

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-應用科學科

科 別：生活與應用科學

組 別：國中組

作品名稱：天啊！這怎麼怎能？

關 鍵 詞：廚 餘、堆 肥、微生物

編 號：030810

學校名稱：

臺中市立忠明高級中學

作者姓名：

黃美鈴、張慧甄、張瑜真、周怡君

指導老師：

魏銀河、蔡崇聖



一、摘要

當豬不再吃餵水、廚餘堆肥化垃圾為資源來談廚餘堆肥化之必要性，就不難理解為什麼要鼓勵學校針對營養午餐所產生的廚餘進行資源回收，通常中等及初等學校是資源回收工作最徹底的單位，但是並不包含有機資源回收，根據本小組調查台中市 33 所國中、60 所國小，其營養午餐的廚餘均無資源回收，探究其窒礙難行之原因，不外乎空間問題、衛生問題、費用問題及處理方法問題，因此本研究小組針對以上問題進行實驗。

實驗結果發現，校園廚餘堆肥並不適用田間或農畜牧業之好氧處理方式，亦不適用家庭廚餘桶的厭氧處理方式，最適用以二階段式好氧、厭氧處理方式，廚餘先以好氧方式堆肥約 7 至 9 天，再進行密封厭氧處理約 15 天，即可將廚餘分解成過半熟肥狀態，而後混入土壤中約 10 天，讓土壤中的天然微生物更進一步分解廚餘，廚餘堆肥品即可被植物所利用，若在廚餘混合物中添加食醋或有機土，更可有效縮短廚餘堆肥時間，只需 24 天左右即可完成堆肥工作，若是在廚餘混合物中，同時添加食醋及有機土，應該會有更好的效果，當廚餘堆肥時間縮短，則廚餘堆肥空間即可縮小，當採用二階段式廚餘堆肥，就不會有環境衛生問題，但是有幾點必須注意，在第一階段好氧處理時，其透氣孔必須放置適量的活性碳吸附可能產生的異味，在第二階段厭氧處理時，必須定時排除液肥（滲出水），稀釋約 100 倍後才能施肥。

二、研究動機

台灣是一個非常小的島嶼，當人口愈來愈多時，所產生的垃圾量也會愈來愈多，因此有效的處理垃圾問題，是我們國人共同的目標；廚餘是我們每天會製造出來的垃圾之一，根據環保署調查指出，台灣地區之廚餘量約占全部垃圾量 35%，另根據台中市環保局調查送至台中市垃圾掩埋場及焚化廠的垃圾中，廚餘類佔 30.07%，所以，若能有效處理廚餘就能有效降低垃圾量。



目前家庭廚餘之厭氧處理已逐漸普及化，可是中等及初等學校方面，經本小組調查發現，大部分的資源回收都有固定的模式在運行，但是這些資源並不包含有機廢棄物，只有少部分學校做到廚餘集中而已，廚餘大部份是委託由養豬戶收集載走，這並不是廚餘處理的最佳方式，對學生的環保教育有負面效果，若能取部分或全部廚餘做適當的處理，做成有機肥供學校綠化校園用，或是綠化社區使用，就是一舉多得之事。

根據本研究小組調查，各年級以 6 班為單位之小學校，其營養午餐每天產生的廚餘量最少有 30~40 公斤以上，若以現行家庭式厭氧桶堆肥，因為操作時間長（2 至 3 個月），所需的放置廚餘桶空間相當大，若以商業販售的廚餘處理機，雖可縮短操作時間，但是設備花費及維修費龐大，因此若有新的處理方式可兼顧空間問題、衛生問題、費用問題，相信要推行校園廚餘回收應該不成問題。

本實驗應用理化第一冊第一章（水）第二章（空氣）及第二冊第九章（化學反應）

第十章（常見的有機物）中提到之酸鹼性概念、有機物概念，作為判斷廚餘處理程度的判斷依據之一，此外配合鄉土原則，取材於學校，落實環保意識，惟 pH 分析儀操作需做補充教學。

三、研究目的

市面上販售廚餘桶的堆肥操作時間需二至三個月，但是廚餘累積速度卻比操作時間快。當要做新一批廚餘時，需再花費金錢購買新桶，如此累積下去耗時且占空間，所需費用更高，所以我們想找出一個能有效縮短廚餘堆肥時間、沒有環境衛生問題、花費極少的方法，落實環保意識。

四、研究器材及設備

（一）實驗組

茶水桶（一個）、電湯匙（數支）、馬達（一個）、pH 分析儀（一組）、天秤（一組）、烘箱（一台）、500ml 及 1000ml 燒杯（各五個）、鉗鍋（五個）、100ml 量桶（五支）、100 溫度計（三支）、勺子（三支）、花盆（四個）、洗滌瓶（一個）、鉗鍋夾（一支）、電子天秤（一台）、溫度感測器（一組）、水桶（一個）。

（二）對照組

堡綠公司廚餘處理桶（20 公升裝一個），菌種一包（約 500 克）。

（三）研究設備圖

1、實驗組（好氧處理設備）

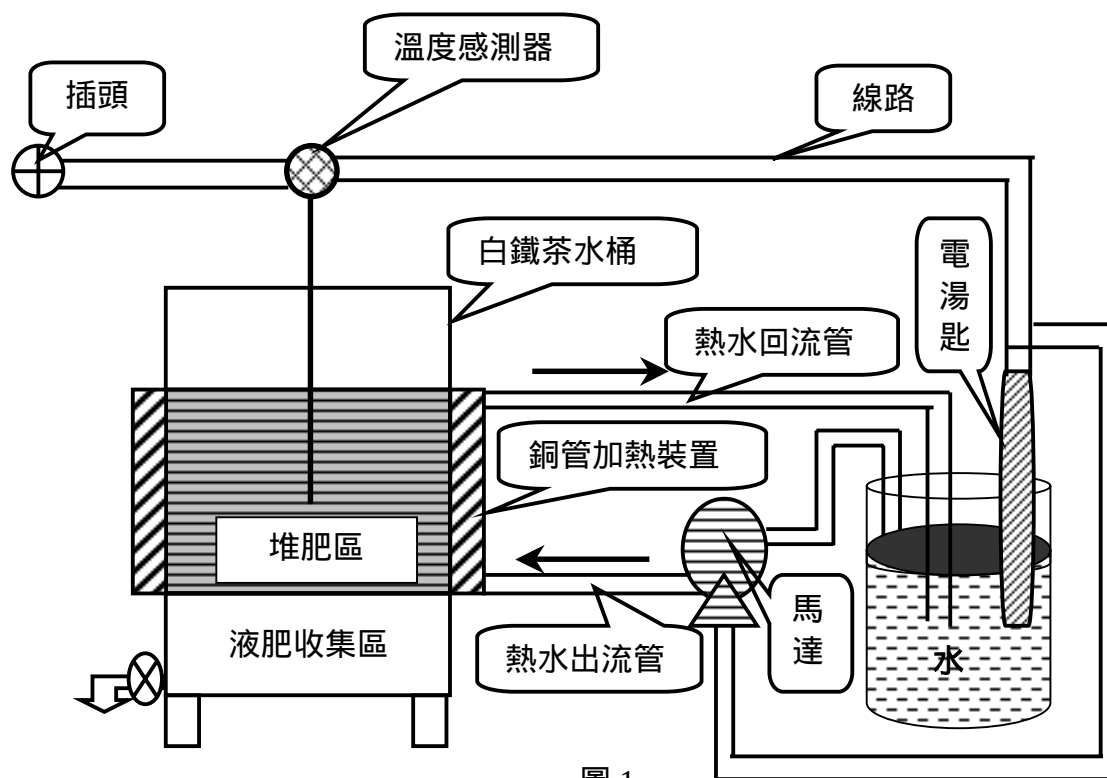


圖 1

2、對照組（厭氧處理設備）



圖 2



五、研究過程

(一) 二階段式廚餘處理

- 1、收集實驗當日營養午餐之剩餘廚餘（葉菜類為主），並盡可能排除肉類。
- 2、以濾網廚餘之過多水分（第一次瀝除水分）。
- 3、以水果刀將廚餘切碎成小塊（目測葉菜長度小於 1 cm）。
- 4、依照實驗設計比例，以磅秤量取廚餘及其它混合成份重量，進行混合及第二次瀝除水分，混合完畢放入廚餘桶，自隔日起開始紀錄。
- 5、廚餘處理分二階段：第一階段為好氧處理（為期 7~9 日），第二階段為厭氧處理（直至觀察結束），在第一階段採取每日觀察分析：溫度、pH 值、水分、外觀、氣味、滲出水（以免廚餘桶內因潮濕而長蟲），同時每日翻動以達到完全曝氣狀態，加速好氧分解；在第二階段採取隔日或間隔三天再觀察上述分析項目，間隔時間均為密封處理，以達到廚餘桶內厭氧狀態，滲出水取出後稀釋澆花。
- 6、經過三到四週，從上述分析項目判斷廚餘已經達到半熟肥程度後，將堆肥成品自廚餘桶取出，與土壤以 1：5 比例混合放置約 10 天，讓堆肥成品完全轉換成植物可利用之有機肥（在實際大量處理時，可直接將成品混入土壤中，隔數日即可種植花草樹木）。
- 7、步驟 6 之混合土壤須於陽光下曝曬 1~2 次，以排除甲烷等有害氣體。
- 8、為了觀察堆肥成品對貧瘠土壤的改善效果與肥效程度，取步驟 6 之混合土壤與砂子以 3：1、1：1、1：3 等比例混合後，種植 A 菜，觀察生長情況，以作為日後堆肥成品與砂子的混和依據。
- 9、依據實驗設計之不同混合成分進行堆肥，觀察廚餘分解速度之差異。
- 10、實驗最終以種植 A 菜作為廚餘處理效果的最終判斷依據，對照組則以未混合堆肥之土壤種植 A 菜，採取隔日測量同株 A 菜各葉片長度，並取平均值紀錄，實驗組與對照組均採取 3~5 重複栽種 A 菜，並照相紀錄存證。

(二) 厭氧式廚餘處理（家庭式廚餘桶）

- 1、前處理同上述步驟 1、2、3、4。
- 2、將廚餘放入密封塑膠桶後，每週觀察上述分析項目並紀錄之，滲出水則每日紀錄。
- 3、為了盡可能使廚餘桶內達到厭氧狀態，取樣分析時必須迅速。
- 4、堆肥成品處理與上述步驟 6、7、8 相同。
- 5、實驗最終與上述步驟 9 相同，並與二階段式廚餘處理做比較。



(三) 圖解廚餘處理流程



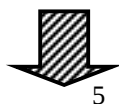
1、廚餘



2、瀝乾



3、碎化





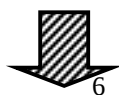
4、混和



5、翻堆



6、取樣





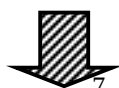
7、秤重



8、分析



9、堆肥成品





10、與土壤混合



11、曝曬

六、實驗紀錄

(一) 試程設計

本研究小組之初步研究方向為控制廚餘堆肥條件，例如溫度、水分、酸鹼性等，試圖想找出最有利的廚餘堆肥條件，以有效縮短廚餘堆肥時間為最終目標，因此第一批廚餘針對溫度控制在 35℃，觀察廚餘分解情形，結果出現少許蟲體問題及氨水味問題，為克服這兩個問題，避免因廚餘堆肥而引起另一個環境衛生問題，因此修正研究方向，改採在室溫條件下，從改變廚餘處理方式及改變廚餘混合物兩個方向作探討，並且設計新式廚餘桶以符合新方法之需要，在廚餘處理方式以兩階段式好氧、厭氧方式進行堆肥，在改變混合物方面測試菌種、食醋、有機土等三方面，觀察廚餘分解情況，試程設計如下表 1：

表 1 試程設計總表

項目	第一批	第二批	第三批	第四批
操作變因	控制廚餘桶最低溫度為 35℃，觀察廚餘分解速度，此批廚餘採全程好氧處理。	在室溫情況下，觀察好氧及無氧狀態之堆肥分解速率，實驗組採二階段式處理。	在室溫情況下，觀察不同堆肥成分的分解情況。	在室溫情況下，觀察不同堆肥成分的分解情況。
混合成分	廚餘 5 公斤，土壤 0.4 公斤，米糠 0.4 公斤，木屑 0.4 公斤，黃豆粉 0.2 公斤，活性污泥 100ml。	廚餘 5 公斤，菌種(綠寶)0.2 公斤，米糠 0.4 公斤，木屑 0.4 公斤，黃豆粉 0.2 公斤。	廚餘 5 公斤，菌種 0.2 公斤(第二批堆肥品)，米糠 0.4 公斤，木屑 0.4 公斤，黃豆粉 0.2 公斤，食醋 100ml。	廚餘 5 公斤，菌種 0.2 公斤，米糠 0.4 公斤，木屑 0.4 公斤，黃豆粉 0.2 公斤，有機土 0.5kg。

(二) 實驗紀錄

各批廚餘實驗紀錄如下表 2 至表 5。



七、討論

實驗設計最初目的試想在好氧條件下，控制堆肥條件：溫度、水分及酸鹼度，試圖找出最有利推肥的條件，以縮短廚餘的處理時間，因此第一批廚餘採用全程好氧條件，控制堆肥起始溫度 35℃，結果發現處理後期過程中有少量蟲體出現，且 pH 值變化在實驗末期回升到 8.5 以上，此乃不正常現象，經過收集資料且小組討論後，可能的原因是微生物所轉換產生的氮肥（硝酸態氮），在高溫下轉換成氨態氮氣體逸失，或是蟲體屍體腐化產生氨氣，導致 pH 值異常上升，此外，蟲體出現之可能原因，其一為實驗廚餘堆肥量太少，無法使堆肥溫度達到 40~50℃ 以上，因此殺不死蟲蛋及蟲體；其二為土壤中已存在蟲蛋，在溫暖及適當的溼度下，孵化成蟲，此問題影響環境衛生，因此改變實驗方向，試圖解決好氧處理廚餘時所產生的上述兩項問題，同時又能縮短廚餘處理時間。

在小組收集資料及討論後，得到兩項對策，第一項為將土壤及其它混和物先蒸熟，避免蟲蛋存在，第二項為廚餘處理採用二階段好氧、厭氧處理，經過未來校園處理之可行性考量，本小組選擇第二項對策作為後續廚餘處理方式，確實能有效解決上述兩項問題，同時能縮短廚餘處理時間在一個月內完畢。

第一批堆肥成品，直接與土壤以 2 : 1、1 : 1 及 1 : 2 混和，與未加堆肥之土壤，做 A 菜種植對照實驗，結果發現 2 : 1、1 : 1 之 A 菜死亡，追究及原因可能是校園取得之土壤本身已經具有一定的肥效成分，再加上堆肥的肥效，導致氮、磷、鉀等成分過多，植物因此死亡，因此小組決定在第二批廚餘處理過程中，同時測試貧瘠土壤臨界值（砂土比例實驗），找出貧瘠土壤程度，作為第二批以後廚餘堆肥成品的測試依據，在土壤中添加細砂，砂土比例為 3 : 1、1 : 1 及 1 : 3，結果如下圖 3、圖 4、圖 5。



圖 3



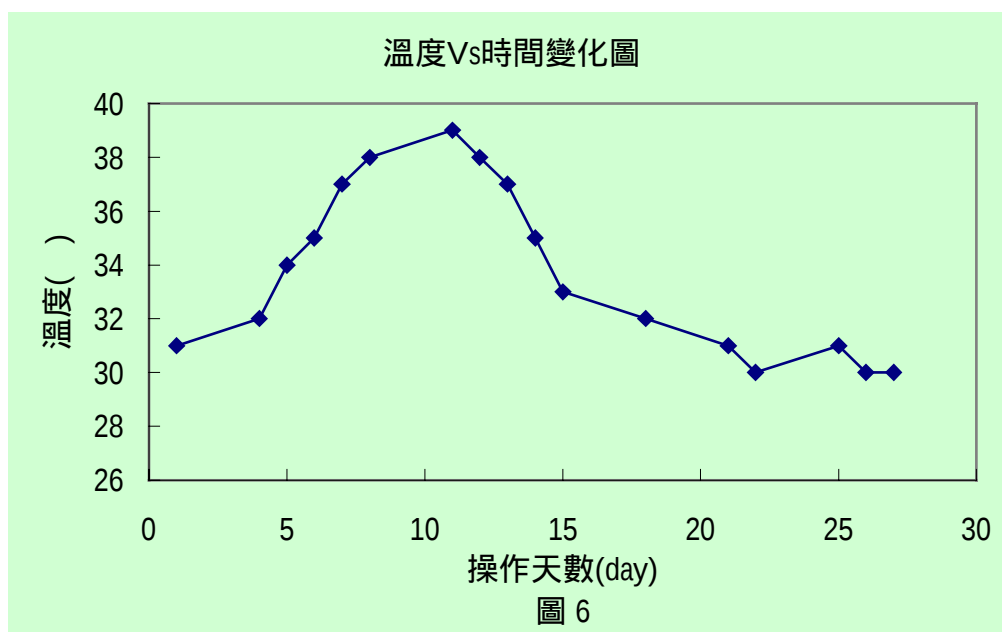
圖 4



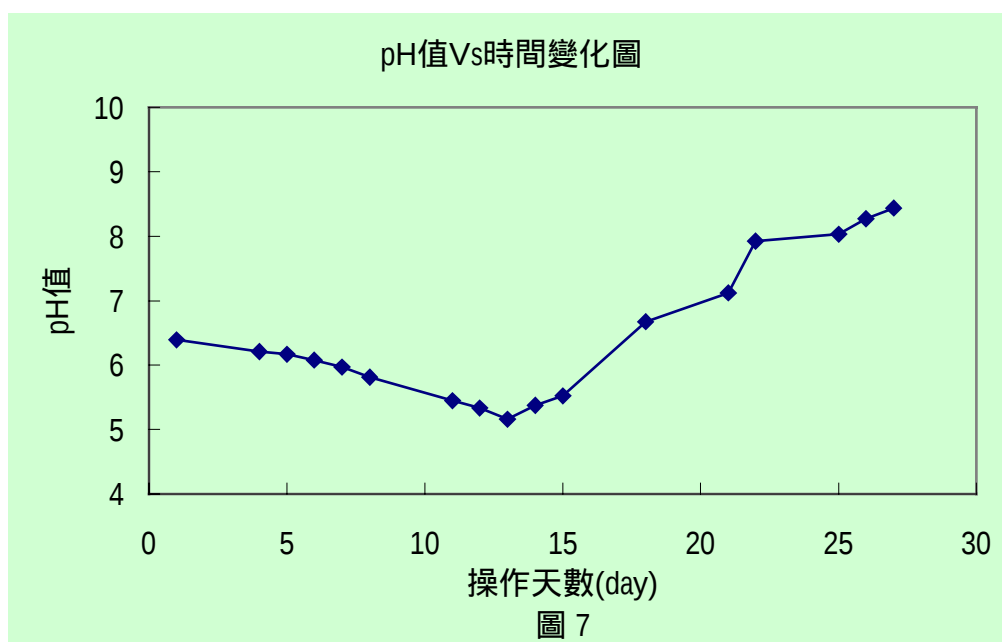
圖 5

本小組以 A 菜之生長狀況、葉面的外觀（長度、寬度及形狀）作為判斷依據，實驗結果發現砂土比例為 3 : 1 時，植物生長明顯受抑制，砂土比例為 1 : 1 時，植物生長略受影響，砂土比例為 1 : 3 時，植物生長則不受影響，因此本研究小組決定以砂土比例 1 : 1，作為貧瘠土壤臨界值，第二批（含）以後之廚餘堆肥成品，均以此比例作為觀察改善土壤性質、增加土壤肥效之測試依據，以下為各批廚餘處理的微生物分解狀況。

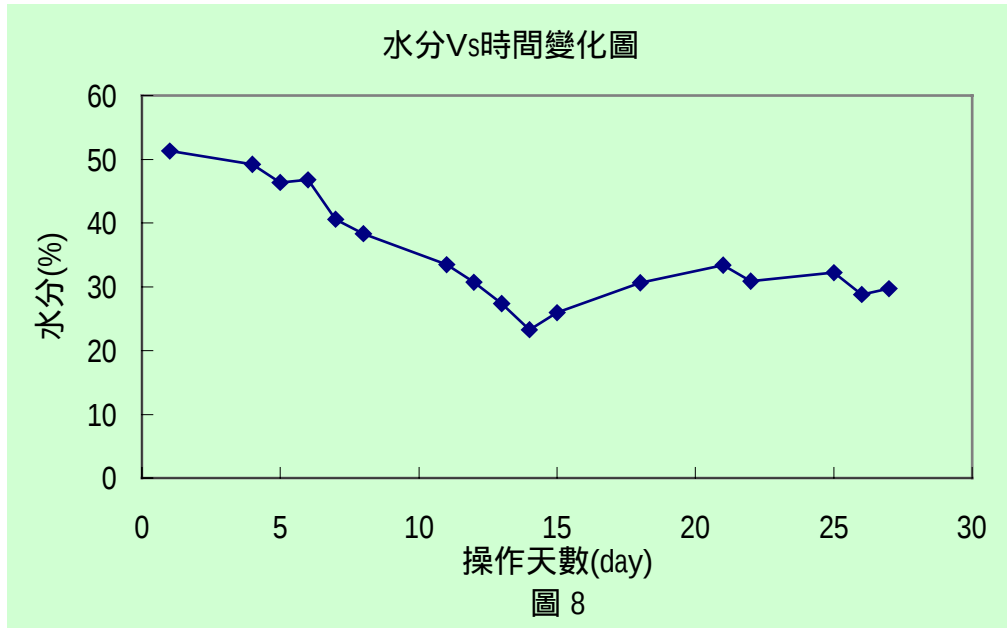
(一) 第一批實驗：全程好氧處理



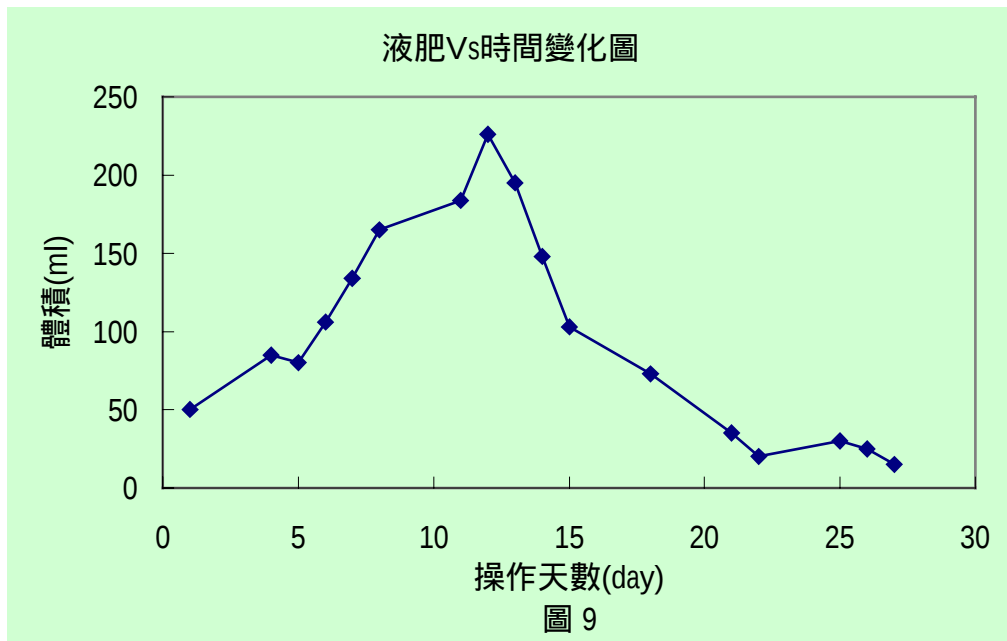
上圖 6 為第一批廚餘之溫度與時間變化圖，由圖中可以發現廚餘堆肥溫度，在第 10 天左右上升至最高約 39℃，表示微生物在此時最為活躍，微生物分解廚餘而釋放熱量，在第 10 天以後之溫度逐漸下降，表示微生物分解有機物逐漸完成，全程溫度原則在控制 35℃ 以上，有數點紀錄在 30~35℃，此乃溫度感測器之誤差所導致。



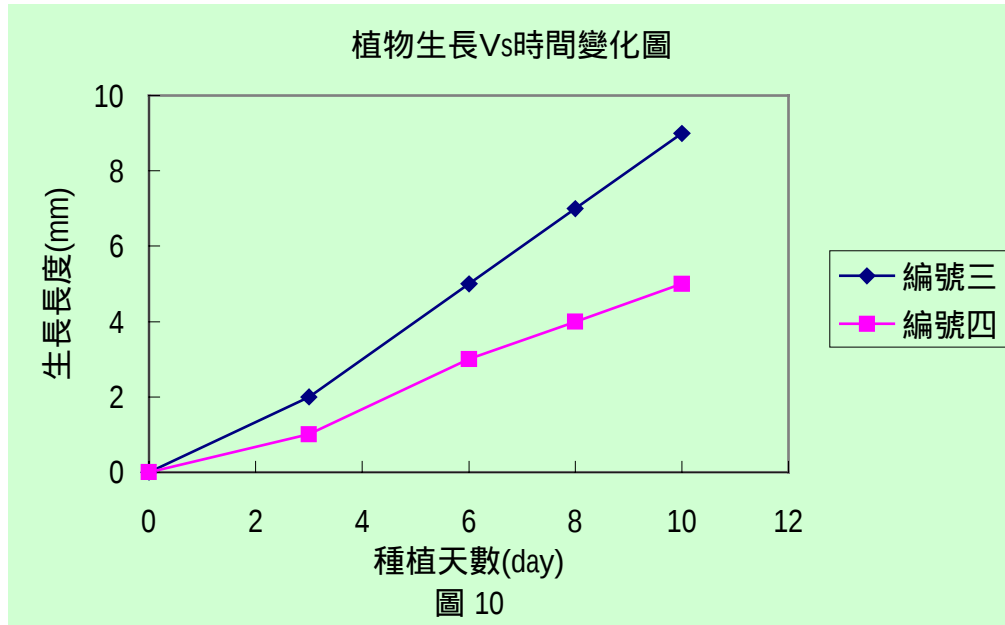
上圖 7 為第一批廚餘之 pH 值與時間變化圖，由圖中可以發現 pH 值在第 12 天左右達到最低約 5.0，表示廚餘分解完成酸化階段，在第 16 天以後，pH 值快速上升，而且逐漸有氨水味，表示有氨態氮或蟲體屍體腐化現象，最後 pH 值達到 8.0 以上。



上圖 8 為第一批廚餘之水分與時間變化圖，由圖中可以發現當微生物開始分解廚餘時，會產生大量滲出水(液肥)，因此廚餘所含水分快速降低，在第 14 天左右降至最低約 20 %，但是最後又有稍微回升，經過本小組討論可能原因是，本批實驗之最低控制溫度在 35℃，而當時室溫約為 20℃ 以下（冬天），因此廚餘桶內壁有凝結水產生，造成水分略為上升。



上圖 9 為第一批廚餘之水分與時間變化圖，由圖中可以發現液肥（滲出水）體積在第一天約有 50ml，表示廚餘前處理之瀝水工作發揮作用，隨著微生物分解作用，液肥持續增加，至第 13 左右的量做多，約有 230ml，而後逐漸降低至實驗末期只有約 10ml 左右，表示廚餘水分已降至最低，此時的廚餘外觀為乾燥略為蓬鬆狀。



上圖 10 為第一批廚餘堆肥成品與土壤以 1 : 2 混和 (編號三), 實際種植 A 菜之植物生長與時間變化圖, 編號四為一般土壤, 由 A 菜的各葉面平均生長長度變化量可以看出, 有添加廚餘堆肥的土壤, A 菜生長狀況較佳, 表示廚餘堆肥可以有效改善土壤性質、增加土壤肥效, 因本實驗的廚餘堆肥品應屬於半熟肥, 因此微生物分解廚餘所產生的 N、P、K 等成分, 可有效被 A 菜所利用, 因此生長速度較快。下圖 11、圖 12 分別為開始種植 A 菜及最終 A 菜生長狀況。



圖 11

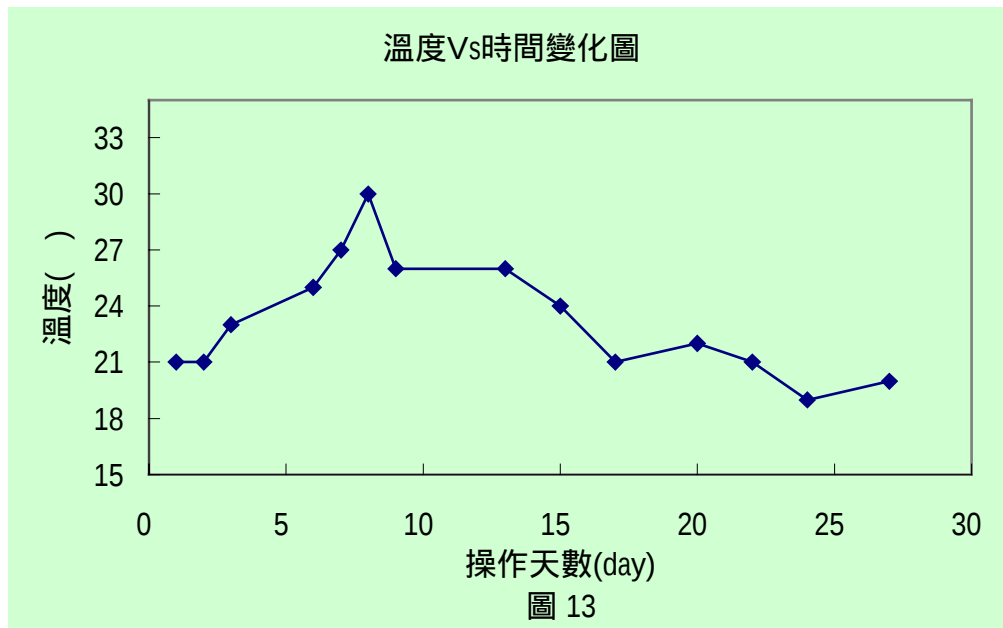


圖 12

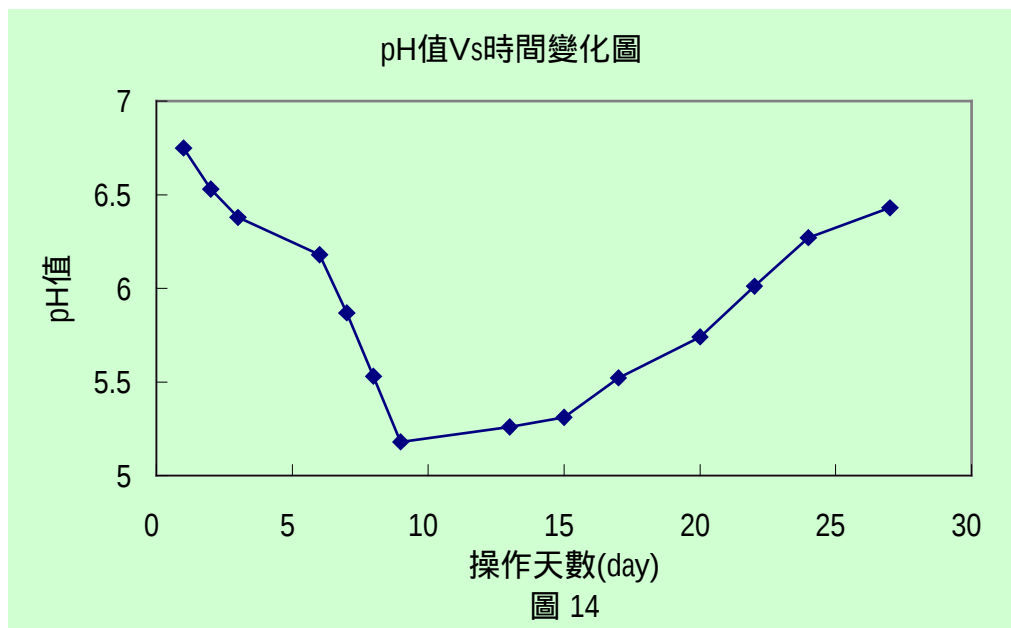
(二) 第二批實驗

透過第一批廚餘堆肥經驗, 本小組改變研究方向, 擬定在室溫條件下, 採用二階段式好氧、厭氧處理廚餘, 並探究不同混合物 (日常生活物品) 對廚餘堆肥的影響, 於第二批廚餘堆肥過程中, 比較二階段式處理與家庭式厭氧處理, 觀察其分解時間與堆肥成品對土壤肥效的差異, 有助於更進一步確定二階段式廚餘處理的可行性, 因此購買綠寶公司的廚餘桶一個、菌種一包 (約 500 克), 作為第二批廚餘處理的對照組, 兩組實驗之混合物完全相同, 只有處理方式不同, 最後之堆肥成品作為後續廚餘處理的菌種來源, 以下是第二批廚餘處理的微生物分解狀況。

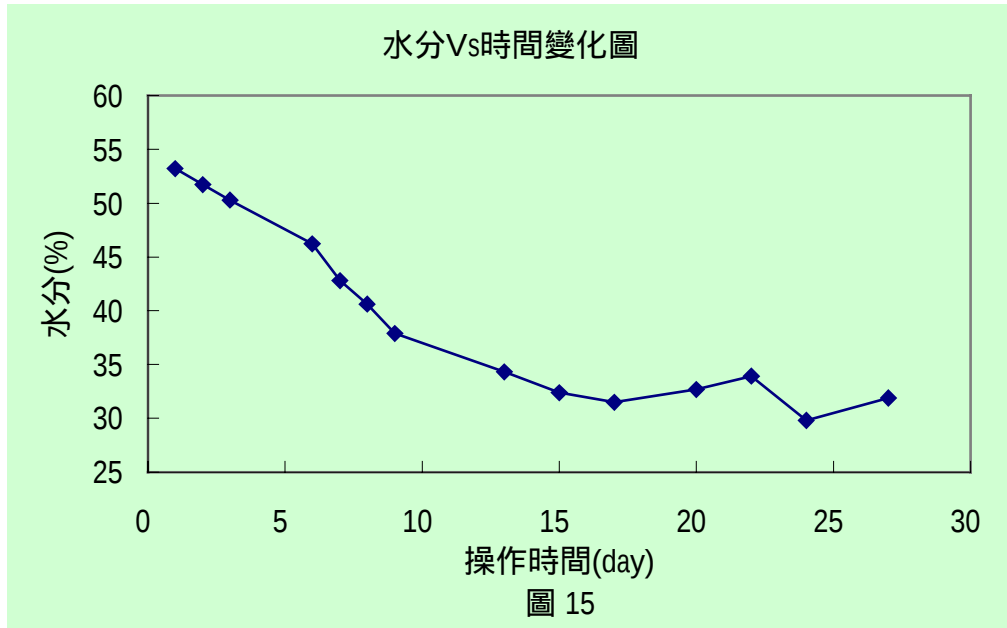
1、二階段式好氧、厭氧處理



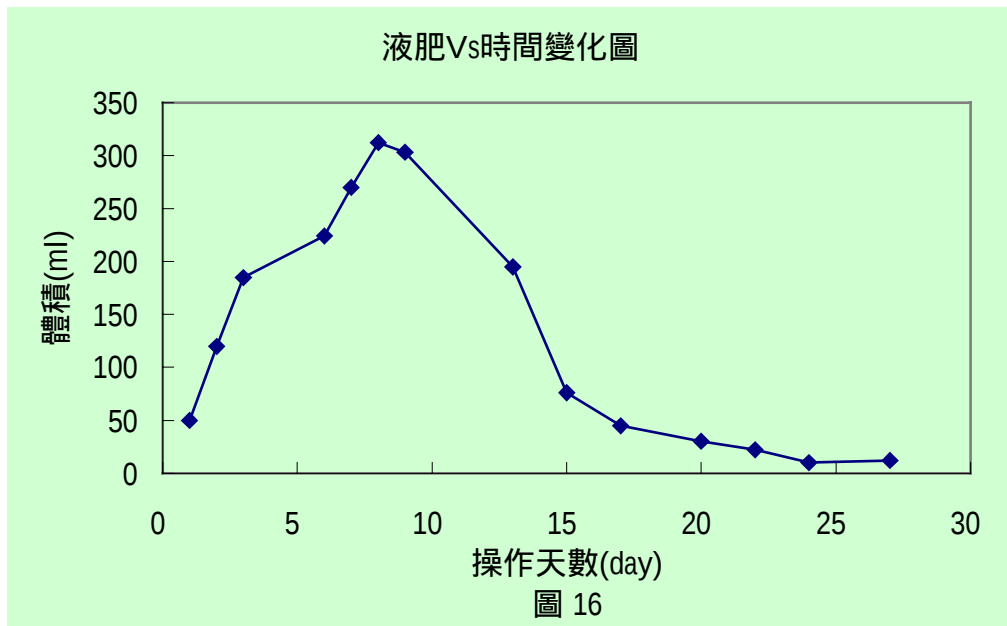
上圖 13 為第二批廚餘之溫度與時間變化圖，由圖中可以看出最高堆肥溫度約 30℃，出現在堆肥第 8 天左右，與第一批廚餘的最高溫度相差約 9℃，可能原因是第一批廚餘的起始溫度為 35℃，而第二批廚餘的處理室溫約 20℃，在廚餘分解達一定程度時，溫度開始下降，表示為生物分解廚餘趨於緩和，總處理時間約 27 天完成。



上圖 14 為第二批廚餘之 pH 值與時間變化圖，由圖中可以看出最低 pH 值在第 9 天左右降至最低約 5.1，在 9 天之內 pH 值下降迅速，此為微生物分解之酸化期，再加上第一階段為好氧處理，因此微生物更為活躍，對廚餘的分解較快，在第 9 天以後，pH 變化趨於緩和，此乃厭氧處理結果，但仍可看出 pH 值緩慢上升，表示酸化分解完成，進行鹼性氧化分解。

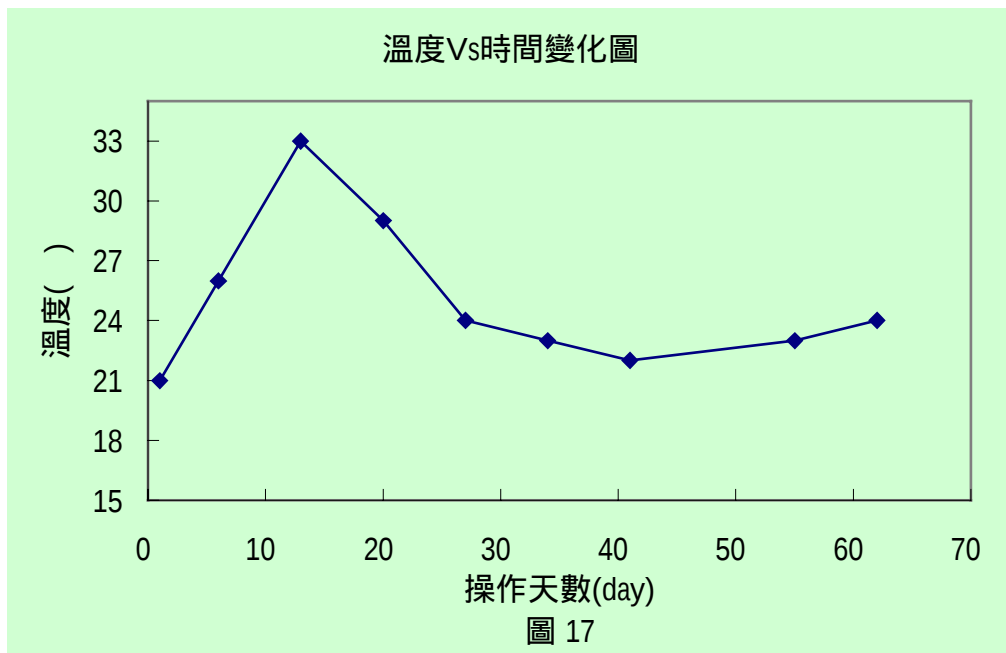


上圖 15 為第二批廚餘之水分與時間變化圖，由圖中可以看出廚餘水分從 54%持續下降，表示微生物持續分解廚餘，而且分解速率穩定，最終的廚餘水分約為 30%，就外觀上觀察到廚餘呈現蓬鬆乾燥現象。

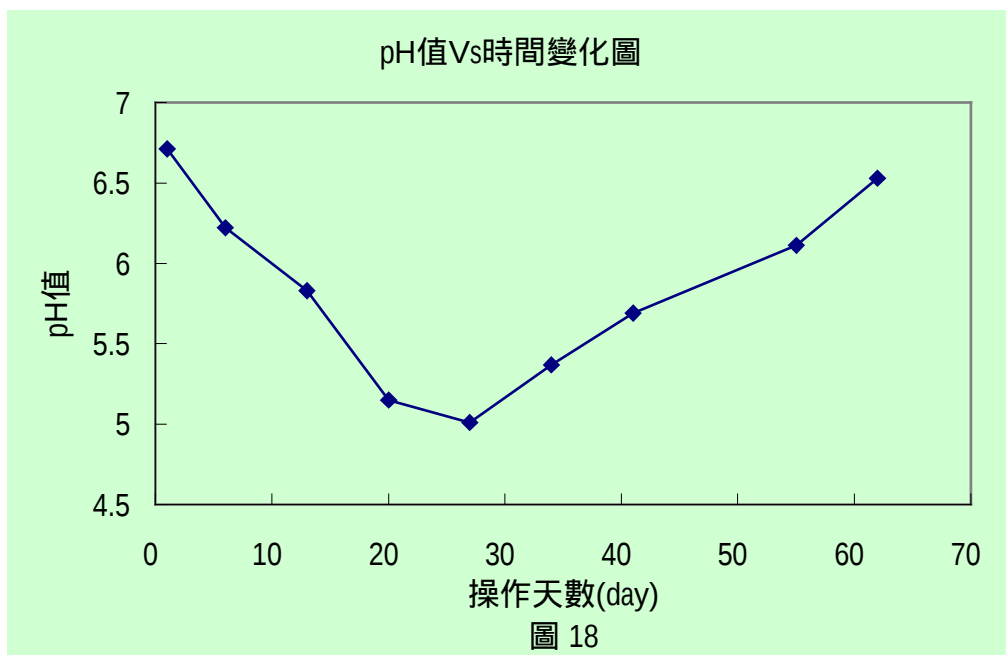


上圖 16 為第二批廚餘之液肥（滲出水）與時間變化圖，由圖中可以看出在第 8 天左右達到最大量約 310ml，前八天的滲出水產生速率大，後八天的減少速率亦大，此原因可能是本實驗每批的廚餘處理量少（約 5 公斤）所導致，另一可能原因是添加的菌種充分發揮作用，使得廚餘分解速率提高，與第一批廚餘的滲出水比較發現，最大量滲出水出現時間提早約 5 天，本小組認為可能的原因是第一批廚餘以土壤為菌種主要來源，第二批廚餘則添加了廚餘分解菌種，因此就起始優勢分解菌以第二批較多。

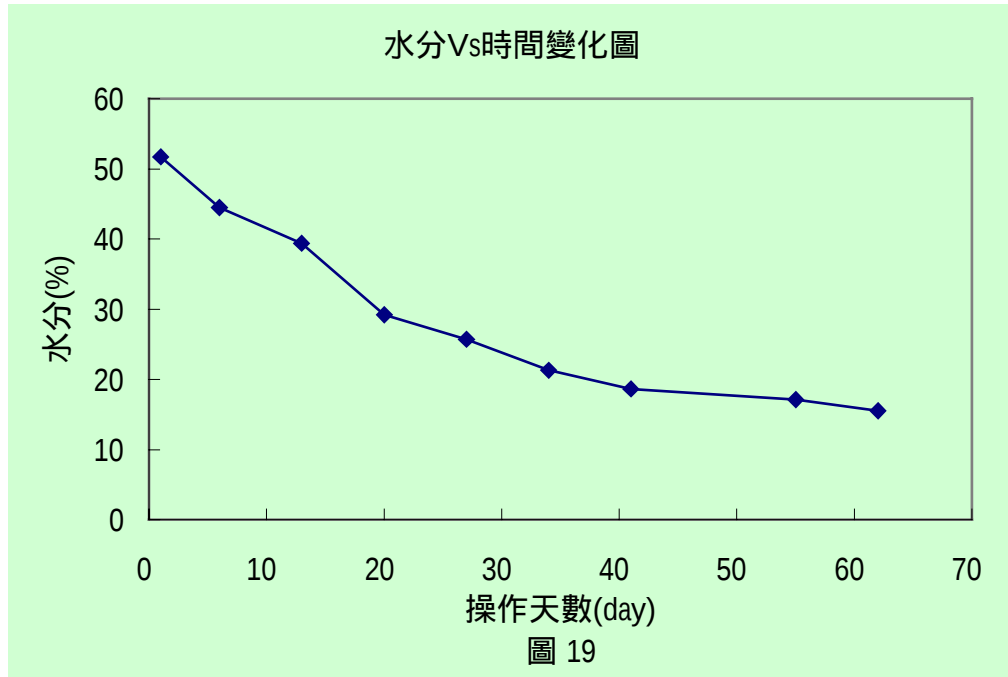
2、厭氧處理



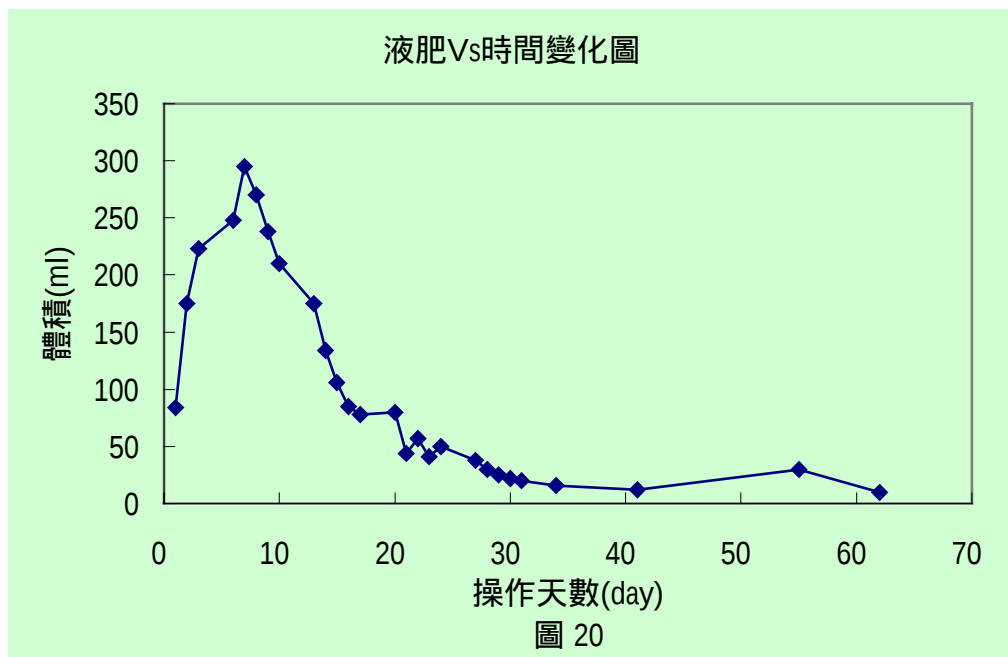
上圖 17 為第二批廚餘厭氧堆肥之溫度與時間變化圖，由圖中曲線可以看出溫度直線上升，可能原因是廚餘堆肥全程密封，因此熱量散失較少，在溫度下降曲線也較為平緩，堆肥最高溫度達 33℃，總操作時間約 65 天，廚餘溫度仍比室溫略高 3℃，此乃保溫效果所致。



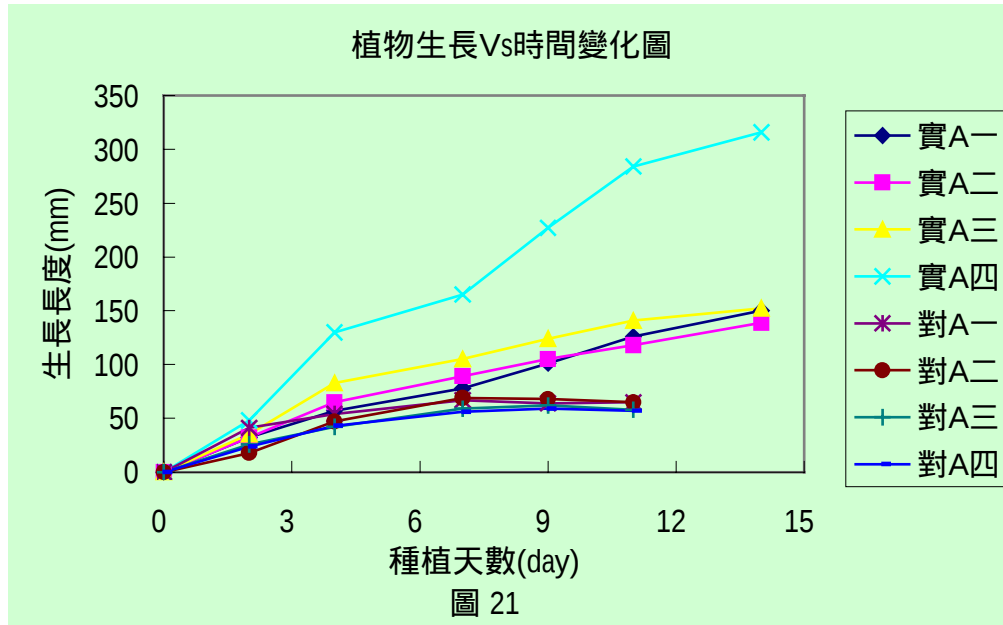
上圖 18 為第二批廚餘厭氧堆肥之 pH 值與時間變化圖，由圖中可以看出在 28 天左右 pH 值下降至最低約 5.0，表示廚餘堆肥之酸化過程所需時間約一個月，比二階段式好氧、厭氧處理多出約 18 天，經本研究小組討論的原因是厭氧菌分解廚餘的速度慢所導致，而且整個厭氧分解須耗時約 65 天，pH 值才能回升至與二階段式好氧、厭氧處理相同程度約 6.5，因此廚餘若以厭氧方式堆肥至全熟肥，所需時間至少 3 個月。



上圖 19 為第二批廚餘厭氧堆肥之水分與時間變化圖，由圖中可以看出全程厭氧處理的廚餘水分穩定下降，表示廚餘桶內的厭氧菌是以穩定的速度分解廚餘，最低水分下降至約 15%，比二階段式好氧、厭氧處理略高 2~3%。



上圖 20 為第二批廚餘厭氧堆肥之液肥與時間變化圖，由圖中可以看出在厭氧處理前 8 天的滲出水量迅速增加至 300ml，而後在 10 天內迅速下降至約 80ml，表示厭氧菌有效分解廚餘，在這段時間內，就廚餘外觀顏色上並無太大改變，但是可以明顯看出廚餘呈現乾燥肉鬆狀（廚餘含有豆芽菜）。



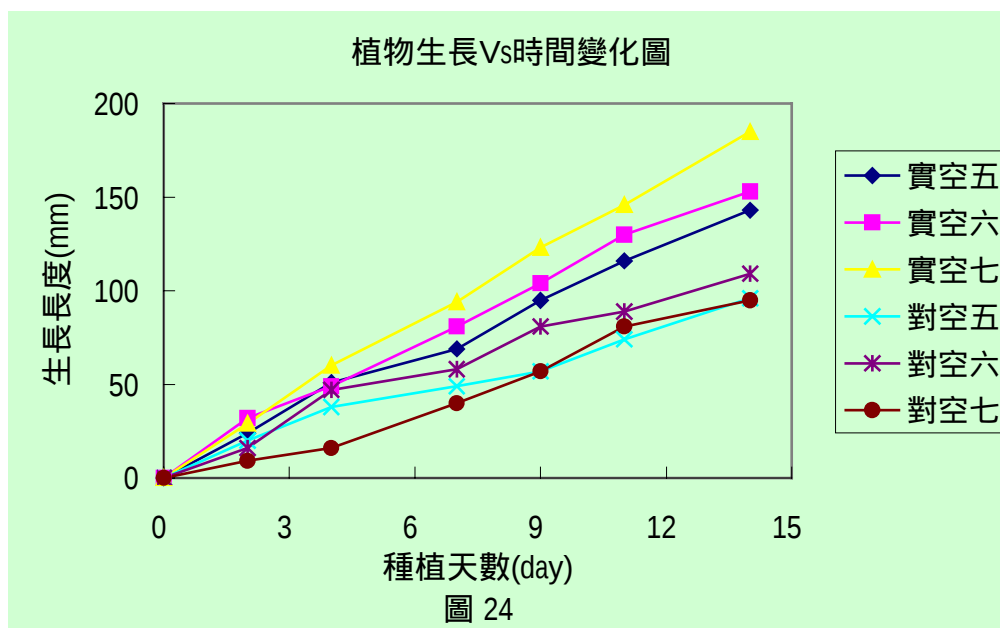
上圖 21 為第二批廚餘以二階段式堆肥之 A 菜種植生長變化圖，對照組為未添加堆肥成品之空白土，由圖中可以看出在種植 A 菜前 3 天，實驗組與對照組的 A 菜生長速度差不多，但是在第 4 天以後，添加堆肥的實驗組 A 菜生長速度開始加快，至第 9 天則實驗組明顯優於對照組，而對照組之 A 菜可能因為土壤貧瘠，缺乏養分而日漸枯萎，此批種植 A 菜實驗可以證明本實驗所製造的廚餘堆肥品，可以有效改善貧瘠土壤的性質與肥效。實際 A 菜生長情況如下圖 22（實驗組）圖 23（對照組）。



圖 22



圖 23



上圖 24 為第二批廚餘以二階段式堆肥之空心菜種植生長變化圖，對照組為未添加堆肥成品之空白土，由圖中可以看出實驗組的空心菜生長速度大於對照組的空心菜，尤其是在第 7 天以後更為明顯，表示廚餘堆肥品可以有效提供空心菜生長所需養分，而對照組的空心菜並沒有因為貧瘠土壤而枯萎，原因可能是空心菜本身比 A 菜更容易存活於養分不足的環境，因此鄉下居民普遍喜歡種植空心菜，事實上 A 菜在種植上十分容易存活，可能是本批土壤太過貧瘠，造成 A 菜枯萎。實際空心菜生長情況如下圖 25(實驗組)、圖 26(對照組)、圖 27(實驗組與對照組整體比較圖)。



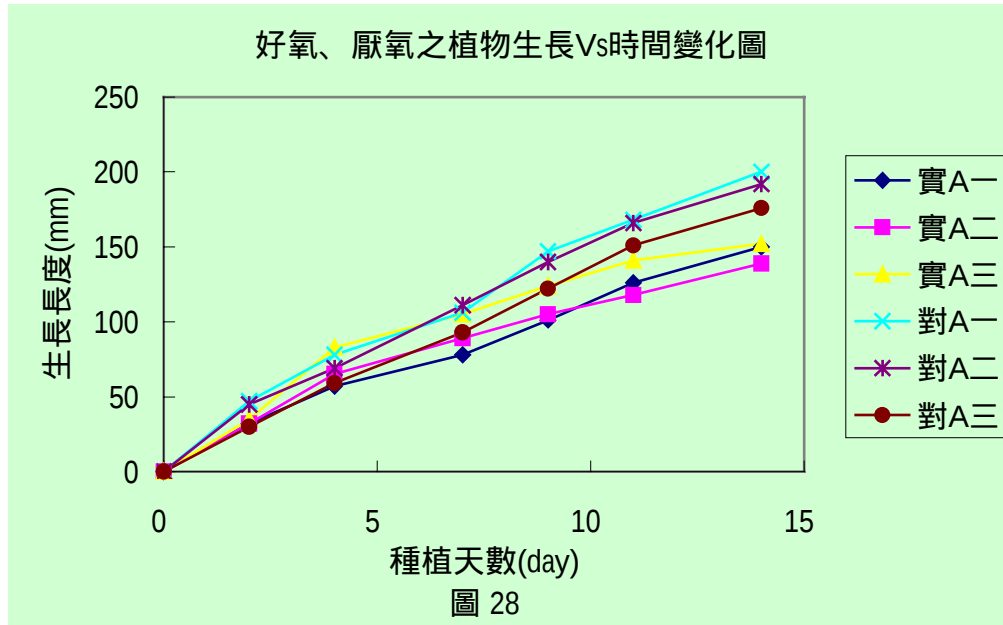
圖 25



圖 26



圖 27

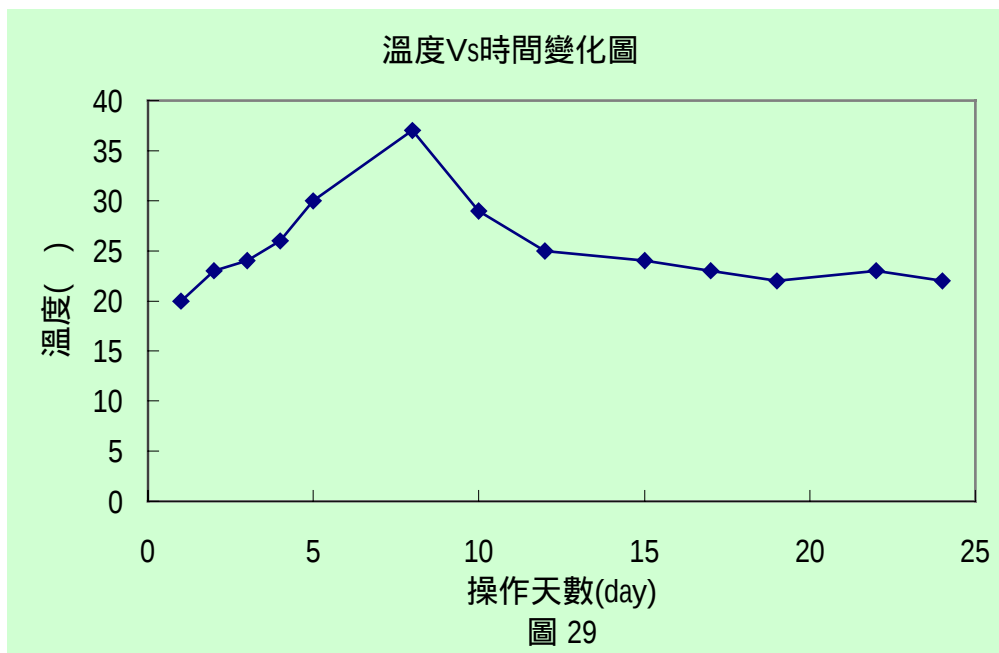


上圖 28 為第二批廚餘以二階段式堆肥與厭氧堆肥之 A 菜種植生長變化圖，實驗組為二階段式堆肥，對照組為厭氧堆肥，由圖中可以看出兩者之 A 菜均可正常生長，但是對照組的 A 菜生長略高於實驗組，原因可能是厭氧堆肥的操作時間比二階段式堆肥的時間多一倍，因此堆肥的腐熟度應該較高，但是從另一個觀點來看，本研究小組所採用的二階段式堆肥方式，可以在一個月內達到與厭氧處理相同程度的堆肥效果，值得肯定，亦達成實驗目標，因厭氧堆肥品的完成時間較長，所以實際種植 A 菜圖只能與第三批廚餘作比較。

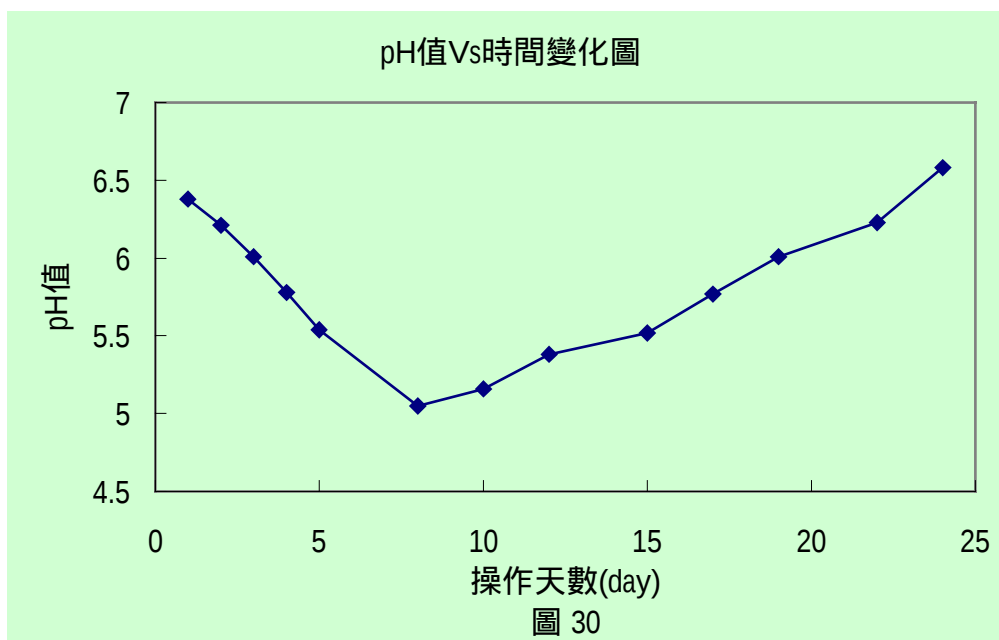


(三) 第三批實驗：二階段式好氧、缺氧處理

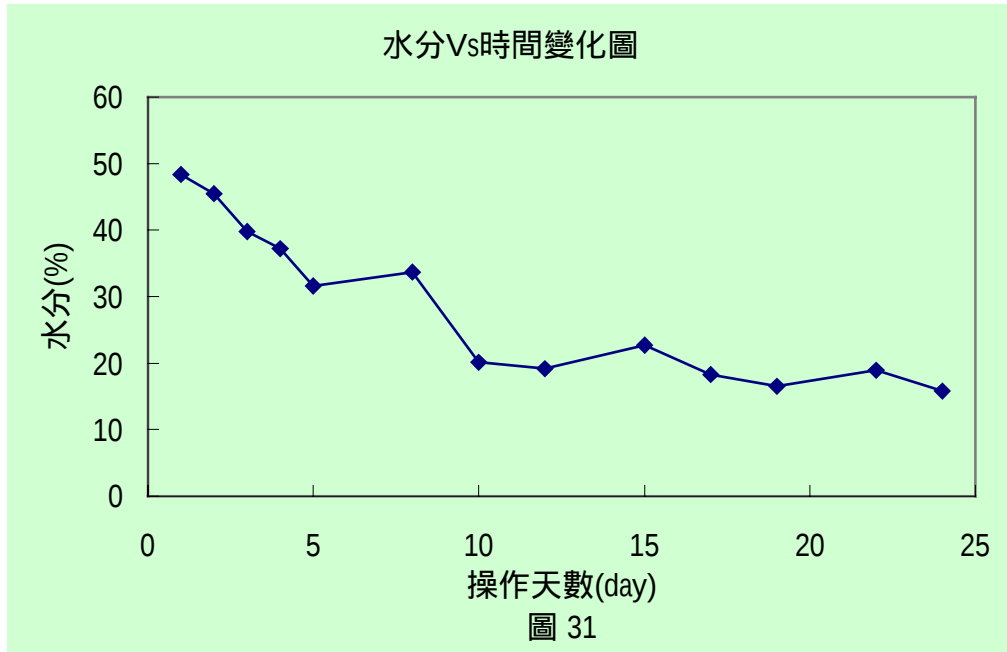
本批實驗針對廚餘混合物作為控制變因，探就不同混合物對廚餘分解的影響情況，經過研究小組討論，決定添加食醋作廚餘堆肥觀察，起始想法是食醋為弱酸性廚房用品，或許對微生物的酸化分解有幫助，以下為微生物分解廚餘的情形。



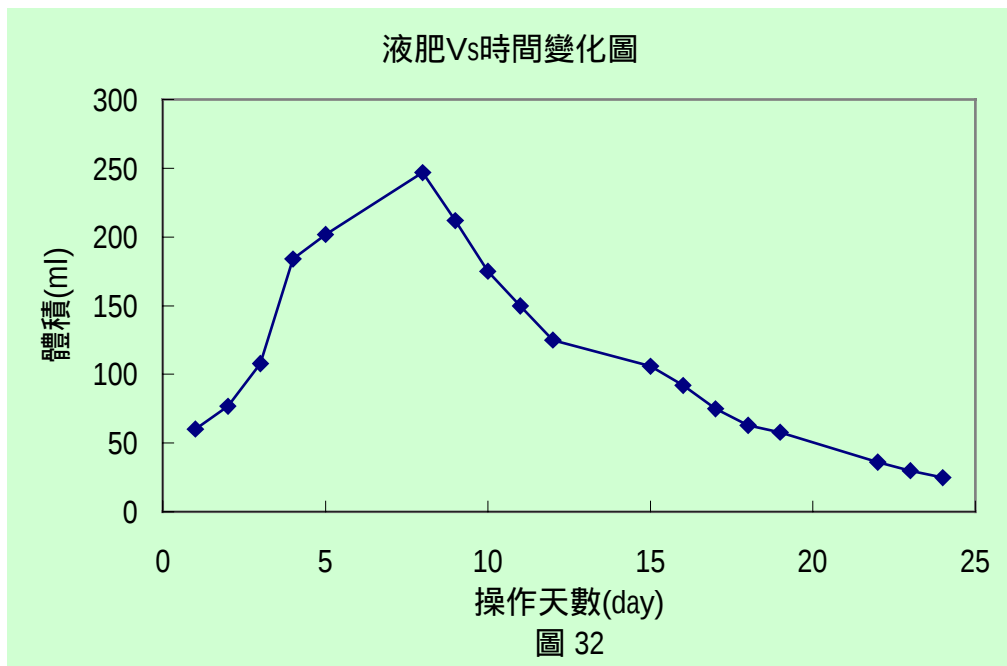
上圖 29 為第三批廚餘堆肥之溫度與時間變化圖，由圖中可以看出廚餘堆肥時間縮短至 24 天，表示本研究小組的起始想法無誤，而且堆肥溫度在第 7 天左右就上升至最高約 37℃，比第二批未添加食醋的廚餘堆肥溫度高出約 4℃，表示好氧微生物更為活躍且有效分解廚餘釋放熱量。



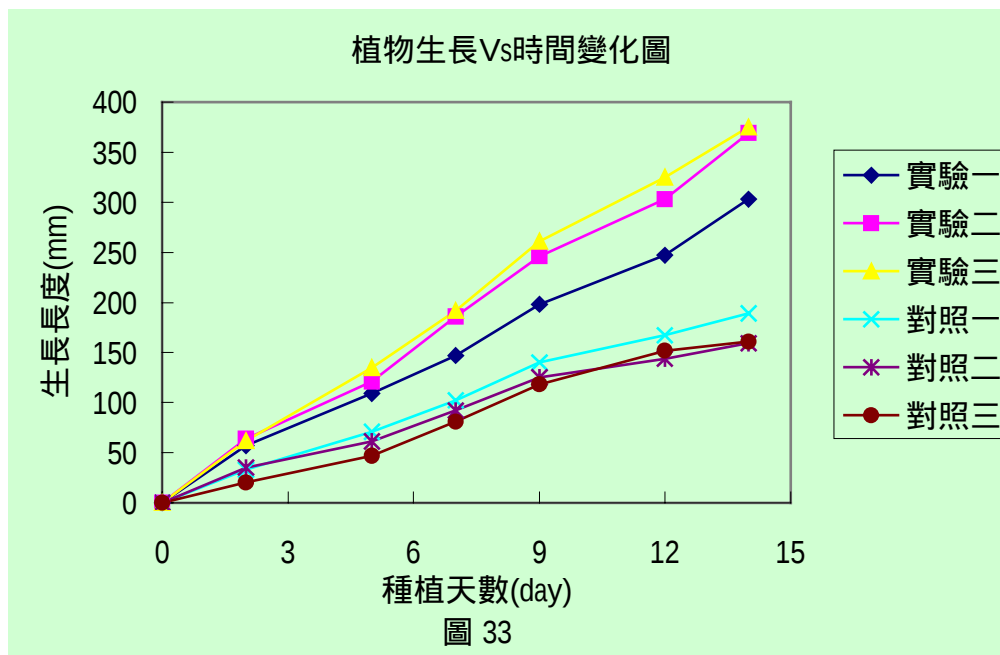
上圖 30 為第三批廚餘堆肥之 pH 值與時間變化圖，由圖中可以看出起始 pH 值約 6.4，此乃添加食醋所導致，而且在第 7 天下降至最低約 5.0，而後再緩慢回升至 6.6 左右。



上圖 31 為第三批廚餘之水分與時間變化圖，由圖中可以看出第 7 天的廚餘水分略有變動，可能原因是人為實驗誤差所致，但是整體而言，廚餘的水分下降仍屬穩定，由最高 50%下降至最低 18%左右，比第二批堆肥略高一些。



上圖 32 為第三批廚餘之液肥與時間變化圖，由圖中可以看出在第 8 天左右的滲出水達到最高約 250ml，每批廚餘堆肥的滲出水量與該批廚餘本身的含水量有直接關係，因此本批廚餘的含水量應該比第二批略低許多，而微生物分解廚餘直接影響到廚餘本身的剩餘水分。



上圖 33 為第三批廚餘堆肥品種植 A 菜之植物生長與時間變化圖，實驗組為二階段式堆肥品混合土壤，對照組為第二批廚餘厭氧堆肥品混合土壤，由圖中可以看出第三批廚餘堆肥品比第二批厭氧堆肥品更有效改善土壤性質、增加土壤肥效，這可能與廚餘添加食醋作堆肥有關。實際 A 菜生長情況比較如下圖 34（實驗組）圖 35（對照組）圖 36（實驗組與對照組整體比較圖）。



圖 34



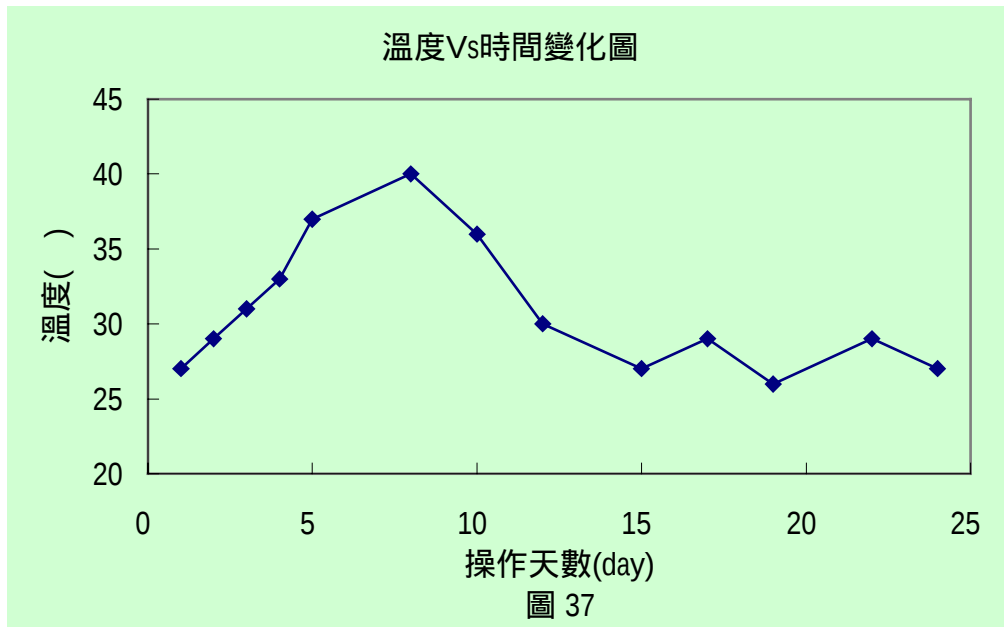
圖 35



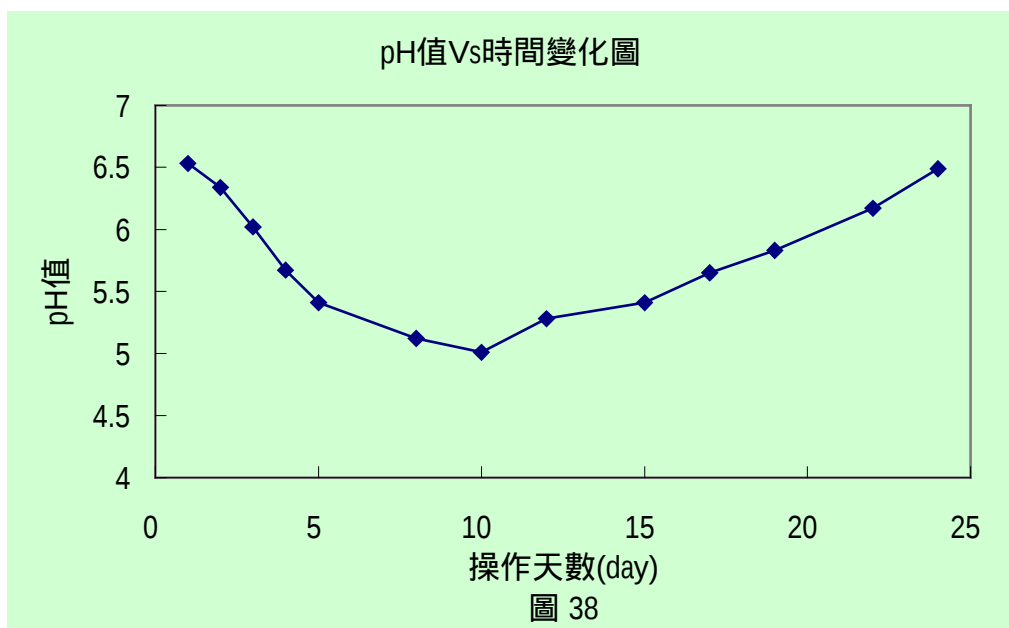
圖 36

(四) 第四批實驗

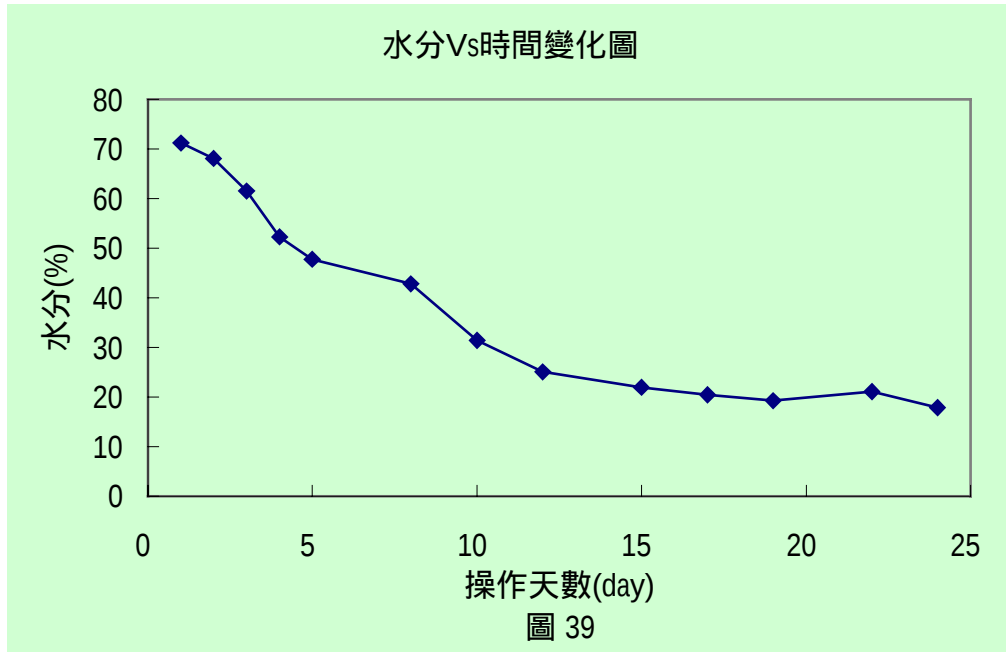
本批實驗針對廚餘混合物作為控制變因，探就不同混合物對廚餘分解的影響情況，經過研究小組討論，決定添加園藝用有機土作廚餘堆肥觀察，起始想法是有機土本身對土壤已經具有肥效功能，而且有機土外觀蓬鬆乾燥，有助於提升廚餘堆肥的孔隙度，增加透氣性，或許對微生物的酸化分解有幫助，以下為微生物分解廚餘的情形。



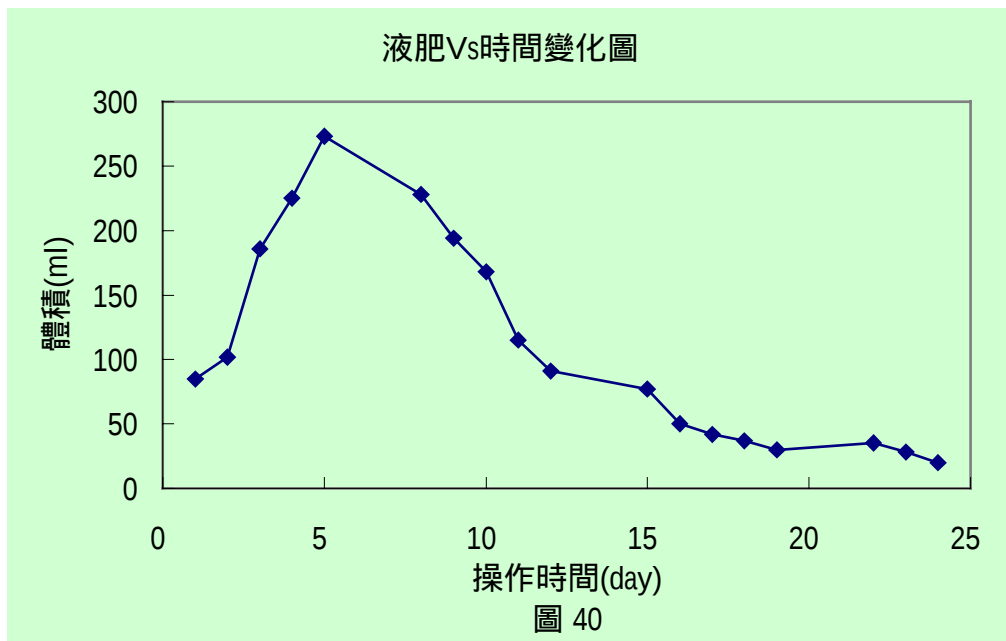
上圖 37 為第四批廚餘之溫度與時間變化圖，由圖中可以看出廚餘堆肥時間亦縮短為 24 天，表示有機土對微生物分解廚餘有幫助，而且廚餘堆肥最高溫度可達 40℃，比前三批廚餘的溫度略高，可能原因是有機土本身有保存溫度的功能，因此本小組組員在室溫下徒手感覺有機土的溫度，有溫暖的感覺。



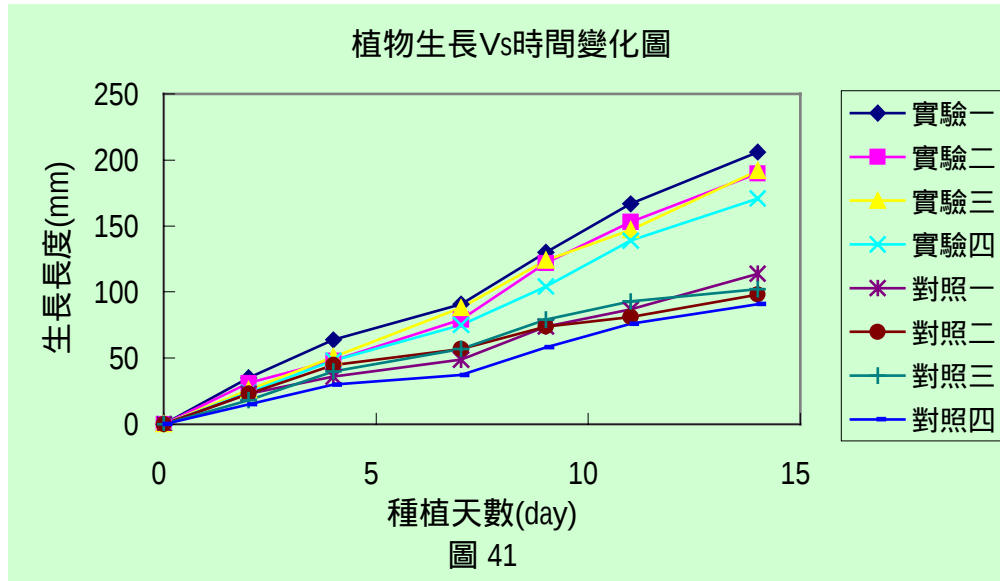
上圖 38 為第四批廚餘之 pH 值與時間變化圖，由圖中可以看出前 10 天的廚餘酸化階段比第三批廚餘平緩許多，在第 10 天才下降至最低約 5.0，第 10 至 24 天的 pH 值穩定回升。



上圖 39 為第四批廚餘之水分與時間變化圖，由圖中可以看出廚餘水分從 70%持續下降，表示微生物持續分解廚餘，而且分解速率穩定，最初廚餘水分偏高，可能原因是廚餘瀝水處理沒有徹底完全，最終的廚餘水分約為 20%，就外觀上觀察到廚餘呈現蓬鬆乾燥現象。



上圖 40 為第四批廚餘之液肥與時間變化圖，由圖中可以看出滲出水（液肥）總量比其它批廚餘略高，主因乃是廚餘瀝水處理沒有徹底完全，最高滲出水量出現在第 5 天，約為 280ml，比其它批廚餘堆肥略早，可能與重力排水有關，最低滲出水量約為 15ml 左右，廚餘堆肥的水分幾乎排除，液肥的利用為直接稀釋 100 倍後，澆花、澆草使用，因為有其它研究小組針對液肥對蔬菜植物的影響做研究，所以滲出水性質不列入本研究小組討論範圍。



上圖 41 為第四批廚餘堆肥之 A 菜種植植物生長變化圖，實驗組為添加廚餘堆肥品之混合土壤，對照組為未添加廚餘堆肥品之空白土壤，兩者均有添加細砂，以模擬貧瘠土壤環境，由圖中可以看出實驗組的 A 菜生長優於對照組，特別在第 6 天以後之 A 菜生長差異更為明顯，最大葉面平均長度差達 50mm 以上。本批實驗的實際 A 菜生長情況比較如下圖 42 (實驗組) 圖 43 (對照組) 圖 44 (實驗組與對照組整體比較圖)，由圖 42 及圖 43 可以看出除了葉面長度有明顯差異外，各葉面寬度，實驗組明顯比對照組寬，在 A 菜莖部方面，實驗組比對照組略粗一些，因此能承受葉面重量，而對照組則明顯無法承受葉面重量。



圖 42



圖 43



圖 44

八、結論

（一）第一批廚餘

在好氧的環境中，雖然微生物分解廚餘的速度較快，但是廚餘及混合物若沒有預先處理，去除可能存在的蟲蛋，則可能引起另一環境衛生問題，在大批廚餘堆肥時，可利用堆肥所產生的熱度殺死蟲蛋及有害細菌，在學校廚餘量說多不多，說少不少的情形下，並不適用田間或農畜牧業的堆肥方式，更不適用家庭廚餘桶的少量厭氧處理方式，因此由第一批廚餘完全好氧的堆肥處理經驗，本研究小組試圖以二階段式處理方式，達到有效縮短廚餘堆肥時間，結果十分有效，此外，本批實驗發現土壤直接混合太多廚餘堆肥品，不但對蔬菜植物的生長無益，反而因為土壤與蔬菜內的養分離子濃度不平衡，導致蔬菜植物枯萎、死亡，因此本研究特別測試出貧瘠土壤的臨界值，就是以細砂與土壤以 1：1 方式混合，對堆肥混合土壤（廚餘堆肥成品與土壤以 1：5 的方式混合），仍以 1：1 方式混合細砂。

（二）第二批廚餘

為證實二階段式廚餘堆肥品的品質與家庭式厭氧廚餘桶堆肥的品質相同，因此實驗組（二階段式廚餘堆肥）與對照組（厭氧廚餘堆肥）使用相同的菌種與混合成份進行實驗，結果顯示兩者的堆肥品品質相差無異，堆肥品的肥效（氮、磷、鉀等營養素）均能為植物蔬菜所利用，特別是對貧瘠土壤的性質改善別有效，因此二階段式好氧、厭氧處理廚餘堆肥可算是本研究小組的第一大發現。

（三）第三批廚餘

在確認二階段式好氧、厭氧處理廚餘方式可行之後，本研究重點則放在不同混合物對廚餘分解的影響，本批廚餘堆肥實驗，經小組同學腦力思考之後，決定添加 100ml 食醋，小組大膽假設食醋對廚餘堆肥有幫助，而後進行實驗小心求證，結果印證同學的假設無誤，將 30 天左右的好氧處理方式，縮短為 24 天，更進一步的縮短廚餘堆肥時間約一週，為本小組的第二大發現。

（四）第四批廚餘

在第三批實驗雖然有所收穫，但是本研究小組的探討求知慾望仍十分高漲，因此再進一步腦力激盪後，決定在廚餘混合物中添加園藝常用的有機土，結果發現有機土對微生物分解廚餘有相當大的幫助，其堆肥處理所需時間與第三批差不多，廚餘堆肥品對貧瘠土壤的性質與肥效也有相當大的幫助，算是本研究小組的第三大發現。

（五）校園廚餘堆肥之可行性評估

以本校為例，各年級六班，全校共三十六班之規模，每日廚餘量以 40 公斤計算，以二階段式處理所需時間週期為一個月，廚餘桶以現有商業產品做改良（模型如展場展示），其尺寸與價格如下：

直徑：40 公分，高度：80 公分，可充填量 80 公斤以上，單價：600 元

1、處理空間方面：

若以每日廚餘全部處理，一個月的廚餘量為：

40 公斤 / 日 $\times$ 20 日 / 月 = 800 公斤 / 月

每個廚餘桶裝 80 公斤，則所需的廚餘桶共 10 個，因此所需面積為：

$1256 \text{ cm}^2 / \text{個} \times 10 \text{ 個} = 12560 \text{ cm}^2 = 1.256 \text{ m}^2 \times 2 (\text{操作係數}) = 2.5 \text{ m}^2$

目前一間教室的面積約為 28 m^2 ，因此所需空間極小，若以學校規模比本校大 10 倍做估算，所需空間最多也只是一間教室這麼大。

2、處理成本方面：

每個廚餘桶單價 600 元 $\times$ 10 個 = 6000 元，遠小於廚餘處理機的費用，而且廚餘桶可重複循環使用，耐用免維修。菌種包一公斤 100 元，起始堆肥需五公斤共 500 元，後續廚餘堆肥可以取前一批之成品做菌種，循環使用。活性碳的成本因為使用量少，所以忽略不計。

（六）綜合結論

目前家庭廚餘以厭氧方式處理，若想改用二階段式處理廚餘，則只需在現有的廚餘桶蓋上挖一個直徑約 1 cm 的小洞，在好氧階段以活性碳包覆蓋，每天翻堆即可，在厭氧階段則以橡皮塞塞住，每天排除滲出水即可，簡單又方便，因此本實驗結果的推廣性極佳。

學校營養午餐所產生的廚餘是一個很好的環保教育素材，也是讓學生珍惜與培養愛護大自然資源的最佳行動教學，在現階段環境污染十分嚴重的台灣，再不加強環保意識於學生的啟蒙教育中，未來的台灣環境只會更遭，最後自食惡果的一定是生長在台灣的一個人，廚餘再堆肥成有機肥料，不但可以改善台灣的土壤，更可以種植出更大、更好、更美、更營養、無污染的植物，除了美化校園，美化都市，美化台灣外，也可以做到水土保持，涵養水源，可以說是百益而無一害的環保工作，身為教育下一代的學校，不能漠視這麼重要的環境教育行動教學，因此本研究小組特別針對校園處理廚餘堆肥的可行性進行研究，並獲得三大發現，最終訴求在於鼓勵校園裡的廚餘資源能有效回收，甚至更進一步推廣至全市，更可以有效減少 30% 的垃圾量，和樂而不為呢。



九、參考資料

(一) 圖書資料

- 1、黃永松，有機蔬菜之有機報告壹，第二版，台北，英文漢聲出版有限公司，民86年2月。
- 2、黃永松，自然農耕之有機報告貳，第二版，台北，英文漢聲出版有限公司，民86年2月。
- 3、黃賢良，生物分解垃圾袋在有機廢棄物堆肥化之應用，初版，臺南市，行政院農業委員會台南區農業改良場，民89。
- 4、立祥藝術傳播公司錄製，堆肥製作與利用錄影帶，初版，臺北市，豐年社。
- 5、徐喬奇，都市垃圾可堆肥成份中重金屬含量之研究，論文，臺中市，國立中興大學工學院環境工程研究所，民83。
- 6、謝錦松、黃正義，固體廢棄物處理，第三版，台北，淑馨出版社，民82年。

(二) 期刊論文資料

- 1、陳順興，民91年3月，廢物利用 - 廚餘液肥妙用，科學研習，第四十一卷第一期，p40.~p45.。
- 2、張璨琴，民91年1月，建立循環性社會「資源永續再利用」，財團法人環保媽媽環境保護基金會會訊，第三期。
- 3、A.Gomez*，The evaluation of compost quality，trends in analytical chemistry，vol.17，no.5，p.310~314，1998。

(三) 網路資料

- 1、嘉義縣新港鄉月眉國民小學，一般廚餘處理方法
<http://www.ymps.cyc.edu.tw/introduction/spec4.htm>
- 2、石金城，宜蘭縣立復興國民中學，網界博覽會之化腐朽為神奇、化廚餘為堆肥，
<http://cyberfair.taiwanschoolnet.org/c00/27260070/narrative.htm>。
- 3、亞松企業有限公司，廚餘做有機肥
http://home.pchome.com.tw/shop/es_server/b3.htm
- 4、謝德遠，中華綠色生產力協會，廚餘堆肥資源化研究
http://www.cgpa.org.tw/cgpa_6-3.htm
- 5、張舜燕，慈濟道侶291期，環保新天地
<http://taipei.tzuchi.org.tw/taolu/291/p291-8c.htm>
- 6、李慧明，當豬不再吃餒水-談廚餘堆肥化計畫
<http://www.teputc.org.tw/issue/garbage/article.htm>
- 7、製作廚餘堆肥常見的問題集錦，21世紀打造台灣環保、希望打造工程
<http://members.tripodasia.com.tw/y2kehww/>
- 8、華輝貿易有限公司，垃圾變黃金 ~ 廚餘變堆肥
<http://www.degra-novon.com.tw/>
- 9、堡綠環境科技有限公司，廚餘桶及廚餘處理機篇、親愛的我把垃圾消失了篇、推動有機農業篇 <http://www.pu-da.com/>
- 10、廚餘討論留言板 <http://pry.24cc.com/>
- 11、淨潔靈美國生態實驗室 <http://www.m-l.com.tw/>