

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)(含化學工程/環境科學)

組 別：國小組

作品名稱：不「藜」不棄——紅藜在逆境發芽狀態探究

關鍵詞：酸鹼度、紅藜、逆境

編號：A8020

# 不「藜」不棄——紅藜在逆境發芽狀態探究

## 摘要

紅藜（排灣語：djulis）是排灣族重要的傳統作物，具有極高的文化與營養價值。本研究旨在探討紅藜在極端環境下的生理韌性，特別是在全球氣候變遷導致土壤鹽化與酸鹼失衡的背景下，透過科學實驗驗證其相較於其他常見食用品種的耐逆境能力。

本研究設計了包含水（對照組）、鹽逆境（2% 與 5% NaCl）、酸鹼逆境（pH 5 與 pH 9）及複合逆境（酸鹼鹽結合）等九種環境處理，觀察紅藜、小米、綠豆與小白菜的發芽率及早期生長表現。實驗數據顯示，紅藜展現了驚人的生存能力：在所有壓力條件下，紅藜最終均達到了 100% 的發芽率，甚至在最嚴苛的 5% 鹽分結合酸鹼值的環境中，紅藜依然能全數萌發。相較之下，小米與小白菜在所有鹽分及酸鹼偏移的環境中，發芽率均降至 0%；綠豆僅在 2% 鹽分組中出現零星發芽（11.1%），其餘逆境下亦無法生存。

生長速率方面，雖然鹽分會顯著增加紅藜的平均發芽天數（MGT），使其萌發時間延後，但其幼苗在複合逆境下仍能維持基礎的代謝與根部伸長。相較於對照作物在逆境中生長長度歸零，紅藜在極端壓力下仍能穩定生長，證實了部落耆老口述知識中紅藜具備強健生命力的特質。

本研究結果證實紅藜不僅是極具韌性的先鋒物種，在未來應對極端土地開發與氣候變遷中亦具備重要的糧食安全價值。這項科學驗證不僅強化了傳統作物在現代教育中的重要地位，也為永續環保與偏鄉太空教育扎根提供了實證支持。

## 目次

|                |    |
|----------------|----|
| 壹、研究動機.....    | 3  |
| 貳、研究目的.....    | 4  |
| 參、研究設備及器材..... | 5  |
| 肆、研究過程或方法..... | 6  |
| 伍、研究結果與討論..... | 27 |
| 陸、參考文獻及其他..... | 30 |

## 壹、研究動機

我們在學校的文化課程有上過紅藜(*Chenopodium formosanum*)的種植方式，也在三年級下學期時有學過植物的繁殖，知道植物會透過種子來延續下一代。vuvu(排灣族耆老)們告訴我們說以前紅藜不是主要種植的作物，大家都會把紅藜種在小米旁邊，因為小鳥比較不會吃紅藜，吃了會頭暈（田野筆記 2025 年 10 月 6 日），而且紅藜長得比較快，所以紅藜和小米一起種的時候，紅藜會先長出來，小鳥就會以為這裡都是種紅藜，小米就比較不會被吃掉了。紅藜一直是排灣族重要的傳統作物，為了研究太空環境對植物的影響，國家太空中心曾在 2020 年將四種植物種子送上外太空，其中包含來自台東達仁鄉土坂部落的紅藜種子，如今歷經太空旅程的紅藜種子重返故鄉，栽種在土坂 vusam 文化實驗小學內，不僅推動永續環保，也讓太空教育在偏鄉扎根（Zermezerman, 2025）。國家太空中心選擇將紅藜種子送到太空，可見紅藜不只對於排灣族重要，就連國家也把它如此重要，更顯得本實驗的重要性。

根據藥用主題館（2017）的網站提到，紅藜是莧科(*Amaranthaceae*)雙子葉植物，藜屬(*Chenopodium*)，英文稱為 RedQua，多分布於台東與屏東地區，且為原住民作為釀酒、祭祀用作物。在臺灣可以叫做臺灣藜、藜、紫藜、紅心藜、紅藜、食用藜、台灣藜麥等。食用的部位，通常為紅藜的穀粒，排灣語稱為 djulis（音似都麗絲）

人類食用藜麥的歷史已有五千多年，能在少雨、貧瘠、寒冷、炎熱的地區存活，植株生長強健、耐性極佳，含有豐富的營養價值，是印加原住民的重要糧食。在臺灣除了蘭嶼的達悟族外，幾乎各原住民族都有種植，是台灣原住民耕作百年以上的傳統作物，因富含澱粉酵素，多作為釀造小米酒原料，作飾或他裝飾用途，目前主種植地區在臺灣的南部及東部地區。紅藜曾是重的救荒糧食，而現代研究發現其含養成分，代替稻米、粉、豆類，故紅藜有「紅寶石之名」。

在全球氣候變遷與環境惡化的影響下，土壤鹽化與酸鹼失衡已成為影響作物生長的重要因素。台灣原住民族長期栽培的紅藜，常被認為具有較強的環境適應能力，能在較嚴苛的環境中生長。本研究希望透過科學實驗，探討紅藜在不同鹽度與酸鹼度條件下的發芽表現，並與常見作物進行比較，以驗證紅藜是否真的具有較佳的耐逆境能力。

不只是我們的日常生活中很常見到紅藜，也很常吃到紅藜，更因為紅藜的生長快速，及發芽率高，因此很適合用來作為實驗。這麼重要的食物，如果可以再環境不利於植物生長的地方上生長，它還可以順利長大嗎？

## 貳、研究目的

所以我們想知道，下列幾點的答案：

- 一、 土壤的鹹度是否會影響紅藜的發芽和生長速度嗎？
- 二、 酸鹼度是否會影響紅藜的發芽和生長速度嗎？
- 三、 紅藜是否比其他常見的食用植物更能抵抗逆境？

## 參、研究設備及器材

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| ▲紅藜                                                                                 | ▲溫度溼度計                                                                              | ▲脫脂棉                                                                                 | ▲小蘇打                                                                                  |
|    |    |    |    |
| ▲燒杯                                                                                 | ▲3mL 塑膠滴管                                                                           | ▲鹽                                                                                   | ▲電子 pH 指示計                                                                            |
|   |   |   |   |
| ▲培養皿                                                                                | ▲白醋                                                                                 | ▲電子秤                                                                                 | ▲廣用酸鹼試紙                                                                               |
|  |  |  |  |
| ▲蒸餾水                                                                                | ▲尺                                                                                  | ▲棉線                                                                                  | ▲平板                                                                                   |
|  |  |  |  |
| ▲小米                                                                                 | ▲綠豆                                                                                 | ▲小白菜                                                                                 | ▲鑷子                                                                                   |

## 肆、研究過程或方法

本研究分為兩個階段進行。第一階段以紅藜為研究對象，設定不同鹽度（0%、5%、2%）及不同酸鹼度（pH 5、pH 7、pH 9）的培養環境，觀察紅藜在各種條件下的發芽情形。我們將記錄其發芽率、平均發芽時間以及幼根長度，藉此分析鹽度與酸鹼度對紅藜發芽與初期生長的影響程度。

第二階段為比較研究，我們選擇綠豆、小白菜與小米作為對照植物，將其與紅藜一同置於相同的嚴峻環境條件（高鹽、偏酸及偏鹼）中進行發芽試驗。透過比較不同植物在相同逆境下的發芽率與生長表現，進一步了解紅藜在耐鹽性與耐酸、鹼性方面是否具有優勢。

### 一、環境調配

既然我們想知道，酸、鹼度及鹽度對於紅藜的生長是否有影響，因此我們需要條配各種不同溶液用來製作逆境的環境。酸和鹼的部分，我們使用醋以及小蘇打來調整酸鹼，除了這兩種物質比較安全，皆可食用外，另一方是我們曾經在一篇期刊論文，看到醋及小蘇打可以用來調整土壤酸鹼(謝宇燦、尉嵐、楊長明，2025)。因此我們選擇使用這兩種酸鹼物質。

### 二、各種生長環境:

- (一) 對照組：水
- (二) 鹽逆境：2 % NaCl
- (三) 鹽逆境：5 % NaC
- (四) 偏鹼逆境：小蘇打水調整至 pH 9
- (五) 偏酸逆境：醋調整至 pH 5
- (六) 偏鹼逆境+鹽逆境:2 % NaCl+pH 9 小蘇打水
- (七) 偏酸逆境+鹽逆境:2 % NaCl+ pH 5 醋水
- (八) 偏鹼逆境+鹽逆境:5 % NaC+pH 9 小蘇打水
- (九) 偏酸逆境+鹽逆境:5 % NaC+ pH 5 醋水

(十) 每一個培養皿內的水分約兩天就需要補一次 5mL 的液體，因此此實驗，我們採用此補液體的方式。時間為早上八點。

(十一) 總樣本數: 4 植物×9 環境×每盤 3 顆×3 重複=324 株植物



▲溶液調配

### 三、實驗一:抗鹽逆境實驗

#### (一)方法

1. 準備紅藜、小白菜、小米、綠豆。
2. 將以消毒過的脫脂棉三片，用夾子夾取，放入培養皿中。
3. 將 4 種種子分別放如培養皿中，每盤放入三顆種子；重複做三組，每組三盤(一盤有三顆相同種子)。
4. 分成三大組。分別為水、2 % NaCl 和 5 % NaCl。共有 36 盤。
5. 依據歷屆科展<sup>1</sup>關於種子發芽率的實驗來看，幾乎都是觀察三到七天，因此我們決定使用最久的七天來最為我們這一次實驗的標準。從 Day0 至 Day7。連續實驗七天。



▲貼上標籤，寫上組別及環境類型。

---

<sup>1</sup>第 65 屆中小學科學展覽會: 純「翠」力，輕鬆控草－翠蘆荊水萃液應用於雜草管理之可行性初探。以及第 52 屆中小學科學展覽會: 聲聲不息-聲波對於植物發芽率之影響。以及第 56 屆中小學科學展覽會: 淹淹「易」息－探討植物在淹水逆境下的生存機制。

(二)結果:

表一:Day0 至 Day7 室溫、天氣及濕度紀錄

| 日期   | 室溫   | 天氣 | 濕度  |
|------|------|----|-----|
| Day0 | 24.4 | 陰  | 66% |
| Day1 | 22.6 | 陰  | 67% |
| Day2 | 22.7 | 陰  | 64% |
| Day3 | 22.9 | 陰  | 69% |
| Day4 | 22.4 | 陰  | 68% |
| Day5 | 23.5 | 陰  | 66% |
| Day6 | 24.2 | 晴  | 63% |
| Day7 | 23.7 | 陰  | 61% |

。

表二：Day0 至 Day7 紅藜發芽顆數

| 日期   | 水 |   |   | 2 % NaCl |   |   | 5 % NaCl |   |   |
|------|---|---|---|----------|---|---|----------|---|---|
| 組編號  | 一 | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 |
| Day0 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day1 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day2 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day3 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day4 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day5 | 3 | 3 | 3 | 1        | 0 | 3 | 1        | 1 | 2 |
| Day6 | 3 | 3 | 3 | 3        | 3 | 3 | 3        | 3 | 3 |
| Day7 | 3 | 3 | 3 | 3        | 3 | 3 | 3        | 3 | 3 |

表三：Day0 至 Day7 小米發芽顆數

| 日期   | 水 |   |   | 2 % NaCl |   |   | 5 % NaCl |   |   |
|------|---|---|---|----------|---|---|----------|---|---|
| 組編號  | 一 | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 |
| Day0 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day1 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day2 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day3 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day4 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day5 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day6 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day7 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |

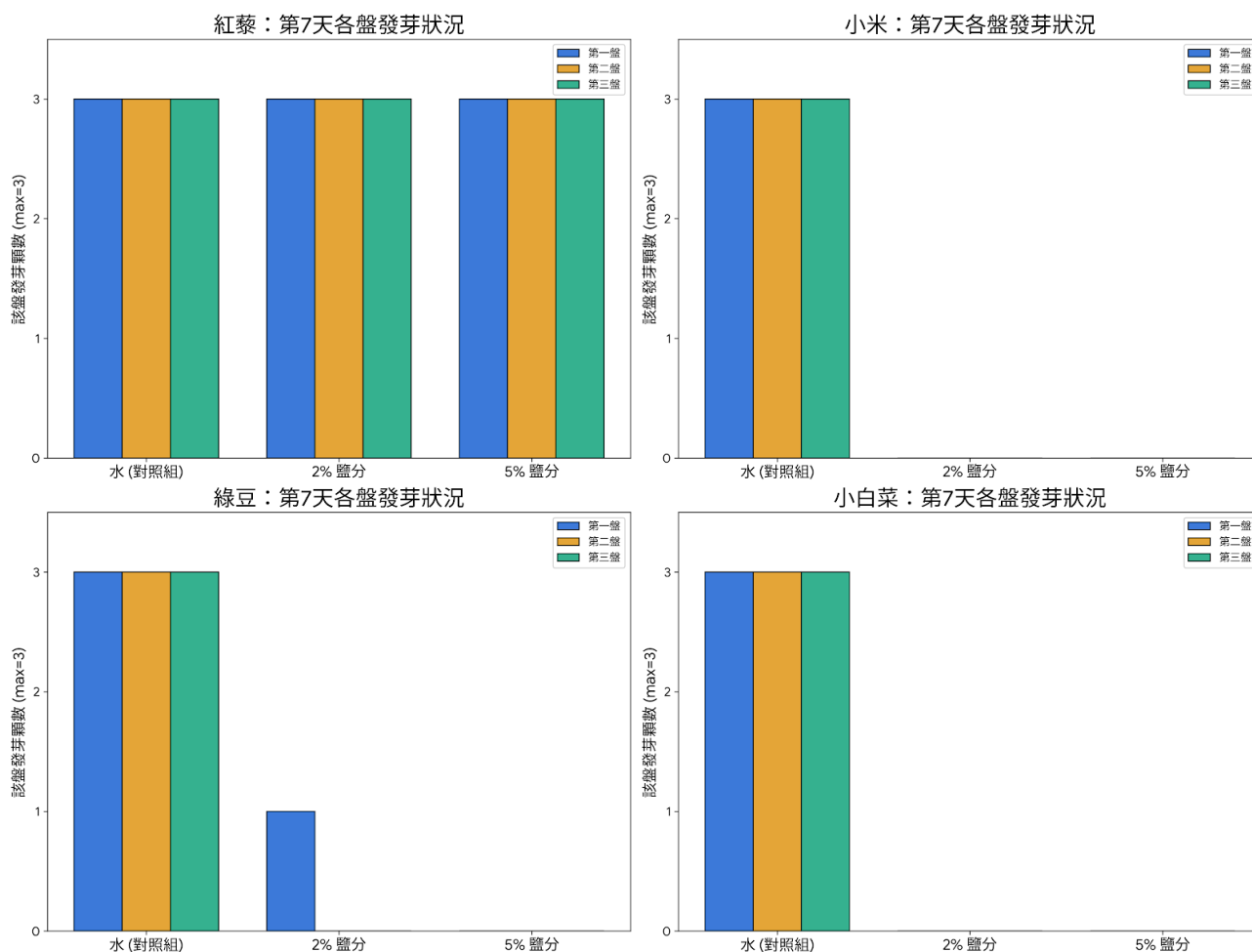
表四：Day0 至 Day7 綠豆發芽顆數

| 日期   | 水 |   |   | 2 % NaCl |   |   | 5 % NaCl |   |   |
|------|---|---|---|----------|---|---|----------|---|---|
| 組編號  | 一 | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 |
| Day0 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day1 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day2 | 3 | 3 | 2 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day3 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day4 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day5 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day6 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day7 | 3 | 3 | 3 | 1        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |

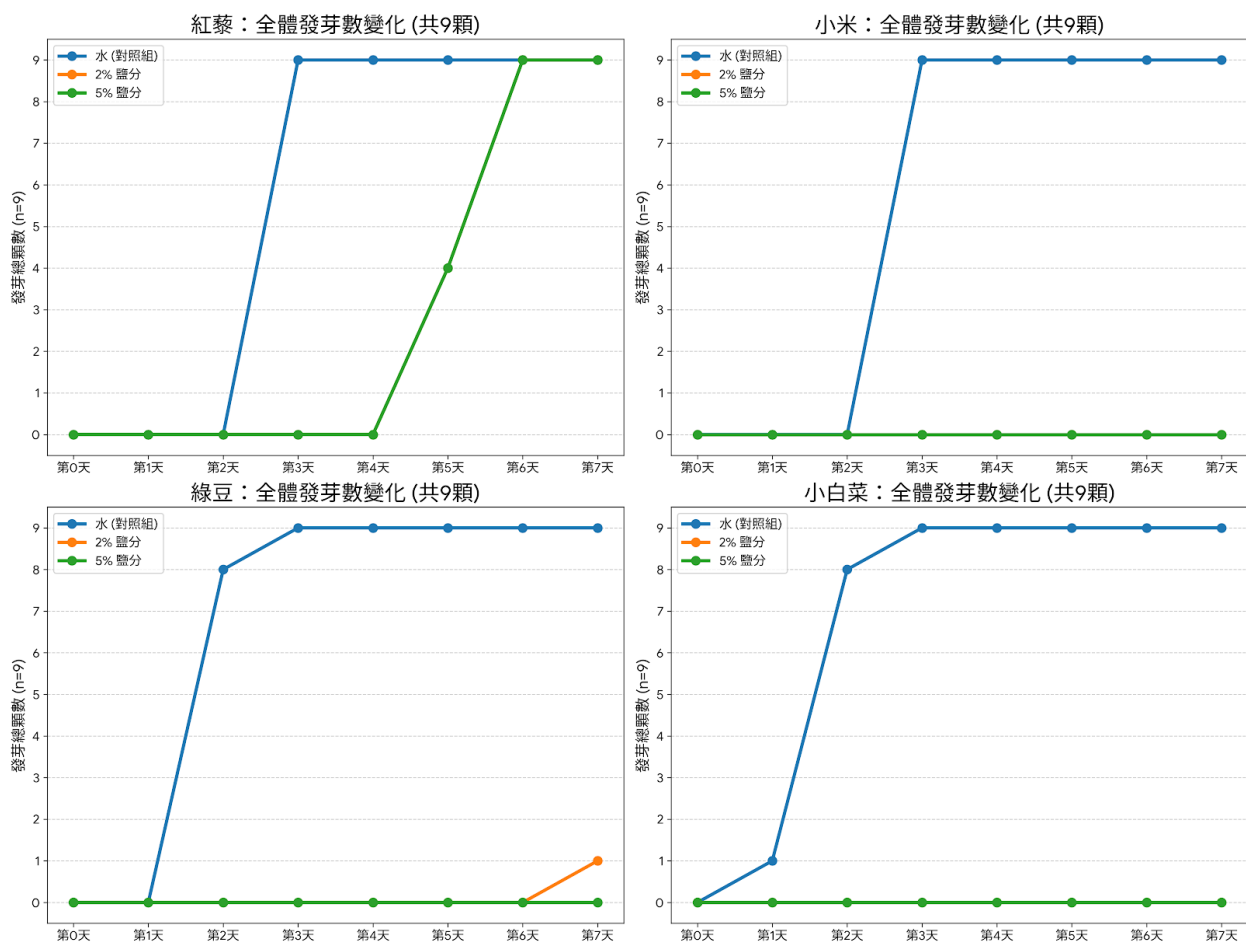
表五：Day0 至 Day7 小白菜發芽顆數

| 日期   | 水 |   |   | 2 % NaCl |   |   | 5 % NaCl |   |   |
|------|---|---|---|----------|---|---|----------|---|---|
| 組編號  | 一 | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 | 一        | 二 | 三 |
| Day0 | 0 | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day1 | 0 | 0 | 1 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day2 | 3 | 2 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day3 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day4 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day5 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day6 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |
| Day7 | 3 | 3 | 3 | 0        | 0 | 0 | 0        | 0 | 0 |

圖一：紅藜、小米、綠豆及小白菜鹽逆境第七天最終發芽數比較圖。



圖二：紅藜、小米、綠豆及小白菜鹽逆境發芽數變化圖。



表六：平均發芽天數

實驗結果統計摘要表 (n=9)

| 植物名稱 | 組別   | 最終發芽率 | 平均發芽天數 (MGT) |
|------|------|-------|--------------|
| 紅藜   | 水    | 100%  | 3.00 天       |
| 紅藜   | 2% 鹽 | 100%  | 5.56 天       |
| 紅藜   | 5% 鹽 | 100%  | 5.56 天       |
| 小米   | 水    | 100%  | 3.00 天       |
| 綠豆   | 水    | 100%  | 2.11 天       |
| 綠豆   | 2% 鹽 | 11.1% | 7.00 天       |
| 小白菜  | 水    | 100%  | 2.00 天       |

## 發芽率 (Germination Percentage) 公式

$$\text{發芽率 (\%)} = (\text{發芽種子總數} \div \text{供試種子總數}) \times 100\%$$

## 平均發芽天數 (MGT) 公式

$$\text{MGT} = \Sigma (\text{當天新發芽數} \times \text{實驗天數}) \div \text{最終發芽總數}$$

結論：

圖二能清楚解釋「鹽逆境如何延緩或完全抑制種子發芽」的過程。藍線（對照組 水）展示植物在理想狀況下的發芽速度；橘線與綠線（鹽分處理組）：若曲線越平緩或數值為 0，代表耐鹽性越差。

從圖二可以發現，只有紅藜的橘線與綠線（重合）最終能達到與藍線相同的高度，雖然過程較慢，這就是耐鹽性的有力證據。我們可以發現紅藜的橘線（2%）與綠線（5%）在第 5 天同時「起跳」，並在第 6 天追平水（對照組）。這代表紅藜的耐鹽性具有群體一致性，即便在高鹽下，最終仍能全數發芽。

綠豆的橘線在第 7 天才勉強出現 1 顆發芽。在科學解釋上，這通常被視為「個體差異」或「極端生存」，因此，我們認為不代表該物種具有耐鹽性。

在本研究中，我們不僅觀察平均值，更深入分析了三組重複組（Replicates）的表現。數據顯示，紅藜在 2% 與 5% NaCl 的環境下，三組重複實驗皆能達到 100% 的最終發芽

率（9/9）。相較之下，綠豆僅在其中一組重複中出現 1 顆發芽。這強烈證明了紅藜具備極佳的生理調節機制，能克服鹽分造成的逆境壓力。

我們從表六的平均發芽天數(Mean Germination Time, MGT)來看，紅藜在鹽分影響下，發芽時間從 3.00 天延後到了 5.56 天。這代表鹽分讓紅藜的發芽足足延遲了約 2.5 天，但最終仍能 100% 完成發芽。這證明紅藜具有「延緩發芽以避開初期高鹽衝擊」或「耐受高鹽生理壓力」的機制。在正常環境（水）中，小白菜（2.00 天）與 綠豆（2.11 天）是發芽最快的先鋒物種。但在鹽分環境下，這些快速發芽的植物反而完全失效，只有紅藜展現了極佳的穩定性。

綠豆在 2% NaCl 下雖然有 1 顆發芽，但其 MGT 高達 7.00 天。這表示這顆種子是「垂死掙扎」，與紅藜整齊劃一的延遲（第 5-6 天集體發芽）有本質上的不同。

透過 MGT 的計算，我們發現紅藜雖然在鹽逆境中表現出顯著的發芽延遲，但它最終展現了 100% 的發芽韌性。這項指標量化了傳統作物在面對極端環境（鹽鹼地）時的生理優勢，也解釋了為何紅藜能成為排灣族等原住民族在山地環境中重要的糧食來源。

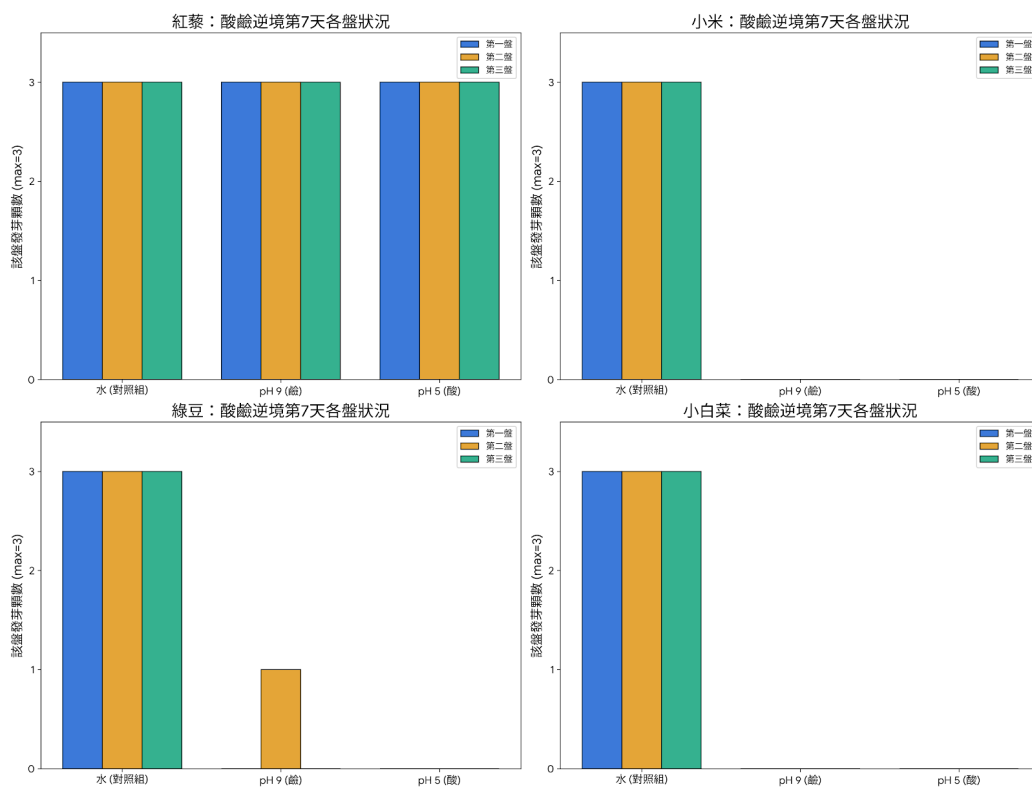
#### 四、實驗二:抗酸鹼逆境實驗

##### （一）方法:

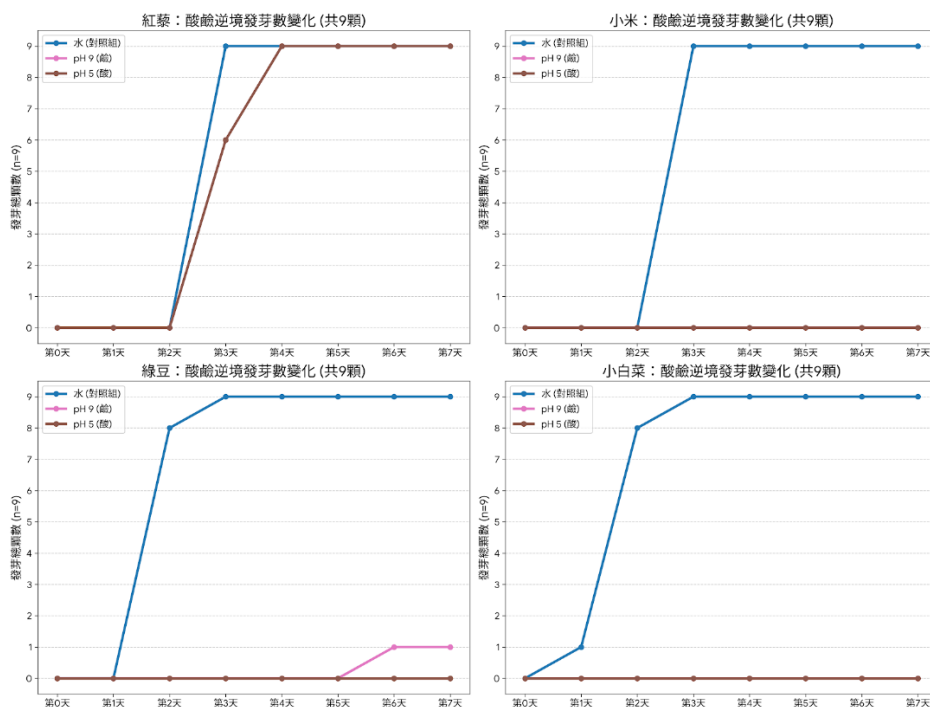
1. 準備紅藜、小白菜、小米、綠豆。
2. 將以消毒過的脫脂棉三片，用夾子夾取，放入培養皿中。
3. 將 4 種種子分別放如培養皿中，每盤放入三顆種子；重複做三組，每組三盤(一盤有三顆相同種子)。
4. 分成三大組。分別為水（pH7）、pH9(鹼逆境)和 pH5（酸逆境）。共有 36 盤。
5. 實驗期間為 Day0 至 Day7。

##### （二）結果

圖三：紅藜、小米、綠豆及小白菜酸鹼逆境第七天最終發芽數比較圖。



圖四：紅藜、小米、綠豆及小白菜酸鹼逆境發芽數變化圖。



### （三）討論：

紅藜的卓越適應力在酸性 (pH 5) 與鹼性 (pH 9) 的環境下均展現了驚人的韌性。雖然在第 3 天時出現了部分延遲（尤其是 pH 9 組，三組發芽數分別為 3, 2, 1 顆），但到了第 4 天就全部達到 100% 發芽。這顯示紅藜對於土壤酸鹼值波動有極強的緩衝與調節機制。

反觀小米與小白菜在酸鹼偏移後，發芽率直接降至 0%。這證明這些作物在幼苗建立期對環境 pH 值極度挑剔，必須在接近中性的環境下才能啟動發芽機制。

綠豆的鹼性耐受微弱表現與鹽逆境類似，綠豆在 pH 9 的環境下雖然極度受抑制，但在第 6 天仍出現了一顆發芽種子。這可能代表綠豆種子群體中存在極少數具備鹼性耐受潛力的個體，但在酸性環境中則完全失效。

透過比較發現，紅藜不僅能耐鹽，也具有強大的耐酸鹼能力。在酸鹼逆境下，紅藜的平均發芽天數 (MGT) 從 3.0 天略微增加至 3.33 天。

## 五、實驗三:抗酸鹼鹽，複合逆境實驗

### （一）方法：

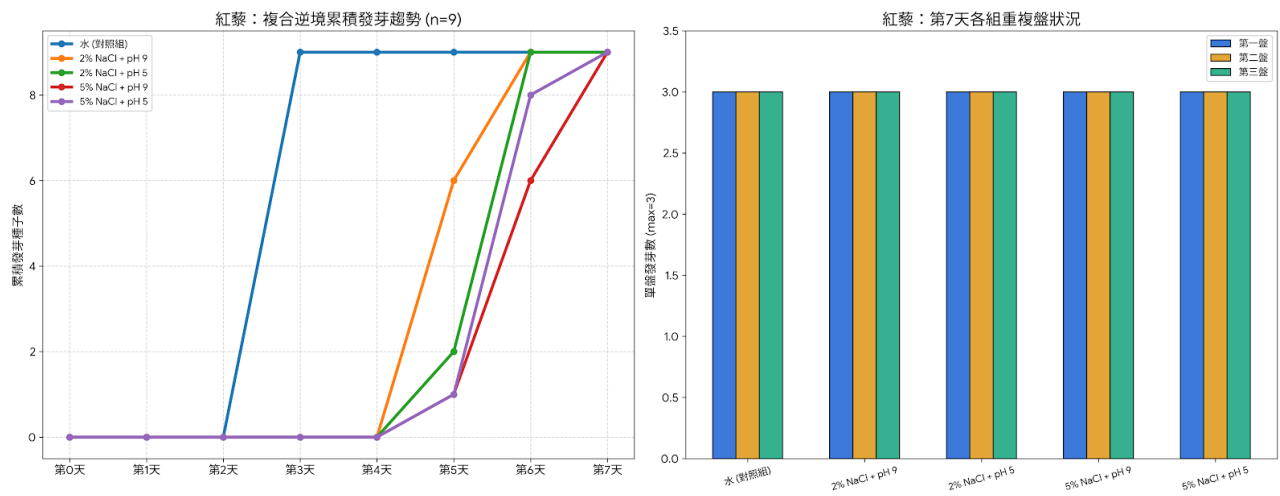
1. 準備紅藜、小白菜、小米、綠豆。
2. 將以消毒過的脫脂棉三片，用夾子夾取，放入培養皿中。
3. 將 4 種種子分別放如培養皿中，每盤放入三顆種子；重複做三組，每組三盤(一盤有三顆相同種子)。
4. 分成五大組。分別為水 (pH7)、2 % NaCl+pH 9、2 % NaCl+pH 5、5% NaCl+pH 9、5 % NaCl+pH 5；共 45 盤。
5. 實驗期間為 Day0 至 Day7。

(二) 結果：

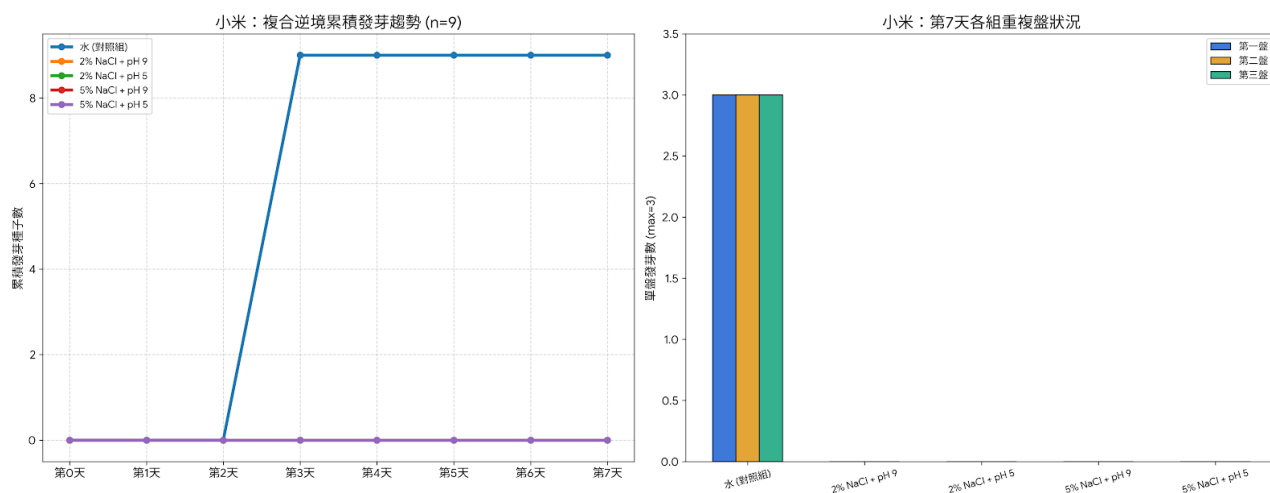
表七：複合逆境平均發芽天數

| 植物名稱 | 逆境條件                       | 最終發芽率 | 平均發芽天數 (MGT) |
|------|----------------------------|-------|--------------|
| 紅藜   | 水 (對照組)                    | 100%  | 3.0 天        |
| 紅藜   | 2% NaCl + pH 9             | 100%  | 5.33 天       |
| 紅藜   | 2% NaCl + pH 5             | 100%  | 5.78 天       |
| 紅藜   | 5% NaCl + pH 9             | 100%  | 6.0 天        |
| 紅藜   | 5% NaCl + pH 5             | 100%  | 6.11 天       |
| 小米   | 水 (對照組)                    | 100%  | 3.0 天        |
| 小米   | 複合逆境 (2%/5% NaCl + pH 5/9) | 0%    | 無法發芽         |
| 綠豆   | 水 (對照組)                    | 100%  | 2.11 天       |
| 綠豆   | 複合逆境 (2%/5% NaCl + pH 5/9) | 0%    | 無法發芽         |
| 小白菜  | 水 (對照組)                    | 100%  | 2.0 天        |
| 小白菜  | 複合逆境 (2%/5% NaCl + pH 5/9) | 0%    | 無法發芽         |

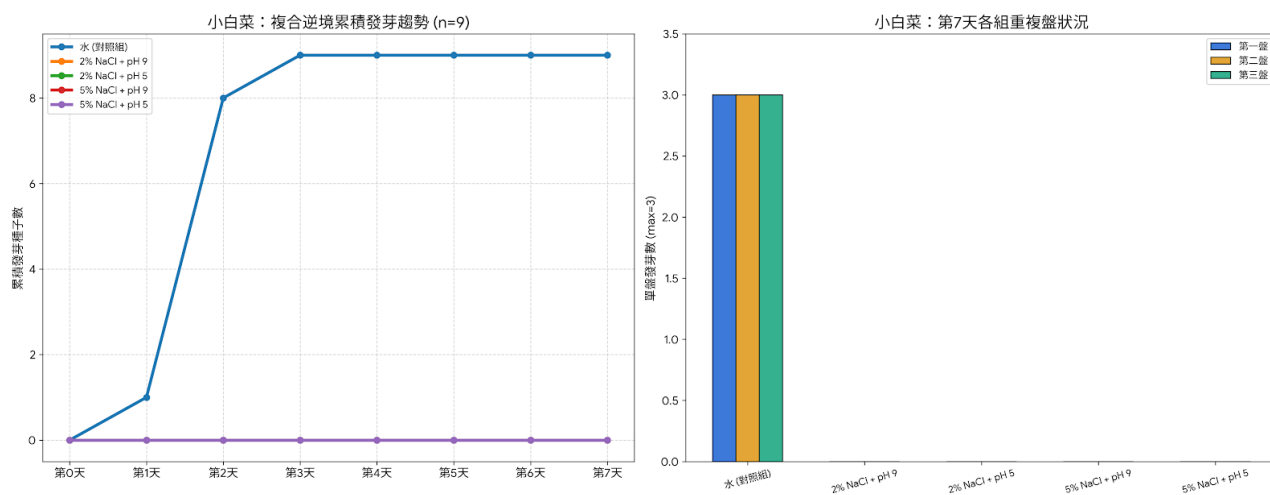
圖五：紅藜在複合逆境發芽趨勢圖表



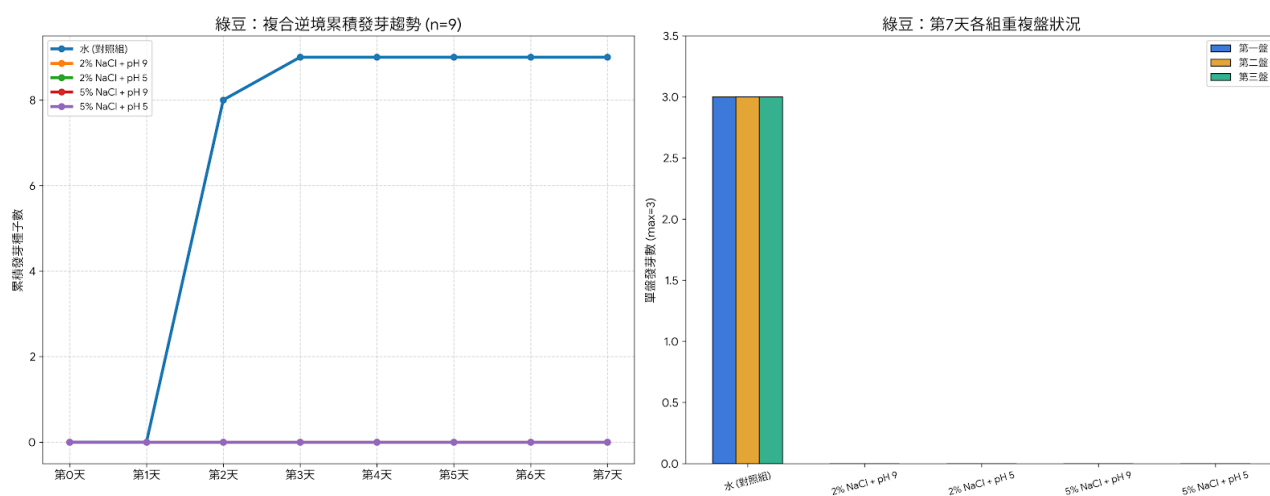
圖六：小米在複合逆境發芽趨勢圖表



圖七：小白菜在複合逆境發芽趨勢圖表



圖八：綠豆在複合逆境發芽趨勢圖表



### （三） 討論：

從數據中可以發現一個極為關鍵的科學論點：複合逆境的「相乘效應」。小米、小白菜與綠豆在「鹽分+酸鹼」同時出現時，生存率徹底歸零（0/9）。這代表複合壓力超過了它們種子啟動的基本生理極限。

紅藜在 5% 鹽分 + pH 5 的極端環境下，它被延後到了第 7 天才完成發芽。這證明了紅藜具有極其特殊的「環境緩衝機制」，即使在最惡劣的邊際土地組合下，它依然能保證後代的成功建立。

當我們把鹽分（2%和 5% NaCl）與酸鹼值（pH 9 和 5）結合在一起時，植物的生存競爭力出現了極大的分水嶺。在「5% 鹽分 + pH 5/9」的極端條件下，紅藜被推向了生存邊緣，平均發芽天數（MGT）增加到了 6.0 天以上，且直到第 7 天才勉強達到全數發芽。小米、綠豆、小白菜在任何一組「複合逆境」下，發芽率皆為 0%。這說明複合壓力產生的生理損害是不可逆的，唯獨紅藜具備強大的調節機制。

本研究證實，紅藜在 5% NaCl + pH 5/9 的極端環境下，依然能維持 100% 的發芽率。雖然其 MGT（平均發芽天數）較對照組延後了約 3 天，但這種「延後但必達」的策略，正是紅藜能適應台灣多變且貧瘠土地的關鍵生理優勢。

## 六、實驗四:在水環境下實驗植物生長情形

### （一）方法：

1. 利用尺量取發芽長度，從種皮開始測量。
2. 如遇到彎曲不容易測量的狀況時，可使用棉線輔助，接著再量綿線長度即可得到植物長度。
3. 將每一株植物紀錄於紀錄表中。



▲量取綠豆芽長度。



▲使用棉線及鑷子量取小白菜芽長度。



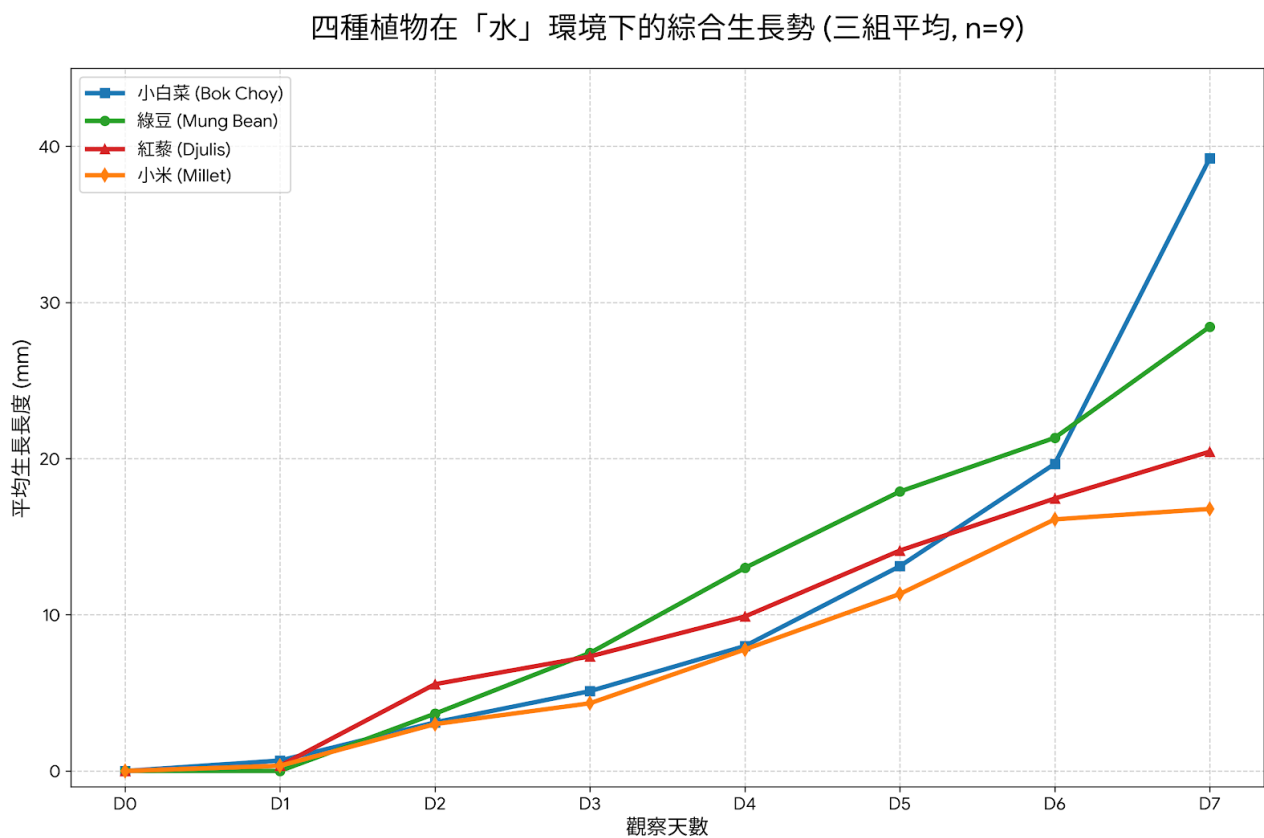
▲小白菜、綠豆、紅藜及小米不同環境下 Day7 照片。

表八：四種植物第七天生長平均長度

| 植物名稱 | 第7天平均長度 (mm) |
|------|--------------|
| 小白菜  | 39.2         |
| 綠豆   | 28.4         |
| 紅藜   | 20.4         |
| 小米   | 16.8         |

\*計算方式為 9 顆種子之高度相加後除以 9。

圖九：四種植物在水環境下發芽趨勢圖表



水環境下四種植物的 ANOVA 變異數分析，目的是要比較四種植物的生長速度是否有差別。

檢定結果：

$$F = 107.09 \quad p = 9.07 \times 10^{-17}$$

判斷標準：如果  $p < 0.05$  代表：不同植物生長 有顯著差異

本實驗結果為  $p = 0.000000000000000009$

因此：四種植物在水環境生長具有「極顯著差異」

（二）討論：

根據生長長度排序：小白菜 > 綠豆 > 紅藜 > 小米。小白菜：第 7 天平均長度約 39.2mm，是生長勢最強的植物。綠豆：平均約 28.6mm，生長速度居次。紅藜：平均約 20.6，表現穩健。小米：平均約 16.8，在水組中長度最短。

小白菜在第 1 天即有明顯萌發，綠豆與紅藜則多集中在第 2-3 天開始拉長。紅藜在理想環境下的個體差異也是最小的。這展現了其作為傳統作物，具有非常穩定的遺傳表現與種子品質。生長速度也如長輩所說，比小米快。

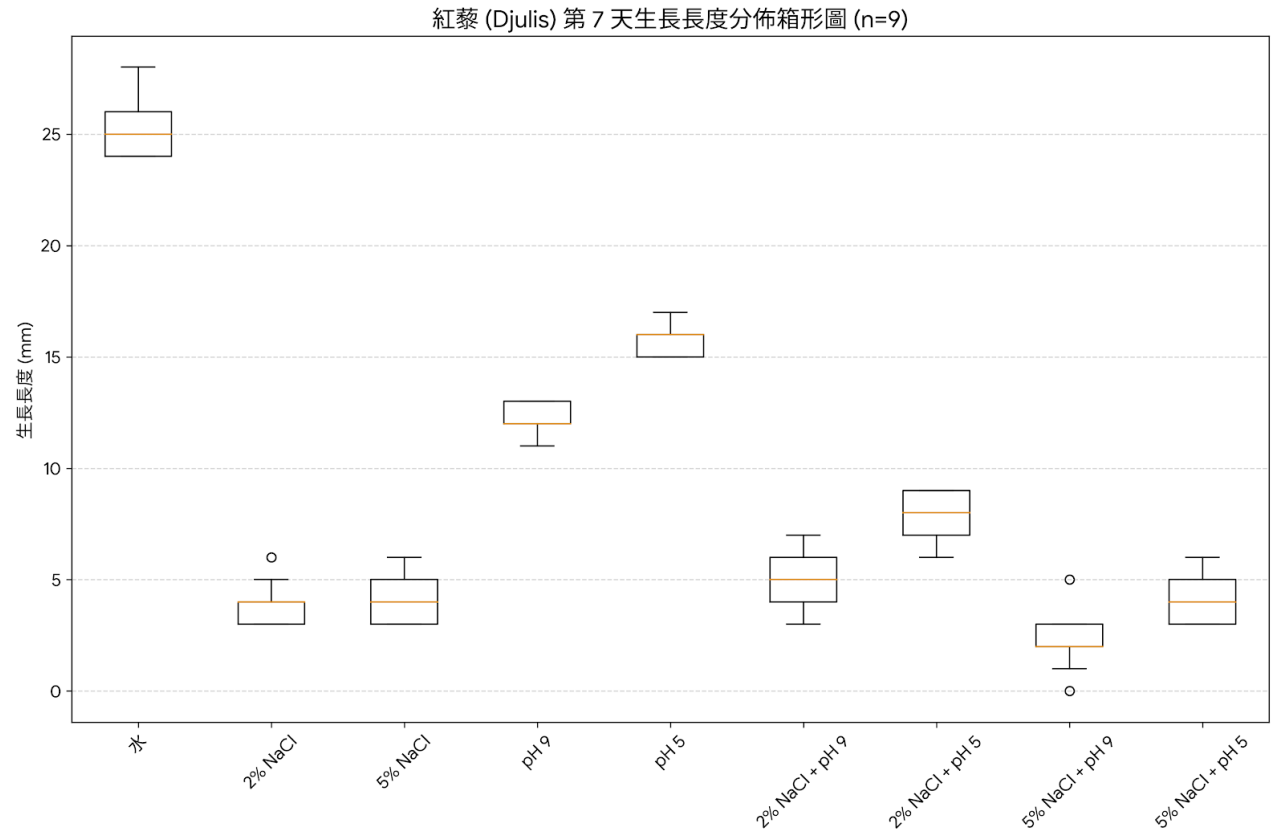
## 七、實驗五:紅藜在逆境下生長情形

（一）方法:

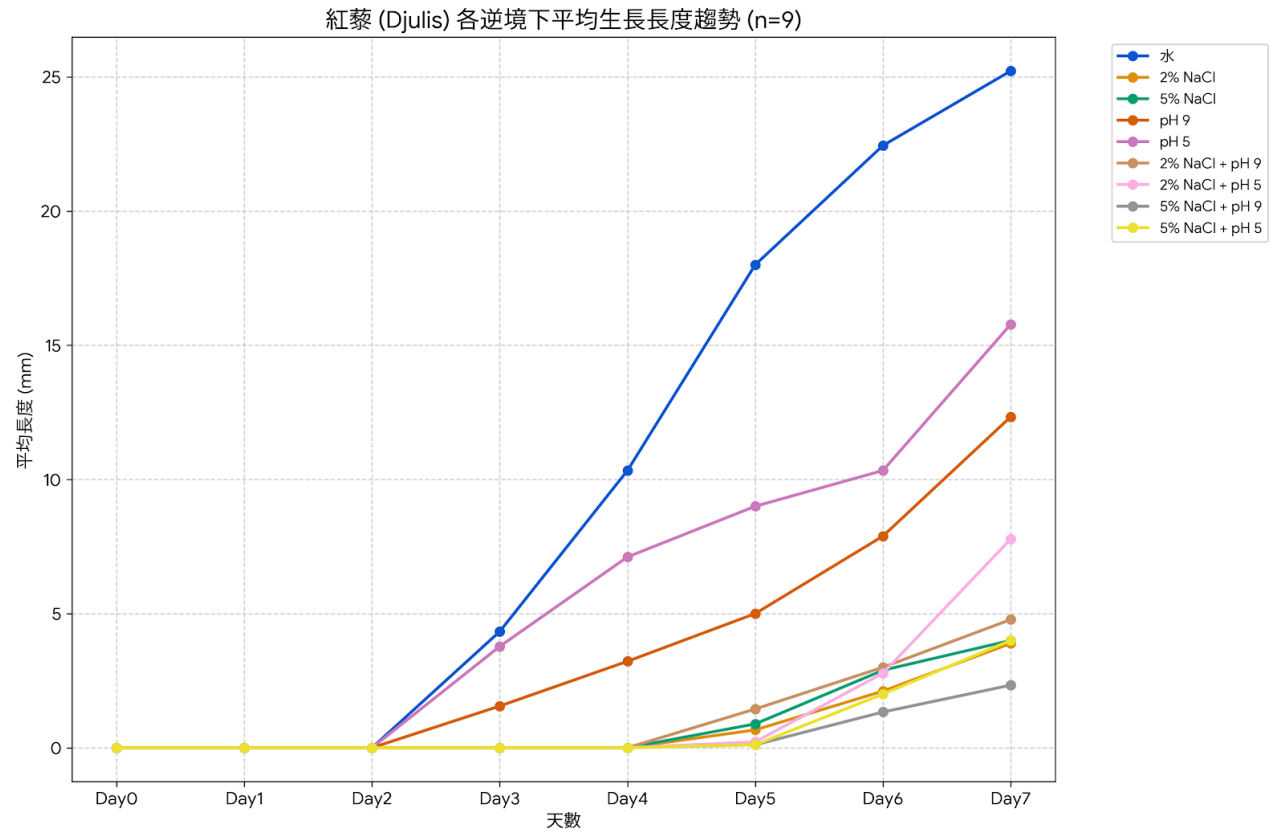
1. 根據前面實驗發現，只有紅藜可以在大部分的逆境下生長。因此，這一次的實驗只用來比較逆境生長下的紅藜生長情形。
2. 將鹽逆境、酸鹼逆境以及複合逆境生長下的紅藜生長芽的高度紀錄至表格中。

（二）結果:

圖十：紅藜在各種逆境下與水的生長趨勢箱型圖



圖十：紅藜在各種逆境下與水的生長趨勢圖 34



表九：三組紅藜 Day0 至 Day7 生長長度平均紀錄評價

| 實驗條件           | 最終發芽率 (%) | 第 7 天平均長度 (mm) | 綜合評價   |
|----------------|-----------|----------------|--------|
| 水 (對照組)        | 100%      | 25.22          | 生長極佳   |
| pH 5 (酸性)      | 100%      | 15.78          | 強耐受性   |
| pH 9 (鹼性)      | 100%      | 12.33          | 強耐受性   |
| 2% NaCl        | 100%      | 3.89           | 生長受抑   |
| 5% NaCl        | 100%      | 4.00           | 生長受抑   |
| 2% NaCl + pH 5 | 100%      | 7.78           | 複合耐受亮點 |
| 5% NaCl + pH 9 | 100%      | 2.33           | 極端抑制   |

表二：紅藜在 8 種逆境下的整體生長表現(單位:mm)

| 逆境處理           | Day7 平均      | 標準差  | 範圍    |
|----------------|--------------|------|-------|
| pH 5           | <b>15.78</b> | 0.67 | 15–17 |
| pH 9           | <b>12.33</b> | 0.71 | 11–13 |
| 2% NaCl + pH 5 | <b>7.78</b>  | 1.09 | 6–9   |
| 5% NaCl        | 4.00         | 1.12 | 3–6   |
| 5% NaCl + pH 5 | 4.00         | 1.12 | 3–6   |
| 2% NaCl + pH 9 | 4.78         | 1.39 | 3–7   |
| 2% NaCl        | 3.89         | 1.05 | 3–6   |
| 5% NaCl + pH 9 | <b>2.33</b>  | 1.41 | 0–5   |

### (三) 結論:

從「平均發芽數趨勢圖」可以看到，紅藜在所有環境下最終都達到了 100% 的發芽率。

水組與酸鹼組在第 3 天即開始大量發芽；而凡是含有鹽分 (NaCl) 的組別，發芽時間皆延遲至第 5-6 天。這證明紅藜具有極強的耐受力，能透過延遲萌發來適應極端環境。

生長長度 (mm) 的折線圖揭示了比發芽率更深刻的訊息。雖然紅藜在所有環境下都能發芽，但鹽分對幼苗伸長的抑制作用遠大於酸鹼值。在 pH 5 與 pH 9 下，紅藜幼苗仍維持了相當的生長斜率；但在 5% NaCl 的複合逆境下，生長趨勢變得極為平緩。

箱形圖分析展示了第 7 天時 9 顆種子的分佈。水組與單純酸鹼組的生長非常整齊（箱體窄）；而在複合逆境下（如 2% NaCl + pH 9），個體間的生長差異變大，這反映了在極端壓力下，種子個體活力的差異會被放大。雖然在 5% 鹽分下生長受挫，但在 2% NaCl + pH 5 的環境中，其生長長度（7.78mm）反而優於單純的 2% 鹽分組（3.89mm）。這是一個非常有趣的現象，可能暗示紅藜在微酸環境下更能有效調節鹽分帶來的壓力。

平均生長高低排行為：

pH5 > pH9 > 2%NaCl+pH5 > 2%NaCl+pH9  $\approx$  5%NaCl  $\approx$  5%NaCl+pH5  $\approx$  2%NaCl > 5%NaCl+pH9

單因子 ANOVA 比較 8 種逆境的 Day7 生長值：

$F = 170.12$      $p = 7.71 \times 10^{-39}$     這個  $p$  值遠小於 0.05，所以紅藜在 8 種逆境下的生長狀況具有顯著差異。

接著我們透過 AI 進行 Tukey 事後比較，重點結論如下：

明顯最高的組為：

- pH5 顯著高於其他所有逆境組
- pH9 也顯著高於所有含鹽組

中間層的組別為

- 2% NaCl + pH5 顯著高於 2%NaCl、5%NaCl、5%NaCl+pH5、5%NaCl+pH9、2%NaCl+pH9

最差的組

- 5% NaCl + pH9 顯著低於多數其他組，尤其低於 pH5、pH9、2%NaCl+pH5

沒有顯著差異的幾組

- 2% NaCl vs 5% NaCl
- 2% NaCl vs 5% NaCl + pH5
- 2% NaCl vs 2% NaCl + pH9

- 5% NaCl vs 5% NaCl + pH5

紅藜的生長狀況呈現了單純酸鹼變化的適應力比對鹽逆境更好，尤其是 pH5，生長最好。

鹽逆境是主要抑制因子只要加鹽，紅藜生長大多明顯下降。

5% NaCl + pH9 最差，顯示高鹽與偏鹼可能產生疊加壓力。

酸性可能對部分鹽害有緩衝效果 2% NaCl + pH5 比單純 2%NaCl、5%NaCl 表現更好。

總的來說，本研究比較紅藜在 8 種逆境條件下的生長表現，結果顯示不同逆境對紅藜幼苗生長有顯著影響。單因子變異數分析結果為  $F = 170.12$ ， $p < 0.001$ ，表示各組之間存在顯著差異。其中以 pH5 組生長最佳，pH9 次之，而 5% NaCl + pH9 組生長最差。整體而言，紅藜對單純酸鹼逆境的耐受性優於鹽逆境，高鹽與偏鹼的複合逆境對紅藜生長抑制最為明顯。

## 伍、研究結果與討論

本研究以紅藜、小白菜、小米與綠豆為材料，探討其在九種生長環境中的發芽與幼苗生長表現，包括對照組（水）、鹽逆境（2% NaCl、5% NaCl）、酸鹼逆境（pH 9、pH 5），以及鹽與酸鹼的四種複合逆境。每種植物在每個處理下皆設三盤重複，每盤三顆種子，並連續記錄 Day0 至 Day7 的生長變化。整體而言，本實驗顯示植物種類與逆境條件都會明顯影響幼苗生長，而不同植物對逆境的耐受能力差異極大，其中紅藜表現出最強的逆境適應能力，白菜在對照組下生長最快，小米與綠豆則在逆境條件下最容易受到抑制。

先從對照組來看，在僅有清水的正常條件下，四種植物都能順利發芽並持續生長，但速度與最終高度並不相同。Day7 平均高度顯示，小白菜最高，約為 40.67mm；紅藜次之，約為 25.22mm；小米約為 22.56mm；綠豆約為 21.00mm。這代表即使在相同培養條件下，不同植物本身的生理特性、萌發策略與幼苗伸長能力仍有明顯差異。白菜在前期發芽後生長迅速，後期高度增加最明顯，顯示其在水分充足、無逆境干擾時具有很強的營養生長優勢。紅藜在對照組下也展現穩定而持續的生長，雖然速度不及白菜，但整體表現穩定。小米與綠豆則屬於生長較緩和、節奏較穩定的類型。

然而，一旦進入逆境條件，各植物之間的差異便更加明顯。從整體數據可以看出，小米與小白菜在八種逆境條件下幾乎完全停止生長，Day7 平均值接近 0，顯示這兩種植物對鹽度與酸鹼變動相當敏感。綠豆雖然在對照組表現正常，但在逆境組中也大多被明顯抑制，只有在 2% NaCl 或 pH 9 下出現極少量生長，且高度非常有限，表示綠豆的幼苗對逆境承受度不高。相較之下，紅藜在八種逆境下仍能維持一定程度的發芽與生長，是四種植物中唯一在所有逆境條件下皆保有明顯生長紀錄的植物。這個結果不僅是本研究最重要的發現，也顯示紅藜具有相對優越的逆境適應能力。

若進一步分析紅藜在不同逆境中的表現，可以發現其生長並非在所有逆境下都相同，而是呈現清楚的層次差異。單純酸鹼逆境中，紅藜在 pH 5 下生長最好，Day7 平均高度約為 15.78mm；在 pH 9 下次之，平均約 12.33mm。這代表在本實驗條件下，酸性環境不但沒有完全抑制紅藜，甚至比鹼性環境更有利於其幼苗伸長。相反地，單純鹽逆境對紅藜的抑制就明顯得多。2% NaCl 與 5% NaCl 組的 Day7 平均分別僅約 3.89mm 與 4.00mm，說明鹽

分是紅藜幼苗生長的重要限制因子。若再加入複合逆境，則可觀察到酸鹼會改變鹽害效果。例如 2% NaCl + pH 5 組的平均高度約為 7.78，明顯高於單純 2% NaCl，顯示偏酸條件可能在某種程度上緩和鹽逆境對紅藜的傷害。相反地，5% NaCl + pH 9 組僅約 2.33mm，為所有逆境中最差，顯示高鹽加偏鹼的複合壓力對紅藜最不利。

從生長時序來看，本研究也呈現出有意義的發芽與伸長節律。多數植物在對照組下約於 Day2 至 Day3 進入明顯萌發期，之後高度逐漸上升；而在逆境條件下，差異並非一開始就完全顯現，而是在 Day4 之後逐步拉開。這表示逆境不只是影響種子是否萌發，也影響發芽後幼苗的持續伸長與代謝能力。尤其對紅藜而言，許多逆境組在 Day3 到 Day5 仍有萌發跡象，但真正的組間差距主要出現在 Day6 與 Day7，顯示紅藜雖能在逆境中啟動萌發，但後續伸長速度仍會受到鹽度與 pH 的不同組合所調節。這一點對理解植物逆境生理很重要，因為有些植物並不是完全不能發芽，而是發芽後無法維持正常生長。

就整體統計分析而言，若以 Day7 的幼苗高度作為比較基準，植物種類、逆境處理，以及植物種類與逆境處理之間的交互作用皆達顯著差異。換言之，不同植物對同一種逆境的反應並不一致；同樣的逆境條件，可能對某些植物造成完全抑制，卻仍讓另一些植物維持部分生長。這說明本研究不是單純的「哪個處理比較毒」而已，而是呈現出「植物本身特性」與「環境壓力類型」共同決定幼苗表現的結果。從這個角度看，紅藜之所以在本研究中脫穎而出，不只是因為它在某一個處理中表現較好，而是因為它在整體逆境架構中都保有相對穩定的適應能力。

這些結果具有幾個重要意義。第一，白菜、小米與綠豆在正常環境下皆能順利生長，但一旦加入鹽或酸鹼壓力，幼苗生長容易明顯受阻，表示其早期生長階段對環境變化較敏感。第二，紅藜雖然在對照組下並不是最高的植物，但在逆境下卻具有最強韌的表現，顯示其可能較適合作為逆境環境下的潛力作物。第三，單純酸鹼逆境對紅藜的影響小於鹽逆境，而偏酸條件甚至可能部分減輕低濃度鹽逆境的抑制效果，這提供了未來進一步探討土壤改良、耐逆作物選育或原住民族傳統作物適應性的研究方向。

當然，本研究仍有一些限制。首先，本實驗觀察時間為七天，主要反映的是發芽與幼苗初期伸長，尚不足以推論後期葉片數、鮮重、乾重或成熟植株的表現。其次，本研究以高度

作為主要指標，雖然能有效呈現生長狀況，但若未來能加入發芽率、根長、鮮重、葉綠素或存活率等參數，會使結論更完整。再者，酸鹼調整使用醋與小蘇打，這些材料除了改變 pH，也可能伴隨其他化學效應，未來可考慮使用更標準化的緩衝液系統，以提高控制精準度。

綜合而言，本實驗證明不同植物對鹽度與酸鹼逆境的反應具有明顯差異。正常條件下，小白菜生長最快；但在逆境條件下，紅藜表現出最強的適應力，是四種植物中最具耐逆潛力者。鹽逆境是影響幼苗生長最強烈的壓力來源，而高鹽與偏鹼的複合逆境抑制效果最明顯；相對地，偏酸環境對紅藜的負面影響較小，甚至在部分條件下有助於維持較佳生長。這些發現不僅展現植物在逆境下的差異性，也說明紅藜作為耐逆作物具有值得進一步研究與應用的價值。

本研究的觀察時間為七天，主要反映的是種子發芽與幼苗初期伸長的情形，尚無法完全推論植物在中後期生長、開花結實或最終產量上的表現。未來若能延長觀察時間，記錄更多生長階段，將能更完整呈現植物對逆境的長期適應能力。

此外，本研究以幼苗高度作為主要指標，雖然能清楚反映初期生長差異，但仍屬單一指標。未來可增加發芽率、根長、鮮重、乾重、葉片數、葉綠素含量或存活率等資料，使研究結果更全面。若能進一步測量土壤或培養液的電導度、實際 pH 變化與植物體內含水量，將更能說明逆境造成影響的生理機制。

在處理材料方面，本研究使用食鹽、醋與小蘇打作為模擬逆境來源，便於操作且貼近日常生活，但也可能因材料本身含有其他成分而影響結果。未來若使用更精確的化學試劑或標準緩衝液，將有助於提高實驗控制的準確性。

最後，本研究結果顯示紅藜具有較佳耐逆性，未來可進一步探討紅藜不同品系之間是否也有耐鹽、耐酸鹼能力差異，並與更多原住民族傳統作物比較，這不僅具有科學意義，也能連結在地農作、糧食安全與文化永續的價值。

## 陸、參考資料及其他

屏東特刊編輯群（2018 年 3 月 15 日）。紅藜~穀物紅寶石。遠見雜誌網。取自 [goo.gl/A3VSzD](https://goo.gl/A3VSzD)。

藥用植物主題館 2017 年 7 月 13 日。紅藜。農業主題館。取自

<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=37295>

Zermezerman （2025 年 4 月 23 日）從外太空回來的紅藜種子！重回台東土坂實驗小學栽種。原住民族廣播電

台。 [https://www.ipcf.org.tw/-/Radio/Radio\\_News\\_Page?newsId=25042312205179440](https://www.ipcf.org.tw/-/Radio/Radio_News_Page?newsId=25042312205179440)

謝宇燦, 尉嵐, 楊長明 (2025)。竹醋液改性生物炭對輕度鹼化潮土的改良效果研究。 **土壤通報**, 56(3), 841–850.

<http://trtb.net/cn/article/pdf/preview/10.19336/j.cnki.trtb.2024052501.pdf>