

廚餘堆肥化處理一(1)基本認識

畜試所 / 洪嘉謨 · 沈韶儀 · 林財旺

目前在台灣，由於沒有做好垃圾分類，因之廚餘均與一般垃圾送往掩埋場或焚化處理。依據德國的經驗(林與洪，1993)，每噸垃圾以焚化方式處理需花費600馬克，掩埋方式需花費400馬克，而以堆肥化處理，則僅需230馬克。因之廚餘如能以堆肥化處理，不但花費最少，且可得到有機肥的回收；非但對於台灣地區之掩埋場及焚化爐設施的使用年限的延長有莫大的幫助外，也可減少大眾對於掩埋場及焚化爐設立的排斥、抗爭，應該是很值得鼓勵的措施。

廚餘的涵義，由於各國民情、生活環境的差別，在歐美主要以廚房做菜前之剩餘物，例如蔬菜殘渣、果皮、蛋殼等與庭園的草木類為主，大都不包括剩餘的飯、菜等。台灣，除了做菜前之剩餘物外，以剩餘的飯、菜混合物為主。而日本，則三者皆有。惟無論是做菜前之剩餘物、剩餘飯菜或庭園的草木殘枝類等，皆是製造堆肥的好原料。因之廣義的廚餘，應包括上述所有項目。

廚餘除了可製造堆肥外，最傳統的方式是用來餵豬。此外，以厭氣發酵法處理廚餘，也是很好的資源化處理方式；目前在丹麥已有農友以廚餘與畜禽糞尿混合，以厭氣發酵法處理之實例

(古谷，2000)。上述堆肥化、餵豬及厭氣發酵法處理廚餘，各有其優點。

影響堆肥化的主要因素

以廚餘製造堆肥的過程，主要受微生物之影響；而影響微生物活動的主要因素有溫度、水分、氧氣、pH及營養成份等。欲使這些微生物呈現最高之活性，必須控制這些因素均在正常之狀態，才能使這些好氣的微生物將廚餘分解，變成水、二氧化碳、氮、硝酸等簡單的無機物、中間分解產物及分解時之菌體及其代謝產物。而廚餘有機物被微生物分解之過程稱之謂發酵。最後達到堆肥化之穩定階段，亦即所謂腐熟，而最後的產物為由生物和化學作用所形成暗黑褐色的高分子化合物，即所謂腐熟堆肥。

溫度

微生物必須有適當的溫度始能繁殖活動，低溫一般不適用於微生物之繁殖，對於有機物之分解也不旺盛，而溫度開始上昇時，其活動也隨之活躍至適當溫度。如果溫度繼續上昇，則其活動反而隨之下降，且終歸死滅。而一般微生物活動之溫度上限為65~80°C。

在廚餘中添加其他木屑、稻殼等水分調製材堆積發酵時，起先廚餘中之醱

類被分解而產生熱，使堆積物之溫度升高；由於溫度之升高，使低溫及中溫微生物之活動轉弱，而較耐高溫之纖維分解微生物開始活躍，而分解木屑、稻殼中之纖維。但由於其好熱性，在50°C以下之溫度不適用於繁殖。

水分

以廚餘製造堆肥時，堆積物之含水率為影響堆肥化之最重要關鍵因素。一般微生物在堆積物含水率40%~70%時，較適合於好氣微生物之活動，尤其在堆肥發酵過程中，以含水率60%~70%間最佳，低於含水率40%時，則發酵被抑制，而高於70%時會產生厭氣狀態，厭氣微生物則開始活躍。

氧(空)氣

微生物在進行異化作用時，有需要與不需氧氣者；需要氧氣者稱之謂好氣微生物，不需氧氣者稱之謂厭氣微生物。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，而分解速度也異。以厭氣微生物分解堆積有機物時，其分解率很低，但好氣微生物之分解率則為厭氣微生物之10倍以上。因堆肥化的過程主要為好氣微生物之分解作用，因之堆積過程中必須適當的通氣，以供給氧氣，而一般以50~150 l/m³之送風量較適當。

pH酸鹼度

微生物對pH之變化很敏感，通常在強酸或強鹼性時均不適宜。一般分解有機物時，如果在中性左右之酸鹼度時較為旺盛，而趨酸性時其活力則減弱。

前述嗜高溫纖維分解菌之最適當pH在7.2~7.8間。

營養成分

以廚餘添加其他水分調製材製造堆肥時，發酵基質中含有木質素、纖維素、半纖維素、澱粉、多醣類、蛋白質等成分。其中木質素最難被分解，纖維素、半纖維素其次，而澱粉、醣類、蛋白質等較容易被分解。一般以畜禽糞堆肥化處理過程，其乾物質之分解率在發酵期間20~50天間約為20%~40%，而估計廚餘在堆積1個月期間分解率應可達50%左右，惟如含有較多難分解的果皮類或另添加其他如木屑或稻殼、稻草等調製材時，則其堆積期間勢必延長至2~3個月。

廚餘堆肥化的步驟

廚餘堆肥化的過程，主要包括水分調整之前處理及堆積發酵兩部分外，另包含發酵過程所產生惡臭之去除技術。

(一) 前處理—水分調整方法

水分調整之方式有烘乾脫水、機械脫水和添加填充材料等方式。烘乾處理則有火力烘乾、太陽能烘乾等方式。以火力烘乾時，所產生之惡臭，如果要完全去除時，其除臭設備幾乎與烘乾機同樣之投資外，因廚餘含有較高之含水率，必須另花費較多能源，而堆肥的售價不高，經濟面不划算，本文不擬述及；僅提供實際能夠應用之太陽能烘乾方式。至於以機械脫水之方式必須另配合廢水處理設施，徒增問題之複雜性， →

→ 因之也不切實際。

1. 太陽能烘乾脫水及設備

畜試所(洪與黃, 1981)曾利用塑膠房, 內部裝置一攪拌翻動機及脫臭槽(圖1), 用之以烘乾畜禽糞之試驗, 所得結果是塑膠房之畜禽糞厚在10 cm時其一天之脫水效率可達到4~8 kg/m²之效果, 冬天4 kg, 夏天可達8 kg。此結果可做為塑膠房所需面積估算之依據。



圖1 畜試所以塑膠房烘乾畜禽糞之設施

2. 水分調整材料及方法

在廚餘中添加木屑或穀殼等材料, 可改善廚餘之半流動性、消除惡臭、增加堆肥材料之表面積、使通氣性良好、調整適當之碳氮比、改善微生物生活的環境及促進腐熟等優點。惟所添加物質如木屑或穀殼等, 均含有纖維素或木質素等不易被分解物質, 會延長腐熟之時間; 惟如添加熱能含量高之物質如油脂等, 可助長微生物之繁殖、加速促進分解。此外, 所添加之物質必須考慮含水率低、吸水性良好、容易取得, 且價廉之材料。而與已腐熟之堆肥混合, 也可得到物理性狀之改善, 同時也可以加速

促進堆肥化微生物之繁殖。利用填充材料調整水分計算之方法如下:

$$\frac{X}{Y} = \frac{65-b}{a-65}$$

X = 廚餘量(kg)

Y = 填充材料量(kg)

a = 廚餘之含水率(%)

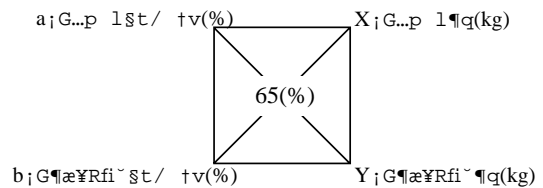
b = 填充材料之含水率(%)

舉例說明如下: 假設廚餘之含水率80%, 水分調整材料穀殼之含水率10%, 則廚餘和水分調整材料之混合比例各為多少(kg)? 才能使廚餘和穀殼混合物之水分在65%。

解:

$$\frac{X}{Y} = \frac{65-b}{a-65} = \frac{65-10}{80-65} = \frac{55}{15} = \frac{11}{3}$$

亦即以廚餘5 kg與水分調整材料3 kg之比例混合時, 可得到混合物之含水率為65%。為便於記憶, 下圖可幫助計算:



$$X(\text{kg}) = 65 - b; i K; K...p l q$$

$$Y(\text{kg}) = a - 65; i K; K...p l q$$

(二) 堆積發酵方式

畜禽糞堆肥發酵槽也可適用於廚餘堆積發酵, 而一般畜禽糞堆積發酵方式大致可分為靜置堆積和機械攪拌兩種(圖2), 而機械攪拌有開放型和密閉型之別。在台灣一般被採用方式: 在靜置

堆積有開放式和箱型（圖3），包括有通氣或不通氣外，一般以鏟裝機翻堆堆肥。箱型也可以帆布密閉之方式（圖4），以抽取槽內臭氣經脫臭槽而達到脫臭之目的。此外，另有袋裝方式（圖5）。而以機械攪拌方式有開放式；包括通氣或不通氣外，大都採用軌道式（圖6），包括天車式（圖7）；而其發酵槽之形狀有圓型、橢圓型，往回直走型等，配合攪拌機械有迴轉式或杓子式。此外，也有採用行走翻堆車（圖8）之方式。另密閉型則有臥置和直立槽（圖9）之別，內部有攪拌機械和通氣裝置。此外，另在開放式的堆肥場，把整場封閉之所謂封閉式；這種方式在國外沒有，僅台灣之畜禽糞堆肥場可看到，其全場內部作業環境很差，且耗電量多，不適用於堆肥發酵。一般而言，靜止堆積式堆肥設備投資較少，但處理期間較長，堆肥成品常呈結塊，品質不均勻；而機械攪拌式堆肥處理時，設備投資和管理費較高，但處理期間較短，成品品質均勻。



圖3 開放型(上)和箱型發酵槽(下)



圖4 箱型發酵槽以帆布密閉



圖5 袋裝堆肥

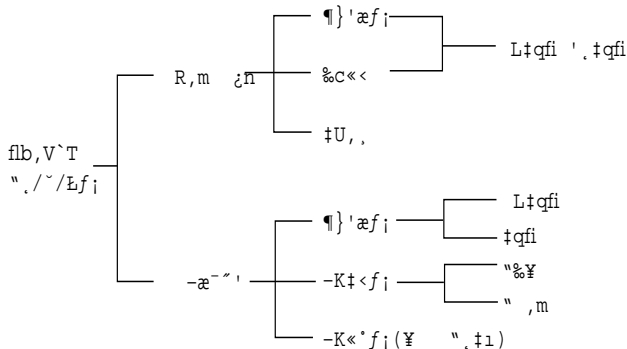


圖2 畜禽糞製造堆肥方式



圖6 軌道—迴轉式發酵槽



圖7 天車軌道—杓子式發酵槽



圖8 行走式堆肥翻堆機



圖9 直立式密閉發酵槽

針對畜禽糞製造堆肥之各種方式，就其處理設施之特性，簡述其優缺點如表1。

(三) 脫臭方式

堆肥化過程，尤其開始3~5天內，會產生多種成份之惡臭，如氨氣 (NH₃)、三甲胺 ((CH₃)₃N)、甲硫醇 (CH₃SH) 及硫化氫 (H₂S) 等。這些惡臭對人畜直接有害，濃度高時引起呼吸障礙、窒息等中毒現象。因此政府訂定有空氣污染防治法及勞工安全衛生法規定，空氣污染排放標準及勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，以維護工作人員之健康。脫臭的方法很多，台灣目前大都採用畜試所輔導的木屑脫臭法；具有施工方便、材料取得及操作容易、脫臭效果良好、且資源再利用等優點。

木屑脫臭的原理為臭氣抽送通過木屑層，臭氣成份被木屑的吸附作用及水分中溶解等而去除，每公斤木屑乾物質

表1 各種畜禽糞製造堆肥方式之特性

| 處理設施 | 太陽能利用 | 惡臭去除難易 | 勞力需求 | 設施面積 | 管理費 | 處理期間 | 投資金額 |
|------|-------|--------|------|------|-----|------|------|
| 靜置堆積 | | | | | | | |
| 袋裝 | 難 | 難 | 少 | 中 | 少 | 長 | 少 |
| 箱型 | 可 | 可 | 中 | 中 | 少 | 中 | 少 |
| 堆積 | 可 | 難 | 多 | 大 | 少 | 長 | 少 |
| 機械攪拌 | | | | | | | |
| 迴轉 | 可 | 可 | 少 | 中 | 多 | 短 | 中 |
| 杓子 | 可 | 可 | 少 | 中 | 多 | 短 | 中 |
| 行走 | 可 | 難 | 中 | 大 | 多 | 短 | 中 |
| 密閉 | 難 | 可 | 少 | 小 | 多 | 短 | 多 |
| 封閉 | 可 | 難 | 少 | 中 | 多 | 短 | 多 |

吸附臭氣量，濕材比乾材高，因此脫臭槽內木屑材料必需灑水，保持適當濕度。

脫臭時一般採用密閉式發酵槽，但密閉式發酵槽造價昂貴，因之在發酵槽之四周圍以塑膠布封閉，僅在一端設置抽氣用鼓風機，抽取臭氣送到脫臭槽脫臭之方式常被應用。堆肥場切勿全場封閉，否則會產生抽氣、換氣不足，影響場內作業環境。以抽氣鼓風機抽氣時，採用遠心型 (Turbo fan) 抽氣鼓風機之靜壓為320 mm Aq，每分鐘之抽氣量1 m³為基準，須配合脫臭槽面積1.7 m²之設計，即10 m³風量需配有17 m²脫臭槽面積。各種材料靜壓之推薦數值如表2。

表2 各種材料靜壓之推薦數值

| 方 法 | 堆積高度 (m) | 靜壓 (mm Aq) | 資料來源 |
|-------|----------|------------|------------|
| 堆肥脫臭槽 | 1.0 | 210 | 早川岩夫(1995) |
| 土壤脫臭槽 | 0.5 | 110 | 福林 功(1984) |
| 岩棉脫臭槽 | 2.5 | 300 | 吉山隆司(1995) |
| 木屑脫臭槽 | 1.0 | 200 | 石川幸市(1995) |

脫臭槽 (圖10~圖12) 包括槽壁、臭氣抽送管道、卵石、尼龍網、木屑等，底層舖以卵石架空並裝設臭氣抽送用管道；卵石上層舖尼龍網，上面填充木屑。脫臭槽內填充木屑之高度為1 m，木屑應選鋸木廠之細木屑為宜，含水率35%~50%，含水率太低時脫臭效果不良，應灑水調高含水率。

堆肥場產生之氨氣，在經過木屑層之速度每秒10 mm，臭氣與木屑接觸時

間100秒條件下，脫臭後氨氣僅1 ppm，脫臭效率達92%~100%，效果良好。但木屑吸附之臭氣達到飽和狀態時去除臭氣之效率消失，必須更換新的木屑。木屑可使用之日數，以脫臭槽之木屑表面有臭氣逸出時即須換新。此外，脫臭槽之脫臭效果如表3 (林等，1993)。

表3 脫臭槽之脫臭效率

| 惡臭成分 | 木屑脫臭槽 | | | 土壤脫臭槽 | | |
|---------------------------------------|--------|-------|------|--------|-------|------|
| | 脫臭前濃度 | 脫臭後濃度 | 脫臭效率 | 脫臭前濃度 | 脫臭後濃度 | 脫臭效率 |
| | ppm | | % | ppm | | % |
| 氨 (NH ₃) | 20~200 | 0 | 100 | 20~360 | 0 | 100 |
| 三甲胺 (CH ₃) ₃ N | 16~200 | 0 | 100 | 8~180 | 0 | 100 |
| 硫化氫 (H ₂ S) | * | | | | * | |
| 甲硫醇 (CH ₃ SH) | * | | | | * | |

*0.1ppm以下測不出

(林等，1993)

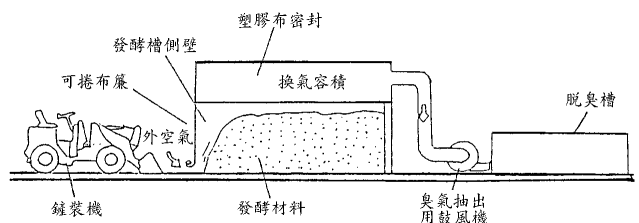


圖10 堆肥脫臭槽示意圖

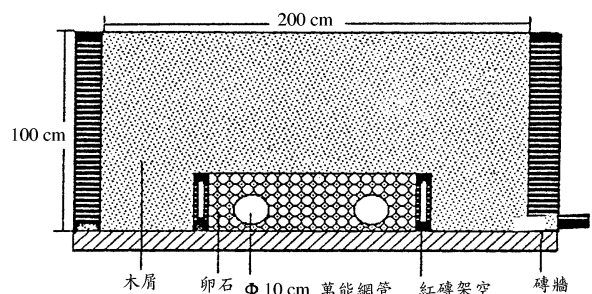


圖11 木屑脫臭槽

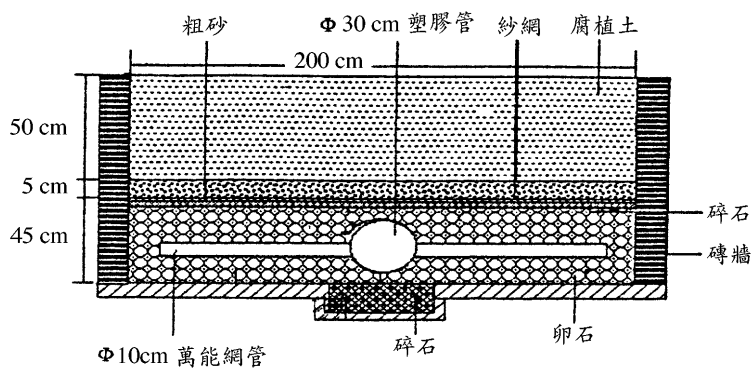


圖12 土壤脫臭槽

堆肥腐熟度簡易判定方法

腐熟度判定方法甚為複雜，如測定 CO_2 產生量、C/N比例、陽離子交換容量(CEC)、硝酸態氮、有機質殘存率判定、發芽率試驗、幼植物試驗、圓形濾紙圖形顯示判定法、Diphenylamine呈色反應測定……等多種，需有儀器設備、技術人才，且判定困難。為此期能以簡易設備、簡單的方法來判定，其方法在本文加以說明如下。

堆肥溫度變化

堆肥發酵過程產生熱，因此堆積數天內溫度急速上升，可達 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 。在高溫持續數天後緩慢下降；在此時進行翻堆，供給氧氣，溫度會再度上升，如此上升、下降數次後，堆肥溫度已下降至外界氣溫，雖再進行翻堆，溫度已不再上升，可認定為腐熟堆肥。大多數的堆肥均可採用這種方法判定腐熟度，但所需時間過長為其缺點。這種方法有時因堆積物之含水率下降至40%以下，致發酵反應停滯，而被誤判的情形曾經發

生，故經翻堆後溫度不再上升時，也應查明其堆積物之含水率多少。

綜合性狀

為綜合多種項目的性狀及內容判定法，除廚餘外，也適用於雞糞、豬糞、牛糞、污泥等堆肥腐熟度之判定。

其項目包括：

- 發酵日數：3週以上，視堆積材料而異。
- 堆肥顏色：呈黑褐色。
- 材質形態：輪廓崩毀，均勻細小。
- 臭氣：沒有糞尿臭，有堆肥發酵味。
- 含水率：呈乾燥狀態，手壓不成塊。
- 發酵溫度：發酵高溫達 70°C 以上。
- 翻堆次數：翻堆6~7次以上。

結語

廚餘為有用的資源，以堆肥化處理，應該是很正確的選擇。雖然人類以畜禽糞製造堆肥的歷史已相當悠久，且以廚餘製成堆肥的技術也相當成熟，惟廚餘堆肥場能否正常運作，必須確保廚餘原料沒有摻雜不應該有的東西，例如：金屬類、玻璃類、塑膠袋……等，亦即做好垃圾分類是廚餘堆肥化的先決條件。此外，廚餘堆肥化計畫之推行，僅有全民有此共識，仍然無法去執行；必須全民參與，且積極、熱烈的參與，才能達成廚餘堆肥化的目標。

