

第六屆原住民華碩科教獎

作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：養我育我的部落勇士—

探討小米（becenge）的生存之秘

關鍵詞：小米、逆境、耐旱

壹、摘要

在霧台山區，農耕的土壤並非像平原般肥沃，而當地的主食—小米卻能夠在貧瘠的土壤中生長，讓我們非常好奇究竟小米的逆境承受力有多大，因此我們模擬的小米生長可能遇到的困難，並設計出多種逆境，觀察小米在黑暗、鹽水、淹水、乾旱的生長情況。而實驗結果顯示出小米能在缺水 20 天的情況下生長，但在 10% 的鹽逆境中卻難以生存。由我們的實驗結果可以得知小米能在貧瘠乾旱的環境中生長，但是無法在太潮濕或鹽分過高的環境中生存。希望我們的實驗能夠讓大家更加了解小米，並幫助族人了解小米生長狀況不佳的可能原因，使他們能更加輕鬆的耕種。

貳、研究動機

小米是大多數原住民的主食。在霧台山區中，我們發現當地耕地普遍是沒有如平原肥沃而且有許多石頭的梯田地形，這讓我們非常好奇，究竟為什麼小米在當地的環境中可以生長良好，而小米的逆境承受力又能達到多少？所以我們上網搜尋且與當地耆老和老師討論種植時常見的逆境，設計了鹽逆境、乾燥逆境、無日照與淹水逆境。以便測試小米的逆境承受力與改良小米種植方法和環境。

參、研究目的

- 一、觀察小米的成長歷程
- 二、觀察小米不同的環境中的生長情形
- 三、觀察小米在各逆境中的存活狀況
- 四、比較不同種類逆境下，小米生長狀況及逆境表現情形觀測
- 五、分析與比較數據及繪圖的紀錄

肆、研究設備及器材

- 一、研究材料：小米(*Setaria italica*)(表一)

表一本實驗研究生物



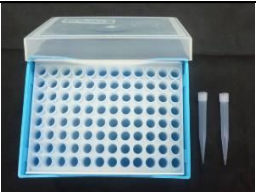
















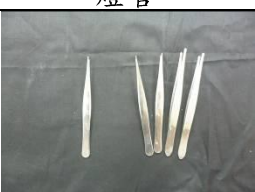





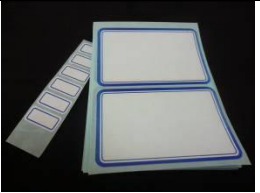
小米(*Setaria italica*)

二、實驗器材：

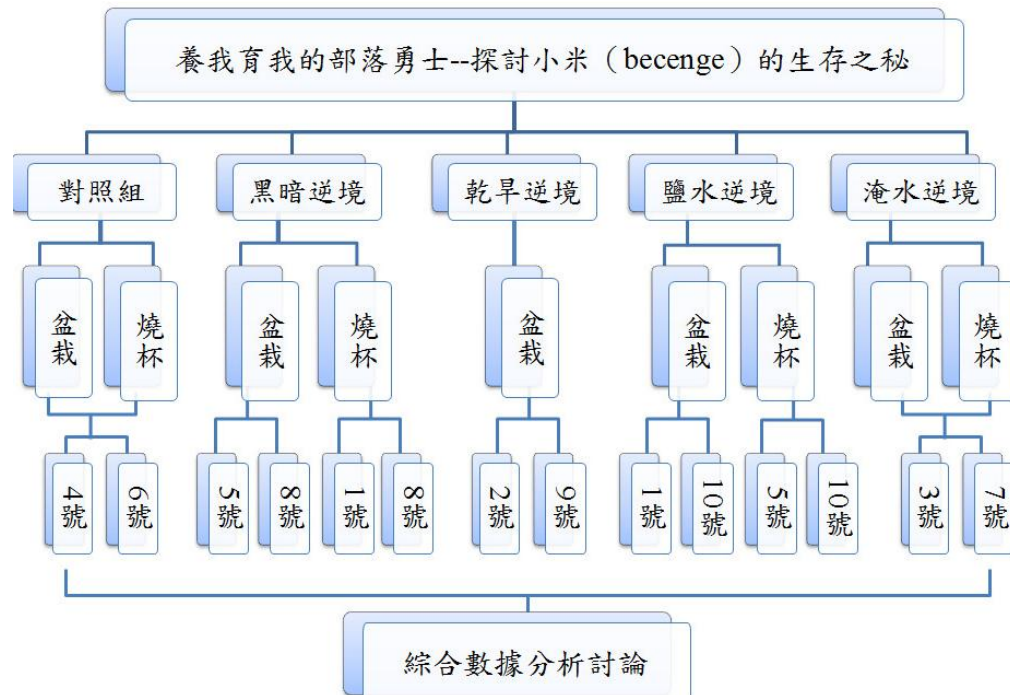
小米種子(1 到 10 號)、1ml 微量吸管(micropipette)、1ml 微量吸管尖頭(micropipette tip)、淺盤、植物生長燈、電子天平、油性極細簽字筆、桌上型電腦、標籤紙、擦手紙巾、濾紙、塑膠血清瓶、數位相機 1 台、橡膠手套數組、鑷子數支、培養皿、秤量紙、解剖顯微鏡、鋁箔紙、燈管、放大鏡、玻棒、試管架、500ml 燒杯 10 個、250ml 燒杯 10 個、100ml 燒杯 10 個、50ml 燒杯 10 個、10ml 量筒、25ml 量筒、50ml 量筒(表二)。

表二、實驗器材

			
小米種子	1ml 微量吸管 (micropipette)	1ml 微量吸管尖頭 (micropipette tip)	試管架
			
淺盤	植物生長燈	燒杯	擦手紙巾
			
鋁箔紙	秤量紙	數位相機	培養皿
			
橡膠手套	解剖顯微鏡	收納盒	燈管
			
塑膠血清瓶	盆栽	量筒	鑷子

			
桌上型電腦	油性極細簽字筆	電子天平	標籤紙

伍、研究過程或方法



(圖一)研究架構流程圖

一、準備工作—蒐集種子、了解山區環境：

- (一)種子來源：由部落族人提供的小米種子。
- (二)山區環境：回去霧台山區，與耆老們互動、討論



當我們在跟族人討論小米時，我們發現當地的種植環境是土壤上層，佈滿了許多碎石，且當地的土壤十分貧瘠。而我們在詢問部落長老如何種植小米時，他們告訴我們，當他們在種植小米時，是將一把小米種子搓散直接灑入土壤中，而且長老在種植期間都沒有澆水，只仰賴天空鎖降下的雨水以及土壤底層含有的地下水層去種植小米。

這讓我們非常訝異，因為由部落長老所說的種植方式可以得知小米的耐旱能力應該比平常的平地作物來得好；而我們也有去當地的耕作區觀察，發現耕地是以梯田的方式呈現且真的石頭遍地，而且路上都還能發現小米從地面上的石板縫中長出，可見小米的生長力非常的旺盛，也讓我們很好奇究竟小米能夠承受多艱困的逆境環境呢？

二、觀察、比較不同時期的小米外表形態之異同。

- (一)利用各種水量測試最佳發芽度。
- (二)觀察最佳的種植環境及植物特徵描述，並紀錄之。
- (三)再以數位相機記錄外觀構造並且繪圖記錄。
- (四)比較不同時期小米外表形態異同。
- (五)將記錄結果製作成小米生長歷程手繪圖

三、觀察小米在正常耕作條件下的生長情形—

- (一)利用自製植物保護網及塑膠布使種植環境保持 20°C。
- (二)詳加仔細操作植物種植步驟。
- (三)每日觀察並詳加記錄持續三個月。拍照記錄並詳加繪圖建檔。



(圖二)自製植物生長箱圖







(圖三)自製植物生長箱圖

四、配製出種植用培養土—

動機：為了成功種植植物，必須配置出適合種植的培養土泡製流程：

- (一)將培養土倒入燒杯中，利用手掌將空氣壓出，量至2000g
- (二)將 2000g 的培養土倒入箱子內
- (三)再加入 1000ml 的水
- (四)戴手套後用手將其攪拌均勻(表三)




(表三)種植用培養土配製流程表

			
3-1 將培養土倒入燒杯中，使用量筒將空氣壓出，量至 2000g	3-2 將 2000g 的培養土倒入箱子內	3-3 再加入 1000ml 的水	3-4 最後用戴上手套的手將其攪拌均勻

四、幼苗培育實驗—

- (一)準備盆栽或是燒杯
- (二)利用放大鏡/解剖顯微鏡為工具，挑選出外觀完整的種子
(用解剖顯微鏡確認為種子外觀完整方可計入使用)
- (三)將外觀完整的種子置入盆栽或燒杯中，每個容器植入 10 顆種子，並置入含有土壤 250g 及水 125g 的容器中。

表四、幼苗培育實驗步驟


		
4-1 準備盆栽或燒杯並將處理好的培養土置入其中。	4-2 利用放大鏡/解剖顯微鏡協助，利用鑷子挑選出外觀完整的種子(用解剖顯微鏡確認為外觀完整方可計入使用)。	4-3 將 10 顆種子置入含有土壤 250g 及水 125g 的容器中。

五、配製出鹽逆境的鹽水—

動機：為了模擬出鹽逆境，必須泡製適當濃度的鹽水，以討論小米的逆境表現狀況

- (一)用電子天平量出100g 的食鹽
- (二)再加入 900ml 的水
- (三)最後使用加熱攪拌器攪拌(表五)

表五、食鹽水濃度配製流程

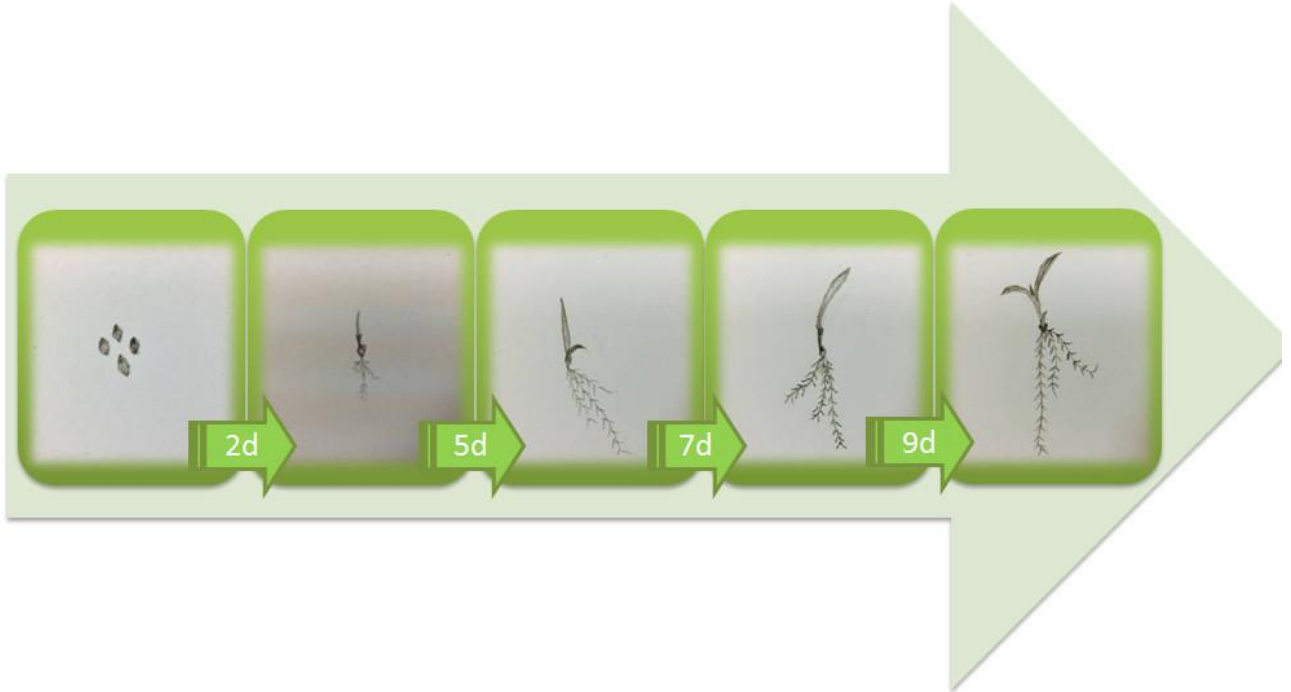
		
5-1 用電子天平量出 100g 的食鹽	5-2 再將鹽加入 900ml 的水中	5-3 使用磁石攪拌器攪拌

六、分析、整理與比較數據及繪圖的紀錄。

陸、研究結果

一、觀察小米的成長歷程：

生活史及其特徵(此處為手繪圖):

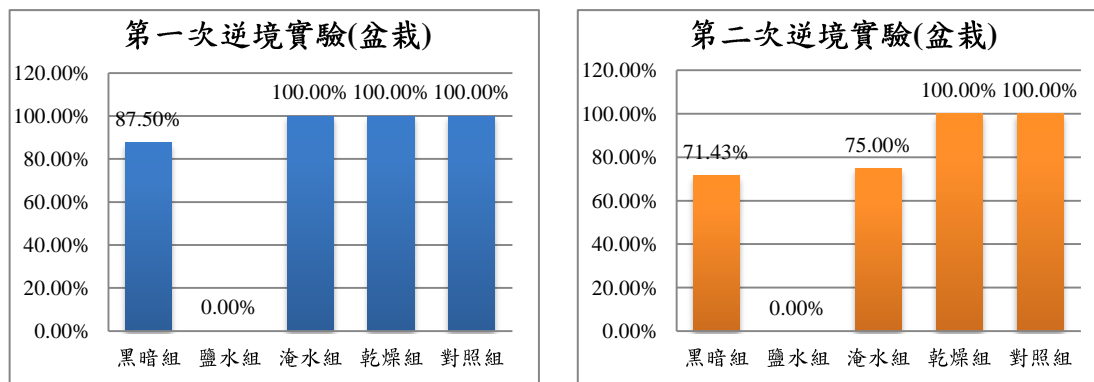


(圖四) 小米生活史手繪圖

根據(圖四)我們可以看到：種植到第 2 天，小米的幼苗長出了一片葉子，而且並無分枝的情形；而種植到第 5 天，小米原先長出的葉片比發芽 2 天的小米更成熟，根系也較長；7 天大的小米則比 4 天大的小米的營養葉來的成熟，而有些小米則可以在這階段發現有第二片營養葉快要發育出來；9 天大的小米的第 2 片營養葉已發育完成，而且整株小白菜的葉片都更大片，根系也較之前明顯，而我們在這個階段的小米中也能發現在兩片營養葉之間能看到第三片葉子準備發育的情形，而我們在小米長到這個階段時，就開始進行逆境對小米生長表現影響的實驗。

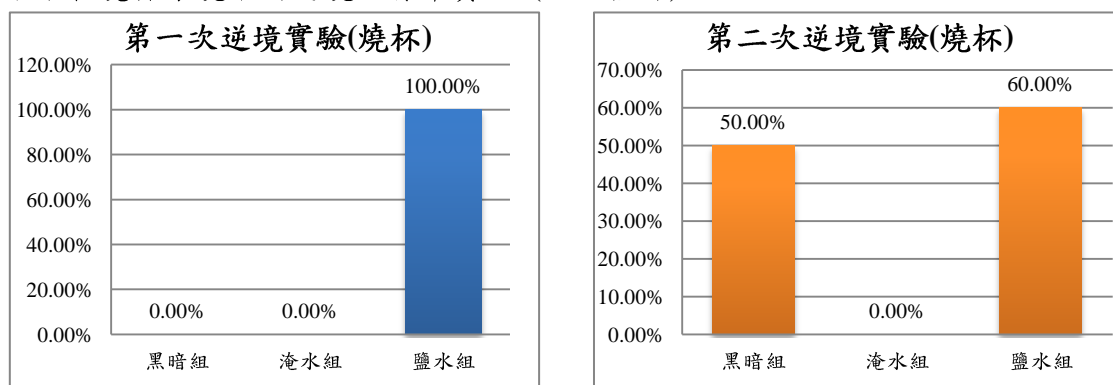
二、小米在各逆境中生存率之討論：

(一)小米在盆栽環境中的逆境生存率實驗（兩個禮拜）



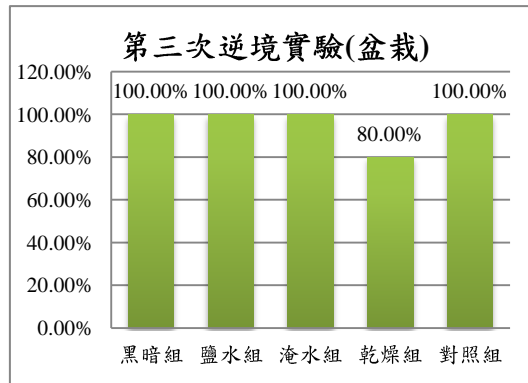
由以上兩張圖，我們可以知道鹽逆境的組別小米生存率為最低，都只有 0%；黑暗逆境的生存率為倒數第二，只有 87.50%和 71.43%；再來就是淹水組，雖然一組為 100%、另一組只有 75%；而對照組與乾燥組的生存率最高，都為 100%。由這兩張圖我們可知，乾燥組和淹水組的逆境中小米生存率較高，而黑暗逆境和鹽逆境則是生存率較低的逆境。因此我們可以得知，小米對於乾燥與淹水的環境中較能適應與生存，但是無法在黑暗中或是在鹽逆境中正長生長。而我們也可以推測出小米的生長條件對於水量沒有太大的限制，而相對的對於生長環境中的日照與鹽鹼度則是要求性較高。根據這個實驗結果我們建議在種植小米時，需特別注意土壤鹽分的問題與植物受到光照時間的問題。

(一)小米在燒杯環境中的逆境生存率實驗（兩個禮拜）



由以上兩張圖，可知淹水組的生存率為最低，只有 0%；黑暗逆境的生存率為倒數第二，只有 50%，另一個則為 0%；而生存率最高的是鹽逆境，有 60%和 100%。雖然在燒杯中，小米在鹽逆境的生存率最高，但是根據實驗結果我們推測這是因為小米所生長的燒杯環境中缺乏排水系統，使得小米在鹽分過多的土壤中，仍有足夠的水分去稀釋土壤中的鹽度，使鹽水濃度降低；而淹水組的生存率之所以會成為最低，我們推測這是因為燒杯排水系統不佳的原故，導致植物全株浸在水中，使植物難以排水，而導致死亡。

(三)小米在盆栽環境中的逆境生存率實驗 (一個禮拜)



而在第三次實驗中，我們為了測試短時間的逆境是否會對小米造成影響，所以刻意將放置在逆境的時間縮短為一個禮拜。結果顯示，短時間的逆境對小米生長的影响較兩個禮拜的逆境時間還來的不明顯。所有逆境組別的小米都還是保持在生存率 80% 以上。因此我們推測小米在遇到逆境時，在短期內，本身的逆境是應能力仍可以讓小米撐過短時間的逆境。因此我們建議當在種植小米時環境條件變得惡劣時，只要盡快解除逆境，小米的生長情況就不會受到太大的影響，而導致收成不好以及作物壞死等情形。

三、觀察小米在各種逆境下的生長情形

(一)觀察小米在**黑暗逆境**下的生長情形：

我們在這個實驗中可以觀察到沒有日照的組別與對照組進行比較，無日照的組別雖然在一開始的 15 天內沒有太大的生長異狀，可是到了 18 天後，土壤表面開始出現黴菌，20 天後，黴菌更是呈現直接附著到植物體上的情形，並且小米的成長狀況不佳，葉長及根系都沒有明顯成長。而針對這些小米的生長表現，我們推測出，小米體表會長黴菌的原因可能有兩種：

第一種是因為小米在無日照的環境中生長，而因為在陰暗環境中沒有日照，使得空氣變得潮濕，並且在陰暗環境中少了紫外線殺菌的效果，造成了小米與土壤表面呈現發霉的情形。

第二種原因是我們推測因為植物在陰暗的環境中因為無法進行光合作用，使得小米少了獲取能量的一個管道，造成植物體變得比對照組脆弱，而又因為在潮濕的環境中生長，造成黴菌滋生，但植物卻沒有足夠的抵抗力去抑制黴菌生長在植物體上。使得植物體整株發霉，到最後甚至呈現癱軟枯死的情形。

(二) 觀察小米在**鹽逆境**下的生長情形：

從鹽逆境的組別與對照組比較結果我們可以看出，鹽逆境的小米組別比對照組更早枯萎且土壤上會有明顯的鹽結晶。在剛開始進行實驗的初期，植物生長狀況與對照組在外觀中無明顯差異，但是3天後，我們發現植物開始枯萎，不到一周，植物呈現完全乾枯死亡狀態。我們推測這是因為鹽水使得培養土壤中的鹽分過高，小米吸收鹽水後在植物體內累積，但小米無法將鹽分排出體內，使小米體內累積鹽分過多，導致小米呈現死亡狀態。

(三) 觀察小米在**淹水逆境**下的生長情形：

進行淹水的組別我們將組別又細分為燒杯類與盆栽類兩個部分。從實驗結果我們可以發現：

燒杯類的淹水組的小米因為排水效果不佳，而環境中又有太多的水，使植物全株淹沒在水中，在數天無法正常排水的狀況下，導致小米整個植物體呈現軟爛死亡的狀態。

盆栽組的淹水組別則是因為盆栽底部具有排水功能的小孔，可以使過多的水分排出環境中，使小米不會因為短時間得積水而造成生長不加得情形，但是由於我們持續加水的原故，使得盆栽的排水速率不及我們加水淹沒植株的速度，造成有部分小在此環境中，也是會呈現植物體軟爛的死亡狀態。

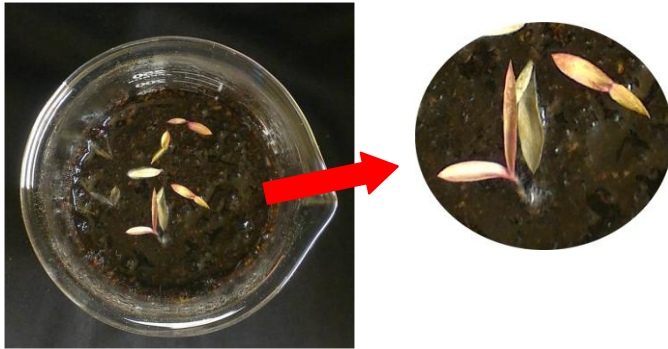
(四) 觀察小米在**乾旱逆境**下的生長情形：

小米無論是在燒杯類或是盆栽類，因為其蓄水力較佳，導致小米在短時間內不會因為缺少水分而死亡，但是時間過久，小米還是會呈現缺水的狀況，而到至葉片乾枯、露出土表的體積不大卻有深且廣的根系。雖然幼苗其的乾旱會造成小米致死，但我們發現，在小米成長的後期，可以耐得住較長期的乾旱，我們發現，甚至兩周都不澆水的小米，仍然可以順利結穗，對乾燥的耐受性很強。

(五) 實驗：觀察植物特殊反應

在種植植物的過程中，我們發現了一些特殊的現象：植物花青素累積。針對這個特殊現象，我們的觀察如下：

(1) 葉片累積花青素(anthocyanins)



(圖十三)小米花青素累積

研究過程中，我們發現小米在多天的乾旱、潮濕的逆境中都會出現葉片、莖變紫紅色的狀態，後來發現是花青素的累積，而與老師討論後我們發現植物在一些逆境中都會有不同的表現狀況，而我們推測花青素激增是因為小米在過於乾旱的環境中導致可溶性糖過多，而乾旱可能是因水份過少而導致無法溶解植物中的可溶性糖，使其轉變為花青素，使花青素在葉片中持續累積，導致植物的葉片變為紫紅色。(圖十三)

柒、討論

一、參考文獻討論：

在網路搜尋逆境的過程中，我們找到了三份文獻。其中一份是有關逆境對植物生長與光合作用的影響，且談論到了乾旱環境對植物對於光合作用、體內損傷和適應環境機制的影響，同時也提到植物可能有某些代謝對乾旱比較敏感，只要掌握了控制基因和其途徑就能了解植物是否面臨乾旱問題。(Yordanov 等人，2000)另一篇則提到了，因為演化，小米忍受乾旱與土壤鹽鹼化的能力較強。但是要如何運用生物科技將小米的這種性狀移植到其他植物上，使得種植其他植物也可以較順利，最後則談到禾本科作為生物燃料的能力。(Charu 等人，2013)最後一篇則是提到逆境讓植物體內活性氧的各種反應通路的影響，讓我們知道要是偵測到植物體內擁有活性氧，便可知道它遭受了逆境。(Aaron，2013)

雖然這些文獻與我們本次的實驗沒有直接的相關性，可是我們卻從中獲得許多重要的資訊，例如：除了歐洲外的五大洲外，乾旱都是各地種植時主要的逆境；小米的乾旱忍受力與鹽鹼忍受力是較強的等等。讓我們在設計逆境時多了許多想法且知道該如何針對小米設計適合它的逆境。

二、材料取得之討論：

小米是植物界，被子植物門，單子葉植物綱，禾本目，禾本科，狗尾草屬的植物，此外小米是一種常見的主食，特別是對原住民來說，在他們的餐桌上幾乎是不可缺少的存在，而且對生長環境的需求低，抗逆境能力強。而因為我們好奇小米的逆境承受度是多少，因此我們選擇小米來做這次的逆境實驗。我們的實驗是取發芽9天後小米是進行實驗，且為了瞭解在不同逆境下，小米的逆境表現狀況，我們人工模擬了鹽逆境、無日照狀態、乾燥和淹水。

小米為原住民的主食作物，雖然近年來少有平地人種植，但是小米近年來也是科學家大力研究與育種的物種，具有耐旱性、多樣性等的高等特色，在現今全球氣候變遷的影響下，若能從抗性高的小米中，了解到其能在艱鉅環境下生存的機制，將會十分有意義。例如：應用在土壤貧瘠的災區、供落後國家人民種植...等等。此外，由於原住民長期種植小米，會保存許多特異性與市面上育種小米不同的品系，就生物多樣性與種原保存而言，這次我們從部落取得的多種小米，也可以藉此增廣小米的種原庫，具有非凡的意義！（詳見表九）。

表九、小米的分類地位階層表

俗名	小米
界	植物界(<i>Plante</i>)
門	被子植物門 (<i>Magnoliophyta</i>)
綱	單子葉植物綱 (<i>Liliopsida</i>)
目	禾本目(<i>Poales</i>)
科	禾本科(<i>Poaceae</i>)
屬	狗尾草屬(<i>Setaria</i>)
學名	(<i>S. italica</i>)

三、實驗設計之討論：

萌芽處理：小米種植密度控制

本實驗主要測試的植物為小米。為了防止太多植物生長在同一地方，導致相互競爭壓縮到生存空間，造成植物生長受影響，所以，我們將每一顆小米種子皆取適當距離進行播種，避免其它控制變因影響實驗結果，我們也將不同條件的因子控制，

使每一組實驗的操縱變因都只能有一個不同，使實驗結果更加精確，才能相互比較。

培養土配製：水量剛好，小米才長的好

為了要剔除掉因為人為操作的影響，我們花了許多時間練習種植的技巧。在配製培養土上，我們使用了 1000 毫升清水、2000g 的培養土。經過測試後，我們發現小米在這個溼度的培養土中長得最佳。而在其他溼度的土壤中植物都長得很差，推測可能是因為過高濕度或者過於乾燥的培養土，都會影響小米在土壤中的發芽率與生長狀況。

自製植物生長箱：溫度、亮度恰到好處，小米長得頭好壯壯

一開始實驗，雖然我們都使用了許多 T5 與 T8 燈管，模擬日光的環境，但卻發生植物光照不足的狀況，我們詢問相關研究單位，他們建議我們在自製生長箱壁貼上鋁箔紙，可以有效提高生長環境的亮度。起先，我們在植物生長櫃貼上鋁箔紙，雖然有效提高亮度，但卻導致溫度過高，所以我們在生長櫃中放入冰塊與冰水使溫度降至適合植物生長的溫度。而在鋁箔紙與塑膠布上也戳洞讓熱氣上升。此外也每天記錄生長箱的溫度，確保植物生長的條件適合植物。

種子保存與萌芽：低溫、乾燥，發芽率才會高

在保存種子方面我們是將分類好的種子個別置入夾鏈袋內，將袋內空氣擠出，封緊袋口，使袋內呈現近乎真空的狀態，並將小米置入有溼度、溫度調節得櫃子內，避免因為溫度或是溼度而影響小米的芽率及生長狀況。

針對小米的萌芽處理，我們會在種植前會先利用顯微鏡去確認小米種子是否外觀完整，並且利用鑷子及手套幫助進行播種的動作，避免因為手的汗水或是體溫進而影響種子發芽率。

遇到逆境：小米花青素增高、枯死

而在種植的處理中，我們使用鑷子與手套幫助進行，防止因為流手汗所造成的實驗誤差。一開始的時候，也曾經因為生長環境溫度太高使植物乾枯、花青素突然升高，因為植物需要適當的溫度與水分，於是我們便使用了許多方式降低溫度，包括在自製溫室內裝設溫度計，溫室頂端開有小洞，讓熱氣可以往上排出，在溫室內部加裝鋁箔紙，讓生長櫃的亮度可以跟日光比擬……等。最後，我們有將溫室溫度維持住，控制在 25°C 的恆溫下，即使有因為天氣的變化而受到些許影響，但都確保溫度上下誤差在 2°C 以內。

四、研究結果之討論：

植物的怪現象：原來是植物逆境時的表現

我們一開始種植小米時，從使種子發芽開始就必須注意溫度及濕度的控制，；如果環境濕度過低的話，會使葉片呈現乾枯狀，同時使小米的可溶性糖累積轉變成花青素（*Anthocyanidin*）使花青素累積在葉片上；而如果環境溫度過高的話，則會造成小米葉片被曬乾，降低植物枝條生長速率及發展深且廣的根系。

五、未來展望之討論：

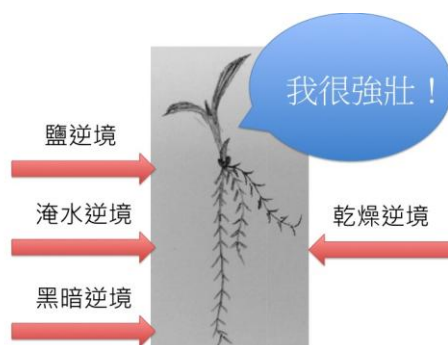
根據本實驗的結果，在小米種植的過程中，我們可以總結出小米是較適合生長在較為乾早的土壤中，而因為在霧台山區的環境是日照較平地不足的地區，紫外線的照射也相對的較少。而根據我們實驗結果來看，植物在缺少日照加上濕度過高的狀態下會造成小米較容易發霉的情形，因此我們可以設計出良好的排水系統供族人使用，避免小米因為颱風的暴雨造成淹水導致收成不好，或是因為天氣氣候的劇變導致有長時間的枯水期，造成小米乾枯而無法收成的現象。

而我們也在閱讀文獻時發現有一篇論文是在說活性氧是一種負責傳遞植物體內訊息的一個角色：包括生長、發育、生物反應以及逆境刺激，因此我們希望我們以後可以針對小米體內的活性氧反應去探討小米所遇到的逆境，且研究小米體內的活性氧是否會因小米的生長狀況而有不同的表現，我們希望以後能夠利用活性氧來觀察小米在遇到逆境時體內的表現，並用實驗去測量活性氧的流向與針對植物外在的逆境表現去做更深度的探討，以即時了解小米的生長狀況且改良小米的生存環境與種植方法。

捌、結論

在這次實驗中，我們設計了許多逆境並觀察小米生長的變化，再依照觀察的結果來了解小米較能承受何種逆境以及承受極限為何。經過觀察後，我們發現小米較能忍受短期淹水與乾燥的情況，因此我們推測忽然增大的水量對於小米並無致死性的傷害，但若是在長期泡水的狀況下，小米則無法生存。另外，小米也能夠忍受短期黑暗；相較於上述逆境，乾燥的情況下，小米則是可以生存地很好。可是在鹽逆境下，小米會因為過多的鹽分而導致植物體脫水，最後枯萎死亡；而黑暗的環境下則會因為小米的無法順利行光合作用，導致養分不足，最後體表完全被黴菌附著，導致死亡。總之，種植小米適合在排水良好、通風好、鹽度低的環境，短期降大雨或是在生長後期的乾燥都不至於讓其致死。

我們也希望以後如果有機會，希望多加宣導並讓大眾了解且一起改良小米的種植方式與種植環境，讓種植小米時可以更容易且提高生存率。而在進行研究小米遇到逆境時的情形、體內的特殊狀況，讓我們了解並懂得在小米遇到逆境如何以及時解決，增加小米的生存率。



玖、參考資料及其他

1. 維基百科小米
(無日期)<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8F%E7%B1%B3>
(取自民國 103 年 11 月 26 日)
2. Plant Responses to Drought, Acclimation, and Stress Tolerance (November, 2000)。
<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1007201411474>(取自民國 104 年 4 月 5 日)
3. Foxtail millet: a model crop for genetic and genomic studies in bioenergy grasses(September,2003)。
<http://informahealthcare.com/doi/abs/10.3109/07388551.2012.716809>(取自民國 104 年 4 月 5 日)。
4. ROS as key players in plant stress signalling (November 19,2013)
<http://jxb.oxfordjournals.org/content/65/5/1229.short> (取自民國 104 年月 5 日)。