

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030321

逆境求生

—幫助綠豆在“鹽逆境”中生長的實驗與研究

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國二 何盈德 國二 陳亭瑋 國二 廖芳淳	指導老師： 梁炫禧 陳泰嬌
---	-----------------------------

關鍵詞：鹽逆境、滲透壓、離子

摘要

本實驗探討綠豆在鹽逆境的生長，我們設計了一個培養容器，可以穩定地維持鹽分濃度。實驗結果顯示，海水和食鹽水濃度 3.5% 以下均不影響綠豆萌芽，食鹽水濃度 0.1%~0.3% 對綠豆生長影響不大；在 0.4%~0.5% 濃度時綠豆生長明顯下降；而濃度超過 0.5% 以上，綠豆生長得很差，甚至不生長，證實了鹽逆境會抑制綠豆生長。

研究發現在正常培養環境中，添加氧、醣類或肥料可以提高綠豆在自來水中的生長，但無法降低食鹽水所造成的負面影響。經由比較其他離子對於綠豆生長的影響，我們發現除了滲透壓的共同影響之外，造成鹽逆境的關鍵因素可能是鈉離子。於是我們透過在食鹽水中添加鈉離子阻斷劑，以干擾鈉離子進入細胞的機制；或在食鹽水中加入鉀、鈣、鎂離等不同的離子，希望透過離子拮抗的作用來降低高濃度鈉離子對綠豆生長的負面影響，結果發現利用這些方法，可在一定範圍內，改善鹽逆境對綠豆所造成的生長抑制情形。

壹、研究動機

臺灣是一個海洋圍繞的美麗之島，但由於近十多年來，臺灣西岸養殖漁業盛行，長期超抽地下水，造成地層下陷及海水倒灌的威脅，導致土壤鹽化日趨嚴重，據調查現存臺灣鹽漬土的面積，約有 5 萬 3 千多公頃，這些鹽化的土地上，植物無法生長，農業和土地都荒廢了。

而現今，地球暖化日益嚴重、南北極的冰山快速融化，造成海平面持續上升，土壤鹽化的問題持續擴展，不但影響了多種植物和農作物的生長，也造成了糧食生產的短缺，這已經是全世界人類需要共同面對的問題。

因此，我們想要探討植物在不同濃度鹽分環境中的生長情形，希望藉由生長週期較短的綠豆做科學實驗，找出植物在鹽逆境中的生長規律，並希望能進一步找出降低鹽逆境影響的可行方法，以便未來能運用在實際的生活當中。

貳、研究目的

- 一、探討不同濃度的食鹽水對於綠豆生長速率的影響
- 二、探討鹽逆境影響綠豆生長的可能原因
- 三、尋找幫助綠豆在鹽逆境中生長的的方法

參、實驗材料、研究設備與器材

綠豆、衛生紙、食鹽、棉花、鹽度計、電鑽、塑膠盒、塑膠杯、奶酪杯、硝酸鉀、硝酸鈉、氯化鉀、氯化鐵、氯化亞鐵、氯化銅、氯化鉻、氯化鈣、氯化鈉、氯化鎂、鈉離子阻斷劑 (Xylocaine 2%)、水瓶、量杯、量筒、微量電子秤、1ml/10ml 注射針筒、相機、電子計算機、氧氣筒、肥料、糖、蘇打、針、海水、自來水…等

<實驗設計與流程>

認識土壤鹽化對於植物生長的危害

針對綠豆設計實驗模型

選定培養液

設計培養容器

選定觀測指標

一、觀察綠豆在海水與食鹽水中的生長

二、不同濃度食鹽水對於綠豆『萌芽』與『生長』的影響

三、尋找促進綠豆生長的方法

提供氧氣/養分在自來水中有效，在食鹽水中無效

四、探討「鹽逆境」對於綠豆生長抑制的原因

五、尋找促進綠豆在「鹽逆境」中生長的方法

1.各種離子的影響

2.鈉離子阻斷劑

銅、鐵、鉻 離子

鉀、鈣、鎂 離子

無法改善

有效改善綠豆在鹽逆境中生長

六、實驗結果與討論

肆、研究過程與方法

前實驗一

一、觀察綠豆在不同濃度食鹽水中的生長情形/設計培養容器

(一)、在塑膠盒裡各種植 10 顆綠豆在自來水和不同濃度食鹽水的棉花上，並觀察生長情形。(食鹽水濃度：0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%)。

(二)、早晚加少量自來水，維持棉花濕潤。

二、觀察結果：

(一)、綠豆萌芽的速度具有差異，有的長得很快，少數幾顆長得非常慢，甚至有些綠豆沒有萌芽，有較大的個別差異(圖一)。

(二)、隨著鹽分濃度越高，綠豆的生長越差(圖二)。

(三)、綠豆的根部會黏在棉花上，不容易觀察根部的生長情形，嘗試將根部和棉花分開時，很容易使根部斷裂。

(四)、重新加水後，無法確定鹽分濃度。



(圖一)綠豆萌芽速率具有差異，圖為培養 3 日後之結果。



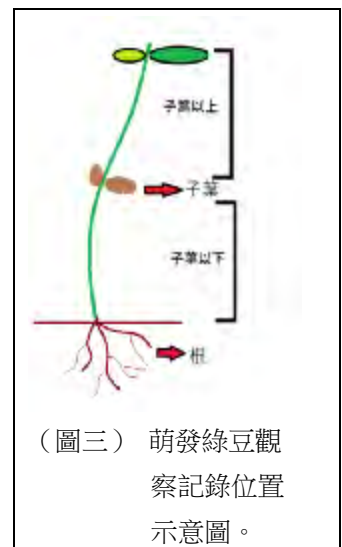
(圖二)食鹽水濃度影響綠豆的生長，由左至右，依序為：自來水、0.2%、0.4%、0.5%食鹽水，生長時間 12 天。

三、解決對策：

(一)、我們將大量的綠豆種植在自來水中，再篩選萌芽約 0.5 公分的綠豆，移植到要做觀察綠豆生長的實驗中，可降低綠豆生長速度差異的影響。

(二)、將發芽後綠豆區分為根部、子葉以下與子葉以上三個部分。區分部位示意圖如(圖三)。

(三)、經過多方嘗試，我們發現使用衛生紙來代替棉花培養綠豆，不但可以保持濕度，觀察根部時只要在水中多涮幾次，就可使衛生紙碎裂，不會黏在根部，易於觀察。



(圖三) 萌發綠豆觀察記錄位置示意圖。

(四)、自行研發實驗容器：將奶酪杯底部鑽孔（圖四），放在同樣口徑的透明塑膠杯（圖五）上，在奶酪杯上鋪衛生紙種植綠豆，塑膠杯裡加各種要實驗的溶液，水位固定在高於衛生紙又不會淹沒綠豆的高度（圖六）。種植綠豆後早晚加水，維持水位，並以刻度為千分之一的精密”鹽度計”（圖七）測試，發現可以維持溶液的鹽分濃度。



(圖四)



(圖五)



(圖六)



(圖七)

前實驗二

一、選擇培養溶液

(一) 觀察自來水與 RO 水對綠豆生長的影響

1. 分別揀選 15 顆約 0.5 公分的綠豆芽到裝有自來水與 RO 水的實驗容器中培養。
2. 早晚定期加水維持固定水位。
3. 定期觀察綠豆生長情形，測量綠豆高度。

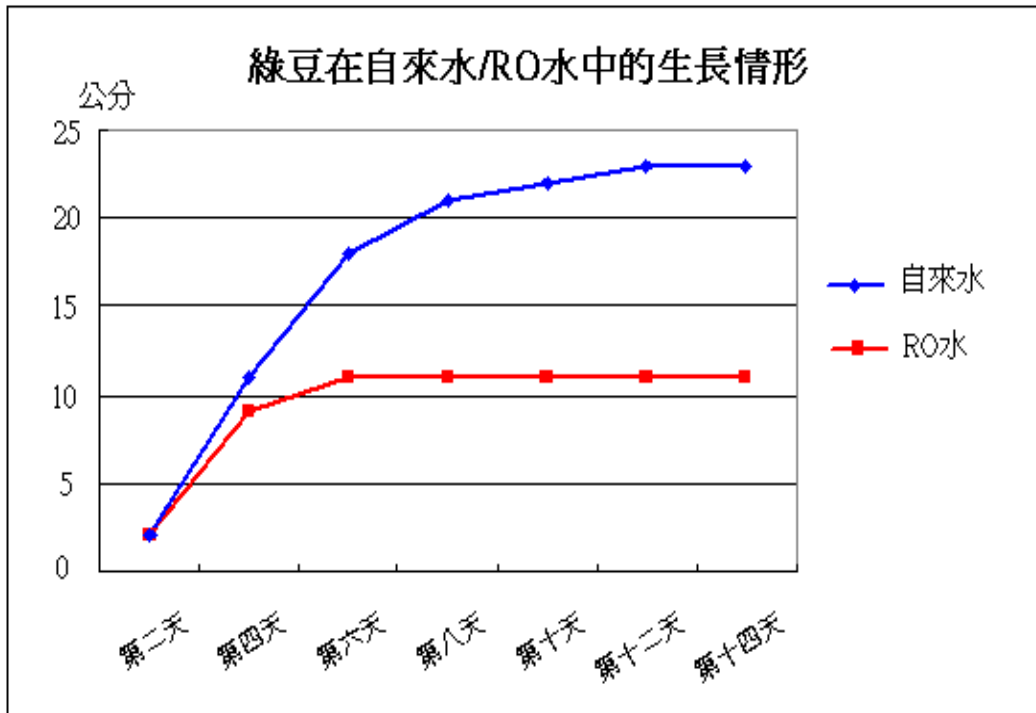
觀察結果：

1. 綠豆在 RO 水中前四天生長良好，萌芽速度與生長速度皆與自來水組相仿，但約第六天後就不再生長，接下來幾天葉子和莖會漸漸枯萎；而自來水組生長良好，長到十四天（約二十公分左右）會因莖部太長且底部衛生紙的支撐力不夠，而往旁邊傾倒造成莖部受傷。相關照片如（表一）

RO 水/自來水（第四天）	RO 水/自來水（第六天）	RO 水/自來水（第十二天）

(表一)

2. 綠豆在 RO 水與自來水中的生長曲線如（圖八）



(圖八)

解決對策：

後續的實驗中，我們選擇“自來水”調配各種培養溶液，並將培養和觀察期訂為兩週左右。

★此實驗詳細數據請參考附件壹~前實驗二

前實驗三

一、選擇實驗觀察記錄指標

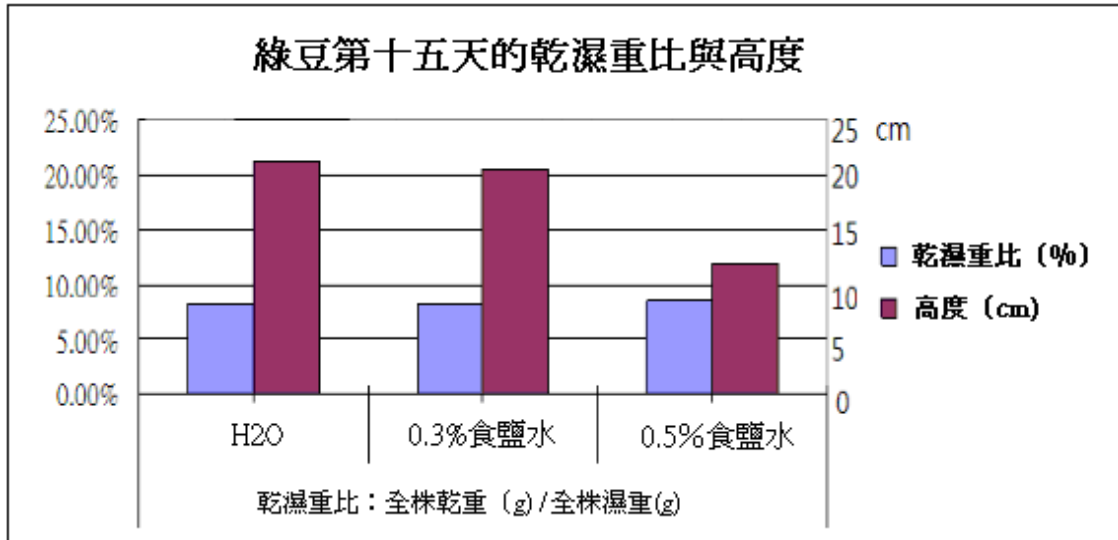
- (一)、以自來水、0.3%食鹽水、0.5%食鹽水各培養 100 顆綠豆。
- (二)、十四天後測量綠豆的高度、濕重（用衛生紙拭乾）。
- (三)、將綠豆芽放在通風處自然風乾十四天後測量其乾重。
- (四)、比較綠豆芽乾濕重量、高度的關係。

二、實驗結果：

- (一)、100 顆綠豆芽在各種溶液中生長第十五天重量、高度如（表二），乾濕重比例與高度柱狀圖如（圖九）。

	濕重 (g)	乾重(g)	乾重/濕重 (%)	平均高度(公分)
H ₂ O	31.388	2.56	8.15598	21.21
0.3%食鹽水	32.885	2.65	8.05838	20.45
0.5%食鹽水	21.36	1.79	8.38014	11.84

(表二)



(圖九) 100 顆綠豆在各種濃度食鹽水中生長十四天後的高度與乾濕重比

★詳細數據請參考附件壹～前實驗三

(二)、自來水、0.3%食鹽水、0.5%食鹽水組的綠豆，其乾重皆為濕重的 8% 左右，不論綠豆生長的高度如何，乾、濕重量的比例都很一致，且長度愈長，重量也愈重，所以直接以乾重量、濕重量或高度，都能很客觀的表現出綠豆的生長情形。

解決對策：

實驗結果顯示，由綠豆的濕重、乾重，或莖的高度差異都能看出綠豆的生長情形，因為乾重量很輕，測量誤差較大，為了減少測量誤差，並簡化實驗結果的紀錄，所以後續的實驗，我們將以較容易觀察、測量的“綠豆的高度”作為綠豆生長情形的指標。

<主實驗過程和方法>

一、比較海水與食鹽水對綠豆生長的影響

(一)、以同鹽度的海水與食鹽水培養綠豆

1. 在海濱取得海水帶回。
2. 以鹽度計測得海水的鹽分濃度為 3%。
3. 將海水稀釋成 0.3%、0.6%、0.9% 的鹽分濃度。
4. 調配濃度為 0.3%、0.6%、0.9% 的食鹽水。
5. 用自來水種植大量的綠豆，待其萌芽約 0.5cm 後，各移植 15 顆到上述濃度的海水與食鹽水中。
6. 以實驗容器培養，早晚定期加水維持水位，十天後測量綠豆高度。

二、不同濃度的食鹽水/氯化鎂溶液對綠豆“萌芽”和“生長”的影響

(一)、綠豆萌芽實驗：

1. 調配重量百分濃度分別為 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0%的食鹽水（共 10 種濃度）。
2. 用十個平底盤鋪上衛生紙，在上述十個濃度的食鹽水中各放置 100 顆綠豆培養，觀察其萌芽情形。

(二)、以不同濃度的食鹽水培養綠豆

1. 調配濃度分別為 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%的食鹽水（共十四種）。
2. 分別揀選 15 顆約 0.5 公分的綠豆芽到 0.1%~1.4%的食鹽水(實驗組)及自來水（對照組）中。
3. 以實驗容器培養，早晚定期加水維持水位。
4. 定期測量綠豆在各種鹽分中子葉以上、子葉以下和整株綠豆的高度，並在第十五天測量重量。
5. 計算高度生長抑制百分比： $(A - B) / A$
< A 為綠豆在對照組(自來水中)高度，B 為綠豆在實驗組（各種濃度食鹽水）中高度 >

(三)、以不同濃度的氯化鎂溶液培養綠豆

1. 調配濃度分別為 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9%、1.1%、1.3%的氯化鎂溶液。
2. 分別揀選 10 顆約 0.5 公分的綠豆芽到各種濃度的氯化鎂溶液(實驗組)及自來水（對照組）中。
3. 以實驗容器培養，早晚定期加水維持水位。
4. 定期測量綠豆在各種濃度的氯化鎂溶液中生長的高度。

三、尋找促進綠豆生長的可能方法

(一)、在自來水中加入各種變因，觀察其對綠豆生長的影響

1. 先用自來水種植大量的綠豆，待萌芽約 0.5 公分後，分別移植 10 顆到不同的實驗容器中，分為實驗組和對照組加以培養，觀察其生長情形。
對照組：培育在自來水中，觀察其生長情形。
實驗組：除自來水之外，分別加入希望促進綠豆生長的刺激因素。
 - (1)、白砂糖 (0.5g)
 - (2)、肥料 (含氮、鉀成分) 約一顆綠豆大
 - (3)、蘇打(0.5g)
 - (4)、氧氣 (200ml/min，每天 30 分鐘)
 - (5)、用針戳莖 (用針戳約 0.3 公分深共 4 次) ~ 曾經看過一篇報導指出，將植物進行小部分的破壞，可以讓植物長得更好。
 - (6)、用針戳種子 (用針戳約 0.3 公分深共 4 次)。
2. 早晚定期加水維持水位，十天後測量綠豆高度。

(二)、觀察各種刺激因素對綠豆在 0.5% 食鹽水中生長的影响

1. 因在之前的實驗中發現綠豆培養在 0.5% 的鹽分濃度時生長明顯變差，所以我們選擇用 0.5% 食鹽水當作實驗組。
2. 重新種一批綠豆，待其萌芽約 0.5cm 後，分別移植 10 顆到不同的實驗容器中，分為實驗組和對照組加以培養，觀察其生長情形。
對照組：培育在 0.5% 食鹽水中，觀察其生長情形。
實驗組：除 0.5% 食鹽水外，分別加入希望促進綠豆生長的刺激因素。
 - (1)、白砂糖 (0.5g)
 - (2)、肥料 (含氮、鉀成分) 約一顆綠豆大
 - (3)、蘇打 (0.5g)
 - (4)、氧氣 (200ml/min, 每天 30 分鐘)
 - (5)、用針戳莖 (用針戳約 0.3 公分深共 4 次)
 - (6)、用針戳種子 (用針戳約 0.3 公分深共 4 次)
3. 早晚定期加水維持水位，十天後測量綠豆高度。

四、探討鹽逆境抑制綠豆生長的可能原因

(一)、不同離子對於綠豆生長的影响：

1. 調配 0.02M、0.04M、0.06M、0.08M、0.1M、0.12M、0.16M 的 NaCl、KNO₃、NaNO₃ 的水溶液。
2. 用自來水種植大量的綠豆，待萌芽至 0.5 公分後，移植至上述各種濃度的 NaCl、KNO₃、NaNO₃ 各 15 顆，以實驗容器培養。
3. 早晚定期加水維持水位，十四天後測量綠豆高度。

五、尋找促進綠豆在鹽逆境中生長的可能方法

(一) 在自來水中培養綠豆，並加入 CaCl₂、MgCl₂、KCl、FeCl₂、FeCl₃、CuCl₂、CrCl₃。

1. 先用自來水種植大量的綠豆，揀選約 0.5 公分的綠豆芽，各移植 10 株到裝有自來水 100ml 的實驗容器中。
2. 調配 0.1M 的 CaCl₂、MgCl₂、KCl、FeCl₂、FeCl₃、CuCl₂、CrCl₃ 溶液，分別加入 5ml、10ml 於上述實驗容器中(實驗組)，另外一組為不添加離子的自來水對照組。
3. 早晚定期加水維持水位，第十五天測量綠豆高度。

(二) 在 0.5% 食鹽水中培養綠豆並加入 CaCl₂、MgCl₂、KCl、FeCl₂、FeCl₃、CuCl₂、CrCl₃。

1. 在 0.5% 食鹽水中加入各種離子對於綠豆生長的影响
 - (1) 先用自來水種植大量的綠豆，揀選約 0.5 公分的綠豆芽，移植 10 株綠豆芽至多盆裝有 0.5% 食鹽水(100ml)的實驗容器中。
 - (2) 調配 0.1M 的 CaCl₂、MgCl₂、KCl、FeCl₂、FeCl₃、CuCl₂、CrCl₃ 的各種溶液。
 - (3) 將每個培養皿分別加入上述各種離子溶液 1ml、5ml、10ml。
 - (4) 早晚定期加水維持水位，十四天後測量綠豆生長高度，觀察其影响，尋找有利於對抗 NaCl 的離子。

(三) 在不同濃度食鹽水中分別加入 0.1M 的 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 各 5 ml 和 10 ml 對綠豆生長的影響

1. 先用自來水種植大量的綠豆，揀選約 0.5 公分的綠豆芽，各移植 10 株到裝有 0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7% 食鹽水(100ml)的實驗容器中，每種濃度備製 2 盒。
2. 調配 0.1M 的 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 溶液，分別加入 5ml、10ml 於上述各種濃度食鹽水的實驗容器中。
3. 早晚定期加水維持水位，十四天後測量綠豆高度。

(四)、各種濃度鹽水中添加鈉離子阻斷劑 (Xylocaine 2%)，對於綠豆生長的影響：

1. 在 0.1%~1.0% 食鹽水 100ml 中，添加鈉離子阻斷劑 0.3ml
 - (1) 種一批綠豆於自來水中，待其萌芽約 0.5cm 後，移植到各加有 0.3ml 鈉離子阻斷劑的 0.1%~1.0% 的食鹽水(100ml)實驗組中。
 - (2) 以實驗容器培養，早晚定期加水維持水位，第十五天測量綠豆高度。
2. 在 0.5% 和 1.0% 的食鹽水 100ml 中加入不同劑量的鈉離子阻斷劑
 - (1) 種一批綠豆於自來水中，待其萌芽約 0.5cm 後，移植到分別加了 0.1ml、0.3ml、0.5ml、1ml 鈉離子阻斷劑的 0.5% 和 1.0% 的食鹽水中。
 - (2) 以實驗容器培養，早晚定期加水維持水位，第十五天測量綠豆高度。

伍、 研究結果

一、比較海水與食鹽水對綠豆生長的影響

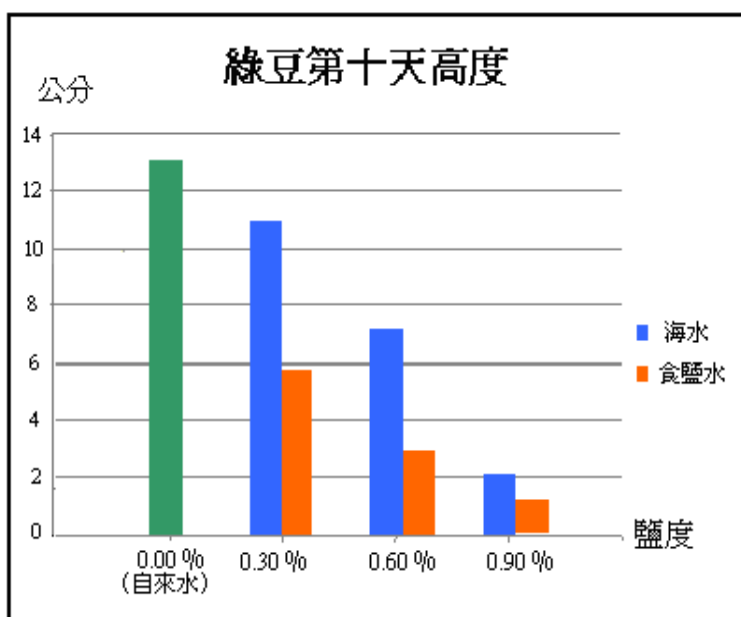
(一) 以同鹽度的海水與食鹽水培養綠豆

實驗結果：

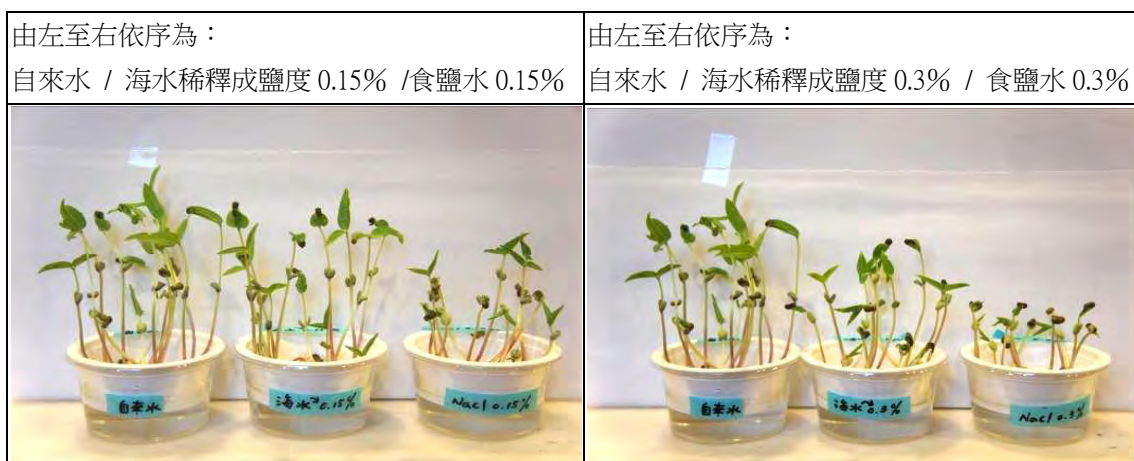
1. 綠豆在海水與食鹽水中的生長趨勢一致，濃度愈高，綠豆生長受抑制的情形愈明顯。
2. 在相同鹽分濃度時，綠豆在海水中的生長情形比在食鹽水中的好。
3. 實驗組綠豆在海水與食鹽水中十天後的平均高度與照片，如(表三)、(圖十)、(圖十一)、(圖十二)。

單位：公分	
自來水	13.0
海水稀釋成鹽度 0.3%	10.8
食鹽水 0.3%	5.7
海水稀釋成鹽度 0.6%	7.2
食鹽水 0.6%	2.9
海水稀釋成鹽度 0.9%	2
食鹽水 0.9%	1.1

(表三)



(圖十)



(圖十一)

(圖十二)

★ 有關實驗一詳細實驗數據請見附件壹～一

二、不同濃度的食鹽水/氯化鎂溶液對綠豆“萌芽”和“生長”的影響

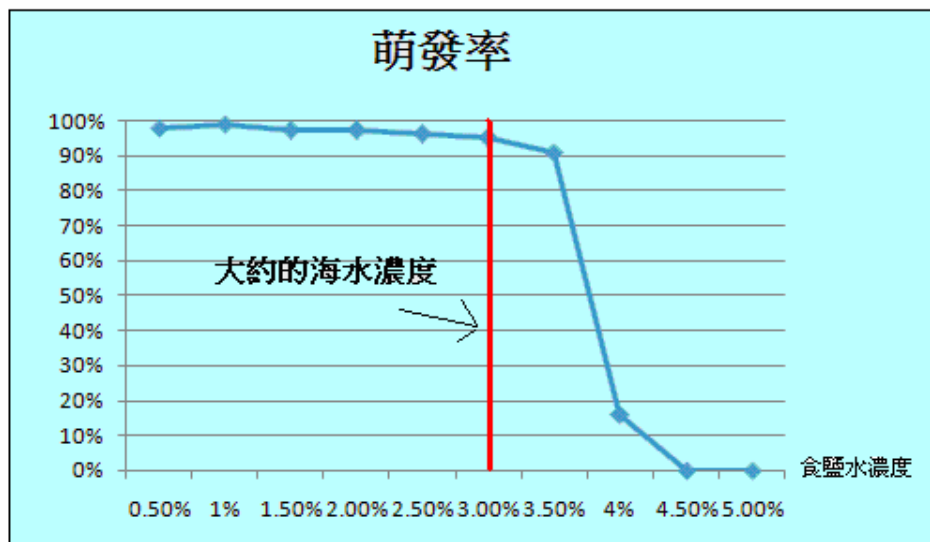
(一)、綠豆萌芽實驗

實驗結果：

1. 綠豆在各種食鹽水濃度的萌發率統計表如(表四)，萌發率曲線圖如(圖十三)。

鹽水濃度	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
萌發率	98%	99%	97%	97%	96%	95%	91%	16%	0%	0%

(表四)



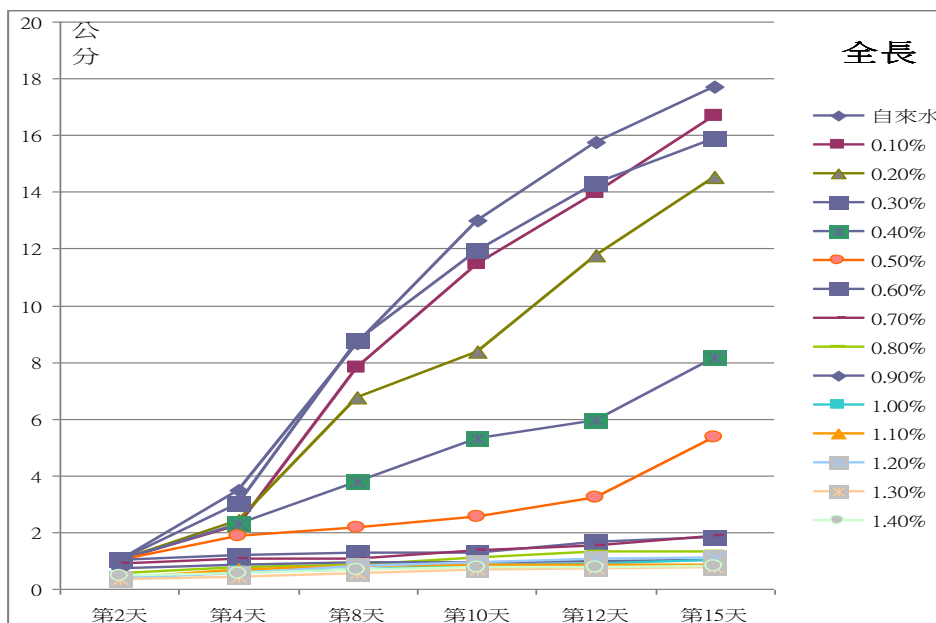
(圖十三)

2. 在 0.5%~3.0% 的食鹽水中，綠豆的萌發率皆接近 100%，而 3.5% 的食鹽水也高於 90%，表示在海水的鹽分濃度（約 3%）並不會影響綠豆的萌芽。
3. 雖然在 0.5%~3.5% 的食鹽水中，大多數的綠豆皆可萌芽，但萌芽的快慢，有個別差異。
4. 在 4.0% 的食鹽水濃度時，綠豆的萌芽率明顯降低，甚至在 4.5% 食鹽水濃度時，綠豆完全沒有萌芽。

(二)、以不同濃度的食鹽水培養綠豆

實驗結果：

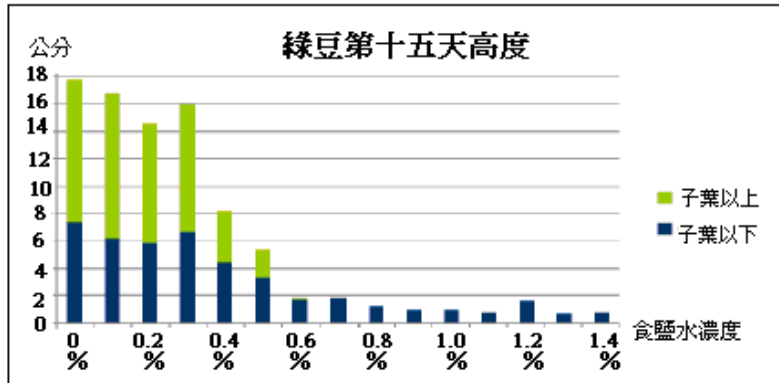
1. 經由實驗結果可以發現，濃度 0.1%~0.3% 的食鹽水對綠豆的生長影響不大；在 0.4%、0.5% 的食鹽水綠豆的生長明顯受到抑制；在 0.5% 以上的食鹽水綠豆幾乎無法生長。綠豆生長曲線如（圖十四）



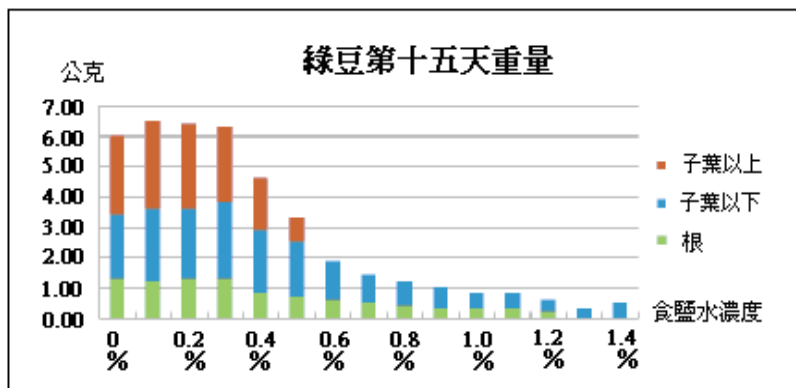
(圖十四) 綠豆在各種濃度食鹽水中整株平均生長曲線圖

2. 實驗結果發現，綠豆在 0.4% 食鹽水開始生長明顯受到抑制；綠豆在 0.5% 以上的食鹽水中，子葉以上無法生長。

綠豆在各種濃度鹽水中第十五天子葉以上、子葉以下之生長高度圖如（圖十五）、重量圖如（圖十六）。



(圖十五) 綠豆在各種食鹽水濃度中第十五天之生長高度圖

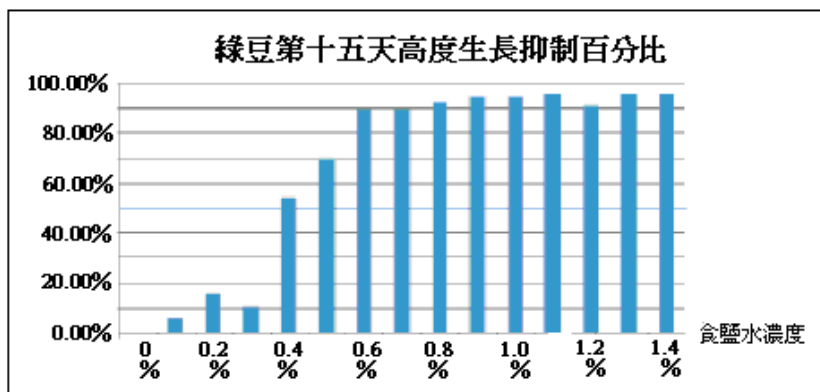


(圖十六) 綠豆在各種食鹽水濃度中第十五天之重量圖

3. 實驗結果顯示，0.4% 食鹽水對綠豆的生長抑制約 54%；0.5% 的食鹽水對綠豆的生長抑制約 70%；0.5% 以上的食鹽水對綠豆的生長抑制超過 90% 以上，如（圖十七）。

高度生長抑制百分比： $(A - B) / A$

< A：綠豆在對照組（自來水）中高度，B：綠豆在實驗組（食鹽水）中高度 >



(圖十七) 綠豆在各種濃度食鹽水中第十五天之高度生長抑制百分比

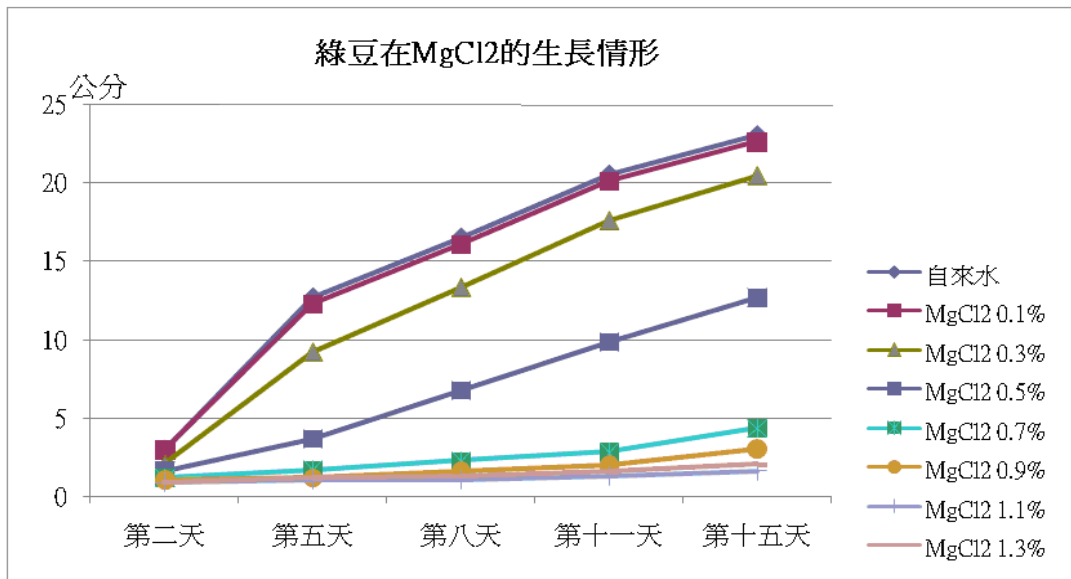
實驗小結：

- (1) 綠豆的生長不管是子葉以上、子葉以下都會受到食鹽水抑制，而且濃度越高，生長的抑制越明顯，無論是綠豆的生長高度與生長重量皆得到一致性的結果。
- (2) 食鹽水濃度一旦大於 0.5%時綠豆幾乎無法生長，所以 0.5%的食鹽水（約 0.1M）是影響綠豆生長的關鍵濃度。

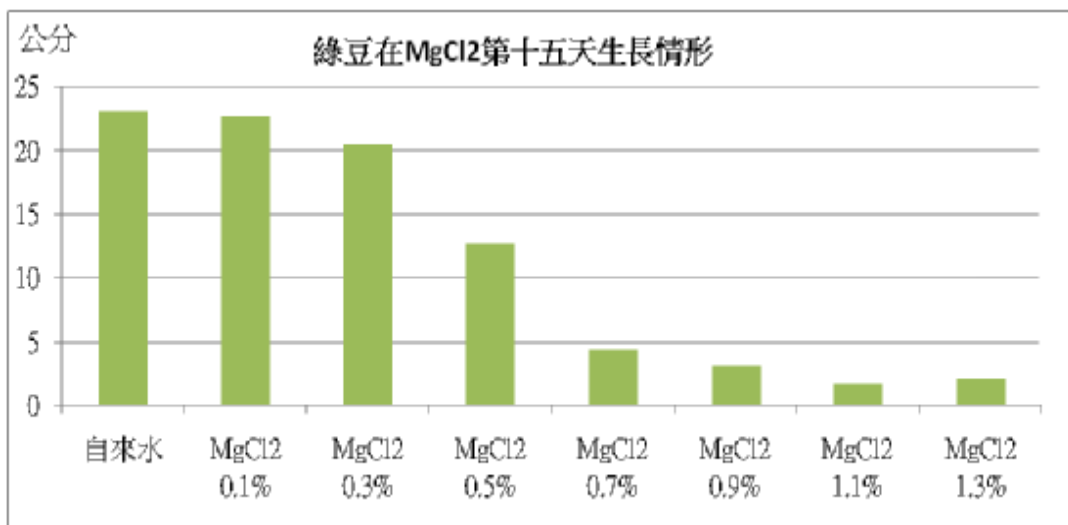
(三)、以不同濃度的氯化鎂溶液培養綠豆

實驗結果：

1. 濃度 0.1%、0.3%的 MgCl₂ 溶液對綠豆的生長影響不大；在 0.5%的 MgCl₂ 溶液中綠豆的生長明顯受到抑制；在 0.5%以上的 MgCl₂ 溶液中綠豆幾乎無法生長。綠豆在各種濃度的 MgCl₂ 溶液之生長曲線圖如(圖十八)，第十五天高度柱狀圖如(圖十九)。



(圖十八) 綠豆在各種濃度氯化鎂溶液之生長曲線圖



(圖十九) 綠豆在各種濃度的氯化鎂溶液第十五天之高度圖

實驗小結：

綠豆在 $MgCl_2$ 溶液的生長曲線和在食鹽水中極為相似，生長趨勢也相仿，而海水的組成，最主要的離子成分是 $NaCl$ ，而 $MgCl_2$ 大約只佔八分之一。所以，我們後續的實驗，將針對綠豆在食鹽水的生長作為探討主題。

★ 有關實驗二之詳細實驗數據請見附件壹～二

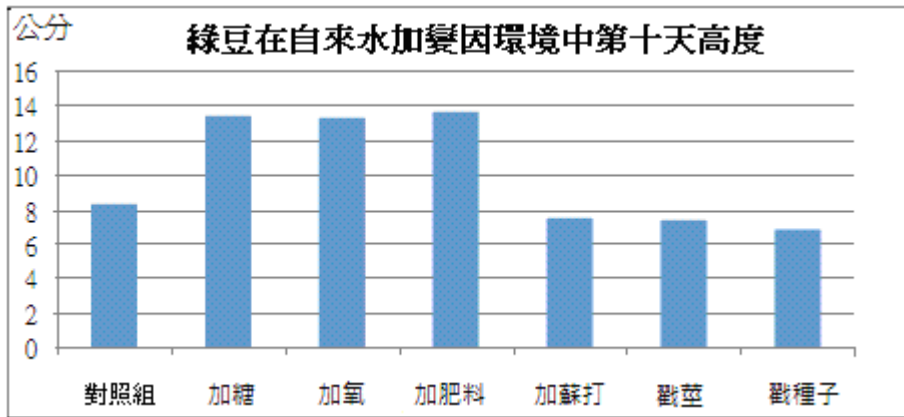
三、尋找促進綠豆生長的可能方法

(一)、在自來水中加入各種變因，觀察其對綠豆生長的影響

實驗結果：

1. 我們在自來水環境培養綠豆，發現“加糖、加肥料和給予氧氣”可以改善綠豆的生長情形，其餘刺激或處理的效果都不明顯。

綠豆在自來水加各種變因環境中第十天平均高度圖如（圖二十）。



(圖二十) 綠豆在自來水加各種變因環境中第十天平均高度圖

2. 實驗綠豆組在自來水加各種變因環境中十天後照片如（表五）。

用氧氣瓶對綠豆加氧氣	自來水+氧氣 > 自來水	自來水+糖 > 自來水
自來水+肥料 > 自來水	自來水 / 自來水+戳種子	自來水+戳莖 / 自來水

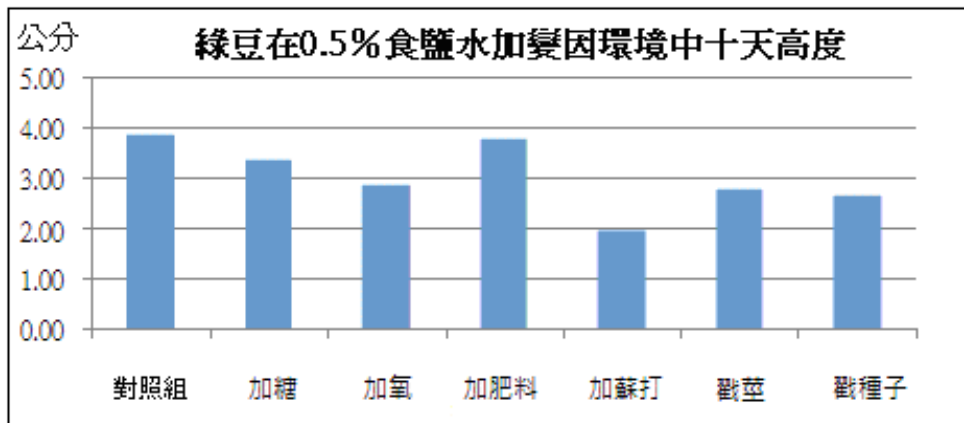
(表五) 在自來水中加各種變因之綠豆生長第十天照片

(二)、觀察各種刺激因素對綠豆生長在 0.5% 的食鹽水中的影響

實驗結果：

1. 原本在自來水組中可以增加綠豆生長速度的加糖、加肥料和加氧氣方法，我們用在 0.5% 食鹽水組中對綠豆的生長都沒有幫助。

實驗綠豆組在 0.5% 食鹽水加各種變因十天後平均生長高度圖如（圖二十一）。



(圖二十一)

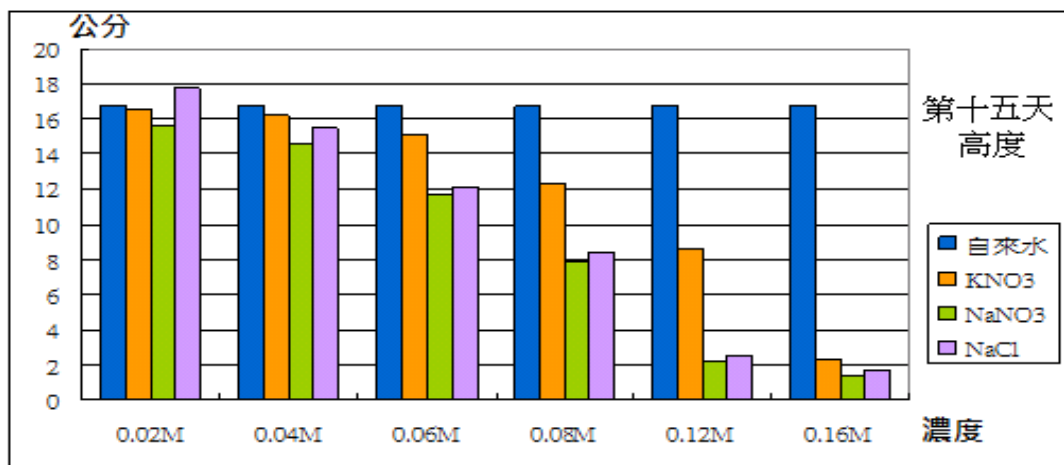
★ 有關實驗三詳細數據請見附件壹～三

四、探討鹽逆境抑制綠豆生長的可能原因

(一)、不同離子對於綠豆生長的影響：

實驗結果：

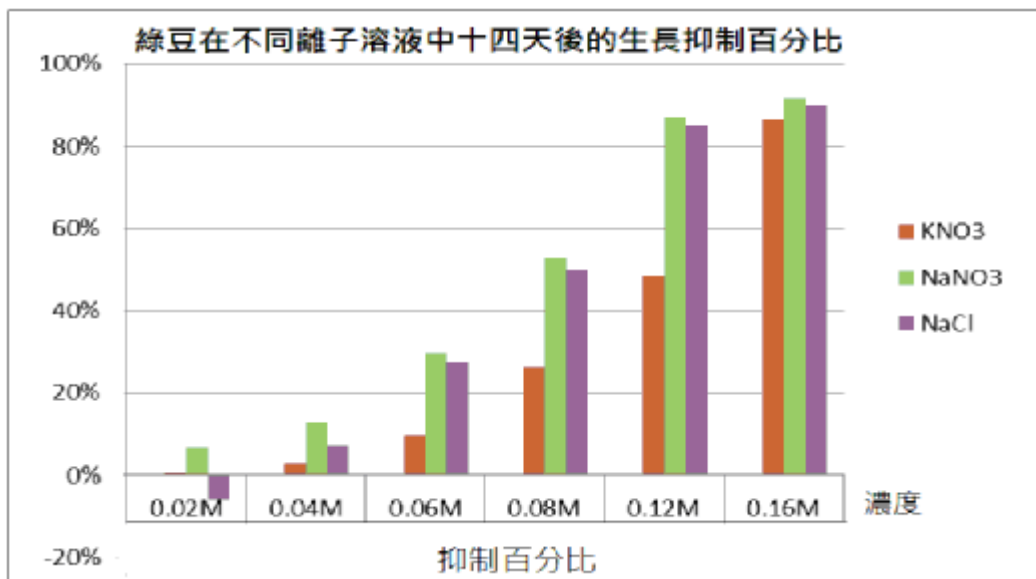
1. 比較綠豆在 NaCl 、 KNO_3 、 NaNO_3 中的生長情形，發現各種離子溶液在體積莫耳濃度為 $0.02\text{M} \sim 0.04\text{M}$ 時，對綠豆的生長速率影響不明顯；當濃度超過 0.06M 以上，隨著濃度增加，綠豆生長抑制情形更為顯著，可以看出“滲透壓”是抑制綠豆生長的一大因素。
2. 當濃度超過 0.06M 以上，綠豆的生長情形在 KNO_3 優於 NaCl 和 NaNO_3 溶液。綠豆在自來水及各種濃度的 KNO_3 、 NaNO_3 、 NaCl 中第 15 天平均高度圖如(圖二十二)、高度生長的抑制百分比如(圖二十三)。



(圖二十二)

高度生長抑制百分比： $(A-B) / A$

< A：綠豆在對照組（自來水中）高度, B：綠豆在實驗組（離子溶液中）高度 >



(圖二十三)

- NaNO₃ 相較於 KNO₃ 對綠豆生長高度抑制百分比在 0.06M 時為：29.9% > 9.6%，0.08M 時為 52.7% > 26.3%，0.12M 時為：86.83% > 48.50%，所以鈉離子相較於鉀離子對綠豆的成長抑制顯著，因此推測 NaCl 溶液對綠豆的生長抑制的另一關鍵可能是“鈉離子”。
- 綠豆在自來水與 0.08M 的 KNO₃、NaNO₃、NaCl 中培養第十五天的照片如(表六)。

自來水	KNO ₃ (0.08M)	NaNO ₃ (0.08M)	NaCl (0.08M)
平均 16.7 公分	平均 12.3 公分	平均 7.9 公分	平均 8.4 公分

(表六)

★此實驗詳細數據請見附件壹～四

五、尋找促進綠豆在鹽逆境中生長的可能方法

(一) 在自來水中培養綠豆並加入 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl 、 FeCl_2 、 FeCl_3 、 CuCl_2 、 CrCl_3 。
實驗結果：

- 綠豆在自來水加入重金屬離子 (0.1M 的 FeCl_2 、 FeCl_3 、 CuCl_2 、 CrCl_3 5ml、10ml) 的環境中生長，可觀察到綠豆的生長受到嚴重抑制，甚至出現斑點、乾枯的現象如 (圖二十四)。



(圖二十四)

- 在自來水中添加 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl ，對於綠豆生長的影響不明顯。
綠豆在自來水加入 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl 的環境中生長第十五天的生長平均高度與生長促進百分比如 (表七)、(圖二十五)。

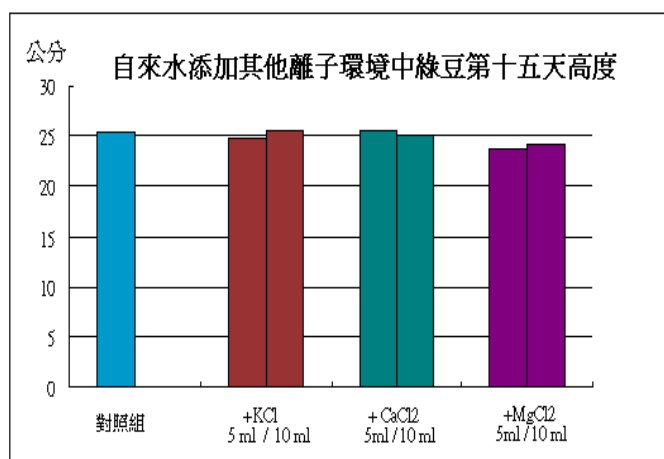
高度生長促進百分比： $(B-A) / A$

< A：綠豆在對照組 (自來水中) 高度，

B：綠豆在實驗組 (自來水加入各種離子) 中高度 >

第十五天	長度(公分)	生長促進百分比
H_2O (對照組)	25.39	
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M KCl } 5\text{c.c.}$	24.78	-2.40%
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M KCl } 10\text{c.c.}$	25.55	0.63%
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M CaCl}_2 5\text{c.c.}$	25.44	0.20%
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M CaCl}_2 10\text{c.c.}$	25.05	-1.34%
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M MgCl}_2 5\text{c.c.}$	23.81	-6.22%
$\text{H}_2\text{O} + 0.1\text{M MgCl}_2 10\text{c.c.}$	24.22	-4.61%

(表七)



(圖二十五)







★詳細數據請參考附件壹~五、(一)。

(二) 在 0.5% 食鹽水中培養綠豆並加入 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl 、 FeCl_2 、 FeCl_3 、 CuCl_2 、 CrCl_3 。

實驗結果：

1. 在 0.5%食鹽水中加入各種離子對於綠豆生長的影響

(1) 在 0.5%食鹽水 (100ml) 加入重金屬離子 (0.1M FeCl₂、FeCl₃、CuCl₂、CrCl₃— 1ml、5ml、10ml)，對綠豆生長明顯抑制，第十五天照片如(表八)。

0.5%食鹽水+ FeCl ₃ (100 : 1)	0.5%食鹽水+ FeCl ₃ (100 : 5)	0.5%食鹽水+ FeCl ₃ (100 : 10)
		
0.5%食鹽水+ FeCl ₂ (100 : 5)	0.5%食鹽水+ CuCl ₂ (100 : 5)	0.5%食鹽水+ CrCl ₃ (100 : 5)
		

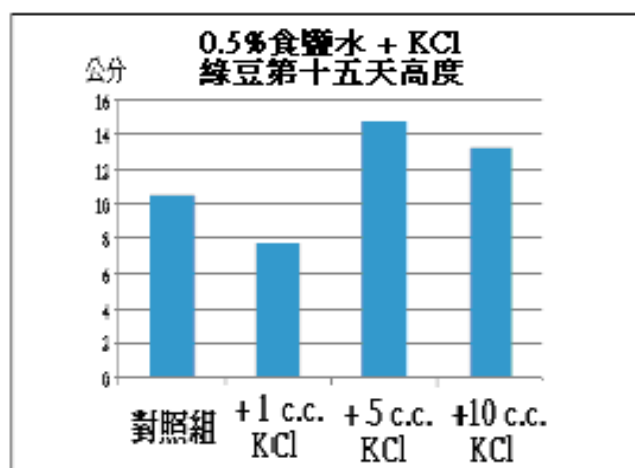
(表八)

(2) 加入 KCl、CaCl₂、MgCl₂對綠豆在鹽水中生長有明顯的改善，其第十五天平均高度、高度生長促進百分比如(表九)及(圖二十六)~(圖二十八)。

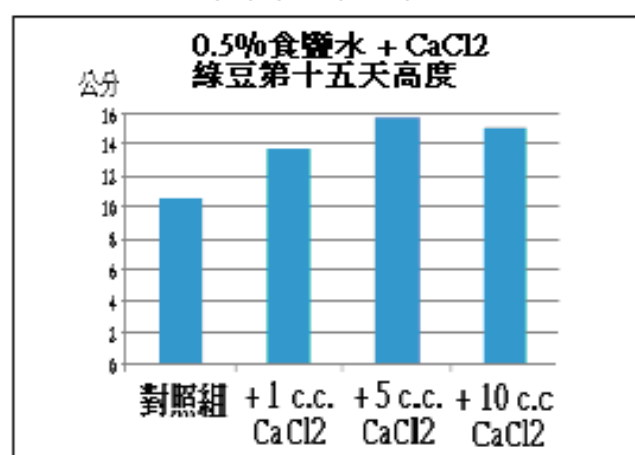
< 高度生長促進百分比： $(B-A)/A$ ，A：綠豆在對照組(0.5%食鹽水)中高度，B：綠豆在實驗組(0.5%食鹽水加入各種離子)中高度>

	平均高度	高度生長促進百分比
0.5%食鹽水(100ml)—對照組	10.55	
+ 1c.c. KCl (0.1M)	7.78	-26.26%
+ 5c.c. KCl (0.1M)	14.72	39.53%
+ 10c.c. KCl (0.1M)	13.23	25.40%
0.5%食鹽水(100ml)—對照組	10.55	
+ 1 c.c. CaCl ₂ (0.1M)	13.78	30.62%
+ 5 c.c. CaCl ₂ (0.1M)	15.68	48.63%
+ 10 c.c. CaCl ₂ (0.1M)	15.10	43.13%
0.5%食鹽水(100ml)—對照組	10.55	
+ 1 c.c. MgCl ₂ (0.1M)	12.79	21.23%
+ 5 c.c. MgCl ₂ (0.1M)	14.42	36.68%
+ 10 c.c. MgCl ₂ (0.1M)	14.88	41.04%

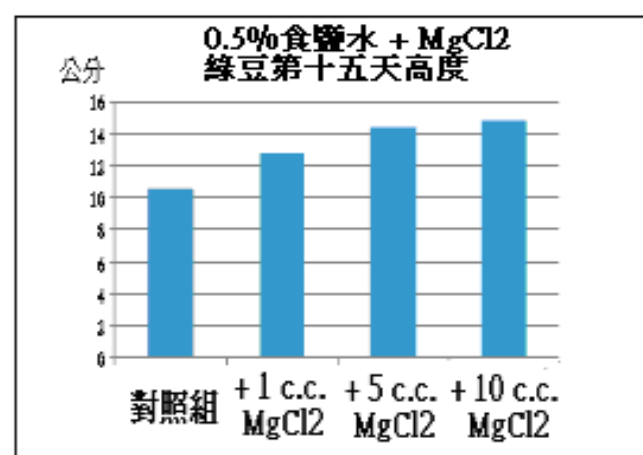
(表九)



(圖二十六)



(圖二十七)



(圖二十八)

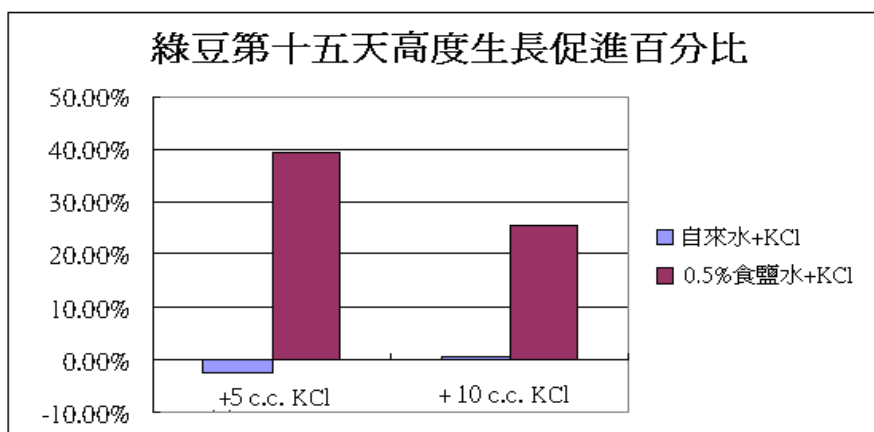
實驗小結：

1. 添加 KCl 以 5ml/100ml 的比例，改善綠豆在 0.5% 食鹽水中的生長效果最佳，但 1ml/100ml 的比例生長狀況變差。
2. 添加 CaCl₂ 以加入 5ml/100ml 的比例，改善綠豆在 0.5% 食鹽水中的生長效果最佳。
3. 添加 MgCl₂ 的量愈多，改善綠豆在 0.5% 食鹽水中生長的情形愈好。

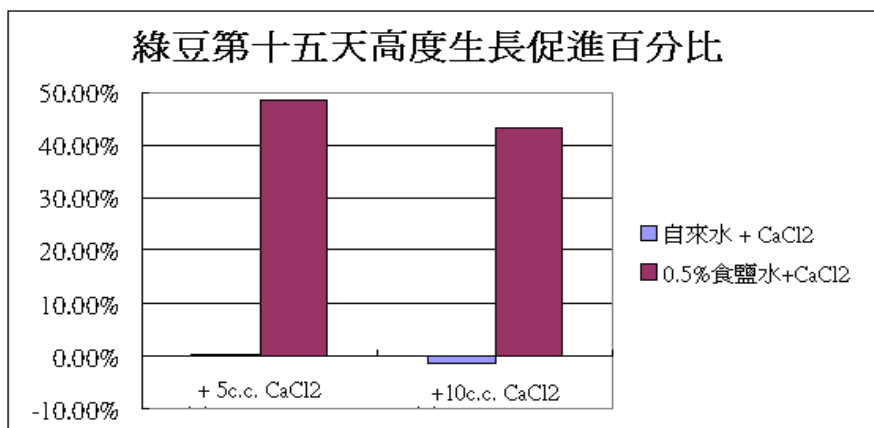
★詳細數據請參考附件壹～五、(二)

(3) 綠豆在自來水與 0.5%食鹽水中添加 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 的高度生長促進百分比如 (圖二十九) ~ (圖三十一)

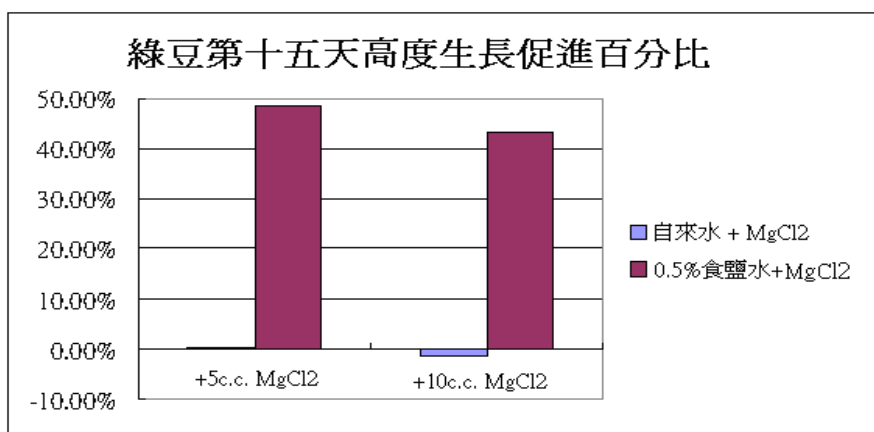
< 高度生長促進百分比： $(B-A) / A$ ， A：綠豆在對照組（自來水或 0.5%食鹽水）中高度， B：綠豆在實驗組（自來水或 0.5%食鹽水加各種離子）中高度 >



(圖二十九)



(圖三十)



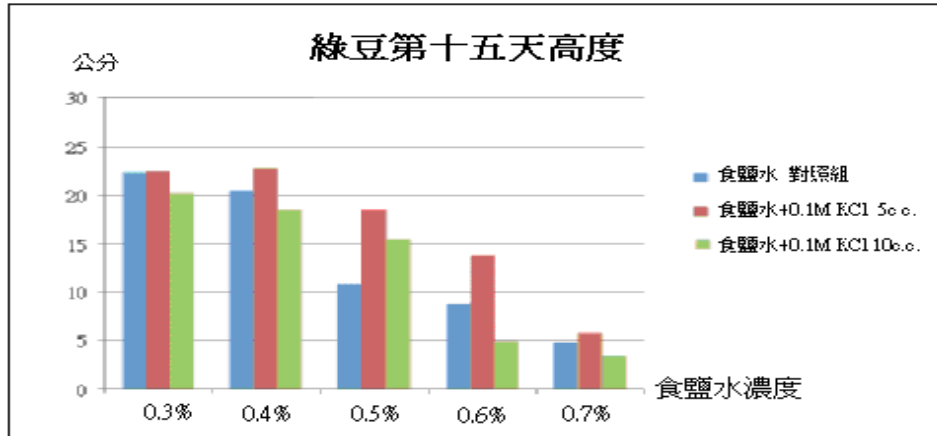
(圖三十一)

小結：

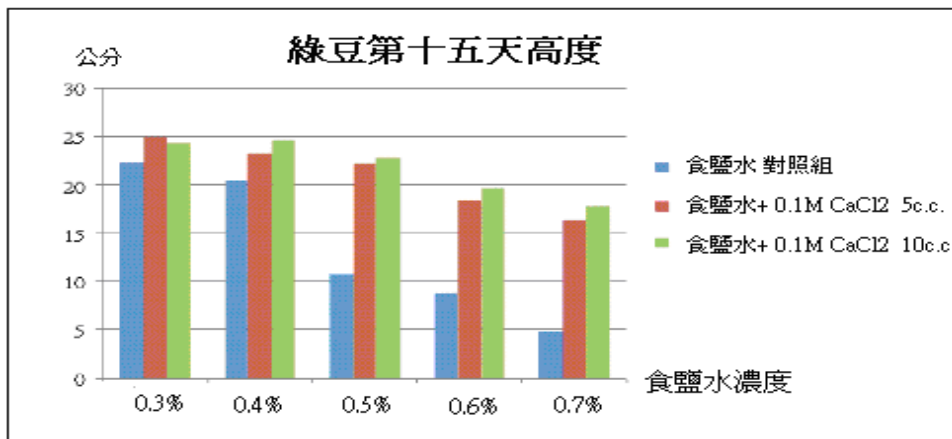
1. 自來水與食鹽水中加入重金屬離子，對於綠豆生長有嚴重的抑制作用。
2. 從生長促進百分比的比較圖中可看出，添加少量 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 於自來水中對綠豆生長沒有幫助；但添加在 0.5%食鹽水中，對綠豆的生長有顯著的促進效果。

(三)、在不同濃度的食鹽水中加入 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 對於綠豆生長的影響
實驗結果：

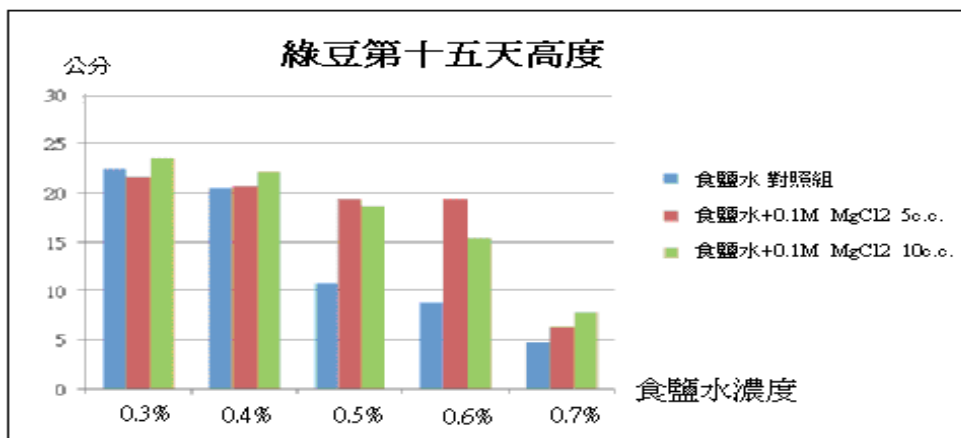
1. 分別添加 5ml、10ml 0.1M 的 KCl、CaCl₂、MgCl₂ 在 0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7% 的食鹽水中，的生長高度如下：



(圖三十二) 各種濃度食鹽水加入 KCl 第十五天之綠豆生長高度





(圖三十三)各種濃度食鹽水加入 CaCl₂ 第十五天之綠豆生長高度



(圖三十四) 各種濃度食鹽水加入 MgCl₂ 第十五天之綠豆生長高度

實驗結果：

- (1) 綠豆在 0.5% 以上食鹽水濃度環境中，生長受到明顯抑制。
 - (2) 加入 KCl、CaCl₂、MgCl₂ (5ml/10ml) 時，發現在 0.5%、0.6% 的鹽水環境，綠豆的生長獲得明顯促進 (促進百分比 70%~124%)，照片請參考 (表十左圖)。
 - (3) 當 NaCl 濃度達到 0.7% 時，加入 CaCl₂ 仍可以顯著改善綠豆的生長 (促進百分比超過 200%)，而加入 MgCl₂、KCl 的效果不明顯，照片請參考 (表十右圖)。
- < 高度生長促進百分比：(B-A) / A ， A：(對照組) B：(實驗組) >

0.6% 食鹽水 / +MgCl ₂ / +CaCl ₂ / +KCl	0.7% 食鹽水 / +MgCl ₂ / +CaCl ₂ / +KCl
	
在 0.6% 食鹽水添加 MgCl ₂ 、CaCl ₂ 、KCl 皆可明顯改善綠豆生長	在 0.7% 食鹽水只有添加 CaCl ₂ 可明顯改善綠豆生長

(表十)

★此實驗詳細數據請參考附件壹~五、(三)、1

小結：添加鈣、鎂、鉀離子幫助綠豆在鹽逆境中生長的實驗效果顯著，其中添加鈣離子的實驗，抗鹽分濃度最廣、效果最好，重複多次實驗，皆得出一致性的結果。

★ 重複實驗的詳細數據請參考附件壹~五、(三)、2

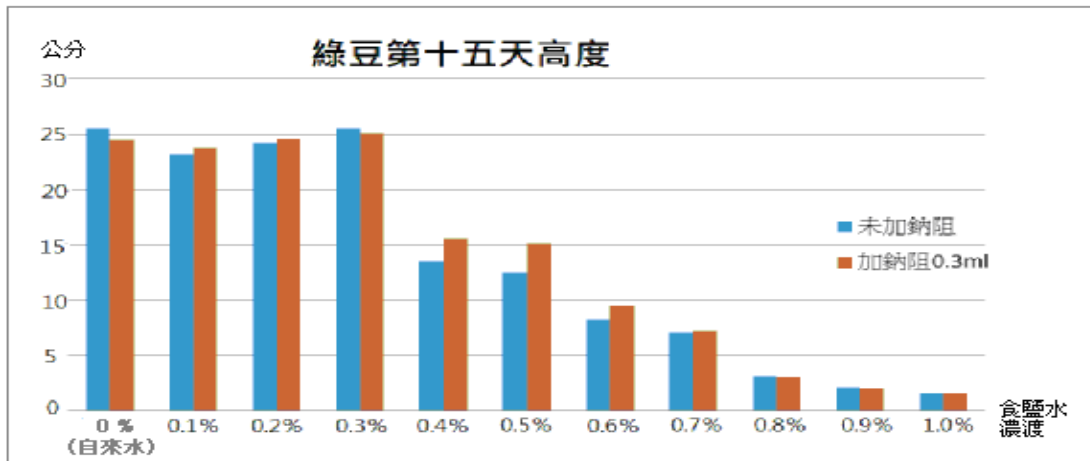
(四)、各種濃度食鹽水中添加鈉離子阻斷劑，對於綠豆生長的影響：

1. 在 0.1%~1.0% 的食鹽水 100ml 中，添加鈉離子阻斷劑 0.3ml

實驗結果：

- (1) 在 0.1%~1.0% 的食鹽水 100ml 中，添加鈉離子阻斷劑 0.3ml 後，發現只有在 0.4%~0.6% 的區間獲得明顯改善；濃度在 0.3% 以下，因為“鹽逆境”的影響不明顯，所以添加鈉離子阻斷劑的作用不佳；而在濃度超過 0.7% 以上的食鹽水中，可能鹽的濃度已經過高，所以添加鈉離子阻斷劑對於綠豆的生長並無明顯改善。

(2) 各種濃度鹽水 (100ml) 加入鈉離子阻斷劑 0.3ml 的實驗組與對照組平均生長高度圖如(圖三十五)。

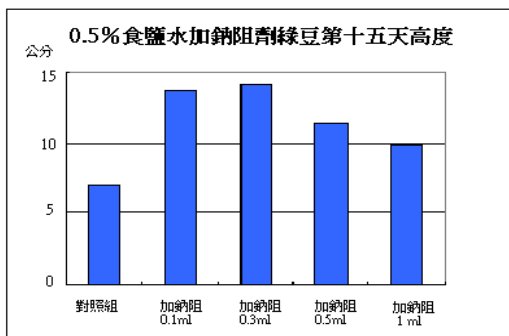


(圖三十五)

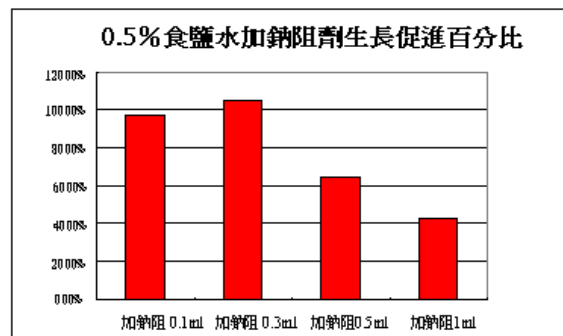
★此實驗詳細數據請參考附件壹~五、(四)、1

2. 在 0.5% 和 1.0% 食鹽水 100ml 中加入不同劑量的鈉離子阻斷劑
實驗結果：

(1) 綠豆在 0.5% 食鹽水中加入 0.1、0.3、0.5、1 (ml) 鈉離子阻斷劑，結果如下圖
<高度生長促進百分比： $(B-A)/A$ ，A：綠豆在對照組 (食鹽水) 的高度
B：綠豆在實驗組 (食鹽水加鈉離子阻斷劑) 的高度 >

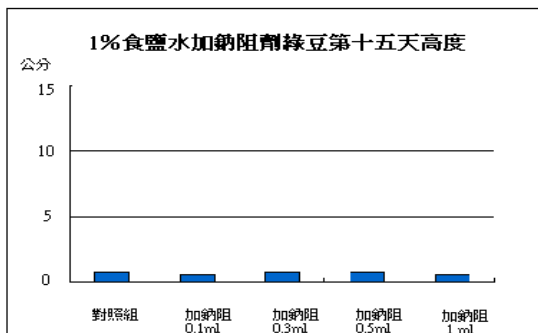


(圖三十六)

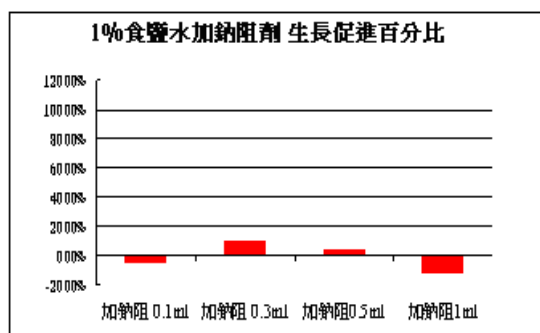


(圖三十七)

(2) 綠豆在 1.0% 食鹽水中加入鈉離子阻斷劑 0.1、0.3、0.5、1 (ml), 結果如下圖





(圖三十八)



(圖三十九)

(3) 0.5%食鹽水與 1%食鹽水加鈉阻劑第十五天之生長情形照片，如（表十一）

0.5%食鹽水/ 0.5%食鹽水+鈉阻 0.1ml	1.0%食鹽水 / 1.0%食鹽水+ 鈉阻 0.1ml
	
0.5%食鹽水中添加鈉阻劑 可以顯著改善綠豆生長	1%食鹽水中添加鈉阻劑 無法改善綠豆生長

（表十一）

小結：

1. 綠豆在 0.5%食鹽水環境中加入 0.1ml、0.3ml、0.5ml、1ml 鈉離子阻斷劑，生長情形皆獲得明顯改善。
2. 綠豆在 1.0%食鹽水環境中加入 0.1ml、0.3ml、0.5ml、1ml 鈉離子阻斷劑，皆無法改善綠豆的生長情形。
3. 添加鈉離子阻斷劑幫助綠豆在鹽逆境中生長的實驗，我們針對 0.5%與 1.0%的食鹽水濃度至少重複了三次以上，得出了一致性的結果，確認鈉離子阻斷劑可以改善綠豆在關鍵濃度食鹽水（0.5%）生長效果最為顯著，其變異量為（21%-105%）。

★此實驗詳細數據請參考附件壹～五、(四)、2&3

陸、討論

- 一、本實驗目的在探討土壤鹽化對植物生長的影響。因此，我們在前實驗中先嘗試以綠豆為探討對象，初步看到綠豆在食鹽水中生長會受到抑制，濃度稍高一些，綠豆的生長嚴重遲緩、葉片皺縮、莖短小、根部生長異常，濃度更高則綠豆完全無法生長，顯示綠豆是適合的研究對象。（圖二）
- 二、我們為了要更精準的研究綠豆在各種濃度食鹽水中的生長情形，且如何在培養綠豆的過程中維持培養液的鹽分濃度、不受水分蒸發和植物吸收的影響而傷透腦筋。因此，我們自製了培養綠豆的實驗容器，也嘗試自製浮標，希望利用浮力觀察浮標的刻度判斷溶液的鹽分濃度，但由於溶液濃度太低且濃度差距太小、沒有辦法精確測量。最後，我們終於找到精密的鹽度計，可以精確的測出濃度千分之一的差距，也藉此發現了定期在我們自製的實驗容器裡加自來水，維持培養液的水位，就可以維持穩定的鹽分濃度，這代表了綠豆所吸收的離子數量應該非常的少，所以不致影響溶液濃度（圖四）～(圖七)。

- 三、在前實驗中，我們分別使用 RO 水和自來水種植綠豆，發現綠豆在 RO 水中前四天生長良好，萌芽速度與生長速度皆與自來水組相仿，但約第六天後就不再生長，接下來幾天葉子和莖會漸漸枯萎；而自來水組生長良好（表一）。這可能是因為 RO 水缺少了綠豆生長必須的礦物質之故，所以我們後續實驗選定自來水為培養液。
- 四、在前實驗中，我們分別測量了 100 顆綠豆在自來水、0.3% 食鹽水和 0.5% 食鹽水中生長十五天的乾重、濕重和莖的生長高度，結果顯示，乾重量、濕重量或長度，都能很客觀的表現出綠豆的生長情形（表二），而我們最後決定以生長高度作為綠豆生長的“觀察指標”，既簡單、又明確。此外我們發覺這三組的綠豆，雖然生長高度有明顯的差異，但其乾/濕重比例一致，皆為 8% 左右（圖九），這說明了綠豆在鹽水中生長遲緩現象，並不是單純由於“滲透壓太高”或是“脫水”造成的，而是還有其他值得探討的因素。
- 五、在綠豆萌芽實驗顯示，從 0.5%~3% 的食鹽水中，綠豆的萌發率皆接近 100%，而 3.5% 的食鹽水也高於 90%，表示在海水的鹽分濃度（約 3%）並不會影響綠豆的萌芽（圖十三），我們也嘗試用海水做綠豆萌芽實驗，發現綠豆確實可在海水中萌芽。所以在後續實驗中，我們僅針對綠豆在海水和食鹽水中的“生長”情形進行探討，而不再進行萌芽的相關實驗。
- 六、我們以食鹽水來對比海水，並對海水中成分第二高的 $MgCl_2$ 溶液進行綠豆生長實驗。結果發現綠豆在海水、食鹽水、 $MgCl_2$ 溶液的生長情形具有一致性，都是濃度越高，對綠豆的生長抑制越明顯，這說明了滲透壓是影響綠豆生長的一個重要因素（圖十）、（圖十五）、（圖十九）。但因為取得新鮮海水便利性不足，而海水中 $NaCl$ 含量是 $MgCl_2$ 的七倍，所以為了實驗之順利進行，本研究主要以食鹽配製的食鹽水做為綠豆抗鹽分生長實驗的溶液。
- 七、在綠豆生長實驗中，低濃度的鹽水對綠豆的生長影響不大，但當鹽水濃度超過 0.4% 時，綠豆的根、莖生長皆開始受到明顯的抑制，而且濃度越高，生長的抑制越明顯（圖十四）。所以我們找到重量百分濃度 0.5% 的食鹽水，作為抗鹽分實驗的關鍵濃度。
- 八、實驗發現在自來水培養環境中加糖、加肥料和給予氧氣都可以提高綠豆的生長速率（圖二十），但這些方法對於在 0.5% 食鹽水中培養的綠豆沒有幫助（圖二十一），這說明了僅靠改善綠豆培養的營養因子並無法抵抗“鹽逆境”對於綠豆生長的影響。
- 九、我們在比較相同鹽度的海水和食鹽水實驗中，發現綠豆在海水中生長較食鹽水好（圖十）、（圖十一）、（圖十二）。這可能是因為海水是混合物，混雜較多的離子，因此讓我們想到可以探討各種離子溶液對綠豆生長的影響。為了排除不同滲透壓的干擾，所以相關實驗改以相同的體積莫耳濃度為比較標準。

- 十、在不同的離子溶液實驗中，當溶液濃度超過 0.06M 以上時，綠豆的生長情形： $\text{KNO}_3 > \text{NaCl} > \text{NaNO}_3$ ，這說明在相同滲透壓作用下，不同的離子種類對於綠豆生長的影響確實不同。分析發現，氯離子對綠豆的生長干擾小於硝酸根離子；鉀離子對綠豆的生長干擾小於鈉離子（圖二十二），所以推論鹽逆境的主角可能是鈉離子。
- 十一、我們查閱相關資料，知道任何植物如果長久生長在某一單一無機鹽溶液中，其根部細胞的細胞膜的通透性容易受到毒害，最後導致死亡，這種溶液只含有一種金屬離子而對於植物引起毒害作用的現象，成為“單鹽毒害”。我們的實驗中，綠豆在超過 0.5% 食鹽水的關鍵濃度以上無法生長，這便是 NaCl 造成的“單鹽毒害”（參考資料十三）。而根據我們收集的資料，我們知道在能引起毒害作用的溶液中加入另一種礦質離子，植物將減弱對於原有金屬離子的吸收，其對植物的毒害作用即能減弱或消失，這種不同離子間、能互相消除毒害的現象成為“離子拮抗”作用（參考資料十一）。
- 十二、為了減少“單鹽毒害”的效應，我們嘗試在食鹽水中加入其他的離子，希望能改善鹽逆境所造成的影響。我們在 0.1M 食鹽水中，加入少量重金屬離子（ FeCl_2 、 FeCl_3 、 CuCl_2 、 CrCl_3 ），結果發現對綠豆的生長更為抑制，甚至綠豆還出現斑點、乾枯的現象，說明並非所有的離子都有改善鹽逆境的作用。而這些鐵、銅、鉻等重金屬離子，不利於綠豆的生長，這也說明了重金屬污染會對於植物和環境造成危害（表八）。
- 十三、我們的另一實驗發現在自來水中加入少量 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl ，對綠豆的生長沒有明顯影響（圖二十五）；但在 0.5% 和的 0.6% 食鹽水環境中加入少量的 CaCl_2 、 MgCl_2 、 KCl ，綠豆生長可獲得明顯改善；甚至當 NaCl 濃度高達時 0.7%，加入 CaCl_2 仍然可以顯著改善綠豆的生長，甚至高度生長促進百分比超過 200% 以上（圖三十二）、（圖三十三）、（圖三十四）。實驗結果說明了，鈣、鎂、鉀離子可能會和鈉離子產生“拮抗作用”，減少了鈉離子對於植物細胞的干擾，因此改善了綠豆的生長，這其中以鈣離子的拮抗效果最佳。
- 十四、除了利用其他離子的拮抗作用來減少“鹽逆境”對於綠豆生長的抑制，我們也嘗試以鈉離子阻斷劑(2% Xylocaine)作為研究工具。Xylocaine 為現代醫學常用的抗心律不整藥品，它的作用機理是可以阻斷鈉離子經由離子通道進入心臟或神經細胞內，達到治療心律不整和止痛的效果。我們嚐試在各種濃度的食鹽水中添加鈉離子阻斷劑，想要試試看在動物細胞作用的鈉離子阻斷劑，對於綠豆在食鹽水中的生長有無影響。結果顯示鈉離子阻斷劑可以幫助綠豆在食鹽水環境中生長，也同時從旁佐證了，阻斷鈉離子進入細胞可以降低 NaCl 的“單鹽毒害”。
- 十五、實驗結果發現食鹽水濃度在 0.4%~0.6% 間，添加鈉離子阻斷劑可以使綠豆生長獲得明顯改善，這說明了 2% Xylocaine 在植物細胞也可以發揮作用，可以適當的減少鈉離子進入細胞中的數量，進而改善綠豆在食鹽水中的生長情形。但對 0.7% 以上食鹽水則效果不顯著，說明鈉離子阻斷劑仍有一定的適用範圍（圖三十五）、（圖三十七）、（圖三十九）。

柒、結論

- 一、我們以生長週期較短的綠豆為研究對象，設計一系列對抗“鹽逆境”的研究實驗，成功的說明了海水和食鹽水對於植物造成的鹽害影響。
- 二、為方便實驗的進行，我們設計了一個專用的培養容器，有易於操作、方便觀察，並可以穩定地維持培養液的鹽分濃度的特性。
- 三、實驗結果發現，海水和食鹽水濃度 3.5% 以下均不影響綠豆萌芽，濃度 0.1%~0.3% 的食鹽水，對綠豆的生長影響不大，但從 0.4% 的食鹽水濃度開始，綠豆的生長明顯受到干擾，在 0.5% 以上的食鹽水濃度中，綠豆的生長受到很大的影響。“鹽逆境”對於綠豆生長的抑制是全面性的，同時對於根、莖、葉都有不同程度的負面影響。
- 四、在自來水培養環境中加糖、加肥料和給予氧氣都可以改善綠豆的生長速率，但這些處理對於綠豆培養在鹽水環境中沒有幫助，可見糖、肥料、氧氣都沒有辦法幫助綠豆抵抗鹽逆境。
- 五、無論是海水或食鹽水，濃度愈高，對綠豆的生長愈不利，這說明了鹽逆境的作用可能和滲透壓有關。但在相同鹽分濃度時，綠豆在海水中的生長情形比食鹽水中的生長情形更好，這可能是因為海水中還有其他離子的影響。
- 六、在相同濃度的 KNO_3 和 NaNO_3 環境中，綠豆在 KNO_3 中的生長情形優於 NaNO_3 ，顯見不同離子在鹽逆境中可能扮演不同的角色，而鈉離子可能是導致鹽逆境的一個重要因素。
- 七、不同的金屬離子對食鹽水中綠豆的生長具有不同的影響，如重金屬離子不但無法幫助綠豆在鹽逆境生長，反而有毒害的作用，而鈣、鎂、鉀離子則能明顯降低鹽逆境的影響。
- 八、在明顯抑制綠豆生長的 0.5% 食鹽水關鍵濃度，我們尋找到兩個能有效地降低鹽逆境的方法。即添加“鈉離子阻斷劑”以減少鈉離子進入細胞的數量；與添加鉀、鈣、鎂離子，利用“離子拮抗作用”降低鈉離子之干擾作用。這二種方法都可以有效改善綠豆在食鹽水中的生長情形。
- 九、鉀、鈣、鎂離子的拮抗作用，適應濃度範圍較大，效果也更為明顯，其中尤其以鈣離子促進綠豆生長效果最佳，可以考慮做為未來改善鹽逆境的一個主要發展方向。
- 十、實驗發現作用在動物細胞的“鈉離子阻斷劑”，可以改善綠豆在鹽逆境的生長，這說明了減少鈉離子進入細胞中，可以減低食鹽水的“單鹽毒害”，也說明了“鈉離子阻斷劑”對於植物細胞一樣有用，可擴展“鈉離子阻斷劑”在生活中的應用範圍。

捌、未來展望

此次的實驗，從去年度的 11 月開始，我們每個星期聚在一起四次，一起細心的培養、觀察、測量綠豆及統計數據和討論，前後大約種植了上千株的綠豆。在本實驗中，我們最後終於找到用添加鉀、鈣、鎂離子和鈉離子阻斷劑的方法都可以改善綠豆在鹽分環境中的生長情形。我們期待將來可以進一步深入探討“鹽逆境”抑制植物生長的作用機制，同時找出不同濃度食鹽水添加各種離子的最佳比例，以及不同食鹽水濃度中，鈉離子阻斷劑的最佳使用量，期待能建立植物的抗鹽逆境模型，並將這模型應用在其他種類的植物上，以解決現今台灣越來越嚴重的土壤鹽化問題。

玖、參考資料

- 一、朱慶廉、鍾誨文、張愛琴（1994）。植物生理學實驗。120-124頁。淑馨出版社。
- 二、謝清祥、黃國書(2003)。鹽分逆境對草坪之影響。台灣花卉園藝月刊（第188期）。
- 三、葉昕祐、韋煙灶（2008）。雲林縣口湖地區土壤鹽化現象的研究。地理研究,48,1-24。
- 四、范貴珠、陳儀真（2003）。土壤鹽度對苦檻藍扦插苗生長、水分狀態。臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告，17(3), 160~161。
- 五、張文亮（1994）。雜草蒸散作用促進地下毛管水上生導致休耕土壤鹽化之探討。台灣水利 42, 56-62。
- 六、王林權/邵明安（2005）。高等植物對鈉離子的吸收、運輸和累積。乾旱地區農業研究第 23 卷第 5 期。
<http://wenku.baidu.com/view/d4255cdbad51f01dc281f143.html>
- 七、鈉離子（Na）或鹽度（Salinity）對水草的影響。香港水族網。2011。
<http://www.hkfishbook.com/blog/articles/1138/NaSalinity>
- 八、海水的成分/奇摩知識。
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005012901434>

- 九、鈉元素對植物生長有什麼作用？中國農林網。2011-04-30。
<http://www.nlwang.com/wenda/3103.html>
- 十、周映孜（2002）。鹽逆境下高等植物鉀鈉離子平衡及相關基因表現之分析。台灣博碩士論文知識加值系統。
<http://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gswweb.cgi?o=dnclcdr&s=id=%22090NCHU0366006%22.&searchmode=basic>
- 十一、離子拮抗作用/百度百科。
<http://baike.baidu.com/view/3872625.htm>
- 十二、鹽鹼植物/百度百科。
<http://baike.baidu.com/view/1751796.htm>
- 十三、單鹽毒害/百度百科。
<http://baike.baidu.com/view/345227.htm>
- 十四、植物生理學實驗。實驗八 植物對離子選擇性吸收及離子的拮抗作用。
<http://openinfo.npust.edu.tw/agriculture/npus12/II/agr12exp8.pdf>
- 十五、沈沛均。日本利用嗜鹽菌淡化鹽害稻田。日本產經新聞。2012.02.16。
<http://tw.myblog.yahoo.com/crazy0800469/article?mid=956>
- 十六、氯化鈣/維基百科。
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%AF%E5%8C%96%E9%88%A3>
- 十七、氯化鎂/維基百科。
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%AF%E5%8C%96%E9%95%81>
- 十八、氯化鉀/維基百科。
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%AF%E5%8C%96%E9%92%BE>

【評語】 030321

優點：

1. 實驗變因控制良好，實驗設計詳實。
2. 作品說明書敘述條理分明文筆順暢。

缺點：

1. 綠豆在自然界環境與鹽分相關性較小，建議可探討海濱植物對鹽分的耐受性。
2. 可探討乾重量的變化與生長的關係。