

堆肥品質之判斷

簡宣裕、張明暉、劉禎祺
行政院農業委員會農業試驗所

前言

為了因應農業轉型的需要，使用有機質肥料代替化學肥料，已漸受農民的重視，但目前有機質肥料處理中心有公、民營多處，然為能讓農業永續經營，應使有機質肥料場之產品品質穩定且衛生，故於製造過程中，應注意堆肥品質的控制，以使產品不會對於農業環境或生態環境造成二次污染。許多農牧廢棄物處理方式中，利用發酵腐熟過程，堆積製成堆肥是一種很好的處理方法，這種方法不但可以處理農牧廢棄物避免污染環境形成公害，並且能夠利用其所含作物生長所需的必需營養分外，還可利用其所含有機物，改善土壤之物理、化學與生物的性質，提高土壤肥力增加作物生產與改善產品品質。

根據八十三年台灣農業年報，主要農產廢棄物和禽畜糞量，每年約有 1,478 萬公噸，若以 35% 可製成堆肥，估計年生產量約 517 萬公噸，而全年禽糞尿中之三要素含量，可達氮素 15.2 萬公噸，磷酐 17.2 萬公噸及氧化鉀 11.6 萬公噸，分別佔全年化學肥料三要素量之 58%、253% 及 110%，實為國家寶貴資源，但目前禽畜糞用來製造堆肥者，約只有 10.7%，尚有近 90% 之禽畜糞未善加利用而排放到河川中，不僅污染環境，造成生態浩劫，資源浪費亦甚為可惜，而主要農產廢棄物亦只有 2.9% 用於製造堆肥，實應加強農產廢棄物和禽畜糞之有效利用。

堆肥腐熟之判定

堆肥腐熟與否對於作物生長與環境衛生具有舉足輕重的影響，一般而言，堆肥腐熟之判定方法有下列幾種較簡易的方法：

一、觀察有機質肥料外觀顏色與味道

腐熟的堆肥，外觀顏色為深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，

味道為泥土味至芳香味（例如純蔗渣堆肥），不能有酸壞臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。而發酵不良，品質不好的堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。

二、種子發芽測定法

5 公克風乾堆肥加 100 毫升 60 °C 溫水，置於 200 毫升燒杯內，在 60 °C 水浴中經 3 小時後，以細紗布過濾，2 張濾紙置於培養皿中，加入 10 毫升濾液，25 粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於 25 °C 恆溫箱內，3 天後，觀察種子發芽率以及根生長情形，另外以蒸溜水代替濾液進行試驗，做為對照用，若試驗組的發芽率為對照組發芽率的 90 % 以上，且根的伸長不受抑制，則該堆肥可視為已達腐熟程度。

三、還原醣含量

一般而言，堆肥的還原醣含量與總碳含量的百分比 < 35 %，則堆肥可視為腐熟，若高於此百分比，則為尚未穩定腐熟的堆肥。

四、濾紙擴散顯圖測定法

濾紙先以 0.5 % 硝酸銀 (AgNO₃) 溶液浸泡，烘乾待用。稱 5 公克堆肥，加入 50 毫升的 1 % 氫氧化鈉 (NaOH)，振盪 5 小時後，以 3000 rpm 轉速離心，用棉花蕊心浸沾上澄液，露點於濾紙中央，依在濾紙上擴散顯圖的形狀及顏色，比照表一所列的資料，可判斷堆肥是否為腐熟。

表一、堆肥樣品抽出液（以 1 % 氫氧化鈉抽出）點於濾紙上，擴散顯圖之形狀與顏色

位置	新鮮堆肥	腐熟堆肥
擴散圖中央	顏色為白色至粉紅色	顏色為紅色至紫色
擴散圖中間帶	形狀為環狀	形狀為不規則狀
擴散圖邊緣	邊緣非鋸齒狀	邊緣為鋸齒狀

五、塑膠袋法

適用於堆肥廠現場之簡易判定法。新鮮堆積材料含許多易被分解的有機物，經微生物與生物作用後會產生多量氣體，塑膠袋因而馬上膨大如氣球，堆積材料愈接近腐熟則氣體產生的速度愈慢且量愈少，當然塑膠袋不會馬上鼓起來，甚至於不會鼓起來。此法可利用於以禽畜糞為堆積材料製造堆肥時，腐熟度定性的測試，但難判定完全腐熟與否。

六、蚯蚓法

堆肥與純水以 3:2 比例混合均勻後，放入 1/2 至 2/3 杯量堆肥於黑紙罩住四周的杯子（最好 500 毫升以上）中，把蚯蚓置於堆肥上面，因蚯蚓有棲息於暗處之習性，若蚯蚓有往下鑽入堆肥之現象則表示堆肥已腐熟，若蚯蚓有逃避離開的反應，甚至死亡，則表示此堆肥尚未腐熟。此法適用於判斷禽畜糞堆肥是否腐熟。

七、幼植物試驗法

設置 4 種處理，處理 A：500 毫升風乾土壤裝入盆栽盆內，處理 B：同處理 A，但加施 N、 P_2O_5 及 K_2O 各 35 毫克，處理 C：350 毫升風乾土壤與 150 毫升堆肥混合均勻後裝入盆栽盆內，處理 D：同處理 C 但加施 N、 P_2O_5 及 K_2O 各 35 毫克。每處理 3 重複。盆栽盆直徑為 11.3 公分，高為 6.5 公分。上述各試驗處理的盆栽土壤加入適量水分後播種 20 粒小白菜種子，比較各處理的小白菜生育狀況做為堆肥腐熟之判定依據。

八、花粉管伸長法

堆肥與純水以 1:2 比例混合，浸泡一夜後，用紗布搾濾出濾液，以濾液（用純水做為對照）配製培養基（含 8% 蔗糖、1.2% 洋菜及 17 ppm 硼酸），培養基加熱使洋菜熔解後傾倒於培養皿，待冷卻凝固後，將花粉管置于培養皿上，於 25℃ 暗房內，經 20 小時後，與對照組相互比較花粉管伸長情形。此方法在判斷樹皮堆肥是否腐熟時，常被採用。

九、近紅外線光譜測定法

一般而言，堆肥化過程中碳水化合物逐漸減少，但化合物的芳香基碳 (aromatic C) 與羧基 (carboxyl group) 則增加。新鮮堆積材料在波數 1720 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 近紅外線光 (infrared light) 的吸光光譜形狀為許多小且尖銳 (sharp) 或斜肩 (shoulder) 吸收峰，而堆積材料愈接近腐熟，則在此波數範圍內的吸光光譜形狀，吸收峰較少且平緩 (leveled off)。新鮮堆積材料在波數 2900 cm^{-1} 至 2800 cm^{-1} 近紅外線光的吸光光譜形狀，其吸收峰的高度比腐熟堆肥者高。

其測定方法為：

樣品以 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘乾後，磨粉過 0.25 毫公尺網目篩子，儲存於真空乾燥瓶 (vacuum desiccator) 內，取 100 毫克溴化鉀 (KBr) 和 2.4 毫克粉狀樣品混合均勻，壓成餅 (pellet)，置於近紅外線光吸光測定儀，用波數 4000 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 光波，掃描測定樣品的吸光光譜。

十、二苯基胺 (diphenylamine) 呈色反應

5 公克牛糞堆肥放入 125 毫升玻璃三角瓶，加入純水 50 毫升，振盪 3 小時，以濾紙過濾，取適當濾液放入小玻璃培養皿，用吸管吸幾滴含 0.012 % 二苯基胺之濃硫酸液，加入小培養皿內，若呈藍色反應者表示已腐熟，而新鮮牛糞則沒有藍色反應。

堆肥的有機碳與氮比值及有機質含量

一般而言，腐熟堆肥的有機碳與氮比值大多低於 20 (但樹皮堆肥的比值可能大於 20)，有機質含量可以高於 60 %。但是，若以純雞糞製造堆肥時，因原料的有機質含量大約只有 55 %，故腐熟雞糞堆肥的有機質含量，極有可能低於 50 %。有機碳含量的測定方法如下：

一、濕化法

試驗組，堆肥以 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘乾磨粉後，稱 0.1 公克樣品放入 500 毫升三角玻璃瓶，加入 20 毫升的 0.1 N 重鉻酸鉀 (K_2CrO_7) 及 40 毫升濃硫酸，靜置過夜，200 毫升純水加入三角瓶內，待三角瓶冷卻後，

加入 3 滴 *o*-phenanthroline 指示劑，然後以 0.5 N 硫酸亞鐵 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 滴定至暗綠色。對照組，不加堆肥樣品於 500 毫升三角瓶內，其餘步驟同試驗組。以下列公式計算堆肥的有機碳含量 (organic C, %)

有機碳 (%) = $(1\text{ N} \times 20 \text{ 毫升} - \text{硫酸亞鐵濃度} \times \text{滴定毫升}) (3) (f)$
 f: 為校正因子，大約為 1.3

二、燃燒法 (McKeague, 1976)

樣品先用酸處理，去除碳酸鹽，然後置於燃燒爐管，燃燒樣品，釋放出的二氧化碳 (CO_2) 被吸收塔中的氫氧化鈉 (NaOH) 所吸收，然後反滴定氫氧化鈉的減少量，便可計算出樣品中之有機碳含量。堆肥有機質含量等於有機碳含量 $\times 1.72$ 。

有毒物質及重金屬含量

美國、日本對堆肥中有機污染物的規範，只有多氯聯苯 (PCB) 這一項，美國規定若要施用於農田，則堆肥的多氯聯苯含量不能超過 2 ppm，日本的標準為堆肥的水抽出液，多氯聯苯含量，要低於 0.03 ppm，測定多氯聯苯是需要同時用到氣體色層分析儀 (GC) 與質譜儀 (MS)，須由專業人員來操作。堆肥中重金屬可以容許的含量，國內與國外的標準如表二所列。

表二、堆肥重金屬容許含量 (ppm)

國家	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅	砷	鈷	鉬
美國	2-25	1000	450-1000	5-10	50-200	250-1000	900-2500			10
日本	5	(15)		2		(3)		50		
奧地利	4	150	400	4	100	500	1000			
比利時	5	150-200	100-500	5	50-100	600-1000	1000-1500			
哥倫比亞	2.6	210	100	0.8	50	150	315	13	26	5

意大利	10	Cr ⁺³ 500Cr ⁺⁶ 10	600	10	200	500	2500			
荷蘭	0.7-2	200-50	25-300	0.2-2	10-50	65-200	75-900	5-25		
加拿大 Ontario	3-4	50	60-100	0.15-0.5	60	150-500	500	10-20	25	2-3
西班牙	40	750	1750		400	1200	4000			
瑞士	3	150	150	3	50	150	500		60	20
南韓	5			2		150		50		
我國垃圾堆肥	5	150	150	2	25	150	500	50		

()：水抽出液濃度

其他相關因素

一、pH

腐熟堆肥的 pH，一般接近中性（堆肥樣品與純水以 1:5 混合均勻），但堆肥材料中若添加雞糞，pH 則有可能超過 7.0，如果以純雞糞當作材料，製造堆肥時，pH 可高達 9.0 左右。若堆肥的 pH 小於 6.0 時，此種堆肥可能是在嫌氣性條件下，進行發酵的結果，則屬於品質不好的堆肥。

二、電導度 (E.C.)

堆肥種類不一樣，電導度的測值（堆肥樣品與純水以 1:5 混合均勻）則差異很大，不過一般而言，純樹皮堆肥的電導度小 < 1 dS/m，純香菇木屑堆肥的電導度 < 2.8 dS/m，純金針菇木屑堆肥的電導度 < 3.6 dS/m，牛糞堆肥的電導度可高於 3.5 dS/m，純豬糞堆肥的電導度大約為 4.0 dS/m 至 4.5 dS/m，固液分離豬糞堆肥的電導度可低於 2.0 dS/m，在所有種類的堆肥中，電導度，以純雞糞堆肥最高，可高達 11 dS/m 至 13 dS/m。

要以電導度的高低來判定堆肥品質的好壞，是沒有意義的事。一般而言，電導度低的堆肥，比較適合做為作物的栽培介質使用，電導度高的堆肥則必需先和土壤或其他低電導度的材質（如蛭石，泥炭土等）混合攪拌均勻後，才能當做栽培介質使用。

三、全氮、全磷及全鉀的含量

大致而言，以農作物殘株或廢棄物為堆積材料所製造出來的堆肥，氮、磷及鉀的含量不高，而純禽畜糞堆肥的養分含量較高。堆肥添加其他化學肥料或材質（例如豆粕粉或肉骨粉等）的有機複合肥料或雜項有機質肥料，其養分含量遠高過於一般堆肥者。

四、堆肥的顆粒大小及不純物含量

腐熟堆肥，其顆粒粒徑大小的標準，通常規定為小於 25 毫公尺，不純物質（非有機物）的含量低於 4.0%（美國標準）。

有機質肥料之施用

一、一般農產加工副產品

1. 需在種植前一段時間先施入土壤並犁入土中。
2. 不可直接施用在作物根部。

二、伯卡西肥

1. 基肥

使用量因作物種類不同而有很大差別，通常都按照各作物的氮素推薦量計算使用，一般每分地用量約 200 - 600 kg，均勻撒施於地面，翻入土中深度約 15 - 20 cm，不必太深，或條施於植溝後覆土，不必太厚，約經過 7 - 14 天即可種植幼苗或播種。

2. 幼樹追肥

定植 7 天以後即可使用，一般用量每分地 40 - 60 kg，撒佈於幼株周圍，距離主幹約 10 cm，施肥帶寬 15 - 20 cm，輕輕覆土即可。

3. 壯老年或病弱樹追肥

用量減半，但次數增加，視新芽生長情形而定，應施放於根部生長旺盛部位，距離主幹約 50 - 100 cm。

三、有機液肥

1. 氮質液肥使用法

適於各種作物生長長初中期使用以促進營養生長或果實生

長，也可於果樹採收後做裡肥使用，噴葉用 100 倍（先過濾），灌土者不必過濾，接加水稀釋 30-50 倍後以馬達抽取灌施。

2. 磷質液肥使用法

適於氮素過多之作物。2-4 個月間長期陰雨，日照少，或因氮素太多而花芽分化不良之果樹或果菜類，每間隔 4-5 日連續噴施或灌施於土壤二次以上。結果中後期灌施於土壤以提高果實糖度。噴葉用 100 倍（先過濾），灌土用 30-50 倍。

3. 低氮磷質液肥使用法

適於養分不太夠之果樹或果菜類結果中後期使用，以促進果實生長並提高糖度。噴葉用 100 倍（先過濾），灌土用 30-50 倍。

四、堆肥

1. 施用量

(1) 牧草及草皮

一般而言可以大量地施用家畜、家禽糞堆肥，因草皮及飼料作物較耐高濃度養分，但過量的施用可能造成作物體內有大量 NO_3^- 生成。每公頃較適合施用量，牛糞堆肥為 30-40 噸，豬糞堆肥為 20-30 噸或家禽糞堆肥為 5 噸。

(2) 水田

每公頃較適合施用量，牛糞堆肥 15 噸，豬糞堆肥 10 噸或家禽糞 2 噸。

(3) 蔬菜

堆肥施用於蔬菜田是很重要的，因為施用後，可以維護蔬菜田土壤的化學、物理及生物性質，而促使蔬菜產量高與品質良好。需要肥料量較低的蔬菜如馬鈴薯、菠菜、紅蘿蔔，每公頃施用牛糞或豬糞堆肥 10 至 15 噸或家禽糞堆肥 2 噸。需要肥料量較中等的蔬菜如甘藍、萵苣、番茄，每公頃施用牛糞、豬糞堆肥 15-20 噸或家禽糞堆肥 2-3 噸。需要肥料高的蔬菜如胡瓜、甜辣椒（green pepper），每公頃施用牛糞、豬糞堆肥 25-35 噸、家禽糞堆肥 4-5 噸。

(4) 旱作

玉米、高粱、蕃薯，每公頃施用牛糞或豬糞堆肥 10–20 噸，家禽糞堆肥 2–3 噸。茶園，每公頃施用牛糞或豬糞堆肥 20–25 噸，家禽糞 4 噸。菸葉，每公頃施用 15–20 噸牛糞或豬糞堆肥，3 噸家禽堆肥。

(5) 果樹

每公頃施用牛糞、豬糞堆肥 8–12 噸或家禽糞肥 4–5 噸。

(6) 花卉

每公頃施用牛糞或豬糞堆肥 10–20 噸，家禽糞肥 5–6 噸。

(7) 施用牛糞或豬糞堆肥

需要考慮存在於堆肥中的重金屬例如銅的含量，然後酌量使用，最好購買有登記註冊且標示肥分之品牌有機質肥料。

2. 施用方法

(1) 撒放 (broadcasting)

草皮與草地以此方式施肥。

(2) 撒施後犁入土壤 (broadcasting and plowing under)

在播種或種植前，將堆肥撒施後馬上犁入土壤中，短期作物、某些一年生作物可採用此種方法。

(3) 溝施 (furrow application)

長期作物如甘蔗與馬鈴薯適用此法。開條溝於作物旁邊、施入堆肥及覆土。

(4) 堆施 (hill application)

將堆肥大量堆置於果樹或香蕉的旁邊。

(5) 穴施 (hole or pit application)

將堆肥和土壤混合後施入穴中，此法常適用於果樹幼苗栽種時。

(6) 環施 (ditch application)

於果樹周圍環狀開淺溝，然後將堆肥施入及覆土。

五、有機質肥料施用需掌握之訣竅

- (一) 栽作物種類之選定及養分吸收特性瞭解。
- (二) 耕地土壤的瞭解。
- (三) 選擇肥料種類的瞭解。
- (四) 及調配合適有機質肥料。
- (五) 合理的施用量。
- (六) 施肥位置及施肥方法。

結 語

堆肥是有機質肥料的一種，而有機質肥料之功能甚多，諸如：改善土壤物理性，包括增進土壤團粒構造、保水力、通氣性、調節土壤溫度，降低總體密度及土壤流失等；對土壤化學性亦有助益，包括提高陽離子交換能量、增加營養分儲存能力、增大緩衝能力等。此外，並可使土壤微生物相多樣化，微生物活性增加，減少病原菌生長。因此，堆肥普遍地被施用於作物栽培上，藉以改善農田土壤之理化性質及生物性質，進而提高作物產量與品質。

因此，消費者在購買堆肥時，若要知道堆肥的腐熟程度，則可以參考上述的資料，來加以判定。但先決條件是堆肥製造商或產商應該在每種產品堆肥的包裝袋或廣告說明書上，詳細且誠實的敘述各類堆肥產品的性狀及成分，才能讓堆肥消費者來判定所購買堆肥品質的好壞，以選擇符合自己需要的堆肥。