

投稿類別：農業類

篇名：

糞土變黃金—新型生物性堆肥之開發

作者：

陳霖恩。私立葳格高級中學。普通科三年甲班

指導老師：

徐崇哲老師

壹●前言

一、研究動機

我國農業產生之廢棄物包含農業廢棄物(生物性廢棄物)與農業資材廢棄物(非生物性廢棄物)，根據農委會統計資料顯示，2005~2015 年農業廢棄物與農業資材廢棄物平均總產生量約達 475 萬公噸，其中農業廢棄物占絕大多數，2015 年產生量即高達 452 萬公噸，廢棄物處理方法一般為清運或燒毀，其不僅浪費資源，亦因處理方法而造成環境污染等問題，在處理這些農業廢棄物時，如果有清運丟棄或燒毀外的處理方法，將可使糞土變黃金，使得廢棄物轉變成有用的資源，進而循環再生於整個農業生態系中，除可減少廢棄物對環境所造成的污染外，也因此讓資源再生，達到節能減碳之目的。

二、研究目的

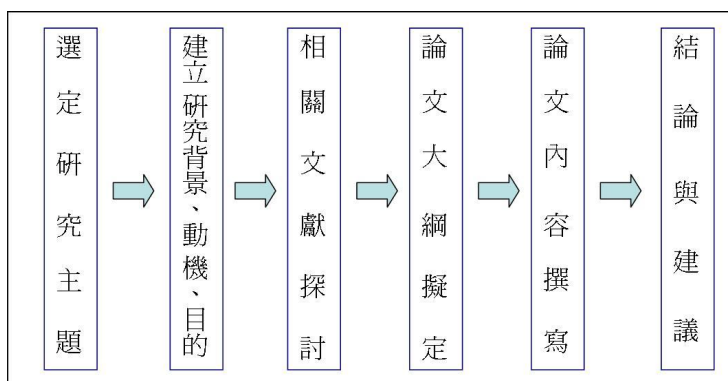
本研究針對農業廢棄物資源再生利用最多的方法—堆肥法進行研究，除以現行使用的堆肥法進行探討外，並將目前傳統堆肥法（分解佔地且耗時的醱酵製程）、生物性堆肥法（利用添加微生物加速醱酵速度）與新型生物性堆肥法進行比較，並分析堆肥過程中，利用新型微生物的分解效能，除了解各種方法之優劣差異外，並希望能建立一套快速有效的廢棄物資源再生循環系統，將廢棄物堆肥化系統及微生物添加醱酵系統整合，結合先進的環控自動化技術，提升廢棄物資源循環效率，以達成資源再生做環保，節能減碳救地球之目的。

三、研究方法

參考相關文獻並透過比較，將研究分為四個部份進行探討：

- (一) 堆肥製作流程
- (二) 堆肥化作用與影響堆肥成敗關鍵的影響因子
- (三) 堆肥添加用微生物
- (四) 添加微生物醱酵後堆肥製程的比較

四、研究流程




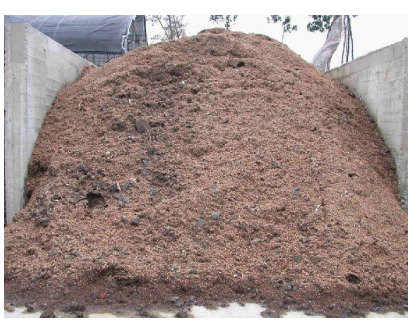


圖一：研究流程圖（資料來源：自行整理）



貳●正文

一、堆肥製作流程

所謂堆肥法即利用廣泛分佈於自然界之微生物，在控制條件下，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（註一），即腐熟的堆肥（compost），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。堆肥的製作步驟主要為一、選擇堆積場所，二、準備材料，三、假堆，四、混合及水分控制，五、堆積，六、敷蓋或室內醱酵，七、攤開（後醱酵），八、裝袋。堆肥的製作流程整理如下表：

表一、堆肥的製作流程

堆肥製作流程			
步驟一、選擇堆積場所		步驟五、堆積	
步驟二、準備材料		步驟六、敷蓋或室內醱酵	

<p>步驟 三、 假堆</p>		<p>步驟 七、 攤開 (後 醱 酵)</p>	
<p>步驟 四、 混合 及水 分控 制</p>		<p>步驟 八、 裝袋</p>	

(資料來源：註一及自行整理)

二、堆肥化作用與影響因子

堆肥製作過程是將有機廢棄物予以適當堆積，在控制條件下，利用微生物作用，將有機材料醱酵分解，轉變為有機質肥料，此即為「堆肥化作用」(註二)。有機材料在適當的條件下堆積醱酵，可以縮短有機物分解的時間，而生產出物理性狀均一，化學成分穩定的高品質有機堆肥。影響堆肥化作用的因子分述如下：

(一) 碳氮比

有機廢棄物中碳氮比是一個非常重要的因素，堆肥化過程中，微生物需要碳素作為生活能源，同時也需氮素來維持生命及建造體細胞，適合微生物之碳氮比介於 20:1 至 30:1，碳氮比太高時，會因缺乏氮素，以致微生物無法大量繁殖，堆肥化過程進行緩慢；碳氮比太低時，微生物分解產生過多的氨，而易從堆肥中逸散，導致氮素損失。

(二) 酸鹼值 (pH)

一般有機材料分解醱酵的 pH 值容許範圍相當廣，介於 pH3~11 間均可進行，但以 pH5.5~8.0 較為適宜，通常堆肥的酸鹼值，不易藉由添加物而改變，在醱酵初期，如堆積材料之 pH 過高，易導致氮素之揮發，當堆肥完全腐熟時，其 pH 值會呈近中性或微鹼性。

(三) 微生物菌種

微生物擔任有機物分解與堆肥穩定化之重要角色，不同的堆積材料，如能接種適當的微生物菌種，可以加速堆肥發酵，惟最有效率之堆肥化堆積法，應是能維持微生物最適宜之生長條件，使微生物充分的生長繁殖，以加速材料分解速率。

(四) 腐熟度

由於堆肥腐熟程度之高低，將影響施用堆肥的安全性，但有關堆肥腐熟度仍需若干化學成分分析法作為依據標準。一般當堆肥完全腐熟時其 pH 值會呈近中性或微鹼性，碳氮比低於 20，還原糖比率低於 35%，陽離子交換能力漸趨近於 100 毫克當量/100 克土，固定態氮含量趨近於 1.6%。又生物指標，如種子發芽率指數達到 50~60%以上。或外觀判別，堆肥腐熟時其結構疏鬆，呈褐黑色，沒有臭味而呈泥土香氣，其均可以作為堆肥腐熟的依據。

(五) 堆肥製作過程中，溫度之變化及控制應用

堆肥溫度變化是堆積材料經由微生物作用後，產生溫度累積之表徵，當堆肥化過程進行正常時，初期溫度急速升高達 60°C 以上，這種高溫維持一段時間後，逐漸下降至周圍溫度，爾後隨堆肥逐漸腐熟，溫度呈下降乃至恆溫。堆肥化過程中溫度的變化，代表著不同的微生物作用機制與反應，一般在堆肥化過程中，基本上可劃分成高溫期（60°C 以上）、中溫期（50~60°C）及低溫期（50°C 以下），其原因整理分述如下表：

表二、堆肥化過程溫度之變化及原因

堆肥溫度	溫度變化原因
a. 高溫期 (60°C 以上)	有機材料含有許多易分解的有機成分，如胺基酸、蛋白質、脂肪等，這類有機成分經微生物發酵分解，會產生熱及酚酸等有機酸，此時微生物以嗜高溫的細菌、放線菌和真菌為主，溫度會在堆積體中累積，溫度最高可達 60°C 以上，在此種高溫下可殺滅病原菌，且有機酸成分被分解，可降低堆肥對作物之危害，所以經過堆肥化高溫期之作用，產生堆肥的品質較優且穩定。
b. 中溫期 (50~60°C)	當堆肥材料中易分解的有機成分被微生物分解降低含量時，此時微生物以嗜中溫的細菌、放線菌和真菌為主，溫度將因此略為下降，一般中溫期溫度在 50~60°C。
c. 低溫期 (50°C 以下)	在堆肥化過程中，細菌、放線菌、真菌和一些原生動物皆很活躍，放線菌在堆肥化後期會大量繁殖，並以分解堆肥中之纖維素及木質素為主，此時溫度逐漸降低至 50°C 以下，且溫度在翻堆後亦不再上升，堆肥顏色轉變成深褐黑色，無嗆鼻的臭味，而產生類似泥土的香味，此時堆肥已接近腐熟階段。

(資料來源：註一及自行整理)

(六) 通氣及水分之控制應用

堆肥化作用以好氣性環境條件分解較佳，充分供給氧氣為基本條件，氧氣可經由翻堆或打氣方法，進入堆積有機物之中，而形成好氣狀態，堆積氧氣之需求量，依有機廢棄物性質、水分含量、溫度、微生物族群大小等不同而有差異，為求控制通氣性，通常都要調整堆積物之大小長短，使其適於通氣，或調整水分含量，加入樹皮、鋸屑、穀殼等添加物，以改進通氣效率。

堆肥化過程中，適當的水分含量為 60%，其可使水分供應無缺，同時也獲得充分之氧氣，過多的水分，反把堆積材料中之結構破壞，孔隙阻塞，阻撓氧氣之供應、二氧化碳之外逸及有害物質累積(如：有機酸等)，而使有機物分解停頓，基本上通氣及水分兩者有互補互利之作用，例如：當堆肥材料水分含量過高，將影響堆積物中空氣含量偏低，故可利用翻堆通氣方式，增加堆積物中空氣含量，並酌以降低水分含量。

三、堆肥添加之微生物

農漁業廢棄物中的有機物主要是纖維素、木質素、澱粉、脂肪、蛋白質等，這些物質均可作為微生物的營養，而被微生物所分解利用（註三），堆肥處理就是基於此一基點，才能實施。傳統堆肥法主要依賴自然界中廣泛分佈的細菌、放線菌、真菌等微生物，藉由調整不同資材及人為控制醱酵條件下，微生物是堆肥化處理的工作主體，但各種微生物對不同物質分解能力和分解速率是不盡相同的，不同溫度條件下製造堆肥過程中出現的微生物種群和數量也截然不同，因此堆肥化處理是一個複雜的微生物混合種群生態系統的變化過程，只有掌控微生物的基本生理特性、分離篩選、培育出高效優勢菌種，才能獲得較好的處理效果。

在人工添加的堆肥醱酵菌種中，因堆肥過程中，難降解的有機物主要是纖維素類物質，故添加到堆肥中的菌種多都採用了木質纖維素類降解菌（註四），整理如下表。

表三、堆肥常用木質纖維素降解菌種

中溫菌	真菌	青黴屬 <i>Penicillium</i> sp.
		雲芝屬真菌 <i>Polystictus</i> sp.
	細菌	枯草芽孢桿菌 <i>Bacillus subtilis</i>
		蠟樣芽孢桿菌 <i>Bacillus cereus</i>
		拜葉林克氏菌 <i>Beijerinckia</i> sp.
		假單胞桿菌屬 <i>Pseudomonas</i> sp.
	放線菌	細黃鏈黴菌 <i>Streptomyses microflavus</i>

高溫菌	細菌	芽孢桿菌屬 <i>Bacillus</i> sp.
	放線菌	鏈黴菌屬吸水類群 <i>Streptomyces hygroscopicus</i>
		高溫放線菌屬 <i>Thercoactinomyces scopicus</i>

(資料來源：註四及自行整理)

這些微生物在堆肥化過程中，擔任有機物分解及堆肥穩定化重要角色。因應不同的堆積材料，為達其最有效率之堆肥化作用，除可添加適當的微生物菌種外，在堆積材料環境中，維持微生物最適宜的生長條件，使微生物充分的生長與繁殖，將能強化堆肥材料的醱酵與分解速度。

四、添加微生物醱酵後，堆肥製程與產品之比較

國內目前利用微生物添加於堆肥製作過程的技術，以農委會臺中區農業改良場的研發為主。該場研究人員由國內有機農場土壤、作物根系及各種自製堆肥中採取樣品，進行微生物分離，針對國內大宗有機廢棄物，如：稻殼、蔗渣及木屑等纖維質含量高的資材，篩選出分解能力強的微生物菌株，如：木黴菌、枯草桿菌及放線菌等，而該場研究人員在堆肥製造過程開始前，會先將這些纖維質分解能力強的菌株，在堆積混合材料時添加其中。堆肥化作用開始時，微生物會先將材料中多醣類的纖維質裂解成雙醣及單醣類的碳水化合物，供給中、高溫分解菌，如：放射線菌群及桿菌屬等細菌利用，此舉除可提高產品堆肥化過程中的核心溫度外，並可加速堆肥組成分的礦化速率，使**整個堆肥製程時間縮短，成份穩定且可增加堆肥養分含量（註五）**，這些品質優良的有機質肥料，施用於土壤除可增加土壤肥力外，並可改善土壤孔隙及團粒結構，**使作物藉由堆肥的施用克服土壤逆境而能正常生長，且能增進田間農作物栽培之品質與產量（註六）**。

傳統的厭氧堆肥醱酵法，有機物分解慢，醱酵週期長達 4~6 個月，占地面積大，蚊蠅滋生，臭味污水四溢，二次污染嚴重，在某些處理裝置中，由於對微生物的生理、生化特性掌握不好，或沒有採用適當的高效能微生物菌種，難以達到預期的處理效果，而堆肥處理中，透過添加單一菌種或人工組合的微生物種群能有效加速有機物的分解，縮短醱酵週期，提高堆肥產品質量，又以新型菌種生物性堆肥法透過各菌種分解能力強化，遠比一般舊式菌種添加堆肥法效益更好。茲整理傳統堆肥法、舊式菌種添加堆肥法及新型菌種生物性堆肥法製程優缺點如下表：

表四、傳統堆肥法、舊式菌種添加堆肥法及新型菌種生物性堆肥法製程比較

比較項目	傳統堆肥法	舊式菌種添加堆肥法	新型菌種生物性堆肥法
菌種添加	無	有	有

糞土變黃金—新型生物性堆肥之開發

菌種之種類	廢棄物中存在之微生物，包含病原菌等。	以高溫期或中溫期之細菌或放線菌為主。	以初期混堆添加之木黴菌及高溫期之枯草桿菌與放線菌為主。
堆肥核心最高溫度	50~60°C	60~70°C	70°C以上
堆肥時間	3個月以上	3個月	1~2個月
堆肥顏色	黃至黃褐色或黑褐色	褐色至黑褐色	黑褐色至黑色
形狀	黏塊狀或塊狀易散	塊狀或粉狀	粉狀
氣味	糞尿臭明顯	糞尿臭不十分明顯 阿摩尼亞味重	堆肥成品有玉米香味
堆肥產品微生物數量	$1 \times 10^{4-5}$ cfu/g	$1 \times 10^{6-7}$ cfu/g	$1 \times 10^{8-9}$ cfu/g
堆肥醱酵速率	低	中	高
產品腐熟度	低	中	高
有效肥料產出量	低	中	高
投入人力成本/時間	高	中	低
堆肥產品施用後功能	1.可增加土壤肥力。 2.可改善部份土壤孔隙及團粒結構。 3.增進田間農作物栽培之品質與產量效果低。	1.可增加土壤肥力。 2.可改善部份土壤孔隙及團粒結構。 3.增進田間農作物栽培之品質與產量效果低。	1.可增加土壤肥力。 2.可改善土壤孔隙及團粒結構。 3.增進田間農作物栽培之品質與產量效果強。 4.可克服土壤逆境而使作物正常生長。

(資料來源：註六及自行整理)

表五、新型生物性堆肥法製作流程

新型生物性堆肥製作流程	
步驟一、選擇菌種	
步驟五、堆積醱酵	

<p>步驟二、準備材料</p>		<p>步驟六、翻堆與醱酵</p>	
<p>步驟三、混合材料、菌種及水分控制</p>		<p>步驟七、菌相分析檢驗</p>	
<p>步驟四、假堆與菌種繁殖</p>		<p>步驟八、成品裝袋</p>	

(資料來源：自行整理)

結合木黴菌菌種與農業廢棄物如動物糞便、蔗渣、木屑等物質共同醱酵可產製新型生物性堆肥、介質等，除可改善堆肥介質品質外，並能誘發多種有益微生物，因其內含有大量有益微生物群如木黴菌、枯草桿菌及鏈黴菌等，可使相關產品品質穩定，並因其內所含之有益微生物可群聚作物根圈，能與植物根系共生進而促進養份吸收能力，可達到促進植物生長之目的。未來有關於利用微生物菌種的關鍵機制，包括篩選出適當的微生物菌種、建立有效率的菌種培養繁殖方法與應用於堆肥材料中的接種方法，研究人員仍持續研究中。之後將有新的菌種及生物堆肥產品問世，對環境資源循環再生利用與節能減碳貢獻心力，並提供永續農業栽培使用的新利器。

參●結論

一、透過資料蒐集彙整及相關文獻探討，我發現農業廢棄物資源在資源再生系統中，運用堆肥化作用形成的資源循環系統，是極具科學及節省能源的作法，其中醱酵過程微生物添加的作法尤為重要，若能了解整個堆肥化過程微生物所扮演的角色與功能，使得生態系中的微生物與農業廢棄物間形成一個循環系統，就

五、在探討運用堆肥化技術在農漁業廢棄物資源再生之功效後，發現未來的智慧節能資源再生系統，是個乾淨、講求效率、節省人力及運用可再生能源的技術，除可生產有機堆肥外，更可將廢棄物資源化、能源化，生產出綠能飼料、生質能源與熱能，進而達到節能減碳之目的。

六、建議未來可將相關堆肥醱酵設備融入產業生產區主體或室內陳設，讓廢棄物可直接處理成爲堆肥，使居家環境垃圾減量，又能充滿綠意及生氣蓬勃，在電影「絕地救援」中，太空人使用自己和其他組員的排泄物作爲肥料來源，成功的種出馬鈴薯果腹，而能倖存下來，或許這項技術也可作爲未來航太工程、月球或其它星球探索過程中，實現食物自給自足的重要手段，值得後續繼續深入研究探討。

七、我在資料搜尋撰寫這篇小論文時，也同時了解到微生物與人類歷史發展的密切關聯性，當人類學會利用麴菌、酵母菌及乳酸菌等微生物產製酒、醋、醬油、味增、乳酪、優酪乳、醃漬品及醱酵麵類製品時，微生物對人類的飲食生活便有了重大影響，再到本篇針對資源再生利用的微生物群，如果沒有這些微生物擔任分解者的角色，地球早已變成垃圾星球，被數億年來的動植物殘體及廢棄物所塞爆，我發現微生物與我們的生活息息相關，更不用說近年來造成恐慌的(新型)流感病毒了！微生物的世界真是多樣又有趣。

肆●引註資料

註一、經濟部工業局、財團法人台灣綠色生產力基金會（2005）。**堆肥技術與設備手冊及案例彙編**。台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會。

註二、蔡宜峰（2009）。生物性堆肥製作技術與應用。載於陳榮五、白桂芳、蔡宜峰（主編）：**有機農業產業發展研討會專輯·論文彙編**（182—194）。彰化縣：行政院農業委員會臺中區農業改良。

註三、行政院環境保護署（2009）。**農漁業廢棄物源頭減量及回收再利用宣導手冊**。臺北市：行政院環境保護署。

註四、劉秀美、蔡馥寧（2010）。農業廢棄物生產木質分解酵素之研究。**農業生技產業季刊**，24，53-58。

註五、蔡宜峰（2008）。有益微生物於堆肥製作。**豐年**，58(10)，42—47。

註六、蔡宜峰（2012）。農業廢棄物資源化微生物之研究。**農業生技產業季刊**，32，52—59。