

國立臺灣大學生農學院生物環境系統工程學研究所

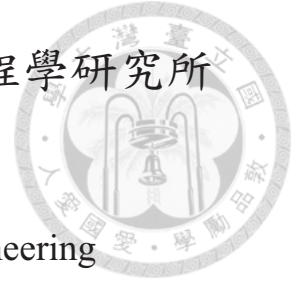
碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis



固肥、液肥、種植三合一家庭廚餘堆肥桶研發

Development of a kitchen waste compost bucket with triple
function of the solid/liquid fertilizer and culture products

陳志成

Chih-Cheng Chen

指導教授：侯文祥 博士

Advisor: Wen-Shang Hou, Ph.D.

中華民國 109 年 1 月

January 2020

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

固肥、液肥、種植三合一家庭廚餘堆肥桶研發

Development of a kitchen waste compost bucket with triple
function of the solid/liquid fertilizer and culture products

本論文係陳志成君（R01622035）在國立臺灣大學生物環境系統
工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 109 年 1 月 21 日承下列考
試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

侯文平

（簽名）

（指導教授）

胡明政

余龍

系主任、所長

范致豪

（簽名）

誌 謝

時光荏苒，一邊讀書一邊工作的我，在這幾年求學生涯受到許多學長姐以及夥伴們的照顧和幫助，讓我受益良多，在完成論文的此刻，心中只有滿滿的感謝。

首先感謝恩師侯文祥老師，凡事皆以實作為基礎概念的老師，對於建築背景的我來說讓我的視野變的更寬廣，在求學與撰寫論文期間侯老師給予的教導與督促不僅讓我在學習上學到知識，也讓我在工作上接觸到不同層面的設計理念；口試及論文初稿審閱期間，感謝余化龍老師、胡明哲老師給予寶貴的意見與指正，讓此篇論文更臻於完善，在此獻上最誠摯的感謝。

在研究所求學期間特別要感謝以容學姐在我研究上遇到問題時適時給予我幫助及指點，讓我論文能順利完成；感謝謝炳煌老闆，在工作上給予我時間上彈性運用讓我得以完成學業。

在實驗期間感謝許正一老師給予我論文上許多的指導，讓我能在實驗分析中找到正確的方法；感謝祐熙、宇晴、雅甄不厭其煩的教我實驗操作，使我得以精確的分析樣本。

最後，感謝一路走來陪伴我渡過這些年的研究室夥伴：以容、鴻開、宜珍、怡樺、懿蘋、柏勳，謝謝您們在我研究所學習歷程中，給予我的一切幫助；還有默默支持我的家人們，讓我在求學過程中能無後顧之憂的學習，我愛您們。

陳志成 誌於

國立臺灣大學生物環境系統工程學系研究所

中華民國一零九年一月

摘 要

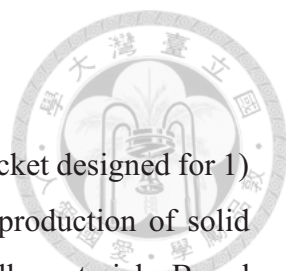


本研究以家庭廚餘再利用，生產固肥、液肥及種植同時進行之多目標功能性及以環保材質等方面設計之三合一家庭廚餘堆肥桶。以生廚餘 100%、生廚餘加熟廚餘各 50%、熟廚餘 100% 三個實驗模組，探討廚餘桶堆肥模組是否腐熟完全並找出最佳化模組及使用後減少之廚餘量。結果得知，生廚餘加熟廚餘之堆肥效果最佳，堆肥腐熟度之 pH 為 5.50、EC 值為 1.41dS/m、種子發芽率 97%、種子發芽指數 160.1% 均達堆肥腐熟度條件。堆肥肥力之氮磷鉀濃度分別為氮 74mg/kg 提高了 8 倍、磷 105mg/kg 提高了 17.5 倍、鉀 199mg/kg 提高了 12.5 倍，肥力與等級皆比原有土壤數據提高。改良土壤效益之氮磷鉀營養鹽濃度及 EC 值分別比原始土壤提高了，氮 3~5 倍、磷 1.2~2.7 倍、鉀 3.3~5.2 倍、EC 值 1~7 倍。使用此堆肥可使分蔥植物成長高度提高為 2 倍。

以臺北市內 2019 年 12 月之總戶數 106 萬戶估計，若每戶均能使用三合一廚餘桶，家庭廚餘自家完全再利用，則每月可減少廚餘量約為 8150 噸。

關鍵字: 三合一廚餘堆肥桶、廚餘、堆肥、腐熟度、土壤肥力

Abstract



This study is a three-in-one family kitchen waste composting bucket designed for 1) household food waste reuse, 2) multi-purpose functions including production of solid fertilizer, liquid fertilizer, and planting, and 3) environmentally friendly materials. Based on three experimental modules, 100% raw food waste, 50% raw food waste plus 50% cook, and 100% cook, whether the composting module of food waste barrel was completely decomposed was explored, the optimal module was found out as well as the reduced amount of food waste after use. The results showed that the best composting effect resulted from the combination of raw food waste and cook. The said compost maturity's pH value was 5.50, EC value was 1.41 dS / m, rate of seed germination was 97%, and index of seed germination was 160.1%, which all met the conditions of compost maturity. The concentrations of nitrogen, phosphor, and potassium in compost were increased 8 times in nitrogen by 74 mg / kg, 17.5 times in phosphor by 105 mg / kg, and 12.5 times in potassium by 199 mg / kg. Fertility and grade were both higher than the data of the original soil. The NPK concentration and EC values of the improved soil were increased compared to the original soil, respectively, 3 to 5 times in nitrogen, 1.2 to 2.7 times in phosphor, 3.3 to 5.2 times in potassium, and 1 to 7 times in EC. The use of this compost can increase the height when planting shallots by a factor of two.

With a total of 1.06 million households in Taipei in December of 2019, if each household can use the 3-in-1 food waste barrel, and if family food waste is fully reused, the amount of food waste can be reduced by about 8,150 tons per month.

Keywords: 3-in-1 kitchen waste compost bucket, kitchen waste, compost, maturity, soil fertility

目 錄



謝誌.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究背景及動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 廚餘資源化與應用.....	5
2.1.1 何謂廚餘與堆肥.....	5
2.1.2 國內外廚餘處理方式.....	8
2.2 家庭廚餘堆肥製造方式.....	10
2.2.1 堆肥化原理.....	10
2.2.2 堆肥控制條件.....	11
2.2.3 家庭垃圾堆肥化應用模式.....	14
2.2.4 各種家庭廚餘解決方案及現有廚餘桶產品比較.....	15
2.3 廚餘堆肥成熟度之評估方法.....	19
2.3.1 物理分析.....	19
2.3.2 化學分析.....	20
2.3.3 微生物活性分析.....	23
2.3.4 植物分析.....	24
2.4 土壤肥力.....	25
2.5 三合一廚餘桶研發重點.....	27

第三章 材料與方法.....	29
3.1 三合一廚餘桶設計.....	29
3.1.1 三合一廚餘桶規格.....	29
3.1.2 三合一廚餘桶設計圖.....	29
3.1.3 三合一廚餘桶設計原理.....	31
3.2 實驗模組.....	33
3.2.1 實驗流程.....	33
3.2.2 實驗模組設定.....	35
3.3 檢測儀器及材料.....	40
3.4 分析方法.....	43
3.4.1 廚餘堆肥腐熟度分析方法.....	43
3.4.2 土壤肥力.....	47
3.4.3 資料整理法.....	48
第四章 結果與討論.....	50
4.1 三合一廚餘桶堆肥腐熟度與肥力.....	50
4.1.1 廚餘堆肥腐熟度.....	50
4.1.2 廚餘堆肥肥力.....	55
4.2 土壤肥力改良.....	59
4.3 廚餘桶植物生長.....	65
4.4 三合一廚餘桶最佳模組與操作步驟.....	66
4.4.1 三合一廚餘桶最佳模組.....	66
4.4.2 三合一廚餘桶操作步驟.....	70
第五章 結論與建議.....	71
5.1 結論.....	71
5.2 建議.....	72
參考文獻.....	73



圖目錄



圖 1-1 研究流程圖.....	4
圖 2-1 總體堆肥過程中的溫度變化	19
圖 2-2 台灣土壤分佈圖.....	26
圖 2-3 台灣表層土壤酸鹼值分布圖.....	27
圖 3-1 三合一廚餘桶 3D 圖.....	29
圖 3-2 三合一廚餘桶剖面圖.....	30
圖 3-3 三合一廚餘桶構造分解圖.....	30
圖 3-4 三合一廚餘桶操作示意圖.....	32
圖 3-5 實驗流程.....	34
圖 3-6 實驗模組.....	35
圖 3-7 實驗模組編號.....	35
圖 3-8 實驗三合一廚餘桶.....	36
圖 3-9 實驗廚餘桶架設(一).....	36
圖 3-10 實驗廚餘桶架設(二).....	36
圖 3-11 實驗廚餘桶填入土壤.....	36
圖 4-1 廚餘堆肥溫度變化.....	51
圖 4-2 廚餘堆肥降解高度變化.....	51
圖 4-3 各模組堆肥腐熟完成後 pH 值.....	52
圖 4-4 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之氮含量.....	55
圖 4-5 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之有效磷含量.....	56
圖 4-6 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之有效鉀含量	57
圖 4-7 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良 pH 值	59
圖 4-8 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良 EC 值	61

圖 4-9 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良氮含量.....	61
圖 4-10 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良有效磷含量.....	62
圖 4-11 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良有效鉀含量.....	63
圖 4-12 各模組植物生長.....	65
圖 4-13 生廚餘質量平衡與實驗數據圖.....	66
圖 4-14 生廚餘加熟廚餘質量平衡與實驗數據圖.....	67
圖 4-15 熟廚餘質量平衡與實驗數據圖.....	68



表目錄



表 2-1 廚餘分類建議方式.....	6
表 2-2 家用戶廚餘物理組成.....	7
表 2-3 廚餘基本特性分析結果.....	7
表 2-4 國內外廚餘垃圾處理方式.....	8
表 2-5 不同有機材料成分分析.....	12
表 2-6 家庭垃圾堆肥化.....	14
表 2-7 各種家庭廚餘解決方案之比較.....	16
表 2-8 土壤養分含量分級標準.....	25
表 3-1 實驗操作步驟.....	38
表 3-2 本研究使用之檢測儀器簡介.....	40
表 3-3 計量設計內容表.....	49
表 4-1 本研究三合一廚餘桶堆肥腐熟結果.....	54
表 4-2 三合一桶廚餘堆肥腐熟完成肥力營養質.....	58
表 4-3 土壤鹽度分級.....	60
表 4-4 三合一桶廚餘桶腐熟堆肥提供土壤改良肥力比較表.....	64
表 4-5 三模組四項目計量數據表.....	69

第一章 前言

1.1 研究背景及動機

2011年5月聯合國糧農組織(FAO)發表一篇「全球糧食耗損與糧食浪費報告」(Global food losses and food waste)中提到，全球每年有三分之一約十三億噸的食物遭到耗損或浪費，而食物的浪費亦帶來驚人的廚餘量也帶來許多環境的問題，諷刺的是全世界每天卻有三萬個人死於飢餓(廚餘桶的秘密，2011)。

環保署的調查推估，台灣一年家用戶的廚餘量大約275萬公噸，去掉果皮菜渣，食物垃圾佔六成七，大約180萬公噸。180萬公噸，用重量換算，差不多40億個便當等重；用糧價來換算，高達250億，可以讓23萬個中低收入戶的學童，從幼稚園到博士班，整整享用20年的營養午餐；用人數來換算，足以讓海地550萬個饑民吃上一整年，而這個數據還不包括餐廳、學校、賣場和超商等事業單位(廚餘桶的秘密，2011)。

環保署於2003年推行「廚餘清運及回收再利用計畫」積極處理廚餘問題。該年的廚餘量大約275萬公噸，廚餘回收量僅回收16.8萬公噸(行政院環境保護署(2003)「中華民國環境保護統計年報」)。這幾年政府積極落實廚餘回收，從2003年的16.8萬公噸到2016年的57.6萬公噸，廚餘回收率提升14.8%，雖有提高但回收成效還是不盡理想。

由於民生富裕與國人之飲食習慣，國人日常生活所產生的垃圾中，含有極高比例的「廚餘」，約佔一般垃圾量的17.94%~27.76%，木、竹、稻草、落葉類佔3.36%~5.89%(環保署，2004)。環保署從1998年開始推動資源回收，佔台灣地區垃圾處理之比例從當時的1.24%，逐年增加到2002年的11.55%。在同年度其他垃圾處理方式中，仍以焚化爐焚化佔56.78%，而30.79%送至垃圾場掩埋為其次，廚餘回收堆肥部份僅佔0.05%(中華行

政學報第二期)。

廚餘廢棄物熱含量低，需額外添加輔助燃料，所以焚化的成本很高，故不宜採用焚化法(林,周，2005)；而掩埋處理佔據空間，過程中釋出臭味並產生滲濾液污染環境 (Yun et al.,2000)。1999年歐盟制定「掩埋指令」(EU Landfill Directive)要求會員國擬定減少廢棄物掩埋策略，以改善水、空氣污染及溫室氣體排放的問題 (Dimambro et al.,2007)。所以廚餘回收及再利用是很重要的課題。



1.2 研究目的

目前廚餘回收再利用大致分為堆肥、養豬及厭氧醱酵再生能源。隨著非洲豬瘟疫情日益嚴重，廚餘餵養成為防疫關鍵之一，再生能源由於厭氧醱酵操作之技術性高，設備投資與維修費高，且土地使用面積較大，故以大規模的處理較有經濟規模，亦較具價值。而將廚餘製成堆肥是一種成功且可行的資源再利用策略 (Zucconi 1987；Diaz 1993；Butler 2001；Mondini 2004；Tsai 2007)。本研究為減少廚餘量的問題，由焚化、掩埋轉變從源頭管制的方式依「家庭廚餘堆肥化:廚餘不運輸、減碳生活、零廢污排放、資源再生利用、低造價設計」理念改良一新的「固肥、液肥、種植三合一廚餘堆肥桶」，檢測其效果，以提高居民使用意願，減少因廚餘因素造成對環境的衝擊，且在堆肥的過程中改良種植的土壤。

1.3 研究方法

本研究以家庭廚餘不落地並依生產固肥、液肥及種植同時進行之目標，設計適合此目標之家庭廚餘堆肥桶。將堆肥桶生產的固肥、液肥、土壤之實驗數據整理分析，並評估使用時之方便性、時間性、經濟性，提供居民數據以提高使用廚餘桶之意願，研究方法如圖1-1流程圖。

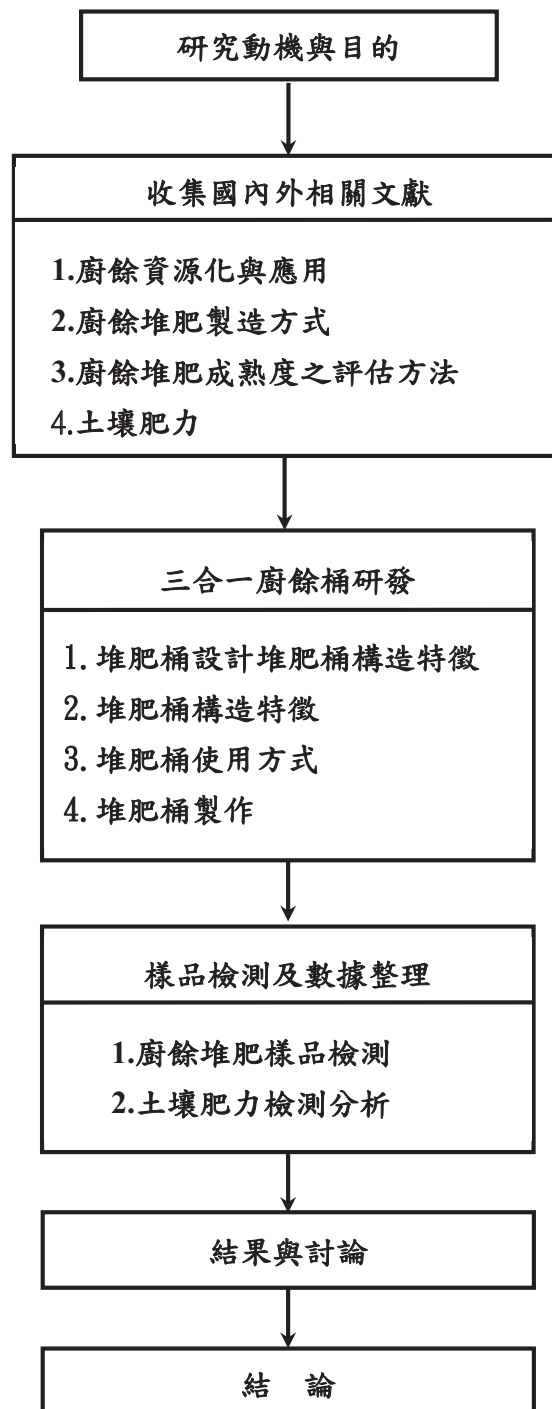


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 廚餘資源化與應用

廚餘已經成為人類在日常生活中必然產出的有機廢棄物，數量龐大，含水量高又有油污且易腐敗發臭，故廚餘減量及回收處理已成為重要且亟待進行的議題。

政府積極推行廚餘回收再利用，但在處理過程中因各縣市條件不同，除了回收處理困難外亦需花費龐大的費用，所以如何將廚餘資源化與應用是極為重要的課題。廚餘經堆肥化可將廚餘中的有機成份分解及轉化成堆肥，以供植物生長利用，更有助於土壤肥力之回復(行政院環保署,2006)

廚餘經厭氣消化可產生沼氣，再以沼氣進行發電以達到廚餘之能源回收(行政院環保署,2006)。Matteson和Jenkins(2007)之研究指出，美國加州之廚餘若以厭氣發酵方式回收沼氣進行發電，其具有提供134MWe之潛力。Lai等人(2007, 2009)及賴和柯(2009)亦曾估算台灣回收之廚餘厭氣發酵以發電之潛力。

農委會統計，台灣農民每年使用的化學肥料約為94.7萬噸，其中近半數自國外進口，且化學肥料使用過度會對土壤產生不良副作用，並使土壤貧瘠。將廚餘轉化成有機肥料、沼氣發電等，能增加收益，並減少農民對化學肥料的使用量，也可以解決廚餘亂竄並達到防疫效果。

2.1.1 何謂廚餘與堆肥

廚餘(food waste)：一般家庭於飲食過程所產生之有機廢棄物，如水果皮、菜葉、過期之食物、茶葉渣、咖啡渣等，皆可稱之為廚餘。目前廚餘再利用方式主要為養豬及堆肥，所以廚餘之分類也應以這兩種再利用



方式為依據。(廚餘回收再利用操作管理參考手冊,2018)。一般廢棄物回收清除處理辦法名詞定義中，廚餘指被拋棄之生、熟食物及其殘渣或經主管機關公告之有機性一般廢棄物。

堆肥(compost)：是指將有機質堆積，使微生物在其中繁殖和新陳代謝，待耗去有機材後，所得之殘留物即為堆肥。此「堆肥化」(composting)過程中產生的殘留物包括菌體、二次代謝產物及未分解轉化的資材(洪,2000)。一經堆肥後穩定且無毒的產物，並益於植物之生長(Zucconi and Bertoldi, 1987)。堆肥處理過程中，最佳含水量宜介於50-60%之間(Viel et al, 1987)。廚餘有效的堆肥化，可以減少垃圾場的溫室氣體、臭味及污染，並利於碳循環，而堆肥化可避免廚餘在掩埋自然分解造成營養物質的浪費(Luostarinen, 2007)。傳統上，堆肥在農業生產及保持地力上兼具肥料及土壤改良的效能，為廢棄物處理中重要的一環(張,2001)。

表2-1 廚餘分類建議方式

堆肥、養豬皆合適者	
蔬菜類	葉菜、蔬果等
米食類	白飯、麵食等製品
過期包裝食品	餅乾、糖果、麵包等
食品下腳料	豆渣、酒糟等
較適合堆肥之廚餘(不適合養豬者)	
果皮類	粽葉、筍殼、果皮及果核等
殘渣類	蔗渣、茶渣、咖啡渣、中藥渣
園藝類	花材、樹葉、樹枝、草本植物、根
硬殼類	蛋殼、貝、蟹、蝦殼及動物骨頭
堅果類	植物的種子、果核
酸臭熟廚餘	未煮熟肉品、動物內臟，或無法分類有機物
較適合養豬之廚餘(不適合堆肥者)	
魚肉類	煮熟之雞、鴨、魚、肉等
調味類	果醬、果汁、濃湯等

資料來源：廚餘回收再利用操作管理參考手冊,2018

表2-2 家用戶廚餘物理組成

種類	物理組成	百分比(%)
熟食類	米食類、麵食類、豆食類、肉類、零食類、罐頭類、粉狀類、調味類	45.58%
生食類	(1)水果類、蔬菜類、殘渣類(茶渣、咖啡渣、中藥渣)、其他類	44.79%
	(2)硬殼類(蝦或蟹殼、動物小骨頭)、堅果類(種子、果核)	3.94%
硬質類	貝殼、牡蠣、豬骨頭及無法破碎的大型骨頭	2.06%
雜物	塑膠袋、筷子、牙籤、雞(鴨)動物羽毛等	3.63%

資料來源：廚餘回收再利用執行成效專案報告,2006

行政院環保署資料顯示2017年台灣廚餘量為551,332公噸，平均每人每日廚餘產生量為0.064公斤，家用戶廚餘物理組成熟食類與生食類佔了總廚餘量的90.37%。在臺北市環保局2002年委託研究報告(楊等,2002)在廚餘基本特性所進行的兩次分析結果如表2-3所示。回收之廚餘含水量及其它數據可做為家庭廚餘堆肥進行調整之參考。

表2-3 廚餘基本特性分析結果 (楊等,2002；蔡,2005)

分析項目	採樣分析結果		平均
	第一次	第二次	
含水量(%)	75.64	70.35	72.99
濕基灰份(%)	5.48	5.59	5.54
可燃份(%)	18.88	24.06	21.47
高位發熱量(Kcal/Kg)	1308	1316	1312
低位發熱量(Kcal/Kg)	798	807	802.5
pH	6.05	6.43	6.24
EC(μmho/cm)	39200	38700	38950
N(%)	0.94	0.92	0.93
P(%)	0.24	0.23	0.24
K(%)	0.18	0.19	0.19
C(%)	11.26	11.92	11.59
H(%)	1.81	1.82	1.82
O(%)	9.68	8.75	9.22
C/N	11.98	12.96	12.47



2.1.2 國內外廚餘處理方式

由於科技的進步，經濟的繁榮，人類於生活中所產生的廚餘垃圾越來越多，而廚餘垃圾的含水量高且又容易腐敗發臭，一般民眾並不會將廚餘停留在家中時間過長，以往都將廚餘丟進垃圾中一同由垃圾車帶走，廚餘所含的水分於運送過程中流出，產生惡臭，對環境造成另一項的污染。環保署於2003年4月24日根據廢棄物清理法第一條，公告「廚餘再利用管理方法」，家戶廚餘在管理方法中，才正式納入可回收再利用的資材之一(留,2003)。而面對這龐大的廚餘垃圾，各國也實施各種方式來減少廚餘垃圾量及對環境造成的污染本研究室整理於表2-4。

表2-4 國內外廚餘垃圾處理方式

國家	方式	說明
台灣	1. 養豬 2. 堆肥 3. 焚化	1. 將丟棄或食用所剩之廚餘經處理後轉變為豬隻飼料，處理價格低廉，現因非洲豬瘟現在已被禁止 2. 政府堆動隨垃圾車回收廚餘並將廚餘以堆肥化處理，製成有機肥 3. 早期將廚餘垃圾隨袋丟進垃圾車送至焚化爐焚化，因處理成本較高，後將此方式淘汰
瑞典	1. 堆肥 2. 燃料	1. 處理公司專門提供棕色垃圾紙袋回收轉化成有機肥為農作物提供養料 2. 處理公司專門提供棕色垃圾紙袋回收轉化成生物油作為汽車等交通工具的燃料(據估算，5公斤廚餘垃圾可供一台私家車行駛10公里；1200人產生的廚餘垃圾供一輛垃圾車開一整年)
英國	1. 堆肥 2. 發電	1. 把廚餘垃圾集中起來，堆肥發酵，最終成為有機肥料 2. 建設全球首個全封閉式廚餘垃圾發電場，該廠平均每天可以處理12萬噸垃圾，發電150萬千瓦，可供應數萬戶家庭24小時用電
法國	1. 分類 2. 循環處理	1. 一般的垃圾，簡單地分為可回收垃圾和不可回收垃圾 2. 嚴格規定餐飲業所有廚餘垃圾分為無害、中性、危險三個級別，並進一步細分為20個門類，並以此決定是回收、深埋或是焚燒處理。在法國，垃圾分類回收既是一種行為和

		習慣，又是一種經濟體系。每年 80%的廢棄包裝類垃圾都得到了循環處理，63%經再處理後被製成了紙板、金屬、玻璃瓶和塑料等初級材料，17%被轉化成石油、熱力等能源
韓國	1. 減少排放	實施廚餘垃圾「從量制」收費。以三種計費方式。1.政府統一製作廚餘垃圾袋，居民使用的垃圾袋越多則付費越多;2.設置智能廚餘垃圾桶。居民在倒廚餘垃圾前必須先刷卡，按重量計算;3.電子標籤;於統一規定的容器排放廚餘垃圾，排放時必須在容器上粘貼向政府購買的電子標籤，政府在收取垃圾的同時回收電子標籤
新加坡	1. 減量化、資源化 2. 再循環利用	1. 用垃圾袋裝好，集中起來用封閉的垃圾出拉走，運送到焚燒場焚燒和壓縮處理。焚燒後體積只有焚燒前的十分之一，經壓縮後再集中填埋。整個過程封閉、衛生，對環境沒有造成影響 2. 用過的食用油(廢油)不允許與其他廚餘垃圾混在一起，由政府指定的專業公司統一回收利用，以製造生物柴油或其他用品
美國	1. 掩埋 2. 甲烷發電 3. 蚯蚓堆肥	1. 主要處理方式仍然是填埋，97%的廚餘垃圾被掩埋 2. 回收人員從當地餐館和食品店收集廚餘垃圾進行發酵，產生甲烷發電 3. 通過蚯蚓堆肥，密封容器堆肥等廚餘垃圾處理方式

資料來源：谷藤環保網(本研究整理)

由此整理表得知廚餘垃圾一直是個棘手的問題，也能看出各國對於廚餘垃圾處理的重視，雖說各國提出了不同的解決方案，但是都需要耗費龐大的經費及人力，其成效並沒有預期的理想，且會造成二次的污染。廚餘的產生並不是從丟棄廚餘開始，而是因現代食物的供應鏈與食用者飲食的習慣進而產生龐大的廚餘。近年因非洲豬瘟危機，國內開始禁止使用廚餘養豬，廚餘處理更成為難題，而廚餘量其中一大部分是來自家用戶廚餘量。環保署於今年開始提倡家用戶在家處理廚餘目標，不要把廚餘丟出來就是防疫英雄(中下游新聞網，2019)。所以從源頭減量才是最符合環保的方式。



2.2 廚餘堆肥製造方式

2.2.1 堆肥化原理

堆肥化(composting)是利用微生物繁殖、代謝而消耗有機質的作用，將廚餘中不安定的有機成份分解，最終製成肥料或土壤改良劑。堆肥在好氧狀態下，微生物快速繁殖，將大量的碳水化合物氧化成二氧化碳及水分；微生物活動所產生的熱量，使堆肥溫度上升，同時將水分蒸發，達到減量及乾燥之目的。微生物在繁殖過程中需要自基質中獲取養分，其中主要為碳源與氮源，微生物是將碳源轉換成二氧化碳，故使基質中之碳源含量逐漸減少，致基質中碳/氮比將逐漸降低，至某一程度則不易再下降。堆肥化過程中水分逐漸蒸發，材料之理化性質亦將改變，外觀呈蓬鬆狀且臭味消除，達到腐熟及適於施作之條件(廚餘回收再利用操作管理參考手冊,2018)。

堆肥製作過程是把有機廢棄物予以適當堆積，在溫度、濕度、通氣量、酸鹼值等的控制條件下，利用微生物作用，將有機材料發酵分解，轉變為有機質肥料。有機材料在適當的條件下堆積發酵，可以縮短有機物分解的時間，而生產出物理性狀均一、化學成分穩定之高品質堆肥(張,2001)。微生物存在整個自然環境中，堆肥原料、水、空氣、土壤，和過程中使用的各種機械上都有。堆肥中的微生物包括細菌和真菌。由於放線菌獨特的性質，這裡將其作為第三類微生物。真菌形成的細絲叫菌絲，真菌數量介於每克土壤1萬和100萬菌落；細菌為堆肥中最多的為生物，雖然每克土壤中往往有超過10億細菌，他們(放線菌除外)對堆肥的貢獻卻沒有真菌多，因為他們的尺寸相對較小；放線菌其實是細菌的一種，看起來跟真菌相似，他們也會形成纖維束構成的網絡，這些纖維束能讓一個群落的放射菌蔓延至整個堆肥，放射菌每克土壤約有10萬至100萬菌落(台灣廚餘堆肥資源

化發展協會，譯自美國加州環保局文件)。所以可以替代市面上所販售的發酵菌，方便取得，也減少花費。

吳(2008)指出廚餘堆肥化是將廚餘減量化、無害化、穩定化和資源化融為一體的理想處理方式。既消納了廚餘，又充分利用了廚餘中含有植物生長發育所需的氮、磷、鉀及微量元素和能改善土壤構造的有機質，並且有利廚餘大規模處理。

2.2.2堆肥控制條件

觀察堆肥化過程進行是否順利，主要根據堆肥物料中有機物的種類及特性和堆肥技術控制參數的變化。透過堆肥化過程的控制，確保堆肥化過程順利進行，主要包含有機物、碳氮比、含水率、溫度、通氣量、pH值和腐熟度等等(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

1. 有機質

堆肥技術可以用來處理污泥、生活垃圾、農業廢棄物、動物糞便及屍體、廚餘、枯樹落葉等含有大量有機物質的廢棄物。有機質含量較低的物質在醱酵過程中所產生的熱量將不足以維持堆肥所需的溫度，而且產出的堆肥會因為有效性過低而影響施用後的效果。但另一方面，若堆肥物料中的有機質含量過高且未予以供氧時，將會造成通氣不良的負面效果，如產生惡臭。一般而言，在高溫好氧堆肥化中，有機物含量變化的最適範圍約為20~80%，因此調整和增加堆肥原料的有機組成是相當重要的(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

2. 碳氮比

碳與氮在堆肥過程中是不可或缺的兩個元素，碳是微生物基本的能量來源，而氮則是微生物族群發展所必須的元素(Day and



Shaw,2001；柯,2011)。當有機原料的碳氮比為已知條件，可依下列公式計算所需添加的氮源物質數量：

$$K = \frac{C_1 + C_2}{N_1 + N_2}$$

式中，K為混合原料之碳氮比，通常為25~35：1 左右C₁、C₂、N₁、N₂分別為有機原料與添加原料的有機碳、氮含量。

表2-5 不同有機材料成分分析

材 料	C/N	有機碳 %	全氮%	總磷 %	鉀%
牛 糞	13~17	35	1.8	0.5	1.7
豬 糞	8~15	42	3.0	3.0	0.5
雞 糞	6~9	18	3.3	1.7	2.4
米 糠	18~22	55	2.4	0.4	1.8
大 豆 粉	4~6	38	7.0	0.6	2.4
大 豆 桿	30~36	42	1.3	0.3	0.5
樹 皮	120~500	70	0.3	0.08	0.6
稻 蒿	45~60	43	0.7	0.1	2.0
穀 殼	70~90	35	0.4	0.1	0.6
太 空 包	25~40	44	1.1	0.4	0.5

(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)

3. 含水率

在廚餘經發酵製成堆肥過程中，含水率是堆肥發酵極重要的因素，因堆積材料中之水分含量為維持微生物活性之重要因子(Das et al,1993；邱,2007)。通常水分含量低於最佳值的時候，可以添加污水、污泥、禽畜糞尿、廚餘等進行調整，添加的調整材與原廢棄物的重量比，可以根據下式求出：

$$M = \frac{W_m - W_c}{W_b - W_m}$$



式中， M 為調整材與原廢棄物的重量比， W_m 、 W_c 、 W_b 分別為混合後原料之含水率、原廢棄物之含水率、調整材之含水率(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

4. 溫度

在堆肥化過程中，隨物料中微生物活動的加劇，微生物分解有機物所放出的熱量大於堆肥的熱消耗量時，堆肥堆的溫度就會上升。因此，溫度的變化是微生物活動劇烈與否的最佳參數(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

5. 通氣量

通風是好氧堆肥成功與否的重要因素之一，其主要的作用在於：1.提供氧氣，以促進微生物的發酵過程；2.通過供氣量的控制，調節在最適溫度環境之下；3.在最適溫度之下，增加通風量有助於水分的去除(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。許多研究指出有機物的分解作用以好氧分解效率較佳，且可降低硫化氫(H_2S)等臭味之產生(Mathur *et al.*,1986；Nugroho and Kuwatsuka,1990)。Insam等(1996)指出，在堆肥化過程中翻堆可增進微生物的分解作用。加入調整材以增加孔隙，提供空間使氧氣能進入堆肥內部，亦為增加堆肥化過程之通氣性的方式(Haug,1980；Schaub and Leonard,1996)。好氧堆肥的通風供應方式可分為、自然擴散、翻堆、強制通風、翻堆與強制通風之結合、被動通風等(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

6. pH

pH 值是一項能對細菌環境做出評估的指標參數，在堆肥的生物降解和發酵過程中，pH值會隨著發酵的時間和溫度變化而變化，



因此pH值亦可用來推估堆肥醱酵的狀況(堆肥技術與設備手冊及案例彙編,2005)。

7. 腐熟度

腐熟度(maturity)是用來評估堆肥適用與否的指標，其參考數包括：堆體溫度、外觀顏色、氣味、有機質、碳氮比等多項參數。現階段堆肥腐熟度評估指標無法參考通用之單一參數即可(楊,2015)，一般較常用者有(1)碳氮比必須低於20，(2)還原糖比率必須低於35%，(3)陽離子交換能力漸趨近於100毫克當量/100克土，(4)固定態氮含量趨近於1.6%，(5)種子發芽率指數達到60%以上(廚餘堆肥化技術極利用模式,蔡)。但是根據Tiquia等(1998)指出堆肥浸出液對植物種子發芽率指數和植物生長是最有效的方法。

2.2.3 家庭垃圾堆肥化應用模式

有機廢棄物堆肥法至今已開發出許多種不同方式，有傳統堆肥法、通氣靜堆法、好氧性槽式堆肥法、密閉堆肥法、高速醱酵堆肥法、液態醱酵法、槽式堆積法、袋式堆積法、桶式堆積法、直接掩埋法等；本研究主要以源頭減量方式探討如何將家庭垃圾及廚餘之有機廢棄物轉化製作成有機肥料堆肥方式。

表2-6 家庭垃圾堆肥化

堆肥法	方式	內容
自然堆積法	空曠地採開放式自然堆積	將有機材料混合堆放，且添加微生物分解菌種及調整適當水分後，任其在自然空曠地堆積分解，惟堆積高度維持1.5-2.0公尺為宜，且堆積過程中仍注意保持水分含量，也可以施予適當的堆翻，以增加堆積材料中空氣含量，促進微生物之分解。 本堆積法較適用於大型開放空曠地區，且不慮影響周邊環境者。
槽式堆積法	紅磚或空心磚間隔出若干堆	高度維持1.5-2.0公尺為宜，長寬則視有機廢棄物收集量而定，一般建議以2-3周內能收集的體

	積槽	積量而決定，另設置堆積槽數亦視所收集的有機廢棄物量及堆積腐熟速度而決定，有機廢棄物經分類收集後，置入堆積槽內，同時再加入微生物分解菌種，待槽內有機廢棄物量達到適當堆積高度或量時，即不再加入新鮮有機物，而任其分解發酵，一般有機廢棄物堆積腐熟速度約需3-4個月。當堆肥材料腐熟後，可由堆積槽清出，而繼續放入新鮮的有機廢棄物，予以堆積發酵。
袋式堆積法	使用可透氣袋子	使用編織袋或不織布等材料，裝填入有機廢棄物，且添加微生物分解菌種及調整適當水分後，袋袋相疊，惟高度亦以維持1.5-2.0公尺為宜，一般堆積腐熟速度約需3-4個月。袋式堆積宜置於樹蔭或遮陽棚下。
桶式堆積法	使用有加蓋的塑膠桶	塑膠桶底部先鑽洞後安裝排水管(可開關式)，裝填入廚餘有機廢棄物，其上方再添加微生物分解菌種，如此將廚餘廢棄物與菌種層層添加堆積，達九分滿時，最後加入約5-10公分的菌種，且最好覆蓋住所有的有機物，再將蓋子蓋好，不再任意打開，一般約3-4個月可完熟。再堆積過程中，桶底產生液肥，另行收集於塑膠桶內，另行分解發酵，一般約2-3個月可完熟，可取出加水約200-300倍後，灌注於花園草坪，供做有機液肥使用。
直接掩埋法	直接掩埋	本方法實際上不屬於堆肥法之一，惟在家庭廚餘處理上屬於另類的方式之一，其優點在於便利性，因為當家庭廚餘等有機廢棄物收集後，混入適量微生物分解菌種，即可選擇適當地點掩埋入土壤中，任其自然分解發酵。此方法缺點在於此類家庭廚餘等有機物，掩埋入土壤後，進行分解過程中，會產生有機酸等毒害物質，不利於地面上植株生長，且一般家庭或社區亦無大面積庭園可供掩埋使用。

資料來源：廚餘堆肥化技術極利用模式,蔡(本研究整理)

2.2.4各種家庭廚餘解決方案及現有廚餘桶產品比較

為落實廚餘減量化，降低對環境造成二次傷害，市面上紛紛推出各種不同處理方式的廚餘處理機(桶)，但在價錢方面上，處理快速且操作簡便的廚餘處理機通常費用亦非一般家庭所能負擔，在不符合經濟效益的情

況下，一般家庭使用的意願並不大。而一般廚餘桶雖然成本較低，但所用時間較長，且為一次填充性，當廚餘過量時必須再構置新的廚餘桶，所占空間會太大，在台灣家庭的居住空間條件下，也無法提高居民的使用意願。所以如何兼顧居民的使用意願、生活品質和經濟效益，為本研究的重要課題。本研究整理市售廚餘桶產品及網路資料，示於表 2-7。至今，尚未有研究固肥、液肥、種植之三合一功能的量化設計。

表2-7 各種家庭廚餘解決方案之比較 (本研究整理)

方案	設備成本	優點	缺點	備註
粉碎乾燥型廚餘處理機(普通型&微生物發酵型)：製成乾燥有機質 	2~4+ 萬元/台	處理過程快速、操作簡便、能將臭味對外隔絕，可做為家庭園藝有機材使用，可隨時在家操作。	設備價格昂貴若非生物發酵型機種，廚餘未經過發酵，僅為乾燥過之有機生材，並非一般堆肥。	如果預算不是問題，也沒有考慮自製堆肥，這可以說是家庭優雅處理廚餘的高科技首選。
烘乾型廚餘處理機：製成乾燥有機質 	1~2 萬元/台	處理過程快速、操作簡便，可隨時在家操作有的機型可以兼作為乾燥蔬果製造機。	設備價格昂貴僅乾燥縮小體積、不適合處理熟食。	多功能且方便使用，但要價依然不低，適合無法經常處理廚餘垃圾者，先進行乾燥防止發臭。
廚餘堆肥桶+廚餘活菌：製作堆肥	桶子：300~600元/件 + 活菌：40~80元/包	環保有再利用價值，可隨時在家操作使用，廚餘活菌能夠增進發酵品質及效率，消除惡臭，可做為家	在天然環境製作堆肥所需時間較長，若沒有從事家庭園藝依然需要另外處理製成之堆肥，無法全	環保低成本的方式，但若妥善避免堆肥製作過程中產生惡臭，需要使用適當的工具及方法，正確

		庭園藝堆肥，使用發酵桶可以自行製作。	自動化作業需要學習製作方法，若處理方法不當，有可能無法完全發酵。	使用微生物菌/廚餘活菌來幫助發酵分解。
廚餘堆肥桶：製作堆肥 	桶子：300~600元/件	環保有再利用價值，可隨時在家操作，堆肥可做為家庭園藝堆肥使用，廚餘茶湯可做為有機液肥灌溉作物或通馬桶，發酵桶可以自行製作。	若未使用適當菌種進行發酵並給予適當環境，易產生惡臭。	較不推薦的方式，假如只放置於堆肥桶而沒有提供適當的菌種提高其發酵效果，通常都會產生惡臭。
鋪蓋廚餘活菌：短期除臭後丟棄 	活菌：40~80元/包	可有效消除廚餘，短期置放於室內未能經常丟棄之臭味。	僅作為短期除臭用，需要另外準備適當桶子較適合做成堆肥。	不製作堆肥，廚餘活菌還是不可少的防止臭味秘方，無法每天倒廚餘，可以以此方式先避免廚餘產生惡臭，有空時再一次將廚餘以其他方式處理掉。
直接丟到花園/菜園/盆栽中 	0元	可依自己時間處理不用進行任何加工。	容易讓園子裡孳生擾人的蚊蟲或動物，易產生臭味發酵過程易傷害植物一般能夠處理數量及種類有限。	若有較大的戶外園子者，也許能夠直接掩埋至土壤中，雖然極為方便，若無法有效與居家空間做區隔，容易衍生其他困擾。
集中社區廚餘回收站	0元	可依自己時間處理資源得到回收。	社區回收站若設置及處理不當，依然會成為社區	

			惡臭汙染源。	
交給垃圾車之 廚餘回收 	0 元	最省事不用 煩惱後續處 理。	需等待特定 垃圾車回收 時間，處理時 間沒有彈性。	

資料來源：喬凱亞有機概念網；照片擷取自網路



2.3 廚餘堆肥成熟度之評估方法

堆肥的成熟度被定義為：堆肥之物理、化學與生物性質達穩定，且其可成功的施用至土壤，而不會對植物生長與環境造成危害(Inber et al.,1993；Iannotti, et al.,1994；柯,2011)。賴與劉(2005)曾指出，一般評估堆肥成熟度之方法包括：物理分析、化學分析、微生物活性分析、植物生物分析、腐植化程度、光譜分析。其概述如下：

2.3.1 物理分析

1. 溫度

在堆肥的過程中，堆肥溫度的上升可以反映出微生物代謝活性的狀態，堆肥溫度的變化，代表著不同的微生物作用機制與反應，一般可將堆肥化過程劃分成高溫期(60°C以上)、中溫期(50~60°C)及低溫期(50°C以下)(蔡,2000；柯,2011)。中國糞便無害化衛生指標(GB7959-87)規定，堆體溫度在55°C條件下，保持3天以上(或50°C以上，保持5-7天)是殺滅堆料中致病微生物蟲卵，保證堆肥衛生指標合格和堆肥腐熟的重要條件。Mickinley和Vestal(1985)指出發酵溫度高於70°C會降低微生物之活性，而低於50°C則無法殺滅病原菌，且分解速率慢而需延長堆肥時間。

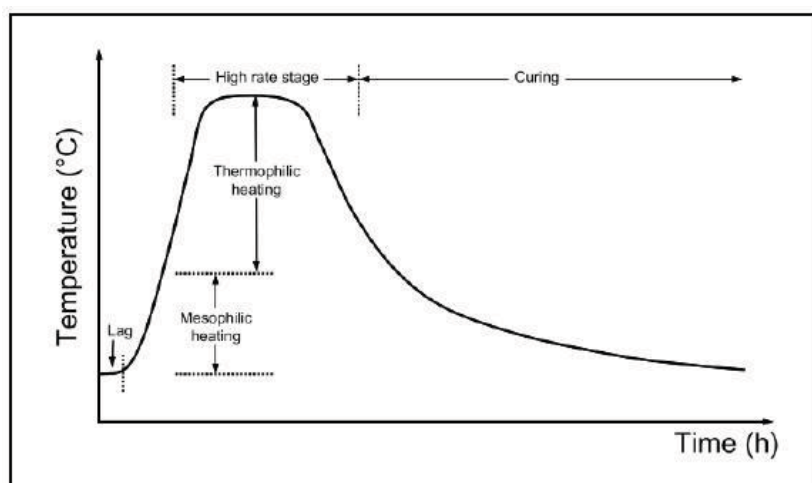


圖 2-1 總體堆肥過程中的溫度變化(Yu et al.,2008)

2. 顏色

堆肥化過程中堆肥逐漸變黑，腐熟的堆肥產品呈黑褐色或黑色。Sugahara 等(1979)提出一種簡單的堆肥技術用於檢測堆肥產品的色度，並迴歸出一關係式： $Y=(0.388C/N)+8.13$ ($R^2=0.749$)，Y是顏色分析值，Y值為11-13 的堆肥產品為腐熟完成。

3. 氣味

通常在堆肥化過程中，生物氧化作用(bio-oxidation)初期會有臭味產生，而當堆肥進入成熟階段時，臭味會逐漸消失(Jiménez and Garcia,1989)。Chanyasak 等(1982)對家庭垃圾進行堆肥化試驗指出，低分子量揮發性脂肪酸是引起不快氣味的主要成分。因此，只要含有令人不快味道的堆肥，表示尚未腐熟。

由於溫度、顏色和氣味不易定量堆肥化過程中堆料成分之變化，因此，也就不易定量說明堆肥的腐熟度(吳,2008)。

2.3.2 化學分析

1. 有機質及其成分變化

在堆肥化過程中，堆料中不穩定有機質分解轉化為二氧化碳、水、礦物質和穩定化有機質，堆料中有機質變化顯著(吳,2008)。反映有機質變化的參數有化學需氧量、生化需氧量(Mathur et al., 1993)、揮發性固體、纖維素、半纖維素、木質素(蔡，1995；邱，2007；吳,2008)、類脂肪(Ait Baddi et al., 2004;Dinel et al., 1996a, 1996b)。

2. 氮成分變化

在堆肥化過程是有機物的生物降解過程，但也伴隨著明顯的硝化過程(Bernal et al., 1998)。含氮有機成分發生降解產生氨，釋放的氨或被微生物同化吸收，或由硝化細菌氧化為亞硝酸鹽或硝酸鹽。垃圾中氮的成分



很少，產生的氮多被微生物吸收，氮的損失較少，而污泥中氮含量相對較高，存在氮的損失問題(Eghball et al., 1997)。在堆肥化後期，部分氮會被氧化成亞硝酸鹽和硝酸鹽(Kissel et al., 1992)。所以，銨鹽、亞硝酸鹽或硝酸鹽存在多寡或其比10值可用於研判堆肥的腐熟度(Bernal et al., 1998; Jouraiphyet al., 2005; Aparna et al., 2007; Ko et al., 2008)。

3. 碳氮比

在前人研究中指出碳氮比在20以下是一個可接受的堆肥成熟指標(Day and Shaw, 2001)。林(1994)曾指出碳氮比可用以評價堆肥之品質，當堆肥碳氮比大於30時，仍保留在堆肥中的生質能源會使微生物繁殖生長，因而造成與作物競爭氮、磷、硫等養分的利用，亦即氮的生物固定化作用(immobilization)速率會大於其礦化作用(mineralization)速率，因而造成作物缺氮的效應。(Day and Shaw, 2001)亦指出理想的堆肥成品碳氮比應介於15至20之間，若碳氮比大於20則可能會對於植物之生長及種子的發芽產生負面的影響。我國「肥料種類品目及規格」對「禽畜糞堆肥」與「雜項堆肥」規定碳氮比值應介於10-20，「一般堆肥」需介於10-25(吳, 2008)。然而，Epstin(1997)亦曾指出由於碳氮比會因堆肥之基質不同而有所變異，導致其可能不是一個十分可靠的堆肥穩定度指標；儘管如此，監測堆肥化過程中的碳氮比變化情形仍可描述堆肥穩定度之到達與否(Jiménez and Garcia, 1989; Epstin 1997)。

4. 酸鹼值(pH)

堆肥化過程中，pH 的變化被認為是合適的生物活性指標，通常 pH 在堆肥化初期會有明顯的下降，之後再上升到 6.5 至 7.5 之間(Epstin 1997)。堆肥之 pH 會隨堆肥化的進行而變動，在高溫期時會有大量的氮因蛋白質水解(proteolysis)與氨化作用(ammonification)而生成與釋出(如下式)，且

氮進一步與水反應會產生銨(NH_4^+)與氫氧根離子(OH^-)，並累積於堆肥中而使 pH 上升(Cáceres et al.,2006)隨後，因硝化作用(nitrification)的開始，而使堆肥之 pH 亦隨之降低並趨近中性(Jiménez and Garcia,1989; Cáceres et al.,2006)。



5. 陽離子交換容量

陽離子交換容量(cation exchange capacity,CEC)為單位重量之基質(matrix)所帶有負電荷的量，此負電荷可因陽離子之吸附而中和。在堆肥化的過程中，陽離子交換容量會隨之增加，因此，許多研究指出陽離子交換容量可用以評估堆肥的成熟度，並總結成熟之堆肥其陽離子交換容量至少要達到60 meq 100 g-1 ash-free material (Harada et al.,1981;Estrada et al.,1987; Jiménez and Garcia,1989;Bernal et al.,1998;Saharinen,1998)。

6. 硝酸根與亞硝酸根

Jiménez and Garcia,(1989)曾指出堆肥化過程中，若有大量的硝酸根、亞硝酸根出現時，則此堆肥應可視為成熟之堆肥。堆肥化過程中，有機態氮之分解可產生銨態氮，而硝化作用可進一步將銨態氮轉化為硝酸態氮(如下式)，然而，在高溫時($>40^\circ\text{C}$)硝化作用會受到抑制,所以當堆肥環境適合硝化作用時,即會有大量之硝酸態氮產生(Sánchez-Monedero et al.,2001;Cáceres et al.,2006)。此外，Bernal 等人(1998)之研究指出，成熟的堆肥其銨硝比($\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3--\text{N}$)應小於或等於 0.16。



7. 腐植化作用相關參數分析

堆肥化作用期間大部分的易分解有機物會被分解，而殘餘的有機物則會轉化為較不易分解之類腐植物質(humic-like substances)，腐植化作用



也被認為是使堆肥穩定的主要過程，因此，與腐植化作用相關的參數可應用於堆肥穩定度的評估(Mondini et al.,2006)。Mondini 等人(2006)以水與鹼萃取有機質和微生物生質做為堆肥穩定度評估指標之研究結果顯示：腐植物質、腐植化程度(degree of humification)隨堆肥化時間增加而上升，最後呈現穩定狀態，腐植化指標(humification index)之趨勢則與前者相反，並總結腐植化程度與腐植化指標是可信賴的堆肥穩定度指標。

除此之外，尚有其他方法可用來評估堆肥之成熟度，如可溶性有機碳(dissolved organic carbon,DOC)(Zmora-Nahum et al.,2005)。

8. 光譜分析

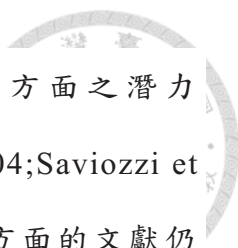
Jouraihy 等人(2005)曾以傅立葉紅外線光譜(Fourier transform infrared spectroscopic,FTIR)分析得到堆肥樣品中芳香族化合物結構之富集(abundance)與脂肪類化合物、胜肽(peptide)及纖維素等結構之易分解有機物減少，並提出若與腐植化指標比較，直接以 FTIR 測定脂肪類化合物與芳香族化合物之比例是一更可靠且快速的堆肥成熟度評估方法。

2.3.3 微生物活性分析

1. 酵素活性

土壤中養分的循環涉及生物化學、物理和化學反應，而微生物、植根物和土壤動物則居間促成生化反應過程，且所有的生化反應又受酵素所催化(Tabatabai,1994)。土壤酵素主要源自於土壤微生物、部分由植物根部所分泌、或由動物殘體所釋出，而土壤微生物生質碳(microbial mass carbon)與去氫酶(dehydrogenase)活性則可做為土壤為生物活性的指標(Tabatabai,1994)。

文獻亦指出，堆肥化期間酵素活性的變化可以反映出堆肥中微生物之活性、有機物的分解等資訊，並可進一步評估堆肥之穩定度(Garcia et al.,1993;Benitez et al.,1999;Mondini et al.,2004;Goyal et al.,2005;Tiquia,2005;Ros et al.,2006)。



目前文獻大多為探討酵素活性用以評估堆肥穩定度方面之潛力 (Benitez et al.,1999;Smith and Hughes.2001;Mondini et al.,2004;Saviozzi et al.,2004;Ros et al.,2006)對於酵素活性作為堆肥成熟度指標方面的文獻仍較少 (Benito et al.,2005a;Tiquia,2005)，然而，亦有文獻指出酵素活性可能無法提供堆肥成熟度之資訊 (Fang et al.,1998)。因此，以酵素活性作為堆肥成熟度指標之可行性方面，仍待研究。

2. 呼吸作用

堆肥化過程中的自熱 (self-heating) 作用主要為微生物的呼吸作用 (respiration) 所引起 (Epstein,1997)。由於堆肥化是一種好氣性之嗜高溫與中溫微生物將易分解有機物轉化為二氧化碳 (CO₂) 及水 (H₂O) 的生物性作用，因此，可利用二氧化碳的產生量或氧氣 (O₂) 消耗量評估堆肥中微生物之活性，此外，呼吸作用可進一步作為分解作用與堆肥穩定度的指標 (Epstein,1997;Benito et al.,2005b)。

2.3.4 植物分析

堆肥化初期，由於有機物之分解會釋出植物毒素，如低分子量脂肪酸 (low fatty acids)、酚類化合物 (phenolic compounds) 等會抑制植物的生長，當這些有機物被微生物快速分解所產生熱能亦對植物生長有害；堆肥化初期也有氨的生成，氨的含量過高會對植物的根造成傷害而抑制植物生長 (Zucconi et al.,1981;Hirai et al.,1986;Zubillaga and Lavado,2006)。因此，可藉由種子發芽率之測定 (germination test) 來評估堆肥成熟度 (Zucconi et al.,1981;Chikae et al.,2006; Zubillaga and Lavado,2006)。國內之文獻亦指出小白菜種子發芽率 90% 以上且種子根生長無受到抑制之情形，則該堆肥可視為成熟 (中華土壤肥料學會,2001)。Chikae 等人 (2006) 之研究亦指出

堆肥之種子發芽指數(germination index,GI)達到 50%以上即可評定堆肥為成熟。

2.4 土壤肥力

土壤肥力(Soil Fertility)係指土壤原藏肥力，能供給植物生長所需之適量及適當比例的營養物質之謂。一般指土壤供給植物生長發育所必需的水分和營養元素的能力。土壤肥力的概念包括基本肥力和有效肥力。基本肥力是土壤肥力的基礎，是土壤有機質、礦物質的質量和數量、土壤結構、土體構造和土壤膠體性能等基本物理、化學及生物特性的綜合表現(環境科學大辭典)。土壤的肥力決定了食物的大部分營養價值。土壤組成影響作物組成，從而影響食物品質和對人類營養的貢獻，最終影響到人類健康(Tom Bruulsema，2016)。

植物體的組成元素由空氣、水及土壤中取得，除了碳、氫、氧以外，大部分營養元素都來至土壤，其中以氮、磷、鉀為植物生長主要元素，在磷跟鉀元素中又以有效磷與有效鉀容易被植物所吸收其養分含量分級標準如表 2-8：

表 2-8 土壤養分含量分級標準

級別	豐缺狀況	氮 g/kg	有效磷 mg/kg	有效鉀 mg/kg
1	極高	>2.0	>40	>200
2	高	1.5~2.0	20~40	150~200
3	中等	1.0~1.5	10~20	100~150
4	低	0.7~1.0	5~10	50~100
5	較低	0.5~0.7	3~5	30~50
6	極低	<0.5	<3	<30

(農業機械學報,韓等 3 人,2011)

本實驗土壤取自新北市三芝區新小基隆段陳厝坑小段，由圖 2-3，土壤調查實驗中心的資料顯示，此區土壤於美國農部舊土壤分類系統(Soil Toxonomy)中屬紅壤(Red soils)(極育土、氧化物)，構造明顯，土壤呈強酸性，肥力差；另依據 2015 年農業試驗所公布台灣表層土壤之酸鹼值分佈圖，圖 2-4 所示，該區土壤為極強酸性，故本研究以此區土壤做為實驗用土，在本研究探討廚餘腐熟或堆肥過程中，探討土壤吸收廚餘堆肥產生之液肥是否能改善土壤酸鹼值並增加其有效肥力之效益。

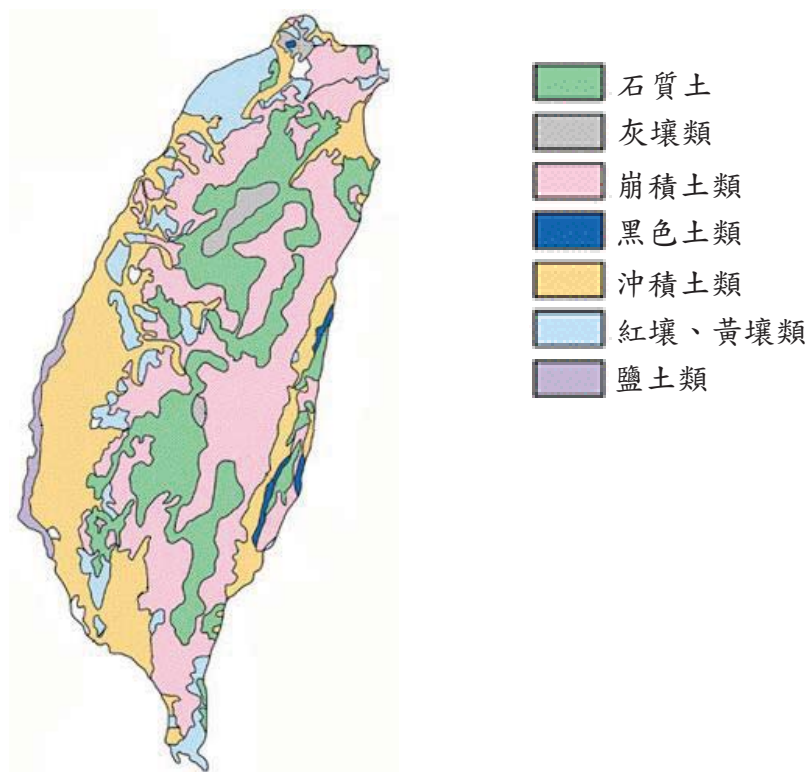


圖 2-2 台灣土壤分佈圖(中興大學土壤調查實驗中心)



圖 2-3 台灣表層土壤酸鹼值分布圖(農業試驗所，2015)

2.5 三合一廚餘桶研發重點

行政院環保署積極推動廚餘回收政策，但是回收成效不盡理想，且所耗費的成本非常龐大。在高含水量下的廚餘容易因發酵而變酸臭，運送過程中亦有二次污染的風險。大多數的廚餘在回收過程中被納入一般廢棄物送至焚化爐焚毀，除會燃燒不完全外，也亦產生有毒氣體。雖說市面上針對家用戶的廚餘桶種類非常的多，方便使用的廚餘處理機造價都非常高，而造價低廉的廚餘桶除不方便使用外，材質並非環保材質，亦沒有誘因來提高居民的使用。

綜合上述，本論文以計量研究方法，得出以下可以達到對環境友善重點之設計：

1. 提倡家庭廚餘堆肥化之方便性。
2. 以源頭減量方式來減少廚餘的產生量。

3. 善用家庭廚餘生產有機蔬菜及改良土壤。
4. 生產固態肥料及液態肥料加以利用。
5. 使用瓦楞紙為廚餘桶結構材質，不敷使用時能當堆肥基材使用。
6. 達到廚餘不運輸、減碳生活、零廢污排放。



3.1 三合一廚餘桶設計

3.1.1 三合一廚餘桶規格

行政院環保署資料顯示，台灣平均每人每日廚餘產生量為 0.064 公斤，一戶以四人計算，每戶每日產生 0.256 公斤的廚餘量。本廚餘桶設計以收集家戶產生 14 日為設計基準，14 日收集 3.584 公斤廚餘量，故內桶設計尺寸為 15cm 長 x 15cm 寬 x 30cm 高(堆疊 8 層，每層 2cm)；外桶設計以種植淺根蔬菜為主，設計尺寸以內桶四周往外 10cm、高度 10cm 以利種植淺根蔬菜，內外桶接的接觸高度為 10cm，以細孔目片作為交界面，內桶廚餘與外桶土壤的接觸面積為 520cm²；而因底座液肥收集 40cm 長 x 40cm 寬 x 6cm 高，為使液肥容易流出，將出水口的另三面做斜坡處理。三合一廚餘桶總尺寸為 40cm 長 x 40cm 寬 x 46cm 高，置放於家戶陽台處不會佔用太大面積，且能並排放置，是一符合家戶使用之廚餘桶。

3.1.2 三合一廚餘桶設計圖



材質：五層瓦楞紙板

細孔目片

簡易型水龍頭

尺寸：内桶 15cmx15cmx30cm

外桶 40cmx40cmx10cm

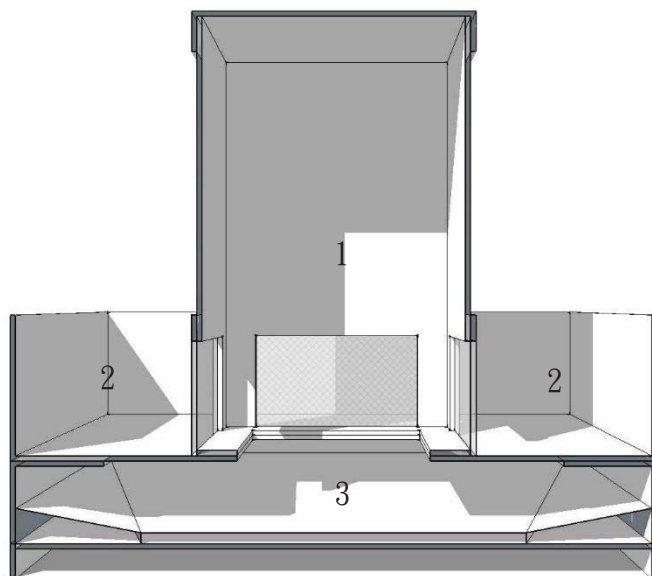
底座 40cmx40cmx6cm

容量：廚餘 6.5 公升

土壤 12 公升

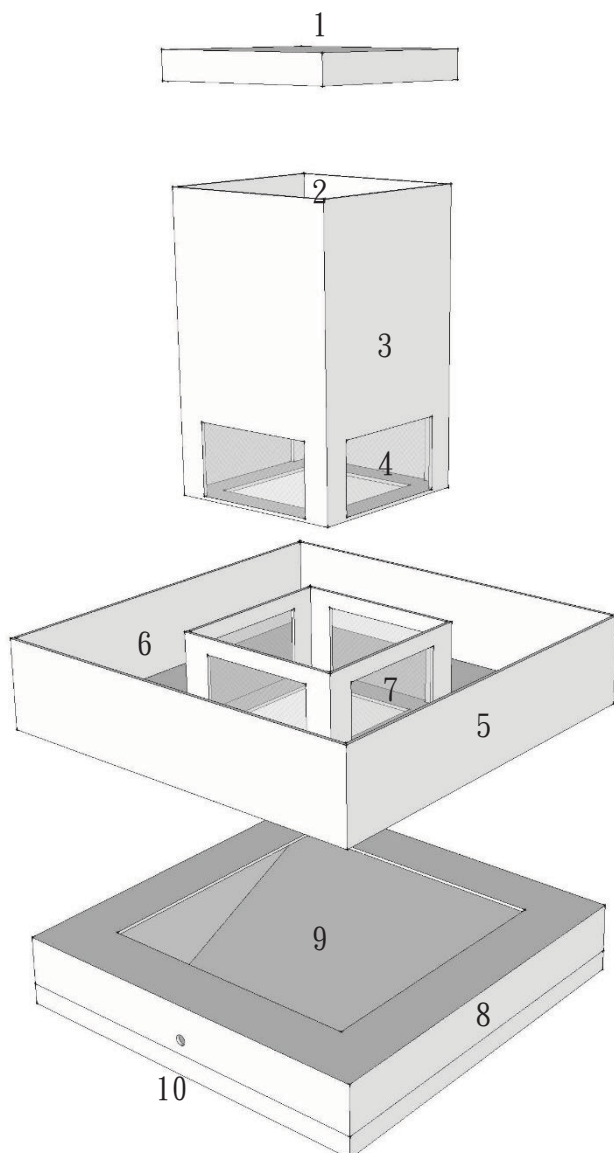
液肥 3 公升

圖 3-1 三合一廚餘桶 3D 圖



1. 內桶(廚餘)
2. 外桶(土壤)
3. 底座(液肥)

圖 3-2 三合一廚餘桶剖面圖



1. 廚餘桶蓋
2. 廚餘堆置空間
3. 廚餘內桶
4. 細孔網隔板
5. 土壤外桶
6. 土壤堆置空間
7. 細孔網隔板
8. 液肥底座
9. 液肥收集空間
10. 液肥流出口

圖 3-3 三合一廚餘桶構造分解圖



3.1.3 三合一廚餘桶設計原理

一、構造物設計：

1. 為了考量環保且循環再利用，本廚餘桶使用五層瓦楞紙板材質做為構造物主體，當堆肥經過一段時間，構造物主體已破舊，可將破舊損壞之廚餘桶當作堆肥基材與廚餘一起堆置，不會再製造新的廢棄物。
2. 桶內區隔三個空間，利用網材互通，保持通氣、通水功能；而且充分利用土壤內的天然微生物細菌，和廚餘接觸的大表面積，加速廚餘的發酵速率。可分別收集廚餘堆肥化後產生的固肥和液肥，也可收成植栽蔬果。
3. 內外桶組合概念。可制式生產組裝。不需要再加入益生菌，可以節省廚餘熟成的成本和時間。
4. 廚餘內桶和土壤表面的接觸面積保持 30% 以上，善用土壤微生物加速發酵廚餘。
5. 因為加入土壤空間，可以充分利用土壤微生物，而且，可以加速廚餘發酵熟成速率。另外，因為明確區分三個空間，也可分別收集廚餘固肥、廚餘液肥和蔬果生產收成。

二、澆水及液肥管理操作：

1. 為了保持廚餘發酵過程的 50-60% 穩定含水率，藉由每兩日澆灌生廚餘內桶的補水過程，內外桶之間的土壤可以持續吸收經由廚餘內桶壁面外滲出的液肥，慢慢改良土壤土質肥力。而且，可以在土壤表面直接種植蔬果植物。不需再補充其他外加肥料。
2. 灌溉廚餘的水量會經由層層的廚餘與土壤層，入滲到下方液肥收集空間。

3. 廚餘慢慢發酵後，內桶可持續加入新鮮生廚餘。可長期使用，持續收集發酵熟成後的廚餘固體肥料和液體肥料和有機蔬果。

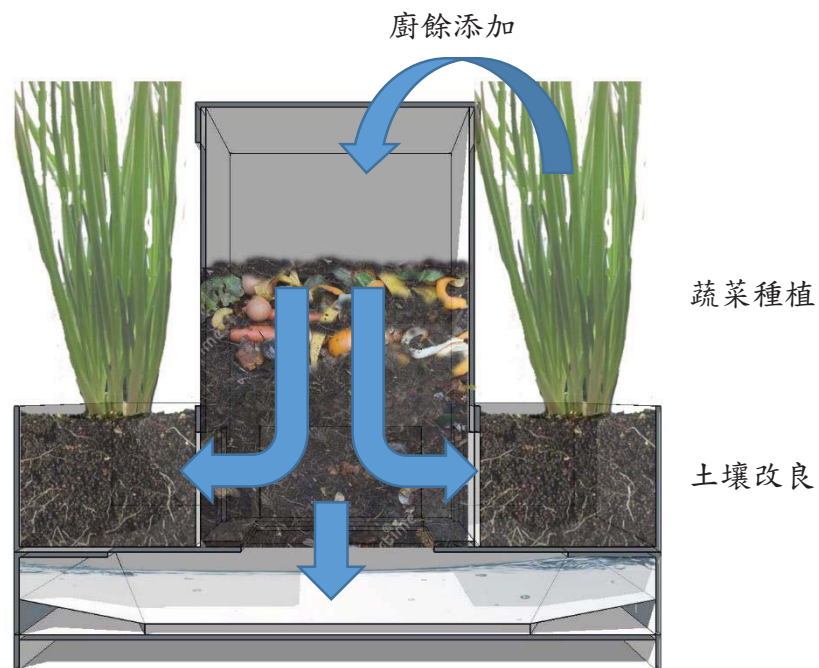


圖 3-4 三合一廚餘桶操作示意圖

以上所述之設計和管理操作，均以可量化或計量過程作適化分析與討論。量化與計量方法敘述於 3.2 節。



3.2 實驗模組

3.2.1 實驗流程

隨著非洲豬瘟疫情日益嚴重，廚餘餵養成為防疫關鍵之一，政府也開始禁用廚餘養豬，在家用戶廚餘回收裡就有 45.58%的組成適合養豬，如何把原本回收養豬部分去除化亦是一重要課題。

本研究將家用戶所產生之生、熟廚餘均列入實驗模組中，為能觀察堆肥發酵之過程，故以透明之密封桶為廚餘內桶，外桶以瓦楞紙做成方形槽為種植區域，廚餘內桶下方開孔接漏斗及瓶子以收集液肥。本研究共分三模組及對照組，各三重覆，共製作十個三合一廚餘桶，以增加實驗之可信性，實驗流程如圖 3-5。

本堆肥實驗時間自 2017 年 11 月 1 日至 2017 年 12 月 15 日，為了使家用戶產生的各種組成廚餘量均可不落地，所以將實驗分成生廚餘模組、生廚餘加熱廚餘模組、熟廚餘模組及對照組，三模組各三重覆共製作十個三合一廚餘桶。為了解三合一廚餘桶是否能用於家用戶，所以將堆肥腐熟後之固肥做腐熟度及肥力分析，土壤做肥力分析，植物生長做比較分析，希望找出最佳化之堆肥模式與操作方式。

實驗桶組裝

實驗設計及實作

記錄及檢測

結果與討論

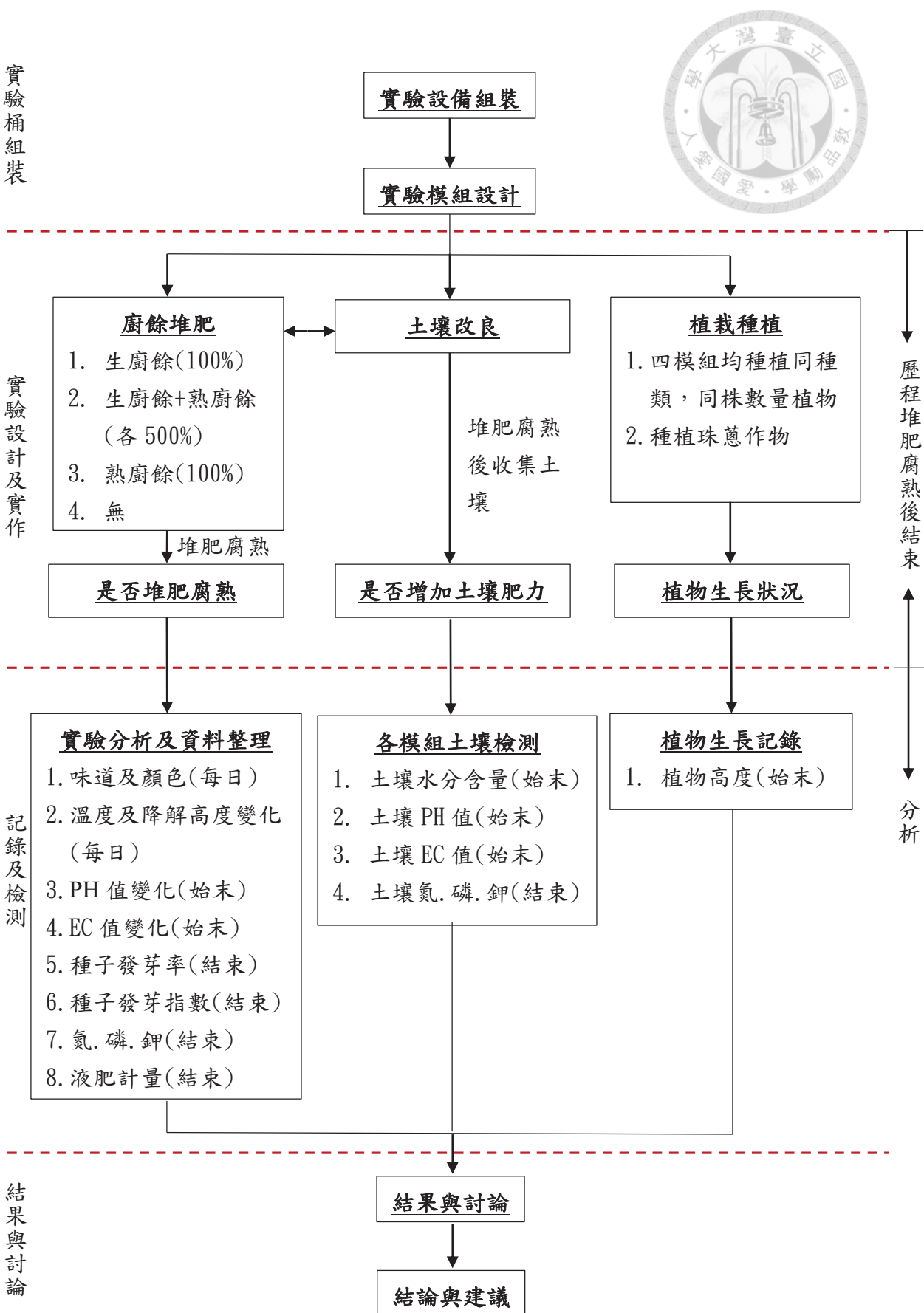


圖 3-5 實驗流程



3.2.2 實驗模組設定

本實驗將廚餘分為生廚餘、生廚餘加熟廚餘及熟廚餘三個單元，三個單元為一模組，每個單元分為廚餘內桶區、土壤外桶區、底座液肥區三區，本實驗總共三個模組，加上無廚餘單元，共計十個廚餘桶進行同步實驗，如圖 3-6、3-7。

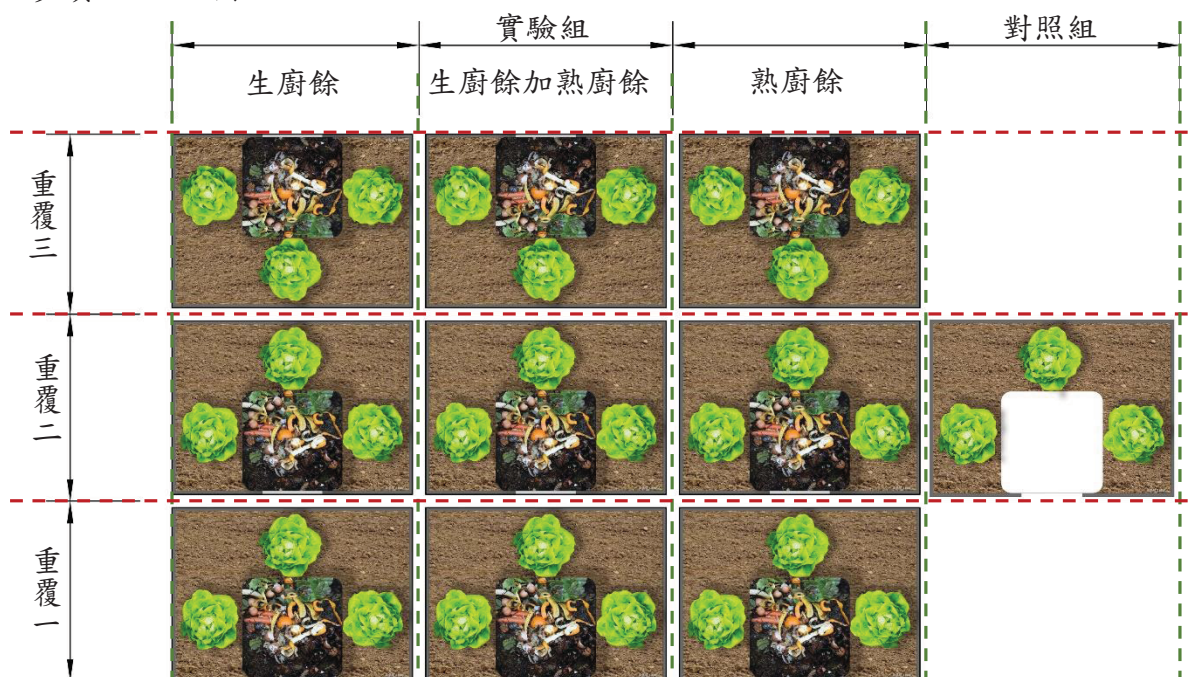


圖 3-6 實驗模組

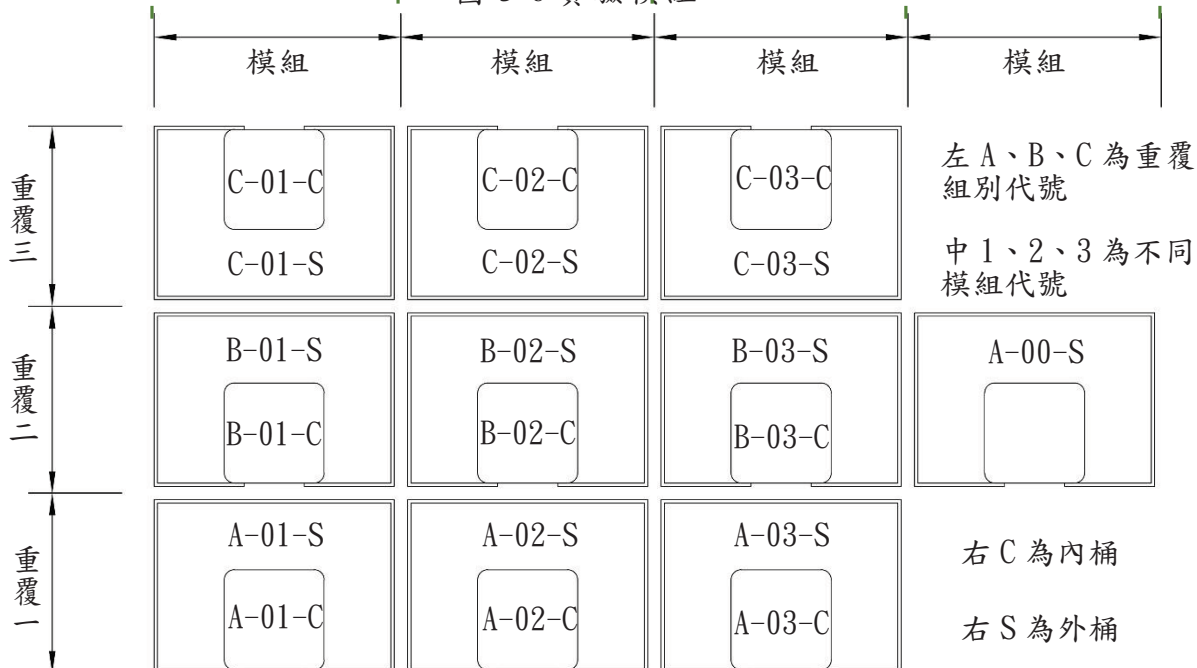


圖 3-7 實驗模組編號

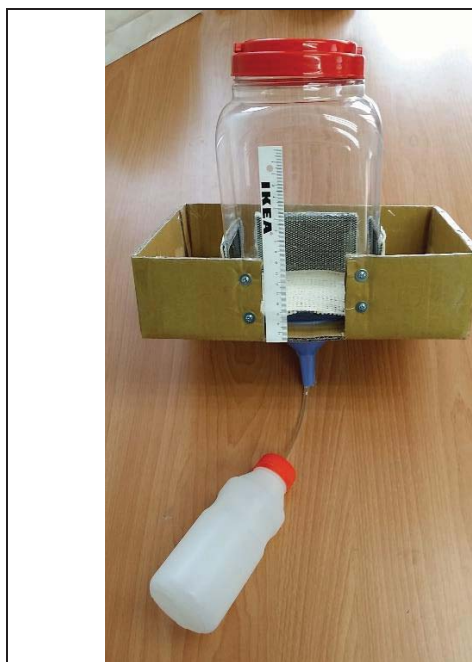


圖 3-8 實驗三合一廚餘桶



圖 3-9 實驗廚餘桶架設(一)



圖 3-10 實驗廚餘桶架設(二)

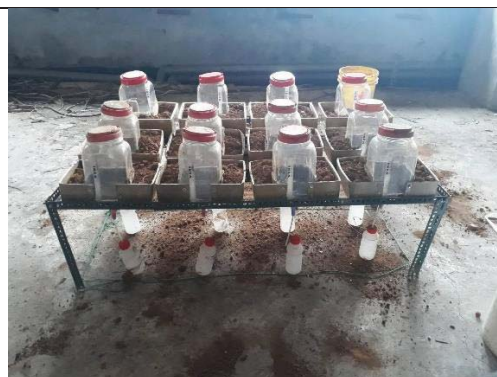


圖 3-11 實驗廚餘桶填入土壤

為瞭解三合一廚餘桶是否對家用戶減少廚餘的效果及實用性，本實驗廚餘組成以家用戶組成比例為基準，廚餘按照基準比例在實驗開始前一次性放滿內桶。因本實驗共為十個廚餘桶，所需廚餘量較多，自台灣大學宿舍餐廳取得，生廚餘以蔬菜類、水果類為主；熟廚餘以米食類、麵食類、豆食類、肉類為主。實驗步驟如下：

1. 將取得的生、熟廚餘，先瀝去多餘水分、剝碎、混勻後分別放入每個實驗內桶，與土壤堆疊至 24cm 高度，於內桶內側下方設置溫度感測



頭，並於塑膠桶外黏貼刻度(cm)以利記錄。

2. 外桶內放置土壤，於接近內桶側位置種植分蔥，每單元種植三珠如圖3-6所示，種植分蔥前先將珠蔥根部泡水至發芽約 0.5-1 公分，上述前置作業完成，開始進行廚餘堆肥腐熟、土壤改良與植物生長實驗。
3. 每日早晚於實驗場所以鼻聞法記錄味道(分為濃、中、淡三種味道強度記錄)；植物於星期一至五每天早上澆灌 100ml 水量，星期六、日未澆灌；廚餘內桶 每兩天澆灌 100ml 水量以維持堆肥含水量，上述之作業廚餘與土壤部份操作至廚餘堆體溫度與環境溫度達平衡後表示廚餘堆肥腐熟完成，即可結束實驗。(溫度以 HOBOTM U12 記錄器記錄，每小時記錄一筆溫度數據，每日共計 24 筆數據)
4. 實驗結束後收集內桶堆肥、外桶土壤進行風乾、碾碎、以夾鏈袋保存。植物生長部分以分蔥種植期約為 20-28 日為收成基準，收成後植物生長實驗結束。
5. 實驗時間自 2017 年 11 月 1 日至 2017 年 12 月 15 日完成實驗後，分為以下四項分析，探討三合一廚餘桶的實用性。
 - a.不同廚餘配比之堆肥效果與堆肥是否完全腐熟。(以溫度、pH、EC、種子發芽率、種子發芽指數數據作比較)
 - b.腐熟後堆肥的肥力是否能當堆肥使用。(氮、磷、鉀數據作比較)
 - c.廚餘堆肥過程中是否影響土壤改良。(pH、EC、氮、磷、鉀數據作比較)
 - d.不同廚餘配比對植物生長的效果。(植物生長高度數據作比較)

實驗操作步驟如下表 3-1

表 3-1 實驗操作步驟

編號	實驗模組	操作步驟																				
01	生廚餘 組成：蔬菜類、水果類 比例：100%	一、前置作業 1. 將生廚餘剝碎、混勻 2. 將混勻後的廚餘與土壤堆疊，一層土壤(約 1cm)一層廚餘(約 2cm)，重複堆疊至 24cm 高(8 分滿，一次性放入) 3. 外桶填入土壤並種植植物 4. 於內桶內側邊 5cm 高度設置溫度感測計 5. 三重複設置完成，實驗開始 二、堆肥過程中 (本實驗自 2017 年 11 月 1 日至 2017 年 12 月 15 日每周一至周五操作及記錄) 1. 內桶氣味記錄(早晚) 2. 澆水量記錄(上午) 3. 植物生長記錄(上午) 4. 廚餘發酵記錄(上午) 5. 液肥收集計量(堆肥腐熟完成後一次性收集) 三、堆肥腐熟完熟後收集及採樣(2017 年 12 月 16 日) 1. 將內桶堆肥收集風乾並碾碎以能通過 10 號篩及 100 號篩後，以夾鏈袋收集 2. 將外桶土壤(取接觸堆肥側)收集風乾並搗碎以能通過 10 號篩及 100 號篩以夾鏈袋收集 3. 將液肥以瓶罐收集 4. 植物於 2017 年 11 月 28 日採收並測量高度 5. 固體、液體樣本放於陰涼乾燥處保存 四、檢測分析 <table><tr><td>(一)堆肥</td><td>(二)土壤</td></tr><tr><td>1. 含水量</td><td>1. 含水量</td></tr><tr><td>2. 酸鹼度</td><td>2. 酸鹼度</td></tr><tr><td>3. 電導度值</td><td>3. 電導度值</td></tr><tr><td>4. 有機碳和有機質</td><td>4. 有機碳和有機質</td></tr><tr><td>5. 種子發芽率</td><td>5. 全氮素</td></tr><tr><td>6. 發芽率指數</td><td>6. 有效磷</td></tr><tr><td>7. 全氮素</td><td>7. 有效鉀</td></tr><tr><td>8. 有效磷</td><td></td></tr><tr><td>9. 有效鉀</td><td></td></tr></table>	(一)堆肥	(二)土壤	1. 含水量	1. 含水量	2. 酸鹼度	2. 酸鹼度	3. 電導度值	3. 電導度值	4. 有機碳和有機質	4. 有機碳和有機質	5. 種子發芽率	5. 全氮素	6. 發芽率指數	6. 有效磷	7. 全氮素	7. 有效鉀	8. 有效磷		9. 有效鉀	
(一)堆肥	(二)土壤																					
1. 含水量	1. 含水量																					
2. 酸鹼度	2. 酸鹼度																					
3. 電導度值	3. 電導度值																					
4. 有機碳和有機質	4. 有機碳和有機質																					
5. 種子發芽率	5. 全氮素																					
6. 發芽率指數	6. 有效磷																					
7. 全氮素	7. 有效鉀																					
8. 有效磷																						
9. 有效鉀																						
02	生廚餘加熟廚餘 組成：蔬菜類、水果類、米	一、前置作業 將生廚餘與熟廚餘剝碎、混勻 其餘二、三、四步驟同上																				



	食類、麵食類、豆食類、肉類 比例：各50%	
03	熟廚餘 組成： 米食類、麵食類、豆食類、肉類 比例：100%	前置作業 將熟廚餘剝碎、混勻 其餘二、三、四步驟同上
00	無廚餘	一、前置作業 1. 外桶填入土壤並種植植物 二、堆肥過程中 (本實驗自 2017 年 11 月 1 日至 2017 年 12 月 15 日每周一至周五操作及記錄) 1. 澆水量記錄(早晚) 2. 植物生長記錄(上午) 三、堆肥腐熟完熟後收集及採樣(2017 年 12 月 16 日) 1. 將外桶土壤(取接觸堆肥側)收集風乾並搗碎以能通過 10 號篩及 100 號篩以夾鏈袋收集 2. 植物於 2017 年 11 月 28 日採收並測量高度 3. 固體樣本放於陰涼乾燥處保存 四、檢測分析 (一)土壤 1. 含水量 2. 酸鹼度 3. 電導度值 4. 有機碳和有機質 5. 全氮素 6. 有效磷 7. 有效鉀

註：固肥及土壤經風乾後以夾鏈袋收集，放於陰涼乾燥處保存。



3.3 實驗檢測儀器及材料

1.本研究使用檢測儀如表 3-2。

表 3-2 本研究使用之檢測儀器簡介

儀器名稱	照片	儀器簡介
電子秤		1.型號：precisa 310m 2.解析度：0.001g 3.單鍵自動校正
攪拌器		1.型號 801magnetic stirrer 2.速度範圍：0-2300rev/min(no load) 3.工作板直徑：Ø120mm 4.混合能力：1000ml
變速 渦旋儀		1.型號 Vortex-Genie 2 2.轉速範圍：600-3200rpm 3.特點：點振、連續震盪、旋鈕模擬調速
手持式 酸鹼度計		1.型號 suntex ts-1 2.量測範圍 0~14.0pH；mV：-1999~+1999 mV 3.精確度:±0.01 pH 4.解析度: pH：0.01 pH；mV：1 mV 5.溫度補償範圍:0~100°C 手調設定溫度補償 6.校正:二點校正
分光 光譜儀		1.型號 UV/VIS SPECTROPHOTOMETER 2.波長範圍：200-1000nm 3.光譜帶寬：4nm 4.波長精確度：±2nm 5.測光範圍：-0.3~3.0Abs,0~200%T,0~9999Conc. 6.測光精確度：0.5%T 7.測量方法：吸光度、透光率、能量 8.基線穩定度：±0.002A/h(500nm)

表 3-2 本研究使用之檢測儀器簡介(續)

儀器名稱	照片	儀器簡介
迴轉式震盪器		1. 型號 orbital shaker TS-580 2. 轉速：10-300rpm 無段式可調整 3. 型程：25mm 4. 安全裝置：緩慢啟動安全裝置 5. 轉速表：指針型
電導度計		1. ExStik® 系列:EC500 2. 測試範圍 0 to 199.9μS/cm；200 to 1999μS/cm；2.00 to 19.99mS/cm 3. 精確度:±2% F.S 4. 解析度:0.1μS/cm；1μS/cm；0.01mS/cm
抽氣櫃		1. 主要材質:酚樹脂抗蝕板 2. 產品特色:視窗與視窗中間無門柱，不影響實驗操作流程
溫濕度記錄器		1. 型號 HOBO®U12 記錄器 U12-012 系列 2. 溫濕度範圍：-20~70℃；5~95%RH 3. 溫濕精度：±0.35℃ (0~50℃);±2.5%RH (10~90%RH); 最大±3.5%RH 4. 解析度：0.03°@ 25℃ 5. 內建記憶體：可儲存 43,000 筆資料 6. 取樣頻率：可自行設定取樣頻率：1sec ~ 18hr
溫度感測頭		測量範圍：-40° 至 100℃ 精確度：± 0.2° 從 0° 到 50℃ 解析度：0.03° 從 0° 到 50℃ 反應時間：小於 3 分鐘(於風速 1 m/s 達 90%)

表 3-2 本研究使用之檢測儀器簡介(續)

儀器名稱	照片	儀器簡介
新型 原子光譜儀		1. 型號 Agilent Technologies 5110 icp-oes 2. 波長範圍：167–785 nm 3. RF 發生器：27 MHz 固態 4. 等離子體氣 8-20 L/min，以 0.1 L/min 遞增，缺省設置為 12 L/min 5. 信號穩定性：典型<1% RSD/8 小時 6. 典型分辨率：Mo 202.032 <7pm
洗淨蒸餾 設備		設備組成項目： 1. 蒸氣產生瓶 2. 緩衝瓶 3. 漏斗 4. 蒸餾瓶 5. 冷凝管 6. 三角瓶



3.4 分析方法

3.4.1 廚餘堆肥樣本

取得堆肥之樣本，經風乾、磨碎、過10 mesh 篩網及100mesh 篩網後，以夾鏈袋密封常溫保存，分析下列項目：

(1) 水分含量

取20g風乾之堆肥樣本置於平底秤量瓶以100°C恆溫烘箱至恆重後，置於乾燥器放冷秤重並計算乾燥減失量(%)(陳，2006)。

(2) 酸鹼度(pH)

取5g風乾後過100mesh篩網的堆肥樣本與水以1：5的比例混合，靜置1小時，期間以玻棒攪動數次，最後以酸度計測定(黃和吳，1999)。

(3) 電導度值(EC)

取5g風乾後過100mesh篩網的堆肥樣本與水以1：5的比例混合，靜置1小時以上，期間以玻棒攪動數次，最後以電導度計測定(黃和吳，1999)。

(4) 有機質

風乾後過10mesh篩網的堆肥樣本精確秤取0.5 g，放在500mL錐形瓶中，準確加入10 mL 1 N $K_2Cr_2O_7$ ，並搖勻30秒，移至抽氣櫃，加入20 mL濃硫酸，搖勻，靜置30分鐘後(做空白試驗即不加堆肥樣品，重覆上列步驟)，於樣品和空白試驗中加入蒸餾水200 mL和10 mL85%磷酸，放冷滴加30滴二苯胺指示劑。以0.5 NFe(II)滴溶液滴定樣品。

(其顏色變化：暗褐色->濁藍色->鮮明藍色->綠色(終點))

計算式：

$$\text{土壤有機物含量(\%)} = 10 \times \left(1 - \frac{S}{B}\right) \times 1.0 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.724}{0.77} \times \frac{100}{\text{烘乾堆肥重(g)}}$$

(公式 3.1)

其中：10為K₂Cr₂O₇之用量(mL)；S為樣本之亞鐵液滴定數(mL)；B為空白試驗之亞鐵液滴定數(mL)；1.0為K₂Cr₂O₇濃度(N)；1.724為有機碳與有機物之轉換係數(稱Van Bemmelen factor)；0.77為本法之回收率。

(5) 種子發芽率(seed germination, SG)

於200 mL燒杯中，置入5 g各模組堆肥樣本與100 mL溫水，在60℃水浴中，以120 rpm振搖3小時後，以細紗布過濾；2張濾紙置於培養皿中，加入10 mL 濾液，25 粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於25℃恆溫箱內，三天後，觀察種子發芽率以及根生長情形，另外以蒸餾水替代濾液做為對照，試驗組的發芽率若為對照組的90%以上，且根的伸長不受抑制(簡，2001)。

(6) 發芽率指數(germination index, GI)

於250mL三角瓶中，置入5 g各模組堆肥樣本與100 mL 去離子水，在60℃水浴中，以120 rpm 振搖3小時，以細紗布過濾，2張濾紙置於培養皿中，加入10 mL濾液，25 粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於室溫，三天後，計算種子發芽率以及量測根長，另外以電阻值為18 MΩ-cm 的去離子水替代濾液做為對照(Zucooni et al., 1981)。

$$\text{種子發芽率指數(\%)} = \frac{C \times L}{C_0 \times L_0} \times 100 \quad (\text{公式 3.2})$$

C：堆肥萃取液中小白菜發芽率(%)；

L：堆肥萃取液中小白菜平均根長(cm)；

C₀：去離子水中小白菜發芽率(%)；

L₀：去離子水中小白菜平均根長(cm)



(7) 有效氮分析

(A) 萃取：

- 取 5g 風乾後通過 10mesh 篩網的堆肥樣本至 250mL 錐形瓶中。
- 以量筒取 100mL 2M KCl。
- 將 100mL 2M KCl 加到錐形瓶中，以石蠟膜封住瓶口。
- 將錐形瓶至於震盪機，以橡皮筋固定，震盪 1 小時。
- 將土液過濾至小白瓶。
- 以凱氏定氮法測定銨態氮。

(B) 蒸餾：

- 洗淨蒸餾裝置：蒸氣產生瓶中加水至 2/3 滿；以洗瓶清洗漏斗。
- 取 10 mL 硼酸-混合指示劑液置於冷凝管出口端，使端口浸入硼酸液中。
- 加入 5 mL 萃取液經漏斗入蒸餾瓶中，並加入適量的鹼(10 mL NaOH, 10 N)，以少許蒸餾水洗淨漏斗後，關閉。
- 開始蒸餾，蒸餾條件決定最佳回收率。
- 當第一滴蒸餾液滴出後 5 分鐘，蒸餾即告完成。
- 取出盛硼酸之三角瓶。(此時溶液顏色為藍綠色)以標準酸液(0.010 N HCl) 滴定至紫紅色，並計算氮量。
- 1 mL 0.010 N HCl $\approx$ 0.14008 mg N。

$$\text{回收率 (\%)} = \frac{(V_{\text{std}} - V_{\text{水}}) * 0.00978 * 14 * 100\%}{\text{標準液體濃度 (mg/L)} * \text{標準液體積 (ml)} / 1000} \quad (\text{公式 3.3})$$

$$\text{氮含量 (mg/kg)} = \frac{(V_{\text{sample}} - V_{\text{BK}} * 0.00978 * 14 * \text{萃取液總V})}{W_{\text{soil}} * V_{\text{萃}} * \text{回收率}} * 1000 \quad (\text{公式 3.4})$$

(8) 有效性磷：白雷氏第一法 (Bray P1 method, 1945)

(A) 磷標準曲線之製備：

- 分別吸取 0、1、2、3、4、5 mL 的 10 mg L^{-1} 磷標準液於 50 mL 定量瓶中。
- 加 8 mL 混和試劑，以超純水定量至刻度並均勻搖晃，其濃度分別為 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg L^{-1} 之磷檢量線。
- 靜置呈色 30 分鐘後，以分光光度計，於波長 880 nm 測定透光率，並記錄吸光值。
- 計算求得檢量線 R^2 與回歸公式。

(B) 堆肥樣本之測定：

- 取 0.5 g 風乾後通過 10 mesh 篩網的堆肥樣本於試管中。
- 加入 10 mL 0.025 N HCl—0.03 N NH_4F 抽出液，試管以石臘膜封膜，手持震盪 40 秒。
- 以濾紙過濾，蒐集濾液 (至少要 5 mL 以上)。
- 取 5 mL 濾液於 50 mL 定量瓶中 (此為將樣品稀釋 10 倍)。
- 加入少許超純水後，加入 8 mL 混合試劑，以超純水定量至刻度，均勻搖晃後靜置呈色 30 分鐘。
- 以分光光度計，於波長 882 nm 測定透光率，記錄吸光值。
- 對照檢量線，計算堆肥抽出液中有效磷濃度。

h. 計算式：

$$\text{堆肥中有效磷 (mg/kg)} = \frac{(P_{\text{萃取液}} - P_{\text{空白}}) \times \text{萃取液體積 (mL)} \times 50/5}{\text{風乾堆肥重 (g)} \times \text{堆肥水分校正}} \quad (\text{公式 3.5})$$



(9) 有效鉀：孟立克氏法(Mehlich method)

(A) 鉀標準曲線之製備：

- a. 以定量吸管精確地吸取0、5和10 mL 100 ppm K之鉀標準液，分別置於3個100mL量瓶內，並以抽出液稀釋至刻度，則其分別為0、5和10 ppm K之鉀標準液。
- b. 以焰光計測定，並紀錄其讀數。
- c. 將濃度與對應之讀數繪製成鉀之標準曲線，求其直線方程式。
若線性關係良好方可應用，否則應重新測定。

(B) 堆肥樣品之測定：

- a. 取5g風乾後通過10mesh篩網的堆肥樣本，置於50 mL三角瓶中。
- b. 加20 mL萃取液(0.05 N HCl—0.025 N H₂SO₄)。
- e. 將三角瓶加塞，手持震盪5分鐘後過濾，並收集濾液(濾液須澄清，否則應重濾)。
- f. 以焰光計測定其讀數，再代入檢量線求其濃度。
- g. 計算式：

$$\text{堆肥中有效鉀(mg/kg)} = \frac{(\text{K}_{\text{萃取液}} \times \text{稀釋倍率} - \text{K}_{\text{空白}}) \times \text{萃取液體積(mL)}}{\text{風乾堆肥重(g)} \times \text{堆肥水分校正}} \quad (\text{公式 3.6})$$

3.4.2 土壤肥力

取得土壤樣本，經風乾、磨碎、通過10 mesh 篩網及100mesh 篩網後，以夾鏈袋密封保存，分析下列項目：

(1)水分含量(2)酸鹼度(pH)(3)電導度值(EC)(4)有機質(5)有效氮分析(6)有效性磷(7)有效鉀等。分析方法與3.4.1廚餘堆肥樣本完全相同。



3.4.3 資料整理法

1. 將各堆肥、土壤樣品及對照組共 19 個樣本分析所得之全氮、有效性磷、有效鉀經計算求得之數據與酸鹼度、電導度值、種子發芽率、種子發芽指數等，探討生廚餘、生廚餘加熱廚餘、熟廚餘不同成分，在三合一廚餘桶經堆肥後是否達到腐熟完成，並比較三個模組之間腐熟速率及堆肥品質的差異。
2. 將記錄所得堆肥降解後之高度除以原堆肥高度再乘以原堆肥重，計算求得之數據比較三個模組之固肥產生量及固肥轉化率。
3. 將各堆肥所收集之液肥除以實驗期間所澆灌之水量計算求得之數據比較三個模組之液肥產生量及液肥轉化率。
4. 探討不同模組之廚餘成分種植植物之生長速率與改良土壤後之變化。
5. 將計量設計內容分為四個項目，16 個參數，三個模組跟一個對照組製成表格，其表格如下：

表 3-3 計量設計內容表

	(一) 堆肥腐熟度完成否							(二) 廚餘堆肥肥力				(三) 土壤肥力改良						(四) 植物生長
	氣味	溫度	降解高度	pH	EC	種子發芽率	種子發芽指數	氮	有效磷	有效鉀	pH	EC	氮	有效磷	有效鉀	高度	cm	(倍數)
	嗅覺	°C	cm		dS/m	%	%	mg/Kg (倍數)	mg/kg (倍數)	mg/kg (倍數)								
廚餘模組																		
(I) 生廚餘																		
(II) 生+熟廚餘																		
(III) 熟廚餘																		
對照組																		



第四章 結果與討論



4.1 三合一廚餘桶堆肥腐熟度與肥力

本研究實驗為了瞭解三合一廚餘桶對家用戶的方便性與否，所以依家用戶所產生的廚餘組成做堆肥操作，實驗共分生廚餘、生廚餘加熟廚餘、熟廚餘三個模組，三個模組分別做三重覆以提高實驗數據可信性，將實驗所得之數據分析，探討出最適合符合家用戶使用的模組並建議最佳化使用操作，讓家用戶接受使用，以利能減少廚餘產生量。

4.1.1 廚餘堆肥腐熟度

1. 溫度與腐熟

如圖 4-1 所示，本實驗堆肥時間為冬季，在堆肥過程中生廚餘最高溫度為 $26.1 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 、生廚餘加熟廚餘為 $34.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、熟廚餘為 $33.9 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，三模組中生廚餘溫度上升變化最小。最高溫度與環境溫度相差最大均發生在初期，中期溫度變化雖隨環境溫度上下浮動，但溫度也還是呈現發酵狀態，到了第 35 天堆體溫度與環境溫度已達平衡狀態。三模組溫度皆未達文獻所敘之堆體溫度 55°C 保持 3 天以上或 50°C 以上保持 5-7 天之條件，推測 1.土壤中菌含量過少導致微生物作用機制被抑制使溫度無法上升。2.堆肥體積過小溫度無法提升。3.堆肥過程中並無翻堆動作。

如圖 4-2 所示，本實驗初期以生廚餘加熟廚餘降解速率最快，第 6 天至第 13 天生廚餘降解速率超過生廚餘加熟廚餘，之後皆低於生廚餘加熟廚餘，而熟廚餘降解速率均為最緩慢。腐熟達平衡時生廚餘降解高度為 $10 \pm 2\text{cm}$ 為廚餘桶高度的 58%、生廚餘加熟廚餘為 $11.8 \pm 1.2\text{cm}$ 為廚餘桶高度的 50%、熟廚餘為 $6.3 \pm 2.7\text{cm}$ 為廚餘桶高度的 73%，到了第 31 天三模組均已停止降解，三模組中以生加熟廚餘模組降解最好，跟溫度上升數據為一正相關值。

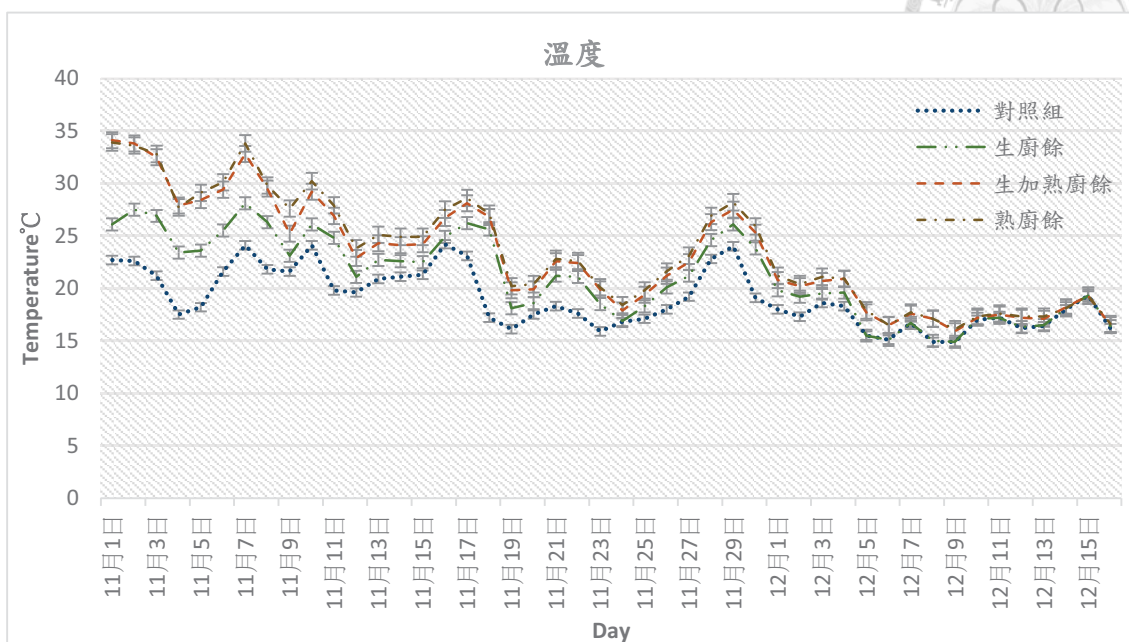


圖 4-1 廚餘堆肥溫度變化

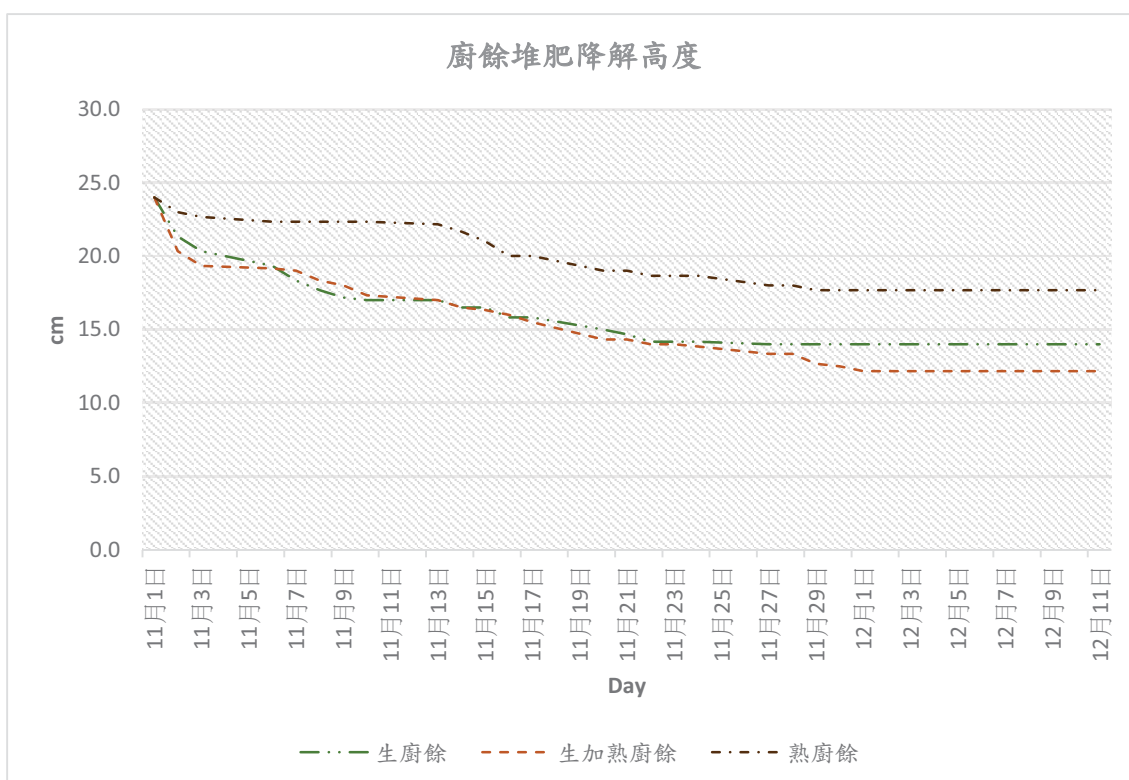


圖 4-2 廚餘堆肥降解高度變化



2. 氣味

於每天早上將內桶打開以鼻聞法記錄氣味，堆肥初期第一~三天生廚餘味道強度為淡，生廚餘加熟廚餘味道強度為中，熟廚餘味道強度為濃，第四天三模組味道強度均為淡，第五天後三模組均開始有點土壤的氣味，直至堆肥腐熟完成皆無臭味產生。

3. 酸鹼值(pH)

堆肥化過程中，pH 的變化被認為是合適的生物活性指標，通常 pH 在堆肥化初期會有明顯的下降，之後再上升到 6.5 至 7.5 之間(Epstin1997)。我國有機質肥料品目及規格規定中第(十一)雜項堆肥(品目編號 5-11)標準 pH 值為 5.0 以上，9.0 以下。如圖 4-3 所示，本實驗並未檢測原始廚餘 pH 值，但於臺北市環保局 2002 年委託研究報告廚餘基本特性分析中指出初始 pH 為 6.24，本實驗生廚餘 pH 為 4.71 ± 0.52 、生廚餘加熟廚餘 pH 為 5.50 ± 0.89 、熟廚餘 pH 為 5.07 ± 0.11 ，雖未達文獻所提到之 6.5 至 7.5 之間，但是生廚餘加熟廚餘與熟廚餘已達到我國有機質肥料品目及規格規定。而本實驗三模組 pH 值並不理想推估 1.堆肥添加之土壤原本 pH 太低 2.堆肥未持續添加導致而成。

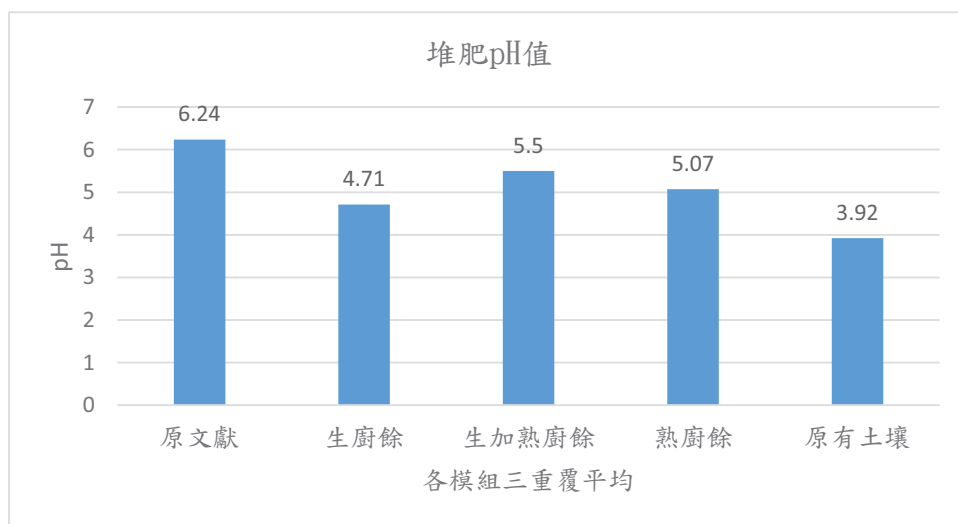


圖 4-3 各模組堆肥腐熟完成後 pH 值



4. 電導度值(EC)

固態有機肥 EC 值變異很大，未達鹽害程度是很好的肥力指標，超出鹽害程度是為鹽害指標。我國在(肥料種類品目及規格)中訂定(雜項有機栽培介質)，其介質與水比例為 1:10 抽出液之電導度值應在 2dS/m 以下。亦有文獻指出 EC 值超過 4dS/m 會對植物生長造成抑制作用(許,2014)。本實驗生廚餘 EC 值為 $0.37 \pm 0.1 \text{dS/m}$ 、生廚餘加熟廚餘 EC 值為 $1.41 \pm 0.68 \text{dS/m}$ 、熟廚餘 EC 值為 $1.72 \pm 0.81 \text{dS/m}$ ，本廚餘堆肥後 EC 值皆在 2dS/m 以下，符合我國雜項有機栽培介質之規範。另文獻提到有些堆肥產品可能未完全腐熟但卻有很低的電導度值，因此，電導度值不宜做為堆肥腐熟與否判定指標，但可做為施用時是否利於作物生長的指標(Lasaridi et al.,2006；Soumare et al.,2002；，許,2014)

5. 種子發芽率與種子發芽指數

國內之文獻亦指出小白菜種子發芽率 90%以上且種子根生長無受到抑制之情形，則該堆肥可視為成熟(中華土壤肥料學會,2001)。本實驗第一天，對照組種子蠻多有膨脹裂開現象，而實驗的三個模組較無反應，種子僅有膨脹現象，第二天，對照組明顯看的出種子均發芽，實驗的三個模組也明顯看的出種子均發芽，第三天，對照組僅平穩生長，而實驗的三個模組產生生長陡增現象；生廚餘平均長度為 $6.71 \pm 1.1 \text{cm}$ ，種子發芽率為 100%，種子發芽指數為 $190.5 \pm 32.3\%$ 、生廚餘加熟廚餘平均長度為 $5.97 \pm 0.13 \text{cm}$ ，種子發芽率為 97%，種子發芽指數為 $165.8 \pm 8.7\%$ 、熟廚餘平均長度為 $5.74 \pm 1.54 \text{cm}$ ，種子發芽率為 97%，種子發芽指數為 $160.1 \pm 48.4\%$ 、對照組平均長度為 3.80cm，種子發芽率為 92%，本實驗三模組種子發芽率超過文獻所指出的 90%以上，種子發芽指數皆超過文獻所指出的 50%以上，且根的伸長未受抑制，所以本實驗皆可視為腐熟完成。

表 4-1 本研究三合一廚餘桶堆肥腐熟結果

堆肥來源				比較文獻數據	
參數	生儲餘	生廚餘 加 熟廚餘	熟廚餘	穩定化條件	文獻來源
溫度 (°C)	26.1±0.8	34.1±0.6	33.9±0.2	堆體溫度 55°C 保持 3 天以上或 50°C 以上 保持 5-7 天	中國糞便無害 化衛生指標 (GB7959-87)
降解速率 1.高度(cm) 2.體積(%)	10±2 58	11.8±1.2 50	6.3±2.7 73		(Epstin,1997) 我國有機質肥 料品目及規格 規定中第(十 一)雜項堆肥 (品目編號 5- 11)標準
pH	4.71±0.52	5.5±0.89	5.07±0.11	6.5~7.5 5.0~9.0	肥料種類品目 及規格中訂定 (雜項有機栽培 介質) 農委會雜項堆 肥規範
EC (dS/m)	0.37±0.1	1.41±0.68	1.72±0.81	≤ 2dS/m ≤ 4dS/m	中華土壤肥料 學會,2001
種子發芽率 (%)	100	97	97	≥ 90%	Chikae 等人 (2006)
種子發芽 指數 (%)	190.5±32.3	165.8±8.7	60.1±48.4	≥ 50% 且根的伸長 未受抑制	

綜合上述堆肥腐熟度的結果，本三合一廚餘堆肥桶在堆肥腐熟度方面是達一
符合堆肥腐熟成品之廚餘堆肥桶。

4.1.2 廚餘堆肥肥力

本實驗以三明治方式堆疊，廚餘量為 3.6kg 與土壤量為 1.8kg 其比例為 2:1，以一次性填滿至 24cm 高，其後並無繼續添加廚餘與土壤，整個實驗過程堆肥量並不多，所以本實驗堆肥肥力以堆肥肥力和土壤肥力指標為依據，分別比較氮、磷、鉀濃度變化，且整理於圖 4-4 至圖 4-6 及表 4.2，並與原有土壤肥力做比較探討各模組數據。

1. 氮

氮素肥料是植物葉部和莖部綠色部分所不可或缺的養分，特別是觀葉植物和葉菜栽培需要施用的肥料，故又成為葉肥(台肥刊物,2003)。如圖 4-4 所示，本實驗堆肥腐熟後，生廚餘氮含量為 $90\pm 40\text{mg/kg}$ 、生廚餘加熟廚餘為 $740\pm 520\text{mg/kg}$ 、熟廚餘為 $1120\pm 510\text{mg/kg}$ ，而未經堆肥之土壤氮含量僅為 20mg/kg ，在土壤養分含量分級標準中屬極低級別，經堆肥化後三模組與原有土壤比較皆有明顯提高氮含量，依廚餘組成不同增加氮含量也不同，生廚餘<生廚餘加熟廚餘<熟廚餘，以熟廚餘增加氮含量最多，比原土壤增加 1100mg/kg 之氮含量。

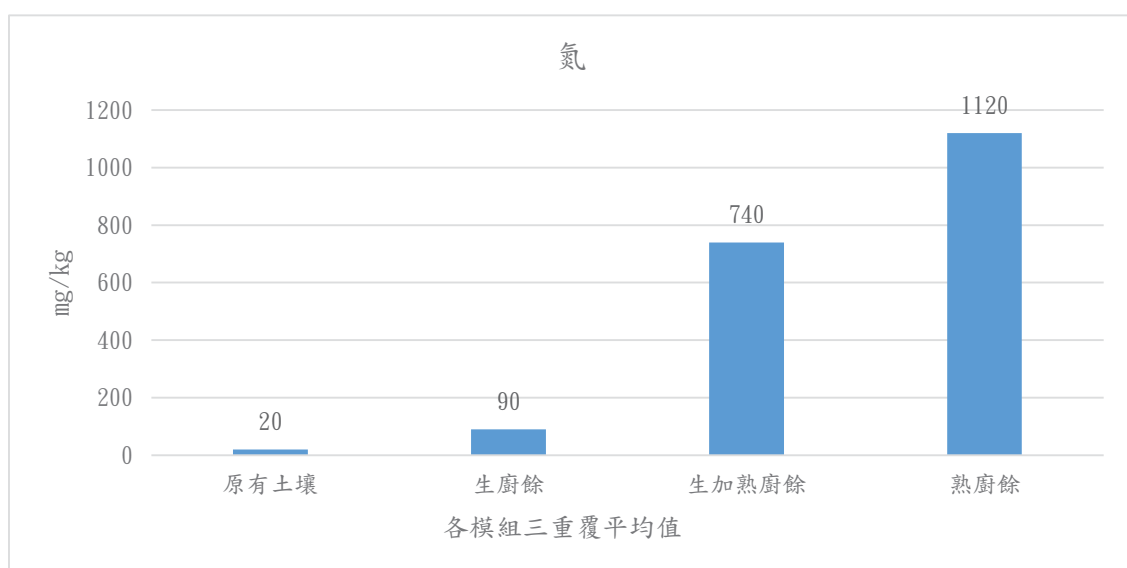


圖4-4 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之氮含量



2. 有效磷

磷素是植物要生長健壯、根發育良好、開花繁盛、果實豐收所必須的元素成分，所以又稱為花果肥(台肥刊物,2003)。如圖4-5所示，本實驗堆肥腐熟後，生廚餘有效磷含量為 $35.08 \pm 10.04 \text{ mg/kg}$ 、生廚餘加熱廚餘為 $105.28 \pm 44.83 \text{ mg/kg}$ 、熟廚餘為 $66.96 \pm 19.62 \text{ mg/kg}$ ，而未經堆肥之土壤有效磷含量僅為 6.08 mg/kg ，在土壤養分含量分級標準中屬第四級低級別，經堆肥化後三模組與原有土壤比較皆有明顯提高有效磷含量，依廚餘組成不同增加有效磷含量也不同，生廚餘<熟廚餘<生廚餘加熱廚餘，以生廚餘加熱廚餘增加有效磷含量最多，比原土壤增加 99.20 mg/kg 之有效磷含量。且生廚餘加熱廚餘與熟廚餘模組經堆肥後皆達土壤養分含量分級標準中的極高級別。

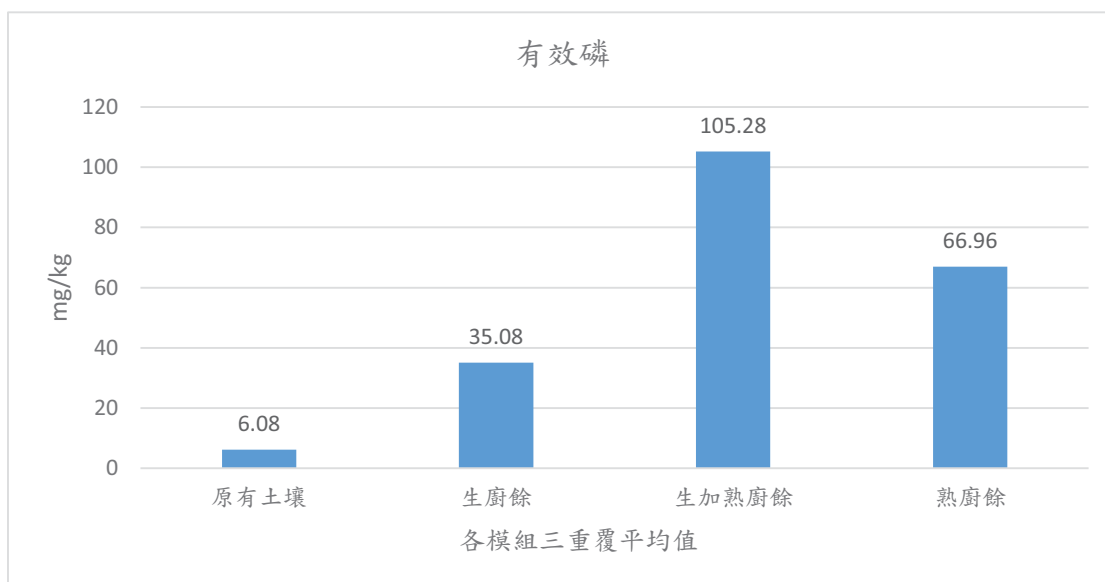


圖4-5 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之有效磷含量



3. 有效鉀

植物對鉀的需求量頗高，植物要正常生長需要足夠量的鉀素。植物行光合作用合成的葡萄糖需要鉀素幫助運輸、分配到其他部門，或合成澱粉或合成其他種碳水化合物。另外，鉀素可促進根系的生長，根部木質部的形成和發育都受到鉀素的影響，又稱為根肥(台肥刊物,2003)。如圖4-5所示，本實驗堆肥腐熟後，生廚餘有效鉀含量為 $148.20 \pm 17.23 \text{ mg/kg}$ 、生廚餘加熟廚餘為 $199.75 \pm 66.59 \text{ mg/kg}$ 、熟廚餘為 $125.49 \pm 23.65 \text{ mg/kg}$ ，而未經堆肥之土壤有效鉀含量僅為 15.77 mg/kg ，在土壤養分含量分級標準中屬第六級級低級別，經堆肥化後三模組與原有土壤比較皆有明顯提高有效鉀含量，依廚餘組成不同增加有效鉀含量也不同，熟廚餘<生廚餘<生廚餘加熟廚餘，以生廚餘加熟廚餘增加有效鉀含量最多，比原土壤增加 183.978 mg/kg 之有效鉀含量。且生廚餘加熟廚餘與熟廚餘模組經堆肥後皆達土壤養分含量分級標準中的高級別。

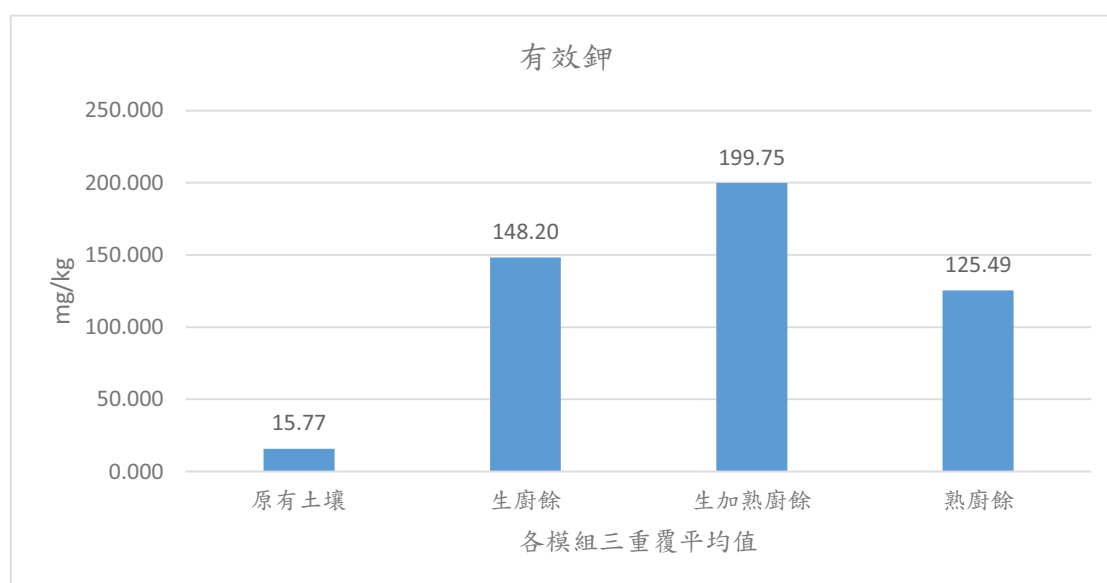


圖 4-6 廚餘各模組堆肥腐熟完成後之有效鉀含量



表 4-2 三合一桶廚餘堆肥腐熟完成肥力營養質

參數	原有土壤	堆肥來源			比較文獻
		生儲餘	生廚餘 加 熟廚餘	熟廚餘	
氮 (mg/kg)	20 (1)	90±40 (4.5)	740±520 (37)	1120±510 (56)	極高 >2.0 高 1.5~2.0 中等 1.0~1.5 低 0.7~1.0 較低 0.5~0.7 極低 <0.5
有效磷 (mg/kg)	6.08 (1)	35.08±10.04 (5.7)	105.29±44.83 (17.3)	66.96±19.62 (11)	極高 >40 高 20~40 中等 10~20 低 5~10 較低 3~5 極低 <3
有效鉀 (mg/kg)	15.77 (1)	148.20±17.23 (9.4)	199.75±66.59 (12.6)	125.49±23.65 (8)	極高 >200 高 150~200 中等 100~150 低 50~100 較低 30~50 極低 <30

註：1.文獻來源：農業機械學報,韓等 3 人,2011

2.()符號內為倍數。計算法為[不同廚餘種類/原有土壤]

綜合上述結果，本三合一廚餘堆肥桶在堆肥腐熟完成肥力營養質方面是
可提高堆肥肥力之功能。



4.2 土壤肥力改良

三合一廚餘桶的特性是能在堆肥過程中所產生的液肥滲入外桶的土壤內，為了解液肥滲入土壤內是否能帶來土壤肥力改良效果，本實驗將生廚餘、生廚餘加熟廚餘、熟廚餘三個模組外桶土壤採樣收集，將收集的樣本做檢測，將所得之數據分析並與原有土壤做比較，看是否提高土壤肥力。

1. 酸鹼值(pH)

土壤酸鹼值攸關養分在土壤中的有效性、作物的適宜性與微生物的活性，為土壤化學性質中首要檢測項目。陳尊賢教授於臺灣問題土壤與重金屬污染診斷中酸性土壤分級指出，土壤 pH 值 >6.5 為中性以上、 $5.6-6.4$ 為中酸性至微酸性、 $5.1-5.5$ 為強酸性、 $4.5-5.0$ 為極強酸性、 <4.5 為特別酸性。如圖 4-7 所示，本實驗原始土壤 pH 值為 3.92，生廚餘改良之土壤 pH 為 4.55 ± 0.16 、生廚餘加熟廚餘改良之土壤 pH 為 5.17 ± 0.40 、熟廚餘改良之土壤 pH 為 5.40 ± 0.23 ，雖未達文獻所提到之 >6.5 的中性以上，但是三模組之 pH 值明顯比原有土壤的 pH 值高，顯示三合一廚餘桶對土壤 pH 改良是有效果的，本實驗僅以一次性堆肥時間(約 45 天)改良土壤，若未來操作時間拉長，土壤改良成效會更好。

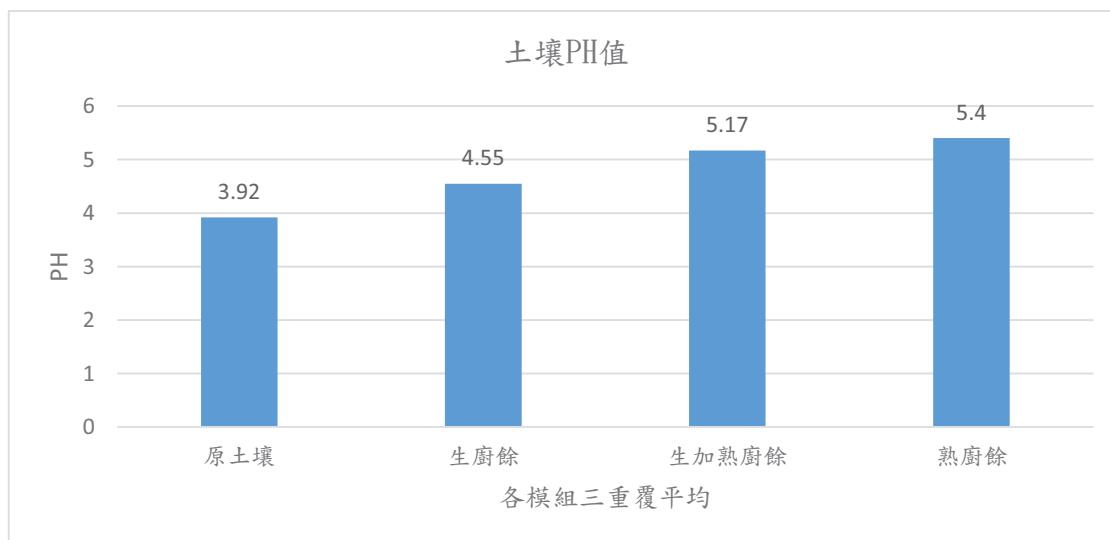


圖 4-7 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良 pH 值



2. 電導度值(EC)

土壤電導度是測定土壤水溶性鹽的指標，而土壤水溶性鹽是表層土壤中可被植物迅速利用的礦質營養的一個重要指標，是判定土壤中鹽類離子是否限制作物生長的因素(每日頭條,2017)。根據美國鹽分研究室之資料，將土壤鹽度區分為五級，如表 4.3。

如圖 4-8 所示，本實驗原始土壤 EC 值為 0.14 dS/m、生廚餘改良之土壤 EC 值為 0.15 ± 0.02 dS/m、生廚餘加熟廚餘改良之土壤 EC 值為 0.73 ± 0.43 dS/m、熟廚餘改良之土壤 EC 值為 1.02 ± 0.10 dS/m，三模組之 EC 值明顯比原有土壤的 EC 值高，且數值均在 2 dS/m 以下，屬植物通常可正常生長之條件內，顯示三合一廚餘桶對土壤 pH 改良是有效果的。

表 4-3 土壤鹽度分級

導電度 (mmhos/cm)	鹽度等級	對植物生長之影響
0~2	無鹽度	植物通常可正常生長
2~4	低鹽度	鹽類敏感性植物受影響
4~8	中鹽度	阻礙多數植物之生長
8~16	高鹽度	僅耐鹽植物可正常生長
>16	極高鹽度	僅極耐鹽作物可生長

(美國鹽分研究室)

註：1mmhos/cm=1dS/m

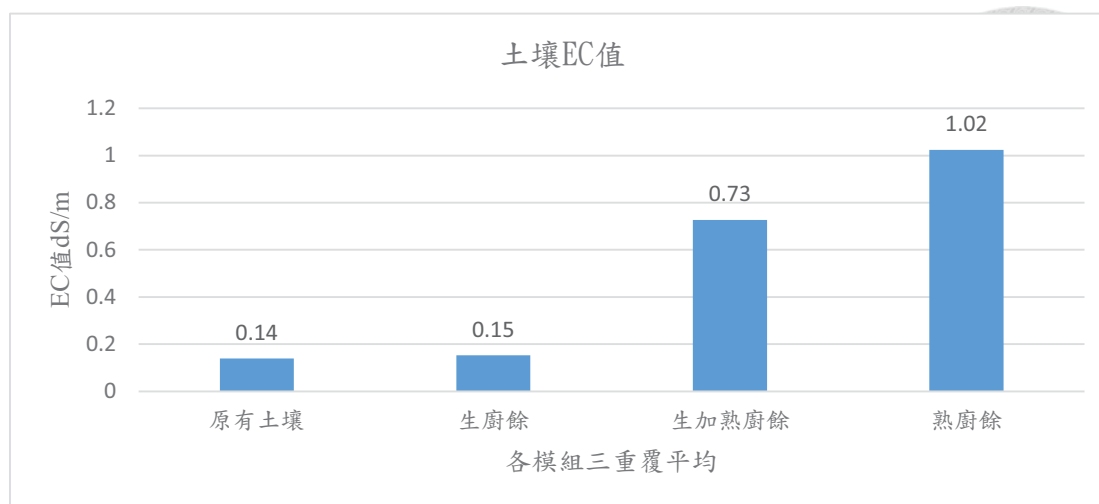


圖 4-8 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良 EC 值

3. 氮

氮素對植物生長發育的影響是十分明顯的。當氮素充足時，植物可合成較多的蛋白質，促進細胞的分裂和增長，因此植物葉面積增長快，能有更多的葉面積用來進行光合作用。如圖 4-9 所示，本實驗原始土壤氮含量為 20mg/kg，生廚餘改良之土壤氮含量為 60 ± 20 mg/kg、生廚餘加熱廚餘改良之土壤氮含量為 570 ± 350 mg/kg、熟廚餘改良之土壤氮含量為 1000 ± 50 mg/kg，經堆肥改良後三模組土壤與原有土壤比較皆有明顯提高氮含量，依廚餘組成不同增加氮含量也不同，生廚餘 < 生廚餘加熱廚餘 < 熟廚餘，以熟廚餘增加氮含量最多，比原土壤增加 980mg/kg 之氮含量。

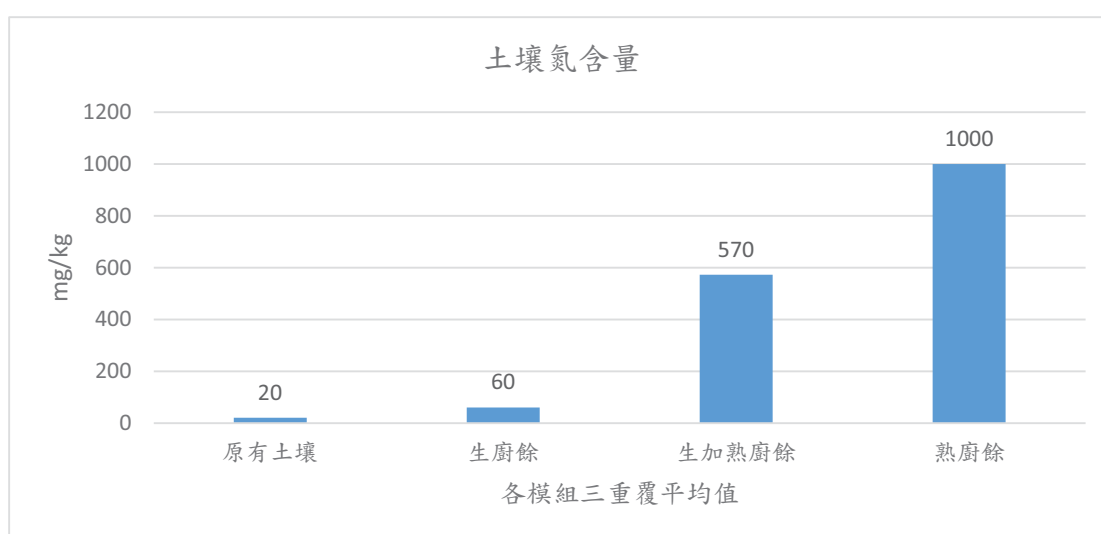


圖 4-9 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良氮含量



4. 有效磷

磷可以促進作物生長，還可增強作物的抗寒、抗旱能力。作物缺磷時，表現為生長遲緩、產量降低。氮磷過量也會引起貪青晚熟、結實率下降。如圖 4-10 所示，本實驗原始土壤有效磷含量為 6.08mg/kg，生廚餘改良之土壤有效磷含量為 7.31 ± 1.66 mg/kg、生廚餘加熟廚餘改良之土壤有效磷含量為 13.74 ± 9.52 mg/kg、熟廚餘改良之土壤有效磷含量為 16.57 ± 7.38 mg/kg，經堆肥改良後三模組土壤與原有土壤比較皆有明顯提高有效磷含量，依廚餘組成不同增加有效磷含量也不同，生廚餘<生廚餘加熟廚餘<熟廚餘，以熟廚餘增加有效磷含量最多，比原土壤增加 10.49mg/kg 之有效磷含量。

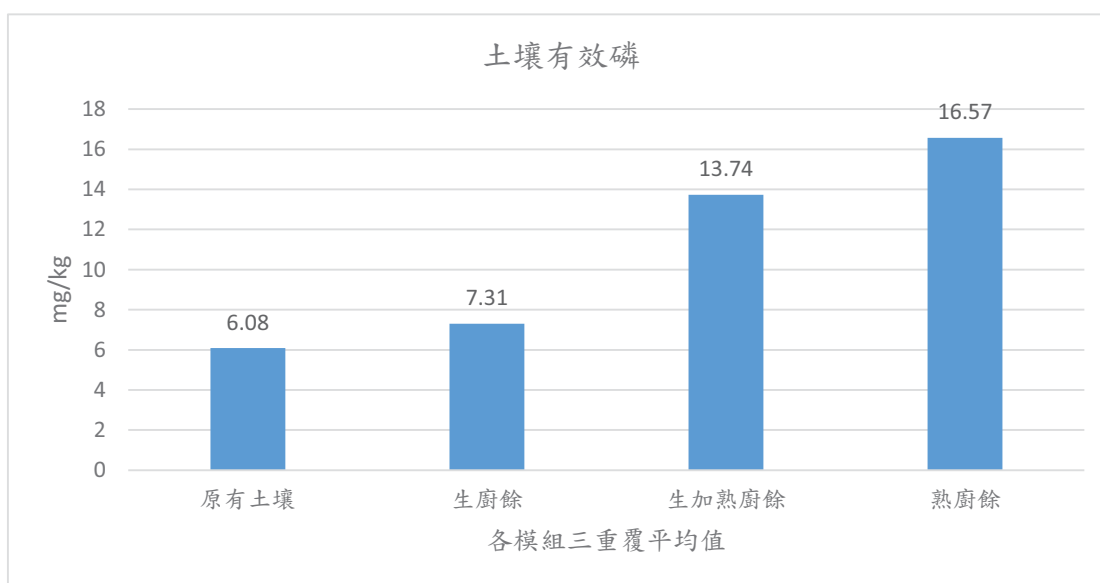


圖 4-10 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良有效磷含量

5. 有效鉀

鉀是植物的主要營養元素，同時也是土壤中常因供應不足而影響作物產量的要素之一，鉀在植物代謝活躍的器官和組織中分佈量較高，具有保證各種代謝過程的順利進行、促進植物生長、增強抗病蟲害和抗倒伏能力等功能。如圖 4-11 所示，本實驗原始土壤有效鉀含量為 15.77mg/kg，

生廚餘改良之土壤有效鉀含量為 $52.61 \pm 2.22 \text{ mg/kg}$ 、生廚餘加熱廚餘改良之土壤有效鉀含量為 $80.79 \pm 11.51 \text{ mg/kg}$ 、熟廚餘改良之土壤有效鉀含量為 $82.17 \pm 6.18 \text{ mg/kg}$ ，經堆肥改良後三模組土壤與原有土壤比較皆有明顯提高有效鉀含量，依廚餘組成不同增加有效鉀含量也不同，生廚餘 < 生廚餘加熱廚餘 < 熟廚餘，以熟廚餘增加有效鉀含量最多，比原土壤增加 66.40 mg/kg 之有效鉀含量。

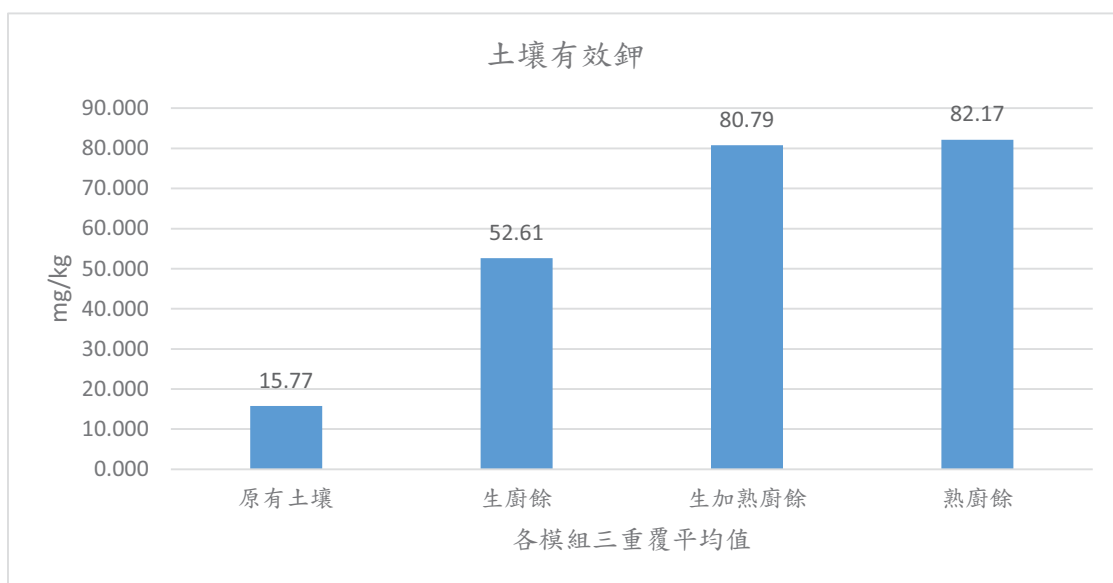


圖 4-11 各模組堆肥腐熟完成後之土壤改良有效鉀含量

由圖 4-7 至圖 4-11 結果整理出表 4-4，三合一廚餘桶腐熟堆肥提供土壤改良方面 pH、EC 均有明顯提高，在氮、磷、鉀方面也比原有土壤提高 1.2~50 倍。綜合上述結果，本三合一廚餘堆肥桶在堆肥腐熟堆肥提供土壤改良肥力方面是可提高土壤肥力改良之效果。

表 4-4 三合一桶廚餘桶腐熟堆肥提供土壤改良肥力比較表

參數	原有土壤	生儲餘	生廚餘 加 熟廚餘	熟廚餘	參考文獻
pH	3.92	4.55±0.16	5.17±0.40	5.40±0.23	6.5~7.5 5.0~9.0
EC (dS/m)	0.139	0.15±0.02	0.73±0.43	1.02±0.1	≤ 2dS/m ≤ 4dS/m
氮 (mg/kg)	20 (1)	60±12 (3.0)	570±350 (28.5)	1000±50 (50)	極高 >2.0 高 1.5~2.0 中等 1.0~1.5 低 0.7~1.0 較低 0.5~0.7 極低 <0.5
有效磷 (mg/kg)	6.08 (1)	7.31±1.66 (1.2)	13.74±9.52 (2.26)	16.57±7.38 (2.73)	極高 >40 高 20~40 中等 10~20 低 5~10 較低 3~5 極低 <3
有效鉀 (mg/kg)	15.77 (1)	52.61±2.22 (3.34)	80.79±11.51 (5.12)	82.17±6.18 (5.21)	極高 >200 高 150~200 中等 100~150 低 50~100 較低 30~50 極低 <30

註：1.文獻來源：(Epstin,1997)

我國有機質肥料品目及規格規定中第(十一)雜項堆肥

(品目編號 5-11)標準

肥料種類品目及規格中訂定(雜項有機栽培介質)

農委會雜項堆肥規範

農業機械學報,韓等 3 人,2011

2.()括弧內為營養質增加倍數。計算為：[各種廚餘增加土壤肥力/原土壤肥力]



4.3 廚餘桶植物生長

植物生長方面本實驗以分蔥為對象，分蔥(Shallot) 又稱火蔥(*Allium ascalonicum* L.)，屬多年生草本，鱗莖植物，高約 20~30 公分，鱗莖基部易連生，群生狀，成熟時外被紅色薄膜。性喜冷涼的氣候，生育適溫 15~22 度 C。尤其酷愛微鹼性土壤。北部 8~3 月，南部 8~2 月均可栽植，但以秋季 9~11 月最佳。通常種球要成熟乾燥 6 個星期以後才能栽植（網路認識植物,莊）。

分蔥種植期約為 20-28 日，本實驗自 2017 年 11 月 1 日至 2017 年 11 月 28 日止植物生長實驗結束，如圖 4-12 所示，本實驗植物生長方面，整個實驗時間生長速率熟廚餘一直優於其它模組，僅最後期低於生廚餘加熟廚餘模組；生廚餘加熟廚餘模組前中期生長速率並不理想，甚至還低於對照組，到了後期生長速率超過其它模組。生廚餘模組分蔥生長高度為 28.0 ± 2.0 cm，生廚餘加熟廚餘模組分蔥生長高度為 30.3 ± 1.7 cm，熟廚餘模組分蔥生長高度為 29.7 ± 1.3 cm，而未經堆肥之土壤分蔥生長高度僅為 15.3 ± 2.7 cm，依廚餘組成不同分蔥生長高度也不同，生廚餘 < 熟廚餘 < 生廚餘加熟廚餘，以生廚餘加熟廚餘植物生長速率表現最佳。

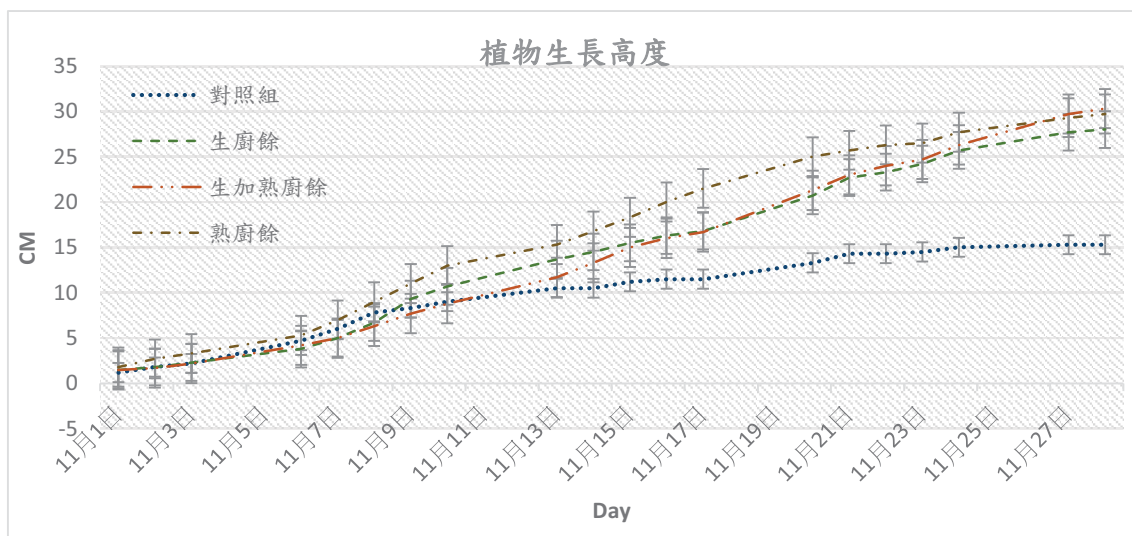


圖 4-12 各模組植物生長



4.4 三合一廚餘桶最佳模組與操作步驟

4.4.1 三合一廚餘桶最佳模組

本實驗以廚餘物理組成分為三個模組，以廚餘腐熟度、廚餘堆肥肥力、土壤改良及植物生長速率進行實驗分析，所得之結果以達到目標項目或比較最佳項目為基準找出三合一廚餘桶廚餘堆肥之最佳模組，其分述如下：

1. 生廚餘模組

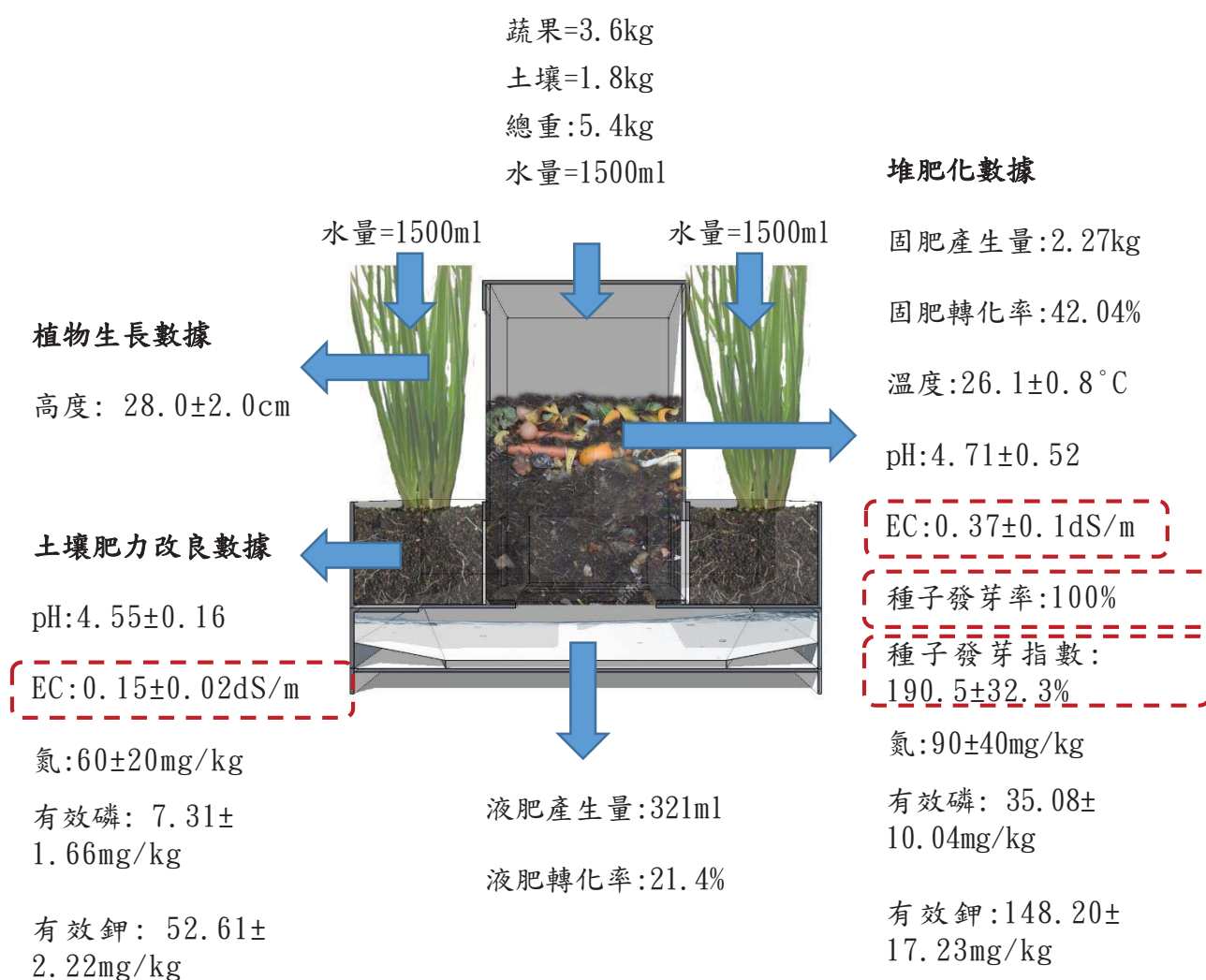


圖 4-13 生廚餘質量平衡與實驗數據圖

 表達到目標項目或比較最佳項目



2.生廚餘加熱廚餘模組



圖 4-14 生廚餘加熱廚餘質量平衡與實驗數據圖

表達到目標項目或比較最佳項目

3. 熟廚餘模組

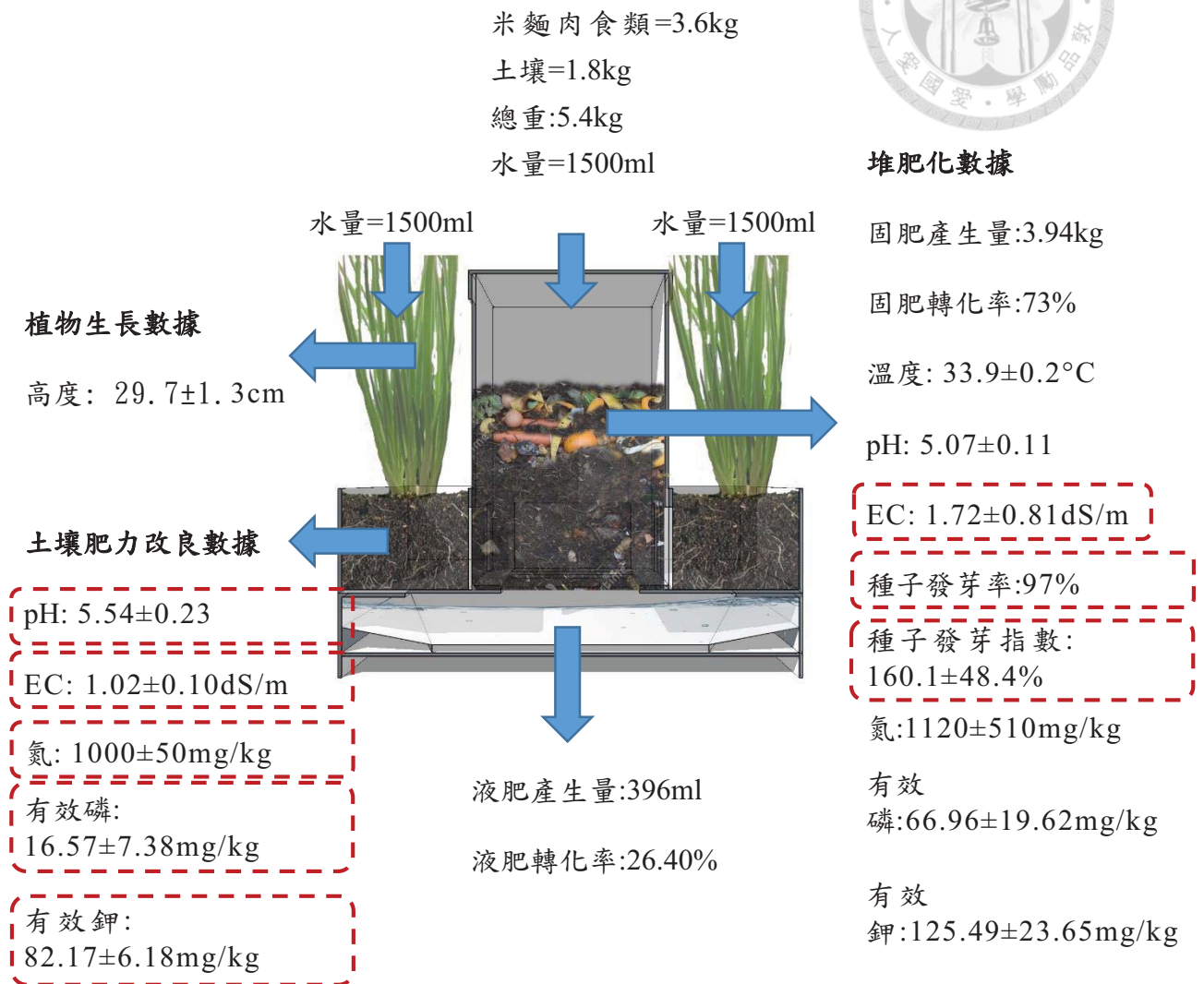
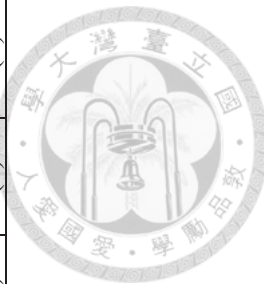


圖 4-15 熟廚餘質量平衡與實驗數據圖

 表達到目標項目或比較最佳項目

表 4-5 三模組四項目計量數據表

	(一) 堆肥腐熟度完成否							(二) 廚餘堆肥肥力				(三) 土壤肥力改良					(四)
	氣味	溫度	降解 高度	pH	EC	種子 發芽 率	種子 發芽 指數	氮	有效 磷	有效 鉀	pH	EC	氮	有效 磷	有效 鉀	(四) 植物 生長	
廚餘 模組	嗅覺	°C	cm		dS/m	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg		dS/m	mg/Kg	mg/kg	mg/kg	高度	
							(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	(倍數)	cm	
(I) 生 廚餘	土 壤 味	26	10	4.7	0.4	100	190	90	35.1	148.2	4.55	0.15	60	7.31	52.6	28	
								(4.5)	(5.7)	(9.4)			(3)	(1.2)	(3.3)	(1.8)	
(II) 生+熟 廚餘	土 壤 味	34	12	5.5	1.4	97	165	740	105.3	199.7	5.17	0.73	570	13.7	80.8	30.3	
								(37)	(17.3)	(12.6)			(28.5)	(2.3)	(5.1)	(2)	
(III) 熟 廚餘	土 壤 味	34	6	5.1	1.7	97	60	1120	66.9	125.5	5.40	1.02	1000	16.6	82.2	29.7	
								(56)	(11)	(8)			(50)	(2.7)	(5.2)	(1.9)	
對照 組				3.9				20	6.08	15.8	3.92	0.14	20	6.08	15.8	15.3	
								(1)	(1)	(1)			(1)	(1)	(1)	(1)	





如圖 4-13、4-14、4-15 及表 4-5 所示，本實驗最佳模組為生廚餘加熟廚餘模組，此模組所用之廚餘組成成分包含家用戶所產生的廚餘成分，有效減少家用戶廚餘產生量。台灣平均每人每日廚餘產生量為 0.064 公斤，一戶以四人計算，每戶每日產生 0.256 公斤的廚餘量。如操作模式為每天添加，一個月每戶廚餘減少量為 7.68 公斤。以臺北市至 2019 年 12 月止總戶數 1060880 戶計算，每戶皆使用三合一廚餘桶，臺北市一個月可減少廚餘量為 8147.56 噸。

4.4.2 三合一廚餘桶操作步驟

本實驗結果得知，以生廚餘加熟廚餘模組為最佳使用效率，其實驗過程中之實驗步驟是以三模組之共通性為設定，所以並不完全適用於最佳模組之操作步驟，其最佳模組操作步驟建議如下：

- 1.將每天剩下之生、熟廚餘瀝乾，切碎平鋪於廚餘內桶。
- 2.以廚餘 1/2 量的土壤平鋪於廚餘上(要覆蓋完整)。
- 3.外桶種植植物(每日澆灌 100ml 水量)。
- 4.廚餘內桶堆疊至第二層澆灌 20ml 水量、第三層澆灌 40ml 水量、第四層澆灌 60ml 水量、第五層澆灌 80ml 水量、第六層開始每兩天澆灌 100ml 水量。
- 5.堆疊 1 個月後停止堆疊，放至 1 個月，期間所產生的廚餘堆疊至第二只廚餘桶，一個家用戶以兩只廚餘桶輪流使用。
- 6.腐熟完成之堆肥可拿來當堆疊土壤，亦可當種植肥料使用。
- 7.廚餘桶腐壞時，可當堆肥基材使用。

第五章 結論與建議



5.1 結論

- 1.由三合一廚餘桶廚餘堆肥實驗結果，各模組數據除溫度項目無法提升至堆肥條件外，其餘均有達其效果。在堆肥腐熟度方面pH為4.71~5.5、EC值為0.37~1.72 dS/m、種子發芽率為97~100%、種子發芽指數為60.1~190.5%；廚餘堆肥肥力方面各模組氮含量在90±40~1120±510mg/kg之間，有效磷含量在35.08±10.04~105.28±44.83mg/kg之間，有效鉀含量在148.20±17.23~199.75±66.59mg/kg之間；土壤肥力改良方面pH為4.55±0.16~5.40±0.23、EC值為0.15±0.02~1.02±0.10dS/m，氮含量在60±20~1000±50mg/kg之間，有效磷含量在7.31±1.66~16.57±7.38mg/kg之間，有效鉀含量在52.61±2.22~82.17±6.18mg/kg之間；植物生長方面各模組植物生長28.0±2.0cm~30.3±1.7cm，比未經堆肥之土壤植物生長15.3±2.7cm之生長速率高出約兩倍。綜合以上結果得知此廚餘桶為一符合使用之三合一廚餘桶。
- 2.實驗三模組中以生廚餘加熟廚餘效果最佳，pH為5.50、EC值為1.41dS/m、種子發芽率97%、種子發芽指數160.1%均達堆肥腐熟度條件。堆肥肥力之氮磷鉀濃度分別為氮74mg/kg提高了8倍、磷105mg/kg提高了17.5倍、鉀199mg/kg提高了12.5倍，肥力與等級皆比原有土壤數據提高。改良土壤效益之氮磷鉀營養鹽濃度及EC值分別比原始土壤提高了，氮3~5倍、磷1.2~2.7倍、鉀3.3~5.2倍、EC值1~7倍。使用此堆肥可使分蔥植物成長高度提高為2倍。
- 3.綜合以上結果，三合一廚餘桶對於固肥、液肥、種植均有達到效果。
- 4.三合一廚餘桶採瓦楞紙為結構主體，廚餘桶破舊損壞後可當作堆肥基材與廚餘一起堆置，達到零排放。

5.本研究提出之三合一廚餘桶材料價格低廉，並提供操作步驟，符合經濟效益與使用之方便性。



5.2 建議

- 1.三合一廚餘桶擬已符合零廢汙、自主生產有機健康蔬果之廚餘桶，建議後續可依據本研究之量體進行不同材質成本研究。
- 2.三合一廚餘桶設計與實驗為一原則性成果，最適合之模組為三模組之比較，後續可依大小(如社區型)、造型、植栽等不同內容進行研究。
- 3.本研究得知內桶和土壤接觸面積至少 30%以上，後續可提高接觸面積比例持續作研究。
- 4.本實驗方式採一次性填滿，未持續添加，無法得知廚餘桶持續堆疊後之數據，建議後續可依據本研究持續進行。
- 5.本實驗初期未檢測原有廚餘之相關數據，過程中也未以監測方式記錄數據，建議後續可依據此方式記錄數據，使數據更完整。
- 6.本實驗液肥僅記錄收集量和液肥轉化率，液肥營養成分未做檢測，未能得知收集的液肥之有效性。後續可檢測液肥相關數據。



參考文獻

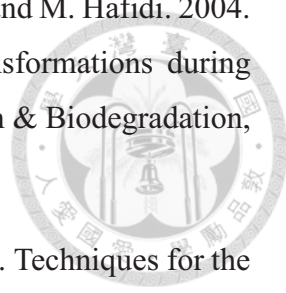


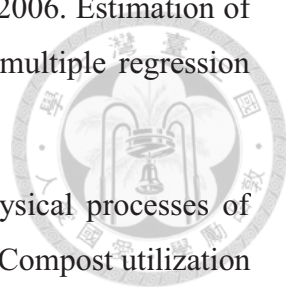
1. 大愛全紀錄，2011，廚餘桶的秘密。
2. 中華土壤肥料學會，2001，肥料要覽。
3. 台北縣環境保護局，2006，廚餘回收再利用執行成效專案報告。
4. 行政院環境保護署，2003，中華民國環境保護統計年報。
5. 行政院環境保護署編印，2004，全國廚餘回收執行現況。
6. 行政院環境保護署，2006，廚餘回收再利用。
7. 行政院環境保護署，2018，廚餘回收再利用操作管理參考手冊。
8. 邱梅玲，2007，三種不同製成的廚餘堆肥之成分與養分釋出特性研究。國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
9. 林鴻淇，1994，堆肥材料，堆肥化過程與堆肥品質。
10. 林子傑、周楚洋，2005，廚餘堆肥控制策略之探討。農業機械學刊， 14(4): 37-53。
11. 柯光瑞，2011「耐高溫油脂分解微生物於廚餘堆肥化之應用及其堆肥之成熟度評估」，博士論文，國立臺灣大學生物資源暨農學院農業化學系。
12. 洪明龍，2000，家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文。
13. 吳正宗，2008，「廚餘堆肥化操作模式及腐熟度指標之評估」，博士論文，國立中興大學土壤環境科學系。
14. 留啟民，2002，「臺灣地區廚餘資源化之經濟效益分析與可行性分析」，碩士論文，國立高雄師範大學環境教育研究所。
15. 陳仁炫，2006，有機質肥料檢驗法，pp.112-128。肥料要覽。中華土壤肥料學會。
16. 張文英，2001，「臺灣地區廚餘資源化之經濟效益分析與可行性分析」，碩士

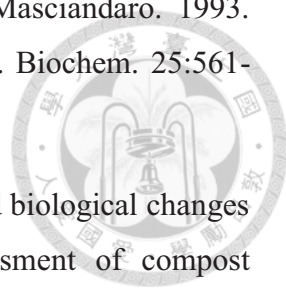
論文，國立高雄師範大學環境教育研究所。

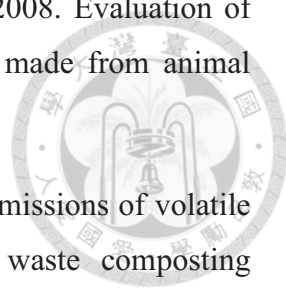
17. 經濟部工業局，2005，堆肥技術與設備手冊及案例彙編。
18. 楊萬發、馬鴻文、楊盛行、鄭正勇、陳文卿、洪明龍，2002，「廚餘及堆肥成品中有害成分調查、肥力及土壤列管評估計畫」暨「廚餘資源化設施、產品品質標準建制及市場開發近、中程策略規劃」，臺北市政府環境保護局。
19. 黃裕銘、吳正宗，1999，禽畜糞堆肥成分檢驗方法與實習操作。88 年度全省禽畜糞堆肥場堆肥成分分析檢驗及處理技術手冊。中興大學土壤調查試驗中心。P. 5-15。
20. 蔡坤蒼，2005，「台灣家戶有機廢物堆肥化處理之政策研究」，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
21. 蔡宜峰，1995，有機質肥料製作及肥效評估之研究。國立中興大學土壤學研究所博士論文。
22. 蔡宜峰，廚餘堆肥化技術極利用模式，台中區農業改良場。
23. 賴朝明、劉桂龍，2005，酵素活性作為廢棄物堆肥成熟度之指標。
24. 賴朝明、柯光瑞，2009，台灣利用廚餘發電及節能潛力之評估。第二屆城市環境科學與技術研討會暨兩岸四地生態與環境研討會論文摘要集，第40頁。中國科學院城市環境研究所及廈門市科學技術局主辦「第二屆城市環境科學與技術研討會暨兩岸四地生態與環境研討會」，2009年11月28日-12月1日，廈門，中國。
25. 簡宣裕，2001，堆肥品質判定。肥料要覽。增訂三版。中華土壤肥料學會印行。P. 85-90。
26. 韓磊，李銳，朱會利，2011，基於BP神經網絡的土壤養分綜合評價模型，農業機械學報第42卷第7期。

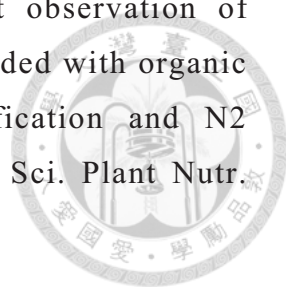


- 
27. Ait Baddi, G.A., J.A. Albuquerque, J. Gonzalvez, J. Cegarra, and M. Hafidi. 2004. Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54: 39-44.
28. Aparna, C., P. Saritha, V. Himabindu, and Y. Anjaneyulu. 2007. Techniques for the evaluation of maturity for composts of industrially contaminated lake sediments. *Waste Management*, doi:10.1016/j.wasman.2007.07.008.
29. Benitez, E., R. Nogales, C. Elvira, G. Masciandaro, and B. Ceccanti. 1999. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetide*. *Bioresour. Technol.* 67:297-303.
30. Benito, M., A. Masaguer, A. Moliner, N. Arrigo, R. M. Palma, and D. Effron. 2005a. Evaluation of maturity and stability of pruning waste compost and their effect on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Sci.* 170:360-370.
31. Benito, M., A. Masaguer, A. Moliner, C. G. Cogger, and A. I. Bary. 2005b. comparison of a gas detection tubes test with the traditional alkaline trap method to evaluate compost stability. *Biol. Fertil. Soils* 41:447-450.
32. Bernal, M.P., C. Paredes, M.A. Sanchez-Monedero, and J. Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63: 91-99.
33. Cáceres, R., X. Flotats, and O. Mará. 2006. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different strategies. *Waste Manag.* 26:1081-1091.
34. Chanyasak, V, M. Hirai, and H. Kubota. 1982. Changes of chemical components and nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage. *J. Ferment. Technol.* 60: 439-446.

- 
35. Chikae, M., R. Ikeda, K. Kerman, Y. Morita, and E. Tamiya. 2006. Estimation of maturity of compost from food waste and agro-residues by multiple regression analysis. *Bioresour. Technol.* 97:1979-1985.
 36. Day, M., and K. Shaw. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting. Chapter 2. *In* P. J. Stoffella and B. A. Kahn (ed.) *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC press, Boca Raton, Florida, USA.
 37. Dimambro, M.E., R.D. Lillywhite, and C.R. Rahn. 2007. The physical, chemical and microbial characteristics of biodegradable municipal waste derived composts. *Compost Science & Utilization* 15: 243-252.
 38. Dinel, H., M. Schnitzer, and S. Dumontet. 1996a. Compost maturity: extractable lipids as indicators of organic matter stability. *Compost Science & Utilization* 4: 6-12.
 39. Dinel, H., M. Schnitzer, and S. Dumontet. 1996b. Compost maturity: chemical characteristics of extractable lipids. *Compost Science & Utilization* 4: 16-25.
 40. Eghball, B., J.F. Power, J.E. Gilley and J.W. Doran. 1997. Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 26: 189-193.
 41. Epstein, E. 1997. *The science of composting*. Technomic publishing Co., Inc., Pennsylvania. USA.
 42. Estrada, J., J. Sana, R. M. Cequiel, and R. Cruanas. 1987. Application of a new method for CEC determination as a compost maturity index. pp. 334-340. *In* M. de Bertoldi et al. (ed.) *Compost: Production, quality and use*. Elsevier, New York, USA.
 43. Fang, M., J. W. C. Wong, G. X. Li, and M. H. Wong. 1998. Changes in biological parameters during co-composting of sewage sludge and coal ash residues *Bioresour. Technol.* 64:55-61.

- 
44. Garcia, C., T. Hernandez, F. Costa, B. Ceccanti, and G. Masciandaro. 1993. Kinetics of phosphatase activity in organic wastes. *Soil Biol. Biochem.* 25:561-565.
45. Goyal, S., S. K. Dhull, and K. K. Kapoor. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresour. Technol.* 96:1584-1591.
46. Harada, Y., A. Inoko, M. Tadaki, and T. Izawa. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27:357-364.
47. Haug, R. T. 1980. *Compost Engineering, Principles and Practice*. Ann Arbor Science Publishers Inc/The Butterworth Group, Michigan.
48. Hirai, M. F., A. Katayama, and H. Kubota. 1986. Effect of compost maturity on plant growth. *Biocycle* 27:58-61.
49. Iannotti, D. A., M. E. Grebus, B. L. Toth, L. V. Madden, and H. A. J. Hoitink. 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *J. Environ. Qual.* 23:1177-1183.
50. Inbar, Y., Y. Hadar, and Y. Chen. 1993. Recycling of cattle manure of composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.* 22:857-863.
51. Insam, H., K. Amor, M. Renner, and C. Crepaz. 1996. Changes in functional abilities of the microbial community during composting of manure. *Microbial Ecology* 31:77-87.
52. Jouraiphy, A., S. Amir, M.E. Gharous, J.C. Revel and M. Hafidi. 2005. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage waste and green plant waste. *International Biodeterioration & Biodegradation* 56: 101-108.
53. Jiménez, E.I., and V.P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological wastes*, 27:115-142.

- 
54. Ko, H.J., K.Y. Kim, H.T. Kim, C.N. Kim, and M. Umeda. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management* 28: 813-820.
55. Kissel, J.H., C.L. Herry, and R.B. Harrison. 1992. Potential emissions of volatile and odorous organic compounds from municipal solid waste composting facilities. *Biomass and Bioenergy* 3: 181-194.
56. Lai, C. M., G. R. Ke, and M. Y. Chung. 2007. Potentials of food wastes for power generation and energy conservation in Twiwan. p.74, *In* S. S. Yang et al.(eds) 2007 *World Renewable Energy*. October 30-November 1, 2007, National Twiwan University, Taipei, Twiwan.
57. Lai, C. M., G. R. Ke, and M. Y. Chung. 2007. Potentials of food wastes for power generation and energy conservation in Twiwan. *Renew. Energ.* 34: 1913-1915.
58. Mathur, S.P., G. Owen, H. Dinel, and M. Schnitzer. 1993. Determination of compost biomaturity. I. Literature review. *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 65-85.
59. Mathur, S. P., J. Y. Daigle, M. Levesque, and H. Dinel. 1986. The feasibility of preparing high quality composts from fish scrap and peat with seaweeds or scrap. *Biol. Agric. Horti.* 4:27-38.
60. Matteson, G. C., and B. M. Jenkins. 2007. Food and processing residues in California: Resource assessment and potential for power generation. *Bioresour. Technol.* 98: 3098-3105.
61. Mondini, C., F. Fornasier, and T. Sinicco. 2004. Enzymatic activity as parameter for the characterization of the composting. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 1587-1594.
62. Mondini, C., M. A. Sánchez-Monedero, T. Sinicco, and L. Leita. 2006. Evaluation of extracted organic carbon and microbial biomass as stability parameters in lignocellulosic waste composts. *J. Environ. Qual.* 35:2313-2320.

- 
63. Nugroho, S. G., and S. Kuwatsuka. 1990. Concurrent observation of several processes of nitrogen metabolism in soil amended with organic materials on ammonification, nitrification, denitrification and N₂ fixation under aerobic and anerobic conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:215-224.
64. Ros, M., C. Garcíá, and T. Hernández. 2006. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties. *Waste Manag.* 26:1108-1118.
65. Saharinen, M. 1998. Evaluation of changes in CEC during composting. *Compost Sci. Util.* 6:29-37.
66. Sánchez-Monedero, M. A., A. Roig, C. Paredes, and M. P. Bernal. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of composting mixtures. *Bioresour. Technol.* 78:301-308.
67. Saviozzi, A., R. Cardelli, R. Levi-Minzi, and R. Riffaldi. 2004. Evolution of biochemical parameters during composting of urban wastes. *Compost Sci. Util.* 12:153-160.
68. Schaub, S. M., and J. J. Leonard. 1996. Composting: an alternative waste management option for food processing. *Trends Food Sci. Technol.* 7:263-268.
69. Smith, D. C., and D. C. Hughes, 2001. A simple test to determine cellulolytic activity as indicator of compost maturity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1735-1749.
70. Sugahara, K., Y. Harada, and A. Inoko. 1979. Color change of city refuse during composting process. *Soil Sci. Plant Nutri.* 25: 197-208.
71. Tabatabai, M. A. 1994. Soil enzyme. Pp.775-833. In R. W. Weaver et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.*

72. Tiquia, S. M. 2005. Microbial parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99:816-828.
73. Tiquia S.M., and N.Y.F. Tam. 1998. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology* 65:43-49.
74. Tsai, S.H., C.P. Liu, and S.S. Yang. 2007. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes. *Renewable Energy* 32:904-915.
75. Yun, Y.S., J.I. Park, M.S. Sun, and J.M. Park. 2000. Treatment of food wastes using slurry-phase decomposition. *Bioresource Technol.* 73: 21-27.
76. Zmora-Nahum, S., O. Markovitch, J. Tarchizky, and Y. Chen. 2005. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biol. Biochem.* 37:2019-2116.
77. Zubillaga, M. S., and R. S. Lavado. 2006. Phytotoxicity of biosolids compost at different degrees of maturity compared to biosolids animal manures. *Compost Sci. Util.* 14:267-270.
78. Zucconi, F., and M. de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. pp. 30-50. In M. de Bertoldi et al (ed.) *Compost: Production, quality and use*. Elsevier, New York, USA.
79. Zucconi, F., F. Forte, A. Monaco, and M. de Bertoldi. 1981. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle* 22:27-29.
80. 中下游新聞網 <https://www.newsmarket.com.tw/blog/118986/>
81. 谷騰環保網 <https://read01.com/zh-tw/PR4QKj.html#.Xhx08IUzaHs>
82. 喬凱亞有機概念網 http://geocarebiotech.com/organic_concept/kitchen-waste-compost/valuable-kitchen-odd-serial

83. 台肥月刊，肥料與植物生長，簡道南，2003 <https://www.taifer.com.tw/>

84. 認識植物 <http://kplant.biodiv.tw/index.htm>

