

農業副產物資源化之有益微生物開發與應用

蔡宜峰^{1*}、陳俊位²

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場 埔里分場

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場

*通訊作者。E-mail: tsaiyf@tdais.gov.tw

摘 要

本研究目的為開發有益微生物應用於製作堆(液)肥及有機介質等相關技術，以供日後研究與應用之參考。目前本研究已完成主要成果包括：1. 篩選獲得木黴菌 (*Trichoderma* spp.)、枯草桿菌 (*Bacillus* spp.) 及放線菌 (*Streptomyces* spp.) 等有益微生物計 15 株分離菌株，2. 成功研發將上述有益微生物菌種應用於製作禽畜糞堆肥、果菜渣堆肥、落葉堆肥、有機液肥及有機介質等多項產品。當利用上述有益微生物於堆(液)肥及有機介質製作過程中，可誘發大量有益微生物，具有加速腐熟、降低臭味、增進產品品質優良穩定，且施用於農田後，具有增進作物生長與產能之效益。至今本技術相關研究成果已獲得中華民國發明專利案計 12 項，並經農委會同意辦理完成技術移轉授權案計 34 件，相關產品已有多項正式商品化。

關鍵詞：有益微生物、堆肥、有機液肥、有機介質。

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(沈 et al. 1991; Jokela 1992)，因此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，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; Haga 1990)。有機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、磷等營養成份以合成微生物體質 (biomass) (Singh & Singh 1986)，所以堆肥化前有機物基質中應含有適量的營養要素成份，並需將堆肥化前有機物基質中各種成份調整至較適宜比例範圍內，以利於微生物進行堆肥化作用 (蔡 et al. 1997)。

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，可以加速堆肥醱酵 (Golueke 1994)。因此，為達到最有效率的堆肥化作用，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醱酵與分解。為了增進堆肥材料醱酵分解效率，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。其中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 2012)。本研究目的為篩選出具有分解有機質能力的有益微生物菌種，並研發適當接種方法及相關控制條件等，以期建立新型生物性堆（液）肥及有機介質等製作與相關應用技術，供日後研究與應用之參考。

有益微生物開發及應用案例

臺中區農業改良場自 90 年起持續辦理農業副產物資源化有益微生物之開發與應用技術研究工作，其中有益微生物菌種分離與篩選工作係最基礎的研究項目，而新篩選獲得的有益微生物分離菌株之菌種鑑定、主要功能效與應用技術等研發工作則為日後商品化之必要開發項目。

一、有益微生物之開發

本場針對本土有益微生物菌種篩選與純化，多數樣品採自於有機農場土壤、有機作物根系及各種自製堆肥。由各地採取的樣品先送至本場微生物實驗室進行分離篩選及純化，經初步試驗證實具有分解有機質功能之有益微生物分離菌株，再檢送至食品科學發展研究所進行菌種鑑定，目前已完成菌種鑑定工作合計 15 株 (表一)。其中屬於木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 分離菌株計 7 株，包括 TCT103、TCT111、TCT301、TCFO9409、TCFO9768、TCT10166 及 TCTr668。枯草桿菌 (*Bacillus* spp.) 分離菌株計 5 株，包括 TCB428、TCB9401、TCB9407、TCB9722

及 TCB10007。放線菌 (*Streptomyces* spp.) 分離菌株計 3 株，包括 TCST9706、TCST9801 及 TCST168。

表一、臺中區農業改良場篩選獲得之有益微生物分離菌株

Table 1. The isolates of beneficial microorganisms selected by Taichung DARES

Microorganism	Isolate
<i>Trichoderma</i> spp.	TCT103, TCT111, TCT301, TCFO9409, TCFO9768, TCT10166, TCTr668
<i>Bacillus</i> spp.	TCB428, TCB9401, TCB9407, TCB9722, TCB10007
<i>Streptomyces</i> spp.	TCST9706, TCST9801, TCST168

二、有益微生物之應用成果

(一) 應用於製作果菜渣堆肥

以接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCT10166 及枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) TCB10007 製作果菜渣堆肥為例，堆肥材料以經過破碎的果菜渣 1,200 kg 及菇類栽培後舊木屑 800 kg 為主，試驗處理包括 (A) 無接種；(B) 接種木黴菌分離菌株 (TCT10166)；(C) 接種木黴菌分離菌株 (TCT10166) 及枯草桿菌分離菌株 (TCB10007) 等 3 種。由試驗結果顯示 (表二)，有接種微生物處理的果菜渣堆肥溫度在堆積第 10 日內達到 60°C 以上高溫，堆積第 50 日內可降低至 50°C 以下，此時堆肥材料 C/N 約為 17.5 - 18.2；無接種微生物處理果菜渣堆肥溫度則須在堆積第 10 - 20 日才能達到 60°C 以上，且在堆積第 50 - 60 日期間，堆肥溫度才能夠降低至 50°C 以下。

本試驗用果菜渣碳氮比約為 13.4、水分含量約 78.2%、用量 1,200 kg，菇類栽培後舊木屑碳氮比約為 38.5、水分含量約 35.6%、用量 800 kg，估算堆肥製作試驗前堆肥材料 C/N 約為 31.5。由表三顯示堆積第 60 日果菜渣堆肥之 pH 值、EC 值、有機碳、氮、磷、鉀、鈣及鎂等含量在不同處理間差異不顯著，各處理堆肥材料 C/N 約為 16.5 - 19.6。其中有接種有益微生物之 FVW+MS+Ma 及 FVW+MS+Mab 處理之有機碳含量略低於未接菌 FVW+MS 處理，且前兩處理之氮、磷、鉀、鈣及鎂等含量則略高於後者處理，顯然接種適當的微生物處理，可以加速堆肥材料中有機碳分解，而使堆肥中氮、磷、鉀、鈣及鎂等含量因濃縮效應而呈現略微增加。經利用堆肥水萃取液 (堆肥與水體積

比1：10) 進行分析，各處理之青江菜種子發芽率約為 81.3~88.1%，顯然上述處理之果菜渣堆肥已達到穩定腐熟的階段。

表二、果菜渣堆肥製作期間之堆肥體溫度 (°C) 變化

Table 2. The change of temperature of fruit-vegetable waste composts during composting

Treatment ¹	Day 1-10	Day 11-20	Day 21-30	Day 31-40	Day 41-50	Day 51-60
FVW+MS	52.0a ² (45~56)	59.6a (57~61)	62.1a (61~63)	59.4a (58~62)	56.2a (54~58)	49.1a (47~54)
FVW+MS+Ma	57.8a (47~64)	66.0a (65~68)	63.8a (59~67)	56.0a (54~58)	52.3a (47~54)	44.4a (42~47)
FVW+MS+Mab	59.4a (48~66)	68.5a (66~71)	65.2a (62~70)	57.1a (53~61)	51.6a (46~52)	43.2a (41~46)

¹FVW+MS : fruit-vegetable waste and muchroom waste.

FVW+MS+Ma : fruit-vegetable waste, muchroom waste and *Trichoderma* sp. (TCT10166).

FVW+MS+Mab : fruit-vegetable waste, muchroom waste, *Trichoderma* sp. (TCT10166) and *Bacillus* sp.(TCB10007).

². Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

表三、堆積第 60 日果菜渣堆肥之主要化學特性分析

Table 3. The main chemical characteristics of fruit-vegetable waste composts at day 60 after composted

Treatment ¹	pH (1:10)	EC (1:10)	OC	N	P	K	Ca	Mg
		(dS/m)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
FVW+MS	6.93a ²	2.66a	301a	14.6a	3.50a	10.1a	13.0a	2.51a
FVW+MS+Ma	7.02a	2.38a	293a	16.8a	4.22a	11.6a	14.5a	3.03a
FVW+MS+Mab	7.11a	2.32a	289a	17.5a	4.30a	12.3a	14.7a	2.86a

¹FVW+MS : fruit-vegetable waste and muchroom waste.

FVW+MS+Ma : fruit-vegetable waste, muchroom waste and *Trichoderma* sp. (TCT10166).

FVW+MS+Mab : fruit-vegetable waste, muchroom waste, *Trichoderma* sp. (TCT10166) and *Bacillus* sp.(TCB10007).

². Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

(二) 應用於製作有機液肥

以接種放線菌 (*Streptomyces* sp.) TCST9801 製作生物性有機液肥為例，取

50 kg 塑膠桶置入豆粕類 2 - 3 kg；米糠 0.5 - 1 kg；糖蜜 2 - 3 kg 等有機材料，再置入含有效菌數約 1×10^9 cfu/ml 以上之放線菌 (TCST9801) 菌液 0.1 - 0.2 l，爾後加清水於塑膠桶至 20~30 l，並盡量攪拌均勻，其後每日攪拌 1 - 2 次，約 3 - 4 週後可完成供使用。如施用攪拌或打氣器具以增加醱酵液溶氧量，可以加速分解。本項生物性有機液肥以供應速效性養分為主，其中氮含量約 1.02%、磷含量約 0.27%、鉀含量約 0.79%、鈣含量約 1.15%、鎂含量約 0.84%，成品中有益微生物菌種之分離率約為 1×10^6 至 1×10^7 cfu/ml，可於作物生育期間作追肥施用。施用方式以土壤灌注為主，葉面噴灑為輔，由於含有豐富的有益微生物菌種，兼具增進作物生長與土壤改良功能。完熟之生物性有機液肥加水稀釋約 300 倍，可供作物苗期使用；加水稀釋約 100 - 200 倍，可供作物生育中期使用；加水稀釋約 100 倍，可供作物生育後期使用。

(三) 應用於製作杏鮑菇栽培木屑介質

以接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCFO9409 製作杏鮑菇栽培木屑介質為例 (蔡 & 陳 2012)，堆積材料之各成分乾物重量比例依序為新鮮木屑 75% + 杏鮑菇栽培後廢舊木屑 25% + 接種木黴菌；新鮮木屑 100% + 接種木黴菌；新鮮木屑 100% (CK)。接菌處理區將堆積材料混合均勻後再取用適量木黴菌 TCFO9409，有效菌數約 1×10^9 spore/ml，先加水稀釋 200 倍成菌懸液，將菌稀釋液混入堆積材料中，最後將堆積材料水分含量調整至 60%，堆積高度維持約 2.0 - 3.0m，爾後立即進行堆積製作，堆積發酵期間約 5 - 7 日利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到約 75 日為止。表四為堆積過程中溫度之變化效應，在開始堆積至第 0 - 45 日期間，各處理間以接種木黴菌 (TCFO9409) 且加入舊木屑處理之溫度較高、其次為接種木黴菌 (TCFO9409) 處理，以新鮮木屑 100% 且不接菌對照 (CK) 處理之溫度相對較低。其中接種木黴菌 (TCFO9409) 且加入舊木屑處理之溫度在堆積第 46 - 60 日均溫已降低至 45°C 以下，顯然木黴菌 (TCFO9409) 與添加舊木屑等處理均有快速增溫與加速分解功效。表五顯示在堆積第 75 日之木屑材料的氮、磷、鉀、鈣及鎂等含量在不同處理間差異不顯著，木屑材料的磷及鎂等含量在不同處理間則略有差異，亦以 FS+GMW 處理與 FS+GMW+M 處理木屑材料的磷及鎂等含量較高於 FS (對照) 處理及 FS+M 處理。顯然添加廢棄木屑基質 25% 處理會增加木屑材料的養分含量，尤其對增加木屑材料的氮、磷及鎂等含量更明顯。

表四、杏鮑菇栽培木屑介質製作過程中溫度 (°C) 變化之影響

Table 4. The change of temperature in processing sawdust growth substrate for *Pleurotus eryngii*

Treatment ¹	Day 0~15	Day 16~30	Day 31~45	Day 46~60	Day 61~75
M + GSW	67.8a ²	73.3a	63.0a	46.6a	42.2a
M	55.5ab	60.9a	62.6a	51.8a	45.9a
CK	53.0b	58.9a	60.7a	52.2a	46.9a

¹M: *Trichoderma* sp. (TCFO9409), GSW: Growth substrate waste

² Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

表五、杏鮑菇栽培木屑介質堆積第 75 日養分含量之影響

Table 5. The main chemical characteristics of sawdust growth medium for *Pleurotus eryngii* in each treatment during matured process

Treatment ¹	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C/N
M + GSW	0.56a	0.13a	0.35a	0.84a	0.19a	69.2a
M	0.46a	0.05a	0.34a	0.68a	0.15a	85.1a
CK	0.45a	0.05a	0.33a	0.68a	0.15a	87.6a

¹M: *Trichoderma* sp. (TCFO9409), GSW: Growth substrate waste

² Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

結 語

農業副產物包括禽畜排泄物、蔗渣、稻草及稻殼等大宗生物質量如果未能妥善利用，不僅浪費資源，也將造成環境污染之疑慮。反之，如能將農業副產物資源化，開發為有機肥料等回歸農田循環利用，不僅有助於改善土壤肥力特性，也有助於建立永續農業經營模式。有益微生物在機材料分解過程中扮演相當關鍵的角色，當微生物進行分解作用時，需要碳當作生活能源，同時也需氮維持生命及建造體細胞 (Golueke 1994)。當有機材料的碳氮比太高時，會因氮缺乏導致使微生物無法大量繁殖，堆肥化過程進行相當緩慢。如果有機材料的碳氮比太低，微生物分解釋出過多之氮，而易從堆肥中逸散，導致氮損失 (蔡 et al. 1997)。有研究指出，堆肥製作前有機材料的碳氮比約在 26 - 35 之間較適宜 (Haga 1990)。當堆肥經堆積分解過程進行時，有機材料中之碳氮比會逐漸降低至 20 以下，此時堆肥

也接近腐熟階段 (Harada et al.1991)。顯然，開發適宜的有益微生物菌種及其應用技術，將是發展農業副產物資源化之重要關鍵技術 (朱 2005; 徐 & 黃 2007; 張 et al. 2010; 簡 et al. 2001)。

臺中區農業改良場經過多年來的研究，已經成功分離及培養出多種具分解有機質功能之有益微生物菌種及其應用技術 (蔡 & 陳 2012)，至 2013 年底止，本技術相關研究成果已獲得中華民國發明專利案計 12 項，經農委會審議同意已陸續辦理完成技術移轉授權案計 34 件。目前本場已分別與多家國內生物科技或肥料廠商等法人團體合作辦理「新型生物性堆 (液) 肥研發」技術移轉授權，並已有多項生性堆 (液) 肥產品完成商品化上市。本項新型生性堆 (液) 肥產品可以兼具改善土壤微生物性與堆 (液) 肥之雙重功效，由多項田間栽培試驗結果顯示，使用新型生物性堆 (液) 肥應用在玫瑰、草莓、彩色海芋、葡萄、甜椒、番茄、小胡瓜、玉米及枇杷等多種作物栽培，不僅能夠增加土壤有機質含量及磷、鉀含量等土壤肥力，且能增進作物生長、產量及養分吸收等效益，將可提供農友栽培應用之參考。

參考文獻

- 朱能武 2005 堆肥微生物學研究現狀與發展前景 氨基酸與生物資源 27(4): 36-40。
- 沈韶儀、潘妙顏、王西華 1991 堆肥穩定度之測定方法 p.91-107. 豬糞處理、堆肥製造使用及管理研討會論文專輯 台灣省畜產試驗所編印。
- 徐大勇、黃為一 2007 人工接種堆肥和自然堆肥微生物區系變化的比較 安徽農業科學 35(23): 7219-7220。
- 張志紅、李華興、馮宏、趙蘭鳳、李敏清、胡偉 2010 堆肥作為微生物菌劑載體的研究 農業環境科學學報 29(7): 1382-1387。
- 楊盛行、陳盟靜 2000 高溫放線菌對堆肥化過程的影響 中華生質能源學會 19(3-4): 115-127。
- 蔡宜峯、陳俊位 2012 杏鮑菇栽培用木屑堆積製程中添加有益微生物及廢棄木屑基質之影響研究 臺中區農業改良場研究彙報 116: 47-56。
- 蔡宜峯、陳俊位 2012 農業廢棄物資源化微生物之研究 農業生技產業季刊 32: 52-59。
- 蔡宜峯、陳俊位、陳榮五 2009 落葉廢棄物製作堆肥技術之研究 臺中區農業改良場研究彙報 103: 53-62。

- 蔡宜峯、陳俊位、陳彥睿 2005 木黴菌在堆肥製作及應用於介質耕玫瑰之研究 p.119-128. 有機肥料之施用對土壤與作物品質之影響研討會論文集 國立台灣大學農業化學系編印。
- 蔡宜峯、莊作權、黃裕銘 1997 有機物堆肥化過程中添加尿素及過磷酸鈣對堆肥養分變化之效應 中國農業化學會誌 35: 652-660。
- 簡宜裕、朱戩良、鄭智馨、張明輝 2001 以微生物提昇堆肥品質之研究 p.185-188. 有機肥料與合理化施肥研討會 中華土壤肥料學會、國立中興大學土壤環境科學系編印。
- Chae, Y. M. and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. *J. Environ. Qual.* 15:193-198.
- De Bertoldi, M., G. Vallint, A. Pera and F. Zucchini. 1985. Technological aspects of composting including moddling and microbiology. p.27-41. In: Gasser, J. K. R. (ed.). *Composting of agricultural and other wastes.* Elsevier Applied Science Publishers. London & New York.
- Golueke, C. G. 1994. Principles of composting- Designing a well-operated facility. p.12-15. In: *Biocycle Journal of Composting & Recycling.* Composting source separated organic. The JG Press. Inc. USA.
- Haga, K. 1990. Production of compost from organic wastes. *ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 311:* 1-18.
- Harada, Y., K. Haga, T. Osada and M. Koshino. 1991. Quality aspects of animal waste composts. p.54-76. *Proceedings of symposium on pig waste treatment and composting II.* Taiwan Livestock Research Institute.
- Hendrix, P. F., D. C. Coleman and D. A. Crossley, Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. *Integr. Sus. Agric. Ecol. Environ. Policy* 2: 63-82.
- Inoko, A. 1982. The composting of organic materials and associated maturity problems. *ASPAC/FFTC Technical Bulletin No.71:*1-20.
- Jokela, W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 148-154.
- Singh, Y. P. and C. P. Singh. 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.
- Tsai Y. F., T. C. Juang and Y. M. Huang. 2001. The evaluation of potential availability of nitrogen of compost by ammonium carbonate extractor applied in corn cultivation. *Soil Environ.* 4(2): 125-134.

Development and Application of Beneficial Microorganisms on Utilizing Agriculture Residual Resources

Yi-Fong Tsai^{1*} and Chein-Wei Chen²

¹ Puli Branch, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, COA

² Taichung District Agricultural Research and Extension Station, COA

*Corresponding author. E-mail: tsaiyf@tdais.gov.tw

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop the production technologies of composts, liquid organic fertilizers and organic substrates by utilizing beneficial microorganisms. Our researches have received a number of achievements which including 1. the screening of 15 purified strains of beneficial microorganisms such as *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. and *Streptomyces* spp., 2. the use of these strains developed a number of bio-products such as livestock manure compost, fruit-vegetable waste compost, tree leaf waste compost, liquid organic fertilizers and organic substrates. Inoculated beneficial microorganisms during maturing stage of agricultural residuals can induce a large number of beneficial microorganisms and thus promote matured, reduce odors and improve the products quality and stability. However, many field results showed that there are significant effects of promoting crops growth and increasing crops yield on the application of those bio-products. Recently, some technologies from our researches have received 12 inventive patents (ROC). The Council of Agriculture (COA) has agreed to license 34 companies to use those technologies and exploit commercial products.

Key words: Beneficial microorganisms, Compost, Liquid organic fertilizer, Organic substrate.