

# 農業廢棄物資源化微生物之研究

撰文/ 蔡宜峰·陳俊位

## 摘要

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，並建立應用於製作堆(液)肥及有機介質之適當接種方法及相關控制條件等，以期研發出新型生物性堆(液)肥及介質及相關應用技術，以供日後研究與應用之參考。經由有機農場土壤、作物根系及多種自製堆肥樣品中，已篩選分離出枯草桿菌(*Bacillus* sp.)、木黴菌(*Trichoderma* sp.)及放線菌(*Streptomyces* sp.)等多株有益微生物菌種，並經研究鑑定具有分解有機質能力。目前已成功研發將上述有益微生物菌種應用於蔗渣木屑堆肥、稻殼堆肥、牛糞堆肥、蔬果栽培介質、杏鮑菇栽培介質、有機高效液肥等多項產品。當應用於堆(液)肥及有機介質製作時，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，且產品品質穩定優良。而且應用枯草桿菌、木黴菌或放線菌在製作堆(液)肥及有機介質，其產品中有效菌數可達約 $1 \times 10^6$ 至 $1 \times 10^8$  spore/g。本項新型生物性堆(液)肥及有機介質製作技術已獲得中華民國發明專利案計10項，經農委會審議同意已陸續辦理完成技術移轉授權案計27件，相關產品已有多項正式商品化。

## 前言

「農為邦本」、「民以食為天」此兩句古諺充分說明農業在人類歷史及文化發展上的重要性。農

業的生產過程，常常不知不覺中利用了自然，例如利用森林貯存的流水，以及充滿養分的有機質土壤。在農業生產中若加強自然資源之循環應用，則能兼具自然生態維護及農業產能提昇等多重效益(嚴, 1989)。中國祖先很早即懂得種植作物，除發展犁具以犁田並中耕除草等，並已懂得將動物排泄廢棄物、植物之殘體，甚至收集野外植生加入農田(綠肥)，以永保土壤肥力，使之不至因耕作而消耗(吳, 1990)，如此合乎自然永續的耕作制度自古即相傳下來。一般而言，農業廢棄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 and Tabatabai, 1986)，使農業廢棄物回歸于農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，也是現今消納如此大量有機廢棄物之重要方向之一。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(Harada, 1990; 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)。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 and Singh, 1986)，所以堆肥化前有機物基質中應含有豐富的營養要素成份，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。

所謂堆肥化作用即利用廣泛分佈於自然界之微生物，在控制的條件下，將廢棄物中不穩定的有機組成分加以分解，轉換為安定的腐植質成份，即腐熟的堆肥 (De Bertoldi *et al.*, 1985)。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。不同的堆積材料如能接種適當的微生物菌種，可以加速堆肥醱酵；另一方面，在堆積材料環境中，維持微生物最適宜之生長條件，使微生物充分的活動與繁殖，亦能加強堆肥材料的發酵與分解。因此，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。其中關於利用微生物菌種的關鍵機制，包括篩選出適當的有益微生物菌種、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，皆有助於使堆肥效果達到最佳化。

## 利用農業廢棄物資源化微生物案例

### (一) 資源化有益微生物開發

#### 1. 菌種分離與篩選

臺中區農業改良場自 90 年起持續辦理農業廢棄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係最基礎的研究工作。臺中場微生物實驗室由有機農場土壤、作物根系及各種自製堆肥採取樣品。枯草桿菌以營養抽出物水瓊脂 (Nutrient agar N.A.) 洋菜平板法進行微生物分離。首先由土壤及各種堆肥樣品分離者，稱取 1 克樣品置於 10 毫升無菌水中，經過 30 秒振盪後，取過濾液進行平板劃線分離；作物根系分離者採根段分離法，將根段洗淨後切取 0.5 公分小段後取 5 小段置於 10 毫升無菌水中震盪 30 秒，取懸浮液於 NA 平板畫線。以上每種類資材 5 個培養皿，各處理於 30°C 培養箱中不照光培養，挑取單一菌落移到營養抽出物 (Nutrient agar N.A.) 洋菜平板培養基上，培養三天後觀察各菌落生長形態，由其中挑取似枯草桿菌菌落形態之菌株，進行二次純系分離

後，取單一菌落置於裝有 5 毫升無菌水之螺旋試管中保存。

木黴菌株則以水瓊脂 (Water agar, W.A.) 洋菜平板法進行微生物分離。由土壤分離者稱取 1 克土壤置於 10 毫升無菌水中經振盪後，取過濾液進行平板劃線分離；作物根系分離者採根段分離法，將根段洗淨後切取 0.5 公分小段後取 5 小段置於 W.A. 中；堆肥資材樣品先細分成 0.5 公分小段後，取 5 小段置於 W.A. 中。以上每種類資材 5 個培養皿，各處理於 28°C 培養箱中不照光培養，挑取片段菌絲尖端移到馬鈴薯葡萄糖培養基上，培養 7 天後觀察各菌絲生長形態，由其中挑取木黴菌菌絲形態之菌株，進行二次純系分離後，切取 0.5 cm<sup>2</sup> 之菌絲塊置於裝 5 毫升無菌水之螺旋試管中保存。

#### 2. 菌種之鑑定

以目前臺中場微生物實驗室分離篩選及純化後，經鑑定出具有明確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 13 株 (表一)。其中屬於枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) 計 5 株，包括 TCB428、TCB9401、TCB9407、TCB9722 及 TCB10007。木黴菌 (*Trichoderma* sp.) 計 6 株，包括 TCT103、TCT111、TCT301、TCFO9409、TCFO9768 及 TCT10166。放線菌 (*Streptomyces* sp.) 計 2 株，包括 TCST9706、TCST9801。

### (二) 生物性堆肥之製作技術

#### 1. 生物性蔗渣木屑堆肥

以接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCT111 製作生物性蔗渣木屑堆肥為例，堆肥材料之各成分乾物重用量比例依序為蔗渣 35-45%、廢木屑 25-35%、豬糞 5-15% 及油粕 15-25%，將堆肥材料混合均勻後再取用適量木黴菌 TCT111，有效菌數約 1×10<sup>9</sup> spore/ml，先加水稀釋 200 倍成菌懸液，將菌稀釋液混入堆肥材料中，最後將堆肥材料水份含量調整至 60%，堆積高度維持約 1.5-2.0 m，爾後立即進行堆

表一 已篩選及純化獲得之枯草桿菌、木黴菌及放線菌分離菌株

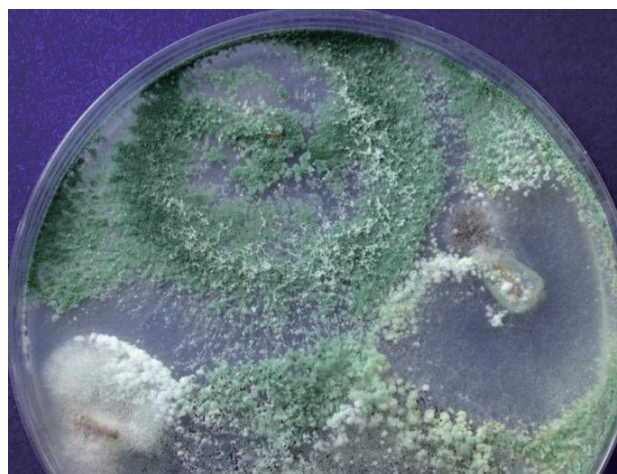
菌種	分離菌株編號	初步功能鑑定
枯草桿菌	TCB428	可分解澱粉類、纖維類、拮抗作用
枯草桿菌	TCB9401	可分解澱粉類、纖維類、拮抗作用
枯草桿菌	TCB9407	可分解澱粉類、纖維類、拮抗作用
枯草桿菌	TCB9722	可分解澱粉類、纖維類、拮抗作用
枯草桿菌	TCB10007	可分解澱粉類、纖維類、拮抗作用
木黴菌	TCT103	可分解澱粉類、纖維類、木質類
木黴菌	TCT111	可分解澱粉類、纖維類、木質類
木黴菌	TCT301	可分解澱粉類、纖維類、木質類
木黴菌	TCFO9409	可分解澱粉類、纖維類、木質類
木黴菌	TCFO9768	可分解澱粉類、纖維類、木質類
木黴菌	TCT10166	可分解澱粉類、纖維類、木質類
放線菌	TCST9706	可分解蛋白質類、澱粉類、纖維類
放線菌	TCST9801	可分解蛋白質類、澱粉類、纖維類

積製作，堆肥化期間約間隔 5-7 日，利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到堆肥腐熟為止。表二係為堆肥化過程的溫度效應，CK 係為未接種木黴菌之對照組，在有接種木黴菌的蔗渣木屑堆肥製作堆積第 0-5 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上，最高可達到 70°C，此高溫期 (>60°C) 約維持 10~15 日，爾後溫度逐漸降低，約第 31-35 日，堆肥溫度降低至約 46°C 左右，約第 36-45 日，堆肥溫度可降低至約 41°C 左右。

表二 接種木黴菌(TCT111)對生物性蔗渣木屑堆肥溫度之影響

處理/日數	單位 (°C)							
	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-45
接種TCT111	63	70	62	57	54	51	46	41
CK	57	65	61	59	56	53	50	46

註:CK為未接種菌之對照組。



圖一 木黴菌(*Trichoderma* sp.) TCT111

未接種木黴菌之蔗渣木屑堆肥，在堆肥製作堆積第 6-10 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上，最高可達到 65°C，約第 31-35 日，堆肥溫度約 50°C 左右，約第 36-45 日，堆肥溫度才降低至約 46°C 左右。顯示接種木黴菌處理之蔗渣木屑堆肥可以提早 4-7 日達到腐熟階段。

由接種木黴菌 (TCT111) 對蔗渣木屑堆肥養分含量之影響結果顯示 (表三)，其中接種木黴菌 (TCT111) 之蔗渣木屑堆肥氮含量約 2.11%、磷含量約 1.01%、鉀含量約 1.78%、鈣含量約 1.12%、鎂含量約 0.81%、有機質含量約 64.6%、鋅含量約 78 ppm、銅含量約 16 ppm。未接種木黴菌 (CK) 之蔗渣木屑堆肥氮含量約 1.96%、磷含量約 0.95%、鉀含量約 1.75%、鈣含量約 1.06%、鎂含量約 0.78%、有機質含量約 65.1%、鋅含量約 80 ppm、銅含量約 15 ppm。顯然有無接種木黴菌 (TCT111) 之蔗渣木屑堆肥的養分含量未有顯著差異，且堆肥養分含量均維



表三 接種木黴菌(TCT111)對生物性蔗渣木屑堆肥養分含量之影響

處理/日數	氮	磷	鉀	鈣	鎂	有機質	鋅	銅
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)
接種TCT111	2.11	1.01	1.78	1.12	0.81	64.6	78	16
CK	1.96	0.95	1.75	1.06	0.78	65.1	80	15

註:CK為未接種菌之對照組。

表四 接種枯草桿菌(*Bacillus sp.*) TCB428對生物性稻殼堆肥溫度之影響

處理/日數	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-45
接種TCB428	62	68	63	58	55	52	46	43
CK	56	61	63	60	58	56	52	48

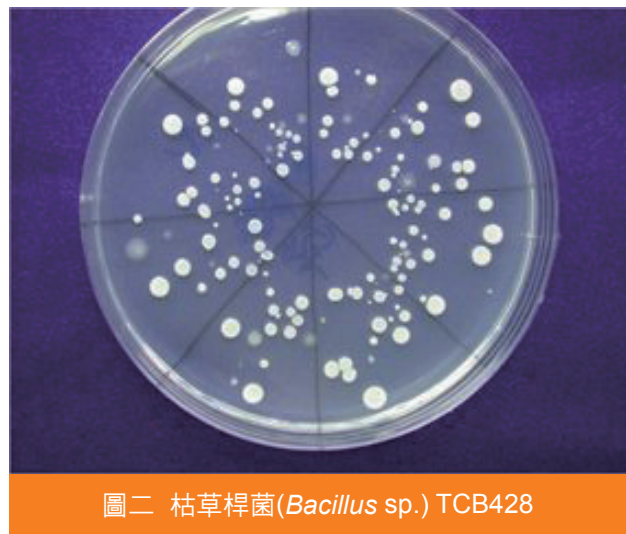
單位(°C)

註:CK為未接種菌之對照組。

持穩定。有接種木黴菌(TCT111)菌種於堆肥製作過程中，以及蔗渣木屑堆肥等製成品中，可分離出所添加之菌種，分離率約為  $1 \times 10^5$  至  $1 \times 10^6$  spore/g，顯示所添加之木黴菌菌種可在堆肥化過程及堆肥成品中存活。

## 2. 生物性稻殼堆肥

以接種枯草桿菌(*Bacillus sp.*) TCB428 製作生物性稻殼堆肥為例，將堆肥材料依稻殼 60-70%、豆粕 20-30%、米糠 10-20% 比例配方混合均勻後，再取用適量枯草桿菌菌種 TCB428，有效菌數約  $1 \times 10^9$  cfu/ml，先加水稀釋 200 倍成菌懸液，再以堆肥材料  $1 \text{ m}^3$  與菌懸液 20 公升之比率，將菌稀釋液混入堆肥材料中，最後將堆肥材料水份含量調整至 60%，堆積高度維持約 1.5-2.0 m，爾後立即進行堆積製作，堆肥化期間約間隔 5-7 日，利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到堆肥腐熟為止。接種枯草桿菌處理之稻殼堆肥在堆積第 0-5 日，堆肥體溫度上升到  $60^\circ\text{C}$  以上(表四)，最高可達到  $68^\circ\text{C}$ ，此高溫期 ( $>60^\circ\text{C}$ ) 約維持 11-15 日，爾後溫度逐漸降低，約第 31-35 日，堆肥溫度可降低至約  $46^\circ\text{C}$  左右。未接種枯草桿菌



圖二 枯草桿菌(*Bacillus sp.*) TCB428

菌種之稻殼堆肥，在堆肥堆積第 6-10 日，堆肥體溫度上升到  $60^\circ\text{C}$  以上，最高可達到  $63^\circ\text{C}$ ，約第 36-45 日，堆肥溫度才降低至約  $48^\circ\text{C}$  左右。

由接種枯草桿菌(TCB428)對稻殼堆肥之養分含量分析結果顯示(表五)，接種枯草桿菌菌種之稻殼堆肥氮含量約 1.62%、磷含量約 0.45%、鉀含量約 1.15%、鈣含量約 1.87%、鎂含量約 0.89%、有機質含量約 66.3%、鋅含量約 76 ppm、銅含量

表五 接種枯草桿菌(TCB428)對生物性稻殼堆肥養分含量之影響

處理/日數	氮	磷	鉀	鈣	鎂	有機質	鋅	銅
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)
接種TCB428	1.62	0.45	1.15	1.87	0.89	66.3	76	18
CK	1.57	0.41	1.14	1.82	0.88	65.7	79	17

註:CK為未接種菌之對照組。

約 18 ppm。未接菌之稻殼堆肥氮含量約 1.57%、磷含量約 0.41%、鉀含量約 1.14%、鈣含量約 1.82%、鎂含量約 0.88%、有機質含量約 65.7%、鋅含量約 79 ppm、銅含量約 17 ppm。另有接種枯草桿菌菌種 (*Bacillus* sp.TCB428) 之稻殼堆肥等成品中，可分離出所添加之菌種，分離率約為  $1 \times 10^7$  至  $1 \times 10^8$  cfu/g，顯示所添加之枯草桿菌菌種 (*Bacillus* sp.TCB428) 可在堆肥化過程及堆肥成品中存活。

### (三) 生物性有機液肥之製作技術

以接種放線菌 (*Streptomyces* sp.) TCST9801 製作生物性有機液肥為例，取 50 公升塑膠桶置入有機材料依豆粕類 2-3 公斤、米糠 0.5-1 公斤、糖蜜 2-3 公斤等比例配方，再取用含有有效菌數約  $1 \times 10^9$  cfu/ml 以上之放線菌 (TCST9801) 菌液 0.1-0.2 公升，加水至 20-30 公升，並盡量攪拌均勻，其後每日攪拌 1-2 次，約 3-4 週後可完熟供使用。如施用打氣裝置以增加溶氧量，可以加速分解。生物性有機液肥以供應速效性養分為主，成品中有益微生物菌種之分離率約為  $1 \times 10^6$  至  $1 \times 10^7$  cfu/g，

一般於作物生育期間作追肥及土壤灌注使用，並能培育適當有益微生物菌種，兼具土壤改良功能。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



圖三 放線菌(*Streptomyces* sp.) TCST9801

釋約 100 倍，可供作物生育後期使用。

### (四) 杏鮑菇栽培木屑介質技術

以接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCFO9409 製作杏鮑菇栽培木屑介質為例，將實驗分為三組，各組堆積材料之各成分乾物重用量比例依序為：新鮮木屑 75%、杏鮑菇栽培後廢舊木屑 25%、接種木黴

表六 接種木黴菌(TCFO9409)對杏鮑菇栽培木屑介質溫度之影響

單位 (°C)

處理/日數	0-15	16-30	31-45	46-60	61-75
接菌+舊木屑	67.8	73.3	63.0	46.6	42.2
接種TCFO9409	55.5	60.9	62.6	51.8	45.9
CK	53.0	58.9	60.7	52.2	46.9

註:CK為未接種菌之對照組。

表七 接種木黴菌(TCFO9409)對堆積第75日杏鮑菇栽培木屑介質養分含量之影響

處理/日數	氮 (%)	磷 (%)	鉀 (%)	鈣 (%)	鎂 (%)	C/N
接菌+舊木屑	0.56	0.13	0.35	0.84	0.19	69.2
接種TCFO9409	0.46	0.05	0.34	0.68	0.15	85.1
CK	0.45	0.05	0.33	0.68	0.15	87.6

註:CK為未接種菌之對照組。



圖四 接種木黴菌(TCT111)製作生物性堆肥製作情形

菌；新鮮木屑 100% 並接種木黴菌；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  $1 \times 10^9$  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，最後將堆積材料水份含量調整至 60%，堆積高度維持約 2.0-3.0 m，爾後立即進行堆積製作，堆積發酵期間約間隔 5-7 日，利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到約 75 日為止。表六係為堆積過程中溫度之變化效應，在開始堆積至第 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 61-75 日均溫已降低至  $45^\circ\text{C}$  以

下。由堆積第 75 日杏鮑菇栽培木屑介質養分含量之分析結果顯示，添加杏鮑菇栽培後廢舊木屑 25% 處理，可以增加杏鮑菇栽培木屑介質中氮、磷、鉀、鈣及鎂等養分含量，且顯著降低杏鮑菇栽培木屑介質中碳氮比，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。本試驗產出木屑介質經調配成杏鮑菇栽培太空包予以栽種杏鮑菇，結果顯示產出之杏鮑菇產量與品質與一般傳統木屑介質產出者並無差異，因此，可確定本試驗利用木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCFO9409 及添加廢舊木屑等處理，適用於製作杏鮑菇栽培木屑介質，且相較一般傳統木屑介質製程 75 日以上，本技術除了可縮短至 60 日以內，另具有回收舊木屑再生利用之功效。

### 結語

農業廢棄物包括禽畜排泄物、蔗渣、稻草及稻殼等大宗生物質量未能妥善利用，常以燃燒或掩埋等方式處理，不僅浪費資源，也造成環境污染，如能將之資源化作為有機肥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。堆肥施入土壤中，必須經過微生物的分解作用，才能礦化釋出養分供作物吸收利用，同時也會影響到土壤理化性及生物性等。然則當有機質礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者，皆不利作物生長 (Hendrix *et al.*, 1992; Morachan *et al.*, 1972)。所以必須確實瞭解施用堆肥之目的及



原則，並掌握正確的施用堆肥技術，以使堆肥的效益發揮最大。

施用堆肥最直接的效益是增進土壤有機質含量，事實上，土壤有機質是植物養分的寶庫，如氮、磷、硫及微量元素大都和有機質結合 (Martin and Focht, 1977)，施用有機資材具有增加土壤有機質含量的直接效果 (莊與楊, 1992; Sommerfeldt *et al.*, 1988)。施用有機質肥料可增加土壤中容易被固定養分如磷之有效性及移動性，增進作物吸收 (Bationo and Mokwunye, 1991)，且許多微量元素經由有機質之帶入及保持 (Chang *et al.*, 1991)，此接為一般化學肥料無法具有之優點。林等 (1973) 研究指出在長期施用堆肥區土壤氮素的蓄積約倍增於化學氮肥區，且堆肥區土壤有機碳含量高於化肥區，可見增加土壤有機質可提高土壤穩定供應養分。

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有有機質分解功能之有益微生物菌種。並且已分別與多家廠商等法人團體合作辦理「新型生物性堆肥研發」技術移轉授權，並已與多項生物性堆(液)肥產品完成商品化上市。本項新型生物性堆(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。

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. 吳聰賢 (1990) 農業史 p.15-32。黎明文化事業出版。
2. 林家榮、李子純、張愛華、陳卿英 (1973) 長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響。農業研究，22(4):241-262。
3. 莊作權、張宇旭、陳鴻基 (1993) 有機質肥料養分供應能力之評估。中華生質能源學會會誌，3-4:132-146。
4. 黃山內 (1991) 豬糞堆肥在作物生產之利用。豬糞處理、堆肥製造使用及管理研討會論文集，p.1-18。臺灣省畜產試驗所編印。
5. 簡宣裕、吳繼光 (1994) 溶磷真菌的溶磷機制。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，p.99-113。臺灣省農業試驗所嘉義分所編印。
6. 雷通明 (1987) 從土壤學觀點談農業現代化。中華水土保持學報，18:1-12。
7. 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘 (1998) 利用碳酸銨萃取法估算堆肥有效氮含量應用在玉米栽培之研究。中國農業化學會誌，36(5):493-502。
8. 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘 (1995) 堆肥有效養分潛能估測之研究。有機質肥料合理施用技術研討會專刊，p.242-258，臺灣省農業試驗所特刊第50號。
9. 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。
10. Carpenter- Boggs, L., Kennedy, A. C., and Reganold, J. P. (2000) *Organic and biodynamic management: Effects on soil biology*. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1651-1659.
11. Chae, Y. M., and Tabatabai, M. A. (1986) *Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes*. J. Environ. Qual. 15:193-198.
12. De Bertoldi, M., Vallint, G., Pera, A. and Zucchini, F. (1985) *Technological aspects of composting including moddling and microbiology*. p.27-41. In J.K.R.Gasser.13.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.

## 參考文獻

13. 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.
14. Harada, Y. (1990) *Composting and application of animal wastes*. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No.311:19-31.
15. 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.
16. Inoko, A. (1982) *The composting of organic materials and associated maturity problems*. ASPAC/FFTC Technical Bulletin No.71:1-20.
17. Hons, H. M., Moresw, R. F., Wiedenfeld, R. P. and Cothren, J. T. (1986) *Applied nitrogen and phosphorus effects on yield and nutrient uptake by high-energy sorghum produced for grain and biomass*. Agron. J. 78:1069-1078.
18. Jokela, W. E. (1992) *Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate*. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:148-154.
19. Martin, J. P. and Focht, D. D.(1977) *Biological properties of soil*. p.114-169. In Elliott, L.F., et al. (ed.) *Soils for management of organic wastes and waste water*. Madison, Wisconsin. USA.
20. Morachan, Y. B., Moldenhauer, W. C. and Larson, W. E. (1972) *Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn. I. Yields and soil physical properties*. Agron. J. 64:199-203.
21. 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.
22. White, R. H. (1979) *Nutrient cycling*. p.129-143. In *Introduction to the principles and practice of soil science*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. London.