第十二章 不同堆肥之特性

林木連 張明暉 黃維廷

行政院農委會農業試驗所

一、前言

堆肥是人類寶貴的資源，它的寶貴在於含有養分及有機質，可以供給作物生長所需之養分及改良土壤之理化及生物性質，同時堆肥大部份為緩效性，保存於堆肥中之養分，不會一下子就被雨水或灌溉水淋洗掉，堆肥等於是維持人類生存所需的養分一個極為重要的留存方式。由於人類為了生存必需直接或間接經由人體、作物及禽畜攝取養分，故養分中較易缺乏的氮、磷及鉀就逐漸在地球上被消耗掉，堆肥的製造等於是把養分循環再加以利用，因此體會到堆肥製造利用的重要性，目前世界上很多國家無不對農畜牧廢棄物的資源化利用，也就是對堆肥的製造利用投以莫大之重視。

堆肥由於製造材料、製造方法及貯藏時間之不同而有不同之特性，瞭解堆肥製造材料之特性才能適宜選擇堆肥製造方法，瞭解不同堆肥之特性才能就不同土壤、不同作物之需肥特性擬定堆肥施用策略，且堆肥製造廠商才能擬訂產品之行銷方法。

台灣畜牧業發達，以目前所飼養之禽畜數量，每年所產出之禽畜糞便約達七百萬公噸，若將畜產及農產廢

棄物混合醱酵製成堆肥，每年約有四百萬公噸，然這些堆肥因製造材料及製造方法不同而有不同特性，其他類堆肥如樹皮堆肥、垃圾堆肥、廚餘堆肥、蚯蚓堆肥、伯卡西堆肥、菇類木屑堆肥等亦有不同之特性。本文之目的即在於介紹一些堆肥之特性，並同時介紹一些國際上堆肥利用之新產品，以供業界參考。

二、影響堆肥特性之主要因子

（一）堆肥化資材

堆肥製造材料之選用組合是決定堆肥特性之重要因子，在台灣地區之環境下堆肥製造之主要原料為禽畜糞（豬、羊、雞等）及蔗渣，而副原料為稻穀、木屑、廢棄菇類堆肥、花生殼等。一般而言堆肥材料之組合選定後，該堆肥之特性幾乎就被決定了，因為材料之成份有些是不會逸散，如磷、鉀、鈣、鎂等，但會隨其他成分而產生含有率之變動，尤其水份變動、有機質之分解（碳素經由二氧化碳之逸散）。堆肥化愈完全，理論上硝酸態氮之含量會愈高，但堆肥量就愈少。

一般堆肥材料之特徵可分物理性的、化學性的及生物性的。物理性之特徵如材料之重量、固液比、灰份含量、粗細、密度。固液比低的禽畜糞須要填充材料來調整堆肥材料組合之通氣性，以利堆肥化之進行，灰份愈高則堆肥之養分含量愈多，材料之粗細則會影響肥效之快慢。禽畜糞之

密度因禽畜類而有所不同，表一為不同禽畜類之一般密度範圍。一般糞便緻密者，養分之含量較高。

表一、不同禽畜糞之密度

糞便種類	密度(kg/L)
乳牛	1.17-1.48
肉牛	1.33-1.45
家禽	1.55-1.8
豬	1.44

(Iowa State Univ., 1999)

堆肥材料的化學特徵指的是如氮、磷、鉀養分的含量、微量元素（包括重金屬）的百分率、有機化合物如生化成份、臭味成份。禽畜糞中之肥料養分為完全來自動物所吃食之飼料，禽畜一般只利用飼料中 25 % 的養分，其餘 75 % 的養分則經由糞或尿排出來（表二），所以禽畜糞含有豐富之肥分，宜好好地加以資源化利用。禽畜糞中約半數的氮及三分之二的鉀是存於液體成分中，因此這些液體成分頗為值得保存利用，糞尿的固液分離往往損失了養分，而墊料之鋪用則可吸收大部份之液態養分。豬飼料如添加銅、鋅成分則會造成豬糞中之銅鋅含量要比其它禽糞糞便為高。

表二、禽畜攝食飼料之養分排出率（%）

種類	N	P	K
肉牛	80	61	93
乳牛	71	73	90
豬	65	69	86
肉雞	61	69	80
卵雞	70	68	87

(Fraser, 1991)

堆肥材料的生物性質特徵如病原微生物及寄生蟲卵、雜草種子、有機物的分解及礦化速率等。一般堆肥化之過程可將病原微生物及寄生蟲卵、雜草種子殺死，而豬、牛、羊、雞三種糞便中，則以牛糞因食料屬牧草類居多，富含纖維質故分解較為緩慢，此外添加之副資材如穀殼、鋸木屑或廢棄菇類堆肥（含木屑為主成分）等之分解礦化就較為緩慢，以木屑為堆肥材料發酵分解之後則可能有高量之木質素、纖維素、半纖維素，亦期望有長效型且穩定化之腐植質。

（二）堆肥製造方法

堆肥製造方法亦為影響堆肥特性之重要因子，傳統上厭氧製造之堆肥有機質含量稍高，而養分含量上因擠壓排水或放流而導致養分含量如 N 、

P、K、Ca及Mg含量較一般較低。表三為Verdonck (1998) 比較於厭氧及有氧系統發酵狀態下之成分差異。台灣地區堆肥製造以開放式有氧發酵堆積為主，厭氧發酵幾乎沒有廠家使用。

表三、不同通氧狀態下堆肥成分之差異

	單位	有氧發酵	厭氧發酵
乾物質	%	60 - 70	55 - 60
有機質	%	16 - 22	19 - 24
電導度	mS/cm	2.2 - 3.0	0.8 - 1.2
pH	---	8.0 - 8.5	7.5 - 8.0
總 N	%	0.8 - 1.2	0.6 - 1.1
總 P_2O_5	%	0.4 - 0.75	0.45 - 0.5
總 K_2O			
C/N	Ppm	10 - 15	14 - 18
NH_4-N	Ppm	0 - 400	0 - 300
NO_3-N	Ppm	100 - 1200	100 - 250
可抽出性 P	Ppm	600 - 900	200 - 500
可抽出性 K	Ppm	3000 - 6500	1000 - 1500
可抽出性 Ca	Ppm	6000 - 9000	3500 - 5000
可抽出性 Mg	Ppm	500 - 750	250 - 350

(Verdonck, 1998)

禽畜糞堆積發酵方式大致可分為靜置堆積和機械攪拌二種。一般而言，靜置堆積式堆肥設備投資較少，且處理時間較長，但堆肥成品常成結塊，品質不均勻，而機械攪拌式進行堆肥翻堆，設備的投資及管理維護費用較高，但堆肥化期間可縮短，且成品品質較均勻 (林財旺等， 1999) 。

堆肥的貯藏亦為影響堆肥之品質，禽畜糞及農產副產物等有機質材雖經堆肥化處理，藉微生物分解作用加以分解而呈穩定化，惟以水份、溫度適當之情況下堆肥仍是會繼續發酵，導致碳素以二氧化碳之型態損失，而養分則進一步礦化，尤其硝酸態氮含量的增加，是故袋裝或大堆之堆肥長期貯藏其重量會減少。

三、堆肥之特性與品質

堆肥之品質實際上是堆肥的物理、化學、有機及生物性特徵之函數 (Diaz 等， 1993) ，通常堆肥之品質可分成上述四組性質來評估，而每種性質下又可分成數個項目更進一步加以界定。

表四、堆肥品質之評估項目

性質	項目	性質	項目
物理性	總體密度	化學性	養分(大量及微量)
	顏色		重金屬
	水分		可溶性鹽類
	味道		
	有機質含量	有機	毒性化合物
	pH	生物性	病原菌
	粒徑		種子發芽
	保水力		
	污染物(惰性物質)		雜草種子
	腐熟度		

(Source: Washington Department of Ecology)

然而由於有些項目在評估時費時或困難，故一般之有機質肥料品目及規格表也只以如表五之保證成分、堆肥有害成分及其他規定事項做為堆肥品質之標準以保障農民及維護農業環境生態。

表五、我國肥料管理之部份堆肥品質標準

種類	有機質	保證成份（%，低限）			重金屬（%，高限）		水份
	（乾基，%）	全氮	全磷酐	全氧化鉀	銅	鋅	(%)
一般堆肥	60%	0.6	0.3	0.3	0.01	0.08	35%以下
蛋雞糞堆肥	40%	2.0	2.0	1.0	0.01	0.08	35%以下

肥料要覽(88 年版)

四、主要堆肥之特性

台灣地區堆肥之產銷以禽畜糞堆肥為主，根據翁震炘等人（1999）報告台灣地區以禽畜糞實際可取得固形物量總量及農產廢棄物估算，每年約有 5,624,977 公噸，若以 35% 製成堆肥 1,968,741 公噸。台灣地區有政府輔導之堆肥場、堆肥中心 43 處，及民營有機質肥料工廠 23 家，所產製堆肥之品牌相當繁多。根據前農林廳頒佈符合「使用有機質肥料之補助要點」。之肥料業者及廠牌名單分為有 61 家，93 個品牌。這些品牌所標示之氮素保證成分之分佈頻度如表六。

表六、有機質肥料推廣補助品牌氮素保證成分分佈

4－3%	3.0 - 2.0 %	2.0 以下
8	22	63

N = 93 品牌，農林廳 (1999) 資料

（一）禽畜糞堆肥

禽畜糞堆肥品質基準之設定一般要比化學肥料困難，因為本項堆肥之製造受家禽及家畜種類、年齡之不同，所混合之副資材之種類及量的不同，堆肥化方式之不同，使得所產製出來之堆肥成分有所差異。然而從肥料管理之立場而言，制定堆肥品質之基準仍有其重要性，因為這樣才能期望堆肥製造品質之提高，農民施用堆肥時才能就成分含有率擬定必要之策略。一般而言，成分含有率不明的話會造成施肥設計上之困難。由於雞糞堆肥、豬糞堆肥與牛糞堆肥彼此間有其成分含量上之差異，故在施用上有不同之考量。

1. 雞糞堆肥

雞糞為糞尿同體，所製成之堆肥，一般而言要比豬糞堆肥或牛糞堆肥有較高之氮、磷、鉀肥料成分。蛋雞之飼料為因應蛋殼硬度所需，含有較高量之鈣，故蛋雞糞堆肥之鈣含量較高，此外蛋雞之飼料營養成分較高，所以蛋雞糞堆肥要比肉雞堆肥有較高之氮、磷及鉀成分。蛋雞糞堆肥屬養分型之有機質肥料。台灣地區肉雞飼養一般使用穀殼當墊料，穀殼中含高量之矽，可減輕磷素之被土壤固定。

2. 豬糞堆肥

豬糞中的磷素含量與雞糞相當，而其他肥料成分如氮、鉀含有率則較雞糞為低，但卻較牛糞為高。

豬糞堆肥為台灣地區禽畜糞堆肥之大宗，一般以機械攪拌進行堆肥化之方式為多。本項堆肥製造之副資材添加以穀殼、蔗渣或廢棄菇類堆肥為主。副資材之添加具有稀釋效果會使得肥料成分降低，但有機物含量提高，而始得土壤改良之效果提高，特別是難分解之有機物添加，如菇類廢棄堆肥之添加，有利堆肥中木質素、纖維素含量之提升。

3. 牛糞堆肥

牛糞的特點是纖維素含量高，但肥料成分的含有率均比雞糞或豬糞低，以粗草為飼料主體的話，纖維素及鉀素的含量較高，而氮、磷、鈣含量較低。

牛糞堆肥一般而言含有較不易分解之有機物，故是為改良土壤良好資材。此外牛糞堆肥之氮素肥效率低，在土壤中氮素慢慢釋放，有利地力之維持，反而不若速效性氮肥較易被雨水淋洗。由於台灣地區養牛事業並不發達，產製牛糞堆肥之廠家也不多。

（二）蔗渣堆肥

由於台糖公司之終止蔗渣製造紙漿之利用，故利用蔗渣製成之堆肥成為本省堆肥產製之大量產品。台糖公司虎尾廠使用豬糞尿而新營廠則使用酒精廢醪，分別以自動噴洒系統，噴灑於蔗渣，經堆肥化製成堆肥。蔗渣富含纖維素、木質素及

五碳醣，但 N 、 P 及 K 含量低，銅鋅含量亦極低。蔗渣堆肥化後 C/N 比為 21 ,有機質含量 58 % ， N 、 P_2O_5 及 K_2O 分別為 1.22 % 、 0.25 % 及 0.49 % (黃啟民 ， 1999) 。有關蔗渣堆肥之特性可參考本專刊之蔗渣之資源化利用專文。

（三）樹皮堆肥

樹皮堆肥屬於碳氮比高、高陽離子交換容量之有機質肥料，屬長效期之有機質肥料，適用改良土壤之物理性質使用，惟其 N 、 P 及 K 養分含量較低，本省業者為改善此一缺點亦有添加適量之雞糞製成堆肥出售。樹皮堆肥之保證成分為 1. 全碳量 40 ~ 50 % ，碳氮比 20 ~ 40 ； 2. 陽離子交換容量 60 毫當量/100 公克； 3. 全氮、全磷酐及全氧化鉀以實際含量登記； 4. 電導度 (EC) 4.0 毫姆歐/公分以下； 5. 水分 40 % 以下。

（四）垃圾堆肥

垃圾堆肥一般養分含量低、夾雜物多，且重金屬含量亦多，品質頗為複雜。垃圾堆肥之保證成分為 1. 有機質 40 % ； 2. 全氮 0.8 % ；全磷酐 0.6 % ；全氧化鉀 0.6 % ； 3. 重金屬含量上限為 Hg 2 ppm 、 Cd 5 ppm 、 Ni 25 ppm 、 As 50 ppm 、 Pb 150 ppm 、 Cu 150 ppm 、 Cr 150 ppm 、 Zn 500 ppm。

（五）其他堆肥

廚餘堆肥因原料來源而有不同之品質，但主為

供自家使用，很難商品化。蚯蚓堆肥主為分解廚餘之產物。茶渣堆肥一般混入豬糞或其他材料製造而成，氮素含量可達 2.0 % 以上。

五、堆肥新產品

不同特性之堆肥有不同之用途，禽畜糞堆肥之多方位利用國外有開發堆肥抽出液或稱為堆肥茶 (compost tea)，甚至加入微生物製劑，以促進作物生長，且供抑制一些作物之病害；添加殺蟲劑製成植保堆肥 (plant protection compost) 供盆栽花卉使用；製成微粉化堆肥 (micronized compost) 透過灌溉系統使用；園藝上之用途如製備容器栽培介質，水耕栽培之養分源等。

六、結語

對堆肥製造者而言，要充分瞭解堆肥之特性，宜進行使用材料特性之分析，堆肥化過程亦加以追蹤，完成之堆肥亦需進行實驗室分析包括礦化率之測定。良好之堆肥品質是安全、使用方便、價格合理、符合政府有關產製之規定。

誌謝

本文之完成承蒙中興大學土壤與環境科學系黃裕銘教授提供參考資料以供撰寫，謹表謝意。