中華民國第65屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　生物科

080304

青「渣」——論不同種類的堆肥對甜椒生長的影響

學校名稱： 彰化縣彰化市中山國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳言輔 小六 黃千芸 小六 陳怜霏	吳芫萱

關鍵詞： 甜椒、果皮堆肥、生長效能

摘要

本研究旨在探討不同堆肥對甜椒生長及果實品質的影響。實驗分為堆肥製作與甜椒種植兩部分。首先，比較有氧與厭氧堆肥兩種方法的效率，發現在同樣以土壤、果皮為材料的情況下，有氧堆肥僅需 13 天即可完成。其次，探討不同材料(培養土、咖啡渣等)對厭氧堆肥之影響，並分析不同品種(條紋、吉普賽、日本紅)甜椒在不同堆肥作用下的生長差異。

結果顯示，甜椒品種與堆肥種類會交互影響其生長與果實品質，添加咖啡渣的配方 E 對三種甜椒皆作用良好，吉普賽甜椒施用配方 C 有較大的果實，施用配方 D 則有較高的甜度。也觀察到果實大小與甜度呈現負相關趨勢，但堆肥種類能影響此關係。種植甜椒時應該要找到對每個最適用的肥料，以免弄巧成拙。

壹、前言（含研究動機、目的、文獻回顧）

一、研究動機

小時候回奶奶家，常常會看到奶奶在田裡翻土，翻的土裡面混有各種果皮，我好奇地問奶奶：「這是在做什麼？」奶奶回答說：「那是要用來堆肥的。」從此，我就對「堆肥」這件事產生了濃厚的興趣。

幸運的是，我們學校有在實施**食農教育**，讓我們更加了解**永續農業**的重要性。在上課時我們學到，若在種植時使用化學肥料會對環境造成很大的傷害，因此，我想用水果皮做堆肥，作為這次科展的題目，希望能為環境保護盡一份心力。

五年級時，組內同學曾在學校種植辣椒，對茄科作物的特性有初步的認識。考量到辣椒與甜椒在種植上有相似之處，加上我個人也很喜歡吃甜椒，因此這次科展便決定以甜椒為實驗對象，希望能將過去的經驗運用到這次的研究中。

二、目的

(一)探討以何種方式製作堆肥更有效率。

(二)探討吉普賽甜椒、條紋彩椒以及日本紅甜椒在相同環境條件下的生長速度差異。

(三)探討不同品種的甜椒在相同堆肥下的生長速度差異。

(四)探討施加不同種類的堆肥對於甜椒植株本身生長的影響。

(五)探討施加何種堆肥會對甜椒果實的大小、甜度影響最大。

三、文獻回顧

查詢網路上與堆肥相關之研究，找到的資料為——

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書「**快，又有酵——廚餘堆肥快速發酵機**」[1]、「**高雄區農技報導 66 期：固態堆肥之製作與田間應用**」[2]、

「**永續農業研究及推廣研討會專輯 66~78 (1995)：農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃**」[3]。

(一)堆肥碳氮比

參考「**永續農業研究及推廣研討會專輯 66~78 (1995)：農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃**」[4]。以**碳氮比：20：1～30：1 比例製作堆肥。**

(二)堆肥分解方式

堆肥形成原理：堆肥就是藉微生物的生化作用，在控制條件下將廢棄物中的有機質分解使其轉化為水、二氧化碳、氮、硝酸，再經過腐熟，成為安定的腐植土。

1.有氧發酵：用翻堆或強制送風、抽風，以好氧性菌種分解廢棄物的方式。較為快速。

2.厭氧發酵：把廢棄物堆積減少與空氣之接觸以厭氧性菌種分解為主要反應。較慢。

貳、研究設備及器材

一、種植甜椒使用到的器材及設備(表 1)：

大種菜盆(長 68 公分*寬 42 公分*高 25 公分) 圖 1	甜椒種籽 圖 2	移植鏟 圖 3	澆水用的水桶 圖 4
澆水用的量杯 圖 5	固定植株的掃把柄圖 6	拉封鎖線的尼龍繩圖 7	做記號用的蘭花夾圖 8
自動澆水用寶特瓶圖 9	自動澆水器 圖 10	錐子 圖 11	濾辣椒水的篩網 圖 12
噴辣椒水用的噴壺 圖 13	去年存活至今的辣椒 圖 14		

[1] 參考文獻資料一
[2] 參考文獻資料二
[3] 參考文獻資料三
[4] 同參考文獻資料三

二、製作堆肥使用到的器材及設備(表 2)：

堆肥桶 圖 15	幫堆肥加濕用的噴壺 圖 16	農用小耙子 圖 17
切碎果皮的水果刀 圖 18	切碎果皮的砧板 圖 19	

三、製作堆肥的基底(當作土壤使用) (表 3)

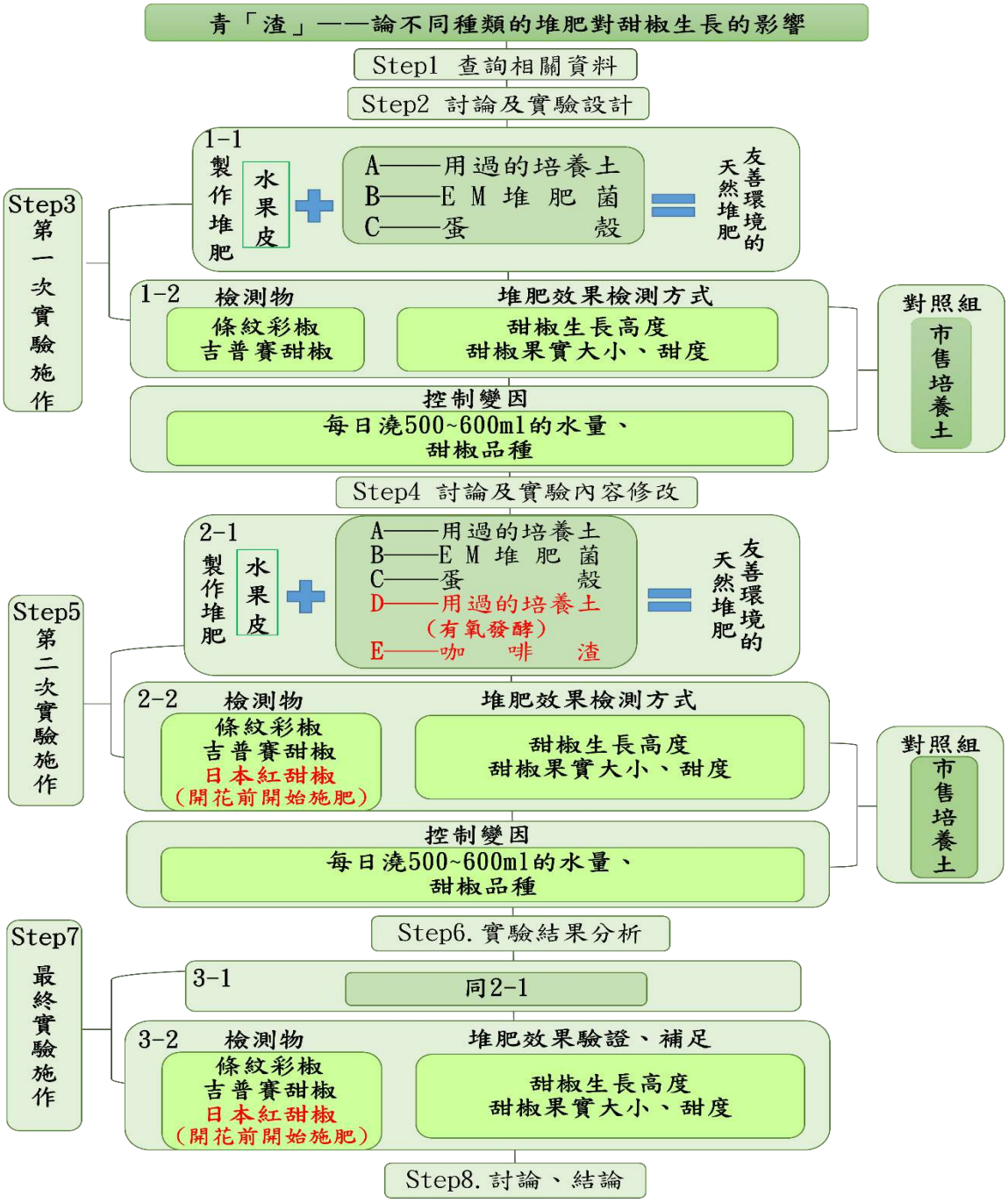
使用過後喪失肥力的培養土 圖 20	E M堆肥菌圖 21
雞蛋殼 圖 22	堆肥中的咖啡渣 圖 22

四、量測過程使用的器材及設備(表 4)：

電子磅秤 圖 23	平方公分板 圖 24	甜度計 圖 25
捲尺 圖 26	鐵尺 圖 27	

實驗架構 圖 28

參、研究過程或方法



一、查詢相關資料

(一)堆肥如何製作？

參考「高雄區農技報導 66 期：固態堆肥之製作與田間應用」[5]及「主婦聯盟環保基金會廚餘堆肥 DIY 做法」[6]以密閉的堆肥桶進行特定好氧微生物培養。

(二)甜椒施肥時機：參考「台肥公司有關甜椒施肥的資料」[7]，整理如表 5：

[5] 參考文獻資料二
[6] 參考文獻資料四
[7] 參考文獻資料五

(表 5)(單位：公斤/分地)

肥料類型	產品名稱	肥料量	施肥時期及方法
基肥	生技 1(3)號有機質肥料	150	施肥時期及方法: 整地開溝清時，撒施於畦面下 10-15 公分處後棄埋。
	黑旺特 43 號或含鋅寶 2X1 號複肥	40	整地開溝清時，撒施於畦面下 10-15 公分處後棄埋。
		40	整地開溝清時，撒施於畦面下 10-15 公分處後棄埋。
開根肥	活力磷寶或活力生技營養劑 6 號		以 1 公斤配合入水淹灌或椿稀 300 倍淹灌土壤。
一追	黑旺特 5 號或寶效 105 號複肥	25	定植後約 20 天，施於行間或畦間，施後覆土。
二追	黑旺特 5 號或寶藍肥複肥	30	定植後約 40 天，施於行間或畦間，施後覆土。
噴灌肥	活力鉀寶		於生長期時約每隔 10 天稀釋 400 倍行葉面噴施。
採收肥	金旺特 43 號複肥	25	採收期，每隔 15 天施用 1 次，與即溶肥交替施用，至採收完，施後覆土。
	台肥 43 號即溶複肥	10	採收期時每隔 15 天依水量稀釋 200 倍行土壤淹灌。

二、討論及實驗設計

(一)堆肥配方

我們參考「**後院食物殘渣堆肥的基本常識**」[8]、「**Open Hack Farm 開放農業實驗基地 堆肥材料碳氮比 (C:N ratio)**」[9]以達成「最佳碳氮比——20：1～30：1」或「2 份棕色材料加 1 份綠色材料」的方式進行堆肥，設計了以下這三種比例的堆肥配方：(表 6)

配方	材料及其比例配重	碳氮比
(一)配方 A	250g 用過的培養土+250g 果皮	用過的培養土(以腐熟糞肥的碳氮比)20：1 計算+果皮+果心碳氮比為 30：1 (20+30)(碳比)÷2(氮比)=25
(二)配方 B	250g EM 堆肥菌+250g 果皮	堆肥菌(主要成分為米糠+黑糖發酵製成以米糠碳氮比)18~22：1→20：1 計算+果皮+果心碳氮比為 30：1 (20+30)(碳比)÷2(氮比)=25
(三)配方 C	250g 搗碎曬乾蛋殼+250g 花生殼+250g 果皮	因查不到雞蛋的碳氮比，以 2 份棕色材料+1 份綠色材料的比例方式製作堆肥

(二)堆肥製作方式

參考中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書「**快，又有酵——廚餘堆肥快速發酵機**」[10]、「**高雄區農技報導 66 期：固態堆肥之製作與田間應用**」[11]中提到：「**每 1~2 星期翻堆乙次， 3~6 星期後堆肥即可腐熟。**」、「**三種製造方式的原理大致相同，先將材料切細或粉碎，增加醱酵的作用面積，其次是供應穩定的空氣及水分，促進醱酵的作用速率，縮短製造時間，最後是產品的乾燥及包裝。**」

[8] 參考文獻資料六
[9] 參考文獻資料七
[10] 參考文獻資料一
[11] 參考文獻資料二

我們決定以密閉的堆肥桶進行兼性厭氧微生物培養。

在堆肥製作過程中，為加快堆肥分解效率，自 10 月 9 日開始堆肥，固定於每周一、三、五進行堆肥翻堆。

(三)培養的菌種

參考中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書：「酵傲天際——天然水果酵母與麵包黴菌的火花」[12]提及：「**天然蔬果上包含許多微生物，如酵母菌、醋酸菌、乳酸菌和麴菌或其他微生物。**」

「乳酸菌小百科」[13]中提及：「**乳酸菌是一種兼性嫌氣菌，比較喜歡在無氧狀態下生長，但也不會因為和氧氣接觸而死亡。整體而言，在自然界中，只要有動植物活動的地方，就會有足夠的營養供乳酸菌生存。舉凡動植物的分泌物（如乳汁、樹液等），或其殘骸堆積處，都是適合乳酸菌生育的場所。**」

「食力 foodNEXT 發酵專家告訴你釀醋要注意這五點」[14]中提到：「**在糖生成酒精的階段，給予的酵母主要是厭氧性的，最好的環境是隔絕氧氣；在醋酸菌（好氧性）活躍的階段，所需的氧氣量會變大，因此容器入口的環境也應該要改變，既要能夠供給氧氣無虞，也要想辦法讓果蠅和異物無法進入。**」

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書「水果微笑 努力起『酵』～探究自製新鮮水果酵母液對於麵種發酵的影響」[15]中提到：「**酵母菌在有氧和無氧的環境中都能生長，酵母菌是兼性厭氧菌。在缺氧的情況下，酵母菌把糖分解成酒精和二氧化碳；在有氧的情況下，它把糖分解成二氧化碳和水，在有氧存在時，酵母菌生長較快。**」

在配方 A 和配方 C 的製作中，我們利用水果皮上的乳酸菌與酵母菌「兼性厭氧」的特性，在密閉的堆肥桶中進行厭氧發酵。此過程中，乳酸菌代謝產生有機酸(如：乳酸)，降低環境酸鹼值；同時，微生物的代謝活動也能產生一定熱量，結合低 pH 環境，共同抑制致病菌的生長。由於環境為密閉缺氧狀態，好氧的醋酸菌則無法存活。

其中配方 B 為直接添加市售 EM 堆肥菌進行培養。(表 7)

配方	培養的菌種
(一)配方 A	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。
(二)配方 B	EM 堆肥菌
(三)配方 C	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。

(四)暫定施肥時機

一開始即以較富有營養的培養土與之前食農教育用過的舊土壤以 1：1 比例混合，並配合堆肥完成的時間暫定於發芽後 40 天進行初次施肥。在開始開花後每 7 天施一次肥。每次施加小移植鏟滿滿 1 鏟(約 8g)。

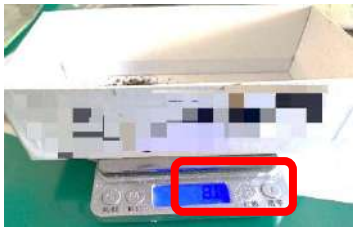


圖 29

[12] 參考文獻資料八
[13] 參考文獻資料九
[14] 參考文獻資料十
[15] 參考文獻資料十一

(五)第一次實驗設計：以甜椒品種與生長過程中施加堆肥種類不同作為操縱變因來觀察施加堆肥是否會影響甜椒的生長。第一次實驗設計跟變因如下表：(表 8)

控制變因	每日澆 500~600ml 的水量、甜椒品種。
操縱變因	堆肥的成分不同、堆肥製作方式的不同。
應變變因	施加不同肥料的甜椒的生長情形 (植株身高及果實體積、重量、甜度)。

三、第一次實驗施作：

(一)實驗1-1：

1.於2024/10/09使用密封式堆肥桶厭氧發酵方式進行兼性厭氧微生物培養。

2.觀察重點：不同配方的堆肥製作效率。

3.無法確認堆肥發酵熟成基準：與校內曾做過堆肥的老師們洽詢過後，決定**以堆肥中的果皮完全消失，堆肥異味消失作為熟成基準**，並在使用前放在空的種植盆中充分晾曬乾燥後才進行施肥。

圖 30

(二)實驗1-2：以培養土、三種堆肥配方來種植條紋彩椒與吉普賽甜椒，設計8個實驗組，觀察其生長速度。

1.於2024年10月01日以種籽狀態開始栽植條紋彩椒與吉普賽甜椒。

2.觀察重點：

A.以植株高度紀錄兩種不同品種甜椒植株生長狀況差異。

B.施加堆肥後，以植株高度、甜椒果實大小、甜度記錄施加不同肥料的同一品種甜椒生長狀況差異。

(三)採用甜椒品種：選用外觀較為新奇的條紋彩椒與吉普賽甜椒。(表 9)

品種	外觀
條紋彩椒	燈籠型果，青果為濃綠色，熟果為橘黃交錯的條紋狀彩椒。
吉普賽甜椒	長條型甜椒，青果為蘋果綠色，熟果為紅色。

(四)實驗環境佈置

堆肥桶	實驗組 A	實驗組 B	堆肥桶	實驗組 C	對照組	堆肥桶
	左：條紋彩椒 右：吉普賽彩椒	左：條紋彩椒 右：吉普賽彩椒		左：條紋彩椒 右：吉普賽彩椒	左：條紋彩椒 右：吉普賽彩椒	

圖 31

四、實驗設計修正與擴充

(一)增加堆肥製作方式

10 月 09 日我們開始製作堆肥，因 A 組配方(250g 用過的培養土+250g 果皮)在製作過程中特別快完成，僅歷時 36 日就已在 11 月 13 日曬製完成。

堆肥桶空著有點浪費，於是我們想再增加更多的堆肥配方。

根據「高雄區農技報導 66 期：固態堆肥之製作與田間應用」[16]中提及：「**三種製造方式的原理大致相同，先將材料切細或粉碎，增加醱酵的作用面積，其次是供應穩定的空氣及水分，促進醱酵的作用速率，縮短製造時間，最後是產品的乾燥及包裝。**」並參考「Open Hack Farm 開放農業實驗基地 堆肥材料碳氮比(C:N ratio)」[17]。

為促進發酵的作用速率，增加堆肥可接觸到的空氣及水分，以縮短製造時間，我們決定嘗試新的堆肥方式不使用堆肥桶做厭氧發酵，而是直接在種植盆中以**有氧發酵方式**製作堆肥，並在種植盆上方放置塑膠袋封口，下方放置水盤收集堆肥液。(表 10)

配方	材料及其比例配重	發酵方式
(四)配方 D	250g 用過的培養土+ 250g 果皮	在種植盆中以有氧發酵方式製作堆肥

(二)增加堆肥配方

因為先前製作堆肥時，我們深受發酵過程中產生的惡臭氣味困擾。為了改善這個問題，我們決定**利用具有除臭效果的咖啡渣來製作堆肥**，希望能**降低異味**，讓堆肥製作過程更舒適。(表 11)

配方	材料及其比例配重	碳氮比
(五)配方 E	250g 咖啡渣+ 250g 果皮	咖啡渣碳氮比為 20：1 + 果皮+果心碳氮比為 30：1

[16] 參考文獻資料二
[17] 參考文獻資料七

		(20+30)(碳比)÷2(氮比)=25

(三)培養的菌種

期間，老師也引導我們思考：「為何配方A製作的效率會特別快？」討論過後，推測可能是因為**培養土中含有許多肉眼無法看見的微生物**，所以加速了堆肥的發酵分解。(表 12)

配方	培養的菌種
(一)配方A	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌+土中微生物。
(四)配方D	水果皮上的微生物，如：醋酸菌、乳酸菌、酵母菌+土中微生物。

(四)增加甜椒品種：選擇與原本兩種品種各有相似處的**日本紅甜椒**。

(五)增加驅蟲液的使用

因葉片出現異常蜷曲、破洞，且部分花朵一直無法著果，觀察多日後發現疑為蚜蟲，在老師建議下，我們取用五年級食農教育種植，存活至今的辣椒來製作辣椒驅蟲液。後來發現肥皂水更有效。

圖 32

圖 33

圖 34

五、第二次實驗施作

(一)實驗 2-1

1.堆肥製作方式增加為兩種：

在 11 月 15 日開始製作咖啡渣堆肥、有氧土堆肥。在實際操作後，我們發現「**在種植盆中以有氧發酵方式製作堆肥**」**比較不會產生臭味**，且果皮中的鳳梨皮**僅需一星期左右就分解完了**，而**橘子皮與蘋果皮等其他果皮也在開始堆肥後的第 13 天左右就完全消失**，但堆肥附近卻出現了蠅蟲聚集的狀況。

2.增加堆肥配方至五種。

3.修正培養的菌種。(表 13)

配方	製作方式	材料	培養的菌種
(一)配方A	厭氧	培養土+果皮	果皮微生物：乳酸菌、酵母菌+土中微生物
(二)配方B	厭氧	EM 堆肥菌+果皮	EM 堆肥菌
(三)配方C	厭氧	雞蛋殼+果皮	果皮微生物：乳酸菌、酵母菌
(四)配方D	有氧	培養土+果皮	果皮微生物：醋酸菌、乳酸菌、酵母菌+土中微生物
(五)配方E	厭氧	咖啡渣+果皮	果皮微生物：乳酸菌、酵母菌

(二)實驗 2-2

增加種植甜椒品種至三種：選擇與原本兩種品種各有相似處的**日本紅甜椒**。(表 14)

品種	外觀
條紋彩椒	燈籠型果，青果為濃綠色，熟果為橘黃交錯的條紋狀彩椒。
吉普賽甜椒	長條型甜椒，青果為蘋果綠色，熟果為紅色。
日本紅甜椒	燈籠型果，青果為濃綠色，熟果為鮮艷的紅色。

以培養土、五種堆肥配方來種植條紋彩椒、吉普賽甜椒與日本紅甜椒，設計 18 個實驗

組，觀察其生長速度。

(三)實驗環境佈置：

A 側
走道
B 側

在下圖以圖例呈現：🟡條紋彩椒🟢吉普賽甜椒🔴日本紅甜椒

圖 34

A 側						
堆肥桶	實驗組 A	實驗組 B	堆肥桶	實驗組 C	對照組	堆肥桶
	🟡🟢🔴	🟡🟢🔴		🟡🟢🔴	🟡🟢🔴	

圖 35

圖 36

走道			
B 側			
實驗組 D	實驗組 E	食農教育用盆	有氧堆肥用盆
🟡🟢🔴	🟡🟢🔴		

圖 37

圖 38

將長桌擺放於走道兩側，並把 6 個大型種菜盆放置於桌子上方種植。後因 B 側光線隨季節產生變化，為調整光照而撤除 B 側長桌。

六、最終實驗組配置

(一)維持實驗 2-2 環境佈置驗證結論中關於肥料配方 D、配方 E 效果的推測

因夏天太過炎熱，撤除所有長桌，以減少光照，為植株降溫。設置兩盆對照組與兩盆實驗組 D、兩盆實驗組 E：

1.驗證添加配方 D 是否真的能增加甜椒甜度。

2.驗證添加配方 E 是否真的能讓甜椒果實變大。

在下圖以圖例呈現：🟡條紋彩椒🟢吉普賽甜椒🔴日本紅甜椒

A 側					
堆肥	對照組	對照組		實驗組 D	實驗組 E	D
	🟡🟢🔴	🟡🟢🔴		🟡🟢🔴	🟡🟢🔴	🔴

圖 39

圖 40

走道				
B 側				
E	實驗組 D	實驗組 E	食農教育用盆	有氧堆肥用盆
🔴	🟡🟢🔴	🟡🟢🔴		

圖 41

圖 42

(二)為加強數據準確度，在學校圖書館前側陽台增加實驗組

參考「台肥公司有關甜椒施肥的資料」[18]於一追時間，在發芽後 20 天開始施肥。

對照組	實驗組 A	實驗組 B
🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴	🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴	🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴
實驗組 C	實驗組 D	實驗組 E
🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴	🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴	🟡🟡🟡🟢🟢🟢🔴🔴🔴

[18] 參考文獻資料五

圖 43

圖 44

肆、研究結果

一、第一次實驗(1-1)觀察結果

何種堆肥配方發酵熟成的速度最快？(表 15)

配方	材料	培養的菌種	發酵熟成時間
(一)配方 A	250g 用過的培養土+250g 果皮	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。+**土中微生物**。	36 日✓
(二)配方 B	250g EM 堆肥菌+250g 果皮	EM 堆肥菌	43 日
(三)配方 C	250g 搗碎曬乾蛋殼+250g 花生殼+250g 果皮	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。	64 日

推測可能因為**培養土中含有許多肉眼無法看見的微生物**，所以加速了堆肥的發酵分解。

二、第二次實驗觀察結果

(一)實驗 2-1

1.何種堆肥方式更快速、有效率？以同材料，不同堆肥方式的配方 A、D 做觀察。**(表 16)**

配方	材料及其比例配重	發酵方式	發酵熟成時間
(一)配方 A	250g 用過的培養土+250g 果皮	以密閉的堆肥桶**厭氧發酵**方式進行特定好氣微生物培養。	36 日
(四)配方 D	250g 用過的培養土+250g 果皮	在種植盆中以**有氧發酵**方式製作堆肥。	13 日✓

2.在同為厭氧發酵環境，何種堆肥配方發酵熟成的速度最快？(表 17)

配方	材料	培養的菌種	發酵熟成時間
(一)配方 A	250g 用過的培養土+250g 果皮	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌+**土中微生物**。	36 日
(二)配方 B	250g EM 堆肥菌+250g 果皮	EM 堆肥菌	43 日
(三)配方 C	250g 搗碎曬乾蛋殼+250g 花生殼+250g 果皮	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。	64 日

(五)配方 E	250g 用過的咖啡渣+250g 果皮	水果皮上的微生物，如：乳酸菌、酵母菌。	20 日✓

(1)推測可能是因為**咖啡渣比起其他材料更加細碎**，所以加速了堆肥的發酵分解。

此外，我們又查詢了「**咖啡與養生的小常識**」[19]一文發現：「**咖啡內成分達 1,000 多種，咖啡豆經烘培後，裡面的物質經過不同的化學變化，可產生展現咖啡特有的水果香、花香、香料味、巧克力味等精緻咖啡的芳香分子多達 800 多種，而主要藥效成分包括咖啡因、綠原酸、咖啡醇、咖啡豆醇、葫蘆巴鹼、菸鹼酸等具生物活性化學成分。**」

(2)推測可能是因為**咖啡內的活性化學成分**，提高了堆肥內微生物發酵分解的速度。

(三)施肥前，不同品種的甜椒其本身的植株高度變化

自 10 月 1 日播種後，除對照組吉普賽甜椒於 10 月 08 日發芽之外，直至 11 月 4 日，大部分的條紋彩椒、吉普賽甜椒才發芽完全，於 11 月 05 號種下日本紅甜椒，但直至 11 月 18 日大部分的日本紅甜椒才發芽，於 11 月 29 日移植至實驗用的大種菜盆。

我們自 11 月 25 日開始進行甜椒植株高度記錄。但因實驗過程中紀錄上的缺失，11 月 25 日的對照組記錄有所短缺。

1.條紋彩椒植株高度紀錄表(表 18) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 25 天		6	9	3	10	7
第 32 天	13	7	15	3	11	6.3
第 39 天	17.3	8.2	17.3	4.4	13.8	12.5

2.吉普賽甜椒植株高度紀錄表(表 19) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 25 天		6	9	3	10	7
第 32 天	13	7	15	3	11	6.3
第 39 天	17.3	8.2	17.3	4.4	13.8	12.5

3.日本紅甜椒植株高度紀錄表(表 20) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 7 天						
第 14 天	2.3	2	2.5	3.5	3.7	4.8
第 21 天	4.7	4	3.1	4	3.9	5.5

4.從「『對照組』施肥前成長高度比較圖」及「各實驗組施肥前平均成長高度比較圖」來看甜椒本身的生長效能

圖 46

[19] 參考文獻資料十二

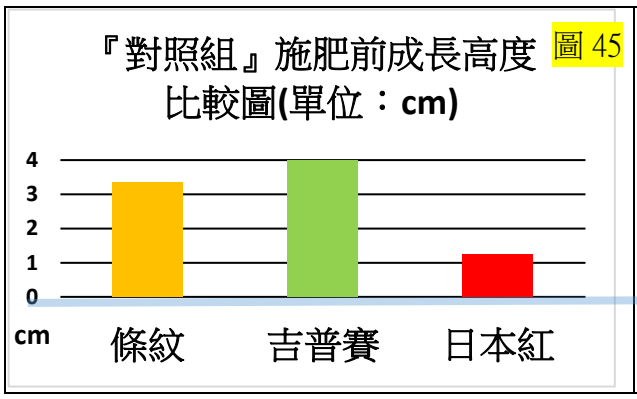
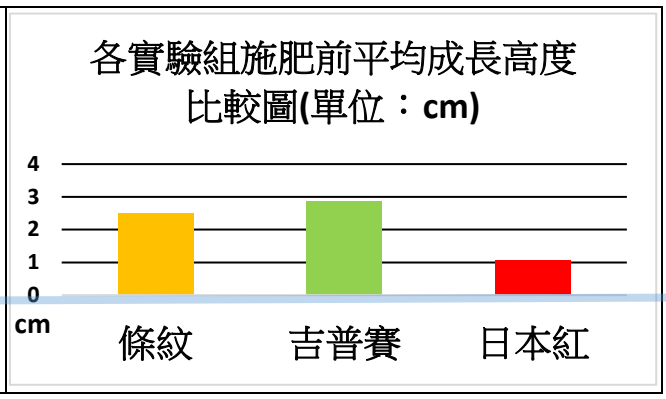


圖 45



因對照組吉普賽彩椒最早(10/8)發芽，在量測植株高度時已有 36 公分，因此遭遇嚴重風害問題，導致此段期間數據可能失準。故僅採計未施肥前的平均資料。

由上方右圖可得知，單從未施肥前植株成長高度差來看甜椒生長效能可以得知，在未施肥狀況下，此三種品種的甜椒生長效能如下：**吉普賽甜椒＞條紋彩椒＞日本紅甜椒**。

(四)從施肥後植株高度差來看各種堆肥配方對不同甜椒生長效能的影響

1/27～2/2 期間植株損傷嚴重，故不採計 1/27 後的數據資料。

1.條紋彩椒植株高度紀錄表 (表 21) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 46 天	22.9	11	24.7	4.5	19.3	13.4
第 53 天	26.1	11.7	23	4.6	20	13.5
第 60 天	29.2	16.7	30.6	4.8	27.5	20
第 67 天	36.1	20.5	33.9	7.3	30.9	33.1
第 74 天	36.7	20.9	30.5	7.4	25.5	28.6
第 81 天	38	23.5	38.4	7.2	30.4	29

2.吉普賽甜椒植株高度紀錄表(表 22) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 46 天	44	18.6	11.2	16.5	11.3	17.7
第 53 天	44.1	18.8	11.2	16.6	12	17.9
第 60 天	46.8	27.8	21.5	21.5	20.3	22.1
第 67 天	48	29.5	22.5	30.4	29	34.4
第 74 天	42.2	26.6	20.2	25.3	23.8	30.4
第 81 天	32.5	27.4	23	27.1	26	38.5

3.日本紅甜椒植株高度紀錄表(表 23) (單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 28 天	4.8	5.5	3.3	4	5.1	6.8
第 35 天	5.1	5.6	4.2	4.1	5.3	7
第 42 天	5.4	7.5	7.1	4.4	8.7	11.9
第 49 天	12.9	13	7.5	7.1	11	18.8
第 56 天	9.6	10.4	5.8	6.4	9.5	14.5

第 63 天	10	12	6	6	11.1	21.4

4.甜椒施肥後成長狀況比較

(1)甜椒施肥後成長高度比較圖　　(單位：公分)

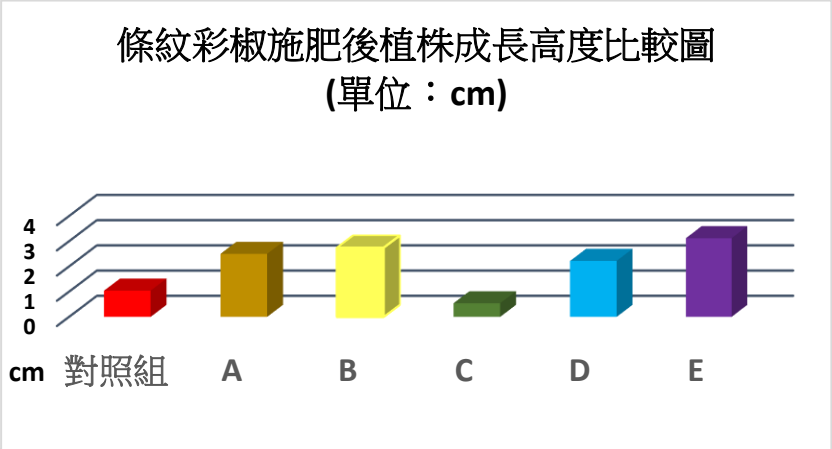


圖 46

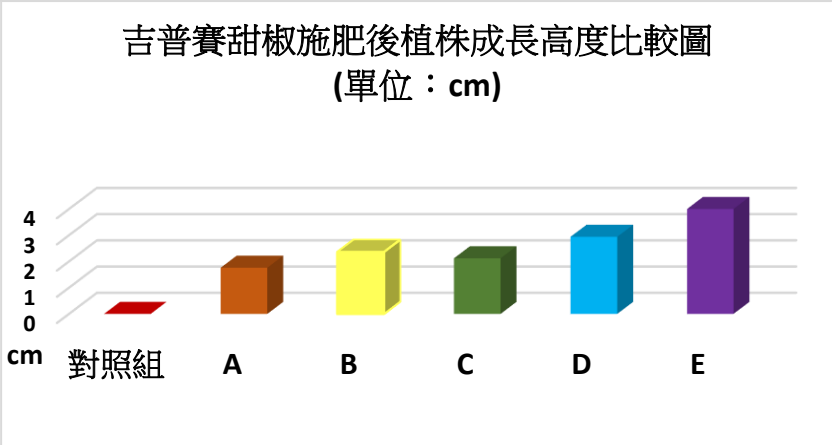


圖 47

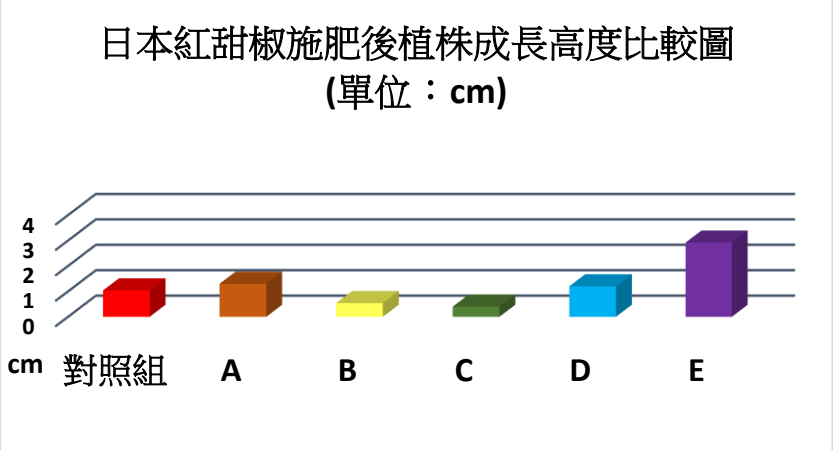


圖 48

(2)堆肥的效果

根據圖 46、圖 47、圖 48，可發現：

A.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：E＞B＞A＞D＞對照組＞C。

B.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞D＞B＞C＞A＞對照組。

C.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞A＞D＞對照組＞B＞C。

對全部品種甜椒都最有效的堆肥配方為——以「250g 用過的咖啡渣+250g 果皮」製成的配方 E。此外，因條紋彩椒實驗組 C 移植後生長狀況不佳一直未長大，以及吉普賽甜椒對照組最早(10/08)發芽,並受到風害問題干擾，實驗數據可能有較大誤差。

(五)從果實數據來看各種堆肥配方對不同甜椒生長效能的影響

圖 49

因為部分實驗組的甜椒果實一直未能順利著果，與校內有甜椒種植經驗的老師諮詢過後，我們發現甜椒由開花至果實成熟約需 60～80 天，若要以成熟果實作為實驗測量目標，應該無法在說明書收件截止前完成。

在老師的建議下我們決定**以蘭花夾標記 01/20 結業式當天開花的花朵**，在 02/21 統一採收**開花後成長 30 日的青果**進行測量。但遺憾的是因風害、蟲害影響，有些果實掉落無法順利進行量測。日本紅甜椒尚未開始開花。

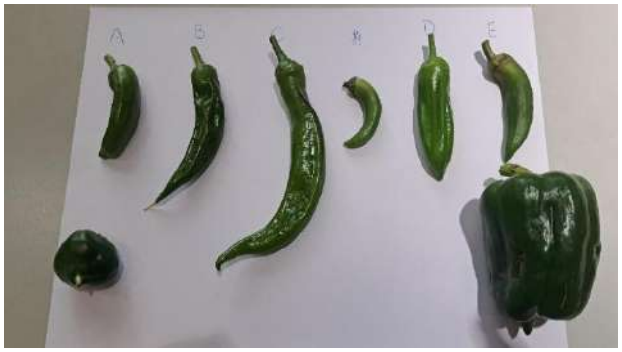


圖 50

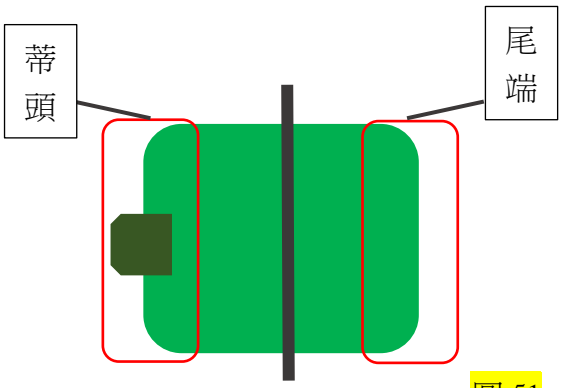


圖 51

1.果實甜度

(1)條紋彩椒甜度紀錄表(表 24)　　(單位：oBrix)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
蒂頭		4.7				4.2
尾端		4.6				4.3
平均		4.7				4.3

(2)條紋彩椒甜度比較圖

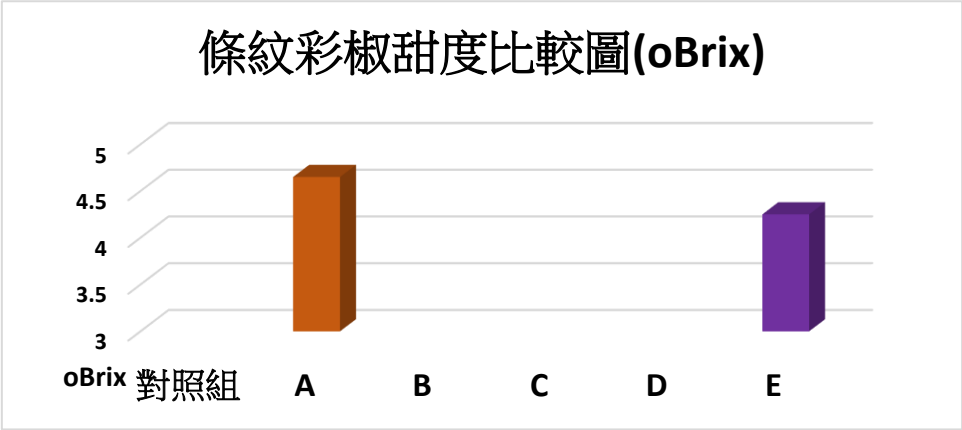


圖 52

(3)吉普賽椒甜度紀錄表(表 25)　　(單位：oBrix)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
蒂頭	4.2	4.1	4.4	3.1	4.4	3.5
尾端	4.8	4.8	4.2	3.2	5	4.8
平均	4.5	4.5	4.3	3.2	4.7	4.2

(4)吉普賽甜椒甜度比較圖

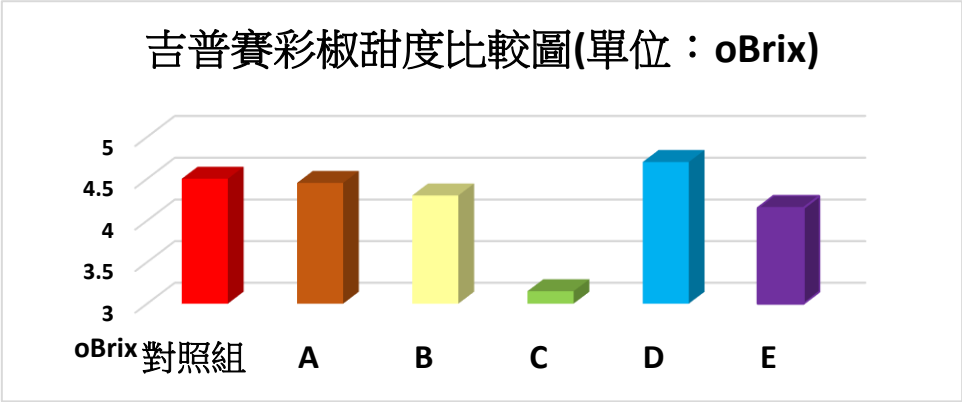


圖 53

條紋彩椒落果太多缺乏完整數據，較無法確認。但從蒂頭、尾端、平均甜度來看皆可發現甜度狀況：A＞E。

吉普賽甜椒除施加堆肥配方 B 的實驗組外，其他實驗組量測結果皆為尾端較甜，整體來看施加堆肥配方 D 的甜椒最甜。

單看蒂頭甜度依序為：D＝B＞對照組＞A＞E＞C

單看尾端甜度依序為：D＞對照組＝A＝C＝E＞B

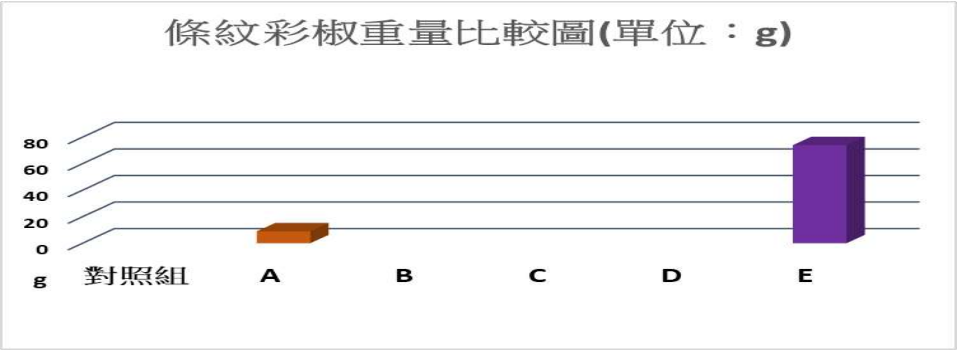
平均甜度依序為：　D＞對照組＞A＞B＞E＞C

2.果實重量

(1)條紋彩椒重量紀錄表(表 26)　　(單位：g)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
重量		9				74

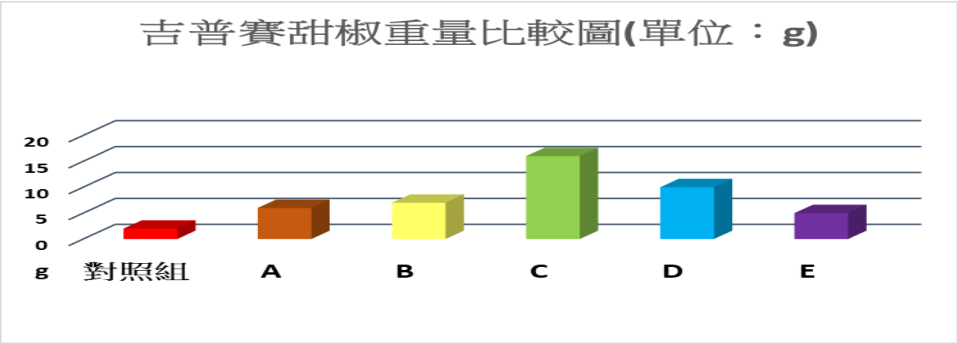
(2)條紋彩椒重量比較圖



(3)吉普賽甜椒重量紀錄表(表 27)　　(單位：g)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
重量	2	6	7	16	10	5

(4)吉普賽甜椒重量比較圖　　圖 54



以條紋彩椒果實重量來看堆肥對甜椒生長影響的效果：E>A

以吉普賽甜椒果實重量來看堆肥對甜椒生長影響的效果：C>D>B>A>E>對照組。

3.果實體積

(1)條紋彩椒體積紀錄表(表 28)　　(單位：cm /cm^3)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
長		3				8
寬		3.4				5
高		2.5				5
		25.5				200

(2)條紋彩椒體積紀錄圖

圖 55

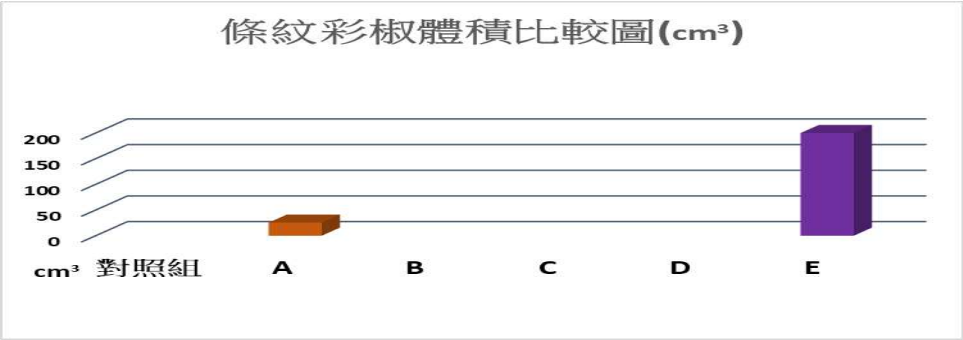


圖 56

(3)吉普賽甜椒體積紀錄表(表 29)　　(單位：cm/cm³)

實驗組別	對照組	A	B	C	D	E
長	4	5	8	11	7	5
寬	1.1	1.9	1.7	2	2.1	1.6
高	0.4	1.4	0.9	1.2	1.2	0.8
體積	1.8	13.3	12.2	26.4	17.6	6.4

(4)吉普賽甜椒體積比較圖

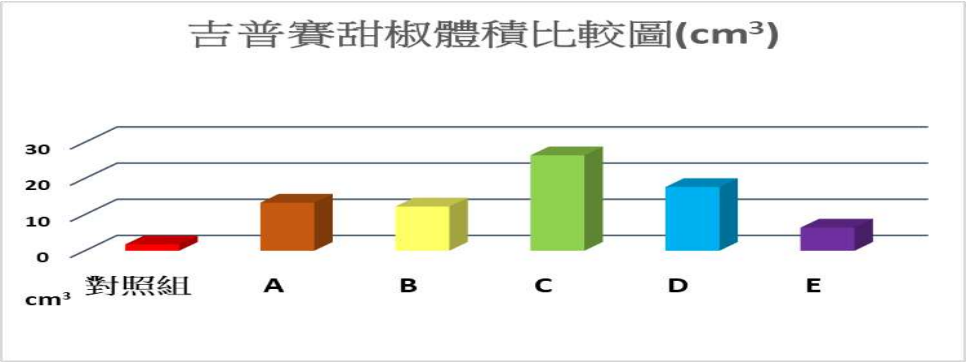


圖 57

以條紋彩椒果實體積來看堆肥對甜椒生長影響的效果：E>A

以吉普賽甜椒果實體積來看堆肥對甜椒生長影響的效果：C>D>A>B>E>對照組。

三、最終實驗觀察結果

(一)實驗 3-1 驗證配方 D、配方 E 對果實影響的猜想

因天氣轉熱，植株大量落葉折損狀況嚴重，條紋彩椒與吉普賽甜椒未有果實可供檢測，因此僅以日本紅甜椒採收檢測。E 的部分採收了一顆重量僅有 6.3g 的甜椒，甜度高達 9.45 oBrix，但因其內部有蟲，且體型與其他採收果實差異過大，不採計該果實數據，但可發現果實生長過程發生危機時也會提高植株對其資源的供應，使得果實甜度增加。

天氣轉熱後，植株大量落葉折損狀況嚴重，只餘少數綠葉與植株本體，但我們在 4/14 將原本為增強光照使用的桌子撤除。

之後陸續採收轉紅的熟果。

4/28 在植株上以蘭花夾標記花朵，在 6/4 將 D、E 植株上的青果摘下進行量測。

1.果實甜度

(1)熟果

A.甜椒甜度紀錄表(表 30)　　(單位：oBrix)

實驗組別	D	E1	E2(不採計)	E3	E4
蒂頭	7.2	5.1	9.6	5.9	9
尾端	9.3	5.9	9.3	6.9	8.3
平均甜度	8.3	5.5	9.5	6.4	8.7

B.甜椒甜度比較圖

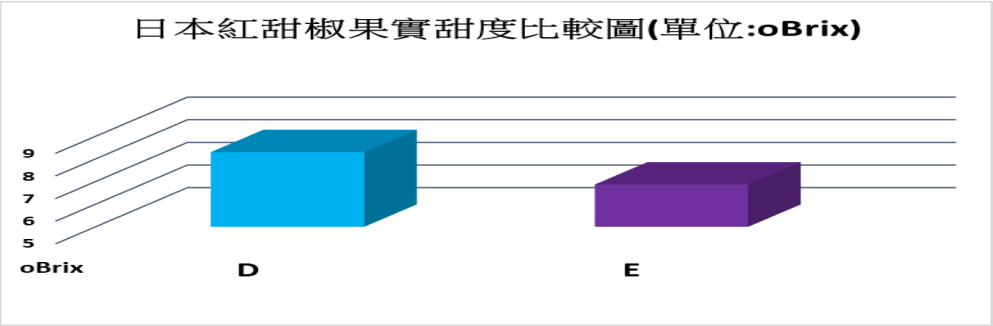


圖 58

(2)青果

A.甜椒甜度紀錄表(表 31)　　(單位：oBrix)

實驗組別	D1	D2	E1	E2
蒂頭	4.8	4.4	4.9	4.7
尾端	4.9	4.3	4.6	4.4
平均甜度	4.9	4.4	4.8	4.6

B.甜椒甜度比較圖

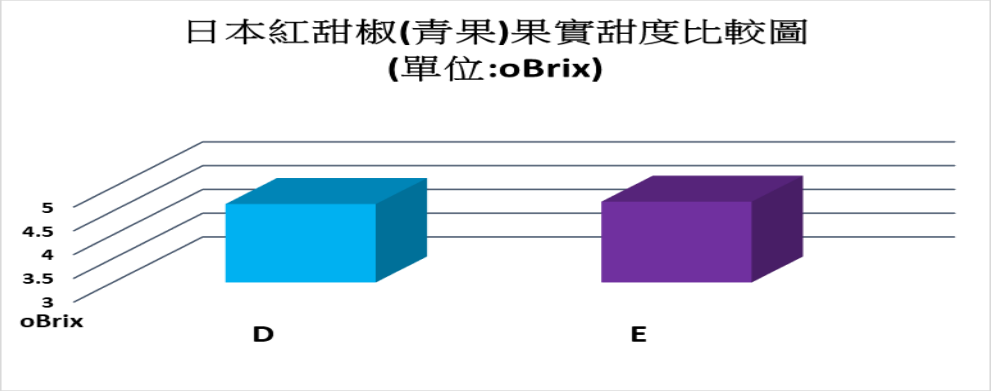


圖 59

2.果實重量

(1)熟果

A.甜椒重量紀錄表(表 32)　　(單位：g)

實驗組別	D	E1	E2(不採計)	E3	E4
重量	36.1	39.4	6.3	23.9	59.9

B.甜椒重量比較圖

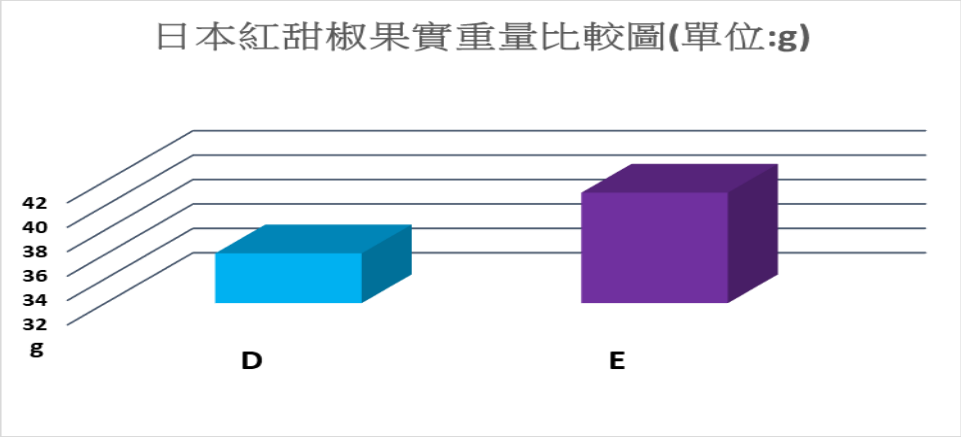


圖 60

(2)青果

A.甜椒重量紀錄表(表 33)　　(單位：g)

實驗組別	D1	D2	E1	E2
重量	58.2	68.4	64.9	92.8

B.甜椒重量比較圖

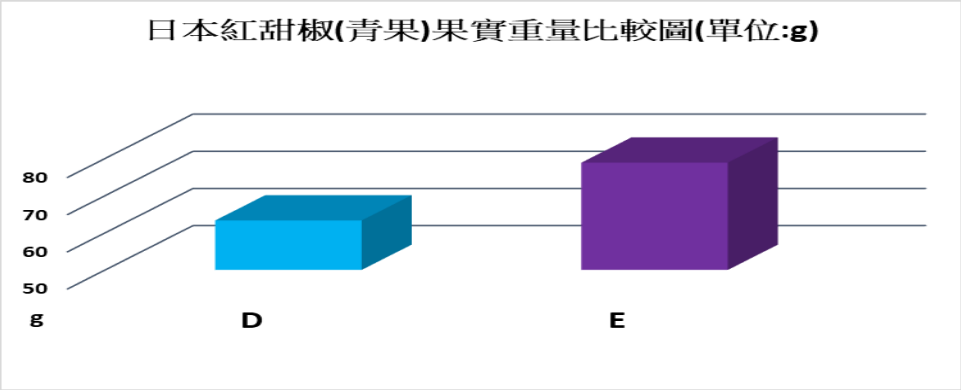


圖 61

3.果實體積

(1)熟果

A.甜椒體積紀錄表(表 34)　　(單位：cm/cm^3)

實驗組別	D	E1	E2(不採計)	E3	E4
長	4.5	4.5	2.5	3.5	4.5
寬	3.5	4.5	2.5	3.5	5
高	5.3	5.5	2.6	5.5	6.5
體積	83.5	111.4	16.3	67.4	146.3

B.甜椒體積比較圖

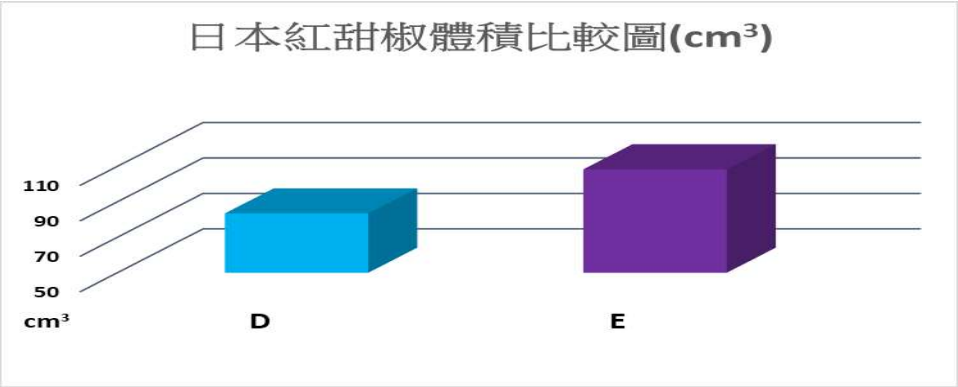


圖 62

(2)青果

A.甜椒體積紀錄表(表 35)　　(單位：cm/cm³)

實驗組別	D1	D2	E1	E2
長	5.1	5.9	6	7.1
寬	5	5.9	5.2	6.8
高	8.5	8.7	7.4	6.7
體積	216.8	302.9	230.9	323.5

B.甜椒體積比較圖

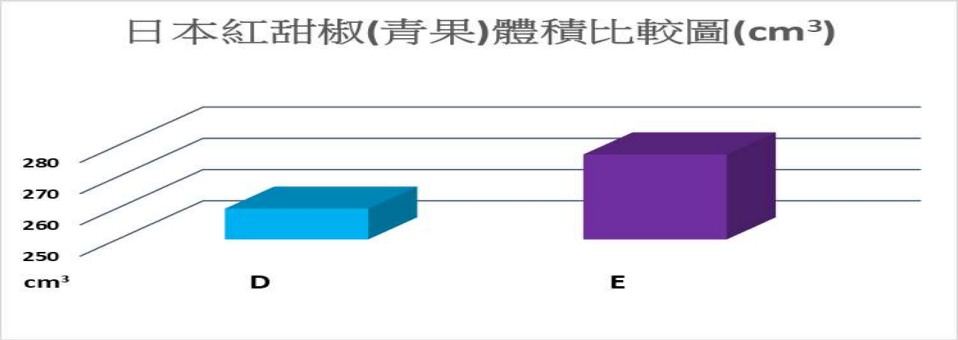


圖 63

(二)實驗 3-2 驗證各種堆肥對甜椒生長的影響

1.條紋彩椒植株高度紀錄表(表 36)　　(單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 18 天	4.7	4.1	3.5	2.5	2.2	1.7
第 25 天	3.3	3.5	3.7	4.7	5	3.7
第 28 天	3.8	5.0	4	4.5	4.3	3.3
第 32 天	4.5	5.3	4.4	5.3	4.2	3.7

2.吉普賽甜椒植株高度紀錄表(表 37)　　(單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 18 天	5.1	4.2	6.8	2.8	2	2. 7
第 25 天	4.5	4.5	6	4.8	5	6.0
第 28 天	5.5	6.2	6.5	4.8	4.5	4
第 32 天	5.8	5.9	7.2	4.9	5.3	5.2

3.日本紅甜椒植株高度紀錄表(表 38)　　(單位：公分)

發芽後	對照組	A	B	C	D	E
第 18 天	4.8	2.6	4	2	2.2	2.5
第 25 天	3.8	3.7	4.5	3.8	4	6.0
第 28 天	5.7	4.5	5.5	3.8	3.5	4.8
第 32 天	5.3	4.3	5	5	3.7	5.9

4.從「各實驗組施肥後比較圖」來看甜椒本身的生長效能

(1)甜椒施肥後成長狀況比較圖

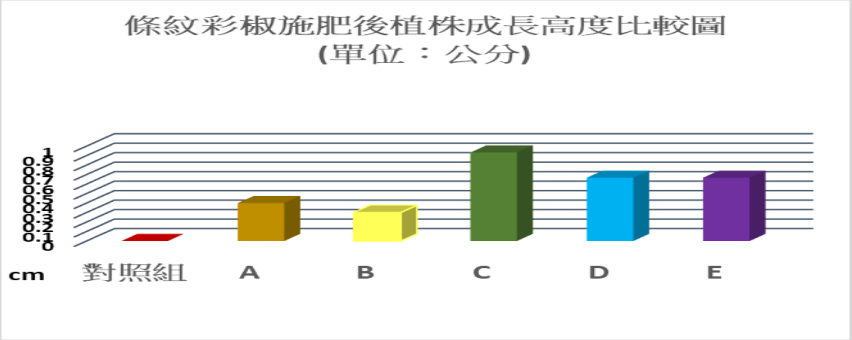


圖 64

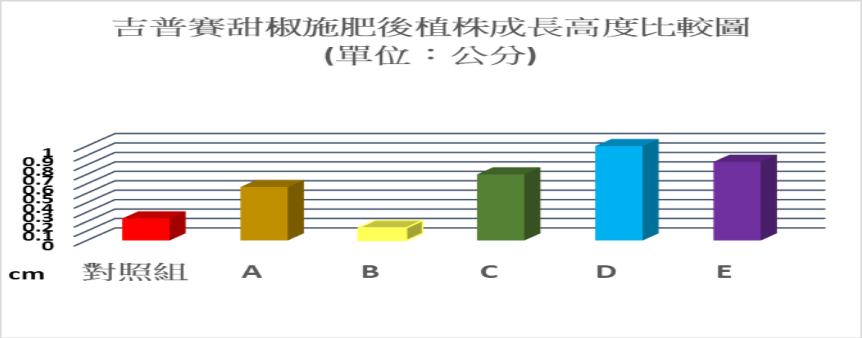


圖 65

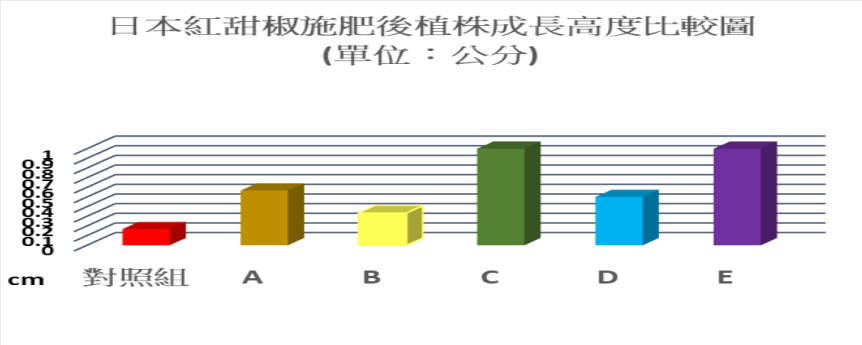


圖 66

(2)施肥效果

從以上圖表可發現：

A.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：C＞E＝D＞A＞B＞對照組。

B.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：D＞E＞C＞A＞對照組＞B。

C.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞C＞A＞D＞B＞對照組。

整體而言，相較於其他堆肥，配方 E 對甜椒成長效能仍然是較佳的。

伍、討論

一、堆肥製作方式是否會影響堆肥發酵熟成時間？

是，由下表紀錄可發現以有氧發酵方式製作堆肥需要使用的時間最短暫。(表 39)

配方	A	B	C	D✓	E
製作方式	厭氧	厭氧	厭氧	有氧	厭氧
培養的菌種	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌+土中微生物	EM 堆肥菌	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌。	果皮微生物，如：醋酸菌、乳酸菌、酵母菌+土中微生物	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌。
製成天數	36(-8)日	43(-8)日	64(-29)日	13(+1)日	20(+1)日

推測應是因為參與分解的菌種更多，因此分解效率更好。

二、在同為厭氧發酵環境，何種堆肥配方發酵熟成的速度最快？(表 40)

配方	A	B	C	E ✓
材料	培養土+果皮	EM 堆肥菌+果皮	雞蛋殼+果皮	咖啡渣+果皮
製作方式	厭氧	厭氧	厭氧	厭氧
製成天數	36 日	43 日	64 日	20 日

(一)發酵的作用面積：在同為厭氧發酵的環境中，咖啡渣僅需 20 日就已發酵完成，推測是因為比起其他材料**咖啡渣更加細碎，發酵的作用面積更大。**

(二)活性化學成分：此外我們從「**咖啡與養生的小常識**」[20]一文中發現**咖啡本身含有活性化學成分，可能因此加強微生物活性**，使得發酵分解速度更快。

三、不同品種的甜椒本身的生長效能是否並不相同？(表 41)

品種	條紋彩椒	吉普賽甜椒	日本紅甜椒
外觀	燈籠型果，青果為濃綠色，熟果為橘黃交錯的條紋狀彩椒。	長條型甜椒，青果為蘋果綠色，熟果為紅色。	燈籠型果，青果為濃綠色，熟果為鮮艷的紅色。
肥前平均高度差	2.5	2.9	1.1

是的，由上表中施肥前每七天平均生長高度差，可發現燈籠型果的生長效能似乎較差。

此外，由於條紋彩椒、吉普賽甜椒發芽日為 11 月 04 日，而日本紅甜椒於 11 月 18 日才發芽，可能是由於植株發芽天數的差異導致日本紅甜椒記錄下來數據比其他兩種品種差很多。

四、種植甜椒時施肥的必要性？

[20] 參考文獻資料十二

(一)第一次甜椒種植：是的，但可能因條紋彩椒實驗組 C 移植後生長狀況不佳一直未長大，以及吉普賽甜椒對照組最早(10/08)發芽,並受到風害問題干擾，實驗數據有較大誤差。

1.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：E＞B＞A＞D＞對照組＞C。

2.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞D＞B＞C＞A＞對照組。

3.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞A＞D＞對照組＞B＞C。

(二)第二次甜椒種植：在 4/28 重新種植甜椒，並在發芽後第 20 日(一追)開始施肥，發現：

1.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：C＞E＝D＞A＞B＞對照組。

2.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：D＞E＞C＞A＞對照組＞B。

3.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞C＞A＞D＞B＞對照組。

從實驗結果可發現，**無論是何種品種的甜椒，對照組肥後生長高度差數據皆屬敬陪末座**。

(三)甜椒果實：根據對照組實驗結果不施肥將導致果實品質不佳(果重、果大)。

1.由實驗結果，我們發現需要希望根據想提升的效果，如：甜椒果實的多寡、甜度、大小、重量等需求適當施肥並找到最適合的肥料。

2.提升果實多寡(平均)排名：A>B>E>C>D>對照組。

3.提升果實甜度(單看吉普賽甜椒)排名：D>對照組>A>B>E>C。

4.提升果實重量(單看吉普賽甜椒)排名：C>D>B>A>E>對照組。

5.提升果實大小(單看吉普賽甜椒)排名：C>D>A>B>E>對照組。

五、甜椒植株本身的生長效能與品種更相關還是與施加的堆肥更相關？

從研究數據可發現，**施肥後的生長高度差仍與本來品種的生長效能呈正相關**，上列平均數據扣除吉普賽甜椒對照組數據平均為 2.2。

但有些堆肥配方對特定品種特別有效，如：條紋甜椒施加堆肥配方 B 都特別有效。

也有對所有品種都有效果的配方堆肥，如：堆肥配方 E 讓所有甜椒植株都顯著增高。

六、植株上除採收的甜椒外，同時生長的甜椒個數（包含花、花苞）是否會影響到收成果實的生長狀況？

(一)條紋彩椒

1.同時生長果實數(扣除自己)排名：B(3 顆)>A(2 顆)>D(1 顆)>對照組(0 顆)=C (0 顆)=E(0 顆)

2.甜度排名：A>E。

3.重量排名：E>A。

4.體積排名：E>A。

單從**條紋彩椒**數據判斷，**同時生長果實數排名會剛好與體積、重量排名成反比**，但條紋彩椒落果狀況嚴重，缺乏完整數據，以吉普賽甜椒數據為主。

(二)吉普賽甜椒

1.同時生長果實數(扣除自己)：A(5 顆)>B(3 顆) >E(2 顆)>C (1 顆)>對照組(0 顆) =D(0 顆)

2.甜度排名：D>對照組>A>B>E>C

3.重量排名：C>D>B>A>E>對照組

4.體積排名：C>D>A>B>E>對照組

5.數據解讀：

(1)對照組，雖同時生長果實數為 0，甜度排名第 2，但重量與體積皆為最差。

(2)實驗組 D 同時生長果實數為 0，甜度排名第 1，重量、體積排名第 2。

(3)實驗組 C 同時生長果實數為 1，甜度排名最後，重量、體積排名第 1。

(4)實驗組 E 同時生長果實數為 2，甜度排名第 5，重量排名第 5、體積排名第 5。

(5)實驗組 B 同時生長果實數為 3，甜度排名第 4，重量排名第 3、體積排名第 4。

(6)實驗組 A 同時生長果實數為 5，甜度排名第 3，重量排名第 4、體積排名第 3。

從以上數據可見，重量、體積並未真的完全與同時生長果實數排名成反比。堆肥配方 A 雖能促進較多的果實生成(5 顆)，但單一果實的生長可能受到限制，導致其重量與體積並未明顯提升。而堆肥配方 C 雖然僅產生一個果實，卻將植株內所有養分集中於單一果實，使其體積與重量達到最大，但奇怪的是該實驗組甜椒果實甜度排名卻是殿後。

實驗組 D 雖然同時生長果實數為 0，但其甜度卻排名第 1，這可能表示堆肥配方 D 促進了植株將養分轉移至果實，進而提升果實甜度。在這次實驗中，我們了解到甜椒的栽培過程中，需要權衡果實數量、大小與甜度的關係，選擇適合的施肥策略。

七、甜椒植株本身的生長效能是否會影響果實狀態？

(一)觀察**條紋甜椒**數據可以發現，**實驗組 E** 在生長高度、果實重量和體積上均表現最佳，但甜度並非最高。這顯示了生長效能和果實狀態之間可能存在權衡關係，即植株可能將更多資源用於促進生長，相對就會減少了對果實甜度的投入。

(二)從**吉普賽甜椒**數據來看：

1.實驗組 E 雖然在生長高度上表現突出，但在果實甜度、重量和體積上並非全面領先。

2.儘管實驗組 C 在重量和體積上表現最好，但實驗組 C 是生長效能最低的。推測實驗組 C 的吉普賽甜椒，或許正處於某種逆境之中，例如：養分不足、肥料不適用導致肥傷、病蟲害侵襲等。無法切確判斷具體原因，但可以確定的是，相較於其他組別，實驗組 C 的生存環境較為嚴峻。在此情況下，實驗組 C 甜椒植株可能啟動了一種「資源傾斜」的策略。由於自身生長受到限制(體現在生長效能最低)，植株轉而將大部分資源集中於果實的發育，以確保後代能夠順利產生。這就解釋了為何實驗組 C 的果實，能在重量和體積上傲視群雄，卻犧牲了植株本身的生長。

3.實驗組 D 甜度最高，但體積、重量沒有特別突出。這表示隨著甜椒種類不同，堆肥配方對其果實狀態的影響可能不同。

八、果實越大甜度越低？

(一)條紋彩椒

1.甜度排名：A>E。

2.重量排名：E>A。

3.體積排名：E>A。

單從**條紋彩椒**數據判斷，果實大小與甜度呈現負相關，但條紋彩椒落果狀況嚴重，缺乏完整數據，以吉普賽甜椒數據為主。

(二)吉普賽甜椒

1.甜度排名：D>對照組>A>B>E>C

2.重量排名：C>D>B>A>E>對照組

3.體積排名：C>D>A>B>E>對照組

果實大小與甜度呈現負相關。

(三)日本紅甜椒

1.甜度排名：D> E

2.重量排名：E> D

3.體積排名：E> D

果實大小與甜度呈現負相關。

值得注意的是，施用堆肥配方 D 的吉普賽甜椒，其果實已偏大，但甜度卻又明顯高於其他組別，這可能表示堆肥 D 含有某些特殊成分，有助於提升果實甜度。

另一方面，施用堆肥配方 E 的吉普賽甜椒，雖然果實體積和重量表現平平，但從條紋彩椒的數據來看，施用堆肥配方 E 的果實體積和重量均顯著提升，因此推測堆肥配方 E 可能可以促進植物快速成長，導致植株養分分配較不均衡，從而降低了吉普賽甜椒的果實甜度。當植株資源有限時，可能會優先供應植株本身及果實的生長，而犧牲了甜度的累積。

繼續種植日本紅甜椒，在實驗組 E 的部分，採收的果實大多較實驗組 D 大，且甜度較實驗組 D 低，但其中收成了一顆**重量僅有 6.3g 的甜椒**，**甜度高達 9.45 oBrix**，在量測過程發現其內部有蟲，因此推論，當果實遭遇生長危機時，植株亦會供給更多的養分給果實，因此果實體積雖然很小，但已經轉色成熟，且甜度增加。

陸、結論

一、堆肥製作方式影響堆肥效率：

實驗結果顯示，**相較於厭氧堆肥(配方 A)，以有氧發酵方式(配方 D)製作堆肥能更快速完成**。根據實驗結果有氧發酵方式製作的堆肥只需要 13 天即可完成，本研究證實「有氧發

酵」是更有效率的堆肥製作方式，推測可能是因為有氧發酵方式能培育更多的菌種。

二、在同樣以厭氧發酵製作堆肥的條件下，不同基底材料影響堆肥效率：

(一)在實驗 1-1 中以培養土作為基底的堆肥（配方 A）製作效率最佳。這可能與土壤中豐富的微生物群落有關，有助於發酵分解。

(二)在實驗 2-1 中我們發現以使用咖啡渣製作堆肥，僅需 20 天即可完成，效率最佳。

三、甜椒本身的品種會影響生長和果實品質：

不同甜椒品種在相同環境條件下的生長效能存在差異。在本次研究中可發現，在未施肥狀況下吉普賽甜椒的植株生長速度較快，而條紋甜椒則在果實重量和體積上表現更優異。

四、堆肥種類對甜椒植株本身生長和果實品質有特定影響：不同的堆肥配方對不同品種甜椒的影響不同。

(一)條紋彩椒：

1.植株成長速度：與施肥前高度差相比，施加 E 堆肥能加快條紋彩椒植株成長。

2.果實甜度：與實驗組 E 相比，施加配方 A 堆肥能增加條紋彩椒甜度。

3.果實大小：與實驗組 A 相比，施加配方 E 堆肥能增加果實成長效率。

4.結果率：與對照組相比，施加配方 A、B 堆肥能增加條紋彩椒結果數量。

(二)吉普賽甜椒：

1.植株成長速度：與施肥前高度差相比，施加 E 堆肥最能加快吉普賽甜椒植株成長。

2.果實甜度：與對照組相比，施加配方 D 堆肥最能增加吉普賽甜椒甜度。

3.果實大小：與對照組相比，

(1)施加配方 C 堆肥最能增加吉普賽甜椒果實重量。

(2)施加配方 C 堆肥最能增加吉普賽甜椒果實體積。

4.結果率：與對照組相比，施加配方 A 堆肥最能增加吉普賽甜椒結果數量。

(三)日本紅甜椒：

1.植株成長速度：與對照組及施肥前高度差相比，施加配方 E 堆肥最能加快日本紅甜椒植株成長。

2.果實甜度：與配方 E 相比，施加配方 D 堆肥最能增加日本紅甜椒甜度。

3.果實大小：與配方 D 相比，

(1)施加配方 E 最能增加日本紅甜椒果實重量。

(2)施加配方 E 堆肥最能增加日本紅甜椒果實體積。

4.生長效能：與配方 D 相比，施加配方 E 堆肥最能加快日本紅甜椒的果實成熟的效率。

五、果實大小與甜度呈現負相關趨勢，但施加的堆肥種類會影響此一關係：

本次研究結果顯示，在多數情況下，甜椒果實的大小與甜度呈現負相關的趨勢，但施加

得堆肥種類會影響這項趨勢。

本次實驗中，施用堆肥配方 D 的甜椒，其果實儘管並非最大，但甜度卻顯著高於其他組別。這可能表明堆肥配方 D 中含有某些特殊成分，能促進甜度累積。堆肥配方 E 生產出來的甜椒甜度雖非最高，但也能產出甜度很高的果實。

因此，應根據「高甜度」、「大果實」等不同的追求目標，審慎選擇適當的堆肥配方。

六、特定堆肥可能影響植株的資源分配策略：

本研究結果顯示，某些堆肥配方可能影響植株的整體養分分配，例如將更多養分用於促進生長，而減少對果實甜度的投入。施用堆肥配方 E 的條紋彩椒就充分的體現了這一點。

推論若母體遭遇生存危機，會促進果實生長。實驗組 C 的吉普賽甜椒可能正處於逆境，與施肥前生長高度差數據相比，生長效能縮減，但可能也因此將大部分資源集中於果實的發育，因此果實在重量和體積上數據最佳。

七、堆肥綜合使用策略：

總體而言，不同的堆肥對甜椒的生長影響各異。

(一)若**追求**的是**果實數量**，**堆肥配方 A** 或許是較佳的選擇；

(二)若**追求果實大小**，則可考慮**堆肥配方 C、E**；

(三)若**重視果實甜度**，則應選擇**堆肥配方 D**。

(四)若想讓**果實生長效能加快**，則應選擇**配方 E**。

根據對照組種植結果，甜椒的種植過程有施肥的必要性，否則一旦甜椒開始開花，植株很可能會因養分不足而導致植株生長效能變差，且開花後也不易著果。

但是若施加的肥料不適用可能會像實驗組 C 的條紋彩椒、日本紅甜椒一般成長狀況遲滯。因此，在實際栽培過程中，應根據自身的需求和環境條件，綜合考量各項因素，選擇最適合的堆肥配方。

八、綜合堆肥製程所需時間、果實大小與植株生長效能等指標，本研究發現配方 E 堆肥展現出最優異的整體效果。對農民而言，使用此堆肥不僅能有效加速甜椒的生長過程，亦有助於提升果實品質與經濟效益，具有實際應用價值。

(本文所有照片皆為 113/10/01-114/06/04 期間研究者於實驗場域拍攝)

(本文中圖表除表 5 為參考台肥公司網頁資料繪製外，其餘圖表皆為研究者跟結果自行繪製輸入。)

柒、參考文獻資料

一、黃翊修、林星語、張瑄珉、王苡安(2019)。快，又有酵——廚餘堆肥快速發酵機。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、蔡永暐(2005)。固態堆肥之製作與田間應用。高雄區農技報導, 第 66 期。
https://www.kdais.gov.tw/ws.php?id=391。

三、鄭健雄,蔡宜峰,張惠真(1995)。農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃。永續農業研究及推廣研討會專輯, 66－78。
https://www.tcdares.gov.tw/upload/tdais/files/web_structure/1144/TC023607.pdf。

四、主婦聯盟環保基金會(2014)。廚餘堆肥 DIY(做法)。
https://www.huf.org.tw/event/content/1551

五、(n.d.)。甜椒(辣椒)。台灣肥料股份有限公司。
https://www.taifer.com.tw/ClassroomDetailC003220.aspx?Cond=9b030a20-2189-413c-94c7-959925589482

六、(n.d.)。後院食物殘渣堆肥的基本常識。Montgomery County。
https://www.montgomerycountymd.gov/DEP/Resources/Files/store/tip-sheet-1-food-scrap-ch.pdf

七、(n.d.)。堆肥材料碳氮比(C:N ratio)。Open Hack Farm 開放農業實驗基地。
https://openhackfarm.wordpress.com/2019/03/23/%E5%A0%86%E8%82%A5%E6%9D%90%E6%96%99%E7%A2%B3%E6%B0%AE%E6%AF%94-cn-ratio-%E5%8F%83%E8%80%83/

八、陳汶蔚、葉嘉恩、王衍雲(2010)。酵傲天際——天然水果酵母與麵包黴菌的火花。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。

九、蔡英傑(n.d.)。乳酸菌小百科。台灣乳酸菌協會。http://www.talab.org.tw/knowledge.htm

十、金橓羊(2016)。發酵專家告訴你釀醋要注意這五點。食力 foodNEXT。
https://www.foodnext.net/issue/paper/4098745325

十一、陳品瑄、沈天愛、李宇捷、馮康睿(2014)。水果微笑 努力起「酵」～探究自製新鮮水果酵母液對於麵種發酵的影響。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。

十二、鍾啟東(2019)。咖啡與養生的小常識。台肥季刊，2019 年 07 月號。
https://www.taifer.com.tw/PublicationArticleDetailC004000.aspx?Cond=bb93f615-cadb-40c6-9d28-b89438290c65

【評語】080304

1. 本作品探討自製各類堆肥（如果皮、咖啡渣、蛋殼等）對不同品種甜椒生長及果實品質的影響。學生親自設計並操作堆肥製作與甜椒種植實驗，詳細記錄堆肥熟成時間、甜椒植株高度、果實重量、體積與甜度等多項數據，分析不同堆肥配方對甜椒生長的效果，並提出適合農作的堆肥建議。

2. 應用性佳，將研究成果與實際農作結合，提出適合不同需求（如追求甜度、果實大小等）的堆肥配方，具實用價值。

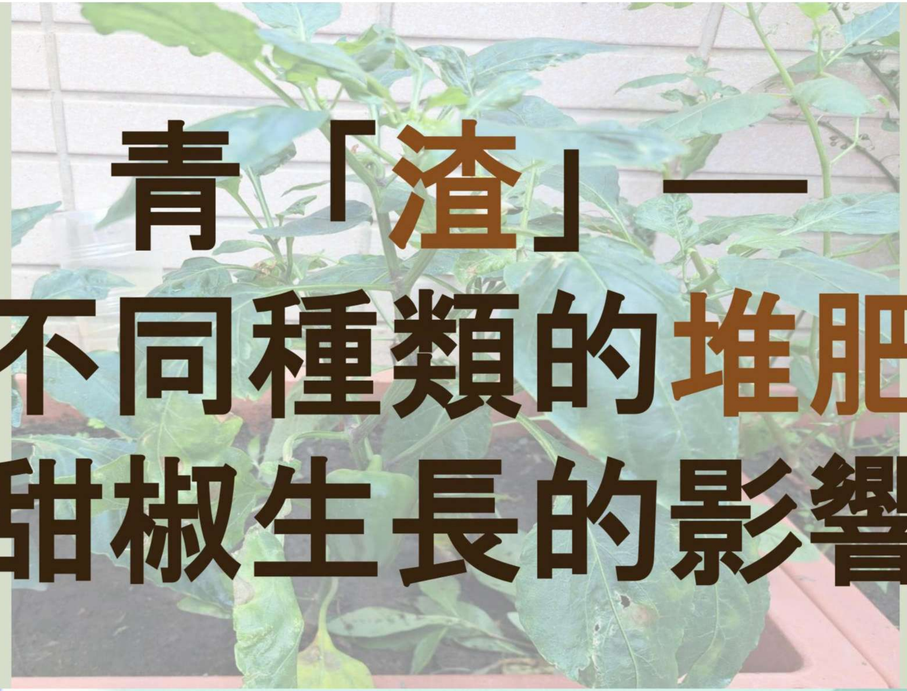
3. 若能增加各組實驗的樣本數與重複次數，將使數據更具說服力與統計意義。

4. 建議在比較不同堆肥配方時，進一步加強對光照、水分、溫度等環境變因的控制，讓實驗結果更嚴謹。

5. 若有機會進行更長期的追蹤觀察，或延伸至其他作物，將能讓研究更具廣度與深度。

作品海報

青「渣」—
論不同種類的堆肥對甜椒生長的影響



壹、前言

一、研究動機

小時候看到奶奶在田裡翻土，並將果皮埋進田裡，首次接觸「堆肥」，便對此產生濃厚興趣。我們學校推動**食農教育**，讓我了解**永續農業**的重要性，也發現化肥對環境的傷害。因此，我希望利用水果皮製作堆肥，為環境盡一份心力。考量組內成員過去曾有種植辣椒的經驗，這次科展我們選擇與辣椒同為茄科的甜椒作為實驗對象，結合興趣與經驗展開研究。

二、研究目的

(一)探討以何種方式製作堆肥更有效率。
(二)探討吉普賽甜椒、條紋彩椒以及日本紅甜椒在相同環境條件下的生長速度差異。
(三)探討不同品種的甜椒在相同堆肥下的生長速度差異。
(四)探討施加不同種類的堆肥對於甜椒植株本身生長的影響。
(五)探討施加何種堆肥會對甜椒果實的大小、甜度影響最大。

三、文獻回顧

查詢網路上與堆肥相關之研究，找到的資料為——

中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書「快，又有酵——廚餘堆肥快速發酵機」、
「高雄區農技報導66期：固態堆肥之製作與田間應用」、
「永續農業研究及推廣研討會專輯 66~78 (1995)：農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃」。

(一)堆肥碳氮比

參考「永續農業研究及推廣研討會專輯 66~78 (1995)：農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃」。**堆肥需要按照一定的碳氮比才能順利發酵分解。以碳氮比：20：1～30：1比例製作堆肥。**

(二)堆肥分解方式

堆肥形成原理：堆肥就是藉微生物的生化作用，在控制條件下將廢棄物中的有機質分解使其轉化為水、二氧化碳、氮、硝酸，再經過腐熟，成為安定的腐植土。

1.有氧發酵：用翻堆或強制送風、抽風，以好氧性菌種分解廢棄物的方式。較為快速。
2.厭氧發酵：把廢棄物堆積減少與空氣之接觸以厭氧性菌種分解為主要反應。較慢。

貳、研究設備及器材

一、種植甜椒使用到的器材及設備：

大種菜盆、甜椒種籽、移植鏟、澆水用的水桶、澆水用的量杯、掃把柄、尼龍繩、蘭花夾、寶特瓶、自動澆水器、錐子、篩網、噴壺、辣椒。

二、製作堆肥使用到的器材及設備：

堆肥桶、噴壺、農用小耙子、水果刀、砧板。

三、製作堆肥的基底(當作土壤使用)

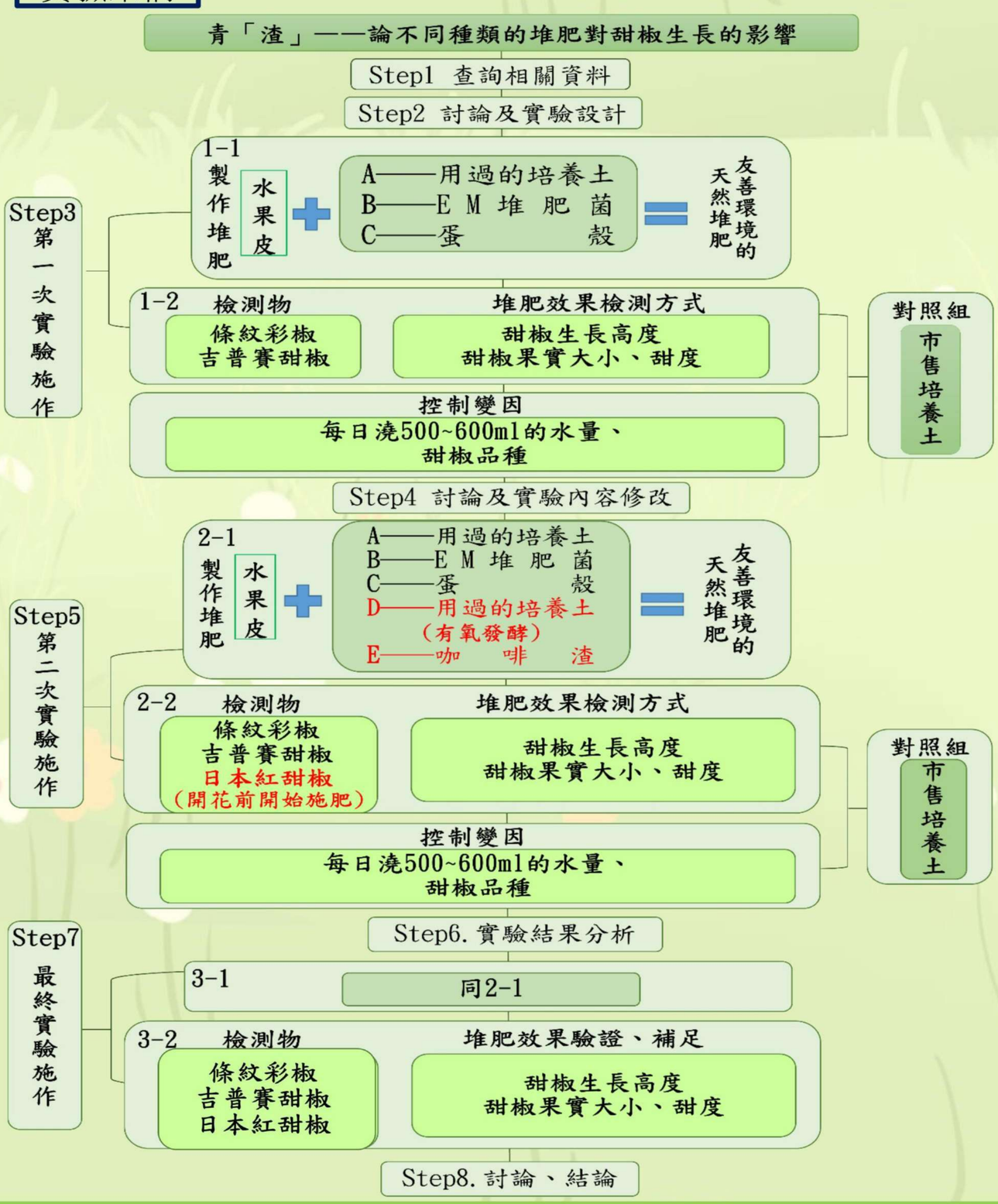
喪失肥力的培養土、ＥＭ堆肥菌、雞蛋殼、堆肥中的咖啡渣。

四、量測過程使用的器材及設備：

電子磅秤、平方公分板、甜度計、捲尺、鐵尺。(詳見說明書內容。)

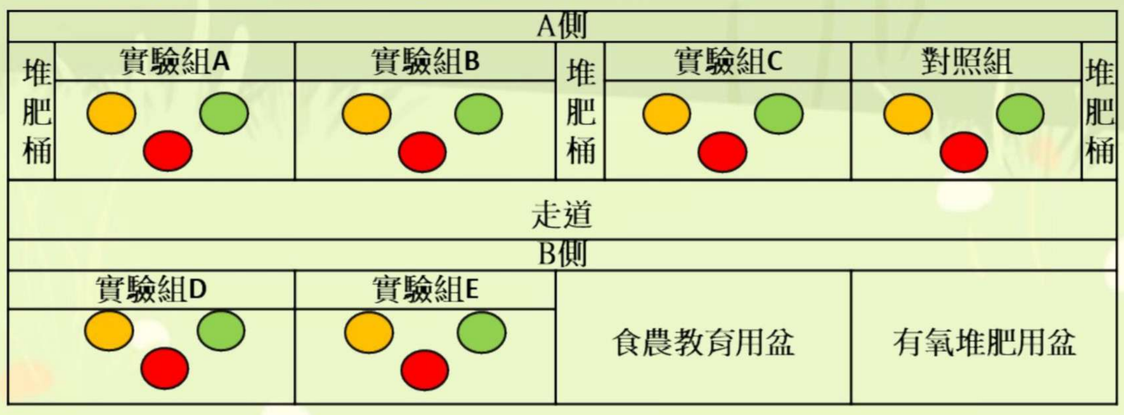
參、研究過程或方法

實驗架構

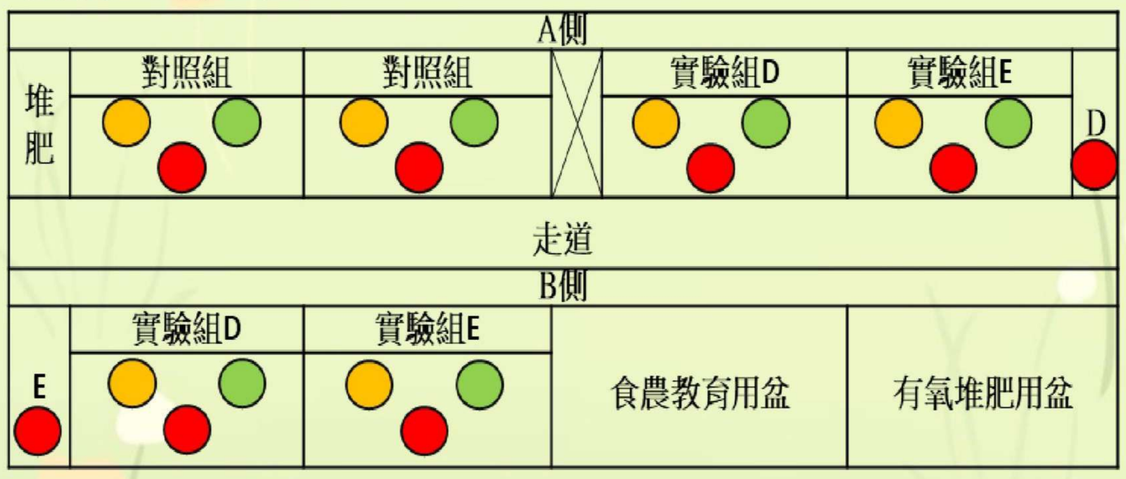


實驗2-1佈置圖

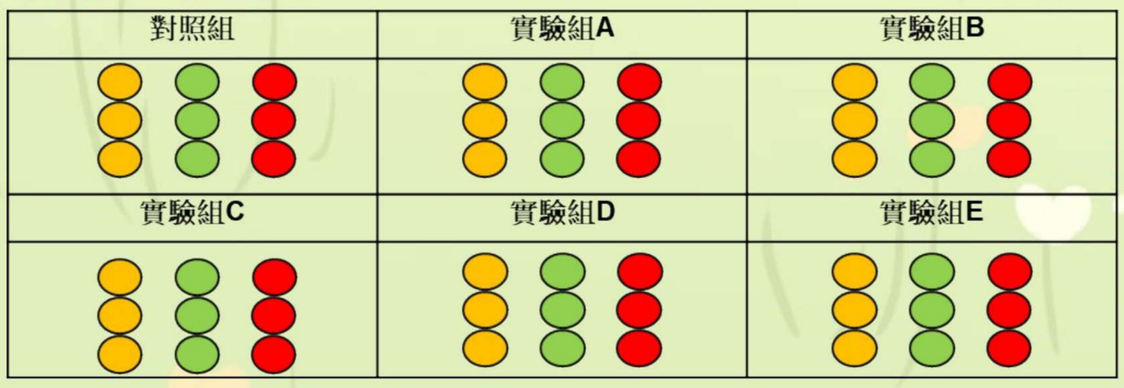
圖例：●條紋彩椒●吉普賽甜椒●日本紅甜椒



實驗3-1佈置圖



實驗3-2佈置圖



肆、研究結果

一、堆肥製作觀察結果

何種堆肥配方發酵熟成的速度最快？

配方	A	B	C	D	E
製作方式	厭氧	厭氧	厭氧	有氧	厭氧
培養的菌種	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌+土中微生物	EM堆肥菌	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌。	果皮微生物，如：醋酸菌、乳酸菌、酵母菌+土中微生物	果皮微生物，如：乳酸菌、酵母菌。
製成天數	36(-8)日	43(-8)日	64(-29)日	13(+1)日	20(+1)日

1.何種堆肥方式更快速、有效率？

配方D (有氧)推測應是因為**配方D參與分解的菌種更多**，因此**分解效率更好**。

2.在同為厭氧發酵環境，何種配方熟成的速度最快？

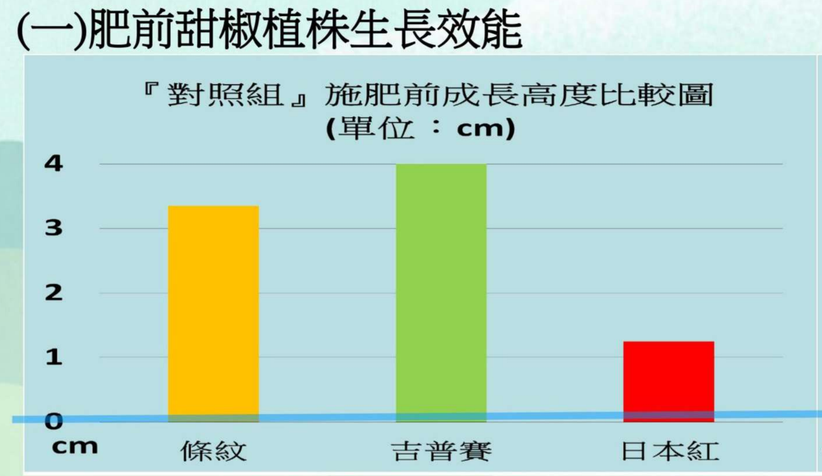
配方E(厭氧)。

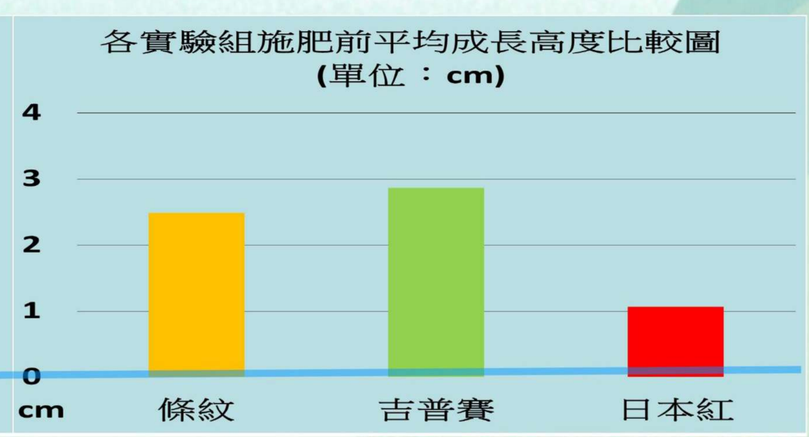
(1)推測是因**咖啡渣比其他材料更加細碎**，所以加速了堆肥的分解。

(2)推測是因**咖啡的活性化學成分**，提高堆肥內微生物分解的速度。

二、以甜椒植株變化看生長效能

(一)肥前甜椒植株生長效能

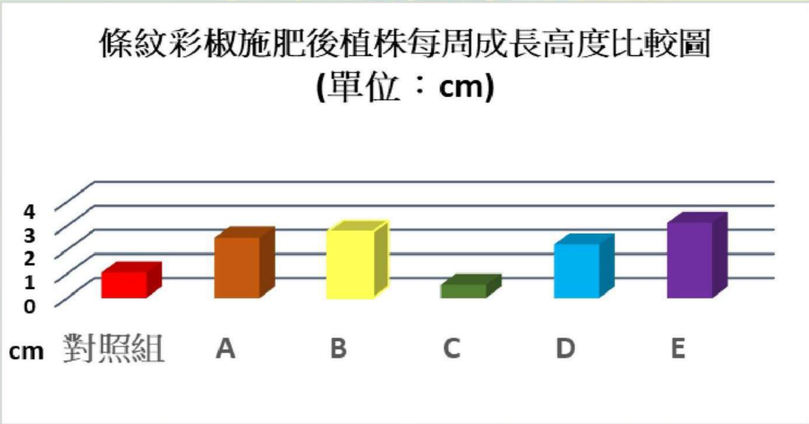


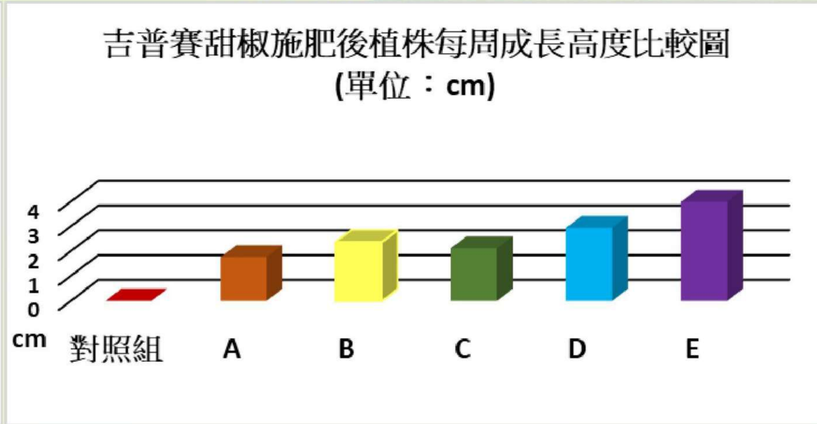


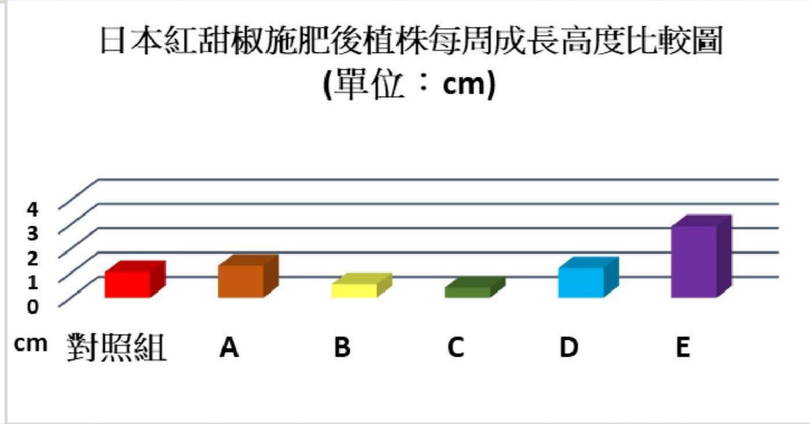
單從未施肥前植株成長高度差來看甜椒生長效能可以得知，在未施肥狀況下，此三種品種的甜椒生長效能如下：

吉普賽甜椒＞條紋彩椒＞日本紅甜椒。

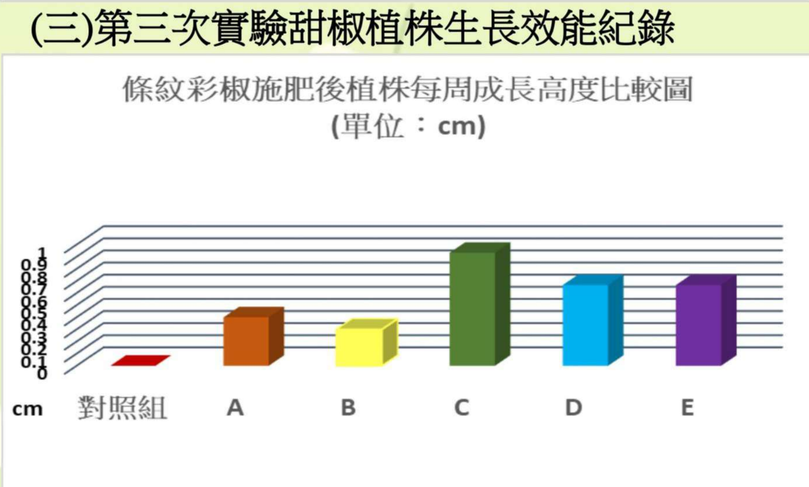
(二)第一、二次實驗甜椒植株生長效能紀錄

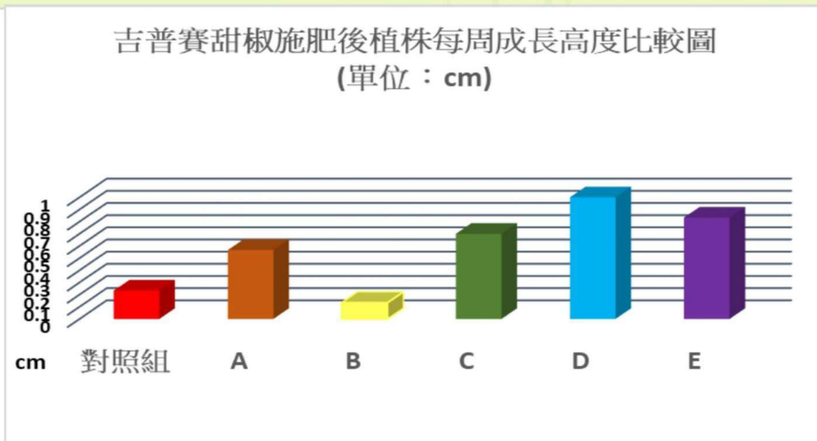


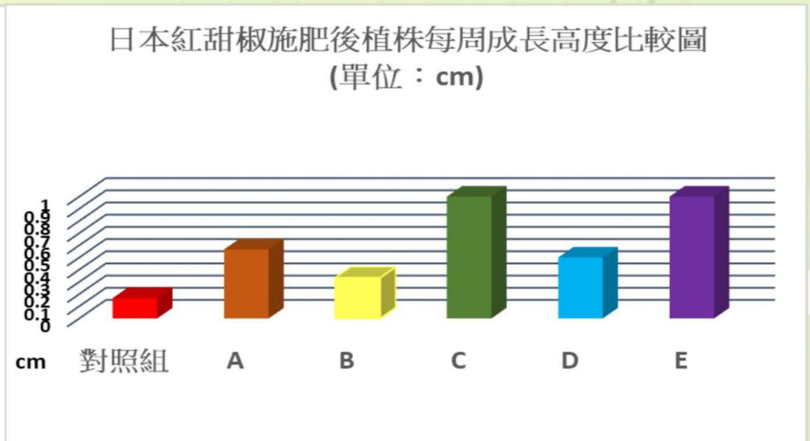




(三)第三次實驗甜椒植株生長效能紀錄







(四)比較兩次實驗紀錄結果

(1)從第一、二次實驗甜椒生長效能紀錄看堆肥效果

從以上圖表可發現：

A.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：E＞B＞A＞D＞對照組＞C。

B.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞D＞B＞C＞A＞對照組。

C.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞A＞D＞對照組＞B＞C。

對全部品種甜椒都最有效的堆肥配方為——以「250g用過的咖啡渣+250g果皮」製成的**配方E**。

(2)從第三次實驗甜椒生長效能紀錄看堆肥效果

從以上圖表可發現：

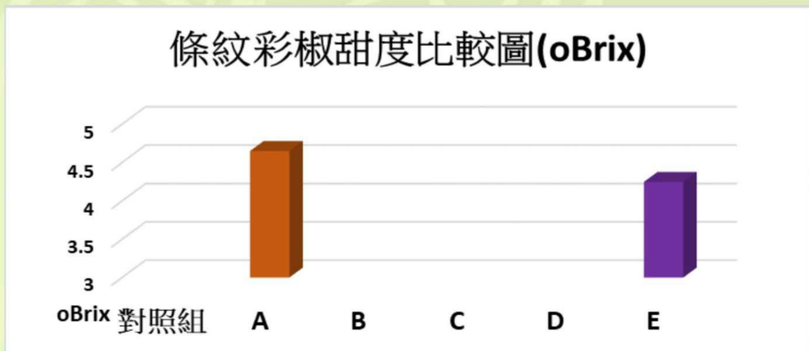
A.對條紋彩椒來說，最有效的堆肥由最好排至最差依序為：C＞E＝D＞A＞B＞對照組。

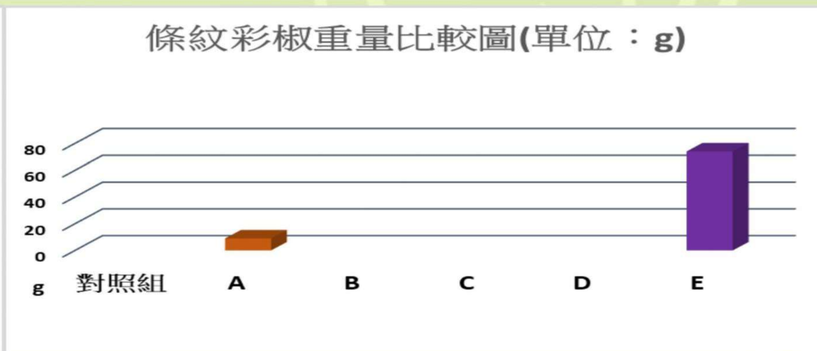
B.對吉普賽甜椒而言，堆肥的效果由最好排至最差依序為：D＞E＞C＞A＞對照組＞B。

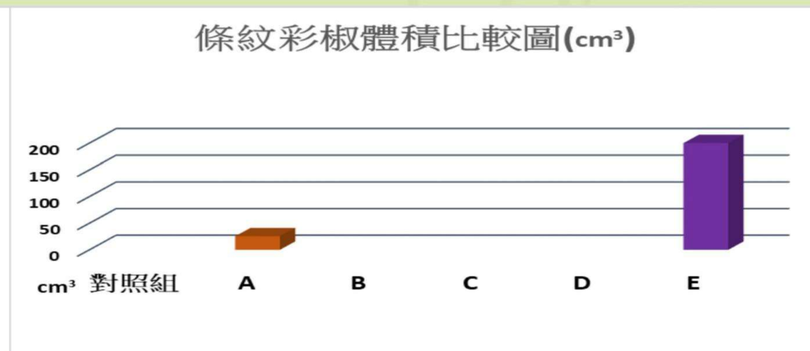
C.對日本紅甜椒來說，堆肥的效果由最好排至最差依序為：E＞C＞A＞D＞B＞對照組。

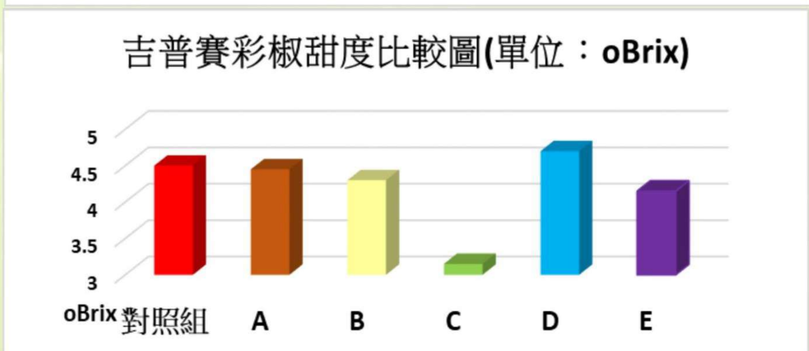
整體而言，相較於其他堆肥，配方E對甜椒成長效能仍然是較佳的。

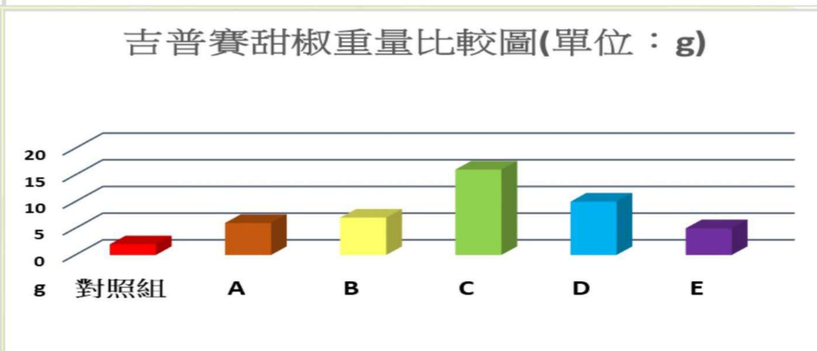
(五)甜椒果實狀態

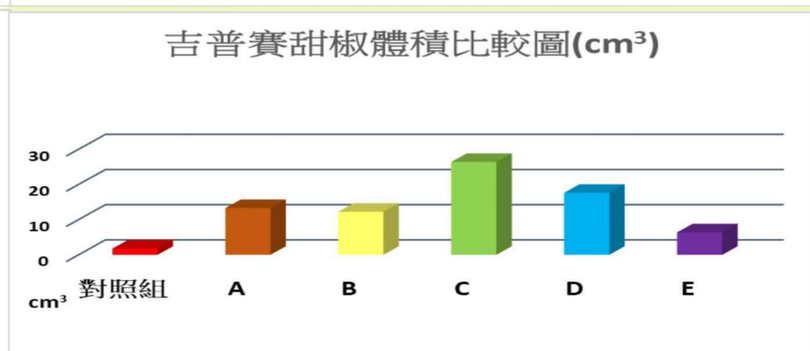


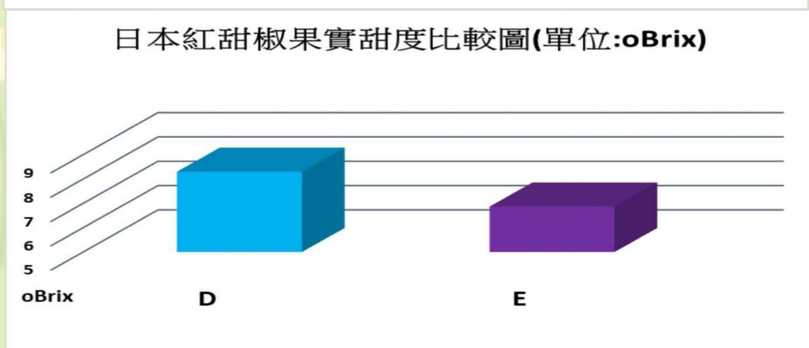


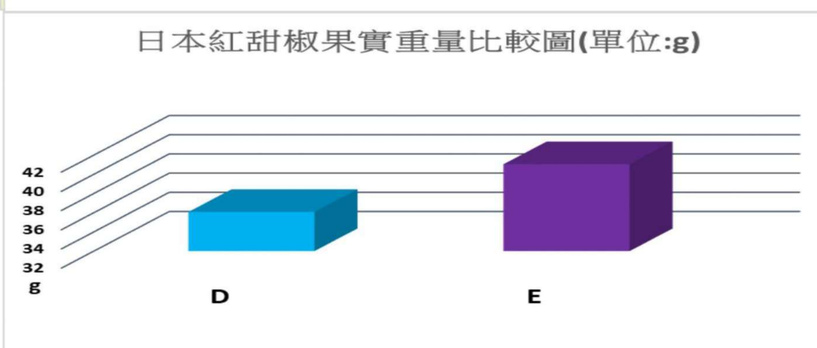


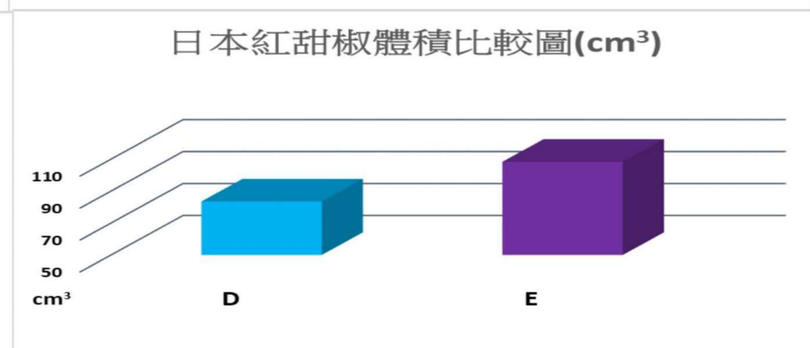


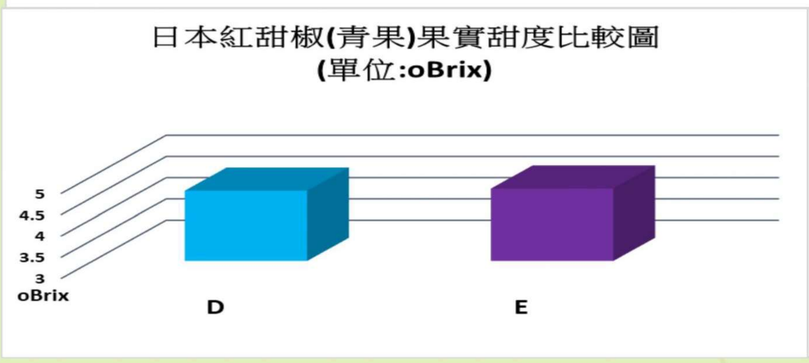


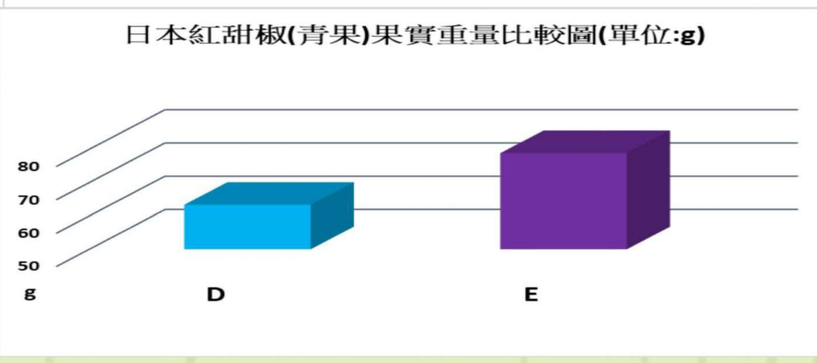


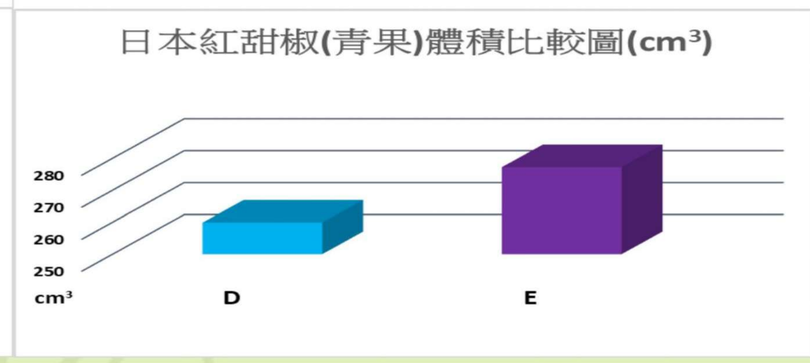












(一)條紋彩椒：

1.植株成長速度：與對照組及施肥前高度差相比，**施加E堆肥能加快條紋彩椒植株成長**。

2.果實甜度：與實驗組E相比，施加配方A堆肥能增加條紋彩椒甜度。

3.果實大小：與實驗組A相比，施加配方E堆肥能增加果實成長效率。

4.結果率：與對照組相比，施加配方A、B堆肥能增加條紋彩椒結果數量。

(二)吉普賽甜椒：

1.植株成長速度：與對照組及施肥前高度差相比，**施加E堆肥最能加快吉普賽甜椒植株成長**。

2.果實甜度：與對照組相比，**施加配方D堆肥最能增加吉普賽甜椒甜度**。

3.果實大小：與對照組相比，

(1)施加配方C堆肥最能增加吉普賽甜椒果實重量。

(2)施加配方C堆肥最能增加吉普賽甜椒果實體積。

4.結果率：與對照組相比，施加配方A堆肥最能增加吉普賽甜椒結果數量。

(三)日本紅甜椒：

1.植株成長速度：與對照組及施肥前高度差相比，**施加配方E堆肥最能加快日本紅甜椒植株成長**。

2.果實甜度：與配方E相比，**施加配方D堆肥最能增加日本紅甜椒甜度**。

3.果實大小：與配方D相比，

(1)施加配方E最能增加日本紅甜椒果實重量。

(2)施加配方E堆肥最能增加日本紅甜椒果實體積。

4.生長效能：與配方D相比，**施加配方E堆肥最能加快日本紅甜椒的果實成熟的效率**。

伍、結論

一、堆肥製作方式影響堆肥效率：

實驗結果顯示，**相較於厭氧堆肥(配方A)，以有氧發酵方式(配方 D)製作堆肥能更快速完成**。根據實驗結果有氧發酵方式製作的堆肥只需要13天即可完成，本研究證實「有氧發酵」是更有效率的堆肥製作方式，推測可能是因為有氧發酵方式能培育更多的菌種。

二、在同樣以厭氧發酵製作堆肥的條件下，不同基底材料影響堆肥效率：

(一)在實驗1-1中以培養土作為基底的堆肥（配方 A）製作效率最佳。這可能與土壤中豐富的微生物群落有關，有助於發酵分解。

(二)在實驗2-1中我們發現以使用咖啡渣製作堆肥，僅需20天即可完成，效率最佳。

三、甜椒本身的品種會影響生長和果實品質：

不同甜椒品種在相同環境條件下的生長效能存在差異。在本次研究中可發現，在未施肥狀況下吉普賽甜椒的植株生長速度較快，而條紋甜椒則在果實重量和體積上表現更優異。

四、堆肥種類對甜椒植株本身生長和果實品質有特定影響：不同的堆肥配方對不同品種甜椒的影響不同。

(一)條紋彩椒：

1.植株成長速度：與施肥前高度差相比，施加E堆肥能加快條紋彩椒植株成長。
2.果實甜度：與實驗組E相比，施加配方A堆肥能增加條紋彩椒甜度。
3.果實大小：與實驗組A相比，施加配方E堆肥能增加果實成長效率。
4.結果率：與對照組相比，施加配方A、B堆肥能增加條紋彩椒結果數量。

(二)吉普賽甜椒：

1.植株成長速度：與施肥前高度差相比，施加E堆肥最能加快吉普賽甜椒植株成長。
2.果實甜度：與對照組相比，施加配方D堆肥最能增加吉普賽甜椒甜度。
3.果實大小：與對照組相比，
(1)施加配方C堆肥最能增加吉普賽甜椒果實重量。
(2)施加配方C堆肥最能增加吉普賽甜椒果實體積。
4.結果率：與對照組相比，施加配方A堆肥最能增加吉普賽甜椒結果數量。

(三)日本紅甜椒：

1.植株成長速度：與對照組及施肥前高度差相比，施加配方E堆肥最能加快日本紅甜椒植株成長。
2.果實甜度：與配方E相比，施加配方D堆肥最能增加日本紅甜椒甜度。
3.果實大小：與配方D相比，
(1)施加配方E最能增加日本紅甜椒果實重量。
(2)施加配方E堆肥最能增加日本紅甜椒果實體積。
4.生長效能：與配方D相比，**施加配方E堆肥最能加快日本紅甜椒的果實成熟的效率**。

五、果實大小與甜度呈現負相關趨勢，但施加的堆肥種類會影響此一關係：

本次研究結果顯示，在多數情況下，甜椒果實的大小與甜度呈現負相關的趨勢，但施加得堆肥種類會影響這項趨勢。

本次實驗中，施用堆肥配方D的甜椒，其果實儘管並非最大，但甜度卻顯著高於其他組別。這可能表明堆肥配方D中含有某些特殊成分，能促進甜度累積。**堆肥配方E**生產出來的甜椒甜度雖非最高，但**也能產出甜度很高的果實**。

因此，應根據「高甜度」、「大果實」等不同的追求目標，審慎選擇適當的堆肥配方。

六、特定堆肥可能影響植株的資源分配策略：

本研究結果顯示，某些堆肥配方可能影響植株的整體養分分配，例如將更多養分用於促進生長，而減少對果實甜度的投入。施用堆肥配方E的條紋彩椒就充分的體現了這一點。

推論若母體遭遇生存危機，會促進果實生長。實驗組C的吉普賽甜椒可能正處於逆境，與施肥前生長高度差數據相比，生長效能縮減，但可能也因此將大部分資源集中於果實的發育，因此果實在重量和體積上數據最佳。

七、堆肥綜合使用策略：

總體而言，不同的堆肥對甜椒的生長影響各異。

(一)若**追求**的是**果實數量**，**堆肥配方A**或許是較佳的選擇；
(二)若**追求果實大小**，則可考慮**堆肥配方C、E**；
(三)若**重視果實甜度**，則應選擇**堆肥配方D**。
(四)若想讓**果實生長效能加快**，則應選擇**配方E**。

根據對照組種植結果，甜椒的種植過程有施肥的必要性，否則一旦甜椒開始開花，植株很可能會因養分不足而導致植株生長效能變差，且開花後也不易著果。

但是若施加的肥料不適用可能會像實驗組 C 的條紋彩椒、日本紅甜椒一般成長狀況遲滯。因此，在實際栽培過程中，應根據自身的需求和環境條件，綜合考量各項因素，選擇最適合的堆肥配方。

八、最佳配方：綜合堆肥製程所需時間、果實大小與植株生長效能等指標，本研究發現**配方 E 堆肥展現出最優異的整體效果**。對農民而言，使用此堆肥不僅能減少前期投入的時間、金錢成本，還能有效加速甜椒的生長過程，亦有助於提升果實品質與經濟效益，具有實際應用價值。

陸、參考文獻資料

一、黃翊修、林星語、張瑄珉、王苡安(2019)。快，又有酵——廚餘堆肥快速發酵機。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、蔡永暐(2005)。固態堆肥之製作與田間應用。高雄區農技報導, 第66期。
https://www.kdais.gov.tw/ws.php?id=391。

三、鄭健雄,蔡宜峰,張惠真(1995)。農村家庭廢棄物堆肥化利用之規劃。永續農業研究及推廣研討會專輯, 66－78。
https://www.tcdares.gov.tw/upload/tdais/files/web_structure/1144/TC023607.pdf。

四、主婦聯盟環保基金會(2014)。廚餘堆肥DIY(做法)。
https://www.huf.org.tw/event/content/1551

五、(n.d.)。甜椒(辣椒)。台灣肥料股份有限公司。
https://www.taifer.com.tw/ClassroomDetailC003220.aspx?Cond=9b030a20-2189-413c-94c7-959925589482

六、(n.d.)。後院食物殘渣堆肥的基本常識。Montgomery County。
https://www.montgomerycountymd.gov/DEP/Resources/Files/store/tip-sheet-1-food-scrap-ch.pdf

七、(n.d.)。堆肥材料碳氮比(C:N ratio)。Open Hack Farm開放農業實驗基地。
https://openhackfarm.wordpress.com/2019/03/23/%E5%A0%86%E8%82%A5%E6%9D%90%E6%96%99%E7%A2%B3%E6%B0%AE%E6%AF%94-cn-ratio-%E5%8F%83%E8%80%83/

八、陳汶蔚、葉嘉恩、王衍雲(2010)。酵傲天際——天然水果酵母與麵包黴菌的火花。中華民國第60屆中小學科學展覽會作品說明書。

九、蔡英傑(n.d.)。乳酸菌小百科。台灣乳酸菌協會。http://www.talab.org.tw/knowledge.htm

十、金橓羊(2016)。發酵專家告訴你釀醋要注意這五點。食力foodNEXT。
https://www.foodnext.net/issue/paper/4098745325

十一、陳品瑄、沈天愛、李宇捷、馮康睿(2014)。水果微笑 努力起「酵」～探究自製新鮮水果酵母液對於麵種發酵的影響。中華民國第54屆中小學科學展覽會作品說明書。

十二、鍾啟東(2019)。咖啡與養生的小常識。台肥季刊，2019年07月號。
https://www.taifer.com.tw/PublicationArticleDetailC004000.aspx?Cond=bb93f615-cadb-40c6-9d28-b89438290c65