溫使用塑膠製品，以降低食安與環境風險。

## 陸、參考文獻資料

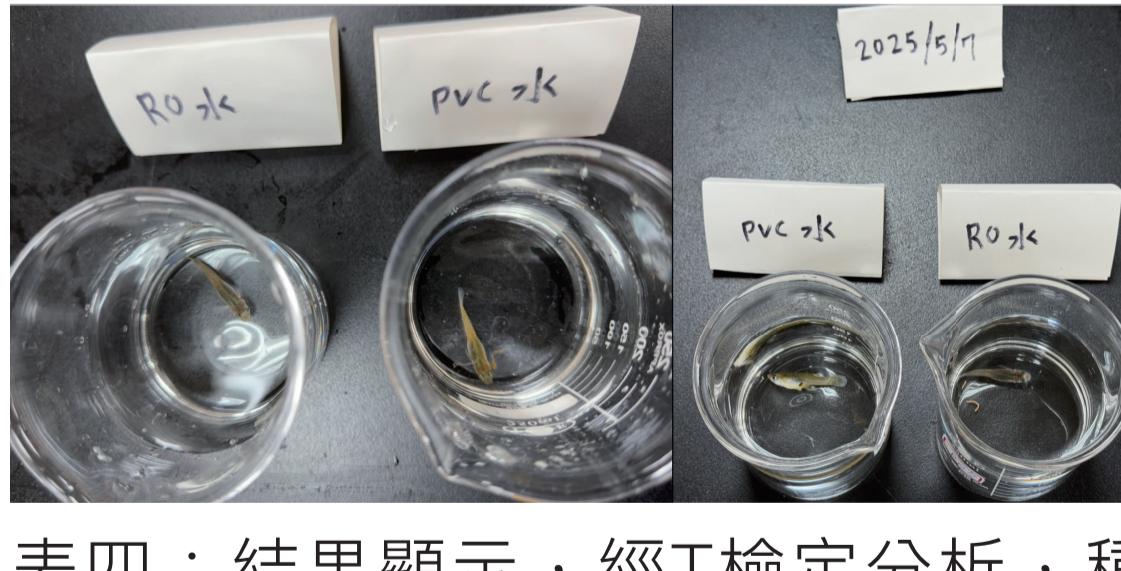
何觀亘、莊蕉華、林久淳、許惠華、汪哲宇、陳則璋、趙靖瑄、& 蕭寓名 (2011) 喔喔！豆豆先生中毒了？！—塑膠水對豆類發芽的影響[科學展覽會作品說明書]中華民國第51屆中小學科學展覽會。

(其他文獻請參考科展報告書)

5/22	蜜雪兒小白菜苗生長株高(mm)	家樂福PVC (50%)
編號	RO	
1	15.2	54.8
2	20.9	35.2
3	18.8	41.7
4	23.9	61.4
5	15.7	54.4
6	25.8	69.5
7	24.9	48.7
8	22.3	54.4
平均	20.9	52.5

圖十九：驗證PVC高溫溶出物促進小白菜根生長效應跨品一致。(第二作者攝)

(第二作者攝)



圖十八：驗證PVC高溫塑膠溶出物對水生生物具有急毒性。(作者利用ChatGPT進行AI繪圖)

5/22	蜜雪兒小白菜苗生長株高(mm)	家樂福PVC (50%)
編號	RO	
1	15.2	54.8
2	20.9	35.2
3	18.8	41.7
4	23.9	61.4
5	15.7	54.4
6	25.8	69.5
7	24.9	48.7
8	22.3	54.4
平均	20.9	52.5

圖十九：驗證PVC高溫溶出物促進小白菜根生長效應跨品一致。(第二作者攝)