

# 農村廢棄物堆肥化利用

撰文/蔡宜峰·陳俊位

## 摘要

本文將介紹近年來臺中區農業改良場利用具分解有機質能力的有益微生物，於農村廢棄物堆肥化過程之相關應用技術研發成果，包括落葉-果菜渣堆肥製作技術與簡易袋式堆積法製作禽畜糞堆肥之應用等範例，以供日後研究與應用之參考。目前本場已篩選、純化及鑑定獲得具有分解有機質能力的有益微生物計 15 株分離菌株，包括枯草桿菌 (*Bacillus* sp.)、木黴菌 (*Trichoderma* sp.) 及放線菌 (*Streptomyces* sp.) 等。經利用上述有益微生物菌株於落葉-果菜渣堆肥製作，以及應用於袋式堆積法製作稻殼雞糞堆肥，均具有快速增進堆肥化高溫 (> 60°C)，縮短堆肥化時程、降低臭味之效益，且堆肥產品品質優良穩定。相關技術將經由技術移轉授權方式，透過商品化量產而推廣給廣大的堆肥業者或農友應用參考。

## 前言

農業副產物均兼具污染性及資源性，如妥為處理，將能轉化為農業生產系統中的養分源（氮、磷、鉀）及能源（碳）(Chae & Tabatabai, 1986; Tsai, 2001)，例如能將其資源化製作為有機肥料循環利用，不僅有助於改善土壤生態，也有助於建立永續農業經營模式 (Hendrix *et al.*, 1992)。然而施用未腐熟的有機物，容易造成土壤過度還原性及釋出毒性物質等問題 (嚴, 1989; Jokela, 1992)。因此，此類

有機廢棄物需經過適當的堆肥化處理，以除去不良有機成分及毒性物質等限制作物生長的因子 (Harada *et al.*, 1991; Inoko, 1982)。堆肥製作主要是把有機廢棄物予以適當堆積醱酵，在控制條件下，利用微生物作用，將有機材料分解醱酵，轉變為有機質肥料 (De Bertoldi, 1985)。堆肥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質肥料。在堆肥化過程中，有機物基質中所含碳水化合物會迅速被微生物作用而分解，同時微生物之增殖必須吸收氮、磷等營養成分以合成微生物體質 (biomass) (Singh & Singh, 1986)，所以堆肥化前有有機物基質中應含有適量的營養要素成份，並需將堆肥化前有有機物基質中各種成分調整至較適宜比例範圍內，以利於微生物進行堆肥化作用。

微生物在堆肥化過程中，擔任有機物分解與堆肥穩定化之重要角色，不同的有機材料如能接種適當的微生物菌種，可以加速堆肥分解醱酵 (Golueke, 1994)。為達到最有效率的堆肥化作用，針對不同有機物材料特性，施予適當的微生物菌種，將是堆肥製作過程之重要步驟之一。並在堆積過程中，維持微生物最適宜生長條件，使微生物充分的活動與繁殖，亦能加強堆肥材料的分解醱酵。因此，有關於利用微生物菌種的關鍵機制，應包括有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等 (蔡 & 陳, 2014)。

本文將介紹近年來推展農村廢棄物堆肥化之研發工作成果，包括篩選出具有分解有機質能力的有益微生物菌種，以及利用有益微生物於製作落葉-果菜渣堆肥與簡易袋式堆積法製作禽畜糞堆肥之應用範例，以期建立相關農村廢棄物堆肥化應用技術，供日後研究與應用之參考。

## 農村廢棄物堆肥化案例

### (一) 有益微生物開發

近年來臺中區農業改良場持續由臺灣中部地區有機農場土壤、作物根系及各種自製堆肥中採樣品，以洋菜平板法進行微生物分離，篩選具有明確分解有機質功能之有益微生物菌株，目前經純化及完成鑑定計 15 株分離菌株(陳 *et al.*, 2012)。本項工作主要針對臺灣農村地區大宗有機廢棄物之落葉、果菜渣、禽畜糞、稻殼、蔗渣及木屑(菇類太空包廢木屑)等資材，選出具有快速分解能力之木黴菌(*Trichoderma sp.*)、枯草桿菌(*Bacillus sp.*)及放線菌(*Streptomyces sp.*)等菌株。此些具纖維分解能力強之菌株，添加入混合好之堆肥材料內，在堆肥堆積製作初期，可分解堆肥成分中多醣類的纖維質，將多醣類成分的纖維質裂解成雙醣及單醣類的碳水化合物，可供堆肥製作過程之中、高溫分解菌如放射線菌群及桿菌屬細菌養份的利用來源，除可提高產品堆肥化過程中的核心溫度外，並可加快堆肥組成分的礦化速率，使整個堆肥製程時間縮短，成分穩定且可增加堆肥養分含量。

此外，為了使具纖維分解能力強之微生物菌株能適應不同資材，而能快速分解堆肥粗資材，本場已開發相關菌種如木黴菌大量繁殖技術，包括固態及液態簡易繁殖培養技術，不僅操作簡便且成本低廉，頗適用於規模化生產堆肥(陳 *et al.*, 2012)。近來本場開發多項複合有益菌種配方，添加到不同材料之堆肥製作過程中，可以有效誘發中溫、高溫與後腐熟三個階段的微生物，達到促進堆肥分解醱酵速率，減少堆肥味道惡臭，縮短堆肥製程所費時

間，並可以有效率地製成品質優良的有機質肥料。

### (二) 落葉-果菜渣堆肥製作範例

堆肥化過程中，主要是利用微生物將有機材料加以分解醱酵，當微生物進行分解作用時，需要碳素當作生活能源，同時也需氮素維持生命及建造體細胞(Golueke, 1994)。本範例主要碳源材料為一般農村周邊常見各式樹種(以闊葉樹為主)的落葉及果菜渣混合廢棄物，其中落葉-果菜渣廢棄物事先利用小型破碎機械加以破碎成約 2-5 公分，用量約 1,000 公斤，另採用菜籽粕做為堆肥材料中氮源的調整材料，用量約 80 公斤。堆肥製作範例 A 及 B 處理均使用上述材料並混合均勻，B 處理取用適量木黴菌分離菌株 TCFO9409(*Trichoderma sp.*)及枯草桿菌分離菌株 TCB9401(*Bacillus sp.*)，菌數約  $1 \times 10^9$  spores/ml，先加水稀釋 200 倍成菌懸液，將菌稀釋液與堆肥材料體積比 1:10 予以充分混合，A 處理僅添加清水，最後將 A 及 B 處理堆肥材料水分含量調整至 60%，堆積高度維持約 1.5-2.0 公尺，爾後立即進行堆積製作，每隔 5-7 日利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到堆肥腐熟為止(圖一)。

堆肥化過程中溫度的變化是反應堆積材料中某一層次之微生物活動情形，當堆肥化過程進行正常時，初期溫度逐漸升高達  $60^\circ\text{C}$  以上，然後逐漸下降至周圍溫度。溫度之升與降，反映出不同有機物之分解階段，爾後隨堆肥逐漸腐熟，溫度呈下降乃至恆溫(Haga, 1990)。由落葉-果菜渣堆肥製作試驗過程中堆肥溫度調查結果顯示(表一)，有接種分離菌株 TCFO9409 及 TCB9401 等複合菌株之 B 處理的堆肥溫度可以在短期內(7-11 日)達到  $60^\circ\text{C}$  以上高溫，且在堆積第 7-30 日間可維持在  $60^\circ\text{C}$  以上；未接種之 A 處理的堆肥溫度在堆肥化過程中均未能達到  $60^\circ\text{C}$  以上。A 及 B 處理的堆肥溫度均在堆積第 60 日約降至  $40^\circ\text{C}$  左右，顯然已趨近於穩定階段。

一般而言，在堆肥化初期，堆肥材料中有機組成分會被微生物分解，其中碳含量會呈現下降情形，氮、磷、鉀含量則因濃縮效應而呈現增加趨



圖一 落葉-果菜渣堆肥製作情形

表一 落葉-果菜渣堆肥製作期間之堆肥體溫度(°C)變化

處理/ 堆肥日數	1	6	11	20	30	40	50	60
A(未接菌)	38.3	44.8	49.2	52.4	55.6	53.6	48.1	43.7
B(有接菌)*	43.1	59.2	65.0	63.7	59.8	55.1	47.6	40.4

\*接種分離菌株TCFO9409(木黴菌*Trichoderma* sp.)及分離菌株TCB9401(枯草桿菌*Bacillus* sp.)。

勢，當堆肥逐漸腐熟時，各組成分含量應呈現穩定狀態 (Harada, 1990; Inoko, 1982)。由製作堆積第 60 日落葉 - 果菜渣堆肥之主要化學特性分析結果顯示 (表二)，pH 值、氮、磷及鉀含量在不同處理間無顯著差異；B 處理的碳氮比約 15.9，較低於 A 處理的 18.4，由於 A 及 B 堆肥碳氮比均低於 20 以下之腐熟標準，顯然在堆積第 60 日，各處理堆肥材料

的主要化學特性已經達到穩定階段。B 處理的木黴菌及枯草桿菌之有效菌數分別約  $9.7 \times 10^6$  CFU/g 及  $6.8 \times 10^7$  CFU/g，均顯著高於 A 處理。綜合上述結果顯示，接種分離菌株 TCFO9409 及 TCB9401 複合菌株處理對落葉 - 果菜渣堆肥之分解發酵應有相當之助益。

表二 腐熟落葉-果菜渣堆肥之主要化學特性與微生物分析

處理/ 堆肥日數	pH(1:10)	氮(g/kg)	磷(g/kg)	鉀(g/kg)	碳氮比C/N	<i>Trichoderma</i> (CFU/g)	<i>Bacillus</i> (CFU/g)
A(未接菌)	6.67	17.5	8.17	14.7	18.4	$2.3 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$
B(有接菌)*	6.78	19.3	8.06	15.3	15.9	$9.7 \times 10^6$	$6.8 \times 10^7$

\*接種分離菌株TCFO9409 (木黴菌*Trichoderma* sp.) 及分離菌株TCB9401 (枯草桿菌*Bacillus* sp.)。

### （三）簡易袋式堆積法製作禽畜糞堆肥之範例

本範例堆肥材料使用一般養雞（肉雞）場產出已裝袋（編織袋）之稻殼雞糞（約 30-35 kg/包），其中稻殼與雞糞混合比例約 1:1（體積比）。有益微生物採用木黴菌分離菌株 TCT111(*Trichoderma* sp.) 及芽孢桿菌分離菌株 TCB10007(*Bacillus* sp.)，由臺中區農業改良場微生物實驗室篩選及純化獲得。先取適量有益微生物菌種 ( $10^9$  CFU/g)，加水稀釋 200 倍成有益菌懸液備用。

首先利用動力噴注槍於每包稻殼雞糞中加入 10 公升有益菌懸液（圖二），再加清水調整每包材料水分含量至 50%。因每批次稻殼雞糞含水量略有差異，建議打開 2-3 包觀察及測試，一般有機材料含水量 50% 時，自然堆積情況下不會產出滲出水，此時以手緊握有機材料，則將產出 2-5 滴滲出水。隨後將袋裝稻殼雞糞以交叉堆疊方式層層堆積，以本範例堆積成 6 包 × 6 層 = 36 包稻殼雞糞（約 1,150 kg），堆積體約長 265 cm × 寬 95 cm × 高 150 cm（蔡、陳，2015）。為防雨水滲入，可在最上層覆蓋塑膠布。另在秋冬季低溫期 ( $<20^{\circ}\text{C}$ )，可利用具透氣功能之不織布或遮蔭網予以包覆堆積體（圖三）。

由本範例堆積製作期間之堆肥溫度變化調查結果顯示，有接種分離菌株 TCT111 及 TCB10007 等



圖二 袋式堆積法於每袋稻殼雞糞材料中噴注有益菌懸液情形



最上層覆蓋塑膠布可防雨，外罩可透氣不織布可防低溫。

圖三 利用袋式堆積法製作稻殼雞糞堆肥情形

處理的稻殼雞糞最高溫度可以在堆積第 2 日達到  $60^{\circ}\text{C}$ ，且在堆積第 2-12 日期間，堆肥溫度均可維持  $60^{\circ}\text{C}$  以上，在堆積第 21 日堆肥溫度可以降低至  $50^{\circ}\text{C}$  以下。未接菌處理的稻殼雞糞最高溫度則在堆積第 5 日達到  $60^{\circ}\text{C}$ ，在堆積第 5-10 日期間堆肥溫度維持在  $60^{\circ}\text{C}$  以上。顯示接種分離菌株 TCT111 及 TCB10007 等複合菌株處理對稻殼雞糞堆肥堆積初期具有快速增溫，且在堆積期間維持較高溫而產生促進稻殼雞糞分解醱酵的效益。

由本範例成品肥料成分含量及品質分析顯示，經堆積 30 日稻殼雞糞堆肥 pH 值 7.30、EC 值 4.20 dS/m、有機質 632g/kg、氮 24.7g/kg、磷 13.8g/kg、鉀 19.2g/kg、鈣 26.2g/kg、鎂 4.18g/kg、銅 55.9mg/kg 及鋅 304mg/kg，已符合肥料管理法之禽畜糞堆肥規定標準。比較堆積前（第 0 日）及第 30 日稻殼雞糞堆肥之主要化學特性變化，其中 EC 值、有機質及氮含量呈現減少，pH 值、磷、鉀、鈣、鎂、銅及鋅等含量呈現增加。本範例稻殼雞糞堆積前材料 C/N 約 16.8，經堆積 30 日後，有接種分離菌株 TCT111 及 TCB10007 等處理的堆肥材料 C/N 為 14.5-15.1，未接菌處理的堆肥材料 C/N 為 15.8-16.0，顯示有接菌處理能使稻殼雞糞堆肥 C/N 可以較快降低而趨近於腐熟階段。

由本範例堆積 30 日稻殼雞糞堆肥利用蔬菜種子發芽率檢測結果顯示(圖四)，有接菌處理約 93.3% 以上，未接菌處理約 81.7-86.7%，顯示有接菌分離菌株 TCT111 及 TCB10007 等處理的小白菜幼苗存活率較高，亦即代表有接菌處理稻殼雞糞堆肥較穩定腐熟。因此，利用有益微生物及袋式堆積法製作稻殼雞糞堆肥，不僅成本低廉、操作方法簡易



圖四 袋式堆積法製作稻殼雞糞堆肥利用萵苣及小白菜種子發芽率分析均在80%以上

且快速，可推廣農友自行在農田周邊製作禽畜糞堆肥，但考慮未翻堆而將導致產品品質均勻性較低，不建議應用於商業化堆肥產品生產。

### 結語

一般農村地區通常有許多落葉、果菜渣及禽畜糞等有機廢棄物，如果未能妥適再生利用處理，則將可能形成環境品質不良的亂源之一。由本文介紹之落葉-果菜渣堆肥及稻殼雞糞堆肥等製作範例顯示，如能適當利用有益微生物及簡易堆肥方法，即可促進堆肥分解速率，減少惡臭產生，縮短堆肥製程所費時間，並可以有效率地製造成品質優良的有機質肥料。當長期於農田土壤施用有機質肥料，除可增加土壤肥力外，並可改善土壤孔隙及團粒結構等理化特性，且能增進田間栽培農作物之品質與產量。因此，適當地宣導及鼓勵農友再生利用農村廢棄物，製成品質優良的有機質肥料，而回饋施用於農田土壤，將可達到創造保護環境、資源再生、維護農田地力與產出高品質農產品等多重功效。

AgBIO

蔡宜峰 行政院農業委員會 臺中區農業改良場 埔里分場 研究員兼分場長  
陳俊位 行政院農業委員會 臺中區農業改良場 副研究員

### 參考文獻

1. 陳俊位、蔡宜峰、鄧雅靜、曾德賜 (2012) 農業有益微生物研發與應用。國際有機農業產業發展研討會專刊, p.165-196, 臺中區農業改良場特刊113號。
2. 蔡宜峰、陳俊位 (2015) 利用有益微生物及袋式堆積法製作稻殼雞糞堆肥之研究。臺中區農業改良場研究彙報, 128: 29- 37。
3. 蔡宜峰、陳俊位 (2014) 農業副產物資源化之有益微生物研發與應用。農業生物資材產業發展研討會專刊, p.141-149, 臺中區農業改良場特刊121號。
4. 嚴式清 (1989) 畜牧廢棄物在有機農業之利用。有機農業研討會專集, p.245-249, 臺中區農業改良場特刊16號。
5. Chae, Y. M. and Tabatabai, M. A. (1986) *Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes*. J. Environ. Qual. 15:193-198.
6. De Bertoldi, M., Vallint, G., Pera, A. and Zucchini, F. (1985) *Technological aspects of composting including modding and microbiology*. p.27-41. In J. K. R. Gasser. (ed.). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers. London and New York.
7. Golueke, C. G. (1994) *Principles of composting- Designing a well-operated facility*. p.12-15. In: *Biocycle Journal of Composting & Recycling* (eds.). Composting source separated organic. The JG Press. Inc. USA.
8. Haga, K. (1990) *Production of compost from organic wastes*. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 311:1-18.

## 參考文獻

9. Harada, Y., Haga, K., Osada, T. and Koshino, M. (1991) *Quality aspects of animal waste composts*. p.54-76. Proceedings of symposium on pig waste treatment and composting II. Taiwan Livestock Research Institute.
10. Harada, Y. (1990) *Composting and application of animal wastes*. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No.311:19-31.
11. Hendrix, P. F., Coleman, D. C. and Crossley, D. A., Jr. (1992) *Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture*. Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy 2:63-82.
12. Inoko, A. (1982) *The composting of organic materials and associated maturity problems*. ASPAC/FFTC Technical Bulletin No.71:1-20.
13. Jokela, W. E. (1992) *Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate*. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:148-154.
14. Singh, Y. P. and Singh, C. P. (1986) *Effect of different carbonaceous compound on the transformation of soil nutrients*. I. Immobilization and mineralization of applied nitrogen. Biol. Agric. Horti. 4:19-26.
15. Tsai, Y. F., Juang, T. C. and Huang, Y. M. (2001) *The evaluation of potential availability of nitrogen of compost by ammonium carbonate extractor applied in corn cultivation*. Soil and Environ. 4(2): 125-134.