

農業廢棄物堆肥之製造與利用



經連續十二年施用堆肥後，有機區顯著優於化學區



半腐熟堆肥可當田間覆蓋物



以堆肥調製成溫室浮床式之栽培介質



各種堆肥直接當育苗介質使用

農業廢棄物堆肥之製造與利用

蔡永峰

前言

農業有機廢棄物，依碳氮比(C/N)大小，可概分為碳源及氮源等兩大類。碳氮比大於40為碳源，例如稻草、木屑、蔗渣、椰屑、花生殼、樹皮、飯渣等。碳氮比小於20為氮源，例如豆粕、肉骨粉、蝦殼、漁粉、豬糞、雞糞、牛糞、菜渣等。這兩類資材若直接施用於農田，易造成養分被微生物固定，使土壤局部缺氧，釋出酸性有害物質，對作物根系及環境品質有不良影響。因此，最好的利用方式，是先將碳源與氮源以適當的比例混合，經過堆肥化處理，製成良質堆肥，再回歸土地。

堆肥化處理

一、材料處理

有機廢棄物處理，常見的問題，是材料粒徑太粗及含水量太高。粒徑太粗，通風好，但吸水率太低，醱酵熱容易散失，無法產生高溫分解菌。粒徑太細，保水性佳，但通氣不良，造成厭氣發酵，很容易產生異味。最適當的粒徑為0.2~2.0mm，其孔隙度可達75%，液相達45%，最有利於進行醱酵。材料最適當的含水量為60%，若含水量太高，應添加乾燥材料。最常見的材料處理方式是切碎、粉碎、或假堆積等方式。表一顯示粒徑大小對材料孔隙度及含水率之影響情形。

表1. 在濕潤狀態下不同粒徑材料之物理特性

材料粒徑	密度 (g/ml)	假比重 (g/ml)	孔隙度 (%)	含水率 (%)	保水力 (%)	固相 (%)	液相 (%)	氣相 (%)
3~2mm	0.17	0.94	81.6	86.9	12.8	18.4	15.0	66.6
2~0.6mm	0.25	1.06	76.5	122.3	27.5	23.5	36.5	40.0
0.6~0.25mm	0.37	1.54	75.8	128.0	44.1	24.2	47.8	28.0
0.25~0.1mm	0.54	1.89	71.6	110.6	55.5	28.4	59.5	12.1
<0.1mm	0.65	2.08	68.9	100.3	60.9	31.0	64.7	4.3

二、碳氮比調整

碳源促進醱酵菌增殖，而氮源維持醱酵菌的繁殖率。兩者缺一不可。若氮源不足，醱酵菌將從環境中截取有效氮素，以合成本身生物有機氮，形成氮素



相同堆肥添加不同填充劑之生育表現。

的固定作用，反而降低堆肥中之氮素養分含量。因此，有機資材在進行堆肥化之前，兩者需先加以計算，調整混合物的碳氮比例，以適合醱酵菌的增殖，及有效養分釋放。而調整後的混合材料，最適合的碳氮比為30~40。

茲舉例說明碳氮比計算方式如下，假設使用新鮮魚渣200公斤為氮源(含水量80%，含碳量45%，含氮量7.5%)，欲以稻草調整混合物碳氮比為30，問需要多少稻草量(含水量20%，含碳量56%，含氮量0.4%)。依已知條件碳氮比為30，即 $[(\text{魚渣碳} + \text{稻草碳}) / (\text{魚渣氮} + \text{稻草氮})] = 30$ ，代入數字得 $[200 \times (100 - 80)\% \times 45\%] + [\text{稻草量} \times (100 - 20)\% \times 56\%] / [200 \times (100 - 80)\% \times 7.5\%] + [\text{稻草量} \times (100 - 20)\% \times 0.4\%] = 30$ ，解得稻草量約為204公斤。

三、堆積

堆積材料的體積要適中，體積過小，醱酵熱無法保持，溫度很快下降，不利於中高溫度菌之生長，體積過大，通氣不良且操作不易。最適當的高度不要超過1.5公尺，其保熱性與通氣性良好，且適合於翻堆作業。材料堆積的方式，會影響醱酵作用。一般以混合攪拌堆積最



形形色色各種市售堆肥與介質

為理想，亦可以三明治方式逐層堆積，將碳素材料與氮素材料交互堆積，亦可獲得高品質堆肥。堆積場所以地面最為適當，最有利於水分調節及好氣醱酵，不必特意做水泥地



▲ 醱酵初期堆肥表面長滿白色絲狀菌

面的堆肥舍。醱酵過程中，有液體產生，應規劃集水管路，兼回收養分。高營養配方材料，醱酵時會吸引蒼蠅取食產卵，可覆蓋透氣式麻布袋或其他透氣材料。

四、醱酵微生物

堆肥化的過程中，醱酵微生物的繁殖與種類，會隨材料養分不同而逐漸變化。各種微生物的醱酵能力，並不一致，但以中高溫的真菌及放射菌為最強。最先被分解的是第一類材料例如醣類、澱粉、及蛋白質，其次為第二類材料例如半纖維、及纖維類，最後被分解的是油脂、膠質、及木質素等。第一類材料的分解菌以絲狀菌及細菌為主，其中有部分是病原性的絲狀菌，分解完成後，微生物種類，會轉換成以分解第二類材料為主的放線菌及細菌，其中有一部分是拮抗菌，之後再轉換成以分解第三類材料為主的擔子菌，一般以非病原性的黴菌及細菌為主。另外，醱酵時好氣或嫌氣、高溫或低溫、pH高或低之狀態不同，微生物種類也會產生改變。

有機資材通常含有豐富的醱酵微生物，並不需要額外的接種，但有部分的材料，自然菌源不足，仍需加以接種，以確保醱酵速率。因此，在醱酵時可考慮添加複合菌源。菌源的種類很多，可購自商業產品，或者使用含微生物豐富的腐熟堆肥，及肥沃菌土。菌源的用量，約為材料重量的0.5%，可先行活化繁殖後，再與材料充分混合。據本場試驗顯示，有添加菌源的處理，可延長中高溫醱酵期，並縮短醱酵時間。此外，有部分農民為抑制病原性絲狀菌之繁殖，及促進放射菌的繁殖，特別添加蝦蟹殼粉，以加強堆肥的抑病能力。

五、加水與翻堆

有機材料混合時，需調整含水量，含水量以60%最適合於醱酵微生物的繁殖。簡易的測定方法，可用手握緊材料有水會滲出，但不會滴下。如有水分往下滴時，含水量已達70~80%。醱酵過程中，因產生高溫，水分會持續蒸散，過度乾燥時，材料會形成膠結現象，造成醱酵停止，此現象以堆肥槽中心點最容易發生，因此堆肥化過程中需要進行翻堆與加水。為延長翻堆與加水期距，材料堆積時，可用稻草或塑膠布等加以覆蓋，促進水分回流，並保持濕度。通常高溫明顯降低之後，可進行第一次的翻堆。翻堆主要目的是讓外層的材料進入內部，同時調節水分，供應氧氣，繼續好氣醱酵。第一次翻堆之後，通常溫度又會上升，達60°C以上，之後溫度再明顯下降時，可再次進行翻堆與加水，直至溫度不再上升，且維持在40~50°C為止。翻堆次數多寡對堆肥養分含量有顯著影響。翻堆次數愈多，醱酵時間愈短，硝態氮含量愈高，但全氮、銨態氮、有機碳等含量愈低。惟以養分含量觀點來看，過多的翻堆將造成氮素損耗。因此，適度的翻堆，可兼顧醱酵反應及養分含量。另外，木質素含量高的材料，需堆積的時間愈久，因木質素顆粒內層不易分解完熟，必需等有害成分消失後對作物有益才可使用。



以雞糞樹皮堆肥為例，▲栽培介質之堆肥配方影響果實品堆置時間可能長達2年以上。

表2. 翻堆次數對堆肥養分含量之影響

翻堆次數	有機氮 (%)	全氮 (%)	碳氮比	銨態氮 (ug/g)	硝態氮 (ug/g)
0	47.9	1.63	29	1223	62
1	45.1	1.24	36	1054	123
7	41.0	1.13	36	43	336

六、通風量

小型堆肥場，除了藉由翻堆以補充空氣之外，平常因熱空氣上升，堆肥內部空氣均由側面或底部自然補充，並不需要額外的送氣設備，僅大型堆肥場或高水分材料的堆肥場才需要送風處理。不通氣堆肥場，材料中應有些許膨鬆物質，例如粗糠、蔗渣、木屑、及稻草等，使空氣能充分進入內部。

通風設備可利用鼓風機或者利用通風管自然送風。利用鼓風機送風，空氣由槽底吹入，風量不宜較大，以免吹散熱能及水分，造成物質膠結無法分解。最適當的通風量每分鐘約為材料體積的2~5%。以實際經驗，覆蓋塑膠布後，仍可微微感覺塑膠布飄動。醱酵期間，並不需要全程通氣，通常醱酵初期需要通氣，高溫期之後，可考慮停止通氣，並以自然空氣補充，以免降溫太快，縮短最重要的第二及第三階段的分解期，使得堆肥化作用不完全，反而不利堆肥腐熟。

通風量大小對堆肥化學性質有極大差異。不通氣處理，因嫌氣醱酵，有機碳無法順利分解成CO₂，以酸性物質為最終產物，產品pH值偏低，而有機氮的分解產物為銨態氮，其含量可高達千ppm以上。反之，通風量增加，堆肥pH值及硝態氮含量均遞增，而銨態氮含量則遞減。

表3. 送風量對堆肥化學性質之影響

送風量	酸鹼度(1:5)	導電度(1:5) (ms/cm)	銨態氮 (ug/g)	硝態氮 (ug/g)
0%	7.20	1.30	1649	39
2%	7.99	0.91	398	45
4%	8.03	0.92	252	60
8%	8.10	0.93	213	76



▲ 四種堆肥與對照化肥之肥效比較(第一年)

堆肥成熟度判斷

因材料不同，堆肥完熟時間及其特性亦不同。一般以溫度、酸鹼度、氣味、發芽試驗、及作物生長試驗等，為堆肥成熟度的主要判斷依據。堆肥完熟後，再加水堆積，溫度不會上升，酸鹼度大致趨於中性，石灰資材過量時，趨於鹼性，聞起來沒有惡臭，有泥土芳香的氣息，用鋁箔包裹，置入烤鍋加熱，不會產生異味，顏色呈茶褐色，沒有殘體痕跡，質地疏鬆，不結塊，雜草種子不會發芽，用溫水抽出液30倍，以含濾紙培養皿播種白菜種子，有良好的發芽率，以50%壤土及50%堆肥混合後栽種作物，生育良好。

堆肥之利用

堆肥完熟後，因材料及醱酵條件不同，產品有極顯著之差異。其主要的利用方式有三種。(1)田間施用：整地時當基肥使用，或田間覆蓋用，以抑制雜草生長，使用時應配合作物種類、生育期長短、作物需肥特性、及耕作方式等，選用適當的堆肥種類及施肥法。(2)育苗介質：堆肥物理性質良好，養分含量適中，對種子發芽及生長勢有良好表現者，可直接當育苗介質使用。(3)栽培介質：堆肥養分含量偏高，對種子發芽略有抑制作用，但經添加1~3倍土壤或者低肥介質混合後，苗株生長勢良好者，可調製成作物的栽培介質。



▲ 整地時各種堆肥當基肥使用