農業廢棄物資源化微生物菌種之開發與應用

文、圖/陳俊位、蔡宜峰、

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)及能量源(碳)。因此將農業廢棄物回歸于農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，而且也是現今消納如此龐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。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。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份加以分解，轉換為安定的腐植質成份，即腐熟的堆肥。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)，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。農牧廢棄物堆肥化處理所需之微生物菌種，一般依廢棄物種類組成分而有所區隔，有機材料在適當的控制條件下堆積醱酵，利用微生物作用，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。參與分解有機物之微生物包括細菌、放線菌及黴菌等，在不同酸鹼度範圍中有不同的微生物族群，可對不同種類的有機物進行分解，但仍以中性為佳。除非資材中有極酸或極鹼的物質，一般不須對酸鹼度加以控制。堆肥腐熟後常呈中性或微鹼性。自然環境中就有許多微生物族群，可不必刻意加入微生物之菌劑。但資材中若有大量不易分解物質時，可加入專門分解此物質的菌種，以縮短腐熟時間。此外，堆肥堆積過程中的高溫化作用，會影響堆肥內微生物的種類與活性，如可利用耐高溫的有益微生物菌種，將能加強堆肥內有益微生物數量，因此篩選適合的堆肥醱酵菌種將有利製造出品質優良的堆肥。

堆肥微生物菌種之特性

為什麼堆肥要強調生物特性呢？首先，堆肥的品質與堆肥化過程與成品中的微生物相有密切關係。堆肥的生產製作涉及微生物的活動，而堆肥化是一個動態的過程，各種微生物在過程中消長，結果是堆肥內部溫度與組成物的變化。因此，堆肥化過程中必須要有適當的微生物族群出現，堆肥化的成功與否與微生物作用的速度與效率息息相關。堆肥化過程可分為始溫、中溫、高溫與後腐熟四個階段。當堆肥化條件適當時，微生物開始繁殖，腐生性真菌及耐溫性真菌族群便大量成長如 *Aspergillus* spp.及 *Penicillum* spp. ；此時堆肥溫度開始上升；當溫度到達 35℃時，因微生物的分解及代謝反應，使熱能的產生速度最快，此為始溫期。隨後嗜溫真菌的繁殖因材料養分分解轉換而逐漸減緩，細菌作用逐漸頻繁，使溫度提昇持續進行；當溫度到達 45-50℃時，耐溫性真菌的族群逐漸消失，取而代之的是耐中高溫細菌如 *Bacillus* spp.及 *Actinomyces* spp.的出現，此為中溫期。當溫度上升至 55 ℃時，此刻耐高溫細菌主宰整個過程，持續作用下去，溫度可超過 60-70℃，微生物的活動會因養分消耗而受到抑制，堆肥化的速度因而減緩，此為高溫期。在實務上，堆肥會重新翻堆以使養分再均勻化，防止微生物因養份不均勻影響堆肥堆積化作用，此為現場管理的重要工作。最後則為後腐熟階段，此時有機物分解速度與熱的產生

都明顯減緩，中溫菌再度繁殖於堆肥之中，腐植質則逐漸增加。從另一個角度而言，堆肥材料的主要作用便是提供微生物繁殖所需的養分，也可說是微生物大量繁殖所需的食物，但堆肥醱酵速率與品質常因材料內所存在的微生物種類而影響。

在製作堆肥時所用的微生物是否是醱酵所需的微生物菌群？或是堆肥堆積環境適不適合微生物生長？或是添加的菌種活力強不強？這些問題常困擾堆肥製造者。目前市面上有販賣使用的堆肥菌種偏重於中溫、高溫與後腐熟三個階段的微生物，然這些微生物是否可適應堆肥初堆積的環境或利用粗材料的養份常使人懷疑，也因此常有堆肥製造業者在製造堆肥過程中無法有效的克服堆肥味道惡臭，醱酵速率品質無法提昇的問題，因而導致田間施用效果不佳而影響農作物生長、品質及產量。

堆肥微生物菌種之開發

本場所研發的新型生物性堆肥化微生物菌種，主要針對台灣地區大宗有機廢棄物之稻殼、蔗渣及木屑(菇類太空包廢木屑)等纖維性高之資材，選出具快速分解能力之木微菌(*Trichoderma* sp.)，在堆肥製造過程開始之初，將具纖維分解能力強之木黴菌菌株添加於堆積混合好之堆肥粗資材內，可分解堆肥成份中多醣類的纖維質，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，可供堆肥製作過程中中、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，成份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木黴菌菌株能適應不同資材，而能快速分解堆肥粗資材，木黴菌菌種大量繁殖技術結合新型生物性堆肥醱酵菌種的開發，可利用新培養繁殖法所製配之稻穀菌種強化木黴菌之適應能力，添加到堆肥中，可促進堆肥醱酵速率，減少堆肥味道惡臭，縮短堆肥製程所費時間，誘發中溫、高溫與後腐熟三個階段的微生物，並可以有效率地製造成品質優良的有機質肥料，施用於土壤除可增加土壤肥力外，並可改善土壤孔隙及團粒結構，使作物藉由堆肥的施用克服土壤逆境而能正常生長，且能增進田間農作物栽培之品質與產量。

木黴菌堆肥醱酵稻穀菌種的特性

運用稻穀培養木黴菌，在國內外尚未有人利用來培養，目前生產木黴菌大多利用液體醱酵培養，以厚膜孢子進行量產。或以脫殼後之米粒培養微生物，但因米粒內營養成份影響，及水份太多米粒會軟化聚粘影響通氣性，使微生物生長不良，水分太少則微生物因缺水而無法正常生長，固態醱酵培養因生產技術無法突破而鮮少人使用，利用所製備之木黴菌堆肥醱酵稻穀菌種特性為好氣性、具纖維分解酵素、低單糖類需求微生物。本發明所研發之穀粒培養基，由於消毒完全且穀粒外殼完整，供試微生物要利用穀粒內米粒養分時要能產生纖維分解酵素，分解部份外殼後利用米粒養分，菌絲纏繞後在稻穀外殼即可形成綠色木黴菌孢子。本項發明除利用相關技術突破木黴菌固態培養瓶頸外，並具高再生性及儲存期長等優勢。所製備之稻穀菌種因穀粒完整具高再生性，在沖洗外殼所附之孢子後，即可覆蓋保濕再生成孢子重覆繁殖二~三次，孢子數皆可維持在 10^9spore/g 左右。另並具高低溫儲藏性，製

備好之菌種儲存在-30℃低溫保存箱中，活性可維持二年以上，且孢子活性無衰退情形，本稻穀菌種比市面上以厚膜孢子製品之儲存時間增加一倍以上，耐低溫性優於其他產品，耐堆肥醱酵高溫能力強過其它產品，菌種再生性則為國內其他孢子產品無法競爭之獨特性。經使用於堆肥醱酵尚可快速分解堆肥資材，快速腐熟，且菌種仍可存活在堆肥中，除可使堆肥成品成份提升穩定外，木黴菌存活在堆肥成品中尚可供作物生長使用，為其他產品無法競爭的特點。

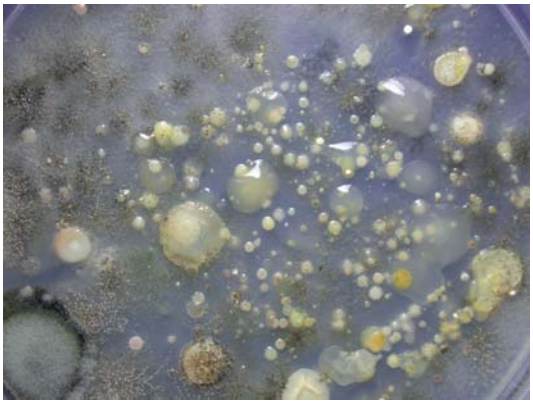
結語

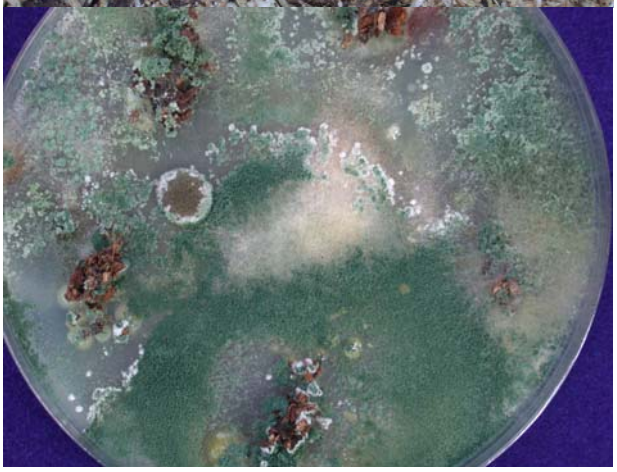
台灣作物栽培環境，因化學農藥及肥料的過度使用，除了破壞土壤環境外，並導致作物病菌害蟲的抗藥性產生，回歸自然的栽培管理方式將可舒緩及延遲自然界環境選汰壓力的產生，使用有機質堆肥，除了使有用資源能回收再利用，並可藉由使用於土壤中可改善土壤質地及團粒結構，而堆肥在製作過程中所產生的優勢微生物種類，除可使堆肥有效養分均勻釋放外，這些微生物並可在作物根部聚集累積促進作物生長，相關學者並發現此些微生物可拮抗多種病原菌為害，在本場所開發的生物堆肥產品上，目前在田間作物試驗上已見成效，如水稻、茭白筍、葉菜類、甘藍、番茄、青椒、茄子、絲瓜、苦瓜、胡瓜、草莓、葡萄、柑橘、棗、梨、桃、甜柿、海芋、玫瑰、非洲菊及洋桔梗等作物上，在田間使用效益評估試驗結果顯示，使用木黴菌堆肥醱酵稻穀菌種製成之生物性堆肥，可以促進多種作物生長，增進產量及品質，提昇農業經營效益，且未對相關作物生長有影響情形，持續使用除可增加土壤有機質含量改善土壤肥力外，並能促成農田土壤永續經營。



品質不佳的堆肥常導致田間作物生長不良影響品質及產量







堆肥中原即已存在有多種微生物



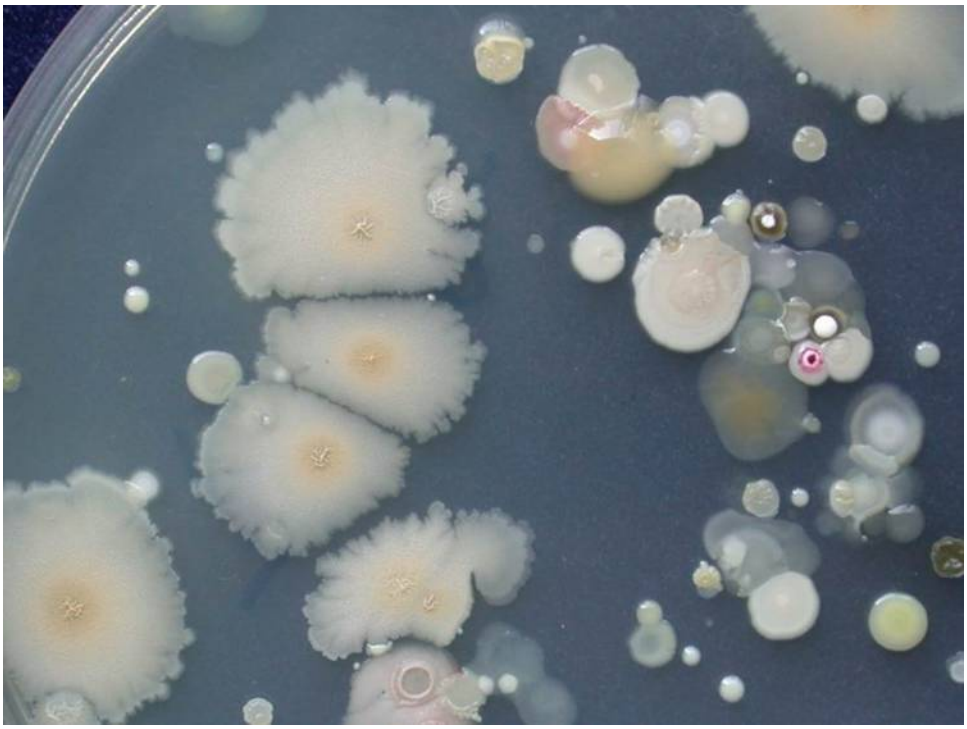
木黴菌堆肥醱酵稻穀菌種



木黴菌堆肥醱酵稻穀菌種可快速分解堆肥資材



添加木黴菌稻穀菌種到堆肥中可促進堆肥醱酵速率



添加木黴菌稻穀菌種可誘發中、高溫與後腐熟階段的微生物



田間使用效益-巨峰葡萄





田間使用效益-蜜紅葡萄



田間使用效益-馬鈴薯





田間使用效益-草莓





田間使用效益-茭白筍