

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 植物學科

探究精神獎

052107

「皂」化弄豆-探討肥皂對綠豆生長影響及因應  
對策

學校名稱：新北市私立格致高級中學

作者：  高二 施佩宇	指導老師：  林郡君  何明潔
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：肥皂、EDTA、脂肪酸

## 摘要

作者利用不同肥皂與綠豆的關係來探討脂肪酸對植物的影響，藉由栽種的綠豆盆栽作為環境模擬因子模擬脂肪酸參雜在土壤後對於植物的生長情形、葉綠素、氣孔開闔率的變化。本研究顯示，不飽和脂肪酸含量高的肥皂會對於植物本體的生長情形造成較明顯的抑制，添加 EDTA、CaCl<sub>2</sub> 能修復肥皂對植物本體的生長情形的抑制。本研究自行開發「植物營養自動補充機」，使用 EV3 作為控制程式，監控植物生長環境，以水質的三個變因做為監測對象：導電度計(μs/cm)、酸鹼值計(pH)、溶氧量(mg/L)，監控到水質低於下限或高於上限時，透過自動加藥方式 (EDTA 及 CaCl<sub>2</sub>) 做出相對回應，改變植物水質生長環境。未來進一步研究讓植物修復因肥皂水所造成的生長傷害。

## 壹、研究動機

### 一、研究動機

我們曾經在化學課程當中學過肥皂是由油脂及氫氧化鈉經過皂化反應形成，同時也學習到不飽和脂肪酸較飽和脂肪酸容易分解。因此我們想要利用近年興起的手工皂透過搭配不同種油的方式，來找出對環境負擔最小的脂肪酸鈉配方。為求環保，許多人將清潔劑替換成手工肥皂，而這也是因為民眾認為含有手工肥皂的汙水對於環境的傷害較小。於是我們想，若是手工肥皂滲入我們的土壤，對於我們生長的土地，其影響力又會有多大呢？

### 二、文獻探討

#### (一)植物逆境

在有了一開始的動機發想後，開始查詢相關資料，參考了歷屆的科展的參展作品，進行探究，於是設計了以肥皂作為逆境的實驗 (李家翔、吳湧波、彭郁涵，2021)。

#### (二)氯化鈣

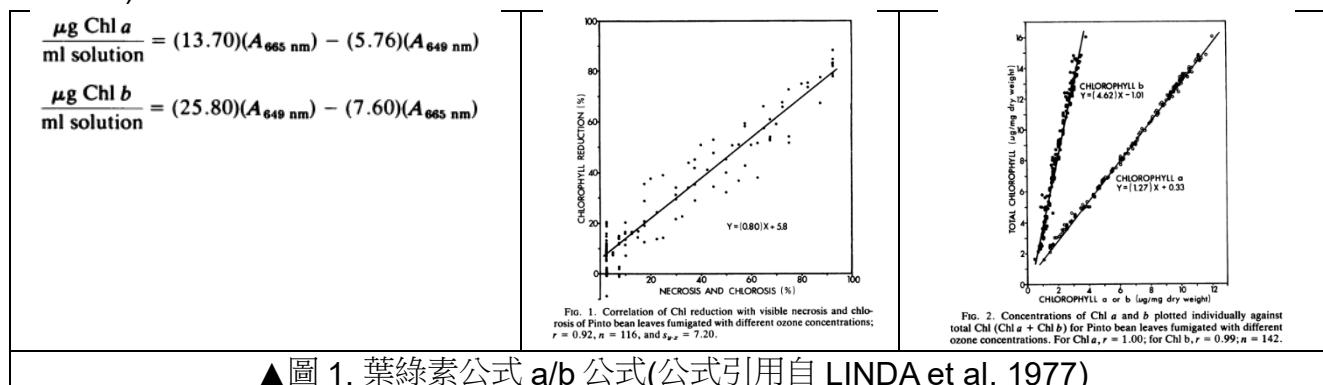
鈣離子做為第二傳訊者 (second messenger) 在生物學裡是胞內信號分子 (信號轉導的啟動組成之一)，負責細胞內的信號轉導以觸發生理變化，它們會啟動下游信號級聯反應，從而對不同的環境做出反應，應用在植物上，能使植物的逆境耐受性提高。部分不飽和脂肪酸會刺激了外生菌根菌絲體的生長 (薛建輝、王智、呂祥生，1990)。

#### (三)EDTA

EDTA 螯合肥的肥效明顯高於普通無機肥料，不僅可以增加作物產量，而且在改善品質等方面具有顯著的優勢，其中，糖醇螯合肥具有易螯合的多齒結構，在植物體內輸送能力強且肥料效果好，相比其它螯合肥料具有明顯的優勢。EDTA 螯合劑添加會提升土壤重金屬銅鋅汙染植生復育成效研析 (葉琮裕、潘京澤、蔡俊杰、林依鈴，2010)。

#### (四)葉綠素測定方式

參考了國外期刊的測定方式，並帶入其提供的葉綠素公式。(公式引用自 LINDA et al. 1977)。



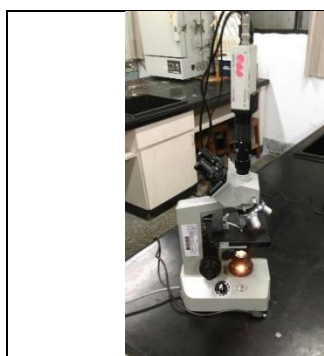
## 貳、研究目的

探討不同肥皂對綠豆發芽率、高度、葉片長度、氣孔開闔、葉綠素 a、葉綠素 b 的影響，再經 EDTA 修復肥皂對綠豆的傷害，及氯化鈣對綠豆抗皂逆境能力增加之內部機制研究。

- 一、利用不同肥皂與綠豆的關係來探討不飽和脂肪酸含量對植物的影響。
- 二、探討 EDTA 修復肥皂對綠豆的傷害。
- 三、探討氯化鈣對修復肥皂對綠豆的傷害。
- 四、自製「植物營養自動補充機」改善植物生長環境。

## 參、研究設備及器材

- 一、氫氧化鈉-----1 瓶
- 二、乙醇-----1 瓶
- 三、電子秤-----1 臺
- 四、研鉢-----1 臺
- 五、比色管-----數個
- 六、分光光度計-----1 臺
- 七、綠豆-----2 包
- 八、數位顯微鏡-----1 臺
- 九、氯化鈣-----1 瓶
- 十、紗布-----數片
- 十一、乙二胺四乙酸（Ethylenediaminetetraacetic acid）（EDTA）--1 瓶



▲圖 2. 數位顯微鏡



▲圖 3. 比色管

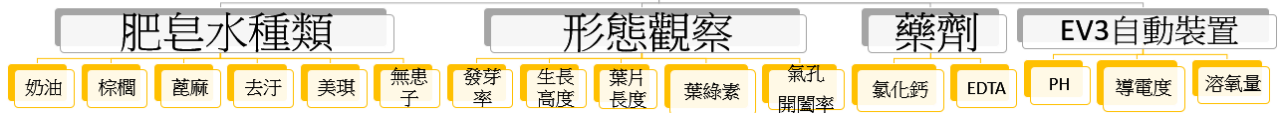


▲圖 4. 分光光度計

## 肆、研究過程及方法

### 研究架構流程圖

探討肥皂對綠豆生長影響  
及因應對策



#### 一、前置作業

(一)、 製作 9 種自製肥皂

▼ 表 1. 自製各種肥皂

1. 對照組	2. 奶油	3. 棕櫚
4. 蓖麻油	5. 奶油+精油	6. 棕櫚+精油
7. 蓖麻+精油	8. 去汙皂	9. 無患子肥皂



#### 二、實驗方法

(一)、 製作各式手工肥皂

##### 1. 材料

- (1). 自選油(奶油、棕櫚油、蓖麻油)-----150g
- (2). 椰子油-----50g
- (3). 氫氧化鈉-----23g
- (4). 水-----46g

##### 2. 製作肥皂步驟

- (1). 將椰子油與自選油混合均勻
- (2). 調配氫氧化鈉水溶液
- (3). 將兩種溶液混合在一起。
- (4). 將溶液攪拌至皂化。
- (5). 放置 1 個月。
- (6). 脫模。

▼表 2. 製作肥皂步驟

步驟 1.將椰子油與自選油混合均勻	步驟 2.調配氫氧化鈉水溶液	步驟 3.將兩種溶液混合在一起。
步驟 4.將溶液攪拌至皂化。	步驟 5.放置 1 個月。	步驟 6.脫模

(二)、 製作添加精油的各式手工肥皂

1. 材料

- (1). 自選油(奶油、棕櫚油、蓖麻油)-----150g
- (2). 椰子油-----50g
- (3). 氫氧化鈉-----23g
- (4). 水-----46g
- (5). 玫瑰精油-----3c.c.

2. 製作肥皂步驟

- (1). 將椰子油與自選油混合均勻
- (2). 將氫氧化鈉與水調配成水溶液
- (3). 將兩種溶液與玫瑰精油混合在一起。
- (4). 將溶液攪拌至皂化。
- (5). 放置 1 個月。
- (6). 脫模。

(三)、 萃取葉綠素




1. 材料


- (1). 新鮮葉片-----2g
- (2). 乙醇-----10ml
- (3). 燒杯-----數個
- (4). 滴管-----一支
- (5). 紗布-----數片
- (6). 研鉢-----一支

2. 萃取葉綠素步驟

- (1). 取葉片。
- (2). 使用 95%的乙醇研磨成漿。
- (3). 進行過濾
- (4). 取得濾液

▼表 3. 葉綠素萃取方式












		
步驟 1.取葉片	步驟 2. 使用 95%的乙醇研磨成漿	步驟 3.進行過濾

		
<p>步驟 4.取得濾液</p>		

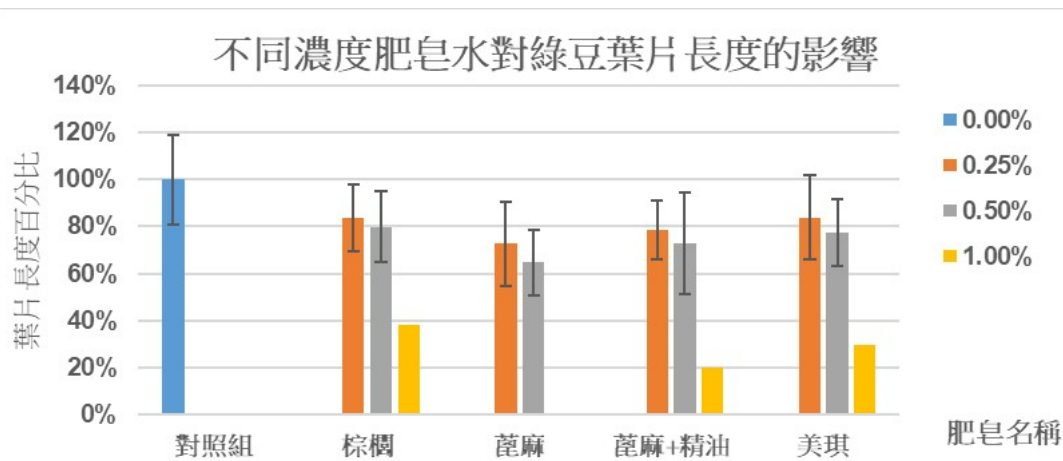
(四)、 製作不同肥皂溶液，觀察綠豆的變化

1. 生長高度

▼表 4.綠豆生長高度

			
<p>第一天</p>	<p>第二天</p>	<p>第三天</p>	<p>第四天</p>
			
<p>第五天 <b>7cm</b></p>	<p>第六天 <b>7.8cm</b></p>	<p>第七天 <b>8cm</b></p>	<p>第八天 <b>8.2cm</b></p>
			
<p>第九天 <b>8.5cm</b></p>	<p>第十天 <b>9cm</b></p>	<p>第十一天 <b>10cm</b></p>	





▲圖 7. 不同濃度肥皂水對綠豆葉片長度的影響

▼表 7. 不同濃度肥皂水對綠豆葉片長度的影響

葉片長度(cm)	對照組	棕櫚肥皂	蓖麻肥皂	蓖麻+精油肥皂	美琪肥皂
肥皂濃度					
0.0%	4.98				
0.25%		4.56	3.97	4.28	4.57
0.5%		4.36	3.53	3.98	4.23
1%		2.07 (50% dead)	0 (100% dead)	1.09 (70% dead)	1.62 (60% dead)

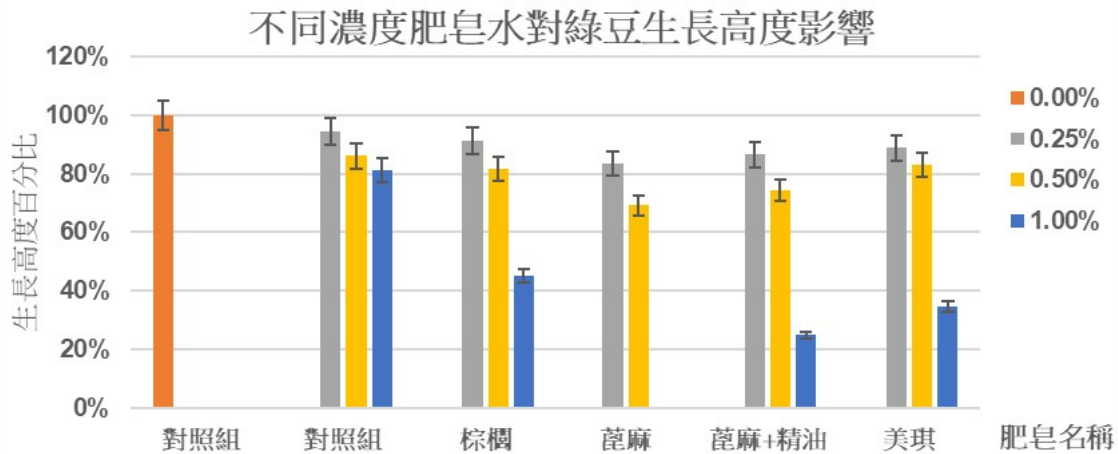
我們分別將綠豆種植在五種肥皂水三種不同濃度盆栽，分別是對照組、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂及美琪肥皂；濃度分別為 0.25%、0.5%及 1%，對照組在第十四天葉片長度 4.98cm (100%)，在肥皂水濃度 0.25%時，葉片長度分為：4.56cm、3.97cm、4.28cm、4.57cm，明顯抑制了綠豆葉片長度；而在肥皂水濃度 0.5%時，葉片長度分為：4.36cm、3.53cm、3.98cm、4.23cm，明顯抑制了綠豆葉片長度；而在肥皂水濃度 1%時，葉片長度分為：2.07cm、0 cm、1.09 cm、1.62cm，明顯抑制了綠豆葉片長度，且綠豆死亡率大於 50%，由實驗結果(圖 7.)得知：棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂及美琪肥皂肥皂在濃度 0.25%及 0.5%會抑制綠豆的葉片長度，在濃度 1% 會造成綠豆死亡，本實驗選用濃度 0.5% 肥皂水做以下實驗。

(二) 不同濃度肥皂水對綠豆生長高度的影響(n=10)

▼表 8. 不同濃度肥皂水對綠豆生長高度的影響

葉片高度	1% 0.5% 0.25% 對照組	1% 0.5% 0.25% 對照組	1% 0.5% 0.25% 對照組	1% 0.5% 0.25% 對照組
肥皂名稱	蓖麻	棕櫚	蓖麻+精油	美琪





▲圖 8. 不同濃度肥皂水對綠豆生長高度的影響

▼表 9. 不同濃度肥皂水對綠豆生長高度的影響

生長高度(cm)	對照組	棕欖	蓖麻	蓖麻+精油	美琪
肥皂濃度					
0.0%	29.53				
0.25%		26.91	24.64	25.55	26.23
0.5%		24.16	20.43	21.92	24.56
1%		13.36 (50% dead)	0 (100% dead)	7.33 (70% dead)	10.23 (60% dead)

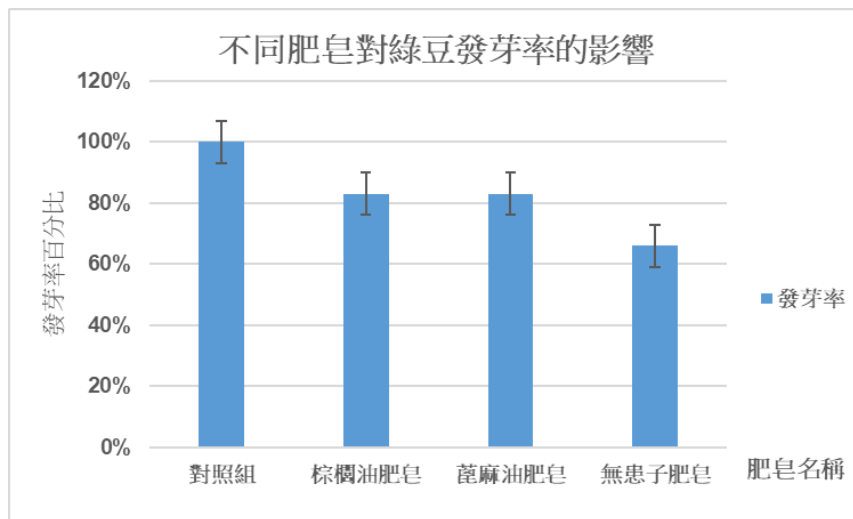
我們分別將綠豆種植在五種肥皂水三種不同濃度盆栽，分別是對照組、棕欖肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂及美琪肥皂；濃度分別為 0.25%、0.5%及 1%，對照組在第十四天生長高度 29.53cm (100%)，在肥皂水濃度 0.25%時，生長高度分為：26.91cm、24.64cm、25.55cm、26.23cm，明顯抑制了綠豆生長高度；而在肥皂水濃度 0.5%時，生長高度分為：24.16cm、20.43cm、21.92cm、24.56cm，明顯抑制了綠豆生長高度；而在肥皂水濃度 1%時，生長高度分為：13.36cm、0 cm、7.33cm、10.23cm，明顯抑制了綠豆生長高度，且綠豆死亡率大於 50%，由實驗結果(圖 8.)得知：棕欖肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂及美琪肥皂肥皂在濃度 0.25%及 0.5%會抑制綠豆的生長高度，在濃度 1% 會造成綠豆死亡，本實驗選用濃度 0.5% 肥皂水做以下實驗。

## 二、不同肥皂對綠豆生長的影響

(一)、 肥皂會抑制綠豆發芽率(n=30)

▼表 10. 肥皂會抑制綠豆發芽率(n=30)

照片				
發芽率%	100%	83%	83%	66%
肥皂名稱	對照組	棕欖肥皂	蓖麻肥皂	無患子肥皂








▲圖 9. 肥皂會抑制綠豆發芽率

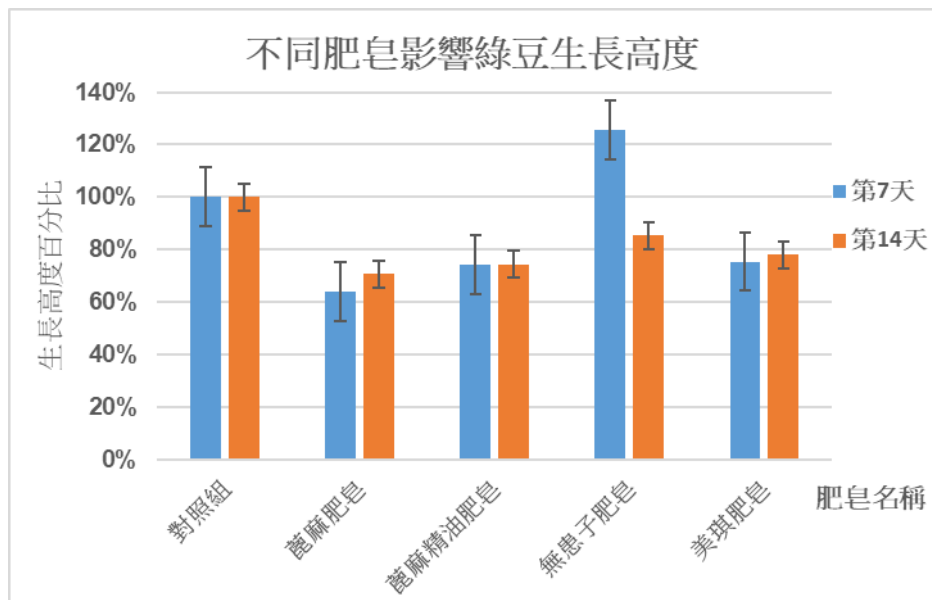
我們分別將綠豆種植在十個盆栽，分別是對照組、奶油肥皂、棕欖肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕欖加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂。栽種在肥皂上面的綠豆，對照組在第二天發芽率達到 100%，而肥皂到第二天的時候僅有 83% - 66%發芽，明顯抑制了綠豆發芽率，由實驗結果(圖 9.)得知：**棕欖肥皂、蓖麻肥皂、無患子肥皂會抑制綠豆的發芽率。**

(二)、 肥皂會抑制綠豆的**生長高度**(n=30)

1. 不同肥皂對綠豆生長高度的影響

▼表 11.肥皂會抑制綠豆生長高度

照片						
生長高度%	第 7 天	20.2cm (100%)	12.9cm (64%)	14.9cm (74.29%)	25.1cm (125.71%)	15cm (75.43%)
	第 14 天	30.7cm (100%)	21.7cm (70.73%)	22.8cm (74.29%)	26.2cm (85.37%)	23.9cm (78.05%)
肥皂名稱		對照組	蓖麻肥皂	蓖麻精油肥皂	無患子肥皂	美琪肥皂



▲圖 10. 肥皂會抑制綠豆生長高度

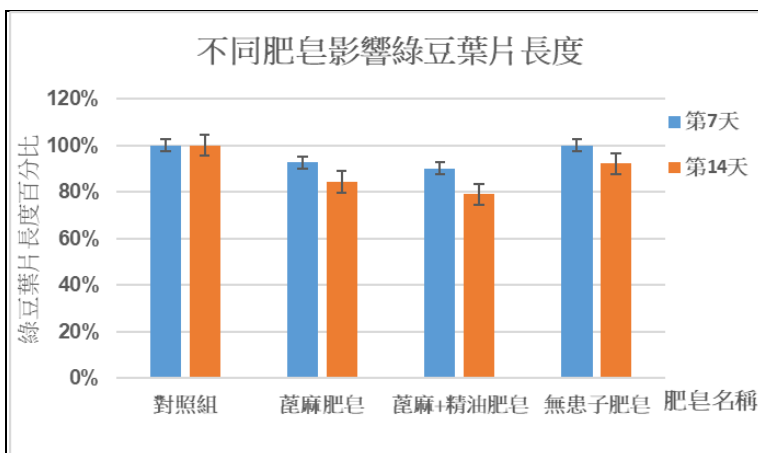
我們分別將綠豆種植在十個盆栽，分別是對照組、奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪香皂及無患子肥皂。由實驗結果圖我們得知，栽種在蓖麻肥皂的綠豆，綠豆生長高度在第七天只有對照組 64.0%，綠豆生長高度在第 14 天只有對照組的 70.7%，由此得知蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂、無患子肥皂、美琪肥皂抑制綠豆的生長高度。由實驗結果(圖 10.)得知：蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂、無患子肥皂、美琪肥皂會抑制綠豆的生長高度。

(三)、 肥皂會抑制綠豆的葉片長度(n=30)

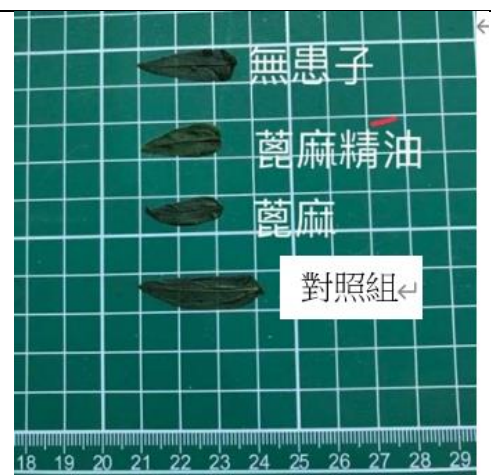
1. 不同肥皂對綠豆葉片長度的影響

▼表 12. 肥皂會抑制綠豆葉片長度

葉片長度%	第 7 天	1.8cm (100%)	1.67cm (92.5%)	1.62cm (90%)	1.8cm (100%)
	第 14 天	3cm (100%)	2.52cm (84.2%)	2.37cm (78.9%)	2.76cm (92.1%)
肥皂名稱		對照組	蓖麻肥皂	蓖麻精油肥皂	無患子



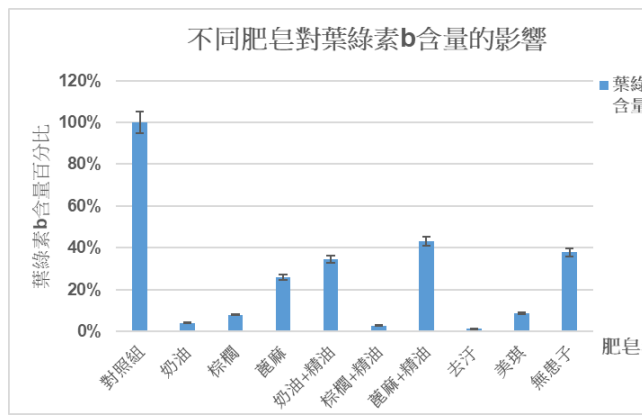
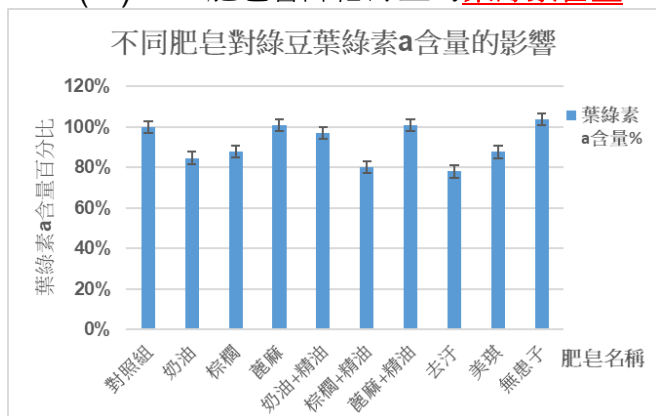
▲圖 11. 肥皂會抑制綠豆葉片長度



▲圖 12. 肥皂會抑制綠豆葉片長度

我們分別將綠豆種植在十個盆栽，分別是對照組、奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂。由實驗結果圖我們得知，栽種在蓖麻肥皂的綠豆，綠豆葉片生長長度在第七天只有對照組 92.0%，綠豆生長長度在第 14 天只有對照組的 84.2%，由此得知蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂、無患子肥皂、抑制綠豆的生長長度。由實驗結果(圖 11.)得知：蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂、無患子肥皂、會抑制綠豆葉片的生長長度。

(四)、 肥皂會降低綠豆的葉綠素含量



▲圖 13. 肥皂降低葉綠素 a 的含量(n=30)

▲圖 14. 肥皂降低葉綠素 b 的含量(n=30)







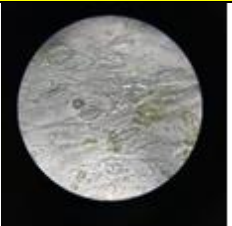



▼表 13. 肥皂降低葉綠素 a 及葉綠素 b 的含量

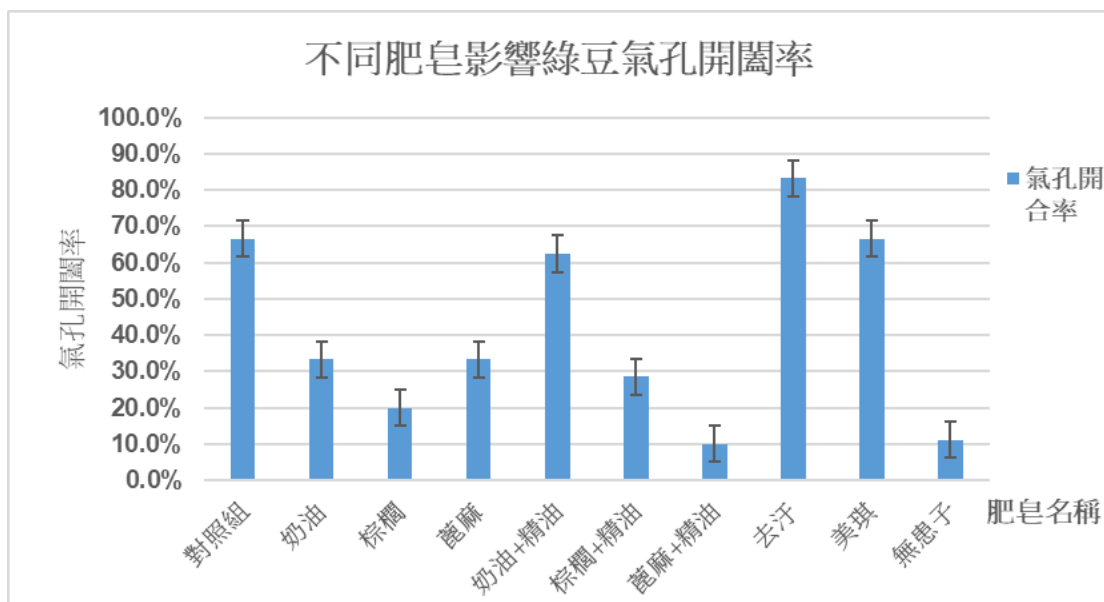
肥皂	對照組	奶油	棕櫚	蓖麻	奶油+精油	棕櫚+精油	蓖麻+精油	去汙	美琪	無患子
葉綠素 a 含量 (mg/L)	15.56	13.18	13.70	15.67	15.08	13.70	15.67	12.15	13.65	16.15
葉綠素 a 含量%	100.00	84.69	88.02	101.03	96.92	80.31	101.02	78.06	87.71	103.77
葉綠素 b 含量 (mg/L)	17.56	0.69	1.40	4.72	6.03	1.81	7.72	0.25	1.49	6.65
葉綠素 b 含量%	100.00	3.95	7.96	26.05	34.35	2.71	43.13	1.43	8.50	37.88

我們分別將綠豆種植在十個盆栽，分別是對照組、奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂。由實驗結果圖我們得知，栽種在奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂的綠豆，葉綠素 a 含量只有對照組 84.69%、88.02%、101.03%、96.92%、80.31%、101.02%、78.06%、87.71%及 103.77 %，葉綠素 b 含量只有對照組 3.95%、7.96%、26.05%、34.35%、2.71%、43.13%、1.43 %、8.49%及 37.88%，由此得知奶油肥皂、棕櫚肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂抑制綠豆的葉綠素 a；奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂抑制綠豆的葉綠素 b。由實驗結果得知：奶油肥皂、棕櫚肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂抑制綠豆的葉綠素 a(圖 13.)；奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂抑制綠豆的葉綠素 b(圖 14.)。

(五)、 肥皂會影響綠豆**保衛細胞的氣孔開關**(n=30)

▼表 14.肥皂會抑制綠豆氣孔開合率

氣孔開合率(第十四天)			
肥皂	對照組		
			
	氣孔開合率 66.6%		
肥皂	奶油	棕櫚	蓖麻
			
	氣孔開合率 33.3%	氣孔開合率 20.0%	氣孔開合率 33.3%
肥皂	奶油+精油	棕櫚+精油	蓖麻+精油
			
	氣孔開合率 62.5%	氣孔開合率 28.6%	氣孔開合率 10.0%
肥皂	去汙	美琪	無患子
			
	氣孔開合率 83.3%	氣孔開合率 66.6%	氣孔開合率 11.1%



▲圖 15. 不同肥皂對綠豆氣孔的影響

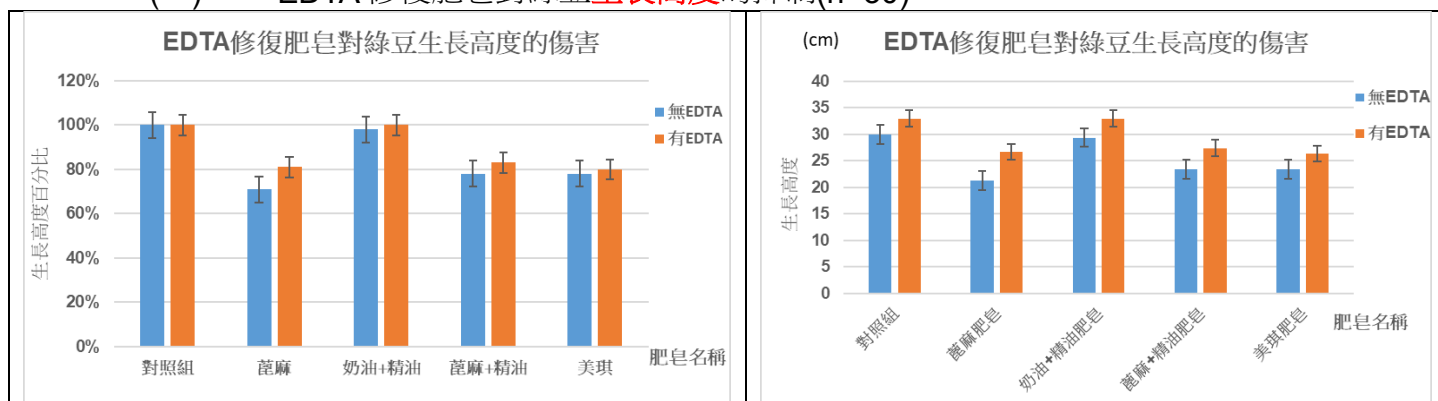
▼表 15. 不同肥皂對植物氣孔開闔的影響

肥皂	對照組	奶油	棕櫚	蓖麻	奶油+精油	棕櫚+精油	蓖麻+精油	去汙	美琪	無患子
氣孔開闔率	66.6%	33.3%	20.0%	33.3%	62.5%	28.6%	10.0%	83.3%	66.6%	11.1%

我們想探討肥皂對保衛細胞的閉闔情形，探討何種肥皂可使保衛細胞氣孔打開率最低，觀察十種不同肥皂水溶液使氣孔閉闔的情形並比較。由實驗結果(表 15)得知：蓖麻+精油水溶液可使植物的氣孔打開率相較於對照組降至 10%。

## 二、探討 EDTA 修復肥皂對綠豆的傷害

### (一)、EDTA 修復肥皂對綠豆生長高度的抑制(n=30)



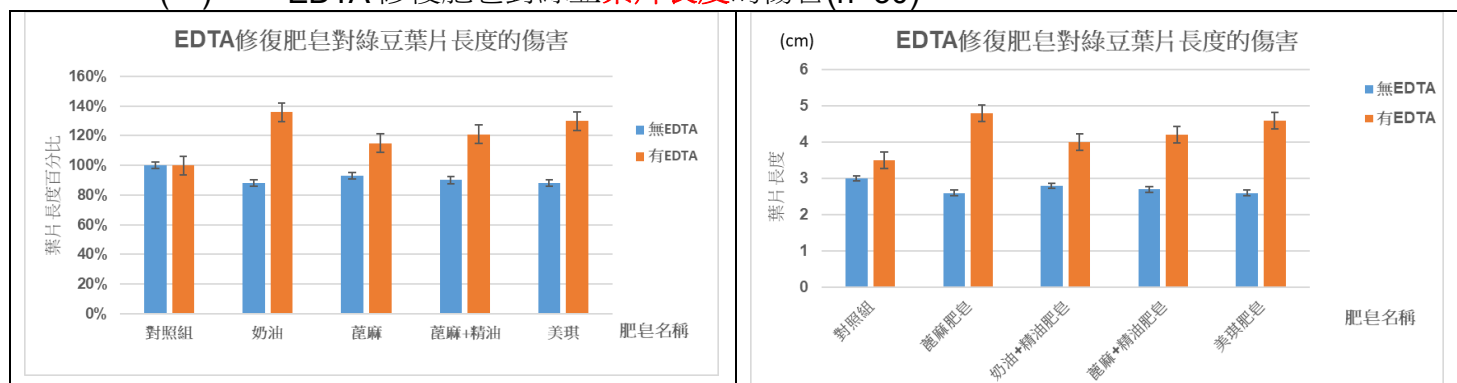
▲圖 16. EDTA 修復肥皂對綠豆生長高度的傷害

▼表 16. EDTA 修復肥皂對綠豆生長高度的傷害

肥皂	對照組	蓖麻肥皂	奶油+精油肥皂	蓖麻+精油肥皂	美琪肥皂
無 EDTA 生長高度%	30cm (100%)	21.3cm (71%)	29.4cm (98%)	23.4cm (78%)	23.4cm (78%)
有 EDTA 生長高度%	33cm (100%)	26.7cm (81%)	33cm (100%)	27.4cm (83%)	26.4cm (80%)

實驗結果我們發現，栽種在蓖麻肥皂盆栽裡，無 EDTA 的生長高度只有對照組 71%，有 EDTA 的生長高度卻有 81%，栽種在奶油+精油肥皂盆栽裡，無 EDTA 的生長高度只達到對照組 98%，有 EDTA 的生長高度卻有 100%，栽種在蓖麻+精油肥皂盆栽裡，無 EDTA 的生長高度只有對照組 78%，有 EDTA 的生長高度卻有 83%，栽種在美琪肥皂盆栽裡，無 EDTA 的生長高度只達到對照組 78%，有 EDTA 的生長高度卻有 80%，由實驗結果(圖 16.)得知：EDTA 修復蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪香皂對綠豆生長高度的傷害。

(二)、 EDTA 修復肥皂對綠豆葉片長度的傷害(n=30)



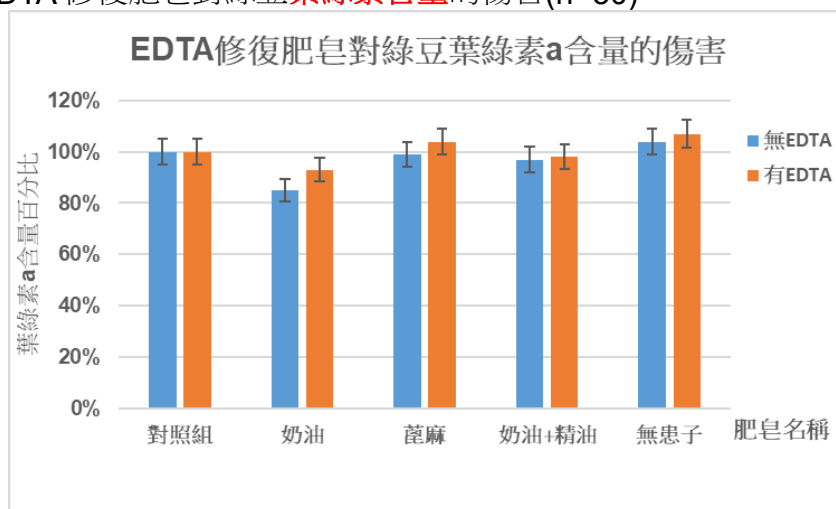
▲圖 17. EDTA 修復肥皂對綠豆葉片長度的傷害

▼表 17. EDTA 修復肥皂對綠豆葉片長度的傷害

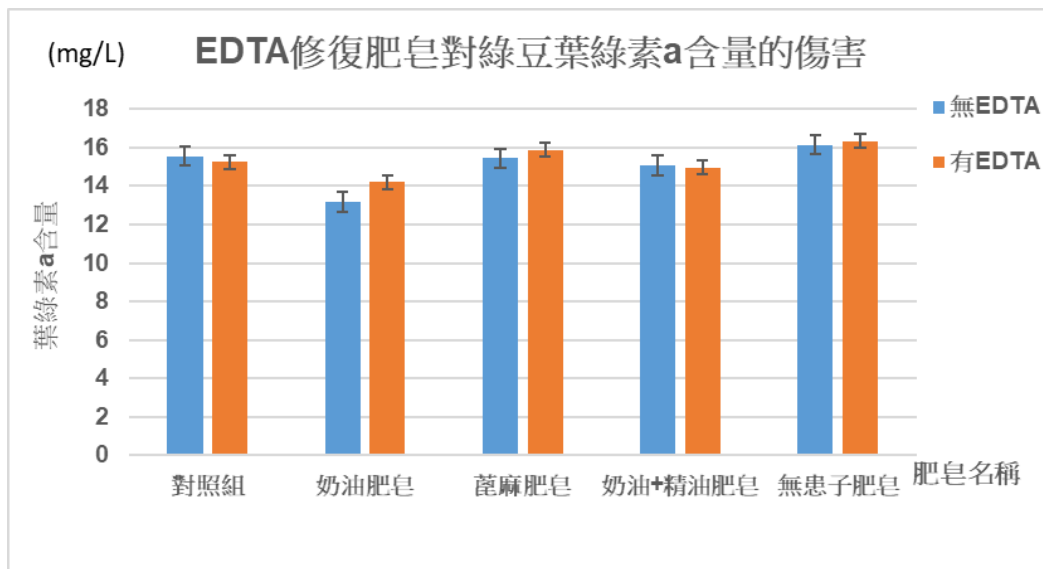
肥皂	對照組	蓖麻肥皂	奶油+精油肥皂	蓖麻+精油肥皂	美琪肥皂
無 EDTA 葉片長度%	3cm (100%)	2.6cm (88%)	2.8cm (93%)	2.7cm (90%)	2.6cm (88%)
有 EDTA 葉片長度%	3.5cm (100%)	4.8cm (136%)	4cm (115%)	4.2cm (121%)	4.6cm (130%)

實驗結果顯示，栽種在奶油肥皂盆栽裡，無 EDTA 的葉片長度只有對照組 88%，有 EDTA 的葉片長度卻有 136%，栽種在蓖麻肥皂盆栽裡，無 EDTA 的葉片長度只有對照組 93%，有 EDTA 的葉片長度有 115%，栽種在蓖麻+精油肥皂盆栽裡，無 EDTA 的葉片長度只有對照組 90%，有 EDTA 的葉片長度有 121%，栽種在美琪肥皂盆栽裡，無 EDTA 的葉片長度只達到對照組 88%，有 EDTA 的葉片長度卻有 130%。由實驗結果(圖 17.)得知：EDTA 會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂對綠豆葉片長度的傷害。

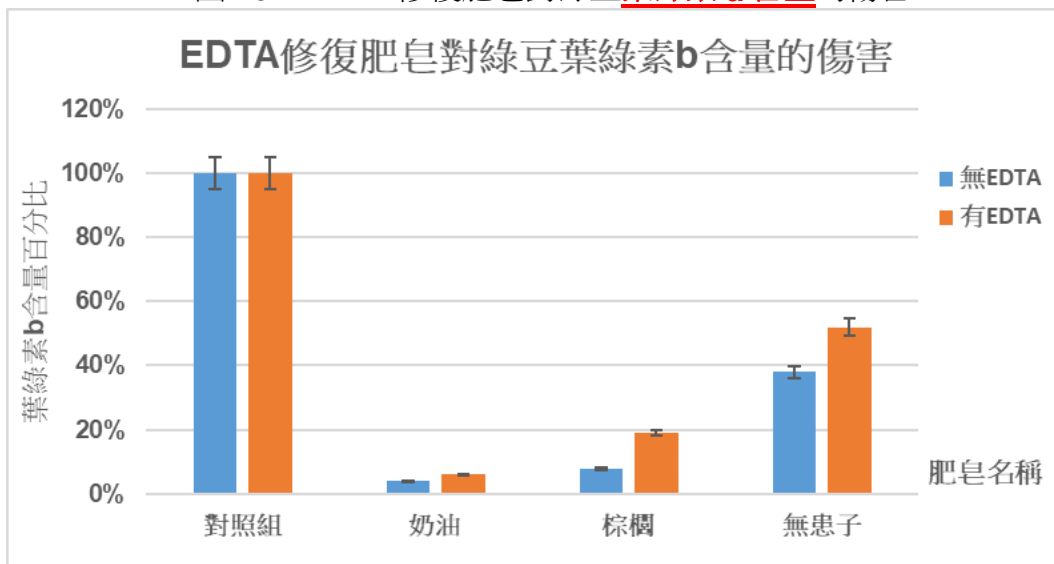
(三)、 EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素含量的傷害(n=30)



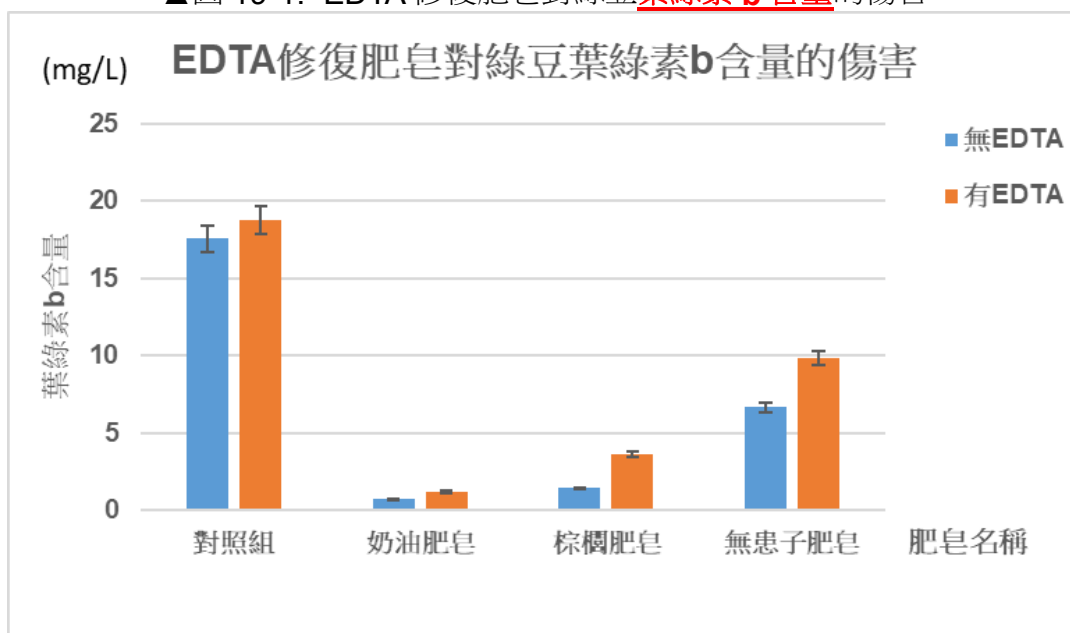
▲圖 18-1. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 a 含量的傷害



▲圖 18-2. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 a 含量的傷害



▲圖 19-1. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 b 含量的傷害



▲圖 19-2. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 b 含量的傷害



▼表 18. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 a 含量的傷害

肥皂	對照組	奶油肥皂	蓖麻肥皂	奶油+精油肥皂	無患子肥皂
無 EDTA	15.561(mg/L)	13.178(mg/L)	15.446(mg/L)	15.081(mg/L)	16.148(mg/L)
葉綠素 a 含量%	(100%)	(85%)	(99%)	(97%)	(104%)
有 EDTA	15.257(mg/L)	14.210(mg/L)	15.892(mg/L)	14.959(mg/L)	16.332(mg/L)
葉綠素 a 含量%	(100%)	(93%)	(104%)	(98%)	(107%)

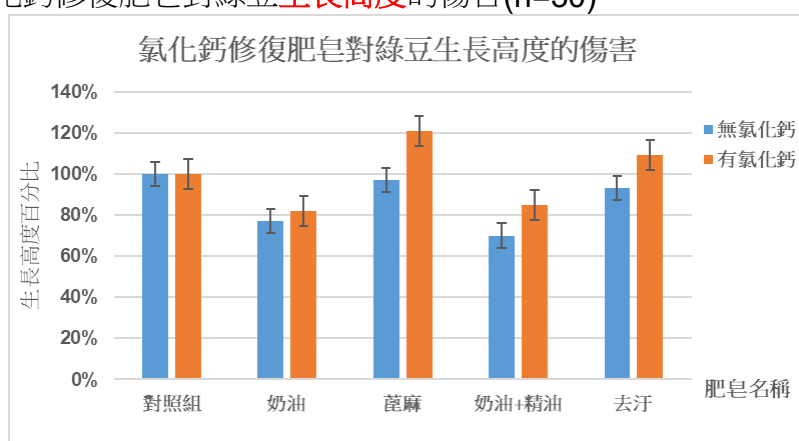
▼表 19. EDTA 修復肥皂對綠豆葉綠素 b 含量的傷害

肥皂	對照組	奶油肥皂	棕櫚肥皂	無患子肥皂
無 EDTA	17.563(mg/L)	0.694(mg/L)	1.399(mg/L)	6.654(mg/L)
葉綠素 b 含量%	(100%)	(4%)	(8%)	(38%)
有 EDTA	18.768(mg/L)	1.180(mg/L)	3.641(mg/L)	9.837(mg/L)
葉綠素 b 含量%	(100%)	(6%)	(19%)	(52%)

實驗結果顯示，栽種在奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、無患子肥皂的綠豆，無 EDTA 的葉綠素 a 含量只有對照組 85.00%、99.00%、97.00%、104.00%，有 EDTA 的葉綠素 a 含量卻達到對照組 93.00%、104.00%、98.00%、107.00%；栽種在奶油肥皂、棕櫚肥皂、無患子肥皂的綠豆，無 EDTA 的葉綠素 b 含量只有對照組 4.00%、8.00%、38.00%，有 EDTA 的葉綠素 b 含量卻達到對照組 6.00%、19.00%、52.00%，由實驗結果(圖 18-1.及圖 19-1.)得知：EDTA 會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 a 含量的抑制；EDTA 會修復奶油肥皂、棕櫚肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 b 含量的抑制。

### 三、探討氯化鈣對綠豆抗皂逆境能力的影響

(一)、 氯化鈣修復肥皂對綠豆生長高度的傷害(n=30)



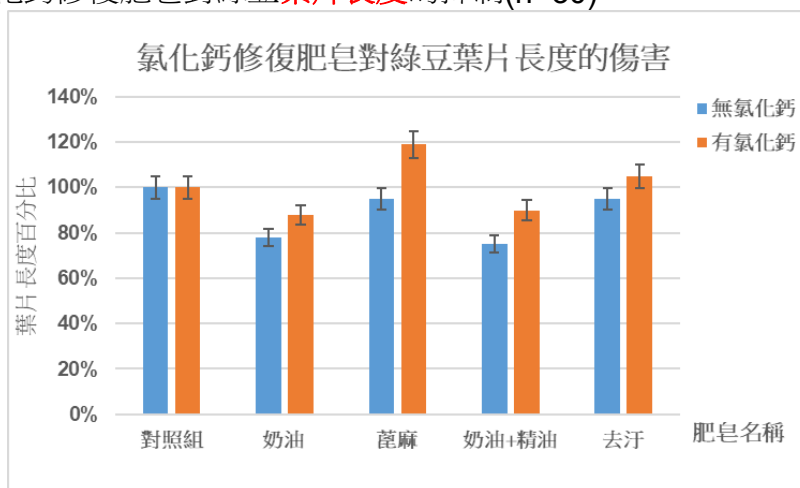
▲圖 20. CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆生長高度的傷害

▼表 20. CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆生長高度的傷害

肥皂	對照組	奶油肥皂	蓖麻肥皂	奶油+精油肥皂	去汗肥皂
無氯化鈣 生長高度%	15cm (100%)	11.5cm (77%)	14.5cm (97%)	10.5cm (70%)	14cm (93%)
有氯化鈣 生長高度%	17cm (100%)	14cm (82%)	20.5cm (121%)	14.5cm (85%)	18.5cm (109%)

實驗結果得知，栽種在奶油肥皂盆栽裡，無氯化鈣的生長高度只有對照組 77%，有氯化鈣的生長高度卻有 82%；栽種在蓖麻肥皂盆栽裡，無氯化鈣的生長高度只達到對照組 97%，有氯化鈣的生長高度卻有 121%；栽種在奶油+精油肥皂盆栽裡，無氯化鈣的生長高度只有對照組 70%，有氯化鈣的生長高度卻有 85%；栽種在去汙肥皂盆栽裡，無氯化鈣的生長高度只達到對照組 93%，有氯化鈣的生長高度卻有 109%。由實驗結果(圖 20.)得知：氯化鈣會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、去汙皂對綠豆生長高度的傷害。

(二)、 氯化鈣修復肥皂對綠豆葉片長度的抑制(n=30)



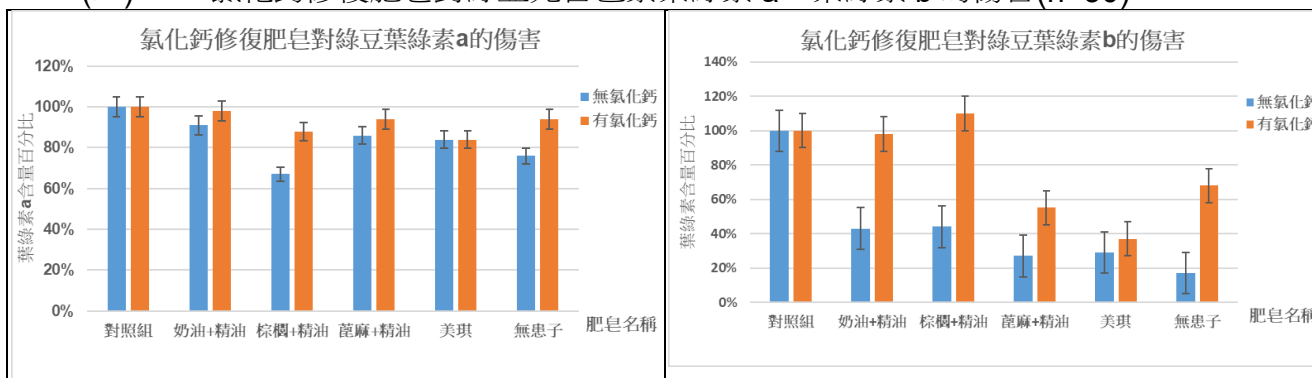
▲圖 21. CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆葉片長度的傷害

▼表 21. CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆葉片長度的傷害

肥皂	對照組	奶油肥皂	蓖麻肥皂	奶油+精油肥皂	去汙肥皂
無氯化鈣 葉片長度%	4cm (100%)	3.1 cm (78%)	3.8 cm (95%)	3 cm (75%)	3.8 cm (95%)
有氯化鈣 葉片長度%	4.2cm (100%)	3.7cm (88%)	5cm (119%)	3.8cm (90%)	4.4cm (105%)

實驗結果我們發現，栽種在奶油肥皂盆栽裡，無氯化鈣的葉片長度只有對照組 78%，有氯化鈣的葉片長度卻有 88%；栽種在蓖麻肥皂盆栽裡，無氯化鈣的葉片長度只達到對照組 95%，有氯化鈣的葉片長度卻有 119%；栽種在奶油+精油肥皂盆栽裡，無氯化鈣的葉片長度只有對照組 75%，有氯化鈣的葉片長度卻有 90%；栽種在去汙肥皂盆栽裡，無氯化鈣的葉片長度只達到對照組 95%，有氯化鈣的葉片長度卻有 105%。實驗結果(圖 21.)得知：氯化鈣會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、去汙皂對綠豆葉片長度的傷害。

(三)、 氯化鈣修復肥皂對綠豆光合色素葉綠素 a、葉綠素 b 的傷害(n=30)



▲圖 22. 氯化鈣修復肥皂對綠豆葉綠素 a 的傷害

▲圖 23. 氯化鈣修復肥皂對綠豆葉綠素 b 的傷害




▼表 22.氯化鈣修復肥皂對綠豆葉綠素 a/b 的傷害




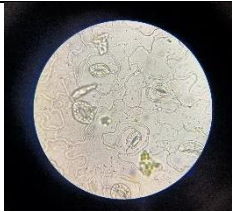


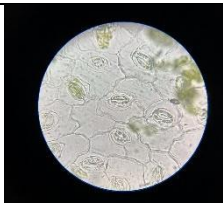
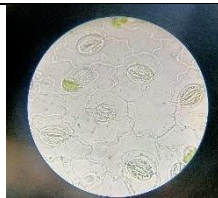



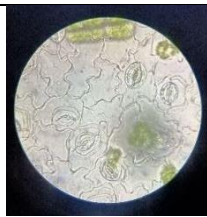



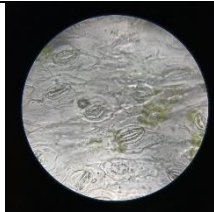


肥皂	對照組	奶油+精油肥皂	棕櫚+精油肥皂	蓖麻+精油肥皂	美琪肥皂	無患子肥皂
無氯化鈣 葉綠素 a 含量%	17.827(mg/L) (100%)	16.283(mg/L) (91%)	11.937(mg/L) (67%)	15.415(mg/L) (86%)	14.909(mg/L) (84%)	13.576(mg/L) (76%)
有氯化鈣 葉綠素 a 含量%	18.495(mg/L) (100%)	18.198(mg/L) (98%)	16.245(mg/L) (88%)	17.298(mg/L) (94%)	15.556(mg/L) (84%)	17.403(mg/L) (94%)
無氯化鈣 葉綠素 b 含量%	14.322(mg/L) (100%)	6.904(mg/L) (43%)	6.233(mg/L) (44%)	3.863(mg/L) (27%)	4.188(mg/L) (29%)	2.479(mg/L) (17%)
有氯化鈣 葉綠素 b 含量%	10.33(mg/L) (100%)	10.16(mg/L) (98%)	11.38(mg/L) (110%)	5.64(mg/L) (55%)	3.87(mg/L) (37%)	7.05(mg/L) (68%)










實驗結果得知，栽種在奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂的綠豆，無氯化鈣的葉綠素 a 含量只有對照組 91.00%、67.00%、86.00%、84.00%、76.00%，葉綠素 b 含量只有對照組 43.00%、44.00%、27.00%、29.00%、17.00%；有氯化鈣的葉綠素 a 含量卻達到對照組 98.00%、88.00%、94.00%、84.00%、94.00%，葉綠素 b 含量卻達到對照組 98.00%、110.00%、55.00%、37.00%、68.00%，由此得知氯化鈣修復奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 a 含量的抑制；氯化鈣修復奶油加精油肥皂、棕櫚加精油肥皂、蓖麻加精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 b 含量的抑制。由實驗結果(圖 22.及圖 23.)得知：氯化鈣會修復奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 a 的傷害；氯化鈣會修復奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素 b 的傷害。

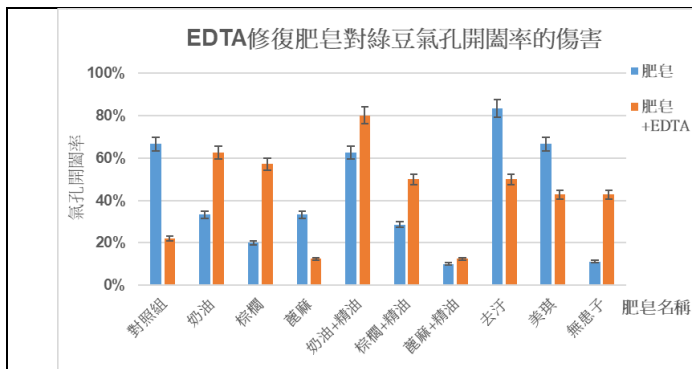
四、EDTA、CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆保衛細胞的傷害(n=30)

▼表 23. 不同肥皂對綠豆氣孔打開率的影響

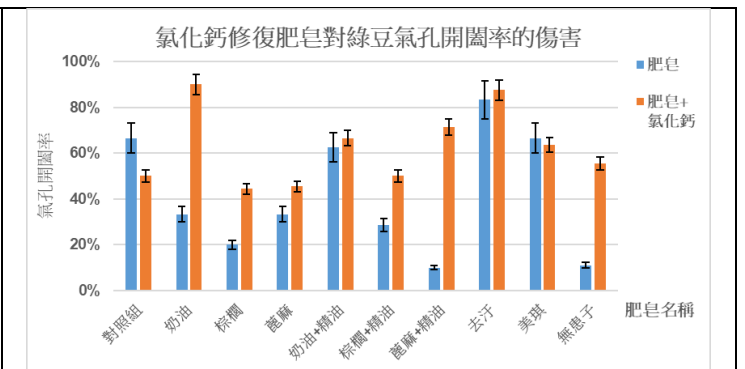
氣孔打開率(第十四天)			
肥皂	con	EDTA	氯化鈣
con			
	氣孔開合率 66.6%	氣孔開合率 22.2%	氣孔開合率 50.0%

奶油			
	氣孔開合率 33.3%	氣孔開合率 62.5%	氣孔開合率 90.0%
棕櫚			
	氣孔開合率 20.0%	氣孔開合率 57.2%	氣孔開合率 44.4%
蓖麻			
	氣孔開合率 33.3%	氣孔開合率 12.5%	氣孔開合率 45.5%
奶油+ 精油			
	氣孔開合率 62.5%	氣孔開合率 80.0%	氣孔開合率 66.6%
棕櫚+ 精油			
	氣孔開合率 28.6%	氣孔開合率 50.0%	氣孔開合率 50.0%
蓖麻+ 精油			
	氣孔開合率 10.0%	氣孔開合率 12.5%	氣孔開合率 71.4%

去汙			
	氣孔開合率 83.3%	氣孔開合率 50.0%	氣孔開合率 87.5%
美琪			
	氣孔開合率 66.6%	氣孔開合率 42.8%	氣孔開合率 63.6%
無患子			
	氣孔開合率 11.1%	氣孔開合率 42.8%	氣孔開合率 55.5%



▲圖 24. EDTA 修復肥皂對綠豆氣孔開關的傷害



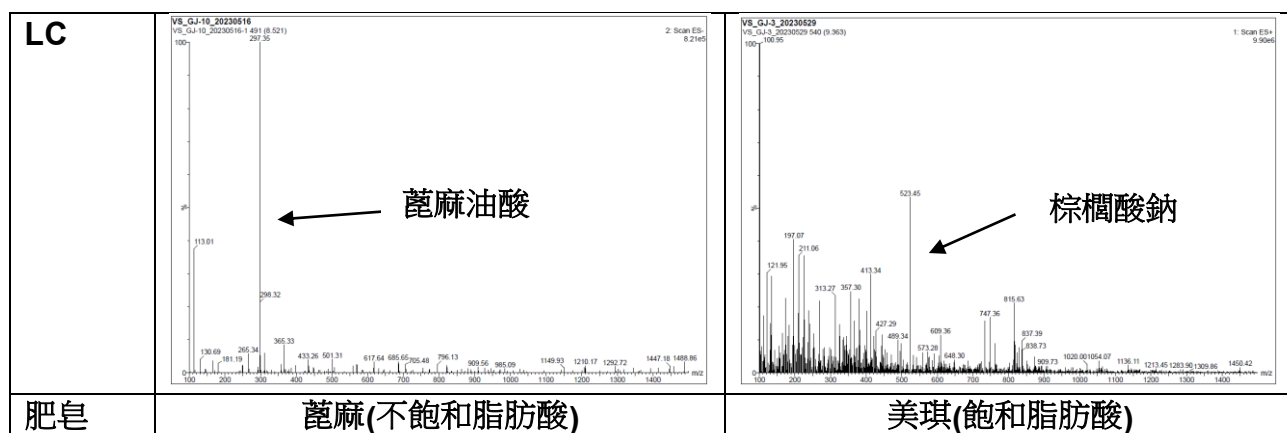
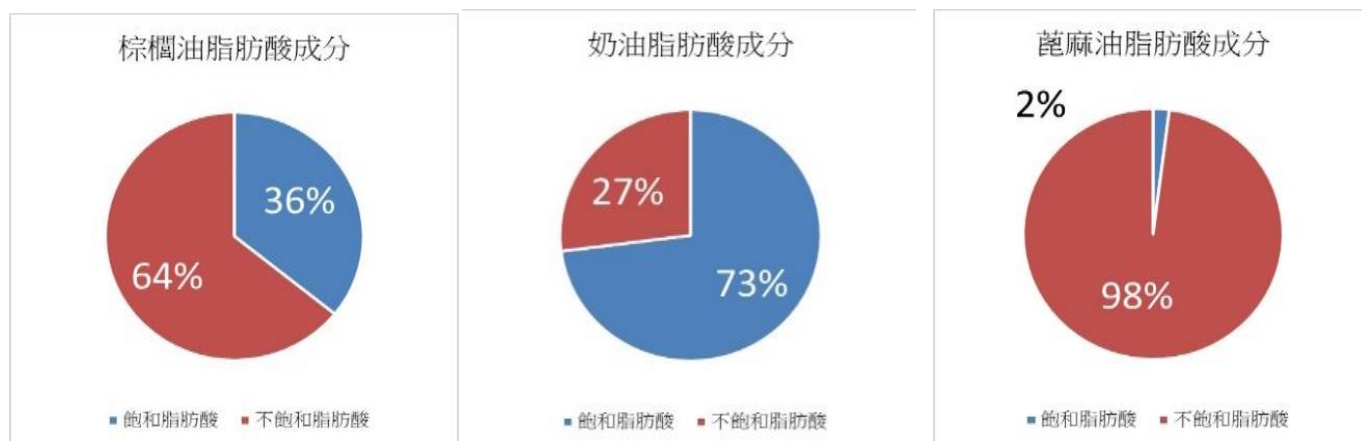
▲圖 25. CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對綠豆氣孔開關的傷害

實驗結果顯示，栽種在奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂的綠豆的氣孔開啟率只有對照 50.0%、30.0%、50.0%、94.0%、34.0%、15.0%，有 EDTA 的氣孔開啟率卻達到對照組 282.0%、258.0%、56.0%、94.0%、43.0%、15.0%；有氯化鈣的氣孔開啟率卻達到對照組 180.0%、89.0%、91.0%、133.0%、100.0%、143.0%。由此得知 EDTA 及氯化鈣能夠修復奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂對綠豆的氣孔開啟率的抑制。由實驗結果(圖 24.及圖 25.)得知：EDTA 能夠修復奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂對綠豆的氣孔開啟率的傷害；氯化鈣能夠修復奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂對綠豆的氣孔開啟率的傷害。

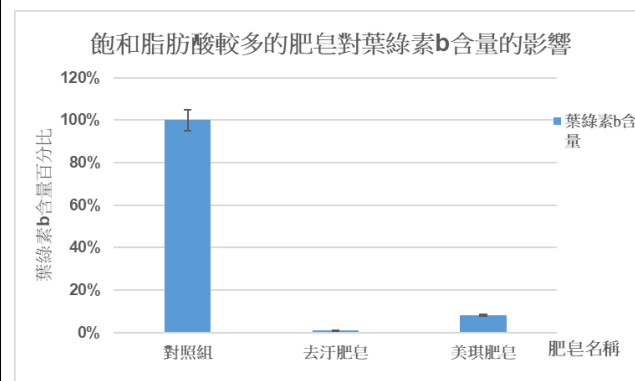
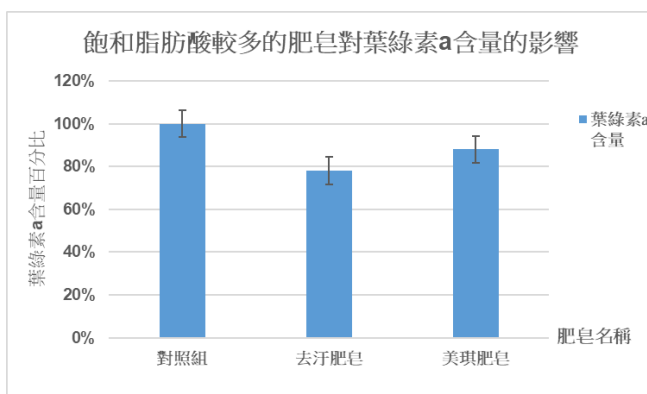
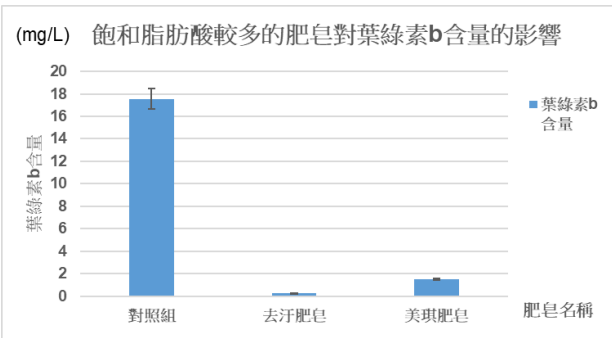
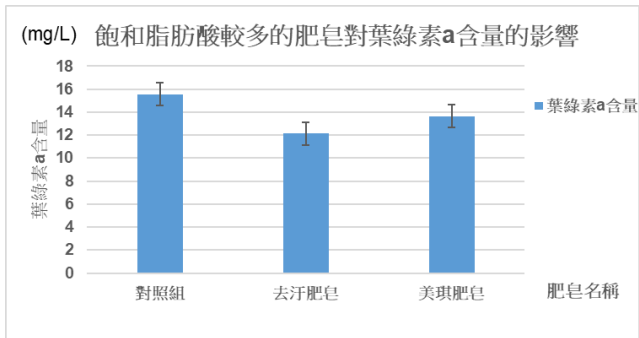
五、不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆生長抑制效果越顯著。

▼表 24. EDTA、CaCl<sub>2</sub> 修復肥皂對植物氣孔開關的影響

氣孔開闔率	對照組	奶油	棕櫚	蓖麻	奶油+ 精油	棕櫚+ 精油	蓖麻+ 精油	去汙	美琪	無患子
肥皂	66.6%	33.30%	20.00%	33.30%	62.50%	28.60%	10.00%	83.30%	66.60%	11.10%
肥皂+EDTA	22.20%	62.50%	57.20%	12.50%	80.00%	50.00%	12.50%	50.00%	42.80%	42.80%
肥皂+CaCl <sub>2</sub>	50.00%	90.00%	44.40%	45.50%	66.60%	50.00%	71.40%	87.50%	63.60%	55.50%



▲圖 27.各種油脂肪酸比例



▲圖 28.不同肥皂對綠豆葉綠素 a 含量的影響

▲圖 29. 不同肥皂對葉綠素 b 含量的影響

▼表 25. 肥皂成分

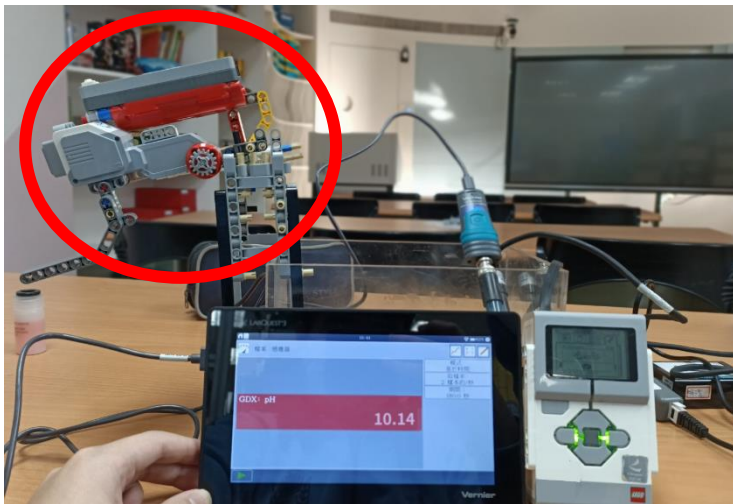
(不飽和脂肪酸)					
去汙	0%	棕櫚油酸鈉 (飽和脂肪酸)	棕櫚仁油酸鈉 (飽和脂肪酸)		
美琪	0%	棕櫚酸鈉 (飽和脂肪酸)	硬脂酸鈉 (飽和脂肪酸)	月桂酸鈉 (飽和脂肪酸)	
棕櫚油	40%	油酸(C18:1)39% (不飽和脂肪酸)	亞麻油酸 (C18:2)11% (不飽和脂肪酸)	棕櫚酸(C16:0)44% (飽和脂肪酸)	硬脂酸(C18:0)4% (飽和脂肪酸)
奶油	30.61%	油酸(18.72%) (不飽和脂肪酸)	亞油酸(1.62%) (不飽和脂肪酸)	亞麻酸(0.72%) (不飽和脂肪酸)	共軛亞油酸(9.55%) (不飽和脂肪酸)
		丁酸(1.95%) (飽和脂肪酸)	短鏈脂肪酸(7.98%) (飽和脂肪酸)	中鏈脂肪酸(55.82%) (飽和脂肪酸)	長鏈脂肪酸 (36.18%)
蓖麻油	97%	蓖麻油酸(87%) (不飽和脂肪酸)	油酸(7%) (不飽和脂肪酸)	亞油酸 (3%) (不飽和脂肪酸)	
		棕櫚酸 (2%) (飽和脂肪酸)	硬脂酸 (1%) (飽和脂肪酸)		

抑制生長較為明顯的蓖麻肥皂，同時也具有較高的不飽和脂肪酸成分，由實驗結果得知當不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆葉綠素抑制效果越顯著(圖 28.及圖 29.)。

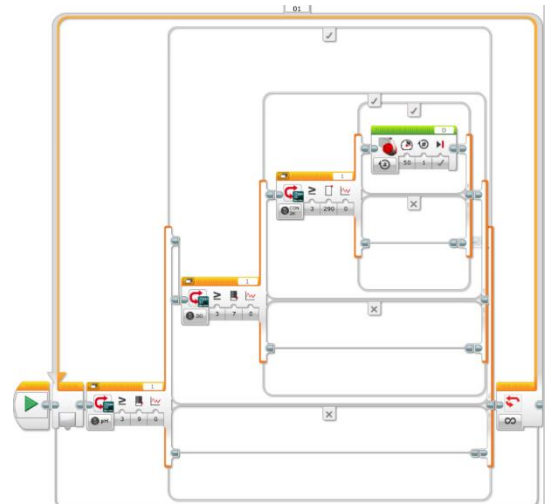
## 五、植物營養自動補充機修復肥皂對綠豆的傷害

▼ 表 26. 環境水質監測表

	對照組	奶油	棕櫚	蓖麻	奶油+精油	棕櫚+精油	蓖麻+精油	去汙	無患子	美琪
導電度 (μs/cm)	88.05	293.3	289.7	290.5	292	285.5	290.5	285.1	273.1	284.8
pH 值	6.8	10.15	10.32	9.46	10.37	10.26	9.1	10.38	10.13	10.25
溶氧量 (mg/L)	8.36	7.4	8.8	7.01	9.16	8.78	8.45	9.29	8.97	8.76



▲圖 30. 自製植物營養自動補充機  
(紅框為投藥裝置)



▲圖 31. 自製植物營養自動補充機  
程式

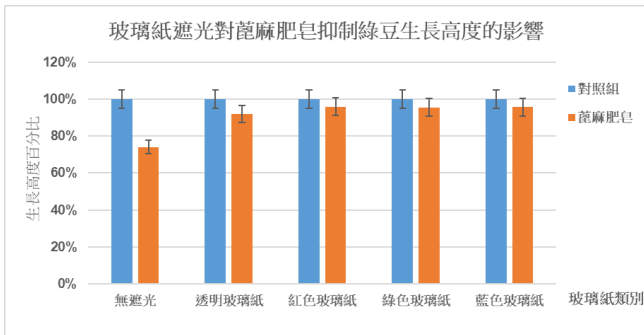
我們設計了一款植物營養自動補充機在模擬土地的盆栽邊緣插入 **vernier** 感測器，監控土壤的導電度、pH 值與溶氧量。當數值超過標準正常值時，會將數據傳送給 **EV3** 主機，接著 **EV3** 主機會操控馬達進行投藥，將鈣劑自動灑在土壤表面。(正常值：PH 值：5 ~ 7、溶氧量：8.47 mg/L ~ 7.26 mg/L、導電度：1000μs/cm ~ 100μs/cm，三者之一超出範圍時加入藥劑)。植物營養自動補充機會修復肥皂不飽和脂肪酸對綠豆的傷害。

## 陸、討論

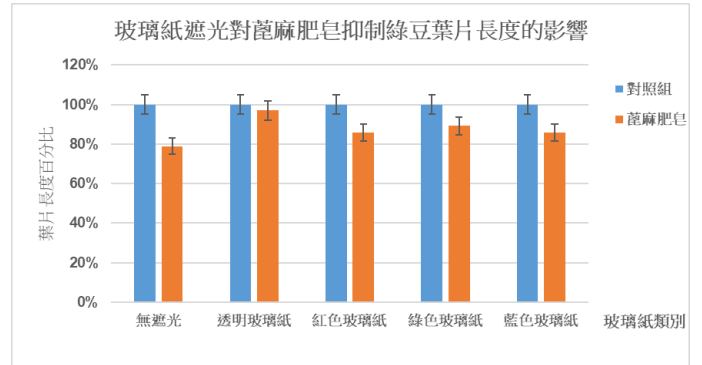
一、在不同的光線環境之下，蓖麻肥皂依然會造成綠豆的生長高度及葉片長度減少，降低光合色素含量。

為了證明綠豆在不同光照條件下，蓖麻肥皂依然會有抑制的綠豆生長狀況的效果，我們同時也探討了植物在受到遮光時的影響，且比較了遮光及肥皂對植物生長情形的影響。

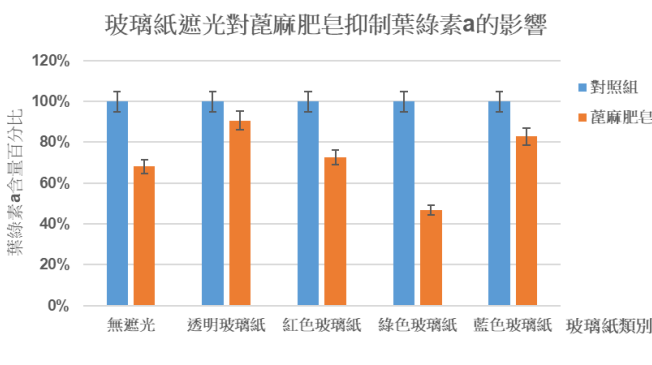




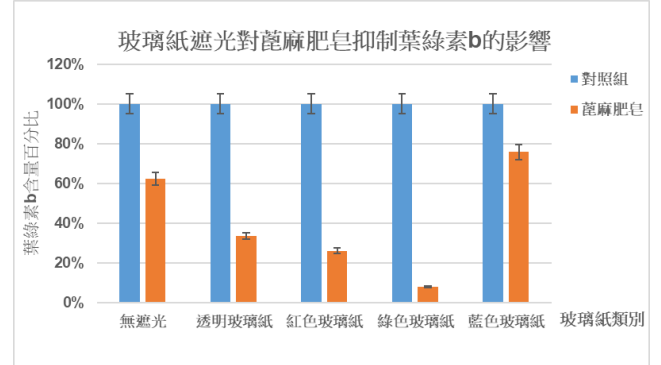
▲圖 32. 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆生長高度的影響(n=20)



▲圖 33. 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉片長度的影響(n=20)



▲圖 34. 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉綠素 a 的影響(n=20)



▲圖 35. 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉綠素 b 的影響(n=20)



▲圖 36. 不同光線對綠豆生長的影響

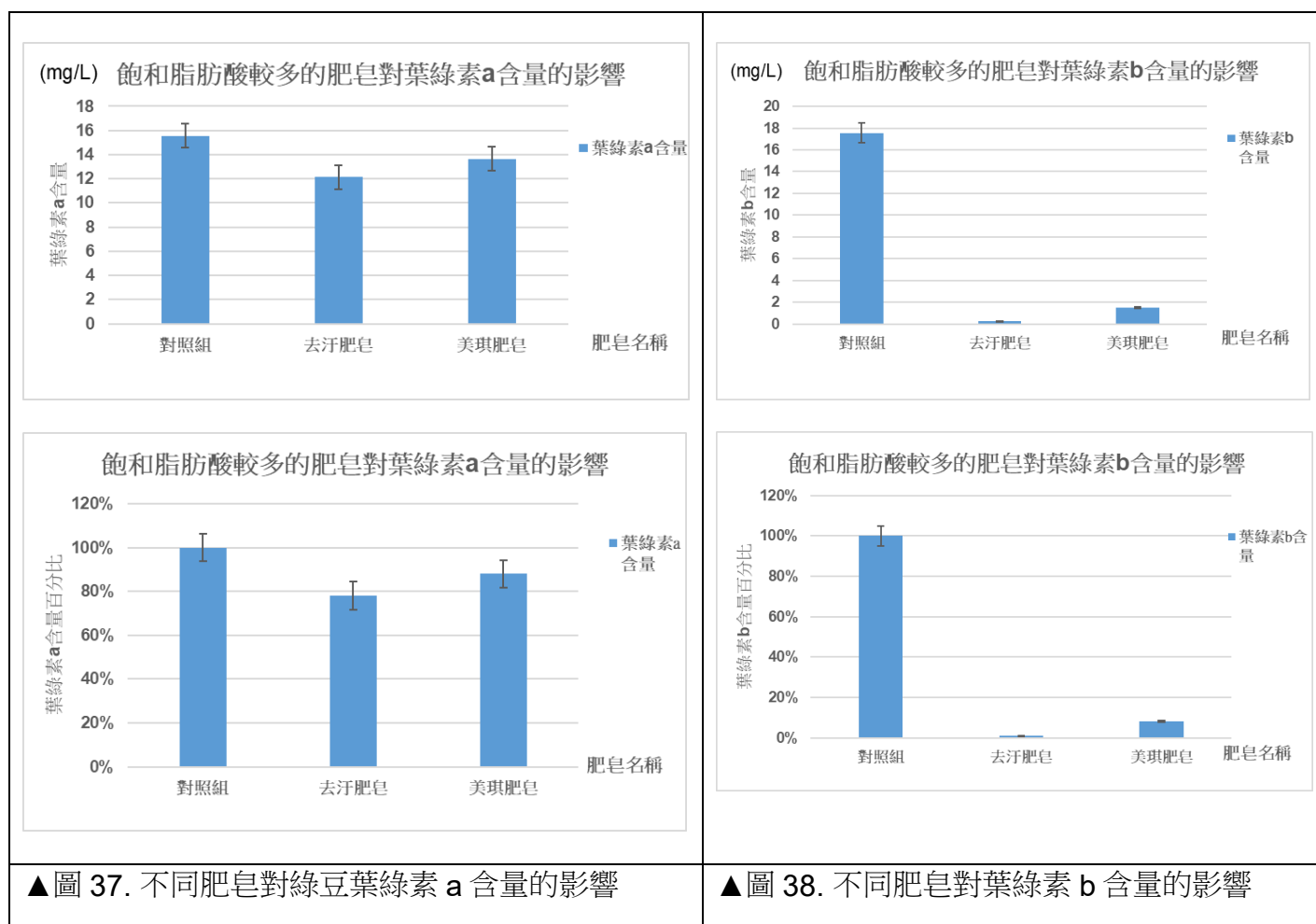
在此時實驗中，我們將未澆灌肥皂水的組別設為對照組，比較在不同遮光環境下綠豆生長的情形。由實驗結果我們能夠得知在遮光的影響下，對照組遮光的生長率是受到抑制的，卻在蓖麻肥皂遮光的部份，促進了綠豆的生長率；在葉綠素 a 的部份，對照組遮光受到抑制，蓖麻肥皂遮光則是提升含量；在葉綠素 b 的部份，對照組+綠色遮光是對照組 62.5%，蓖麻肥皂+藍色遮光是蓖麻肥皂 19.2%；在氣孔開合率，種植在對照組+藍色遮光只有 20.0%，種植在蓖麻肥皂+藍色遮光只有 23.1%。高等植物葉綠素合成葉綠體形成以及具有高葉綠素 a/b 比例、類胡蘿蔔素的植物，葉綠體都需要藍光。(群能科技，2016)。根據此實驗結果，可以確定即使在不同的光線環境之下，蓖麻肥皂依然會造成綠豆的生長高度及葉片長度減少，降低光合色素 a/b 含量。

二、 不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆生長抑制效果越顯著。

▼表 27.各種油脂肪酸比例

	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸
奶油	73%	27%
棕櫚	36%	64%
蓖麻	2%	98%

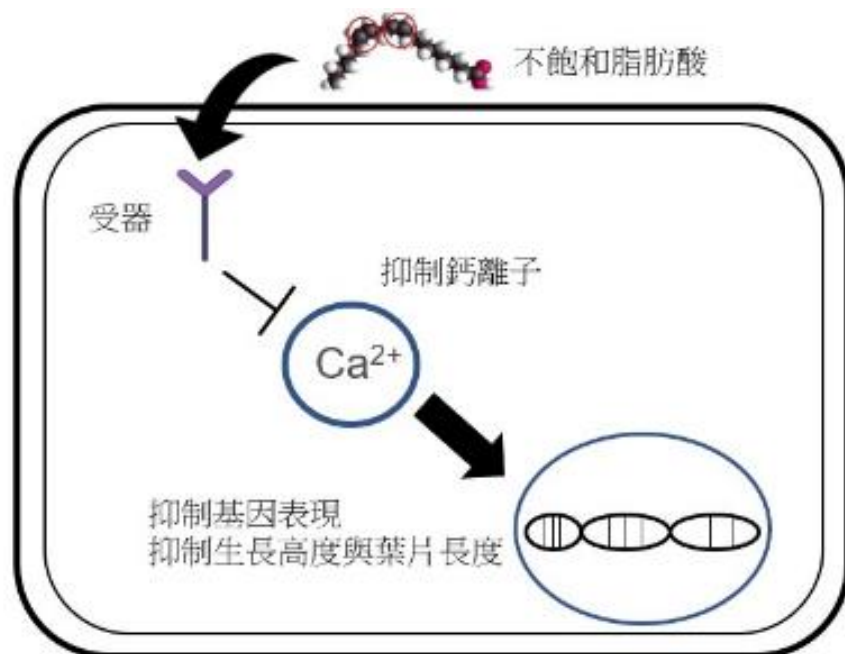
我們分析了這幾種肥皂之間的相異之處，抑制生長較為明顯的蓖麻肥皂，同時也具有較高的不飽和脂肪酸成分，因此我們推測當**不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆生長抑制效果越顯著**。此外，我們透過市售肥皂的成分表發現以下現象：



據文獻資料顯示，抑制較為嚴重的去汗香皂可能所含飽和脂肪酸成分較美琪皂低，故可再次驗證當**飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆葉綠素 a/b 合成抑制效果越不顯著**。部分不飽和脂肪酸刺激了外生菌根菌絲體的生長，影響植物生長。(薛建輝、王智、呂祥生，2002)。培養狀態下細菌的比例高於自然狀態下細菌的比例，培養環境中飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸摩爾百分比的比值遠高於自然狀態下的(吳昊，2012)。加入精油的肥皂與未加入精油的肥皂相較之下，加入精油的肥皂對於綠豆生長狀況的抑制程度較小。因此我們也推測，精油能夠提升綠豆對肥皂逆境的能力。使用植物精油後作物抵抗逆境脅迫的能力有所提高。(錢嘉怡、陳劍、張靜、劉曉、王春雷，2020)。

### 三、 植物機制

依據本實驗研究結果，我們推論綠豆在受到不飽和脂肪酸刺激時，抑制鈣離子生長因子，造成基因表現遭抑制，抑制了綠豆生理表現，例如：發芽率降低、抑制生長高度、抑制葉片長度、抑制葉綠素 a/b 含量及抑制氣孔開合率的植物機制。Ca 離子對植物不僅僅是一種大量營養元素,更重要的是作為偶連胞外信號與胞內生理生化反應的第二信使,作為植物代謝和發育的主要調控者。(龔明、李英、曹宗巽，1990)。



▲圖 39. 植物機制圖(作者自繪)

### 柒、結論

根據我們的實驗數據，整理出以下的結論：

- **結論 1：肥皂中的不飽和脂肪酸會影響綠豆發芽率、生長高度、葉片長度、葉綠素 a/b 合成、氣孔開啟率。**

我們以上的實驗結果可以發現，肥皂是會對植物的生長造成影響，不飽和脂肪酸含量高的肥皂較飽和脂肪酸含量高的肥皂抑制綠豆生理表現抑制效果較明顯。除了會抑制生長高度、發芽率以及植物保衛細胞開闔外，這些受到影響的植物也會同時也會抑制生長

- **結論 2：EDTA 可以修復肥皂中不飽和脂肪酸對綠豆生長造成的傷害**

由文獻探討知道，添加螯合劑可大幅提升植物根部重金屬吸收，我們實驗發現添加 EDTA 螯合劑修復肥皂水對綠豆生長的傷害。EDTA 螯合劑添加提升土壤重金屬銅鋅污染植生復育成效(葉琮裕、潘京澤、蔡俊杰、林依鈴，2010)。

- **結論 3：氯化鈣可以修復肥皂中不飽和脂肪酸對綠豆生長造成的傷害**

我們研究結果中發現，綠豆能感受鈣離子濃度變化，由於肥皂不飽和脂肪酸會抑制綠豆生理表現，我們可改變其生長發育環境的鈣離子濃度來應對肥皂水污染問題，進而提升綠豆的生長能力。

- **結論 4：自製植物營養自動補充機會改變土壤環境，修復肥皂不飽和脂肪酸對綠豆生長的傷害。**

我們設計了一款植物營養自動補充機。在模擬土地的盆栽邊緣插入 vernier 感測器，監控土壤的**導電度、pH 值與溶氧量**。當數值超過正常範圍時，會將數據傳送給 EV3 主機，接著 EV3 主機會操控馬達進行投藥，將鈣劑自動灑在土壤表面。可以有效改善受到肥皂污染的土地，當肥皂滲入土壤後會使土壤的水質劣化，我們進而使用這項特質來偵測是否受到肥皂的污染。當污染程度超出一定數值的時候，會灑上鈣劑，用來改善受污染的土地。

## 捌、未來展望

我們研究結果中發現，綠豆能感受鈣離子濃度變化，由於肥皂不飽和脂肪酸會抑制綠豆生理表現，我們可改變其生長發育環境來應對肥皂水污染問題，進而提升綠豆的生長能力，期待未來我們能將研究結果運用於農業分子生物學研究，藉此提升作物的環境耐受性，減少因環境變遷所帶來的農業損失，進而提升農業農作物生產量。

## 玖、參考文獻

- 一、高景輝 (2005) *植物生理分析技術*。臺北市：五南。
- 二、陳敬文、蕭崇彥、陳昱丞(2020)。「醛」面啟動—探討肉桂醛提升綠豆耐鹽能力的機制。臺南市：天主教私立德光高級中學(附設國中)。
- 三、李家翔、吳湧波、彭鬱涵(2021)。洞築先機—探討預先戳洞提升綠豆耐鹽能力。臺南市：天主教私立德光高級中學(附設國中)。
- 四、張致盛、張林仁(2005)。溶劑萃取果樹葉片葉綠素之研究
- 五、Knudson, L., T. W. Tibbitts and G. E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. *Plant Physiol.* 60:606-608
- 六、高雄市立小港醫院。選對烹調用油--乎你的油沒“堅凍”。民國一一二年一月二十九日星期日。取自：  
[https://www.kmhc.org.tw/affairs/7500\\_file/images/book/book\\_1/book\\_2.htm](https://www.kmhc.org.tw/affairs/7500_file/images/book/book_1/book_2.htm)
- 七、薛建輝、王智、呂祥生 (1990)。林木根系與土壤環境相互作用研究綜述
- 八、錢嘉怡、陳劍、張靜、劉曉、王春雷 (2020)。植物精油對土壤修復和梨苗生長的影響
- 九、群能科技(2016)。**【技術專欄】植物照明小知識：影響植物生長。**
- 十、吳昊(2012)。長白山區不同森林群落中土壤微生物群落組成及其與土壤養分的關係，中國：東北師範大學
- 十一、葉琮裕、潘京澤、蔡俊杰、林依鈴 (2010)。EDTA、DTPA、EDDS 及檸檬酸四種螯合劑添加提升土壤重金屬銅鋅污染植生復育成效研析。
- 十二、徐善德、廖玉琬 (2023)。 *植物生理學*。台北市：偉明圖書有限公司。p70 -71.

## 【評語】 052107

1. 本研究利用不同肥皂與綠豆的關係來探討脂肪酸對植物生長的影響，藉由栽種的綠豆盆栽作為環境模擬因子，模擬脂肪酸參雜在土壤後，探討其對植物的生長情形、葉綠素、氣孔開闔率的變化。
2. 本研究以自製肥皂水參雜在土壤後探討是否影響植物生長，如何能準確控制不飽和脂肪酸在土壤中被維持的量及被植物吸收的量，須有較精確的實驗加以支持。
3. 本研究只做綠豆，可進一步在其他植物上重複實驗，以驗證結果。

## 作品海報

# 「皂」化弄豆

探討肥皂對綠豆生長影響及因應對策

# 摘要

作者利用不同肥皂對綠豆的影響，探討脂肪酸對植物造成的壓力。藉由栽種的綠豆盆栽為實驗模式，模擬脂肪酸參雜在土壤後觀察植物的生長情形、葉綠素、氣孔開闔率的變化。研究結果顯示，不飽和脂肪酸含量高的肥皂會對於植物體的生長情形產生較明顯的壓力，添加 EDTA 及氯化鈣能修復肥皂對植物體造成的生長傷害。本研究研發「植物營養自動補充機」，使用 EV3 作為控制程式，監控植物生長環境，以水質的三個因子為監測對象：導電度(μS/cm)、酸鹼值(pH)、溶氧量(mg/L)，監控到水質低於下限或高於上限時，透過自動加藥方式 (EDTA及氯化鈣) 做出回應，自動改善植物水質生長環境。

# 研究動機

我曾經在課程當中學過肥皂是由油脂及氫氧化鈉經過皂化反應形成，同時也學習到不飽和脂肪酸容易在氧氣及溫度變化下產生化學反應，且家用清潔劑是重要都會廢水污染源。因此我想要利用近年興起的手工皂製作，透過搭配不同種油的皂化反應的方式，來找出對植物環境友善、生理負擔最小的脂肪酸鈉配方，以利人與生態環境之永續發展。

# 研究目的

利用不同肥皂對綠豆的影響，模擬不飽和脂肪酸含量對植物造成的壓力，探討 EDTA 與氯化鈣修復肥皂對綠豆的傷害可能性，研發「植物營養自動補充機」自動改善植物生長環境。

# 實驗方法與流程

## 一、製作手工肥皂水溶液

- 1.將50g椰子油與150g自選油混合均勻
- 2.調配80g 30%氫氧化鈉水溶液
- 3.將兩種溶液混合在一起
- 4.將溶液攪拌至皂化
- 5.放置1個月
- 6.脫模並配置0.5%水溶液

## 二、綠豆種植

- 1.在盆中置入10顆綠豆，實驗進行三重覆
- 2.待發芽之後，每日澆灌
  - 15ml0.5%肥皂水
  - 7.5ml0.5%肥皂水+7.5ml10mmolEDTA
  - 7.5ml0.5%肥皂水+7.5ml10mmol氯化鈣
- 3.第十四天時，測量其平均生長高度、平均葉片長度、光合色素含量，計算氣孔開闔率

## 三、葉綠素測定

- 1.取葉片5g
  - 2.使用95%的乙醇研磨成漿
  - 3.進行過濾
  - 4.取得濾液
  - 5.公式換算(公式引用自LINDA et al. 1977)
- 公式：葉綠素a含量=(13.70)(A665nm)-(5.76)(A649nm)  
葉綠素b含量=(25.80)(A649nm)-(7.60)(A665nm)

## 四、氣孔開闔率計算

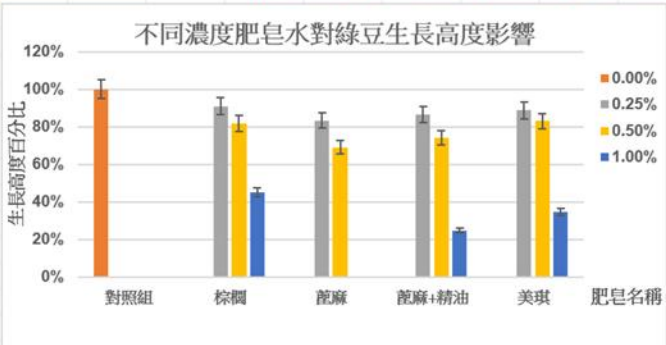
計算公式：
$$\frac{\text{開啟的氣孔數}}{\text{所有的氣孔數}} \times 100\%$$

# 結果與討論

## 一、不同濃度肥皂對綠豆生長高度及葉片長度的影響

▼表一 不同濃度肥皂水抑制綠豆生長高度

生長高度(cm)	對照組	棕櫚	蓖麻	蓖麻+精油	美琪
肥皂濃度					
0.0%	29.53				
0.25%		26.91	24.64	25.55	26.23
0.5%		24.16	20.43	21.92	24.56
1%		13.36 (50% dead)	0 (100% dead)	7.33 (70% dead)	10.23 (60% dead)



▲圖七 不同濃度肥皂水對綠豆生長高度的抑制

## 二、不同肥皂對綠豆發芽率的影響

▼表三 肥皂抑制綠豆發芽率

照片	發芽率%	肥皂名稱
	100%	對照組
	83%	棕櫚肥皂
	83%	蓖麻肥皂
	66%	無患子肥皂

註：每盆種植十顆，實驗進行三重覆，取其發芽率平均值

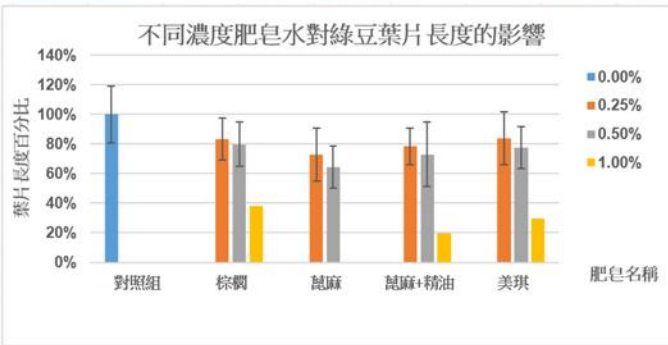
## 三、不同肥皂對綠豆生長高度的影響

▼表四 肥皂抑制綠豆生長高度

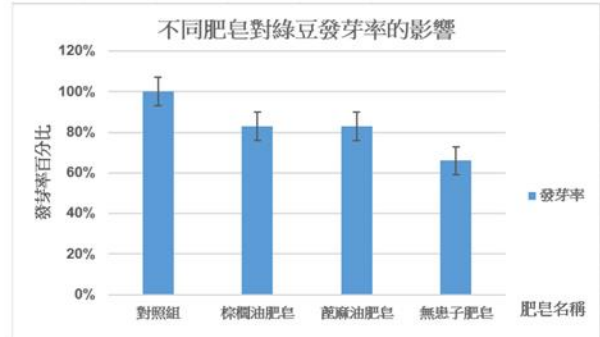
照片	生長高度%	肥皂名稱
	20.2cm (100%)	對照組
	12.9cm (64%)	蓖麻肥皂
	14.9cm (74.29%)	蓖麻精油肥皂
	25.1cm (125.71%)	無患子肥皂
	15cm (75.43%)	美琪肥皂
	30.7cm (100%)	對照組
	21.7cm (70.73%)	蓖麻肥皂
	22.8cm (74.29%)	蓖麻精油肥皂
	26.2cm (85.37%)	無患子肥皂
	23.9cm (78.05%)	美琪肥皂

▼表二 不同濃度肥皂水抑制綠豆葉片長度

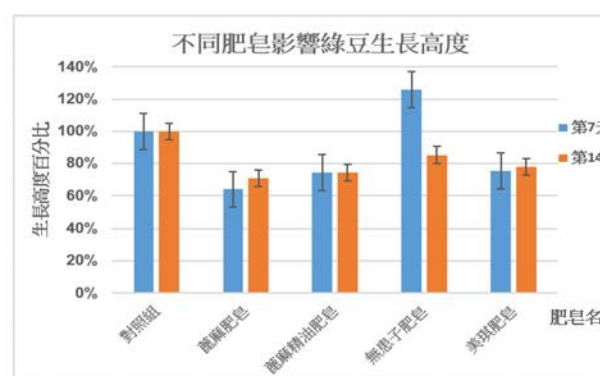
葉片長度(cm)	對照組	棕櫚肥皂	蓖麻肥皂	蓖麻+精油肥皂	美琪肥皂
肥皂濃度					
0.0%	4.98				
0.25%		4.56	3.97	4.28	4.57
0.5%		4.36	3.53	3.98	4.23
1%		2.07 (50% dead)	0 (100% dead)	1.09 (70% dead)	1.62 (60% dead)



▲圖八 不同濃度肥皂水對綠豆葉片長度的抑制



▲圖九 不同肥皂對綠豆發芽率的影響



▲圖十 不同肥皂對綠豆生長高度的影響

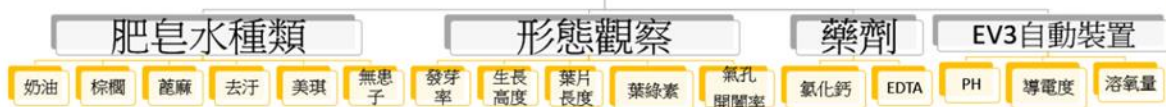
棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻加精油肥皂及美琪肥皂在濃度0.25%及0.5%會抑制綠豆的葉片長度，在濃度1%會造成綠豆死亡，本實驗選用濃度0.5%肥皂水做以下實驗。

棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、無患子肥皂會對綠豆生長高度造成影響。

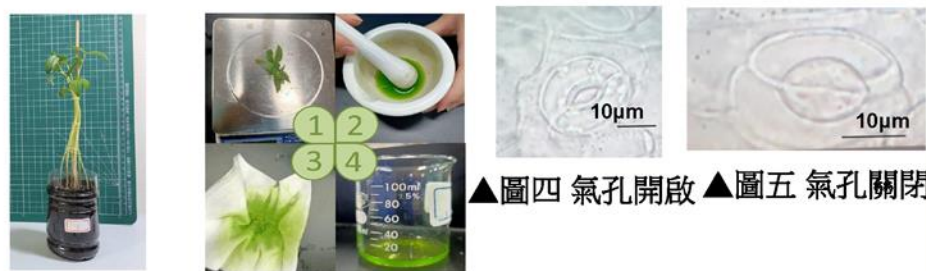
蓖麻肥皂、蓖麻+精油肥皂、無患子及美琪肥皂抑制綠豆生長高度。

# 研究架構流程圖

探討肥皂對綠豆生長影響及因應對策



▲圖一 研究流程圖



▲圖二 綠豆種植 ▲圖三 葉綠素測定 ▲圖四 氣孔開啟 ▲圖五 氣孔關閉

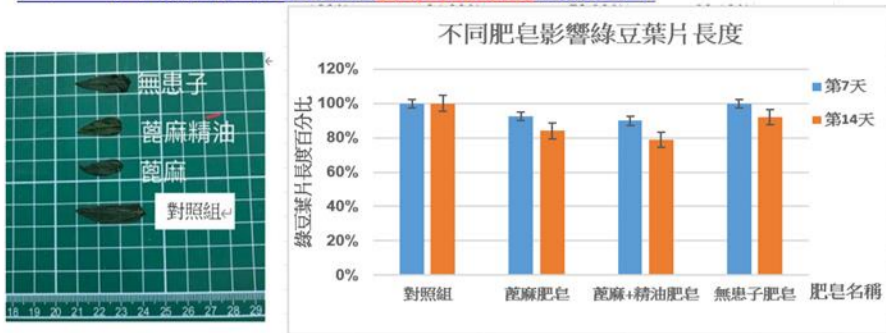
## 肥皂水



▲圖六 肥皂水種類



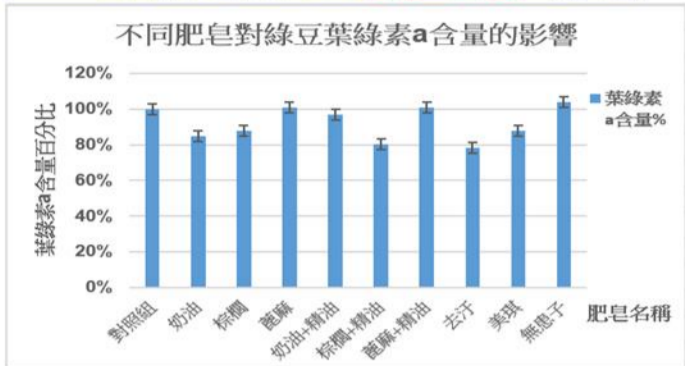
#### 四、不同肥皂對綠豆葉片長度的影響



▲圖十一-a 實驗照片 ▲圖十一-b 不同肥皂對綠豆葉片長度的影響

蓖麻肥皂、蓖麻+精油肥皂、無患子肥皂抑制綠豆葉片長度。

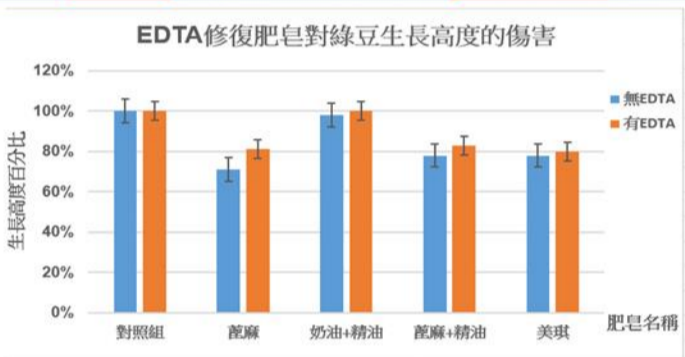
#### 六、不同肥皂對綠豆光合色素的影響



▲圖十三 不同肥皂對綠豆光合色素的影響

奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、去汙皂及美琪肥皂抑制綠豆的葉綠素a含量

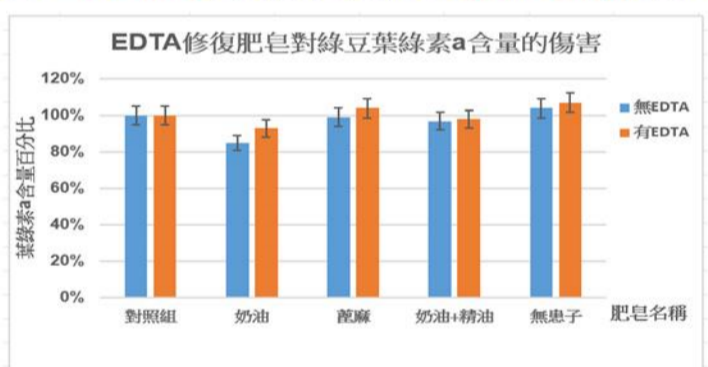
#### 七、EDTA修復肥皂對綠豆生長高度的影響



▲圖十五 EDTA修復肥皂對綠豆生長高度的影響

EDTA修復蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂對綠豆生長高度的影響。

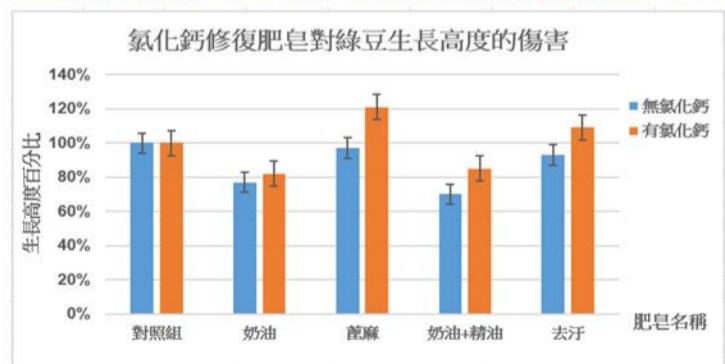
#### 九、EDTA修復肥皂對綠豆光合色素的影響



▲圖十七 EDTA修復肥皂對綠豆光合色素的影響

EDTA會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素a含量的影響。

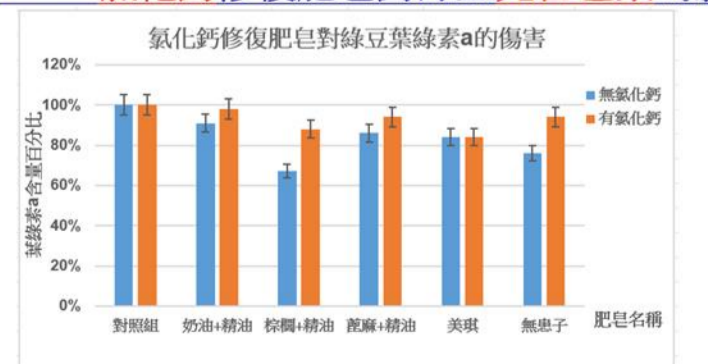
#### 十、氯化鈣修復肥皂對綠豆生長高度的影響



▲圖十九 氯化鈣修復肥皂對綠豆生長高度的影響

氯化鈣會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、去汙皂對綠豆生長高度的影響。

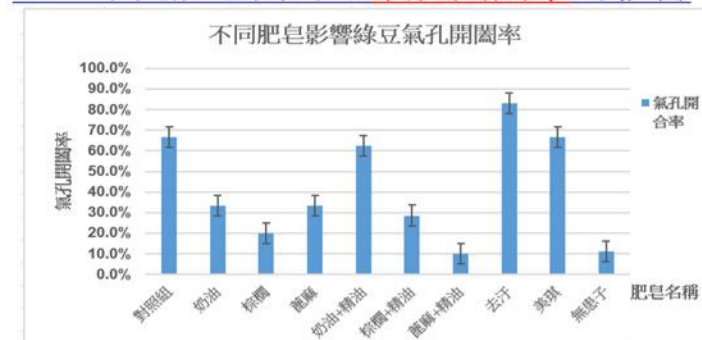
#### 十二、氯化鈣修復肥皂對綠豆光合色素的影響



▲圖二十一 氯化鈣修復肥皂對綠豆光合色素的影響

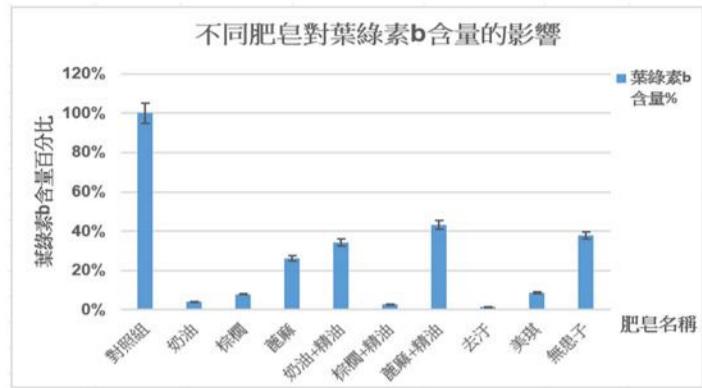
氯化鈣會修復奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂及無患子肥皂對綠豆的葉綠素a的影響

#### 五、不同肥皂對綠豆氣孔開闔率的影響



▲圖十二 不同肥皂對綠豆氣孔開闔率的影響

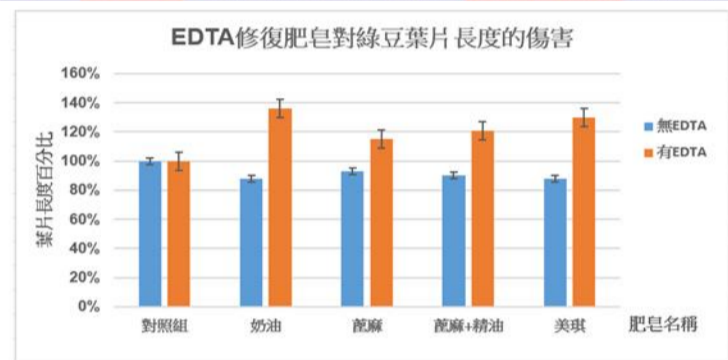
蓖麻+精油水溶液可使植物的氣孔開闔率相較於對照組降至10%



▲圖十四 不同肥皂對綠豆光合色素的影響

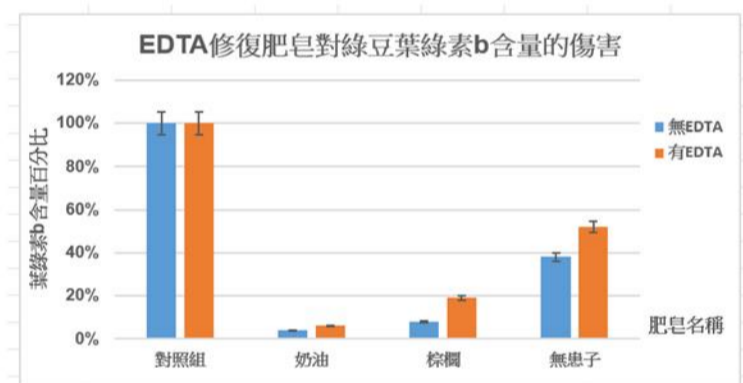
奶油肥皂、棕櫚肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、去汙皂、美琪及無患子肥皂抑制綠豆的葉綠素b含量

#### 八、EDTA修復肥皂對綠豆葉片長度的影響



▲圖十六 EDTA修復肥皂對綠豆葉片長度的影響

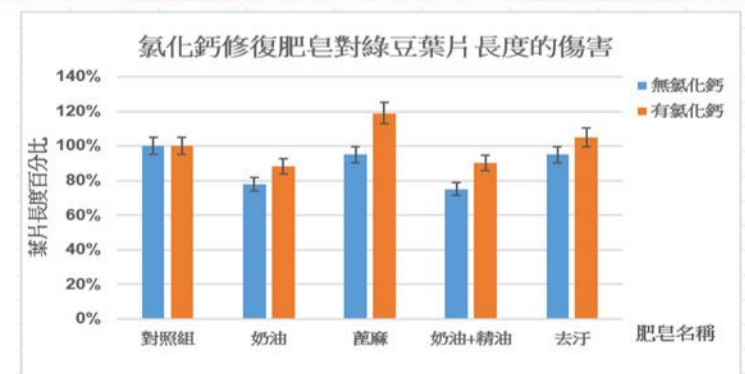
EDTA會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂對綠豆葉片長度的影響。



▲圖十八 EDTA修復肥皂對綠豆光合色素的影響

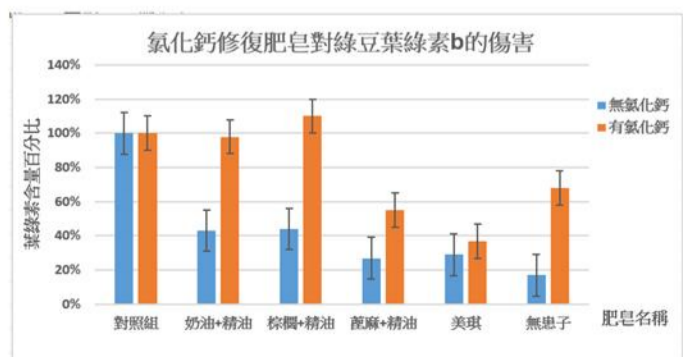
EDTA會修復奶油肥皂、棕櫚肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素b含量的影響。

#### 十一、氯化鈣修復肥皂對綠豆葉片長度的影響



▲圖二十 氯化鈣修復肥皂對綠豆葉片長度的影響

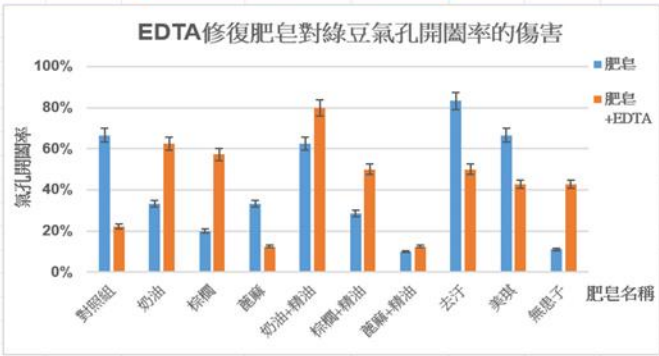
氯化鈣會修復奶油肥皂、蓖麻肥皂、奶油+精油肥皂、去汙皂對綠豆葉片長度的影響。



▲圖二十二 氯化鈣修復肥皂對綠豆光合色素的影響

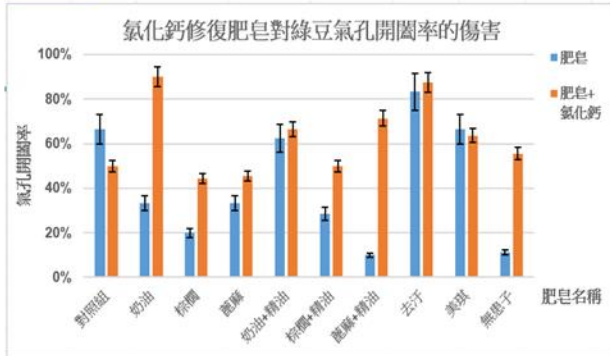
氯化鈣會修復奶油+精油肥皂、棕櫚+精油肥皂、蓖麻+精油肥皂、美琪肥皂、無患子肥皂對綠豆的葉綠素b的影響

### 十三、EDTA 與氯化鈣修復肥皂對綠豆氣孔開闔率的影響



▲圖二十三 EDTA 修復肥皂對綠豆氣孔開闔率的影響

EDTA 能夠修復  
 奶油肥皂、棕櫚肥皂、  
 蓖麻肥皂、奶油+精  
 油肥皂、棕櫚+精油肥  
 皂、蓖麻+精油肥皂、  
 美琪及無患子肥皂對  
 綠豆的氣孔開闔率的  
 影響



▲圖二十四 氯化鈣修復肥皂對綠豆氣孔開闔率的影響

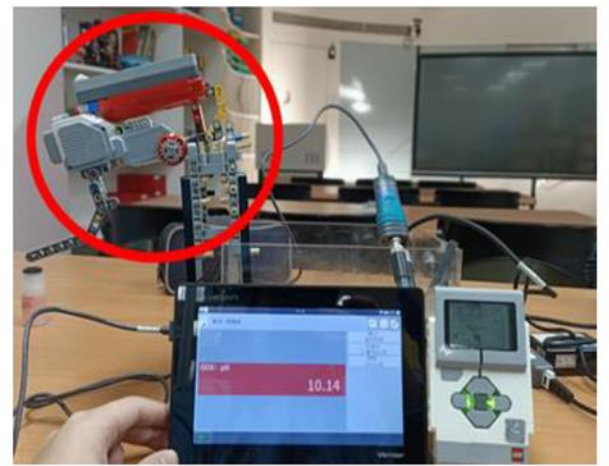
氯化鈣能夠修  
 復奶油肥皂、棕櫚肥  
 皂、蓖麻肥皂、奶油  
 +精油肥皂、棕櫚+精  
 油肥皂、蓖麻+精油  
 肥皂、美琪及無患子  
 肥皂對綠豆的氣孔開  
 闔率的影響

### 十四、植物營養自動補充機修復肥皂對綠豆的影響

受到以色列滴灌式省水農業概念啟發，因應 AI 自動控制等未來科技發展趨勢，我設計了一款植物營養自動補充機在模擬土地的盆栽邊緣插入 vernier 感測器，監控土壤的導電度、pH 值與溶氧量。當數值超過標準正常值時，會將數據傳送給 EV3 主機，接著 EV3 主機會操控馬達進行投藥，將鈣劑自動灑在土壤表面。(正常值：pH 值：5 ~ 7、溶氧量：8.47 mg/L ~ 7.26 mg/L、導電度 < 100 μS/cm，三者之一超出範圍時加入藥劑)。植物營養自動補充機會修復肥皂不飽和脂肪酸對綠豆的影響。

▼表五 環境水質監測表

	對照組	奶油肥皂水	棕櫚肥皂水	蓖麻肥皂水	奶油+精油肥皂水	棕櫚+精油肥皂水	蓖麻+精油肥皂水	去汙肥皂水	無患子肥皂水	美琪肥皂水
導電度 (μS/cm)	88.05	293.3	289.7	290.5	292	285.5	290.5	285.1	273.1	284.8
pH 值	6.8	10.15	10.32	9.46	10.37	10.26	9.1	10.38	10.13	10.25
溶氧量 (mg/L)	8.36	7.4	8.8	7.01	9.16	8.78	8.45	9.29	8.97	8.76



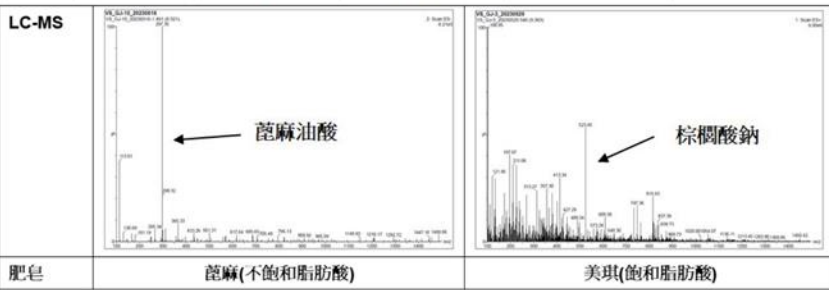
▲圖二十五 植物營養自動補充機原型

優點：節省人力成本  
 24小時監控  
 即時投藥

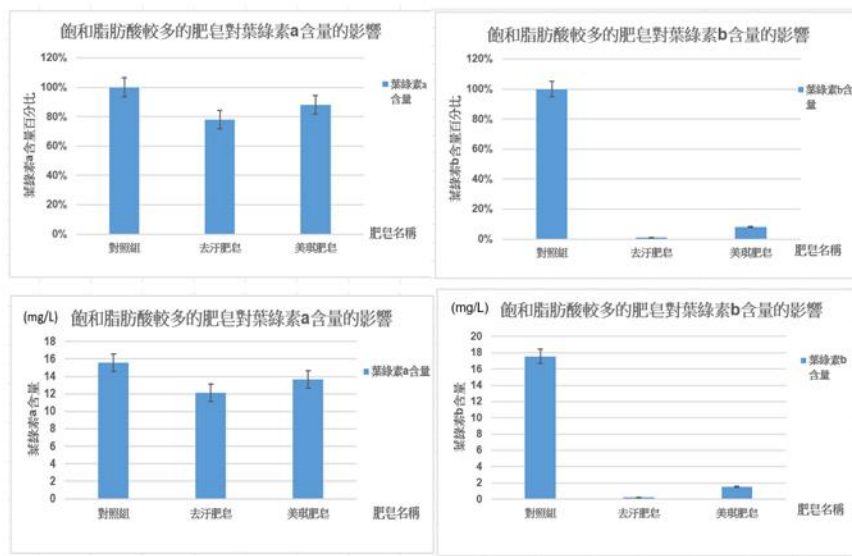
### 十五、不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆生長抑制效果越顯著

▼表六 各種油脂脂肪酸比例

肥皂	(不飽和脂肪酸)			
	去汙	美琪	棕櫚油	奶油
去汙	0%	0%	40%	30.61%
美琪	0%	0%	40%	30.61%
棕櫚油	0%	0%	40%	30.61%
奶油	0%	0%	40%	30.61%
蓖麻油	0%	0%	40%	30.61%



▲圖二十六 LC-MS圖



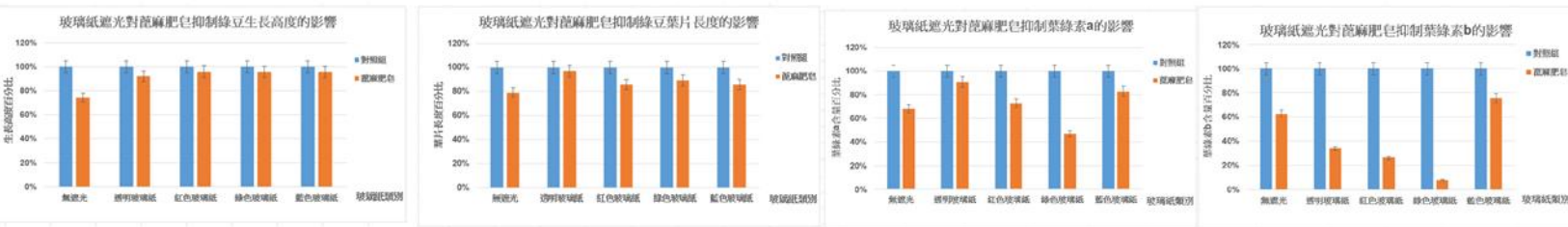
▲圖二十七 不同肥皂對綠豆葉綠素a含量的影響

▲圖二十八 不同肥皂對綠豆葉綠素b含量的影響

各種脂肪酸比例 抑制生長較為明顯的蓖麻肥皂，具有較高的不飽和脂肪酸成分，由實驗結果得知當不飽和脂肪酸比例越高之肥皂，對於綠豆葉綠素抑制效果越顯著

### 十六、不飽和脂肪酸對於綠豆生長的抑制效果，在不同光線下仍會造成抑制反應

為了證明綠豆在不同光照條件下，蓖麻肥皂依然會有抑制的綠豆生長狀況的效果，本研究也探討了植物在受到遮光時的影響，且比較了遮光及肥皂對植物生長情形的影響。



▲圖二十九 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆生長高度的影響

▲圖三十 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉片長度的影響

▲圖三十一 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉綠素a的影響

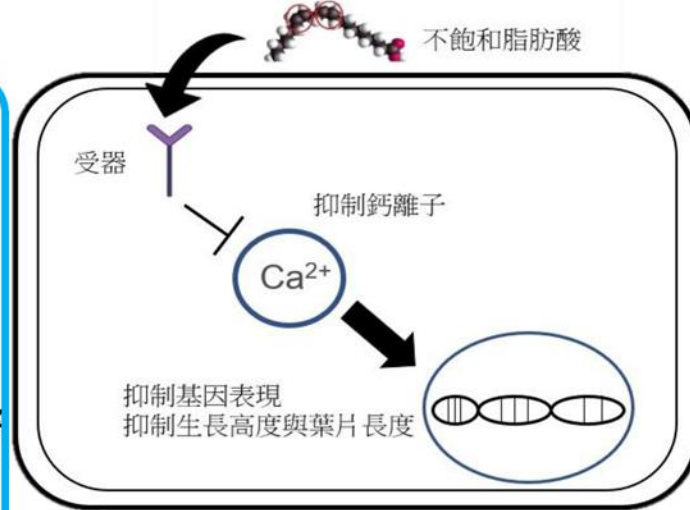
▲圖三十二 玻璃紙遮光對蓖麻肥皂抑制綠豆葉綠素b的影響

▲圖三十三 不同光線對綠豆生長的影響

根據此實驗結果，可以確定即使在不同的光線環境之下，蓖麻肥皂依然會造成綠豆的生長高度及葉片長度減少，降低光合色素a/b含量。

### 結論與展望

1. 肥皂會影響綠豆發芽率、生長高度、葉片長度、葉綠素 a 及葉綠素 b 合成、氣孔開闔率。
2. EDTA 可以修復肥皂對綠豆生長造成的傷害。
3. 氯化鈣可以修復肥皂對綠豆生長造成的傷害。
4. 不飽和脂肪酸比例越高的肥皂，對於綠豆生長造成壓力越高。
5. 植物營養自動補充機會修復肥皂水對植物的傷害
6. 在不同的光線環境下，蓖麻肥皂依然會造成綠豆的生長高度及葉片長度減少、光合色素含量降低
7. 鈣離子對植物不僅僅是一種大量營養元素，更重要的是作為偶連胞外信號與胞內生理生化反應的第二信使，作為植物代謝和發育的主要調控者。



▲圖三十四 植物鈣離子抑制推論機制圖

依據本研究結果，我推論綠豆在受到不飽和脂肪酸刺激時，會抑制鈣離子生長因子，造成基因表現遭抑制，抑制了綠豆的發芽率、生長高度、葉片長度、葉綠素 a/b 含量及氣孔開闔率的植物機制。此外，基於綠豆能感受鈣離子濃度變化，由於肥皂不飽和脂肪酸會抑制綠豆生理表現，可藉由改變其生長發育環境來應對肥皂水污染問題，進而提升綠豆的生長能力。期待未來我能將研究結果運用於農業分子生物學研究，藉此提升作物的環境耐受性，減少因環境變遷所帶來的農業損失，進而提升農業農作物生產量，為永續發展做出貢獻。

### 參考文獻

- 吳昊(2012) 長白山區不同森林群落中土壤微生物群落組成及其與土壤養分的關係，中國：東北師範大學 (簡體字版)。
- Knudson, L., T. W. Tibbitts and G. E. Edwards (1977) Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. *Plant Physiol.* 60:606-608
- 徐善德、廖玉琬 (2023) *植物生理學*。台北市：偉明圖書有限公司。p70 -71
- 葉琮裕、潘京澤、蔡俊杰、林依鈴 (2010) EDTA, DTPA, EDDS 及檸檬酸四種螯合劑添加提升土壤重金屬銅鋅污染植物復育成效研析。 *臺灣鑛業* 62卷1期，p23 -37