

# 堆肥技術與設備手冊及案例彙編

中華民國九十四年七月

# 序

資源永續利用與經濟社會的永續發展為世界潮流，推動廢棄物資源化以促進資源有效運用為產業永續發展之重要環節。根據環保署統計 93 年事業廢棄物產生量約 1,400 餘萬公噸，其中可作為堆肥原料之有機廢棄物達 77 萬公噸。鑑於肥料品質之良莠關鍵在於其所採用之堆肥技術，本局特委託台灣綠色生產力基金會針對「堆肥原理」、「堆肥技術與設備」、「堆肥技術評估與設備選用程序」以及「廢棄物堆肥案例」等各面向進行資料蒐集與探討說明，並編印成冊。冀望提供業者資源化技術經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發之參考，俾利共同促進廢棄物資源化之落實與應用，進而開創資源永續利用。

本手冊編撰過程，感謝屏東科技大學環境工程學系廖秋榮副教授、台灣省台中區農業改良場蔡宜峰博士及百盈系統科技股份有限公司陳明晉副總經理等參與資料蒐集及編撰，國立台灣大學環境工程研究所楊萬發教授、國立成功大學環境工程學系高銘木教授，以及中興大學土壤環境科學系陳仁炫教授之審訂，使本手冊得以付梓。但由於時間匆促，其實務資料蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈不吝指正。

經濟部工業局 謹識

中華民國九十四年七月

# 目 錄

第一章 前言 .....	1
1.1 資源再利用的意義 .....	1
1.2 廢棄物堆肥化之功效 .....	1
第二章 堆肥原理 .....	3
2.1 堆肥化過程中微生物的作用 .....	7
2.2 堆肥化的控制條件 .....	13
2.3 堆肥過程材料的變化 .....	18
2.4 堆肥品質測定 .....	23
2.5 堆肥製造要領及注意事項 .....	29
2.6 堆肥相關規範 .....	34
第三章 堆肥技術與設備 .....	42
3.1 傳統堆肥技術與設備 .....	44
3.2 通氣靜堆法堆肥技術與設備 .....	50
3.3 好氧性槽式堆肥技術與設備 .....	56
3.4 密閉翻堆法堆肥技術與設備 .....	62
3.5 高速發酵法堆肥技術與設備 .....	70
3.6 液態發酵技術與設備 .....	76
第四章 堆肥技術評估與設備選用程序 .....	86
4.1 堆肥技術評估流程 .....	86
4.2 堆肥設備選用程序 .....	90
4.3 堆肥技術成本分析 .....	93

第五章 廢棄物堆肥案例 .....	96
5.1 廢木材堆肥案例 .....	96
5.2 漿紙污泥堆肥案例 .....	104
5.3 蔗渣、茶渣堆肥案例 .....	112
5.4 食品加工污泥堆肥案例 .....	119
5.5 廚餘、中藥渣、羽毛堆肥案例 .....	126
5.6 豆渣堆肥案例 .....	134
參考文獻 .....	142
附錄一 堆肥廠商名錄 .....	147
附錄二 堆肥設備商名錄 .....	152

## 圖 目 錄

圖 2.1	堆肥化過程中物質化學變化流程圖 .....	3
圖 2.2	微生物的好氧性代謝生成物 .....	4
圖 2.3	微生物的厭氧性代謝生成物 .....	4
圖 2.4	堆肥化過程中溫度變化、二氧化碳釋放量及相的變化趨勢圖 .....	5
圖 2.5	麥桿與牧草堆肥過程中真菌類族群消長與溫度之曲線圖 .....	10
圖 2.6	堆肥過程中不同菌落生長狀況圖 .....	12
圖 2.7	碳化合物分解的途徑 .....	20
圖 2.8	腐熟堆肥與原料之紅外線光譜圖 .....	25
圖 2.9	堆肥化系統處理流程 .....	31
圖 3.1	傳統堆肥法處理程序圖 .....	45
圖 3.2	傳統堆肥法現場情況 .....	46
圖 3.3	通氣靜堆法處理程序圖 .....	51
圖 3.4	通氣靜堆法現場情況 .....	53
圖 3.5	好氧性槽式堆肥法處理程序圖 .....	57
圖 3.6	好氧性槽式堆肥法示意圖 .....	58
圖 3.7	好氧性槽式堆肥法現場情況 .....	60
圖 3.8	密閉翻堆法處理程序圖 .....	64
圖 3.9	旋轉杓子式翻堆示意圖 .....	65
圖 3.10	履帶式翻堆示意圖 .....	66
圖 3.11	旋轉刀式翻堆示意圖 .....	66
圖 3.12	密閉翻堆法現場情況 .....	67
圖 3.13	高速發酵堆肥法處理程序圖 .....	71
圖 3.14	高速發酵堆肥法現場情況 .....	72

圖 3.15	高速醱酵堆肥反應槽箱內部情況 .....	73
圖 3.16	液態醱酵法厭氧處理程序圖 .....	77
圖 3.17	液態醱酵法好氧處理程序圖 .....	78
圖 3.18	液態醱酵法厭氧處理示意圖 .....	79
圖 3.19	液態醱酵法好氧處理示意圖 .....	80
圖 3.20	液態醱酵法現場情況 .....	81
圖 4.1	堆肥技術評估流程 .....	87
圖 5.1	A 廠堆肥製作區外觀 .....	97
圖 5.2	廢太空包木屑 .....	97
圖 5.3	A 廠採用傳統堆肥法情形 .....	98
圖 5.4	A 廠有機肥料廠製造流程圖 .....	99
圖 5.5	A 廠堆肥材料混合機 .....	99
圖 5.6	A 廠採用鏟裝機進行翻堆 .....	100
圖 5.7	A 廠生產之有機質肥料商品 .....	100
圖 5.8	漿紙堆肥前材料情況 .....	105
圖 5.9	B 廠有機肥料廠製造流程圖 .....	106
圖 5.10	B 廠採用密閉翻堆法情形 .....	107
圖 5.11	B 廠使用之水洗式除臭槽 .....	107
圖 5.12	B 廠堆肥材料混合機 .....	108
圖 5.13	B 廠使用之成品造粒機 .....	108
圖 5.14	B 廠生產之有機質肥料商品 .....	109
圖 5.15	C 廠之蔗渣原料 .....	112
圖 5.16	C 廠有機肥料廠製造流程圖 .....	114
圖 5.17	C 廠露天堆積翻堆情形 .....	114
圖 5.18	C 廠利用翻堆機製作堆肥情形 .....	115
圖 5.19	C 廠生產之有機質肥料商品 .....	115

圖 5.20	D 廠食品加工污泥堆肥前材料情況 .....	119
圖 5.21	D 廠有機肥料廠製造流程圖 .....	120
圖 5.22	D 廠第一階段堆肥製作情形 .....	121
圖 5.23	D 廠採用延續式堆肥槽翻堆情形 .....	121
圖 5.24	D 廠生產之有機質肥料商品 .....	122
圖 5.25	E 廠鳥瞰圖 .....	126
圖 5.26	E 廠堆肥處理流程 .....	128
圖 5.27	E 廠快速混合發酵槽 .....	129
圖 5.28	E 廠八個發酵槽 .....	129
圖 5.29	大型翻堆機 .....	130
圖 5.30	E 廠之肥料施用於芋頭前與施用後之比較圖（施用後可增加產量 30% ） .....	134
圖 5.31	F 廠露天原料堆置區 .....	135
圖 5.32	F 廠有機肥料廠製造流程圖 .....	136
圖 5.33	F 廠有機質肥料貯存區 .....	136
圖 5.34	F 廠設置之除臭槽 .....	137
圖 5.35	F 廠生產之粒狀堆肥 .....	138

## 表 目 錄

表 2.1	堆肥過程中主要有機物之微生物分解情形 .....	8
表 2.2	好氧性堆肥過程微生物數量分布 .....	9
表 2.3	廢水污泥堆肥過程微生物數量的變化 .....	12
表 2.4	不同有機材料成分分析 .....	14
表 2.5	木材加工殘留之鋸粉末與鋸粉末堆肥之結構與顏色變化 .....	19
表 2.6	各種堆肥過程物料之最大含水量 .....	19
表 2.7	微生物降解有機物質的相對速率排序 .....	20
表 2.8	堆肥前後腐植質及其組成變化 .....	21
表 2.9	堆肥化過程中氮素的組成與變化 .....	22
表 2.10	濾紙擴散判斷堆肥是否為腐熟 .....	24
表 2.11	國內外堆肥過程中重金屬容許含量 .....	27
表 2.12	營養成分指標 .....	39
表 2.13	污泥廢棄物作為堆肥原料之相關標準整理 .....	40
表 2.14	都市廢棄物作為堆肥原料之相關標準整理 .....	40
表 3.1	各式堆肥法的特徵與優缺點 .....	42
表 4.1	建造費估算原則 .....	93
表 4.2	工程費概估表 .....	94
表 4.3	操作維護費用估列原則 .....	95
表 5.1	A 廠堆肥產品主要特性分析 .....	101
表 5.2	A 廠堆肥處理設備概要與成本分析 .....	102
表 5.3	A 廠於 92 年變動成本分析 .....	103
表 5.4	A 廠營運收益分析 .....	103
表 5.5	B 廠堆肥產品主要特性分析 .....	109



表 5.6	B 廠堆肥處理設備概要與成本分析.....	110
表 5.7	B 廠於 92 年變動成本分析.....	111
表 5.8	B 廠營運收益分析.....	111
表 5.9	C 廠堆肥產品主要特性分析.....	116
表 5.10	C 廠堆肥處理設備概要與成本分析.....	117
表 5.11	C 廠於 92 年變動成本分析.....	117
表 5.12	C 廠營運收益分析.....	118
表 5.13	D 廠堆肥產品主要特性分析 .....	122
表 5.14	D 廠堆肥處理設備概要與成本分析 .....	123
表 5.15	D 廠於 92 年變動成本分析 .....	124
表 5.16	D 廠營運收益分析 .....	124
表 5.17	E 廠原料成分分析表.....	127
表 5.18	E 廠堆肥處理設備概要與成本分析.....	130
表 5.19	E 廠有機肥成分分析.....	131
表 5.20	E 廠有機肥樣品中重金屬含量.....	131
表 5.21	E 廠於 92 年變動成本分析.....	132
表 5.22	E 廠營運收益分析.....	133
表 5.23	F 廠堆肥產品主要特性分析.....	138
表 5.24	F 廠堆肥處理設備概要與成本分析 .....	139
表 5.25	F 廠於 92 年變動成本分析 .....	140
表 5.26	F 廠營運收益分析 .....	140

# 第一章 前言

台灣缺乏天然資源，所需原料大部分仰賴進口，節約自然資源的使用、加強資源的有效利用、減少廢棄物產生、促進物質回收再利用及減輕環境負荷，是台灣建立資源永續利用社會的首要工作。於資源再生利用方面而言，任何廢棄物並非無用之物，而是『放錯地方的資源』或『人工製造的礦產』，如何將資源更有效的利用，是當前重要的課題。

經濟部工業局為促進產業及環境生態之平衡發展，邀請學者專家編撰彙整堆肥技術，以供各界參考運用。將有機廢棄物製作成堆肥再利用，除有防止有機廢棄物造成污染外，更可以增進農地生產力，促進自然生態平衡一舉多得，深值推廣。本章將簡要的介紹資源再利用之意義，與廢棄物堆肥化的功效。

## 1.1 資源再利用的意義

地球的天然資源已經不再是取之不盡、用之不竭的寶藏。依目前資源消耗速度來估算，未來數十年間，某些資源物質將會開發耗盡。廢棄物一詞具有明顯的時間與空間特性，時間上而言，目前尚無法使用或不願利用的物質，但隨著科技與技術不斷創新及原料的短缺，今日的廢棄物將會成為明日的資源；空間上而言，甲生產形成的廢棄物，往往是乙生產過程所需的原料，而乙地點被丟棄的東西，又可能在丙地點發揮作用。因此，人們眼中所謂的廢棄物，其實只是現階段不具有經濟價值的物質，待新技術開發後這些物質將會有新的用途與市場價值存在，這些物質經回收處理後，又將成為有用的原料、燃料、工程填料、土壤改良等資源。資源回收再利用是倡導組成一種「資源-產品-資源再生」的循環經濟，建立在物質不斷的循環利用基礎的經濟模式上。

資源回收再利用是珍惜自然資源、減少環境負荷的重要手段之一，也是國家進步，社會文明的指標。早期我國資源回收的政策目標是「減廢」，故幾乎都集中在管末處理技術及垃圾處理手段上。制度演變至今，資源回收再利用必須從設計、製造、銷售、消費，到棄置各階段均考慮循環使用的可能性，以達到物質循環再利用、減輕整體環境壓力、提高綠色生產層次的目的。

## 1.2 廢棄物堆肥化之功效

縱觀人類文明發展，早在農業時代，人們已體認到回收自然資源再利用之妙用，並巧妙地運用到農業生產上，例如：將農作物殘渣及禽畜類排泄物等有機廢棄物回歸農田使用，化腐朽為神奇，以作為增進農田地力之手段。當邁入工業時代後，追求高產值成為唯一的目標，自然資源即被人們任意的開發及揮霍。自能源危機後，有識之士重新體認到珍惜自然資源之重要，使環保意識逐漸抬頭，有機廢棄物的處理朝向資源化、減量化、安全化及無害化的多元方向發展。

所謂堆肥化即使用廣泛分布於自然界之微生物，在控制的條件下，將廢棄物中不穩定的有機成分加以分解，轉換為安定的有機質成分，即腐熟的堆肥。其在農業生產及保持地力上，兼具肥料及土壤改良的效益，故為廢棄物處理中重要的一環。堆肥化的優點在於不需要高度的技術、處理成本低、安全衛生、合於對環境友善的原則，其缺點在於成品堆肥的品質較難控制，惟仍有待檢討評估及重新規劃之價值。

就各行業可能產生之廢棄物可分成很多類，在選擇堆肥材料時，應首重材料的無害性，其次為可提供植物營養的潛力如何，以及是否具可改善土壤性質的成分等。依此原則來看，如廢酒糟、酒粕、酒精醪、菸砂、蔗渣、廚餘、動植物性殘渣及污泥等，無害性及可分解之有機物質皆可作為堆肥的原物料。廢棄物堆肥化的功效大致有下列幾種：

- 1.有機肥料富含大量的有機物質，可提供土壤微生物族群生長所需之營養源與能源，因而能促進土壤微生物族群的活性，並維持生態環境之平衡。其中的有益微生物菌，例如：細菌、黴菌、酵母菌、放線菌、固氮菌、溶磷菌及硝化菌等等。微生物之代謝作用合成複雜的有機化合物，並將分解產物遺留於土壤，促進土壤團粒之穩定，防止土壤結塊形成硬盤；另一方面微生物可分解土壤中酸性物質、化學肥料、農藥及某些有害物質，並有效分解出土壤中供植物生長所需的必須元素及微量元素，如氮、磷、硫、鉀、鈉、鈣、鎂、鐵、錳、鋅、銅和鉬等，促進植物的吸收。
- 2.有機物經由微生物的分解與代謝作用，產生有利於植物生長的有機酸、核酸、維他命、賀爾蒙抗生素、胺基酸、葡萄糖、果糖、高級酒精、麥芽糖、乳酸、糊精等，使植物具有抗蟲、抗病、抗惡劣天候能力、提高品質與產量。
- 3.有機肥料的施用可以改善土壤物理性質，降低土壤之內聚性、塑性、黏著性，使土壤便於耕犁；增進土壤團粒構造穩定、土壤保肥力、保水力、調節土壤溫度及降低土壤總體密度、維持土壤適當的孔度、增加土壤通氣性、避免排水不良造成表面徑流及沖蝕等效用，促使作物根系之發育、伸展以及對養分和水分吸收均得以增進，使作物的品質得以提升。
- 4.有機肥料中的有機質可以提供高量的陽離子交換能量與緩衝能力，能增進土壤的保肥能力、減少養分的流失及降低土壤的風化作用，同時增強土壤對於酸鹼度、可溶性鹽類、有機污染物質、有害重金屬及其他逆境(旱害、寒害、營養障礙)的負荷能力，因而減輕作物蒙受上述問題之傷害程度。
- 5.有機肥料含有微生物及豐富的營養源，施用於土壤中可以直接被植物吸收，或是藉由微生物、動物或植物的活動與代謝，透過養分的循環(氮素循環、磷和硫的循環、鈣、鎂、鉀及微量元素的循環)轉變成有效性成分，間接被植物所吸收利用。

## 第二章 堆肥原理

堆肥化(composting)就是依靠自然界廣泛分布的細菌、放線菌、真菌等微生物，在一定的人工條件下，有效的控制並促進可被微生物降解的有機物質向穩定的腐植質轉化的生物化學過程，其實質上是一種醱酵的過程。堆肥化的過程在人工控制條件下進行，亦即採取有效促進生物分解，且於堆肥化過程中所產生的『生物穩定』(biostablization) 作用，說明了堆肥化的過程實質是生物化學作用及無害化作用，所謂的穩定，即是指堆肥產品對環境無害。圖 2.1 為堆肥化過程中物質化學變化流程圖。

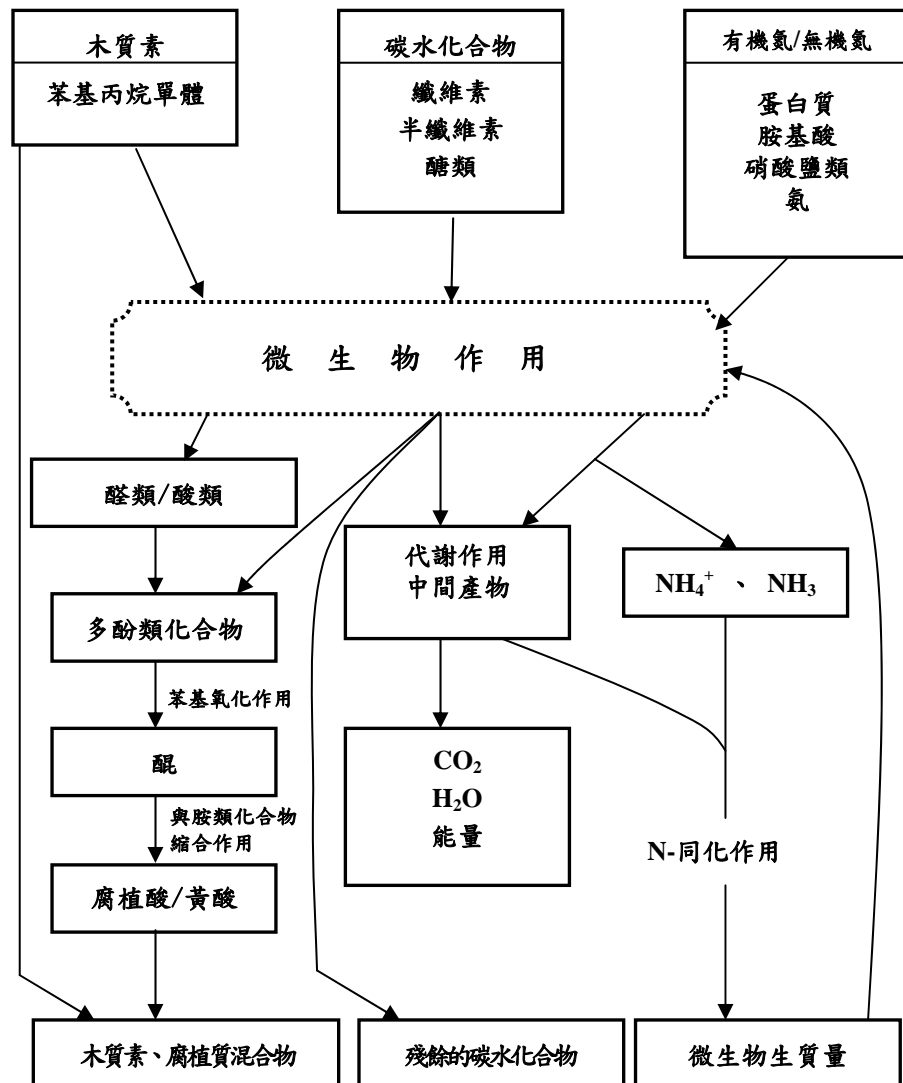


圖 2.1 堆肥化過程中物質化學變化流程圖<sup>[1]</sup>

廢棄物經堆肥處理之後，所形成的成品叫做堆肥(compost)。堆肥是一種棕色的、泥炭狀、腐植質含量相當高的疏鬆物質。當廢棄物經過堆肥化處理後，體積會變成只有原體積的 50%-70%。

堆肥的系統可分為三大類，按照供氧程度分為好氧堆肥化與厭氧堆肥化；按照堆肥溫度可分為中溫堆肥化與高溫堆肥化；按照技術來區分可分為露天堆肥化與機械密閉堆肥化。一般習慣上都是以好氧堆肥化與厭氧堆肥化來做區分，而現代化的堆肥技術，基本上都是以好氧堆肥化的方式，主要原因為好氧堆肥化具有溫度高、基質分解較為徹底、堆置週期較短、臭味較少、可以大規模採用機械處理等優點，而厭氧堆肥化是利用厭氧微生物完成分解反應，溫度較低，技術較為簡單，堆肥產品中的氮保存量較多，缺點為堆肥週期太長、臭味較濃、分解較不完全，堆肥的 pH 值較低。

根據堆肥的過程中氧氣的供應情況可把堆肥的過程區分為好氧堆肥化與厭氧堆肥化兩種。好氧堆肥化的通氣要良好，在氧氣充足的條件下，借助好氧微生物來降解有機物，一般好氧堆肥化產生的溫度較高，約為 55~60℃ 效果較佳，因此好氧堆肥化的產品亦可稱為高溫堆肥，圖 2.2 為微生物的好氧性代謝流程；厭氧堆肥化則是在通氣條件較差、氧氣不足狀態下藉由厭氧微生物發酵降解有機物。圖 2.3 為微生物的厭氧性代謝流程。

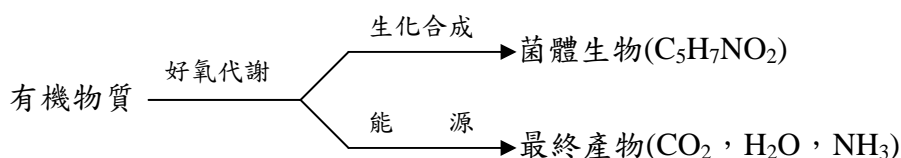


圖 2.2 微生物的好氧性代謝生成物<sup>[2]</sup>

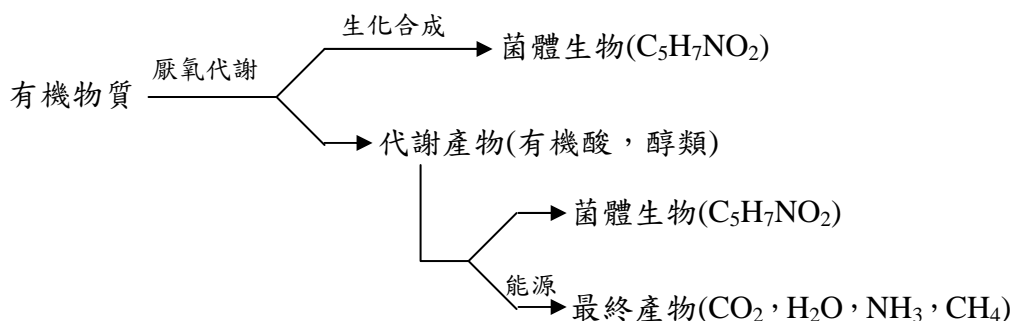


圖 2.3 微生物的厭氧性代謝生成物<sup>[2]</sup>

有機廢棄物好氧堆肥化過程，實際上就是基質的微生物發酵過程。好氧堆肥化過程中，有機廢棄物中的可溶性小分子有機物質透過微生物的細胞壁和細胞膜而被微生物吸收利用；而不溶性大分子有機物質則先附著於微生物體外，由微生物所分泌的胞外酶分解為可溶性小分子物質，再傳送到細胞內供微生物應用。透過微生物的生命活動（合成與分解過程），將一部分被吸收的有機物質氧化成簡單的無機物質，並提供微生物生命活動所需之能量，將另一部分有機物質轉化合成新的細胞物質，使微生物不斷增殖。圖 2.4 為堆肥化過程中溫度變化、二氧化碳釋放量及相的變化趨勢圖，以下就堆肥化的三個溫度變化階段分述<sup>[3,4]</sup>：

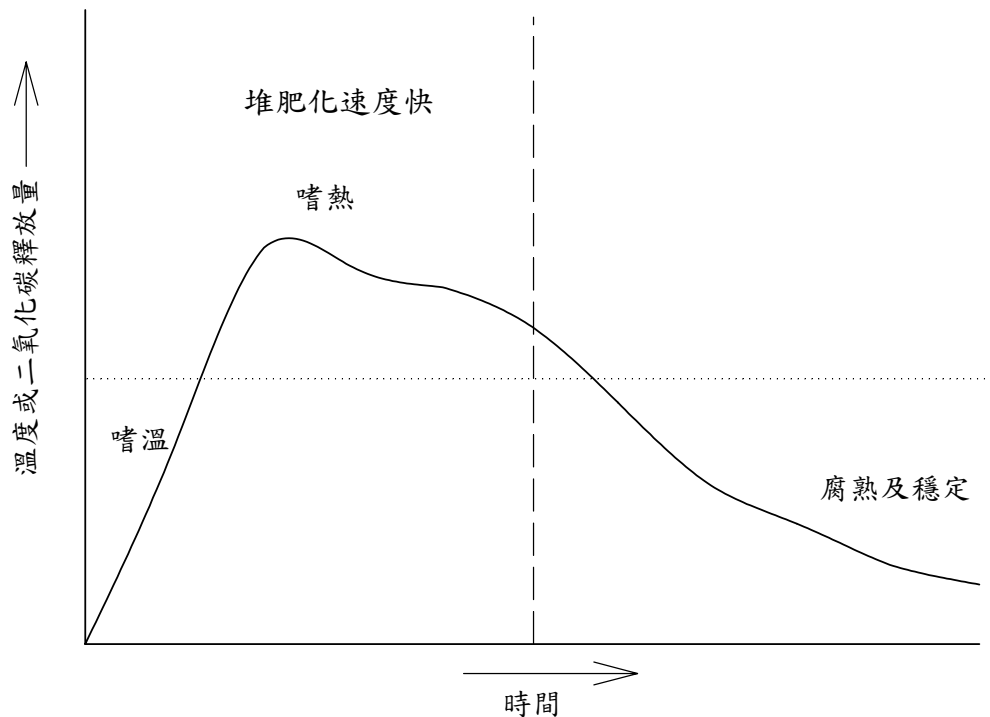


圖 2.4 堆肥化過程中溫度變化、二氧化碳釋放量及相的變化趨勢圖<sup>[5]</sup>

1. 中溫階段：是指堆肥化過程中的初期，堆層的溫度約為 15~45 的中溫，嗜溫性微生物較為活躍，利用堆肥中可溶性有機物進行旺盛的生命活動。而嗜溫性微生物包括真菌、細菌和放線菌，主要是以醣類和澱粉類作為基質。
2. 高溫階段：當堆積溫度升到 45 以上時，即進入高溫階段，於此階段，嗜溫性微生物受到抑制甚至死亡，取而代之的是嗜熱性微生物堆肥中所殘留的和新形

成的可溶性有機物質持續被氧化分解，堆肥中複雜的有機物，如：半纖維素、纖維素和蛋白質也開始急速被分解。於高溫階段中，各種嗜熱性微生物之最適溫度亦大不相同，在溫度上升的過程中，嗜熱性微生物的類群與種群是相互交替的。通常在 50℃ 左右最為活躍的是嗜熱性真菌和放線菌；當溫度上升到 60℃ 時，真菌則幾乎完全停止活動，嗜熱性放線菌及細菌仍持續作用；而溫度上升到 70℃ 以上時，對於大多數的嗜熱性微生物已經不再適應，因而進入死亡或是休眠的狀態。現代化堆肥的最佳生產溫度一般約為 55℃，這是因為大多數的微生物在 45~80℃ 範圍內最為活躍，最易分解有機物質，且堆肥中的病原菌和寄生菌大多可以被殺死。

- 3.降溫階段：在內呼吸期之後，剩下的部分為較難分解的有機物和新形成的腐植質，此時微生物的活性下降，發熱量減少，溫度下降，嗜溫性微生物再度占有優勢，對殘餘較難分解的有機物再一次進行分解，腐植質不斷增加而達到穩定狀態，此時堆肥進入腐熟階段，需氧量大幅減少，含水率亦逐漸下降。

有機質肥料的施用對土壤的功效可分成三部分：

1.改善土壤物理性質：

- (1)改善土壤構造：有機的顆粒或斷片使土壤變鬆，而有機質可增加微生物的產物，導致土壤團粒化作用，使土壤構造變好。
- (2)增加土壤保水力：有機質肥料能直接幫助水分的保持，或間接來自土壤構造的改善而提升土壤保水力。
- (3)增進土壤通氣性：可使供應根系的氧氣增加，使來自根系間的二氧化碳易於擴散出去。
- (4)增加土壤溫度：因有機質的顏色較黑，能吸收較多的熱量，或因間接受到土壤構造改善，而在春季來臨時，將過多的水分排除，有利土溫的上升。

2.對土壤化學性的改善及作用：

- (1)增加土壤貯存營養分：在有機質表面貯存、形成可交換性的型式，尤其對含粘粒少的土壤更為重要。
- (2)經分解可提供植物的營養及能量：有機物分解時，產生無機營養（如氮、磷、硫、微量元素等）及有機營養（如胺基酸、醣類等），以及放出的二氧化碳可進入空氣中，部分可供光合作用的應用基質。
- (3)分解產物促使貯存的無機營養轉移及增加其有效性：直接受到分解產物的作

用釋放有效性營養分，或間接受到分解產物的作用釋放有效性營養分，或間接受到分解產物的酸作用，或降低氧化還原電位，促使一些元素在還原態下的有效性及移動性提高，例如鐵及錳，或間接受影響的磷及鉬。

(4)有機肥含有植物生長的活性物質：分解有機肥的過程中，大量的有機化合物釋出，包括作物生長促進劑與抑制劑，以及類似抗生素的物質，可能直接對作物或對土壤微生物產生影響。

### 3.對土壤微生物的影響：

(1)堆肥提供土壤微生物的營養及能量，各種有機物所含成分不同，分解作用的快慢都與所含物質有關，其中木質素的分解速度較慢，能利用木質素的菌種也較少。

(2)氮素是農作物栽培中不可或缺的必要元素，主要功能為構成體內蛋白質、胺基酸甚至是核酸分子。對於土壤中固氮菌而言，在低氮肥的環境條件下可增進土壤固氮菌的作用，將空氣中的氮固定成生物能利用的氮素化合物，而固定空氣中游離態氮的能力會因氮素施用量的增加形成反饋抑制(feed back)的作用。

台灣地區農地由於長期施用化學肥料，以致普遍有土壤酸化及有機質缺乏等現象，造成土壤物理性欠佳；如土質硬、通氣性欠佳、保水力差，而影響生產力。堆肥的主要功效即是改良土壤的物理性，以提高地力。

廢棄物經堆肥處理後的材料之所以可以作為肥料<sup>[6,7]</sup>，主要因堆積材料經微生物分解後，改變了原有的物理及化學性質，如原有堅韌的纖維經堆積醱酵後，變成較疏鬆，同時堆積醱酵過程溫度會逐漸升高，可殺死一些病菌蟲卵，亦即原有機材料中所含的碳、氮等成分，經由微生物分解後改變了原有的組成與型態，以達適於肥料應具有的性質。

## 2.1 堆肥化過程中微生物的作用

堆肥化處理是微生物作用於有機廢棄物的生化降解過程，而微生物是堆肥過程中的主體。堆肥微生物的來源主要有兩個方面，首先是來自有機廢棄物中原有大量的微生物族群，一般而言都市廢棄物中的微生物數量約為  $10^{14}$ ~ $10^{16}$  個/kg；另一個主要來源則為人工所添加的特殊菌種。這些菌種於一定條件之下對於某些有



機廢棄物具有較強的分解能力，且具有活性強、繁殖快、分解速度快等特點，能加速堆肥的反應進行，縮短堆肥腐熟穩定化的時間。

堆肥過程中發揮作用的微生物主要是細菌與放線菌，還有真菌和原生動物等。隨著堆肥過程，有機物不斷的逐步降解，堆肥中的微生物種群亦隨著堆置環境變化而使種群以及數量隨之改變。表 2.1 可以得知有機物中可被分解的物質所需要的微生物種群。

表 2.1 堆肥過程中主要有機物之微生物分解情形<sup>[8]</sup>

有機物中可被分解的物質	微生物	分解率	最終產物
木質素	放線菌為主	低	H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> （中間產物為酚類化合物等）
纖維素	好氧性細菌、放線菌、真菌及高溫厭氧細菌	中	H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> （中間產物為葡萄糖、醇類等）
半纖維素	放線菌為主	高	H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> （中間產物為五碳醣及六碳醣等）
醣類、胺基酸、蛋白質、脂肪、碳水化合物	多種微生物	高	H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub> 、N <sub>2</sub> （中間產物為胺基酸、有機酸、醇類等）

微生物生存所需之環境因素，則包括溫度、濕度、pH值、氧氣及營養鹽等。其影響分述如下<sup>[4,9,10]</sup>：

### 2.1.1 溫度

溫度是堆肥製作過程中影響微生物活動最重要的一個參數，主要會影響微生物的生長速率、繁殖方式、形態、代謝反應、甚至營養需求。微生物生長最快的溫度稱為最適生長溫度，依最適溫度的範圍分為嗜低溫菌(psychrophiles)，最適生長溫度為 15~20°C；嗜中溫菌(mesophiles)，最適生長溫度 25~40°C；嗜高溫度(thermophiles)，最適生長溫度 50~70°C。在堆肥初期溫度低於 40 時嗜溫性細菌占優勢，當堆肥溫度上升到 40 以上嗜熱性微生物逐步占有優勢，這階段的微生物大多數是桿菌，桿菌的最適溫度範圍約為 50~55 ，當溫度高於 60 時，桿菌種群的差異會變的很小。

在堆肥過程中，微生物新陳代謝所產生的熱不斷累積，有機碳被微生物呼吸

代謝因而降低碳氮比，在正常情形下所產生的熱可使堆肥溫度在數日內升高達 60℃，甚至到 70℃ 以上，能殺滅病菌、蟲卵及雜草種子。這種高溫可維持一段時間，不但促進微生物反應，縮短腐熟時間，而且可殺滅病菌、蟲卵、雜草種子等。除非堆製失敗，否則高溫是堆肥過程中之正常現象。因溫度不易控制，故建議只要對溫度進行監測觀察而不必特別加以管理。表 2.2 可以得知不同堆置溫度下微生物的數量分布。

表 2.2 好氧性堆肥過程微生物數量分布(個/克-濕重)<sup>[11]</sup>

微生物種類	堆 肥 溫 度		
	<40℃	40~70℃	70℃ 至冷卻
細菌			
中溫性	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>11</sup>
高溫性	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup>
放線菌			
高溫性	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>
真菌			
中溫性	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>
高溫性	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>

微生物必須有適當的溫度始能繁殖活動，由圖 2.5 可以說明麥桿堆肥中真菌類族群消長與溫度之曲線圖，該堆肥以中溫菌及高溫菌進行堆肥程序，圖中可發現溫度在高於 70℃ 時，微生物族群大量減少；45~65℃ 時微生物的族群數量可以維持穩定的數量<sup>[9]</sup>。

隨著堆肥材料中菌種的繁殖，生長呼吸急速增加，堆肥的溫度也隨之上升，而溫度開始上升時，其活動也隨之活躍，整個堆肥的溫度可以上升至 60~70℃。如果溫度繼續上升，則其活動反而隨之下降，甚至終歸死滅。微生物種類不同，其適合的繁殖溫度也不同，堆積材料的高溫度並不是微生物作用的必要條件，溫度提高有助於殺除雜草種子、消除病蟲害，而一般微生物活動之溫度上限為 65~80℃。

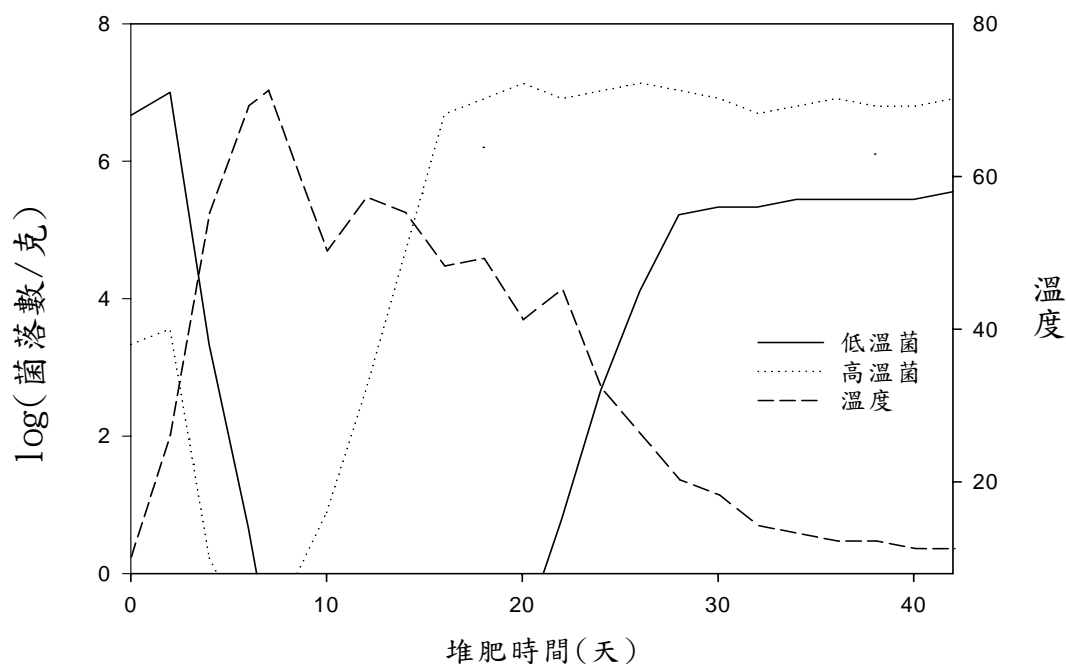


圖 2.5 麥桿與牧草堆肥過程中真菌類族群消長與溫度之曲線圖<sup>[12]</sup>

### 2.1.2 pH 值

微生物對 pH 之變化很敏感，通常在強酸或強鹼的狀況不利細菌的繁殖，所以均不適宜。一般分解有機物時，適合的 pH 值約 6.5~7.5 之間，但部分有機質其分解時所產生的物質會造成 pH 值變化。如果在中性左右之酸鹼度時細菌活性較為旺盛，而趨酸性時其活力則減弱。在堆積過程中所產生的部分小分子化合物對植物的根有害，這些小分子在較高 pH 值的狀態下容易氧化並聚合成為大分子物質，因而得以消除其對植物的毒性。通常堆肥在厭氧(缺氧)醱酵者，其 pH 值較低，在材料中加入適量的石灰可以調整提高 pH 值，改善微生物的生長環境，進而提升堆肥產品的品質。

### 2.1.3 水分

製造堆肥時，堆積物之含水率為影響堆肥過程之最重要關鍵因素。一般微生物在堆積物含水率 40%~70% 時，較適合於好氧微生物之活動，尤其在堆肥醱酵過程中，以含水率 60%~70% 間最佳，含水率低於 40% 時，則醱酵被抑制，而高於 70% 時會產生厭氧狀態。

#### 2.1.4 氧氣

微生物在進行發酵作用時，有需要與不需氧氣者；需要氧氣者稱之為好氧微生物，不需氧氣者稱之為厭氧微生物。同一有機質，由於其作用之微生物群之不同，其最終生成物也不同，而分解速度也有差異。以厭氧微生物分解堆積有機物時，其分解速率較低，但好氧微生物之分解速率則為厭氧微生物之 10 倍以上。因堆肥的過程主要為好氧微生物之分解作用，所以堆積過程中必須予以適當的通氣，以供給氧氣。

#### 2.1.5 營養鹽

微生物所需之營養主要用來合成細胞成分，以及維持細胞正常的功能，其營養需求包括：

- 1.能源：即用來供應細胞合成及細胞活動所需。
- 2.碳源：碳是微生物生長所需最重要的化學元素，因為碳是組成碳水化合物、脂肪及蛋白質等最基本之元素。
- 3.無機性養分：包括氮、硫、磷、鉀、鎂、鈣、鐵、鈉、氯等各種元素，其中氮是胺基酸及蛋白質的主要成分，硫是幾種含硫胺基酸的成分，磷是核酸、ATP 之主要成分，其餘元素之作用包括作為酵素的輔助因子(如鐵)，而鈉則與細胞之傳輸有關。
- 4.微量要素：包括鋅、錳、鉬、硒、鈷、銅、鎳等元素，對微生物而言，其所需的量很少，這些元素主要作為酵素的輔助因子。

自然界中土壤存在大量的微生物，扮演生態系統中分解者的角色，所以在天然的狀況下堆肥材料本身已含很多的菌種，圖 2.6 為堆肥中不同菌落生長狀況，在良好的堆肥條件下各種菌種開始繁殖，如果以浸潤的堆肥材料中含有足夠的易利用性能源和 N、P、S 等養分時，菌群很快繁殖生長，有些菌群能夠促進物質分解、幫助植物吸收養分，對土壤有益，有些菌群會釋放毒素，對土壤有害，在堆肥的製作過程中就是要營造一個適合有益菌生長的環境使其迅速繁殖，利用有益菌的分解作用促進堆肥材料的腐熟發酵，最後轉換成優質的有機肥料。促進有機物質分解的有益菌種類包括：光合菌、放線菌、酵母菌、乳酸菌等菌種，為加速其分解速度及控制堆肥的產出品質，也可用接種菌群的方式，以改善起始點的有益菌群密度。以廢水污泥為例，由表 2.3 堆肥過程微生物數量的變化趨勢，可知不同微生物數量會隨堆置時間不同而改變。

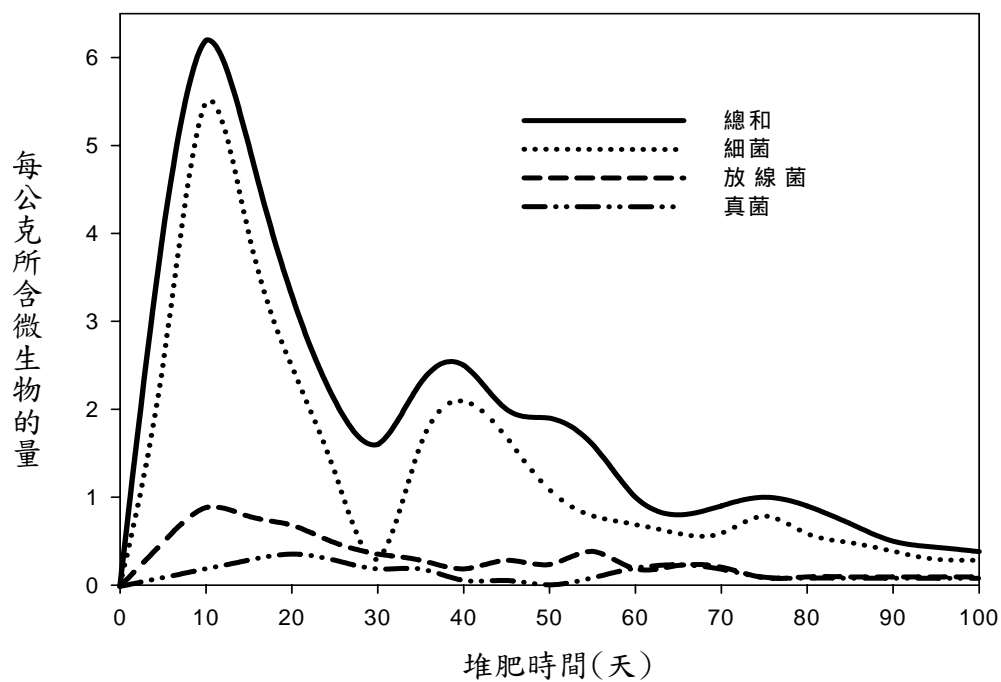


圖 2.6 堆肥過程中不同菌落生長狀況圖<sup>[6]</sup>

表 2.3 廢水污泥堆肥過程微生物數量的變化( $\times 10^5$ /克-乾重)<sup>[11]</sup>

微生物種類	堆肥日數		
	0 日	30 日	60 日
好 氧 性 細 菌	801	192	113
厭 氧 性 細 菌	136	1.8	0.97
放 線 菌	10.2	5.5	3.7
菌 類	8.4	16.5	0.36
氨 化 細 菌	34	240	44
氨 氧 化 菌	43	14	0.37
亞 硝 酸 氧 化 菌	0.08	0.003	0.003
脫 氮 菌	1,300	9,900	200
好 氧 性 菌 / 放 線 菌	78.5	349	30

## 2.2 堆肥化的控制條件

觀察堆肥化過程進行是否順利，主要根據堆肥物料中有機物的種類及特性和堆肥技術控制參數的變化。透過堆肥化過程的控制，確保堆肥化過程順利進行，對於各種堆肥化系統而言，其控制和監測堆肥化過程的運行參數是相同的，主要包含有機物、碳氮比、含水率、溫度、通氣量、pH值和腐熟度等等，茲針對各控制條件分述如下<sup>[3,14,15]</sup>：

### 2.2.1 堆肥化過程中有機物質之影響

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

- 1.對於堆肥原料進行前處理，藉由破碎、篩分等方式去除掉部分的無機組成，使得堆肥基材之有機物含量提高到 50% 以上。
- 2.醱酵前於堆肥原料中添加一定比例的禽畜糞尿、無害的都市廢水或污泥等，主要的目的方面增加堆肥材料中的有機物含量，另一方面可以調節原料的含水率，同時還可以處理掉禽畜糞尿的問題。
- 3.由於都市生活垃圾中無機含量較高無法直接進行堆肥化，因此和無害污泥混合作為堆積材進行堆肥過程，一方面增加堆肥材料中的有機物含量，同時還可以處理掉生活垃圾與污泥的問題。

在堆肥化過程中，首先被分解的是可溶性易分解的有機物質（如醣類），然後是蛋白質、纖維素等，可溶性醣類物質的降解率一般約在 95% 以上，而纖維素等的分解往往是逐步完成的。

### 2.2.2 堆肥化過程之碳氮比

微生物所需的營養鹽，以碳、氮最多，碳主要為微生物生命活動提供能源；氮則用於合成細胞所需之養分。正常的好氧性堆肥原料中要求要有一定的碳氮比

(C/N)，一般而言，最佳的碳氮比約為 25~35：1 左右時，醱酵的過程最快。若碳氮比過低（亦即低於 20：1），微生物的繁殖會因為能量的不足而受到抑制，導致分解緩慢且不徹底，而微生物分解出過多的氨，易從堆肥中逸散，導致氮素損失；反之，一旦碳氮比過高（亦即高於 40：1），則堆肥施用於土壤後，會發生奪取土壤中氮的現象，形成“氮飢餓”現象，對於作物的生長產生不良影響。以整體趨勢來看，隨著堆肥醱酵的進行整個過程中碳氮比會逐漸下降。

為保證成品的堆肥中含有一定量的碳氮比（一般約為 10~20：1）和在堆肥過程中使分解速度有序的進行，必須調整好堆肥原料的碳氮比。初始原料的碳氮比會高於一般最佳值，而調整的方式可以添加禽畜糞尿、廚餘、污泥等，使得碳氮比調整到 30：1 以下。當有機原料的碳氮比為已知條件，可依下列公式計算所需添加的氮源物質數量：

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

式中，K為混合原料之碳氮比，通常為 25~35：1 左右（最好為 35：1）， $C_1$ 、 $C_2$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 分別為有機原料與添加原料的有機碳、氮含量。在碳、氮含量的測定比較費時，全氮的測定採用凱氏氮法；有機碳的測定則採用重鉻酸鉀法進行測定。

另外為有機質的粒度，一般約 10~20mm，太粗時，由於能被微生物利用的表面積小，分解速度會較慢，太細時，則由於細粒間的空隙太小，會造成氧氣供應孔道不順暢，不利好氧性分解。因此，應視材料之粗細添加副資材(bulking agent)並充分混合，以使混合後之物料有良好之通氣性（孔隙度），避免造成局部通氣不佳，而使溫度不均、水分無法發散、產生臭味等，甚至影響堆肥品質。表 2.4 分別列出不同堆積材料之碳(C)、氮(N)、磷(P)、鉀(K)等成分分析。

表 2.4 不同有機材料成分分析<sup>[16]</sup>

材	料	C/N	有機碳%	全氮%	總磷%	鉀%
牛	糞	13~17	35	1.8	0.5	1.7
豬	糞	8~15	42	3.0	3.0	0.5
雞	糞	6~9	18	3.3	1.7	2.4
米	糠	18~22	55	2.4	0.4	1.8
大	豆 粉	4~6	38	7.0	0.6	2.4
大	豆 桿	30~36	42	1.3	0.3	0.5
樹	皮	120~500	70	0.3	0.08	0.6

表 2.4 不同有機材料成分分析(續)<sup>[16]</sup>

材 料	C/N	有機碳%	全氮%	總磷%	鉀%
稻 蒿	45~60	43	0.7	0.1	2.0
穀 殼	70~90	35	0.4	0.1	0.6
太 空 包	25~40	44	1.1	0.4	0.5

### 2.2.3 堆肥化過程中含水率之影響

堆肥中水分主要作用在於溶解有機物質，參與微生物的新陳代謝作用；另一方面，水分蒸發時會帶走熱量，可以調節堆肥化過程中的溫度。微生物的生長和對氧的需求均在含水率為 50%~60%時達到最高峰，當水分過多時會把空氣從堆積材料中擠出來，孔隙多被水分占據，阻礙氧氣之供應與二氧化碳之外逸，影響空氣的擴散與傳輸，還可能會將堆積材料中之結構破壞及小孔阻塞、有機酸等有害物質累積、有機物分解水減慢停頓，可能會造成厭氧狀態而出現惡臭，以及會產生滲出液等問題；一旦水分低於 40%時，微生物的活性會降低，堆肥溫度隨之下降，導致生物活性不斷下降的趨勢。

通常水分含量低於最佳值的時候，可以添加污水、污泥、禽畜糞尿、廚餘等進行調整，添加的調整材與原廢棄物的重量比，可以根據下式求出：

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

式中，M為調整材與原廢棄物的重量比， $W_m$ 、 $W_c$ 、 $W_b$ 分別為混合後原料之含水率、原廢棄物之含水率、調整材之含水率。

反之，當廢棄物的含水率過高時，於堆肥製作前須先行調理，包括：(1)若土地空間和時間允許，可將堆積材攤開進行攪拌，及通過翻堆處理使水分蒸發；(2)添加水分調整材(一般常用的調整材有稻草、穀殼、木屑等等)，以降低水分含量並增加其空隙容積。

測定含水率的方法有很多種，最常用的方法是在恆溫 105℃ 乾燥到恆重，並測定物料的失重。

### 2.2.4 堆肥化過程之溫度控制

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

溫度的作用主要影響微生物的生長，一般認為高溫菌對有機物的分解效率高



於中溫菌，而現代化的快速、高溫好氧堆肥則是利用此一特點，在堆肥製作初期，堆體溫度與環境溫度相似，經過中溫菌一到兩天的作用，堆肥的溫度便能達到高溫菌的理想溫度 50~65 之間，依此溫度，一般堆肥只要五到六天，即可完成堆體的無害化過程，堆體溫度若能維持在 55~60 之間最好，盡量不要超過 60 ，因為一旦超過 60 ，微生物的生長活動開始會受到抑制，且溫度過高亦可能會過度消耗有機質，降低堆肥的品質與質量。

為了能夠達到消滅病原菌，對於堆體內部溫度需要高於 55 ，且要維持一定的時間，必要時還需要在操作過程中進行翻堆。藉此可將病原菌、寄生蟲及寄生蟲卵，雜草種子等予以殺滅，避免傳播擴散。

根據一般堆肥溫度變化曲線，可以判定發酵過程的進展情況。如測出偏離常規溫度曲線範圍時，表示微生物的活動受到某種因素的干擾與阻礙，在實際生產線上，往往藉由自動控溫系統來執行堆體溫度的控制，當堆體內部溫度超過 60 時，鼓風機會自動開始向堆體送風，排出堆料中的熱量及水氣，使堆體溫度降低。

## 2.2.5 通風的控制條件

通風是好氧堆肥成功與否的重要因素之一，其主要的的作用在於：1.提供氧氣，以促進微生物的發酵過程；2.通過供氣量的控制，調節在最適溫度環境之下；3.在最適溫度之下，增加通風量有助於水分的去除。

理論上，堆肥過程中的氧氣需求量取決於被氧化的碳量，但由於有機物在此過程中分解的不確定性之下，很難以堆積材料中的含碳量變化精確的估算需氧量。目前大多是以透過堆積層中的氧氣濃度和耗氧速度來瞭解堆積層的生物活動過程及需氧量多少，進一步能夠達到控制供氣的目的。

需氧量和耗氧速度是微生物活動強與弱的指標之一，其大小一方面可以證明微生物活動強弱，另一方面還可以反映堆肥中有機物質的分解程度。許多研究顯示出，不同組成分和不同物料的堆肥製作中，其彼此間的耗氧速率差異相當大，亦說明了不同的堆肥方式對於供氧的要求是不同的。在通風過程控制中，首要注意的是供氧的濃度，堆肥過程中合適的氧濃度應大於 18%，最低的氧濃度不得低於 8%，一旦氧濃度低於 8%，氧氣就會成為好氧堆肥中微生物活動的限制因素，還會產生惡臭。好氧堆肥的通風供應方式可分為下列數種：

1.自然擴散：利用空氣的對流自然擴散，氧氣由堆積材表面向內部擴散，一般而言，藉由表面擴散的供氧方式，在第一階段發酵過程中僅能供應表層下約 20 公分厚度的物料之氧氣。因此，利用自然擴散的方式於堆層內的供氧量明顯不足，會呈現厭氧狀態。在第二階段發酵過程中可以供應表層下約 1.5 公尺厚度

的物料之氧氣，因此可以採用自然擴散的通風方式。

- 2.翻堆：將堆料翻倒或攪拌，把空氣包裹到固體顆粒的孔隙中，此種通風方式較為有效。
- 3.強制通風：反應槽中設有正壓鼓風、負壓抽氣設備或正壓鼓風和負壓抽氣混合設備。與其他方法比較起來，強制通風較易操作和控制，為堆料供氧之最佳的通風方式。
- 4.翻堆與強制通風之結合。
- 5.被動通風：由於熱空氣上升所引起的“煙囪”效應而使空氣通過堆積材的方式。主要是利用中空管狀物插入堆體中，堆體中的熱空氣上升時所形成的抽吸作用，使外部空氣進入堆體中，達到自然通風的效果，不需翻堆及通風設備系統，可大為減少設備費用。

另一方面可以藉由空氣量來推估堆肥發酵的狀況，即 1.排氣中 $O_2$ 濃度大於14%，則表示空氣中氧的消耗不到 1/3；2.最佳排氣 $O_2$ 濃度為 14%~17%；3.一旦排氣中 $O_2$ 濃度降到 10%，則表示好氧發酵停止；4.如用排氣中 $CO_2$ 濃度來替代 $O_2$ 濃度作為監測指標，則最佳的 $CO_2$ 濃度應為 3%~6%。

## 2.2.6 堆肥化過程中的 pH 控制

pH 值是一項能對細菌環境做出評估的指標參數，在堆肥的生物降解和發酵過程中，pH 值會隨著發酵的時間和溫度變化而變化，因此 pH 值亦可用來推估堆肥發酵的狀況。合適的 pH 值可以使微生物有效的發揮其應有之作用，過高或是過低的 pH 值都會對於堆肥產生影響。一般認為 pH 值在 7.5~8.5 之間時，可獲得最大的堆肥化速率。

在堆肥化開始時，pH 值在 7 左右，堆置 2~3 天之後 pH 值便開始上升到 8.5 左右，一旦發酵方式轉變成厭氧狀態時，pH 值就會降低到 4.5 左右。好氧堆肥化的 pH 值在 5.5~7.5 時，是大多數微生物活動的最佳範圍，真菌類活動的最佳範圍約為 5.5~8.0。在好氧堆肥初期堆積才會產生有機酸，有利於微生物生存與繁殖，此時 pH 值可下降到 4.5~5.0，隨後會逐漸上升，最高可高達 8.0~8.5，這種新鮮堆肥產品對於酸性土壤改良有很大的效用，但是對於正在發芽的種子會有負面的影響。第二階段的發酵可以去除大部分的氨，最終堆肥產品的 pH 值約為 7.5 左右，形成中性的肥料。因此，在堆肥過程中，儘管 pH 值不斷變化，但能夠通過自身得到調節。

### 2.2.7 微生物的種類及數量

微生物擔任有機物分解與堆肥穩定化之重要角色，在很早以前即有人提議用接種人工培養的微生物菌體來促進有機質的醱酵，但是目前大部分的有機質堆肥化仍是利用自然界的微生物群，通常生物是依循適者生存的法則。製造堆肥所用的有機質是多樣化的，所以適合利用的微生物何止十種、百種，並且在分解過程的一些條件都會變化，適合各過程階段的微生物群亦隨著變化。通常的作法是取一部分腐熟堆肥作接種劑(堆母)，除可提供微生物外，同時也可以加速醱酵，縮短堆肥過程時間。

不同的堆積材料如能接種適當的微生物菌種，可以加速堆肥醱酵，如樹皮或鋸木屑等材質含有大量木質素，可接種分解木質素的多孔菌或靈芝菌。蒿桿材質含大量纖維質，則接種纖維素分解菌種。但微生物大都是在原來堆積材料中就有的，每公克含有 100 萬個之高數目，其增加或降低，是受到適於何種微生物之生長條件來決定，諸如水分含量、基質、氧氣、溫度等，最有效率的堆肥處理之堆積法，為維持微生物之生長條件，使微生物充分的活動繁殖，而不必刻意加入微生物劑。

## 2.3 堆肥化過程材料的變化

### 2.3.1 一般性質的變化

#### 1.物理性質的變化

透過微生物醱酵造成揮發性有機物質的分解、轉化，使得堆肥原料產生較大的變化。首先是堆肥碳素的分解與轉化，使得堆肥的體積和重量減少  $1/3 \sim 1/2$ 。有機廢棄物中包括植物的纖維結構變得較為鬆軟，用手指輾磨時有清脆感，大顆粒的數量減少，小顆粒的數量增加。隨著堆肥逐漸腐熟，原始材料變黑，直到醱酵結束後，所得到的是棕色的產品，而且產品原有的有機廢棄物不良的氣味消失了，出現森林腐植土和土壤的氣味。表 2.5 為木材加工殘留之鋸粉末堆肥前後之物理變化。

表 2.5 木材加工殘留之鋸粉末與鋸粉末堆肥之結構與顏色變化<sup>[17]</sup>

材料	陽離子交換容量 (cmole/kg)	粒級組成(%)			顏色
		> 0.5 mm	0.5~0.25 mm	< 0.25 mm	
鋸粉末	8.22	10.0	72.6	17.4	淡黃色~橙色
鋸粉末堆肥	68.52	0.0	44.9	55.1	暗褐色

## 2.水分的變化

堆肥混合原料的水分變化一般應控制在 50~80%之間，最適宜的水分含量控制取決於堆肥原料的組成、性質和有機質含量。表 2.6 為各種堆肥過程物料之最大含水量，一般而言，堆肥中有機質含量越高，則所需要控制的水分也越高。此為對於堆肥物料中的有機物性質亦與水分含量高低有關，相同的有機質含量，稻殼堆肥和稻梗堆肥的最適含水量是不相同的，例如稻殼堆肥的水分應控制在 55~60%，而切碎的稻草則在 65~75%左右。

表 2.6 各種堆肥過程物料之最大含水量<sup>[17]</sup>

廢棄物種類	含水量(%)	廢棄物種類	含水量(%)
理論上的廢棄物	100	都市生活垃圾	55~65
稻桿	75~85	糞便	55~65
木屑或鋸木	75~90	污泥	55~60
穀殼	75~85	其他廢料(雜草)	50~55

堆肥過程中由於堆肥原料有機質含量和組成原料有所差異，但堆肥過程中由於高溫與通氣的作用，通常隨著熱量的損失與排放的氣體，而會有一部分的水分蒸發掉。因此，實際上堆肥的過程中，水分含量是下降的，且為了保持堆肥過程中，堆料是以類似”糊狀”存在，以方便堆肥有較高的物理化學反應速度，通常需要不斷補充水分。

## 3. pH 值的變化

在堆肥化開始後的最初階段，由於利用能量的物質較多，微生物繁殖很快，其活動所產生的有機酸使堆肥物料 pH 值不斷下降，乙酸、丁酸隨著堆肥的持續進行，溫度的升高而揮發掉，同時含氮的有機物質所產生的氨使得堆肥物料中的 pH 值又開始上升，最後達穩定平衡。

#### 4. CEC 值的變化

隨著堆肥的進行，堆肥中的有機碳分解，一部分有機物轉化為水和二氧化碳，另一部分則轉化成腐植質。一般來說堆肥過程中腐植質的總量會不斷增加，但腐植質的組成卻有很大的差異性。堆肥中的陽離子交換容量(CEC)可以反應出堆肥吸附陽離子的能力和數量之重要指標參數，而堆肥的陽離子交換容量與腐植質的含量呈現正相關性。

#### 2.3.2 堆肥中碳的變化及腐植質的變化

一般生物體有機組成中約有 50% 的碳含量百分比，堆肥材料中含碳物質主要用於微生物活動的能源與碳源，含碳化合物分解的途徑如圖 2.7 所示。

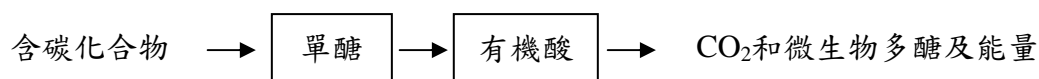


圖 2.7 碳化合物分解的途徑

在堆肥化的過程中，微生物首先利用容易分解的有機物質和簡單的有機物質進行新陳代謝及礦化的作用。這些容易被分解的有機物質主要是可溶性醣類、有機酸和澱粉，其次開始分泌特殊的水解酶，來分解纖維素、半纖維素和木質素。對這些中等或是較難分解的有機組成分的降解主要是發生在碳水化合物表面，並且受到其溶解速度所影響，因此微生物僅能緩慢的、部分的利用這些長鏈狀物質。表 2.7 列出微生物降解有機物質的相對速率排序。

表 2.7 微生物降解有機物質的相對速率排序<sup>[3]</sup>

類型	易被生物降解	中等可被生物降解	難以被降解
種類	醣類	半纖維素	木質素
	澱粉類、果膠	纖維素	
	脂肪酸、甘油	幾丁質	
	胺基酸	低分子量有機物	
	核酸		
	蛋白質		

在有機質、腐植質及其組成之變化方面，比較堆置前後腐植質總量變化可以看出，腐熟後的堆肥之總腐植酸有明顯下降的趨勢，由表 2.8 可以發現下降百分率約為 15%，但其占有機碳百分率有增加的趨勢，A 農場堆肥由初期的 20.5% 增加到 37.1%，而 B 農場堆肥則由 18.6% 增加到 32.6%。說明堆肥過程中碳素的腐植化作用相當明顯，而從其組成來看，腐植酸和黃酸的比值(HA/FA)隨堆肥的腐熟度增加而有明顯上升之趨勢，A、B 兩農場的堆肥 HA/FA 之比值初期分別為 1.17 和 0.956，到腐熟時增加到 5.32 和 2.04，證明高溫堆肥化有利於腐植酸之形成，腐植質品質變好，施用於土壤時可以促使土壤團粒結構的形成，並改善土壤的理化性質。

表 2.8 堆肥前後腐植質及其組成變化<sup>[1]</sup>

		A 農場高溫堆肥	B 農場高溫堆肥
有機質含量(%)	初期	35.3	35.9
	末期	13.4	29.2
腐植質總量(%)	初期	7.52	6.67
	末期	6.08	5.65
腐植酸(%)	初期	3.91	3.26
	末期	5.12	3.79
黃酸(%)	初期	3.34	3.41
	末期	0.94	1.86
腐植酸/黃酸	初期	1.17	0.956
	末期	5.32	2.04

### 2.3.3 堆肥中氮的循環

堆肥氮素的轉化主要是為生物活動的結果，並決定最終堆肥產品的腐熟度。堆肥化過程中，氮素的轉化主要包括兩大方面，分別為氮素的固定與釋放。通常在堆肥化結束之後，氮素會有一定的損失，這主要是由於有機氮的礦化、持續性氮的揮發以及硝酸態氮的脫硝作用。在表 2.9 中堆肥總氮的量有下降也有增加的趨勢，主要的原因可能是採用不同的堆肥化系統及物料和堆肥中的微生物種類不同所致。

堆肥中有機氮主要分布在不同微生物群落和腐植質中，微生物細胞中富含無機態氮，並轉化成為生質量，同時合成腐植質物質。有機氮作為堆肥之主要組成

分與全氮相同，且在堆製過程有相同的變化趨勢。銨態氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )的變化趨勢主要取決於溫度、pH值和堆肥材料中的氮化細菌活動所影響，因此銨態氮的轉化、透過硝化細菌轉化成硝酸態氮及亞硝酸態氮或是以 $\text{NH}_3$ 的型態揮發，這些都是受到環境條件所影響。

在堆肥初期與其他型態氮素相比，銨態氮成增加的趨勢；在高溫時期由於硝化細菌受到抑制，此時主要是以銨態氮存在，而硝酸態氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )甚少，硝酸態氮主要是在堆肥的後期出現。氮素的轉化受到耗氧速率、碳氮比(C/N)、pH值、溫度和堆肥中添加劑等因素共同影響。在最初 15 天內，氮化細菌呈現增加的趨勢，而在堆肥最初的 7 天內，固氮微生物也是呈現增加的趨勢，之後才慢慢下降。

表 2.9 堆肥化過程中氮素的組成與變化

資料來源	堆肥原料	堆製時間	總氮	有機氮	銨態氮	硝酸態氮
Ashbolt and Line (1982) <sup>[18]</sup>	魚 渣 + 樹 皮	50 天	降低	-	-	-
Bishop and Godfrey (1983) <sup>[19]</sup>	木 屑 + 污 泥	28 天	降低	降低	降低	降低
Levi-Minzi et al. (1986) <sup>[20]</sup>	農 場 廢 棄 物	50 天	增加	-	-	-
Viel et al. (1987) <sup>[21]</sup>	農 場 廢 棄 物	50 天	增加	-	-	-
Morisaki et al. (1989) <sup>[22]</sup>	污 泥 + 稻 殼	200 小時	-	-	增加	-
Mathur et al. (1993) <sup>[23]</sup>	糞 便 + 廢 紙	50 天	-	降低	增加	-
Inbar et al. (1993) <sup>[24]</sup>	牛 糞	140 天	增加	-	降低	增加

#### 2.3.4 堆肥化過程中磷的變化

堆肥化過程中，磷的含量會隨著堆肥化過程時間的增加而增加，主要受到堆肥中有機質的分解而減少乾重(約 50%)，相對磷的含量會隨之增加；堆肥原料在堆肥過程中，無機磷的溶出與有機磷逐漸礦化成無機磷，因此堆肥成品中無機磷含量會增加，而有機磷會減少。

難分解的有機物質中所存在難以被植物吸收的磷，可以隨著有機物質的腐化轉變成為植物較容易吸收的型態。且由於堆肥中的某些原料含碳較高而磷含量較低，使得微生物活動受到抑制，將碳磷比值(C/P)調整到 90~110 之間，一方面可以加強微生物所需的磷，促進堆肥腐熟，另一方面還可以減少氮的損失。

## 2.4 堆肥品質測定

有機質材料經過微生物的醱酵作用製成有機質肥料，其最重要目的在安定有機質材料的性質。所謂安定以化學觀點而言，是將有機質完全分解成 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 及其它元素之氧化物，而以生物學和環境觀點而言，其所求的安定為將有機質材料中容易腐敗的部分在控制環境下先行分解，待其殘存部分施用到土壤中不會引起環境污染及危害作物的程度，即可視為安定。

在堆肥產製有機肥料的安定過程，特別稱為「熟成作用」，而已達到安定程度的產品則稱為腐熟堆肥，或堆肥化有機質肥料。由此可知，所謂腐熟所指的是程度差別，並無一定的絕對值。堆肥品質對於作物生長與環境衛生具有舉足輕重的影響，一般言之，測定堆肥穩定度的參數很多，由於有機質的組成複雜，通常不能用單一項目的測定值來表示腐熟，通常要列出數個項目的測定值。依據八十九年農委會公告「肥料種類及規格」中，堆肥品質可以下列幾種較簡易的方法判定。

### 2.4.1 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，不能有酸壞臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。醱酵不良品質不好的堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。

### 2.4.2 種子發芽測定

5 公克風乾堆肥加 100mL 之 60℃ 溫水，置於 200mL 燒杯內，在 60℃ 水中水浴 3 小時，以細紗布過濾，2 張濾紙置於培養皿中，加入 10mL 濾液，25 粒白菜種子置於濾紙表面，再將培養皿放置在 25℃ 恆溫箱下進行培養。3 天之後，觀察種子發芽率以及根的生長情況，另外以蒸餾水取代濾液作為對照試驗。若試驗組之發芽率為對照組發芽率的 90% 以上，且根部的生長不受抑制，則該堆肥可視為腐熟。

### 2.4.3 還原糖含量

堆肥的還原糖含量與總碳含量的百分比低於 35%，則堆肥可視為腐熟，若高於此百分比，則為尚未穩定腐熟的堆肥。



#### 2.4.4 濾紙擴散顯圖測定

濾紙先以 0.5% 硝酸銀溶液浸泡，烘乾後備用。5 公克堆肥，加入 50mL 的 1 % 氫氧化鈉，震盪 5 小時後，以轉速 3000 rpm 進行離心，以棉花棒浸沾上層液，點於濾紙中央，依照在濾紙擴散顯示的圖形及顏色，比照表 2.10 中之資料，可判斷堆肥是否為腐熟。

表 2.10 濾紙擴散判斷堆肥是否為腐熟<sup>[27]</sup>

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

#### 2.4.5 塑膠袋法

適用於堆肥場現場之簡易判定法。新鮮堆積材料含有許多易被分解的有機物，經微生物與生物作用後會產生大量的氣體，使得塑膠袋會充滿氣體而膨脹，堆積材料越接近腐熟則氣體產生的速率越慢且量越少，甚至因沒有氣體產生而不會鼓起來。此法適用於以禽畜糞為堆積材料製造堆肥之腐熟度的定性測試，但此法無法判定堆肥是否達到完全腐熟之程度。

#### 2.4.6 蚯蚓法

堆肥與純水以 3：2 比例均勻混合後，放入 1/2 到 2/3 杯量堆肥於黑紙罩住的杯子中（500mL 以上），把蚯蚓置於堆肥上面，因蚯蚓有棲息於暗室之習性，若蚯蚓有向下鑽入堆肥的情況則表示堆肥已經腐熟；反之，若蚯蚓有逃離或是死亡的情況發生時，則表示堆肥尚未腐熟。此法較適用於禽畜堆肥是否腐熟之判定。

#### 2.4.7 幼植物試驗

設四種處理，處理A：500mL風乾土壤裝入盆栽內，處理B：同處理A但施加N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及K<sub>2</sub>O各 35mg，處理C：350mL風乾土壤與 150mL堆肥均勻混和後裝入盆栽內，處理D：同處理C，但施加N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及K<sub>2</sub>O各 35mg，每種處理各取三個樣品測試。盆栽直徑 11.3cm，高為 6.5cm。上述四種處理的盆栽土壤加入適量的水分後播種 20 粒小白菜種子，比較A、B、C、D四種處理的小白菜生育狀況作為堆肥腐熟程度之判定依據，小白菜生長情況與B和D處理越相似者，表示堆肥已達腐熟程度。

#### 2.4.8 花粉管伸長法

堆肥與純水以 1:2 比例混合，並浸泡隔夜後，以紗布壓榨出濾液，以濾液配製培養基（含蔗糖 8%、洋菜 1.2%及硼酸 17ppm），並以純水作為對照組。培養基加熱使洋菜溶解後傾倒於培養皿，待冷卻凝固後，將花粉管置於培養皿上，於 25℃ 暗室中，經 20 小時後，與對照組比較花粉管伸長之情況，花粉管生長越長則表示堆肥已達腐熟程度。此方法適用於樹皮堆肥是否達腐熟狀態之判定。

#### 2.4.9 近紅外線光譜測定<sup>[11,25]</sup>

堆肥於腐熟過程中碳水化合物逐漸減少，但是化合物的芳香族(aromatic C)及羧基(carboxyl group)等官能基則會增加。圖 2.8 為腐熟堆肥與原料相比較， $1560\text{cm}^{-1}$ 吸收峰變小， $1738\text{cm}^{-1}$ 吸收峰變小並轉變成小肩峰（COOH官能基），脂肪區（吸收峰為  $2930\text{cm}^{-1}$ 和  $2850\text{cm}^{-1}$ ）顯著降低；芳香族區（吸收峰為  $1650\text{cm}^{-1}$ ）有顯著增加趨勢，計算結果發現， $1650/2930$ (芳香族C/脂肪族C)從 0.88 提升到 1.10。

簡易判定方式為：新鮮堆積材料在波數  $1720\text{cm}^{-1}$ 至  $1000\text{cm}^{-1}$ 之間會出現許多小而且尖銳(sharp)或斜肩(shoulder)的吸收峰，而堆積材料越接近腐熟時，在波數  $1720\text{cm}^{-1}$ 至  $1000\text{cm}^{-1}$ 之間吸收峰較為平緩。腐熟度較高的堆積材料會比新鮮堆積材料在波數  $2900\text{cm}^{-1}$ 至  $2800\text{cm}^{-1}$ 之間的吸收峰較為高。

測定方法為：將樣品以 105℃ 烘乾後研磨成粉末狀並通過 0.25mm 的篩網，取 100mg 的溴化鉀與 2.4mg 的樣品均勻混和並壓製成片狀，置於近紅外線光譜測定儀(Infrared Spectrophotometer)，掃描範圍  $400\text{cm}^{-1}$ 至  $4000\text{cm}^{-1}$ 之間。

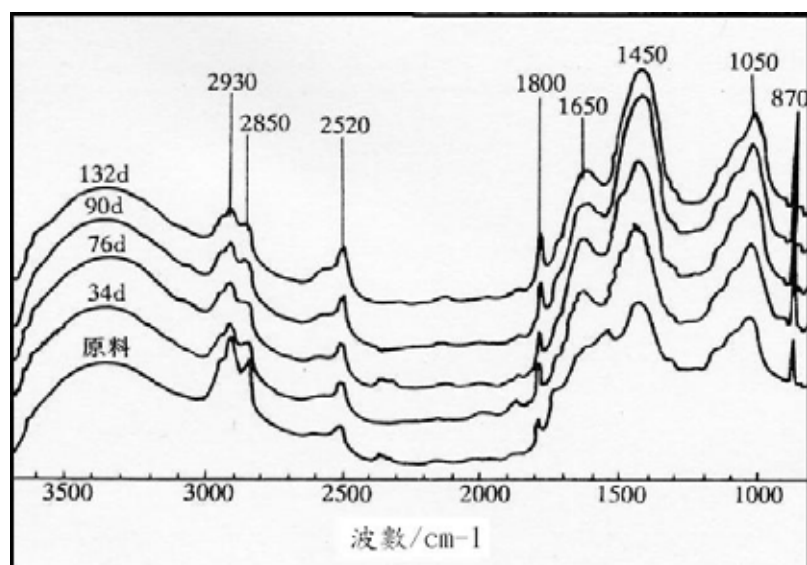


圖 2.8 腐熟堆肥與原料之紅外線光譜圖<sup>[11]</sup>

#### 2.4.10 分光光度計測定

離子與分子對電磁輻射（光）的吸收可作為定性與定量分析。一般可溶性有色物質或無色加了顯色劑可以呈色的物質，在可視光的波長範圍可以根據 Lambert-Beer's 定律進行吸收分析。

$$\log \frac{P_o}{P} = A = \epsilon bc$$

式中A為吸光度， $P_o$ 為入射光強度， $P$ 為出射光強度， $\epsilon$ ：吸收係數( $Lg^{-1}cm^{-1}$ )， $b$ ：比色管長度(cm)， $c$ ：溶液之濃度(g/L)。

堆肥原料與其腐熟後之腐植酸與黃酸會有相當大的不同，可以利用螢光或是 UV-Vis 分光光度計<sup>[26]</sup>來判定其改變的程度，並作為堆肥腐熟程度判定的依據。一般而言，腐植酸的含量以堆肥腐熟後大於堆肥原料；而黃酸正好相反，以堆肥原料大於腐熟後堆肥。

另外一種利用可視光分光光度計以推估定量的方式來即時追蹤腐熟程度，分別偵測波長在 465 nm 和 665 nm 的吸光度，以其比值來判定堆肥的腐熟程度，稱之為 E4/E6(465nm/665nm)。在此種方法測定中，腐植酸在 E4/E6 的比值通常會小於 5.0；而黃酸的 E4/E6 比值範圍約為 6.0~8.5 左右。測定方法是將樣品 2~4 mg 溶於 10 mL 的 0.05N 的碳酸氫鈉中，調整到最佳的 pH 值，再以波長 465 nm 和 665 nm 測定其吸光度。

#### 2.4.11 二苯基胺(Diphenylamine)呈色反應

5g 牛糞堆肥放入 125mL 三角錐瓶中，加入 50mL 純水，震盪三小時，以濾紙過濾，取適當量濾液置於小玻璃培養皿，用吸管吸幾滴含 0.012% 二苯基胺之濃硫酸液，加入培養皿中，若呈藍色反應者，即表示已經腐熟，新鮮牛糞堆肥則沒有藍色反應。

#### 2.4.12 有機碳與氮比值及有機質含量

腐熟的堆肥其有機碳的含量遠大於有機氮，而有機質含量可以高於 60%。但若以單純禽畜糞製作堆肥時，因其原本有機質含量只有 55% 左右，故腐熟後的堆肥有機質含量極有可能低於 50% 以下。有機碳含量的測定方法如下：

1. 濕式氧化法：試驗組，堆肥以 80°C 烘乾並研磨成粉末狀，秤取 0.1g 樣品置於 500mL 三角錐瓶中，加入 20mL 1N 的重鉻酸鉀( $K_2Cr_2O_7$ )及 40mL 濃硫酸( $H_2SO_4$ )，加熱保溫 30 分鐘並冷卻後，加入 200mL 純水於三角錐瓶中，再滴入

數滴指示劑(o-phenanthroline)，再以 0.5N硫酸亞鐵( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )滴定至鮮明綠色。對照組，方法同試驗組但不添加堆肥。

$$\text{有機碳含量}(\%) = (1\text{N} \times 20\text{mL} - 0.5\text{N} \times \text{滴定 mL 數}) \times 3 \times f$$

f:校正因子，約為 1.3。

2.燃燒法：將堆肥樣品先用酸處理，去除碳酸鹽，然後置於燃燒爐管中，燃燒樣品，釋放出的二氧化碳被吸收管中的氫氧化鈉所吸收，再反滴定氫氧化鈉的減少量，便可計算出堆肥樣品中的有機碳含量。

$$\text{堆肥有機質含量}(\%) = \text{有機碳含量}(\%) \times (1.7 \sim 2.0)$$

#### 2.4.13 有毒物質及重金屬含量

美國與日本對於堆肥中有機污染物的規範，只有多氯聯苯(PCB)一項，美國規定若要施用於農田，則堆肥中多氯聯苯含量不可以超過 2ppm；日本的標準為堆肥的抽出液，多氯聯苯含量不可以超過 0.03ppm，測定多氯聯苯必須同時用到氣相色層分析儀(GC)及搭配質譜儀(MS)偵測器，需由專業人員來操作。堆肥中重金屬容許含量國內外的標準如表 2.11 所示。

表 2.11 國內外堆肥過程中重金屬容許含量(mg/kg)<sup>[27]</sup>

國 家	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Co	Mo
美 國	2-25	1000	450-1000	5-10	50-200	250-1000	900-2500	-	-	10
日 本	5	(1.5)	-	2-	-	(3)	-	50	-	-
奧 地 利	4	150	400	4	100	500	1000		-	-
比 利 時	5	150-200	100-500	5	50-100	600-1000	1000-1500	-	-	-
哥 倫 比 亞	2.6	210	100	0.8	50	150	315	13	26	5
義 大 利	10	$\text{Cr}^{3+}$ 500 $\text{Cr}^{6+}$ 10	600	10	200	500	2500	-	-	-
荷 蘭	0.7-2	50-200	25-300	0.2-2	10-50	65-200	75-900	5-25	-	-
加 拿 大	3-4	50	60-100	0.15-0.5	60	150-500	500	-	60	20
西 班 牙	40	750	1750	-	400	1200	4000	-	-	-
瑞 士	3	150	150	3	50	150	500	-	60	20
南 韓	5	-	-	2	-	150	-	50	-	-
台 灣	5	150	150	2	25	150	500	50	-	-

( )：水抽出液濃度

#### 2.4.14 其他相關因素

##### 1.pH

腐熟堆肥的 pH 一般接近中性（堆肥樣品與純水以 1：5 混合均勻），但堆肥材料中若添加雞糞，則 pH 有可能超過 7.0，如果以純雞糞當作材料製造堆肥時，pH 可高達 9.0 左右。雞糞堆肥為鹼性，用於混合酸性泥炭苔可以提高其 pH 值，但因雞糞堆肥鹽分過高，需注意混合比例不要超過 1/5（體積比）。若堆肥的 pH 值小於 6.0 時，此種堆肥可能是在厭氧性條件下，進行發酵的結果，則屬於品質較不好的堆肥。

##### 2.電導度值(EC)

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）差異很大。不過一般而言，純樹皮堆肥的電導度  $< 1 \text{ dS/m}$ ，純香菇木屑堆肥的電導度  $< 2.8 \text{ dS/m}$ ，牛糞堆肥的電導度可高於  $3.5 \text{ dS/m}$ ，純豬糞堆肥的電導度大約為  $4.0 \sim 4.5 \text{ dS/m}$ ，在所有種類的堆肥中，以純雞糞堆肥電導度值最高，可高達  $11 \sim 13 \text{ dS/m}$ 。電導度值低的堆肥比較適合直接作為作物的栽培介質使用，電導度值高的堆肥必需先和土壤或其他低電導度的介質資材混合攪拌後，才能做栽培介質使用。

##### 3.全氮、全磷及全鉀含量

一般而言，以農作物殘株或廢棄物為堆積材料所製作之堆肥，其氮、磷及鉀含量並不高，而以單純禽畜廢棄物製成之堆肥養分含量較高。

##### 4.堆肥的顆粒大小及不純物含量

腐熟堆肥其顆粒較為細小，不純物質（非有機物）的含量低於 4.0%。粒狀堆肥為了容易造粒，一般以含水分較高的發酵不完全堆肥為材料，因此，若使用作為介質調製，風險較大。

由於作為介質調製的堆肥必須達到一定的比例，否則只能視作為肥料用途，因此直接應用為介質調製所使用之農業廢棄物堆肥，更應該注意堆肥熟成及穩定化的問題。由於混合後不需再經堆置，即馬上用來栽培作物，所以要求堆肥成品有高穩定性，低碳氮比值，低電導度以避免澆水後產生劇烈的再發酵反應或奪氮情形，而妨礙作物生長。

## 2.5 堆肥製造要領及注意事項

隨著科技日新月異，及因應現代農業經營型態的特性，尤其近年來環保意識抬頭，有機廢棄物處理問題急待妥善解決，所以堆肥處理又重獲人們重視。因為製作堆肥施用，兼具消除有機廢棄物污染，充分的循環利用生質能源，增進農地生產力，促進自然生態平衡之多重角色。因此，堆肥製作技術實有積極推廣之必要，使農友及社會大眾，都能瞭解其原理，以及實際操作方法，共同為解決有機廢棄物污染問題，充分利用資源，增進農田肥力及生產力，同時將廢棄物再生及再利用，還可降低社會成本。

### 2.5.1 堆肥製作所須注意事項

新鮮或未腐熟之有機物施用於土壤可能引起不良後果，如初期土壤氮有效性降低、產生有機酸或土壤呈還原性而阻礙作物生長、傳播病原菌、雜草種子等。因此，製作堆肥之堆肥過程是相當重要的<sup>[28]</sup>。一般堆肥腐熟之目的包括有：

#### 1.調整有機物碳氮比(C/N)

當堆肥材料的碳氮比大，若直接施用於土壤中，在堆肥材料分解初期會造成土壤中有效養分減少，尤其是氮的影響最大，而阻礙作物生長。當堆肥材料碳氮比過小，直接施用土壤中，對土壤物理性的改良與微生物的活化效果較差，進而影響作物生長；在堆肥過程中碳氮比過小，微生物分解出過多的氮，容易從肥料中逸散，導致氮素的損失。一般而言，堆肥材料經堆積分解，碳氮比降至 20 以下，達到穩定腐熟時，即可直接施用於土壤。因此，堆肥製作時不應該只選擇單一種廢棄物，應該要以不同比例及多種廢棄物混合後再進行堆肥的製作，可以降低有害成分的累積及使腐熟後之堆肥成品有效性成分較為均勻，施用於土壤較為有利。

#### 2.減少有害成分

以廢棄物作為堆肥的原料必須要先將有害的成分去除，並且在前處理的階段將塑化材質等無法分解的物質先行篩除，以降低堆肥製作完成施用後有害成分對農作物的危害。

#### 3.避免有機物分解所產生的不良因子

通常有機物分解會產生甲烷、酚酸、有機酸等有毒物質，對作物生長有害，若經過堆積腐熟分解可減少有害成分。有機物含有醣類、脂肪酸成分，當微生

物分解時會產生高溫及局部的缺氧情形，不利作物根部生長。如事先堆積分解，可避免直接施用時影響作物生長。

#### 4.消滅病菌、蟲卵、雜草種子

有機材料如穀殼、蒿桿、糞尿等均附著許多病原菌、蟲卵及雜草種子。堆肥如經適當醱酵，溫度最高可達 60℃ 以上，大部分的病原菌、蟲卵及雜草種子在此種溫度下可被殺滅，因此在堆肥的過程中格外要注意各項條件的控制。

#### 5.改良物理性

許多有機材料如蒿桿、殘枝、樹皮等材質堅硬、纖維強韌，經過堆積分解後會變成脆細、柔軟，利於撒布與土壤混合均勻。

#### 6.減少臭味、維護田間衛生

經過適當堆積腐熟的堆肥會降低令人不快的臭味，於田間施用也可減少蚊蠅孳生，維護環境衛生，另一方面對於廢棄物的減量也有相當大的貢獻。

#### 7.可調配堆肥成分，增進有效性成分

不同有機材料所含營養成分差異頗大，如經適當調配，製成的堆肥成分能配合不同作物生長所需，且堆積腐熟後可增加有機材料的有效性磷與氮素，可增進作物產量及品質。

### 2.5.2 有機材料種類

#### 1.農場有機廢棄物

主要為農場生產的作物殘株，如蒿桿、稻蒿、穀殼、蔗渣、菇類廢棄物、雜草、樹葉等，其成分大多為碳氮比例大，宜添加含氮成分高的材料以加速腐熟時間。

#### 2.糞尿類

主要分為畜產及家禽類，前者以豬糞、牛糞為大宗，後者以雞糞為代表，另外有海鳥糞等。此類有機材料多屬含氮成分高，碳氮比例小。一般作為堆肥材料宜添加適量碳氮比例大的有機材料以增加堆肥有機質成分。過去農家生產的廐肥則可視做堆肥。

#### 3.農產加工副產品

農產品加工所生產的有機廢棄物包括血粉、乾肉粉、骨角粉、魚粕類、油

粕類等，其富含各種肥料成分，適合作為堆肥添加劑，以增加堆肥肥分。

#### 4.工業、都市廢棄物

主要有糖蜜、羽毛、樹皮、木屑、污泥及垃圾等類。此類有機材料必須注意是否含過量有害成分(如重金屬)，若含量過高宜避免使用。

#### 5.綠肥

利用農田休閒期栽培綠肥，可直接犁入農田以保養土壤，亦可作為堆肥材料。主要綠肥作物有：(1)田菁，(2)太陽麻，(3)埃及三葉草，(4)紫雲英，(5)油菜，(6)大豆類，(7)碗豆，(8)大菜，(9)羽扇豆，(10)虎爪豆。

### 2.5.3 堆肥製作要領

堆肥的進料和供料系統是由儲槽與進料斗等組合而成，堆肥化系統的預處理設備是由破碎機、篩選機以及混合攪拌機等組成。經過預處理後送到第一階段醱酵設備中，使醱酵的過程控制在適當的環境條件之下，並且使物料能夠達到無害化和資源化，之後再送到第二階段醱酵設備中，進行完全醱酵，再通過後續處理設備進行更細緻的篩選，以去除雜質，最後烘乾、形成顆粒、壓實、包裝後即為堆肥成品。在整個堆肥製作過程中所產生的惡臭氣體，必須用適當的處理設備來除臭，供水和排水設備提供必須之水源，並將污水排入污水處理設施進行處理。圖 2.9 即為堆肥化系統處理流程。

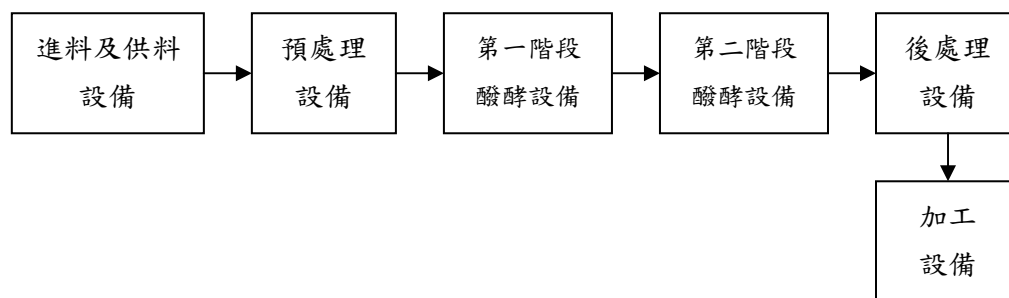


圖 2.9 堆肥化系統處理流程

目前堆肥生產一般採用高溫好氧堆肥技術，儘管堆肥系統非常多樣，但其基本處理流程都大同小異，經由前處理、第一階段醱酵（一次醱酵）、第二階段醱酵（後醱酵）、後續處理及儲存。



## 1.前處理

在以禽畜糞便、污泥等作為堆肥原料時，前處理的主要任務是調整水分和碳氮比，或者添加菌種及酵素。但若以都市生活垃圾為堆肥原料時，由於垃圾中往往含有粗大的垃圾和無法堆肥的物質，而這些物質的存在會影響垃圾處理機械的正常運作，大量的非堆肥物質存在會增加堆肥系統的負擔，進一步影響堆肥產品的品質。因此，前處理包括了破碎、分選、篩分等步驟，藉由這些步驟去除粗大垃圾以及無法作為堆肥原料之廢棄物質，並使堆肥原料和含水率達到一定程度的均勻化。另外，破碎及篩分後可以使原料的比表面積增加，有利於微生物的繁殖與反應進行，提高醱酵的速度。

理論上，粒徑越小會越容易反應，反應速度也越快，越容易分解，但是考慮到增加物料表面積的同時，還必須保持其一定的孔隙大小及數量，以利空氣的流通，使物料能夠獲得充分的氧氣。一般而言，最適合的粒徑大小分布範圍約為 12~60mm，最佳粒徑會隨廢棄物的物理特性變化而變化。

## 2.第一階段醱酵（主醱酵）

第一階段醱酵可以露天或是在醱酵裝置內進行，經由翻堆或是強制通風系統向堆層或醱酵裝置內供應氧氣。在露天堆肥或醱酵槽內堆肥時，藉由原料和土壤中存在微生物作用，促使原料進行醱酵作用，首先是易分解的有機物質開始分解，同時會產生二氧化碳、水及熱量，熱量使堆肥溫度上升，此時微生物吸取有機物質的碳氮營養源，在細菌自身繁殖的同時，將細胞中吸收的物質分解形成熱量。

醱酵初期物質的分解作用是靠嗜溫細菌（30~40℃為最適宜生長溫度）進行的，隨著堆溫上升，最適宜生長溫度 45~65℃的嗜熱細菌取代嗜溫細菌。在此溫度之下，各種病原菌均可殺死。通常將溫度升高到開始降低為止的階段為第一階段的醱酵作用（主醱酵）。

## 3.第二階段醱酵（後醱酵）

經過第一階段醱酵（主醱酵）的半成品被送入第二階段醱酵程序後，將第一階段醱酵程序尚未完全分解的易分解和較難分解的有機物質進一步進行分解，使其變成腐植素和胺基酸等比較穩定的有機物質，得到完全腐熟的堆肥製品。通常會把堆肥物料堆積到 1~2m 高度後再進行第二階段醱酵程序，而且要有防止雨水流入之裝置，必要時還須進行通風及翻堆的步驟，一般時間約為 20~30 天左右。

第二階段醱酵時間的長短，取決於堆肥的使用情況，例如堆肥用於溫床（能夠利用堆肥的分解熱）時，可在經過第一階段醱酵後直接使用。

#### 4.後處理

經過第二階段醱酵後的物料中，幾乎所有的有機物質都變細碎和變形，數量也減少了，然而堆肥原料會先進行預分選的程序，但其去除的塑料、玻璃、陶瓷、金屬、小石塊等雜物仍然存在，因此還需要經過一道後分選的程序以去除殘留的雜質，或依據需要行再破碎等精緻化程序。

#### 5.儲存

堆肥儲存的方式可以直接堆存在第二階段醱酵的反應槽中或袋裝，必須要求乾燥與透氣，一旦密閉或是受潮則會影響堆肥成品的品質與質量。

#### 6.其他注意事項

- (1)堆積場所：基本上有頂棚的堆積場所最理想，如在戶外露天堆積，則需有適當覆蓋，以防雨水沖刷。另外必須考慮水分取得，翻堆空間，通風情形及肥水收集等問題。
- (2)材料：一般堆肥材料之選擇，必先瞭解作為堆積主體有機材料之碳氮比屬於高者亦或低者，而以相對之碳氮比的材料作為配合。例如以稻蒿類碳氮比高者為主體，則可配合含氮較高的雞糞、豬糞、豆粕、鳥糞等。如以豬糞類碳氮比低者為主體，則選擇若干碳氮比高的木屑、廢棄菇類、穀殼等作為配合材質。但無論任何材料，都應以來源豐富，取得容易且成本經濟低廉為原則。而且大型的堆肥材料必須事先切斷以利微生物分解，一般以 5~8 公分以下為宜，越細越佳。
- (3)假堆：通常碳氮比高的有機材料，其材質都較堅硬且容積比重低，在混合材料堆積前，事先單獨加水使其纖維軟化，容積比重增大，以利後續堆積醱酵，稱之「假堆」。
- (4)混合及水分控制：堆肥材料經過充分混合均勻較有利於醱酵，如為了省工，可採混層堆積，即一層含碳高的有機材料厚約 30 公分再添加一層含氮高的材料厚約 4~5 公分，層層混合即可。堆肥材料混合的同時可以適當地調整含水量至約 60%，此種含水量近似於以水緊握堆積材料，而水能沿指縫點滴成形，或以棒插入堆積材料中，拔出時棒端濕潤。水分含量不足，添加水分時需注意不要讓肥水流失，以免損失肥分，應經由肥水溝收集後重新加入堆肥中。堆積材料水分含量過多可加木屑、穀殼等調整之。

- (5)堆積：堆積之體積越大，愈容易發熱升溫，但在初期 60℃ 以上的高溫期維持 7~14 日後，應加以調整至 50~60℃ 為最適合醱酵的溫度，其方法為加強翻堆及通氣，以散去醱酵熱能；否則溫度過高，堆肥分解醱酵期將延長，未能達到殺菌及醱酵之目的。一般堆肥堆積高度不宜超過 1.5 公尺，堆積之溫度因子將是很好的參考指標，所以在氣溫低及有通氣設備，則可酌量增加堆積的體積。
- (6)覆蓋：其目的在於防止水分散失、保溫，使堆肥水分及溫度均勻分布，而有促進醱酵之作用，其次覆蓋可防止蚊蟲放卵孳生，及病菌雜草種子侵入，以維持堆肥品質。覆蓋物之材質以麻布類稍具通氣性者為上品，其次為稻草、蒿桿類、草蓆等，塑膠布僅適於戶外防雨使用。
- (7)翻堆及通氣處理：翻堆的目的在於增加堆肥的通氣性、散發醱酵熱以及將外面未醱酵部分向內翻，使其充分腐熟。翻堆的時機則可視溫度之升降為指標。正常堆積約 7~14 日後，溫度由 60℃ 以上逐漸下降，必須翻堆；爾後，堆肥溫度應維持在 45~60℃ 之間，超出上下限即應翻堆。另安置通氣設備、打洞，或安設通氣管等亦有減少翻堆之效果。
- (8)攤開（後醱酵）：當堆肥醱酵溫度降至 40℃ 左右，即使翻堆也不再升溫，且堆肥色澤變黑，沒有臭味，材質脆軟，可將堆肥攤開呈高約 20~40 公分平鋪狀。此時微生物轉為低溫後醱酵作用，堆肥成分趨於穩定腐熟。同時可讓水分自然蒸散，以減少日後搬運之重量。

## 2.6 堆肥相關規範

堆肥產品作為肥料受到堆肥的種類、堆肥的方式和堆肥的條件等各方面影響，使得廢棄物製成的堆肥在養分和成分種類上，並不像化學肥料可以明確的標示出種類與含量，而堆肥成品在養分上種類較多且較為穩定，對於施用上較為有利，並可減少廢棄物的中間處理及達到廢棄物資源再利用之目的。近年來由於對堆肥的相關研究、開發與推廣日益受到重視，利用各種有機廢棄物作為原料，透過高溫堆肥生產堆肥，達到資源化與再利用，使得人們更加重視堆肥或腐熟的肥料的可利用性與其重要性。

依據八十九年農委會公告「肥料種類及規格」中，肥料可以概分為：氮肥類、磷肥類、鉀肥類、次量與微量要素肥料類、有機肥料類、複合肥料類和植物生長輔助劑等共七大類別。針對有機肥料部分(本類肥料應標示原料名稱，如有使用事

業廢棄物作為原料者，應具體標示出廢棄物名稱及其來源)，不同的堆積材料所堆置形成的肥料，對於其分類、適用範圍、成分、限制事項及其有效性相關資料都有相關規範。

### 2.6.1 一般事業廢棄物製成堆肥

一般事業廢棄物堆肥是指除了農業廢棄物及禽畜廢棄物等以外所產生的有機廢棄物而言，這些廢棄物往往會在土壤環境中累積一些有機或無機污染物質，這些污染物質雖然可透過堆肥過程降低或降解部分毒害，但施用到田間可能會造成的影響還是不容忽視，因此對於一般事業廢棄物的有害成分與有效性成分，都需要加以注意。

一般而言，對於堆肥的相關成分的標示應考慮下列幾點，(1)堆肥產品的腐熟度標示；(2)堆肥產品的物理性指標（pH 值、含水量等等）；(3)堆肥產品的營養化學性指標。因此，根據國內外相關文獻列出相關參考標準如下。

#### 1.國內相關規定

##### (1)垃圾堆肥(品目編號 5-10)

A.適用範圍：本品目適用於利用垃圾中的有機質物料，經物理及發酵過程處理後而形成的堆肥。

B.性狀：本品為固態。

C.成分：本品下列各項成分含量均以乾基計算。

a.主成分：本品有機質含量應在 40% 以上。

b.本品全氮含量應在 0.8% 以上，全磷酐含量( $P_2O_5$ )應在 0.6% 以上，全氧化鉀含量( $K_2O$ )應在 0.6% 以上。

c.有害成分：本品所含之重金屬量，砷(As)含量不得超過 0.005%，汞(Hg)含量不得超過 0.0002%，鎘(Cd)含量不得超過 0.0005%，鉛(Pb)含量不得超過 0.015%，銅(Cu)含量不得超過 0.01%，鎳(Ni)含量不得超過 0.0025%，鉻(Cr)含量不得超過 0.015%，鋅(Zn)含量不得超過 0.05%。

D.限制事項：

a.本品腐植度應在 30% 以上。

b.本品水分應在 25% 以下，其包裝標示並應加註水分含量。

- c.本品碳氮比(C/N)應在 20 以下。
- d.本品 pH 值應在 6.0~7.5。
- e.本品灰分以乾基計應在 60% 以下。
- f.本品使用於培養時，不得有下列活性物存在；誘發病蟲害之病菌、蟲卵及能發芽種子。
- g.本品不純潔物如玻璃、陶器片、石器、塑膠、金屬類等難分解物，大小不得超過 0.4 公分，總含量不得超過 3%。
- h.本品必須經過作物毒害試驗證明無害者。
- i.本品不得混入化學肥料、礦物等。
- j.本品氮含量超過 10% 以上者，不得登記本品目。腐植度的計算如下所示。

$$\text{腐植度} = \frac{\text{總碳} - 20\% \text{氨水不溶性碳}}{\text{總碳}} \times 100$$

## (2)雜項堆肥(品目編號 5-11)

- A.適用範圍：本品目適用於以禽畜糞堆肥及垃圾堆肥以外的堆肥產品，且未混入化學肥料或礦物所製成的肥料。
- B.性狀：本品為固態。
- C.成分：
  - a.本品有機質含量應在 50% 以上(以乾基計)。
  - b.本品全氮含量應在 0.6% 以上，全磷酐含量( $P_2O_5$ )應在 0.3% 以上，全氧化鉀含量( $K_2O$ )應在 0.3% 以上。
  - c.有害成分：本品所含之重金屬量，銅(Cu)含量不得超過 0.01%，鋅(Zn)含量不得超過 0.08%，砷(As)含量不得超過 0.0005%，鉛(Pb)含量不得超過 0.015%，鎳(Ni)含量不得超過 0.0025%，鉻(Cr)含量不得超過 0.015%。
- D.限制事項：
  - a.本品水分應在 40% 以下，其包裝標示並應加註水分含量。
  - b.本品碳氮比(C/N)應在 20 以下。
  - c.本品應標示 pH 值。

- d.本品不得混入化學肥料、礦物等。
- e.本品不純潔物如玻璃、石器、陶器片、塑膠及金屬類等難分解物，大小不得超過 0.4 公分，總含量不得超過 0.5%。
- f.摻有工業廢棄物為原料者，應登記本品目。

(3)混合有機質肥料(品目編號 5-12)

- A.適用範圍：本類肥料適用於未添加化學肥料或礦物之植物渣肥肥料、動物渣肥肥料、魚廢物加工肥料、副產動植物質肥料等有機質肥料混合而成之肥料。
- B.性狀：本品為固態。
- C.成分：
  - a.主成分：本品應檢驗全氮(N)、全磷酐( $P_2O_5$ )、全氧化鉀( $K_2O$ )及有機質含量。
  - b.本品全氮(N)及全磷酐( $P_2O_5$ )，或全氮及全氧化鉀( $K_2O$ )之合計含量應在 0.6% 以上；其個別成分含量應在 1.0% 以上。
  - c.本品如登記含有有機質者，其含量以全量計之。
  - f.有害成分：本品以每含 1.0%全氮量計，砷含量(以 As 表示)不得超過 0.01%，鎘含量(以 Cd)表示不得超過 0.00008%。
- D.限制事項：本品不得混入化學肥料、礦物等。

(4)雜項有機質肥料(品目編號 5-13)

- A.適用範圍：本類肥料適用於利用有機材料混入化學肥料或礦物所製成的有機質肥料。
- B.性狀：本品為固態。
- C.成分：
  - a.本品應檢驗全氮(N)、全磷酐( $P_2O_5$ )、全氧化鉀( $K_2O$ )及有機質含量。
  - b.本品有機質含量應在 40% 以上(以乾基計)。
  - c.本品全氮、全磷酐、全氧化鉀之一要素或二要素以上之合計量應在 5.0% 以上，或水溶性(或檸檬酸溶性)氧化鎂、鹽酸溶性氧化鈣、鹽酸溶性氧

化矽之二要素以上之合計量應在 20.0% 以上。

- e.本品如含有全氮或全磷酐，其含量 0.3% 以上者應登記之；如含有全氧化鉀，其含量 0.2% 以上者應登記之；如含有氧化鎂、氧化鈣或氧化矽，其含量 1.0% 以上者應登記之。
- f.有害成分：本品每含 1.0% 全氮、全磷酐、全氧化鉀之合計量計，其鎘含量(以 Cd 表示)不得超過 0.000075%，砷含量(以 As 表示)不得超過 0.002%。
- g.本品每含 1.0% 氧化鎂、氧化鈣或氧化矽最大成分合計量計，其亞硝酸酸含量(以  $\text{HNO}_2$  表示)不得超過 0.04%，砷含量(以 As 表示)不得超過 0.004%，鎳含量(以 Ni 表示)不得超過 0.01%，鈦含量(以 Ti 表示)不得超過 0.04%，鉻含量(以 Cr 表示)不得超過 0.1%。。
- h.本品銅(以 Cu 表示)含量不得超過 0.01%，鋅(以 Zn 表示)含量不得超過 0.08%。

D.限制事項：

- a.本品全氮(N)、全磷酐( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、全氧化鉀( $\text{K}_2\text{O}$ )等合計含量超過 15.0% 者，屬複合肥料範圍，不得登記本品目。
- b.本品之水分含量應在 35.0% 以下，包裝標示並應加註水分含量。

(5)雜項有機液肥(品目編號 5-14)

A.適用範圍：本類肥料適用於利用各種有機材料，添加水或化學肥料或礦物，經醱酵後所製成的有機液肥。

B.性狀：本品為液態。

C.成分：

- a.本品應檢驗全氮(N)、全磷酐( $\text{P}_2\text{O}_5$ )及全氧化鉀( $\text{K}_2\text{O}$ )含量。
- b.本品全氮、全磷酐、全氧化鉀之一要素或二要素以上之合計量應在 5.0% 以上。
- c.本品如含有全氮、全磷酐、全氧化鉀，其含量 0.2% 以上者應登記之。
- d.本品如含有水溶性氧化鈣，其含量 1.0% 以上者應登記之；如含有水溶性氧化鎂，其含量 1.0% 以上者應登記之；如含有水溶性錳，其含量 0.50%

以上者應登記之；如含有水溶性硼，其含量 0.10% 以上者應登記之；如含有水溶性鋅，其含量 0.10% 以上者應登記之。

e.本品得登記有機氮含量。

f.有害成分：本品氯化鈉含量不得超過 5.0%

g.本品每含 1.0% 全氮、全磷酐、全氧化鉀等合計含量超過 10.0% 者，屬複合肥料範圍，不得登記本品目。

D.限制事項：

a.本品全氮、全磷酐、全氧化鉀等合計含量超過 10.0% 者，屬複合肥料範圍，不得登記本品目。

b.本品登記含硼者，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。

(6)乾燥菌體肥料(品目編號 5-06)

A.適用範圍：本類肥料適用於食品工業、醱酵工業或紙漿工業的廢水，於活性污泥法淨化時所得之菌體，經過加熱及乾燥而製成之乾燥菌體肥料。

B.性狀：本品為固態。

C.成分：

a.本品應檢驗全氮(N)、全磷酐( $P_2O_5$ )、全氧化鉀( $K_2O$ )及有機質含量。

b.本品如僅登記含有全氮(N)者，全氮含量應在 5.5% 以上。

c.本品除登記含有全氮外，並另登記含有全磷酐( $P_2O_5$ )或全氧化鉀( $K_2O$ )者，其全氮含量應在 4.0% 以上，全磷酐、全氧化鉀含量應在 1.0% 以上。

f.有害成分：本品所含之重金屬量，砷(As)含量不得超過 0.005%，汞(Hg)含量不得超過 0.0002%，鎘(Cd)含量不得超過 0.0005%，鉛(Pb)含量不得超過 0.015%，銅(Cu)含量不得超過 0.01%，鎳(Ni)含量不得超過 0.0025%，鉻(Cr)含量不得超過 0.015%，鋅(Zn)含量不得超過 0.05%。

D.限制事項：

a.本品必須經過作物毒害試驗證明無害者。

b.本品不得混入化學肥料、礦物或其他有機質肥料。

c.本品氮含量超過 10% 以上者，不得登記本品目。



## 2.國外相關規定

表 2.12 營養成分指標<sup>[29,30]</sup>

指標項目	相關標準	指標項目	相關標準
有機質/%	≥ 30	水芹菜種子發芽率/% <sup>*</sup>	≥ 50
全氮(N)/%	≥ 0.5	C/N 比	≤ 20
全磷酐(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	≥ 0.5	堆肥滲出液廢棄物/有機氮 <sup>*</sup>	5~6
全氧化鉀(K <sub>2</sub> O)/%	≥ 1.0	pH 值	6~8.5

\*：以肥料與水比=1:5(W/V)調配

表 2.13 污泥廢棄物作為堆肥原料之相關標準整理<sup>[3,4,9]</sup>

指標項目	最高容許含量(mg/kg)	
	於酸性土壤上(pH<6.5)	於中性和鹼性土壤上(pH>6.5)
汞及其化合物(Hg)	5	20
鎘及其化合物(Cd)	5	15
鉻及其化合物(Cr)	300	1000
砷及其化合物(As)	600	1000
鉛及其化合物(Pb)	75	75
銅及其化合物(Cu)	250	500
鋅及其化合物(Zn)	500	1000
鎳及其化合物(Ni)	100	200
硼及其化合物(水溶性 B)	150	150

表 2.14 都市廢棄物作為堆肥原料之相關標準整理<sup>[3,4,10]</sup>

指標項目	限制標準
雜物(%)	$\leq 3$
粒徑大小(mm)	$\leq 12$
迴蟲卵死亡率(%)	95~100
大腸桿菌值(mL)	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
總汞(Hg)[mg/kg]	$\leq 3$
總鎘(Cd)[mg/kg]	$\leq 5$
總鉛(Pb)[mg/kg]	$\leq 100$
總鉻及其化合物(Cr)[mg/kg]	$\leq 300$
砷及其化合物(As)[mg/kg]	$\leq 30$
有機質[%]	$\geq 10$
全氮(N)[%]	$\geq 0.5$
全磷酐(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )[%]	$\geq 0.3$
全氧化鉀(K <sub>2</sub> O)[%]	$\geq 1.0$
pH 值	6.5~8.5
水分[%]	25~35

### 第三章 堆肥技術與設備

堆肥化是有機廢棄物資源化再利用之重要技術之一，堆肥化過程中利用微生物分解及消除有機廢棄物對植物有害之物質，使其達到安定化並轉化為安全的有機質肥料，當使用於農田能夠改良土壤特性，提供適當營養源供作物利用，進而提升土壤肥力與作物生產力<sup>[31、32]</sup>。在選擇堆肥設施及機械時，必須對堆肥場地需求、廠房設施、堆積發酵機械、成品包裝及品質控管等，加以充分瞭解，尤其應考慮資金、勞力、社會條件、氣候與地理條件等，例如是否有足夠之場所土地、附近是否有住戶、操作人力資源、市場行銷等問題。目前依據堆肥設施與機械設備之堆積原理及特色，略可分為(1)傳統堆肥法，(2)通氣靜堆法，(3)好氧性槽式堆肥法，(4)密閉堆肥法，(5)高速發酵堆肥法，(6)液態發酵堆肥法。表 3.1 即為以上各式堆肥法之特徵與優缺點。

表 3.1 各式堆肥法的特徵與優缺點

堆肥法	特徵	優點	缺點
傳統堆肥法	一般未通氣、間歇性翻堆	1.場地、產能較具彈性。 2.堆積設施與機械設備成本較低。 3.操作與維修較簡易。	1.堆肥堆積時間較長。 2.堆肥製作需較多勞力。 3.堆肥材料均勻度之品質條件較差。
通氣靜堆法	通氣、未翻堆	1.堆肥處理系統屬於較經濟型之一。 2.堆肥化系統的操作處理容量範圍彈性很廣。 3.比傳統堆肥法有較佳的臭味控制。 4.可較順利達到適宜的高溫與殺菌效果。 5.可採露天、開放式或密閉式操作。	1.需配合適當副資材，以調整堆肥材料的通氣性。 2.必須隨時偵測堆肥體溫度及水分含量等變化，以期提高堆肥化效率。 3.倘系統設計及操作不當則有臭味問題。 4.除非操作廠房加蓋或採密閉式，否則生產易受天候因素影響。

表 3.1 各式堆肥法的特徵與優缺點(續)

堆肥法	特徵	優點	缺點
好氧性槽式堆肥法	開放式廠房、通氣、自動翻堆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.適於大量生產堆肥。</li> <li>2.適當通氣可減少廢氣產出。</li> <li>3.可順利達到適宜的高溫與殺菌效果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.翻堆設備操作與維修需相當熟稔。</li> <li>2.生產成本較高。</li> <li>3.操作條件控管較嚴苛。</li> </ol>
密閉堆肥法	密閉式廠房、通氣、自動翻堆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.堆肥成品產量與品質較能穩定的控管。</li> <li>2.可順利達到適宜的高溫與殺菌效果。</li> <li>3.採密閉式廠房，生產較不受天候因素影響。</li> <li>4.除臭效益與環境品質可以獲得良好的控管。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.屬於較高成本型。</li> <li>2.必須調配通氣與翻堆，才能提高堆肥化效率。</li> <li>3.倘系統設計、維護及操作不當則有臭味問題。</li> <li>4.操作與維護的技術層面較高。</li> <li>5.密閉式廠房所產生的水氣和酸性易使廠房和機械腐蝕。</li> </ol>
高速醱酵堆肥法	密閉式堆肥箱、通氣、自動翻堆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.適於快速產製堆肥。</li> <li>2.可順利達到適宜的高溫與殺菌效果。</li> <li>3.除臭效益與環境品質可以獲得良好的控管。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.設備成本較高。</li> <li>2.需求較精密的操作技術與嚴格的監控。</li> <li>3.設備系統較複雜，需較高的操作與維護成本。</li> </ol>
液態醱酵法	密閉式堆肥箱、通氣、液態	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.適用液態或含水量較高的有機廢棄物。</li> <li>2.產品特性完全與堆肥不同，具有特殊的功能性，在市場定位與競爭上有所區隔。</li> <li>3.在一個操作技術良好的液態醱酵系統中，可以於短期內完熟。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.需求較精密的操作技術與嚴格的監控。</li> <li>2.產品需求較高的品質標準與使用技巧。</li> <li>3.設備系統迥異其他堆肥法，故操作條件不同。</li> </ol>

### 3.1 傳統堆肥技術與設備

傳統堆肥法大多採用開放型的堆積處理方式，其堆積方式、處理堆肥量與場地大小，可以有很大的彈性。一般場地粗略可分成野外露天式及簡易堆肥廠房等，當堆肥材料混合均勻與調整妥水分含量後，堆積方式通常採用靜態堆積(static pile)，堆肥材料常採用自然方式的圓錐形堆置，再藉由自然的通風，或以鏟裝機或怪手等機械加以翻堆，提供分解堆肥材料之微生物所需的空氣，進而使堆肥醱酵腐熟。傳統堆肥法是利用堆肥材料本身的保濕與保溫作用，以維持分解微生物生長所需的水分與空氣，所以堆肥材料堆積大小需具有蓄積水分與溫度的功能，但也應避免體積過大，以致造成內部形成厭氧狀態(anaerobic condition)<sup>[33、34]</sup>。採用野外露天堆積方式，平常不需要添加覆蓋物，若逢下雨時，則有必要予以覆蓋，以避免雨水沖洗掉堆肥中的肥料成分，亦可避免堆肥材料水分含量過高，影響微生物分解速度，致使堆肥醱酵緩慢。

#### 3.1.1 傳統堆肥法的優缺點

傳統堆肥法是屬於較簡易的堆肥製作處理方式，對物料性質、產量、土地大小，其堆積方式、場地大小與機械設備有很大的彈性，以及相對的處理設備技術層面、維修等成本較低，都是傳統堆肥法最大的優點之一。

由於傳統堆肥法多採用開放型的堆積方式，在有限的翻堆次數中，無法提供足量的氧氣，所以可歸屬於靜態堆積方式。由於靜態堆積通常需要較長的分解醱酵時間，所以堆積時間長、佔用太多堆置空間、堆肥材料均勻度之品質條件較差，則是傳統堆肥法的主要缺點之一。

#### 3.1.2 處理程序

傳統堆肥法的堆肥製作程序可說是較簡易的操作方式，其處理流程如圖 3.1 所示，即原料與副資材經過混合後，並調整適當的水分含量。一般採用常見的圓錐體方式堆置，藉由自然的通風，或定期以鏟裝機或怪手等機械加以翻堆，提供堆肥材料醱酵分解所需的空氣。經過一段時間的堆積，堆肥材料會逐漸腐熟，最後分解生產出的堆肥，再經過適當的乾燥、粉碎、過篩與打包等步驟，即成為一般的有機質肥料商品。

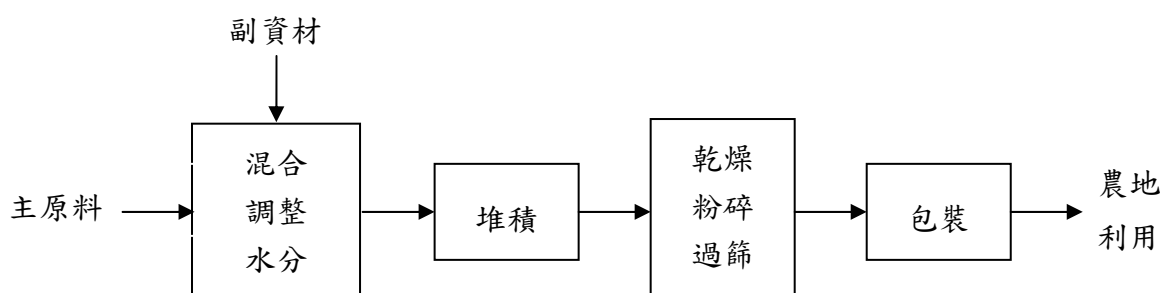


圖 3.1 傳統堆肥法處理程序圖

### 3.1.3 堆積方式

傳統堆肥法大多採用開放型靜態堆積方式，主要藉由自然的通風，所以在堆肥表層部分，因氧氣較充足，好氧性微生物大量繁殖，進行好氧性分解作用，在堆肥內部，則因水分不易散失，空氣不易對流，所以進行厭氧性分解作用，容易產生惡臭，醱酵緩慢，堆肥化作用過程會因此延長。

由於對一個成功的堆肥製作而言，良好的通風是重要關鍵之一<sup>[35]</sup>。一般而言，堆肥材料需要有適當的孔隙度及水分，同時堆積體大小需足以維持好氧性，以使微生物的分解反應得以順利進行。而且原料顆粒大小、與副資材混合後體積大小、堆積的方式及翻堆頻率等均會影響到堆肥材料的分解作用。堆積體大小需視每日產生原料的質與量、副資材的混合比及場地大小而定。

通常傳統堆肥法的堆積方式約需 30 至 50 天，或者更長才能完成一個完整的堆肥化程序。在堆肥化過程中一般需進行定期的翻堆，翻堆主要的作用包括：降低粒子大小、使堆積物質混合均勻、增加孔隙度以保持好氧狀態、增加供氣量、且材料翻動後，使底部受壓擠的水蒸氣釋放以加速乾燥，並使所有物料均能進入 55°C 以上高溫區。如堆肥體能夠保有適當的好氧條件與水分含量，通常自堆積開始幾日內堆肥內部溫度可達 55°C 以上，亦即所謂的高溫期，且持續數週，如此可以有效地消滅堆肥材料中的病菌、蟲卵、雜草種子等不良因子。

### 3.1.4 設備概要

傳統堆肥法所需的基本設備，除了使用鏟裝機或怪手等機械，在堆肥製作過程中，將堆肥材料加以混合與翻堆外，在產出腐熟的堆肥成品前，利用適當的粉碎、過篩與打包等機械，亦具有提升堆肥成品的外觀品質與商品價值之功能。當然機械設備的規格大小，則必須視堆肥材料多寡及預計使用操作效率而定，現場堆肥化情形如圖 3.2 所示。



圖 3.2 傳統堆肥法現場情況

### 3.1.5 影響因子

對於傳統堆肥法而言，雖然是利用較為簡易的操作方式進行堆肥製作，但仍然有若干必須注意的程序操作因子及環境因素，故於操作程序實施前仍應審慎評估這些因子，以求得最好的堆肥化流程與最佳的堆肥品質。其中較重要的程序操作因子包括主原料性質、副資材種類、翻堆頻率、堆肥體大小及水分含量等。

#### 1. 主原料性質

首要的特性為主原料的肥料成分與水分含量，因其決定了副資材需添加的比例，也就是需使混合後的堆肥材料碳氮比值約為 26~35 左右，水分控制於 50~60% 左右。在堆肥化過程中，微生物需要碳素作為能量源，需要氮素構成細胞體及維繫細胞體，一般研究認為以碳氮比 26~35 為最佳的範圍<sup>[37, 38]</sup>。當有機物碳氮比較高時，微生物分解作用會因缺氮，而遲滯堆肥的分解醱酵。相對地，當有機物碳氮比較低時，會因脫氮作用，而使堆肥中氮量減少，所以要加速有機廢棄物之腐熟速度，以及減少氮素在堆肥化過程中之損失，在堆肥化前的有機材料中，予以調整適當的碳氮比值，是必要的堆肥製作步驟之一。當堆肥材料的水分含量低於 40% 以下時，堆肥醱酵分解速度會因水分不足而減緩。當堆肥材料的水分含量高於 60% 以上時，則水分過高及氧氣不足而呈厭氧醱酵，堆

肥醱酵分解速度也會減緩。

## 2. 副資材的選擇

副資材的主要作用為增加原料的孔隙度以利於氧氣的滲透，並調整堆肥材料的碳氮比值落在適當的範圍內，以資作為堆肥化中分解微生物生長所需的營養源，而副資材的種類及添加量會影響堆肥化溫度的提升及持續性；換句話說，也影響了堆肥化時消除病菌、蟲卵、雜草種子及乾燥材料的效果。一般副資材皆需另外採購，可能為製作堆肥材料主要的花費，同時混合後體積應儘可能地減少，亦即需儘量降低副資材用量以達此目標。

## 3. 翻堆頻率

於堆肥化過程中應使氧氣含量連續保持大於 5% 的狀態，因此，傳統堆肥法藉由定期的翻堆提供足夠的氧氣，以供堆肥中分解微生物利用，同時可避免形成厭氧狀態，而產生臭味。傳統堆肥之溫度分布可區分成幾個不同區域<sup>[39]</sup>，如溫度小於 55°C 的”低溫區”及此區內部周圍大於 55°C 的”高溫區”。一般約有 40% 左右小於 55°C，22% 於 55~65°C，22% 為 65~71°C，14% 超過 71°C。而翻堆就是使低溫區與高溫區的材料充分混合，以確保所有堆積材料皆能停留於高溫區內，以達到滅菌功能。較常進行翻堆工作，其堆肥體內部高溫區體積會較小，因常散熱使高溫較不易保持，所以可以明顯看出其差異性。另外翻堆次數增加亦可加速堆肥材料乾燥速率，也因此翻堆的頻率需視堆肥處理的情況而定，以期達到良好的溫度及乾燥速率(水分含量)控制。

## 4. 堆肥體的大小

堆肥體的大小(截面積)主要影響內部溫度提升的程度，為使溫度能升高，則其所產生的熱能必需超過外在表面積，因傳導、對流、輻射所損失的熱能，而表面熱能的損失與SVR(表面積與體積比)及環境條件，如大氣溫度與風速等有關<sup>[40]</sup>。一般而言，當堆肥體的截面積減少，則消除病菌需要的高溫期將無法達到與保持，因此就堆肥體積來看，截面積較大者具有易產生高溫與保持溫度，而利於消除病菌、蟲卵、雜草種子等不良因子。

另外就堆肥乾燥速率來看，雖然小堆不利於溫度的提升，但其乾燥速率顯然優於體積較大者。由此可得知，於傳統堆肥法應視其所需之目的；如殺菌或乾燥，加以調整堆肥材料體積(截面積)大小。

## 5. 水分含量

一般堆肥材料較適當的水分含量約 50-60%(重量比)。當堆肥材料的水分含



量低於 40% 以下時，堆肥醱酵分解速度會因水分不足而減緩。當堆肥材料的水分含量高於 60% 以上時，因水分過高及氧氣不足而呈厭氧醱酵，堆肥醱酵分解速度也會減緩。一般在堆肥製作前，可由以下方法加以調整堆肥材料的水分：(1)利用機械式脫水法，(2)利用塑膠或玻璃溫室脫水法，(3)加入水分調整材如稻殼、木屑、太空包廢料或腐熟堆肥等材料<sup>[41]</sup>。堆肥材料混合的同時可以適當地調整含水量至約 60%，此種含水量近於以手緊握堆積材料而水能沿指縫點滴成形，或以棒插入堆積材料中，拔出時棒端濕潤。當水分含量不足，添加水分時需注意不要讓肥水流失，以免損失肥分，應經由肥水溝收集後重新加入堆肥中。堆積材料水分含量過多可加木屑、穀殼等調整之。

### 3.1.6 環境因素

當傳統堆肥法採露天方式操作，則容易受雨天、低溫、日曬及風速等環境條件所影響，以致操作效率降低。為避免這些因素，採用敷蓋方式可以防止水分散失並保溫，使堆肥水分及溫度均勻分布，而有促進醱酵之作用。常見使用敷蓋的時機，在冬季低溫期或露天堆肥場，製作堆肥時可用敷蓋方式保溫及保水。其次敷蓋可防止蚊蟲放卵孳生，及病菌雜草種子侵入，以維持堆肥品質。敷蓋物之材質以麻布類稍具通氣性者為上品，其次為稻草、蒿桿類、草蓆等，塑膠布僅適於戶外防雨使用。

### 3.1.7 臭味產生與控制

傳統堆肥法的靜置堆積型大多無法保持良好的氧氣含量及足夠的溫度來進行堆肥化作用，所以通常需要一段較長的時間，而且也無法完全或均勻地進行分解。如果沒有時常予以翻堆，使堆肥材料導入氧氣，厭氧狀態一旦發生，令人厭惡的臭氣隨即產生，其中氮素成分亦會隨之損失。

對傳統堆肥法處理流程而言，影響其臭味擴散及感測因子包括：堆肥場地中堆積體的數目、堆積體的SVR(表面積及體積比)、堆積體的溫度、副資材的種類與添加量、臭味的感測點至堆肥場的距離、臭味的傳送條件；如風向、風速、灰塵擴散、原料特性與滲出水的排放情形等<sup>[42]</sup>。相關研究指出傳統堆肥表面臭味的逸散與內部溫度的高低有直接的關係，當內部溫度愈高時臭味的逸散愈嚴重，尤其是在翻堆過程及其後的一段時間內。一般而言，整個堆肥的過程臭味逸散主要於初期的前幾天，之後臭味逸散降低，直至整個堆肥過程完成。減少臭味產生方式包括於臭味產生的顛峰期降低堆肥體尺寸、改變副資材的使用量、注意水分含

量是否適當、加強堆肥體通氣性、增強翻堆次數或僅於低風速時期翻堆、於場房周圍保留足夠的緩衝區並藉由圍籬或樹等作為分隔。

### 3.1.8 堆肥場的規劃

傳統式堆肥場規劃應考慮的因子，包括場地需求、堆積場設置、物料產品動線控管、緩衝區設置，及相關附屬設施等。

#### 1. 場地需求

堆肥場內包括原料暫存區、堆肥作業區、產品包裝貯存區、緩衝區及建物區等。以堆肥作業區而言，原料的進料多寡與速度、成分含量(碳氮比值)、水分含量及堆肥化速率等均直接影響場地需求大小。例如當原料含水率過高時，則副資材的添加量必需增加，以調整水分含量至 50~60%左右。也因此整個物料的體積亦隨著增加，所以減少原料的含水量，不僅可減少副資材用量，同時可減少用地面積。

#### 2. 堆積場設置

一般而言，堆肥廠內堆肥製作區的地面應鋪設不透水黏土層、柏油或混凝土，以防止地表水或雨水的流入，同時可利於堆肥滲出水的收集及處理，避免污染地下水。堆肥作業區如有加設通氣設備，一般也大多於地面安裝鋪設，以利於空氣由堆肥體底部向上擴散且保持在堆肥體內。

#### 3. 物料產品動線控管

從原物料進場暫存、混合材料、調整水分、堆積製造、成品乾燥、過篩、檢驗、包裝等多項必要程序中，必須加以規劃良好的動線，以使各階段程序得以順暢，以提高生產效率。

#### 4. 緩衝區設置

為了減少臭味對堆肥場周圍的影響，其作業區外的緩衝區應可能愈大愈好，而受限於場地大小亦可考慮利用視覺遮蔽效應或綠籬屏障，如加設圍籬或樹籬等，以減緩堆肥作業區所逸散出之灰塵及臭味，亦可兼作為綠美化之功能。

#### 5. 相關附屬設施

一般堆肥場另外尚需堆肥後製區及成品貯存區，後製區包括堆肥後發酵、乾燥、粉碎、成品過篩、添加其它營養源及包裝等製程。而貯存區應有足夠空間以貯存完成堆肥化程序的堆肥成品達一週以上或更久的時間。

## 3.2 通氣靜堆法堆肥技術與設備

一般通氣靜堆法的堆肥製作技術是採用靜態堆積法並配合強制送風。如無配合強制送風的靜態堆積法，堆肥化速率較慢，需要較長期的堆積時間。強制送風的靜態堆積法，相對地可以增進堆肥化速率，且較易控制水分及溫度變化，而此種由堆肥底部實施間歇性強制送風方式，在臺灣地區堆肥場已被普遍採用<sup>[43]</sup>。由於通氣靜堆法要安裝強制送風設備，堆肥製作區大多設置在堆肥場房內，而堆肥堆積多採用容器方式(in-vessel)，以配合強制送風設計，而堆肥堆積容器可再分成開放式與密閉式二種方式。開放式容器以堆肥槽(三面牆加底層)為典型，密閉式容器以堆肥箱(六面密閉)為典型。

### 3.2.1 通氣靜堆法的優缺點

通氣靜堆法的主要優點為：

1. 與其它堆肥處理系統比較起來屬於較經濟型之一。
2. 系統的操作處理容量範圍彈性很廣，可視原料質量變異予以規劃設計。
3. 採用此式的各堆肥體為分開堆積，可依物料或產品之不同而調整配方。
4. 若一直保持良好的通氣狀態，將比傳統堆肥法有較佳的臭味控制。
5. 可提供較好通氣條件，而順利達到適宜的高溫與殺菌效果。
6. 可採露天、開放式或密閉式操作，視其臭味控制的需要程度而定。
7. 在良好的操作條件下，堆肥成品產量與品質可以獲得穩定的控管。

通氣靜堆法的主要缺點則為：

1. 此堆肥處理系統較適用於通氣性良好的有機廢棄物種類，否則需配合適當的副資材，以酌予調整。
2. 為期通氣效益達到最大，堆肥化過程中必須偵測堆肥體溫度及水分含量等變化，以相互配合，才能提高堆肥化效率。
3. 倘系統設計及操作不當則有臭味問題。
4. 除非操作廠房加蓋或採密閉式，否則生產易受天候因素影響。
5. 強制送風設備之設計與安裝，以及日後的操作與維護，有一定的技術層面限制，才能獲得最佳的效率。

### 3.2.2 處理程序

典型的通氣靜堆法與傳統堆肥法的處理流程相似，其處理流程如圖 3.3 所示，即包括原物料管理、混合、調整水分含量、堆肥化過程及後處理加工等，主要的差異性應是堆肥化過程物料的堆積方式及通氣系統的安排。此種堆肥處理方法主要是藉由強制送風系統使堆肥化過程維持於好氧狀態，增進分解性微生物的繁殖與活性，以加速有機物分解。同時，亦可去除多餘水分，並利於醱酵熱的釋出，以控制堆肥化溫度。一般通氣量的控制常藉由堆肥溫度變化作為指標，最利於纖維素分解的堆肥化溫度為 55~65℃，而消除病菌最有效的溫度範圍則在 60~70℃ 間。因此藉由通氣速率的控制以使溫度維持於此範圍內。一般通氣量約維持 0.2~0.25 立方公尺/公噸·乾重(標準狀態下)<sup>[39]</sup>。

一般而言，好氧狀態下，堆肥分解釋出的能量約 20 倍於厭氧狀態，也因此有利於其內部溫度的提升及乾燥的進行，這也就是採曝氣式的主要原因<sup>[33]</sup>。通氣量與有機物生物氧化速率、水分及熱能的釋出有關，一般生物氧化反應所需空氣量以每噸乾污泥為例，約需 0.6m<sup>3</sup>/min，但為避免因曝氣量過大而使堆肥溫度下降，通氣量的控制是相當重要的。

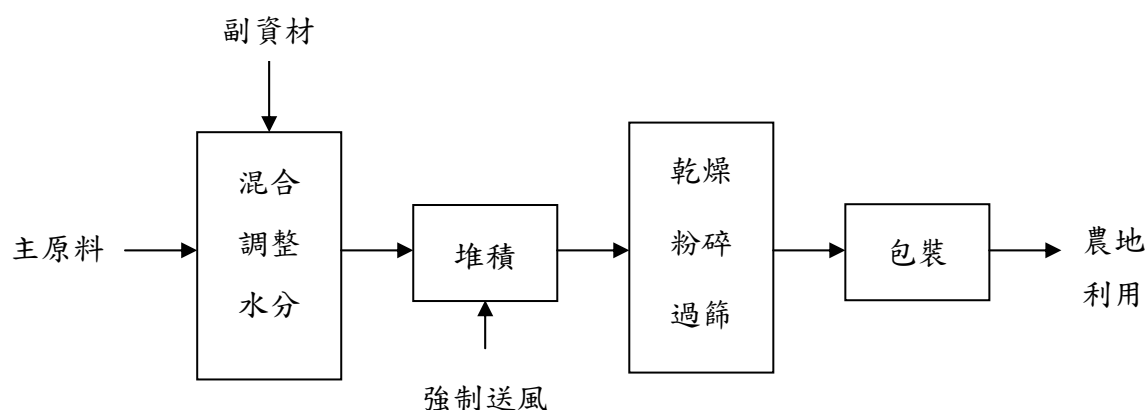


圖 3.3 通氣靜堆法處理程序圖

### 3.2.3 堆積方式

通氣靜堆法就堆積方式來看，可分為開放式堆肥槽堆積方式，以及密閉式堆肥箱方式二種，概述如下：

#### 1. 開放式堆肥槽

開放式堆肥槽堆積方式又可稱為單一式堆積(individual pile)，以堆肥槽(三面牆加底層)為單一堆積體，通常可以用製造日期作為區隔，即各堆肥體為分開

堆積，再由堆肥底部實施間歇性強制送風，當然堆積的大小及形狀種類很多，依各堆肥廠操作及生產情況有很大的彈性，惟堆積高度應考量通氣系統的負荷。通常廠內會依其產能設置數個區間，而隨著每堆物料所需的堆積時間，移動物料至下一個區間，依此類堆，即如此整個生產線形成一完整循環。採用此式可依物料或產品之不同而變化調整配方，通常其物料移動或翻動多利用鏟裝機。

## 2. 密閉式堆肥箱

在一個理想的密閉式堆肥箱系統，可使堆肥在堆肥化過程中，溫度很快會上升到 60~70℃，但在達到 70℃ 以上時，必須立即送風，使其略為降低溫度，以使堆肥維持良好的分解發酵狀態<sup>[44]</sup>。因為當堆肥溫度高於 70℃ 以上時，會不利於某些微生物生長，致降低堆肥分解速度。通常由堆肥箱底部實施強制送風，而在堆肥箱上層適當位置，再設計一個排氣裝置連接除臭系統，在如此良好的密閉系統下，才能完全消除臭氣問題。堆肥箱如無配合送風設備，堆肥溫度不會高於 60℃，大多在 40~50℃ 之間。在體積容量約 12~70 公升的堆肥箱中，最高溫度可到達約 55~60℃，且溫度為維持在 50℃ 以上僅約 2~6 日。在體積容量約 120 公升以上的堆肥箱中，當有適當配合送風處理下，堆肥在堆積第二日即可達到 50~70℃ 以上，且維持約 2-3 週時間以上<sup>[45]</sup>。在送風式堆肥箱製作堆肥，每分鐘通氣量與堆肥體積比，最佳比例約為 1：40。

### 3.2.4 設備概要

通氣靜堆法常用於高度重視快速處理及臭味控制的堆肥化目的。大量適當混合且經篩選的有機物質被置入一堆肥堆積製作系統中，並經由嚴密的監控確保適當的含氧量及濕度需求。這些強制送風系統需要電控的馬達及風扇在管道中推送或排放空氣來維持一含氧量固定的新鮮空氣來源，以供給分解性微生物生長與繁殖之所需，進而分解堆肥中有機物質。一般強制送風系統可採正壓式(壓力式通風設備)或負壓式(真空通風設備)以達適當的程序控制，後者有利於臭味的收集及處理。通氣靜堆式是國內堆肥場普遍採用的處理技術<sup>[39]</sup>，茲以其設計參考要點為例介紹強制送風系統的規劃，其現場堆肥之情況如圖 3.4 所示。

1. 鼓風機(Blower)：一般市面上均有出售，惟需注意電壓是 110V 或 220V，單相或三相，採用適合鼓風機之規格，另外標準送風量每立方公尺堆肥送風 0.1~0.2 立方公尺，風壓適當標準為 100~200mm(水柱)高，如果太低則壓力不夠，送風

困難，但太高也不宜，醱酵熱被沖散而醱酵不良；市面上出售之規格：出力 1/2 馬力、電壓 220V、三相、風壓 320mm(水柱)，每分鐘送風量 5~10 立方公尺，則醱酵槽高 1 公尺，每 50 平方公尺，約配置一台鼓風機，每送風 5 分鐘，停 20 分鐘，並依堆肥醱酵情形調整。

- 2.送風管：由塑膠管連接鼓風機、主風管及支風管而成，於連接進醱酵槽之主風管應設調節閥。以控制風量及需不需送風，槽底的送風管管徑 4 吋(10 公分)，風管之下側開二排的小孔為出風口，孔徑 5 公厘，每間隔 10 公分開一出風孔。其鼓風機、送風管之連接及排設應依堆肥含水率不同而分階段設計，因堆肥堆積前後的含水率不同，醱酵時間不同，送風量亦不同，堆肥含水率關係通氣性，可用時間控制器控制每一組送風機運轉時間及風量。
- 3.輸送、運輸系統：由原料堆置場(區)將原料送入醱酵處理(區)，再將成品送入後製區(乾燥、粉碎、篩選、包裝處理)及倉庫(區)，可以設計輸送帶系統，或利用鏟裝機運送。
- 4.脫臭設備：由於通氣靜堆法要安裝強制送風設備，堆肥製作區多設置在堆肥廠舍內，因此除臭設備即可予以配合規劃設置，以達除臭之環保目標。



**圖 3.4 通氣靜堆法現場情況**

### 3.2.5 影響因子

典型的通氣靜堆法與傳統堆肥法的主要影響因子相似，其重要的程序操作因子包括主原料性質、副資材種類、翻堆頻率、堆肥體大小及水分含量等。但對於通氣靜堆法而言，由於堆肥化過程主要藉由好氧狀態下微生物的活動，以使有機

物分解，因此利用鼓風機或風扇(Fan)系統的安排，以提供足夠的空氣，而通氣量的控制應考量因子包括：堆積體的溫度、氧氣需求量及水分含量變化等，一般常用堆肥溫度作為通氣量的指標。

### 1.堆積體的溫度

一般通氣量的控制常藉由堆肥溫度變化作為指標，最利於纖維素分解的堆肥化溫度為 55~65℃，而消除病菌最有效的溫度範圍則在 60~70℃ 間<sup>[33、47]</sup>。因此藉由通氣速率的控制以使溫度維持於此範圍內。由於送風處理可去除多餘水分，並利於醱酵熱的釋出，所以必須要有適當的送風處理與控管，以控制堆肥化溫度，以及達到快速堆肥化之目標。

### 2.氧氣需求量

在通氣靜堆法系統中，是將有機廢棄物置於某種堆積槽或容器，再配合強制送風處理，以確實促進堆肥化作用。一般在堆肥化過程中，不同的有機廢棄物材料特性，其所需求的氧氣量亦不同。包括有機質含量、水分含量、溫度、微生物相等理化特性，均是影響堆肥化作用的重要因素之一。所以要配合堆肥材料特性，施予適當的送風條件，以使堆積體保持適宜的好氧狀態，才能促進堆肥材料快速分解腐熟。

### 3.水分含量變化

堆肥材料水分含量關係著堆積體通氣性，當堆肥材料水分含量過高將會影響通氣效益，相對的過度通氣，會使水分急速散失，亦將影響堆肥材料分解。由於堆肥醱酵時間不同，堆積體的水分含量不同，送風量理應不同。所以必須適當控制送風機運轉時間及風量，以配合堆肥材料特性與醱酵時間。

## 3.2.6 環境因素

由於通氣靜堆法要安裝強制送風設備，堆肥製作區大多設置在堆肥場舍內，所以一般露天式堆肥場，容易受雨天、低溫、日曬及風速等環境條件所影響之情況，在通氣靜堆法堆肥分解並不會受到干擾。惟少數採用露天方式者，仍受到天候條件之影響，因此在計畫產能及品質控管上，仍需考量天候變化時之因應措施，請參考本章 3.1.6。

在通氣靜堆法的場舍內另外必須考量的環境因子，是所謂廠房內部的通風情況，以及廠房外臭味是否外洩等。事實上，這兩者因素是互為因果關係，因為要維持堆肥化作用順利及迅速進行，在廠房內部必須保持良好的通風情況，以使堆

肥分解產生的廢氣與臭氣，均能迅速排除，而讓廠房外新鮮的空氣能夠順利進入，如此亦有利於廠房內含水率之控制，而那些廢氣與臭氣則需適當的排掉與消除，絕不能造成廠房外空氣污染，所以包括廠房內部通風與除臭系統，都必須納入一併規劃考量，使兩者目標均能兼顧。

### 3.2.7 臭味產生與控制

堆肥製作過程中產生臭味，會影響到環境品質。當有機廢棄物含有較高量的含氮化合物，在堆肥化過程中，會分解釋出氨氣及硫化物等氣味。氨氣的揮發，常在堆肥製作中產出，且會導致堆肥中氮素含量之減少，所以應儘量予以避免。一般堆肥場多採用設置除臭槽設計，其原理是臭味氣體經由通過一種稱作『微生物過濾器』的過濾媒介後排放，這種物質通常需具有強勢吸附能力，亦即陽離子吸附能量 (cation exchangeable capacity)較高的有機材料<sup>[46]</sup>。在一段時間過後，當作為微生物過濾器的有機材料不再具有過濾排氣的效能時，它可藉由退回堆肥程序再度回收。以木屑、稻殼為過濾介質者，由於木屑、稻殼兼有水分、有機質調整材功能，所以除臭區實為原料堆置場(區)之前置區域，即將木屑先於脫臭槽灑水以預作處理，當吸附臭氣飽和後可回收作為水分、有機質調整副資材，如此可縮短木屑、稻殼醱酵時間，並達脫臭之目的。

### 3.2.8 堆肥場的規劃

通氣靜堆法堆肥場規劃應考慮的因子，包括場地需求、堆積場設置、物料產品動線控管、緩衝區設置、及相關附屬設施等，大多與傳統式堆肥法相似，上述重點請參考 3.1.8 說明。但通氣靜堆法有三大項規劃特點，其一為要規劃安裝強制送風設備，其二為要規劃設置除臭設備。

#### 1. 強制送風設備

在通氣靜堆法系統中，是將有機廢棄物置於某種堆積槽或堆積容器，再配合強制送風處理，以達到促進堆肥化作用之目標。由於通氣靜堆法要安裝強制送風設備，堆肥製作區多設置在堆肥廠房內，而堆肥製作區無論採用堆積槽或堆積容器，其送風口大多規劃在堆積槽或堆積容器的底層，由堆肥材料下層往上層送風，並透過適當的送風量與風壓，將新鮮空氣均勻的散布在堆肥材料內部，以使堆積體保持適宜的好氧狀態，才能促進堆肥材料快速分解腐熟。並依堆肥醱酵時間不同，必須適當控制送風機運轉時間及風量，以配合堆肥材料特性與醱酵時間。



## 2.除臭設備

在進行強制送風處理過程中，堆肥分解所產生的熱氣、水分、廢氣與臭氣等，均應適當排除，因此除臭設備即可予以配合規劃設置，以達到促進堆肥場舍通風與除臭之環保目標。所以在堆肥廠房內，規劃良好的抽風設備，將所有不良的廢氣加以排出，再經由適當的除臭槽設備予以消除，是一座優良堆肥廠不可或缺的基本設計規劃與設備。

## 3.3 好氧性槽式堆肥技術與設備

好氧性槽式堆肥法是由傳統堆肥及通氣靜堆法進一步改良發展而成，基本上是有機廢棄物置於一生物性反應槽(bioreactor)內進行分解發酵，同時利用強制送風與自動攪拌翻堆系統，營造出好氧性的環境條件，讓好氧性的微生物可以大量繁殖，而快速且順利地將堆肥分解發酵<sup>[48]</sup>。所以此堆肥方法涉及到較複雜的機械設備，不僅需較深的操作與維修技術，同時也易因操作不當或維修技術不足，而影響到堆肥生產。但是在一個操作順暢的好氧性槽式堆肥系統中，可以一次處理大量的有機廢棄物，而且依序生產出品質穩定的堆肥成品。

### 3.3.1 好氧性槽式堆肥法的優缺點

好氧性槽式堆肥法的主要優點為：

- 1.堆肥化處理量大且穩定，適於大量生產堆肥。
- 2.施予適當的翻堆與通氣可以減少廢氣產出。
- 3.在理想的好氧性發酵操作系統下，可以順利達到適宜的高溫與殺菌效果。

好氧性槽式堆肥法的主要缺點則為：

- 1.好氧性發酵系統所需之機械設備較複雜，操作與維修技術須相當熟稔。
- 2.好氧性發酵系統之設施與設備等成本較高，所以堆肥生產成本亦高。
- 3.操作不當易產生臭味。

### 3.3.2 處理程序

好氧性槽式堆肥法是將有機廢棄物置於一生物性反應槽進行堆肥製作，同時利用強制送風與自動攪拌翻堆系統，營造出好氧性的環境條件，讓有機廢棄物進

行好氧性的分解醱酵，而快速生成有機質肥料。好氧性槽式堆肥處理系統如圖 3.5。其中主原料與副資材的混合及調整水分含量，與其他堆肥法相近，爾後進入生物性反應槽進行分解醱酵，此時必須配合適當的自動攪拌翻堆與強制送風系統，使反應槽內形成良好的好氧條件，如此可以讓好氧性的微生物大量繁殖，而且快速進行分解醱酵。如果因為有機廢棄物材質特性或停留於反應槽醱酵時間等問題，在反應槽內尚不足以達到腐熟的階段，則需要再進行後醱酵處理。在後醱酵處理階段另外可以配合乾燥、粉碎、過篩等處理，最後實施包裝與出貨。

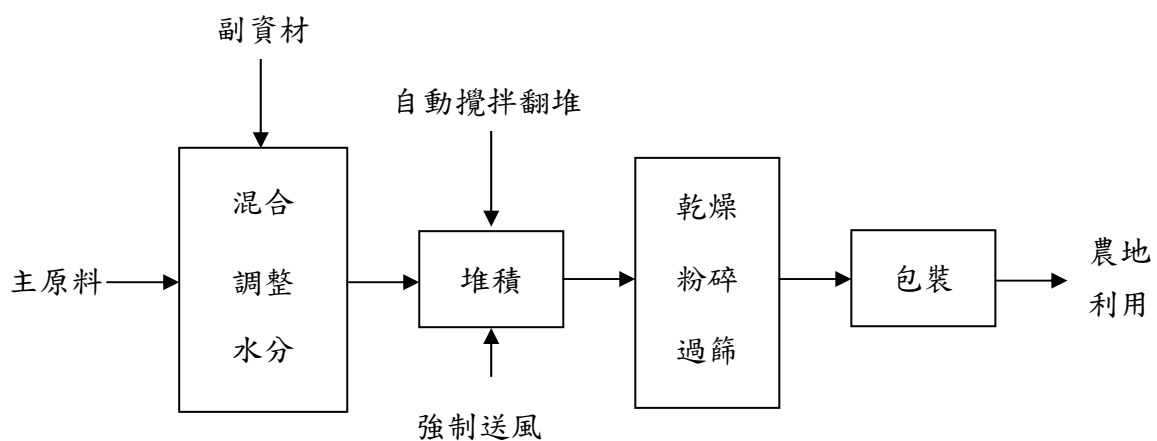


圖 3.5 好氧性槽式堆肥法處理程序圖

### 3.3.3 堆積方式

好氧性槽式堆肥法通常採用多段式處理流程，最重要的分解醱酵階段通常於「生物反應槽」內進行，亦可稱之為分解醱酵槽，其停留時間視材料的性質及反應器的型式與構造而定<sup>[42]</sup>。反應槽通常可分為三種，包括直立式推流(vertical plug flow)、水平式推流(horizontal plug flow)及攪拌槽式(agitated bin)。其主要差異在於進料、出料方式(即物料反應器內之行進路線)、曝氣系統與槽體型狀等。

#### 1. 直立式推流系統(vertical plug flow system)

此系統為一直立式槽體，原物料由頂端進入後漸往下移動至槽底，氣體強制送入槽體，原物料於此階段進行主要的分解醱酵，隨後再於第二段單元進行後熟過程。

#### 2. 水平式推流系統(horizontal plug flow system)

此種槽依其外型又稱隧道式，其操作方式與直立式相似，只是原物料以水

平方向移動。

### 3.攪拌槽型式(agitated bin reactor)

此系統與推流式反應槽最大的不同在於其藉由攪拌翻堆機械，定時的運轉而使原物料移動，其反應槽通常為上方開口式，氣體由底部強制送入，而槽體可為矩形或圓柱形，一般堆肥槽之深度約 2~3 公尺，長度則需視有機廢棄物之材質特性與攪拌翻堆、強制送風等條件因子之設定。一般其基本構造如圖 3.6 所示。

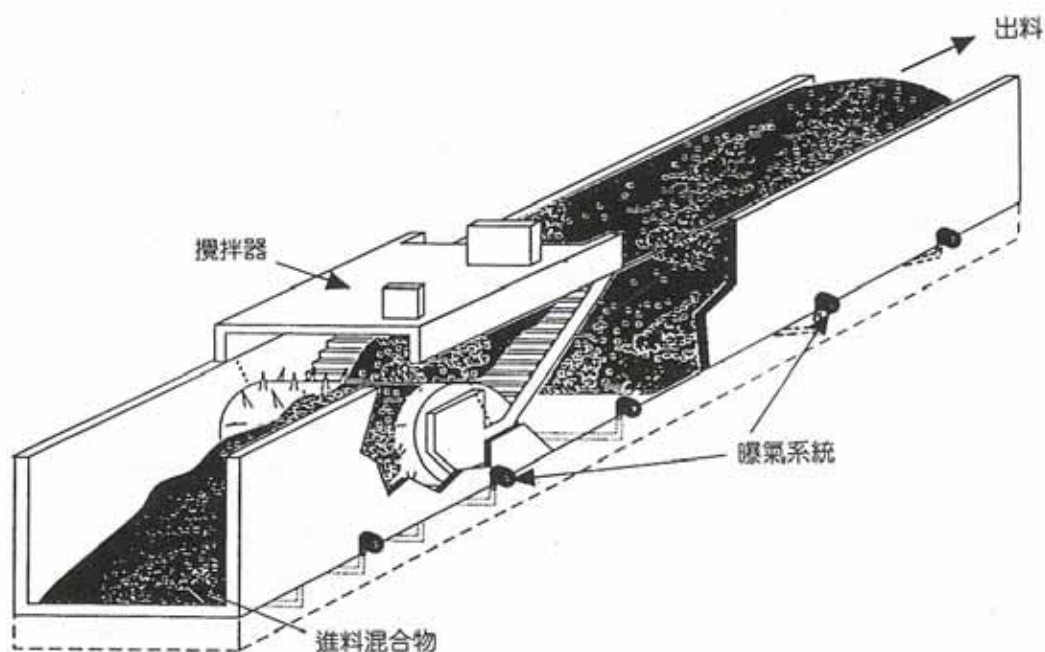


圖 3.6 好氧性槽式堆肥法示意圖<sup>[42]</sup>

#### 3.3.4 設備概要

好氧性槽式堆肥法現場堆肥情況如圖 3.7。好氧性槽式堆肥法的分解醱酵階段通常於「生物反應槽」內進行，所以主要設備即以此反應槽為主體。因此，凡是牽涉到堆肥攪拌翻堆、送風醱酵及脫臭抽風等系統，包括攪拌翻堆機械、強制送風機械、臭氣收集管路、抽風機、脫臭槽、廢水處理系統等相關設備，必須併組整合設置於「生物反應槽」。而依照整合後之機械設備，概略可分成三大系統：

##### 1.攪拌翻堆設備

攪拌翻堆機械是「生物反應槽」中製作堆肥的重要設備之一，目的在於讓

有機材料進行分解醱酵。當有機材料從反應槽一端送入，必須在反應槽內停留一段時間，經過適當的分解醱酵後，再由反應槽另一端送出，即為腐熟堆肥。為讓原物料在反應槽內能夠形成一種連續性的堆肥製作流程，在反應槽中必須實施攪拌、移動及翻堆等動作，讓有機材料經過分解醱酵，而產出充分腐熟且品質穩定的堆肥產品。堆肥攪拌翻堆設備的主要功能，既然是要將有機材料加以攪拌、移動及翻堆等，所以必須考量到反應槽的處理容量，另外有機材料的理化特性如水分含量、粘著性、化學成分含量等，均會影響到機械的運作效能<sup>[49]</sup>，尤其當經過長期使用後，機械設備的保養與維修等，又將形成另一問題。基本上，攪拌翻堆設備的選擇，首要配合反應槽之容量與處理效率等基礎考量外，亦不需使用過於精密或昂貴的機械，翻堆機械材質宜避免腐蝕而溶出重金屬，而以能夠配合適當的操作效能與易於維修為宜。

## 2. 送風設備

堆肥醱酵基本上以好氧性微生物的分解效率較高，而提供較佳的堆肥化條件，可以達到最好的醱酵。攪拌翻堆雖然可以達到供氧，但堆肥經過攪拌翻堆，將有機材料充分混合，微生物活性增強，相對地亦消耗堆肥材料內之氧氣，所以經過一段時間後，氧氣又不足，微生物活性又降低<sup>[37、33]</sup>，所以在攪拌翻堆的間隙中，需求送風以供應足量的氧氣，使好氧性微生物大量繁殖，加速堆肥之分解。

為維持堆肥好氧性，必然需要強制送風，但送風過量，則造成醱酵熱量散失，溫度下降且耗費電力，送風不足，則形成厭氧狀態產生惡臭。一般送風系統主要設備為鼓風機與送風管等，規劃良好的強制送風系統，鼓風機、送風管之連接及排設，應依堆肥含水率不同而分段排設，如醱酵槽為長槽式設計，因前後堆肥含水率不同，醱酵時間不同，送風量亦不同，堆肥含水率關係通氣性，應依堆肥含水率不同而分段排設送風機，再利用時間控制器控制每一組鼓風機運轉時間及風量。

## 3. 除臭設備

除臭設備系統設計應包括脫臭槽容量、抽風設備、脫臭介質材料等。為避免生物反應槽中因氧氣不足，造成厭氧醱酵之情況，必須依據反應槽內部空間之空氣量，堆肥分解醱酵所需求氧氣量，脫臭槽抽氣量，進行估算，亦即抽風量需大於反應槽內之總送風量。如此反應槽內保持好氧性，而臭氣又能夠經由抽氣系統，抽至脫臭槽進行脫臭作用。因此，脫臭槽之容量或面積設計，必須搭配抽氣量與臭氣停滯反應時間之綜合考量。當脫臭槽之容量與面積越大，臭

氣經過介質之接觸反應時間越久，除臭效率也較佳。但當脫臭槽之容量過大，抽風能量又不足時，反而造成介質中微生物因供氧不足，使脫臭效率降低。



圖 3.7 好氧性槽式堆肥法現場情況

### 3.3.5 影響因子

「生物反應槽」為好氧性槽式堆肥法的控制樞紐，所有主要影響因子之控制，都將在此反應槽內進行。主要影響因子包括：

#### 1. 攪拌翻堆之控制

調控良好的好氧性條件，是好氧性槽式堆肥法的關鍵技術之一。由於堆肥醱酵除適當碳源、氮源比例(碳氮比)之調整外，適宜水分及充分供氧是絕對必需之條件，而適當之攪拌翻堆，例如控制攪拌翻堆之時間、次數與攪拌效能，除了可以將堆肥材料充分混合成均質狀態外，並藉由攪拌翻堆將底層、上層之堆肥材料充分攪拌混合，使堆肥材料中氧氣含量充足，而獲得最佳之分解醱酵條件。

#### 2. 強制送風之控制

利用攪拌翻堆可以促進堆肥分解醱酵與均質化，但堆肥翻動會使堆肥內之醱酵熱散失，使醱酵溫度無法達到適當之高溫，因此，如何在停止翻堆時仍保持充分之供氧，此時應配合適當的強制送風處理，如此才能維持適當的好氧性環境條件，以確實促進堆肥化作用。一般在堆肥化過程中，不同的有機廢棄物材料特性，其所需求的氧氣量亦不同，包括有機質含量、水分含量、溫度、微生物相等理化特性，均是影響堆肥化作用的重要因素之一，所以要配合堆肥材

料特性，施予適當的送風條件，以使堆積體保持適宜的好氧狀態，才能促進堆肥材料快速分解腐熟。

### 3. 臭氣之控制

堆肥化過程中很難完全避免臭氣之產生，因此，設置適當的除臭設計與裝置，是製作堆肥必要的技術之一。在好氧性槽式堆肥法的生物反應槽中，為將臭氣獲得良好的控制，必須考量多種因素，例如必須依據反應槽內部空間之空氣量，堆肥分解醱酵所需求氧氣量，脫臭槽抽氣量，進行估算，亦即抽風量需大於反應槽內之總送風量。在理想的調控下，反應槽內會形成輕微的負壓狀況，使臭氣能夠順利經由抽氣管進入除臭槽中，而反應槽內又能獲得適當的氧氣供應，維持良好的好氧性條件。

#### 3.3.6 環境因素

在好氧性槽式堆肥法中，主要的分解醱酵階段通常於「生物反應槽」內進行，在一個設計良好與操作正常的情況下，反應槽可以視為一個密閉之醱酵空間，所以受到外界環境因子影響的機會不大，此時則需視生物反應槽所置放的環境條件，是否設置在露天環境或是在廠房內，主要考量點在於供應反應槽的空氣源與臭氣控制之安全性。例如在露天環境下，則強制送風所需的新鮮空氣來源毋需顧慮，但需適當考量除臭系統之安全性，以免操作不當時，臭氣會立即向外溢散。如反應槽設置在廠房內，則可以設計出一道完整的氣體流程，例如廠房內之空氣經抽氣後，外界新鮮之空氣於是從適當入口進入廠房內，供給反應槽中堆肥分解醱酵所需之氧氣，同時利用成品出口將廠房內部空氣(包括某些溢散出的臭氣)抽除，整體廠房形成一負壓廠房。如此不僅反應槽內所需的氧氣，可以持續有新鮮空氣經由強制送風系統供應，而且配合適當的抽氣系統，包括反應槽與廠房內部的臭氣與空氣，均能經由除臭系統的處理，再排放至廠房外部。

#### 3.3.7 臭味產生與控制

好氧性槽式堆肥法的臭味產生與控制，可以經由臭氣產生源減量與抽氣除臭兩大方向進行探討。在臭氣的產生源減量方面，主要的控制關鍵，在於反應槽內好氧性條件之控管。一般在好氧性的條件下，好氧性的微生物會大量繁殖，而進行所謂的好氧性分解作用，此時所產生的氨氣或硫化氫等臭氣成分將會降至最低，所以一方面在原物料的調配上，就必須注意調整適當的碳氮比值(堆肥前材料碳氮比約 25~35)與水分含量(60%)。另外在反應槽中必須調控適當的好氧性條

件，亦即建立適當的攪拌翻堆與強制送風兩種操作準則，使堆肥材料能夠迅速分解醱酵，而且減少臭氣產生。在抽氣除臭方面，主要之原則係將堆肥醱酵反應槽內，或廠房內所產生臭氣等區域，以適當的抽氣控制系統，使整體廠房形成一負壓廠房，先將產生之臭氣封鎖，防止臭氣外洩，再利用抽風機及抽風管系統抽除臭氣，抽除之臭氣，再經由脫臭槽進行脫臭。因此，在堆肥反應槽中之攪拌翻堆、強制送風及脫臭抽風等系統，包括廠房臭氣收集管路、抽風機、脫臭槽風管、灑水系統等相關設備，必須併組設置予以整合，再依堆肥含水率、醱酵溫度、送風量、翻堆次數、時間等等，建立基本操作準則，並落實執行與考核。如此才能確實達到理想堆肥場之環保規範。

### 3.3.8 堆肥場的規劃

就好氧性槽式堆肥法選擇方向而言，一般有幾項優勢因素，如堆肥化處理量大且穩定，產品成分較穩定、人力需求較少、臭味控制較佳等。尤其在理想的堆肥製作流程與廠房設計規劃系統下，應該可以做到良好的產品品質控管，廠區有較好的視覺景觀、一般農民與附近民眾較易接受等。在堆肥場規劃上，包括原物料區、堆肥廠房、堆肥後製區及除臭區等廠區設置，均是必須事先妥善規劃的重點。又因以上各廠區之間有不可分離的關聯性，因此將牽涉到堆肥製作之動線規劃等，當整個製作流程經過適當的設計後，將可使堆肥化過程中各階段工作予以銜接，而使堆肥製作流程順暢，不論在原物料的控管、堆肥分解醱酵條件因子的調控、堆肥產品的品管等等，均能夠依據標準作業規範，逐一檢驗與完成。除了堆肥製作相關廠房宜加以妥善規劃外，於廠房周圍保留足夠的緩衝區，並藉由圍籬或樹籬等作為分隔綠籬，緩衝區內亦應加以綠美化。

## 3.4 密閉翻堆法堆肥技術與設備

多數的密閉堆肥法系統中，大多利用機械式自動翻堆及配合間歇性的送風處理，由此系統為基礎，進一步發展成“密閉式堆肥廠房”<sup>[39]</sup>，其設計原理是利用密閉式建築方式，將堆肥醱酵區圍繞密封，堆肥醱酵產生之臭氣密封在廠房空間內，再利用抽風設備抽除臭氣，並使廠房產生負壓，防止臭氣外洩，抽除之臭氣，再經由脫臭槽進行脫臭。此種密閉堆肥法主要目的在於維持環保標準之下，又能夠快速完成堆肥材料之腐熟。翻堆機械只是堆肥製作工具之一，目的在於減少人工，尤其在密閉廠房內，使用自動化翻堆機械與強制送風設備是必要的。翻堆機可以



翻堆、攪拌、混合，翻堆時可供氧氣，但翻堆後之空檔，堆肥中氧氣量逐漸消耗，堆肥化反應逐漸緩慢，送風機可適時適量送風供氧，提供堆肥內部充足之氧氣，但無法攪拌混合，故兩者需搭配使用，以維持堆肥在高氧量之狀態，讓好氧性微生物穩定生長，不會因間歇性翻堆，而產生高低氧量反應。

#### 3.4.1 密閉翻堆法的優缺點

密閉翻堆法的主要優點為：

- 1.與其它堆肥處理系統相較，由於有更良好的操作條件控制，堆肥成品產量與品質可以獲得穩定的控管。
- 2.因密閉廠房可以保持良好的阻隔作用，比其他堆肥法有較少的廢氣產出。
- 3.可提供優良通氣條件，而順利達到適宜的高溫與殺菌效果。
- 4.操作廠房採密閉式，生產可不受天候因素影響。
- 5.在良好的操作條件下，除臭效益與環境品質可以獲得良好的控管。

密閉翻堆法的主要缺點則為：

- 1.與其它堆肥處理系統比較起來屬於較高成本型。
- 2.由於自動翻堆設備常需配合延續式堆肥槽，所以堆肥製作場區需要一定面積土地，與其它堆肥處理系統相較，土地面積需求較嚴苛。
- 3.堆肥化過程中通氣與翻堆兩項操作必須相互配合，才能提高堆肥化效率。
- 4.倘系統設計、維護及操作不當則有臭味問題。
- 5.強制送風與翻堆設備之設計、安裝、操作與維護，有一定程度的技術層面限制，必須相當熟稔，才能獲得最佳的操作效率。
- 6.密閉式廠房所產生的水氣和酸性易使廠房和機械腐蝕，故在材質選擇上需更謹慎。

#### 3.4.2 處理程序

密閉翻堆法處理流程如圖 3.8 所示，其主要處理流程係先將原料與副資材經過混合後，並適量調整適當的水分含量，再進行堆積醱酵，並同時進行定期自動翻堆及強制送風等處理；基本上，為一直延續堆肥化最佳狀態，即藉由不斷添加原料、控制水分與氧氣含量，以維持分解堆肥之微生物生長的高峰。



精密的翻堆與適當的送風作業，為短期間內製作成良好堆肥成品之要訣。堆肥醱酵後約 2~3 天內溫度應上升到 60℃ 以上，約 10~15 天後溫度稍微降低，到 50~60℃ 左右。而溫度在降至 50℃ 以下時，堆肥便已達腐熟穩定之效果。當堆肥化初期的溫度約達 60~70℃，其後約 3~4 天翻堆 1 次，約 4~6 週後即可完成醱酵腐熟。最後產出的堆肥成品，再經過適當的乾燥、粉碎、過篩與打包等步驟，即成為機質肥料商品。

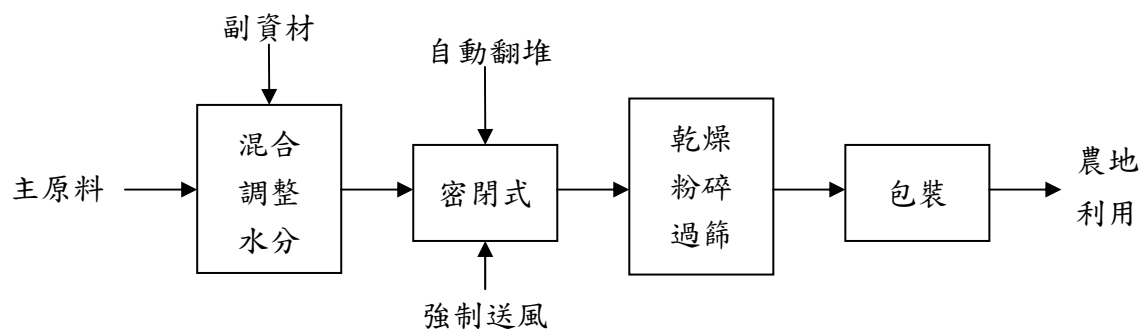


圖 3.8 密閉翻堆法處理程序圖

### 3.4.3 堆積方式

密閉翻堆法主要堆積方式為延續式(extended pile)堆積法，此種方式應可說是單一堆肥槽方式的轉換，即將單一堆肥槽所設立的堆積間隔去除，使堆肥物料形成一連續延長的堆積體，通常堆積體之高度約 1.5m 左右，寬度約 3~5m(需視翻堆機械可操作範圍而定)，長度則視物料需堆積時間、產量及場地大小而定<sup>[42]</sup>。首先，物料經混合後，由一端進入，隨著翻堆物料逐漸前移，而新的物料不斷補充，另一端成品則可每日出料，如此便形成一連續生產線。理想的翻堆機械必須配合堆肥材料特性，以期在翻堆過程中，能將堆肥材料順利攪拌、混合及供應氧氣，翻堆後的間歇空檔，堆肥材料中的氧氣量逐漸消耗，將會影響到堆肥材料的分解效率。此時可以使用送風設備，適時適量提供氧氣，以增進堆肥材料的分解效率。所以利用翻堆機械配合送風設備，可以控制適當的堆肥微生物生長繁殖條件，如此才能製作出優良的堆肥。

### 3.4.4 設備概要

密閉式堆肥醱酵廠房既為封閉之空間，內部充滿臭氣，工人無法操作，在商業化大量生產要求下，堆肥生產流程必須採延續式堆肥醱酵處理法，以鏟裝機人工翻堆之方法便不適用，因此，堆肥翻堆、送風醱酵及脫臭抽風等系統，包括廠

房臭氣收集管路、抽風機、脫臭槽風管、灑水系統等相關設備，必須併組設置予以整合，再依堆肥含水率、發酵溫度、送風量、翻堆次數、時間，運用小型電腦程式設計，進行自動化控制，減少專人看顧及人工操作之繁鎖。

### 1.翻堆機械

翻堆機械只是堆肥製作工具之一，目的在於減少人工，尤其在密閉場房內，使用自動化翻堆機械是必要的。但仍不宜使用過於精密及昂貴的機械，而增加投資與維修成本，基本上應考慮構造簡單，操作與維護容易者，且單位時間翻堆量最大之機械。一般翻堆機械的移動方式，主要有天車懸臂式，或軌道輪式，且可分直向、圓形與橢圓向等行走方式。各式翻堆機依物料挑起及落下的機制亦有不同型式，如旋轉杓子式(圖 3.9)、履帶式(圖 3.10)、旋轉刀式(圖 3.11)等翻堆法。

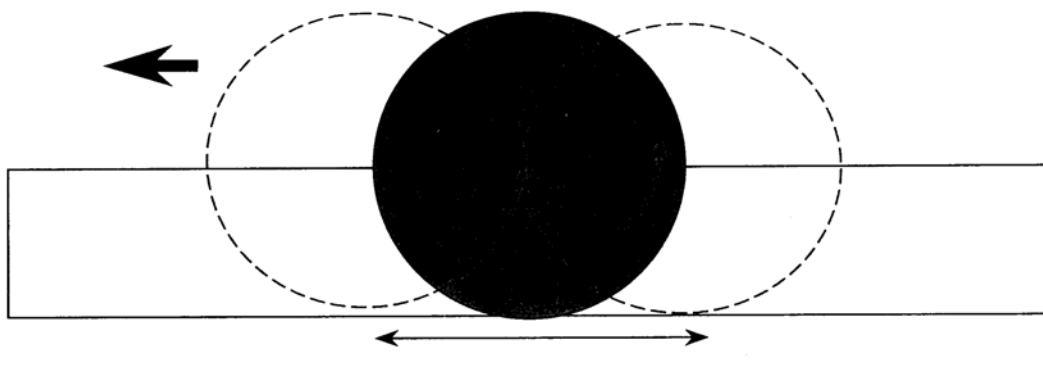


圖 3.9 旋轉杓子式翻堆示意圖<sup>[39]</sup>

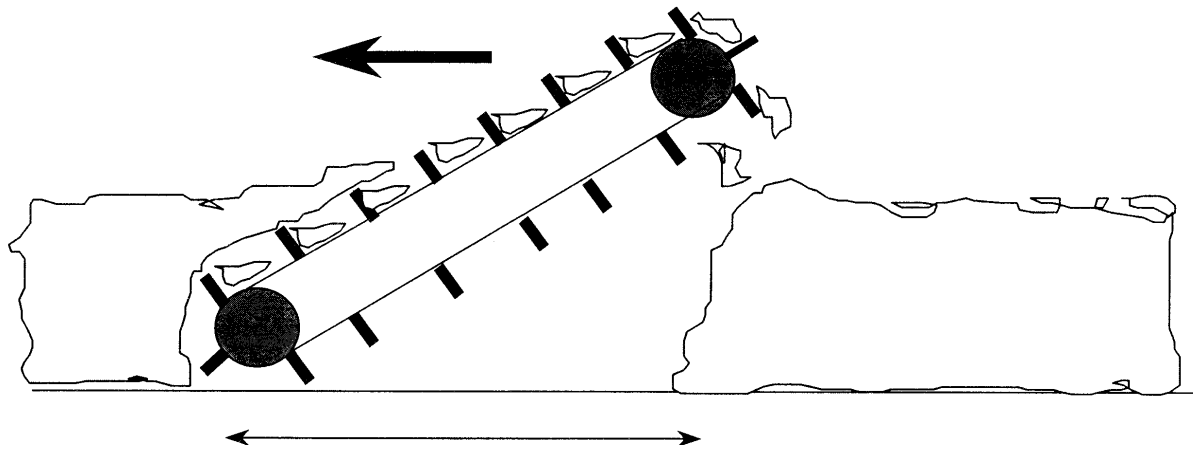


圖 3.10 履帶式翻堆示意圖<sup>[39]</sup>

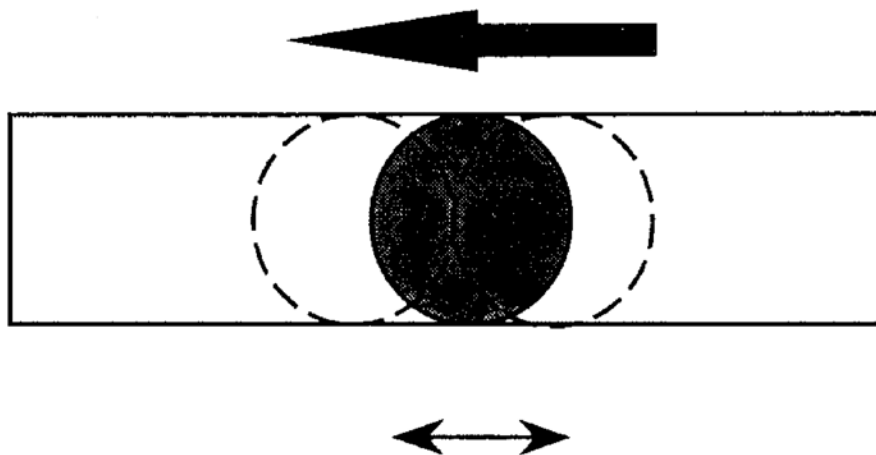


圖 3.11 旋轉刀式翻堆示意圖<sup>[39]</sup>

## 2.送風系統

送風系統主要設備為鼓風機與送風管等，堆肥分解屬於好氧性醱酵，所以需要送風以供應足量氧氣，但送風過量，則造成醱酵熱量散失，溫度下降且耗費電力，送風不足，則形成厭氧狀態產生惡臭。一般規劃良好的鼓風機、送風管之連接及排設，應依堆肥含水率不同而分段排設，如醱酵槽為長槽式設計，因前後堆肥含水率不同，醱酵時間不同，送風量亦不同，堆肥含水率關係通氣

性，應依堆肥含水率不同而分段排設送風機，再利用時間控制器控制每一組鼓風機運轉時間及風量。

### 3.密閉廠房設備

醱酵製作場(區)及後製處理場(區)一般是連棟密閉廠房設計，便利翻堆機之連續製作堆肥，醱酵製作場(區)及後製處理場(區)廠房密閉設計，防止臭氣溢出，並從密閉廠房抽出醱酵臭氣至脫臭槽，人員不在裡面操作，以避免臭味；原料堆置場(區)則設計輸送帶系統將原料送入密閉之醱酵製作(區)，後製處理場(區)後端則設計輸送帶系統將成品送入倉庫(區)篩選、包裝處理。脫臭槽可以用木屑為介質，兼作水分、有機質調整材，即將木屑先於脫臭槽灑水吸附氨氣預作處理使先腐爛，飽和後作為水分、有機質調整材，可縮短木屑醱酵時間，並達脫臭之目的，其堆肥現場情況如圖 3.12 所示。



圖 3.12 密閉翻堆法現場情況

#### 3.4.5 影響因子

堆肥醱酵除適當碳源、氮源比例(碳氮比)之調整外，適宜水分及充分供氧是絕對必需之條件，而適當之翻堆，方可將堆肥材料充分混合成均質狀態，並藉由翻堆將底層、上層之堆肥材料充分攪拌混合，使整堆之堆肥材料獲得最佳之醱酵條件。但堆肥翻動會使堆肥內之醱酵熱散失，使醱酵溫度無法達到殺菌之高溫，

因此，如何控制翻堆時間、次數，如何在停止翻堆時仍保持充分之供氧，便成為堆肥醱酵槽最重要之設計。

堆肥醱酵基本上是微生物之分解作用，因此，提供堆肥微生物最佳之生長條件，即可達到最好之醱酵，而堆肥醱酵主要之微生物為真菌、放線菌、細菌等，真菌分解木質素、纖維素之能力為細菌的一百倍以上，但真菌類為好氧性微生物，故需提供充分之氧氣，使其大量繁殖，以加速堆肥之分解<sup>[50、36]</sup>。因此，送風系統可說是堆肥製作之重要影響因子之一。

因此，密閉翻堆法的影響因子，除了與傳統堆肥法及通氣靜堆法的基本條件因子相同以外，翻堆與送風處理是密閉式堆肥醱酵場房最主要之關鍵技術。

### 1. 翻堆技術

堆肥翻堆機械，基本上為取代人工翻堆減少人力操作，故不宜使用昂貴之機械，而增加成本，在選擇翻堆機械上，應考慮構造簡單，操作維護容易，且單位時間翻堆量最大之機械。翻堆過程雖可達到供氧但翻堆過後，堆肥經攪拌，將裡外成分混合，微生物得到更好之養分、水分，馬上活躍起來，相對亦消耗堆肥內之氧氣，經一段時間後氧氣不足，微生物又停止醱酵，因此，送風系統為充分供氧之必要設備。

### 2. 送風處理技術

堆肥好氧性醱酵，固然需送風供氧，但送風過量，則造成醱酵熱量散失，溫度下降且耗費電力，送風不足，則形成厭氧狀態產生惡臭。而送風量控制的考量因子包括：堆積體的溫度、氧氣需求量及水分含量等，一般常用堆肥溫度作為送風量的指標。

### 3.4.6 環境因素

一個規劃良好的密閉翻堆法，是形成一個大型密閉之醱酵廠房，在操作相當正常與熟稔情況下，一般受到外界環境因子影響的機會不大。抽風機、送風機之抽風、送風間相互調控，可控制密閉場房內之水蒸氣含量、氧氣量，再配合自動化偵測及儀控，而密閉式透明採光屋頂之設計，使堆肥醱酵廠房內部之氣溫高達50~60℃，達到高溫快速醱酵之目的，完全改變過去開放式堆肥場，低溫醱酵及無法控制醱酵條件之問題。堆積醱酵處理之翻堆機則設計自動化操作，人員不進入，形成一密閉連續製作堆肥廠房，可以防止臭味污染。在翻堆機、送風機、抽風機整合連線，再配合除臭設備，即可達成自動化生產及無人工廠之目標，完全

改變過去堆肥場髒亂惡臭之現象。

### 3.4.7 臭味產生與控制

密閉式堆肥醱酵廠房，主要之結構係將堆肥醱酵、風乾作用產生大量臭味區域，以密閉式建築方式，將堆肥醱酵產生之臭氣密封於廠房空間內，再利用抽風機及抽風管系統抽除臭氣，並使廠房產生負壓，防止臭氣外洩，抽除之臭氣，再經由脫臭槽進行脫臭。廠房內之空氣經抽氣後，外界新鮮之空氣於是從原料入口及成品出口進入密閉廠房內，進行換氣，供給堆肥醱酵所需之氧量，同時利用原料入口將原料堆置區之臭味抽除，並利用成品出口將倉庫區之臭味抽除，整體廠房形成一負壓廠房。在環保要求下，堆肥醱酵所需之送風供氧，成為密閉式堆肥醱酵廠房主要之技術關鍵，因此，必須研發有效之送風機及送風管系統，並以氣體循環送風方式進行送風供氧，即抽取廠房內之空氣進行送風供氧，而非自廠房外部取空氣送進廠房內，以防止廠房內臭氣因送風而將臭氣排擠至場房外，造成污染。

### 3.4.8 堆肥場的規劃

由於堆肥化過程主要藉由好氧狀態下微生物的活動，以使有機物分解，因此利用翻堆機械與強制送風系統的妥善配合安排，以提供足夠的空氣，如此可以達成快速分解堆肥之目標。另外，為考量堆肥化過程所產生的臭味收集及消除處理問題，亦應將整廠的通風系統做一完整的規劃。因此有“密閉式堆肥廠房”之發展與應用，是密閉翻堆法的最佳範例之一。

密閉式堆肥廠主要場地規劃包括原料堆置區、醱酵製作區、後製處理區、倉庫區四大部分；堆肥醱酵、後製處理作用會產生大量臭味區域，以密閉式建築方式，將堆肥醱酵產生之臭氣密封於廠房空間內，再利用抽風機及抽風管系統抽除臭氣，再經由脫臭槽進行脫臭。而為期能使堆肥分解醱酵順利快速進行，適當之翻堆處理，方可將堆肥材料充分混合成均質狀態，並藉由翻堆將底層、上層之堆肥材料充分攪拌混合，使整堆之堆肥材料獲得最佳之醱酵條件。適當之送風處理，可以提供充分之氧氣，使分解堆肥的微生物大量繁殖，以加速堆肥之分解。因此，如何控制翻堆時間、次數，如何在停止翻堆時，配合適當的送風處理技術，以期保持充分之供氧，與維持堆肥分解所需的溫度變化，便成為堆肥醱酵槽最重要之規劃設計。脫臭槽配合密閉式廠房之氣體空間，進行配置抽風機，抽風機之風壓、風量再配合脫臭槽之面積、通過濾材速率進行計算，使臭氣與脫臭介質接

觸時間達有效之臭味防治效果，脫臭槽介質為木屑所形成之生物濾床，配合灑水設施，使生物濾床維持一定之濕度，利用微生物轉換分解臭氣，消除堆肥所產生之臭味，防止造成空氣污染。

### **3.5 高速醱酵法堆肥技術與設備**

高速醱酵堆肥法是近年來新型發展的堆肥製作技術，基本上是將好氧性槽式堆肥法所應用的生物性反應槽(bioreactor)，再進一步研發改進成反應槽箱。通常在高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱內，同時擁有生物性分解醱酵反應與物理性分解反應兩種作用機制，如此依理推論可以更加速堆肥材料之分解醱酵，讓堆肥快速腐熟，所以號稱為高速醱酵堆肥法。

#### **3.5.1 高速醱酵堆肥法的優缺點**

高速醱酵堆肥法的主要優點為：

- 1.可以縮短堆肥腐熟時間。
- 2.反應槽內裝置加溫設備，可順利達到適宜的殺菌效果。
- 3.堆肥材料之分解醱酵均在反應槽箱內進行，除臭效益與環境品質可以獲得良好的控管。

高速醱酵堆肥法的主要缺點則為：

- 1.反應槽內同時擁有生物性分解醱酵反應與物理性分解反應兩種功能，設備成本較高。
- 2.需要較精密的操作技術與嚴格的監控。
- 3.設備系統較複雜，需較高的操作與維護成本。
- 4.由於本堆肥法強調快速腐熟，但如未能適當檢測堆肥腐熟時程，並據以建立標準作業規範，則堆肥品質之控管堪虞。
- 5.堆肥產出量較少。
- 6.需注意醱酵機材質，避免重金屬溶出。

#### **3.5.2 處理程序**

高速醱酵堆肥法同樣是將有機廢棄物置於一反應槽箱內進行堆肥製作，但除

了利用強制送風與自動攪拌翻堆系統，調配出好氧性的環境條件外，還會加上裝置溫度控制系統，以調整控制反應槽內的溫度變化，營造出更適合微生物分解的溫度條件，讓有機廢棄物能夠進行更快速的發酵，而縮短堆肥產製的時間。高速發酵堆肥法的基本處理系統如圖 3.13。

- 1.混合及調整水分含量：事先依據主原料之理化特性，例如碳氮比值、含水率等，規劃適當的副資材種類與用量。在此階段將主原料與副資材初步混合及調整水分含量至約 60%，而後輸送進入反應槽箱進行分解發酵。
- 2.分解發酵：當堆肥材料輸送進入反應槽箱內時，立即配合適當的自動攪拌翻堆、強制送風與溫度控制系統，使反應槽箱內形成良好的好氧與溫度條件，如此可以讓分解有機物的微生物能夠大量繁殖，而且快速地進行分解發酵，此部分可歸屬於生物性的分解發酵。另由於有機材料在反應槽箱內，會經過適當的攪拌翻堆，也會呈現出類似混合與粉碎的效果，所以可以改善堆肥材料的物理性，使其更細疏鬆軟，而且反應槽箱內的溫控裝置，除了可以調控與穩定堆肥分解所需的溫度外，亦會讓堆肥材料水分含量因蒸發而逐漸降低，而減少必須調整或去除高水分含量之困擾。持續適當攪拌與高溫處理，亦可使堆肥材料分解，此部分可歸屬於物理性的分解。因此綜合調控攪拌翻堆、強制送風與溫度控制等系統，可以讓反應槽箱內的各項環境因子，都能夠設定讓微生物的分解效率達到最大，也就是使堆肥能夠加速分解發酵與腐熟。
- 3.後製處理：由於高速發酵堆肥法強調一段式處理流程，經過反應槽箱的分解發酵後，即為腐熟堆肥，所以後製處理僅為過篩與包裝出貨，供農民使用於農地。

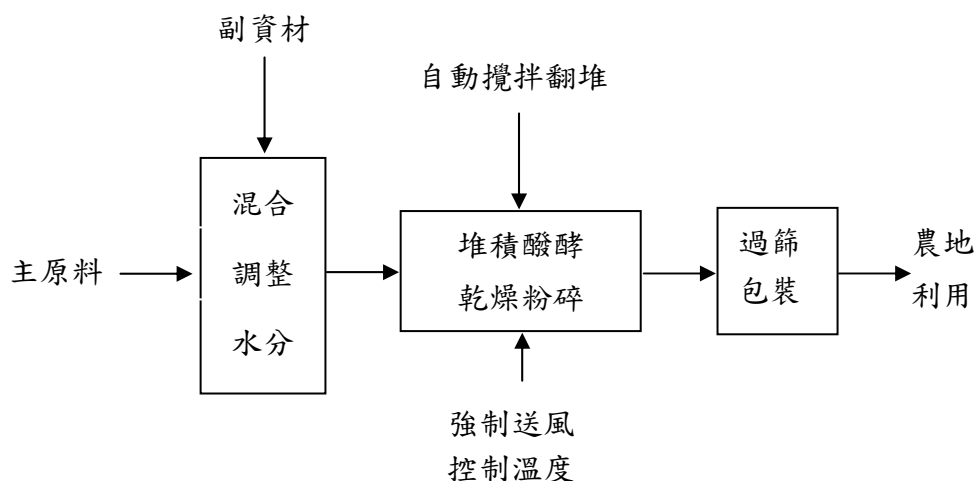


圖 3.13 高速發酵堆肥法處理程序圖



### 3.5.3 堆積方式

高速醱酵堆肥法通常採用一段式處理流程，有機廢棄物的主要分解醱酵階段通常於「反應槽箱」內進行，所以稱之為分解醱酵槽箱，其停留時間必須視堆肥材料的性質及反應槽箱的構造與作用功能而定。高速醱酵堆肥法的反應槽箱通常是採用攪拌槽型式，而且裝置有溫控系統。此系統主要藉由攪拌機械，定時的運轉而使原物料混合、攪拌兼翻堆效用。一般反應槽箱通常為上方開口式，氣體由底部強制送入，而槽箱體可為矩形或圓柱形，一般堆肥槽箱之深度約 2~3 公尺，且容積量不宜過大，以免影響到腐熟時程或堆肥品質。堆肥材料停留反應槽箱的時間，則需視有機廢棄物之材質特性與攪拌翻堆、強制送風、溫度調控等條件因子而設定。

### 3.5.4 設備概要

高速醱酵堆肥法的分解醱酵階段通常於「反應槽箱」內進行，所以主要設備即以此反應槽箱為主體，其構造與作用機制之原理，基本上與好氧性槽式堆肥法極為相似，但多增加了溫控裝置。因此，凡是牽涉到堆肥攪拌翻堆、溫度調控、強制送風及脫臭抽風等系統，必須併組整合設置於此反應槽箱。高速醱酵現場堆肥情況如圖 3.14 所示，而依照整合後之設備系統，概略可分成四大系統：



圖 3.14 高速醱酵堆肥法現場情況

## 1.攪拌翻堆系統

攪拌翻堆系統一般是利用「反應槽箱」製作堆肥的重要設備之一，高速醱酵堆肥反應槽箱內部情況如圖 3.15 所示。目的在於讓有機材料進行混合攪拌與翻堆，以利有機材料的分解醱酵。當有機材料從反應槽箱一端送入，必須在反應槽內停留一段時間，經過適當的分解醱酵後，再由反應槽箱另一端送出，即為初級腐熟堆肥。堆肥攪拌翻堆設備的主要功能，既然是要將有機材料加以混合、攪拌及翻堆等，所以必須考量到反應槽的處理容量，另外有機材料的理化特性如水分含量、粘著性、化學成分含量等，均會影響到機械的運作效能，尤其當經過長期使用後，機械設備的保養與維修等，又將形成另一問題。



圖 3.15 高速醱酵堆肥反應槽箱內部情況

## 2.強制送風系統

為期能使堆肥材料加速分解醱酵，基本上，要維持理想的好氧性條件，以期進行效率較高的好氧性分解，而進行強制送風，以提供較佳的堆肥化條件，可以達到最好的醱酵。在攪拌翻堆的間隙中，實施強制送風，以供應足量的氧氣，可以使好氧性微生物大量繁殖，加速堆肥之分解。但強制送風必須配合醱酵之需求，以維持堆肥好氧性。當送風過量，則造成醱酵熱量散失，溫度下降且耗費電力，送風不足，則形成厭氧狀態產生惡臭。一般堆肥含水率關係通氣性，當堆肥醱酵前後之含水率不同，其送風量亦不同，應依堆肥含水率不同而分段設計與控制送風時間及風量。

### 3.溫控系統

一般當堆肥體能夠保持 55°C 以上適當的高溫，可以有效地消滅堆肥材料中的病菌、蟲卵、雜草種仔等不良因子，並使堆肥材料持續進行分解醱酵。但一般堆肥體之溫度分布可區分成幾個不同區域，如溫度小於 55°C 的”低溫區”及此區內部周圍大於 55°C 的”高溫區”。所以為讓原物料在反應槽箱內，能夠形成一種連續性的堆肥製作流程，除了在反應槽箱中實施攪拌、移動及翻堆等動作，利用溫控系統保持 55°C 以上適當的高溫，可以更加速微生物的繁殖與活性，讓有機材料能夠快速地被分解醱酵與腐熟。大多數的溫控系統必須消耗較多的能源，所以利用高速醱酵堆肥法時，相關的能源供應必須相當充足，而其成本支出，亦須加以評估考量。

### 4.除臭系統

一般高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱，大多標榜著具有除臭或減臭的功能。除了利用攪拌翻堆及強制送風系統，以維持好氧性分解作用，減少因厭氧醱酵而導致之臭氣外，仍須依據反應槽箱內外空氣需求量進行估算，使抽風量略大於反應槽箱內之總送風量。如此反應槽箱內保持好氧性，而臭氣又能夠經由抽氣系統，抽至脫臭槽進行脫臭作用。另有部分的高速醱酵堆肥法利用有益微生物之添加，以期達到加速分解與腐熟，又常標榜具有除臭功能，所以除臭系統除了傳統的抽風除臭槽外，也有一部分使用有益微生物進行除臭作用。

#### 3.5.5 影響因子

一般在堆肥化過程中，必須配合堆肥材料之理化特性，施予適當的堆肥化條件，以培養出適宜的分解微生物相，才能達到促進堆肥材料快速分解腐熟之目標。高速醱酵堆肥法通常採用一段式處理流程，有機廢棄物經過反應槽箱的分解醱酵階段後，通常可達到一定的腐熟程度。所以其滯留於反應槽箱的時間，也就是影響堆肥材料分解醱酵的主要因子，必須視堆肥材料的特性及反應槽箱的構造與作用功能而定。由於不同的有機廢棄物有不同的材料特性，如水分含量、粘著性、有機質含量、碳氮比值、化學成分含量等理化特性，均是影響堆肥化作用的重要因素之一。同時必須考量到反應槽箱的處理容量，以及包括攪拌翻堆、溫度調控、強制送風等系統之總合效能。基本上，堆肥材料當使用不同種類或比例用量不同時，其所需求的堆肥化條件，如氧氣量、溫度等即不同，所以為期能提升高速醱酵堆肥法的使用效能，必須針對不同種類的有機廢棄物，建立適宜的標準作業規範與檢測準則。

### 3.5.6 環境因素

高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱，相當於一個密閉式堆肥箱或小型的密閉式堆肥廠房。因此在此反應槽箱內，如果可以調控出理想的堆肥化條件，就能使堆肥材料快速腐熟。而在反應槽箱外部的環境因素，能夠影響到反應槽內部分解醱酵之因子即相當有限。但仍然建議反應槽箱最好設置在廠房內，首先可以避免雨水及日曬等天候因素之困擾，至少在廠房內，包括堆肥材料混合與調整水分之前處理，以及過篩與包裝等後製處理，均能夠在適當的環境下進行。另外由於高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱，所使用的堆肥化處理設備，包括堆肥材料攪拌翻堆、溫度調控、強制送風及脫臭抽風等系統，均需要一定量的電力能源，所以電力能源供應必須相當充足與穩定，以使高速醱酵堆肥反應槽箱能夠順利運作。

### 3.5.7 臭味產生與控制

由於高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱，與密閉式堆肥廠房及好氧性槽式堆肥法相當近似，所以高速醱酵堆肥法的臭味產生與控制，可以參照 3.3.7 及 3.4.7。其主要的控制方式大多區分為臭氣產生源減量與抽氣除臭兩大方向。惟在臭氣的產生源減量方面，高速醱酵堆肥法除了調控反應槽箱內維持好氧性條件外，另有部分廠商推薦利用添加有益微生物，以達到除臭功能。

### 3.5.8 堆肥場的規劃

一般高速醱酵堆肥法所使用的反應槽箱有一定的容積限制，也因此在此反應槽箱內，較容易調控出理想的堆肥化條件，以使堆肥材料能夠達到快速腐熟之目標。雖然每批次所能處理的堆肥材料容積不大，但由於標榜能夠快速腐熟，所以能夠短期內製成完熟的堆肥成品。因此，高速醱酵堆肥法製作堆肥方式並非連續性的製程，而是採取批次的生產模式。所以在堆肥場的規劃設計上，即需計算出反應槽箱每批次的產量與所需時間，以統計出年產能，再由堆肥場整體預計處理之堆肥材料，反推算出所需求的反應槽箱數量。再逐一安排原物料之暫存區、堆肥材料混合區，反應槽箱製作堆肥區、除臭槽區、後製處理區及成品貯存區等，惟相關區域之間的運送及操作動線，也必須詳細規劃。當然廠房外部環境之綠美化及隔離等，也是廠區整體形象的規劃重點之一。

### 3.6 液態醱酵技術與設備

本法主要適用處理對象，多數是液態或含水量較高的有機廢棄物，例如豬糞尿混合液，或是食品廠加工廢液如味素廢液等，但也有肥料廠為產製液態有機肥料商品，而採用高養分含量之有機廢棄物，如魚渣、肉骨渣或豆渣等，經由液態醱酵過程而製造成液態有機肥料。惟如依照醱酵製作目標之不同，又可分成好氧式與厭氧式兩種完全不同的醱酵型態，其中好氧式醱酵主標的產物是液態有機肥料，厭氧式醱酵主標的產物是沼氣，而且一般商業生產常採取前者為主，以環保處理常採取後者為主。

#### 3.6.1 液態醱酵法的優缺點

液態醱酵法的優點：

- 1.可直接適用液態或含水量較高的有機廢棄物，不需因調整水分含量而添加副資材。
- 2.所產製的主標的產物不論是液態有機肥或沼氣，其特性完全與堆肥不同，且具有其特殊的功能性，在市場定位與競爭上有所區隔。
- 3.在一個操作技術良好的液態醱酵系統中，處理過程所需時間，相對於一般堆肥製作會較短。

液態醱酵法的缺點：

- 1.液態醱酵系統需求較精密的操作技術與嚴格的監控。
- 2.液態醱酵系統的主標的產物不論是液態有機肥或沼氣，需求較高的品質標準與使用技巧。
- 3.由於涉及較複雜的設備系統，不僅需較高的操作與維護成本，同時也易因設備問題而影響生產。

#### 3.6.2 處理程序

基本上，液態醱酵厭氧及好氧處理是分別利用厭氧性或好氧性微生物，在液態的環境下，將有機廢棄物加以分解醱酵，而生成沼氣或液態有機肥料，所以厭氧及好氧處理程序亦各有特點：

- 1.液態醱酵厭氧處理系統(圖 3.16)<sup>[41]</sup>：

## (1) 甲烷化作用

厭氧醱酵是微生物在缺乏氧氣的狀態下，將構造複雜之有機物分解轉變為簡單之成分，最後產生甲烷(沼氣)和二氧化碳等。此種厭氧醱酵過程，一般可分成二個主要階段，即酸生成階段之酸化期和甲烷產生階段之甲烷化期，其過程相當複雜。在第一階段酸化期，由兼性細菌群(facultative bacteria)和厭氧細菌群(acidogenic bacteria)將蛋白質、碳水化合物、脂肪等轉化成以脂肪酸為主之中間產物。在第二階段甲烷化期，甲烷化細菌(methanogenic bacteria)利用此中間產物形成最終產物，甲烷及二氧化碳。從有機酸轉變成甲烷需經過一連串複雜的生化反應步驟，甲烷之主要來源為由乙酸的分解及部分來自二氧化碳的還原。

乙酸的分解：



二氧化碳的還原：



由於甲烷化細菌群均為絕對厭氧細菌，即使很少量的氧氣亦足以致命。所以必須在絕對厭氧的狀況下，才能使甲烷化作用迅速進行，因此在此階段的反應槽必須儘量隔絕氧氣的進出，讓有機廢棄物順利進行甲烷化作用，生成目標產品「甲烷」，即沼氣。

## (2) 淨化作用

在經過甲烷化作用的處理程序後，除了主產品「甲烷」外，會有微生物污泥及廢水的產出。其中一部分微生物污泥可經由迴流裝置，回歸甲烷化作用系統中再生利用，另一部分微生物污泥可過濾後，做為固態堆肥材料來源。此外，在廢水方面，則必須經過適當的淨化作用，目前通常採用曝氣法及水生植物法予以處理，當符合排放水標準時，才能排放或農地利用。

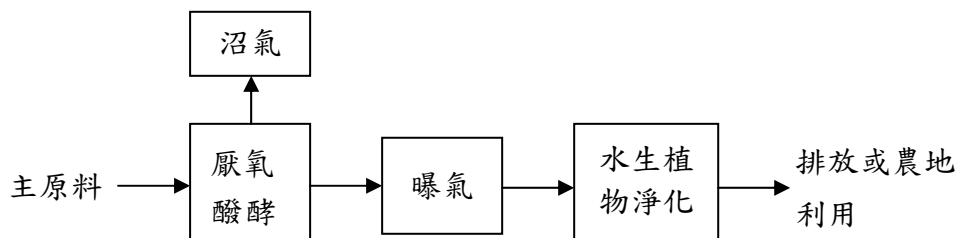
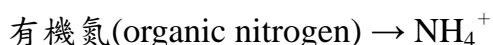


圖 3.16 液態醱酵法厭氧處理程序圖<sup>[41]</sup>

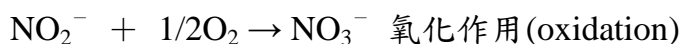
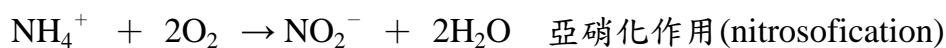
## 2.液態醱酵好氧處理系統(圖 3.17)：

液態醱酵好氧處理系統的目標產物即為液態有機肥料，其原料即應是含有較高養分之有機廢棄物，使產品含有豐富的植物生長所需的養分，如氮、磷等成分。而有機廢棄物在好氧系統下，會由微生物的礦化作用(mineralization)，最後生成氮、磷等肥料成分。以有機氮分解為例，其中包括氨化作用(ammonification)、硝化作用(nitrification)等，產出物包括銨態氮、亞硝酸、硝酸等。

氨化作用：



硝化作用：



因此在液態醱酵好氧系統的處理程序應包括主原料與副資材的混合、主反應槽內的好氧醱酵、產品品質分析管制與包裝及商品行銷等，其中在主反應槽內應施予強制送風、攪拌或 pH 及溫度控制等步驟，以維持進行分解醱酵的好氧條件，才能生成品質優良的有機液肥。

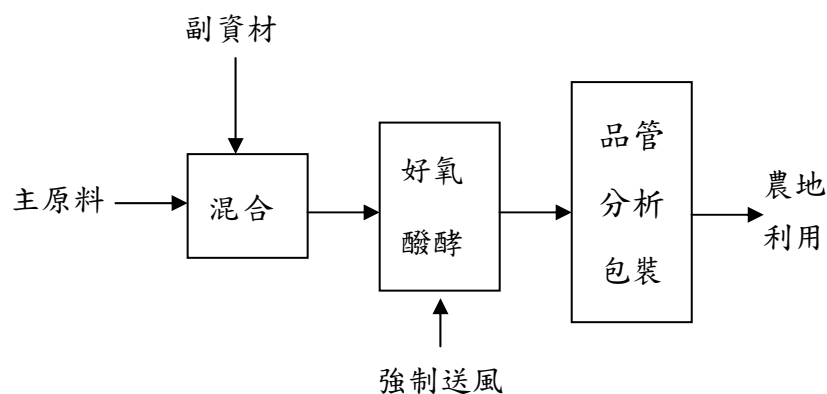


圖 3.17 液態醱酵法好氧處理程序圖

### 3.6.3 醱酵方式

液態醱酵處理系統主要分成厭氧型或好氧型，由於主要醱酵處理於「生物反應槽」的密閉系統內進行，厭氧型或好氧型處理反應槽主要差異性在於是否設置強制送風處理系統，事實上，兩者基本的堆積製作方式相近似。以下就使用案例

加以說明：

### 1. 厭氧式醱酵法<sup>[41]</sup>

目前厭氧醱酵法的基本處理方法厭氧接觸處理法(anaerobic contact process)如圖 3.18。最早的厭氧處理方法是流動式(flow type)，亦即廢水進入醱酵槽內停留一段時間後，由於連續進入廢水，同時也不斷地把處理過之消化液與微生物混合一起排出，此法即為傳統的處理方法。為改良此傳統的方法，把擬與消化液一起排出的微生物污泥使之沉澱，再讓其回流與進入之廢水混合，叫做厭氧接觸處理法或厭氧活性污泥處理法(anaerobic activated sludge process)，這個方法適合於一般家畜糞尿水之處理。此外一種處理可溶性廢水的方法，叫做厭氧過濾處理法(anaerobic filter process)，這個方法一般較適合於處理較稀的可溶性廢水。而由底部加入廢水，經一些濾層(填充物)，廢水由底部上升至上層而流出。過濾層除了把懸浮物過濾外，在此濾層存有很多微生物群，可迅速有效地達到處理效果。

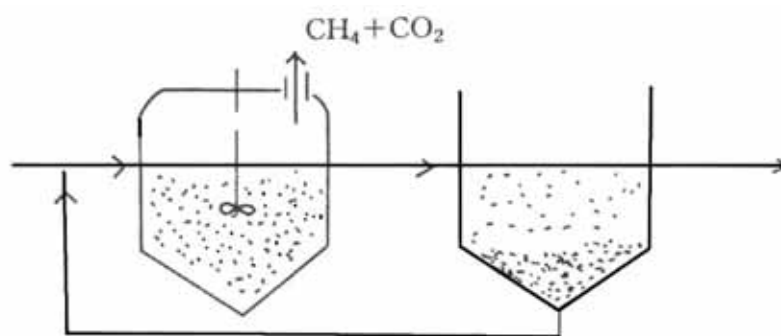


圖 3.18 液態醱酵法厭氧處理示意圖<sup>[41]</sup>

### 2. 好氧式醱酵法

好氧式醱酵法的基本處理方法包括混合與調整、醱酵處理及品管監測等三個主要步驟(圖 3.19)，分述如下：

#### (1) 混合與調整

根據原料的基本特性，決定適當的副資材種類與用量，加以混合均勻，並調整每一批原物料之理化特性如水分含量及 pH 值等，再輸送進入第二步驟醱酵處理。

#### (2) 醱酵處理



在配置適當強制送風系統的醱酵槽中，控制醱酵槽內原物料停留反應時間、通氣量(單位混合物重之氣體體積)、通氣速率( $\text{m}^3/\text{min}$ )、靜壓、溫度、含氧量、pH值等條件因子，使原物料在適當的好氧條件下，迅速被分解醱酵成有機液肥。另外在醱酵處理系統中，也需設置適當的除臭設備，進行臭味的控制與監測。

### (3)品管監測

在此處理系統中，進行的步驟包括微生物污泥之沉澱與回流，產出物之品質分析監測、包裝、貯存等。

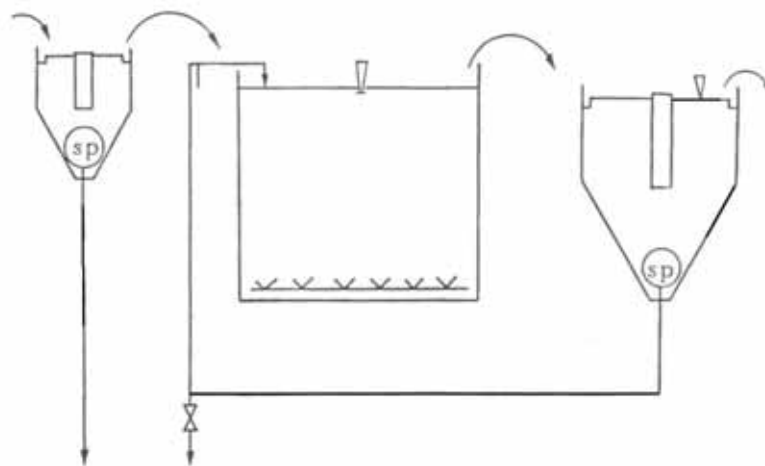


圖 3.19 液態醱酵法好氧處理示意圖<sup>[41]</sup>

### 3.6.4 設備概要

液態醱酵現場情況如圖 3.20，其處理系統通常採多段式的處理流程，主要醱酵階段通常於「生物反應槽」(bioreactor)內進行，其停留時間視材料的性質及反應器的型式與構造而定。厭氧與好氧處理反應槽主要差異性在於是否設置強制送風處理系統，另兩者反應槽的條件因子亦不同。以下就使用案例加以說明設備概況。

#### 1.厭氧式醱酵法<sup>[41]</sup>

以厭氧醱酵法處理有機廢水時，應利用厭氧醱酵基本原理和影響醱酵液之各種環境因素，以設計最適合於處理廢水之醱酵槽。醱酵槽之模式有直立式

(vertical type)或臥置(horizontal type)，單槽或複槽等，而其最主要的原則即為如何提高醱酵槽內之生物污泥濃度，以加速醱酵之進行，彌補甲烷化細菌生長緩慢之缺點。因污泥之回流或過濾處理均為提高污泥停留(sludge retention time, SRT)在醱酵槽時間之方法。此外，醱酵槽是否需要攪拌及攪拌方式、加溫處理及加溫方式均會影響醱酵之效率。由於厭氧醱酵法處理較一般好氧處理法緩慢，需要較大之醱酵槽容積，及在處理過程中所產生之沼氣含有硫化氫和飽和水蒸氣，對金屬類會有腐蝕之作用。對於醱酵槽之建造材料必須考慮價格便宜外，且必須能耐酸、耐鹼和耐日光曬之材料。

## 2.好氧式醱酵法

以好氧醱酵法產製有機液肥時，應利用好氧醱酵的基本原理和影響醱酵液之各種環境因素，以設計最適合於產製有機液肥之醱酵槽。除了部分與上述厭氧醱酵槽相同外，其最大的設計特點在於強制送風系統，因此應設計如何結合強制送風、攪拌及加溫處理系統。液肥材料經過攪拌，將所有材料成分充分混合，微生物得到更好之氧氣、養分、水分，馬上活躍起來，相對亦消耗液肥內之氧氣。所以攪拌過程雖可達到供氧，但攪拌過後，經一段時間後氧氣逐漸不足，微生物又停止醱酵。因此，定期實施攪拌，以及配合送風系統，為充分供氧分解之必要設備。



圖 3.20 液態醱酵法現場情況

## 3.6.5 影響因子

### 1.液態醱酵厭氧處理系統<sup>[41]</sup>

厭氧醱酵除了必須保持反應槽在厭氧狀態(anaerobic condition)外，其他影

響厭氧醱酵進行之因素有溫度、醱酵液停留時間(hydraulic retention time, HRT)、有機負荷量(loading rate)、酸鹼度及是否含有毒之物質如重金屬類。

#### (1)溫度

一般厭氧醱酵可在 5~60°C 之間發生，而可將此範圍劃分為三個溫區；即 20°C 以下，20~45°C 和 45~60°C，其醱酵效果以高溫優於中溫，中溫又優於常溫。惟厭氧醱酵進行時須避免溫度之急變，因溫度之急變會影響到整個微生物群之改變，因之醱酵會立即停頓，經數日後再慢慢回升穩定。

#### (2)反應時間

以豬舍廢水為例，一般以理論水力停留時間(theoretical hydraulic retention time, THRT)表示，如下式：

$$\text{THRT(天)} = \frac{\text{醱酵槽有效容積(L)}}{[\text{豬糞尿排泄量(L/天)} + \text{沖洗豬舍水量(L/天)}]}$$

假如欲使 THRT 在某一定之天數時，醱酵槽所需之容積視豬糞尿排泄量和沖洗豬舍的水量來決定。豬糞尿之排泄量有一定之範圍，而豬舍之沖洗水量因豬舍構造之不同差異甚大。故如欲提高醱酵液之濃度，減少沖洗豬舍水量，必須從豬舍地面之構造改進，才能收到事半功倍之效果。此外醱酵液之停留時間和濃度均與溫度有密切之關係。

#### (3)有機負荷量

$$\text{有機負荷量} = \frac{\text{添加量(L/天)} \times \text{濃度(g/L)}}{\text{醱酵槽容積(L)}}$$

由上式可知，如果盡量提高有機廢水濃度，而減少添加量，不但可縮短水力停留時間，且對於醱酵槽內之溫度變化影響較少。但豬糞尿之濃度也有其界限，最好能控制豬糞尿與水之比例在 1 比 3 最為適當<sup>[43]</sup>。

#### (4)pH

pH 雖然對厭氧醱酵影響大，惟嚴格的說 pH 仍表示在醱酵過程中之一現象，亦即反映消化的過程。因之，pH 僅能視為醱酵是否正常之指標，而不

是影響因素之一。在單槽之醱酵槽 pH 值在 7.2~7.6 之間表示最為良好，而一般在 6.0~8.0 之間仍屬正常，而在複式醱酵槽，其酸化期之 pH 值在 5.0~6.5 之間，甲烷化期之 pH 值在 7.0~8.5 之間表示正常。

#### (5)有毒物質

有機廢棄物如果含有重金屬等物質會引起沼氣細菌之毒害，而一般豬舍廢水不會引起對厭氧醱酵細菌有毒害之物質，除非稀釋水分太多或太少，而一般稀釋水分必需在糞尿量之 3 倍以上才不會引起氨之中毒。

### 2.液態醱酵好氧處理系統

#### (1)強制送風

基本上，液態醱酵好氧處理亦是利用好氧性微生物將有機廢棄物加以分解醱酵，而生成品質穩定的液態有機肥料，才能回歸農業栽培使用，而不至於影響作物生長或造成環境不良影響，所以反應槽強制送風方式、通氣速率(m/min)，通氣量(單位混合物重之氣體體積)及反應槽內靜壓(static head pressure)等操作因子，均將影響好氧性微生物之繁殖與其分解活性。由於上述的條件因子，將會因為所處理原料特性不同而有所差異，因此，必須針對處理材料特性加以研究改進，最後才能建立最佳的操作條件因子。

#### (2)攪拌

液肥材料經過攪拌，將所有材料成分充分混合，微生物得到更好之氧氣、養分、水分，馬上活躍起來，相對亦消耗液肥內之氧氣，所以攪拌過程雖可達到供氧，但攪拌過後，經一段時間後氧氣逐漸不足，微生物又停止醱酵。因此，定期實施攪拌，以及配合強制送風系統，為充分供氧分解之必要設備。

#### (3)原料的調配

目前肥料工廠商業化生產之各項堆肥化條件，可藉由反應槽之自動化控制，而得最佳之方式，因此倒進什麼樣的原料即產生什麼樣的液肥，在商業生產上，就必須著重在原料的調配。

### 3.6.6 環境因素

液態醱酵處理系統不論是厭氧型或好氧型，主要醱酵處理於「生物反應槽」的密閉系統內進行，所以較不易遭受外界氣候因子之干擾與影響。且就選擇液態

醱酵處理系統之工廠來看，一般有幾項因素，如土地應用的限制、產品成分較豐富、人力需求較少、臭味控制較佳、較好的視覺景觀、民眾較易接受等，都比其他堆肥廠擁有較佳的條件因素，也是有機廢棄物再生利用處理方式中，選擇液態醱酵處理系統的優勢之一。

### 3.6.7 臭味產生與控制

液態醱酵處理系統主要醱酵階段通常於「生物反應槽」的密閉系統內進行，臭味控制較容易執行，同時對臭味控制之效果更佳，但仍必須詳列所有可能產生臭味之來源，以及擬訂每個臭味產生源之控制計劃，包括收集及抑制計劃、處理及排放方式。一般除臭處理系統亦與堆肥製作處理大致相同，可參考本章其他章節中各種堆肥處理系統內容所述。

### 3.6.8 堆肥場的規劃

一般液態醱酵處理系統可略分為下列幾個單元，包括原物料管理(原料及副資材貯存、混合、輸送)、反應系統(醱酵處理系統、臭味控制系統)、後製系統(品管、包裝、貯存、市場行銷等)。因此在整體製造系統的規劃上，應注意以下事項：

#### 1. 原物料管理系統規劃：

##### (1) 原物料的貯存、混合系統

在原物料特性上，應瞭解原物料理化性質、產出量及可能污染，再依據其特性及目標產品，選擇出適宜的副資材及混合比率，如此才能規劃出理想的原料及副資材之貯存、混合等場地與設備。

##### (2) 原物料的輸送系統

應規劃事項包括運轉機械、結構材質、保養需求、監控機制、常見問題之維修步驟、能源需求等。

#### 2. 醱酵反應系統規劃：

在本系統應規劃事項包括(1)醱酵槽的型式、尺寸及體積；(2)醱酵槽內原物料停留反應時間；(3)醱酵槽內強制送風系統的設置、控制與監測；(4)醱酵槽內的基本條件因子設定、控制與監測。包括通氣量(單位混合物重之氣體體積)、通氣速率( $\text{m}^3/\text{min}$ )、靜壓、溫度、含氧量、pH值等條件因子；(5)醱酵系統中除臭系統之設置、控制與監測；(6)操作員人力需求、技能需求(設備操作、程序控制、設備維修)、設定標準操作程序(SOP)。

### 3.後製系統規劃：

- (1)在厭氧式醱酵上，由於主標的產物是沼氣，而且以環保處理為主。所以在此應較偏向於沼氣再利用方式之規劃。由於厭氧式醱酵產出的沼氣，其熱值約為 5,500~6,000 kcal/m<sup>3</sup>。目前常見的利用方式有沼氣豬仔保溫、沼氣發電、沼氣曝氣機及沼氣焚化爐等。
- (2)在好氧式醱酵上，由於主標的產物是液態有機肥料，而且較屬於商業生產為主。所以在此的規劃主軸，應包括產出物的品質分析監測、包裝、貯存、市場行銷等。

## 第四章 堆肥技術評估與設備選用程序

### 4.1 堆肥技術評估流程

要興建一座堆肥廠，必須有效的評估建廠投資的內部資源條件及外在環境影響因素。所謂內部資源條件，就是公司目前或未來營運狀況、人力資源、公司發展策略及研發能力，外在環境影響因素，就是原物料來源的穩定性、產品的市場需求及主要的銷售管道等。以下分別就興建一座堆肥廠所需考慮的重要因素提出說明。

#### 4.1.1 堆肥廠主要技術項目評估

設計規劃堆肥廠建廠評估流程，必須先選擇適當的有機物並對其性質及所需的處理量做分析與實驗，再決定堆肥化的製程方式，並計算其堆肥化的質量平衡，堆肥成品品質控管及成品市場行銷，其評估流程如圖 4.1 所示。

##### 1. 有機物性質及處理量

堆肥化前需作有機物產生源數量調查及成分進行分析，包括含水量、pH、EC 值、N、P、K、C、重金屬含量及 C/N 比等。並可調整有機物配比製成品質優良之堆肥，對有害重金屬成分之檢測項目有 As、Hg、Cd、Pb、Cu、Ni、Cr、Zn 等，以避免所產生之堆肥成品施用危害土壤。

##### 2. 堆肥廠製程選擇

應確立堆肥廠營運目標為有機廢棄物資源再利用，並深入瞭解所要製成之肥料屬於何種性質、所需要堆肥的時程及工廠規模，以掌握堆肥程序的控制條件，才能選擇最佳處理流程。

##### 3. 堆肥化流程質量平衡

對每一步驟之處理流程經計算質量消長達到平衡，即可規劃各主要處理單元之設備及廠房，其主要設備包含貯存設施、副資材添加單元、混合調配、發酵翻堆、過篩包裝、除臭設備、廢水處理、各輸送機及檢驗成分設備等，以利營運操作。

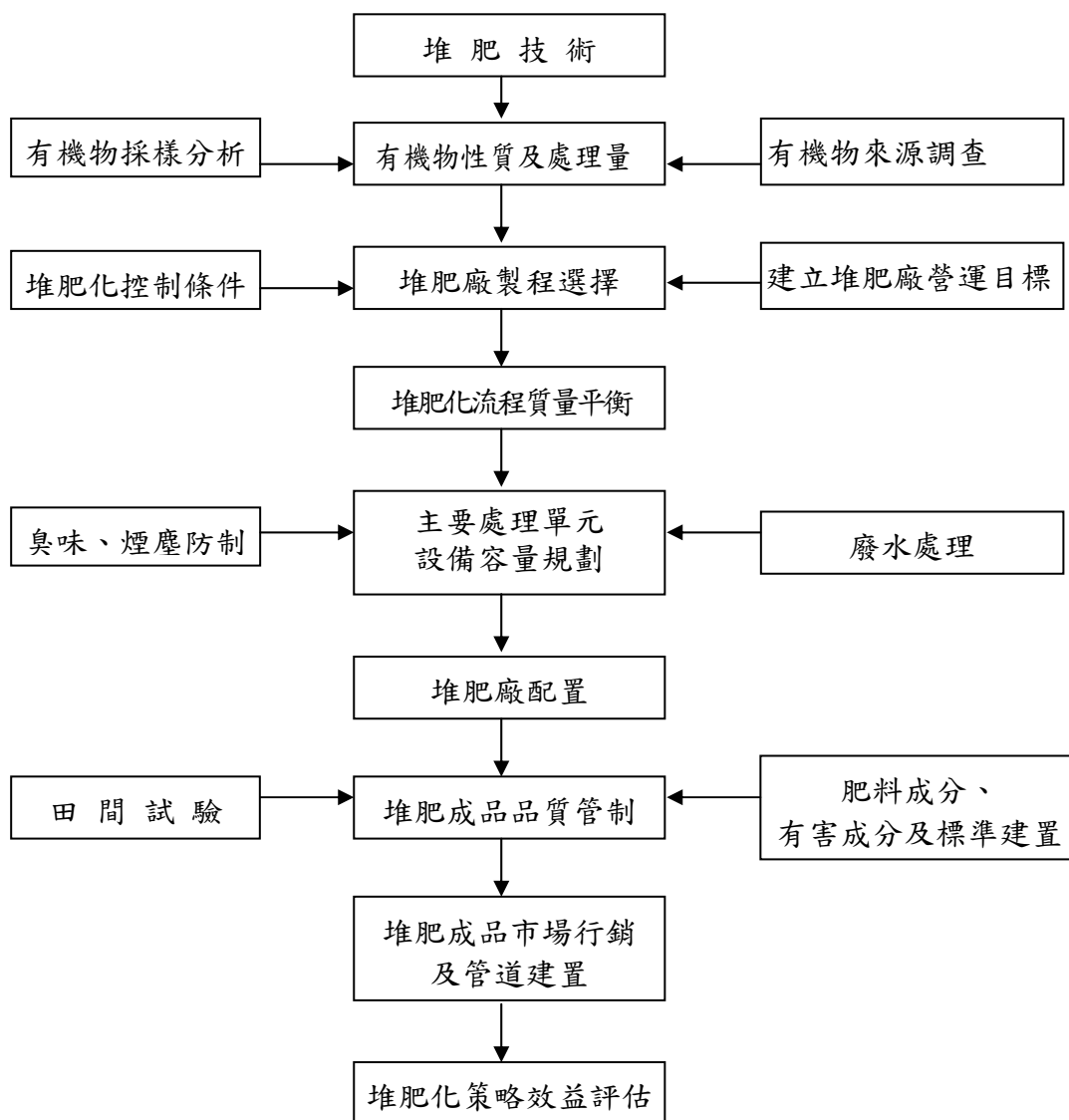


圖 4.1 堆肥技術評估流程

#### 4.堆肥成品品質管制

堆肥製作之管制系統，在前處理有雜物篩除、水分調整、C/N 比分析與調整及預設堆肥成品之營養分調整，在醱酵過程掌握 pH 值、溫度、含水率、通風量及翻堆攪拌。最終成品檢測重金屬成分、營養分(N、P、K、Ca、Mg)、含水率、pH 值、C/N 比及發芽率試驗，以確保堆肥成品品質。

#### 5.堆肥成品市場行銷及管道建置

先行調查堆肥市場需求量、產品種類、使用廠家行業別及農政單位對有機質肥料施用之推廣措施，能有效建立農業組織之行銷通路，才是堆肥政策成功之道。



## 6.堆肥化策略效益評估

綜合上述各程序，再進行整體堆肥化可產生的效益分析，進而決定設廠所需資金、設備建構的選用及營運收益。

### 4.1.2 設廠作業程序

堆肥廠的設置規劃，必須從最先的場地選擇及工廠規模作為考量，其次是評估設廠所能得到的經濟效益，再決定要選用的堆肥方式。一般性的設廠作業程序如下：

- 1.評估設置堆肥處理廠之經營效益
- 2.處理技術與設備規劃設計
- 3.堆肥化流程質量平衡之計算
- 4.選用主要處理單元設備容量及廠牌同級品
- 5.訂定堆肥廠採購文件
- 6.招標或遴選建設與施工廠商，並簽訂工程合約
- 7.加強監造功能及材料機具送檢驗合格審查
- 8.設備性能試車及實物上線測試
- 9.操作維護教育訓練
- 10.主要換修零件購置二年備品
- 11.堆肥場設置之環境影響評估

### 4.1.3 堆肥廠設置應考量的要素

一個堆肥廠是否能永續經營，必須考量幾個重要的因素，包含原物料的來源管道是否穩定、原物料的品質檢測、選用的堆肥方式與設備、設備勘損率及產品的市場通路，茲針對設廠應考量的要素加以說明：

#### 1.加強品質管制

依據相關的堆肥品質標準規範，建立品質管制系統，以確保堆肥成品之品質，提升農民使用的信心，尤其是影響堆肥過程之玻璃、塑膠等雜物含量應減至最低。

## 2.改變營運觀念，非以營利為目的

應將堆肥處理當作廢棄物處理重要之一環，不應視為生產事業，在營運上不宜強調反應成本、收支平衡、自給自足，重蹈售價偏高之覆轍。

## 3.引進國外先進技術

應引進國外先進成熟之處理技術，加強不適堆肥物質之分離功能，以及堆肥中不純物之去除功效，提高堆肥成品品質。亦應考慮完善之二次公害防治措施，使堆肥處理廠不會成為民眾抗爭之目標。

## 4.周詳規劃財源

對建廠經費、操作維護、管理等經常花費之財源應有妥善之規劃，於建廠前應有詳盡之設廠可行性評估，以避免面臨財物困難之危機。

## 5.健全產銷系統

深入調查市場分布及需求，生產機構與經銷單位應共同配合，就市場分布、推廣促銷、價格，以及產品作深入調查，研擬健全的銷售方法，以解決堆肥出路問題。

### 4.1.4 建立堆肥廠營運目標

#### 1.建立堆肥處理系統模式

探討台灣地區有機堆肥處理之可行性，瞭解製造過程中產生之問題，建立最佳化之處理系統，確定適當之建廠規模。

#### 2.建立堆肥之品管檢驗規範

應建立符合農委會之堆肥肥料品目規範標準。

#### 3.建立堆肥廠營運管理模式

分析探討堆肥廠之人力需求、操作管理成本、財務結構，建立可行之營運管理模式及經營方式。

#### 4.建立產銷系統模式

分析台灣地區堆肥市場分布與潛力，結合現有銷售管道，探討可行之產銷模式，建立完善之產銷系統，以克服有機堆肥出路問題。

#### 5.樹立環境保護與資源保育之典範

經由完善堆肥處理廠之興建，使民眾了解有機廢棄物堆肥處理不是二次污染之工作，而是能確實達到美化環境、回收資源、保護自然之工作，進而減低日後推動有機廢棄物堆肥處理之阻力。

## 4.2 堆肥設備選用程序

堆肥廠進行有機廢棄物資源回收再利用，應採用較易操作且效果良好之流程，避免使用高度操作技術的方法，其機械設備考慮較低轉速，低耗電、低噪音、低維護需求，以減少操作維護之成本。

精製堆肥成品能改善土壤酸化，又可提高作物產量及優良品質，促進農友收益，增進堆肥效益。

### 4.2.1 堆肥廠主要設備選用

堆肥廠設備的選用需考量該廠所採用的堆肥技術與方式，不同的堆肥技術在設備的選用上略有差異。設置一座堆肥廠所需要的設備大致上可分成物料的投入設施、前處理設備、發酵設備及後處理設備四個部分。所謂的前處理是指在進行堆肥前物料所需要的粒度、成分及含水量的調整，而後處理是指對堆肥後的產物予以精製化使其成為可販售之產品，以下即針對堆肥廠四項主要設備之選用加以說明：

#### 1. 有機物投入設施選擇

有機物投入設施可分為投入操作台或貯坑二大類，以堆肥廠之設施標準而言，每天處理量 20 公噸以上則採用貯坑式，20 公噸以下者可採用投入操作平台，以下就採用投入操作平台或有機物貯坑兩種方式加以說明：

##### (1) 投入操作平台

將有機物料由槽車卸至操作台，以鏟裝機將有機物料鏟入進料系統。操作台應有一日之容納量，並須有沖洗及良好之排水設施。

投入操作平台式的優點為①容易去除大型物；②進料區容易清理；③進料設備可靠性高，維修容易。其缺點為①佔地面積較大；②操作人員與垃圾及臭味直接接觸及③鏟裝機操作具有廢氣及噪音之問題。

##### (2) 有機物貯坑

將有機物料由槽車卸入貯坑，再以機械抓斗將適量的有機物料投入進料

系統。貯坑應有二日以上之容納量，底部有污水集流設施，採用鋼筋混凝土構造並做防水處理。

有機物貯坑式的優點為①容積較大，佔地面積小；②臭味問題容易控制；③操作區較安靜。其缺點為①大型物無法事先去除；②抓斗故障維修較不易；③貯坑清理困難。

## 2.前處理設備選擇

堆肥廠前處理設備基本組合可分為下列幾種：

- (1)破碎機→選別機→磁選機。
- (2)破碎選別機→磁選機。
- (3)破碎機→磁選機。

這些組合可視有機物之特性選擇適當之處理流程。就破碎機的選擇而言，高速破碎機雖有較大之破碎能力，但所需之動力大、運轉噪音大、機件損壞率大且產品破碎粒度不均等缺點。低速破碎機之破碎力較弱，但就堆肥所需材料而言，所要破碎的物料，為適合堆肥之成分且必須是易分解之有機物，因此通常不需要較強之力量即可將其破碎，至於木塊、石塊、鐵等則無破碎必要。

破碎選別機為一種兼具破碎與選別之功能的設備，在操作上較為方便，有其優點存在，使用其作為堆肥廠之前處理設備功能建議如下：

- (1)採低速破碎設計。
- (2)同時具有粗破碎與選別的功能。
- (3)對有機物料之破碎選別能力大，玻璃之破碎能力小者。
- (4)採用乾式破碎選別，不需添加水分者。

## 3.醱酵槽選擇

有機物料前處理後，接下來就是進行堆肥程序，堆肥所需要的醱酵方式很多，但較常用的大致有下列四類：

- (1)野積醱酵(Windrow 法)
- (2)矩形醱酵槽
- (3)旋轉窯醱酵槽(Dano 法)
- (4)貯倉式醱酵槽(silo 法)

野積法雖然設備簡單、操作容易，但醱酵效率低，醱酵時間長、佔地面積大，故不予建議。

旋轉窯醱酵槽式醱酵法雖曾盛極一時，但旋轉窯之停留時間過短，醱酵不完全為其缺點。在使用之經驗上，有逐漸將旋轉窯當作破碎、混合與選別之功能，而不當主醱酵設備使用。

貯倉式醱酵槽雖有用地小之優點，但因堆積太高，而有通氣不易、攪拌不充分之缺點，影響堆肥醱酵之效果。

池形醱酵槽用地面積雖比貯倉式為大，但如配合機械翻覆及醱酵條件控制，則可促進醱酵效率，縮短醱酵時間，其用地則較野積法為小。池形醱酵槽之構造簡單，如選擇適當之攪拌設備，其操作與控制亦甚簡單。

#### 4.後處理系統選擇

醱酵後之粗堆肥所需之精製程序為破碎、選別，以獲得雜質較少之精製堆肥。垃圾中有機質經醱酵腐熟後大多已鬆脆化，極易破碎，如需較大破碎力者即為不適堆肥物質，應予以除去。故後處理系統之破碎設備仍以採低速者為宜，以減少動力費與減輕操作及維護之困難。

選別設備可採用振動篩或旋轉篩。另需考慮玻璃與塑膠成分之分離設施，以提高堆肥品質。

#### 4.2.2 堆肥附屬設備

堆肥廠的其他附屬設備包含了脫臭設備、廢水處理設備及集塵設備等三個部分，此三項分別介紹如下：

##### 1.脫臭設備

於堆肥處理過程中，臭味生成因子包括混合物之 pH 值及溫度、堆肥物料的種類、處理方式及堆肥中產生氣體之釋放方式等。一般於堆肥廠中可能產生之氣體包括脂肪酸、氨氣、胺類、芳香類、無機硫化物、有機硫化物等。臭味的控制技術可區分為氧化法與吸附法，其中氧化法包括焚化法、濕式洗滌法、乾式氣體氧化法及生物濾床法。事實上，某些製程排放臭氣係由於廢氣中粒狀物含致臭性物質而造成臭味污染，此情況如控制粒狀物排放即可有效解決臭味污染問題。

##### 2.廢水處理設備

一般而言，堆肥場地面會鋪設柏油或混凝土，以防止地表水或雨水的流入，同時可利於堆肥滲出水的收集及處理。由不同設施產生之廢水應設置廢水處理設備，其中由貯存槽、醱酵槽等產生之有機廢水應儘量再利用，供堆肥醱酵時水分調節之用，其餘之廢水則可抽送至廢水處理廠處理。

### 3.集塵設備

集塵設備須能去除廠房內可能產生之粒狀污染物，以維持良好作業及周界環境。堆肥廠內需要集塵處理之地區包括前處理設備及精製設備，須於適當地點裝置抽離管線，以便集中處理塵粒。

## 4.3 堆肥技術成本分析

資源化堆肥廠的設置成本，包含了建造經費、操作維護費及原物料費用等等。一座堆肥廠的成本主要可分成兩個部分，一個為固定成本，是工廠建造所需要的基本支付費用；另一個是變動成本，為工廠可依營運狀況而變動的費用。以下就一堆肥廠設廠案例加以說明，此案例原為公有公營設置之堆肥示範廠，其後轉為公有民營之形式經營，故其設廠之部分費用為政府所補助。

### 4.3.1 建造經費

建造經費包括發包工程費(含土建、機電工程費、勞工安全衛生費、工程綜合保險費、工程管理費、環保費、包商管理及稅制、工程設計監造費)、工程管理及開辦費等，估算原則如表 4.1，表 4.2 為本案列興建之工程費用表，每日約處理 100 公噸之有機廢棄物，工程費用概估表，工程發包費用約為 3.35 億元、人員訓練約 200 萬元、其他工程費用約 2,390 萬元，建廠總經費約為 3.6 億元。

表 4.1 建造費估算原則

項目	估列原則	備註
1. 土建、機電工程費	1. 機電設備費依向國內、外各廠商詢價結果估價。 2. 土建工程費依國內工程現有物價分析。	機電設備含安裝及三年維修備品。
2. 勞工安全衛生費	依土建及機電工程費 0.5% 估列。	不含包商稅

表 4.1 建造費估算原則（續）

項目	估列原則	備註
3.工程綜合保險費	依土建及機電工程費 0.7% 估列。	不含包商稅
4.工程管理費	工程建造之管理、工務、事務等費用，依土建及機電工程費 2.5% 估列。	不含包商稅
5.環保費	依土建及機電工程費 0.5% 估列。	
6.工程設計監造費	依行政院頒「各機關委託技術顧問機構承辦技術服務處理要點」，採建造費用百分比法。建造費 1 億~5 億元，設計費依 3.3% 估列，監造費依 2.5% 估列。	
7.包商管理及稅制	依土建及機電工程費 12% 估列。	

表 4.2 工程費概估表

工程項目	單位	總價
壹、發包工程		
一、土木建築工程費	式	94,000,000
二、機械工程費	式	204,000,000
三、水電儀控工程費	式	37,000,000
貳、操作人員訓練費	式	2,000,000
參、電源外線費	式	1,300,000
肆、工程管理費		2,600,000
伍、工程設計監造費		20,000,000
總計(壹~伍)		360,900,000

#### 4.3.2 操作維護費

所謂的操作維護費用，屬於工廠變動成本的部分，其費用視工廠營運狀況及工廠規模而變動。堆肥廠操作費用包括水費、電費、燃料費、消毒費、環境監測費及化學藥品費，維護費用則包括機械設備、電氣設備、儀控設備、廠房建築及

其他附屬公共工程等，評估原則如表 4.3 所示。

表 4.3 操作維護費用估列原則

項目		估列原則
操作費	水費 電費 燃料費	依國外堆肥廠處理每噸廢棄物所需用水、電及燃料之經驗值，參考目前收費標準計算而得。
	環境監測費 化學藥品費	以國內詢價結果為標準，並以代檢驗公司之一般收費打 6 折以反映成本。
維護費	機械、電氣與儀控設備	以工程初設費之 4% 估算
	廠房建築、綠化、美化及其他附屬工程	以工程初設費之 1% 估算
人事費	營運人事費	廠務人員占管理費之 60%、行政、研發及業務人員占管理費之 40%
檢驗費	成品品質分析	指原料、成品及田間試驗產品的分析，佔操作維護費用 0.6%



## 第五章 廢棄物堆肥案例

一般堆肥廠常見的有機廢棄物來源，以往多數是以農牧廢棄物為主，隨著環保觀念與法令的演進，堆肥材料的來源，也逐漸產生多元化的改變，例如事業、市場有機廢棄物及家庭有機垃圾(廚餘)等，只要其中所含的特定成分含量，如重金屬含量等，符合相關法規的規定，即具備納入堆肥材料的基本條件，可評估成為再生資源回收利用的材料源之一。事實上，家庭內的有機垃圾，包括熟食的廚餘或是菜渣、果皮、落葉、草木渣等，都是優良的堆肥材料來源，只要能夠建立完整的回收系統，家庭內的有機垃圾及廚餘，即可納入現有的堆肥廠製作體系內，經過醱酵腐熟產製出優良品質的有機質肥料。

### 5.1 廢木材堆肥案例

#### 5.1.1 廠內概況

A 廠位於南投縣竹山鎮，在經營管理型態上，是屬於所謂家族企業型態，廠房外觀如圖 5.1，所使用的主要堆肥材料為菇類廢太空包木屑如圖 5.2，且採用傳統堆肥法的開放型堆積方式如圖 5.3，所以往往需要較長期約 2-3 個月的分解醱酵期，才能得到腐熟穩定的堆肥品質標準，所以年產能相對地偏低。但是 A 廠在堆肥製作的材料配方上，相當多元化，尤其是副資材的種類及用量比例，會有較靈活而隨機改變的選擇，包括魚粉、肉骨粉、花生殼、豆渣及蝦蟹殼粉等，都是副資材選項之一。因此，在 A 廠內會有許多不同堆肥材料配方的堆積體，這也是 A 廠能夠在競爭激烈的堆肥市場中生存的主要關鍵因素之一。

#### 5.1.2 處理流程與設備概要

##### 1.堆肥材料特性

一般而言，菇類廢太空包木屑原料本身已具若干營養源，因為菇類太空包木屑在栽培菇類之前，必須經過適當的營養源調配，只是經過養菇過程後，若干營養源將因此降低。但相對而言，菇類廢太空包木屑已可視為半堆肥化成品，一般碳氮比值約為 30~60 範圍內。顯示若做為堆肥原料，應再略為添加 C/N 低之副資材，如豆渣、雞糞等，以調整其 C/N 比，即可加速堆肥化之分解與腐熟。



圖 5.1 A 廠堆肥製作區外觀



圖 5.2 廢太空包木屑



圖 5.3 A 廠採用傳統堆肥法情形

## 2.處理流程

A 廠有機肥料製造流程如圖 5.4 所示，第一階段為前醱酵階段，添加適量之魚粉、肉骨粉、花生殼、豆渣及米糠等副資材，以混合機混拌如圖 5.5，一方面調整堆肥材料之碳氮比值，一方面調整堆肥材料之水分含量，再予以堆積讓其經過初步分解。在進行前期的堆積醱酵，其間予以鏟裝機適度翻堆如圖 5.6，水分大約維持在 50~60%之間，約經過 50~60 天的堆積醱酵期間。

第二階段為後製醱酵作業，將上述堆肥成品送入後製廠房，暫行堆積以進行後醱酵及乾燥，而後經過粉碎、過篩及包裝等處理，即可得木屑有機質肥料成品如圖 5.7。

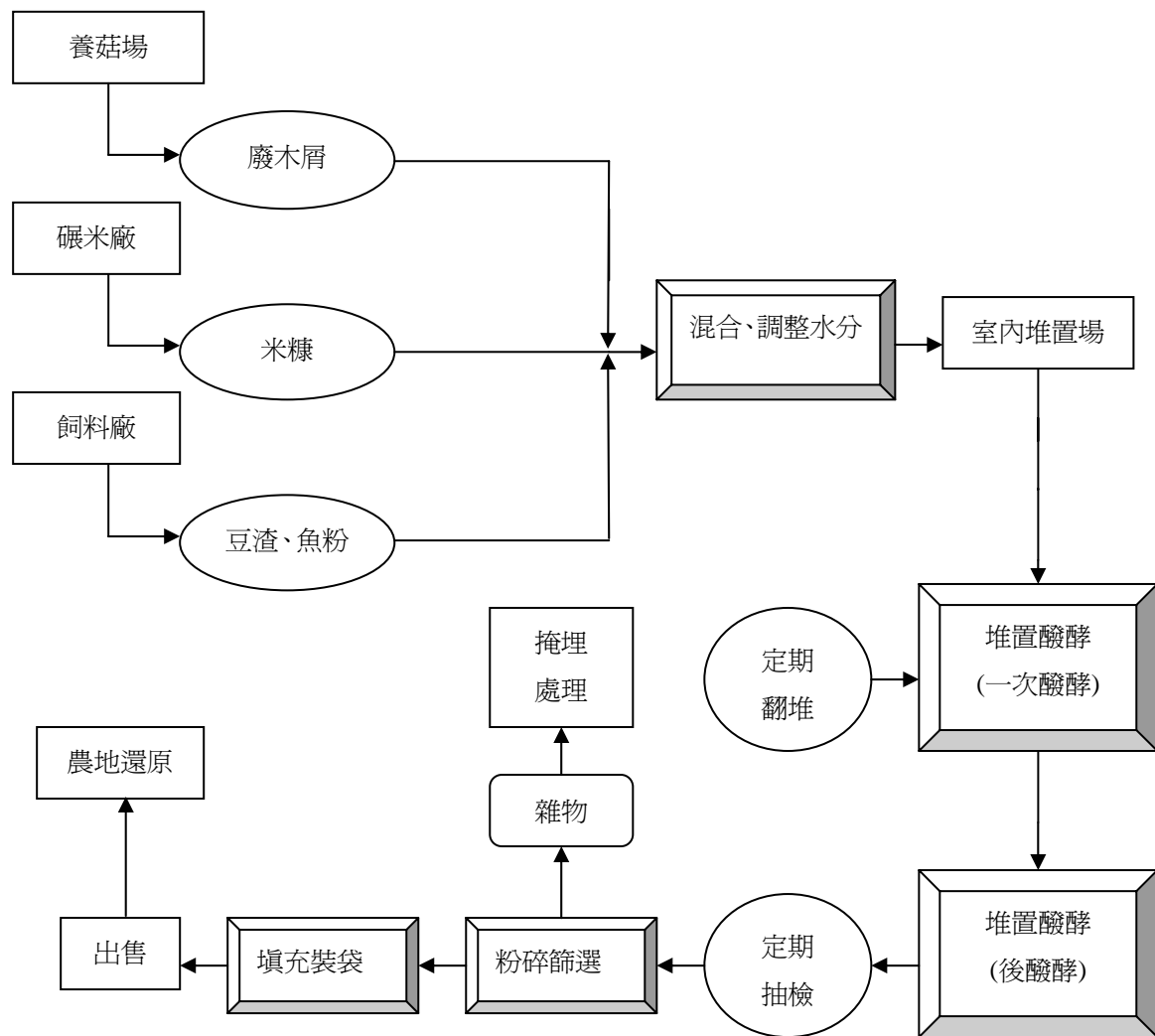


圖 5.4 A 廠有機肥料廠製造流程圖



圖 5.5 A 廠堆肥材料混合機





圖 5.6 A 廠採用鏟裝機進行翻堆



圖 5.7 A 廠生產之有機質肥料商品

### 3.設備概要

A 廠主要設施包括有露天原料貯存場、堆肥醱酵廠房、室內成品貯存場及管理室等，主要設備包括廢太空包粉碎分離機、原料混合機、鏟裝機、成品包裝機及貨車等。主要設施及設備規格與數量詳見於表 5.2。

#### 5.1.3 產品品質

由 A 廠堆肥產品主要特性分析顯示，其商品登記規定成分含量及現場採樣分析成分含量結果如表 5.1。

表 5.1 A 廠堆肥產品主要特性分析

成分分析	氮	全磷	全鉀	銅	鋅	酸鹼值	含水率	有機質
單位	%	%	%	ppm	(ppm)	-	(%)	(%)
*	1.3	0.6	0.6	<100	<800	6.5	<35	>85
**	1.66	0.76	0.71	6	25	6.56	34.4	86.6

\*：商品登記規定成分含量。

\*\*：採樣分析成分含量。

#### 5.1.4 主要銷售管道

由於 A 廠採用傳統堆肥法的開放型堆積方式，所以往往需要較長期約 2-3 個月的分解醱酵期，才能得到腐熟穩定的品質標準，所以產能相對地偏低。而經營管理屬於家族企業型態，所以在銷售管道上是採用直銷方式為主。亦即由家族內成員兼任公司製造堆肥與主要銷售人員，業務服務對象以農業產銷班、農友或地區性肥料資材店為主，偶爾與地區農會合作銷售，是一種較屬於直銷方式的銷售管道。在這種銷售情況下，為配合不同地區土壤特性，或是不同作物養分需求特性，在堆肥製作的材料配方上，尤其是副資材的種類及用量比例，會有較靈活而隨機改變的選擇。因此，在 A 廠內會有許多不同堆肥材料配方的堆積體，而生產出不同材料配方之有機質肥料商品，如此也是 A 廠能夠在競爭激烈的堆肥市場中生存的主要關鍵因素之一。

### 5.1.5 效益分析

A 廠堆肥日處理量約 4~5 公噸，年產量約 833 公噸。由表 5.2 A 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示，A 廠的初始總投資成本將近 18,577,054 元，換算年固定成本約 1,901,677 元。A 廠於 92 年變動成本分析約 5,432,317 元(表 5.3)。因此 A 廠營運收益分析顯示(表 5.4)，年總成本約 7,333,994 元，年粗收益約 7,726,684 元，年淨收益約 392,690 元，益本比 1.05，資本投資報酬率 5.35%，有機質肥料生產量 833 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 8,804 元/公噸。

表 5.2 A 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限 (年)	取得成本 (元)	年固定成本 (元)	備註
1	堆肥醱酵廠房	1,322 m <sup>2</sup>	20	10,104,458	879,087	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	露天原料貯存場	1,300 m <sup>2</sup>	20	1,204,863	104,823	
3	室內成品堆置場	496 m <sup>2</sup>	10	3,791,083	515,587	
4	原料混合機	1 組	5	300,000	70,980	
5	廢包粉碎分離機	15 馬力 1 台	8	340,000	54,672	
6	鏟裝機	中型 1 台	10	600,000	81,600	
7	成品包裝機	半自動 1 台	6	150,000	30,375	
8	貨車	8 噸 1 輛	10	206,040	28,021	
9	管理室	100 m <sup>2</sup>	30	1,125,610	81,719	
10	環境美化及水土保持工作	500 m <sup>2</sup>	30	755,000	54,813	
合 計				18,577,054	1,901,677	

表 5.3 A 廠於 92 年變動成本分析

項目	金額(元)
1.原料費	4,360,128
2.包裝材料費	220,116
3.修繕費	128,030
4.材料費	76,626
5.水電費	75,825
6.人工費	573,194
變動成本合計	5,432,317

表 5.4 A 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1.年總成本 (1)年固定成本 (2)年變動成本	7,333,994 1,901,677 5,432,317	1.年固定成本貼現率設定為 6%。 2.年淨收益=年粗收益-年總成本。
2.年粗收益 (1)有機肥 (2)其他	7,726,684 7,726,684 0	3.益本比=年粗收益/年總成本。 4.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本×100。
3.年淨收益	392,690	5.平均單位成本=年總成本/年產出量。
4.益本比	1.05	6.其他收益包括：雜項、利息、運費及代工處理等項。
5.資本投資報酬率(%)	5.35	
6.有機肥料產生量(公噸/年)	833	
7.平均單位成本(元/公噸)	8,804	

### 5.1.6 結語

A 廠之前由南部遷廠至南投縣竹山鎮，惟適逢地震與颱風水災，雖經過辛苦努力重建，但因工廠被劃分歸屬於河川整治區內，又必須遷移，所以目前堆肥處理廠房及設備即因陋就簡，採用開放式堆積廠房，堆肥製作設備採用鏟裝機進行材料混合與翻堆工作。這種屬於傳統堆肥法的開放型堆積之堆肥製作方式，往往需要較長期約 2-3 個月的分解醱酵期，才能得到腐熟穩定的堆肥品質標準，所以年產能將會偏低，影響到經營效益，目前每年有機質肥料成品產能約 833 公噸。但 A 廠的廠房設備固定，成本亦相對地較低，在可預見的將來，如果完成遷廠工作，並採用較先進新型的堆肥翻堆機械，即可以順利提高產能，達到增進經營效



益之目標。

由於 A 廠採用多種不同材料配方，可以生產出多種成分含量之有機質肥料商品，同時因應許多不同土壤與作物之需求特性。所以建議在未來改善時，可以考慮設置多槽式的送風式堆積醱酵槽，利用不同堆積醱酵槽生產出不同材料配方之堆肥產品。如此不僅可以在材料混合與堆積醱酵過程中，不易相互混雜，更容易加強控管。而且可因應不同材料特性，在不同堆積醱酵槽內，施予正確的強制送風與翻堆頻率機制，而能生產出成分品質更穩定的成品，並能夠在日後使用效益上，獲得更加傑出的口碑與市場競爭力。

## 5.2 漿紙污泥堆肥案例

### 5.2.1 廠內概況

一般工業用紙之造紙工廠廢水大部分採物化及生物處理，由於原料屬二次纖維，於加工程序中會有纖維殘留，故漿紙污泥外觀有明顯纖維存在(如圖 5.8)，當污泥脫水後讓其自然風乾，則易結成硬塊，所以必須在短時間內立即添加副資材，予以調整水分含量至約 60%，並送入堆肥製作系統中進行分解醱酵。B 廠所使用的漿紙原料大多屬於回收紙類，由於原料屬二次纖維，於加工程序中所產生的漿紙污泥，會殘留短鏈纖維類，木質類成分較少，因此漿紙污泥堆肥較有利於在短期內醱酵腐熟。目前 B 廠採用密閉式翻堆法進行堆肥製作，日處理量約 25~30 公噸，年產堆肥成品將近 6,400 公噸。

### 5.2.2 處理流程與設備概要

#### 1.材料特性

B 廠漿紙污泥特性之  $C/N \approx 30$ ，雖符合一般堆肥材料  $C/N=20\sim30$  條件，但因含水率 80% 過高，顯示仍需添加副資材以使含水率降至 60%。另重金屬總量方面，鎘(Cd)約 1.39ppm、鉻(Cr)約 24.5 ppm、銅(Cu)約 68.9 ppm、汞(Hg)約 0.22 ppm、鎳(Ni)約 11.6 ppm、鉛(Pb)約 0.08 ppm、鋅(Zn)約 212 ppm、砷(As)約 3.10 ppm，均未超過農委會垃圾堆肥規範重金屬含量最高限值。就產品品質考慮，除需符合肥料標準外，同時需有市場性，則可能需添加較富氮源之副資材，如禽畜糞、皮革屑、豆粕等動植物性殘渣，除可提高氮源外，同時可提高堆肥分解速率。



圖 5.8 漿紙堆肥前材料情況

## 2.處理流程

B 廠有機肥料製造流程如圖 5.9 所示，B 廠漿紙污泥出槽前，雖有利用脫水機強制脫水，但含水率仍高於 80%，所以在漿紙污泥出槽後，需立即加入菇類廢太空包木屑及稻殼等副資材，以使含水率降至 60%。然後利用大型鏟裝機運送入密閉式廠房的延續式堆肥槽，其中配備有軌道式翻堆機，再予以每日翻堆乙次，並配合強制送風系統，予以補充氧氣。約經過 30 日堆積分解後，再利用大型鏟裝機運送入後發酵槽進行二次分解，其間偶爾利用大型鏟裝機予以翻堆，並降低堆肥水分含量至 35% 以下。最後階段是進行粉碎、過篩、包裝及貯存等步驟。

## 3.設備概要

B 廠主要設施包括有原料貯存場、堆肥發酵廠房、室內成品暫存場、除臭槽等。堆肥製作區採用密閉式建築(圖 5.10)，內設有兩座長約 30 公尺的延續式堆肥槽，安裝有兩具軌道式翻堆機，並有抽排氣設備，將臭氣抽出送入除臭槽(圖 5.11)。主要設備包括有原料混合機(圖 5.12)、大型翻堆機、鏟裝機、發酵槽通風管系統、鼓風機、成品造粒機(圖 5.13)、成品包裝機(圖 5.14)及堆高機等。主要設施及設備規格與數量詳見於表 5.6。

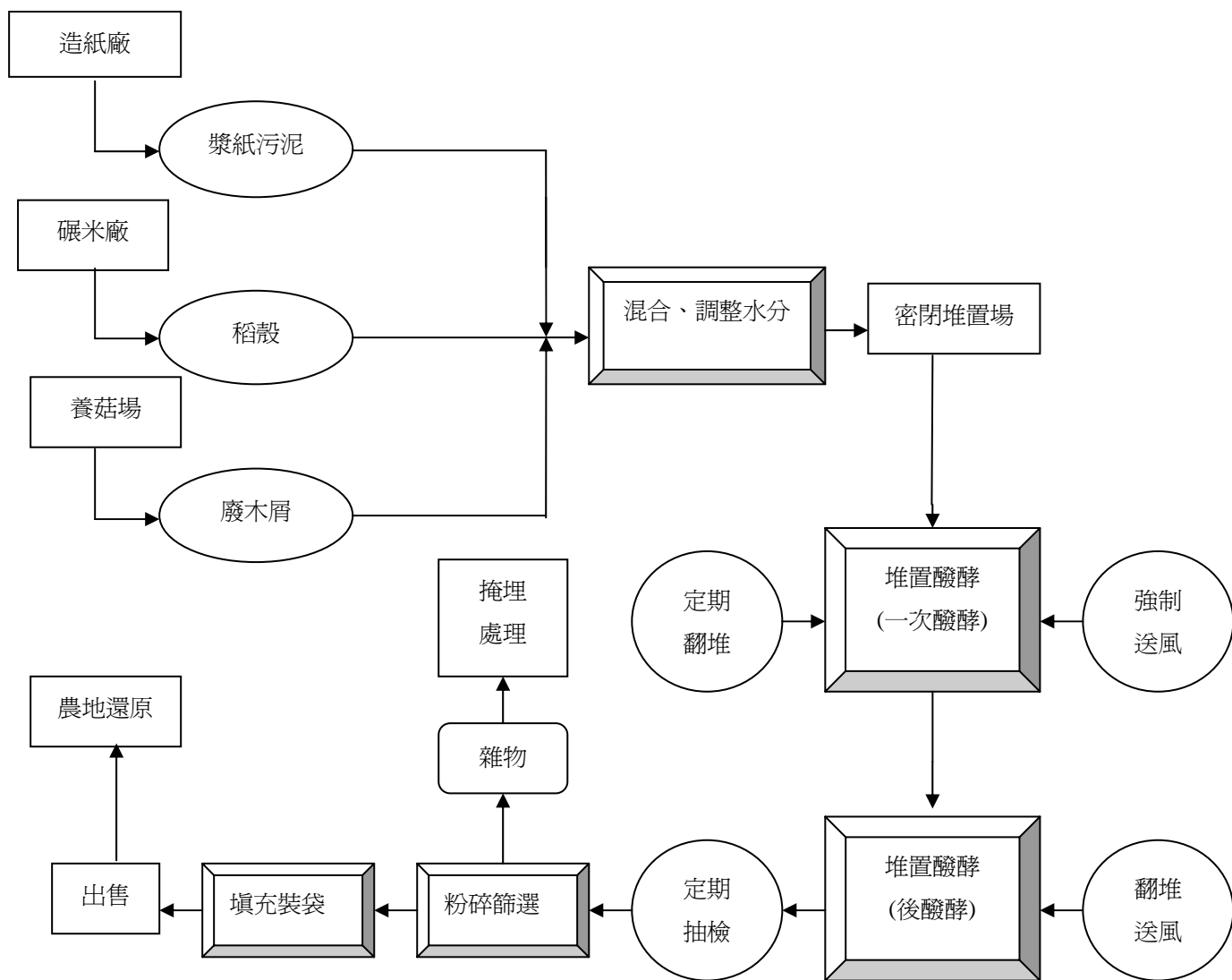


圖 5.9 B 廠有機肥料廠製造流程圖



圖 5.10 B 廠採用密閉翻堆法情形



圖 5.11 B 廠使用之水洗式除臭槽



圖 5.12 B 廠堆肥材料混合機



圖 5.13 B 廠使用之成品造粒機





圖 5.14 B 廠生產之有機質肥料商品

### 5.2.3 產品品質

由 B 廠堆肥產品主要特性分析顯示，其商品登記規定成分含量及現場採樣分析成分含量結果如表 5.5。

表 5.5 B 廠堆肥產品主要特性分析

成分分析	氮	全磷	全鉀	銅	鋅	酸鹼值	含水率	有機質
單位	%	%	%	ppm	(ppm)	-	(%)	(%)
I *	1.2	2.0	0.6	<100	<800	6.5	<35	>40
II **	1.21	2.10	0.73	12	199	6.85	32.6	51.9

\*：商品登記規定成分含量。

\*\*：採樣分析成分含量。

### 5.2.4 主要銷售管道

由於 B 廠漿紙污泥採用委外製造的合作模式，所以相關堆肥產品是由合作堆肥廠商經銷販售。主要銷售管道為堆肥廠附近之農場，多數為直接銷售方式，首

先提供少量產品供農民試用，由於堆肥產品品質控管良好，農民使用的效益反應不錯，進而直接採購，並逐步推廣至附近農場及農民。使用作物包括甘藍、萵苣等大宗蔬菜、瓜果類及柑桔等果樹。目前更進一步與若干鄉鎮地區農會、農業產銷班及合作農場等農民團體採取合作經銷方式，銷售已逐漸穩定。

### 5.2.5 效益分析

B 廠堆肥日處理量約 25~30 公噸，年產量約 6,400 公噸。由 B 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示(表 5.6)，B 廠的初始總投資成本將近 32,950,000 元，換算年固定成本約 4,528,180 元。B 廠於 92 年變動成本分析約 12,001,485 元(表 5.7)。因此 B 廠營運收益分析顯示(表 5.8)，年總成本 16,529,665 元，年粗收益 17,352,130 元，年淨收益 822,465 元，益本比 1.05，資本投資報酬率 4.97%，有機質肥料生產量 6,403 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 2,580 元/公噸。

表 5.6 B 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限 (年)	取得成本 (元)	年固定成本 (元)	備註
1	堆肥醱酵廠房	1,470 m <sup>2</sup>	10	6,675,000	907,800	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	廢水處理槽	50 m <sup>2</sup>	10	750,000	102,000	
3	原料堆置場房	1,430 m <sup>2</sup>	10	2,250,000	306,000	
4	醱酵槽通風管及鼓風機	5 馬力 20 台	5	1,200,000	283,920	
5	原料混合機	15 馬力 1 台	8	600,000	96,600	
6	翻堆機	大型 2 台	8	855,000	137,655	
7	排氣除臭系統	650 m <sup>2</sup>	10	1,200,000	163,200	
8	成品造粒機	10 噸/小時	8	6,000,000	966,000	
9	成品包裝機	半自動 1 台	6	1,170,000	236,925	
10	成品貯存場房	1,430 m <sup>2</sup>	10	2,250,000	306,000	
11	鏟裝機	大型 1 台	10	3,800,000	516,800	
12	堆高機	2.5 噸 1 輛	10	800,000	108,800	
13	管理室	30 坪	25	600,000	48,800	
14	環境美化及水土保持工作	2,000 m <sup>2</sup>	30	4,800,000	348,480	
合 計				32,950,000	4,528,180	

表 5.7 B 廠於 92 年變動成本分析

項目	金額(元)
1.原料費	5,506,000
2.包裝材料費	420,000
3.燃料費	665,000
4.修繕費	220,000
5.材料費	460,000
6.水電費	940,000
7.人工費	3,440,000
8.其他費用	350,485
變動成本合計	12,001,485

表 5.8 B 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1.年總成本	16,529,665	1.年固定成本貼現率設定為 6%。
(1)年固定成本	4,528,180	
(2)年變動成本	12,001,485	2.年淨收益=年粗收益-年總成本。
2.年粗收益	17,352,130	3.益本比=年粗收益/年總成本。
(1)有機肥	17,352,130	
(2)其他	0	4.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本×100。
3.年淨收益	822,465	5.平均單位成本=年總成本/年產出量。
4.益本比	1.05	
5.資本投資報酬率(%)	4.97	6.其他收益包括：雜項、利息、運費及代工處理等項。
6.有機肥料產生量(公噸/年)	6,403	
7.平均單位成本(元/公噸)	2,580	

### 5.2.6 結語

B 廠的經營目標在於廢棄物再生利用的環保立場，目前 B 廠採用密閉式翻堆法進行堆肥製作，日處理量約 25~30 公噸，年產堆肥成品將近 6,400 公噸，在產能規模上，已屬於中大型堆肥場。由於 B 廠擁有漿紙工廠的各項專業操作技師，所以在堆肥廠房內的操作工作，包括機械運轉操作、操作流程控制、機械維修、成品品管等，都有相關專業技師負責，所以在製造過程中，可以十分順利的完成任務。而且基於環保立場，以及為維持廢棄物再生利用管道的順暢，在有機質肥料成品銷售上，常採取頗具彈性的策略，包括銷售價格、敦親睦鄰等等，都能以



產品不屯積，不滯銷為目標，所以經銷上尚屬順暢，營運效益能夠達成收支平衡之目的。

惟適逢近年來大環境不景氣之影響，尤其農業景氣仍然徘徊低迷情況下，有機質肥料市場也面臨嚴苛的考驗。在 B 廠的經營策略下，堆肥製造多以快速處理漿紙廠產出污泥為主要目標，所以在前期的堆肥材料混合與堆積方式，多儘量採取簡易快速為主，這也是無可厚非之方法。但在未來可改善之處，可以考慮在堆肥化後醱酵期間，再予以調整更高成分含量或不同成分含量之產品，也就是產製出多樣化的有機質肥料商品品項。如此才能夠在日後農業資材市場上，更具有競爭力，以提升永續經營潛能。

### 5.3 蔗渣、茶渣堆肥案例

蔗渣、茶渣的主要成分相近似，以木質素及纖維素為主，在堆肥化過程中屬較不易分解的有機成分。且其氮、磷含量低，需添加其他含氮及磷量高之有機材料，方能加速堆肥化。茶飲料為近年來食品加工業新發展且盛行之產品，隨著銷售量的增加，產生的茶渣量亦日漸增加。蔗渣是糖廠的主要有機廢棄物(如圖 5.15)，總產量仍佔台灣地區有機廢棄物中重量級地位。由於大量蔗渣、茶渣有機肥之製造，講求的是經濟效益，故如何善於應用現有堆肥化之技術，製造出低成本之蔗渣、茶渣有機肥，乃成為當前最重要的課題。



圖 5.15 C 廠之蔗渣原料

### 5.3.1 廠內概況

C 廠是糖廠附設的堆肥廠，由於糖廠製糖過程中，所產生的廢棄物如蔗渣數量相當龐大，所以另行設置堆肥工廠，以消納自產的有機廢棄物為主目標。但由於蔗渣含多量木質素及纖維素等，分解緩慢，需建造數量龐大之送風堆肥房，方能滿足需求，故其經濟可行性不大。較經濟之製造蔗渣有機肥流程，係將新鮮散裝蔗渣堆積於地上，不定期噴撒經兼曝氣二級處理之豬糞尿出流水或廢酒精醪等副產品，經 4~6 個月後，即成為半腐熟蔗渣，將此半製品送入堆肥製造廠房或堆肥箱中，經送風、翻堆及粉碎等處理約一個月，即可得腐熟之蔗渣有機肥，必要時可混合其他有機肥，調製成特定成分之製品，再包裝出售。

### 5.3.2 處理流程與設備概要

#### 1. 堆肥材料特性

蔗渣水分含量變異頗大，新鮮蔗渣含水量可達 46%，而堆積場之壓塊蔗渣含水量僅為 11%，其主要成分為纖維素、木質素及五碳糖。新鮮蔗渣之有機質含量頗高，約佔其乾物重之 90%，而有機碳量則為乾物重之 40%。但新鮮蔗渣氮含量甚低，僅為乾物重之 0.4%，而磷酐及氧化鉀之含量亦低，分別為乾物重之 0.09% 及 0.25%。蔗渣之銅及鋅量極低，僅為乾物重之 9 及 29ppm。而鎘金屬更檢測不出來。新鮮蔗渣之碳氮比甚高，皆在 100 以上，平均值約在 140 上下。

#### 2. 處理流程

C 廠有機肥料製造流程如圖 5.16，第一階段為前置作業，又稱之為「假堆」，蔗渣堆積於露天堆置場(如圖 5.17)，不定期噴施經兼曝氣二級處理之豬糞尿出流水或廢酒精醪等副產品，經 4~6 個月後，即成為半腐熟蔗渣。

第二階段為醱酵腐熟作業，將上述半成品送入堆肥製造廠房，利用延續式堆肥槽及翻堆機進行堆肥製造(如圖 5.18)，並經強制送風、定期翻堆及粉碎等處理約一個月，即可得腐熟之蔗渣有機肥(如圖 5.19)。

第三階段為後製醱酵作業，將上述堆肥成品送入後製廠房，暫置堆積以進行後醱酵及乾燥，而後經過粉碎、過篩及包裝等處理，即可得蔗渣有機質肥料成品。

#### 3. 設備概要

C 廠主要設施包括有露天原料貯存場、堆肥醱酵廠房、廢水處理池及管理室等，主要設備包括有大型翻堆機、醱酵槽通風管系統、鼓風機、成品包裝機等。主要設施及設備規格與數量詳見表 5.10。

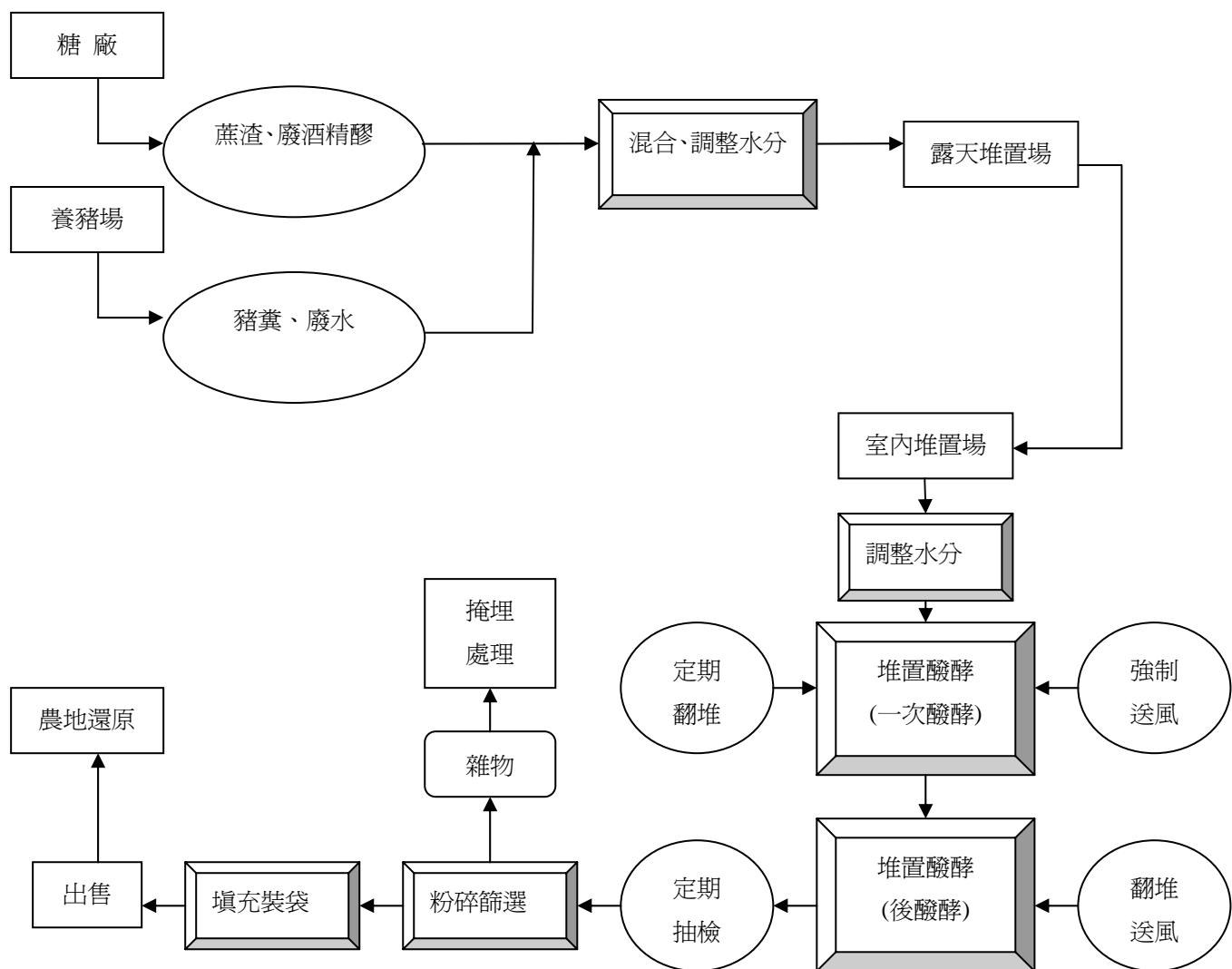


圖 5.16 C 廠有機肥料廠製造流程圖



圖 5.17 C 廠露天堆積翻堆情形



圖 5.18 C 廠利用翻堆機製作堆肥情形



圖 5.19 C 廠生產之有機質肥料商品

### 5.3.3 產品品質

由 C 廠堆肥產品主要特性分析顯示，其商品登記規定成分含量及現場採樣分析成分含量結果如表 5.9。

表 5.9 C 廠堆肥產品主要特性分析

成分分析	氮	全磷	全鉀	銅	鋅	酸鹼值	含水率	有機質
單位	%	%	%	ppm	(ppm)	-	(%)	(%)
I *	1.1	0.7	1.3	<100	<800	6.6	<35	>60
II **	1.18	0.82	1.36	11	98	6.67	34.5	63.7

\*：商品登記規定成分含量。

\*\*：採樣分析成分含量。

### 5.3.4 主要銷售管道

C 廠所生產的蔗渣堆肥已正式登記為有機質肥料商品，由於品質優良且穩定，在全國有固定的經銷店，包括鄉鎮地區農會或農業資材商等，普遍推廣應用在果樹、蔬菜、瓜果類、花卉等作物栽培。由於蔗渣堆肥具有改善農田土特性功能，長期使用後，對土壤理化性及生物性等均有顯著效果顯現，因此頗受農友肯定與支持。惟由於近年來，蔗糖經濟效益低迷，導致蔗田栽種面積逐年遞減，許多糖廠也面臨轉型改組的壓力，包括 C 廠所生產的蔗渣有機質肥料，能否繼續經營下去，都將面臨極嚴苛的考驗。所以在可預見的將來，當蔗渣產源逐漸減少時，蔗渣有機質肥料在台灣地區，可能會逐漸遞減。

### 5.3.5 效益分析

C 廠堆肥日處理量約 30~35 公噸，年產量約 6,545 公噸。由表 5.10 C 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示，C 廠的初始總投資成本將近 41,224,059 元，換算年固定成本約 5,026,131 元。C 廠於 92 年變動成本分析約 8,408,294 元(表 5.11)。因此 C 廠營運收益分析顯示(表 5.12)，年總成本 13,434,425 元，年粗收益 14,113,537 元，年淨收益 679,162 元，益本比 1.05，資本投資報酬率 5.05%，有機肥料產生量 6,545 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 2,053 元/公噸。

表 5.10 C 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限 (年)	取得成本 (元)	年固定成本 (元)	備註
1	堆肥醱酵廠房	4,000 m <sup>2</sup>	20	16,336,626	1,420,590	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	露天原料貯存場	30,000 m <sup>2</sup>	20	10,288,585	889,016	
3	廢水處理池	350 m <sup>2</sup>	10	742,592	100,992	
4	醱酵槽通風管及鼓風機	2.5 馬力 60 台	5	573,360	135,657	
5	翻堆機	大型 2 台	5	7,522,720	1,779,875	
6	鏟裝機	大型 1 台	10	3,800,000	476,000	
7	成品包裝機	1 台	10	42,000	57,120	
8	管理室	RC 30 坪	20	1,718,176	149,481	
9	環境美化及水土保持工作	100 m <sup>2</sup>	20	200,000	17,400	
合 計				41,224,059	5,026,131	

表 5.11 C 廠於 92 年變動成本分析

項目	金額(元)
1.原料費	2,074,765
2.包裝材料費	1,538,075
3.燃料費	523,600
4.修繕費	392,700
5.材料費	65,450
6.水電費	19,635
7.人工費	3,794,069
變動成本合計	8,408,294

表 5.12 C 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1.年總成本	13,434,425	1.年固定成本貼現率設定為6%。 2.年淨收益=年粗收益-年總成本。 3.益本比=年粗收益/年總成本。 4.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本×100。 5.平均單位成本=年總成本/年產出量。 6.其他收益包括：雜項、利息、運費及代工處理等項。
(1)年固定成本	5,026,131	
(2)年變動成本	8,408,294	
2.年粗收益	14,113,537	
(1)有機肥	14,113,537	
(2)其他	0	
3.年淨收益	679,162	
4.益本比	1.05	
5.資本投資報酬率(%)	5.05	
6.有機肥料產生量(公噸/年)	6,545	
7.平均單位成本(元/公噸)	2,053	

### 5.3.6 結語

C 廠是糖廠附設的堆肥廠，所使用的堆肥原料是採用糖廠製糖過程中，所產生的蔗渣廢棄物，所以 C 廠經營乃是消納自產的有機廢棄物為主目標。目前 C 廠營運狀況尚佳，主要因素除了「糖廠」品牌形象頗佳，且 C 廠經營策略亦採取穩紮穩打方式，不求近利，以維護品質標準為優先，所以獲得農友普遍接受的口碑。但由於糖廠本業面臨轉型改組的壓力，所附設的蔗渣有機質肥料廠，當日後蔗渣產源逐漸減少時，是否繼續經營下去，也將面臨決擇。

在未來可改善之處，由於 C 廠在設場之時，所設計安裝的堆肥製造機械設備，以及所訓練的管理與操作技師，都相當紮實可靠，如果一時廢置不生產，是否適當仍相當值得探討。在此建議可以考慮在現有設備與人員的操作容量範圍內，考慮採用其他農業廢棄物如稻桿、稻殼等，甚或納入環保單位公告之有機事業廢棄物、市場有機廢棄物及有機垃圾廚餘等。如此不僅能夠繼續發揮現有設備與人員之潛力，且能進一步協助再生處理有機廢棄物，為環保公益貢獻心力，為企業塑造良好公益形象。



## 5.4 食品加工污泥堆肥案例

### 5.4.1 廠內概況

D 廠原本以經營碾米廠為主，由於碾米所產生的副產物如稻殼及米糠等(如圖 5.20)，所以另行設置堆肥工廠，以消納自產的有機廢棄物為主目標。因為稻殼產量十分龐大，而且稻殼的碳氮比值較高，製作堆肥時需添加較富氮源之副資材，所以選擇鄰近鄉鎮食品廠副產物之綠藻污泥及脫水污泥餅等，其堆肥製造採用通氣翻堆法。

### 5.4.2 處理流程與設備概要

#### 1.堆肥材料特性

一般而言，因食品加工業原料本身已具營養源，廢水採生物處理方式即可達到良好之去除效果，故廢水污泥型態以生物污泥居多。另部分工廠會將化學污染與生物污泥混合脫水，或生物污泥再經消化處理等。食品加工污泥含有較高之氮源(N 約 3.8~4.2%)，C/N 約 10.3，顯示若採堆肥處理應添加含水率低，C/N 高之副資材，如稻殼、木屑等，以提高其 C/N 比值，避免氮源在堆肥化過程中損失。



圖 5.20 D 廠食品加工污泥堆肥前材料情況



## 2.處理流程

D 廠有機肥料製造流程如圖 5.21 所示，第一階段為稻殼前置作業，又稱之為「假堆」如圖 5.22，首先碾米廠碾米所產副產物稻殼及米糠等，運往堆肥廠經粉碎後，堆置於露天原料貯存場，此時加入由鄰近鄉鎮所收集之食品廠副產物，包括綠藻脫水污泥及脫水污泥餅等材質，一方面調整材料之碳氮比值，一方面調整材料之水分含量，再予以堆積讓其經過初步分解。

第二階段為前發酵階段，添加適量之蚵殼灰、菸屑粉末及米糠等含特殊養分之材料，進行前期的堆積發酵，其間以鏟裝機適度翻堆，水分大約維持 50~65% 之間，約經過 50~60 天的堆積發酵期間。

第三階段為後發酵階段，送入後期的發酵槽，以自動翻堆機作定時之自動翻堆(如圖 5.23)，並配合地下管線強制送風，促進其發酵達脫水加速腐熟之作用，約經 30 天後期發酵，經包裝後出售(如圖 5.24)。

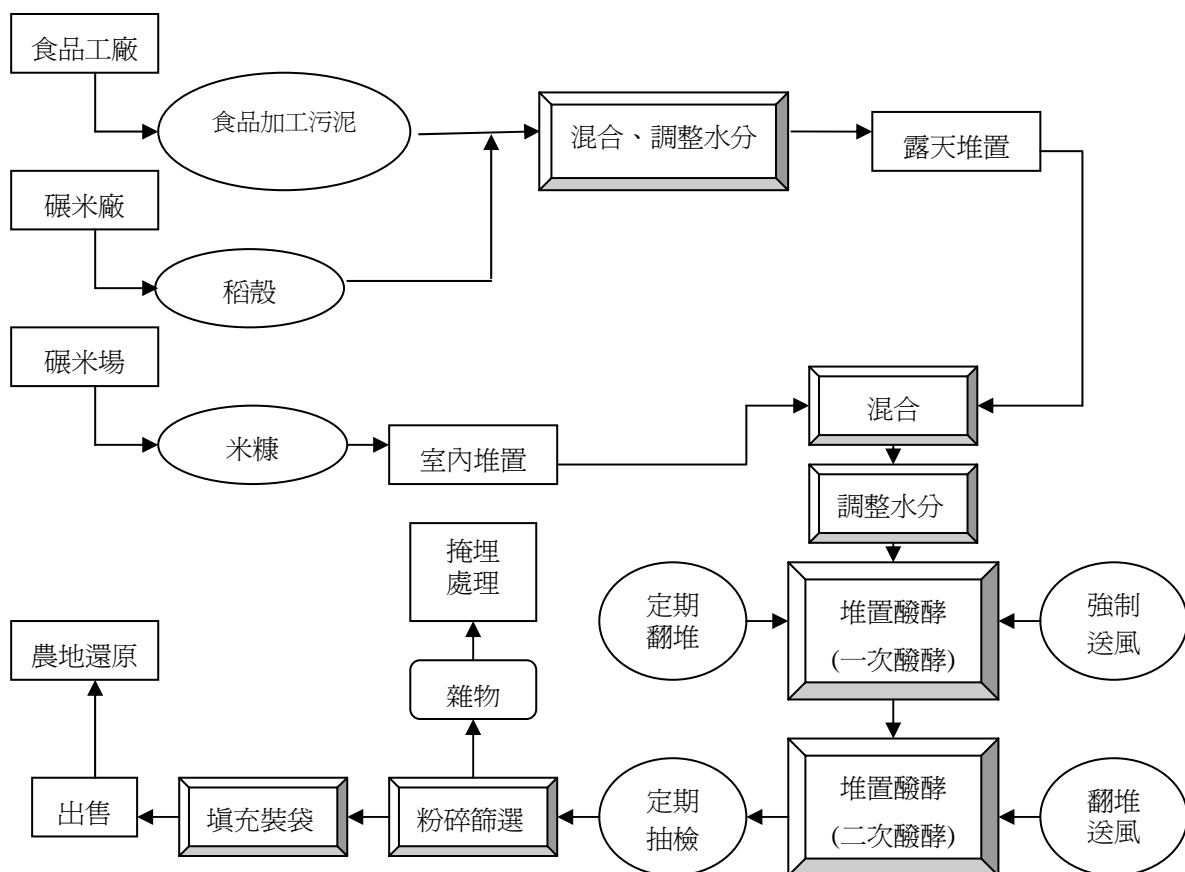


圖 5.21 D 廠有機肥料廠製造流程圖



圖 5.22 D 廠第一階段堆肥製作情形



圖 5.23 D 廠製作堆肥之翻堆情形



圖 5.24 D 廠生產之有機質肥料商品

### 3.設備概要

D 廠主要設施包括有露天原料貯存場、堆肥醱酵廠房、室內成品暫存場、廢水處理池等，主要設備包括有大型翻堆機、鏟裝機、醱酵槽通風管系統、鼓風機、成品包裝機及貨車等。主要設施及設備規格與數量詳見於表 5.14。

#### 5.4.3 產品品質

由 D 廠堆肥產品主要特性分析顯示，其商品登記規定成分含量及現場採樣分析成分含量結果如表 5.13。

表 5.13 D 廠堆肥產品主要特性分析

成分分析	氮	全磷	全鉀	銅	鋅	酸鹼值	含水率	有機質
單位	%	%	%	ppm	(ppm)	-	(%)	(%)
I *	2.0	2.0	1.0	<100	<800	6.4	<35	>50
II **	1.98	1.96	1.08	7	419	6.53	33.8	52.9

\*：商品登記規定成分含量。

\*\*：採樣分析成分含量。

#### 5.4.4 主要銷售管道

D 廠所生產的食品加工污泥堆肥已正式登記為雜項有機質肥料商品，由於 D 廠隸屬於合作農場，該體系內即有許多農戶，以及相互合作之鄉鎮地區農會、相關農業產銷班等，因此在這種合作模式下，D 廠的有機質肥料產品，常經由農會及產銷班系統銷售。

#### 5.4.5 效益分析

D 廠堆肥日處理量約 12~16 公噸，年產量約 3,200 公噸。由 D 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示，D 廠的初始總投資成本將近 33,650,000 元，換算年固定成本約 4,445,030 元(表 5.14)。D 廠於 92 年變動成本分析約 4,784,860 元(表 5.15)。因此 D 廠營運收益分析顯示(表 5.16)，年總成本 9,229,890 元，年粗收益 7,856,487 元，年淨收益- 1,373,403 元，益本比 0.85，資本投資報酬率-14.9%，有機肥料產生量 3,200 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 2,884 元/公噸。由於 D 廠的碾米廠產生之稻殼，已逐步轉移做燃料使用，減少做為堆肥原料量，所以堆肥產量略低，因而導致堆肥廠的投資報酬率降低。

表 5.14 D 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限(年)	取得成本(元)	年固定成本(元)	備註
1	堆肥醱酵廠房	1,620 m <sup>2</sup>	10	5,500,000	748,000	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	露天原料貯存場	15,000 m <sup>2</sup>	20	7,000,000	609,000	
3	廢水處理池	300 m <sup>2</sup>	10	400,000	54,400	
4	室內原料、成品堆置場	4,000 m <sup>2</sup>	10	7,500,000	1,020,000	
5	醱酵槽通風管及鼓風機	5 馬力 20 台	5	1,200,000	283,920	
6	翻堆機	大型 2 台	8	3,000,000	483,000	
7	鏟裝機	大型 1 台	10	3,000,000	408,000	
8	成品包裝機	半自動 2 台	6	1,200,000	243,000	
9	貨車	15 噸 2 輛	10	4,000,000	544,000	
10	環境美化及水土保持工作	200 m <sup>2</sup>	30	850,000	61,710	
合 計				33,650,000	4,445,030	

表 5.15 D 廠於 92 年變動成本分析

項目	金額(元)
1.原料費	1,500,781
2.包裝材料費	800,663
3.燃料費	450,885
4.修繕費	300,645
5.材料費	180,756
6.水電費	350,485
7.人工費	1,200,645
變動成本合計	4,784,860

表 5.16 D 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1.年總成本	9,229,890	1.年固定成本貼現率設定為 6%。
(1)年固定成本	4,445,030	
(2)年變動成本	4,784,860	2.年淨收益=年粗收益-年總成本。
2.年粗收益	7,856,487	3.益本比=年粗收益/年總成本。
(1)有機肥	7,856,487	
(2)其他	0	4.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本×100。
3.年淨收益	- 1,373,403	5.平均單位成本=年總成本/年產出量。
4.益本比	0.85	
5.資本投資報酬率(%)	-14.9	6.其他收益包括：雜項、利息、運費及代工處理等項。
6.有機肥料產生量(公噸/年)	3,200	
7.平均單位成本(元/公噸)	2,884	

#### 5.4.6 結語

D 廠是以經營碾米廠為主業，堆肥場使用之主原料是採取碾米所產生的副產物如稻殼及米糠等，並將鄰近食品廠副產物之綠藻污泥及脫水污泥餅等做為副原料。所以堆肥場經營之基本型態亦是將本業產出的稻殼及米糠等有機廢棄物再生利用為目的，因此營運目標並不強調利潤中心，而以廢棄物環保處理為主。目前每年有機質肥料成品產能約 3,200 公噸，距離原堆肥廠房設計產能僅達成約

50-60%。其原因在於 D 廠的碾米廠產生之稻殼，已逐步轉移做烘乾稻穀之燃料使用，減少做為堆肥原料量，致使堆肥成品產量略低，亦因而導致堆肥廠的投資報酬率降低。

在未來可改善之處，建議可考慮採用稻穀收穫後產生的稻桿廢棄物，做為堆肥原料之一。由於碾米廠收購稻穀大多採取契作方式，一般稻田在稻穀收穫後，約產出相同量的稻桿廢棄物，所以稻桿的產出量亦相當多，農民往往都採取焚燒的方式，將稻桿就地焚燒。但以環保觀點或資源應再生利用理念，如能將稻桿回收做為堆肥原料，再生利用製成堆肥，不僅可以減少焚燒稻桿所產生的空氣污染問題，而且稻桿在經過適當裁切成 5-10 公分片段後，即能成為適宜的堆肥原料之一。因此 D 廠如果能夠適度規劃，將稻桿一併回收利用為堆肥原料，即可以在不用大幅改變現有的堆積醱酵系統下，順利提高堆肥產能，達到增進經營效益之目標。

## 5.5 廚餘、中藥渣、羽毛堆肥案例

### 5.5.1 廠內概況

E 廠位於台中縣外埔鄉，為政府機關出資興建之有機堆肥示範廠，其工廠鳥瞰圖如圖 5.25 所示，所使用之堆肥材料主要有來自家庭分類出未經蒸煮過之果菜殘渣(廚餘)，大型果菜市場菜販所篩選後剩餘之果菜殘渣、食品工廠電宰雞隻分類出羽毛、中藥製造廠蒸煮過所殘留之藥材渣、香菇寮分選出殘留木屑等。E 廠的堆肥方式是採用高速旋轉醱酵法，再送至醱酵廠強制通風與翻堆，每日處理 100 公噸之有機廢棄物，堆肥年產量約為 18,000 公噸。



圖 5.25 E 廠鳥瞰圖

### 5.5.2 處理流程與設備概要

#### 1.堆肥材料特性

E 廠使用材料中羽毛為高氮源並有活性胺基酸、甲殼質與多種微量元素，其含水率約為 54.49%，而廚餘果菜殘渣含水量 88% 為最高，其為鉀源的提供來源。香菇木屑及中藥渣為磷及微量元素的提供源，堆肥過程所使用之原料種類固定且配比穩定，其堆肥原料成分分析如表 5.17。

表 5.17 E 廠原料成分分析表

品名 檢驗項目	羽毛屑	廚餘 果菜殘渣	香菇木屑	中藥渣
外觀	灰白色	黃白、綠色	褐色粉粒狀	褐色
pH 值	4.81	4.85	7.83	4.22
EC 值	0.08	3.15	1.37	0.38
水分(%)	58.49	88.00	49.55	71.50
氮(N) (%)	10.51	2.07	1.70	1.87
全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%)	0.36	0.56	1.10	0.66
全鉀(K <sub>2</sub> O) (%)	0.03	2.29	0.73	0.45
鈉(Na) (%)	0.09	0.14	0.15	0.08
鈣(Ca) (%)	0.02	0.68	N.D	0.42
鎂(Mg)(%)	N.D	0.20	0.58	0.12
有機質(%)	98	84.06	86.75	93.25

## 2.處理流程

E 廠堆肥處理流程如圖 5.26 所示，各類原料進廠後先經由磁選及人工分選將不適合堆肥之雜質移除，經破碎後添加副資材使 C/N 在 20~25、含水率約 60~65%，再添加醱酵菌種，在密閉混合旋轉筒(如圖 5.27)充分攪拌 4 小時後，再送至醱酵廠堆肥醱酵，並登錄製造批號、時間、溫度、pH、含水分等資料，醱酵廠內有 8 槽(如圖 5.28)可單獨送風及排水，每隔 3~5 天由大型翻堆機(如圖 5.29)將上一槽翻至下一槽，總醱酵時間共 32 天。可充分拌合、製成品質穩定之有機質肥料，於第七槽及製成粒狀時，採樣檢測肥料成分，並於出產成品包裝袋上註明批次及製造日期，以有效控管肥料品質。



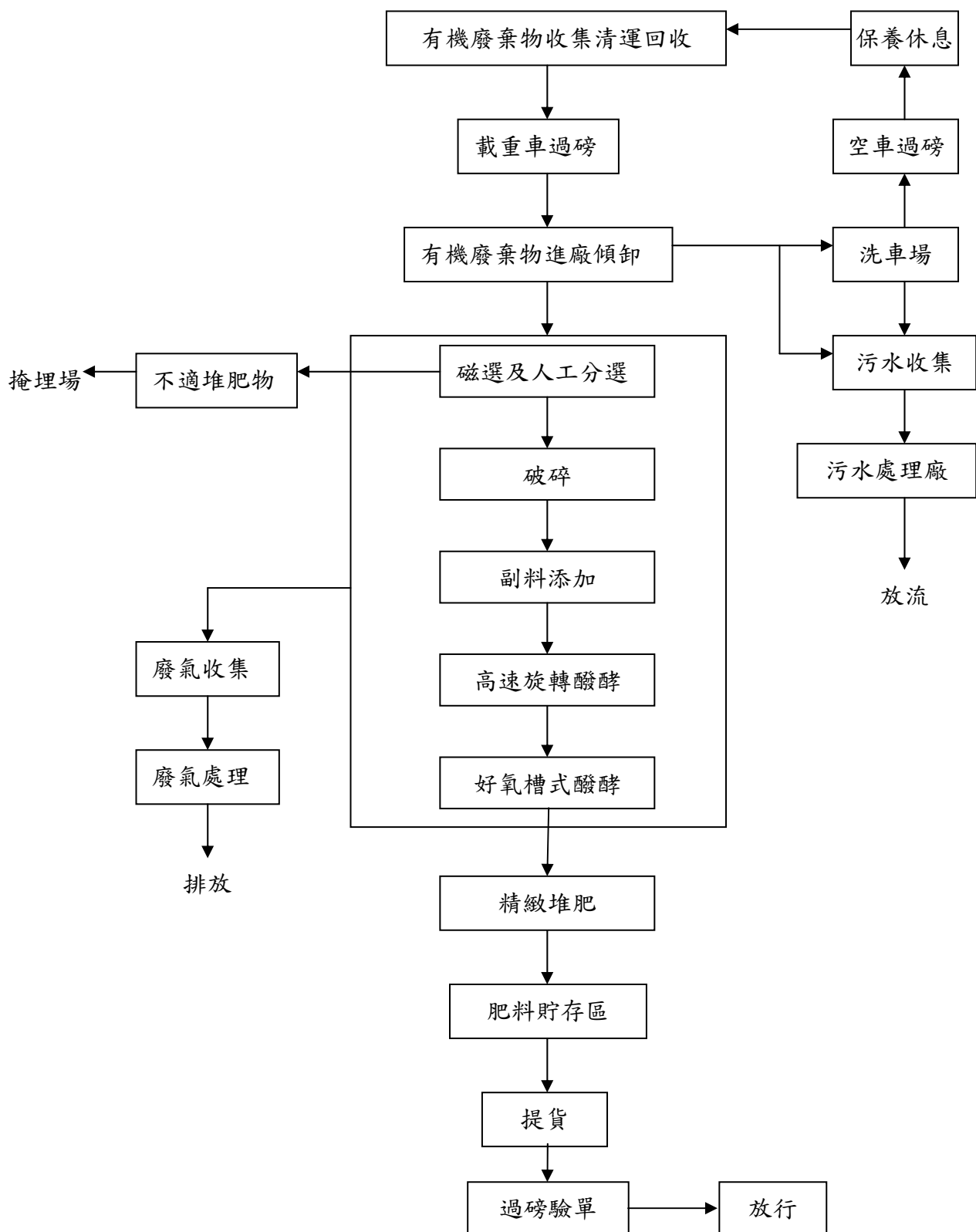


圖 5.26 E 廠堆肥處理流程



圖 5.27 E 廠快速混合醱酵槽



圖 5.28 E 廠八個醱酵槽



圖 5.29 大型翻堆機

### 3. 設備概要

E 廠之堆肥基本架構包含下列系統：進料設施、前處理設備、堆肥發酵設備、堆肥精製設備、堆肥裝袋設備、堆肥儲存設施、輸送設備、壓縮設備、脫臭設備、廢水處理設備及集塵設備等。主要設施及設備規格與數量詳見於表 5.18。

表 5.18 E 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限 (年)	取得成本(元)	年固定成本 (元)	備註
1	製造及發酵廠房	4	15	84,201,172	2,628,815	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	成品倉庫	1	15	5,875,888	183,448	
3	混合旋轉筒、翻堆機等設備	17	7	147,642,863	21,144,379	
4	臭味洗滌及防塵設備	5	7	46,231,603	6,620,967	
5	鏟裝機	2	5	9,942,280	3,531,509	
6	水電儀控工程	11	10	35,096,249	1,852,403	
7	品質檢驗儀器	1	10	1,988,456	104,952	
8	管理中心	1	50	3,877,489	55	
總 計				334,856,000	36,066,531	

### 5.5.3 產品品質

E 廠生產之有機質肥料有百盈一號有機肥、茶寶一號高氮長效有機肥料、綠盈一號高氮長效有機肥料、茶寶三號高氮長效有機肥料及綠盈三號高氮長效有機肥料等五類，其品質皆符合農委會公告之雜項堆肥品目之肥料規格，其各類有機肥料成分分析如表 5.19 所示。另 E 廠亦針對有機肥之重金屬含量進行分析，其含量如表 5.20。

表 5.19 E 廠有機肥成分分析

商品名稱	品目	成分(%)			
		全氮	全磷酐	全氧化鉀	有機質(乾基)
百盈一號有機肥	雜項堆肥	1.1	0.3	0.3	50.0
茶寶一號、高氮長效有機肥料	雜項堆肥	3.0	0.5	0.8	70.0
綠盈一號、高氮長效有機肥料	雜項堆肥	3.0	1.0	1.0	70.0
茶寶三號、高氮長效有機肥料	雜項堆肥	4.0	0.7	1.0	70.0
綠盈三號、高氮長效有機肥料	雜項堆肥	5.0	3.5	2.0	60.0

表 5.20 E 廠有機肥樣品中重金屬含量(mg/kg)

樣品名	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
綠盈一號 有機肥	0.70	檢測 不到	2.45	10.8	檢測 不到	1.80	8.05	178
茶寶一號 有機肥	0.80	檢測 不到	3.40	11.4	檢測 不到	1.95	8.05	692

註：樣品中鎘及汞之檢測極限分別為 0.10 及 0.05mg/kg。

### 5.5.4 主要銷售管道

由於 E 廠係屬政府機關出資興建的示範廠，主要的處理對象有廚餘、果菜、雞毛、廢酒糟、木屑、中藥渣及飼料殘渣等。堆肥產品由行政院農業委員會桃園區、台中區及茶葉改良場進行田間試作，確立其具有提高作物肥分且能增進農作物產量後，再銷售至各縣市及鄉鎮建立之經銷商體系及農業相關單位、農會產銷班等。目前 E 廠之有機肥料已施用於綠苦瓜、茄子、辣椒、芋頭、葡萄及草莓等蔬菜水果，其農民使用後反應不錯。

### 5.5.5 效益分析

E 廠 83 年興建工程費用表，每日處理 100 公噸之有機廢棄物，由表 5.18 E 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示，E 廠的初始總投資成本將近 140,345,230 元，換算年固定成本約 36,066,531 元。E 廠 92 年變動成本分析約 36,000,000 元(如表 5.21)。因此 E 廠營運收益分析顯示(如表 5.22)，年總成本 72,066,531 元，年粗收益 93,600,000 元，年淨收益 21,533,469 元，益本比 1.30，資本投資報酬率 29.8%，有機質肥料生產量 18,000 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 4,000 元/公噸。

表 5.21 E 廠於 92 年變動成本分析

項目		費用（元/年）	備註
操作費	一、水電燃料費	4,800,000	12 個月×400,000 元/月
	二、環境監測費	604,000	
	三、營運人事費	10,296,000	24 人×13 個月×33,000 元/月
	四、副料添加費	5,400,000	含菌種 5%
	小計	21,100,000	
維護費	一、機電設備	9,640,000	
	二、廠房建築	940,000	
	小計	10,580,000	
成品品質檢驗		4,320,000	含田間試驗
總計		36,000,000	



表 5.22 E 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1. 年總成本 (1) 年固定成本 (2) 年變動成本	72,066,531 36,066,531 36,000,000	1.年淨收益=年粗收益-年總成本 2.益本比=年粗收益/年總成本 3.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本*100 4.平均單位成本=年總成本/年產出量
2. 年粗收益 (1) 有機肥料 (2) 有機廢棄物處理	93,600,000 72,000,000 21,600,000	
3. 年淨收益	21,533,469	
4. 益本比	1.30	
5. 資本投資報酬率(%)	29.8	
6. 有機肥料產出量(公噸/年)	18,000	
7. 平均單位成本(元/公噸)	4,000	

### 5.5.6 結語

E 廠是屬政府出資興建之堆肥示範廠，主要堆肥製造設備為義大利進口機器，處理效果良好。E 廠的經營目標在於廢棄物再生利用的環保立場，目前 E 廠採用高速發酵法進行堆肥製作，日處理量近 100 公噸，年產堆肥成品將近 18,000 公噸，在產能規模上，屬於大型堆肥場。E 廠的經營目標是以無害於環境的方式來處理廚餘、雞毛、中藥渣等有機廢棄物，並且對產品品質嚴格把關，農友施用後皆有豐富的收益，施用成果如圖 5.30 所示，故目前主要產品的銷售通路已無障礙。

E 廠的整體污染防治設施雖有密閉負壓廠房及濕式洗煙除臭設備，但仍未達到像焚化爐之廠房密閉設施，故無法有效防制臭味，為其可改善的空間，另因 E 廠的肥料成品供不應求，急需建設良好的倉庫，才不致於使成品日曬雨淋影響肥料品質。



圖 5.30 E 廠之肥料施用於芋頭前與施用後之比較圖（施用後可增加產量 30%）

## 5.6 豆渣堆肥案例

### 5.6.1 廠內概況

F 廠位於彰濱工業區內，工廠定位為農業生物科技廠(如圖 5.31)，廠址總面積為 38,239 平方公尺，初期投資金額約新台幣 4 億 6 仟萬元。F 廠設有肥料工廠、生物技術研究室、農業資材研究室及品質管制室，其中堆肥廠投資額約為四千九百萬元。主要產品有一般堆肥、雜項有機質肥料、含有機質複合肥料、休閒園藝用肥料、栽培介質各種進口肥料與農業資材。由於 F 廠所屬的集團公司內另有飼料部門，所以可以輕易獲得豆渣廢棄物，另外配合菇類太空包廢木屑、蔗渣等材料，混合成製造堆肥的主要材料。



圖 5.31 F 廠露天原料堆置區

## 5.6.2 處理流程與設備概要

### 1.材料特性

對食品加工廠及飼料工廠而言，豆渣為其典型的有機廢棄物，雖經加工過程，但大部分仍具材料原有之特質。一般豆渣中含有豐富的植物營養成分，其中氮(N)約 3~8%、有機碳約 45~65%、C/N 約 8~15，顯示大部分材料含有豐富之氮源。另重金屬總量方面，鎘(Cd)約 0.66ppm、鉻(Cr)約 19.2 ppm、銅(Cu)約 41.1 ppm、汞(Hg)約 0.07 ppm、鎳(Ni)約 9.53 ppm、鉛(Pb)約 1.5 ppm，鋅(Zn)約 125 ppm，砷(As)約 1.03 ppm，均未超過垃圾堆肥重金屬含量最高限值。由以上之特性來看此類廢棄物為堆肥之良好材料。目前已有部分工廠將豆渣送交堆肥廠處理，主要是當做堆肥材料中之氮源材料之一。

### 2.處理流程

F 廠採用通氣靜堆法進行堆肥製作，其有機肥料製造流程如圖 5.32，豆渣廢棄物配合菇類太空包廢木屑、蔗渣等材料，混合均勻及調整水分含量約 60% 後，以大型鏟斗機送入安裝強制送風系統之堆肥槽內，進行分解醱酵，堆積期間利用大型鏟斗機進行翻堆，再經後醱酵及間歇性強制送風。經過約 2 個月堆積後，堆肥逐漸腐熟，先經成分含量分析以確保品質，再經乾燥、粉碎、包裝後，送進成品堆置區(倉庫)貯存(如圖 5.33)。



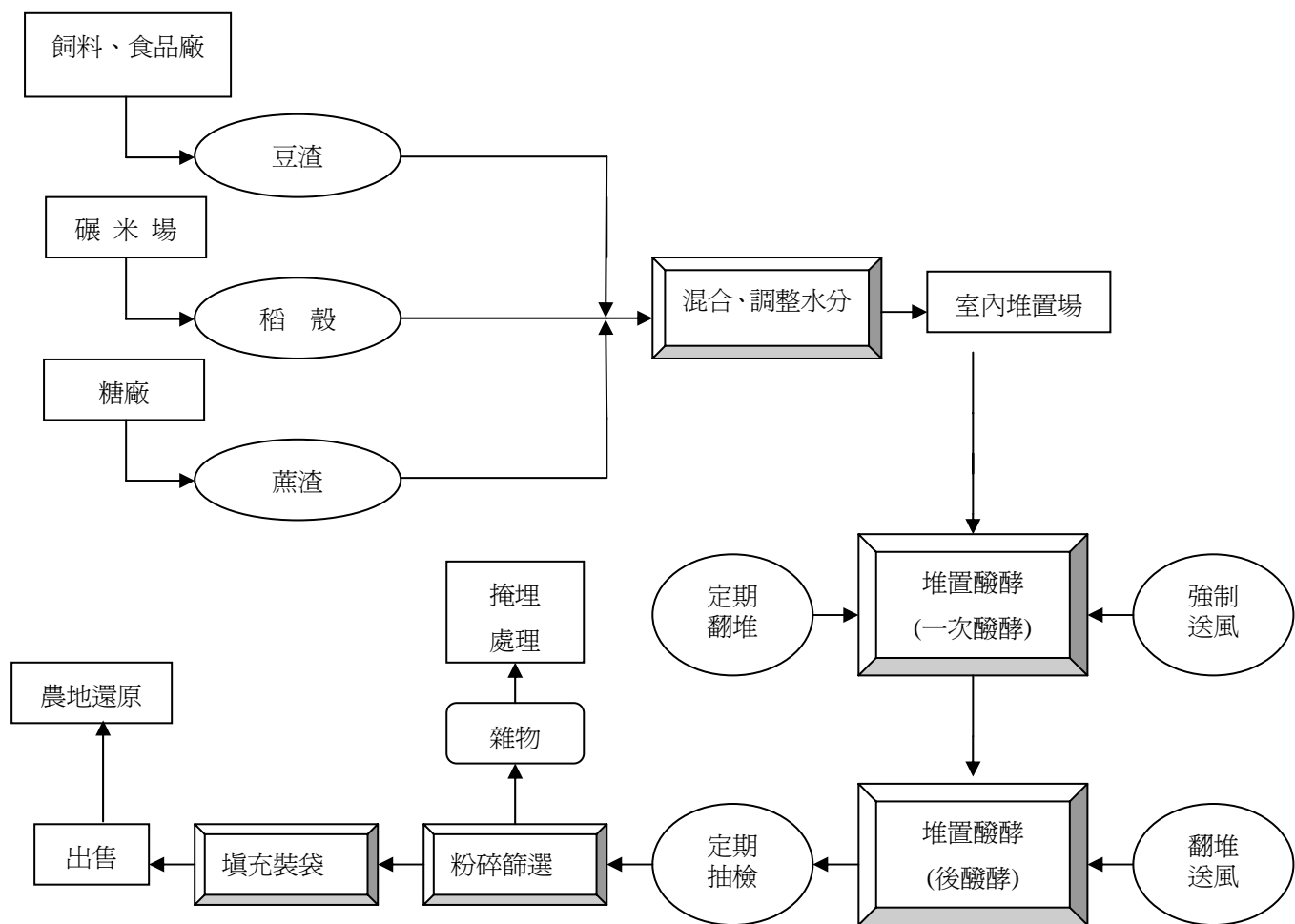


圖 5.32 F 廠有機肥料廠製造流程圖



圖 5.33 F 廠有機質肥料貯存區

### 3.設備概要

#### (1)堆肥化設施

堆肥生產主要設施區分為原料儲存區、原料混合區(堆肥前處理區)、醱酵區、後腐熟區、包裝區、成品堆置區(倉庫)，其中醱酵區面積約 3,344 平方公尺。為求產品品質穩定並設有品質管制室監測原料成分及產品品質，以及生物技術室持續篩選特殊功能之有機分解菌。此外，為方便原料調度，於南投縣中寮鄉設有原料蒐集場，面積約 3,000 平方公尺。

#### (2)堆肥化設備

利用通氣性的靜置醱酵槽進行堆肥生產，並以大型鏟裝車進行翻堆。醱酵槽共 32 座，每座長度、寬度及高度為 8.0m×8.0m×2.5m，分為醱酵區與後腐熟區。前醱酵區有 16 座，每座醱酵槽設有通氣管，溫度感應器與灑水設備，溫度控制與通氣皆為各自獨立的，並可進行自動控制。其他設備包括原料混合機、鼓風機、排氣除臭系統(如圖 5.34)、造粒機(如圖 5.35 造粒後之粒狀堆肥)、成品包裝機及堆高機等。主要設施及設備規格與數量詳見於表 5.22。



圖 5.34 F 廠設置之除臭槽



圖 5.35 F 廠生產之粒狀堆肥

### 5.6.3 產品品質

由 F 廠堆肥產品主要特性分析顯示，其商品登記規定成分含量及現場採樣分析成分含量結果如表 5.23。

表 5.23 F 廠堆肥產品主要特性分析

成分分析	氮	全磷	全鉀	銅	鋅	酸鹼值	含水率	有機質
單位	%	%	%	ppm	(ppm)	-	(%)	(%)
I *	1.3	1.4	1.0	<100	<800	7.0	<40	>60
II **	2.11	1.48	0.96	5	16	7.12	34.6	61.2

\*：商品登記規定成分含量。

\*\*：採樣分析成分含量。

### 5.6.4 主要銷售管道

F 廠所生產的豆渣堆肥已正式登記為多品項之有機質肥料商品，由於 F 廠所屬的集團公司經營項目廣泛，涵蓋食品、飼料與肥料等，在全國設有完備的經銷網絡，且品牌形象優良，因此在這種先天優勢的條件下，F 廠的有機質肥料行銷據點遍佈全國各鄉鎮地區，是一個具有相當完整行銷網的堆肥廠商。另外 F 廠公司內設有業務部門，在各地區設有業務專員，其業務服務對象，包括鄉鎮地區農

會、農業產銷班或肥料資材商等，其業務服務工作範圍，包括辦理產品說明會、產品使用技術示範、產品使用效益觀摩及其他推廣服務等。

### 5.6.5 效益分析

F 廠堆肥日處理量約 45~50 公噸，年產量約 9,600 公噸。由表 5.24 F 廠堆肥處理設備概要與成本分析結果顯示，F 廠的初始總投資成本將近 49,100,000 元，換算年固定成本約 6,406,300 元。F 廠於 92 年變動成本分析約 20,471,000 元(如表 5.25)。因此 F 廠營運收益分析顯示(如表 5.26)，年總成本 26,877,300 元，年粗收益 29,215,625 元，年淨收益 2,338,325 元，益本比 1.09，資本投資報酬率 8.70%，有機質肥料生產量 9,600 公噸/年，平均生產有機質肥料單位成本 2,780 元/公噸。

表 5.24 F 廠堆肥處理設備概要與成本分析

編號	項目	規格數量	耐用年限 (年)	取得成本 (元)	年固定成本 (元)	備註
1	堆肥醱酵廠房	3,344 m <sup>2</sup>	10	14,500,000	1,972,000	1.貼現率設定為 6%。 2.年固定成本採用年償債基金法計算而得，其公式為 $R=Pi/(1+I)^{-n}$ 。
2	露天原料貯存場	3,000 m <sup>2</sup>	20	2,500,000	217,500	
3	原料堆置場房	1,000 m <sup>2</sup>	10	4,000,000	544,000	
4	醱酵槽通風管及鼓風機	5 馬力 20 台	5	1,200,000	283,920	
5	原料混合機	15 馬力 1 台	8	600,000	96,480	
6	鏟裝機	大型 1 台	10	3,800,000	516,800	
7	鏟裝機	小型 1 台	10	800,000	108,800	
8	排氣除臭系統	500 m <sup>2</sup>	10	1,200,000	163,200	
9	成品造粒機	10 噸/小時	8	6,000,000	964,800	
10	成品包裝機	半自動 1 台	6	1,200,000	243,000	
11	成品貯存場房	2,500 m <sup>2</sup>	10	3,500,000	476,000	
12	堆高機	2.5 噸 1 輛	10	800,000	108,800	
13	管理室	200 坪	20	4,000,000	348,000	
14	環境美化及水土保持工作	2,000 m <sup>2</sup>	30	5,000,000	363,000	
合 計				49,100,000	6,406,300	

表 5.25 F 廠於 92 年變動成本分析

項目	金額(元)
1.原料費	9,410,000
2.包裝材料費	756,000
3.燃料費	1,197,000
4.修繕費	396,000
5.材料費	828,000
6.水電費	1,692,000
7.人工費	6,192,000
變動成本合計	20,471,000

表 5.26 F 廠營運收益分析

項目	金額(元)	備註
1.年總成本	26,877,300	1.年固定成本貼現率設定為 6%。 2.年淨收益=年粗收益-年總成本。 3.益本比=年粗收益/年總成本。 4.資本投資報酬率=年淨收益/年總成本×100。 5.平均單位成本=年總成本/年產出量。 6.其他收益包括：雜項、利息、運費及代工處理等項。
(1)年固定成本	6,406,300	
(2)年變動成本	20,471,000	
2.年粗收益	29,215,625	
(1)有機肥	29,215,625	
(2)其他	0	
3.年淨收益	2,338,325	
4.益本比	1.09	
5.資本投資報酬率(%)	8.70	
6.有機肥料產生量(公噸/年)	9,600	
7.平均單位成本(元/公噸)	2,780	

### 5.6.6 結語

F 廠是屬於企業集團中的肥料工廠，理論上是一個獨立作業的公司體，所使用的堆肥部分原料是採用企業集團其他工廠所產出的有機廢棄物，如豆渣或豬糞等廢棄物。由於財務管理獨立於企業集團，所以肥料廠是採取利潤中心制，在財務管理上相當健全。由於該企業集團在全國設有完備的經銷網絡，且品牌形象優良，因此在這種先天優勢的條件下，F 廠的有機質肥料營運相當良好。尤其 F 廠設置有十分完善的檢驗設備，在品質控管上，是所有堆肥廠中的佼佼者。

在未來可改善之處，由於 F 廠具有相當完整的廠房、設備、人才，以及財務健全的企業集團為後盾。所以建議可以將未來發展，定位成全國肥料業界的研發

與生產龍頭，甚至於可以將眼光放大於亞洲(大陸、東南亞)，最終亦可以角逐全球肥料市場。為達成以上目標，其實並沒有想像的困難，因為在有機質肥料製造技術上，台灣地區不論是學界或實務業者，都已經累積相的研究成果與生產經驗。如果能夠進一步整合，包括研發、生產與實用等各方面技術人才，必能將這些寶貴的台灣經驗，在全亞洲、甚至於全世界發揚光大。

## 參考文獻

1. Smith, J. F., Composted Substrates Used in the Cultivation of the White Button Mushroom, *Agaricus bispour*, *Aspect of Applied Biology*, Vol 24:pp.131-143, 1990。
2. 經濟部工業局，有機事業廢棄物堆肥處理技術，工業污染防治技術服務團，1997。
3. Hoitink, H. A. J. and Keener, H. M., *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*, The Ohio State University, 1993。
4. Brown, S., Angle, J. S. and Lee, J., *Beneficial Co-Utilization of Agricultural, Municipal and Industrial By-Products*, Kluwer Academic Publishers, 1998。
5. Bernal, M. P., Sanchez-Monedero, M. A., Paredes, C., and Roig, A., Carbon Mineralization From Organic Wastes at Different Composting Stages During Their Incubation With Soil, *Agriculture Ecosystems and Environment*, Vol 69:pp.175-189, 1998。
6. Walke, R., *The preparation, Characterization and Agricultural Use of Bark-Sludge Compost*, Ph. D. Dissertation. U. of New Hampshire, Durham, NH. 1975。
7. 林政昌、廖秋榮、謝寶全、邱瑞宇、林育生，都市垃圾堆肥化耗氣性微生物之篩選，第二屆廢棄物清理實務國際研討會論文集，pp.267-269，2000。
8. Elito Epstein, *The Science of Composting*. E&A Environmental Consultants, Inc. Canton, MA., 1997。
9. Haug, R. T., *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, 1993。
10. Stevenson, F. J., *Humus Chemistry (Genesis, Composition, Reactions)*, John Wiley & Sons, Inc. publishers, 1982。
11. Inber Y. et al, Division S-3-Soil Microbiology & Biochemistry, *Soil Sci-*

- ence Society of America Journal, Vol 54:pp.1316-1323, 1990。
12. Chang, Y. and Hudson H. J., The Fungi of Wheat Straw Compost., I. Ecological Studies. Trans. Br. Mycol. Soc., Vol 50(4):pp649-666, 1967。
  13. Hsu, J. H. and Lo, S. L., Chemical and Spectroscopic Analysis of Organic Matter Transformations During Composting of Pig Manure, Environmental Pollution, Vol 104:pp.189-196, 1999。
  14. Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., and Bernal M. P., Nitrogen Transformation During Organic Waste Composting by the Rutgers System and its Effects on pH, EC and Maturity of the Composting Mixtures, Bioresource Technology, Vol 78:pp.301-308, 2001。
  15. Zhu, N., Dend, C., Xiong, Y., and Qian, H., Performance Characteristics of Three Aeration Systems in the Swine Manure Composting, Bioresource Technology, Vol 95:pp.319-326, 2004。
  16. 蔡宜峰、黃祥慶，行政院農業委員會台中區農業改良場，台中區農推專訊，第 116 期，1991。
  17. McCarty, P. L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals:I. Chemistry and Microbiology; II. Environmental Requirements and Control, III. Toxic Materials and Their Control, IV. Process Design, Public Works, 1964。
  18. Ashbolt, L. J. and Line K., Utilization of Industrial Fermentation Residues for Turfgrass production, Journal of Environmental Quality, Vol 11:pp. 233-236, 1982。
  19. Bishop, L. A. and Godfrey L. S., Simplified System for Refuse/Sludge Composts, BioCycle, Vol 26, No 5:pp. 46-49, 1983。
  20. Levi-Minzi, K. D. Tewari, V. K. Datta, R. K. and Murthy, A. S. R., Measuring Compost Stability, BioCycle, Vol 24:pp.25-33, 1986。
  21. Viel, H. F. Maheshwari, B. L. and McMahon, T. A., Physical, Chemical and Biochemical Consideration in the Biological Degradation of Wood, Wood and Cellulosic: Industrial Utilization, Biotech Structure and Properties, West Sussex, England, pp. 213-230, 1987。
  22. Morisaki, W. S. Haan, C. T. Nofziger, D. L. and Gregory, M., Effect of Yard Waste Compost on Plant-Parasitic Nematode Densities in Vegetable Corps, Journal of Nematology, Vol 27:545-559, 1989。
  23. Mathur, K. M. L. Ketylawell, P. J. Paice, M. E.R. and Whetlor, W. C., Utilization of Sewage Sludge Compost in Horticulture, Hottechnology, Vol



- 3:161-178, 1993。
24. Inber, Y. Chen, Y. and Hadar, Y., Composted Residues Reduce Peat and Pesticide Use, *BioCycle*, Vol 12:pp.64-68, 1993。
  25. Baddi, G. A., Hafidi, M., Cegarra, J., Albuquerque, J. A., Gonzalvez, J., Gilard, V., and Revel, J. C., Characterization of Fulvic Acids by Elemental and Spectroscopic (FTIR and  $^{13}\text{C}$ -NMR) Analyses During Composting of Olive Mill Wastes Plus Straw, *Bioresource Technology*, Vol 93:pp.285-290, 2004。
  26. Domeizel, M., Khalil, A., and Prudent, P., UV Spectroscopy: A Tool for Monitoring Humification and for Proposing an Index of the Maturity of Compost, *Bioresource Technology*, Vol 94:pp.177-184, 2004。
  27. 中華土壤肥料學會，肥料要覽，行政院農業委員會，2001。
  28. 陳武雄、林俊義、簡宣裕、林木連、鄭智馨、張明輝，堆肥製造技術，行政院農業委員會農業試驗所農業委員會，農業試驗所特刊，第 88 號，2000。
  29. Bernal, M. P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M. A., and Cegarra, J., Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared with a Wide Range of Organic Wastes, *Bioresource Technology*, Vol 63:pp.91-99, 1998。
  30. Kapanen, A. and Itavaara M., Review Ecotoxicity Tests for Compost Applications, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol 49:pp1-16, 2001。
  31. 翁震炘、吳安財、陳育信，農牧廢棄資源再生利用之發展與未來第二屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集，台灣省政府農林廳編印，pp. 7-21，1991。
  32. 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘，牛糞堆肥化技術改進之研究，中華生質能源學會會誌，第 13 期，pp.134-140，1994。
  33. Golueke, C. G., Composting Source Separated Organic, Implementing Principles, the JG Press, Inc. USA, pp.16-20, 1994。
  34. Tsai, Y. F., and T. C. Kao, the Resource Recycling & Management Research Center , The 2002 Symposium on the Management, Technology and Reuse of Swine Wastes, Development of Swine Waste Composting in

- Taiwan,, Yunlin, pp.35-61, 2002。
35. Stentiford, E. I., Diversity of Composting Systems, In: Hoitink, H. A. J., and H. M. Keener. (ed.) Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects, Ohio Agricultural Research and Development Center, the Ohio State University, Wooster, Ohio, pp.95-110, 1993。
  36. Harada Y., K Haga, T. Osada, and N. Koshino., Proceedings of Symposium on Pig Waste Treatment and Composting II, Quality Aspects of Animal Waste Composts, Taiwan, pp.54-76, 1991。
  37. 蔡宜峰，菇類太空包廢料堆肥化製作之研究，台中區農業改良場研究彙報，第 44 期，pp.13-21，1994。
  38. 簡宣裕，製造堆肥時材料的碳氮比及水分含量之調整，堆肥製造技術行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會編印，pp.59-64，1999。
  39. 台灣省農林廳，環保堆肥場之發展，禽畜糞堆肥處理技術輔導手冊，台灣省畜牧廢棄物資源再生利用協會編印，pp.166-181，1998。
  40. 經濟部工業局，堆肥原理概論，有機事業廢棄物處理技術，工業污染防治技術服務團編印，pp.3-12，1997。
  41. 洪嘉謨，跨世紀養豬排泄廢棄資源處理技術，台灣省畜產試驗所專輯第 60 號，1999。
  42. 經濟部工業局，廢棄物堆肥處理工程概論，有機事業廢棄物處理技術，工業污染防治技術服務團編印，pp.49-113，1997。
  43. 洪嘉謨、林財旺、李茂盛、許福星，廢肥豬舍之研究，中畜會誌第 18 期(1-2)，pp.99-110，1989。
  44. 蔡宜峰、黃祥慶，不同有機資材及通氣量對堆肥中營養要素成分之影響，台中區農業改良場研究彙報，第 43 期，pp.25-33，1994。
  45. 黃啟民、李松伍、陳文崇，豬糞堆肥化研究之新方法，豬糞尿處理與堆肥製造研討會論文專輯 II，中華生質能源學會編印，pp.77-90，1991。
  46. 林財旺，禽畜糞堆肥化處理，堆肥技術及其利用研討會論文集，中華生質能源學會編印，pp.230-249，1994。

47. Haga K.,Technology of Swine Wastewater Treatment, In:the 2002 Symposium on the Management, Technology and Reuse of Swine Wastes, the Resource Recycling & Management Research Center, Yunlin, pp.1-20, 2002。
48. Stentiford, E. I., D. D. Mapa. and P. L. Taylor., Forced Aeration Co-composting of Domestic Refuse and Sewage Sludge in Static Piles, In: Grsser, J. K. R. (ed.) Composting of Agricultural and Other Wastes, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, p.42-55,1985。
49. 譚奇才，豬糞堆肥自動翻堆機之開發，中華農業研究，第 40 期(2)，pp.161-170，1991。
50. 沈韶儀、王西華，豬糞堆肥穩定化因子之探討，堆肥技術及其利用研討會論文集，中華生質能源學會編印，p.250-264，1994。

## 附錄一 堆肥廠商名錄

廠商名稱	地址	電話
一昇堆肥場	屏東縣高樹鄉建興村沿山公路二段 58 號	(08)7753048
二崙養豬生產合作社	雲林縣二崙鄉來惠村惠來路 20 號	(05)5980352
三傑飼料股份有限公司	高雄縣路竹鄉鴨寮村復興路 282 號	(07)6965141
三富化工廠	台中市西區公正里向上 1 街 10 號	(04)3257161
上實業股份有限公司	台南縣麻豆鎮麻口里麻豆口一之 14 號	(06)5703281
大力機肥園藝股份有限公司	南投縣草屯鎮坪頂里股坑 34 之 10	(04)22714868
大舜堆肥場	屏東縣萬巒鄉佳和村新興路 33 之 4 號 1 樓	(08)7811523
中部實業股份有限公司	台南縣學甲鎮達明里 1 之 1 號	(06)7835121
中華紙漿股份有限公司	花蓮縣吉安鄉光華村 100 號	(038)421171
中興合作農場堆肥場	台中縣新社鄉中和村龍安 23 之 1 號	(04)25931379
太田牧場堆肥場	屏東縣麟洛鄉新田村民族路 408 號	(08)7234238
日月煤礦化工股份有限公司	南投縣草屯鎮敦和里仁愛街育德巷二弄 8 號	(049)2334409
木村實業有限公司	彰化縣福興鄉外中村外中街 321 號	(04)7792737
北海有機肥料股份有限公司	花蓮縣吉安鄉仁和村南海八街 204 號	(03)8422861
台灣肥料股份有限公司花蓮廠	花蓮縣花蓮市民心里華東 15 號	(038)223540
台灣阿米諾酸股份有限公司	高雄市新興區中正三路 158 號 5 樓之 3	(07)2376312
台灣糖業股份有限公司虎尾糖廠	雲林縣虎尾鎮中山路 2 號	(05)6327093
台灣糖業股份有限公司農場經營中心	屏東縣萬丹鄉萬後村和平西路 363 號	(06)5819732
弘裕農產加工廠	雲林縣元長鄉子茂村子茂路 150 號	(05)7884558
正豐化學股份有限公司	台中縣霧峰鄉吉峰村民生路 200 號	(04)3390661

廠商名稱	地址	電話
田金企業社	雲林縣土庫鎮奮起里秀潭路 2 之 3 號 1 樓	(0911)717340
田酪股份有限公司	彰化縣田中鎮大崙里興酪路三段 53 巷 25 號	(04)8754559
禾泰農牧股份有限公司	嘉義縣中埔鄉中華路 380 巷 22 號	(05)2300479
再生科技農業股份有限公司	台中市東區東門里旱溪西路一段 246 號 1 樓	(04)22138683
安慶農業資材有限公司	屏東縣屏東市橋南里自立路 195 號 1 樓	(06)2377101
成昌堆肥共同處理場	彰化縣芳苑鄉芳漢路 106 巷 300 弄 11 號	04-8990520
有限責任花蓮縣花東有機肥生產合作社	花蓮縣玉里鎮東豐里棣芬 71 之 3 號	(03)8885918
有限責任南投縣國姓菌類資材生產合作社	南投縣國姓鄉長流村長旗巷 45 之 2 號	(049)2432314
百盈系統科技股份有限公司	台南縣永康市東橋里中正路 279 巷 2 弄 36 號 1 樓	(04)26835798
利群堆肥場	苗栗縣公館鄉北河村北河 157 之 1 號	0932-616495
宏存工廠	雲林縣莿桐鄉埔尾村油車路 90 號	(05)5519988
宏金堆肥場	新竹市香山區海埔路 185 巷 202 號	(03)5388667
宏揚化工股份有限公司	台中縣新社鄉永源村水井街 48 之 3 號	(04)5872123
亞格立股份有限公司	高雄市苓雅區中正里林南街 29 號 11 樓之 1	(07)7871660
佳旺實業	新竹縣湖口鄉德盛村德興路 54 號 1 樓	(03)5906510
佳興堆肥共同處理場	臺南縣佳里鎮興化里佳里興 465 之 5 號	(06)7263451
尚豪實業有限公司	雲林縣西螺鎮大園里光復東路 64 巷 15 號 1 樓	(05)5870430
岱山有機肥料有限公司	彰化縣田尾鄉海豐村光榮巷 345 之 6 號	(04)8833691
旺農興股份有限公司	高雄縣阿蓮鄉石安村 230 之 53 號	(07)6312776
昌牧企業有限公司	屏東縣屏東市崇蘭里中山路 187 號 11 樓之 1	(08)7666768
東石合作農場堆肥場	嘉義縣東石鄉蔦松村 40 之 34 號	(05)3799817

廠商名稱	地址	電話
東宇貿易股份有限公司	台北市南港區興南街 23 號 3 樓	(02)27884376
東泳貿易有限公司	桃園縣桃園市大德一街 67 號 1 樓	(03)3023841
欣農農牧企業社	台南縣柳營鄉八翁村八老爺 135 號	(06)6221199
油車合作農場堆肥場	雲林縣莿桐鄉六合村新興路 10 之 6 號	(05)5518899
肥亞堆肥場	高雄縣路竹鄉下坑村太平路 1 號	(07)6967580
花蓮縣東豐有機肥生產合作社	花蓮縣玉里鎮東豐里棣芬 71 之 3 號	(03)8880181
金大堆肥共同處理場	彰化縣芳苑鄉文津村芳草路 16 號	(04)8932618
金峰堆肥場	屏東縣里港鄉中和村南進路 10 之 6 號	(08)7733057
金農友企業股份有限公司	彰化縣二林鎮南光里安和街 20 號	—
金雞堆肥場	屏東縣長治鄉德新路 4 巷 3 之 2 號	(08)7620210
長岡化工股份有限公司	嘉義市下埤里北港路 746 巷 9 號	(05)2372667
長旺生物科技股份有限公司	高雄縣路竹鄉甲南村大仁路 540 號 1 樓	(07)6972261
長虹堆肥場	屏東縣屏東市華山里莊敬街一段 231 巷 9 號	(08)7375680
保證責任雲林縣油車合作農場	雲林縣莿桐鄉埔尾村 154 號	(05)5518899
保證責任嘉義縣東石合作農場	嘉義縣東石鄉蔦松村湖底 40 之 34 號	(05)3799817
屏東縣南州鄉農會	屏東縣南州鄉仁里村三民路 27 號	(08)8643640
洪百里生物科技股份有限公司	台北市大安區建國南路一段 161 號 9 樓	(02)877135
昶詒堆肥共同處理場	桃園縣新屋鄉九斗村上青埔 35 之 7 號	(03)4779943
晉豪堆肥共同處理場	苗栗縣後龍鎮海埔里 13 鄰 86 之 7 號	(037)433824
泰新農牧有限公司	台中縣太平市興隆里光興路 890 巷 36 號 1 樓	(04)2786871
益欣股份有限公司	台南市東區圍下里勝利路 43 號	(06)2377101
益農農業社	桃園縣新屋鄉東明村七鄰甲頭厝 16 之 1 號 1 樓	(03)4778855

廠商名稱	地址	電話
荃耀企業有限公司	彰化縣埤頭鄉崙子村崙子路 15 號之 1	(04)8926783
涂氏堆肥共同處理場	南投縣民間鄉東湖村虎坑巷 47 之 1 號	(049)2734870
培根有機肥料股份有限公司	嘉義縣梅山鄉大南村南勢坑 8 之 2 號	(05)2624101
崇容堆肥共同處理場	台南縣鹽水鎮南港里 200 之 100 號	(06)7830856
得春盛實業有限公司	台北市中正區羅斯福路二段 16 號 3 樓	(02)26981596
頂新製油實業股份有限公司	彰化縣永靖鄉永東村永靖街 60 號	(04)8221166
琦棟實業有限公司	台南縣永康市北灣里大同街 60 號 2 樓	(06)6993765
雲林縣二崙畜產生產合作社	雲林縣二崙鄉大義村田中路 29 之 10 號	(05)5989181
雲林縣乳牛生產合作社	雲林縣崙背鄉西榮村民族路 10 號	(05)6965312
順利園堆肥共同處理場	澎湖縣湖西鄉林投村 120 號	(06)9922477
順鉅堆肥場	嘉義縣義竹鄉頭竹村頭竹圍 234 之 3 號	(05)3420800
順豐堆肥場	桃園縣新屋鄉永興村大牛欄 51 之 2 號	(03)4861576
新安農農化工廠	嘉義縣民雄鄉福興村新興 1 之 1 號	(05)2200610
新美谷花卉蘭藝有限公司	台南市東區後甲里中華東路一段 185 號 1 樓	(06)3136477
葆南牧場堆肥場	台南縣柳營鄉重溪村 5 之 36 號	(06)6224734
裕禾生物科技股份有限公司	台南縣官田鄉二鎮村工業南路 30 號	(06)6985599
農城實業有限公司	彰化縣埤頭鄉興農村中興巷 82 號	(04)23601221
農富堆肥共同處理場	彰化縣溪州鄉登山路三段 623 巷 88 號	(04)8890148
農積企業股份有限公司	彰化縣彰化市西興里彰草路 122 號	(04)7519496
嘉泰企業股份有限公司	台北市大安區復興南路一段 390 號 7 樓之 3	(02)27068896
嘉義縣農會	嘉義市西平里博愛路二段 459 號	(05)2260415
華豐堆肥共同處理場	苗栗縣三灣鄉永和村 7 鄰 13 之 7 號	(037)831633

廠商名稱	地址	電話
福寶合作農場	彰化縣福興鄉福寶村新生路 85 之 7 號	(04)7772135
翠筠有限公司	台北縣新店市屈尺路 161 之 1 號	(02)6667777
臺益工業股份有限公司	桃園縣觀音鄉保障村九鄰 68 之 1 號	(03)4830878
臺灣糖業股份有限公司新營副產加工廠	台南縣柳營鄉人和村 56 號	(06)6220221
億順堆肥共同處理場	彰化縣芳苑鄉王功村芳漢路 786 號	(04)8932938
福壽實業股份有限公司	台中縣沙鹿鎮興安里沙田路 45 號	(04)27810159
錦樺實業有限公司	台南縣永康市北灣里大同街 60 號 1 樓	(06)6994501
嶺先興業股份有限公司	台南縣東山鄉東原村前大埔 68 之 2 號	(06)6863036
總發企業股份有限公司	雲林縣斗南鎮小東里公論路 19 號	(05)5971141
聯勝堆肥場	嘉義縣民雄鄉秀林村林子尾 45 之 1 號	(05)2202366
駿鳴實業有限公司	新竹縣竹東鎮榮樂街 183 之 6 號 5 樓	(03)4903505
藍潔國際開發有限公司	彰化縣溪州鄉舊眉村中山路四段 228 號	(04)8890019
豐本生物科技股份有限公司	台中市南屯區田心里大墩二街 213 號 1 樓	0931-622902
豐收實業有限公司	苗栗縣竹南鎮公館里十一鄰大埔頂 97 之 5 號	(037)623048
豐苗生物科技股份有限公司	台南縣學甲鎮民吉里中洲 1 之 1 號	(06)7823001
豐展堆肥共同處理場	嘉義縣中埔鄉社口村 25 鄰 17 號	(05)2530046
豐榮合作農場堆肥場	雲林縣崙背鄉豐榮村 193 之 10 號	(05)6910424
寶佳宏企業有限公司	高雄市苓雅區中正一路 372 號 11 樓之 3	(07)7232212
鑫育農堆肥場	屏東縣萬巒鄉新厝村新樂路 56 號 1 樓	(08)7834168
鑫柏強企業有限公司	高雄市苓雅區中正一路 372 號 11 樓之 2	(07)7232212

資料來源:行政院農業委員會,2004,3月。



## 附錄二 堆肥設備廠商名錄

廠商名稱	地址	設備	電話
企立實業股份有限公司	台北縣泰山鄉工專路84號	高速醱酵機、廚餘處理機	(02)29080345
洪百里生物科技股份有限公司	台北市大安區建國南路一段161號9樓	有機廢棄物處理設備	(02)87713588
普大環境工程股份有限公司	彰化縣二水鄉裕民村過溪巷10號	普大生垃圾處理機	(04)8797067
琦永生物科技股份有限公司	台北縣汐止市新台五路一段96號18樓	有機垃圾處理機	(02)26969123
咏明機械工業股份有限公司	台南市安南區長溪路2段290號	堆肥設備整場設計建造	(06)2476751
億知機械股份有限公司	彰化縣埤頭鄉崙腳村興工路25號	堆肥設備整場設計建造	(04)8928230
運勤機械工業股份有限公司	彰化縣永靖鄉九份路189號	刮板式翻堆機、天車式刮板翻堆機	(04)8228758
示益企業有限公司	新竹市海埔路185巷202號	廚餘處理機、高速發酵機特色、除臭機	(03)5388909
緬崙生物科技股份有限公司	臺北市內湖區民權東路六段180巷6號11樓之3	高速醱酵機	(02)27181998
萬得富機械工業股份有限公司	台南縣仁德鄉保安村民生路24號	有機翻堆機、造粒機	(06)266-6177
百達國際科技	台南市文南路72號	廚餘筒	(06)-2626633
亞松企業有限公司	高雄市苓雅區林興里廣東二街123巷20號	堆肥設備	-
台灣日立股份有限公司	台北市南京東路三段63號	廚餘處理機	(02)2508-3311
展林企業有限公司	台北市忠孝東路四段341號8樓之2	生垃圾處理機、有機廢棄物前處理設備	(02)2772-3316
堡綠環境科技有限公司	台北縣板橋市民治街82巷8號1樓	廚餘處理機、廚餘筒、生垃圾處理機	(02)22570719
武興園藝有限公司	台中縣大肚鄉中和村中山路111號	有機堆肥筒、廚餘製肥機	(04)2693-3841

資料來源:93 年度資源化工業輔導計畫彙整

堆肥技術與設備手冊及案例彙編

/經濟部工業局,財團法人台灣綠色生產力基金會編著.

—初版—台北市：工業局出版；

台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會發行,民 94

152 面；21×29.7 公分

ISBN 986-00-1401-9(平裝)

1.廢物技術 2.堆肥—技術

445.97

94010562

堆肥技術與設備手冊及案例彙編

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發行人：陳昭義

總編輯：黃孝信

編輯企畫：陳炯立、王義基、余騰耀、張啓達、劉蘭萍、鄭淑芬、高瑛紘

執行編輯：林冠嘉、林金美

編輯委員：陳明晉、廖秋榮、蔡宜峰（依姓氏筆畫順序排列）

出版所：經濟部工業局

台北市大安區信義路三段 41 之 3 號

(02)2754-1255

<http://www.moeaidb.gov.tw>

發行所：財團法人台灣綠色生產力基金會

台北縣新店市寶橋路 48 號 5 樓

(02)2910-6067

<http://www.tgpf.org.tw>

出版日期：中華民國九十四年七月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工本費：550 元

GPN：1009401709

ISBN：986-00-1401-9 (平裝)