

嘉南藥理科技大學  
環境工程與科學系

碩士論文

廚餘桶裝堆肥化最適條件之研究

Investigation on optimal operation parameters for the  
composting of food waste in the barrel reactor

指導教授：林健榮 博士

研 究 生：吳立全

中華民國一百零一年七月

嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

Department of Environmental Engineering and Science

Chia-Nan University of Pharmacy and Science

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

廚餘桶裝堆肥化最適條件之研究

Investigation on optimal operation parameters for the

composting of food waste in the barrel reactor

指導教授：林健榮 博士(Dr.Chien-Jung Lin)

研 究 生：吳立全 (Li-Chuan Wu)

中華民國一百零一年七月

July 2012

嘉南藥理科技大學  
碩士學位考試委員會審定書

本校 環境工程與科學系 碩士班 吳立全 君

所提論文 廚餘桶裝堆肥化最適條件之研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

考試委員：林建榮 蘇志祥

陳賢焜

指導教授：林建榮

系主任（所長）：余光昌

中華民國 101 年 7 月

## 中文摘要

持續推動社區家戶廚餘堆肥再利用為現階段環保單位之工作重點，國內臺中、臺南等執行機構推動社區廚餘堆肥再利用之成效良好且廚餘堆肥化數量持續增加，廚餘去化主要為堆肥場及家戶/社區桶裝堆肥桶進行堆肥作業。惟歷年來家戶廚餘桶裝堆肥化過程及成品特性不盡相同，亟需探討最適化的堆肥操作條件。因此本研究以臺南市環保局廚餘桶裝堆肥方式進行不同進料方式、醱酵材菌種、液肥迴流比及廚餘醱酵材配比等參數堆肥化操作，探討廚餘桶裝堆肥化之最佳化操作條件。

研究結果發現經過不同進料方式、菌種、液肥迴流及配比的家用廚餘堆肥桶，固態成品特性中含水率介於 13.5~27.5%；有機質介於 69.4~84.1%；pH 介於 7.20~7.99；氮、磷、鉀分別為 2.17~2.85%、0.58~0.79% 及 0.52~0.77%，皆達到雜項堆肥標準。在有機液肥成品特性中氮、磷及鉀含量分別介於 0.10~0.17%、0.11~0.19% 及 0.23~0.48% 皆達到標準。由固、液相成品特性分析結果，考量符合雜項堆肥品質規範和液肥累積量、有機質、氮、磷、鉀等特性後彙整出最佳操作參數為採用進料混堆法、臺中農改場菌種、液肥迴流 50%、進料配比蔬果/醱酵材 8: 1，本研究結果可供後續執行機關推動家戶廚餘桶裝堆肥化之參考。

關鍵字: 廚餘桶裝堆肥、最適化操作

## Abstract

In Tainan, both central and local competent authorities have set the promotion of food waste recycling as the priority policy of municipal solid waste recycling management. Consequently, the efficiencies of food waste is good and the amount of recycling on food waste via composting is larger and larger in Taichung, Tainan and other implementing authorities. The major methods used for composting recycling to composting in plants and barrel-typed composting. However, the characteristics of the products from different operation condition by the barrel-typed reactor vary and have not been evaluated in detail.

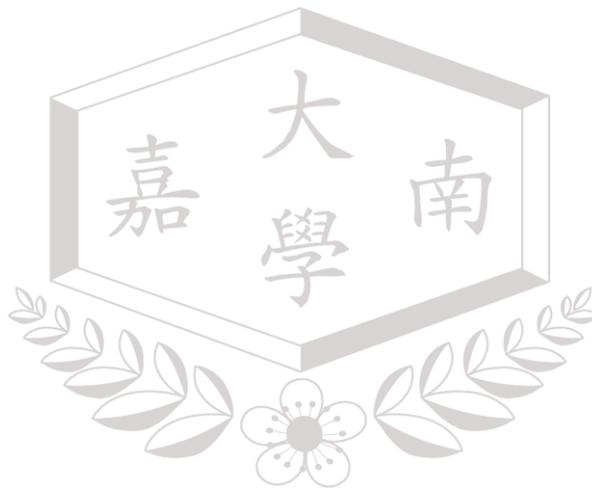
This research aims to examine the effects of optional operation condition on the characteristics of food waste composting products via barrel-typed reactor. The control parameters include the different feeding material method, fermentation strains, leachate recycling ratio and material inlet food waste fermentation material ratio.

Results show that under different control control parameter, the moisture contents of composting products in the solid product characteristics range between 13.5~27.5% ; the organic matter contents range between 69.4~84.1% ; the pHs are in the range of 7.20~7.99 ; contents of N, P, K were 2.17~2.85%, 0.58~0.79% and 0.52~0.77% respectively, all in consent with the miscellaneous composting standard. However, the characteristic of organic liquid fertilizer are fully consistent with regulate std, with N, P, K of 0.10~0.17% 、 0.11~0.19% and 0.23~0.48%, respectively. In order to be consistent with miscellaneous compost

quality specifications, getting the maximum of leachate production, content of organic matter, N, P and K the optimum operating parameters is controlling feeding material Mixed heap, ratio (fruits and vegetables/fermentation material) to be 8:1, using Taichung agricultural improvement farm bacteria as seeding , and adjusting the leachate recycling ratio to be 50%.

Results of this research can be helpful for the subsequent promotion of household food waste composting by the barrel reactor.

Keywords: food waste barrel reactor, optimum operating parameters



## 誌謝

兩年的碩士生涯轉眼間即將進入尾聲，碩士論文能順利完成，乃承蒙恩師 林健榮 博士於求學過程細心指導及諄諄教誨，使我受益良多，在此致上最深的謝意。

論文口試期間，承蒙 廖志祥 博士及 陳賢焜 博士；百忙之中前來參與論文口試並斧正及提供建議，致本論文能更臻完整，在此致上萬分感謝之意，由衷的感謝。

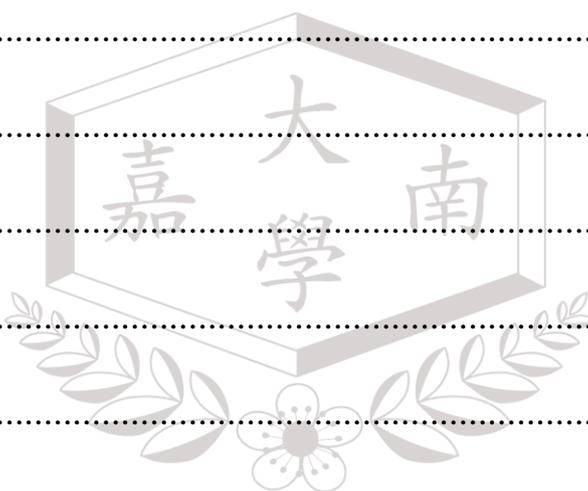
實驗過程中感謝怡敦學長、豐億學長、年禧學長、紹綸學長、羿菁學姊、韓恩學長、郁誠、銘暉、梓丞、俊廷、志威、志雄、孟儒、佳慧、思婷、佳怡、佳櫻、天恩、誌峰、鑫偉、碩士班同學及張祖恩老師實驗研究團隊，由於有你們的幫忙，使我在研究及實驗上更為順遂；感謝女友佳紋及社團的夥伴們所給予人力、物力及精神上的支持及協助。

最後，致予我最多感謝於深愛我的父母親以及其他家人，賜給我一切，一直支持及鼓勵我，讓我能在人生中最重要階段在此度過並順利完成學業，碩士生涯時間裡的學習及成長，徹底的影響及改變了我，在此與你們分享我的喜悅與成就。

立全 謹識于府城 2012

# 目錄

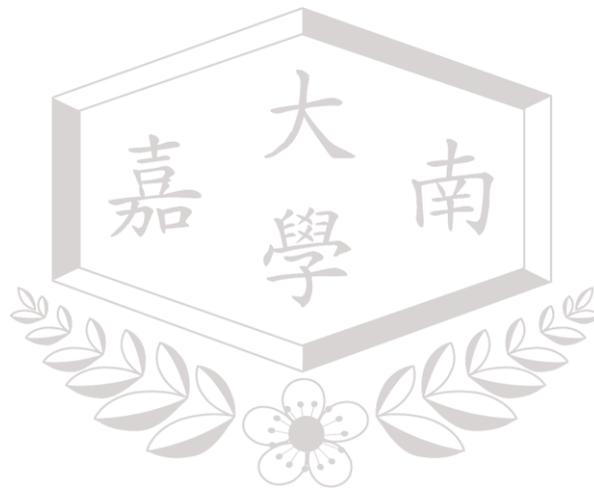
中文摘要 .....	I
<b>Abstract</b> .....	II
致 謝 .....	IV
目 錄 .....	V
表目錄 .....	IX
圖目錄 .....	X
第一章 緒論 .....	1
1-1 研究動機 .....	1
1-2 研究目的 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	3
2-1 廚餘 .....	3
2-1-1 廚餘之定義 .....	3
2-1-2 廚餘之特性 .....	3
2-1-3 廚餘之分類 .....	5
2-2 國內廚餘回收政策及現況 .....	6
2-3 廚餘回收再利用 .....	9
2-3-1 廚餘養豬飼料化 .....	9



2-3-2 廚餘堆肥化 .....	12
2-3-3 廚餘回收之效益.....	13
2-4 廚餘桶裝堆肥化.....	15
2-4-1 堆肥厭氧醱酵原理.....	15
2-4-2 影響堆肥化之操作因子 .....	16
2-4-3 堆肥腐熟判定指標.....	18
2-4-4 堆肥之應用效益.....	21
2-4-5 廚餘桶裝堆肥實例介紹.....	24
2-5 廚餘回收再利用、堆肥化及產品管理規定.....	33
2-5-1 廚餘再利用管理方式.....	33
2-5-2 廚餘堆肥化管理規定.....	35
2-5-3 廚餘堆肥產品管理規定.....	36
<b>第三章 實驗方法及步驟 .....</b>	<b>40</b>
3-1 實驗架構與流程.....	40
3-2 堆肥製作材料.....	42
3-2-1 廚餘 .....	42
3-2-2 醱酵材 .....	43
3-3 廚餘堆肥桶 .....	44
3-4 廚餘桶裝堆肥化流程.....	46

3-5 堆肥化過程及產品監測與採樣分析.....	48
3-5-1 樣品監測與採樣方法.....	48
3-5-2 實驗設備與方法.....	51
<b>第四章 結果與討論</b> .....	<b>60</b>
4-1 廚餘桶裝堆肥進料特性分析.....	60
4-2 廚餘桶裝堆肥固肥過程監測.....	62
4-2-1 廚餘桶裝堆肥溫度變化.....	62
4-2-2 桶裝醱酵堆肥導電度(EC)變化.....	63
4-2-3 桶裝醱酵堆肥 pH 變化.....	64
4-2-4 固態有機堆肥成品分析.....	65
4-2-5 固態有機堆肥成品重金屬及發芽率.....	68
4-2-6 廚餘桶裝堆肥成品小結.....	70
4-3 廚餘桶裝堆肥液肥過程監測.....	72
4-3-1 有機液肥累積量.....	72
4-3-2 有機液肥酸鹼值(pH)變化.....	75
4-3-3 有機液肥導電度(EC)變化.....	78
4-3-4 有機液肥氨氮值變化.....	81
4-3-5 有機液肥成品分析.....	83
4-3-6 有機液肥成品重金屬及發芽率.....	84

4-3-7 有機液肥成品小結.....	87
4-3-8 廚餘桶裝堆肥化質量平衡 .....	88
4-3-9 廚餘桶裝堆肥化最適條件評分 .....	97
<b>第五章 結論與建議</b> .....	<b>100</b>
5-1 結論 .....	100
5-2 建議 .....	101
參考文獻.....	102



## 表目錄

表 2-1 一般家庭垃圾組成百分比 .....	5
表 2-2 一般家戶廚餘分類表 .....	6
表 2-3 我國「垃圾零廢棄」之總減量及次目標設定值 .....	7
表 2-4 臺灣歷年垃圾回收率統計 .....	8
表 2-5 歷年全國垃圾清運中廚餘產量之統計 .....	9
表 2-6 豬隻對廚餘之消化率 .....	12
表 2-7 廚餘回收之效益 .....	14
表 2-8 堆肥樣品萃取液點於濾紙上，擴散顯圖之形狀與顏色 .....	20
表 2-9 螞蟻雄兵生廚餘之成分分析結果 .....	25
表 2-10 螞蟻雄兵堆肥成品之成分分析結果 .....	26
表 2-11 螞蟻雄兵堆肥成品與副資材之重金屬分析結果 .....	26
表 2-12 機不可失堆肥進料之成分分析結果 .....	28
表 2-13 機不可失堆肥成品之成分分析結果 .....	28
表 2-14 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之社區(含里、農戶)數量統計 .....	29
表 2-15 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之家戶數量統計 .....	30
表 2-16 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之學校數量統計 .....	30
表 2-17 社區/單位廚餘堆肥前進料之成分分析 .....	31
表 2-18 社區/單位之廚餘堆肥固態成品成分分析結果 .....	32

表 2-19 社區/單位之廚餘堆肥液態成品成分分析結果.....	33
表 3-1 廚餘桶裝堆肥操作參數說明.....	47
表 3-2 廚餘桶裝堆肥進料組成之重量.....	48
表 3-3 監測項目及方法.....	51
表 4-1 廚餘桶裝堆肥化前進料之成分分析結果.....	61
表 4-2 廚餘桶裝堆肥化前進料之堆肥桶成分分析結果.....	62
表 4-3 廚餘桶裝醱酵堆肥導電度(EC)變化.....	64
表 4-4 廚餘桶裝醱酵堆肥酸鹼值(pH)變化.....	65
表 4-5 廚餘桶裝堆肥成品之成分分析結果.....	67
表 4-6 廚餘桶裝堆肥成品之氮、磷、鉀含量.....	67
表 4-7 廚餘桶裝堆肥成品之鈉、氯含量.....	68
表 4-8 廚餘堆肥成品之重金屬含量.....	69
表 4-9 廚餘桶裝堆肥固態有機堆肥之種子發芽率.....	70
表 4-10 廚餘桶裝堆肥成品分析結果彙整.....	71
表 4-11 廚餘桶裝堆肥有機液肥之肥效分析.....	84
表 4-12 廚餘桶裝堆肥有機液肥之重金屬含量.....	86
表 4-13 廚餘桶裝堆肥有機液肥之種子發芽率.....	87
表 4-14 廚餘桶裝堆肥有機液肥分析結果彙整.....	88
表 4-15 廚餘桶裝堆肥化最適條件評分表.....	99

## 圖目錄

圖 3-1 研究架構圖 .....	41
圖 3-2 本研究之生廚餘採樣及切碎過程 .....	43
圖 3-3 本研究所使用之醱酵材 .....	44
圖 3-4 本研究採用之廚餘桶裝堆肥 .....	45
圖 3-5 廚餘桶裝堆肥進料作業情形 .....	50
圖 3-6 廚餘桶裝堆肥開桶作業情形 .....	50
圖 3-7 廚餘桶裝堆肥分析作業情形 .....	50
圖 3-8 廚餘桶裝堆肥種子發芽率作業情形.....	50
圖 4-1 廚餘桶裝堆肥溫度及室溫變化變化.....	63
圖 4-2 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化.....	72
圖 4-3 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化 .....	73
圖 4-4 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化 .....	74
圖 4-5 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化 .....	75
圖 4-6 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化.....	76
圖 4-7 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化 .....	76
圖 4-8 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化 .....	77
圖 4-9 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化 .....	77
圖 4-10 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化.....	79

圖 4-11 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化.....	79
圖 4-12 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化.....	80
圖 4-13 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化.....	80
圖 4-14 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化 .....	81
圖 4-15 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化 .....	82
圖 4-16 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化 .....	82
圖 4-17 不同配比之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化 .....	83
圖 4-18 廚餘桶裝堆肥 NO.1 之質量平衡圖.....	89
圖 4-19 廚餘桶裝堆肥 NO.2 之質量平衡圖.....	90
圖 4-20 廚餘桶裝堆肥 NO.3 之質量平衡圖.....	91
圖 4-21 廚餘桶裝堆肥 NO.4 之質量平衡圖.....	92
圖 4-22 廚餘桶裝堆肥 NO.5 之質量平衡圖.....	93
圖 4-23 廚餘桶裝堆肥 NO.6 之質量平衡圖.....	94
圖 4-24 廚餘桶裝堆肥 NO.7 之質量平衡圖.....	95
圖 4-25 廚餘桶裝堆肥 NO.8 之質量平衡圖.....	96

# 第一章 緒論

## 1-1 研究動機

國內根據環保署歷年統計，我國垃圾中廚餘產生量極為龐大，民國100年達811,199公噸，若未妥善處理將造成嚴重之環境污染。早期廚餘隨同一般垃圾以掩埋方式處理，隨著焚化爐陸續完工運轉後，則逐步改採焚化處理。由於廚餘水分含量高，不含有毒物質，含有豐富的植物養分，可以回收作堆肥材料來源。若將廚餘物質回收再利用，不但可以減輕垃圾處理壓力，更能減少廚餘腐敗招來蚊蠅，造成垃圾場臭味及滲出水等污染，以及降低焚化廠廢氣排放的環境污染問題。

廚餘堆肥必須考慮廚餘回收及處理過程，特別是堆肥化過程以及廚餘堆肥成品品質的問題，許多社區或家庭在廚餘回收上，採用小型廚餘桶或是快速醱酵機設備，往往因廚餘堆肥化過程不良、時間過短，導致最終成品無法直接利用，或是出現二次環保污染等問題而影響廚餘回收的成效。

因此，本研究進行不同參數之家戶廚餘堆肥桶裝堆肥化操作，研究過程一併過程監測肥堆及堆肥成品/半成品之固液相分析，探討不同參數對廚餘堆肥化之影響並建立廚餘桶裝堆肥化產品品質相關資料，提供社區廚餘操作管理之參考。

## 1-2 研究目的

本研究以臺南市果菜市場廚餘、臺南市環保局發放之木屑、臺南市城西堆肥場之熟堆肥、臺中農改場之菌種，藉由改變進料方式、不同菌種、液肥迴流及進料配比的方式進行堆肥化操作以探討不同堆肥操作條件對家戶社區廚餘堆肥產品特性之影響。

本研究目的如下：

1. 建立家戶桶裝廚餘堆肥最適堆肥操作參數。
2. 監測分析桶裝廚餘堆肥化過程參數及堆肥品質控制，確立穩定堆肥之操作條件。
3. 進行廚餘堆肥固相、液相品質分析，作為日後家戶社區堆肥推廣及輔導工作之參考。



## 第二章 文獻回顧

### 2-1 廚餘

#### 2-1-1 廚餘之定義

廚餘是指廚房中所產生出來的剩餘有機物垃圾，包括日常生活中食材料裡前後所產生之菜葉、果皮、蛋殼、剩菜、剩飯、茶葉渣等有機廢棄物，甚至過期食品亦可統稱為廚餘。

#### 2-1-2 廚餘之特性

廚餘具有以下特性:

1. 高含水率: 廚餘含有大量水分,若不加以處理容易腐敗發臭、滋生蚊蠅、危害衛生並污染空氣與水源。
2. 富含氮、磷、鉀肥效成分: 根據文獻進行生廚餘分析發現,廚餘含有大量氮、磷、鉀(2.03、0.67、0.56%)<sup>[1]</sup>,經過堆肥化處理後可以有效回收並應用於綠農地。
3. 含大量氯鹽: 因國人的餐飲特性,廚餘中的含鹽分(氯化鈉 NaCl)偏高,其含量介於0.07~0.10%,會因熱值偏低造成廚餘不完全燃燒的情況下,則會有產生戴奧辛之疑慮,另外氯鹽腐蝕爐體,縮短焚化爐壽命,且間接影響操作成本及處理效率<sup>[2]</sup>。
4. 動物性廚餘含高量油脂: 因廚餘當中之碳水化合物、脂肪、蛋白質為微生物新陳代謝過程中最重要營養來源,較容易被微生物分解轉化<sup>[3]</sup>,固

可將廚餘回收再利用堆肥化。

5. 有機質含量高:廚餘成分中含有有機質，經過堆肥化反應後，可提升堆肥成品的有機質並施用於農地時，有利於作物之生長。根據文獻指出<sup>[4]</sup>，土壤調查資料顯示土壤有機質缺乏(3%以下)之耕地面積約佔 70%，故可將廚餘回收再利用。
6. 掩埋處置較為不便: 若採掩埋方式處理，其中產生的滲出水傳送有機和無機污染物<sup>[5]</sup>，有造成地下水污染的風險<sup>[6]</sup>，以及有機廢棄物腐敗造成地形改變導致地質鬆軟，並且容易有臭味產生等二次污染問題，此外，掩埋場產生的溫室氣體必須收集並燒毀，以減少它們對全球變暖和消除氣味滋擾等影響<sup>[7、8]</sup>，因此廚餘類廢棄物以分類回收再利用為最佳處理方式。

根據統計，廚餘組成比率約佔一般家庭垃圾總量的百分之三十以上（詳如表 2-1）。廚餘含有可被微生物分解的有機物且含有大量水分，若不加以處理容易腐敗發臭、滋生蚊蠅、危害衛生並污染空氣與水源<sup>[9]</sup>。

相反的，若能將廚餘垃圾妥善處理並將其回收再利用，必可減輕廢棄物處理壓力，改善垃圾品質，亦可減少垃圾掩埋場臭味及滲出水污染等問題，以及減輕垃圾焚化廠廢氣排放問題，對家庭、社區和社會環境都有很大的益處，亦為行政院環境保護署多年來努力推動廢棄物減量與多元化處理之政策目標。

表 2-1 一般家庭垃圾組成百分比

物理組成項目	含量 (%)
1.廚餘類	30
2.紙類	25
3.塑膠類	20
4.金屬類	8
5.玻璃類	7
6.木材類	6
7.纖維類	3
8.其他	1
合計	100

資料來源:[9]

### 2-1-3 廚餘之分類

現行執行機關進行廚餘清運再利用之分類方式主要分為熟廚餘及生廚餘，分別於清運後進行養豬及堆肥再利用，生、熟廚餘之區分方式詳表 2-2 所示。熟廚餘為烹煮過的食物，如：米食類、麵食類、豆食類、肉類、零食類、罐頭類、粉狀類、調味類等，經垃圾清潔隊回收之熟廚餘，大部分作為養豬廚餘經招標變賣至合格之養豬畜牧場後，經高溫蒸煮後做為養豬飼料。生廚餘為未經烹煮的食物，如：水果類、蔬菜類、園藝類、堅果類、殘渣類、硬殼類等，可供作為廚餘堆肥化工作之原料。

表 2-2 一般家戶廚餘分類表

生(堆肥)廚餘	熟(養豬)廚餘
1.水果類：例如水果、果皮及果核等。	1.米食類：例如白飯等各式米製品等。
2.蔬菜類：例如蔬菜的菜葉、菜根、菜籽。	2.麵食類：例如麵條等各式麵製品。
3.園藝類：例如花的花材、樹葉、草本植物及根。	3.豆食類：例如各式豆類製品、豆渣。
4.堅果類：植物的種子、果核等。	4.肉類：例如熟的雞、鴨、魚、肉等。
5.殘渣類：例如蔗渣、茶渣、咖啡渣、中藥渣。	5.零食類：例如餅乾、糖果等。
6.硬殼類：例如蛋殼、貝、蟹、蝦殼及動物骨頭。	6.罐頭類：例如各式罐頭食品內容物。
7.混合類：例如已與熟廚餘混合的有機物。	7.粉狀類：例如奶粉等各式粉末狀可食用品。
8.其他類：例如已酸臭的熟廚餘，未煮熟的肉品、動物內臟，或無法分類的有機物。	8.調味類：例如果醬等各式調味料。

資料來源：[10]

## 2-2 國內廚餘回收政策及現況

### 1. 廚餘回收政策

為推動垃圾減量、資源回收並朝零廢棄目標邁進，行政院環境保護署自民國 90 年度起，補助各鄉、鎮、市建立廚餘清運回收再利用系統，以促使各鄉鎮市全面推動廚餘回收。另，自民國 92 年度起之廚餘回收工作奉行政院核定列入「挑戰 2008 國家發展重點計畫—綠色產業—資源再生利用計畫」，由環保署編列經費積極全面推動。迄民國 95 年 3 月底全國 319 鄉鎮已全面進行廚餘回收，初步已獲具體成效；為妥善處理廚餘並配合「垃圾零廢棄」的政策，自民國 96 年起納入環保署「96 至 101 年公共建設計畫：一般廢棄物資源循環推動計畫」中推動。

## 2. 廚餘回收現況/成效

在我國行政院環境保護署零廢棄政策中廚餘回收目標（詳表 2-3）分別為 2011 年應達 7.5 %，2020 年應達 20 %，而目前依臺灣歷年垃圾回收率統計結果顯示，2007 年廚餘資源回收率 8.31 % 及 2011 年廚餘資源回收率 10.84 %（詳表 2-4），皆已達成其所訂定之目標值，而目前全國 25 個縣(市)已積極推動廚餘回收工作，廚餘回收率方面仍有持續成長之空間，可見在推動廢棄物減廢及資源回收策略中，廚餘回收將會扮演重要之角色。

表 2-3 我國「垃圾零廢棄」之總減量及次目標設定值

年度	減量及資源回收策略					
	總減量目標 (%)	公告回收項目 (%)	廚餘回收 (%)	不可燃垃圾 (%)	巨大垃圾 (%)	其他 (%)
2007	25.0	18.5	4.0	1.2	0.3	1.0
2011	40.0	24.0	7.5	3.5	1.0	4.0
2020	75.0	38.0	20.0	6.7	1.3	9.0

備註：1.以民國 90年為計算基準年。

2.其他包括因目前回收技術、處理成本或品質不適合回收之紙類、塑膠類、木竹稻草、落葉類及纖維布類等，屆時視該類廢棄物之處理技術發展，予以妥善處理。

資料來源：[11]

表 2-4 臺灣歷年垃圾回收率統計

年度	垃圾回收率(%)			
	巨大垃圾回收再利用率(%)	廚餘回收率(%)	資源回收率(%)	合計(%)
2003	-	2.27	14.26	16.54
2004	-	3.96	18.43	22.40
2005	0.38	5.97	22.59	28.94
2006	0.37	7.37	27.23	34.97
2007	0.39	8.31	30.20	38.90
2008	0.58	9.09	32.83	42.50
2009	0.85	9.33	35.18	45.36
2010	1.02	9.77	37.46	48.25
2011	1.07	10.84	39.85	51.76

資料來源：[12]

近年來環保署積極推動零廢棄政策，其中廚餘回收工作為一項重要之回收項目，期藉由民眾配合與回收管道之建置，能有效改善現行廚餘混入垃圾所衍生之相關處理處置或資源再利用之問題。臺灣地區之廚餘含量除受到居民之飲食、烹調及料理習慣之影響外，居民之生活型態、外食人口數、季節農產品之消費多寡、地域特性及資源回收政策等因素，均是影響廚餘含量變化之重要關鍵。我國歷年垃圾中廚餘含量變化詳如表 2-5 所示，根據環保署之統計資料發現，自 2003 年度起廚餘回收量由平均每日約 460 噸提昇至 2011 年之平均每日約 2,200 噸；並由環保署【100 年度一般廢棄物最終處置前組成採樣及分析工作】中得知，以生垃圾中廚餘組成來推估垃圾清運中之廚餘含量結果顯示，自 2003 年的平均每日約 6,000 噸降至 2011

年之平均每日約 4,000 噸，降低幅度約 33.33 %，充分顯現近年來廚餘回收工作推動之成效。

表 2-5 歷年全國垃圾清運中廚餘產量之統計

年度	垃圾總產生量 (公噸/年)	垃圾清運量 (公噸/年)	垃圾中廚餘 組成 (濕基%)	垃圾中廚餘 總量推估 (公噸/年)	廚餘回收量 (公噸/年)	
2003	7,355,335	6,139,050	35.24	2,163,401	167,304	(2.27%)
2004	7,554,870	5,862,890	41.18	2,414,338	299,265	(3.96%)
2005	7,775,064	5,525,253	38.80	2,143,798	464,201	(5.97%)
2006	7,738,531	5,032,672	35.18	1,770,494	570,176	(7.37%)
2007	7,975,686	4,873,237	33.02	1,609,143	662,791	(8.31%)
2008	7,607,801	4,374,154	30.96	1,354,238	691,194	(9.09%)
2009	7,731,859	4,223,484	38.19	1,612,948	721,472	(9.33%)
2010	7,870,665	4,072,603	36.28	1,477,540	769,164	(9.77%)
2011	7,485,229	3,610,848	40.42	1,459,504	811,199	(10.84%)

註：垃圾中廚餘總量推估係垃圾清運量×垃圾中廚餘組成(濕基%)

資料來源：[12、13]

## 2-3 廚餘回收再利用

### 2-3-1 廚餘養豬飼料化

廚餘養豬為國內以往最常使用的廚餘資源回收方式，因其可節省相當可觀的成本支出，具有較高的經濟誘因，相對提高養豬戶利用廚餘養豬的意願。但由於近年來養豬事業因環保標準的提高與水源保護區域的劃訂，加上口蹄疫事件的衝擊，政府迅速推動生產結構調整，健全防疫及肉品安全體系等策略，以安定養豬產業的發展，同時為因應我國加入世界貿易組織(World Trade Organization，簡稱WTO)之衝擊，採取離牧之先期性生產結

構調整措施，鼓勵不具競爭力之養豬戶退出生產市場，使得國內豬隻飼養數量持續降低<sup>[14]</sup>，另一方面致養豬廚餘使用量不易大幅增加。

另外，利用廚餘進行豬隻飼養的利弊及應注意事項說明如下<sup>[1、15]</sup>：

1. 廚餘收集程序：廚餘中常含有塑膠袋、牙籤、竹筷等，因此於收集過程應考量收集與去除的方式，收集過程因瑣碎繁雜、夏季容易酸敗、工作環境差，應有完整的收集考量模式，減少公害與環境污染；收集對象則最好以大型機關團體為收集目標，其數量及品質較為固定。
2. 廚餘處理程序：廚餘於收集後應再處理，以確認去除雜物並加以細碎，經由高溫加熱蒸煮，以防旋毛蟲感染，同時因餵水中營養成分並不平衡，因此必須補充部分缺乏之營養成分。
3. 飼養管理：餵水營養成分較低，小豬時必須採食量較大，否則不敷生長所需養分，惟小豬之胃發育尚無法容納大量之食物，因此最好生長到40 kg 以上才開始飼餵廚餘。
4. 污水處理：廚餘養豬場最好設在大都市之近郊，則交通方便，廚餘之收集及運輸較為便捷。惟廚餘豬隻之糞便含水分較高量亦多，由於近市區，其污水應加以處理，以維護鄰近之衛生。
5. 自動化：廚餘處理及餵養系統應儘量機械化或自動化，以降低生產成本。

## 6. 廚餘豬屠肉缺點及利用：

- (1) 由於廚餘中富含沙拉油等不飽和油脂，因此屠肉脂肪中不飽和脂肪酸含量高，因此易致肌肉結實度差，不適做烹調用肉。
- (2) 廚餘營養分參差不齊，隨季節來源等均有差異，因此肉豬整齊度差，且飼養期較長。
- (3) 廚餘豬屠體瘦肉率低、脂肪率高、脂肪不飽和度高，故其加工品貯存期間，脂肪易酸敗不耐久藏，雖可用以製造加工品，惟脂肪部分可以飼料豬之脂肪來取代。

另外，從污染防治觀點來看，廚餘中常含有高比例油脂（乙醚抽取物）與粗纖維成分，此為一般生物廢水處理系統中所不易處理者，研究指出豬隻對於廚餘消化能力（詳如表2-6），對乙醚抽取物消化率為77 %、粗纖維消化率為56.6 %，藉由豬隻消化轉換後，可轉換獲得較易被生物分解之成分，可見豬隻可視為污染物之初級生物分解系統。當然，豬隻可以解決廚餘之污染問題，但所衍生的豬糞尿污染卻是另一方面值得正視的問題，而以污染排放之觀點來看，以飼料養豬產生的豬糞排泄物處理作比較，廚餘經豬隻消化後可去除70 %污染效果。

表 2-6 豬隻對廚餘之消化率

豬隻對廚餘組成之可消化率				
乾物質(%)	有機質(%)	粗蛋白(%)	乙醚抽取物(%)	粗纖維(%)
80.5	85.1	38	77	56.6
豬糞中的成分				
有機分(%)	纖維素與半纖維(%)	乙醚抽取物(%)		
75	10.2	5.4		

資料來源：[16、17]

### 2-3-2 廚餘堆肥化

臺灣地區一般垃圾組成中以廚餘類為最大包含生的或熟的「生質材料」(biomass)廢棄物<sup>[18]</sup>。廚餘垃圾包括：剩菜、剩飯、菜葉、果皮、魚骨頭、肉骨頭、蛤蜊殼、海鮮、奶製品、過期腐敗的食物、泡過之菜葉、花生殼、瓜子殼、中藥渣及其他可被微生物分解之有機物等<sup>[19]</sup>。因富含氮、磷、鉀等作物所需養分，可利用堆肥化方式轉成肥料或土壤改良劑進行再利用。

所謂「堆肥」(compost)，是指將有機物質堆積，並使微生物在其中繁殖、新陳代謝因而消耗生質能源後，所得之殘留物，這些殘留物包括菌體、二次代謝產物及未分解轉化的資材，而這個過程則稱為「堆肥化」(composting)<sup>[20]</sup>。

有利的堆肥化條件創造，可以利用堆肥成品迴流當作接種菌源，是最方便的方法。堆肥化過程中須維持微生物代謝熱蓄積一段時間，以利

於嗜熱性微生物的作用，有助於滅除病蟲害和雜草種子<sup>[21]</sup>。

我國推動廚餘堆肥作業有不同的型態，有小規模（在家進行在場堆肥）、中規模（經由社區進行統一堆肥）或大規模（區域統一收集後集中堆肥）進行。在技術與原理上，廚餘堆肥已有豐富於農業堆肥之經驗，但在原料種類、性質、收集過程及處理方式上尚有改善及發展的空間<sup>[22]</sup>。

### 2-3-3 廚餘回收之效益<sup>[23]</sup>

在一般垃圾中，廚餘約佔一般垃圾成份之 20~30% 左右，如經分、回收、再利用，不但可延長掩埋場使用壽命、提高焚化爐效率，更能達到以下效益：

1. 可避免家中垃圾腐敗及孳生蚊蠅，改進環境衛生
2. 垃圾減量，降低廢棄物處理負荷，同時減少焚化廠及掩埋場之各項公害防治支出。
3. 在採隨袋徵收垃圾處理費之地區，將可因此減少家庭垃圾處理費的支出。
4. 可提供養豬業者節省飼料成本；轉換成有機肥，可改善土壤性質，增加農地的生產力以及綠化大地。
5. 可養成國人珍惜資源之良好習慣，創造資源永續發展的社會。

另外，根據文獻發現經由廚餘多元再利用各項工作之推動，估計 96 年～101 年廚餘回收量約介於 96 年之 56.60 萬公噸/年～101 年之 74.80 萬公噸/年。其中，養豬廚餘之回收量約 39.34～37.40 萬公噸/年(96~101 年)；堆肥廚餘之回收量約 16.41～35.53 萬公噸/年(96~101 年)；生質能源廚餘之回收量約 0 萬公噸/年～1.12 萬公噸/年(96~101 年)；其他再利用方式之廚餘回收量約 0.85 萬公噸/年～0.75 萬公噸/年(96~101 年)。預估 96 年～101 年廚餘全部約有 24.38 億～28.42 億之效益，詳如表 2-7。

表 2-7 廚餘回收之效益

效益 年	標售養豬		節省焚化處理費			間接效益		合計		
	百公噸	價格 億元	百公噸	單價 億元	百公噸	單價 億元	百公噸	單價 億元	-	
96	4620	400	1.85	6000	2500	15.00	4620	1630	7.53	24.38
97	4736	400	1.89	6400	2500	16.00	4736	1630	7.72	25.61
98	4725	400	1.89	6750	2500	16.88	4725	1630	7.70	26.47
99	4757	400	19.0	7100	2500	17.75	4757	1630	7.75	28.41
100	4768	400	1.91	7450	2500	18.63	4768	1630	7.77	28.30
101	4680	400	1.87	7800	2500	19.50	4680	1630	7.63	29.00

資料來源：[23]

## 2-4 廚餘桶裝堆肥化

### 2-4-1 堆肥厭氧醱酵原理

厭氧醱酵是利用厭氧性微生物，在缺氧的狀態之下，將有機物經過一連串之基質異化作用，先將大部分的複雜大分子有機物，水解成簡單的物質，微生物在藉著醱酵取得供給細胞生存的能量，最後轉化成二氧化碳、甲烷、氨氫、硫化氫等物質<sup>[24]</sup>。而厭氧醱酵以往都是用污泥做為原料，但近幾年來廚餘量大增，部分國家將污泥與廚餘或其他有機廢棄物共消化。此外，食品廢棄物、禽畜糞便等有機廢棄物亦可經由厭氧消化進行減量、穩定化或資源化<sup>[25]</sup>。

厭氧程序可以分為以下幾個步驟<sup>[26]</sup>：

#### 1. 水解階段（水解作用菌）：

有機廢棄物水解過程藉由水解菌分泌胞外酵素（**extra-cellular enzyme**），將不溶性大分子有機物轉換成小分子之溶解性有機物，例如多醣類變為單醣類和雙醣類，蛋白質藉細胞外蛋白酶的作用，讓蛋白質水解成胺基酸，脂肪則水解為甘油和長鏈脂肪酸等。

#### 2. 酸化作用（產酸作用菌）：

經過水解作用之後的產物，藉由酸化作用菌轉化成分子較小，且結構較簡單的揮發性有機酸、二氧化碳及氫等。酸化後之產物，除了含單碳化合物可以被甲烷生成菌直接利用之外，其他含多碳之醇類、脂肪類則需再

藉產氫乙酸生成菌及耗氫乙酸生成菌轉換成乙酸、二氧化碳及氫氣，才能被甲烷生成菌利用。

### 3. 甲烷化階段：

此階段是由厭氧甲烷生成菌將酸化階段產生之乙酸、氫氣、二氧化碳及其他單碳化合物（甲酸、甲醇）轉化成甲烷及二氧化碳等氣體。

#### 2-4-2 影響堆肥化之操作因子

堆肥化過程能否順利進行，可透過堆肥化過程的參數控制穩定堆肥醱酵製程，相關參數主要包含溫度、酸鹼值（pH）、含水率、碳氮比（C/N）、醱酵材，分述如下：

##### 1. 溫度

溫度主要影響微生物之活性及其分解效率，在堆肥化過程中所有微生物皆有最適合生長溫度，在適合溫度環境下之微生物具有較佳的分解效率<sup>[28]</sup>。若醱酵溫度高於 70°C 以上會殺死微生物或者降低活性<sup>[29]</sup>，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化時間。另外當反應槽溫度逐漸下降至室溫可視為檢測腐熟度的重要參考指標之一。

##### 2. 酸鹼值(pH)

微生物分解有機物乃利用其本身之酵素，而各種酵素有其最適之pH 值，在pH值6.0~7.5 之間，微生物酵素之活性最佳<sup>[30]</sup>。反應初期微生物分解有機

物質產生大量有機酸，使得 pH 值逐漸下降，等到反應進入高溫階段的同時，含氮有機物經微生物氨化及礦化作用水解成氨氮，使得 pH 值逐漸升高。

### 3. 含水率

堆肥含水率為堆肥過程中重要的操作指標<sup>[31]</sup>，肥堆含水率太高時將會持續滲出水並發出臭味；配合廚餘破碎機使用，可以調整廚餘尺寸降低廚餘的含水率，促使堆肥醱酵均勻而快速。製造堆肥最合適的含水分範圍約 55~65 %。太高的含水率有助於厭氣細菌生長，將使堆肥趨向厭氧發酵，而降低有機物質分解速率且不利於真菌、好氣性細菌及放射菌的生長，而真菌、好氣性細菌及放射菌是堆肥化過程中最主要的微生物，所以堆肥含水率太高不利於醱酵腐熟；此外，含水率過低亦不利於微生物的繁殖，會增加堆肥化過程所需要的時間，當堆肥含水率少於 45~50 % 會抑制生化反應速率，若含水率低於 12~15 % 時，微生物的活動將幾近於停止狀態<sup>[28、32、33]</sup>。

### 4. 碳氮比(C/N)

若將碳與氮比值太高之有機質直接施用於土壤中，初期會因為微生物與生物的大量生長繁殖，而造成土壤中可供作物吸收利用之營養分（氮素、磷素及鉀素）含量減少；相對的，尚有機物質碳與氮比值太低時，在堆肥化過程中會有大量氨氣揮發，而造成了氮素的損失，同時也會有堆肥化時

程延長及臭味污染之問題產生。一般堆肥材料最適宜的碳與氮的比值應調整為 30 較有利於醱酵<sup>[34]</sup>，若能經由堆肥化的過程將碳氮比降至 20 左右，才較適合作物的生長<sup>[35]</sup>。

## 5. 副資材

堆肥原料本身碳氮比通常較低，因此進行堆肥化之過程中必須選擇適合之副資材，將其調整為微生物生長較佳的碳氮比。且副資材也會影響堆肥中之含水率、孔隙率等；副資材含高有機質，施用到土壤後可增加微生物生質碳、呼吸作用和土壤微生物的活性<sup>[36]</sup>。常見之副資材如稻殼、樹皮、木屑等等，且副資材之選用必需考量到經濟性及易取得性。

### 2-4-3 堆肥腐熟判定指標

所謂腐熟，係指堆肥原料以堆肥化方式，藉由微生物的分解作用而呈穩定化的狀態<sup>[37]</sup>。施用經過穩定化作用後之堆肥，對土壤和農作物不會產生不良的影響，並且具有增加或維持土地肥沃性、提高農作物生產力等功能<sup>[38]</sup>。然而，『腐熟度』所指的是，堆肥實際上不同的腐熟程度，如未熟、半熟、完熟等不同的腐熟度，且堆肥腐熟與否對於作物生長與環境衛生具有舉足輕重的影響，施用未腐熟的有機物，容易造成土壤過度還原性及釋出毒性物質等問題產生<sup>[32]</sup>。一般而言，堆肥腐熟度之判定方法有下列幾種簡易的方法：<sup>[39、40、41]</sup>。

## 1. 堆肥溫度變化

堆肥在醱酵過程中，數天內溫度將急遽上升達到 70~80 °C 的高溫期，溫度在持續一段時間之後會緩慢的下降，此時，進行翻堆供給肥堆氧氣，堆肥溫度會再度的上升，如此反覆幾次之後，堆肥溫度則不再上升，會逐漸降溫至常溫的狀態，當再次進行翻堆堆肥溫度也不會再上升，則可認定為完全腐熟的堆肥。

## 2. 觀察有機質肥料外觀顏色與味道

腐熟的堆肥，外觀顏色為深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，味道為泥土味至芳香味，不能有酸敗臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。而發酵不良，品質不好的堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。

## 3. 種子發芽率：

取 5g 風乾的堆肥置於三角錐瓶中，加入 100 mL 的水製成濃度 5 % 之萃取液，放置於 80 °C 的恆溫箱中振盪 1 小時，冷卻後用紗布和濾紙過濾萃取液。觀察堆肥萃取液對於培養皿的白菜種子發芽率，可判斷堆肥是否完熟。當發芽率 80 % 以上，且根的生長不受抑制，則該堆肥可視為已達腐熟程度。

## 4. 濾紙擴散顯圖測定法<sup>[41]</sup>

濾紙先以 0.5 % 硝酸銀 ( $\text{AgNO}_3$ ) 溶液浸泡，烘乾待用。稱 5 g 堆肥，加入 50 mL 的 1 % 氫氧化鈉 ( $\text{NaOH}$ )，振盪 5 小時後，以 3000 rpm 轉速

離心，用棉花蕊心浸沾上澄液，露點於濾紙中央，依在濾紙上擴散顯圖的形狀及顏色，比照詳表 2-8 所列的資料，可判斷堆肥是否為腐熟。

表 2-8 堆肥樣品萃取液點於濾紙上，擴散顯圖之形狀與顏色

位置	新鮮堆肥	腐熟堆肥
擴散圖中央	顏色為白色至粉紅色	顏色為紅色至紫色
擴散圖中間帶	形狀為環狀	形狀為不規則狀
擴散圖邊緣	邊緣非鋸齒狀	邊緣為鋸齒狀

#### 5. 有機質殘存率判定

堆肥化反應過程，是透過有機質的分解腐熟而呈現穩定，使堆肥中的灰分比例增加、碳素減少以致碳氮比下降，因此，測定有機質殘存率時，有機質因堆肥過程中受到分解而減少含量，再經一段期間後，則呈穩定不變。若有機質殘存率呈現穩定而不再有變化時，可以判定為完熟堆肥。一般而言，腐熟堆肥的碳氮比大多低於 20 (但樹皮堆肥的比值可能大於 20)，有機質含量則可達 60 % 以上。

#### 6. pH 值判定

係將堆肥樣品與純水以 1:5 混合均勻後檢測液相 pH，腐熟堆肥的 pH 值一般接近中性，但亦會因製作堆肥材料及方法不同而有所差異。若堆肥的 pH 值小於 6.0 時，此種堆肥可能是在兼氣性條件下進行醱酵的結果，屬

於品質不好的堆肥。

## 7. 導電度 (E.C.)

堆肥種類不一樣，電導度的測值（堆肥樣品與純水以 1:5 混合均勻）則差異很大，故無法以電導度的高低來判定堆肥品質的好壞。然而，根據文獻指出<sup>[42]</sup>，當導電度大於 4 dS/m 時，將會使作物吸水困難而凋萎、灑播之種子不發芽等影響，因此當導電度值太高時，應先稀釋後再施用，避免抑制作物生長；一般而言，電導度低的堆肥，比較適合做為作物的栽培介質使用，電導度高的堆肥則必需先和土壤或其他低電導度的材質（如蛭石，泥炭土等）混合攪拌均勻後，才能當做栽培介質使用。

### 2-4-4 堆肥之應用效益

適當施用品質良好的堆肥，不但可供給作物養分，尚可改善土壤的化學、物理及生物性質，且能增強地力、提高作物穩定的收成。一般施用堆肥功效說明如下<sup>[43]</sup>：

#### 1. 供給養分

堆肥不僅含有氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等多量養分要素，也含有鐵、錳、銅、鋅等微量元素，故成為作物總合性的養分供給源。若與化學肥料比較，則會有很大的區別，主要在於有機肥之肥效為緩效性，在連續使用時，可有累積的效果，即堆肥中有機物土壤中慢慢分解而放出養分，如果在前期農作間未能分解而殘留的有機物，在次期農作或翌年可繼續分解供

給養分，因此，未分解之有機物蓄積土壤中，會逐漸累積以增加土壤養分之供給力。

## 2. 改善土壤化學性

- (1) 土壤有機質：一般堆肥施入土壤，經微生物分解便轉換為土壤有機質。
- (2) 土壤 pH 值：土壤有機質所含的化學官能基，除了羧基屬於酸性，pH 值約在 4.0 左右，其餘如酚或醇等官能基都高過 pH 7.0，因此施用堆肥可使土壤 pH 值趨於中性，即能提高酸性土壤的 pH 值，亦能降低鹼性土壤的 pH 值。
- (3) 土壤陽離子交換能力 (C.E.C)：土壤陽離子交換能力，決定土壤對陽離子態養分的保肥力，C.E.C 愈大則土壤保肥力也愈大，一般有機質含量高的土壤，其 C.E.C 也愈大，因此，施用堆肥可以增加土壤 C.E.C，保肥力也較好。
- (4) 土壤螯合作用：由於有機質含有許多化學官能基，故具有所謂的「螯合作用」，包括抑制活性鋁、防止鋁毒害、防止磷的固定、增加磷的有效性，所以施用堆肥有促進土壤鉗合作用的功能。
- (5) 土壤緩衝能力：所謂土壤緩衝能力，主要在於防止土壤環境因子變化過劇，例如 pH 值、離子濃度等，進而維護農作物根系環境的穩定性，所以施用堆肥，不僅能增加土壤有機質，亦能促進土

壤緩衝能力。

### 3. 改善土壤物理性

- (1) 改善土壤結構：堆肥分解所釋出的有機質，為帶有各種官能基和正負電荷的長鏈化合物，此化合物可促使有機及無機膠體和土粒結合成粒團。長期施用堆肥可促進土壤粒團的形成、穩定土壤結構、增進土壤的導水性及通氣狀況。
- (2) 土壤水分：土壤中有機質的保水力比土壤中的無機質的保水力強，長期施用堆肥可增加土壤有機質含量、提高土壤中含水量，更重要者為可提高土壤有效水的含量，而有利作物生長。
- (3) 土壤氧氣：適量施用堆肥，有利於土壤通氣物的改善，促進作物生長；然而，若有機堆肥一次施用過度且堆肥品質不良，則會造成微生物活動過度而消耗過量的氧氣，致使土壤中的含氧能力不佳，不利作物生長。
- (4) 土壤沖蝕：土壤有機質含量高，粒團穩定，降雨時土團不易被沖散，亦不致使土壤表層產生硬殼，故有利於雨水入滲，減少水的逕流及減少因土壤沖蝕而降低土壤肥力或污染源的機率。
- (5) 土壤強度：施用堆肥可增加土壤有機質含量，促進土壤之粒團形成及結構穩定性，減低土壤總體密度及土壤強度，有利作物根系的發展及機械耕作。

#### 4. 土壤生物相及其活性之維持與增進

有機堆肥含有極豐富且複雜的成分，施用於長期耕作的農田中，可以豐富土壤生物相，且施用品質優良的堆肥，亦使生物相趨向安定，進而促進土壤中物質循環能，若干生育阻害物質也較易被分解去除。另外，有機堆肥的使用，亦可以增強生物的緩衝能力，防止有害生物（病菌、害蟲）之突發增殖。

#### 2-4-5 廚餘桶裝堆肥實例介紹

##### 1. 臺中市螞蟻雄兵廚餘堆肥化示範計畫<sup>[44]</sup>

有鑑於廚餘回收再利用之重要性，臺中市環保局自八十七年即大力推動廚餘回收再利用之工作，並於九十一年七月開始實施廚餘強制回收制度，至今已達成顯著性的垃圾減量之效益。現階段廚餘再利用方式是以養豬為主，廚餘資源化之方式宜朝多元化方向發展，以避免因單一方式產生問題造成後續處理之困難，將廚餘利用堆肥化處理製作成有機肥料，是一良好之再利用方式。臺中市自九十三年五月開始推動螞蟻雄兵廚餘堆肥化工作，推動至今每月廚餘回收量已達 105 公噸，並且建立一套廚餘桶式的標準作業程序，讓民眾更加瞭解廚餘再利用之方法與配合方式。

螞蟻雄兵廚餘堆肥化示範計畫統計至96 年7 月，已成功推動施作廚餘堆肥之自主性堆肥單位計有66 個單位，包括25 個社區、10 所學校及31 處機關團體等。廚餘資源化之一的廚餘堆肥成品，在成分檢測結果顯示，利

用生廚餘進行堆肥處理，其所產生的有機肥在成分上是可符合雜項堆肥之品質標準，因此應無養分不足之疑慮。其生廚餘及堆肥成品的成分分析結果如表2-9、2-10及2-11所示。發現在成品部份，針對三個社區單位進行成品分析，結果顯示在含水率(社區組、后庄里)、有機質(學校組)及C/N(后庄里)均有社區無法達到雜項堆肥標準，顯示桶裝堆肥仍需進一步探討。

表2-9 螞蟻雄兵生廚餘之成分分析結果

日期	pH	電導度 (dS/m)	有機質 (%)	水分 (%)	碳氮比	氮 (%)	磷 (%)	鉀 (%)	
93.09	社區組	4.80	7.30	95.40	83.40	-	2.29	0.85	2.06
	學校組	6.40	12.30	78.40	82.50	-	3.30	0.97	3.98
	后庄里	5.30	11.20	88.20	88.30	-	2.86	1.12	3.88
93.11	社區組	5.60	6.06	82.00	52.60	-	2.48	0.54	1.92
	學校組	4.90	14.60	85.10	93.00	-	3.18	0.94	3.82
	后庄里	5.70	11.30	82.50	92.10	-	4.30	1.26	3.34
94.01	社區組	5.20	6.20	84.00	83.00	20.00	2.39	0.54	1.81
	學校組	5.70	16.00	80.00	94.00	12.00	3.75	1.56	5.57
	后庄里	5.00	9.70	90.00	90.00	16.00	3.21	1.20	3.33
備註			乾基		乾基	乾基	乾基	乾基	

表 2-10 螞蟻雄兵堆肥成品之成分分析結果

日期	pH	電導度 (dS/m)	有機質 (%)	水分 (%)	碳氮比	氮 (%)	磷 (%)	鉀 (%)	
94/1	社區組	7.50	6.60	67.00	20.00	18.00	2.14	2.37	2.41
	學校組	7.30	0.82	48.00	14.00	12.00	2.26	4.73	1.86
	后庄里	7.00	3.50	74.00	50.00	23.00	1.86	1.39	1.47
94/3	社區組	7.70	5.60	73.00	48.00	-----	1.95	1.78	1.68
	學校組	7.70	4.40	47.00	14.00	-----	2.29	4.06	1.73
	后庄里	7.90	7.10	67.00	50.00	-----	2.03	2.01	2.19
94/5	社區組	6.90	5.30	80.30	43.00	27.00	1.70	1.10	1.40
	學校組	7.90	2.70	44.90	19.90	12.00	2.10	4.30	1.60
	后庄里	6.90	5.20	78.50	42.80	25.00	1.80	1.10	1.40
雜項堆肥標準	5.0~9.0		50 以上	40 以下	10~20	0.6~3.0	0.3~5.0	0.3~4.0	

表 2-11 螞蟻雄兵堆肥成品與醱酵材之重金屬分析結果

日期	鎘Cd (mg/kg)	鉻Cr (mg/kg)	銅Cu (mg/kg)	鎳Ni (mg/kg)	鉛Pb (mg/kg)	鋅Zn (mg/kg)	砷As (mg/kg)	汞Hg (mg/kg)	
堆肥 成品	94/1 社區組	0.83	35.00	25.00	19.00	6.90	153.00	0.67	<0.001
	94/1 學校組	2.61	54.00	38.00	28.00	12.00	156.00	2.64	<0.001
	后庄里	0.73	36.00	20.00	19.00	6.50	114.00	0.51	<0.001
	94/5 社區組	1.40	30.00	13.00	15.00	4.20	72.00	0.86	0.04
	94/5 學校組	3.50	63.00	30.00	23.00	15.00	143.00	3.20	0.05
	后庄里	1.40	30.00	13.00	15.00	4.20	76.00	0.72	0.02
醱酵 材	93/9 調整材	0.74	36.20	5.81	21.80	0.96	28.70	0.85	< 0.001
	植種	0.92	34.70	15.80	13.50	4.13	86.20	1.00	< 0.001
雜項堆肥標準	<2	<150	<100	<25	<150	<250	<25	<1	

## 2. 臺南市「機不可失-社區廚餘堆肥再利用」<sup>[45]</sup>

為強化並推廣社區民眾自主性的進行廚餘回收及資源再生的工作，落實『社區垃圾零廢棄，廚餘回收變黃金』的理念，臺南市於民國 96 年 9 月開始推動「機不可失-社區廚餘堆肥再利用」計畫，推廣社區以生廚餘（未經烹煮之菜葉類、果皮、果殼、果核、茶葉渣、咖啡渣、種籽等）製作廚餘堆肥。並嘗試尋找不同植種、評估醱酵層與廚餘層之最佳比例、建立家庭小量廚餘堆肥操作方法、家庭堆肥問題之輔導及解決、固肥及液肥之利用、協助腐熟堆肥熟成空間不足之問題、積極改善堆肥技術以提升堆肥品質等多種方式，以達到廚餘堆肥化再利用政策之施行。

為了解社區廚餘堆肥再利用產品品質，臺南市分別對參與計畫之社區單位進行堆肥成品採樣分析。臺南市截至 97 年底統計結果顯示，參與家戶廚餘堆肥工作的單位計有 100 個社區及 464 個家戶，其生廚餘進料及堆肥成品成分分析如表 2-12 及 2-13 所示。發現仍有社區在雜項堆肥規範中無法達到應有的營養肥分(表 2-13 之磷含量)

表 2-12 機不可失堆肥進料之成分分析結果

	水分 (%)	灰分 (%)	可然分 (%)	碳 (%)	氫 (%)	氧 (%)	氮 (%)	硫 (%)	氯 (%)	C/N
忠孝里 廚餘	78.70	0.75	20.55	10.79	0.78	8.07	0.86	0.04	0.008	13
忠孝里 植種	19.63	24.75	55.62	28.24	2.83	22.29	2.04	0.15	0.07	14
忠孝里 粗糠	10.10	9.79	80.11	39.82	4.19	35.72	0.30	0.05	0.03	133
鳳凰里 廚餘	90.09	0.79	9.12	4.31	0.58	3.91	0.26	0.04	0.02	17
鳳凰里 植種	51.43	2.61	45.96	24.16	2.70	18.56	0.40	0.04	0.10	60
鳳凰里 木屑	19.05	0.23	80.72	41.12	4.93	34.55	0.03	0.07	0.02	1371
明亮里 廚餘	88.91	0.69	10.40	5.24	0.68	4.24	0.19	0.02	0.03	28
明亮里 植種	25.12	21.94	52.94	29.52	3.43	17.71	2.08	0.13	0.07	14
明亮里 粗糠	12.50	10.18	77.32	39.48	4.07	33.35	0.29	0.05	0.08	136

表2-13 機不可失堆肥成品之成分分析結果

樣品名稱	含水率 (%)	pH	導電度 (dS/m)	鹽度 (%)	碳氮比	氮 (%)	磷 (%)	鉀 (%)
忠孝里	7.47	8.21	1.24	0.4	12	3.34	0.25	1.01
鳳凰里	17.93	7.97	3.06	1.5	30	1.41	0.28	1.25
明亮里	15.42	7.02	8.20	4.6	15	2.34	0.18	1.71
農委會雜項 堆肥規範	<40	6~9	<4	-	10~20	0.6~3.0	0.3~5.0	0.3~4.0

### 3. 臺南市推動廚餘、落葉堆肥整體管理計畫<sup>[46]</sup>

為強化源頭減量工作，落實廚餘及落葉堆肥等相關工作，減輕垃圾處理之負荷，臺南市於民國 99 年開始推動「臺南市推動廚餘、落葉堆肥整體管理計畫」，推廣社區/校園以生廚餘及落葉製作廚餘、落葉堆肥。

根據文獻統計發現臺南市自 97 年截至 99 年底，共計有 198 個里/社區/農戶參與廚餘堆肥再利用工作，操作桶數共計 970 桶；在以家戶為單位參與廚餘堆肥再利用工作數計有 848 個家戶，操作桶數 848 桶；而以學校為單位參與廚餘堆肥再利用工作數計有 19 個學校，操作桶數 67 桶。由上述情況可說明，社區、單位及民眾數接受度及參與數逐年提昇，顯示臺南市在推動廚餘堆肥再利用工作上成果頗為豐碩，各行政區參與廚餘堆肥工作之里/社區/農戶、家戶及學校等資料詳如表 2-14~2-16 所示。

表 2-14 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之社區(含里、農戶)數量統計

年度	97		98		98 成長率(%)		99		99 成長率(%)	
區別	社區	(桶數)	社區	(桶數)	社區	(桶數)	社區	(桶數)	社區	(桶數)
東區	23	(79)	41	(282)	78.3	(257)	51	(298)	24.4	(5.7)
中西區	3	(15)	3	(15)	0	(0)	19	(36)	533	(140)
南區	18	(86)	19	(256)	5.6	(198)	25	(295)	31.6	(15.2)
北區	8	(30)	13	(52)	62.5	(73.3)	14	(98)	7.7	(88.5)
安平區	15	(19)	6	(18)	-60	(-5.3)	7	(48)	16.7	(167)
安南區	34	(63)	54	(104)	58.8	(65.1)	82	(195)	51.9	(87.5)
共計	101	(292)	136	(727)	34.7	(149)	198	(970)	45.6	(33.4)

表 2-15 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之家戶數量統計

年度	97	98	98 成長率(%)	99	99 成長率(%)
區別	家戶(數)	家戶(數)		家戶(數)	
東區	56	120	114	150	25.0
中西區	61	62	1.6	115	85.5
安平區	165	218	32.1	280	28.4
南區	92	67	-27.2	79	17.9
北區	88	77	-12.5	224	191
共計	462	544	17.7	848	55.9

表 2-16 臺南市歷年參與廚餘堆肥工作之學校數量統計

年度	97	98	98 成長率(%)	99	99 成長率(%)
區別	學校 (桶數)	學校 (桶數)	學校 (桶數)	學校 (桶數)	學校 (桶數)
東區	3 (9)	3 (9)		3 (9)	
中西區	4 (12)	4 (15)		4 (15)	
南區	1 (3)	1 (3)		1 (3)	
北區	3 (9)	3 (9)	0 (4.8)	3 (9)	
安平區	2 (11)	2 (11)		2 (10)	
安南區	6 (18)	6 (18)		6 (21)	
共計	19 (62)	19 (65)		19 (67)	0 (3.1)

該計畫分別於參與推動工作之社區/單位，進行廚餘堆肥化前進料、固態成品及液態成品採樣分析工作，其分析結果詳如表 2-17~2-19。發現社區民眾參照堆肥手冊進行廚餘桶裝堆肥化作業，其成品品質不盡相同，經過該計畫後續調查分析結果顯示，社區民眾在進料、堆疊方式、液肥使用及不同配比的操作下，都有明顯之差別，其原因尚有探討之空間。

表 2-17 社區/單位廚餘堆肥前進料之成分分析

採樣日期		99/9/18	99/9/28	99/10/6	99/10/14	99/11/30	99/9/18	99/9/18
樣品名稱		金華 社區	郡南 社區	忠孝 社區	松安 社區	崇學國 小志工 團	木屑	菌種
分析項目 (單位)		檢測值						
濕 基	水分 (%)	90.2	85.3	53.4	88.9	88.1	28.4	23.7
	pH -	6.3	6.0	5.8	4.1	6.2	8.6	7.9
	導電度 (dS/m)	0.7	2.6	1.6	0.4	0.7	0.8	1.2
乾 基	全碳 (%)	44.3	29.9	43.4	41.4	46.0	42.0	31.3
	全氮 (%)	2.96	3.34	3.59	1.91	2.26	0.33	2.17
	碳氮比 -	15	9	12	22	20	127	14



表 2-18 社區/單位之廚餘堆肥固態成品成分分析結果

採樣日期		100/1/19	100/1/25	100/1/25	100/1/25	100/3/7	農委會 農糧署 雜項堆 肥規範
樣品名稱		金華 社區	郡南 社區	忠孝 社區	松安 社區	崇學國 小志工 團	
分析項目 (單位)		檢測值					
濕 基	水分 (%)	36.2	30.4	32.4	34.6	21.5	40.0 以下
	pH -	7.1	7.5	7.5	7.2	6.8	5.0~9.0
	導電度 (dS/m)	0.4	0.7	0.6	0.7	0.6	-
	種子發芽率 (%)	98.3	96.7	98.3	96.7	96.7	-
乾 基	有機質 (%)	74.6	70.9	86.4	70.6	74.2	50.0 以上
	全碳 (%)	37.2	34.0	41.6	32.7	34.6	-
	全氮 (%)	2.52	2.38	3.31	2.62	2.43	0.6~5.0
	碳氮比 (C/N) -	15	14	13	13	14	10~20
	全磷酐 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.66	0.58	1.49	0.56	0.59	0.3~6.0
	全氧化鉀 K <sub>2</sub> O (%)	1.71	1.39	1.23	1.21	1.30	0.3~4.0

表 2-19 社區/單位之廚餘堆肥液態成品成分分析結果

採樣日期	100/1/19	100/1/25	100/1/25	100/1/25	100/3/7	農委會農糧署 雜項堆肥規範
樣品名稱	金華 社區	郡南 社區	忠孝 社區	松安 社區	崇學 國小	
分析項目 (單位)	檢測值					
pH -	4.8	4.6	3.7	5.2	8.0	4.0~9.0
導電度 (dS/m)	12.2	17.1	13.4	16.1	15.3	-
種子發芽率 (%)	96.7	98.4	93.3	86.7	98.4	-
有機氮 (mg/kg)	38	48	144	164	48	應登記數值
全氮 (%)	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	全氮、全磷酐及全氧 化鉀合計量應在 5.0~10.0%，或個別 含量 0.2% 以上。
全磷酐 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.05	0.03	0.36	0.12	0.05	
全氧化鉀 K <sub>2</sub> O (%)	0.17	0.24	0.23	0.28	0.21	

## 2-5 廚餘回收再利用、堆肥化及產品管理規定

依據行政院環境保護署之規定，廚餘用於回收再利用、堆肥化施用於農地及肥料產品種類品目及規格均需依照管理規定之法規，其相關規定說明如下。

### 2-5-1 廚餘再利用管理方式

行政院環境保護署於92年04月24日（環署廢字第0920029765號），依據一般廢棄物回收清除處理辦法第三十四條第一項，規範廚餘再利用管理方式，詳細管理方式如下<sup>[47]</sup>：

- 一、一般廢棄物來源：家戶及非事業所產生廚餘。
- 二、再利用用途：有機質肥料、培養土、土壤改良之原料及動物飼料。
- 三、再利用機構：

(一) 政府機關或合法登記有案之農工商廠(場)；其取得公民營廢棄物清理、處理許可證者，執行機關得依廢棄物清理法第十四條第二項前段規定報經上級主管機關核准後據以辦理；未取得公民營廢棄物清理、處理許可證者，執行機關應依同法第二項後段規定依報經中央主管機關核准之方式據以辦理。

(二) 再利用之主要產品為有機肥料、培養土、土壤改良或其他相關產品。但再利用於動物飼料者，不在此限。

(三) 再利用作為有機質肥料原料者，再利用機構必須依據肥料管理法及相關法規取得農業主管機關核發之肥料登記證。

(四) 再利用於培養土原料及土壤改良者，應依一般廢棄物回收清除處理辦法第二十六條之規定辦理。政府機關依前述用途進行再利用，以自行使用為原則。

(五) 再利用於動物飼料者，再利用機構應具有高溫蒸煮設備、動物防疫措施及相關設施。高溫蒸煮時應持續攪拌，並維持中心溫度 90 °C 以上，蒸煮至少一小時以上。

四、再利用前貯存清除應符合一般廢棄物回收清除處理辦法之規定。

五、再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關法規規定辦理。

- 六、再利用機構應按季將再利用廚餘之來源、數量、再利用用途等紀錄及剩餘廢棄物處置證明文件，報廚餘產生及再利用所在地之地方主管機關備查，並自行妥善保存該等紀錄文件三年供查核。
- 七、再利用用途之產品應符合國家標準或該產品之相關使用規定。

#### 2-5-2 廚餘堆肥化管理規定

行政院環境保護署於 96 年 05 月 28 日（環署廢字第 0960039124 號），依據一般廢棄物回收清除處理辦法第二條專用名詞定義，廚餘：指丟棄之生、熟食物及其殘渣或有機性廢棄物，並經主管機關公告之一般廢棄物。有關廚餘堆肥化管理規定說明如下<sup>[47]</sup>：

第十九條 一般廢棄物之處理設施，應符合下列規定：

- 一、具堅固之基礎結構。
- 二、設施與廢棄物接觸之表面採抗蝕材料構築。
- 三、周圍具防止地表水流入之設備。
- 四、具污染防治設備及防蝕措施。
- 五、其他經主管機關規定者。

第二十六條 一般廢棄物採堆肥處理者，各項設施除應符合第十九條規定，並應符合下列規定：

- 一、具防止地表水流入醱酵及腐熟之設備或措施。

- 二、施用農地之堆肥，除高速堆肥外，醱酵過程中，醱酵堆中心溫度應維持在攝氏四十五度至七十度間及最少七天維持攝氏五十度以上，並符合肥料管理法之規定。
- 三、堆肥供作土壤改良或園藝植物栽培使用時，應防止造成土壤或地下水之污染，並得不受前款規定之限制。

### 2-5-3 廚餘堆肥產品管理規定

行政院農業委員會農糧署於101年01月20日（農糧字第1011052202號），依據肥料管理法第四條規定，公告修正「肥料種類品目及規格」，其中堆肥成品以廚餘作為堆肥原料者應屬於雜項堆肥（編號5-11）之品目，詳細標準包括成分及限制說明如下<sup>[48]</sup>：

- 一、 雜項堆肥規範(品目編號5-11)
  1. 適用範圍：以植物渣粕、動物廢渣、魚廢物、副產動物質、副產植物質、廚餘或事業廢棄物等為原料，經過翻堆、醱酵腐熟、調配成分、堆置風乾等程序所製成之堆肥。
  2. 性狀：固態。
  3. 成分：
    - 3.1 主成分：
      - 3.1.1 有機質 50.0 % 以上。

3.1.2 全氮 0.6 % 以上，5.0 % 以下；全磷酐 0.3 % 以上，6.0 % 以下；全氧化鉀 0.3 % 以上，4.0 % 以下。

3.2 有害成分：砷不得超過 25.0 mg/kg，鎘不得超過 2.0 mg/kg，鉻不得超過 150 mg/kg，銅不得超過 100 mg/kg，汞不得超過 1.0 mg/kg，鎳不得超過 25.0 mg/kg，鉛不得超過 150 mg/kg，鋅不得超過 500 mg/kg。

#### 4. 限制事項：

4.1 不得混入化學肥料或礦物。

4.2 水分 40.0 % 以下。

4.3 pH 值 5.0 以上，9.0 以下，並應標示 pH 值。

4.4 碳氮比 10 以上，20 以下。

4.5 以廚餘為原料者，應登記本品目，且鈉不得超過 4.0 %，氯不得超過 6.0 %。

4.6 利用或添加事業廢棄物為原料，應依「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條規定辦理。

#### 5. 應檢驗項目：

5.1 全氮、全磷酐、全氧化鉀、有機質、砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、水分、pH 值、碳氮比。

5.2 利用或添加非屬「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條第 3 項規定

之事業廢棄物者，應辦理事業廢棄物成分檢驗及作物毒害試驗。

5.3 以廚餘為原料者，須檢驗鈉及氯。

## 二、 雜項有機液肥規範(品目編號 5-14)

1. 適用範圍：利用各種有機質材料，得添加水、化學肥料或礦物，經醱酵作用，混合調配而製成者。

2. 性狀：液態。

3. 成分：

3.1 主成分：

3.1.1 全氮、全磷酐及全氧化鉀合計量應在 1.0% 以上。

3.1.2 全氮、全磷酐、全氧化鉀個別含量 0.1% 以上，得登記之。

3.1.3 登記含硼者，水溶性硼應在 0.02% 以上。

3.1.4 水溶性氧化鈣 1.0% 以上；水溶性氧化鎂 1.0% 以上；水溶性錳 0.50% 以上，得登記之。

3.1.5 有機質含量應在全氮、全磷酐及全氧化鉀合計量以上，並應登記之。

3.2 有害成分：砷不得超過 10.0 mg/kg，鎘不得超過 0.6 mg/kg，鉻不得超過 30 mg/kg，銅不得超過 20 mg/kg，汞不得超過 0.2 mg/kg，鎳不得超過 10.0 mg/kg，鉛不得超過 30 mg/kg，鋅不得超過 160 mg/kg。

4. 限制事項：

4.1 不得混入污泥或廚餘。

4.2 不得混入非屬「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條第 3 項規定之事業廢棄物。

4.3 原液之 pH 值 4.0 以上，9.0 以下，並應標示 pH 值。

4.4 鈉不得超過 2.0%，氮不得超過 3.0%，且鈉和氮合計量不得超過全氮、全磷酐及全氧化鉀合計量。

4.5 登記含硼者，應於肥料包裝標示註明『超量施用有毒害，請依肥料使用方法及使用量施用』之警語。

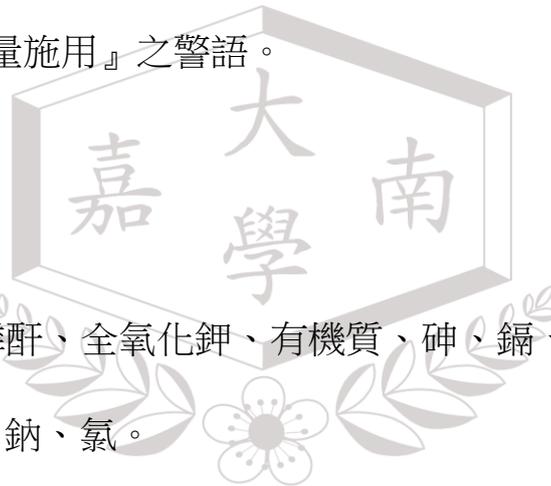
5. 檢驗項目：

5.1 應檢驗項目：

5.1.1 全氮、全磷酐、全氧化鉀、有機質、砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、pH 值、鈉、氮。

5.1.2 登記含硼者：水溶性硼。

5.2 得檢驗項目：水溶性氧化鈣、水溶性氧化鎂、水溶性錳。

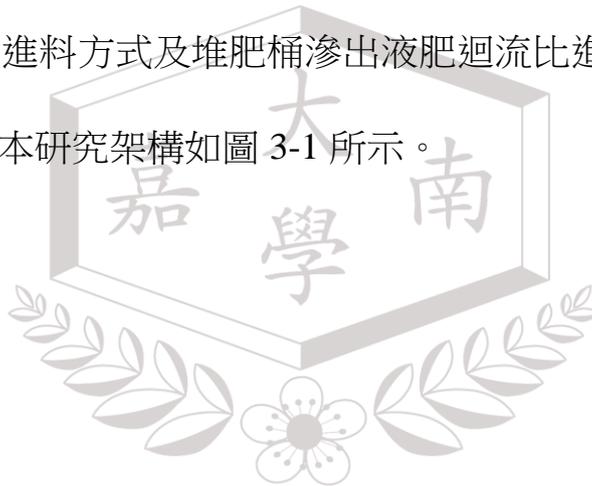


## 第三章 實驗方法及步驟

### 3-1 研究架構與流程

為能有效落實家戶廚餘回收再利用，臺南市政府環境保護局等執行機關自 96 年持續推動家戶/社區廚餘桶裝堆肥化處理之工作。然而，廚餘桶裝堆肥作業過程中之進料特性配比，堆肥化過程之溫度變動、不同特性菌種及滲出水產出質量與堆肥化成品之固液相特性等，尚缺乏完整之探討。

因此本研究主要探討家戶廚餘堆肥桶操作過程中，控制不同廚餘醱酵材、菌種醱酵材、進料方式及堆肥桶滲出液肥迴流比進行堆肥操作探討最適化之堆肥條件。本研究架構如圖 3-1 所示。



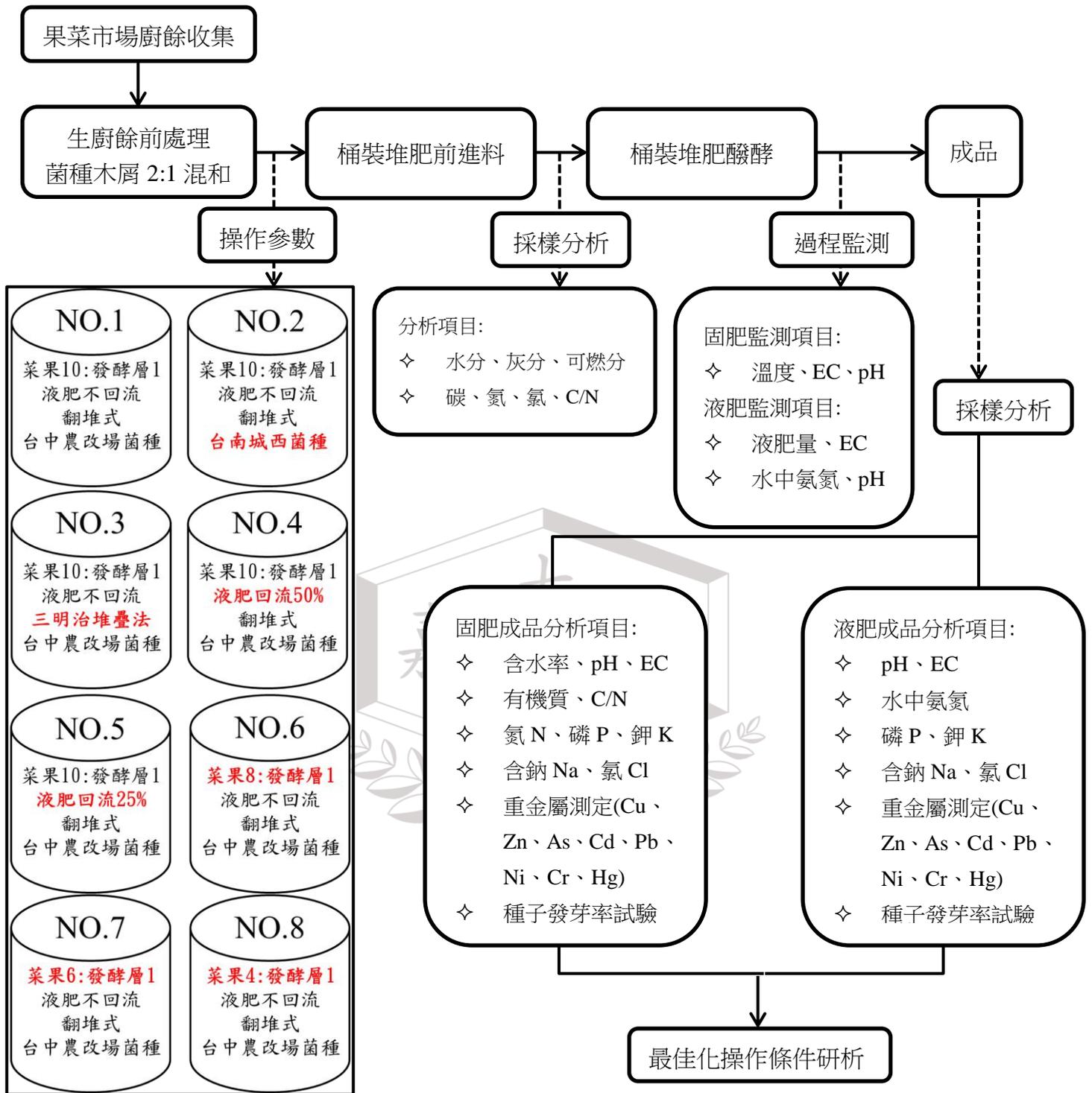


圖 3-1 研究架構圖

## 3-2 堆肥製作材料

### 3-2-1 廚餘

本研究使用之生廚餘為臺南市崇義市場產生之生廚餘，其中生廚餘進料主要為高麗菜葉、大白菜葉、水梨、香瓜及少部分鳳梨等。

考量粒徑若太大會造成堆肥成效不佳，而粒徑太小易造成供氣不足現象，故將全部的廚餘經過人工切碎後再進行堆肥，經由破碎後顆粒尺寸約為 2.5~7.5 公分，如下圖 3-2 所示。

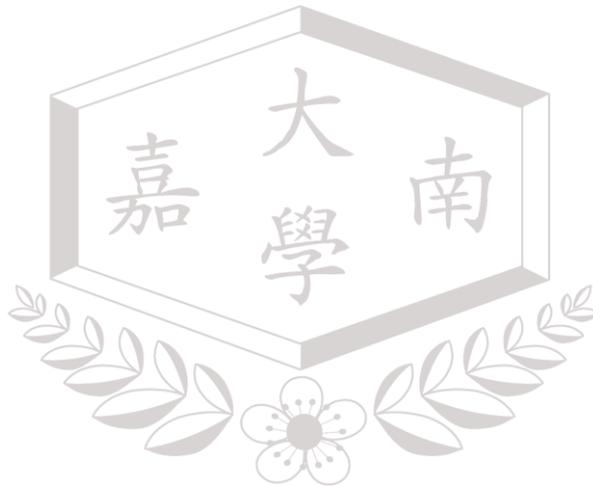




圖 3-2 本研究之生廚餘採樣及切碎過程

### 3-2-2 醱酵材

菌種部分則分為臺中區農業改良場研製出適用製作廚餘堆肥之菌種與臺南城西堆肥場中已經熟化之堆肥產品，木屑部份則採用市售木屑及臺南

市環境保護局巨大傢俱回收廠所回收木製廢棄物經破碎後混合而成。

添加醱酵材的主要功能為：(1) 孔隙支撐結構，增加透氣性；(2) 調整堆肥含水率；(3) 降低堆肥黏性；(4) 增加氧氣量的保有等作用；(5) 調整堆肥進料中之 C/N 比 (6) 調整產物之肥料元素組成。使用醱酵材調整堆肥後，可以使後續廚餘堆肥製程操作進行更為順利。

醱酵材添加比例係根據臺南市環境保護局生廚餘有機堆肥手冊內容建議數值，故將菌種及木屑以 2:1 比例混合如圖 3-3 所示。堆肥過程中添加菌種的主要目的在於縮短堆肥初期生物分解作用的遲滯期，使堆肥中的有機物質迅速地開始分解；其中的微生物相主要由自然界的好氧細菌、真菌及放射菌等所組成。



圖 3-3 本研究所使用之醱酵材

### 3-3 廚餘堆肥桶

本研究試驗之廚餘桶裝堆肥為與臺南市環境保護局目前推動社區廚

餘堆肥所相同之堆肥桶，其為 PE 材質，尺寸為內徑 30.5 公分、高 41 公分，其底部設計一濾網及排水閥，使廚餘滲出水可落至底部，並定期由排水閥排出，如圖 3-4 所示。



圖 3-4 本研究採用之廚餘桶裝堆肥

### 3-4 廚餘桶裝堆肥化流程

#### 1. 前置作業

- (1) 將生廚餘從果菜市場採樣後，即帶回實驗室分別將蔬菜與水果切碎至 2.5~7.5 公分，並將不適於堆肥物品剔除之。
- (2) 取切碎之生廚餘、木屑及菌種各 100g 做進料成分分析。分析項目包括含水率、有機質、pH、EC 及 C/N 等。
- (3) 預先將菌種與木屑混合，混合比例為 2:1。

#### 2. 本研究分為八種堆肥方式，編號為 NO.1~NO.8 區分之，廚餘桶裝堆肥操作參數說明詳表 3-1 所示。

- (1) 參考臺南市環保局宣導堆肥作業之方式:將生廚餘與醱酵材(木屑與菌種混合物)以分層之方式置入廚餘堆肥桶中，在堆置過程中以三明治方式堆置，每堆置約 5~10 公分的生廚餘，便配合鋪灑上一層約 1~2 公分的菌種混合物，待廚餘桶中堆置高度約達八分滿時進行封桶，封桶時最上層的醱酵層鋪灑 3~5 公分，以利覆蓋完全，並將堆肥桶加蓋密封俾利藉自然厭氧醱酵進行廚餘堆肥化、腐熟，於腐熟期間不得開啟桶蓋，持續反應 3 個月。各廚餘桶裝堆肥之進料組成詳表 3-2 所示。
- (2) 腐熟期間會有滲出液產生，定期(每週)於堆肥桶下方之出水口將其收集，並測量其產生量、pH、EC 及水中氨氮(每兩週)。

(3) 待醱酵 90 天完成後，即可將堆肥桶開啟，取桶中之固肥和醱酵完成後之液肥進行成品分析。固肥成品分析項目為含水率、pH、EC、C/N、有機質、Cl、Na、P、N 及 K；而液肥成品分析項目為 pH、EC、C/N、Cl、Na、P、N 及 K。

表 3-1 廚餘桶裝堆肥操作參數說明

組別	進料方式	使用菌種	液肥迴流(註)	堆肥配比(重量比)
NO.1	混堆式	臺中農改場菌種	否	廚餘 10 醱酵層 1
NO.2	混堆式	臺南城西熟堆肥	否	廚餘 10 醱酵層 1
NO.3	三明治堆疊	臺中農改場菌種	否	廚餘 10 醱酵層 1
NO.4	混堆式	臺中農改場菌種	50%	廚餘 10 醱酵層 1
NO.5	混堆式	臺中農改場菌種	25%	廚餘 10 醱酵層 1
NO.6	混堆式	臺中農改場菌種	否	廚餘 8 醱酵層 1
NO.7	混堆式	臺中農改場菌種	否	廚餘 6 醱酵層 1
NO.8	混堆式	臺中農改場菌種	否	廚餘 4 醱酵層 1

註:液肥迴流方式為採集時將當周累積量依迴流比由堆肥桶上方淋入堆肥桶內。

表 3-2 廚餘桶裝堆肥進料組成之重量

實驗組別	蔬菜(公斤)	水果(公斤)	木屑(公斤)	菌種(公斤)
NO.1	4.96	0.50	0.18	0.36
NO.2	4.96	0.50	0.18	0.36
NO.3	4.96	0.50	0.18	0.36
NO.4	4.96	0.50	0.18	0.36
NO.5	4.96	0.50	0.18	0.36
NO.6	4.85	0.48	0.22	0.44
NO.7	4.68	0.47	0.29	0.57
NO.8	4.36	0.44	0.40	0.80

### 3-5 堆肥化過程及產品監測與採樣分析

#### 3-5-1 樣品監測與採樣方法

##### 1. 生廚餘採樣分析

藉由進行廚餘桶裝堆肥化前置作業中，以人工方式進行混拌縮分，分別取得蔬菜、水果、木屑、臺中農改場菌種及臺南城西熟堆肥約 100~200g，進行樣品分析之前置作業(烘乾及破碎)，分析項目為水分、灰分、可燃分、碳、氮、氫及 C/N。

##### 2. 堆肥化過程監測及採樣分析

本研究在堆肥化作業過程中分別對固態及液態堆肥進行監測及採樣分析，藉以探討不同廚餘桶裝堆肥操作參數之過程變化及差異性，另，監測

項目及方法如下:

- (1) 固態堆肥:堆肥化過程中進行溫度監測，了解操作參數對堆肥醱酵反應有無影響性，並每 30 天針對固態堆肥進行取樣分析含水率、EC 及 pH，為避免取樣過多影響堆肥化反應，分別拌混稱取 5~10g 分析之。
- (2) 液態堆肥:本研究在堆肥化過程中每週進行液肥收集測量，並分析 EC 及 pH。另，每兩週進行液肥水中氨氮分析，探討不同操作參數之氨氮、液肥量、EC 及 pH 變化。

### 3. 堆肥成品之採樣方法

為了確保採集樣品能具代表性，經過 90 天醱酵反應期之固態樣品分別混拌後稱取 200~500g 進行樣品分析之前置作業，俾利後續進行樣品檢測分析。

液態樣品則取用每週收集並持續醱酵之混和液態樣品進行分析，其固、液態分析項目詳圖 3-1 研究架構圖所示。監測及分析過程如圖 3-5~3-8 所示。



圖 3-5 廚餘桶裝堆肥進料作業情形



圖 3-6 廚餘桶裝堆肥開桶作業情形

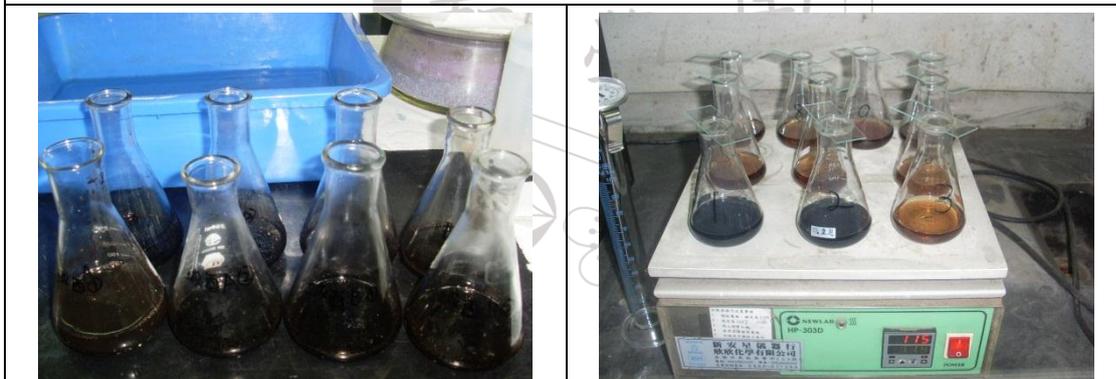


圖 3-7 廚餘桶裝堆肥分析作業情形

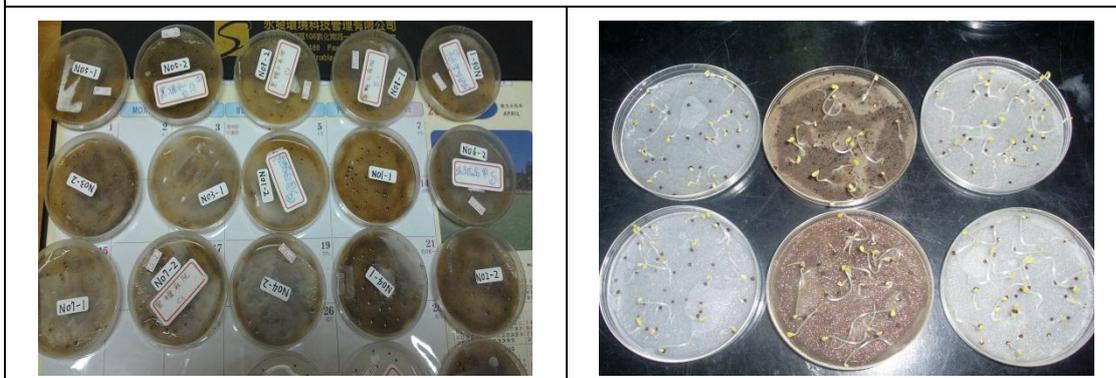


圖 3-8 廚餘桶裝堆肥種子發芽率作業情形

### 3-5-2 實驗設備與方法

在廚餘堆肥化過程中，從堆肥第一天開始追蹤各項物理及化學參數隨時間之變化，並追蹤至堆肥腐熟。監測之參數詳列如表 3-3 所示。

表 3-3 監測項目及方法

分析項目	儀器設備	標準方法編號
含水率	循環式烘箱	NIEA R213.20C
有機質	程控式高溫爐	乾灰化法
碳	元素分析儀	NIEA R409.21C
氮		
酸鹼值	數字式 pH 計	NIEA S410.62C
導電度	數字式度計	NIEA W203.51B
有機氯	硫氯分析儀	ASTM D5808
水中氨氮	分光光度計	NIEA W448.51B
磷	分光光度計	過氯酸消化法
鉀	感應耦合電漿原子發射	NIEA R317.10C
	光譜儀(ICP)	NIEA M104.01C
鈉	感應耦合電漿原子發射	NIEA R317.10C
重金屬	光譜儀(ICP)	NIEA M104.01C

#### 1. 含水率測定

秤取堆肥樣品  $100.0 \pm 0.2\text{g}$  ( $W_1$ )，置入 RHD-120H 循環式烘箱中，在烘箱內以  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  之溫度烘乾至恆重後，秤得其堆肥乾基重量 ( $W_2$ )，

再計算出堆肥樣品之含水率。其計算式如下：

$$\text{含水率 (\%)} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100 (\%)$$

## 2. 酸鹼值測定

秤取堆肥樣品  $20.0 \pm 0.2\text{g}$  於燒杯中，加入  $100\text{mL}$  之去離子水(1:5)，攪拌均勻後放入超音波震盪槽震盪 30 分鐘，完成後取出過濾將所得之濾液，使用 SUNTEX TS-1 pH Meter 進行測定再將其數值紀錄之。

## 3. 導電度測定(EC)

使用 Suntex Conductivity Metter，秤取堆肥樣品  $20.0 \pm 0.2\text{g}$  於燒杯中，加入  $100\text{mL}$  之去離子水(1:5)，攪拌均勻後放入超音波震盪槽震盪 30 分鐘，完成後取出過濾將所得之濾液，進行測定再將其數值紀錄之。

## 4. 碳氫氮硫測定

依據 NIEA R409.21C 分析方法，廢棄物中之 C、H、N、S 等元素在高溫純氧環境下燃燒後，產生  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_x$  及  $\text{SO}_2$  混合氣體，以 He 氣將燃燒後的混氣體帶送經過銅還原管處理後，將  $\text{NO}_x$  還原成  $\text{N}_2$ ，其他氣體進入各吸附管，依氣體吸附的特性，分別被不同的吸附管之填充物吸附。 $\text{N}_2$  直接由 He 氣帶入熱傳導偵檢器(Thermal conductivity detector, TCD) 檢測含量。吸附管依序以氣體不同脫附溫度加溫脫附  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  及  $\text{SO}_2$ ，

再分別依序引入 TCD 以檢測個別成分含量。信號經處理後定量運算，即可自動分別列計氮、碳、氫、硫之重量百分比。

使用元素分析儀 (**Elementar Vario EL III** 型)，進行下列分析步驟：

- (1) 取經前處理（破碎、球磨）後之堆肥樣品及標準品（sulphanilic acid）約 5mg，以 Tin Boat 包封妥當，再以微量天秤精稱其重後，置於自動進料設備。
- (2) 氧化管溫度 1150°C、還原管溫度 850°C、水分及二氧化碳吸收管脫附溫度分別為 150 及 110°C、助燃氧氣純度 99.995%（250mL/min）、攜帶氣體 He 純度 99.996%（200mL/min）。
- (3) 元素分析儀進行樣品測定前，先以標準品進行校正即測定迴歸檢量線多項式關係函數之係數。
- (4) 12~14 分鐘可完成一次分析週期。

## 5. 氮測定

根據 ASTM D5808 使用硫氮分析儀法測定。硫氮分析儀法(Mitsubishi, TOX-100, Japan)為活性碳吸附及微電量滴定(micro-coulometric titration)法，整個測定程序依據美國聯邦環保署之標準方法，藉電位滴定，經由滴定電量換算為氮重量，再與標準品之重量比較，測定儀器之吸收效率；然後分別秤取球磨後之垃圾樣品及以微量注射管量取 10  $\mu$ l 標準樣品—2-4 二硝基

氯苯溶液，置於進料設備，進行相關含氯量測定藉以評估以硫氯分析儀分析垃圾樣品之偏差及標準樣品之回收率。步驟如下：

- (1) 氯之分析操作條件：氧化管溫度 $950^{\circ}\text{C}$ 、水分吸收管脫附為硫酸(95%)、滴定電解液為醋酸鈉及醋酸配製而成、助燃氧氣純度99.995 % ( 250 mL/min)、攜帶氣體氫氣純度 99.996 % ( 200 mL/min)，進行分析。
- (2) 進行空白樣品空燒。
- (3) 樣品稱取0.05 mg 置入磁舟中，再推入硫氯分析儀燃燒。
- (4) 由儀器分析後得知硫或氯之含量百分率。

#### 6. 有機質、灰分測定

定量之經粉碎後廢棄物樣品置於  $550^{\circ}\text{C}$  高溫爐中灰化，冷卻後稱重求其殘餘重量，即為樣品之灰分。樣品之有機質通常不直接測定，而由樣品總量減去其水分和灰分而得之。

使用程控式高溫爐（Furnace A550 型），進行下列分析步驟：

- (1) 測試前將附有蓋子之坩鍋洗淨後，置於高溫爐中，以  $1200^{\circ}\text{C}$  空燒 30 分鐘。
- (2) 空燒後降低爐溫至  $300^{\circ}\text{C}$  時，將坩鍋移至乾燥器冷卻備用，使用前稱重。

- (3) 稱取適量之經粉碎後廢棄物樣品（粒徑 1mm 以下，精稱至 0.001g）約 5~10g ( $W_1$ ) 置於上述已秤重之坩鍋，先以  $105\pm 5^\circ\text{C}$  之溫度預熱 30 分鐘，再將溫度調至  $550\pm 50^\circ\text{C}$  燃燒 3 小時。
- (4) 降低爐溫至  $300^\circ\text{C}$  時，將坩鍋及樣品移入乾燥器中冷卻至室溫，以分析天秤秤得其重量 ( $W_2$ )。再計算出堆肥樣品之灰分。其計算式如下：

$$\text{乾基灰分 (\%)} = W_2 / W_1 \times 100 (\%)$$

$$\text{濕基灰分 (\%)} = \text{乾基灰分 (\%)} \times (100 - \text{水分}) / 100$$

樣品之有機質不直接測定，而由樣品總重量減去水分和灰分而得之。因本方法為由水分及灰分之含量間接求得，故可能造成水分及灰分測定時之干擾問題，均可能造成可燃分之正偏差或負偏差，應嚴加注意相關品管要求。

其計算式如下：

$$\text{有機質 (\%)} = 100 (\%) - \text{水分 (\%)} - \text{濕基灰分 (\%)}$$

## 7. 重金屬測定

前處理採用 NIEA R317.10C（事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法—微波輔助酸消化法），儀器分析方法採用 NIEA M104.01C（感應耦合電漿原子發射光譜法）的規定來執行樣品微波消化前處理，其步驟如下：

## 微波消化器

取 0.05g 之底渣樣品，置於微波消化管中，分別加入 2 mL 之  $\text{HNO}_3$ 、6mL 之  $\text{HCl}$  及 6mL 之  $\text{HBF}_4$ ，等待數分鐘使消化管內氣泡作用不再明顯後，將其置入微波消化器 (Milestone SK-10T) 進行微波消化，消化功率設定為 1000W 及 200 °C，消化時間為 30 分鐘，消化液經 0.45  $\mu\text{m}$  濾紙過濾後定量至 100mL，再以感應耦合電漿原子發射光譜儀進行重金屬銅(Cu)、鋅(Zn)、砷(As)、鎘(Cd)、鉛(Pb)、鎳(Ni)、鉻(Cr)及鉀(K)之成分分析。

## 感應耦合電漿原子發射光譜儀

感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 2000) 係利用高頻電磁感應產生的高溫氫氣電漿，使導入電漿中的樣品受熱而起一系列的去溶劑、分解、原子化/離子化及激發等反應。其分析之依據，係利用被激發的待分析元素之原子/離子所發射出的光譜線，經由光譜儀的分光及偵測，即可進行元素之定性及定量。水樣經由消化後，消化液經 0.45 $\mu\text{m}$  濾紙過濾，再以感應耦合電漿原子發射光譜儀進行重金屬銅(Cu)、鋅(Zn)、砷(As)、鎘(Cd)、鉛(Pb)、鎳(Ni)、鉻(Cr)及鉀(K)之成分分析。

## 8. 磷測定

參考土壤分析手冊之檢驗方法，利用  $\text{HClO}_4$  加熱將樣品中所含的磷轉換為正磷酸鹽，再用分光光度計測知水樣中磷之濃度。分析步驟如下：

(1)取 0.5g 樣品至於 150mL 錐形瓶中，加入 70 % HClO<sub>4</sub> 30mL 蓋上錶玻璃，加熱至 80~90°C 待至深顏色消失（墨綠色至黃色），再加熱 20 分鐘（白煙發生）後，冷卻至室溫，加入 10mL RO 水，進行過濾，濾液定量至 50mL，調整 pH 至 7~8。

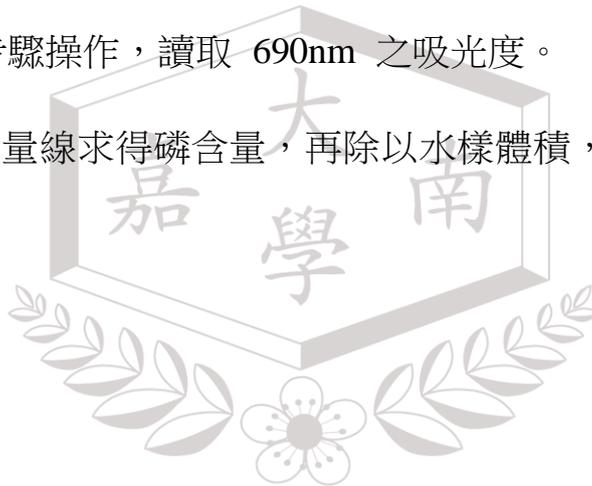
(2)加入 4mL 鉬酸鉍及 10 滴 SnCl<sub>2</sub>。

(3)靜置 10 分鐘後，以分光光度計測 ABS（690nm 波長）。

(4)檢量線製備：分別精取 0、1、2、5、10、40mL 磷標準溶液稀釋至 50mL，

依水樣相同之步驟操作，讀取 690nm 之吸光度。

其結果計算可由檢量線求得磷含量，再除以水樣體積，即得樣品中磷之含量。



## 9. 種子發芽率

取堆肥 5g 與 100g 之 60°C 溫水共混，放在 60°C 溫浴中保溫三小時後，用多層紗布過濾，取得濾液供試。取濾紙兩張，置於 9cm 培養皿內，加入 5ml 供試濾液，然後在濾紙上約等距離放入 25 粒白菜種子(S1)。將已播種之培養皿移入 25°C 植物培養箱中培養三天，然後取出記錄正常發芽之種子數(S2)。另外用尺概略量取每粒正常發芽之根長。發芽試驗設有對照組，以煮沸後放冷之自來水為對照溶液。

$$\text{種子發芽率 (\%)} = (S2 / S1) \times 100\%$$

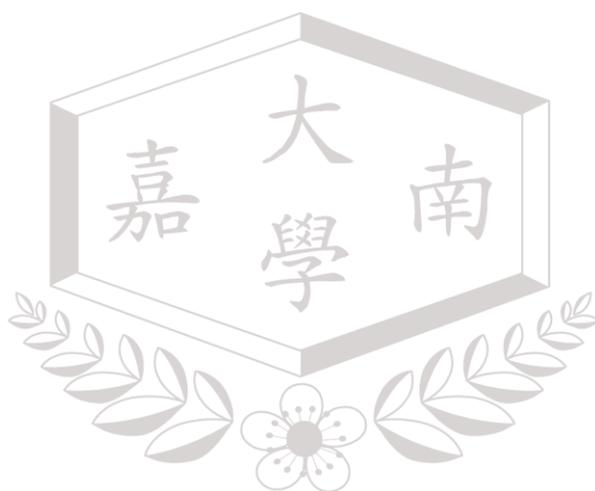
## 10. 水中氨氮測定

依據 NIEA R448.51B 分析方法，含有氨氮及銨離子之水樣於加入次氯酸鹽（Hypochlorite）及酚溶液反應，生成深藍色之靛酚（Indophenol），此溶液之顏色於亞硝醯鐵氰化鈉溶液（Sodium nitroprusside）之催化後會更加強烈。使用分光光度計於波長 640 nm 處進行比色分析，即可求得水樣中氨氮之濃度。步驟如下：

- (1) 取 25.0 mL 試劑水，於 50 mL 之附蓋三角錐瓶中，再依次添加入 1.0 mL 酚溶液、1.0 mL 亞硝醯鐵氰化鈉溶液及 2.50 mL 氧化劑溶液（每次加入各溶液後，均須混合均勻），使樣品呈色。靜置於室溫暗處下，至少 1 小時。以此溶液將分光光度計於波長 640 nm 處歸零。
- (2) 精取適量之氨氮標準溶液（1.0 mg/L）於 100 mL 量瓶，由高濃度至低濃度序列稀釋成至少五組不同濃度之檢量線製備用溶液。如：0.02、0.04、0.06、0.10、0.20 mg/L 或其他適當之序列濃度（檢量線配製濃度不可大於 1.0 mg/L）。
- (3) 再取 25.0 mL 上述配製之序列濃度檢量線溶液，於 50 mL 之附蓋三角錐瓶中或其它適用樣品反應瓶，並依水樣相同的檢測步驟使樣品呈色，製備檢量線。
- (4) 量測在波長 640 nm 之吸光度，以標準溶液濃度（mg/L）為 X 軸，吸

光度為 Y 軸，繪製一吸光度與氨氮濃度 (mg/L) 之檢量線。

其結果計算可由檢量線求得水中氨氮含量，再除以水樣體積，即得樣品中水中氨氮之含量。



## 第四章 結果與討論

### 4-1 廚餘桶裝堆肥進料特性分析

本研究使用之蔬菜、水果、臺中農改場菌種、臺南城西熟堆肥及木屑之基本性質分析及堆肥桶成分分析結果詳如 4-1、4-2 所示，發現進料中含水率蔬菜及水果最高達 90.1% 及 87.3%，而木屑水分較低，介於 25.6~29.6%；在灰分的部分，除了木屑外(0.54%)，其他進料之灰分與水分含量則有相反之趨勢，以蔬菜水果之灰分含量介於 1.02~1.16% 最低，而臺中農改場菌種及臺南城西熟堆肥介於 21.76~22.74% 較高；在可燃分部分，以蔬菜水果為最低介於 8.88~11.54%，其次為臺中農改場菌種及臺南城西熟堆肥介於 47.66~49.64%，最後為木屑可燃分高達 73.86%；進料分析中碳含量部分，各進料分析數值較為相近，介於 37.3~44.5%；含氮部分則為水果及木屑介於 0.44% 及 0.50%，蔬菜、菌種及熟堆肥為較高，介於 2.35~3.87%；進料材料氮含量則皆介於 0.04~0.14%；此外，碳氮比以水果(86)及木屑(97)為最高，蔬菜、菌種及熟堆肥為偏低，介於 10~19。

表 4-1 廚餘桶裝堆肥化前進料之成分個別分析結果

項目	蔬菜	水果	農改場菌種	城西熟堆肥	木屑
水分(%)	90.1	87.3	28.6	29.6	25.6
灰分(%)	1.02	1.16	21.76	22.74	0.54
可燃分(%)	8.88	11.54	49.64	47.66	73.86
碳(%)	3.69	5.46	31.8	30.0	42.8
氮(%)	0.38	0.06	1.68	2.01	0.33
氯(%)	0.06	0.04	0.09	0.11	0.14
碳氮比(%)	9.7	91	19	15	129.7

廚餘桶裝堆肥前進料經過個別分析後可推算出堆肥桶整體前進料數值，發現在水分、灰分及可燃分中分別介於 77.4~84.3%、2.26~3.76% 和 13.4~18.8%，顯示經過 NO.6~NO.8 提高醱酵材後水分依序降低，同時灰分及可燃分有升高之趨勢，碳、氮及碳氮比皆因不同蔬果醱酵材配比的操作參數而提高，分別介於 6.59~10.17%、0.43~0.53% 及 14.0~19.3，此外，氯含量則皆介於 0.06~0.07%。

表 4-2 廚餘桶裝堆肥化前進料之堆肥桶成分分析結果

項目	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8
水分(%)	84.2	84.3	84.2	84.2	84.2	82.9	81.1	77.4
灰分(%)	2.26	2.32	2.26	2.26	2.26	2.53	2.98	3.76
可燃分(%)	13.5	13.4	13.5	13.5	13.5	14.4	16.1	18.8
碳(%)	6.70	6.59	6.70	6.70	6.70	7.32	8.40	10.17
氮(%)	0.43	0.47	0.43	0.43	0.43	0.45	0.48	0.53
氯(%)	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
碳氮比(%)	15.6	14.0	15.6	15.6	15.6	16.4	17.6	19.3

#### 4-2 廚餘桶裝堆肥固肥過程監測

##### 4-2-1 廚餘桶裝堆肥溫度變化

廚餘桶裝堆肥之溫度變化如圖 4-1 所示。發現各反應批次之堆肥化過程中溫度介於 18~30°C，隨反應之進行而有溫度下降之趨勢，並未符合我國環境保護署公告「一般廢棄物回收清除處理辦法」第二十六條所規定，堆肥化過程中之酵堆中心溫度應維持在攝氏 45 至 70°C 間及最少 7 天維持攝氏 50°C 以上之規定。研判其受限於蔬果類廢棄物本身之高含水率，且若扣除廚餘之水分，則其有機成分所佔比例不高，因此，可供微生物進行氧化分解之基質不多<sup>[49]</sup>，導致反應熱不足使肥堆溫度上昇，因此肥堆溫度變化趨勢皆會隨著室溫而變動。另一方面實驗期間介於冬季期間(100 年 11 月~101

年 2 月)，故溫度大都介於 18~30°C 之間。

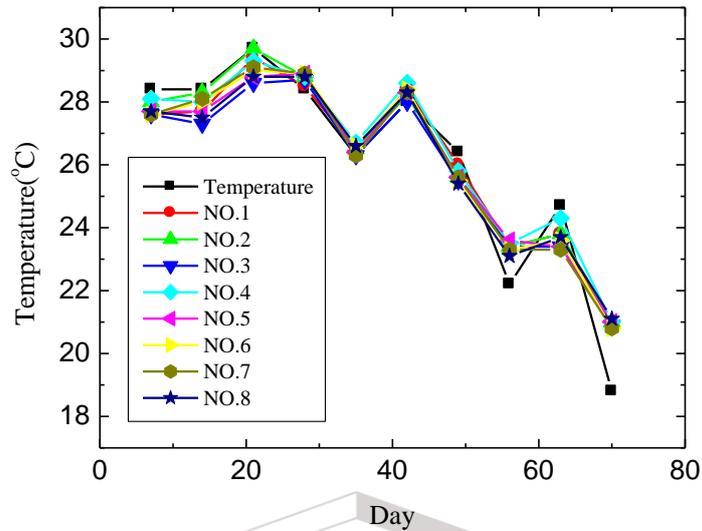


圖 4-1 廚餘桶裝堆肥溫度及室溫變化變化

#### 4-2-2 桶裝醱酵堆肥導電度(EC)變化

廚餘桶裝堆肥導電度(EC)監測如表 4-3 所示，因堆肥一開始廚餘水解，其中含有大量礦物質的鹽類滲落至液肥中，因此在液態有機堆肥中 EC 快速上升(詳參 4-3-3)。

固態有機堆肥初期 EC 值跳動較大，但經過 90 天醱酵反應後，EC 皆在 3.22~4.24 dS/m 之間，其中以 NO.2 為最高 4.24 dS/m，在雜項堆肥並無導電度數值規範，但有文獻指出 EC 值超過 4 dS/m 會對植物造成抑制作用<sup>[42,50]</sup>。故建議使用於作物生長時應適度控制施用量才不會對作物生長造成不利影響。

表 4-3 廚餘桶裝醱酵堆肥導電度(EC)變化

導電度(dS/m)	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8
醱酵時間	對照組 (註 1)	臺南 熟堆肥	三明治 堆疊法	液肥迴 流 50%	液肥迴 流 25%	蔬果 8: 醱酵 1	蔬果 6: 醱酵 1	蔬果 4: 醱酵 1
1 Day	3.36	1.58	3.51	1.45	2.10	3.54	2.50	3.65
30 Day	3.12	3.99	4.11	3.42	3.12	1.52	4.42	3.98
60 Day	2.45	4.00	3.42	4.18	3.80	4.11	4.09	2.52
90 Day	3.66	4.24	3.22	3.78	3.29	3.26	3.52	3.61

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

#### 4-2-3 桶裝醱酵堆肥 pH 變化

固態有機堆肥 pH 監測如表 4-4 所示，發現在堆肥化過程中第一天呈現酸性，各操作條件堆肥 pH 介於 4.20~6.00，其中以 NO.3 最低，NO.4 最高。另外，隨著反應時間之增加各操作條件堆肥 pH 逐漸增高，至反應 90 天的時間後，各堆肥 pH 介於 7.20~7.99，其中以 NO.8 為最高。推測可能是一開始廚餘產生有機酸等中間產物<sup>[51]</sup>，使 pH 一直維持在酸性；而堆肥 pH 值會隨著堆肥過程升高，主要原因為含氮有機物，經微生物分解造成氨氮累積，然後氨氣溶解形成  $\text{NH}_4^+$  所致<sup>[52]</sup>，另外，有機酸為微生物分解，亦使堆肥 pH 值升高。

表 4-4 廚餘桶裝醱酵堆肥酸鹼值(pH)變化

酸鹼值(pH) 醱酵時間	NO.1 對照組 (註 1)	NO.2 臺南 熟堆肥	NO.3 三明治 堆疊法	NO.4 液肥迴 流 50%	NO.5 液肥迴 流 25%	NO.6 蔬果 8: 醱酵 1	NO.7 蔬果 6: 醱酵 1	NO.8 蔬果 4: 醱酵 1
1 Day	5.37	5.20	4.20	6.00	5.48	4.97	5.61	5.27
30 Day	5.90	5.54	5.01	5.73	7.19	5.51	5.65	5.72
60 Day	6.32	5.86	5.53	6.08	7.31	6.20	6.45	7.87
90 Day	7.20	7.38	7.42	7.87	7.76	7.74	7.79	7.99

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

#### 4-2-4 固態有機堆肥成品分析

##### 1. 含水率

固態有機堆肥成品分析結果如表 4-5、4-6 所示。參考在行政院農業委員會農糧署 101 年 01 月 20 日(農糧字第 1011052202 號)依據肥料管理法第四條規定公告修正之「肥料種類品目及規格」，其中雜項堆肥(品目編號 5-11)規範中載明，堆肥成品需經過堆置風乾等程序後，再進行烘乾動作測定含水率。本研究固相產品其含水率介於 13.5~27.5%，皆已符合雜項規範。

##### 2. 有機質

有機質部分以 NO.2 臺南城西熟堆肥堆製的成品有最高有機質含量 84.1%，顯示有良好的肥力，其餘介於 69.4~79.1%，皆已符合雜項堆肥有機質 50%以上之規定並可作為土壤肥力指標<sup>[53]</sup>。

### 3. pH、導電度

酸鹼值(pH)介於 7.20~7.99，亦符合雜項堆肥之 5.0~9.0 之間規定；導電度在 NO.2 使用城西熟堆肥為最高值 4.42，其餘皆介於 3.22~3.78 dS/m，目前雜項堆肥雖未對導電度值有規範標準，但根據文獻<sup>[42, 50]</sup>指出當 EC 值超過 4 dS/m，將會造成種子發芽率降低、植物凋萎等作物生長不利影響，該研究堆肥成品數值都趨近於 4 dS/m，故建議本研究成品再施用時建議少量多次施用於土壤，以免造成 EC 值過高影響作物。

### 4. C/N 碳氮比

碳氮比為堆肥重要指標之一，本研究之堆肥成品介於 13.6~17.6，其中最高為增加醱酵層最多的 NO.8 堆肥桶 17.6，初步研判為醱酵材增加的影響，其數值皆符合規範值 10~20。

### 5. 氮、磷、鉀

在氮、磷及鉀分析中含量分別介於 2.17~2.85%、0.58~0.79% 及 0.52~0.77%，氮、磷及鉀皆達到雜項規範標準之要求(0.6~5.0%、0.3~6.0%、0.3~4.0%)。

表 4-5 廚餘桶裝堆肥成品之成分分析結果

實驗組別	含水率 (%)	有機質 (%)	pH	EC (dS/m)	C/N	備註
NO.1	27.5	69.4	7.20	3.66	14.0	對照組(註 1)
NO.2	19.7	84.1	7.38	4.24	14.3	臺南城西熟堆肥
NO.3	17.3	73.3	7.42	3.22	14.7	三明治堆疊法
NO.4	23.7	71.4	7.87	3.78	14.2	液肥迴流 50%
NO.5	25.2	70.8	7.76	3.29	15.4	液肥迴流 25%
NO.6	15.9	72.3	7.74	3.26	13.6	廚餘 8:醱酵層 1
NO.7	27.3	75.4	7.79	3.52	14.8	廚餘 6:醱酵層 1
NO.8	13.5	79.1	7.99	3.61	17.6	廚餘 4:醱酵層 1
農委會農糧署雜項堆肥	<40	>50	5.0~9.0	-	10~20	-

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

表 4-6 廚餘桶裝堆肥成品之氮、磷、鉀含量

實驗組別	P (%)	K (%)	N (%)	備註
NO.1	0.79	0.57	2.46	對照組(註 1)
NO.2	0.58	0.52	2.85	臺南城西熟堆肥
NO.3	0.60	0.60	2.35	三明治堆疊法
NO.4	0.63	0.59	2.46	液肥迴流 50%
NO.5	0.59	0.62	2.39	液肥迴流 25%
NO.6	0.61	0.64	2.59	廚餘 8:醱酵層 1
NO.7	0.66	0.73	2.57	廚餘 6:醱酵層 1
NO.8	0.72	0.77	2.17	廚餘 4:醱酵層 1
農委會農糧署雜項堆肥	0.3~6.0	0.3~4.0	0.6~5.0	-

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

## 6. 廚餘堆肥成品鈉、氯含量

在農糧署的肥料種類品目及規格，其中雜項堆肥（品目編號 5-11）規

範中載明，堆肥以廚餘為原料者，須檢驗鈉、氯之成分。本研究中各試驗堆肥成品之含鈉、氯量分析結果詳如表 4-7 所示，其含量分別介於 2.32~3.72 及 0.21~0.42% 之間，均遠低於規範限值（鈉、氯含量分別為 4.0 及 6.0 % 以下）。

表 4-7 廚餘桶裝堆肥成品之鈉、氯含量

實驗組別	Na (%)	Cl (%)	備註
NO.1	2.32	0.37	對照組(註 1)
NO.2	2.45	0.24	臺南城西熟堆肥
NO.3	2.64	0.28	三明治堆疊法
NO.4	2.69	0.40	液肥迴流 50%
NO.5	2.65	0.42	液肥迴流 25%
NO.6	2.88	0.27	廚餘 8:醱酵層 1
NO.7	3.55	0.25	廚餘 6:醱酵層 1
NO.8	3.72	0.21	廚餘 4:醱酵層 1
農委會農糧署雜項堆肥	<4.0	<6.0	-

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

#### 4-2-5 固態有機堆肥成品重金屬及發芽率

##### 1. 廚餘堆肥成品之重金屬

廚餘堆肥在醱酵反應進行中，會因有機物不斷被微生物分解釋放及有機酸之產出等二者作用下，導致重金屬濃縮效應亦在堆肥化過程發生<sup>[20]</sup>。

本研究廚餘堆肥成品之重金屬含量詳如表 4-8 所示，各試驗堆肥成品之 Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 與 Zn 含量皆為 ND 值，As 濃度介於 0.75~8.63 mg/kg 之間，均符合雜項堆肥品目規定之濃度標準。

表 4-8 廚餘堆肥成品之重金屬含量

實驗組別	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
偵測極限	0.05	0.01	0.01	0.01
NO.1	ND	ND	ND	ND
NO.2	ND	ND	ND	ND
NO.3	ND	ND	ND	ND
NO.4	ND	ND	ND	ND
NO.5	0.75	ND	ND	ND
NO.6	3.79	ND	ND	ND
NO.7	5.42	ND	ND	ND
NO.8	8.63	ND	ND	ND
農委會農糧署 雜項堆肥規範	< 25.0	< 2.0	< 150	< 100

實驗組別	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
偵測極限	0.05	0.01	0.01	0.01
NO.1	ND	ND	ND	ND
NO.2	ND	ND	ND	ND
NO.3	ND	ND	ND	ND
NO.4	ND	ND	ND	ND
NO.5	ND	ND	ND	ND
NO.6	ND	ND	ND	ND
NO.7	ND	ND	ND	ND
NO.8	ND	ND	ND	ND
農委會農糧署 雜項堆肥規範	< 1.0	< 25.0	< 150	< 500

## 2. 廚餘堆肥成品之種子發芽率

堆肥成品腐熟與作物種植有直接之影響，當堆肥未腐熟時，將產生有機酸、脂肪酸等物質抑制植物生長；而當堆肥腐熟穩定，有機物質受微生物分解代謝完全，將有機物質轉換成植物所需之營養分，故不會造成抑制植物生長情形<sup>[54]</sup>。為評估廚餘堆肥成品對植物生長之影響，本研究利用小

白菜之種子發芽率來測試堆肥之腐熟度詳如表 4-9 所示，發現各試驗在經過三天後發芽率方面介於 83~93 % 之間（空白試驗為 87 %）；依據文獻指出<sup>[55]</sup>，利用種子發芽率進行腐熟度測定，發芽率達 80 % 以上可視為堆肥腐熟之標準。

表 4-9 廚餘桶裝堆肥固態有機堆肥之種子發芽率

實驗組別	撥種數(粒)	發芽數(粒)	種子發芽率(%)	備註
NO.1	30	28	93	對照組(註 1)
NO.2	30	27	90	臺南城西熟堆肥
NO.3	30	25	83	三明治堆疊法
NO.4	30	28	93	液肥迴流 50%
NO.5	30	27	90	液肥迴流 25%
NO.6	30	26	87	廚餘 8:醱酵層 1
NO.7	30	27	90	廚餘 6:醱酵層 1
NO.8	30	27	90	廚餘 4:醱酵層 1
Blank	30	26	87	-

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

Blank:使用 RO 水對照之種子發芽率

#### 4-2-6 廚餘桶裝堆肥成品小結

廚餘桶裝堆肥在固態有機堆肥成品皆符合規範，但經過不同操作參數堆肥化作業後，可有效增加成品之肥效，以堆肥營養指標氮、磷、鉀為例，經過混堆式、液肥迴流、增加醱酵材的堆肥操作方式，皆有比參照臺南市環保局堆肥手冊<sup>[46]</sup>編號 NO.3 堆置的成品有較高之營養肥份。廚餘桶裝堆肥成品分析結果彙整表如表 4-10 所示。

表 4-10 廚餘桶裝堆肥成品特性與雜項堆肥品質規範之比較

雜項堆肥 規範項目	廚餘桶裝堆肥成品分析							
	NO.1 參照組 (註 1)	NO.2 臺南城西 熟堆肥	NO.3 三明治 堆疊法	NO.4 液肥迴流 50%	NO.5 液肥迴流 25%	NO.6 蔬菜 8 醱酵 1	NO.7 蔬菜 6 醱酵 1	NO.8 蔬菜 4 醱酵 1
含水率	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
有機質	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
C/N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cl	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
重金屬	As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cr	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ni	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

### 4-3 廚餘桶裝堆肥液肥過程監測

#### 4-3-1 有機液肥累積量

由堆肥化過程中記錄液肥累積量可以有效了解經過不同操作參數對桶裝堆肥液肥產生量之影響，因為廚餘開始腐爛時會先出水，由發酵材吸收至飽和後，多餘水分則落至堆肥桶下方之液肥收集區。

##### 1. 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥累積量

經由圖 4-2 所示 可知在 NO.1 臺中農改場菌種與 NO.2 臺南城西熟堆肥 90 天的累積量 NO.1 是 742mL，NO.2 是 1468mL。此兩種菌種在含水率並無太大差異(28.6%、29.6%)，生廚餘進料及發酵層配比相同，但液肥量相差甚遠，推測在堆肥化過程中，菌種保水性質不同可能使滲出液肥累積量也不盡相同。

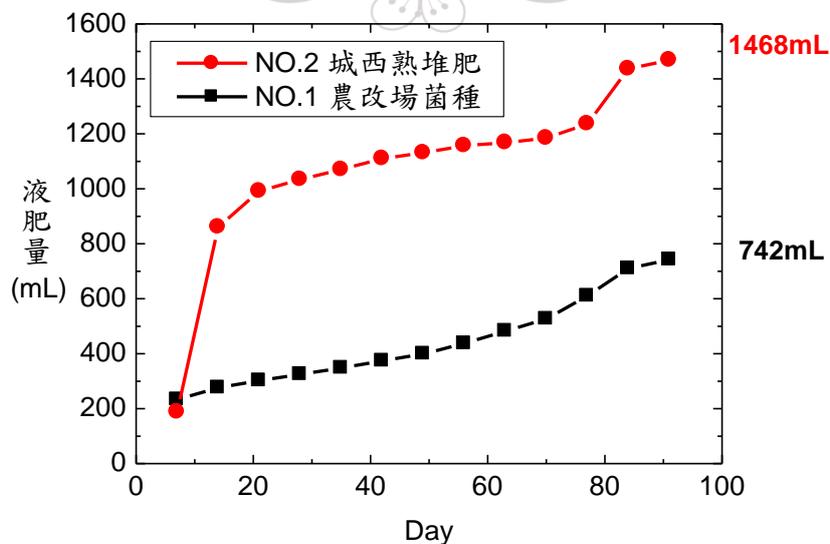


圖 4-2 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化

## 2. 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥累積量

圖 4-3 所示可知液肥量 NO.1 混堆式進料較 NO.3 三明治堆疊法進料低其液肥量分別為 742mL 與 854mL，原因為混堆式進料能經過攪拌讓生廚餘與醱酵層有效的接觸來提升反應效率，醱酵材在出水過程中吸收較多水分，反之堆疊式則沒有效接觸並讓水分滲漏至下方液肥收集區。

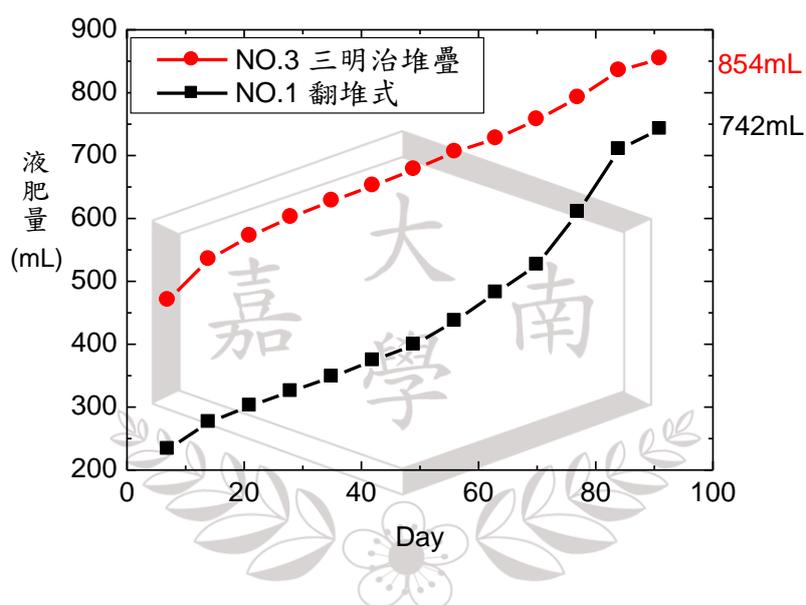


圖 4-3 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化

## 3. 不同液肥迴流比之廚餘桶裝堆肥液肥累積量

不同液肥迴流比對桶裝堆肥累積量之影響如圖 4-4 所示，發現液肥量分別為 NO.1(不迴流)742mL、NO.4(迴流 50%)1012mL 及 NO.5(迴流 25%)1698mL。由此可以看出液肥迴流菌種會促進反應進行，增加液肥之累積量，但迴流比例與液肥累積產生量之量化關係尚待進一步深入探討。

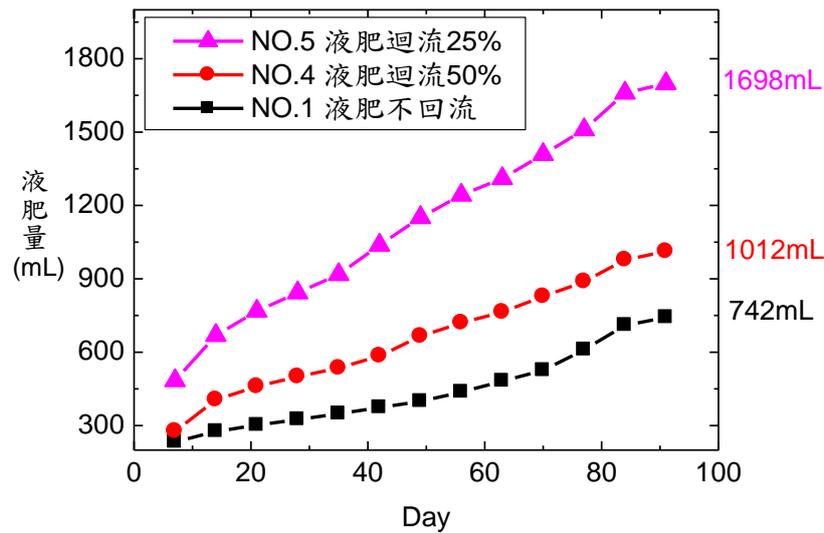


圖 4-4 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化

#### 4. 不同配比之廚餘桶裝堆肥液累積量

不同蔬果與醱酵層配比中對液肥累積量之影響如圖 4-5 所示。發現液肥量由 NO.1(蔬果 10:醱酵 1)、NO.6(蔬果 8:醱酵 1)、NO.7(蔬果 6:醱酵 1)及 NO.8(蔬果 4:醱酵 1)分別為 742mL、1380mL、471mL、695mL，發現適當添加醱酵層可有效調整桶裝堆肥含水率、增加生廚餘與醱酵材接觸及反應，相對的也會吸收水分，醱酵層提升後能明顯看出液肥累積量減少，在 NO.6 的液肥累積量為過多情形，推測該配比能有效使生廚餘及醱酵層反應出更多液肥，可依液肥使用多寡來決定使用的操作參數。

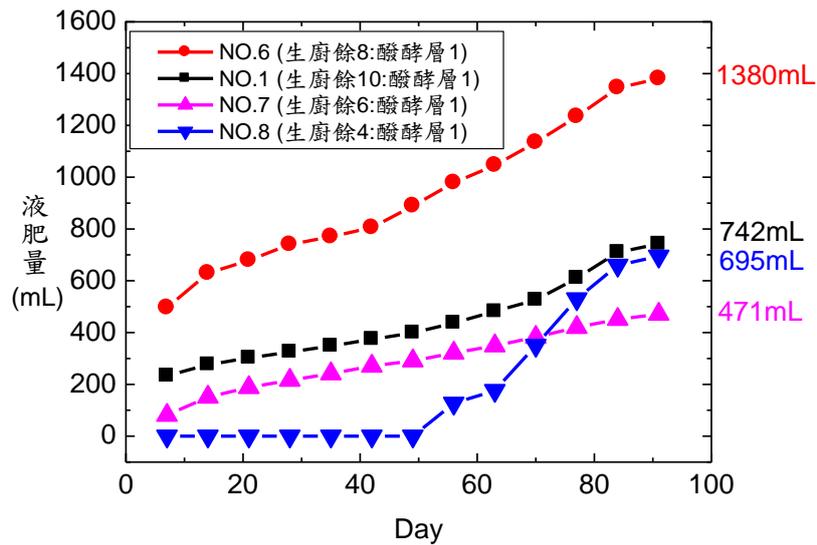


圖 4-5 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥累積量變化

#### 4-3-2 有機液肥酸鹼值(pH)變化

廚餘桶裝堆肥液肥 pH 監測結果如圖 4-6~4-9 所示，發現液肥起始 pH 即為偏酸性。pH 相關圖可以顯示出在堆肥化過程中，約在 40 天前後八個桶裝堆肥桶酸鹼值部分有明顯的變化，經過 90 天的腐熟時間，皆已達到農委會雜項堆肥 pH 4~9 的標準。其中值得注意的是，使用臺南城西熟堆肥的 NO.2 及三明治堆疊法的 NO.3 與參照組 NO.1(混堆式、臺中農改場菌種)在 pH 變化中，雖有達到雜項標準但反應速度較為緩慢，推測使用 NO.1 的臺中農改場菌種及混堆式進料法有較快的醱酵反應。另，NO.7 增加醱酵材配比的部份 pH 約 20 天時有明顯上升之趨勢，研判為醱酵材的增加造成反應速率增快，相較之下配比更高及醱酵材增加的 NO.8 液肥部分則是因滲出液肥被醱酵材大量吸收，導致反應約 60 天後才有液肥產出。

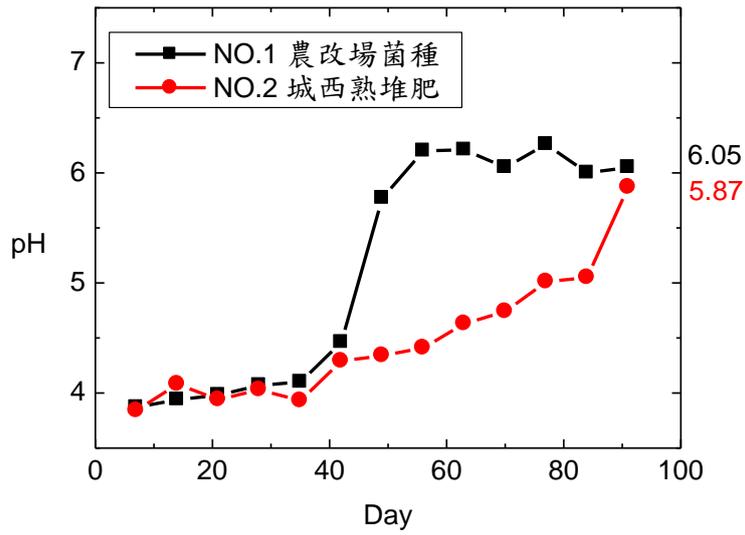


圖 4-6 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化

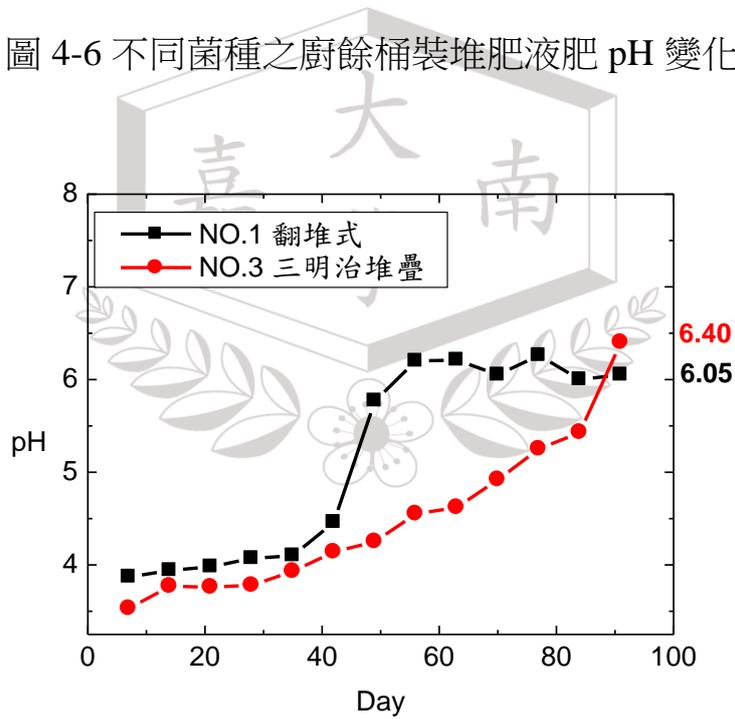


圖 4-7 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化

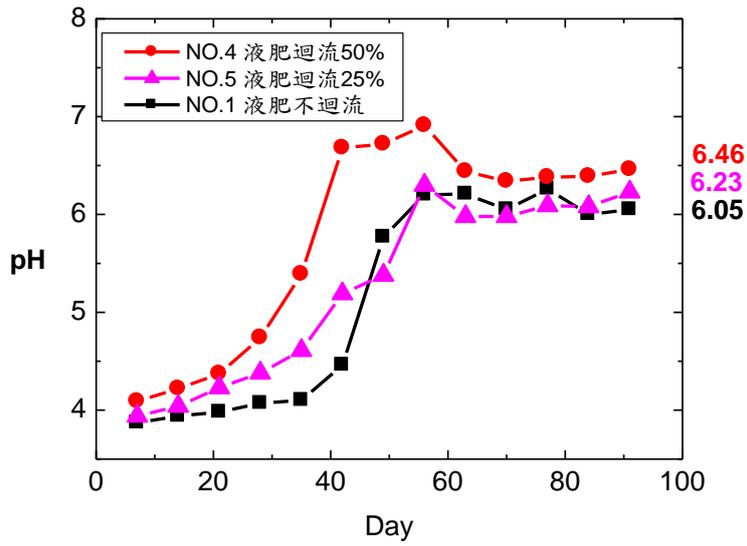


圖 4-8 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化

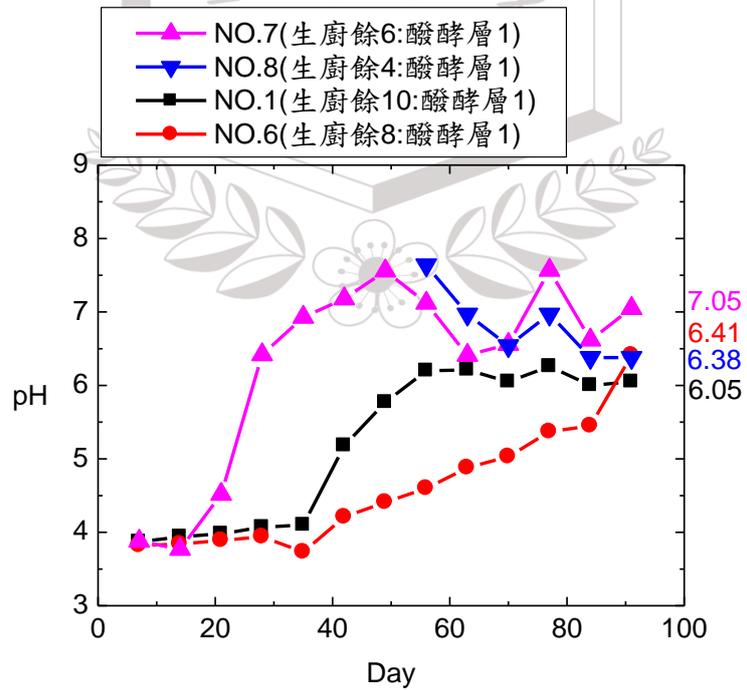


圖 4-9 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥 pH 變化

### 4-3-3 有機液肥導電度(EC)變化

導電度(electrical conductance, EC)的監測數值可以代表堆肥中含鹽總量，故導電度可以做為堆肥產品是否具潛在鹽害的指標。EC值高低代表堆肥中可溶性鹽類的多寡，其EC值愈高表示營養分含量愈多<sup>[56]</sup>；但當EC值超過4 dS/m，將會造成種子發芽率降低、植物凋萎等對作物生長不利影響<sup>[42]</sup>。

桶裝堆肥化過程液肥EC監測結果如圖4-10~4-13，導電度源自為廚餘中大量礦物質的鹽類（磷酸鹽、氨鹽基離子等），經微生物分解代謝使得鹽基被釋放出來<sup>[57]</sup>並滲落至液肥中，造成液肥導電度初始值介於14.03~16.61 (dS/m)並持續上升，但隨著堆肥化過程，因氨鹽基離子揮發及其他鹽基降解<sup>[58]</sup>，使得後來約在20~40天時桶裝堆肥液肥導電度呈下降趨勢，但因堆肥化反應過程持續分解代謝，故導電度經過90天反應後持續上升到16.40~22.60(dS/m)。

在雜項堆肥並無液肥導電度數值規範，但有文獻指出EC值超過4 dS/m會對植物造成抑制作用。因此，可得知本研究之有機液肥，導電度含量皆超過4 dS/m的濃度，故建議使用有機液肥於作物生長時需經過稀釋再施用才不會對作物生長造成不利影響。

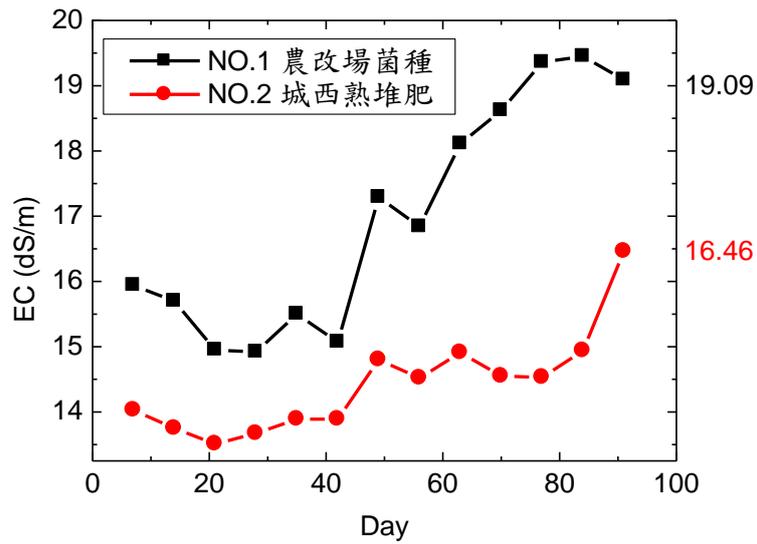


圖 4-10 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化

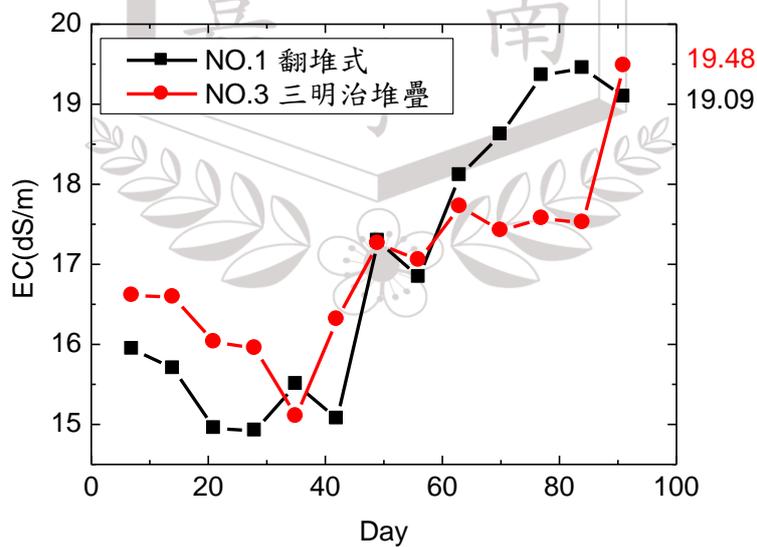


圖 4-11 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化

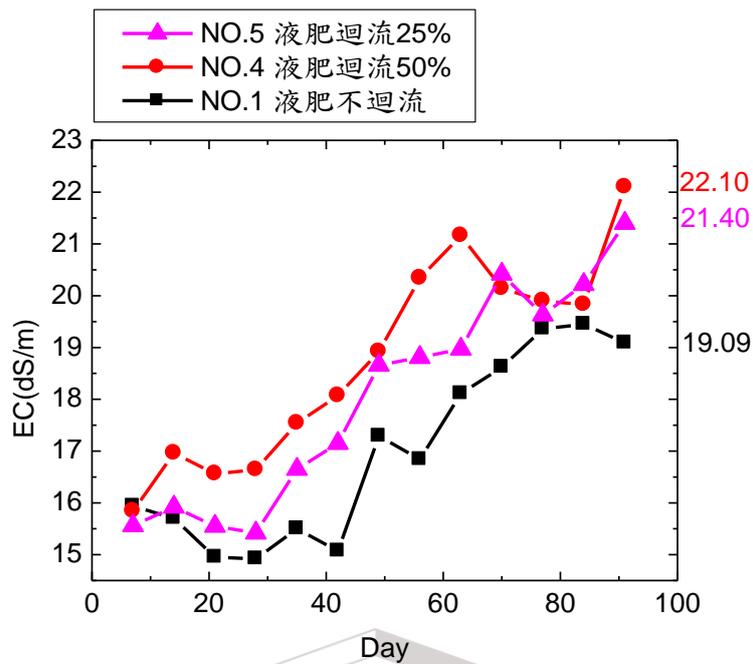


圖 4-12 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化

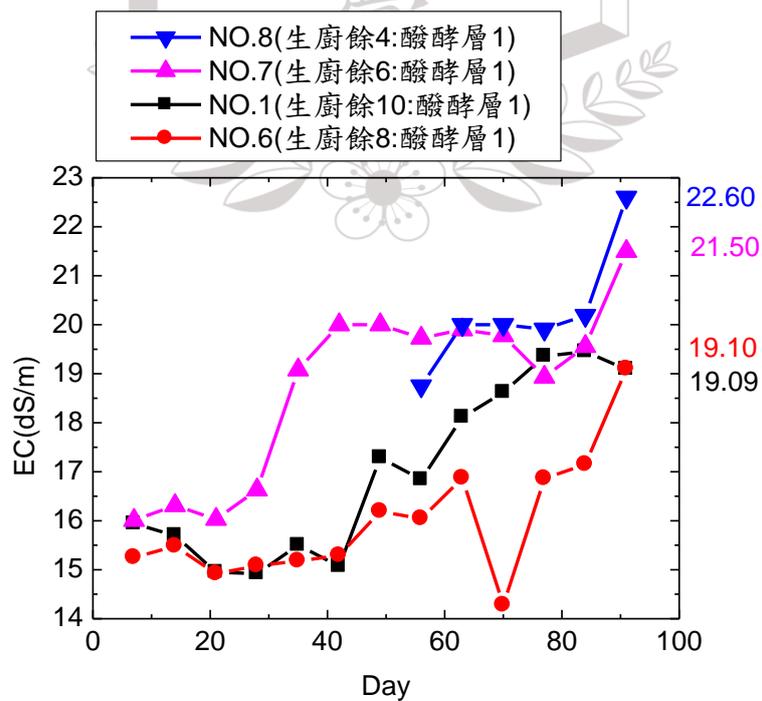


圖 4-13 不同進料配比之廚餘桶裝堆肥液肥 EC 變化

#### 4-3-4 有機液肥氨氮值變化

水中氨氮數值變化可以代表堆肥過程中液肥氮的變化情形，由於堆肥程序中無機氮含量很少幾乎可以忽略<sup>[59]</sup>，而有機氮根據文獻指出含量過低<sup>[46]</sup>，故本實驗以水中氨氮表示有機液肥堆肥過程中氮的變化情形。不同操作參數對有機液肥監測結果如圖 4-14~4-17 所示，水中氨氮由初始值 0.34~1.07 mg/L，約在反應 60 天後開始持續升高至 90 天水中氨氮值為 1024.41~1745.22 mg/L。顯示在初期水中氨氮沒有明顯之增加，惟堆肥反應時間 60~90 天之間數值因有機氮快速分解致液肥中氨氮濃度迅速增加。

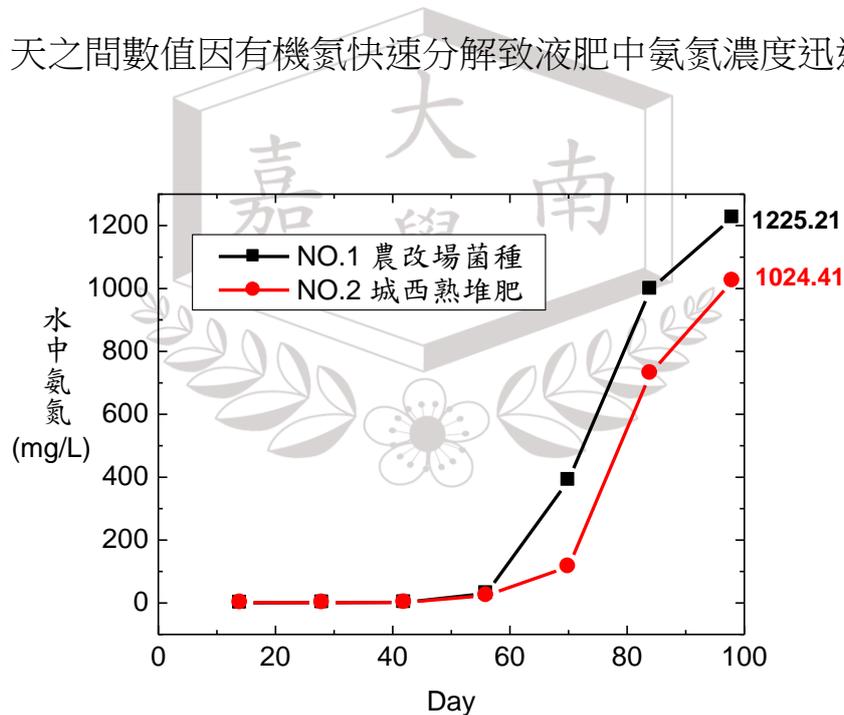


圖 4-14 不同菌種之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化

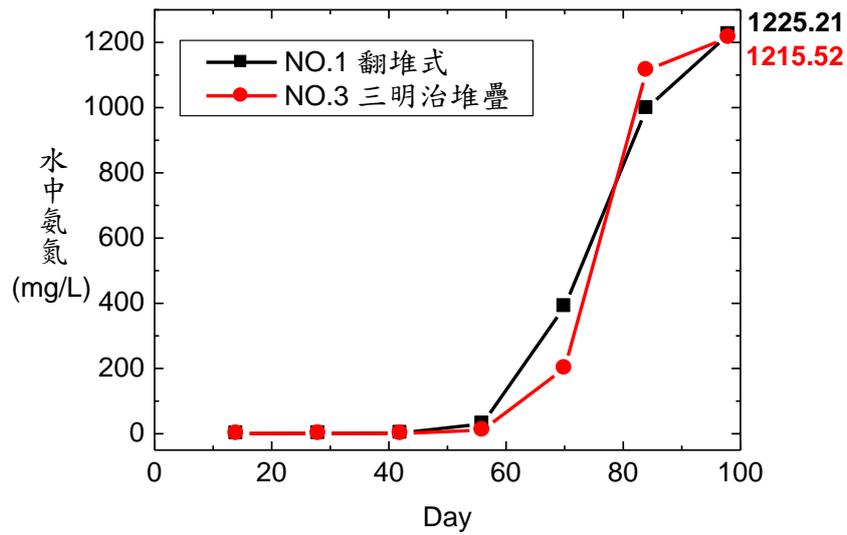


圖 4-15 不同進料方式之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化

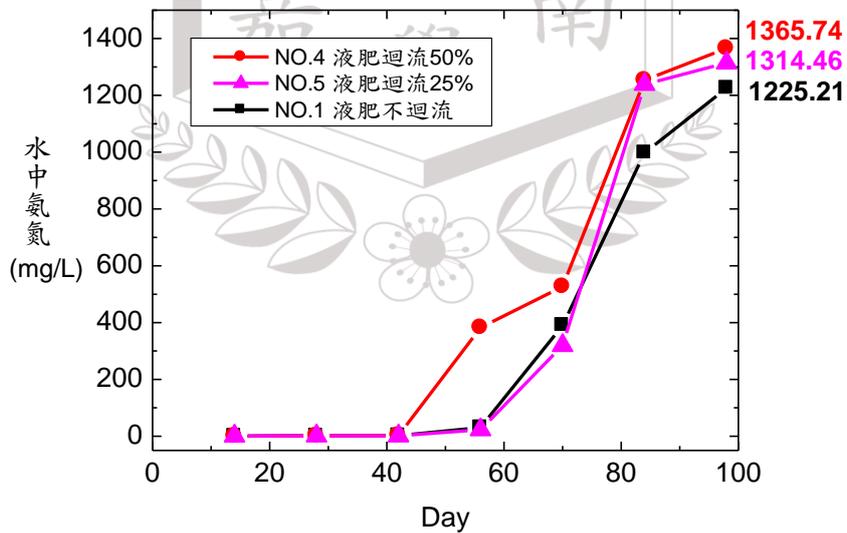


圖 4-16 不同液肥迴流之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化

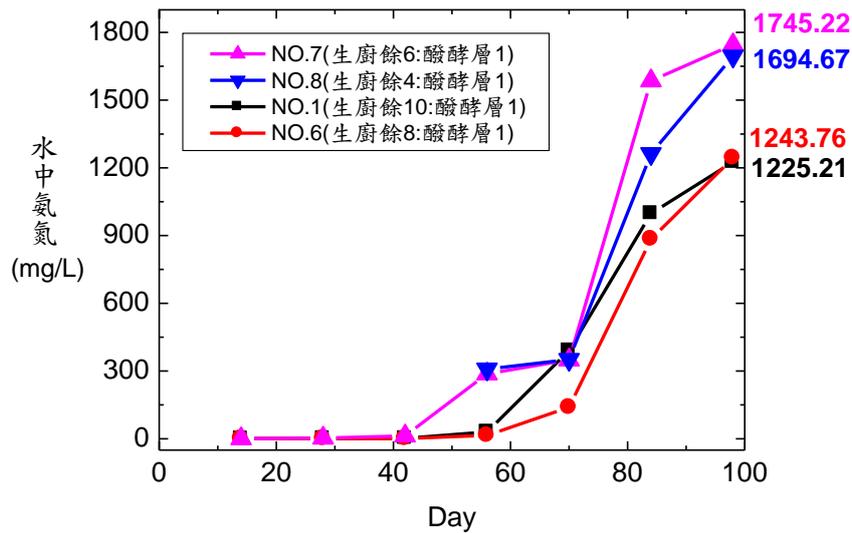


圖 4-17 不同配比之廚餘桶裝堆肥液肥水中氨氮變化

#### 4-3-5 有機液肥成品分析

有機液肥成品之分析結果如表 4-11 所示，酸鹼值(pH)及導電度(EC)分別介於 5.87~7.05 及 16.5~22.6 dS/m，酸鹼值(pH)已符合雜項堆肥之數值(4.0~9.0)，而導電度超過文獻所建議 4 dS/m，建議使用時應先經過稀釋使之導電度數值不會對植物造成抑制作用，方可施用。氯及鈉分別介於 0.05~0.10%及 0.04~0.14%，其中在鈉含量部分增加醱酵層配比的 NO.6(蔬果 8:醱酵 1)、NO.7(蔬果 6:醱酵 1)及 NO.8(蔬果 4:醱酵 1)有較高的鈉含量，但都符合規範。

氮、磷、鉀分別介於 0.10~0.17%、0.11~0.19%及 0.23~0.48%，均達到規範標準(全氮、全磷酞及全氧化鉀合計量應在 1.0~10.0%，或個別含量 0.1%以上)，在堆肥桶操作參數比較下，發現在氮、磷、鉀含量中，液肥迴流及

醱酵層配比增加的操作參數下，可有效提高營養含量，為後續可探討之方向。

表 4-11 廚餘桶裝堆肥有機液肥之肥效分析

項目	NO.1 對照組 (註 1)	NO.2 臺南 熟堆肥	NO.3 三明治 堆疊法	NO.4 液肥迴 流 50%	NO.5 液肥迴 流 25%	NO.6 蔬果 8: 醱酵 1	NO.7 蔬果 6: 醱酵 1	NO.8 蔬果 4: 醱酵 1	堆肥規範
pH	6.05	5.87	6.40	6.46	6.23	6.41	7.05	6.38	4.0~9.0
導電度 (dS/m)	19.1	16.5	19.5	22.1	21.4	19.1	21.5	22.6	-
鈉(%)	0.04	0.04	0.07	0.05	0.07	0.08	0.14	0.14	2.0 以下
氯(%)	0.08	0.09	0.10	0.09	0.06	0.07	0.07	0.05	3.0 以下
水中氨氮(%)	0.12	0.10	0.12	0.14	0.13	0.12	0.17	0.17	合計量應 1.0~10.0%
全磷酞(%)	0.14	0.11	0.11	0.19	0.14	0.16	0.16	0.18	或個別含 量 0.1%以 上
全氧化鉀(%)	0.28	0.23	0.25	0.36	0.32	0.42	0.48	0.46	

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

#### 4-3-6 有機液肥成品重金屬及發芽率

廚餘堆肥在醱酵反應進行中，會因有機物不斷被微生物分解釋放及有機酸之產出等二者作用下，導致重金屬濃縮效應亦在堆肥化過程發生<sup>[20]</sup>。

本研究廚餘桶裝堆肥有機液肥之重金屬含量詳如表 4-12 所示，各試驗堆肥成品之 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 與 Zn 含量皆為 ND 值，均符合雜項堆肥品目規定之濃度標準。

為評估廚餘堆肥有機液肥成品對植物生長之影響，本研究利用小白菜之種子發芽率來測試液肥之腐熟度詳如表 4-13 所示，發現各試驗在經過三天後發芽率方面介於 60~87 % 之間(空白試驗為 87 %)；依據文獻指出<sup>[55]</sup>，利用種子發芽率進行腐熟度測定，發芽率達 80 % 以上可視為堆肥腐熟之表徵。而在有機液肥成品中，只有 NO.1、NO.4 及 NO.5 有達到堆肥腐熟之標準，推測經過混堆式及液肥迴流操作參數的液肥成品能有較快速達到腐熟的指標，另建議其他液肥成品可持續腐熟醱酵以達到種子發芽率之標準。

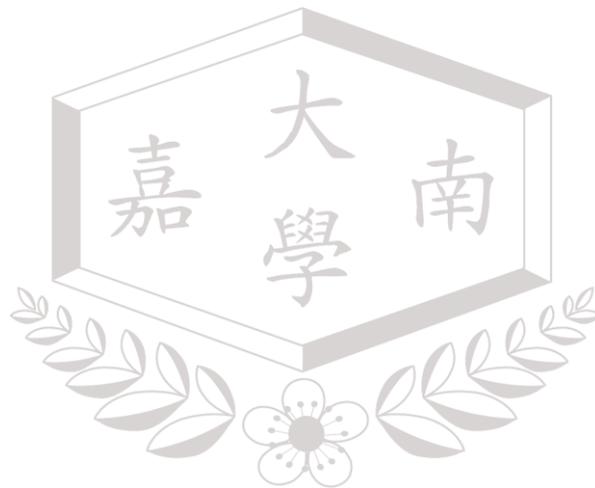


表 4-12 廚餘桶裝堆肥有機液肥之重金屬含量

實驗組別	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
偵測極限	0.05	0.01	0.01	0.01
NO.1	ND	ND	ND	ND
NO.2	ND	ND	ND	ND
NO.3	ND	ND	ND	ND
NO.4	ND	ND	ND	ND
NO.5	ND	ND	ND	ND
NO.6	ND	ND	ND	ND
NO.7	ND	ND	ND	ND
NO.8	ND	ND	ND	ND
農委會農糧署 雜項液肥規範	< 10	< 0.6	< 30	< 20

實驗組別	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
偵測極限	0.05	0.01	0.01	0.01
NO.1	ND	ND	ND	ND
NO.2	ND	ND	ND	ND
NO.3	ND	ND	ND	ND
NO.4	ND	ND	ND	ND
NO.5	ND	ND	ND	ND
NO.6	ND	ND	ND	ND
NO.7	ND	ND	ND	ND
NO.8	ND	ND	ND	ND
農委會農糧署 雜項液肥規範	< 0.2	< 10	< 30	< 160

表 4-13 廚餘桶裝堆肥有機液肥之種子發芽率

組別	撥種數(粒)	發芽數(粒)	種子發芽率(%)	備註
NO.1	30	26	87	對照組(註 1)
NO.2	30	20	67	臺南城西熟堆肥
NO.3	30	19	63	三明治堆疊法
NO.4	30	26	87	液肥迴流 50%
NO.5	30	25	83	液肥迴流 25%
NO.6	30	20	67	廚餘 8:醱酵層 1
NO.7	30	18	60	廚餘 6:醱酵層 1
NO.8	30	21	70	廚餘 4:醱酵層 1
Blank	30	26	87	-

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

Blank:使用 RO 水對照之種子發芽率

#### 4-3-7 有機液肥成品小結

廚餘桶裝堆肥有機液肥皆符合規範，且經過不同操作參數堆肥化作業後，可有效增加成品之肥效，發現其中混堆式進料法、液肥迴流及增加醱酵層配比的參數可有效地提高氮、磷及鉀含量。另外在液肥累積量中，適當的液肥迴流(迴流 50%)及提高進料配比(蔬果 8:醱酵層 1)也有增加液肥產生量之相關性，建議堆肥時可使用混堆式、臺中農改場菌種、液肥迴流 50%及配比蔬果 8:醱酵層 1 操作參數能有最好的液肥營養數值及累積產生量。廚餘桶裝堆肥有機液肥分析結果彙整如表 4-14 所示。

表 4-14 廚餘桶裝堆肥化液肥成品特性與雜項堆肥品質規範之比較

雜項堆肥 規範項目	廚餘桶裝堆肥有機液肥分析							
	NO.1 參照組 (註 1)	NO.2 臺南城西 熟堆肥	NO.3 三明治 堆疊法	NO.4 液肥迴流 50%	NO.5 液肥迴流 25%	NO.6 蔬菜 8 醱酵 1	NO.7 蔬菜 6 醱酵 1	NO.8 蔬菜 4 醱酵 1
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cl	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
重金屬	As	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cr	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Hg	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ni	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

#### 4-3-8 廚餘桶裝堆肥化質量平衡

堆肥化反應過程中，經過微生物反應及醱酵後，產出成品之固態肥料及收集有機液肥應與前進料達質量平衡，八種堆肥化操作參數質量平衡估算結果如圖 4-18~4-25 所示。

## 1. 廚餘桶裝堆肥 NO.1 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.1 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 10:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 0.74 公斤和 90 天反應時間固肥 5.11 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.15 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 12.33%、固肥為 85.17% 及氣體水分散失率為 2.5%。

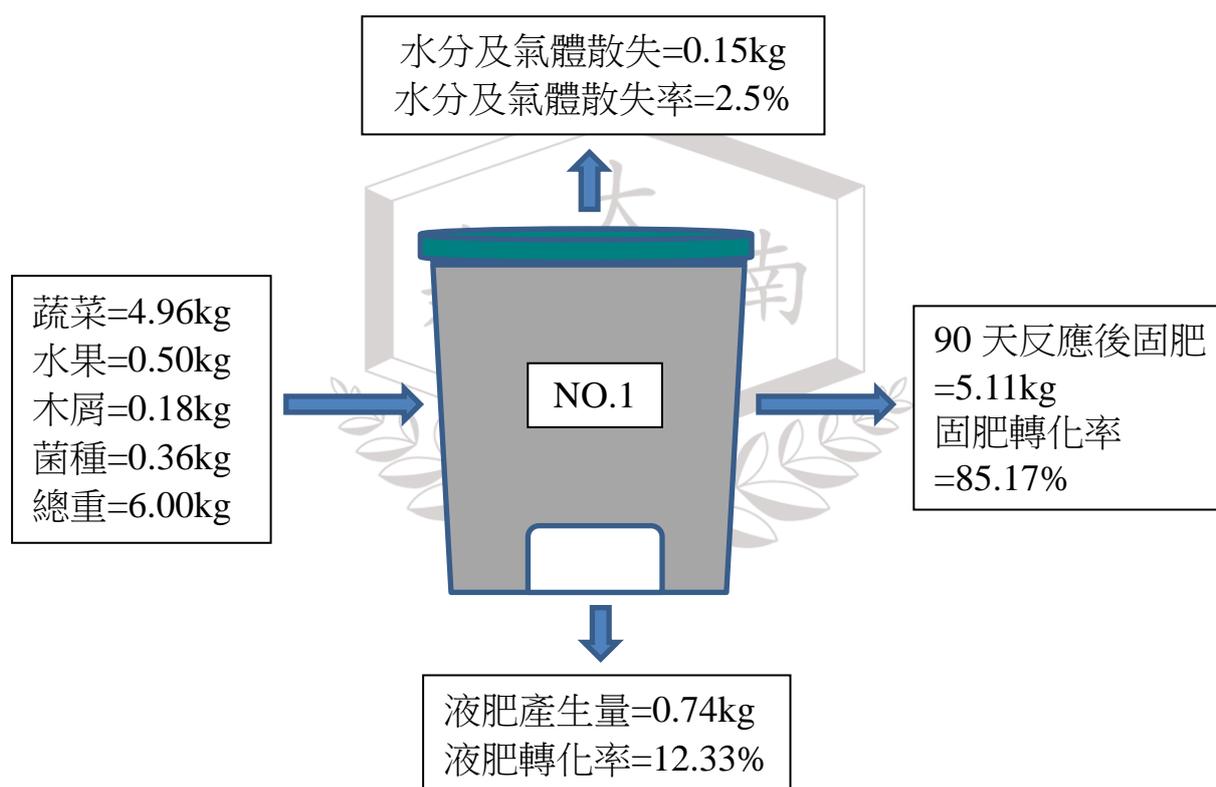


圖 4-18 廚餘桶裝堆肥 NO.1 之質量平衡圖

## 2. 廚餘桶裝堆肥 NO.2 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.2 其操作參數為臺南城西熟堆肥、進料混堆法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 10:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 1.47 公斤和 90 天反應時間固肥 4.51 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.02 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 24.5%、固肥為 75.17% 及氣體水分散失率為 0.3%。

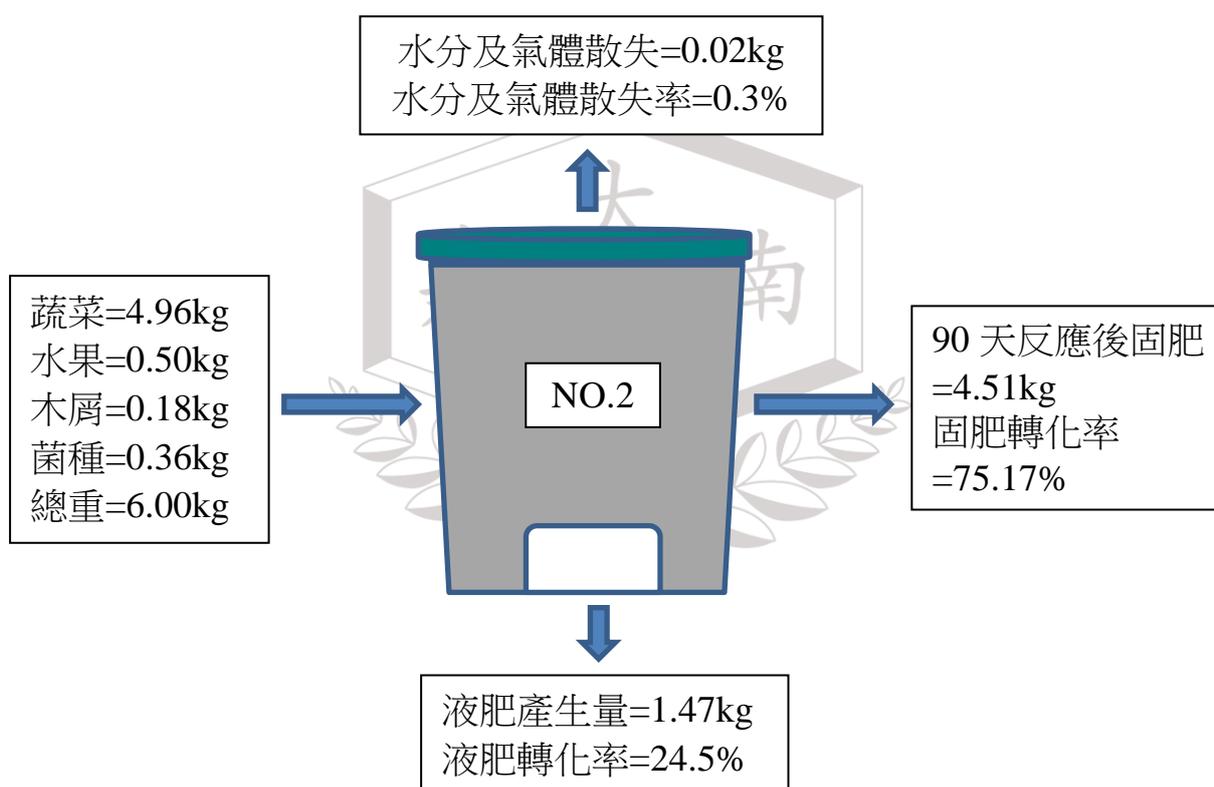


圖 4-19 廚餘桶裝堆肥 NO.2 之質量平衡圖

### 3. 廚餘桶裝堆肥 NO.3 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.3 其操作參數為臺中農改場菌種、進料三明治堆疊法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 10:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 0.85 公斤和 90 天反應時間固肥 5.03 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.12 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 14.17%、固肥為 83.83% 及氣體水分散失率為 2%。

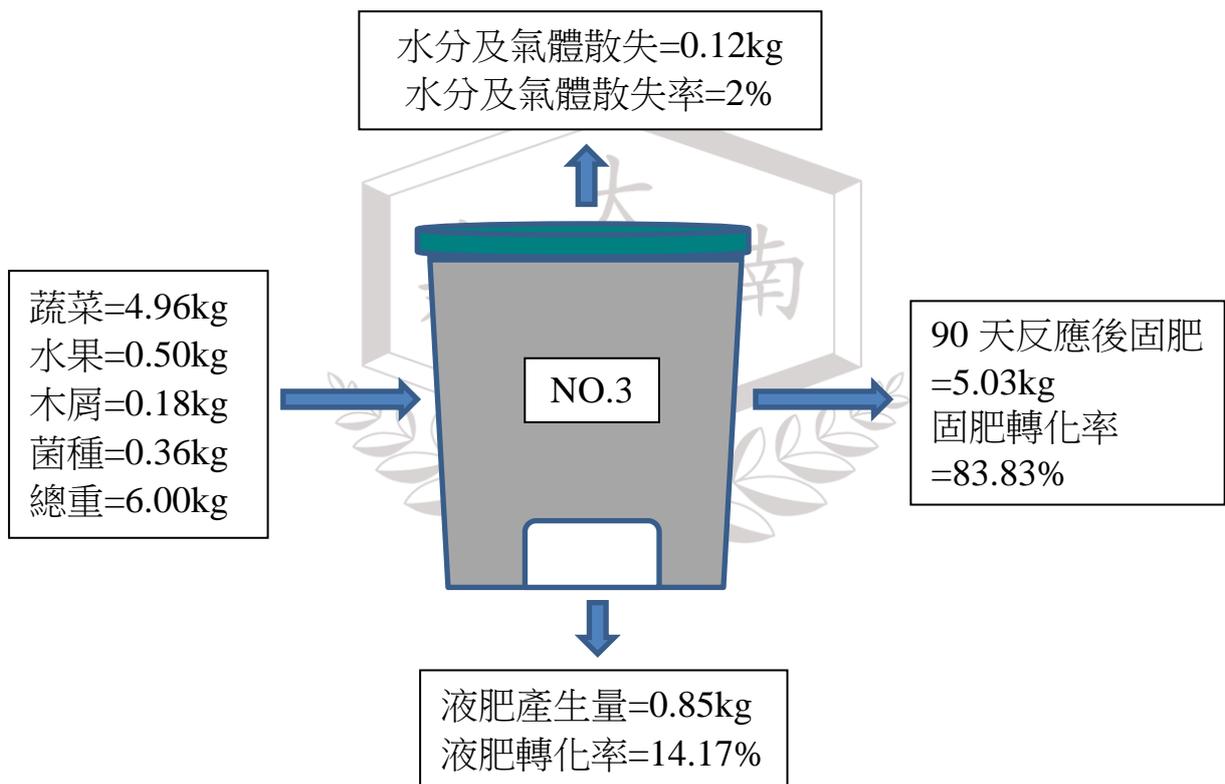


圖 4-20 廚餘桶裝堆肥 NO.3 之質量平衡圖

#### 4. 廚餘桶裝堆肥 NO.4 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.4 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥迴流 50%和蔬果/醱酵配比 10:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 1.01 公斤和 90 天反應時間固肥 5.14 公斤，等於氣體與水分散失量為-0.15 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 16.83%、固肥為 85.67% 及氣體水分散失率為-2.5%，研判為每星期進行液肥迴流作業過程中，將堆肥桶蓋開啟而導致氣體散失或水分的增加，導致桶裝堆肥無法達到完整之質量平衡。

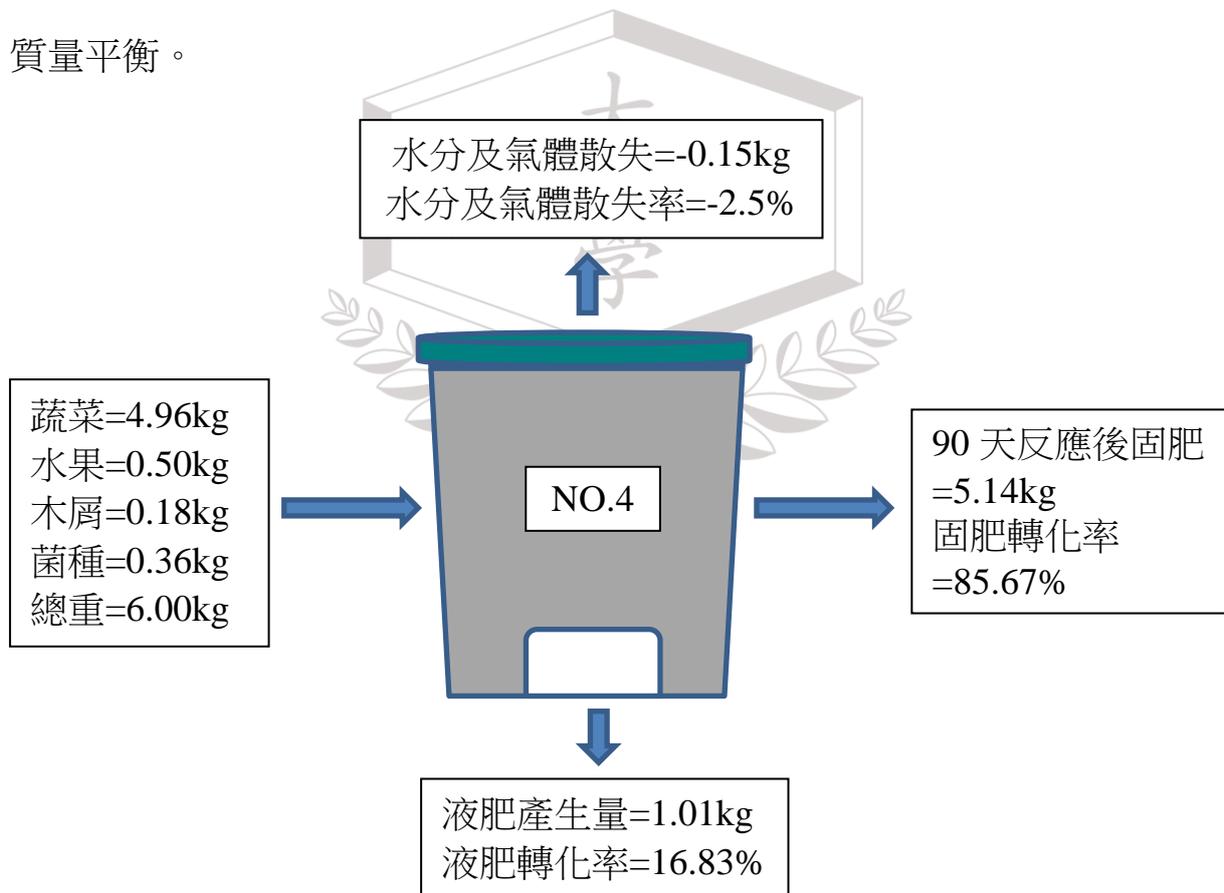


圖 4-21 廚餘桶裝堆肥 NO.4 之質量平衡圖

## 5. 廚餘桶裝堆肥 NO.5 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.5 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥迴流 25% 和蔬果/醱酵配比 10:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 1.70 公斤和 90 天反應時間固肥 4.11 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.19 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 28.33%、固肥為 68.50% 及氣體水分散失率為 3.17%。

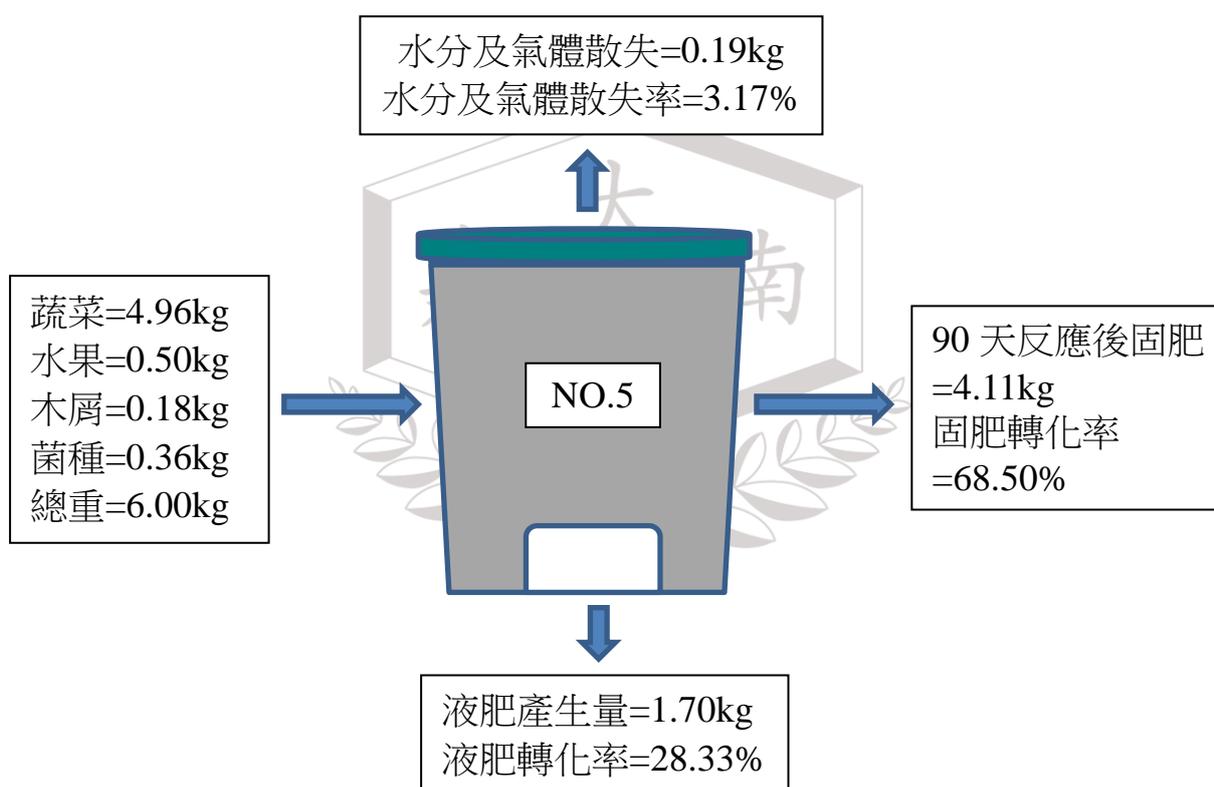


圖 4-22 廚餘桶裝堆肥 NO.5 之質量平衡圖

## 6. 廚餘桶裝堆肥 NO.6 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.6 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 8:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 1.38 公斤和 90 天反應時間固肥 4.57 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.05 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 23%、固肥為 76.17% 及氣體水分散失率為 0.83%。

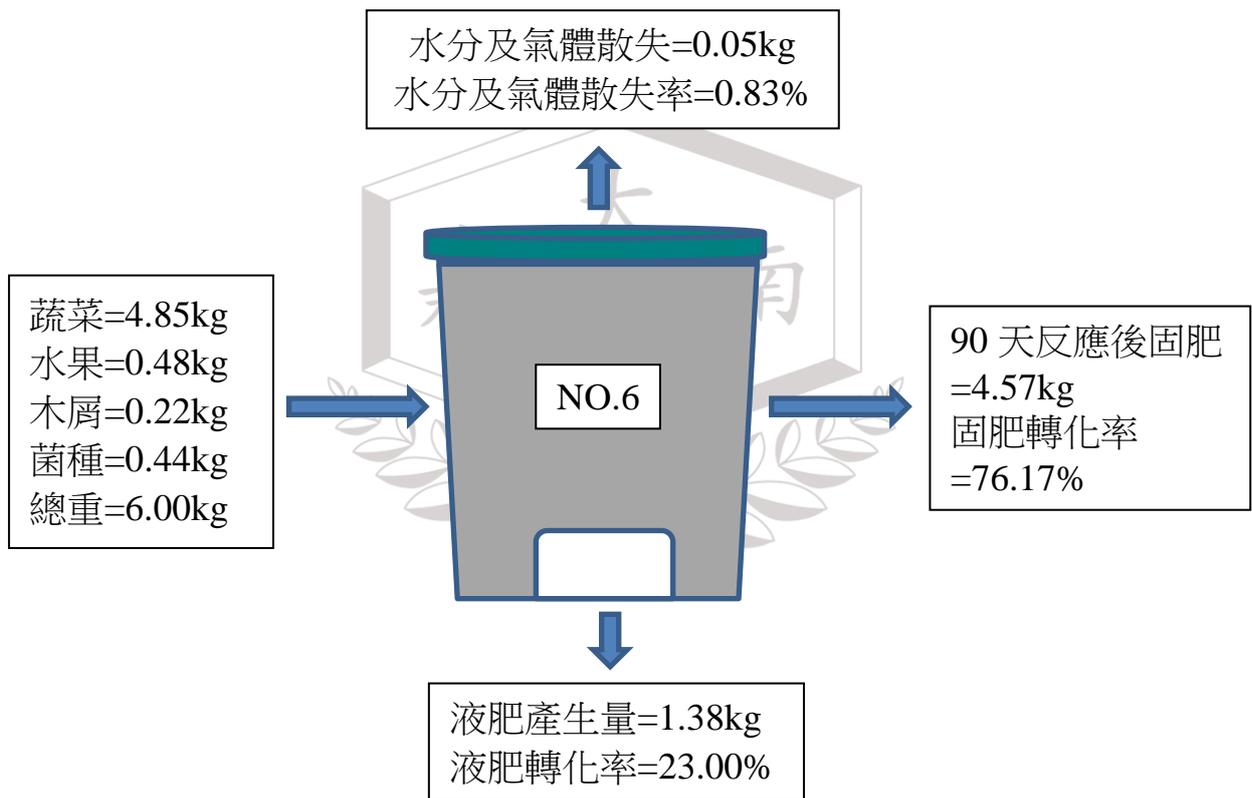


圖 4-23 廚餘桶裝堆肥 NO.6 之質量平衡圖

## 7. 廚餘桶裝堆肥 NO.7 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.7 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 6:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 0.47 公斤和 90 天反應時間固肥 5.44 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.09 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 7.83%、固肥為 90.67%及氣體水分散失率為 1.5%。

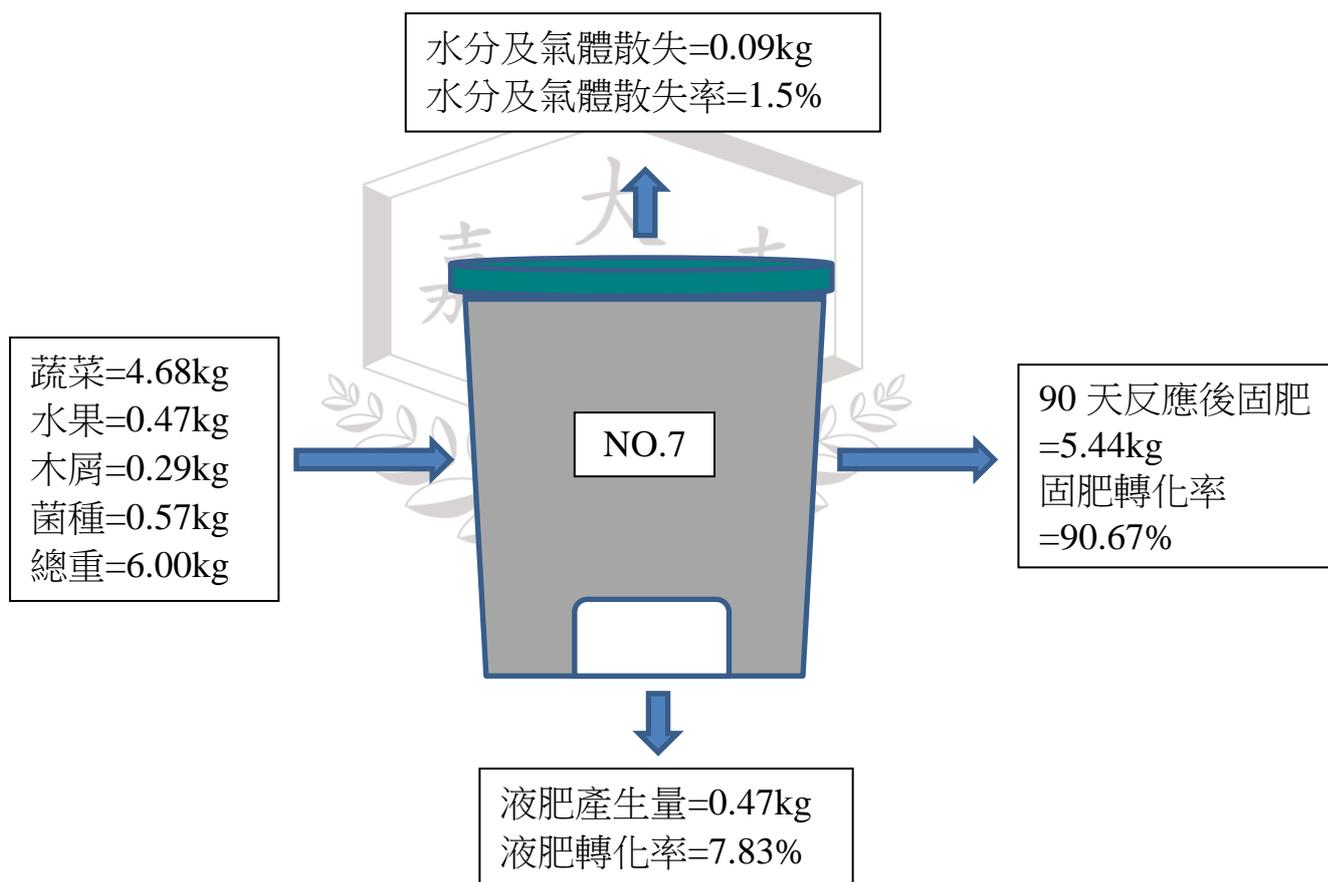


圖 4-24 廚餘桶裝堆肥 NO.7 之質量平衡圖

## 8. 廚餘桶裝堆肥 NO.8 之質量平衡

桶裝堆肥 NO.8 其操作參數為臺中農改場菌種、進料混堆法、液肥不迴流和蔬果/醱酵配比 4:1，發現進料總重為 6.00 公斤，在堆肥化過程中減去液肥產生量 0.70 公斤和 90 天反應時間固肥 5.27 公斤，等於氣體與水分散失量為 0.03 公斤。而桶裝堆肥化轉化率液肥為 11.67%、固肥為 87.83% 及氣體水分散失率為 0.5%。

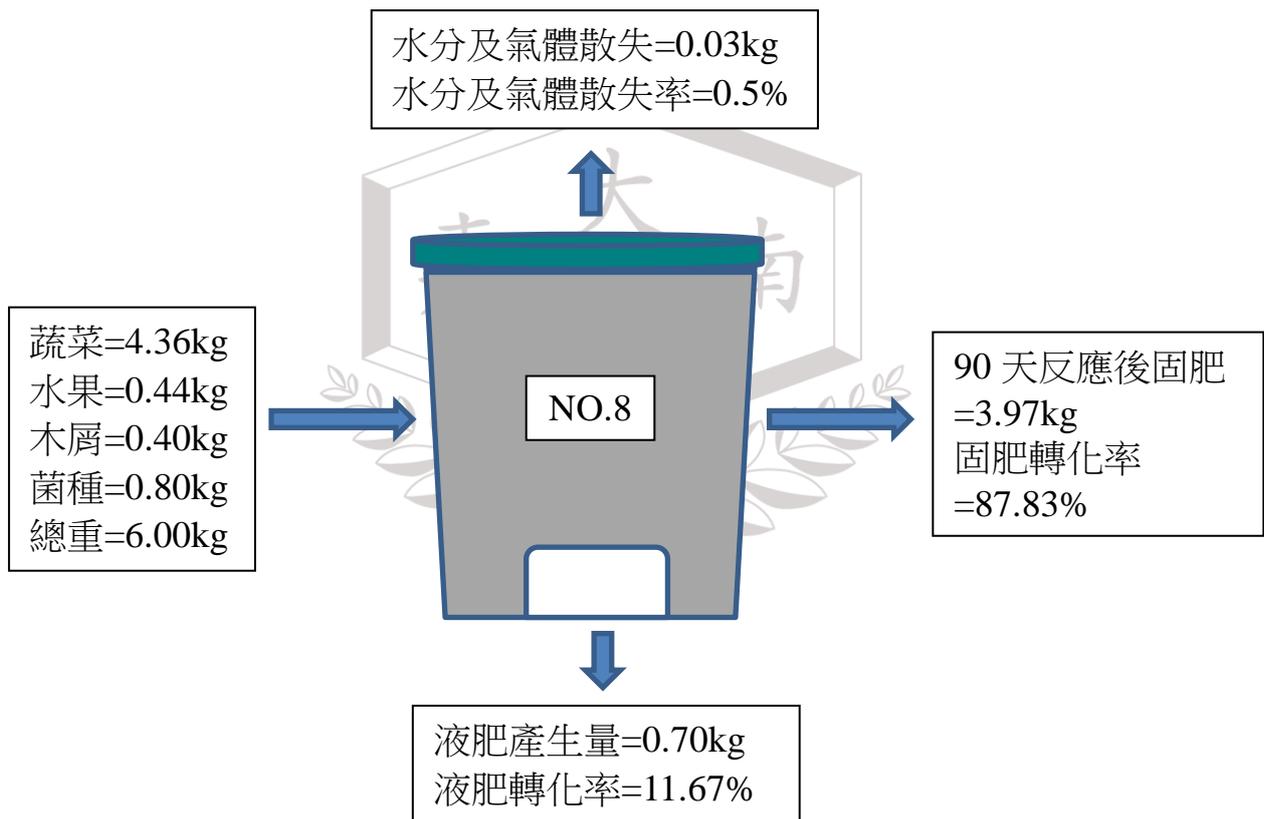


圖 4-25 廚餘桶裝堆肥 NO.8 之質量平衡圖

#### 4-3-9 廚餘桶裝堆肥化最適條件評析

廚餘桶裝堆肥化經過固、液肥成品分析後，針對各項指標及操作參數進行評比，其評分項目包括固肥特性(含有機質、氮、磷、鉀及種子發芽率)及液肥特性(含氮、磷、鉀、種子發芽率及液肥累積量)，每項參數由高至低分別給予 3~10 分。經過評分後如表 4-15 所示，發現分數介於 49~78 分，顯示操作參數影響廚餘桶裝堆肥化產品品質。

##### 1. 不同菌種

在使用不同菌種以 NO.1 臺中農改場菌種 66 分高於 NO.2 臺南城西熟堆肥 59 分，顯示菌種在各項評分指標中為臺中農改場菌種勝出，另，臺南城西熟堆肥雖評分較低，但仍有高含量有機質與符合雜項堆肥標準等優點，兩種醱酵材料皆可運用於堆肥及推廣用途，藉以達到廚餘回收再利用之效益。

##### 2. 不同進料方式

在使用不同進料方式中以 NO.1 進料混堆式 66 分高於 NO.3 三明治堆疊進料法 49 分，顯示進料混堆能有效將生廚餘與醱酵材均勻混和接觸，提升堆肥化過程中醱酵反應與肥堆營養之成效，反之採用三明治堆疊進料法則無法讓生廚餘層與醱酵層適當接觸醱酵，雖有達到雜項規範標準，但無法有效提升整體肥效達到最高效果。

##### 3. 不同液肥迴流比

在使用不同液肥迴流比中以 NO.4 液肥迴流 50%的 76 分高於 NO.1 液肥不迴流與 NO.5 液肥迴流 25%的 66 分及 65 分，顯示液肥迴流能在堆肥化過程中與生廚餘及醱酵材進一步接觸反應，能有效提升各營養成分含量。

#### 4. 不同進料配比

在使用不同進料配比中以 NO.8(蔬果/醱酵 4:1)、NO.7(蔬果/醱酵 6:1)、NO.6(蔬果/醱酵 8:1)及 NO.1(蔬果/醱酵 10:1)分數依序為 78、75、69 及 66 分，顯示桶裝堆肥化過程中增加醱酵材配比能提高有機質、氮、磷、鉀等影響堆肥肥效之重要因子，但因提高醱酵材使用量而導致廚餘回收再利用數量降低，並未符合回收目的，為達到堆肥化成效及廚餘再利用之目標，本研究建議使用 NO.6(蔬果/醱酵 8:1)操作參數來達到最高效益。

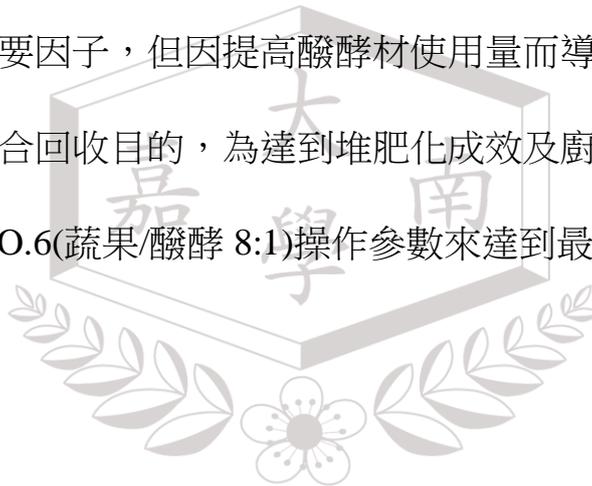


表 4-15 廚餘桶裝堆肥化最適條件評分表

實驗組別	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8
固肥項目	參照組 (註 1)	臺南城 西熟堆 肥	三明治 堆疊法	液肥迴 流 50%	液肥迴 流 25%	蔬菜 8 醱酵 1	蔬菜 6 醱酵 1	蔬菜 4 醱酵 1
有機質	3	10	7	5	4	6	8	9
氮	7	10	4	7	5	9	8	3
磷	10	3	5	7	4	6	8	9
鉀	4	3	6	5	7	8	9	10
種子發芽率	10	8	3	10	8	4	8	8
液肥項目	-	-	-	-	-	-	-	-
氮	6	3	6	8	7	6	10	10
磷	6	4	4	10	6	8	8	9
鉀	5	3	4	7	6	8	10	9
種子發芽	10	6	4	10	8	6	3	7
液肥累積量	5	9	6	7	10	8	3	4
總分	66	59	49	76	65	69	75	78

註 1:混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥不迴流、進料配比蔬果 10:醱酵 1

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

1. 廚餘桶裝堆肥化操作下，發現添加醱酵材配比對堆肥有些微的影響。醱酵材越多使得初期堆肥桶水分越少，造成含水率偏低，液肥量也減少甚至初期無液肥產出，但經過 90 天的堆肥醱酵後，其成品並無太大差異。
2. 廚餘桶裝堆肥化操作下，發現液肥在操作條件下有不同的累積量，但其中以液肥迴流有較大影響因素，推測為液肥迴流過程中與堆肥桶的生廚餘及醱酵材進一步反應後產出更高的液肥量。
3. 經過 90 天堆肥化反應後，根據固肥成品結果得知，本研究固態有機堆肥成品皆以符合農委會雜項堆肥規範之要求，其中經過混堆式、液肥迴流、增加醱酵材的堆肥操作方式，皆有比參照一般堆肥手冊編號 NO.3(三明治堆疊法、臺中農改場菌種、液肥不迴流及配比蔬果 10:醱酵層 1)堆置的成品有較高之營養肥份。
4. 經過 90 天堆肥化反應後，根據液肥成品結果得知，發現其中混堆式進料法、液肥迴流及增加醱酵層配比的操作參數可有效提高氮、磷及鉀含量，在液肥累積量中，適當的液肥迴流(迴流 50%)及提高醱酵層(蔬果 8:醱酵層 1)也有些許的影響。
5. 經本研究之固態堆肥成品得知，適當添加醱酵材配比雖有較高的營養素質，但影響並不大，建議使用正常配比(蔬果/醱酵材 10:1)或 NO.6(蔬果

/醱酵材 8:1)即可，以減少添加醱酵材所需之成本，且可節省購買菌種之所需費用。

6. 經本研究之有機液肥成品得知，在導電度方面有明顯過高之疑慮，建議施用於作物前，需經過稀釋降低導電度值後方可使用。
7. 本研究在固、液態成品分析綜合結論出最佳操作參數為使用混堆式進料、臺中農改場菌種、液肥迴流 50%及進料配比蔬果/醱酵層 8: 1 之操作參數能有最好的數值。

## 5-2 建議

1. 後續可針對生廚餘、菌種、木屑進行特性分析，探討不同進料特性與不同操作參數對產品中氮、磷、鉀含量之影響。
2. 適度的液肥迴流可促進堆肥化反應並提升液肥累積量，但液肥迴流量與液肥產生量其相關性仍需進一步探討，可增加液肥迴流的參數及成品特性相關之研究。

## 參考文獻

1. 楊萬發、楊盛行、馬鴻文、陳文卿、鄭正勇，“廚餘及堆肥成品中有害成分調查、肥力及土壤列管評估計劃暨廚餘資源化設施、產品品質標準建制及市場開發近、中程策略規劃”，台北市環境保護局專案計畫期中報告，(2002)。
2. 郭文健,鄭幸雄,鄭文騰，“廚餘高溫生物發酵及養殖魚藻之綠色產業技術開發計畫”，行政院環境保護署環保科技育成中心計畫期末報告，(2004)。
3. 黃國青，“禽畜糞堆肥處理技術輔導手冊”台灣省畜牧廢棄資源再生利用協會，(1997)。
4. 羅秋雄，“有機質肥料製作與使用”桃園區農業改良場，[http://tydares.coa.gov.tw/htmlarea\\_file/web\\_articles/tydais/1472/soil6.pdf](http://tydares.coa.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/tydais/1472/soil6.pdf)，引用日期：2012年7月9日。
5. Bou-Zeid, M., El-Fadel, M., (2004), “Parametric sensitivity analysis of leachate transport simulations at landfills”. Waste Management 24, 681–689.
6. Shin, H.S., Han, S.K., Song, Y.C., Lee, C.Y., (2001), “ Performance of UASB reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste”. PII: S0043-1354 (01) 00041-0.
7. Peavy, H.S., Rove, D.R., Tchobanoglous, G., (1985), “Environmental

Engineering”. McGraw Hill Publishing Company, New York, USA.

8. Desjardins, J.P., Le'pine, J.F., (2002), “Information and extension guide for municipal solid waste recycling”. Montreal, Les Ami-e-s de la Terre de Montre'al (The friends of planet earth of Montreal), Montreal, Canada.
9. 行政院環境保護署, “垃圾變黃金生活環境改造手冊”, 2001 年 7 月。
10. 行政院環境保護署環境督察總隊, “廚餘回收再利用操作管理參考手冊”, (2008)。
11. 行政院環境保護署, “一般廢棄物資源循環推動計畫(核定本)”, 行政院環境保護署「96至101年公共建設計畫：一般廢棄物資源循環推動計畫」, (2007)。
12. 行政院環境保護署統計資料庫, “執行機關垃圾清理狀況” <http://210.69.101.110/epa/stmain.jsp?sys=100>, 引用日期：2012 年 7 月 5 日。
13. 江康鈺、童翔新、林哲彥、李燦銘, “99 至 101 年度(第 2 年)一般廢棄物最終處置前組成採樣及分析工作”, 行政院環境保護署專案計畫期末報告, (2011)。
14. 秦思源, “台灣地區養豬頭數調查結果分析”, 農政與農情, 127期, (2002)。
15. 陳義雄、陳文賢, “餽水豬肉品質之探討”, 中國畜牧學會會誌, 26 (1) :

P67-76，(1997)。

16. 陳文卿、李勝隆、林以慈、蕭碧蓮、羅正宏，“利用高溫厭氧發酵做污泥消化之可行性研究”，第17屆廢水處理技術研討會，(1992)。
17. 夏良宙，“目前台灣應用或可能應用於豬之副產品”，副產品應用於家畜禽飼料研討會論文集，P13~27，國立屏東科技大學編印，(1999)。
18. 陳伯宇，“廚餘問題面面觀”，資源回收月刊，十月號，第2-6頁，2001。
19. 李文智，“家庭廚餘堆肥化處理”，環境教育季刊，第三十六期，第4-7頁，1998。
20. 洪明龍，“家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究”，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，2000。
21. 王仲龍，“廚餘堆肥化處理技術之研究”，國立高雄海洋科技大學海洋環境工程學研究所碩士論文，2005。
22. 林殿琪，“論台灣家庭廚餘堆肥現況與未來發展探討”，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文，2000。
23. 行政院環境保護署，“廚餘回收之效益”，  
<http://www.epa.gov.tw/ch/aioshow.aspx?busin=331&path=2507&guid=07db72ed-7d2d-4248-8ef0-037c9d309e87&lang=zh-tw>，引用日期：2012年6月29日。
24. 卓聖育，“廢棄活性污泥與廚餘厭氧共消化減量及能源回收之研究”，

- 長榮大學職業安全與衛生學系碩士論文，2008。
25. Yoneyama, Y., and Takeno, K. “Co-digestion of domestic kitchen waste and night soil sludge in a full-scale sludge treatment plant,” *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 45, No. 10, pp.281-286, 2002.
  26. 王創正，“廢棄有機污泥以連續批次厭氧消化產氫及甲烷之研究”，長榮大學職業安全與衛生學系碩士論文，2006。
  27. 洪雍程，“建立廚餘製作液體肥料操作指標參數之研究”，國立高雄海洋科技大學海洋環境工程研究所碩士論文，2005。
  28. 官路，“下水污泥堆肥化操作因子之研究”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，1990。
  29. Vicky L.M., Vestal J. R., “Microbial Activity in Composting”, *Biocycle*.26 , 35-43 , 1985.
  30. 王三郎，“微生物於堆肥製作之應用”，『生物資源、生物技術』，期3，頁143~149，1999。
  31. Namkoong W., E.Y. Hwang, J.G. Cheong, J.Y. Choi.(1999), “A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting,” *Compost Science and Utilization*, 7, 55-62.
  32. 簡宣裕，“製造堆肥時材料的碳氮比及水分含量之調整，《堆肥製造技術》”，農業試驗所永續發展協會出版，P59-64，(1999)。
  33. Suehara K.I., O. Yasuyuki, N. Yasuhisa, Y. Takuo.(1999),“Rapid measurement and control of the moisture content of compost using

nearinfrared spectroscopy,” *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol.87, No.6, 769-774.

34. 林鴻祺，“堆肥製造原理，《堆肥製造技術》”，農業委員會農業試驗所特刊第 88 號，p.49-57，(1999)。
35. 莊作權，“土壤肥料”，三民書局，初版，(1997)。
36. Pascual, J.A., C. Garcia, T. Hernandez, and M. Ayuso. “Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes.” *Biol. Fertil. Soils* 24:429-434, 1997.
37. 張乃斌，“固體廢棄物處理”，三民書局，初版，(1997)。
38. Namkoong W., E.Y. Hwang, J.G. Cheong, J.Y. Choi.(1999), “A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting,” *Compost Science and Utilization*, 7, 55-62.
39. 林財旺，“禽畜糞堆肥之製造”，堆肥製造技術，農委會農業試驗所永續發展協會出版，P107-142，(1999)。
40. Domeizel M., A. Khalil, P. Prudent. (2004), “UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost,” *Bioresource Technology*, 94, P177-184.
41. 簡宣裕、張明暉、劉禎祺，“堆肥品質之判斷”，行政院農業委員會農業試驗所特刊第 121 號，P279-288，(2005)。
42. 陳仁炫，“禽畜糞堆肥的特性及其應用”，88年度全省禽畜糞堆肥場堆肥成品分析試驗及處理技術手冊，P15-22，(1999)。

43. 范陽添，“推動廚餘回收再利用之可行性研究－以苗栗縣為例”，中華大學經營管理研究所碩士論文，(2004)。
44. 臺中市環境保護局，“臺中市推動螞蟻雄兵廚餘堆肥化示範計畫期末報告”，2007。
45. 臺南市環境保護局，“機不可失-社區廚餘堆肥再利用期末報告”，2008。
46. 臺南市環境保護局，“臺南市推動廚餘、落葉堆肥整體管理計畫期末報告”，2011。
47. 行政院環境保護署，“一般廢棄物回收清除處理辦法”，行政院環境保護署環保法規<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx>，引用日期：2012年7月2日。
48. 行政院農業委員會農糧署，“肥料種類品目及規格”，(2012)。
49. 蔡人傑，“蔬菜廢棄物好氧生物降解（堆肥化）”，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士論文，1993。
50. Shin, H.S., Han, S.K., Song, Y.C., Lee, C.Y., (2001), “ Performance of UASB reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste”. PII: S0043-1354 (01) 00041-0.
51. S.P. Mathur. Composting processes. “Bioconversion of Waste Material to Industrial Products.” Martin, A.M. Elsevier, New York, 147 – 186,

- 1991.
52. Wong, J.W.C., Mak, K.F., Chan, N.W., Lam. A., Fang, M., Zhou, L.X., Wu, Q.T., and Liao, X.D. "Co-Composting of Soybean Residues and Leaves in Hong Kong," *Bioresource Technology*, Vol.76, pp.99-106, 2001.
53. 連深, "有機質肥料之肥效試驗及結果判斷之若干觀點", 有機質肥料合理施用技術研討會專刊, pp. 110-125。台灣省農業試驗所編印, 臺中, 台灣, 1995。
54. 戴年禧, "不同堆肥操作參數對家戶廚餘好氧堆肥化特性之影響", 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文, 2010。
55. 李紹倫, "厭氧桶裝式廚餘堆肥化之研究", 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文, 2010。
56. 張富貴, "利用負壓廂式醱酵槽製作廚餘堆肥之研究", 國立高雄海洋科技大學海洋環境工程研究所碩士論文, 2007。
57. Fang, M., Wong, J.W.C. (1999) "Effects of Lime Amendment on Availability of Heavy Metals and Maturation in Sewage Sludge Composting," *Environmental Pollution*, Vol.106, pp.83-89.
58. Wong, J.W.C., Li, S.W.Y., and Wong, M.H. (1995) "Coal Fly Ash as a Composting Material for Sewage Sludge: Effects on Microbial Activities," *Environmental Technology*, Vol.16, pp.527-537.
59. 呂理安, "麥粕與下水污泥快速堆肥及其應用", 國立交通大學環境工

程研究所碩士論文，2005。

