

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

030309

『硝』災誰解厄？成敗皆『硝』何  
—探討硝化細菌對水耕植物體內硝酸鹽類含量的影響

學校名稱：臺南市私立德光高級中學(附設國中)

作者：  國二 楊茜雯  國二 巴洛克  國二 王定澤	指導老師：  江芝韻  林恒生
---	-----------------------------

關鍵詞：硝化菌、亞硝酸鹽、水耕

## 摘要

現今人們很注重食品安全，無農藥的蔬菜深受大家歡迎，水耕就是常用的方式。雖然沒有農藥，但在水耕狀態下，植物體內卻會大量累積亞硝酸鹽等致癌物，土耕的植物就沒有這種問題。土壤中含有硝化菌，可以將有毒的亞硝酸鹽轉為無毒的化合物。本實驗結合水耕種植與土耕的硝化菌。結果顯示，隨著水耕液濃度升高，植物體內的硝酸鹽類濃度隨之升高，在採收前將水耕液加入硝化菌，可以在兼顧植物生長的狀況下，有效降低植物體內有毒亞硝酸鹽的含量。根據本研究結果，建議在水耕植物採收前可逐步降低水耕液濃度並且添加硝化細菌幫助降低過多的亞硝酸鹽。本實驗結果有益於更深入的研究，協助我們吃得更加安心健康。

## 壹、研究動機

某天新聞正介紹植物工廠，看著影片中又大又漂亮的蔬菜，乾淨肥美，也標榜著菜種植過程中完全無農藥，讓我們不禁好奇種植方法？經深入探查發現，水耕是植物工廠最常使用的種植方法，然而，在水耕環境下，植物的養分來源全靠人為提供，多是化學藥劑與肥料，經詢問老師後發現，目前**種植水耕植物所面臨最大的問題，就是種植出來的植物體內，含有著高量的硝酸鹽與亞硝酸鹽**，這樣的植物若被食用，反而會對人體造成危害。硝酸鹽是肥料中的含氮養分，在自然狀況下，硝酸根離子( $\text{NO}_3^-$ )會還原成亞硝酸根離子( $\text{NO}_2^-$ )，硝酸鹽中的氮是植物合成蛋白質的重要原料，但若還原成亞硝酸狀態，對人體有毒且會致癌。而以土耕方式種植的植物，其體內不會有太多的硝酸鹽類殘留。此外，土壤中的硝化細菌，具有可以將亞硝酸鹽代謝分解的能力。所以，我們想知道，若我們將硝化細菌加入水耕液中，是否能有效降低植物體內的硝酸鹽類含量？

## 貳、研究目的

- 一、測試在水耕狀態下，有無添加硝化細菌對植物體內硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響
- 二、測試在水耕狀態下，採收前進行換水處理對植物體內硝酸鹽及亞硝酸鹽的影響
- 三、檢驗小白菜、苜蓿在添加硝化細菌下的生長狀況
- 四、檢驗小白菜、苜蓿在不同濃度肥料水耕栽植的生長情形

## 參、研究設備及器材

一、研究材料：小白菜(*Brassica rapa chinensis*)、苜蓿 (*Medicago sativa*)(表一)(表二)。

(表一)本實驗研究生物

	
小白菜	苜蓿

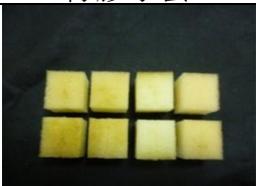
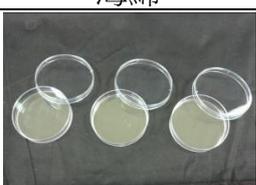
(表二)小白菜及苜蓿的分類地位階層表

俗名	小白菜	苜蓿
界	植物界	
門	被子植物門	
綱	雙子葉植物綱	
目	白花菜目	豆目
科	十字花科	豆科
屬	芸苔屬	苜蓿屬
學名	<i>Brassica rapa chinensis</i>	<i>Medicago sativa</i>

二、實驗器材：詳見表三

(表三)實驗器材

			
小白菜種子	苜蓿種子	青江菜種子	硝化菌

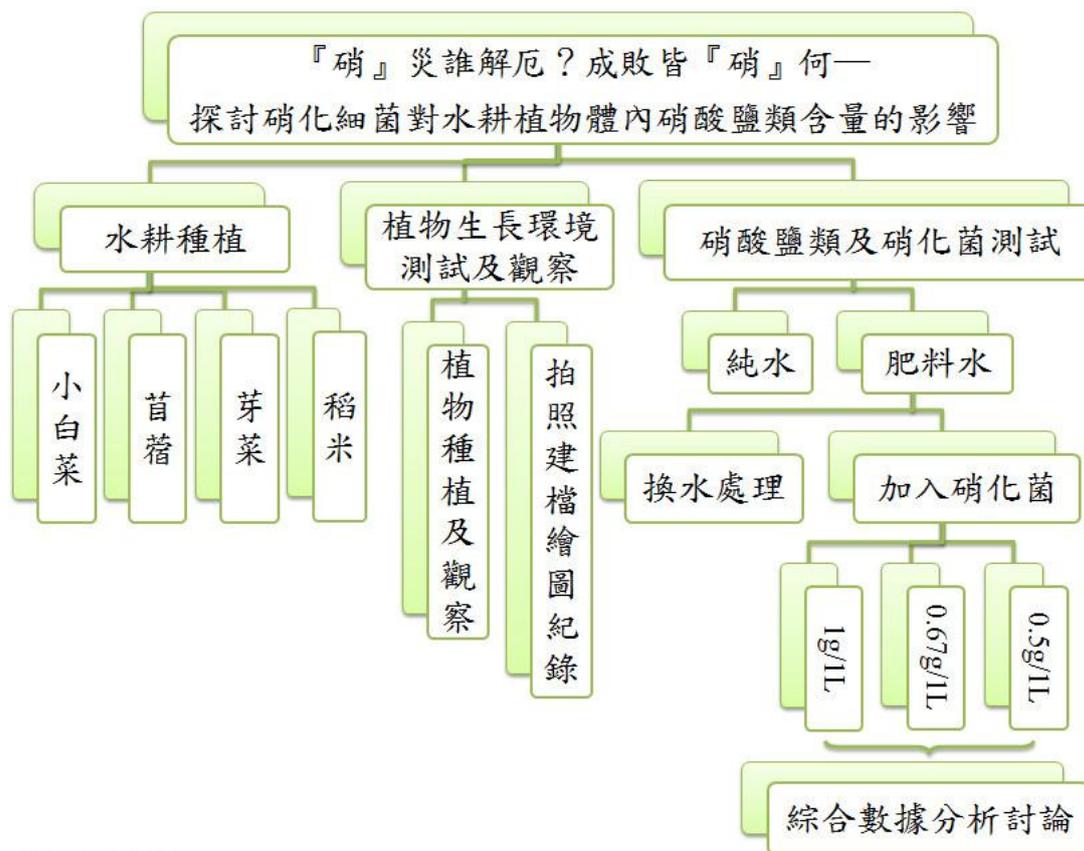
			
1ml微量吸管	1ml微量吸管尖頭	橡膠手套	解剖顯微鏡
			
淺盤	植物生長燈	海綿	燈管
			
鋁箔紙	生化過濾棉	培養皿	不透明塑膠杯
			
塑膠血清瓶	濾紙	試管架	秤量紙
			
燒杯	量筒	玻棒	鑷子
			
油性簽字筆	放大鏡	數位相機	電子天平

三、實驗藥品：詳見表四

(表四)實驗藥品表

	
花寶 2 號	蒸餾水

## 肆、研究過程或方法



(圖一)研究架構流程圖

(表五)研究時程表

	2013年					2014年						
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	
文獻搜尋	████████████████████											
材料蒐集		████████████████████										
植物種植	██											
外型觀察紀錄	████████████████████											
構造圖製作		████████████████████										
環境偏好測試			████████████████████									
硝酸鹽類 濃度測試			████████████████████									
資料統計						████████████████████						
綜合分析討論							████████████████████					
口頭發表練習									████████████████████			

## 一、準備工作－蒐集種子與肥料：

來源：購入小白菜、苜蓿種子與花寶肥料。

選用原因：苜蓿及小白菜因生長快速、生長期短、可水耕栽培而且常見。一般而言，苜蓿播種後只需 7~9 天即可食用；而小白菜則需 25 天。而我們則是採用第 9 天大的苜蓿與第 19 天大及第 38 天大的小白菜來進行實驗。

## 二、配製出各種濃度的水耕液—

動機：想知道在不同濃度水耕液下，植物生長狀況的差異，並選出最適合的濃度。

泡製流程：

- (一)取出 1g 的花寶 2 號                      (二)分別準備 1000ml、1500ml、2000ml 的蒸餾水  
(三)將 1g 花寶分別加入三種不同容量的蒸餾水中，最後攪拌到看不見結晶(表六)

(表六)花寶 2 號肥料水配製流程表



配製原因：一開始準備五種濃度的水耕液。在經過測試後，我們發現 1g/L、0.67g/L 和 0.5g/L 三種濃度的水耕液較適合做實驗，為了可以更清楚觀察比較，我們選用 0.5g/L 和 1g/L 兩種濃度的水耕液。而 0.25g/L 及 2g/L 兩種濃度水耕液種植下，植物生長較差；前者濃度過高，會導致植物萎縮；後者則使植物出現營養不良的狀態。(表七)

(表七)各種水耕液濃度下植物生長狀態簡表

2g/1L	1g/1L	0.67g/1L	0.5g/1L	0.25g/1L
太濃，植物萎縮	生長正常	生長正常	生長正常	營養不良

### 三、製作適合植物生長的生長箱

**動機：**為了使植物有一個可以適合生長的環境，我們製作了符合植物生長條件的自製生長箱。

**製作過程：**

- (一) 將防蟲網、塑膠布鋪設在鐵架外
- (二) 在鐵架內裝置日光燈管與溫度計
- (三) 內部四周鋪設鋁箔紙，增強亮度
- (四) 每日定時以冰塊使種植環境保持在 25°C 左右。

**製作過程：**雖然一開始用很多日光燈管，但仍亮度不足，觀察市售生長箱，發現箱壁有鋁箔紙，仿效後成功提高箱內亮度，但溫度卻過高與通風不良，所以我們設置通風口並在生長櫃中放入冰塊使溫度下降。另外也每天觀察生長箱的溫度，確保溫度恆定。



(圖二)自製植物生長箱圖



(圖三)自製植物生長箱圖

### 四、幼苗培育實驗

**動機：**培養適當的幼苗來進行水耕種植。

**種植方法：**

- (一) 準備不透明塑膠杯
- (二) 利用放大鏡/解剖顯微鏡為工具，挑選出外觀完整的種子
- (三) 將 2 顆外觀完整的種子置入海棉或過濾棉中，並置入塑膠杯中，每杯加入清水、肥料水及加硝化菌的肥料水

**種植方式：**為了防止植物生長空間太小，實驗時，我們將每一棵植物分開種植。

(表八)幼苗培育實驗步驟



## 五、觀察、比較不同時期的小白菜與苜蓿外表形態之異同。

**動機：**觀察植物各階段生長狀況，並製作簡易特徵表以便後續辨識植物生長狀態。

**觀察過程：**

- (一)利用各種濃度肥料水測試最佳發芽度→生長狀況。
- (二)觀察最佳的種植環境及植物特徵描述，並紀錄之。
- (三)以相機記錄外觀構造並且繪圖記錄。
- (四)比較不同時期小白菜與苜蓿外表形態異同。

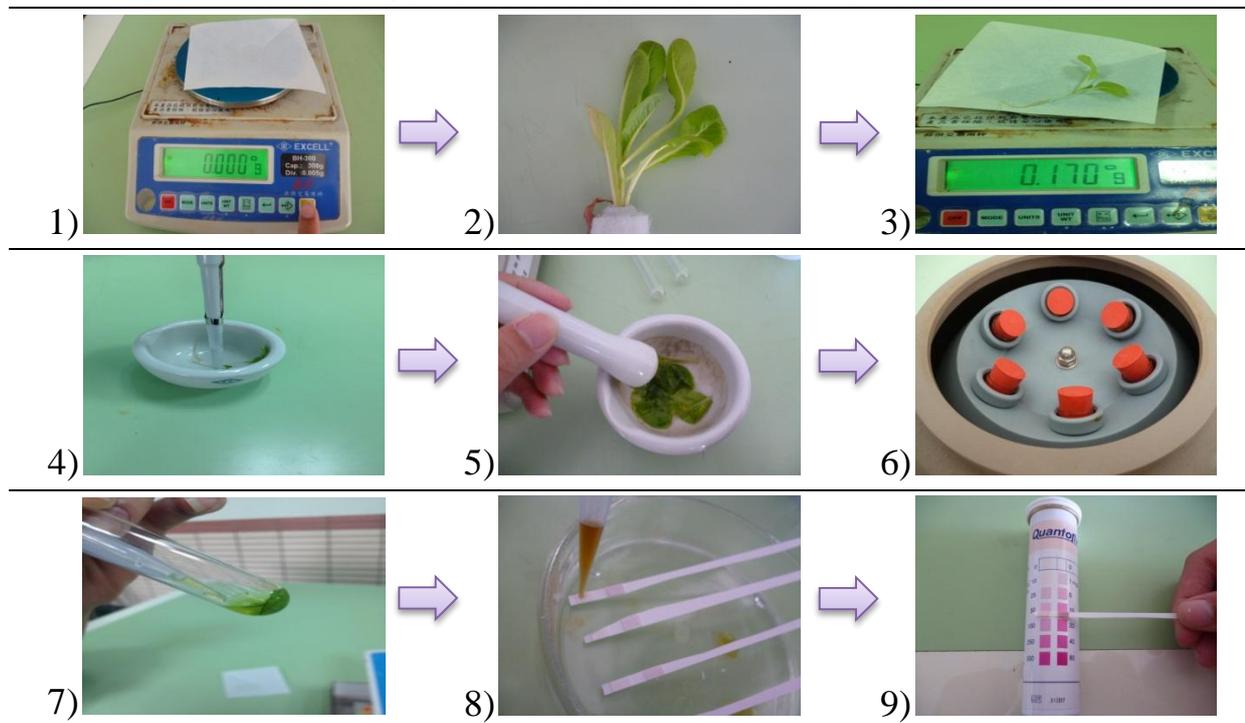
## 六、檢驗葉片中硝酸鹽與亞硝酸鹽含量濃度實驗(表九)

**測試過程：**

- |               |             |             |
|---------------|-------------|-------------|
| (一)電子天平歸零     | (五)將其磨成汁液   | (八)上清液滴在試紙上 |
| (二)摘下葉片       | (六)使用離心機離心  | (九)風乾後比色紀錄  |
| (三)秤其重        | (七)小心將離心後的上 |             |
| (四)再加入 4 倍蒸餾水 | 清液取出        |             |

**實驗過程：**在測試硝酸鹽與亞硝酸鹽濃度的實驗過程中，我們使用了植物的葉莖部位，因為大部分的人都吃植物的葉菜與莖的部分。而在萃取過程中，由於植物的分量過少導致難以磨出汁液，因此我們加入了四倍份量的蒸餾水稀釋過，真正的濃度其實是原本的五倍左右。我們的離心是用速度 1500(rpm)、10 分鐘，讓植物汁液與纖維分層。並由同一人來觀察試紙比色。

(表九)比較在不同濃度下在葉片中殘留硝酸鹽與亞硝酸鹽濃度實驗操作步驟



七、比較在不同水耕液濃度下的生長情形與植物硝酸鹽及亞硝酸鹽濃度。

觀察與比較流程：

(一) 調查植物體內硝酸鹽及亞硝酸鹽濃度，我們共設計 21 種處理方式 (表十)。

(二) 觀察、拍照記錄觀察植物生長狀況，並仔細描繪型態特徵。

(表十)本研究所進行的實驗處理總表

處理方式	水	1g/L	0.5g/L
控制組	-	-	-
換水	-	採收前1天	採收前1天
		採收前2天	採收前2天
		採收前3天	採收前3天
加菌	採收前1天	採收前1天	採收前1天
	採收前2天	採收前2天	採收前2天
	採收前3天	採收前3天	採收前3天
	第一天加菌	第一天加菌	第一天加菌

※「-」表示沒有特別處理採收前換水或加菌

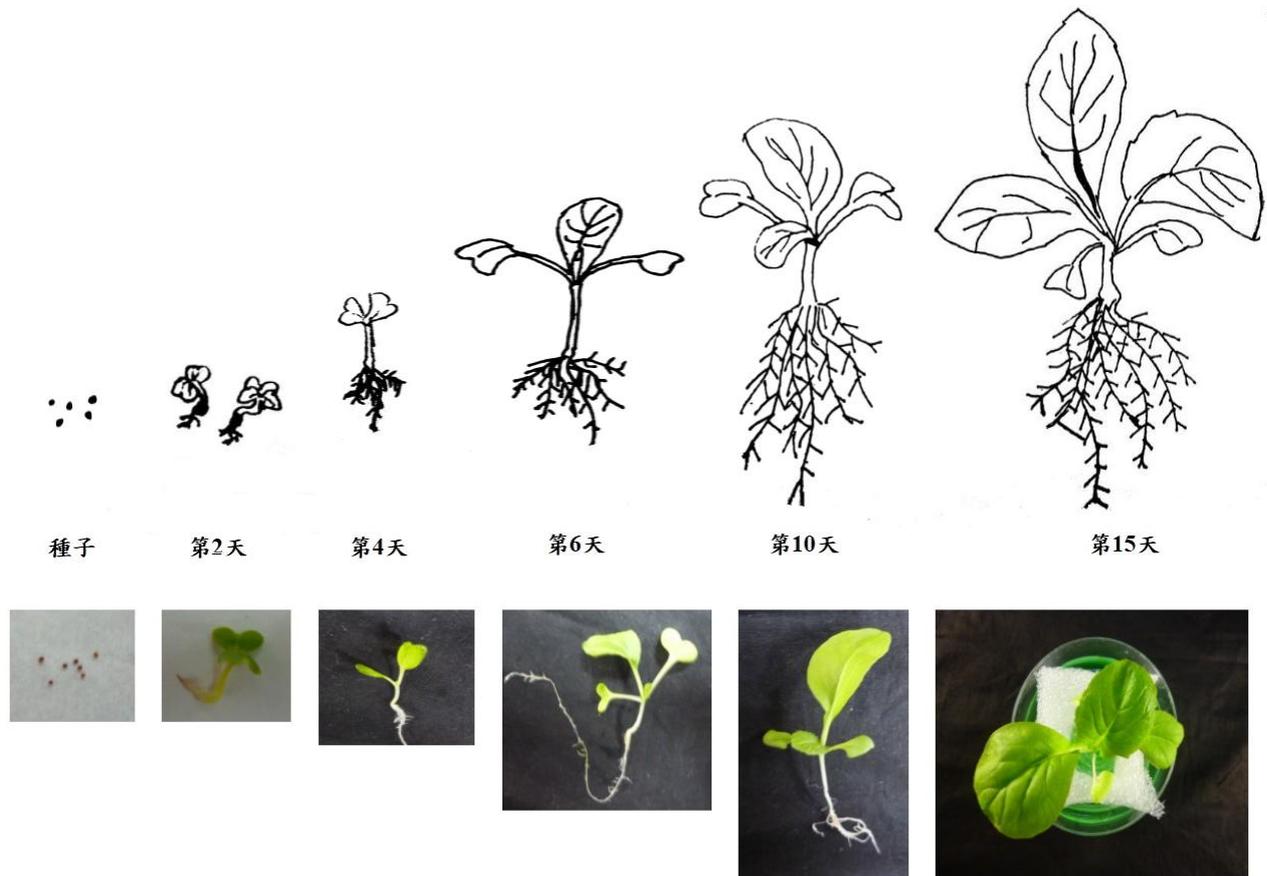
八、分析、整理與比較數據及繪圖的紀錄。

(一)使用軟體整理並進行數據統計、製作圖表

## 伍、研究結果

### 一、觀察小白菜、苜蓿的成長歷程：

(一)生活史及其特徵(此處為手繪及攝影圖):



(圖四) 小白菜生活史手繪圖&攝影圖

根據(圖四)可知：種植到第 2 天，小白菜的幼苗只有兩片子葉，並無枝條；而種植到第 4 天，小白菜兩片營養葉的枝條較明顯，根系也較長；6 天大的小白菜則比 4 天大的小白菜多了 1 片營養葉，第 2 片營養葉也將發育完成；10 天大的小白菜的第 2 片營養葉已發育完成，而且整株小白菜的葉片都更大片；發育到第 15 天的小白菜則是第三片營養葉發育完成。而在一般的植物工廠中，約 25 天才採收小白菜，但經過我們觀察，在小白菜 19 天大左右，其葉片雖不如第 25 天來的大，但已經發育良好，所以我們在種植第 19 天時，就測試小白菜體內的亞硝酸鹽及硝酸鹽濃度，同時為了檢測種植天數對植物體內亞硝酸鹽與硝酸鹽濃度的影響，也使用了 38 天大的小白菜來做測試。

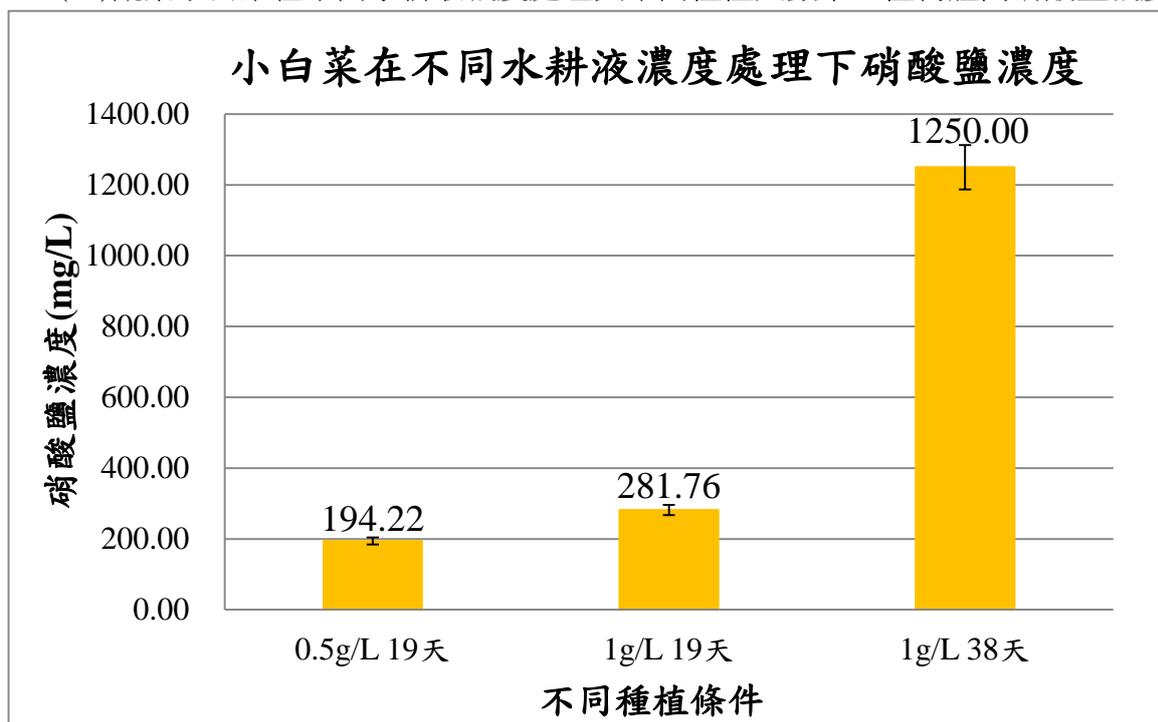


(圖五) 苜蓿生活史手繪圖&攝影圖 (比例尺每小格為 0.5cm)

根據(圖五)可知，2 天大的幼苗只有兩片子葉，植物全長約為 3.5cm，具一個枝條；第 6 天大的苜蓿，子葉的枝條上，明顯多了幾片葉片，此時植物全長約為 4cm；10 天大的苜蓿，植物全長約為 6cm，多長了一些枝條且發育完成，整株苜蓿的葉片也都更加成熟，甚至已經開始有葉片出現黃化、老化的現象。

## 二、觀察小白菜在不同濃度肥料水耕栽植的硝酸鹽和亞硝酸鹽含量

(一)觀察小白菜在不同水耕液濃度處理與不同種植天數下，植物體內硝酸鹽濃度

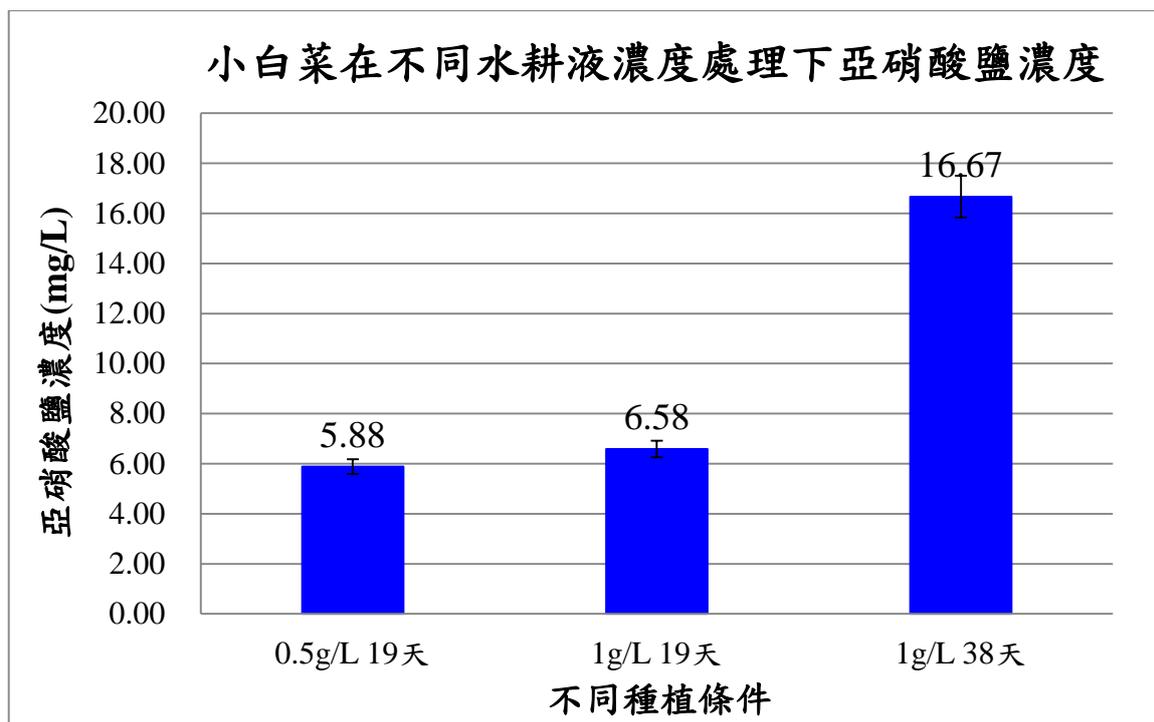


(圖六)小白菜在不同水耕液濃度處理下硝酸鹽濃度

將小白菜種植在不同濃度的水耕液與不同天數後，小白菜體內的硝酸鹽濃度由(圖六)可得知：種植天數相同，水耕液濃度越高，植物體內硝酸鹽濃度會隨著水耕液濃度升高而變高。例如：水耕液濃度 0.5g/L 的處理下，硝酸鹽濃度為 194.22mg/L；濃度 1g/L，硝酸鹽濃度則為 281.76mg/L。另外，植物體內硝酸鹽濃度會隨著種植時間加長而增加，以 1g/L 水耕液濃度下種植的植物為例：種植 19 天的小白菜，體內硝酸鹽濃度為 281.76mg/L；種植 38 天，硝酸鹽濃度則高達 1250.00mg/L。

因此，推測是因為種植時間越久，植物吸收越多肥料，導致植物體內硝酸鹽濃度上升；而水耕液的濃度升高，植物體內硝酸鹽的含量也會變高。推測因植物持續吸收高濃度肥料，而細胞對硝酸鹽代謝的速度固定，使其在葉中濃度變高。

(二)觀察小白菜在不同水耕液濃度處理與不同種植天數下，體內亞硝酸鹽濃度

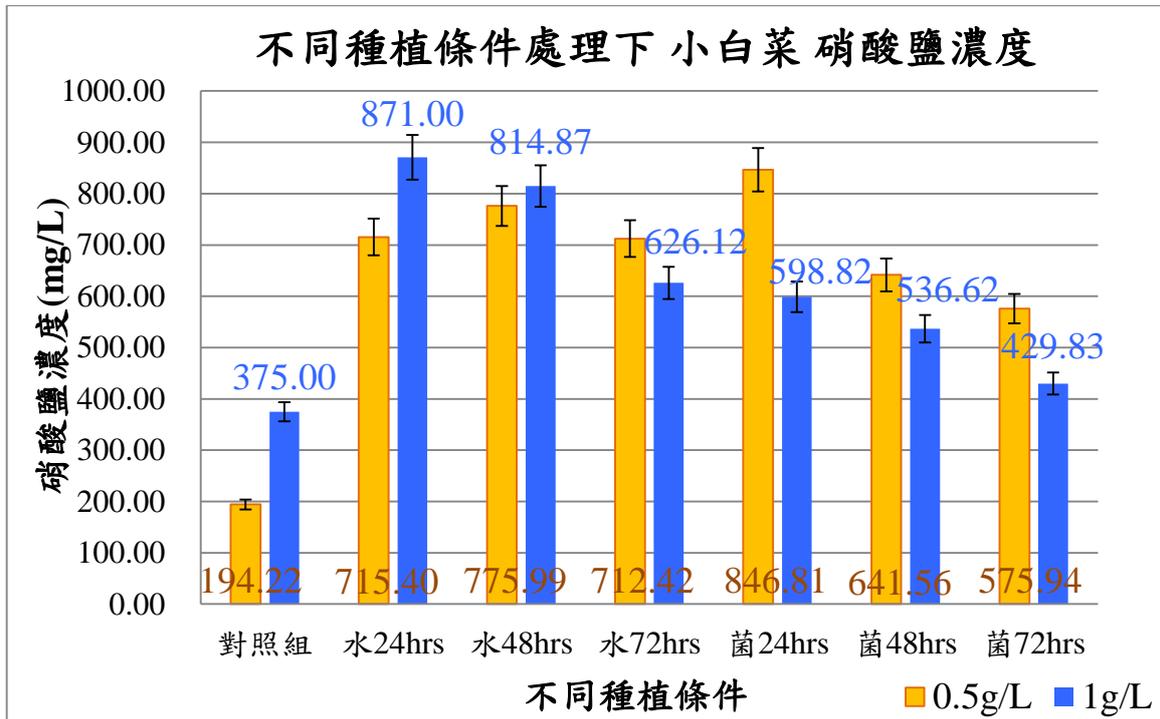


(圖七)小白菜在不同水耕液濃度處理下亞硝酸鹽濃度

根據(圖七)可得知：在植物分別以水耕狀態種植 19 天、38 天下，植物體內亞硝酸鹽濃度會隨著水耕液濃度越高而升高。例如：濃度 0.5g/L，亞硝酸鹽濃度為 5.88mg/L；水耕液濃度 1g/L 的處理下，亞硝酸鹽濃度為 6.58mg/L。另外，我們還可以看出植物體內亞硝酸鹽濃度，會隨著種植時間增長而增加。以 1g/L 水耕液濃度下種植為例：種植 19 天，亞硝酸鹽的濃度為 6.58mg/L；種植 38 天，亞硝酸鹽濃度則為 16.67mg/L。

種植天數愈多，亞硝酸鹽的濃度愈低可能是種植天數越短，植物吸收肥料的天數越少，導致亞硝酸鹽濃度下降；而水耕液的濃度越高，亞硝酸鹽的含量也越高，和硝酸鹽濃度的實驗結果相互吻合，推測這是因為水耕液的濃度較高，植物吸收的肥料較多，使亞硝酸鹽濃度上升。

(三)觀察小白菜在硝化菌與換水處理下，植物體內硝酸鹽濃度



(圖八)在不同種植條件處理下小白菜硝酸鹽濃度

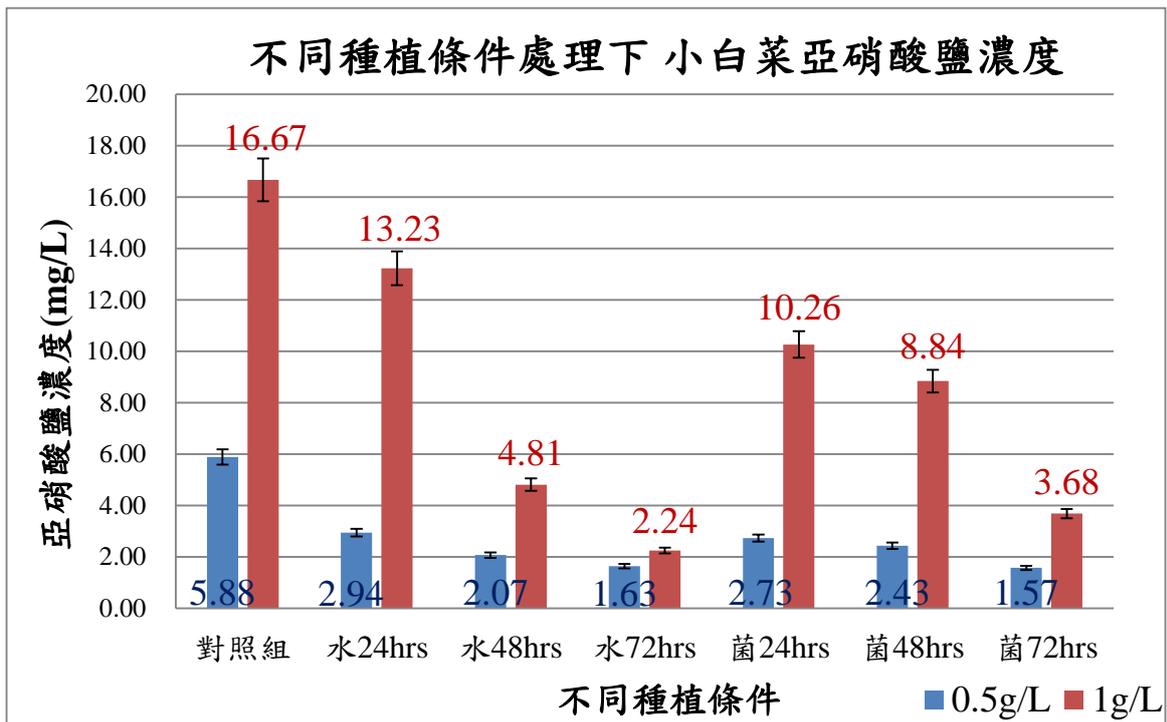
由(圖八)可得知：在植物採收前 24 小時、前 48 小時及前 72 小時，將水耕液換成純水的處理下，植物體內硝酸鹽濃度，會隨著換水培養時間的加長而降低。以 1g/L 濃度下的水耕液為例：採收前 24 小時換成水，硝酸鹽濃度 871.00mg/L；採收前 48 小時換成水，濃度略降至 814.87mg/L；採收前 72 小時換成水，硝酸鹽濃度則降低到 626.12mg/L。可以看出換水處理時間愈長，硝酸鹽濃度愈低。

加菌也有類似的效果，且在高濃度(1g/L)的水耕液處理下，降低硝酸鹽濃度的效果較換水處理好。採收前 24 小時、48 小時、72 小時加菌，分別測到的硝酸鹽濃度為 598.82 mg/L、536.62 mg/L 和 429.83 mg/L。

但是，換水培養的組別，植物會明顯地白化與老化，因此，相較之下，加入硝化菌不僅兼顧植物的生長與降低硝酸鹽的濃度。推測是因為加入硝化菌仍可以讓植物吸收到含氮的肥料，但換水處理會使植物無法吸收任何含氮養分，讓植物生長不佳。

此外，推測是因為肥料中含有硝酸鹽，而硝酸鹽可被植物根部吸收，但吸收過多後，則會累積在植物體內。所以我們認為，除了調整出最佳水耕液濃度外。還需要加入硝化菌來調整硝酸鹽與亞硝酸鹽的含量。藉著生物間的交互作用來降低有毒亞硝酸鹽濃度。

(四)觀察小白菜在硝化菌與換水處理下，植物體內亞硝酸鹽濃度



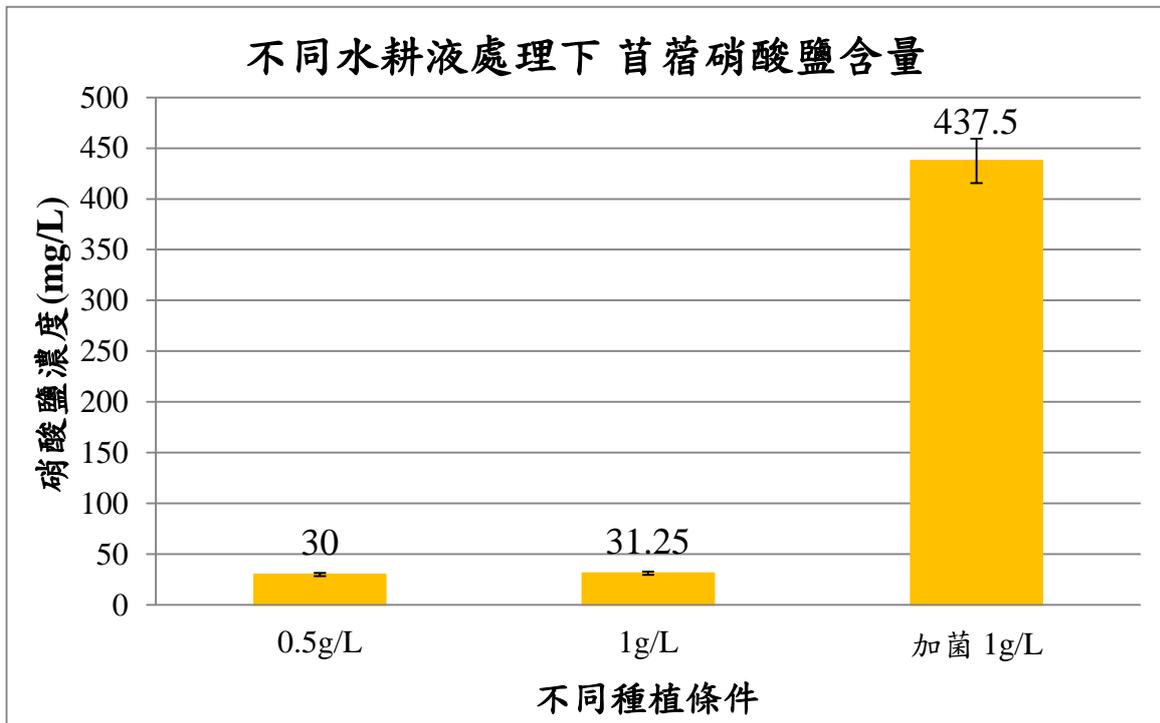
(圖九)不同種植條件處理下小白菜亞硝酸鹽濃度

由(圖九)可得知，在植物採收前 24 小時、前 48 小時及前 72 小時，使水耕液中加入硝化菌，植物體內亞硝酸鹽濃度，會隨著硝化菌處理時間的加長而降低，以 1g/L 濃度下的水耕液為例：採收前 24 小時、前 48 小時及前 72 小時加入硝化菌，亞硝酸鹽濃度分別為 10.26mg/L、8.84mg/L 及 3.68mg/L，呈現下降的趨勢。將水耕液換為水我們也可以看到相同的效果，雖然比加菌的效果略好一點，但換成水會使植物營養不良且硝酸鹽升高含量比加菌處理還要高，而加菌可以兼顧植物的生長狀況與亞硝酸鹽的濃度。所以我們認為加入硝化菌的方式較佳。

因此，我們認為是因為硝酸鹽被植物根部吸收，若吸收過多，累積在植物體內，且一部份會轉變為亞硝酸鹽所造成的。

#### 四、觀察苜蓿在不同濃度肥料水耕栽植的硝酸鹽和亞硝酸鹽含量

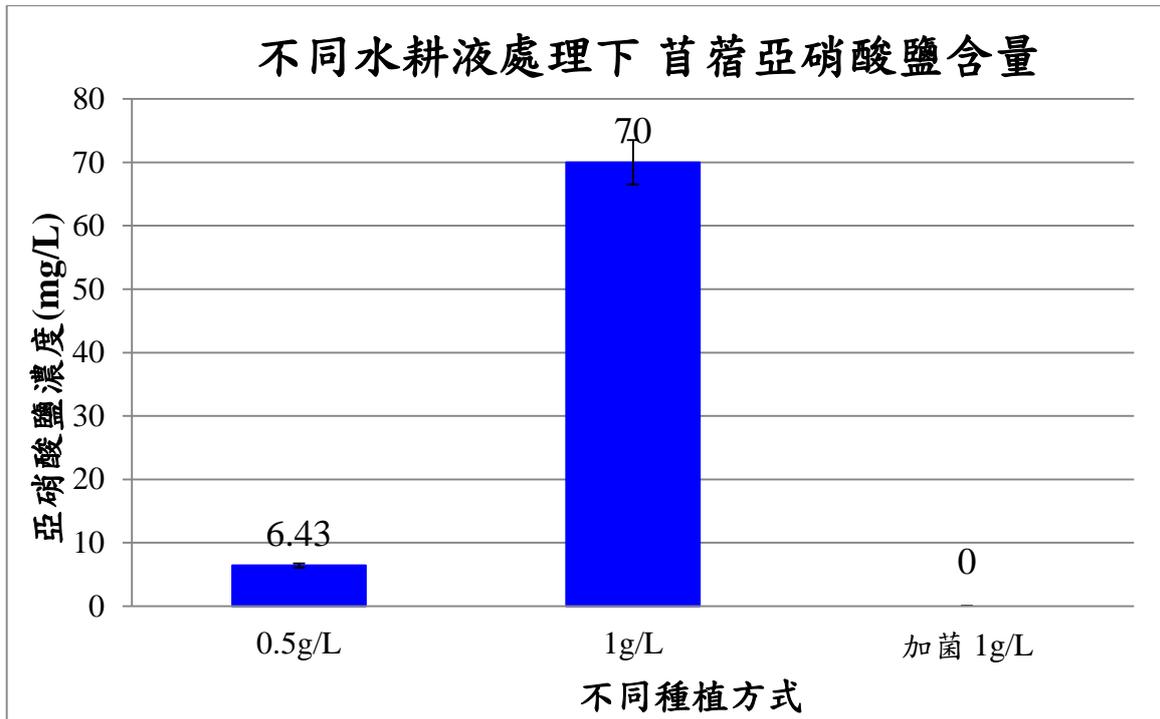
(一)觀察苜蓿在不同水耕液濃度處理與首天加菌下，植物體內硝酸鹽濃度



(圖十)不同水耕液濃度處理下苜蓿硝酸鹽濃度

由(圖十)可得知：在濃度為 0.5g/L 的水耕液中，植物體內所測出的硝酸鹽濃度為 30mg/L；而在濃度為 1g/L 的水耕液中，苜蓿體內測出的硝酸鹽濃度為 31.25mg/L。而在同樣水耕液濃度(1g/L)處理下，沒有添加硝化菌，硝酸鹽濃度為 31.25mg/L；有添加硝化菌，苜蓿體內硝酸鹽上升為 437.5mg/L，可以得知添加硝化菌反而會使硝酸鹽濃度上升。因此，水耕液的濃度越低，苜蓿體內的硝酸鹽含量也越低；而添加硝化菌後，苜蓿體內的硝酸鹽濃度會上升。

(二)觀察苜蓿在不同水耕液濃度與首天加菌處理下，植物體內亞硝酸鹽濃度



(圖十一)不同水耕液濃度處理下苜蓿亞硝酸鹽濃度

由(圖十一)可得知：植物在濃度為 0.5g/L 的水耕液中，測出的亞硝酸鹽濃度只有 6.43mg/L，在濃度為 1g/L 的水耕液中，檢測出植物體內的亞硝酸鹽濃度為 70mg/L；而種植過程中持續含有硝化菌的水耕液培養下，植物體內所測出的亞硝酸鹽濃度降至試紙測不到的濃度，所以我們記為 0mg/L。

肥料水的濃度越低，植物體內亞硝酸鹽的含量也會跟著降低；而添加硝化菌後，可以有效降低植物體內亞硝酸鹽濃度。因水耕液中含有硝酸鹽溶於水中，而硝酸鹽可被植物根部吸收，進入植物體內後，硝酸原會被植物體內的酵素還原成亞硝酸鹽，但是若吸收過多，會累積在植物體內，難以代謝。但為了不讓植物體內硝酸鹽濃度過高，或是提供過低濃度的水耕液，使植物生長狀況變差，所以我們在栽培期間，除了必須控制水耕液的濃度，還可以加入硝化菌來協助降低植物體內亞硝酸鹽的含量。

## 陸、討論

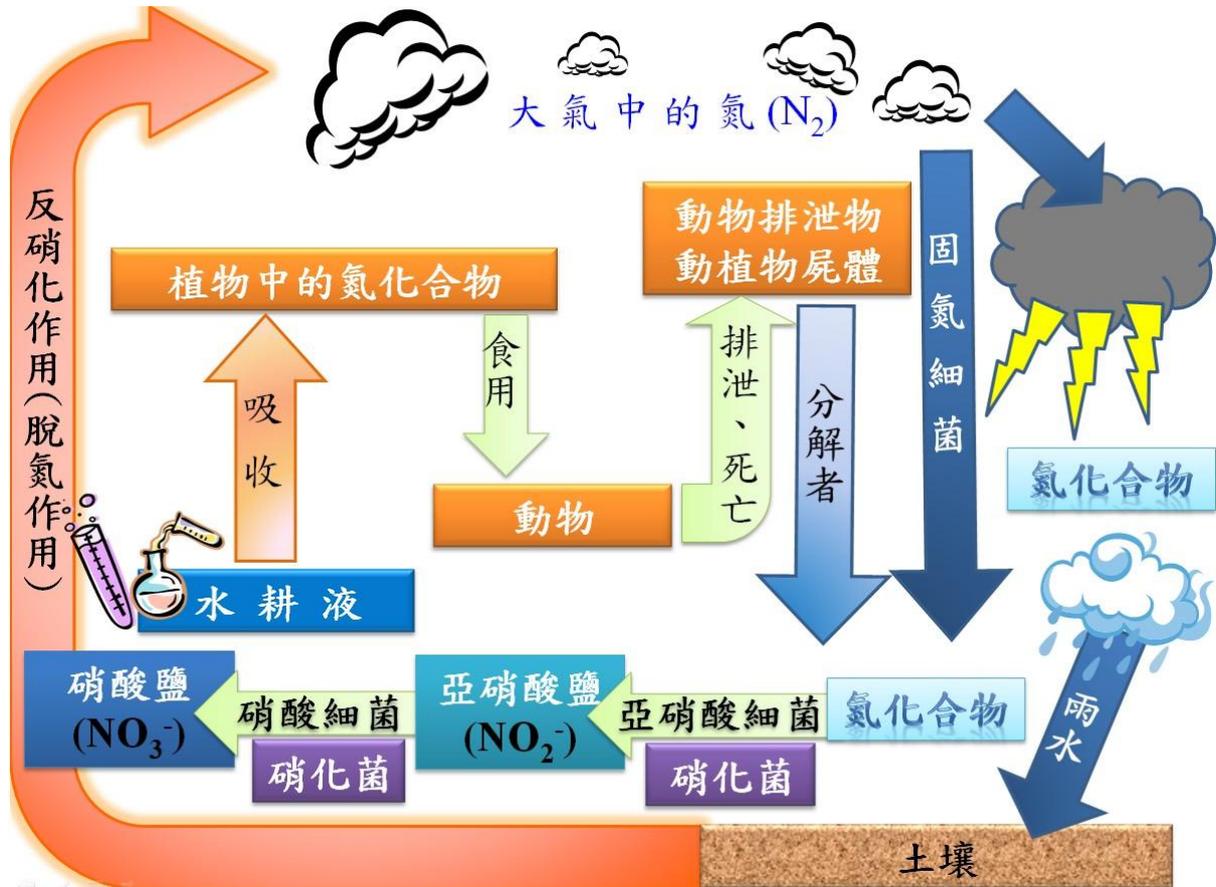
### 一、參考文獻討論：

我們資料是從網路開始找起，網路上針對降低植物體內硝酸鹽與亞硝酸鹽的中文文獻很少，大多是宣導不要吃隔夜菜或是吃菜前先進行沖洗能降低硝酸鹽或亞硝酸鹽，或是硝酸鹽與亞硝酸鹽對於健康的影響，但是種植白菜的中文資料與硝化菌使用方法卻有許多，不過大多是把種菜當興趣的人分享種菜心得，或是養魚愛好者把硝化菌加入魚缸使降低有毒含氮廢物的心得，後來老師建議我們開始蒐尋外文的相關資料。

雖然關於降低硝酸鹽與亞硝酸鹽的研究資料並不多，但仍可知硝酸鹽和亞硝酸鹽具有危害性，其中的研究植物放在室溫下硝酸鹽會下降而亞硝酸鹽會大量的上升，但是冷藏後，硝酸鹽與亞硝酸鹽濃度沒有明顯地改變(Chung 等人，2003)；另外，也有研究指出，湖中累積的硝酸鹽過多，造成優養化(Postel，2013)。而加入可以促進植物生長的肥料，會造成植物植物體內硝酸鹽的累積(Chen 等人，2004)。亦有研究檢測甜菜汁內的硝酸鹽與亞硝酸鹽(Hart，2012)。雖然這幾篇文獻跟我們本篇所探討的方面不完全相同，但是我們仍可以從此得知，關於硝酸鹽與亞硝酸鹽的研究受到許多科學家的注意，我們決定利用可以顯示濃度的試紙，來調查在不同條件不同濃度水耕液處理下，植物體內硝酸鹽與亞硝酸鹽的濃度。

## 二、實驗設計之討論：

### 自製氮循環流程圖



(圖十二) 水耕植物氮循環圖

打雷時，大氣中的氮氣與氫氣結合，或是由土裡的固氮細菌進行固氮作用成氨(NH<sub>3</sub>)，經降水進入土壤中。此外，動植物的屍體與排泄物，也會由分解者，例如：蕈類、細菌等，轉變為氮化合物。氨(NH<sub>3</sub>)會經由亞硝酸細菌(Nitrosomonas)，將其轉變為亞硝酸鹽(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)，再由硝酸細菌(Nitrobacter)轉變為硝酸鹽(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)，最後被植物吸收，作為合成蛋白質的主要原料。硝化細菌則包括了圖中的硝酸細菌與亞硝酸細菌，可以將含氮鹽類(肥料中的氨態氮及硝酸態氮)轉變為植物可以直接吸收的硝酸鹽。在水耕溶液中，我們在溶液中加入硝化細菌，使水耕液中的氮化合物，轉變為植物可吸收的硝酸鹽，也讓過多有毒的亞硝酸鹽類，轉為無毒的硝酸鹽，甚至可能有部分會經由反硝化作用(脫氮作用)，回到大氣中變回氮氣。

**種子保存與萌芽**：低溫、乾燥，發芽率才會高

在剛開始種植植物時，植物發芽率總是很低，後來我們發現是因為種植者體溫太高及流手汗造成種子發芽率降低，經過詢問老師，我們發現種子保存最重要的兩個因素就是：低溫和乾燥。低溫可以降低種子內酵素的活性，乾燥可以使得種子因為缺水而不引起一連串萌芽的反應。於是我們試著用低溫保存，但卻發現每次把種子從冰箱中拿出來種的時候就會受潮而使得發芽率下降。為了克服這個問題，最後我們決定在常溫下(25°C)保存種子，此外，我們在種子的保存管中，也放入了乾燥劑，並將種子管和顯微鏡存放在一起，由於顯微鏡存放的櫃子中有濕度調節，所以，後來種子的萌芽率都維持穩定，也請老師替我們測試，在組織培養的環境中，確保種子具有將近百分之百的發芽率，當然，我們自己種的時候，也都可以有高於 90%的發芽率。

**遇到逆境**：植物白化、老化、花青素增高

在種植植物的過程中，我們發現了一些特殊的現象：

- (1) 植物葉片花青素累積；
- (2) 植物葉片白化與老化現象，針對這三種特殊現象，我們的觀察如下：

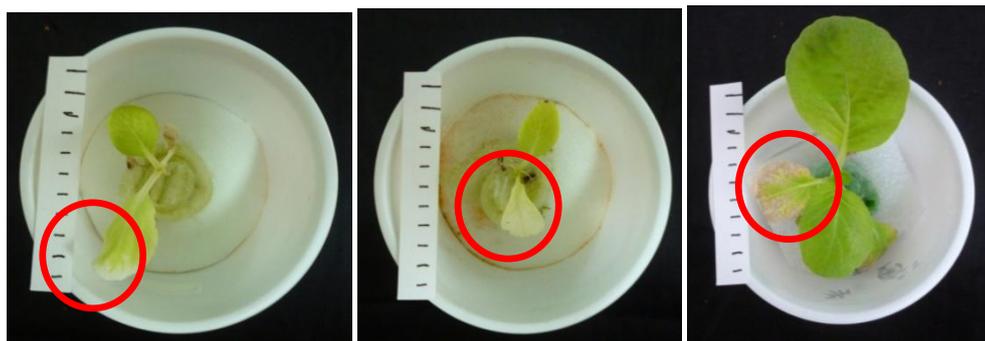
#### (一)葉片累積花青素



(圖十三)苜蓿花青素累積

- a. 種植時，某些苜蓿出現葉片變紫紅色(花青素累積)，幾乎都是放連假時連續幾天缺水所造成，推測花青素激增是因為過於乾旱導致可溶性糖過多，同時因水分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，導致水耕植物的葉片變為紫紅色。(圖十三)

## (二)小白菜葉片白化與老化現象



(圖十四)植物葉片部分白化(圖十五)植物葉片完全白化(圖十六)植物葉片老化

- a. 在採收前將水耕液換為純水的實驗中後，我們觀察到小白菜的葉片呈現白化的現象，推測是植物缺少含氮養分，其生長狀況變緩、發育不良，若是實際要食用的小白菜，必定賣相不佳，口感不好。所以，在採收前，將水耕液換成水的的種植法，並不適合用在一般食用的小白菜的種植上(圖十四、圖十五)。
- b. 至於(圖十六)所呈現的，是葉片老化的現象，雖然在實驗過程中，我們都會定期加水，但推測可能是因為生長箱的亮度過高，讓植物過度照光，植物的抗氧化酵素活性下降，造成脂質過氧化作用加速，所以會使得植物的葉片老化。在調整生長箱亮度後，就改善很多。

### **硝化細菌**：硝酸鹽的災難，硝化細菌來解除

一般市面上的蔬菜都是使用肥料種植的，但若這些蔬菜是有機的，就不會加入肥料，所以我們做了一個只加蒸餾水的對照組，觀察他的硝酸鹽與亞硝酸鹽是不是會較低，卻發現，植物因此死掉，於是我們希望未來可以加入自製有機肥料，再深入比較市售化學肥料與有機肥料對植物體內硝酸鹽類濃度的差異。一般硝化細菌分為亞硝酸細菌(Nitrosomonas)和硝酸細菌(Nitrobacter)兩大類，前者可以將氨( $\text{NH}_3$ )或銨( $\text{NH}_4^+$ )轉變為亞硝酸鹽( $\text{NO}_2^-$ )，後者則是負責將亞硝酸鹽( $\text{NO}_2^-$ )轉變為硝酸鹽( $\text{NO}_3^-$ )，方可讓植物吸收，進入食物鏈中。市售的硝化細菌具有在水耕液中將亞硝酸鹽轉化成硝酸鹽的作用，所以我們設計了加入硝化細菌的實驗，想知道水耕液加入硝化細菌是否也可以降低植物體內亞硝酸鹽的含量。

### 三、研究結果之討論：

**植物多大了？**：葉片數目告訴我們答案

另外，由於個體差異，同一間時間播種的每株白菜都有不同生長速率。為了方便觀察及記錄，我們記錄了植物特徵明顯的生長天數。如：2 天大小白菜，只有兩片子葉，且無枝條；4 天大的小白菜，兩片子葉的枝條較明顯；6 天大的小白菜，多了 1 片營養葉，第 2 片營養葉也將發育完成；10 天大的小白菜，第 2 片營養葉已發育完成，且整株白菜的葉片都更大；15 天大的小白菜則是第三片營養葉發育完成。

**加菌有效將亞硝酸鹽下降**：有毒亞硝酸鹽跑光光

在水溶液環境中，亞硝酸鹽可以被硝化細菌轉變為硝酸鹽，而我們實驗中加了菌的水耕液培養下，植物體內有毒亞硝酸鹽濃度大幅下降，硝酸鹽濃度反而上升。我們覺得有三種可能性：

第一個可能：**假設植物可以直接吸收亞硝酸鹽**，添加硝化菌後，降低水耕液中原有的亞硝酸鹽濃度，使植物吸收到的亞硝酸鹽較少，於是在葉片中所測到的亞硝酸鹽濃度就會較低。為了驗證這個可能，我們利用試紙檢測水耕液(0.5g/L 和 1g/L)中的亞硝酸鹽濃度，在試紙上都沒有顯示有測出亞硝酸鹽。為了避免是因為亞硝酸鹽濃度過低(低於試紙可測到的最低濃度 1mg/L)，所以我們也測了 5g/L 和 10g/L 濃度水耕液中的亞硝酸鹽濃度，但都沒有偵測到。所以，有可能真的是因為亞硝酸鹽濃度過低，未來希望可以用其他敏感性更高的方法來檢測其濃度，也有可能是因為水耕液中沒有亞硝酸鹽的存在，需要更多設備才能加以驗證。

第二種可能：**硝化菌透過與植物根部交互作用的方式進而影響植物體內亞硝酸鹽的含量**。根據我們之前所學，有些細菌會與植物的根部共生，由細菌分泌出化學物質刺激植物根毛捲曲後，根毛附近細胞壁會瓦解讓細菌進入，最後可以與植物共生。而有些植物的根部就有硝酸細菌根亞硝酸細菌的存在，所以我們推測這可能也是硝化菌影響植物體內硝酸鹽及亞硝酸鹽含量的可能原因。為了驗證這個可能性，我們認為未來可以尋找適當的硝化細菌培養基，檢測在含有硝化菌的水耕液中，植物的根部有無硝化菌；若植物根部有硝化菌的存在，則可以知道硝化菌會進入植物體內。

第三種可能：**當植物根部感受到硝化細菌的存在，會刺激植物引發體內一連串的反應**，可能因此活化植物體內將亞硝酸鹽轉換為  $\text{NH}_4^+$  的酵素，或是使亞硝酸鹽氧化成為硝酸鹽。所以才造成植物體內亞硝酸鹽下降，硝酸鹽反而上升的狀態。

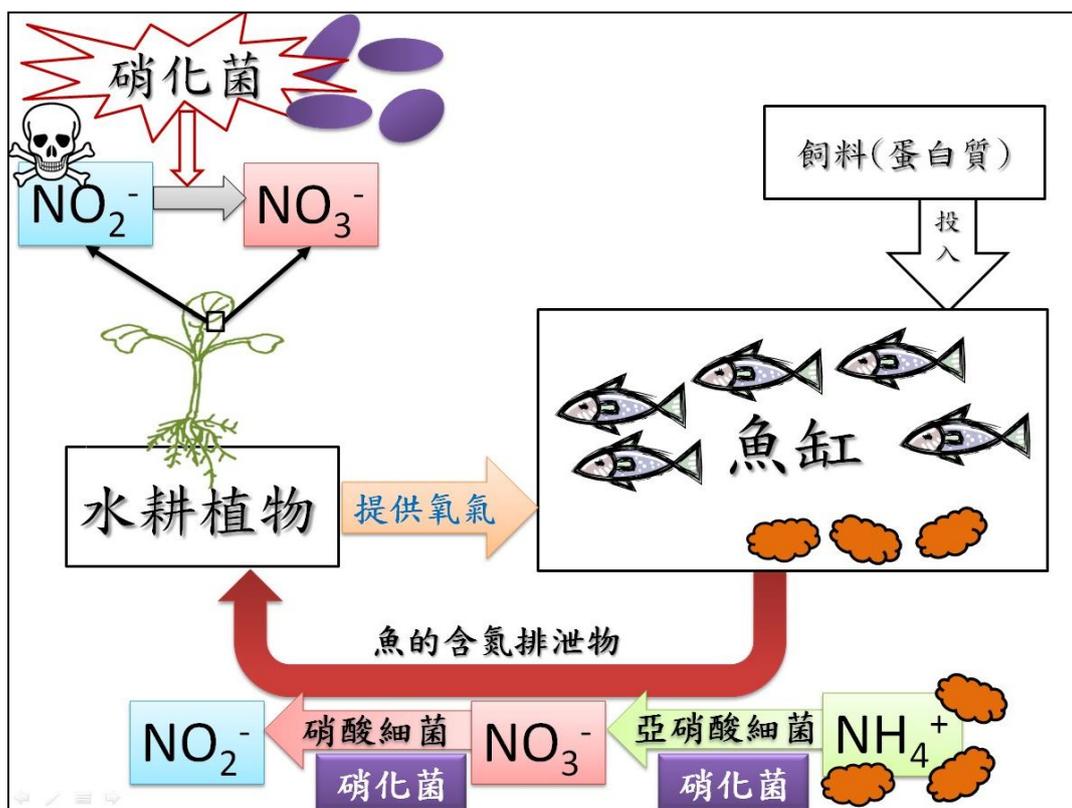
根據我們在不同水耕液處理下所測試出的亞硝酸鹽及硝酸鹽濃度的實驗結果，我們可以發現，隨著水耕液濃度愈高，植物體內的硝酸鹽及亞硝酸鹽的濃度也會跟著提高；而在同一濃度水耕液的處理下，種植時間愈久，植物體內的亞硝酸鹽濃度及硝酸鹽濃度也相對愈高。但是經過硝化菌處理後，植物體內的亞硝酸鹽有明顯的下降，但硝酸鹽卻會提升。(表十一)。

(表十一)各濃度下小白菜與苜蓿硝酸鹽與亞硝酸鹽濃度總表

	花寶2濃度	種植天數	亞硝酸鹽濃度 (mg/L)	硝酸鹽 (mg/L)
白菜	0.5g/L	19天	5.89	194.22
	1g/L	19天	6.58	281.76
	1g/L	38天	16.67	1250
	水control	19天	23.81	2380.95
苜蓿	0.5g/L	9天	6.43	30
	1g/L	9天	70	31.25
	加菌 1g/L	9天	0	437.5

#### 四、未來展望之討論：

根據本實驗的結果，在水耕植物種植的過程中，加入硝化菌，能有效地降低植物體內的亞硝酸鹽和硝酸鹽的含量。近年來，多數民眾注重環保生態，讓我們不禁聯想到，動物的排泄物，不是常被拿來當作種植物的肥料嗎？若我們用養過魚的魚缸水，來對植物進行水耕，不就能夠避免化學肥料的過度使用嗎？所以我們設計了未來可以實行的方向。流程圖如下(圖十七)：



(圖十七)魚與水耕植物的自製氮循環圖

根據(圖十七)可知,飼料中含蛋白質,而魚吃了以後,將蛋白質代謝會排出氨(NH<sub>3</sub>)、硝酸鹽(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)及亞硝酸鹽(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)類等含氮排泄物,可以做為水耕植物的肥料,經由植物的根部吸收,硝酸鹽及亞硝酸鹽會進入植物體內。但是根據文獻記載,植物代謝硝酸鹽及亞硝酸鹽的速度不一,若是有吸收亞硝酸鹽,或是過多的硝酸鹽,都會累積在植物體內,硝酸鹽進入人體,雖然過量有害,但是隨著時間越長就可以慢慢被代謝掉,反之,亞硝酸鹽類已經被證實為致癌物質,會在人體內累積,並且無法代謝,造成無可挽回的傷害。所以我們設計未來可以在栽種水耕植物的過程中,加入硝化菌,使會致癌的亞硝酸鹽類轉變為硝酸鹽。讓我們吃得更健康,也達到生態環保的目的。

硝化菌會將水耕液中的亞硝酸鹽轉變為硝酸鹽,以減少植物吸收亞硝酸鹽,而且,加硝化菌進水耕液裡並不會影響植物生長;若將植物從水耕液換成純水處理的話,會使植物缺少營養,導致植物發生葉片發黃及白化的現象。我們知道土壤中和養魚的水裡都有硝化菌,但是我們並不知道那裡的硝化菌是否能對植物的硝酸鹽與亞硝酸鹽進行作用,未來我們希望有機會將把這兩種含有硝化菌的物質當作水耕液的溶質或溶液來進行比較,土壤中的硝化菌跟養魚水中的硝化菌,哪一種對降低水耕植物的硝酸鹽與亞硝酸鹽的效用較大。

我們的實驗植物是選用小白菜和苜蓿,因為兩者都是很常見,且可水耕的植物,而其他的芽菜,例如:黃豆芽、綠豆芽等和萵苣、青江菜等可水耕植物,都是我們未來做實驗的對象。而我們目前也正在進行單子葉植物(稻米)水耕狀態下,體內硝酸鹽類含量的測試。另外,我們也希望可以針對硝化菌是否與植物的交互作用的方向來探討,硝化菌有效降低植物體內亞硝酸鹽的機制。

## 柒、結論

本次實驗中,我們依序做了許多觀察及測試,依照結果並製出簡易的對照圖好讓大家可以了解、辨識小白菜、苜蓿在不同生長階段的特色。本實驗結果顯示,植物會隨著肥料濃度上升或者種植天數越久,體內的亞硝酸鹽濃度及硝酸鹽濃度會隨之上升。在種植過程中加入硝化菌或是採收前換水等處理,可以有效降低硝酸鹽與亞硝酸鹽,而加入硝化菌不僅可以兼顧植物的生長狀況亦有效降低有毒亞硝酸鹽的濃度。期許可以順利研究出降低植物體內硝酸鹽與亞硝酸鹽含量的方法,以造福人群。

未來若有機會,希望可以針對台灣各商場,進行較大規模的硝酸鹽與亞硝酸鹽殘留量調查,也希望能有機會進行更完整的各種植物硝酸鹽與亞硝酸鹽比較實驗,也希望可以找到自行純化自土壤及養魚水中的硝化菌,以期可以更加了解不同植物的硝酸鹽與亞硝酸鹽差異。

## 捌、參考資料及其他

- 一、維基百科：萵苣。(無日期)。2013年9月26日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%90%B5%E8%8B%A3>
- 二、維基百科小白菜。(無日期)。2013年9月26日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8F%E7%99%BD%E8%8F%9C>
- 三、維基百科：苜蓿。(無日期)。2013年9月28日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8B%9C%E8%93%BF>
- 四、痞客幫：小白菜(民國97年6月20日)。2013年9月28日，取自：  
<http://yoyozora.pixnet.net/blog/post/18940075>
- 五、Postel, S. (2013). Stronger Efforts Needed to Reduce Nitrate Pollution in Mississippi River Basin. *Water Currents*, Retrieved December 20, 2013 from  
<http://newswatch.nationalgeographic.com/2013/11/01/>
- 六、Chung, J.-C., Chou, S.S., & Hwang, D.F. (2004) Changes in nitrate and nitrite content of four vegetables during storage at refrigerated and ambient temperatures. *Food Addit Contam*, 21, 317-22. Retrieved December 20, 2013 from  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15204555>
- 七、Chen, B.-M., Wang, Z.-H., Li, S.-X., Wang, G.-X., Song, H.-X., & Wang, X.-N. (2004) Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science*, 167, 635-643. Retrieved December 20, 2013 from  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945204002195>
- 八、Hart, A. (2012). Can nitrates from vegetable juices lower blood pressure? (December, 2012) Retrieved December 20, 2013 from <http://www.examiner.com/>

## 【評語】 030309

1. 此作品主要欲探討於水耕條件下，添加硝化菌是否可以降低植物體內的硝酸鹽及亞硝酸鹽的濃度。
2. 實驗的發想很好，對水耕作物的栽培與管理或許可提供一些有幫助的建議。
3. 數據呈現具有多重複的概念，是好的實驗設計及做法，若能對這些數據加入統計檢定的分析，則更佳。
4. 建議水耕液配方可採用一般水耕業者所使用的組成分，以更接近實際栽培狀況。