

堆肥是什麼

作者：台大園藝系鄭正勇教授

堆肥化是現在最熱門的垃圾處理方式。從家庭廚餘、果菜市場買賣剩餘的植物殘體、畜牧業難以消耗的廄肥、工業上、廢水處理後的汙泥，無一不在嘗試利用堆肥化過程，將垃圾變成黃金。

我們先對堆肥化的原理作一些瞭解。所謂的堆肥化（composting），是利用自然界中廣泛分布的細菌、放線菌、真菌等微生物，將可被生物分解之有機物，轉化成腐植質（humus），腐植質是一種高分子量化合物，具有提升土壤離子交換能力、改善土壤結構、調整土壤中營養組成、助益植物對蟲、病的抵抗能力等特性，部分腐植質也可以直接為植物所吸收利用，對植物的生育影響極大。同時在堆肥化的過程中，某些毒性物質也可以被微生物所分解。完熟後的堆肥為極佳的肥料以及土壤改良劑。

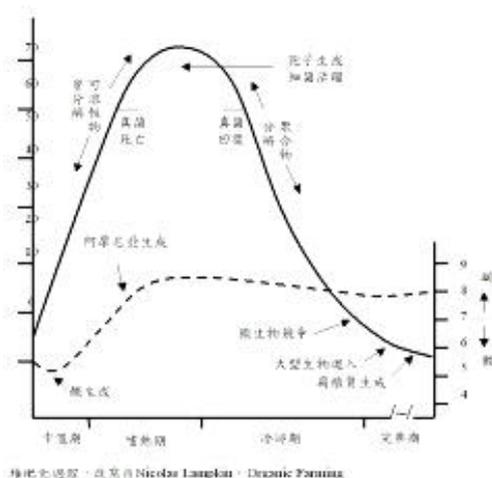
這種作用就如同食物鍊中的分解者，它們無時無刻都在作用，維繫自然界生生不息的循環。但在都市化的過程中，自然界內所具有的週期與平衡，卻被人為破壞了。從前的落葉，化作春泥更沃土，今日則成為水泥鋪面上的髒亂之源，被收集堆積在百公里外，成為人人所厭惡的垃圾山，而原來都市行道樹穴中的土壤，則因得不到落葉殘枝的補充，養分被耗盡，只有仰賴外來的化學肥料，以滿足下一季植物生長的需求。因此堆肥化是一個十分值得我們去努力的方向，除了降低垃圾量，減少外部污染外，完成的堆肥還諸大地，可提供都市綠地、住家以及農民所需，可謂一舉數得的積極做法。

堆肥之生理變化

堆肥的製成可分為四個階段：中溫期(Mesophilic stage)，嗜熱期(Thermophilic stage)，冷卻期 (Cooling down stage)與完熟期(Maturing stage)。

第一階段的中溫期，真菌與細菌開始分解有機物，並利用釋放之養分生長繁殖，隨著時間，其族群大量增加並使堆肥堆的溫度逐漸升高，pH 值則隨之降低，當溫度升高超過 40 時，即嗜熱期的開始；肥堆的溫度仍會一直升高，此時真菌因熱漸漸失去活力，微生物相發生改變，反應改由耐高溫的放射菌接手，溫度可以超過 60，醣類、澱粉、油脂與蛋白質等大分子被分解，pH 值也升高變成鹼性，阿摩尼亞的氣體也在此階段生成，等到反應速率因物質被分解殆盡而慢慢下降，反應即進入冷卻期，真菌重新活躍起來，纖維質被分解。

從開始到冷卻期，只需幾個星期即可完成，但最後的完熟期，卻需要數個月來生成穩定的腐植質與腐植酸。這段期間，微生物間會有強烈的競爭，大型的生物如螞蟻、蟲、蚯蚓等開始進入，幫助消化分解其餘的物質。最後當溫度一直保持在 40 以下，顏色呈現黑褐色，原來物質的形狀崩解成為黑土狀，並有一種特殊的香氣時，即表示堆肥完成，可直接混入土壤中使用。



堆肥之最適條件

堆肥就像土壤一樣，是活生生的，由無數的微生物、成份與結構組成，在堆肥化的過程中，氧氣、水分、主成份碳氮比、以及溫度的變化與控制，會影響堆肥最終的品質。根據許多經驗與研究發現，將堆肥原料組成調整在碳氮比(C/N) 25 : 1 ~30 : 1 之間，水分維持在 55~60%，經常性的翻堆，並維持溫度不使之超過 65 ，即可保證堆肥的成功。

一. 氧氣

分解有機物的微生物，絕大多數是屬於好氧性的，因此氧氣供應的充足與否會影響到微生物群落的增減，供應若不充足，則好氧性微生物生存不易，使有機物的分解速率降低。因此適當的通氣措施與翻攪，促進空氣的流通，是可以有效促進堆肥腐熟的。另外，堆肥堆置的方法，也會影響通氣的程度，較常見的有三種形式：風道式、通氣靜堆式與槽式堆肥法。風道式堆肥法是以長列的方式堆置，利用自然通風與移動式的翻堆設備，滿足所需之通氣。通氣靜堆式則是利用管線以加壓或交換氣體的方式，強制通氣。槽式堆肥法則是將堆肥置於固定槽中，以機械方式進行翻攪、補充水份的動作。目前在公園或學校所做的落葉堆肥，則多半採用傳統的堆積法，其方法是以木板、鐵絲網等物件圈圍出一個範圍，或是使用大容積的容器，將落葉殘枝、菌種、土壤等一層層的放入，待其自然腐熟，這種方法速率較慢，但也堪稱簡便。

二. 水分含量

因為水，才孕育了地球上多采多姿的生物世界，堆肥中的微生物，也必須有適當的水分才能順利的繁衍滋長。將基質的水分含量保持在 55-60%，是很常見的作法，過多，會影響堆肥堆中空隙的比率，造成氧氣不足的厭氧環境，不足時，則會抑制了微生物的活動生長。水分的適當與否，可以用手來檢測，以手擠壓，可見水分滲出濕潤掌心時，表示水分含量是恰當的。堆肥堆中的水分會隨時間逐漸被蒸發、用掉，所以必須定期觀察，適時補充。此外，常被忽略的一點是排水與防雨的問題，特別是露天製作的堆肥，如果一直有雨水或積水發生，不僅影響水分、通氣、與溫度，還會有微生物、基質流失的問題產生，因此適當的遮蔽、覆蓋與排水措施是必要的。

三.C/N ratio

堆肥來源的組成中，碳是提供微生物能量，而氮則是微生物合成蛋白質所需的必要成分，兩者比例需恰當，微生物才能順利繁衍，倘若 C/N ratio 過大，反應就會減慢，若 C/N ratio 太小，則氮源會被浪費，並產生阿摩尼亞的臭味，造成空氣污染。理想的 C/N ratio 為 25-30 : 1。

例如落葉堆肥主要的材料來源有割除的新鮮草屑、修剪下來的枝葉與枯枝落葉，若要維持碳氮比值在 25 : 1，則可取草屑與落葉，使其重量比為 7 : 1，即七公斤的草屑搭配一公斤的落葉。由於落葉、草屑等植物殘體中的 C/N ratio 通常都較高，因此有必要時，也可以加入一些 C/N ratio 較低的材料，好調整到適當的比例，如玉米粉、大豆粕等。此外在恰當的範圍內，調整原料的比例，還可製成高碳或高氮的堆肥，供應不同的植物需求。

表一、物質碳氮比一覽表			計算公式與材料碳氮比說明
物質	乾燥狀態下的N量(%)	碳氮比 (C:N)	
草屑	4	20	以草屑與落葉為材料， 控制 C/N ratio 在 25 : 1 設取草屑 1 單位(20:1)， 落葉 X 單位(60:1) $20+60*X : 1+X = 25:1 = C:N$ $(20+60*X)=25*(1+X)$ $20+60*X=25+25*X$ $35X=5, X=1/7$
落葉	0.4	40~80	
新鮮綠草	--	30	
綠草	--	60~110	
乾草	--	12	
茶皮殘餘	--	35	
紙張	--	170	
稻草	0.4~0.6	80~100	
椰子纖維	0.5	300	
甘蔗	0.3	150	
新鮮綠葉	0.1	500	
玉米粉	10~14	5	
大豆粉	8.75	4.7	

四.溫度

溫度的變化，是觀察堆肥化過程相當重要的指標，堆肥的溫度也會影響堆肥完成的速率。堆肥堆最少要有 0.6 公尺直徑大小，才能維持熱度，利於反應進行。使堆肥維持在高溫的狀態下，更有助於堆肥的快速完熟，若在過程中，以密集的監測、翻堆、加水，使溫度持續維持在 45 65 之間，八個星期之內，堆肥即可完成，其優點除了節省時間與空間外，還可以利用高溫殺死雜草種子與病菌，但同時，亦增加了不少工作量。但最重要的是，不能使溫度超過 65 ，否則微生物就會因溫度過高而大量死亡。

堆肥的製作

製作堆肥是一門古老又新奇的學問，千年前的人類就已懂得利用堆肥，來保持土壤地力，維繫生產與生存。這門實習課程便要告訴大家，製造堆肥的方法與流程。

基地與堆肥材料準備

製作堆肥的場地，最重要是遮蔽與排水的問題。遮蔽可利用加蓋或覆蓋防水布方式達成，排水不良處用空心磚加以墊高，即可達到功效。

堆肥來源的組成中，碳提供微生物能量，氮則是微生物合成蛋白質所需的必要成分，兩者比例恰當，微生物才能順利繁衍。C/N ratio 過大，堆肥完熟需較長的時間，C/N ratio 太小，則氮會來不及被微生物利用，變成氨氣釋出，造成浪費與污染。理想的 C/N ratio 為 25 30 : 1，適當調整原料的比例，還可製成高碳或高氮的堆肥，供應不同的植物需求。碳可由植物殘體提供，氮可利用豆腐渣、大豆粕、動物排泄物、雞毛等。



堆肥材料之一：豆腐渣



木炭堆肥與植物殘體

破碎

堆肥原料中若有大型植物殘體，如樹枝、椰子葉片等，必須先利用破碎機予以削切為適當大小，使微生物容易分解，操作上也較為輕鬆簡便。



破碎植物殘體之一



破碎植物殘體之二

積堆

從底至頂依序將體積較大、中等、最小的材料堆放。除基本的原料外，還要接種微生物，可混入市面上販售之菌種、製成的堆肥、或森林表土。將所



有材料充分攪拌混合均勻，並添加水分到 60% 的濕度。翻攪完畢的堆肥材料需整形成隧道狀，寬可達 3m，高可堆至 1.2m。最後再以通氣不透水之不織布予以覆蓋，即完成初步的工作。

大致流程圖示如下：



監測

在堆肥熟成，微生物作用的過程中，需定時監測堆肥的溫度與濕度，適時予以補充水分翻堆。可以插入溫度計以便觀察變化。



插入溫度計



測量溫度

翻堆

隨著反應進行，堆肥的溫度會不斷升高，可以利用溫度計測試，當溫度超過 60 時，便需要加以翻堆，這個步驟需持續執行，直到溫度開始下降，才等待其自行熟成。但是在冬天天氣過於寒冷時，一開始堆肥的溫度可能無法持續升高，此時可以加覆蓋，以幫助其溫度上升。

熟成

一般的堆肥約 6 個星期即可熟成，此時可以觀察其外觀、顏色、氣味，以及生物的活動情形，來判斷其是否熟成。或是由專門的實驗室從物理、化學性狀方面檢測其熟成程度。目前已有專門測驗堆肥熟成的試紙可以運用。



高品質的完熟堆肥，是性狀非常優良的肥料與土壤改良劑。其效果溫和，可以大量使用，甚或直接用作栽培介質。