

# 有機廢棄物的農業再利用技術 與效益評估

陳仁炫

國立中興大學土壤環境科學系名譽教授

## 摘 要

由於禽畜之飼養，農業生產及工商業的發展及人口的增加，造成有機廢棄物的大量產出，致對環境安全和品質造成莫大的衝擊。許多策略被使用在廢棄物之農業再利用，堆肥化已知為廢棄物減量和資源再利用的最佳策略。傳統高溫堆肥化處理，須有廠房、機械設備的購置和維修等資金的投入，且需多次翻堆及較長時間的製程，及污染之威脅，因而造成堆肥業者的沉重負擔，進而影響廢棄物的處理量及處理效果。許多研究指出，蚓糞堆肥化作用比起傳統堆肥法更適合處理有機廢棄物，利用蚯蚓製成糞肥的作用，不但具有快速，易控制、省錢、節能和零廢棄物的優點，且能有效將有機質和養分予以循環，故可作為傳統堆肥化的替代方式。本文將針對廢棄物的農用技術，尤其是傳統堆肥化和蚯蚓堆肥化的優缺點予以比較，以供參考。

關鍵字：高溫堆肥化，蚓糞堆肥化，有機廢棄物，蚯蚓，循環再利用

## 前 言

農業、畜牧業、食品加工業、釀酒工廠等產出之廢棄物量甚鉅，若未採取適當處理常會造成環境的危害；如臭味、土壤及地下水的污染等，及對人畜安全的威脅。有機廢棄物含水量相對較高，若以焚化或掩埋方式處理，需土地和資金的大量投入且效果不彰，更可能因而降低焚化爐及掩埋場之壽命(Giusti, 2009)。現今原物料高漲，全球暖化威脅日益嚴重，故將有機廢棄物予以資源化是當今解決環保問題的重要對策(Talyan *et al.*, 2008)。

### 一、農用有機廢棄物的種類及潛在問題

有機廢棄物，顧名思義即為含有機質的廢棄物，包括禽畜糞、廢矽藻土、食品加工污泥、釀酒污泥、農業污泥、動物性殘渣及植物性殘渣等(環保署，2008)。以台灣而言，主要以畜牧廢棄物、農業廢棄物、食品廢棄物為大宗，如：

**1. 畜牧廢棄物：**包括動物排泄物、動物屍體、剩餘飼料和墊料，這些廢棄物若未經由適當之處理程序，不但佔用空間，又影響環境衛生並降低生活品質(Hutchison *et al.*, 2005)；若任其棄置或焚燒處理，則又可能造成水質、土壤與空氣等的二次污染(Zhu, 2000; Sidhu and Toze, 2009)。

一般而言，禽畜糞若未經適當處理而直接施用，其所含之病原菌及無機鹽類可能會對作物造成危害(Hutchison *et al.*, 2005; Lazcano *et al.*, 2008)，同時也會產生含硫化合物及氨等氣體，其臭味亦會污染環境(Dominguez *et al.*, 2001; Salazar *et al.*, 2005)。Martinez 等人(2009)指出當豬糞尿進入水源中，由於其豐富養分之存在，會導致藻類大量繁殖，而抑制水生植物以及其他生物的生長，這種水質受到營養鹽污染的現象，稱之為優養化作用(eutrophication)，此現象最終會導致水中魚貝類大量死亡。Buelna 等人(2008)亦指出，禽畜糞經雨水淋洗至地下水後，將會導致地下水中產生過多的細菌及硝酸鹽，亦會對環境造成危害。

**2. 農業廢棄物：**在農業生產或加工製造的過程中，皆會有不可食用部分或副產物的產出；包含農產廢棄物與農業資材廢棄物，前者包括：(1)穀類廢棄物；(2)特用作物廢棄物如蔗渣、蔗葉等；(3)蔬果廢棄物；(4)食品工廠廢棄物如農產、水產及禽畜加工之廢棄物等；(5)菇類培植廢棄包；及(6)樹皮、庭園及行道樹等廢棄物。農業資材廢棄物主要為用過之肥料袋、育苗袋(盤)，廢農藥廢容器及一些被覆資材如 PE 膜、PVC 膜，遮蔭網等，除部份為玻璃產品外，大多為不易腐爛及分解者。一般而言，農業資材廢棄物不得作為有機質肥料之原料。

以往農民將這些不可食部份或副產品的農業廢棄物作為飼養家禽、家畜之飼料，或直接施用或經堆肥化後施用於農地，以供來年作物養分之用。由於部份廢棄物物質之水分含量太高，且易腐敗，需適當處理方不致造成環境的污染。

**3. 食品廢棄物：**台灣地區主要食品廢棄物來源有；食品工廠之食品廢棄物、市集每日產生的食品廢棄物、學校及餐廳衍生的廚餘及家庭廚餘，而其中又以家庭廚餘為最大宗。一般食品廢棄物含水率較高(約達 85 %以上)及熱值低，不適用焚化處理；又因廚餘易腐壞、產生臭味及滲出水污染問題，亦不適用於掩埋處理，製成堆肥或加熱後作為飼料為最常見的處理方式(邱，2007)。

## 二、有機廢棄物的一般處理方式

### (一) 焚化處理

有機廢棄物通常含有 70~90%的水分，屬低熱值垃圾(Kansal, 2002)，若將其送入焚化爐會使垃圾總發熱量降低，因而降低燃燒速率並延長停留時間，且操作不當會增加爐床阻塞機

會，不但增加處理成本也會減少焚化爐壽命(Sharholy *et al.*, 2008)。另，焚化會產生致癌性的戴奧辛和 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 等物質而污染空氣，對人體造成危害，故有機廢棄物不適合以焚化處理(Cangialosi *et al.*, 2008)。

## (二) 衛生掩埋處理

此為早期台灣主要之處理方式，係利用微生物將垃圾中有機物質分解，減少其體積而趨於穩定。由於台灣土地狹小，掩埋場尋找難度高，傳統的垃圾掩埋法除了因土地利用資源逐漸減少而不再適用外(Jin *et al.*, 2006)，有機廢棄物高含水率會產生大量滲出水，增加廢水處理負荷，亦可能會滲入地下水或土壤中，故易造成土壤及地下水的污染及掩埋場臭味等問題(Suthar, 2009)，進而影響環境衛生。另，由於其有機質含量高，在水分含量高的情況下，會增加沼氣的生成，因此有機廢棄物並不適合衛生掩埋處理(Giusti, 2009)。

## (三) 資源再生利用

無害之廢棄物含有機質及作物或動物所需的養分，若將之回收再利用，可達資源再生的效果。茲以畜產廢棄物為例，列舉其資源再生利用的途徑。

### 1. 當作肥料使用(農委會農糧署，2010)

- (1) 禽畜糞在合理管理下可直接施入農地，釋出所含之作物養分，並增加土壤有機質含量，但在台灣仍不鼓勵禽畜糞直接施用。
- (2) 禽畜糞、禽畜墊料或豬糞尿廢水污泥，可與水分調整材(如稻殼、廢棄太空包、米糠、蔗渣…等)共同堆積醱酵成「禽畜糞堆肥」(禽畜糞應占主原料的 50%)，另禽畜糞亦可成為「一般堆肥」和「雜項堆肥」的原料，除可當肥料使用外，亦具有改善土壤性質的功效。
- (3) 禽畜之肉渣、肉骨、羽毛…等，經煮沸、蒸煮、壓榨、乾燥粉碎可製成「動物廢渣肥料」。

### 2. 製成園藝資材

- (1) 禽畜糞堆肥本身若銅和鋅或其他重金屬含量不高及電導度低者，可直接當作栽培介質用(郭和蘇，2003)。
- (2) 禽畜糞堆肥或豬糞尿廢水污泥可與有機介質(如泥炭、稻殼、米糠、樹皮)或無機介質(如蛭石、珍珠石、泥土、沸石…等)以一定比例混合成栽培介質(郭和蘇，2003)。
- (3) 豬糞尿廢水所產生之污泥，可製成污泥磚、污泥花盆、穴盤及污泥肥料，唯污泥磚之製作在高溫燃燒時會產生臭味，而污泥花盆及穴盤之製作宜加入廢紙漿以增加纖維量，且保水性為一般塑膠盆的 50%，因此需水性高之花盆需增加灑水次數(郭，2000)。

### 3. 當作飼料的原料

家禽墊料(Broiler litter)比其他動物廢棄物具較高之營養價值，且富含粗蛋白和礦物養分，經加熱脫水破壞病原菌及混合部分玉米粒或其他飼料以增進美味等過程後，可當肉牛的飼料成分(Pat Bbagley and Richard, 1998)。

- (1) 禽畜糞或禽畜糞堆肥可作為水產養殖池的肥料來源(項和盧，1999)。
- (2) 部分畜產加工廠之廢棄物，含豐富蛋白質，可以添加至其他基質中經微生物醱酵後，供作飼料(楊，1997)。

#### 4. 當作生產生質能源

禽畜糞、畜產廢水、死廢畜禽經厭氣發酵後會釋出沼氣及氫氣，將沼氣收集後，可供替代能源之用，如養豬場之輔助能源、飼料加工、混合及廢水處理廠之操作，仔豬保溫燈，焚化爐和煮水等能源(洪和程，1999)。

#### 5. 當作微生物和蛋白質合成的基質

#### 6. 其他(楊，1997)

- (1) 畜禽血液可製成疫苗安定劑、乳化劑和接著劑。
- (2) 畜產內臟可抽出肝素和胰島素供醫療使用。
- (3) 豬皮可萃取膠質和製造醫療敷料、膠原蛋白。
- (4) 畜禽脂肪可製成肥皂。
- (5) 畜禽骨骼可做為鈣質添加劑及磷肥。
- (6) 美妝產品

### 三、廢棄物肥料資源化

#### (一) 傳統堆肥化(高溫堆肥化)(Thermal composting)

無害廢棄物可作為肥料或肥料之原料。依農糧署之品目規定，允許使用之廢棄物可分為(1)不需經堆肥化處理，但需經其他方式(如加熱，蒸餾，粉碎或混合)處理者：動物渣粕肥料，副產植物質肥料，魚廢渣，植物、動物廢渣，副產動物質肥料，氮質海鳥糞肥料，混合有機質肥料及(2)需經堆肥化(醱酵)處理者：禽畜糞堆肥，一般堆肥，雜項堆肥，乾燥菌體肥料及液態有機質肥料。

在廢棄物資源化途徑中，除藉由厭氣醱酵產生甲烷，氫氣的生質氣(biogas)的能源化外，以好氣醱酵的堆肥化作用(composting)實為最主要的處理途徑。堆肥(compost)係指有機物質經堆積醱酵，使微生物在其中增殖、分解代謝，而將有機物質(澱粉、蛋白質、脂肪、纖維素、木質素...等)轉化成安定的似腐質土的物品；其中包括菌體、二次代謝產物及未分解轉化之物質，而上述轉化過程則稱為堆肥化作用(Beffa *et al.*, 1996)。

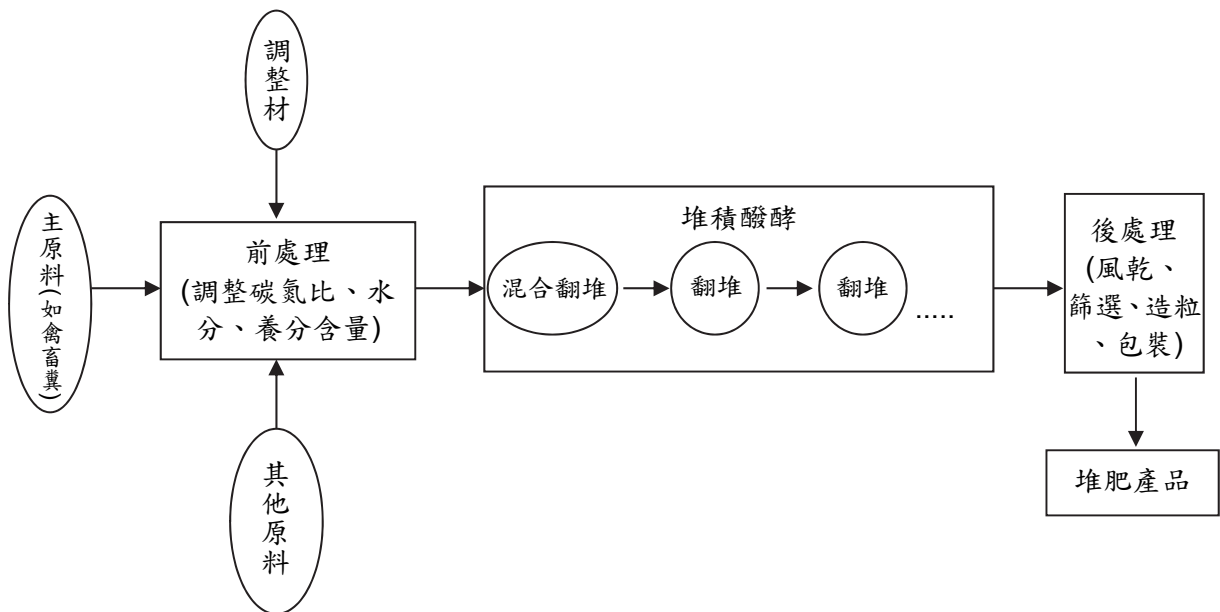
堆肥化是垃圾減量和廢棄物資源再利用的最佳處理方式，唯傳統的堆肥化處理，需有較

高廠房、機械設備的購置和維修的資金投入，且需多次翻堆及較長的製程時間(約 3 個月 ~ 1 年，視原料和調整材的特性而異)及較佳的除臭設備，因而造成堆肥業者的沈重負擔，進而影響廢棄物的處理量及處理績效。

### 1. 堆肥製造技術(陳，2008)

#### (1) 堆肥的製程

優質的堆肥不但對環境、作物及人畜健康有益，亦有助於有機質肥料業者之永續經營及商機之增進。堆肥之優質與否與其製程之適當與否有密切的相關。一般而言，堆肥的製程可分為前處理，堆積醱酵及後處理三個過程(圖一)。



圖一、粒狀堆肥之製造流程

#### 1) 前處理

禽畜糞一般具有水分高及臭味等問題，一旦運送至堆肥場時，宜在有頂棚的堆積場舍立即與選定的調整材(如木屑、米糠、蔗渣、稻殼、菇類養殖廢包內容物...等)予以混合，以調整水分含量約為 60%，碳氮比(C/N)約為 30，且避免在露天混合及堆置。混合後之物料儘早置入醱酵設施內以進行醱酵，若需堆置一般時間方可置入醱酵設施，則可添加部分堆肥成品以引入微生物，或予以覆蓋或噴以除臭菌以降低臭味的散發。調整材和其他原料的種類及與禽畜糞的配比宜先確定，並排除有安全疑慮的調整材及原料(如重金屬含量過高者)。

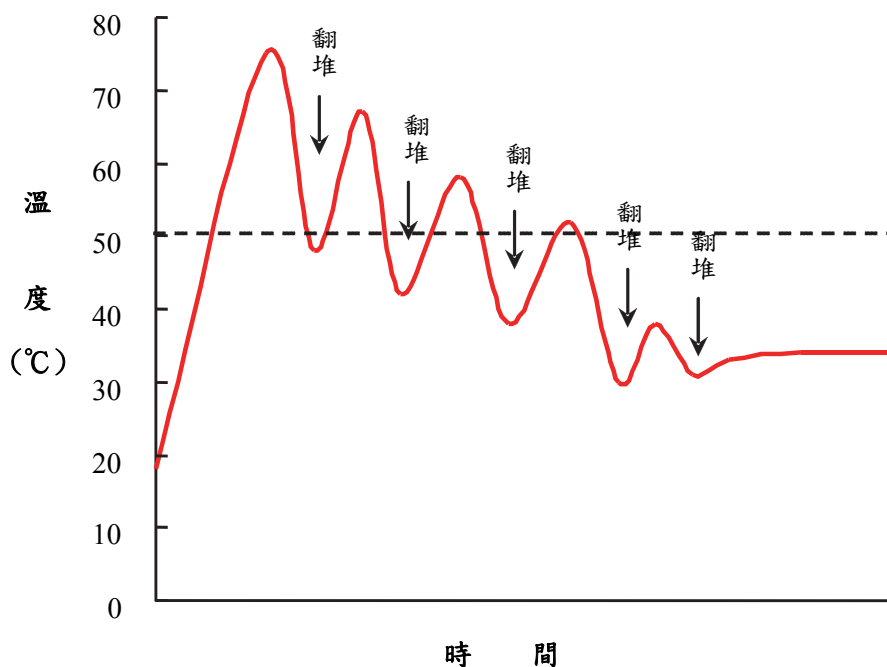
## 2) 堆肥化過程

在整個堆肥化過程中，係利用不同分解特性的微生物接替擔負分解的工作。Nair 和 Okamitsu(2010)堆肥化的初期，堆層溫度約為 15 ~ 45 °C，由中溫和嗜溫性微生物(真菌、細菌和放射菌)主司其職，主要以易分解的醣類和澱粉類作為基質。

當溫度超過 45°C，此時嗜溫菌已受到抑制或死亡，取而代之的為嗜熱性微生物，其負責分解堆肥中殘留(半纖維素，纖維素，蛋白質，木質素....)和新形成的可溶性有機物，待溫度升至 70°C 以上，大多數嗜熱菌已不再適應，因而進入死亡或休眠。

高溫階段後，剩下的部分為較難分解的有機物和新形成的腐植質，此時微生物活性已下降，故發熱量減少，致堆肥溫度下降，嗜溫性微生物再佔優勢，對殘餘較難分解的有機物再進行分解，此時，腐植質不斷增加而達穩定狀態，亦即趨向腐熟階段(Szegi, 1988)。

為使整體堆肥資材均能腐熟且達均質化，故在堆肥化期間必須進行數次翻堆及攪動，直至溫度不再上升為止(通常為 30°C ~ 40°C)。堆肥化所需時間，決定於原料特性(難分解物質的多寡)，原料間的配比及堆肥化條件(水分，溫度及通氣量)。一般而言，堆肥溫度必須升高至 70 ~ 80 °C，且超過 50°C 的時間，總計至少需有 15 天。圖二為堆肥化過程之溫度變化圖。



圖二、堆肥化過程之溫度變化圖

### 3) 後處理

依堆肥之品目標準，袋裝之禽畜糞堆肥成品水分含量需低於 35%，而「一般堆肥」和「雜項堆肥」則需低於 40%，且優質堆肥的品相宜佳(不可有目識之殘料)，故通常需有風乾，篩選，粉碎，造粒，裝袋的後處理。一般可採自然風乾，通氣風乾或在透明網室內利用日照以加強蒸發等方式以降低堆肥的水分含量。另以過篩的方式，將殘料篩除，而可用的殘料可再置入醱酵設施中以進行再次的醱酵。

#### (2) 原理及條件

##### 1) 原理

堆肥製造是藉由自然界的細菌、真菌、放線菌等微生物，在一定的堆肥化條件(水分含量、溫度、通氣、翻堆...)下，有效的控制並促進可被微生物降解的有機物質轉為呈黑棕色或黑色且具有如土壤氣味之穩定腐植物質的過程。

##### 2) 堆肥化的條件

- a. **C/N 比**：主原料(如禽畜糞)和調整材混合後，最佳的堆肥化起始 C/N 比為 25~30。C/N 比若太高，微生物分解作用會因缺 N 而使有機物分解較慢，故堆肥化所需時間會較長；若 C/N 比太低，則易造成氮的逸失及臭味的產出。一般新鮮禽畜糞的 C/N 約為 6~17，故宜添加含碳調整材(如木屑，米糠，蔗渣，稻殼，菇類養殖廢包內含物...等)，以使堆肥化初始 C/N 為 25~30。
- b. **溫度**：堆肥化過程中，微生物新陳代謝所產生的熱不斷累積，在正常情形下所產生的熱可使堆肥溫度升高達 60°C，甚至 70°C 以上，此高溫可維持一段時間，不但可促進微生物反應，縮短腐熟時間，且可殺死病原菌，雜草種子及蟲卵，唯若溫度繼續上升，堆肥中微生物活性反而下降，甚至死亡，故需翻堆，使堆肥之高溫區與低溫區混合，以降低堆肥溫度，而使微生物繼續進行好氣醱酵作用。
- c. **水分**：水分為微生物生長所必要的，一般堆肥化起始的水分含量約為 50~60%；當堆積物的水分含量低於 40% 以下時，堆肥醱酵分解速率會因微生物活性降低而減緩，而當堆積物水分含量高於 60%，則因水分含量過高及氧氣不足而呈厭氣醱酵，致醱酵減慢。一般新鮮禽畜糞的水分量均較高，故常需添加水分調整材，以使堆積物初始的水分含量約為 60%，以利好氣醱酵及縮短堆肥化時間。
- d. **通氣**：為促進堆肥化作用，宜保持在好氣狀態，以利好氣微生物進行好氣分解。由於好氣微生物的分解速率為厭氣微生物的 10 倍以上，故堆肥化過程中應使氧氣(O<sub>2</sub>)含量連續維持在約 8~18% 內，而定期翻堆和通氣為提供氧氣的兩大策略(圖三、圖四)。一旦低於 8%，O<sub>2</sub> 就會成為好氣堆肥中微生物的限制因素，還會產生惡臭。



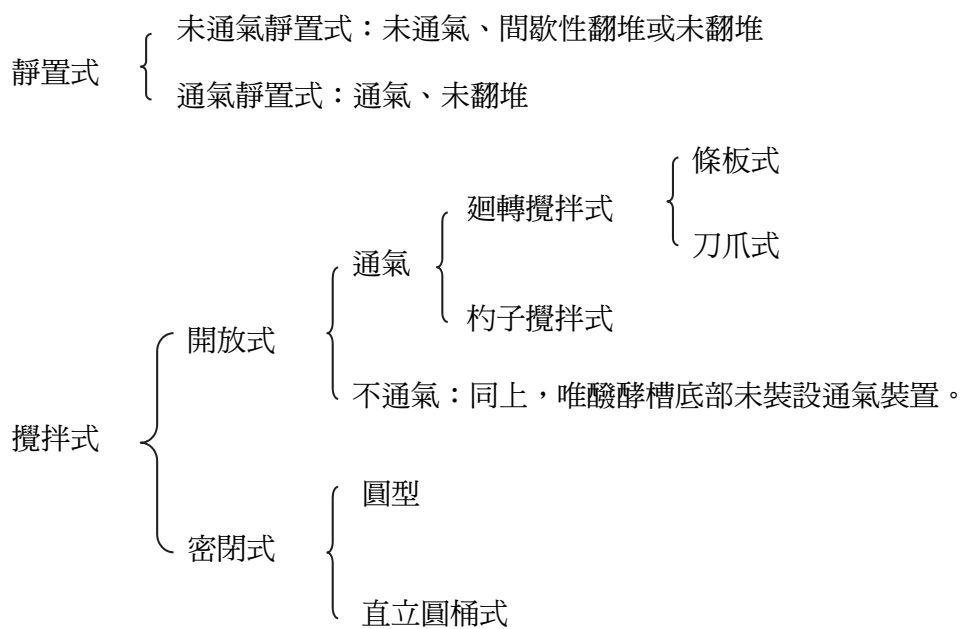
圖三、靜堆式醱酵槽之翻堆



圖四、自動攪拌式翻堆

### (3) 堆肥化方法

堆肥的醱酵可分靜置式及攪拌式兩種，而靜置式又可分為通氣和未通氣兩種。下圖即為常見之堆肥的製作方式。



圖五、堆肥的製作之流程圖



## (二) 蚯蚓堆肥化作用(vermicomposting)

### 1. 原理

蚯蚓可將工業及農業廢棄物藉由蚯蚓堆肥化作用而製成有機質肥料(Gajalakshmi *et al.*, 2001; Gupta and Garg 2008; Suthar S., 2009a, b)。是故，藉由蚯蚓堆肥化作用處理有機廢棄物是一個可行、快速且低成本的方法(Hand *et al.*, 1988；Adi and Noor, 2009)。

蚯蚓堆肥化作用是藉由蚯蚓及微生物兩者共同作用，以生物降解方式來分解有機廢棄物，並經腸胃內酵素的混合分解作用而轉化成蚯蚓糞肥(vermicompost) (Garg and Kaushik, 2005; Suthar, 2009a,b)。蚯蚓在蚯蚓堆肥化過程中，所產生的反應可分為物理及生物化學作用，物理作用為蚯蚓掘穴活動而具攪拌及混合的效果，並可增加通氣性，進而促進微生物活性(Benitez *et al.*, 2005)，故蚯蚓堆肥化作用可加速微生物對有機廢棄物的分解速度(Neuhauser *et al.*, 1998)，而生物化學作用則受微生物及蚯蚓腸道所含酵素對有機物質之分解作用所影響(Hand, 1998；Ndegwa *et al.*, 2000)。

目前蚯蚓已被廣泛應用於處理都市、工業及農業廢棄物，並證實蚯蚓可消化大量有機廢棄物，且僅有部分用於合成體質，大多是將其消化後轉化成蚯蚓糞肥(Adi and Noor, 2009)，所產生之蚯蚓糞肥亦可作為有機質肥料使用(顏，2010；Loh *et al.*, 2005)。

### 2. 蚓糞堆肥化條件

蚯蚓係雜食性動物，喜好溫、濕、安靜、怕光、怕鹽之動物，特別喜食蛋白質、糖分高之腐爛性食物。工、農業所產生有機廢棄物均可做為其食物來源。食物來源的優劣，會直接影響蚯蚓的生質量及蚓糞之成分特性，創造一個和善的空間(bedding) – pH 5 ~ 9；溫度 10 ~ 35°C；水份含量 60 ~ 90 % (Garg *et al.*, 2006)；通氣 > 60 %，才能產出高品質之蚯蚓糞肥。

- (1) **有機廢棄物組合與蚯蚓比例**：以有機廢棄物為組合之各處理基料與蚯蚓的最適比例大約 4 : 1 ~ 5 : 1，但若以豬糞原料及牛糞原料為基料時，因原料氨的氣味濃烈易使蚯蚓逃逸，故僅能以 10:1 及 6:1 作為基料與蚯蚓最佳養殖比例。
- (2) **水分**：*Eisenia fetida* 可以生存在 50 ~ 90 % 的濕度範圍中(Edwards *et al.*, 1985；Sims and Gerard, 1985)，而且在濕度 80 ~ 90 % 之間的動物廢棄物中生長快速(Edwards *et al.*, 1985)。雖然蚯蚓最適生長水分含量為 80 ~ 90 %，因基料於分解過程中及蚯蚓活動容易產生水，為避免水分含量過多，故建議剛開始調配基料之水份時約為 70 ~ 80 %。且通常基料飼養蚯蚓一段時間後，底部水分含量較多，可以打開蓋子使水分蒸散、傾斜飼料箱移出水分，或再添加一些乾的基料，以防止蚯蚓因為基料過濕，造成通氣不良，逐漸萎縮、逃跑或死亡。
- (3) **通氣**：蚯蚓大多於飼養箱下層活動，所以須注意約二週將基料上下翻動，除改善通氣外亦可改善基料纏結情況，避免基料下方長期因基料分解過程中與蚯蚓爭奪氧氣及蚯蚓活動時產生的二氧化碳造成氧氣供應不足，成蚯蚓不易產卵，幼蚯蚓發育受阻而不

蚯蚓生長。故通氣是飼養蚯蚓重要因子，例如：豬糞原料處理氣體較濃，致使蚯蚓雖可生存，但其基料與蚯蚓比例則只能維持大約 10:1，且蚯蚓大多活動於表層 5~10 cm 左右。牛糞原料處理則較無此現象發生，惟牛糞的水分含量高，需等至一周左右，水分較乾才能直接飼養。

- (4) **溫度**：生長基料溫度大致控制於室溫即可，只要不要突然變化(如生廚餘堆置第 2~3 天溫度可驟然升高 5 度，且易產生不適味道，而造成蚯蚓逃逸)，大致生長基料溫度略高於室溫 2~3°C(28~30°C)，蚯蚓亦可生長良好。若溫度太低或溫度高於 35°C，則蚯蚓生長不良，堆肥化效果將不佳。
- (5) **常見生物**：以豬糞組合之各處理均可發現有蹣(Mites)俗稱紅蜘蛛及紅色或白色小蛆，可先打開飼養箱蓋，減少水分含量，讓紅蜘蛛因環境不適而離去。

### (三) 傳統堆肥化與蚓糞堆肥化的評比

二種堆肥化均有其優缺點，茲整合文獻之報導，將兩者予以比較之(表一)。

表一、傳統堆肥化與蚯蚓堆肥化之比較

	傳統堆肥化	蚓糞堆肥化	參考文獻
參與生物	細菌，真菌	細菌，真菌，蚯蚓	Garg and Kaushik, 2005
養分含量	由於翻堆及高溫過程易造成養分的流失(尤其是氮)	養分流失較少，且蚓糞堆肥的表面積較大，可固持養分。	Hammermeister et al., 2004; Sudha and Kapoor, 2000
有益微生物活性	較低	較高(如固氮菌，菌根真菌，溶磷菌)。	Subler et al., 1998; Kaviraj and Sharma, 2003
技術、費用及空間所需	場房及設備維修費用較大，且需較專業技術。	飼養空間彈性較大，不需維修費用。	Kaushik and Gray, 2004
臭味	易產生臭味，需多次翻堆	不易產生臭味亦不需翻堆。	
時間	堆肥化時間較長(至少 2 個月)。	每隻蚯蚓每日可吃掉約 75%體重之食物，可藉由增加蚯蚓數來縮短堆肥化時間。	Nagavallemma et al., 2008
通氣	需打氣或翻堆以確保好氣醱酵	可藉由蚯蚓之挖穴動作而促進通氣狀態。	Benitez et al., 2005
原料及處理量	可使用之原料較多，只要為非有害廢棄物均可處理，且處理量較大	會抑制蚯蚓生長的原料不宜使用(如含鹽分，油分，農藥，殺草劑，鉍態氮高之原料)，且處理量相對較少。	Gunadi et al., 2002; Glenn Munroe

	傳統堆肥化	蚓糞堆肥化	參考文獻
病原菌及雜草種子	可利用堆肥化過程中產生的高溫殺死病原菌及雜草種子。	缺乏高溫，病原菌及雜草種子相對較不易控制，但可利用 <b>先行發酵一至二週</b> 至溫度冷卻後再放入蚯蚓 <b>2. 蚓糞取出後，再加熱</b> ，以殺死病原菌，蚯蚓腸道可殺死部分病原菌。	Contreas-Rams et al., 2005
堆積高度及體積	需較大，以保存溫度而有利發酵，最少為 1m × 1m × 1m	高度較低，每層約 15-20cm，相對之空間較大。	Ingham, 1999
產物及附加價值	產出含有機質及養分之堆肥。	產出含有 <b>機質，作物養分、酵素、植物荷爾蒙</b> 的蚓糞堆肥，亦可當生物過濾器，且繁殖之蚯蚓可當飼料，藥材，餌料。	Muscole et al., 1999; Sinha, 2009
環境逆境	較不敏感	較敏感(結冰，乾旱，不利蚯蚓生長)。pH > 8.5，EC > 8 dS/m，蚯蚓生長受限制。	Glenn Munrol
溫度	較高，可能會殺死部分有益微生物	較低，適溫 15°C~30°C(溫度高於 35°C，蚯蚓將死亡)。	Glenn Munrol
適當水分含量	45 ~ 60%	70 ~90 %	Dominguez and Edward, 1997

## 結 論

無害的有機廢棄物的資源回收再利用，可降低廢棄物處理的龐大負荷，且減輕對環境的衝擊。資源回收再利用中所產出之農業可利用的資材，亦具有促進作物生長及增進土壤肥力的功效。堆肥化作用可產出對環境較友善，效果更永續的有機質肥料。傳統高溫堆肥化和蚓糞堆肥化為最常用的技術，且各有其優缺點，如何有效的增進兩種堆肥化作用的效果及產物之品質為增加廢棄物資源回收再利用量的重要關鍵所在。

## 參考文獻

1. 行政院環境保護署。2008。全國事業廢棄物申報統計。
2. 行政院農委會農糧署。2010。肥料管理法則彙編。中華土壤肥料協會編著。
3. 邱梅玲。2007。三種不同製程的廚餘堆肥之成分及養分釋出特性研究。國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
4. 洪喜謨、程海萍。1999。廢棄物能源利用技術-農業廢棄物能源開發規劃。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，第 23 至 36 頁。
5. 陳仁炫。2008。禽畜糞堆肥調製。禽畜糞堆肥製作及施用手冊，第 11 至 19 頁。中華民國乳業協會編印。
6. 郭孟德。2000。污泥花盆之製作與應用。禽畜糞堆肥推廣簡訊，第七期，pp.1~3。
7. 郭猛德、蘇清全。2003。豬糞尿污泥做為栽培土之研發。第六屆畜牧資源回收再利用研討會論文集。第 1 至 6 頁。國立中興大學獸醫學院編印。
8. 項延嶠、盧金鎮。禽畜糞堆肥應用在水產養殖之研究及鹿隻排泄物處理之研究。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，第 195 至 198 頁。
9. 楊盛行。1997。廢棄物煉金術。資源回收的科學與政策系列專題演講。東吳大學微生物學系。
10. 顏偉益。2010。評估有機廢棄物的特性對蚯蚓生長生殖及蚯蚓糞肥的影響。國立中興大學碩士論文。
11. Adi, A.J., and Z.M. Noor. 2009. Waste recycling: utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresource Technology*. 100:1027-1030.
12. Beffa, T., M. Blanc, and M. Aragno, 1996. Obligately and Facultatively Autotrophic, Sulfur and Hydrogen Oxidizing Thermophilic Bacteria Isolated from Hot Composts. *Arch. Microbiol.* 165:34-40.
13. Benitez, E., H. Sainz, and R. Nogales. 2005. Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresource Technol.* 96:785-790.
14. Buelna, G., R. Dube, and N. Turgeon. 2008. Pig manure treatment by organic bed biofiltration. *Desalination*. 231:297-304.
15. Cangialosi, F., G. Intini, L. Liberti, M. Notarnicola, and P. Stellacci. 2008. Health risk assessment of air emissions from a municipal solid wastenext term incineration plant -A case study. *Waste Management*. 28:885-895.
16. Dominguez, J., and C.A. Edwards. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia Andrei* (Oliogochaeta) in pig manure. *Soil Biol Biochem.*

29:743-746.

17. Edwards, C.A., I. Burrows, K.E. Fletcher, and B.A. Jones. 1985. The use of earthworms for composting farm wastes. In: Gasser, J.K.R. (Ed), Composting of Agriculture and Other Wastes. Elsevier, Amsterdam, pp. 229-242.
18. Frederickson. J., K. /r. Butt, R. M. Morris, and C. Daniel. 1997. Combining vermiculture with trational green waste composting systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 29: 725-730.
19. Gaddie, R. E. and D. E. Douglas. 1975. Earthworms for ecology and profit. P.180. volume 1 : Scientific Earthworm Farming. Bookworm Publishing Company. Cal.
20. Gajalakshmi, S., E.V. Ramasamy, and S.A. Abbasi. 2002. Vermicomposting of paper waste with the anecic earthworm *Lampito mauritii* Kingburg. *Indian J. Chem. Technol.* 9:306-311.
21. Garg, V.K., Y.K. Yadav, A. Sheoran, S. Chand, P. Kaushik. 2006. Livestock excreta management through vermicomposting using an epigeic earthworm *Eisenia fetida*. *Environmentalist*. 26:269-276.
22. Giusti, L., 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*. 29 :2227–2239
23. Glenn Munrol. Manual of on – farm vericomposting and vermiculture. Organic Agriculture Center of Canada.
24. Gupta, R., and V.K. Garg. 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *J. Hazard. Matter*. 153:1023-1030.
25. Hammermeister. A. M., P. R. Warman, E. A. Jeliaskova. R. C. Martin. 2004. Nutrient supply and lettuce growth in response to vermicompost and composted cattle manure. *Bioresource Technology*.
26. Hand, P., W.A. Hayes, J.C. Frankland, and J.E. Satchell. 1988. The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia*. 31:199-209.
27. Hutchison, M.L., L.D. Walters, S.M. Avery, F. Munro, and A. Moore. 2005. Analysis of livestock production waste storage, and pathogen levels and prevalences in farm manures. *Appl. Environ. Microb.* 71:1231-1236.
28. Jin, J., Z. Wang, and S. Ran. 2006. Solid waste management in Macao: Practices and challenges. *Waste Management*. 26:1045-1051.
29. Kansal, A. 2002. Solid waste management strategies for India. *Indian Journal of Environment Protection*. 22:444-448.
30. Kaushik, P., and V.K. Garg. 2004. Dynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with cow dung and agricultural residues.

- Bioresour. Technol. 94:203-209.
31. Lazcano, C., M. Gomez-Brandon, and J. Dominguez. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*. 72:1013-1019.
  32. Loh, T.C., Y.C. Lee, J.B. Liang, and D. Tan. 2005 Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*. 96:111-114.
  33. Martinez, J., P. Dabert, S. Barrington, and C. Burton. 2009. Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresource Technology*. 100:5527-5536.
  34. Nagavallermma, K. P, S. P. Wani, Stephane Lacroix, V. V. Padmaja, C. Vineela, R. M. Babu and K. L. Sahrawat. 2004. Bermicomposting : Recycling wastes into value organic fertilizer. Global Theme on Agrecosystem Report No. 8. Patanchera 502 324. Andhra Pradesh, India : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. P. 20.
  35. Nair, J., and K. Okamitsu. 2010. Microbial inoculants for small scale composting of putrescible kitchen wastes. *Waste Management*. 30:977-982.
  36. Ndegwa, P.M., and S.A. Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour. Technol*. 76:107-112.
  37. Neuhauser, E.F., R.C. Loehr, and M.R. Malecki. 1998. The potential of earthworms for managing sewage sludge. pp. 9-20. *In*: Edwards, C.A., Nauhauser, E.F. (Ed.) *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing, The Hague.
  38. Pat Bagley, C. and R. E. Richard. Broiler litter as a feed on fertilizer in live stock operation. Mississippi state University Extension Service, 1998.
  39. Sharholly, M., K. Ahmad, G. Mahmood, and R.C. Trivedi. 2008. Municipal solid waste management in Indian cities-A review. *Waste Management*. 28:459-467.
  40. Sidhu, J.P.S., and S.G. Toze. 2009. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review. *Environ Int*. 35:187-201.
  41. Subler, Scott, Clive Edwards and James. Metzger. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle*: 63 ~ 66.
  42. Sudha, B. and K. K. Kapoor. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 73: 95 -98.
  43. Suthar, S. 2009a. Vermicomposting of vegetable market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecol. Eng.*

35:914-920.

44. Suthar, S. 2009b. Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *J. Hazard. Mater.* 163:199-206.
45. Suthar, S. 2010. Pilot-scale vermireactors for sewage sludge stabilization and metal remediation process: comparison with small-scale vermireactors. *Ecol. Eng.* Doi:10.1016/j.ecoleng.2009.12.016.
46. Szegi, J. 1988. Cellulose decomposition and soil fertility. Chapt. VI. The activity of cellulolytic microorganisms under different environmental conditions. p.86-125.
47. Talyan, V., R.P. Dahiya, and T.R. Sreekrishnan. 2008. State of municipal solid waste management in Delhi, the capital of India. *Waste Management.* 28:1276-1287.
48. Zhu, J.A. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agr Ecosyst Environ.* 78:93-106.

# **The technology and evaluation of the recycling organic wastes in agriculture**

Jen-Hshuan Chen

Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University

## **Abstract**

A large quantities of organic wastes is generated from livestock operation, agriculture production, industrial development and increasing population, therefore, the environmental safety and quality are deeply affected. Several practices have been suggested to recycle and reuse organic wastes for agriculture, use composting is known to be the best practice in reducing and recycling organic wastes. Higher costs in purchasing and maintaining of factory building and equipments, longer composting time, more turning needed and the risk of pollution for thermal composting, cause heavy burden on producers and lower efficient in waste treatment. Many researches showed that vermicomposting is more suitable for waste treatment than thermal composting, and has advantages of quicker, easily controllable, economical of money and energy, zero wastes produced, and more efficient in recycling organic matter and nutrients. Therefore, vermicomposting could be an alternate practice for thermal composting. This paper will provide information on the agriculture use of organic wastes, especially on the advantage and disadvantages of these two practices.

**Key word :** Thermal composting, Vermicomposting, Organic waste, Earthworm, Recycle and Reuse