

國立台東大學生命科學所
碩士論文

指導教授：李炎 博士



(利用藍細菌反應器處理廚餘廢水)
Use Cyanobacteria Bio-reactor to Treat Food Waste Sewage

研究生：李智翔 撰

中華民國九十八年七月

國立台東大學
學位論文考試委員審定書
系所別：生命科學研究所

本班 李智翔 君

所提之論文 利用藍細菌反應器處理廚餘廢水

業經本委員會通過合於 碩士學位論文 條件
 博士學位論文

論文學位考試委員會：

馬曉鈴

(學位考試委員會主席)

許振宏

李忠

(指導教授)

論文學位考試日期：98年07月08日

國立台東大學

- 附註：1. 本表一式二份經學位考試委員會簽後，送交系所辦公室及註冊組或進修部存查。
2. 本表為日夜學制通用，請依個人學制分送教務處或進修部辦理。

博碩士論文授權書

本授權書所授權之論文為本人在 國立臺東大學 生命科學系 組 97 學年度第 2 學期取得 碩 士學位之論文。
論文名稱：利用藍細菌反應器處理廚餘廢水

本人具有著作財產權之論文全文資料，授權予下列單位：

同意	不同意	單位
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	國家圖書館
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	本人畢業學校圖書館
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	與本人畢業學校圖書館簽訂合作協議之資料庫業者

得不限地域、時間與次數以微縮、光碟或其他各種數位化方式重製後散布發行或上載網站，藉由網路傳輸，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

同意 不同意 本人畢業學校圖書館基於學術傳播之目的，在上述範圍內得再授權第三人進行資料重製。

本論文為本人向經濟部智慧財產局申請專利(未申請者本條款請不予理會)的附件之一，申請文號為：_____，請將全文資料延後半年再公開。

公開時程

立即公開	一年後公開	二年後公開	三年後公開
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

上述授權內容均無須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權。

指導教授姓名：林 (親筆簽名)

研究生簽名：李智翔 (親筆正楷)

學 號：9400807 (務必填寫)

日 期：中華民國 98 年 2 月 20 日

1.本授權書(得自 <http://www.lib.nttu.edu.tw/theses/> 下載)請以黑筆撰寫並影印裝訂於書名頁之次頁。

2.依據 91 學年度第一學期一次教務會議決議:研究生畢業論文「至少需授權學校圖書館數位化，並至遲於三年後上載網路供各界使用及校內瀏覽。」

授權書版本:2008/05/29

謝誌

首先感謝恩師李炎老師這幾年來的悉心指導，老師體諒我是在職進修的學生，給予更多的指導與耐心，經過了多年的努力及老師的諄諄教誨，終於寫出了自己的畢業論文。

論文口試期間，承蒙蘇德銓老師、許振宏老師等考試委員提出許多寶貴意見，使本論文更趨完善，僅致最誠摯的謝意。感謝賴由美養豬場提供本實驗 Gastec GV-100 檢知器及部分檢知管。

我非常感謝深愛我的父母親，特別是我的父親，他協助我進行本實驗的田野試驗，以及哥哥智揚與姊姊采茱一直鼓勵著我，讓我能順利完成學業。最後，感謝我的老婆雅琇一路陪我走過艱辛的歷程，給我精神上最大的支柱，使我能無後顧之憂。願將未來我個人努力所得之成就與所有關心我的人分享。

中文摘要

我們先將廚餘的殘渣與廢水分離，再利用藍細菌反應器來處理廚餘廢水。藍細菌反應器能在一天後消除廚餘廢水所產生的臭味，並且不再繼續產生臭味。廚餘廢水的酸鹼度由 pH 3~4 (酸性溶液) 變為 pH 8~9 (鹼性溶液)。經過藍細菌處理過的廚餘廢水，溶氧量 DO (dissolved oxygen) 增加，化學需氧量 COD (Chemical Oxygen Demand) 下降，而且又可以凝固油脂和澄清廚餘廢水。經過藍細菌反應器處理後的廢水，不會影響到青梗白菜 (*Brassica rapa* L. Chinensis group) 種子的發芽，而且使廚餘廢水吸引蒼蠅的程度約降低為 1/3 倍，稀釋藍細菌反應器處理過的廚餘廢水，又可用做液肥提高青梗白菜的產量。

關鍵詞：藍細菌反應器、廚餘、廢水處理。

Abstract

This experiment used food waste that have been separated into sewage and solid food waste and set up a cyanobacteria bio-reactor to treat the sewage. For one day the cyanobacteria bio-reactor could efficiently reduce the malodor, and no longer produce the stink. The pH value of food waste sewage became 8 ~9 (alkalized solution) instead of 3~4 (acid solution). Using the cyanobacterial bio-reactor to process food waste sewage , could increase the amount of dissolved oxygen, and drop the chemical oxygen demand. Moreover, it could coagulate the fat and clarify water in the food waste sewage. After the treatment of cyanobacteria bio-reactor, the food waste sewage, did not affect cabbage (*Brassica rapa* L.Chinensis group) seeds germination. It also caused a reduction for 1/3 of housefly attraction. Diluted food waste sewage that treated by cyanobacteria bio-reactor used as the liquid fertilizer could enhance the growth of cabbage.

Key words:

Cyanobacteria Bio-reactor, Food Waste, Sewage Treatment,

目次

內容之項目名稱	所在頁次
中文摘要	i
Abstract	ii
目次	iii
圖目次	vi
表目次	viii
第一章 前言	1
第二章 文獻探討	6
第一節 廚餘成分的基本特性	6
第二節 廚餘堆肥化主要成分的代謝反應 與臭氣產生的關連性	7
第三節 微生物分解臭味分子之種類與機轉	9
第四節 生物性肥料之有效性	13
第五節 家庭廚餘堆肥之可行性	14
第三章 材料與方法	16
第一節 實驗材料	16
第二節 實驗器材	16
第三節 功能藍菌培養液配方	28
第四節 實驗方法	29
1. 收集廚餘廢水	29
2. 處理廚餘廢水菌種之取得	29
3. 功能藍菌篩選	29

4. 大量培養功能藍菌	30
5. 測定 pH 值	31
6. 測溶氧量 DO 及化學需氧量 COD 值	31
7. Gastec 檢知管檢測氣體分子	32
8. 分組測試發芽率	32
9. 田野試驗分組--計數沾黏的蒼蠅數量	33
10. 田野試驗分組一種菜測試藍菌液肥成效	34
第四章 結果與討論	36
第一節 pH 值測定	36
第二節 溶氧量 DO 值測試	37
第三節 化學需氧量 COD 值測試	38
第四節 檢知管對於氣味分子的定量研究	39
第五節 發芽率測試	44
第六節 田野吸引蒼蠅測試	45
第七節 田野種菜測試藍菌液肥成效	45
第五章 結論	49
第六章 參考資料	52
第七章 附錄	58
附錄1 行政院環境保護署統計資料庫	
全國垃圾清運狀況	58
附錄2 醣類(碳水化合物)、蛋白質與脂質的代謝作用	
The catabolism of various molecules	
from food	59
附錄3 微生物分解廚餘有機物所產生的臭味分子	60
附錄4 與廚餘臭味有關的含硫化合物	62

附錄5	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 pH 值的變化表	..... 63
附錄6	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 溶氧量 DO 值的變化表	..... 64
附錄7	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 溶氧量 COD 值的變化表	..... 65
附錄8	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 氣體分子中氨氣 (NH ₃) 的變化表	..... 66
附錄9	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 氣體分子中硫化氫 (H ₂ S) 的變化表	..... 67
附錄10	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 氣體分子中乙酸 (CH ₃ COOH) 的變化表	..... 68
附錄11	經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 氣體分子中胺類 (R-NH ₂) 的變化表	..... 69
附錄12	田野黏蠅測試藍菌廚餘水 吸引蒼蠅程度統計表	..... 70
附錄13	田野種菜測試藍菌廚餘水 液肥成效統計表	..... 71
附錄14	Gastec 系列空氣檢知管 ---氣溫相關係數	..... 72
附錄15	田野吸引蒼蠅測試、田野種菜試驗 ---場地溫度和雨量	..... 73

圖目次

圖1. 為功能藍菌(魚腥藍菌屬 <i>Anabaena sp.</i>) 及其在紫外光下的螢光反應	16
圖2. HACH DR/2010 分光光度計	16
圖3. 檢知器介紹圖	17
圖4. 檢知器細部分解圖	18
圖5. 檢知管外觀圖	19
圖6. 檢知管細部圖： 依照變色程度對照刻度，來判別所偵測的氣體濃度	20
圖 7-1. 將檢知管與檢知器組裝	20
圖 7-2 . 拉開拉把，儀器內呈負壓 使空氣流入檢知管	21
圖 7-3 . 讀取變色範圍對照刻度，紀錄數值	21
圖8. 依序為：有經功能藍菌處理之廚餘廢水、 未經功能藍菌處理之廚餘廢水	31
圖9. 田野種菜試驗示意圖	35
圖10. pH 值的變化圖	37
圖11. 溶氧量 DO 值的變化圖	38
圖12. 化學需氧量 COD 的變化圖	39
圖13. 氣體分子中氨氣 (NH_3) 的變化圖	40
圖14. 氣體分子中硫化氫 (H_2S) 的變化圖	41
圖15. 氣體分子中乙酸 (Acetic acid) 的變化圖	42
圖16. 氣體分子中胺類 (R-NH_2) 的變化	43
圖17. 田野吸引蒼蠅測試統計圖	45

圖18. 田野種菜測試藍菌液肥成效結果分析圖	.....	46
圖19. 組別 A:『每 4 日加灑花寶 2 號營養液 500ml』		
青梗白菜生長情況	.....	47
圖20. 組別 B:『每 4 日加灑 1/20 稀釋的		
藍菌廚餘水 500ml』 青梗白菜生長情況	.....	47
圖21. 組別 C:『每 4 日加灑自來水 500ml』		
青梗白菜生長情況	.....	48
圖22. 組別 D:『每 4 日加灑 1/20 稀釋的廚餘水 500ml』		
青梗白菜生長情況	.....	48



表目次

表1、	DR/2010分光光度計～典型的操作程序步驟	.....17
表2、	本實驗所需要用到的檢知管型號	.....19
表3、	功能藍菌培養液配方	.....28
表4、	各組液體發芽率測試	.....44



第一章 前言

藍細菌是能行光合作用的原核微生物。它具有許多應用功能，除了食用、生產化學物質及作生態指標等外，還可以分解水中污染物。而淨化廚餘廢水亦為其重要功能之一（李 a, 李 b, 2000）。台灣地區 2008 年廚餘回收量 686,780 公噸，約佔整體垃圾產生量的 13.94%，其中堆肥占 162,333 公噸、養豬占 520,703 公噸，其他廚餘再利用方式約占 3,744 公噸（附錄 1. 行政院環境保護署統計資料庫 全國垃圾清運狀況），目前垃圾處理方式主要以焚化及掩埋為主，根據分析，台北市區與市場之廚餘含水量分別為 68.10%、89.45%（黃, 1991），若不將廚餘另外分類回收，而將廚餘送入焚化爐中，會產生垃圾總發熱降低現象，對焚化爐之操作將造成不利影響。

但是民眾平常不太重視此一資源的回收，主要是因為廚餘油膩、易臭、不易保存、內容複雜、水分多、不易操作、又容易孳生病原菌與蚊蟲。一般民眾多希望儘速將廚餘丟棄，遠離廚餘。然而，將有機的廢棄物傾倒在垃圾掩埋場，是非常浪費又沒有效率的方式，食物分解不完全，會造成甲烷氣體與酸水、使得臭氧層破壞、水源系統污染、佔據更多的垃圾掩埋場；再則，廚餘廢棄物並非良好燃燒的材料，如果以焚化廠焚化的方式處理廚餘，需要額外添加輔助熱源，成本很高，以經濟效益與節約能源的觀點來看，也不適宜；因此，將廚餘回收，進行好氣性的微生物發酵堆肥處理應是較理想與有效益的方式。不過，一般的廚餘堆肥發酵過程如果沒有控制得當，會有產生臭氣的問題，其反應的時間也會很長，因此解決上述問題成為發展廚餘堆肥最

重要的課題之一（曾，2006）。

政府推動廚餘回收時，希望民眾將固態廚餘交由資源回收車回收再利用，而廚餘的液態部分大部分會經由家庭廢水排入下水道，廚餘廢水中的碎屑和油脂等有機物，造成廚餘廢水有腐臭味，不宜直接排入水溝，在『藍菌淨化廚餘廢水之應用』實驗中(李，2003)，由池水中分離出一種藍菌(*Synechococcus sp.*)，能將自來水稀釋 10 倍之廚餘廢水中雜質粘裹並形成團狀，連油脂亦不例外，並能逐漸分解裡面的有機團狀物，使水澄清並消除廚餘之惡臭味。而受功能藍菌處理之澄清廢水(用 1：50 自來水稀釋)，以吳郭魚苗試測，魚苗能健康生存。因此，認為受功能藍菌處理後之澄清廢水應可放流。此外，經此藍菌淨化之廚餘廢水以 1：100 自來水稀釋後，作為種白菜的液肥，效果也十分良好，亦不會特別吸引蒼蠅（李 a, 李 b, 2000）。

本次實驗比照『藍菌淨化廚餘廢水之應用』之實驗方法，但是有以下不同之處：

1. 前述實驗部分僅以觀察廚餘廢水之變化，本次實驗加入 pH 值、COD 值、溶氧量及氣味分子的定量研究。
2. 以塑膠桶打氣繁殖藍菌更為經濟便利於家庭處理廚餘廢水。
3. 種菜及捕蠅實驗地點由實驗室試驗改採田野試驗。
4. 實驗菌種改採魚腥藍菌 *Anabaena sp.* 來淨化水質。

生物處理技術將是未來處理有機廢物的主流，生物處理技術係於處理設備空間內，利用自然界存在的微生物對廢氣中的污染物進行消化代謝，將污染物轉化為無害的水、二氧化碳及其他無機鹽類，是一種低二次污染且能源消耗極低的經濟有效處理技術，可稱之為『清潔』處理技術，非常適於國內中小企業經濟及環境上的考量。雖然生物處理法於處理低濃度廢氣時具有低成本之優點，但缺點在於生物處理技術所需停留時間較長，設備佔地面積大（徐，2003）。

臭氣是一種特別的空氣污染型態，很容易由人們的嗅覺器官感受到它的存在，因而心生厭惡，甚至感覺到健康受到嚴重威脅，內心產生劇烈的排斥感。人類的嗅覺器官可以偵測到非常微量的臭氣，我們的鼻子只要有 10^8 到 10^9 個的臭味分子就足夠可以感受到臭氣的在，一微克（ μg ）的臭氣乙硫醇（ethyl mercaptan）大約含有 10^{16} 個氣體分子，也就是相當於我們鼻子能夠感受最低濃度的 10^7 到 10^8 倍，因此只要環境中存在有微量的臭氣產生物質，臭氣的強度是非常顯著而強烈的（曾，2006）。由於人類對臭氣的敏銳度如此強烈，居家環境如果存有產生臭氣的源頭（例如：廚餘堆肥場、養豬場等），嚴格控制臭氣的產生與溢散就顯得非常重要，否則將嚴重影響人類的生活質。不過由於人類嗅覺的靈敏度，經常會讓一般去除或控制臭氣的成效無法令人滿意，因為在許多狀況下至少需要有效去除臭氣存在量的95 ~ 100%，才能讓居民充分感受到臭味的降低（Hunter and Oyama, 2000），由此可見，臭味的防治並不容易，但需求是非常迫切，而一般民眾對其防治成效的要求則是特別地嚴格。

臭味的產生絕對是人類日常生活起居一個很大的困擾，臭味防治的策略有許多種類，但是應該與整個臭氣產生的系統相互搭配，否則將無法達到適當的效果(Powers, 1999)，過去幾十年來，人類已經發展了許多傳統物理或化學的技術來防治臭味的產生，但是最近則開始嘗試新的臭味防治系統，稱為生物反應器。利用微生物系統來處理臭味是被認為最具潛力的方式，因為它具有能夠有效分解濃度低但臭味強度高的揮發性物質(Kosteltz *et al.*, 1996 ; Deshusses, 1997 ; Le Cloirec *et al.*, 1999 ; Le Cloirec *et al.*, 2001)，微生物可以將臭味分子完全氧化分解，不像傳統的物理化學方式，僅能將臭味吸收於特定的材質（如活性碳）中或溶解轉移到溶液中，並未實際消失；如果運用熱焚燒氧化的方式，是可以完全將臭味分子降解，但是成本偏高(Kennes and Veiga, 2001)。

微生物處理的方式通常可在常溫下進行，在微生物生長的代謝過程中，將有機物質降解為二氧化碳與水(Desusses, 1997)

(Lewandowski and DeFilippi, 1998)，只要微生物種類正確且培養條件恰當（如：含氧量、化學組成、溫度等），微生物能夠有效地分解幾乎任何的有機化合物(Lewandowski and DeFilippi, 1998)，不過要運用微生物來清除廢棄物與其產生的臭味，微生物作用的速率與降解的程度就顯得非常地重要。一般來說，微生物降解有機物質的成效主要依賴三個重要因素(Lewandowski and DeFilippi, 1998 ; Crawford and Crawford, 1996 ; Van Agteren *et al.*, 1998)：

1. 使用的微生物種類（具有降解特定有機物質結構的能力）。

2. 培養微生物的環境條件（適合微生物生長及生產降解廢棄有機物所需要的酵素）。

3. 微生物與廢棄有機物間需有良好的接觸（適當的生物反應器）。運用微生物來分解清除污染源是一個較可行的策略，有許多的文獻也有部分的探討，尤其是利用微生物來分解某些重要臭味分子。

（Darlington *et al.*, 2000 ; Deshusses, 1997 ; Zhu, 2000 ; Le Cloirec *et al.*, 2001 ; Williams, 2001），不過這些技術都還有很大的改進空間，最大的問題是如何迅速篩選，得到具有顯著分解臭味分子能力的微生物？如何推廣到家庭中供家庭處理廚餘廢水？

針對上述的問題與看法，本實驗乃嘗試以功能藍菌分解廚餘廢水與臭味分子，並設計適合家庭處理廚餘廢水的藍細菌生物反應器，進行廚餘廢水中臭味分子的分解與臭氣產生的防治之探討，並且測試處理後的廚餘廢水，是否可以成為有效的液態肥料。

第二章 文獻探討

廚餘堆肥中，醣類、蛋白質和脂肪是微生物新陳代謝過程中最重要之營養及能量的來源，當微生物在其中生長的時候，很容易被微生物分解成小分子，也是產生臭氣最大的可能來源。而纖維素、半纖維素和木質素因為結構的緣故不易被微生物所分解，只有部分特殊的微生物能將其分解或氧化，提供部分微生物生長的能量來源，比較不可能成為產生臭氣的來源(張, 1995 ; Ohta and Ikeda, 1978 ; 吳, 2003 ; 林, 1999) 。在堆肥時，有機廢棄物的代謝會產生一些胺基酸、多肽類和有機酸等，在氧氣不足時，更會產生有惡臭味的吲哚、糞臭素、硫化氫、揮發性氮類、硫醇類、短鏈脂肪酸等代謝產物(林與簡, 1995)。

1. 廚餘成分的基本特性：

廚餘之組成與性質因來源、季節、地區不同而有所差異，但是基本特性為含水量高、有機物質含量高，成分大都是微生物可分解的成分，例如：碳水化合物、脂肪、蛋白質、纖維素、半纖維素和木質素等(袁, 1994) 。其中醣類(碳水化合物)、氨基酸、蛋白質、脂肪等比較容易被微生物所分解而產生臭味；而半纖維素分解率高，最終產物為水、二氧化碳，不易產生臭味；纖維素、木質素等分解率較低，最終產物亦為水、二氧化碳等不會產生臭味。

由於我國對廚餘回收與應用的意識才剛萌芽，政府剛起步推行廚餘回收的政策，有關於國內廚餘成分的基本特性研究文獻甚少，雖然有歐美相關研究報告可供參考，對廚餘堆肥化也少有涉略，但是因為

歐美廚餘之種類與內含物顯然與我國一般飲食習慣所產生的廚餘有很大的差異，因此這些研究報告所發表的數據很難能直接引用（曾，2006）。

2. 廚餘堆肥化主要成分的代謝反應與臭氣產生的關連性

傳統環境生物技術的基本原理，便是將廢棄物及有毒害性物質集中於處理場，然後藉由大自然中（主要來自土壤）具有分解能力的微生物，或添加靠特殊方法培養出自然界非優勢的益生菌來進行分解，以達到分解廢棄物的目標。早在幾億年前，微生物早已在地球上扮演分解者的角色，因為微生物有機物質分解成小分子再進入地球生態圈的物質循環中（Miller, 1993；Rynk, 1992）。本研究則是利用微生物（藍菌）將大分子的有機物質分解成為小分子，進而達到分解廚餘廢水的目的。

一般廚餘堆肥中的微生物會將蛋白質先分解成小肽鏈與胺基酸，在碳源充足的情況下，這些被分解的胺基酸事實上大多不會繼續被分解，而是被微生物再回收利用，合成新的蛋白質，因此不會有臭氣產生的問題；但是如果廚餘堆肥中碳源不足，則胺基酸在好氧的狀況下可能會被微生物進一步被分解成酒精、有機酸、 NH_3 及 CO_2 ，開始產生某些不良的氣味出來；如果廚餘堆肥中碳源不足，發酵環境又是屬厭氧性的狀況，則胺基酸會被微生物分解成氫或硫醇類，產生強烈的腐敗臭味來（Crawford and Crawford, 1996；Van Agteren *et al.*, 1998；Darlington *et al.*, 2000）。

以碳水化合物分解的例子來說，在好氧性的環境下，真菌可將葡

葡萄糖氧化成為檸檬酸或草酸，如果氧氣充足，則會完全氧化成為 CO_2 與 H_2O ，並產生大量的能量，此部份是不會有臭氣產生的問題(Lewandowski and DeFilippi, 1998)；不過在厭氣狀態下分解時，則會產生反-丁烯二酸(fumaric acid)與具有揮發性的醇類，則容易產生氣味出來。

由於脂肪較不容易溶於水，是微生物較不易分解的有機物質，在好氧與厭氣的狀況下，脂肪物質的生物分解第一步驟均為水解為甘油與脂肪酸，甘油會進入糖解作用路徑轉化為dihydroxyacetone phosphate (DHAP) 後，代謝之；脂肪酸則以 β -氧化產生乙醯輔酶A 後，進入檸檬酸代謝循環(如附錄2.)。脂肪的代謝產物與醣類的代謝產物大致相似，因此並無產生強烈臭氣的問題。

自然界中好氣性細菌通常會分解纖維素成 CO_2 、黏性物質及色素，少有代謝中間產物的累積，真菌及放射菌分解纖維素的結果也大致相同，只是過程中可能因部分代謝不完全而釋出少量有機酸。而當厭氧性細菌存在的狀況下，纖維素會被分解成為醋酸(Crawford and Crawford, 1996)，則會產生強烈的酸臭味出來。

歸納上述的廚餘堆肥主要成分的微生物代謝反應與其臭氣產生之關連性得知，為了降低廚餘廢水處理過程當中臭氣的產生，應提供廚餘廢水中足夠的碳源給微生物生長，避免其中蛋白質與胺基酸被分解為 NH_3 及含硫分子，同時廚餘廢水應保持空氣流通，供應作用中的微生物有足夠的氧氣，維持在好氧的環境下，可避免廚餘堆肥產生具有惡臭的氣體出來。因此我們以打氣機打入空氣，供給功能藍菌 CO_2 以利光合作用，進而使功能藍菌分解廚餘廢水所產生的臭氣分子，並且降低

廚餘所造成的臭味及污染。

生物處理程序 (biological processes) 一直被認為是除去有機物臭味最具有競爭力的方法 (Hunter and Oyama, 2000 ; Powers, 1999) , 比化學處理程序 (chemical processes) 更天然且便宜。理論上, 如果廢棄物的成分對微生物不具毒性, 或微生物對該毒性具有耐受性, 在合適的生長環境條件下 (包括氧氣含量、溫度、化學成分等), 我們幾乎都可以找到相對應的微生物來分解特定的有機物質 (包括廚餘的臭味分子), 生物反應器中的微生物可以將臭味分子氧化與分解, 使得臭味強度降低或甚至消失。

3. 微生物分解臭味分子之種類與機轉

「臭味」是一個有點主觀判斷且難以定義的名詞, 依據大多數人的經驗來說, 應該就是種讓個人不喜歡的气味或濃度, 甚至令人無法忍受、產生強烈的排斥感。

臭味分子種類繁多, 據估計大約有40 萬種, 這些會產生臭味的化合物, 依照其化合物的官能基來劃分, 應可分為九類: (曾, 2006)

- (1) 碳基化合物: 如低碳數 (1-5 個碳) 之醛及酮。
- (2) 羧基化合物: 一些低級脂肪酸。
- (3) 氮化合物: 氮與胺類 (amine) 等化合物。
- (4) 硫化合物及硫醇類: 如硫化氫、甲硫醇及乙硫醇等。
- (5) 醇及醚類: 如正丁醇、丙烯醇、苯甲醇及乙二醇乙醚等。
- (6) 酯類: 丁酸乙酯、丙烯酸甲酯及鄰苯二甲酸二辛酯等。
- (7) 鹵烷化合物: 如三氯乙烯、對二氯苯及四氯化碳等。

- (8) 苯酚類：如苯酚、正甲酚、間甲酚、對甲酚及三甲酚等。
- (9) 脂肪族碳氫化合物及芳香族碳氫化合物：如苯、甲苯、二甲苯、乙苯及三甲苯等。

其中，由微生物分解廚餘有機物所產生的臭味分子主要有三大類：

(化學式如附錄3.)

- (1) 揮發性的含硫化合物：

尤其是二甲基三硫醚 (dimethyl trisulfite; DMTS)。

- (2) 揮發性的胺：

例如是二甲胺 (dimethylamine; DMA)、三甲胺 (TMA)、二乙胺 (diethylamine; DEA) 與三乙胺 (TEA)。

- (3) 苯基吡嗪 (pyrazine) 化合物：

尤其是alkylpyrazine，例如：2,3-diethyl-5-methylpyrazine (DM) 與2,5-dimethylpyrazine (DP)。

廚餘有機物所產生的氣味複雜，而廚餘的氣味與內容物、滋生微生物種類及代謝途徑等有關，這裡以3類主要臭味分子逐一敘述：

- (1). 揮發性的胺 (R-NH₂)：

揮發性的胺應是食品腐敗最主要的臭味來源 (Tang *et al.*, 1996; Van Agteren *et al.*, 1998; Chang *et al.*, 2004; Rappert, Muller, 2005)，尤其是二甲胺 (dimethylamine; DMA) 不但具有惡臭味，而且它可以轉化成 *N*-nitrosomethylamine，變為一種致癌物 (Lundstrom, Racicot, 1983)，因此不可不慎重處理。微生物降解肌酸酐 (creatinine) (血液、肌肉、尿中所含生理代

謝的產物)後會產生DMA,有文獻發現,土壤中的DMA會被微生物迅速代謝分解(Ayanaba *et al.*, 1973; Smith and Aubin, 1992),在有氧的環境下,微生物會將DMA代謝轉化成甲基胺與甲醛,DMA與三甲胺(TMA)的微生物降解可能行經相同的代謝路徑。TMA則是漁產中微生物降解膽鹼(choline)、甜菜鹼(betaine)、trimethylamine-*N*-oxide而產生的一種惡臭化合物,它不但味道不良,也具有腐蝕組織的特性,TMA會抑制DNA、RNA、蛋白質的合成,因此是一種有毒物質,有報告指出TMA會使小鼠發生畸形胎。微生物藉TMA dehydrogenase先氧化TMA成為DMA,然後經DMA monooxygenase繼續氧化成monomethylamine,最後再由monomethylamine dehydrogenase完成代謝反應,產生甲醛與氨,此二化合物都可當做原料,進入微生物的絲胺酸合成路徑。

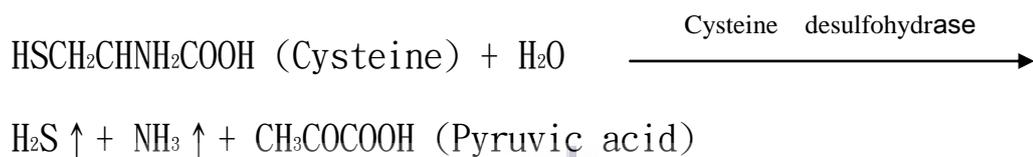
(2). 揮發性的含硫化合物:

有關揮發性的含硫化合物大多來自微生物分解有機物所產生,其產生的作用機轉是因為微生物降解含硫的胺基酸(例如甲基硫胺酸、半胱胺酸及其衍生物),幾乎每種食物中的蛋白質都含有含硫的胺基酸。

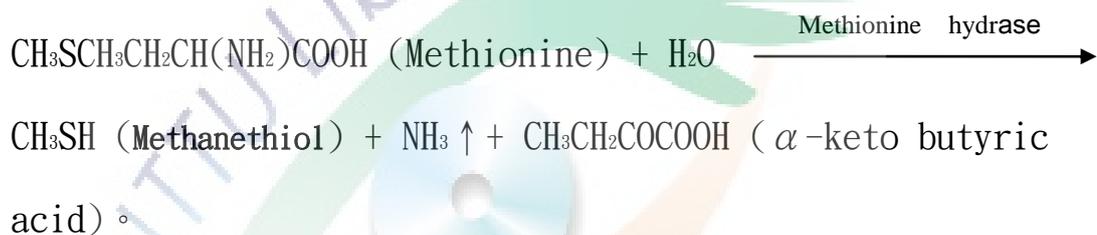
當甲硫胺酸、半胱胺酸等被微生物分解後,會產生大量硫化氫(H_2S)、甲硫醇、乙硫醇及氨氣(NH_3),甲硫醇可進而被微生物還原成 H_2S 及 CH_4 。由於這些硫化物都具有很低的臭味臨界值(可讓人感受到臭味的最低氣體分子濃度),因此只要少量的這

些氣體被產生出來，並持續溢散時，就會造成嚴重的臭味問題。

由半胱氨酸生成硫化氫，主要是由 *Proteus vulgaris*、*Proteus morgani*、*Escherichia coli*、*Saccharomyces cerevisiae* 等微生物之作用，其生化反應程序與參與酵素如下列方程式所示：



硫醇的生成，主要是由 *Clostridium spovogenes* 等微生物之作用，其生化反應程序與參與酵素如下列方程式所示：



某些 *Hyphomicrobium* spp. 與 *Thiobacillus* spp. 也被發現可以將含甲基的硫化物轉化成 SO_4^{2-} 與 CO_2 (De Zwart and Kuenen, 1992 ; Brennan *et al.*, 1996 ; Smet and Van Langenhove, 1998)。

(3). 苯基吡啶 (pyrazine) 化合物：

另一種廚餘臭味的主要分子為 pyrazine 與其衍生物，pyrazine 是一種含氮多環的化合物，在許多蔬菜、昆蟲、陸生脊椎動物、海洋生物中都有發現它的存在，許多微生物的代謝產物中也可以發現 (Rappert and Muller, 2005)，自然界中超過 70 種揮發性的 pyrazine (Wagner *et al.*, 1999)，這些分子間的臭味臨界值 (能被偵測的最低濃度) 有很大的差異，也是食品加工

產業最主要的臭味來源。微生物分解pyrazine分子的機轉到目前都還不是很清楚，只有數個文獻曾經探討過（曾，2006）。

臭味分子DEA對皮膚與黏膜會產生刺激性，微生物對DEA代謝的生理路徑仍不是很清楚，有科學家認為應該與DMA的降解路徑相似(Van Agteren *et al.*, 1998)，有些酵母菌(如 *Candida utilis* 與 *Hansenula polymorpha*) 也可以分解DEA，這些微生物把DEA當做是氮源來使用。

臭味分子TEA的臭味臨界點非常低，而且對人體健康會造成負面的影響，例如引發氣喘與對視力的干擾(Belin *et al.*, 1983; Akesson *et al.*, 1985)，因此值得特別注意。

4. 生物性肥料之有效性：

生物性肥料係利用微生物增加肥料之供應、提高土壤中養份之有效性、改良土壤性質和拮抗土壤或植體中之病原菌。生物性肥料種類很多，依其利用性大致可以分為六大類：（楊，2005）

- (1). 微生物氮肥。
- (2). 微生物磷肥。
- (3). 纖維素分解菌、半纖維素分解菌和木質素分解菌：
- (4). 澱粉質及多醣類分解菌。
- (5). 菌根菌。
- (6). 產生抗菌物質及促進植物生長物質。

本研究所使用的功能藍菌 *Anabaena sp.* 即為可進行光合作用的『非共生自營性固氮菌』。

5. 家庭廚餘堆肥之可行性：

在台灣地區以大型堆肥場處理廚餘，由於經濟成本及技術層面上的困難，實行起來較難推行，於是也發展出家庭式的簡易堆肥，如家庭廚餘堆肥化處理方法（李，1998），處理完之廚餘可以做為土壤改良劑，但對於一般家庭而言，操作上頗繁雜、不便，以及有機肥無適當去處是推行上之困難，腐熟時間長（約需1個月）對都會區家庭而言亦是操作上的一大缺點；也有將廚餘經蚯蚓以及堆肥處理經3~4個月可得到品質優良之有機肥（卓，1999）。由於堆肥場佔地大，產生的二次污染（臭氣、蚊蠅滋生）亦衍生環境衛生問題，因此以堆肥方法來處理廚餘，在台灣地區依然不是相當普遍。（鄭，2001）

根據上述的文獻探討，本研究為篩選功能藍菌以便有效應用於廚餘廢水臭味防治，以及將功能藍菌處理過之廚餘廢水作為天然液肥，主要的策略有二為：

第一為臭味防制：

尋求可分解廚餘廢水之功能藍菌，應用於廚餘廢水處理上，使之「不產生臭味」及「分解已生成的臭味」。為篩選及使用功能藍菌處理廚餘廢水，降解廚餘巨大有機分子（macro organic molecules）（例如：多醣類、蛋白質、脂肪、纖維等），不產生臭味，產生單元分子（例如：單醣、胺基酸、脂肪酸等）以供廚餘中微生物生長之用；而且具有快速分解及消耗含氮、含硫、短鏈脂肪酸等揮發性惡臭物質的能力，以消耗並降低廚餘已經產生

的臭味。

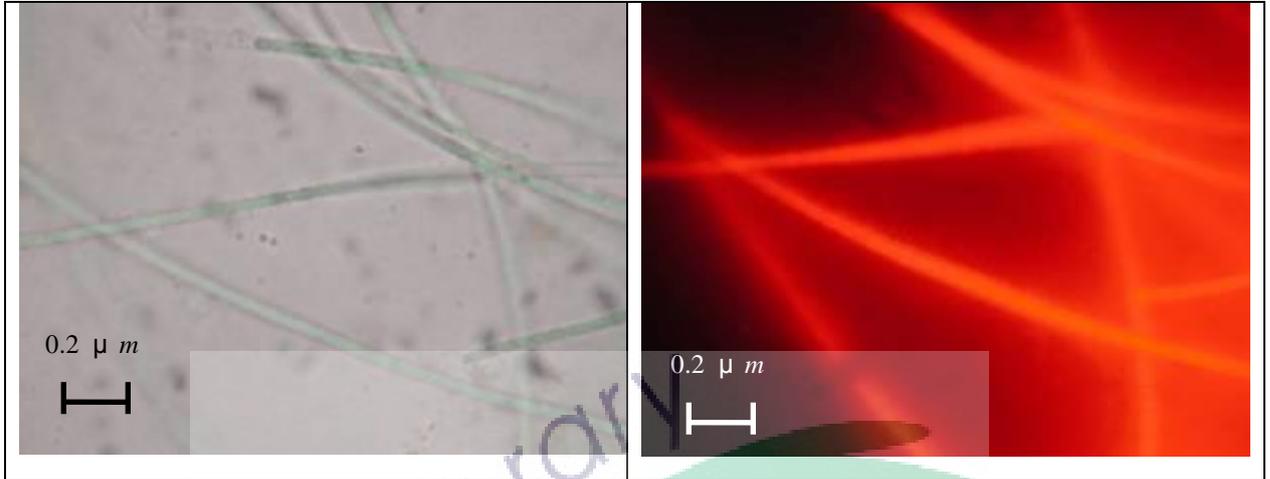
第二為功能藍菌液肥養份之有效性測試：

經過功能藍菌處理之廚餘廢水，用於田野種菜試驗，比較市售液肥與本研究之藍菌液肥的有效性(李, 2003)。



第三章 材料與方法

一、實驗材料：



(螢光顯微鏡型號：Nikon Eclipse E200 拍攝)

圖 1. 為功能藍菌及其在紫外光下的螢光反應(魚腥藍菌 *Anabaena sp.*)

二、實驗器材：

1. 攜帶型 pH 值計 (pH meter)
2. HACH DR/2010 分光光度計

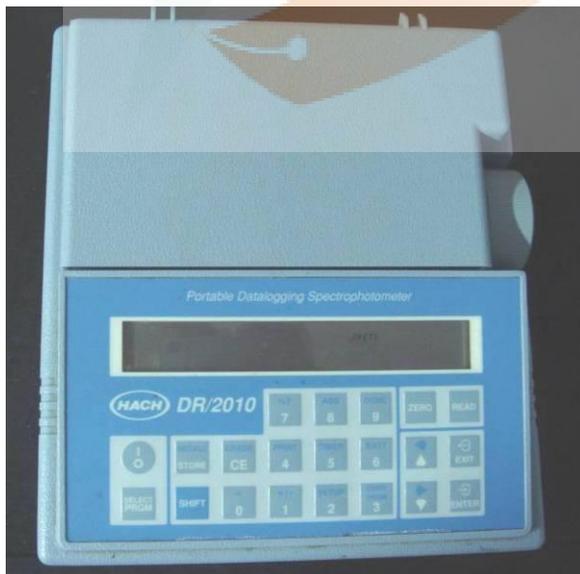


圖 2. HACH DR/2010 分光光度計

表 1. DR/2010 分光光度計～典型的操作程序步驟

操作步驟	儀器顯示內容	目的
按 "I/O" 鍵	SELF-TEST V.XX MEHTOD #?	開機並進行自我檢查，通過後，可以進行測量程序的選擇
輸入數字鍵， 如 2、2、5	MEHTOD #? 225	選擇 225 號方法
	P225 DIAL nm TO 522	225 號方法的波長為 522 nm
調整波長至 522nm， 按 ENTER	P225 Zero Sample, P225 mg/L Mg-CaCO ₃	說明所測量的參數
放入空白樣品	Zeroing? 0.00 mg/L Mg-CaCO ₃	測量空白值
放入欲測樣品	Reading? 1.00 mg/L Mg-CaCO ₃	樣品測量

3. Gastec GV-100 檢知器(GASTEC Corporation , Japan)

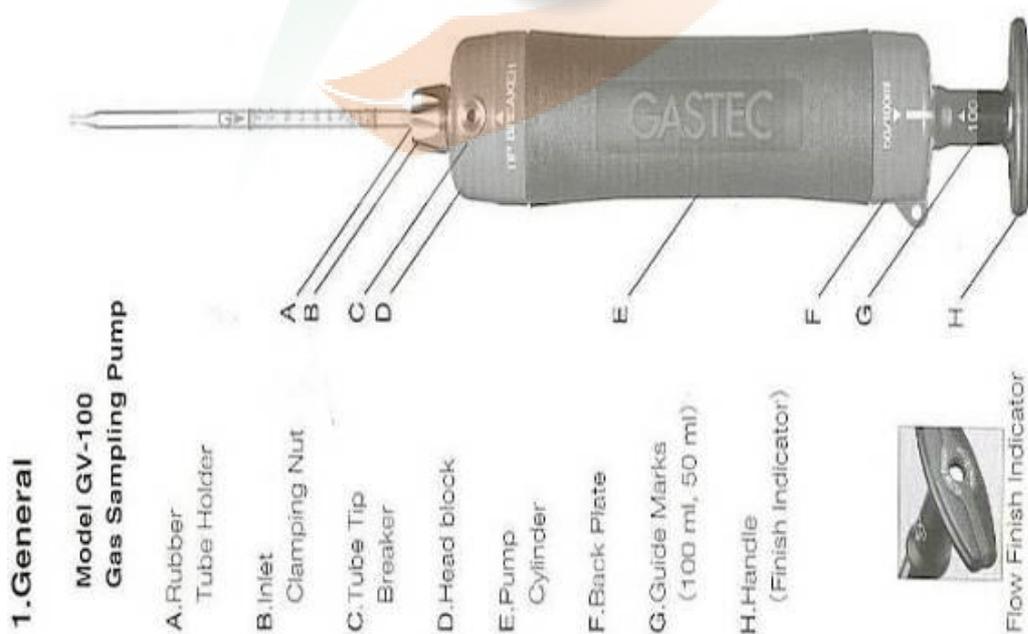


圖 3. 檢知器介紹圖

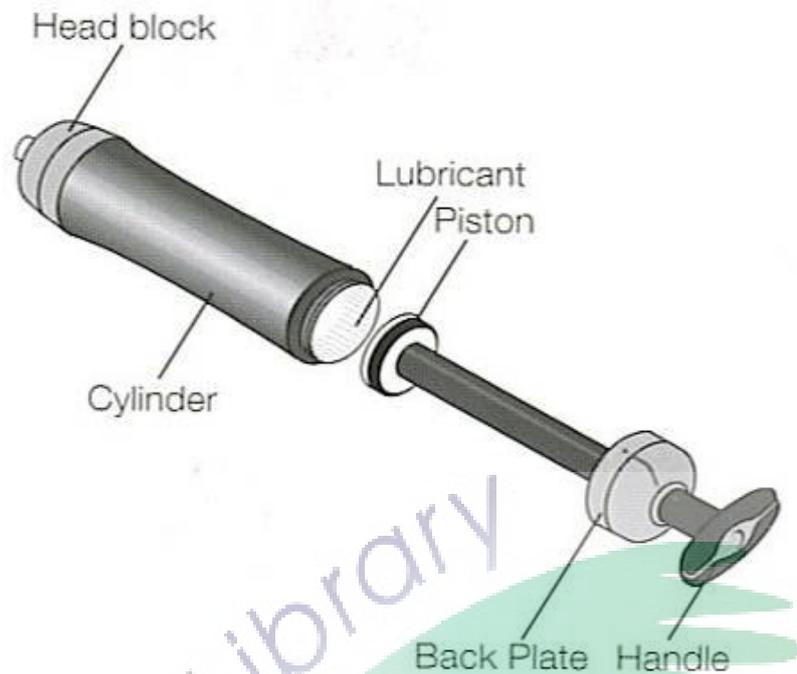


圖 4. 檢知器細部分解圖

上圖為檢知器細部分解圖，內部含有一單向活塞以及逆止閥，防止空氣回流，當抽取空氣時，內部呈現負壓狀態，使得空氣經由檢知管流入管中，當空氣進入檢知管之後，檢知管會產生化學反應產生變色，檢視變色範圍來測得所欲偵測目標的氣體濃度。

4. Gastec 系列空氣檢知管：

依照所偵測的氣體以及濃度，選用不同型號的檢知管來搭配。

表 2. 本實驗所需要用到的檢知管型號

型號	檢測類別	檢測濃度範圍
3L	ammonia	0.5 to 78 ppm
3La	ammonia	2.5 to 200 ppm
4HM	hydrogen sulfide	25 to 1600 ppm
4L	hydrogen sulfide	1 to 240 ppm
4LT	hydrogen sulfide	0.1 to 4.0 ppm
60	phenol	0.4 to 187 ppm
81L	acetic acid	0.125 to 25 ppm
180	amines	5 to 100 ppm
180L	amines	0.25 to 39 ppm



圖 5. 檢知管外觀圖

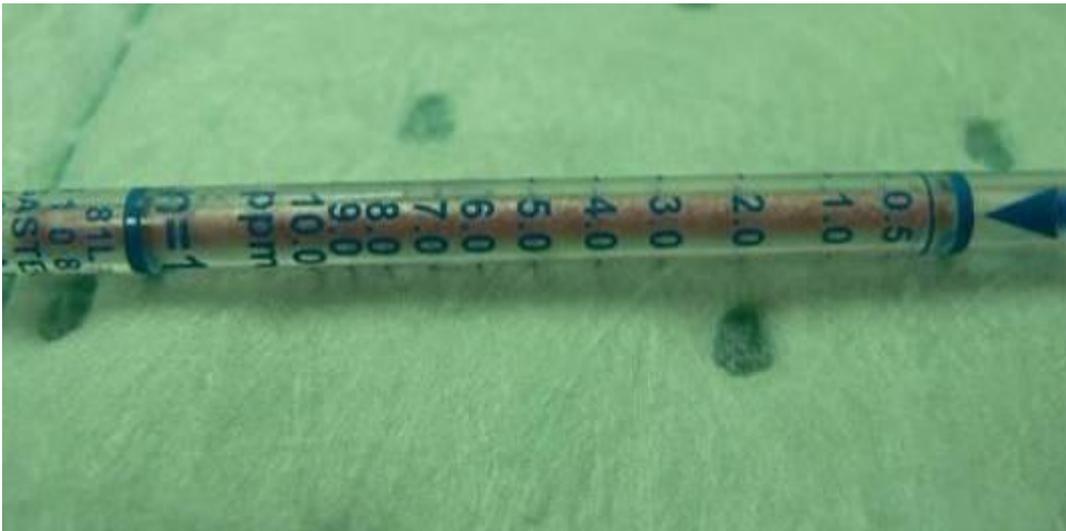


圖 6. 檢知管細部圖：

依照變色程度對照刻度，來判別所偵測的氣體濃度

5. 檢知器使用方法:圖 7-1 到圖 7-3 為檢知器使用步驟



圖 7-1. 將檢知管與檢知器組裝。



圖 7-2. 拉開拉把，儀器內呈負壓使空氣流入檢知管。



圖 7-3. 讀取變色範圍對照刻度，紀錄數值

5. 檢知管變色原理及使用介紹 (徐, 2008):

檢知管為一玻璃管，管內填充不同顏色的化學合成物，具有專一性，利用 Gastec GV-100 檢知器抽取空氣，使空氣流經檢知管產生化學反應變色，由變色範圍可以知道空氣中指標氣體的濃度(周, 2004)。

(1) 氨(ammonia):

將氣體流經檢知管，氣體當中氨氣中和磷酸使檢知管由紫色轉為黃色，依照變色範圍測定氨氣濃度，濃度誤差範圍在 5-10%之間。

purple → yellow



使用環境限制：

- ①. 溫度: 工作溫度為 0 - 40°C，依照檢測地區溫度將測得數值乘以相關係數來得到正確濃度。

型號：NO. 3L 檢測氨濃度 (0.5—78 ppm)

溫度(°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
相關係數	1.35	1.25	1.15	1.07	1.0	0.95	0.9	0.86	0.83

型號：NO. 3La 檢測氨濃度 (2.5—200 ppm)

溫度(°C)	0	10	20	30	40
相關係數	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8

②. 溼度：使用環境 0 - 90%之內不會產生誤差。

③. 壓力依照使用環境壓力換算，換算公式為：

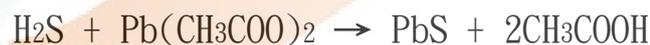
檢測讀值(ppm) × 1013(hPa) / 環境氣壓 (hPa) 。

④. 其他氣體影響：當空氣中 CO₂ 濃度在 1%以上，或者空氣當中有聯氨(hydrazine)或者胺類(amines)會增加 5%的誤差。

(2) 硫化氫(hydrogen sulfide)：

將氣體流經檢知管，硫化氫與醋酸鉛反應使檢知管由白色轉為棕色，依照變色範圍測定硫化氫濃度，濃度誤差範圍在 5-10%之間。

White → Brown



使用環境限制：

① 溫度：工作溫度為 0 - 40°C，依照檢測地區溫度將測得數值乘以相關係數來得到正確濃度。

型號：4LT 檢測硫化氫濃度 (0.1—4 ppm)

溫度(°C)	0	10	20	30	40
相關係數	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1

型號：4L 檢測硫化氫濃度 (1—240 ppm)

溫度的相關係數不需要

型號：4HM 檢測硫化氫濃度（25—1600 ppm）

溫度的相關係數不需要

② 溼度：使用環境 0 - 90%之內不會產生誤差。

③ 壓力依照使用環境壓力換算，換算公式為：

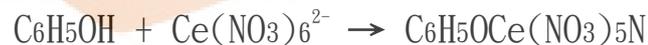
檢測讀值(ppm) × 1013(hPa) / 環境氣壓 (hPa) 。

④ 其他氣體影響：除了乙硫醇會造成些微誤差，其餘氣體不會造成影響。

(3) 酚(phenol)：

將氣體流經檢知管，氣體當中酚與硝酸鈾結合使得顏色由梨黃色轉為灰色，依照變色範圍測定酚濃度，濃度誤差範圍在 25%之間。

Pale yellow → Gray



使用環境限制：

① 溫度：工作溫度為 10 - 40°C，依照檢測地區溫度將測得數值乘以相關係數來得到正確濃度。

型號：60 檢測酚類濃度 (0.4—1 ppm)

Tube Reading (ppm)	True concentration				
	10°C	15°C	20°C	30°C	40°C
25	38	30	25	23	21
20	28	23	20	19	17
15	18	17	15	14	13
10	11	11	10	10	8
5	5	5	5	5	5
3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1

② 溼度：使用環境 0 - 90% 之內不會產生誤差。

③ 壓力依照使用環境壓力換算，換算公式為：

$$\text{檢測讀值(ppm)} \times 1013(\text{hPa}) / \text{環境氣壓 (hPa)}$$

④ 其他氣體影響：空氣當中含有甲酚(cresol)會與硝酸銻結合增加誤差，空氣當中氨(ammonia)以及胺類(amines)超過 2000ppm 也會影響數值的可靠度。

(4) 乙酸(acetic acid)：

將氣體流經檢知管，乙酸中和氫氧化鈉使檢知管由粉紅轉為梨黃色，依照變色範圍測定乙酸濃度，濃度誤差範圍在 5-10% 之間。

Pink → Pale yellow

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow$ 粉紅色指示劑褪色

使用環境限制：

- ① 溫度：工作溫度為 0 - 40°C，依照檢測地區溫度將測得數值乘以相關係數來得到正確濃度。

型號：81L 檢測乙酸濃度 (0.125—25 ppm)

溫度(°C)	0	10	20	30	40
相關係數	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8

- ② 溼度：使用環境 0 - 80% 之內不會產生誤差。
- ③ 壓力依照使用環境壓力換算，換算公式為。
檢測讀值(ppm) × 1013(hPa) / 環境氣壓 (hPa)。
- ④ 其他氣體影響：空氣中含有氯 (chloride)、二氧化硫 (sulfur dioxide)、二氧化氮(nitrogen dioxide)、甲酸 (formic acid)和乙酐(Acetic anhydride)會增加 5% 以內的誤差。

(5) 胺類(amines):

將氣體流經檢知管，胺類與硫酸作用改變 pH 使檢知管由粉紅轉為黃色，依照變色範圍測定胺類濃度，濃度誤差範圍在 5-10% 之間。

Pink → Yellow



使用環境限制：

- ①溫度：工作溫度為 0 - 40°C，依照檢測地區溫度將測得數值乘以相關係數來得到正確濃度。

型號：180L 檢測胺類濃度 (0.25—39 ppm)

溫度(°C)	0	10	20	30	40
相關係數	1.3	1.15	1.0	0.95	0.9

型號：180 檢測胺類濃度 (2—100 ppm)

溫度(°C)	0	10	20	30	40
相關係數	1.8	1.3	1.0	0.8	0.6

- ② 溼度：使用環境 0 - 90%之內不會產生誤差。

- ③ 壓力依照使用環境壓力換算, 換算公式為。

檢測讀值(ppm) × 1013(hPa) / 環境氣壓 (hPa)。

- ④ 其他氣體影響：空氣中含有聯氨(hydrazine)、苯胺(aniline)、吡啶(pyridine)或氨氣 (ammonia)會增加 5% 的誤差。

三、功能藍菌培養液配方：

(在化學藥品後的數字為每公升蒸餾水[distilled water, dH₂O]中的化學品添加量的公克數，g/L)

表 3. 功能藍菌培養液配方(李, 2000)

編號	藥品名稱	重量 (g/L)	備註
1	HEPES (4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazine ethanesulfonic acid) (4-羥乙基乙磺酸)	1.2g	配好後，高溫高壓消毒，消毒後保存在 4℃。而左列培養液在使用前每公升再加入 1ml 的微量元素溶液。
2	MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.25 g	
3	K ₂ HPO ₄	0.05 g	
4	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	0.025 g	
5	KNO ₃	1.0 g	
6	Na ₂ -EDTA	0.01 g	
7	Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 6 H ₂ O	0.004 g	
8	微量元素溶液配方為：		
	藥品名稱	重量 (g/L)	並以 10% 的 NaOH 液調整 pH 至 8.2，再高溫高壓消毒
	H ₃ BO ₃	2.86 g	
	MnCl ₂ · 4 H ₂ O	1.81 g	
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.222 g	
	MoO ₃ (85%)	0.018 g	
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079 g	
	CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.01 g	

四、實驗方法：

1. 收集廚餘廢水：

家庭廚餘放入底部有 0.2cm 直徑圓網孔的槽中，濾出廚餘廢水。此廢水中所含油脂和食物碎屑等均不必再濾除。

2. 處理廚餘廢水菌種之取得：

可取各當地呈綠色之池塘水 0.1ml，以 L 型玻棒塗洋菜平盤法，塗在培養液的洋菜平盤上。此塗過池水之平盤，蓋面向下，置室溫 500-2000 lux (米燭光) 日光燈光源下，或光合作用培養箱 25°C，10--15 日，可得綠色菌群，以消毒過之牙籤分別取各菌群的小部份，在載玻片上加水滴抹片，以螢光顯微鏡檢視，選出藍細菌。再將選定的菌種分別培養在裝有前述液態培養液 300ml(但無洋菜)的 500ml 三角錐瓶中，置於室溫及 1500 lux 日光燈光源下的振盪培養器上培養(100 rpm)。

3. 功能菌種篩選(李, 2003)：

將前述所得已繁生的菌種，分別加入經自來水稀釋 100 倍(每公升廚餘廢水中加入 10g NaHCO_3 與 1g KNO_3)的廚餘水中，此稀釋後之廚餘廢水中該藍菌最終濃度濕重至少 2.0g/L 以上(紗布過濾後重量，亦可由離心濃縮取得)，培養於每 300ml 裝於容量 500ml 的三角錐瓶中，其餘條件(溫度、光照、振盪)均同前述。待 30 日後，選出能繁生並使水最澄清之菌種。

再將此菌種以最終濃度至少 2.0g/L 以上(可直接由前項培養中離心濃縮取得)，培養於經自來水稀釋 50 倍(不加 NaHCO_3

與 KNO_3) 的廚餘水中，其餘條件均同前述，待 30 日後，再選出能繁生而使水最澄清，且不必調整廚餘廢水 pH 值的菌種。

再將此菌種以最終濃度 2.0g/L 以上培養於經自來水稀釋 20 倍(不加 NaHCO_3 與 KNO_3) 的廚餘水中，其餘條件均同前述，再測試。

以期篩選出能處理高濃度且不必先調整 pH 值的廚餘廢水的菌株。再由此 1 : 20 的廚餘廢水培養液中，分離出功能菌，以最終 2.0g/L 以上濃度培養於經自來水稀釋 10 倍(不加 NaHCO_3 與 KNO_3) 的廚餘水中，其餘條件均同前述，再測試，期篩選出能處理更高濃度且不必先調整 pH 值的廚餘水的菌株，同此方式再測試功能菌在 1 : 5 稀釋度的廚餘水中成長情形。

但依經驗，通常只能篩選到能繁生於用自來水稀釋 10 或 20 倍，且不必調整 pH 值的廚餘廢水中的藍菌菌株。因為濃度更高的廚餘廢水，其透光度和鹽份含量等均不適一般藍菌生長。此處所用的逐步篩選方式，是藉藍菌之高濃度使形成優勢菌種，而不受廚餘廢水中其它菌種的抑制。

4. 大量培養功能藍菌：(李，2003)

實驗起始接種細胞為成長到生長停滯期 (stationary phase) 之功能藍菌，將 3 公升廚餘水加自來水稀釋至 15 公升 (稀釋 5 倍)，置於透明方形塑膠桶中，再加入最終濃度濕重至少 2.0g/L 以上的已篩選出被認為效果最佳之功能藍菌液 3 公升 (本研究中使用的是魚腥藍菌 *Anabaena sp.*)，總共 18

公升 (其中廚餘廢水 3 公升、12 公升的自來水及 3 公升的功能藍菌液)。並以小馬達打空氣 (使水流動並使空氣中 CO_2 進入水中)，在自然光照下培養 45 日。



圖 8. 依序為：有經功能藍菌處理之廚餘廢水、
未經功能藍菌處理之廚餘廢水

5. 測定 pH 值：分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲) 實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙) 對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙) 對照組 b：留存之廚餘廢水。

加入功能藍菌後，每間隔 24 小時後取溶液，靜置後取上清液用攜帶型 pH 值計 (pH meter) 進行測試，實驗組共二桶，對照組 a、b 各一桶，每桶測試皆進行 3 重複，記錄平均值與標準差，實驗持續一週並繪製成圖表 (附錄 5.)。

6. 測溶氧量 DO (dissolved oxygen) 值及化學需氧量 COD (Chemical Oxygen Demand) 值：(林, 2007)

分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲)實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙)對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙)對照組 b：留存之廚餘廢水。

加入功能藍菌後，每間隔 24 小時後取溶液，靜置後取上清液進行測試，實驗組共二桶，對照組 a、b 各一桶，以分光光度計(型號：HACH DR/2010)測試溶氧量 DO 及化學需氧量 COD 值，檢測 COD 值時需加入 HACH 公司出品之 COD 試劑，每桶測試皆進行 3 重複，記錄平均值與標準差，實驗持續一週並繪製成圖表(附錄 6、7)。

7. Gastec 檢知管檢測氣體分子：

分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲)實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙)對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙)對照組 b：留存之廚餘廢水。

實驗組共二桶，對照組 a、b 各一桶，每桶測試皆以 Gastec 檢知管檢測各組氣體分子中氨 (NH_3)、硫化氫 (H_2S)、酚類 (Phenol)、乙酸 (Acetic Acid) 及胺類 (R-NH_2) 等的含量，實驗持續一週並繪製成圖表(附錄 8~11)。

8. 分組測試發芽率：

分成 A、B、C、D 四組，其分組如下：

第 A 組 (花寶牌(HYPONeX)花寶 2 號登記成分)：

全氮 20% (內含銨態氮 4%、硝酸態氮 4%)、水溶性

磷酐 20%、水溶性氧化鉀 20% ，以 1：1000 稀釋後之液肥。

第 B 組：經功能藍菌通氣處理 7 天之廚餘廢水澄清液。

第 C 組：自來水。

第 D 組：未經處理之廚餘廢水澄清液。

準備 4 個培養皿，各放入 100 顆青梗白菜 (*Brassica rapa* L. *Chinensis* Group) 種子，分別給予 20ml 實驗液體，置於室溫下 3 天後觀察發芽率，實驗進行 3 重複，以所做實驗數據平均值做成圖表。

9. 田野試驗分組--計數沾黏的蒼蠅數量：

分成 A、B、C、D 四組，其分組如下：

A 組：除每日灌溉自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑花寶 2 號(台和園藝企業股份有限公司)以 1：1000 稀釋後之液肥 500 毫升。

B 組：除平日灑自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑以 1：20 稀釋後之經過功能藍菌處理的廚餘藍菌液 500 毫升。

C 組：每日灑自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑自來水 500 毫升。

D 組：除每日灌溉自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑 1：20 稀釋後之未經處理的廚餘廢水 500 毫升。

A 組~C 組每組間隔 50cm，為避免灌溉液體互相干擾，加灑的液體採取逐棵灌溉法，減少各組間的干擾；為避免 D 組未經處理的廚餘廢水干擾其他組別吸引蒼蠅測試或導致其他組別白菜

死亡，另外選定偏遠（20m 外）種植白菜與吸引蒼蠅之測試，各組以相同之市售捕蠅黏貼紙，在灌溉完成後，放置於各組青梗白菜上，經過 3~4 小時後，計數黏蠅紙上的蒼蠅數目，每週一次，持續 7 週，以所得數據做成圖表（附錄 12.）。

10. 田野試驗分組—種菜測試藍菌液肥成效：

分成 A、B、C、D 四組，每組 40 株青梗白菜，其種植方式（如圖 9.）。

A 組：除每日灌溉自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑花寶 2 號(台和園藝企業股份有限公司)以 1:1000 稀釋後之液肥 500 毫升。

B 組：除平日灑自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑以 1:20 稀釋後之經過功能藍菌處理的廚餘藍菌液 500 毫升。

C 組：每日灑自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑自來水 500 毫升。

D 組：除每日灌溉自來水 1 公升外，每隔 4 日加灑 1:20 稀釋後之未經處理的廚餘廢水 500 毫升。

進行白菜重量測試時，每組選擇最大 3 株青梗白菜，測量並記錄重量後即移除，避免白菜的根系受損而影響實驗結果，以每組所測得的 3 個數據算出平均值及標準差，並製作做成圖表(附錄 13.）。

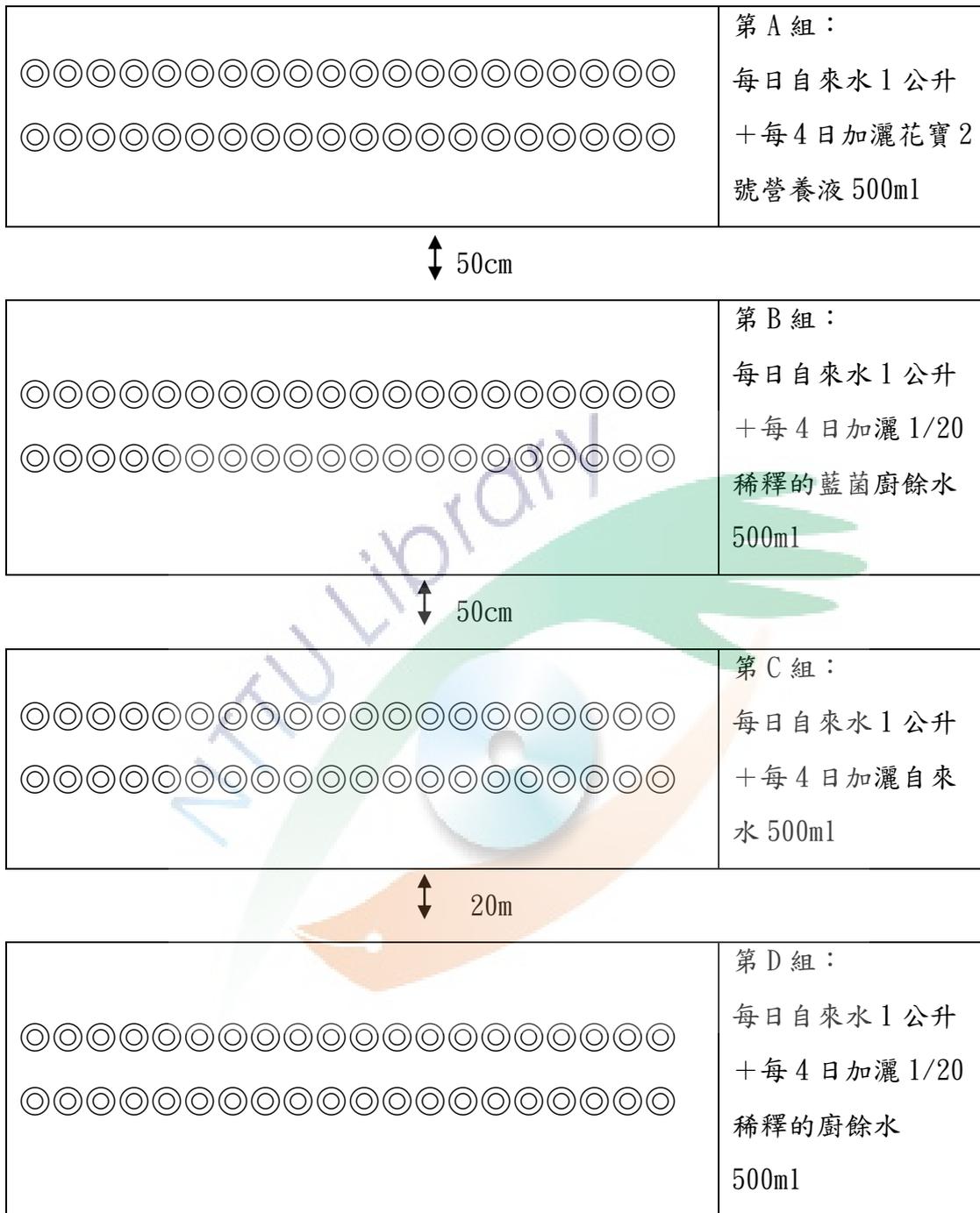


圖 9. 田野種菜試驗示意圖

第四章 結果與討論

1. pH 值的測試：

分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲)實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙)對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙)對照組 b：留存之廚餘廢水。

每桶測試皆進行 3 重複，記錄平均值與標準差，實驗持續一週並繪製成圖表（附錄 5.），經此功能藍菌處理之廚餘廢水，pH 值由 3~4（酸性溶液）變為 8~9（鹼性溶液）。通氣處理的組別（一般好氧菌）雖然 pH 值有上升，但上升的速度與程度仍不及加入功能藍菌組（圖 10.），經比較後證明，加入此功能藍菌可有效提升 pH 值。

依據 pH 值的需求可將微生物分為酸性菌(acidophiles, pH 1~5.5)、中性菌(neutrophiles, pH 5.5~8)及鹼性菌(alkalophiles, pH 8.5~11.5)。大部分微生物之體內 pH 值仍接近於中性（吳, 2008），而水生的微生物大部分適合的 pH 值範圍在 6.5~8.5（余, 2003）。生物體本身對外界環境 pH 改變具有調節作用，這是因生物體內具有化學緩衝系統。pH 隨於微生物生長時程變化時，可能明顯影響碳源及能源之利用、基質之利用效益、蛋白質之合成、細胞物質之合成、代謝產物之釋出及其他細胞性代謝（林, 1995）。而 pH 的改變也會降低微生物對高溫的抵抗能力，影響到微生物的生長與繁殖。另外，pH 會影響

微生物對營養的吸收，因為 pH 會改變培養基成份的離子化型態，多數非離子化合物比離子化合物更容易滲入細胞(Rheinheimer, 1992)。綜合來說，微生物的生長會因為代謝產物產生而改變環境的 pH，原因是多方面造成的。

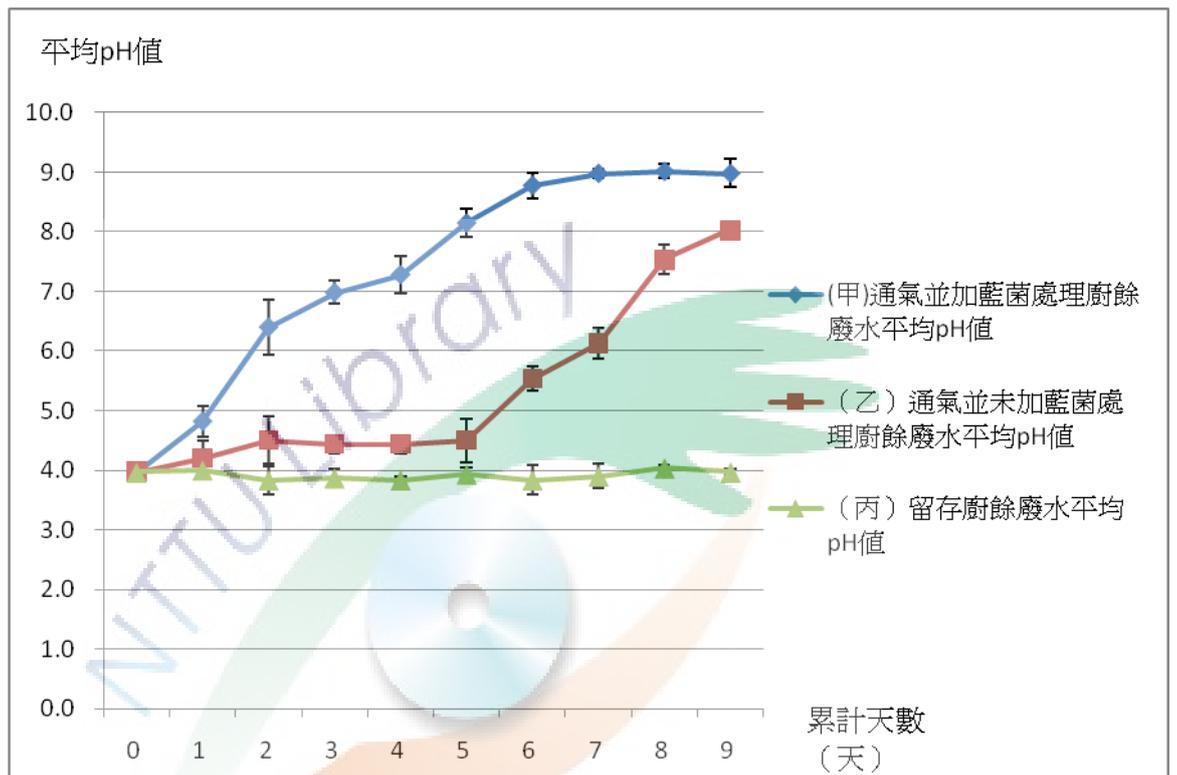


圖 10. pH 值的變化圖

2. 溶氧量 DO(dissolved oxygen)值測試：

分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲)實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙)對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙)對照組 b：留存之廚餘廢水。

每桶測試皆進行 3 重複，記錄平均值與標準差，實驗持續一週並繪製成圖表 (附錄 6.)，經通氣處理的溶液，溶氧量皆有增加。

通氣處理的組別的溶氧量雖然有增加，但是增加的程度不及加入功能藍菌組別，推測可能與功能藍菌 (*Anabaena sp.*) 行光合作用有關 (圖 11.)。

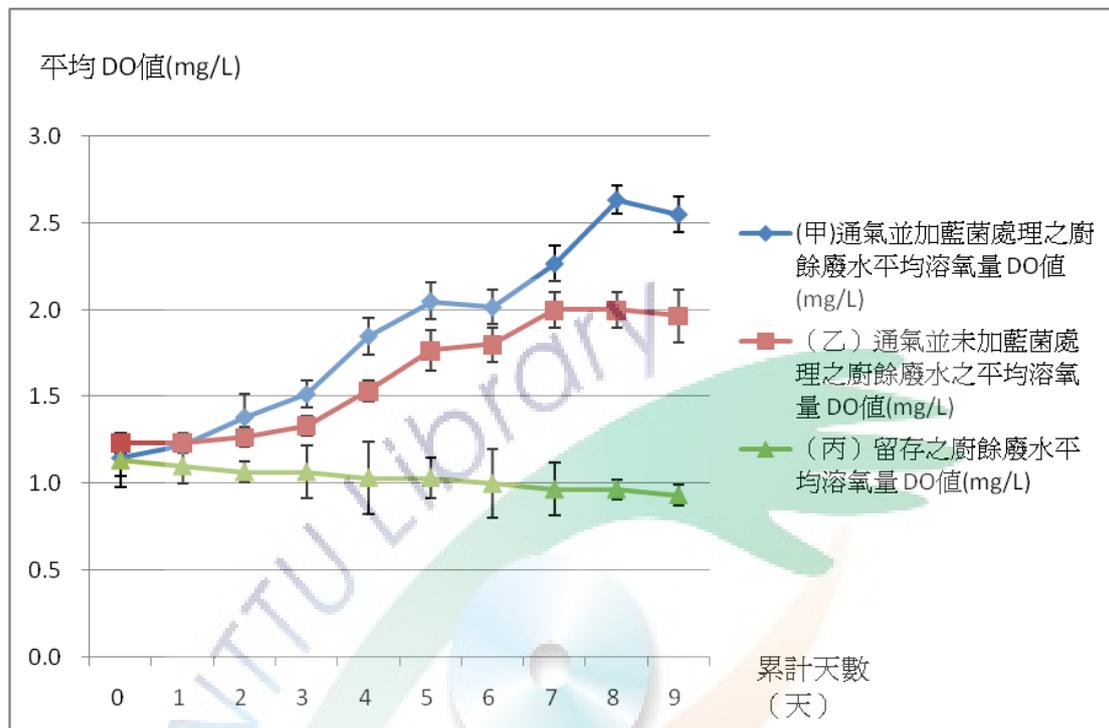


圖 11. 溶氧量 DO 值的變化圖

3. 化學需氧量 COD (Chemical Oxygen Demand) 值測試：

分成甲、乙、丙三組，其分組如下。

(甲) 實驗組：通氣並加藍菌處理之廚餘廢水。

(乙) 對照組 a：通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水。

(丙) 對照組 b：留存之廚餘廢水。

加入 HACH 公司出品之 COD 試劑，每桶皆取上清液進行 3 重複測試，記錄平均值與標準差，實驗持續一週並繪製成圖表 (附錄 7.)，實驗時，因為直接測量每一組的 COD 值超過儀器測量範

圍，故以去離子水稀釋 10 倍後再測量，然後再將所得的數據乘以稀釋倍率 10 倍，以每組所得的三個數據之平均值及標準差做成圖表（附錄 7.）。經通氣處理的溶液，可有效促使化學需氧量 COD 降低，推測通氣可促使有機物質的降解，而加入的功能藍菌更可有效加速有機物質的降解速度（圖 12.）。

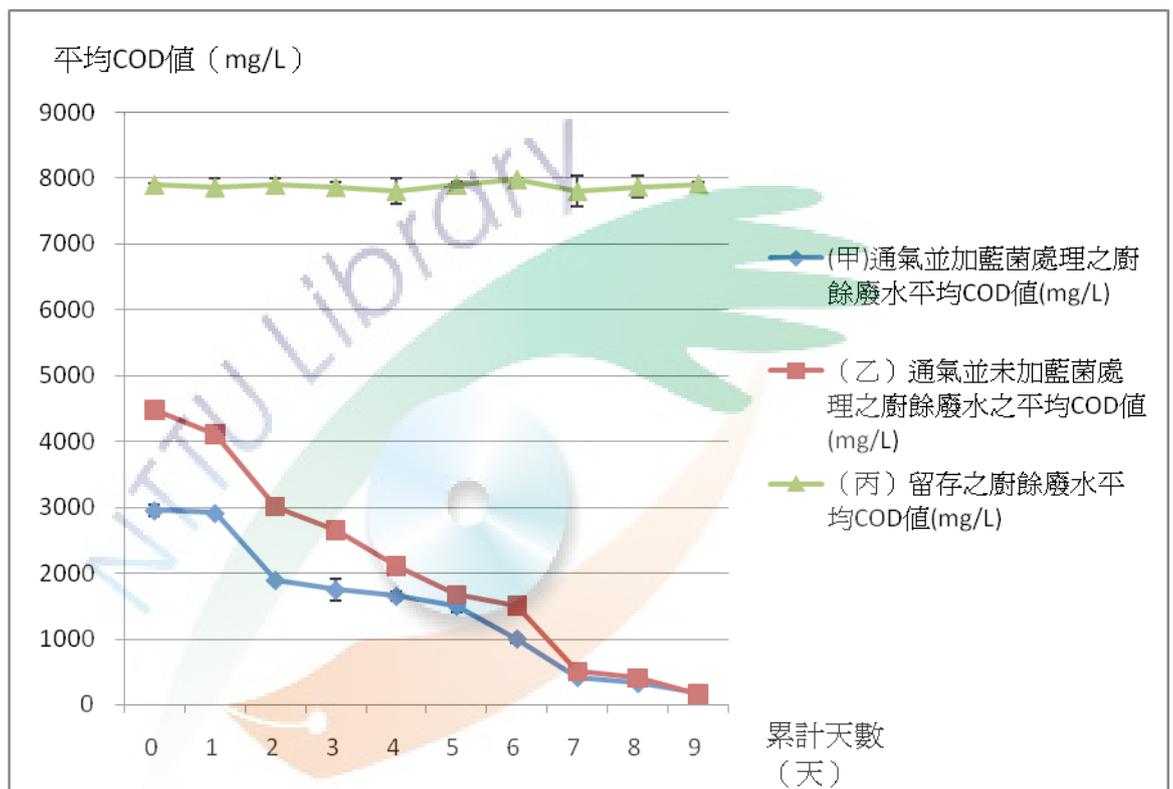


圖 12. 化學需氧量 COD 的變化圖

4. 檢知管對於氣味分子的定量研究：

利用 Gastec 檢知管檢測氣體分子中氨氣 (ammonia)、硫化氫 (hydrogen sulfide)、酚類 (phenol)、乙酸 (acetic acid) 及胺類 (amines) 等的含量。

(1). 檢測氣體分子氨氣 (NH₃)：

將檢知管檢測所得的數值乘以當天溫度相關係數製作

成表格（附錄 8.），結果顯示加入藍菌處理組別可迅速降低空氣中的氨氣含量（圖 13.）二天後已檢測不出氨氣，在顯微鏡底下發現功能藍菌 *Anabaena sp.* 異形細胞並不明顯，推測此功能藍菌可能吸收廢水中的氮作為氮肥來源，不需產生異形細胞來協助固氮；而通氣但是未加功能藍菌的組別於四天後才未檢測出氨氣，只有通氣處理的組別，裡面好氧菌比較多，可以吸收臭味分子，但是效果還是不如加入功能藍菌的組別。

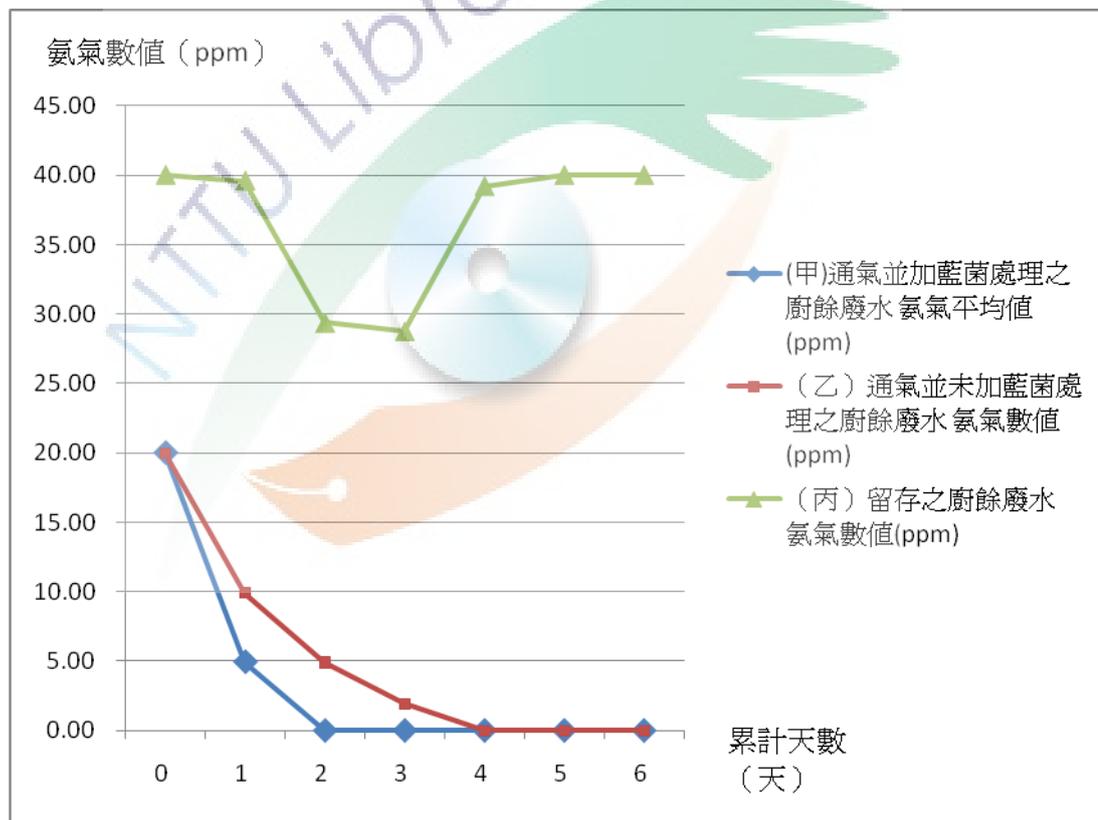


圖 13. 氣體分子中氨氣 NH_3 的變化圖

(2). 檢測氣體分子硫化氫 (H_2S) :

將檢知管檢測所得的數值乘以當天溫度相關係數製作成表格（附錄 9.），結果顯示加入功能藍菌處理的組別於一天後

就檢測不出空氣中的硫化氫，表示加入的功能藍菌可快速的吸收空氣中的硫化氫，並且使用廢水中的氨基酸，使廢水不再繼續產生硫化氫氣體。而通氣並未加入功能藍菌的組別於二天後才檢測不出空氣中的硫化氫（圖 14.），顯示裡面的好氧菌也是可以吸收硫化氫，並且利用廢水中的氨基酸，不過吸收及利用的速度不如加入的功能藍菌，所以功能藍菌的組別還是比其它的好氧菌更能快速的降低廚餘廢水的硫化氫氣味。

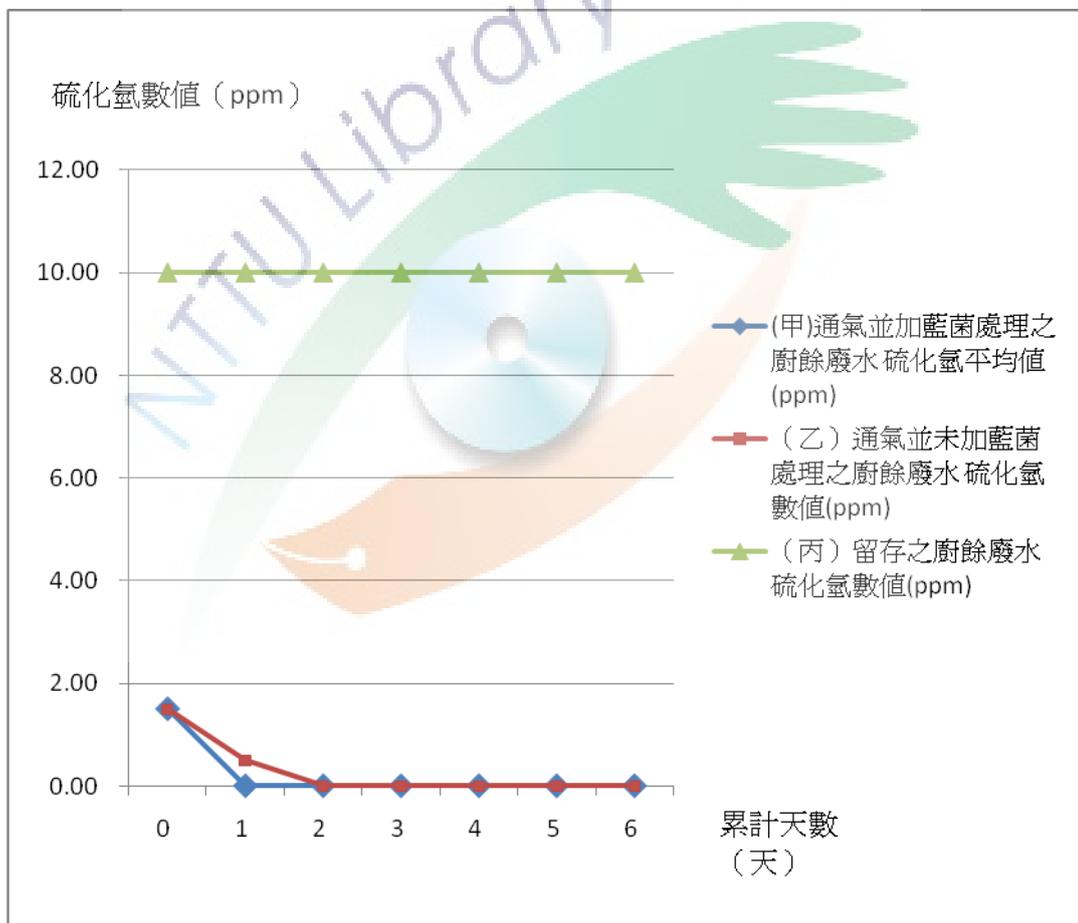


圖 14. 氣體分子中硫化氫 H₂S 的變化圖

(3). 檢測氣體分子酚類 (C₆H₅OH) :

各組實驗皆未驗出酚類，可能是各組的酚類分子濃度低於檢知管檢測極限。

(4). 檢測氣體分子乙酸 (CH_3COOH) :

將檢知管檢測所得的數值乘以當天溫度相關係數製作成表格 (附錄 10.) , 結果顯示有加入功能藍菌及未加入功能藍菌的組別, 皆於一天後使空氣中的乙酸分子低於檢知管可檢測的範圍 (圖 15.) , 兩組皆通氣給予足夠的氧氣與碳源, 使其能夠快速生長及處理臭味分子, 酸性物質乙酸減少, 溶液逐漸轉為鹼性。

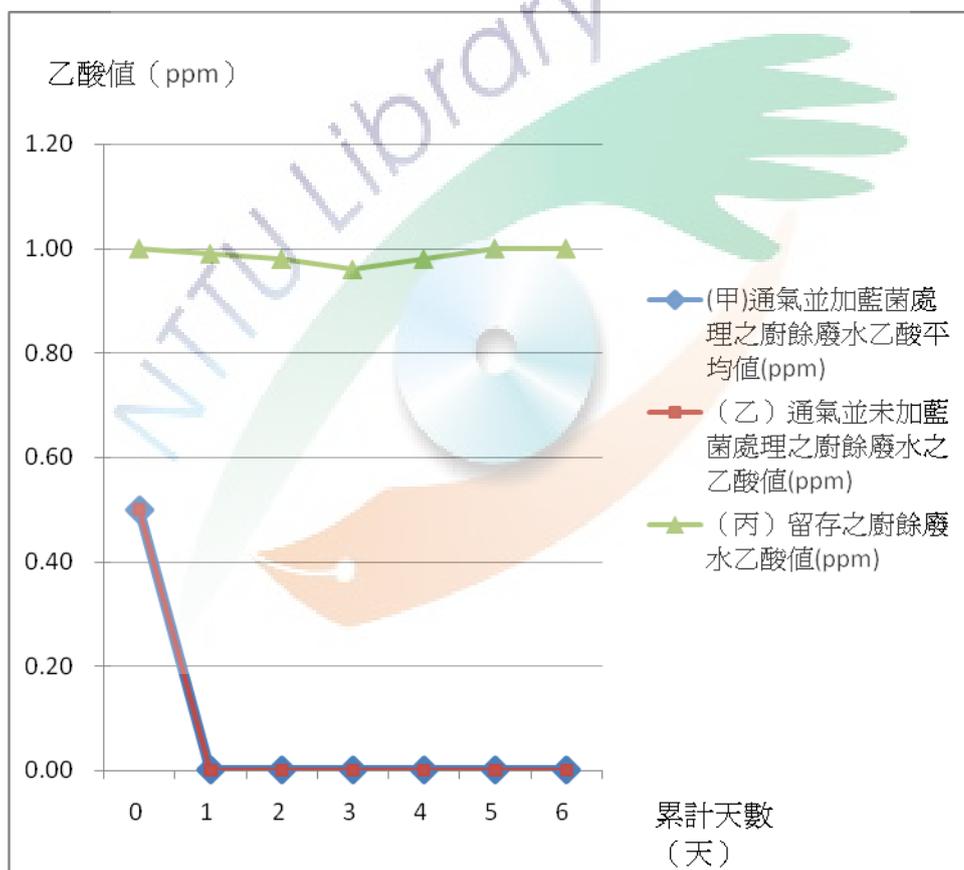


圖 15. 氣體分子中乙酸的變化圖

(5). 檢測氣體分子胺類 (R-NH₂) :

將檢知管檢測所得的數值乘以當天溫度相關係數製作成表格 (附錄 11.) , 結果顯示加入功能藍菌處理的組別於一天後就檢測不出空氣中的胺類分子, 在顯微鏡底下發現功能藍菌 *Anabaena sp.* 異形細胞並不明顯, 推測此功能藍菌可能吸收廢水中的胺類分子作為氮肥來源, 不需產生異形細胞來協助固氮; 而通氣並未加入功能藍菌的組別於三天後才檢測不出空氣中的胺類分子, 裡面的好氧菌降低空氣中胺類分子的效果, 仍然不如實驗中加入的功能藍菌。(圖 16.)。

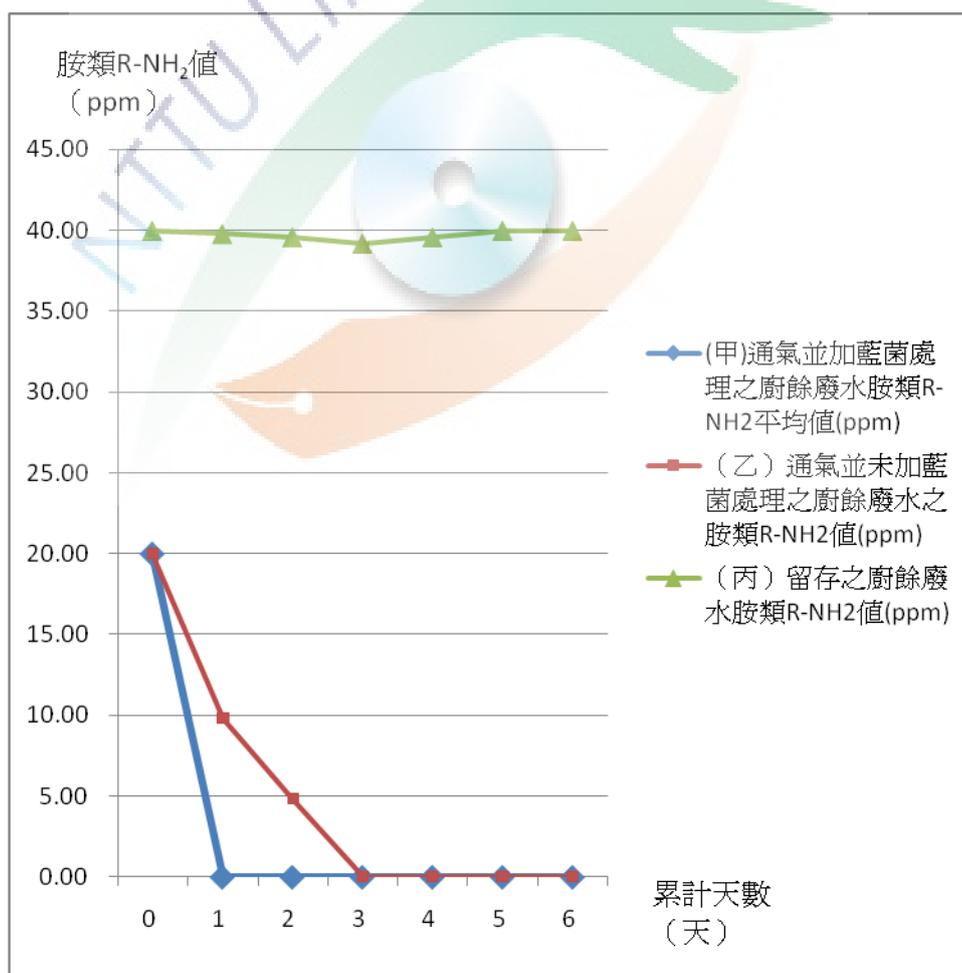
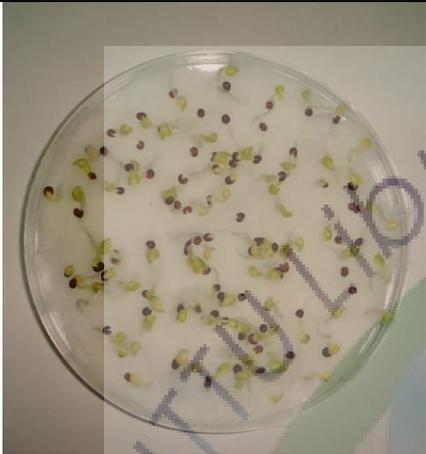
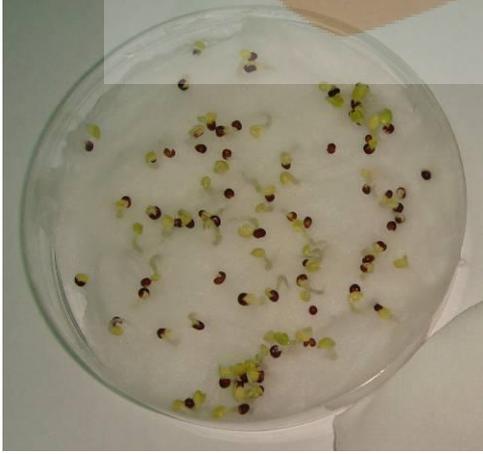


圖 16. 氣體分子中胺類 R-NH₂ 的變化

5. 發芽率測試：

以 4 種液體所做的發芽率測試，其發芽率皆達 100% (表 4.)，證明水分是種子發芽的必要條件，四組所取的液體皆為上清液，所得結果皆沒有發黴而且 100%發芽，雖然 A、B、C 組並無明顯味道，但是 D 組有廚餘的腥臭味。

表 4. 各組液體發芽率測試

	
第 A 組： 花寶 2 號營養液 20ml	第 B 組： 藍菌處理過 7 天的 廚餘廢水上清液 20ml
	
第 C 組： 自來水 20ml	第 D 組： 未經藍菌處理過 7 天的 廚餘廢水上清液 20ml

6. 田野吸引蒼蠅測試：

第(A)組(加灑花寶2號)其吸引蒼蠅的程度大約與第(C)組(加灑自來水)相同(圖17.)，經第(B)組(加灑藍菌處理後之廚餘廢水)雖然比第(C)組稍微吸引蒼蠅，但是比起第(D)組(加灑稀釋廚餘廢水)，藍菌處理後的廚餘廢水吸引蒼蠅的程度降低為原來的1/3倍，這表示廚餘廢水的臭味分子不再產生，所以降低了廚餘廢水吸引蒼蠅的程度。

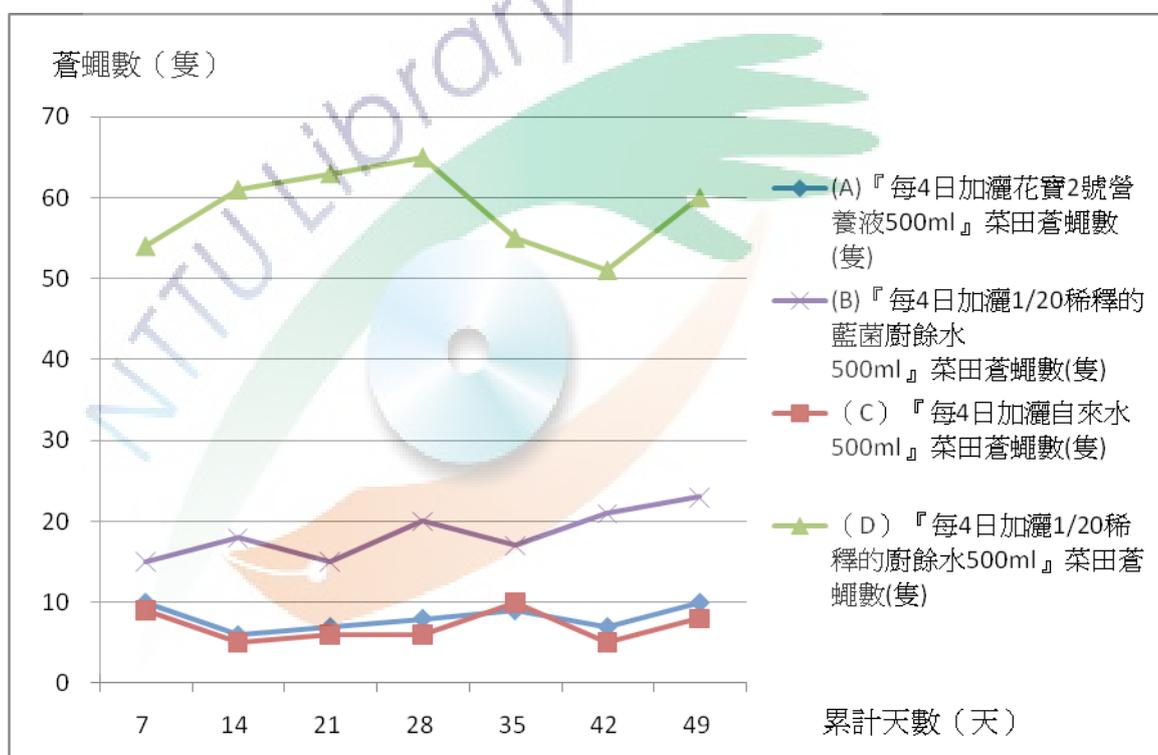


圖 17. 田野吸引蒼蠅測試統計圖

7. 田野種菜測試藍菌液肥成效分析：

若以第(C)組『每4日加灑自來水500ml』灌溉者為基準，則第(A)組灌溉者生長最好，第(B)組使用『藍菌處理廚餘廢水』來灌溉者次之，第(D)組使用『不經藍菌處理之廚餘廢水』

來灌溉者生長最差（圖 18、圖 19、圖 20、圖 21、圖 22）。

廚餘廢水置於藍菌處理器中培養時已稀釋 6 倍，在灌溉時再稀釋 20 倍，其成分已稀釋 120 倍，所以藍菌液肥的肥沃度低於市售肥料（花寶 2 號），本次試驗僅統一灌溉容量，尚未使各組灌溉的液體鹽度一致，可以導電度法測量灌溉液體中的鹽度，使各組的鹽度一致後，再定量進行灌溉。

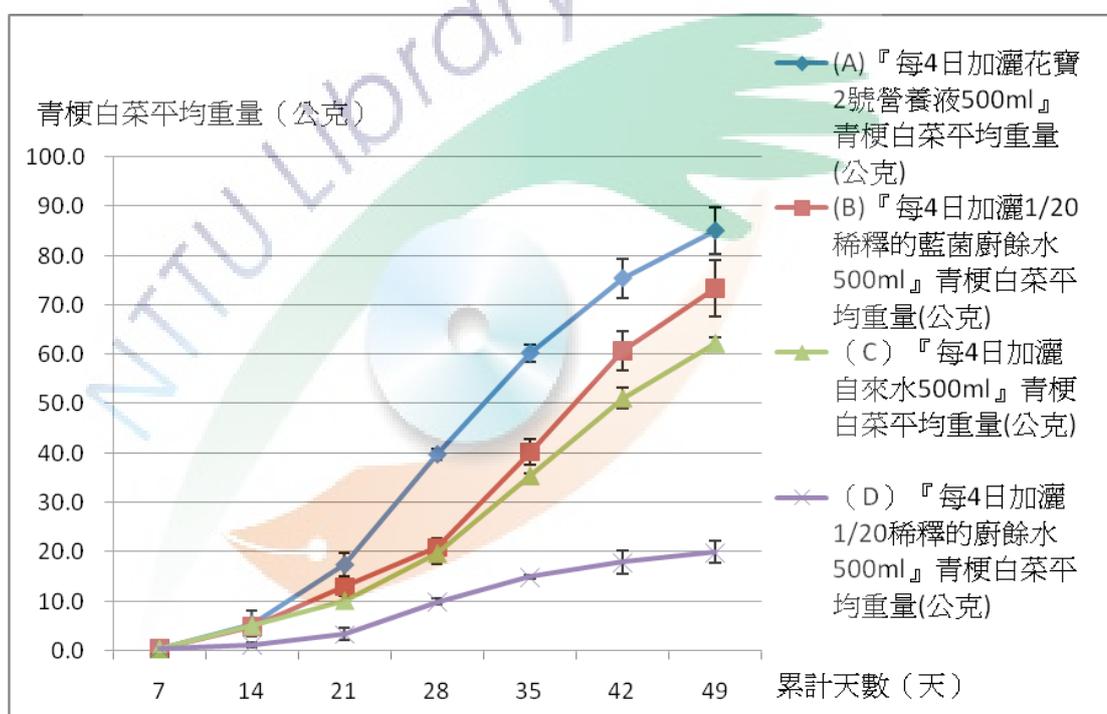


圖 18. 田野種菜測試藍菌液肥成效結果分析圖



圖 19. 組別 A：『每 4 日加灑花寶 2 號營養液 500ml』青梗白菜生長情況



圖 20. 組別 B：『每 4 日加灑 1/20 稀釋的藍菌廚餘水 500ml』

青梗白菜生長情況



圖 21. 組別 C：『每 4 日加灑自來水 500ml』青梗白菜生長情況



圖 22. 組別 D：『每 4 日加灑 1/20 稀釋的廚餘水 500ml』

青梗白菜生長情況

第五章 結論

本研究係以如何分離培養能淨化廚餘廢水的藍細菌為動機，淨化廚餘廢水並使廚餘廢水成為可灌溉於農作物的液態肥料，完全不以化學物質處理，符合政府重視的環保概念。以藍菌淨化或液肥化(通常可於 2 日內除臭，且因將廚餘水中有機物及油脂分解，使植物更易吸收並增加液肥的肥沃度)。此法也亦可推廣至其他種類的微生物，利用其分離、分解環境或水中的污染物。

本研究使用藍細菌處理廚餘廢水至澄清潔淨的速度比化學方式慢為其缺點(須 15~20 日左右，而且與日光強度及溫度有關)，但是使用功能藍菌處理廚餘廢水，是比較環保、便利而且便宜的方式。加入功能藍菌的通氣組別，利用檢知管檢測 NH_3 的數值，經過 1 天後已偵測不出 NH_3 ，而未加入功能藍菌的通氣組別(以下簡稱對照組 a)，需經過 3 天方可達到檢知管檢測不出的程度； H_2S 是俗稱的臭雞蛋味，加入功能藍菌的組別，於加入廚餘廢水的隔天已檢測不出 H_2S 臭味，而對照組 a 在第 2 天才達到檢知管檢測不出的程度；胺的相關化合物 (R-NH_2) 經過功能藍菌的處理後，經過 1 天後也可達到檢知管檢測不出的程度，但是對照組 a 則是在 3 天後才達到檢知管檢測不出的程度；檢知管檢測乙酸(acetic acid)時發現，加入功能藍菌組與未加入組皆於 1 天後檢驗不出乙酸，可能是空氣中乙酸的含量低於檢知管檢測範圍，因為兩組皆有使用打氣機通氣培養微生物，所以通氣處理在乙酸分子的檢測中，可以降低廚餘廢水中的乙酸氣體分子的含量；檢知管檢測酚類時，因為其含量低於檢知管檢測範圍，所以皆未檢測出酚類分子。

廚餘廢水經過稀釋 1/6 倍（3 公升廚餘廢水、12 公升自來水、3 公升 2.0g/L 的功能藍菌液）及通氣處理後，再經過本研究之功能藍菌作用後，可有效並快速的減少或分解臭味分子，而通氣處理的組別，裡面的好氧菌雖然也可以減少或分解臭味分子，但是速度比本研究所使用的功能藍菌慢。

在本實驗中亦探討經功能藍菌處理過之廚餘廢水，對於種子發芽的影響，於田野試驗中探討其藍菌液肥吸引蒼蠅程度及對青梗白菜的影響。實驗結果顯示藍菌液肥並不影響種子發芽情況，皆可達到 100% 的發芽率。於田野試驗中發現使用的藍菌液肥稍微會吸引蒼蠅，而吸引的程度大約是廚餘廢水的 1/3 倍左右，農夫在灑有機肥（如：雞屎肥）時，常常吸引來大量的蒼蠅，雖然可能協助作物授粉，但是對農田周圍的住家卻造成困擾，除了肥料本身的臭味之外，也造成蒼蠅漫天飛舞，居家衛生及生活品質因而降低，若是蒼蠅污染食物，更可能讓人拉肚子或導致腸胃發炎，本研究中利用功能藍菌使廚餘廢水成為天然藍菌液肥，可提供作物有機養分，又不會大量吸引蒼蠅。

經過功能藍菌處理過的廚餘廢水除了可以降解臭味分子外，更可以將廚餘廢水中的養分及藍菌本身光合作用所產生的養分，作為灌溉農作物的液肥使用，成為利於植物吸收的形式，使青梗白菜的產量提升，雖然效果稍不及市面上販售的花寶 2 號配方肥料，但是這種藍菌液肥是在處理廚餘廢水後，額外所獲得的天然液態肥料，在近代強調天然有機栽培的風潮下，有些人摒棄過去促使作物長的又大又快的化學肥料，轉而選擇天然的有機肥料，因為經由化學施肥的作物，雖然

長的又大又快，但是營養成分並不均衡，而吸取天然有機肥料的作物，雖然長的稍慢，但是農作物吸收的是已經先經過微生物初步分解後的天然有機物，其中的營養成分較為均衡，更適合人體來食用，本項研究所產生的藍菌液肥或許也可以發展成另類的天然有機肥。

此研究之功能藍菌可將油脂均乳化並形成膠塊狀，可簡易撈起另以固體廚餘方式處理，或待其由功能藍菌逐步分解。此種處理廚餘水方式，只要功能藍菌的濃度夠（最終濃度至少高於濕重至少 2.0g/L），自來水或廚餘水均不必經消毒處理，功能菌則可自然形成優勢菌種，簡單易行且易於推廣。

目前台灣廚餘回收政策傾向於回收固態食物殘渣作為養豬或堆肥用，政府要求人民必須先行濾除廚餘廢水，以增加廚餘回收車運送固體廚餘的效率，而且政府對於廚餘廢水尚未有處理的配套措施，住家濾除固體廚餘後的廚餘廢水，應該都是沖入流理台水管或馬桶，以家庭廢水的形式排放到水溝中，其結果可能造成家中水管的阻塞，吸引蟑螂滋生繁殖，若是濾除的廢水能夠先經過功能藍菌處理，則廢水中的油脂可被凝結（功能藍菌仍可繼續處理），營養物質經過功能藍菌利用後，不易產生臭味分子，已產生的臭味分子仍可被功能藍菌降解，澄清之液體則可順利排流或用於種菜或澆花，亦可用於自家種菜的嗜好。後續研究若是此功能藍菌可供動物食用，則可將廚餘廢水所培養出的固態功能藍菌，交由廚餘回收車作為養豬飼料或是做為飼料添加物使用。

第六章 參考資料

- 李文智, 1998, 家庭廚餘堆肥化處理, 環境教育期刊, 36: 4-7。
- 李炎, 2003, 藍菌淨化廚餘廢水之應用, 行政院環境保護署水污染學術研討會論文集, pp. 19。
- 李炎, 2005, 藍菌學, 藝軒圖書出版社, 台北, pp. 1-2, 111-118。
- 李炎 a, 2000, 廚餘有機處理全套系統介紹, 國立台東師範學院中小企業創新育成中心廚餘有機處理全套系統對環保的影響及生物科技在農業上之應用研討會手冊, 國立台東師範學院, 台東, pp. 2-16。
- 李炎 b, 2000, 「淨化廚餘廢水光合作用菌之應用研究」輔導宏泉工程企業公司進行, 設置「國立東華大學生物技術育成中心」計畫, 第一年執行成果報告, 花蓮, pp. 45-57。
- 李炎, 1995, 台東市公園池水收集藍菌報告, 國立台東師範學院, 國教之聲, 29(2): pp. 86-95。
- 行政院環境保護署統計資料庫 全國垃圾清運狀況
- 余曉倫, 2003, 探討以兩水相系統提昇*Clostridium butyricum* 產氫之研究, 國立中央大學, 化學工程與材料工程研究所, 碩士論文, pp. 25。
- 吳國雄, 2003, 食品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, pp. 7-9。
- 吳柔賢, 2008, 食品廢水之發酵產氫, 逢甲大學, 土木及水利工程研究所, 博士論文, pp. 43。
- 林財旺、簡宣裕, 1995, 農畜產廢棄物利用及堆肥製造之現況, 有機

- 質肥料合理施用技術研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，pp. 43-58。
- 林秋裕，1995，環境工程微生物學，國彰出版社，pp. 115-143。
- 林峻陞，2007，深層曝氣式生物處理系統效率之探討—某石化處理廢水場為例，雲林科技大學環境安全與衛生工程所碩士論文，pp. 50-52。
- 林殿琪，1999，論台灣家庭廚餘堆肥現況與未來發展探討，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，pp. 5-12。
- 卓家榮，1999，蚯蚓堆肥之研究，台灣農業，35：pp. 82-83。
- 周家德，2004，飼料乾燥排氣化學洗滌除臭，國立中山大學環境工程研究所碩士論文，pp. 8-24。
- 胡琇斐，2008，利用藍細菌處理養豬場糞便廢水之研究，資源與環境學術研討會論文集，花蓮，pp. 321-329。
- 袁紹英，1994，廢棄物堆肥化過程的微生物作用，堆肥技術及其利用研討會論文集，pp. 67-83。
- 徐旭昇，2008，使用益生菌控制養豬場臭味，國立台南大學『環境與生態學報』1(2)：pp. 45-66。
- 徐樹剛、徐雲郁、賴子仁，2003，廢氣生物濾床處理技術介紹，台灣環保產業雙月刊，18：pp. 6-7。
- 曾四恭，2006，廚餘堆肥臭味檢測與防制技術開發，94年度『環保署/國科會空污防制科研合作計畫』成果完整報告，pp. 4-5。
- 張淑賢，1995，有機資材利用之試驗研究現況與展望，有機質肥料合理施用技術研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，pp. 1-14。

黃錦明, 1991, 都市固體廢棄物理化特性分析及資源回收之探討~以
台北市為例, 台大環工所碩士論文, pp. 1-16。

楊盛行, 2005, 生物性肥料的開發與應用潛力, 農業生技產業季刊,
四: pp. 9-10。

鄭凱尹, 2001, 高溫厭氧消化廚餘之研究, 國立屏東科技大學環境工
程與科學系碩士論文, pp. 6-7。

Åkesson, B., Floren, I., Skerfving, S., 1985. Visual
disturbances after experimental human exposure to
triethylamine. *Br. J. Ind. Med.* 42: 848-850.

Ayanaba, A., Verstraete, W., Alexander, M., 1973. Formation of
dimethylnitrosamine, a carcinogen and mutagen, in soils
treated with nitrogen compounds. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37:
565-568.

Belin, L., Wass, U., Audunsson, G., Mathiasson, I., 1983. Amines
possible causative agents in the development of bronchial
hyperreactivity in workers manufacturing polyurethanes from
isocyanates. *Br. J. Ind. Med.* 40: 251-257.

Brennan, B.M., Donlon, M., Bolton, E., 1996. Peat biofiltration
as an odour control technology for sulphur-based odours. *J.
Chartered. Inst. Water Environ. Manage.* 10: 190-198.

Chang, C.T., Chen, B.Y., Shiu, I.S., Jeng, F.T., 2004.
Biofiltration of trimethylamine-containing waste gas by

- entrapped mixed microbial cells. *Chemosphere* 55 (5) : 751-756.
- Crawford, R.L., Crawford, D.L., 1996. *Bioremediation: Principle and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Darlington, A., Chan, M., Malloch, D., Pilger, C., Dixon, M.A., 2000. The biofiltration of indoor air: implications for air quality. *Indoors Air* 10 : 39 - 46.
- De Zwart, J.M.M., Kuenen, J.G., 1992. C1-cycle of sulfur compounds. *Biodegradation* 3 : 37-59.
- Deshusses, M.A., 1997. Biological waste air treatment in biofilters. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8 : 335 - 339.
- Hunter, P., Oyama, S.T., 2000. *Control of Volatile Organic Compound Emissions: Conventional and Emerging Technologies*. Wiley, New York.
- Kennes, C., Veiga, M.C., 2001. *Bioreactors for Waste Gas Treatment*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Kosteltz, A.M., Finkelstein, A., Sears, G., 1996. What are the "real opportunities" in biological gas cleaning for North America. In: 89th Annual Meeting and Exhibition, Nashville, Tennessee, 23 - 28 June, pp.15
- Le Cloirec, P., Humeau, P., Baleo, J.N., 1999. Processes for biological purification of air loaded with volatile organic compounds. *Biode' pol_99*, Rennes, 26 - 27 October, pp.25 - 41.

- Le Cloirec, P., Humeau, P., Ramirez-Lopez, E.M., 2001. Biotreatments of odour: control and performances of a biofilter and a biosubstratum. *Wat. Sci. Tech.* 44 (9) : 219 – 226
- Lewandowski, G.A., DeFilippi, L.J., 1998. *Biological Treatment of Hazardous Wastes*. Wiley, New York.
- Lundstrom, R.C., Racicot, L.D., 1983. Decomposition in foods: Gas chromatographic determination of dimethylamine and trimethylamine in seafoods. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 66 (5) : 1158-1163.
- Miller, F.C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In F.B. Metting, ed., *Soil microbial ecology*, pp. 515-544. Marcel Dekker, USA.
- Ohta, Y. and Ikeda, M., 1978. Deodorization of pig feces by actinomycetes. *Appl Environ Microbiol.* 36: 489-491.
- Powers, W.J., 1999. Odour control for livestock system. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 2), *J. Dairy Sci.* 82 (Suppl. 2) : 169 – 176.
- Rappert, S., Muller, R., 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manage.* 25, 9.
- Rheinheimer, G., 1992, *The Influence of Environmental Factors on the Development of Microorganisms.*, Rheinheimer G. eds., *Aquatic Microbiology* 4th ed., pp.111-147, Baffins Lane,

England.

- Rynk, R. 1992. Composting methods. In On-farm Composting Handbook, pp. 24-42. Ithaca:Northeast Regional Engineering Service, Cooperative Extension.
- Smith, A.E., Aubin, A.J., 1992. Breakdown of [14C] dimethylamine in soils. *J. Agric.Chem.* 40 : 2299-2301.
- Smet, E., Van Langenhove, H., 1998. Treatment of waste gases contaminated with odorous sulfur compounds. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 28 : 89-117.
- Tang, H.M., Hwang, S.J., Hwang, S.C., 1996. Waste gas treatment in biofilters. *Air Waste Manage. Assoc.* 46 : 349-354.
- Van Agteren, M.H., Keuning, S., Janssen, D.B., 1998. Handbook on Biodegradation and Biological Treatment of Hazardous Organic Compounds. Kluwer Academic Publishers, London.
- Wagner, R., Czerny, M., Bielohradsky, J., Grosch, W., 1999. Structure-odour-activity relationships of alkylpyrazines. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A* 208 : 308-316.
- Williams, C.M., 2001. Technologies to address air quality issues impacting animal agriculture. *Wat. Sci. Tech.* 44 (9) : 233 - 236.
- Zhu, J., 2000. A review of microbiology in swine manure odour control. *Agric. Ecosyst. Environ.* 78 : 93 - 106.

第七章 附錄

附錄 1：行政院環境保護署統計資料庫 全國垃圾清運狀況

年 (度) 月別	垃圾產生量按處理方式分(公噸)									廚餘 回收 再利 用率 (%)
	總計	焚化	衛生掩埋	一般掩埋	堆置	其他(含 打包、出 售、曠野 燃燒等)	廚餘回收			
							堆肥	養豬	其他 廚餘 再利用	
86 年度	-	1,691,626	5,129,676	1,536,415	-	508,885	14,173	-	-	-
89 年	7,875,511	3,229,750	3,822,124	697,050	119,116	4,690	2,782	-	-	-
90 年	7,254,841	3,736,891	2,996,805	433,330	73,040	14,560	216	-	-	-
91 年	6,723,639	4,316,049	2,116,375	224,477	55,076	7,958	3,706	-	-	-
92 年	6,306,354	4,304,573	1,700,438	113,115	20,190	734	22,290	139,614	5,400	2.65
93 年	6,134,852	4,304,987	1,459,069	59,792	15,004	1,201	65,227	221,483	8,090	4.81
94 年	5,758,851	4,153,670	1,106,398	35,158	2,585	104	95,820	358,273	6,844	8.00
95 年	5,417,650	4,035,490	799,973	13,325	1,682	1,657	110,138	450,437	4,949	10.44
96 年	5,365,417	4,208,056	467,225	-	-	32,514	142,283	511,410	3,930	12.26
97 年	4,928,183	4,029,982	210,741	-	-	680	162,333	520,703	3,744	13.94

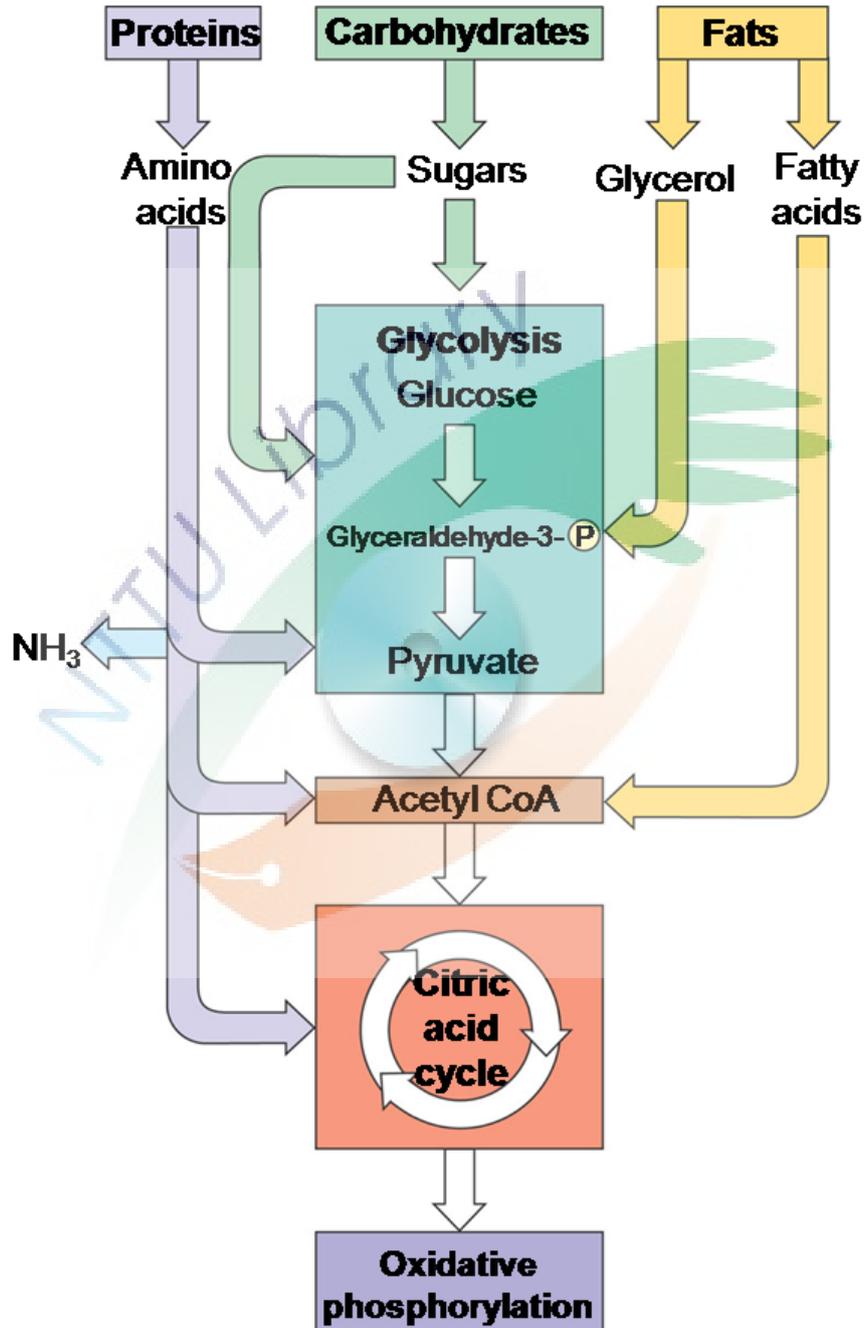
說 明：

1. 91 年底以前, 垃圾妥善處理率=(焚化量+衛生掩埋量+堆肥量+執行機關資源回收量)/垃圾產生量*100,
執行機關資源回收率=(執行機關資源回收量+堆肥量)/垃圾產生量*100。

2. 自 92 年 1 月起, 「廚餘回收」單獨列示, 且將原「堆肥」列在「廚餘回收」--「堆肥」項下,
同時修正垃圾妥善處理率=(焚化量+衛生掩埋量+執行機關資源回收量+廚餘回收量)/垃圾產生量*100 及
執行機關資源回收率=執行機關資源回收量/垃圾產生量*100, 增列廚餘回收再利用率=廚餘回收量/垃圾產生量*100。

附錄 2：醣類（碳水化合物）、蛋白質與脂質的代謝作用

The catabolism of various molecules from food

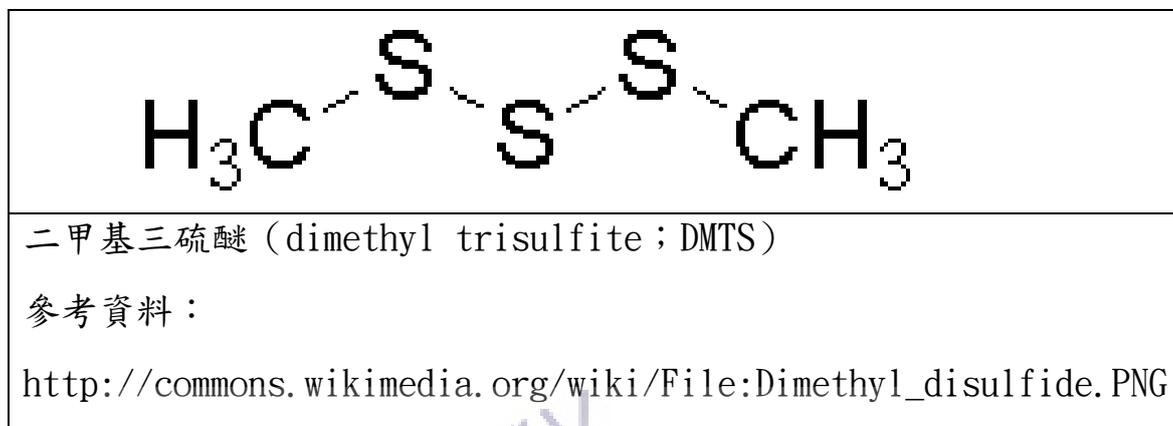


The catabolism of various molecules from food

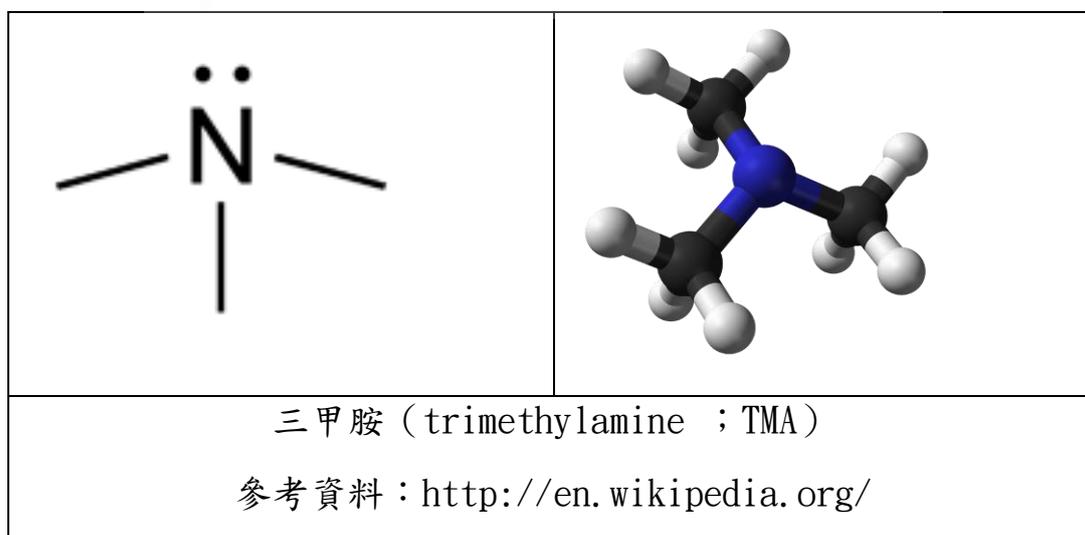
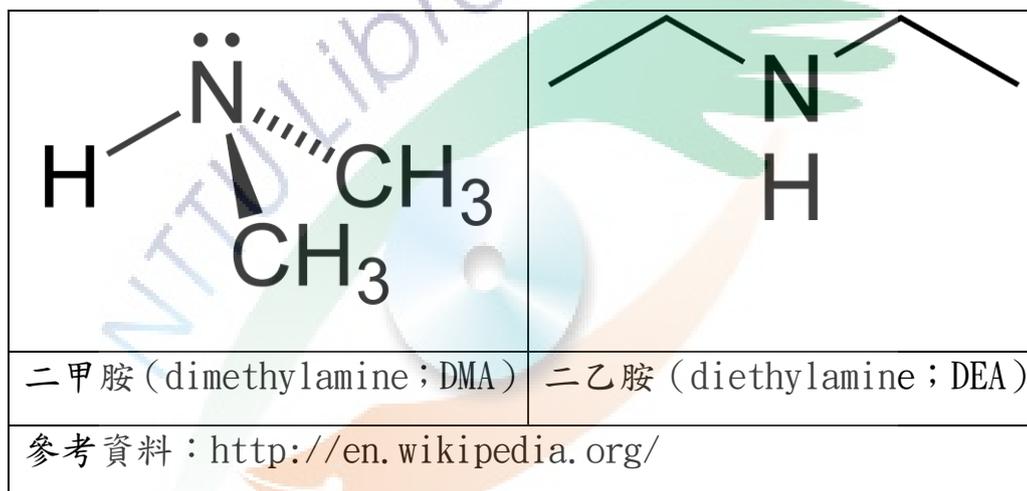
Copyright ©2005 Pearson Education, Inc. publishing as Benjamin Cummings

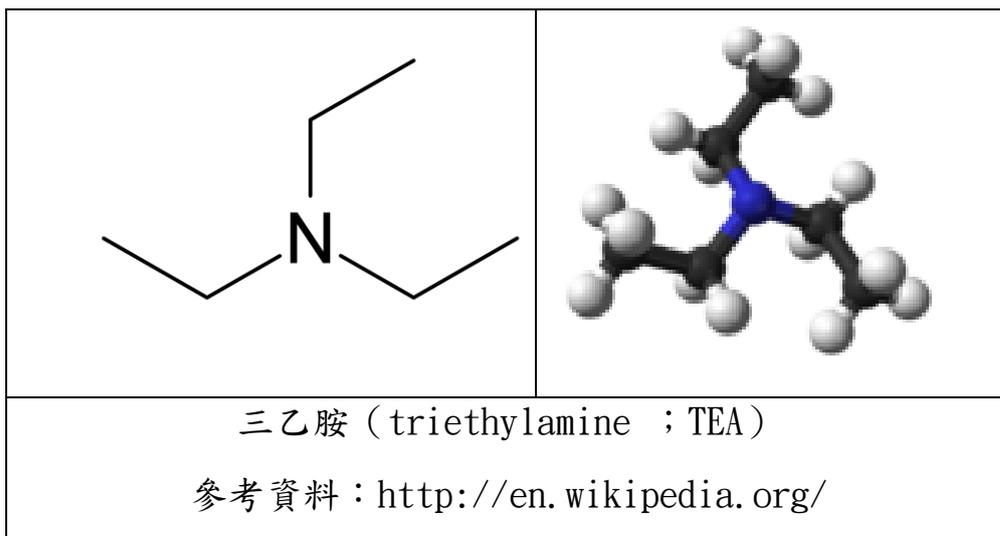
附錄3：微生物分解廚餘有機物所產生的臭味分子主要有三大類：

(1) 揮發性的含硫化合物：

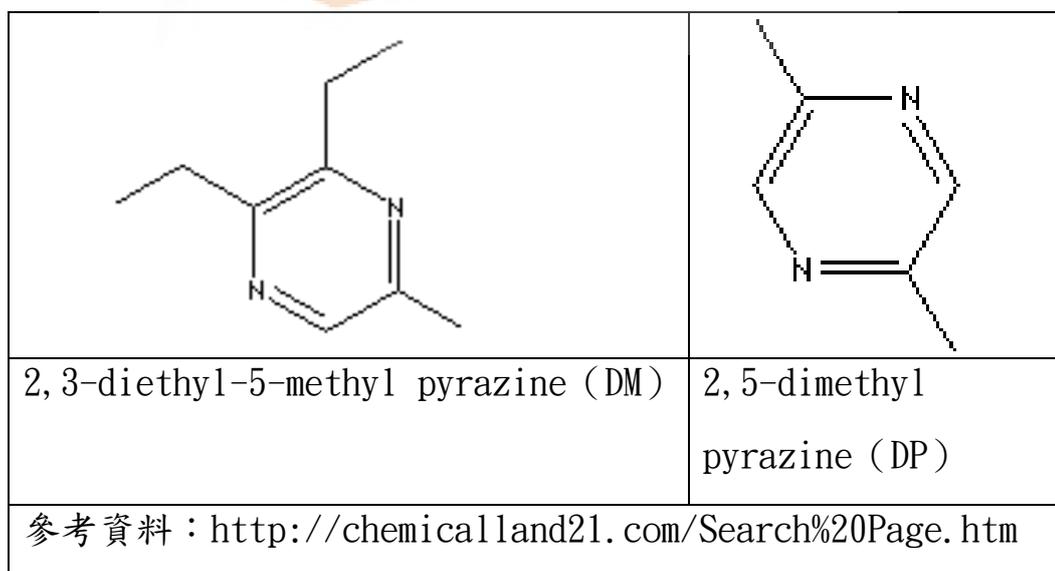
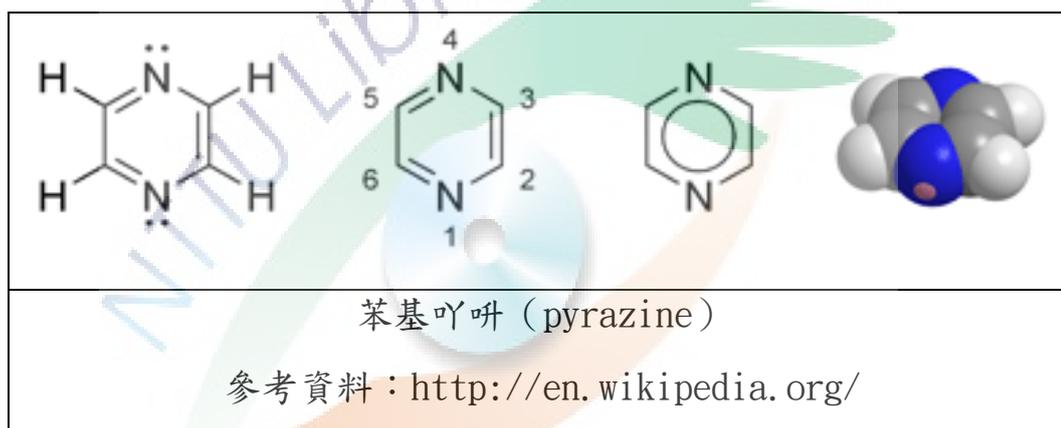


(2) 揮發性的胺：



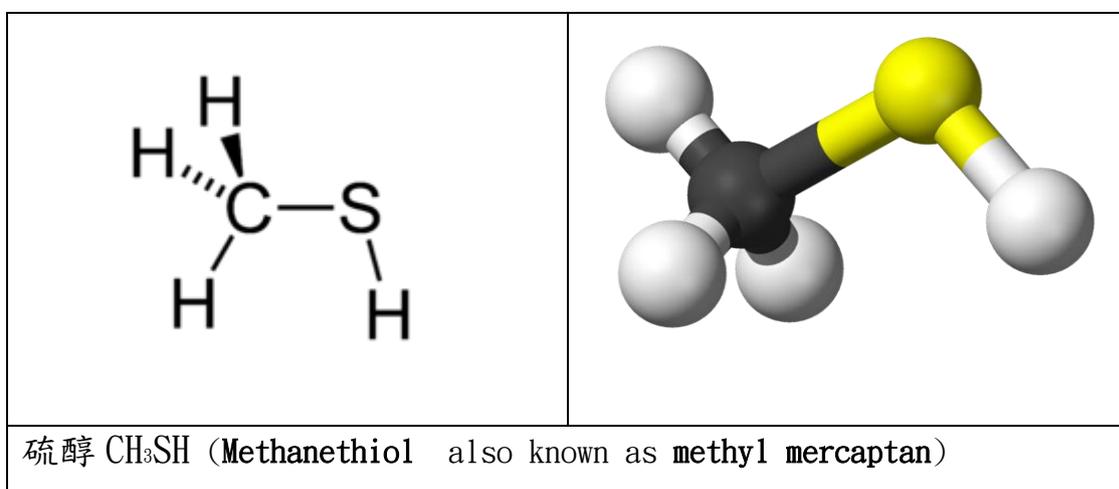
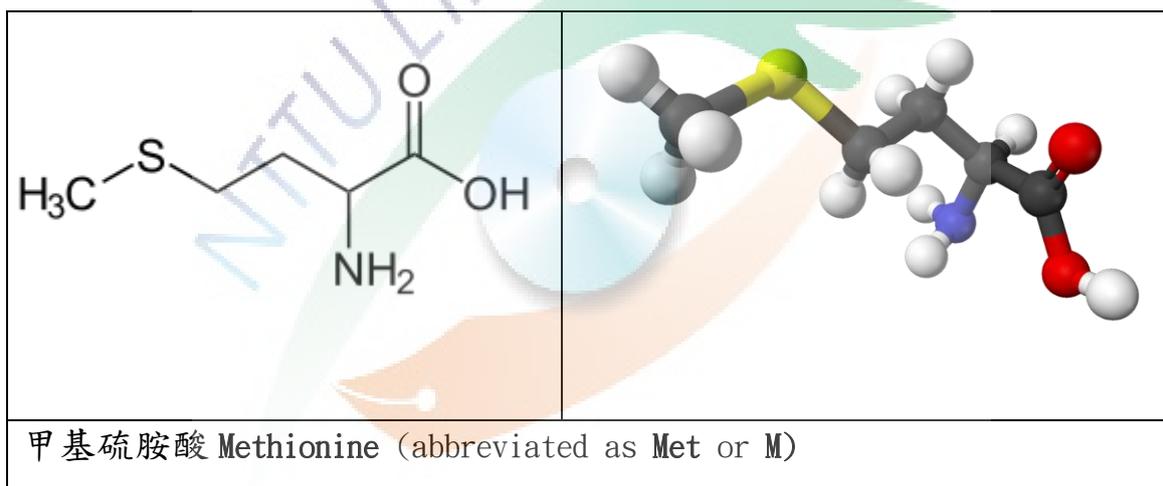
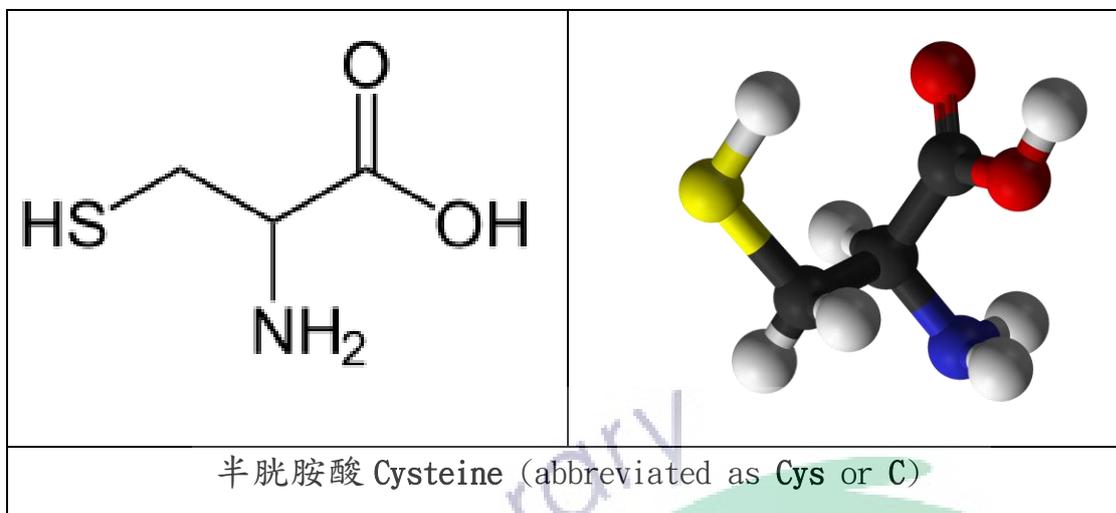


(3) 苯基吡啶 (pyrazine) 化合物：



附錄 4：與廚餘臭味有關的含硫化合物

(參考資料：<http://en.wikipedia.org/>)



附錄 5：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 pH 值的變化表

累計天數	(甲)通氣並加藍菌處理廚餘廢水平均 pH 值	pH 值測試 1	pH 值測試 2	pH 值測試 3	pH 值測試 4	pH 值測試 5	pH 值測試 6	標準差 standard deviation
0	4.0	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	0.1
1	4.8	4.6	5.2	4.6	5.1	4.7	4.7	0.3
2	6.4	6.1	6.1	7.0	6.1	6.1	7.0	0.5
3	7.0	7.1	7.1	7.2	6.8	7.0	6.7	0.2
4	7.3	7.5	7.7	7.4	7.0	6.9	7.2	0.3
5	8.2	8.0	8.4	8.0	8.0	8.5	8.0	0.2
6	8.8	9.1	8.7	8.7	8.6	8.6	9.0	0.2
7	9.0	9.0	8.9	8.9	9.0	9.1	9.0	0.1
8	9.0	9.0	9.1	8.9	9.2	8.9	9.0	0.1
9	9.0	9.2	8.9	8.7	9.0	9.3	8.8	0.2

累計天數	(乙)通氣並未加藍菌處理廚餘廢水平均 pH 值	pH 值測試 1	pH 值測試 2	pH 值測試 3	標準差 standard deviation	(丙)留存廚餘廢水平均 pH 值	pH 值測試 1	pH 值測試 2	pH 值測試 3	標準差 standard deviation
0	4.0	4.1	3.9	3.9	0.1	4.0	4.0	3.9	4.0	0.1
1	4.2	3.9	4.5	4.2	0.3	4.0	4.1	4.0	3.9	0.1
2	4.5	4.1	4.9	4.5	0.4	3.8	4.1	3.7	3.7	0.2
3	4.4	4.3	4.6	4.4	0.2	3.9	4.0	3.7	3.9	0.2
4	4.4	4.6	4.3	4.4	0.2	3.8	3.8	3.9	3.8	0.1
5	4.5	4.1	4.6	4.8	0.4	3.9	3.8	4.0	4.0	0.1
6	5.5	5.7	5.6	5.3	0.2	3.8	4.1	3.8	3.6	0.3
7	6.1	6.1	5.9	6.4	0.3	3.9	3.9	4.1	3.7	0.2
8	7.5	7.3	7.8	7.5	0.3	4.0	4.0	4.1	4.0	0.1
9	8.0	8.1	7.9	8.1	0.1	4.0	3.9	4.0	4.0	0.1

附錄 6：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 溶氧量 DO 值的變化表

累計 天數	(甲)通氣並 加藍菌處理之 廚餘廢水平均 溶氧量 DO 值 (mg/L)	DO 值	DO 值	DO 值	DO 值	DO 值	DO 值	標準差 standard deviation
		測試 1	測試 2	測試 3	測試 4	測試 5	測試 6	
0	1.2	1	1	1	1	1	1	0.1
1	1.2	1	1	1	1	1	1	0.0
2	1.4	2	1	2	1	2	1	0.1
3	1.5	2	2	1	2	2	2	0.1
4	1.9	2	2	2	2	2	2	0.1
5	2.1	2	2	2	2	2	2	0.1
6	2.0	2	2	2	2	2	2	0.1
7	2.3	2	2	2	2	2	2	0.1
8	2.6	3	3	3	3	3	3	0.1
9	2.6	3	3	2	3	3	3	0.1

累計 天數	(乙)通氣並 未加藍菌處 理之廚餘廢 水之平均溶 氧量 DO 值 (mg/L)	DO 值	DO 值	DO 值	標準差 standard deviation	(丙) 留存之廚 餘廢水平 均溶氧量 DO 值 (mg/L)	DO 值	DO 值	DO 值	標準差 standard deviation
		測試 1	測試 2	測試 3			測試 1	測試 2	測試 3	
0	1.2	1.2	1.3	1.2	0.1	1.1	1.1	1.0	1.3	0.2
1	1.2	1.2	1.2	1.3	0.1	1.1	1.1	1.2	1.0	0.1
2	1.3	1.3	1.2	1.3	0.1	1.1	1.1	1.0	1.1	0.1
3	1.3	1.3	1.3	1.4	0.1	1.1	1.1	0.9	1.2	0.2
4	1.5	1.5	1.6	1.5	0.1	1.0	1.1	1.2	0.8	0.2
5	1.8	1.7	1.9	1.7	0.1	1.0	0.9	1.1	1.1	0.1
6	1.8	1.8	1.7	1.9	0.1	1.0	1.0	0.8	1.2	0.2
7	2.0	2.1	2.0	1.9	0.1	1.0	0.8	1.1	1.0	0.2
8	2.0	2.0	1.9	2.1	0.1	1.0	1.0	0.9	1.0	0.1
9	2.0	2.0	2.1	1.8	0.2	0.9	0.9	0.9	1.0	0.1

附錄 7：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水 溶氧量 COD 值的變化表

累計天數	(甲)通氣並加藍菌處理之廚餘廢水平均 COD 值(mg/L)	COD 值測試 1	COD 值測試 2	COD 值測試 3	COD 值測試 4	COD 值測試 5	COD 值測試 6	標準差 standard deviation
0	2955	2890	3100	2980	2900	2970	2890	81.7
1	2913	2870	2940	2910	2960	2920	2880	34.4
2	1893	1840	1910	1860	1920	1950	1880	40.8
3	1743	1570	1690	1540	1860	1920	1880	166.0
4	1650	1740	1650	1710	1620	1570	1610	64.2
5	1500	1570	1530	1610	1470	1430	1390	84.6
6	1000	950	1100	920	1030	1010	990	63.2
7	412	430	390	410	420	420	400	14.7
8	322	320	310	330	320	360	290	23.2
9	173	160	180	170	160	180	190	12.1

累計天數	(乙)通氣並未加藍菌處理之廚餘廢水之平均 COD 值(mg/L)	COD 值測試 1	COD 值測試 2	COD 值測試 3	標準差 standard deviation	(丙)留存之廚餘廢水平均 COD 值(mg/L)	COD 值測試 1	COD 值測試 2	COD 值測試 3	標準差 standard deviation
0	4480	4450	4580	4410	88.9	7900	7930	7870	7900	30.0
1	4103	4080	4120	4110	20.8	7857	7930	7700	7940	135.8
2	3010	2980	3110	2940	88.9	7897	7990	7780	7920	106.9
3	2650	2640	2700	2610	45.8	7863	7770	7900	7920	81.4
4	2107	2110	2120	2090	15.3	7803	7910	7580	7920	193.5
5	1677	1670	1690	1670	11.5	7900	7920	7930	7850	43.6
6	1503	1410	1590	1510	90.2	7980	7970	7980	7990	10.0
7	510	480	560	490	43.6	7800	7930	7530	7940	233.9
8	410	350	390	490	72.1	7870	7960	7680	7970	164.6
9	167	180	160	160	11.5	7910	7870	7940	7920	36.1

附錄 8：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水

氣體分子中氨氣 (NH₃) 的變化表

累計 天數	(甲)通氣並 加藍菌處理 之廚餘廢水 平均 NH ₃ 值 (ppm)	試驗 1 NH ₃ 值 (ppm)	試驗 2 NH ₃ 值 (ppm)	(乙)通氣並 未加藍菌處 理之廚餘廢 水之 NH ₃ 值 (ppm)	(丙)留存之 廚餘廢水 NH ₃ 值 (ppm)
0	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00
1	4.95	4.95	4.95	9.90	39.60
2	—	—	—	4.90	29.40
3	—	—	—	1.92	28.80
4	—	—	—	—	39.20
5	—	—	—	—	40.00
6	—	—	—	—	40.00

註：“—”表示所偵測氣體低於檢知管偵測極限

附錄 9：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水

氣體分子中硫化氫 (H₂S) 的變化表

累計 天數	(甲)通氣並 加藍菌處理 之廚餘廢水 平均 H ₂ S 值 (ppm)	試驗 1 H ₂ S 值 (ppm)	試驗 2 H ₂ S 值 (ppm)	(乙)通氣並 未加藍菌處 理之廚餘廢 水之 H ₂ S 值 (ppm)	(丙)留存之 廚餘廢水 H ₂ S 值 (ppm)
0	1.50	1.50	1.50	1.50	10.00
1	—	—	—	0.50	10.00
2	—	—	—	—	10.00
3	—	—	—	—	10.00
4	—	—	—	—	10.00
5	—	—	—	—	10.00
6	—	—	—	—	10.00

註：

1. “—” 表示所偵測氣體低於檢知管偵測極限
2. (丙) 組以 4L 型號檢測硫化氫 (1—240ppm)，溫度係數不需要。

附錄 10：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水

氣體分子中乙酸 (CH₃COOH) 的變化表

累計 天數	(甲)通氣並 加藍菌處理 之廚餘廢水 乙酸平均值 (ppm)	試驗 1 乙酸值 (ppm)	試驗 2 乙酸值 (ppm)	(乙)通氣並 未加藍菌處 理之廚餘廢 水之乙酸值 (ppm)	(丙)留存之 廚餘廢水乙酸值 (ppm)
0	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00
1	—	—	—	—	0.99
2	—	—	—	—	0.98
3	—	—	—	—	0.96
4	—	—	—	—	0.98
5	—	—	—	—	1.00
6	—	—	—	—	1.00

註：“—”表示所偵測氣體低於檢知管偵測極限

附錄 11：經此功能藍菌處理後之廚餘廢水

氣體分子中胺類 (R-NH₂) 的變化表

累計 天數	(甲)通氣並加 藍菌處理之 廚餘廢水 胺類 R-NH ₂ 平均值(ppm)	試驗 1 胺類值 (ppm)	試驗 2 胺類值 (ppm)	(乙)通氣並 未加藍菌處理 之廚餘廢水之 胺類 R-NH ₂ 值 (ppm)	(丙)留存之 廚餘廢水胺類 R-NH ₂ 值(ppm)
0	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00
1	—	—	—	9.80	39.80
2	—	—	—	4.80	39.60
3	—	—	—	—	39.20
4	—	—	—	—	39.60
5	—	—	—	—	40.00
6	—	—	—	—	40.00

註：“—”表示所偵測氣體低於檢知管偵測極限

附錄 12：田野黏蠅測試藍菌廚餘水吸引蒼蠅程度統計表

累計 天數	(A)『每4日加 灑花寶2號營 養液500ml』菜 田蒼蠅數(隻)	(B)『每4日加 灑1/20稀釋的 藍菌廚餘水 500ml』菜田 蒼蠅數(隻)	(C)『每4日加灑 自來水500ml』 菜田蒼蠅數(隻)	(D)『每4日 加灑1/20稀 釋的廚餘水 500ml』菜田 蒼蠅數(隻)
7	10	15	9	54
14	6	18	5	61
21	7	15	6	63
28	8	20	6	65
35	9	17	10	55
42	7	21	5	51
49	10	23	8	60

附錄 13：田野種菜測試藍菌廚餘水液肥成效統計表

累計天數	(A) 『每 4 日加灑花寶 2 號 營養液 500ml』					(B) 『每 4 日加灑 1/20 稀釋的 藍菌廚餘水 500ml』				
	青梗白菜 平均重量 (公克)	採樣 1	採樣 2	採樣 3	標準差 standard deviation	青梗白菜 平均重量 (公克)	採樣 1	採樣 2	採樣 3	標準差 standard deviation
7	0.5	0.5	0.6	0.4	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4	0.1
14	5.5	8.5	4.1	3.9	2.6	5.0	6.1	4.5	4.4	1.0
21	17.5	20.2	16.7	15.7	2.4	13.1	15.3	12.4	11.5	2.0
28	39.8	41.1	39.2	39.1	1.1	21.0	23.1	20.1	19.9	1.8
35	60.3	62.3	59.1	59.5	1.7	40.3	43.2	38.8	38.9	2.5
42	75.4	79.0	76.0	71.1	4.0	60.8	65.3	59.4	57.8	4.0
49	85.0	90.1	84.1	80.7	4.8	73.5	80.1	70.1	70.4	5.7

累計天數	(C) 『每 4 日加灑 自來水 500ml』					(D) 『每 4 日加灑 1/20 稀釋的 廚餘水 500ml』				
	青梗白菜 平均重量 (公克)	採樣 1	採樣 2	採樣 3	標準差 standard deviation	青梗白菜 平均重量 (公克)	採樣 1	採樣 2	採樣 3	標準差 standard deviation
7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0
14	5.2	6.5	4.7	4.5	1.1	1.3	1.8	1.3	0.9	0.5
21	9.9	10.5	10.4	8.8	1.0	3.5	4.5	3.8	2.1	1.2
28	19.8	22.4	18.4	18.7	2.2	10.0	10.7	9.7	9.7	0.6
35	35.5	35.1	36.1	35.4	0.5	15.0	15.4	14.8	14.9	0.3
42	51.2	53.5	50.3	49.8	2.0	18.0	19.8	18.8	15.4	2.3
49	62.3	63.1	62.7	61.1	1.1	20.0	22.3	19.8	17.8	2.3

附錄 14：Gastec 系列空氣檢知管---氣溫相關係數

(依據使用說明，以內插法運算後所得結果)

天數	日期	氣溫	陰晴	型號 3L 檢測 NH ₃ 相關 係數	型號 4LT 檢測 H ₂ S 相關 係數	型號 81L 檢測 乙酸 相關 係數	型號 180 檢測 R-NH ₂ 相關 係數	型號 180L 檢測 R-NH ₂ 相關 係數
0	2009.03.25	20	陰	1	1	1	1	1
1	2009.03.26	21	陰	0.99	1.005	0.99	0.98	0.995
2	2009.03.27	22	晴	0.98	1.01	0.98	0.96	0.99
3	2009.03.28	24	晴	0.96	1.02	0.96	0.92	0.98
4	2009.03.29	22	雨	0.98	1.01	0.98	0.96	0.99
5	2009.03.30	20	陰	1	1	1	1	1
6	2009.03.31	20	陰	1	1	1	1	1

附錄 15：田野吸引蒼蠅測試、田野種菜試驗一場地溫度和雨量

日期	累計天數	嘉義溫度 (°C)	嘉義雨量 (mm)
2009. 04. 04	7	22	0
2009. 04. 11	14	26	0
2009. 04. 18	21	26	0
2009. 04. 25	28	26	0
2009. 05. 02	35	25	0
2009. 05. 09	42	24	0
2009. 05. 16	49	28	0