

生物性堆肥之 菌種開發與應用

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台灣本土化有益微生物菌種，並建立應用於製作堆肥的適當接種方法等，以供農業廢棄物資源再生利用之研究與應用參考。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.) 及木黴菌 (*Trichoderma* sp.) 等多株有益微生物菌種，並初步試驗鑑定具有分解有機質能力。其中接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCF9499 處理之蔗渣木屑堆肥可以提早 4~7 日達到腐熟階段，接種枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) TCB9488 製作稻殼堆肥，亦有快速增進堆肥化高溫 ($> 60^{\circ}\text{C}$)，縮短堆肥化時程之效益。而且接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCF9499 在腐熟的蔗渣木屑堆肥中，分離率約為 1×10^4 至 1×10^5 spore/g。接種枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) TCB9488 在腐熟的稻殼堆肥，分離率約為 1×10^7 至 1×10^8 cfu/g。本項生物性堆肥製作技術已獲得中華民國發明專利，發明證書編號第 I 229064 號。

一、前言

農業的生產過程，常常不知不覺中利用了自然資源，例如利用森林貯存的流水，以及充滿養分的有機質土壤。尤其土壤是孕育作物的基礎，所以要生產有利人類健康的食物，必先維護大自然及土壤的健康 (雷通明, 1987; Carpenter- Boggs

等, 2000)。在農業生產中加強循環應用自然資源如有機質肥料等，則能兼具維護自然生態及提升農業產能的多重效益 (雷通明, 1987; 嚴式清, 1989)。中國祖先很早即懂得種植作物的方法，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 (吳聰賢, 1990)，如此耕作制度合乎自然而儼然發展成一永續農業，相傳至今。

一般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)，因此將農業廢棄物回歸於農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，而且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 等, 1991; Inoko, 1982)。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, 1985)。在堆肥化過程中，有機物基質中所含之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。不同的堆積材料如能接種適當的微生物菌種, 可以加速堆肥發酵。為達到最有效率之堆肥化作用, 除了添加適當的微生物菌種外, 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。為了增進堆肥材料發酵分解效率, 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。

二、堆肥化微生物之篩選與鑑定

(一) 菌種分離與篩選

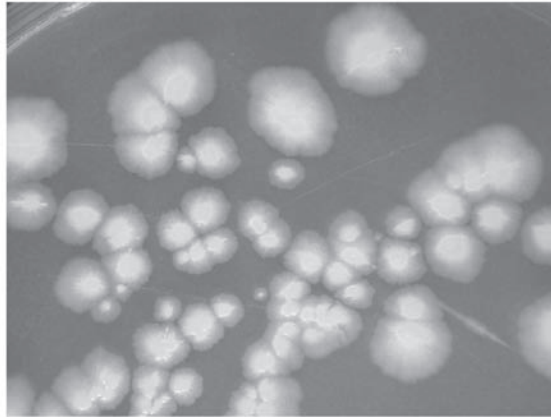
由有機農場土壤、作物根系及各種自製堆肥採取樣品, 以減半營養抽出物水瓊脂 (Nutrient agar, N.A.) 洋菜平板法進行微生物分離。首先由土壤及各種堆肥分離者, 稱取 1 克樣品置於 10cc 無菌水中, 經過 30 秒振盪後, 取過濾液進行平板劃線分離, 作物根系分離者採根段分離法, 將根段洗淨後切取 0.5 公分小段後取 5 小段置於 10cc 無菌水中震盪 30 秒, 取懸浮液於 N.A. 上平板畫線。每種類資材 5 個培養皿, 各處理於 30°C 培養箱中不照光培養二天後, 挑取單一菌落移到營養抽出物 (Nutrient agar, N.A.) 洋菜平板培養基上, 培養三天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 cc 無菌水之螺旋試管中保存。木黴菌株則以 2% 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, 各堆肥資材先細分成 0.5 公分小段後取 5 小段置於 W.A. 中, 以上每種類資材的 5 個培養皿, 各處理於 28°C 培養箱中不照光培養三天後, 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 cm² 之菌絲塊置於裝 5 cc 無菌水之螺旋試管中保存。

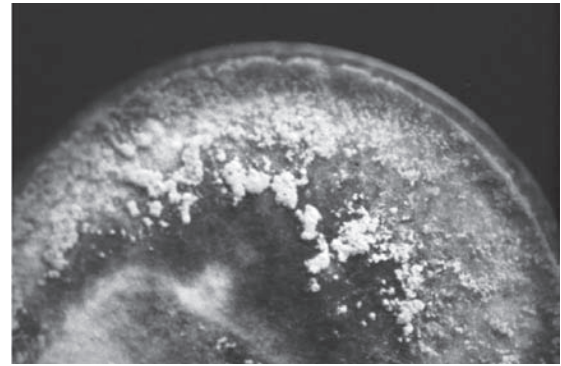
(二) 菌種之鑑定

以目前本場實驗室分離篩選及初步鑑定出較明確之微生物包括: 枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) 1 株 (TCB9488) 及木黴菌 (*Trichoderma* sp.) 1 株 (TCF9499) 為例, 經檢送食品科學發展研究所進行菌種鑑定。結果顯示, 枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) TCB9488 此分離株為革蘭氏陽性桿菌, 具觸酶及運動性, 好氧環境下會生長, 厭氣環境下不會生長, 會產生內生孢子。根據 16S rDNA 部份序列分析之鑑定結果, 分離株 95ID098 最接近 *Bacillus* 屬 之 *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis*、*Bacillus vallismortis*、*Bacillus mojavenis*、*Bacillus amyloliquefaciens*、*Bacillus atrophaeus*、*Bacillus licheniformis*、*Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*、*Bacillus sonorensis*、*Bacillus tequilensis*、*Bacillus velezensis*。根據 MIDI 脂肪酸鑑定系統分析結果, 顯示分離株 94ID086 鑑定結果最接近 *Bacillus velezensis*。綜合上述之鑑定結果, 顯示分離株 95ID098 應為 *Bacillus velezensis* (圖一)。

由木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCF9499 鑑定結果顯示, 此分離株接種於 PDA, 於 25°C 培養觀察產孢構造, 依據 Von Arx (1981) 之分類體系鑑定其屬名為 *Trichoderma* 屬; 依據 Samuels *et al.* (1999) 之鑑定方法, 將菌株接種於 PDA、SNA、CMD 培養基, 於 20、25、30、35°C 培養, 觀察其菌落形態、



圖一 枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) TCB9488



圖二 木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCF9499

產孢構造及孢子形態。鑑定結果為 *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg (圖二)。菌株最佳生長溫度為 30°C，以 PDA 培養基 20°C 培養 2 天，菌落直徑 26-27 mm。培養 3 天菌落直徑 52-53 mm，具白色菌絲，菌落中心有白色粉狀孢子團，菌落背面呈白色。25°C 培養 2 天，菌落直徑 43-44 mm，培養 3 天，菌落直徑 82 mm，菌絲為白色，覆蓋菌落表面如棉絮狀，菌落中心有綠色孢子團產生，顏色呈灰綠色 (27B4-5)，菌落背面呈白色到灰綠色 (27A-B1-3)。30°C 培養 2 天，菌落直徑 56 mm，培養 3 天，菌落直徑大於 90 mm，菌落為白色到綠色 (27A1-2)，菌絲長而茂密，覆蓋菌落表面如棉絮狀，菌落中心有綠色孢子團產生，顏色呈灰綠色 (27C-E5-6)，菌落背面呈綠白色到灰綠色 (27A-B2-3)。35°C 培養 2 天，菌落直徑 37-39 mm，培養 3 天，菌落直徑為 58-62 mm，菌絲為白色，生長綿密，菌落背面呈黃白色到灰黃色 (4A2-3)。分生孢子柄具有許多側生分枝，每一分枝可規律性分岔，形成通常對生小分枝。每一小枝上可產生 2-4 個輪生或對生排列的產孢細胞，偶有單一產孢細胞產生。產孢細胞為瓶梗型，通常直立偶稍微彎曲，中間較寬狀似葫

蘆形，大小為 7.1-12.4×28.-4.3 μm。分生孢子呈綠色，為近球形至寬橢圓形或稍微呈卵形，大小約為 3.1-4.0×2.7-3.4 μm，長 / 寬比為 1.00-1.48，成熟孢子表面平滑至粗糙具不明顯刺狀飾物。有豐富之厚壁孢子產生，厚壁孢子無色，形狀為圓形、橢圓形、少數呈梨形或不規則，大小為 7.4-11.9×6.3-11.1 μm。

三、生物性堆肥之製作技術

(一) 堆肥化過程中溫度之變化

以接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) TCF9499 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 TCF9499，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 1.5~2.0m，爾後立即進行堆積製作，堆肥化期間約 5~7 日利用鏟裝機翻堆乙次，一直持續到堆肥腐熟為止。下表一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

表一 接種木黴菌 (TCF9499) 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TCF9499 | 62 | 71 | 63 | 58 | 56 | 52 | 48 | 42 |
| CK | 61 | 68 | 64 | 57 | 53 | 54 | 50 | 45 |

肥製作堆積第 2~3 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上，最高可達到 71°C，此高溫期 (> 60°C) 約維持 10~14 日，爾後溫度逐漸降低，約第 31~35 日，堆肥溫度才降低至約 48°C 左右，約第 36~45 日，堆肥溫度可降低至約 42°C 左右。未接種木黴菌之蔗渣木屑堆肥，在堆肥製作堆積第 3~5 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上，最高可達到 68°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 45°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。

以接種枯草桿菌 (*Bacillus sp.*) TCB9488 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 TCB9488，菌數約 1×10^9 cfu/ml，先加水稀釋 200 倍成菌懸液，再以堆肥材料 1 m³ 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 5-7 日利用鏟裝機翻堆

乙次，一直持續到堆肥腐熟為止。在稻殼堆肥製作堆積第 2-3 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上 (表二)，最高可達到 70°C，此高溫期 (> 60°C) 約維持 10-13 日，爾後溫度逐漸降低，約第 36-45 日，堆肥溫度可降低至約 42°C 左右。未接種枯草桿菌菌種之稻殼堆肥，在堆肥製作堆積第 4-6 日，堆肥體溫度上升到 60°C 以上 (表二)，最高可達到 67°C，約第 36-45 日，堆肥溫度才降低至約 41°C 左右。

(二) 對腐熟堆肥品質特性之影響

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，將有機材料分解發酵，轉變為有機質肥料。有機材料在適當的條件下堆積發酵，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堆肥。由接種木黴菌 (TCF9499) 對蔗渣木屑堆肥養分含量之影響結果顯示 (表三)，利用木黴菌 (TCF9499) 接種之蔗渣木屑堆肥氮含量約 2.13%、磷含量約 0.98%、鉀含量約 1.81%、鈣含量約

表二 接種枯草桿菌 (*Bacillus sp.*) TCB9488 對生物性稻殼堆肥溫度之影響

| 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TCB9488 | 62 | 70 | 66 | 57 | 54 | 51 | 47 | 42 |
| CK | 60 | 67 | 65 | 55 | 57 | 53 | 49 | 46 |

表三 接種木黴菌接種 (TCF9499) 對生物性蔗渣木屑堆肥養分含量之影響

| 處理 | 氮 | 磷 | 鉀 | 鈣 | 鎂 | 有機質 | 鋅 | 銅 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 接種TCF9499 | 2.13 | 0.98 | 1.81 | 1.03 | 0.78 | 65.5 | 98 | 27 |
| CK | 1.87 | 0.85 | 1.74 | 0.92 | 0.67 | 63 | 90 | 26 |

1.03%、鎂含量約 0.78%、有機質含量約 65.5%、鋅含量約 98 ppm、銅含量約 27 ppm。未接種木黴菌 (CK) 之蔗渣木屑堆肥氮含量約 1.87%、磷含量約 0.85%、鉀含量約 1.74%、鈣含量約 0.92%、鎂含量約 0.67%、有機質含量約 63.1%、鋅含量約 90 ppm、銅含量約 26 ppm。顯然有接種木黴菌 (TCF9499) 之蔗渣木屑堆肥的氮、磷、鉀、鈣、鎂、鋅及銅等含量均略高於未接種處理，且其養分含量較穩定。有接種木黴菌 (TCF9499) 菌種於堆肥製作過程中，以及蔗渣木屑堆肥等製成品中，均可分離出所添加之菌種，分離率約為 1×10^4 至 1×10^5 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。

由接種枯草桿菌 (TCB9488) 對稻殼堆肥之養分含量分析結果顯示 (表四)，利用枯草桿菌菌種 (*Bacillus* sp. TCB9488) 接種之稻殼堆肥氮含量約 1.63%、磷含量約 0.44%、鉀含量約 1.16%、鈣含量約 1.89%、鎂含量約 0.88%、有機質含量約 67.4%、鋅含量約 55 ppm、銅含量約 17 ppm。未接種之稻殼堆肥氮含量約 1.56%、磷含量約

0.38%、鉀含量約 1.13%、鈣含量約 1.92%、鎂含量約 0.87%、有機質含量約 68.1%、鋅含量約 49 ppm、銅含量約 16 ppm。顯然有接種枯草桿菌之稻殼堆肥的氮、磷、鉀、鋅及銅等含量均略高於未接種處理。有接種枯草桿菌菌種 (*Bacillus* sp. TCB9488) 於堆肥製作過程中，以及稻殼堆肥等製成品中，均可分離出所添加之菌種，分離率約為 1×10^7 至 1×10^8 cfu/g，顯示所添加之枯草桿菌菌種 (*Bacillus* sp. TCB9488) 可在堆肥化過程及堆肥成品中存活。

四、結語

土壤為作物生產的基礎，其永續經營管理無疑是最重要的一環，然而台灣農業土壤由於長期施用化肥，面臨土壤理化性質惡化，生物相及土壤生態失衡等問題。此外，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

表四 接種枯草桿菌接種 (TCB 9488) 對生物性稻殼堆肥養分含量之影響

| 處理 | 氮 | 磷 | 鉀 | 鈣 | 鎂 | 有機質 | 鋅 | 銅 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|
| | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 接種TCF9499 | 1.63 | 0.44 | 1.16 | 1.89 | 0.88 | 67.4 | 55 | 17 |
| CK | 1.56 | 0.38 | 1.13 | 1.92 | 0.87 | 68.1 | 49 | 16 |

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 等，1992；Morachan 等，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 與 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 等，1988)。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，所以增加土壤有機質可提高土壤穩定供應養分之效能。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 及 Mokwunye, 1991)。許多微量元素經由有機質之帶入及保持 (Chang 等，1991)，也是一般化學肥料無法一一具有的優點。

台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菌種。並且已分別與台中市農會、油車合作農場農牧廢棄物處理中心、福壽實業股份有限公司、昔得有限公司、田酪股份有限公司、綠世紀生物

科技股份有限公司等法人團體合作辦理「新型生物性堆肥研發」產學合作計畫，共同研發優良的微生物菌種及生物性堆肥製作技術。其中適當利用木黴菌、枯草桿菌等天然有益菌，在堆肥化過程中，接種有益微生物菌種處理下，可以顯著增加堆肥過程中之溫度，且臭味也明顯降低，外觀顏色較深黑褐，品質較佳。其中接種木黴菌 (*Trichoderma* sp.) 之腐熟堆肥中，分離率約為 1×10^4 至 1×10^5 spore/g。接種枯草桿菌 (*Bacillus* sp.) 之腐熟堆肥，分離率約為 1×10^7 至 1×10^8 cfu/g。顯然該等有益微生物經由適當的接種及堆肥化製作技術，在腐熟堆肥中均有一定量的有效菌數存活，因此，可以兼具生物性肥料與堆肥之雙重功效。另由田間栽培試驗結果顯示，使用新型生物性堆肥應用在玫瑰、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。本項生物性堆肥製作技術已獲得中華民國發明專利，發明證書編號第 I 229064 號。並依據行政院農業委員會科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法與上述產學合作等法人團體合作簽署「新型生物性堆肥製作技術」之技術移轉合約，目前已有各項產品正式量產及商品化，並提供農友栽培時應用之參考。

AgBIO

蔡宜峰 行政院農業委員會台中區農業改良場 副研究員
陳俊位 行政院農業委員會台中區農業改良場 助理研究員

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. 莊作權、楊明富 1992 水稻—田菁—玉米輪作制度下施用堆肥對土壤肥力之影響 中國農業化學會誌 30: 553-568。
5. 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專輯" p.1-18 台灣省畜產試驗所編印。
6. 楊秋忠、趙震慶 1995 台灣農地之地力問題與對策—微生物土壤環境品質與土壤地力問題及其對策研討會論文集 p.99-108 中華土壤肥料學會編印。
7. 簡宜裕、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 台灣省農業試驗所嘉義分所編印。

參考文獻

8. 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。
9. 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。
10. 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 台灣省農業試驗所特刊第50號。
11. 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 台中區農業改良場特刊16號。
12. Carpenter- Boggs, L., A. C. Kennedy, and J. P. Reganold. 2000. Organic and biodynamic management: Effects on soil biology. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1651-1659.
13. Chae, Y. M., and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. *J. Environ. Qual.* 15:193-198.
14. De Bertoldi, M., G. Vallint, A. Pera, and F. Zucchini. 1985. Technological aspects of composting including moddling and microbiology. p.27-41. In J.K.R.Gasser.13.Hendrix, P. F., D. C. Coleman, and D. A. Crossley, Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy* 2:63-82.
15. 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.
16. Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. *ASPAC/FFTC Extension Bulletin* No.311: 19-31.
17. Hendrix, P. F., D. C. Coleman, and D. A. Crossley, Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy* 2: 63-82.
18. Inoko, A. 1982. The composting of organic materials and associated maturity problems. *ASPAC/FFTC Technical Bulletin* No.71:1-20.
19. Hons, H. M., R. F. Moresw, R. P. Wiedenfeld, and J. T. Cothren. 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.
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.
21. Martin, J. P., and D. D. Focht. 1977. Biological properties of soil. p.114-169. In L.F. Elliott, et al. (ed.) *Soils for management of organic wastes and waste water*. Madison, Wisconsin. USA.
22. Morachan, Y. B., W. C. Moldenhauer, and W. E. Larson. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn. I. Yields and soil physical properties. *Agron. J.* 64:199-203.
23. 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.
24. White, R. H. 1979. Nutrient cycling. p.129-143. In *Introduction to the principles and practice of soil science*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. London.
25. Young, C. C. 1990. Effects of phosphorus-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36: 225-231.