

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030319

淹淹「易」息

—探討植物在淹水逆境下的生存機制

學校名稱：臺南市私立德光高級中學(附設國中)

作者： 國三 洪瑋廷 國二 黃怡宸 國二 謝宇思	指導老師： 江芝韻 鄭楷騰
---	-----------------------------

關鍵詞：淹水、逆境、鈣離子

摘要

氣候變遷造成日漸頻繁的區域性水災，使植物生態遭受衝擊，從種子及幼苗在淹水下的發芽及生長狀況，得以探討植物對抗淹水逆境之策略，以供未來災害防治策略參考。而十字花科與菊科植物實驗中，我們發現不發芽為種子抗淹水逆境之共同策略，但氧化壓力則促使淹水下的種子發芽，而增加葡萄糖卻反之。除此之外，從不死鳥的觀察，我們發現淹水會導致幼苗抽長，且黑暗及紅光照射下更為明顯。十字花科氣孔在淹水下會關閉但菊科則否。而分子層面，鈣離子會調控淹水植物的發芽、氣孔開閉及莖節抽長，且過氧化物及葡萄糖亦參與其中。這些新發現值得後續深入探討。

壹、研究動機

隨著氣候變遷，淹水災害日漸頻繁，而我們觀察到許多植物在淹水下之生長及型態會有顯著變化。而這些變化是否與植物對抗淹水之生存機制相關呢？透過研究其機制，是否可以讓人類找到對抗全球暖化及帶來的糧食危機與生態浩劫的策略？因此，我們決定設計了一系列的實驗去深入探討。

相關教材連結

康軒國中自然與生活科技第一冊

第一章

第二章: 2-1、活動 2-1-1、2-3、活動 2-3

第三章: 3-3

第四章:活動 4-2

第五章:5-3、5-4

康軒國中自然與生活科技第二冊

第六章: 6-3

康軒國中自然與生活科技第四冊

第二單元：2-2、2-3

貳、研究目的

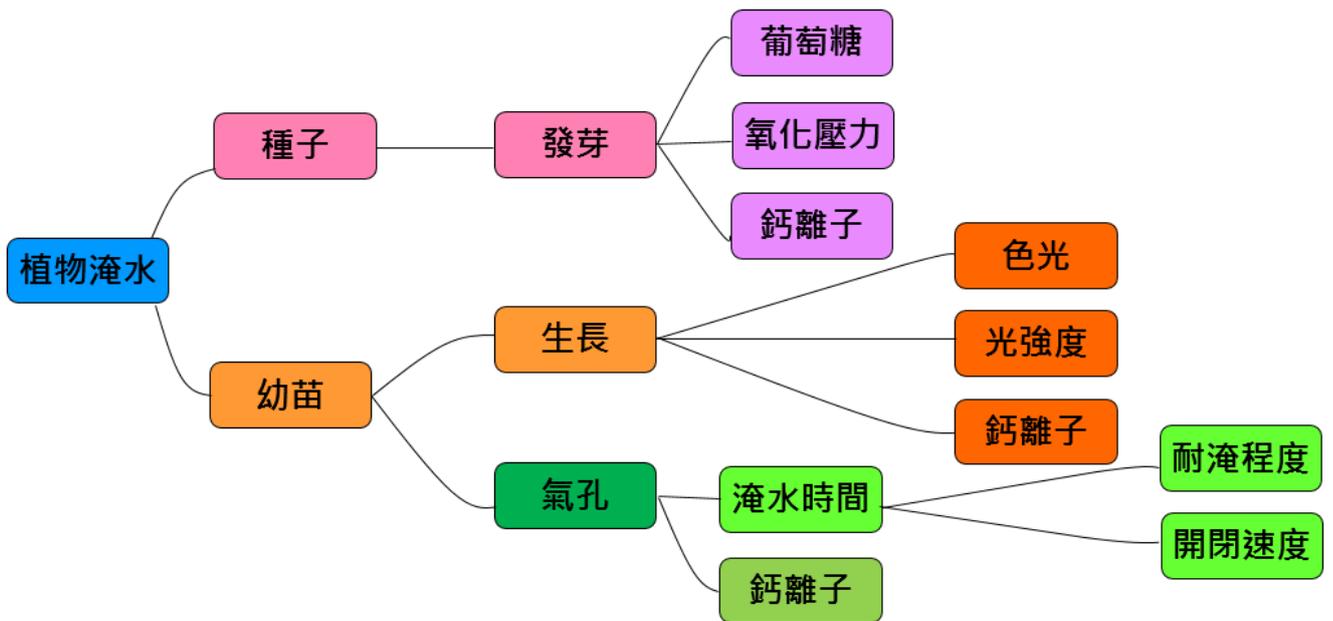
- 一、探討植物遭受淹水時的因應的方式與生存機制。
- 二、觀察植物種子在淹水下之發芽與其影響因素。
- 三、觀察植物幼苗在淹水下之生長與微觀下之氣孔動態變化。
- 四、研究淹水下之植物訊息傳導機制與其行為的關聯性。
- 五、思考植物抵抗淹水逆境之機制，以提供人類因應氣候變遷與糧食危機之可行方案。

參、研究設備與器材

種子(芥藍、青江菜、萵苣)、不死鳥、濾紙(5cm)、燒杯(150ml)、培養皿(5cm)、微量滴管、葡萄糖、酒精、過氧化氫、NAC、氯化鈣、EGTA、載玻片、蓋玻片、顯微鏡、滴管、恆溫培養箱(27度、8.5klux、12hr 光照及 12hr 黑暗)、相機、電腦軟體(Word、Powerpoint、Excel、小畫家、ImageJ)、尺、液態氮、均質機、電子天平、鑷子、蒸餾水。

肆、研究過程與方法

一、流程圖



二、實驗步驟:

活動一：植物種子在淹水下的發芽狀況

(一) 實驗步驟

1. 在三個小燒杯中分別放入 10 顆的種子，均勻分散擺放。
2. 在三個小燒杯中加入 5ml、50 ml、150ml 的水。
3. 將燒杯用保鮮膜蓋好，再放入 27° C 恆溫培養箱中(青江菜 2 天)。

(二) 實驗結果

1. 植物在淹水狀況下會抑制種子發芽，由實驗結果看到青江菜淹水 50ml 和 150ml 時均有抑制現象(圖 1-1)。



(圖 1-1) 在淹水狀況下會抑制青江菜種子的發芽

(表 1-1)在淹水下種子的發芽率

物種 發芽率(%)	對照組	50ml	150ml
青江菜	100	60	40

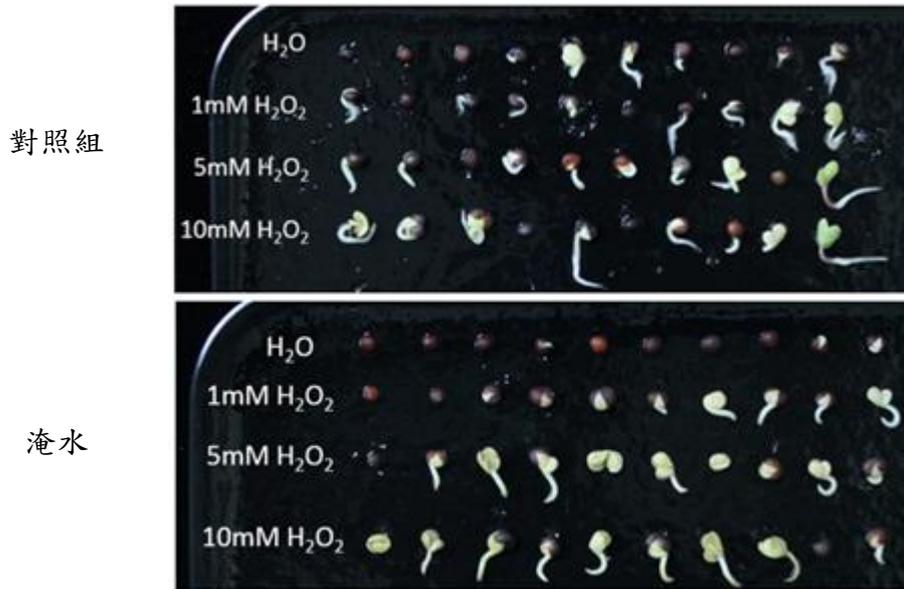
→在查詢文獻後我們發現植物是靠著不同的訊息傳遞分子來傳遞外在環境變異的訊息，這些訊息分子或能透過改變植物分子生理機制來幫助植物度過逆境，而常見的植物訊息傳遞分子包含過氧化物、葡萄糖及鈣離子等，因此在接下來的活動中，我們分別外加這些訊息傳遞分子以觀察種子的發芽情形是否受到調控。

活動二：淹水下加入過氧化氫影響種子發芽的情形

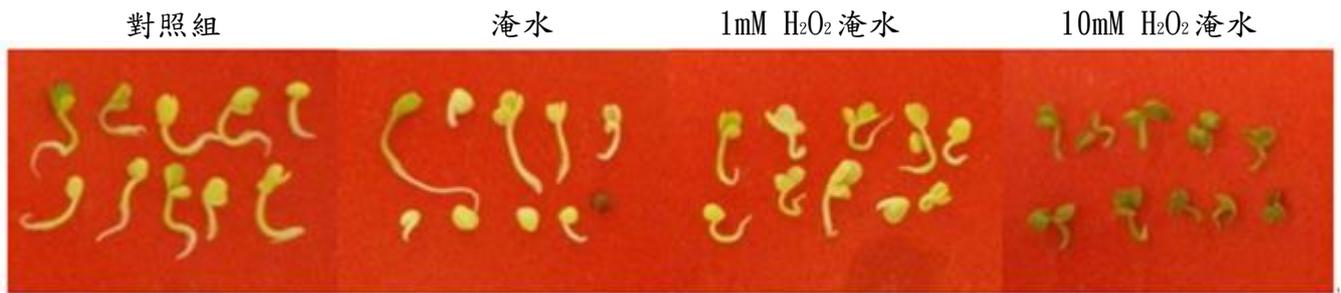
(一) 實驗步驟

1. 實驗步驟同活動一，但改成兩種不同水量：5ml 和 150ml。
2. 分別配置不同濃度：0 mM、1 mM、5 mM、10 mM 等不同濃度的過氧化氫水溶液。
3. 以下步驟同活動一在每個小燒杯中分別放入 10 顆種子，均勻分散擺放。
4. 燒杯用保鮮膜蓋好，避免水分蒸散，再放入 27 度恆溫培養箱 5 天。
5. 實驗重覆三次。

(二) 實驗結果



(圖 2-1)過氧化氫對淹水下芥藍種子發芽的影響



(圖 2-2)過氧化氫對淹水下萵苣種子發芽的影響

(表 2-1)過氧化氫對淹水下種子的發芽率

物種 發芽率(%)	對照組	淹水	1mM H ₂ O ₂ 淹水	10mM H ₂ O ₂ 淹水
芥藍	50	0	50	90
萵苣	100	70	90	100

1. 從圖 2-1 的結果，可以看到過氧化氫對淹水下的芥藍有明顯促進發芽的情形，隨著過氧化氫濃度的提高，其發芽率也會跟著提高。在淹水下加入 10mM H₂O₂，使發芽率達 90%。
2. 從圖 2-2 實驗結果也發現，萵苣在淹水狀態下加入過氧化氫後，隨著過氧化氫濃度的提升，發芽率也隨之提高，10mM 過氧化氫的組別中，種子幾乎全數發芽。
3. 我們觀察到，隨著加入過氧化氫濃度的提高，不僅種子的發芽率較佳，且葉子還會比對照組來得更綠。我們認為可能是過氧化物作為訊息傳遞分子，使植物順利發芽。也可能是加入過氧化氫後，水中氧氣含量增加，讓種子發芽更快且更佳，或透過影響植物荷爾蒙的交互作用，間接對種子的發芽和幼苗的生長產生影響。

(三) 活動一與活動二檢討

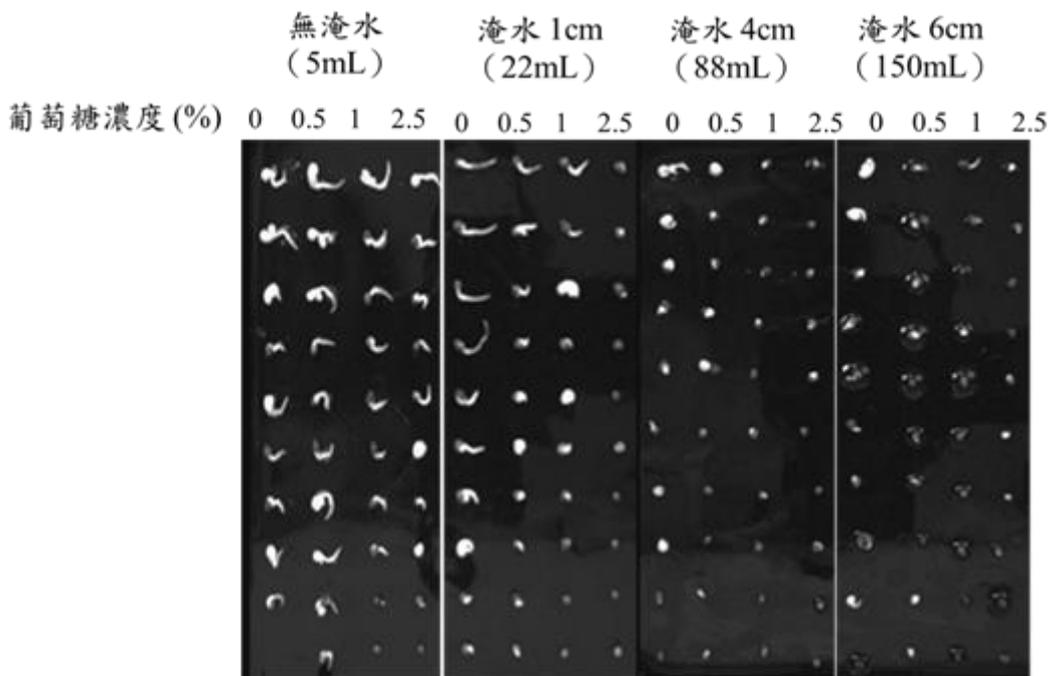
1. 淹水確實會抑制部分種子發芽。
2. 我們發現燒杯的規格不盡相同，同樣量的水放在燒杯中，水的高度還是有些不同，因此我們考慮了淹水對植物的影響可能還有一個因素—水深，所以活動三我們以不同「深度」的淹水環境做實驗。
3. 種子在萌芽的階段，體內糖份的生成會影響發芽的現象，且在查詢文獻後我們發現：糖也可能作為植物訊息傳遞物質之一。因此接著我們想要了解不同濃度的葡萄糖溶液對種子發芽的影響。

活動三：不同淹水高度及不同濃度之葡萄糖水溶液對種子發芽的影響

(一) 實驗步驟

1. 實驗步驟同活動一，但水量改成 5ml (對照組)、1cm 高 (約 22ml)、4cm 高 (約 88ml)、6cm 高 (約 150ml)。
2. 接著再配製不同高度之不同濃度的葡萄糖水溶液。葡萄糖水溶液的濃度如下：0 %、0.5 %、1 %、2.5 %。以下步驟同活動一。
3. 以下步驟同活動一。在每個小燒杯中分別放入 10 顆的種子，均勻分散擺放。
4. 將燒杯用保鮮膜蓋好，避免水分蒸散，再放入 27 度恆溫培養箱中 2 天。
5. 實驗重覆三次。

(二) 實驗結果



(圖 3-1) 不同淹水高度及不同濃度之葡萄糖水溶液下對青江菜種子發芽的影響

(表 3-1) 不同淹水高度及不同濃度之葡萄糖水溶液下對青江菜種子的發芽率
發芽率(%)

葡萄糖溶液濃度	淹水高度			
	對照組(5ml)	1cm(22ml)	4cm(88ml)	6cm (150 ml)
0%	100	100	50	40
0.5%	100	80	10	10
1%	80	40	10	10
2.5%	90	20	0	0

1. 在圖 3-1 可以看到，葡萄糖水溶液濃度的提高會使種子發芽的情形變差。
2. 從圖中亦可觀察到，隨著水深增加種子的發芽率大幅下降。

(三) 活動三檢討

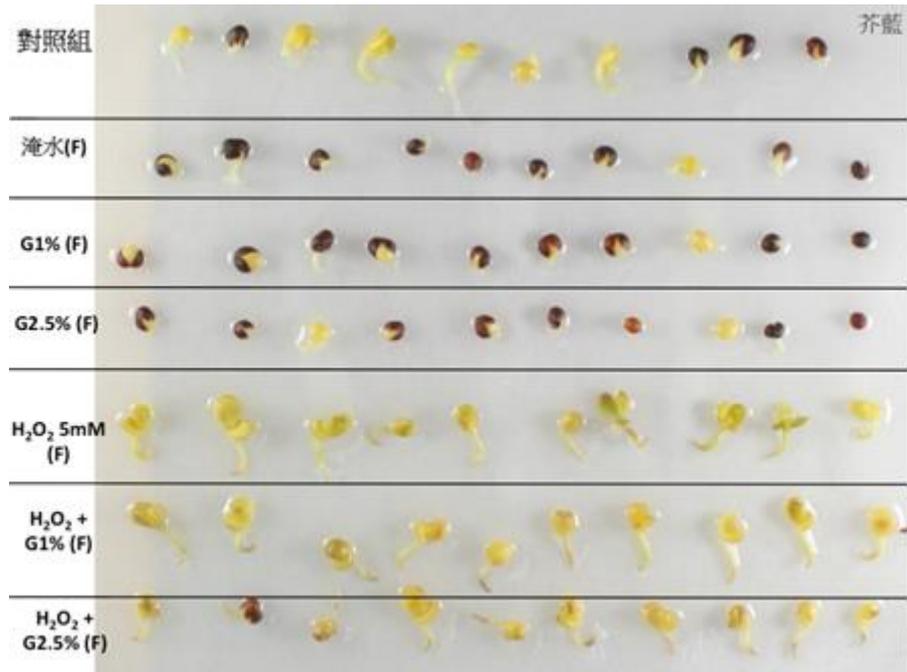
1. 從實驗中可以觀察到在對照組，隨著葡萄糖溶液濃度提高，發芽率些微下降，但在淹水後，外加的葡萄糖溶液則會使發芽率大幅下降。
2. 在此活動中，加入高濃度的葡萄糖水溶液會使植物的發芽率下降，而在活動二中加入過氧化氫能使植物的發芽率提升，因此在活動四中我們好奇同時加入葡萄糖及過氧化氫使否能打破種子在葡萄糖溶液中發芽受抑制的情形。但太低的葡萄糖溶液對於種籽發芽的抑制情形不明顯，因此活動四中我們只使用濃度較高(1%、2.5%)的葡萄糖溶液。

活動四：過氧化氫打破種子在糖類淹水時發芽受到抑制之情形

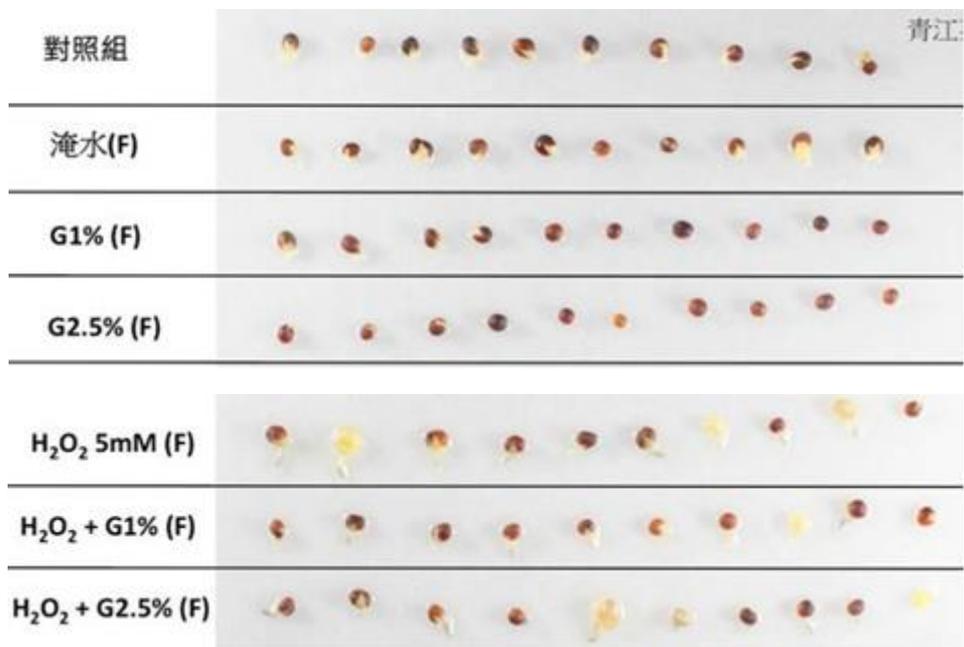
(一) 實驗步驟

1. 種子準備及植物種植方式同活動三，配置不同濃度的葡萄糖水溶液：1%、2.5%，而淹水水量均為 6 公分 (150ml)。
2. 因植物原生長速度的差異，因此青江菜為觀察種植 2 天後的情形(圖 4-1)，而芥藍和萵苣則是觀察種植 3 天後情形(圖 4-2、圖 4-3)，將結果拍照下來記錄。

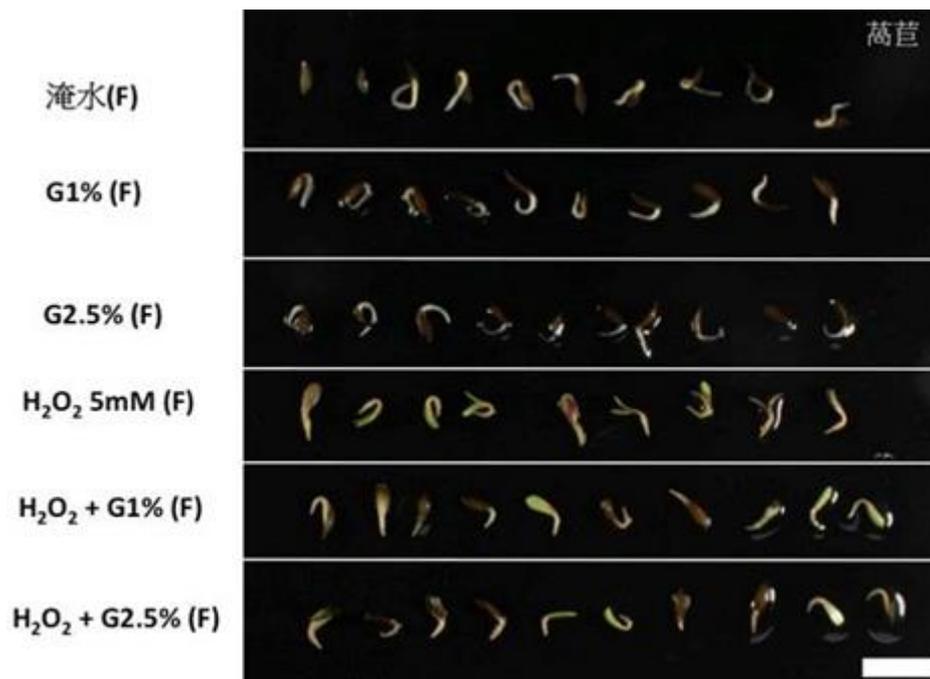
(二) 實驗結果



(圖 4-1)過氧化氫對不同濃度之葡萄糖淹水下芥藍發芽的影響



(圖 4-2)過氧化氫對不同濃度之葡萄糖淹水下青江菜發芽的影響



(圖 4-3)過氧化氫對不同濃度之葡萄糖淹水下高苣發芽的影響

(表 4-1) 過氧化氫對不同濃度之葡萄糖淹水下種子的發芽率

物種 (發芽率%)	對照組	淹水	葡萄糖 1%淹水	葡萄糖 2.5%淹水	5mM H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ +葡萄 糖 1%	H ₂ O ₂ +葡萄 糖 2.5%
芥藍	100	50	30	20	100	100	100
青江菜	100	90	40	0	90	90	80
高苣	100	80	100	90	100	100	100

1. 從三种植物的種子(芥藍、青江菜、高苣)處理不同濃度之葡萄糖水溶液，發現葡萄糖水溶液濃度越高，則種子發芽率越低。
2. 在加入過氧化氫之後種子的發芽情形會提高。
3. 種子在過氧化氫處理下，初期生長階段有加速葉片綠化的情形。

(三) 活動四檢討

1. 從活動四及活動三中都確實了葡萄糖溶液濃度的增加會抑制種子的發芽。
2. 過氧化氫在植物淹水時可以促進種子發芽，並且能打破種子在糖類淹水時發芽受到抑制之情形，查詢資料後我們推測可能是過氧化氫所產生的氧化壓力促使種子的發芽，因此在活動五中我們使用抗氧化劑去消除過氧化氫所產生的氧化因子，以確證過氧化氫促進種子發芽的原因是否為氧化壓力所造成。

活動五：抗氧化劑 (NAC) 會消除過氧化氫對淹水下種子發芽的影響

(一) 實驗步驟

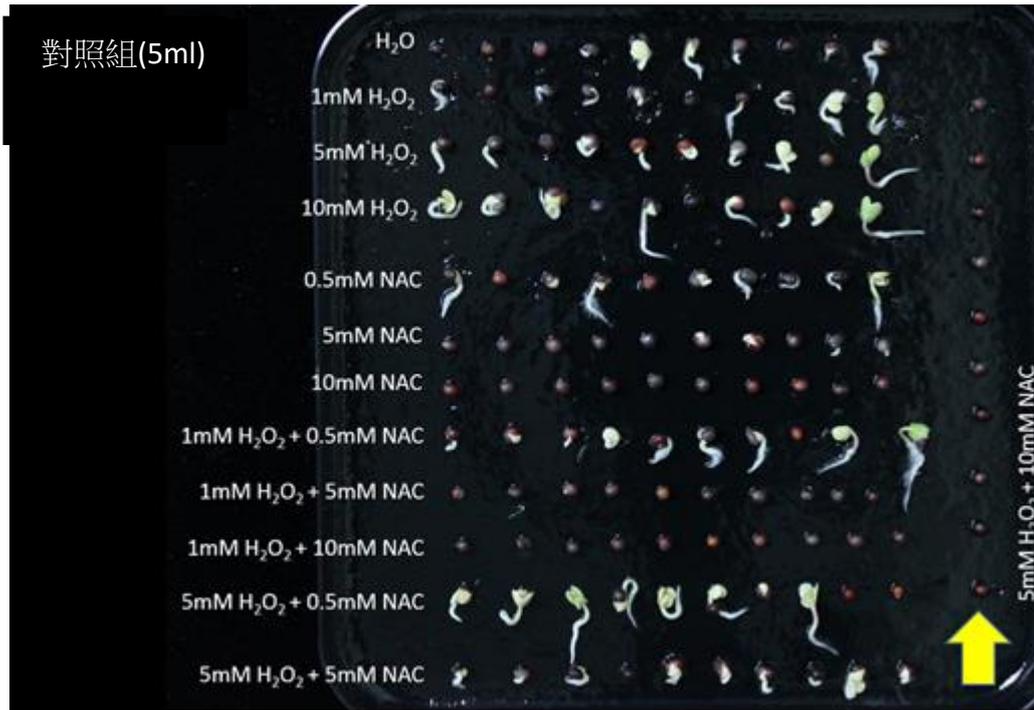
1. 實驗步驟同活動三，找相同規格的燒杯 6 公分(150ml)，分別為對照組(5ml)及淹水組(150ml)的水量。
2. 在對照組與淹水組不同水量下分別配置 0 mM、1 mM、5 mM、10 mM 等不同濃度的過氧化氫水溶液。
3. 接著也在不同水量下再配置 0 mM、0.5 mM、5 mM、10 mM 等不同濃度的 NAC 水溶液。
4. 將不同濃度的過氧化氫水溶液和不同濃度的 NAC 水溶液做混合。
5. 不同濃度的過氧化氫、不同濃度的抗氧化劑及不同濃度的混合溶液配置如表 5-1。

	對照組(5ml 水)	淹水 6 公分
水	10 顆種子	10 顆種子
1 mM 過氧化氫	10 顆種子	10 顆種子
5 mM 過氧化氫	10 顆種子	10 顆種子
10 mM 過氧化氫	10 顆種子	10 顆種子
0.5 mM 抗氧化劑(NAC)	10 顆種子	10 顆種子
5 mM 抗氧化劑(NAC)	10 顆種子	10 顆種子
10 mM 抗氧化劑(NAC)	10 顆種子	10 顆種子
1 mM 過氧化氫 +0.5 mM NAC	10 顆種子	10 顆種子
1 mM 過氧化氫 +5 mM NAC	10 顆種子	10 顆種子
1 mM 過氧化氫 +10mM NAC	10 顆種子	10 顆種子
10 mM 過氧化氫 +0.5 mM NAC	10 顆種子	10 顆種子
10 mM 過氧化氫 +5 mM NAC	10 顆種子	10 顆種子
10 mM 過氧化氫 +10mM NAC	10 顆種子	10 顆種子

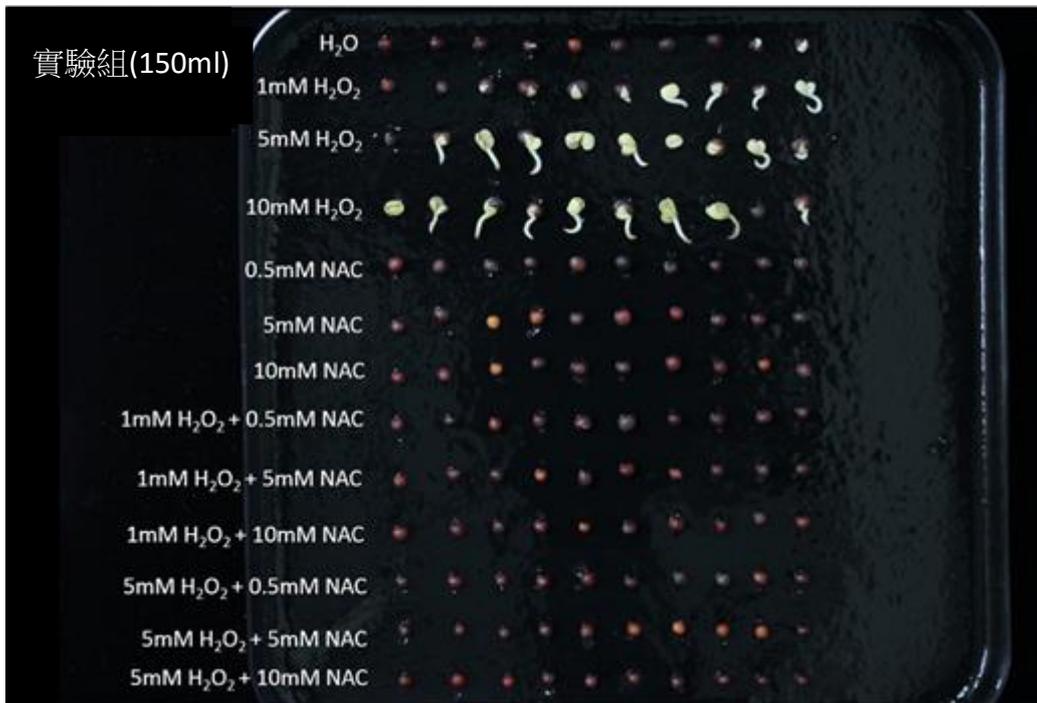
(表 5-1)不同溶液配置

6. 在每個小燒杯中分別放入 10 顆種子，均勻分散擺放。
7. 將燒杯用保鮮膜蓋好，避免水分蒸散，再放入 27 度恆溫培養箱中 3 天。

(二) 實驗結果



(圖 5-1) 不同濃度的過氧化氫、不同濃度的抗氧化劑及不同濃度的混合溶液在不淹水下(對照組)對芥藍萌芽的影響。



(圖 5-2) 不同濃度的過氧化氫、不同濃度的抗氧化劑及不同濃度的混合溶液在淹水下(實驗組)對芥藍萌芽的影響。

(表 5-2) 不同濃度的過氧化氫、不同濃度的抗氧化劑及不同濃度的混合溶液在淹水及不淹水下對芥藍發芽率的影響。

處理	對照組(%)	實驗組(%)
水	50	0
1 mM 過氧化氫	80	50
5 mM 過氧化氫	80	70
10 mM 過氧化氫	80	80
0.5 mM 抗氧化劑(NAC)	70	0
5 mM 抗氧化劑(NAC)	30	0
10 mM NAC	0	0
1 mM 過氧化氫 +0.5 mM NAC	80	0
1 mM 過氧化氫 +5 mM NAC	0	0
1 mM 過氧化氫 +10mM NAC	0	0
5 mM 過氧化氫 +0.5 mM NAC	80	0
5 mM 過氧化氫 +5 mM NAC	80	0
5 mM 過氧化氫 +10mM NAC	0	0

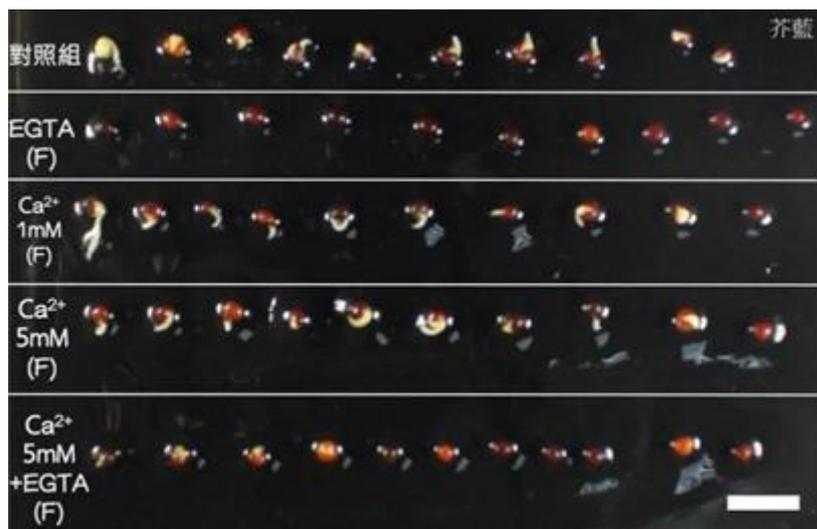
1. 在對照組中可以看到，高濃度 NAC 本身是會抑制種子的發芽(5mM、10mM)，而在低濃度的 NAC 水溶液(0.5mM)中對種子發芽的影響不大。過氧化氫水溶液中再添加了 NAC 後，隨著 NAC 濃度的提升，種子的發芽率下降，此外也可觀察到，在高濃度(5mM)的過氧化氫處理中種子發芽狀況較低濃度(1mM)來的更好。
2. 在實驗組中，我們仍可發現隨著過氧化氫濃度的提高，種子的發芽率提高，但是在添加 NAC 的狀況下，不管是單獨只有 NAC 或是與有過氧化氫混合，種子的發芽均受到抑制。
3. 從實驗結果中我們確定過氧化氫造成的氧化壓力可能是促使種子萌芽的原因之一。

活動六：鈣離子對淹水下種子發芽的影響

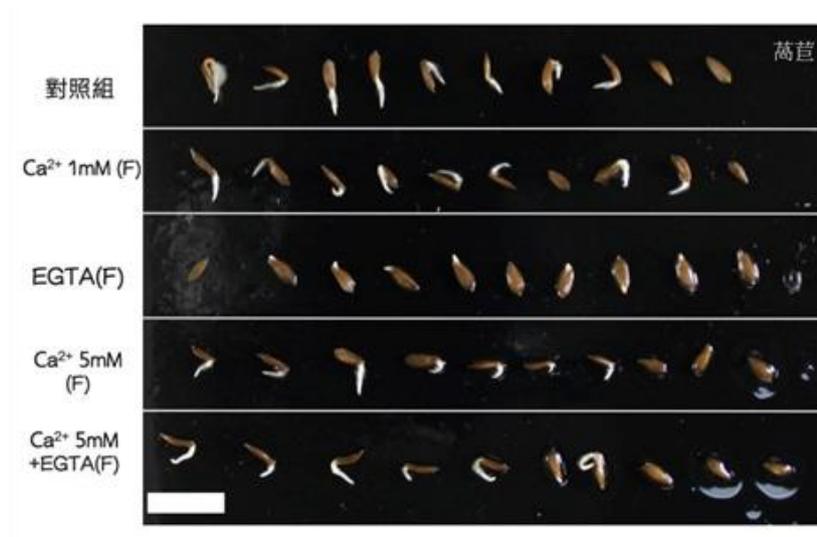
(一) 實驗步驟

1. 種子種植的方法同前述活動，但均以 6cm(約 150ml)淹水處理，水溶液內容如下：水、1mM 鈣離子、5mM 鈣離子、EGTA、5mM 鈣離子+ EGTA。
2. 鈣離子及 EGTA 的配置方法如附錄。
3. 我們認為僅加入鈣離子作為實驗可能不夠準確，所以在此活動中我們也加入了鈣離子螯合劑(EGTA)作為反證實驗。

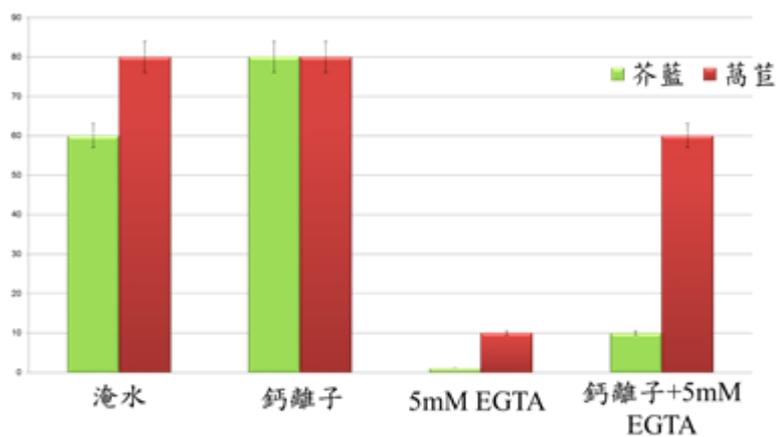
(二) 實驗結果



(圖 6-1) 不同濃度之鈣離子及 EGTA 對淹水下芥藍發芽的情形



(圖 6-2) 不同濃度之鈣離子及 EGTA 對淹水下葛苳發芽的情形



(圖 6-3) 不同濃度之鈣離子及 EGTA 對淹水下種子的發芽率

1. 從圖 6-1、6-2 可以發現，芥藍及萵苣在淹水下加入 EGTA 均會抑制種子的發芽。
2. 加入鈣離子對種子的發芽影響不大，與一般對照組淹水發芽的情形相似。
3. 從表 6-1 可以看到，加入 EGTA 再補以 5mM 鈣離子，可以使得受 EGTA 抑制之種子發芽率提高。

活動 6 檢討:在以上的實驗中我們觀察了種子的發芽情形，在接下來的活動中我們會觀察植物幼苗在淹水狀態下的氣孔開閉即莖長變化。

活動七：植物幼苗時給予淹水狀態下氣孔開閉變化的速度

(一) 實驗步驟

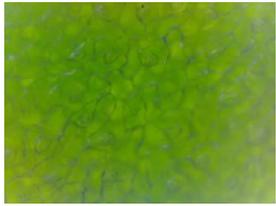
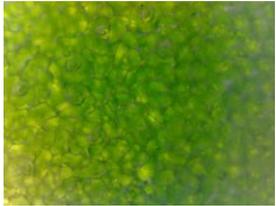
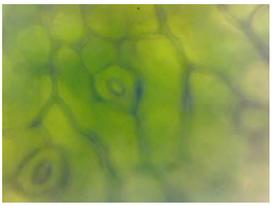
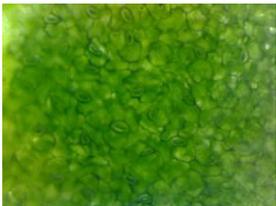
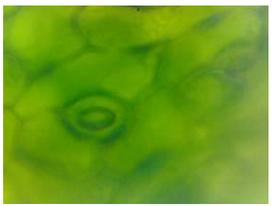
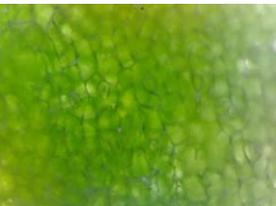
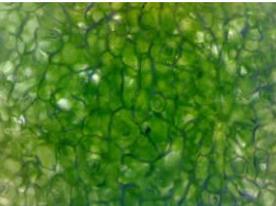
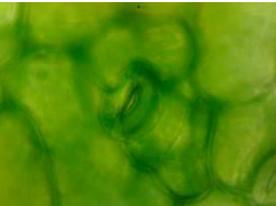
1. 在 150ml 的燒杯內，放入 3 片濾紙並加入 5 ml 的水，再分別放入以下不同種子各兩組 (A 組與 B 組)，分別是芥藍 (10 顆)、青江菜 (10 顆)、萵苣 (10 顆) (相片 7-1)。
2. 將燒杯上蓋上保鮮膜，避免水分蒸發，再放入 27 度恆溫培養箱中 5 天，長成幼苗植株。(相片 7-2)
3. 第 5 天將 B 組植物淹水至 150ml 作為實驗組(早上 8 點開始淹水) (相片 7-3)，A 組植物不淹水作為對照組，分別在進行淹水後第 2、6、24、48 小時觀察氣孔開閉的情形。

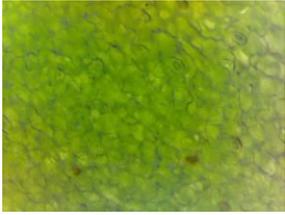
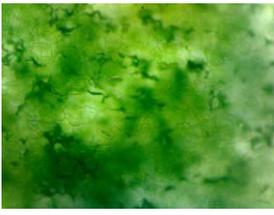
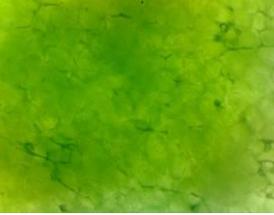
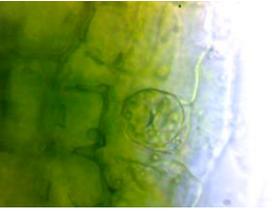
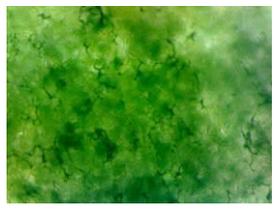
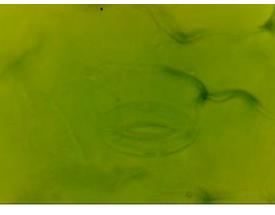


(相片由左至右：7-1 實驗進行情形、7-2 五天大的萵苣、7-3 實驗組加 150ml 的水)

4. 於 8:00 淹水後，觀察 10 點、14 點、第一天及第二天(淹水後 2、6、24 和 48 小時)，取葉片下表皮在顯微鏡下觀察氣孔開閉。
5. 在顯微鏡下分別放大 100 倍及 400 倍觀察，並利用顯微鏡照相存檔，再用 Image J 軟體分析植物的氣孔開閉。
6. 實驗重複三次。

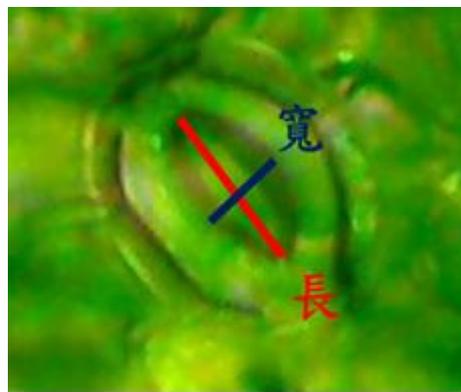
(二) 實驗結果

芥藍	對照組		實驗組	
	放大 100 倍	放大 400 倍	放大 100 倍	放大 400 倍
2hr				
6hr				
24hr				
48hr				

青江菜	對照組		實驗組	
	放大 100 倍	放大 400 倍	放大 100 倍	放大 400 倍
2hr				
6hr				
24hr				
48hr				

萵苣	對照組		實驗組	
	放大 100 倍	放大 400 倍	放大 100 倍	放大 400 倍
2hr				
6hr				
24hr				
48hr				

(圖 7-4) 植物淹水處理下隨時間氣孔開閉的情形



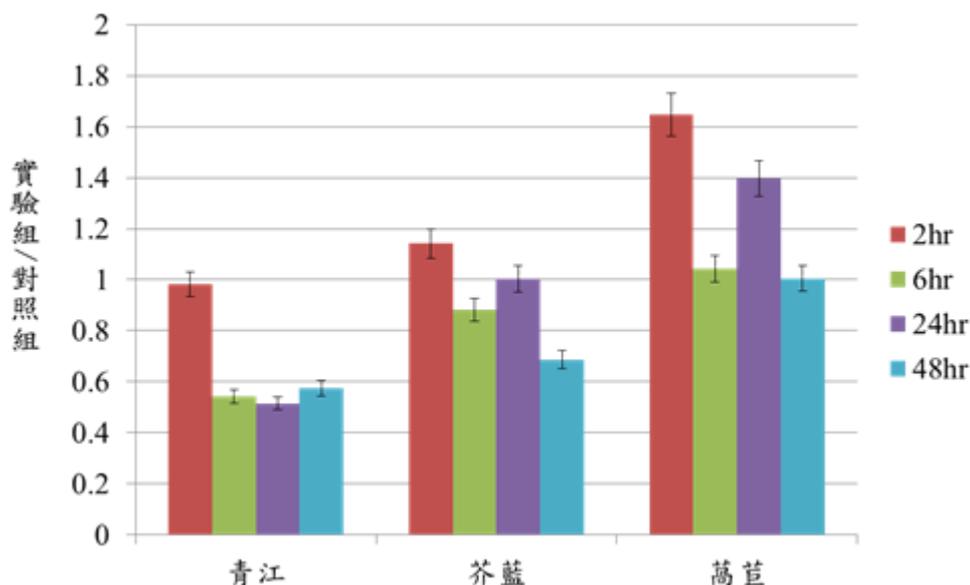
(圖 7-5) 氣孔開閉測量寬長示意圖

(表 7-1) 植物淹水下，比較植物葉片下表皮氣孔開閉(寬長比) [(與該時間點對照組比)]x100%

時間	處理	青江菜		芥藍		萵苣	
		Image J 數值	實驗組/對照組	Image J 數值	實驗組/對照組	Image J 數值	實驗組/對照組
2hr	淹	0.391478	1	0.463005	1	0.237063	1
	對照組	0.384561	0.982332	0.52832	1.141067	0.390373	1.646707
6hr	淹	0.45242	1	0.455512	1	0.387178	1
	對照組	0.245361	0.542331	0.401251	0.880879	0.403476	1.042095
48hr	淹	0.477852	1	0.515724	1	0.325101	1
	對照組						

24hr	淹水	0.246364	0.515564	0.517539	1.00352	0.454071	1.396708
淹	對照組	0.537986	1	0.514659	1	0.28157	1
48hr	淹水	0.309081	0.574515	0.353476	0.686816	0.282688	1.003969

註:實驗重複三次,每種不同植物處理的細胞共找 30 個細胞平均其面積,實驗組與對照組相比,對照組設為 100%。



(圖 7-6) 植物淹水處理下,葉片下表皮氣孔開閉面積比例的變化

1. 芥藍和青江菜淹水後氣孔會關得較小,而萵苣在淹水後氣孔反而張得比對照組開(表 7-1)。
2. 芥藍氣孔淹水後關得較慢,淹水 24hr 後有明顯閉合的現象,淹水 48hr 後約為對照組的 2/3 (圖 7-4)。
3. 青江菜氣孔淹水後關閉速度快,淹水 6hr 後氣孔明顯關閉,約為對照組的 1/2 (圖 7-4)。
4. 萵苣在淹水後氣孔不會關閉,氣孔反而較對照組開。淹水 2 小時後氣孔約為對照組的 1.6 倍(圖 7-4)。

(四) 活動七檢討

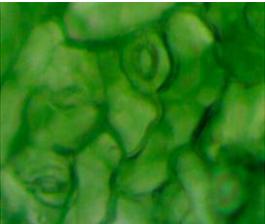
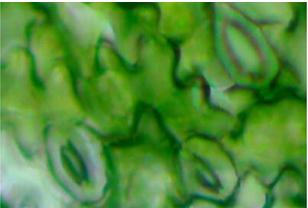
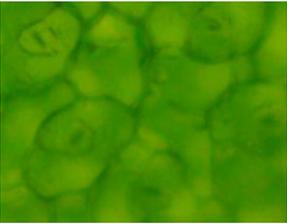
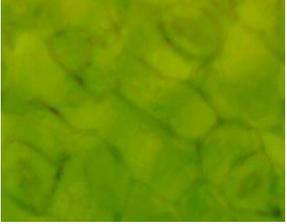
1. 我們發現植物的氣孔在一天的生長會有週期性開閉的變化,所以我們均在固定的時間點觀察氣孔,並在 30 分鐘內完成拍攝記錄。
2. 為排除氣孔隨著時間做週期性開閉變化的因素,因此每個時間點對沒淹水組及淹水組之氣孔做 寬/長 比例之計算後,以淹水組除以對照組,所得的值即為在該時間點淹水組對對照組的倍數關係。
3. 在活動八種我們觀察植物在淹水環境下加入較常見的訊息傳遞分子-鈣離子後的開閉變化。
4. 在我們查詢資料後發現,鈣離子相較於過氧化氫及葡萄糖為較常見的訊息傳遞分子,因此在接下來的實驗中我們僅使用鈣離子作實驗。

活動八：機制探討—鈣離子對植物淹水後氣孔開閉的影響

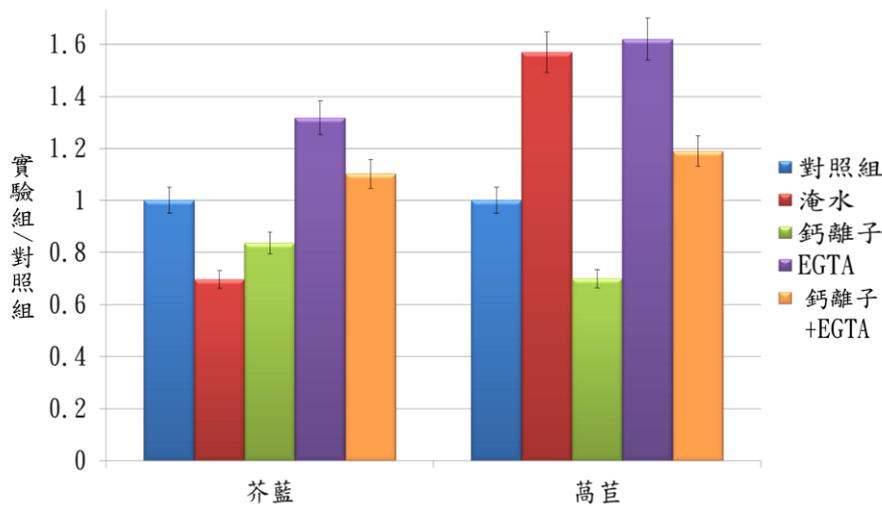
(一) 實驗步驟

1. 植物種植 5 天後，分別以不同方式進行處理：對照組、淹水、淹水+鈣離子、淹水+EGTA、淹水+鈣離子+EGTA。
2. 在處理完第 6 天後觀察植物外部形態。
3. 分別在處理 2 小時及 2 天後在顯微鏡下觀察氣孔。
4. 鈣離子及 EGTA 的配置方法如附錄。

(二) 實驗結果

物種 處理	芥藍	萵苣
對照組		
淹水		
淹水+鈣離子		
淹水+EGTA		
淹水+鈣離子+EGTA		

(圖 8-1) 芥藍及萵苣在淹水、鈣離子及 EGTA 處理 2 天後氣孔開閉情形



(圖 8-2) 芥藍及萵苣在淹水 2 天後鈣離子參與氣孔開閉的影響(實驗組/對照組)

1. 芥藍在淹水後氣孔會關閉，而加入 EGTA 後，氣孔不會關閉，我們推測可能是加入 EGTA 後，鈣離子與 EGTA 結合，無法將訊息傳遞至被淹水的植物中，氣孔因此無法關閉，由實驗數據可知淹水狀態下加入 EGTA，氣孔張開面積小於對照組。
2. 萵苣淹水後氣孔不但沒有關起來反而張得更開，加入鈣離子後氣孔開始關起來，由實驗數據可知，淹水狀態下加入鈣離子氣孔張開長寬比為對照組來的小。
3. 由結果可知，不管是芥藍或萵苣，淹水處理後，鈣離子對於氣孔開閉都扮演重要角色。
4. 在外部型態上，觀察加入 EGTA 溶液的植株，我們發現其外部型態葉片白化，且組織軟化。在芥藍中可以觀察到，淹水的植株葉片大多已開始軟爛，而加入鈣離子的淹水植株則保持葉片的翠綠及型態的完整性(圖 8-1)。

活動八檢討:在上述實驗中我們觀察了植物氣孔的開閉變化，在接下來的活動中我們要觀察植物在不同光照下的莖長變化。

活動九：不同亮度的光照及淹水狀態下對植物生長高度的測試

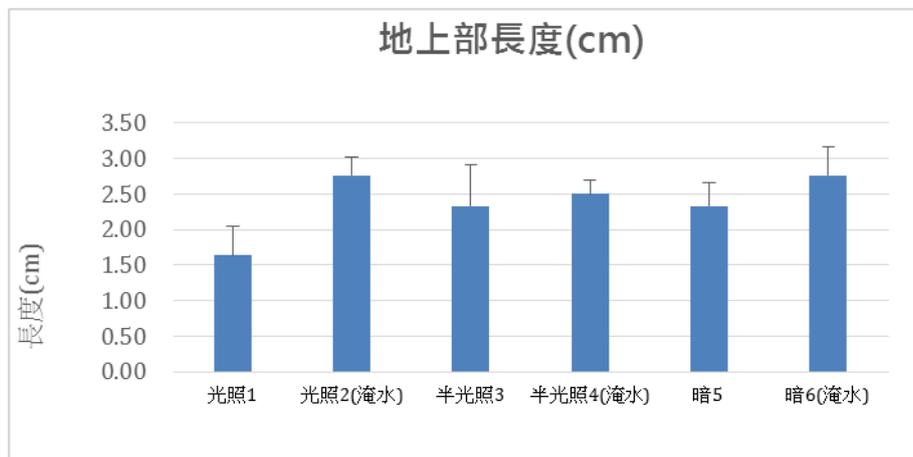
(一) 實驗步驟

1. 挑選大小相近的 3 株，莖節為 0.1cm 的不死鳥(*Kalanchoe hybrida* Desf.)來進行測試。
2. 進行普通光照、普通光照+淹水、半照光、半照光+淹水、黑暗、黑暗+淹水處理，紀錄 2 天後的植株高度。
3. 實驗裝置設計如相片 9-1：由左至右分別為普通光照(不遮光)、半光照(以白紙遮光)和黑暗(以鋁箔遮光)，另外每組都有對照組及淹水組，共有六種處理。



(圖 9-1 實驗裝置設計)

(二) 實驗結果



(圖 9-2) 不同亮度的光照及淹水狀態下對植物生長高度的影響

1. 實驗結果發現，不論在光照、半光照或黑暗中，不死鳥遭遇淹水，都會長得比未淹水的情況還要長。

(三) 活動九檢討

1. 在這個活動中，我們看到淹水會造成在不同光照環境下植物莖抽長的現象。
2. 在一般自然光線下，包含了所有不同顏色的光線，而植物行光合作用時，有特定顏色的光會吸收，如：紅光和藍光，也會反射特定顏色的光，如：綠光，那在紅光和藍光之間，是何種顏色的光會與植物淹水時得生長現象有關呢？為進一步了解不同色光是否影響植物在淹水下莖節抽常現象，我們用不同顏色 LED 燈設計了活動九。

活動十：不同色光對植物淹水下莖節抽長的影響

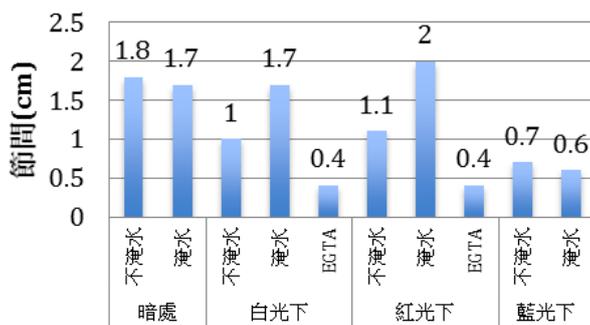
(一) 實驗步驟

1. 我們先挑選莖節為 0.1cm 的不死鳥幼苗，將植物分別種植在自製植物培養裝置以白光、紅光、藍光及黑暗中處理，觀察植物 5 天後的生長狀況。
2. 我們先挑選莖節為 0.1cm 的不死鳥 (*Kalanchoe hybrida* Desf) 幼苗，將植物分別種植在自製植物培養裝置以白光、紅光、藍光及黑暗中處理(圖 10-1)，觀察植物 5 天後的生長狀況。



(圖 10-1)自製植物培養裝置

(二) 實驗結果



(圖 10-2)色光對不死鳥莖節的影響



(圖 10-3)不死鳥莖節抽長

1. 如同活動九之結果，植物在暗處長得較高，推測可能是植物為了向上爭取陽光所導致。且在白光及紅光照射下的組別在淹水後莖延長的現象差異不大。
2. 實驗可知在紅光下淹水時植物莖節明顯抽長，約為不淹水的 2 倍長。而藍光照射下的植株莖延長的現象明顯遭受抑制，約為白光下的 0.7 倍。(圖 10-1)
3. 加入 EGTA 後，植物抽長現象遭受抑制，因此我們推測，鈣離子也參與了淹水後植物莖節抽長現象的訊息傳遞。

伍、研究結果

在一連串的植物淹水實驗後，我們得到以下的結果：

一、種子遭受淹水下的生存策略

- (一) 隨著淹水高度增加，種子的發芽率降低 (圖、表 1-1)。
- (二) 加過氧化氫會促進種子的發芽，也會使葉片中葉綠素濃度增加 (圖 2-1、2-2)。
- (三) 高濃度的葡萄糖會抑制種子的發芽 (圖 3-1)。
- (四) 加入抗氧化劑的實驗可驗證，過氧化氫所產生的氧化壓力可打破種子在糖淹水時所產生發芽抑制的情況 (表 4-1、5-1)。
- (五) 鈣離子參與種子發芽的訊息傳遞，當加入 EGTA 使鈣離子被螯合時，種子的發芽率會下降 (表 6-1)。

二、幼苗遭受淹水下的生存策略

(一) 氣孔開閉變化

1. 十字花科的芥藍及青江菜，在淹水後氣孔會關閉；菊科的萵苣、茼蒿及部分校園植物(見附錄)，在淹水後無氣孔關閉的現象 (圖、表 7-1)。
2. 芥藍及青江菜在淹水後氣孔關閉的速度不同，青江菜明顯關得較芥藍快 (圖 7-2)。
3. 植物在淹水後，鈣離子會參與氣孔關閉的現象，在加入 EGTA 後則會使氣孔無法關閉 (圖 8-3)。

(二) 植株生長情形

1. 淹水逆境下加入鈣離子可使植株葉片保持翠綠及完整性(芥藍)，而加入 EGTA 則會使植株葉片白化且組織軟化(萵苣)(圖 8-1)。
2. 植物在淹水下之莖節較未淹水下更長 (圖 9-1、10-1)。
3. 植物在不照光的情況下抽長的情形較有照光之組別明顯 (圖 10-1)。
4. 植物在淹水下經過紅光照射，其莖節明顯抽長的現象為對照組的 2 倍；而在藍光下則不論是否有淹水均會抑制植物莖節抽長的情形 (圖 10-1、10-2)。

陸、討論

一、 種子在淹水下不發芽是植物生存策略之一，以避免在發芽後即遭受到淹水逆境的影響。為何植物的發芽率在淹水狀態會受到抑制?種子發芽需要水及養分，並透過旺盛的呼吸作用將來自種子或植物體內的澱粉、脂質或蛋白質轉換為能量，以提供細胞分裂生長以及大量合成所需。其中，水來自外界，但呼吸作用則需要氧氣，在淹水狀態下植物發芽率不佳較可能的原因之一或許源於水中氧氣濃度較低，因此也相對地減緩了呼吸作用，也因而導致植物的發芽率降低。

二、 植物淹水後的型態變化

(一) 植物在淹水時水中的二氧化碳及氧氣都比空氣中少很多，植物的光合作用及呼吸作用的速率都會降低。除了生長的壓力之外，植物在淹水狀態下，葉綠體遭到破壞，使植物葉片變黃，光合作用效率也因而下降，且因大量的水分子進入植物細胞內造成滲透壓的改變而導致植物細胞膨脹，造成植物葉片變軟，莖葉潰爛，甚至可能使植物死亡。

(二) 部分植物在淹水狀態下會有莖延長的現象，我們推測可能是植物因應光線與氣體減少的逆境反應，藉此一機制幫助植物伸出水面以度過淹水逆境。

(三) 多數植物在淹水狀態下會有氣孔關閉的現象，我們推測有可能是因為光線、溫度及氣體減少，使植物的光合作用及呼吸作用的活性降低，因此氣孔反應性的縮小以節約能量。

三、 過氧化氫對種子發芽的影響

過氧化氫對種子發芽的影響 ROS(reactive oxygen species)是一種強氧化物質，植物在逆境中其組織內會累積大量 ROS，而這些 ROS 會將植物的細胞膜、蛋白質及核酸氧化而破壞其結構與功能，因而對植物造成負面影響。此外，近年來科學家發現過氧化物在植物體內亦扮演重要的訊息傳遞角色，可調節植物在逆境下的生理反應。

四、 葡萄糖可抑制種子發芽

探討可能的原因為：1.淹水時，種子內葡萄糖的代謝變慢，使得種子內糖類含量高，抑制種子發芽；2.體內葡萄糖作為抑制種子發芽的訊息傳遞因子，因此抑制種子的發芽。實驗結果顯示(表 3-1)，加入葡萄糖水溶液(0.5~2.5%)則會降低植物的發芽率，不僅呈現一劑量相關性，且無論是否淹水與否皆受到抑制。因此，我們推測可能是因為種子發芽不僅需要養分與水分，且需要正確的訊息傳遞喚醒發芽機制，葡萄糖可能參與了抑制此一訊息傳遞的路徑而導致其淹水與否皆有較差之發芽率。然而，此抑制作用在淹水狀

態下更為顯著，因此我們推測在淹水狀態下，植物呼吸作用減緩，所需氧氣更減少，而此一逆境反應之訊息傳導可能更受到葡萄糖分子的作用，因而對植物發芽的抑制更彰顯。

五、 鈣離子在植物遭遇淹水時之發芽所扮演的角色:

動物具有神經及內分泌系統可以調節生理機制，而植物則利用特殊分子作為訊息傳遞媒介以協助調節其生理機制因應環境變化。鈣離子是動植物細胞內常見的訊息傳遞分子，在活動六中我們透過調節植物鈣離子測試其淹水狀態下之反應。如前述，植物遭遇淹水逆境時會降低其發芽率，但瞭解不同作物在淹水時應加入之鈣離子濃度，以幫助作物度過淹水逆境。綜合結果推論，鈣離子在植物遭遇淹水時，作為訊息傳遞媒介以協助調節其生理機制，以因應環境變化。

六、 淹水逆境對植物氣孔的影響:

實驗結果發現，不同植物在遇到淹水逆境下，其氣孔開閉會有不同的情況，大部分物種淹水後氣孔會關閉(例如十字花科)，且關閉速度不一樣，青江菜在淹水2小時即有明顯關閉的情形，而芥藍在短時間內氣孔無明顯變化。而有些物種在長時間淹水下，其氣孔也沒有明顯關閉的現象(例如同屬菊科的萵苣)，因此推測淹水後氣孔是否關閉與植物耐不耐淹可有存在關係，將會在進行實驗證實。

七、 淹水處理下加入鈣離子氣孔的開闔變化:

在活動七的實驗結果，我們發現萵苣在遭遇淹水逆境後氣孔關閉並不明顯，在查詢資料及詢問師長後，我們發現鈣離子是植物的訊息傳遞分子之一，所以在活動八中我們測試了萵苣及芥藍在加入鈣離子後的氣孔開合變化。實驗結果我們發現，加入鈣離子後萵苣的氣孔有些微下降的趨勢。為了確認鈣離子是造成起孔關閉的原因，我們在活動八中做了加入鈣離子螯合劑(EGTA)的反證實驗，實驗結果我們發現，加入EGTA後萵苣的氣孔張的更開，證實了萵苣的氣孔開和可能是受到鈣離子濃度的影響，有可能萵苣細胞累積鈣離子的能力較差，所以要在外界環境中的鈣離子濃度較高時氣孔才會關閉。而加入鈣離子後芥藍的氣孔並未張的更開，因此我們推測鈣離子對萵苣的氣孔開闔較重要，而對芥藍的影響較小。

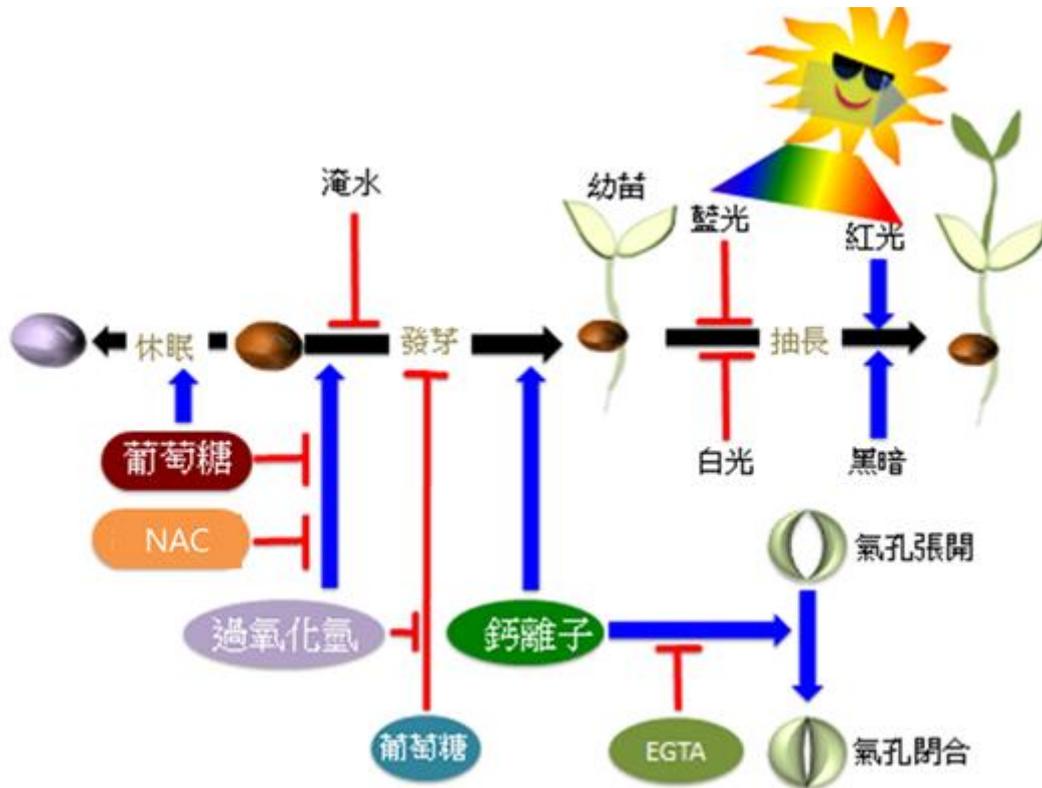
八、 光線在植物遭遇淹水時所扮演的角色:

1. 光線強度對植物生長的影响：光合作用是植物最重要的養分來源，光線則是光合作用的原動力，而植物在照不到光線的情況下，其莖將會延長以爭取更多的光線。

2. 不同色光對植物在淹水下的狀態會有不同影響，活動十的結果顯示，在淹水狀態下照射藍光，會抑制莖長的生長，而紅光則可幫助其生長。

柒、結論

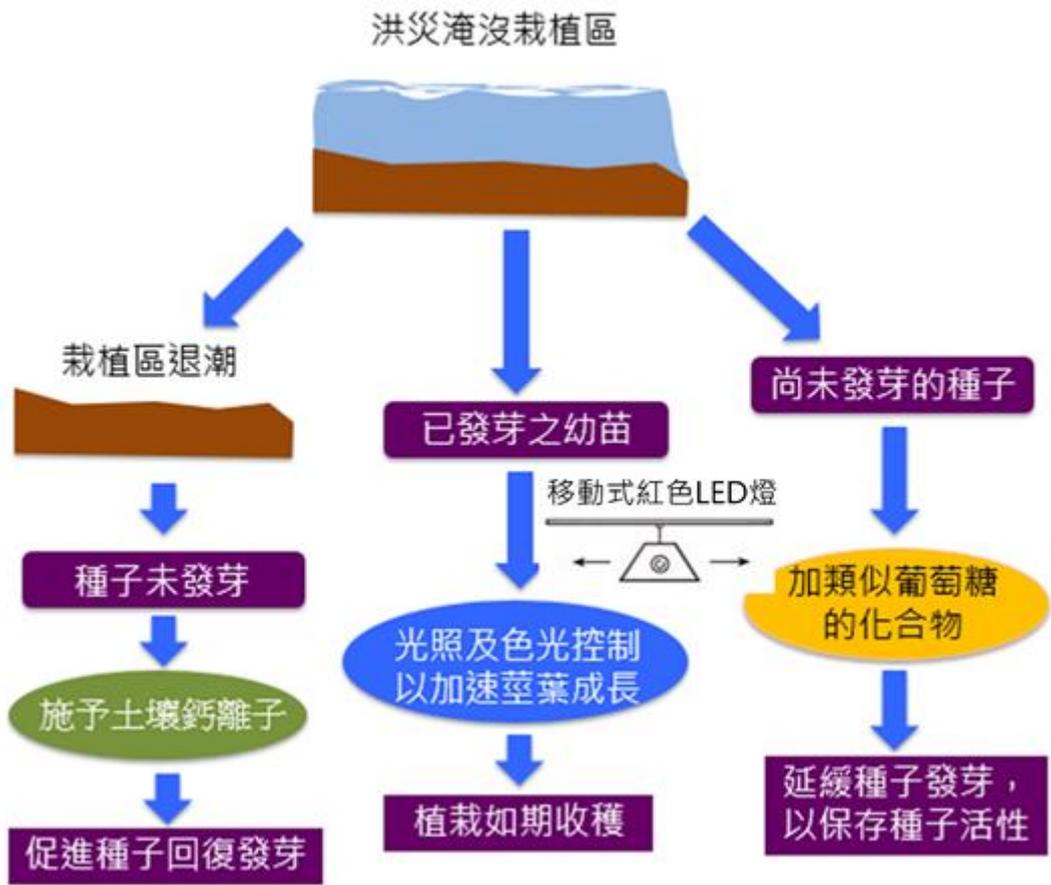
植物在淹水狀態下，可能的生存策略機制概念圖：



1. 植物在經歷水災中會啟動抑制發芽的保護機制。
2. 葡萄糖會抑制種子的發芽。
3. 鈣離子能促進種子的發芽及幫助氣孔關閉。
4. 已發芽的植物幼苗遭受淹水後會徒長。
5. 陽光中的藍光會抑制莖的生長，紅光與黑暗則能使莖抽長。

捌、建議與應用

隨著全球日益嚴重的極端氣候，在台灣大雨成災的情況時有所聞，而農產品的價格更是在大雨後水漲船高。對於提供人類糧食來源的保障，是目前全球各國政府無不積極投入關注的議題。研究植物淹水下的生存策略是一個很大的研究題材，透過探討植物在種子及幼苗階段下淹水所造成的影響，從目前得到的研究成果，我們的建議如下圖。



玖、參考文獻

1. 劉玉山 (2014 年 9 月 12 日) 植物對淹水(Flooding)的反應。取自：
2. 氯化鈣。(2014 年 9 月 18 日) 取自：維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>。
3. EGTA。(2014 年 9 月 18 日) 取自：維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>。
4. 王昭均 (2014 年 9 月 12 日) 植物激素。取自：
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=6782>
5. 潘瑞熾 (2013)。植物生理學(2 版)。台北市：藝軒。

【評語】 030319

1. 本研究探討淹水對植物種子發芽的影響，並就可能的機制進行初期的分析。內容具學術性，作品的表達亦甚清晰、生動，值得嘉許。
2. 本作品的探討項目頗多，以致彼此的連結上較不充分，如能縮小範疇，如僅分析種子發芽部分，並能更深入探討，則對問題的解決將可有更大的助益。