

微生物應用在有機農業之角色

楊 秋 忠

國立中興大學土壤研究所

摘 要

有機農業的範疇是利用輪作、作物殘質、動物厩肥、綠肥、豆類、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力。從這個應用範疇中，可以瞭解土壤微生物所扮演的工作與有機農業有密不可分的關係。農地中的土壤微生物直接或間接地影響作物生長，其中包括固氮、菌根真菌、硝化菌、分解有機及無機礦物之作用菌及根圈保護菌等等，種類甚多，作用功能也甚廣，例如增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等等的功能，各種的土壤微生物都扮演著不同的角色。

有機農業是應用有機物為主的農業生產經營方式，施用有機物要達到作物生產的目標，就需要依靠土壤微生物來協助配合，否則，將無法順利達到營養循環及供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，但對土壤微生物並未特別去管理，是靠著長期的天生天長，這種農業生產潛力的發揮必定有限，因此，現代有機農業不能刻板的復古。而現在的農田又長期的施用化學肥料及農藥，並且許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物族群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為有機農業時，微生物肥料的應用就有其需要性，以便達到保育土壤及維持良好的生產目標。本文中並討論未來之研究方向，尤其要重視多效用微生物的應用，提供參考，並發揮團隊研究，以便發展自然化、科學化及整體化的有機農業。

前 言

農地中的土壤微生物直接或間接地影響作物生長，其中包括固氮菌、菌根菌、硝化菌、分解作用菌等等，種類甚多，作用功能也甚廣，例如增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等等的功能，各種土壤微生物都扮演著不同的角色，這些微生物能在土壤中生存，歷經千百萬年而未被消滅，必有其存在的原因，尤其是頡抗病菌的微生物及根圈上一群保護根系的微生物則甚為重要，它的功能就如人體皮膚毛孔內的一群微生物，在保護環境中外來有害的微生物侵入。現代農業栽培管理上，影響土壤微生物相平衡或有益微生物生長的因子不可忽視；尤其是以過度使用農用化學物（包括農藥及肥料等），加上土壤的環境污染，對原本天生天長的土壤微生物也必需加以重視。

根據美國農部的資料，報導有機農業的範疇是利用輪作、作物殘質、動物厩肥、豆類、綠肥、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力（Papendick, *et al.*, 1980）。從這個應用範疇中，可以瞭解土壤微生物所扮演的工作與有機農業有密不可分的關係。有機農業是應用有

機物為主的農業生產經營方式，施用有機物要達到作物生產的目標，就需要靠土壤微生物來協助配合，否則無法達到營養循環及供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，對土壤微生物並未特別去管理，靠著長期自然生長，農業生產潛力的發揮必定有限。而現在的農田，且有長期施用化學肥料及農藥，許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物族群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為有機農業時，微生物肥料的應用就有其需要性，才能達到保育土壤及維持良好的生產目標。

土壤微生物在有機農業上的角色及應用

為發展有機農業，Liebhardt 及 Harwood (1985) 認為需要進行的多種項目包括降低生產成本及能源投入、氮肥的自給自足、營養循環效率的提高、防止土壤流失、由傳統轉變為有機農業的問題、植物相剋作用之雜草防治、蟲害的防治及土壤抑病等生物防治。因此，微生物肥料要具備達到多效用之微生物菌種，有機農業才將能大量推動發展，而要達到這些新目標，且與微生物之研究發展有息息相關，否則將難達到有機農業之最高目標。以下利用有機農業需發展目標之項目，分別說明微生物之角色及其應用：

一、氮肥的自給自足—共生及非共生固氮之應用

豆類及豆科綠肥是有機農業栽培的重要作物 (Papendick, *et al.*, 1980)，其主要目的是增加生物固氮的氮素來源，減少生產成本及能源消耗，達到農場氮素自給自足。然而，許多農地土壤在傳統耕作施肥方式或未曾種過豆類時，固氮微生物可能相當缺乏或菌種良莠不齊，為確保豆科固氮作用的效率，因此共生及非共生固氮菌之配合應用顯得相當需要。

利用豆類作物或覆蓋豆科作物達到農場中氮肥自給自足已有許多例子 (Patriquin *et al.*, 1981; Liebhardt and Harwood, 1985; Parsons, 1985)，接種豆科根瘤菌達到增加作物氮素來源已是眾所周知，在國外已有商業接種劑之應用，台灣根瘤菌之應用發展已有相當基礎及成果 (吳, 1958; 楊等, 農委會農業新興科技之評估, 1987; Young and Chao, 1983; Young, *et al.*, 1982, 1986, 1988a)，已進行大豆根瘤菌接種劑之示範推廣，而非共生固氮菌之應用研究則甚少，尚未能達到應用目標。

二、營養循環效率提高—分解菌及溶解菌之應用

(一) 利用有機物之營養循環分解菌

有機農業所利用的肥料主要是有機物，有機物中無論是植物殘質、綠肥、堆肥、厩肥、動物殘渣、排泄物等，都需要靠土壤微生物來分解，將營養分釋放出來，植物再加以利用，這種營養循環的效率是受有機物的特性及組成分、環境、氣候、土壤的養分、及微生物的族群及種類等所影響，其中人為較能改變的是微生物相及環境的養分，有實際直接控制分解速率的活性，因為有機質的特性甚為複雜，許多種類的微生物參與分解之過程 (Stevenson, 1986)。無論動物或植物的殘體，經微生物之分解產生CO₂、及可供植物利用之氮肥 (NH₄⁺, NO₃⁻等)、磷、硫及各種微量元素 (Stevenson, 1986; Dommergues and Krupa, 1981)，這種有機物分解的作用謂之「礦質化作用」(mineralization)，也有一部份過程中，營養分被微生物利用，進行同化作用，這種現象謂之「固定化作用」(immobilization)。被固定之營養經一段時間後，微生物體的死亡，也將再進行礦質化作用，再將有機物又轉化到無機物，供植物利用。

有機物分解菌之利用，常見的是纖維素分解菌、木質素分解菌、嫌氣分解菌、甲烷產生菌、及一般分解菌等，包括的菌種如 *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Pseudomonas*, *Bacillus* 等。分解菌之接種可加速堆肥或有機物之分

解，降低有機質之C/N比及重量，也有菌類可增加腐植化的作用 (Subba Rao, 1982)。

有機廢棄物可利用嫌氣發酵菌進行分解後，產生甲烷氣，供燃燒之能源。這類嫌氣分解菌包括初階 (primary) 及次階 (secondary) 的微生物，初階分解菌 (如 *Clostridium*) 在嫌氣下分解纖維素轉變到有機酸及醇類，再經次階的微生物 (如 *Methanococcus*, *Nethanosarcina*, *Methanobacillus* 及 *Methanobacterium*) 分解有機酸到甲烷氣及二氧化碳 (Alexander, 1977)。

(二) 利用無機物之溶解菌

有機農業也利用不迅速溶解的礦物岩石，礦物中因含有各種不同營養元素 (如磷、鉀、鎂、鈣、微量元素等)，施入土壤後被植物利用之效率依不同土壤特性而異，而有些微生物可促進礦石粉的溶解，釋放出鉀 (Aleksandrow and Zak, 1950)、鈣 (Jackson and Voigt, 1971)、磷 (Agnihotri, 1970; Kucey, 1987)、鎂及鋅 (Webley, *et al.*, 1963)、鐵 (Cline, *et al.*, 1983)。

溶解無機物的微生物中，以溶磷菌 (phosphorus-solubilizing microorganisms)、溶矽菌 (silicate-solubilizing microorganisms)、菌根真菌 (mycorrhizal fungi)、鐵物質生產菌 (siderophore producers) 的研究最顯著 (Dommergues and Diem, 1982; Robert and Berthelin, 1986)。其中以溶磷菌最被知曉，能溶磷的微生物包括細菌 (Taha *et al.*, 1969)、真菌 (Khan and Bhatnagar, 1977; Kucey, 1987) 及放線菌 (Rao *et al.*, 1982) 等溶磷菌可增加作物吸收磷素及生長 (Banik and Dey, 1982; Subba Rao, 1982; Kucey, 1987; Young, unpublished data)。

菌根真菌是與根共生的微生物，可增加根系的表面積，達到增進作物吸收各種營養，有助作物吸收磷礦石中的磷肥 (Mosse *et al.*, 1976; Hayman, 1982; 楊等, 1986)，及增進作物生長及生產 (Carling and Brown, 1980; Kuo and Huang, 1982; Young *et al.*, 1986; Young *et al.*, 1988b)。菌根真菌不只是增加根的吸收表面積，近年也發現菌根真菌有增進作物吸收不易溶解的磷 (鈣結合磷、鐵結合磷等) (Young *et al.*, 1986)。加上菌根真菌對作物有其他許多的優點，包括增加抗病及抗旱，都值得重視。

三、防止土壤及營養流失—有機聚合物產生菌及轉化菌之應用

有機農業有助降低土壤流失 (Sampson, 1981; Liebhardt and Harwood, 1985)，可視為有機農業對保育土壤的優點之一，因有機質有助水分的滲入，或有機質促使土壤團粒穩定度增加。因此利用微生物增加土壤團粒穩定，將可防止土壤流失，例如有些土壤微生物可大量分泌多醣類 (Greenland *et al.*, 1961; Jones and Griffiths, 1967)，或聚合有機物 (Stevenson, 1982)，皆可利用於有機農業。

土壤的營養中以氮之損失最易發生，在氮肥的形態中，以硝酸態 (NO_3^-) 最易被水淋洗損失，或經嫌氣微生物脫氮揮散損失，因此，在有機農業中減少硝酸態的形成是有效防止雨季中氮的損失，減少硝態氮的形成是重要的方法。土壤中的有毒物質 (來自微生物、根分泌物或殘質) 也有部分能抑制硝化菌的作用 (Rice and Pancholey, 1974)。

四、雜草防治—剋雜草微生物之應用

有機農業不使用殺草劑，因此利用天然方法之雜草防治是不可缺的要領，除草之人力經費是值得考慮的，利用植物相剋或微生物剋雜草也是可能有效發揮防治的方法。天然微生物殺草劑已有相當多基礎之研究，包括宿主專一性的毒物質 (host specific toxins) 及非宿主專一性的毒物質 (non-host-specific toxins)，許多公司正在大力發展中 (Duke, 1986)。

五、病蟲害防治—生物防治用的微生物之應用

有機農業強調栽培作物要避免使用農藥，因此，研究如何不用農藥而可防治病蟲害，是有機農業的成敗關鍵。生物防治是重要的方式，可以達到減少病蟲害，其中利用微生物去剋病蟲是有效的方法

之一。

作物病害的發生是包括地上部及地下部，其中一部分的病害，可以加強土壤肥力及改善土壤條件來防止發生（Cook, 1982），另一部分之病害則否，因此利用病菌之拮抗菌是理想的防治方法（Rovira, 1982）。作物病害中有一部分是蟲為媒介，因此剋蟲之微生物應用也是對策之一，也有成功的例子。

微生物應用在生物防治上，因受到許多因素之限制，包括氣候、菌種、病蟲之種類、土壤、生態系等等之影響，有待整體團隊的研究發展。

未來之研究方向

農業上應用微生物的優點甚多，由於微生物在環境中受營養供應、自我約束及相生相剋的作用，對環境的衝擊甚小。微生物應用在有機農業上，未來的研究上有待加強下列項目：

一、複合生物肥料之發展

土壤中的營養來源及有效性受微生物的影響甚大，氮素來源上，需發展各種豆類之固氮共生根瘤及根圈固氮微生物之接種劑，提供有機農業栽培的充分氮源。溶解無效營養之微生物（如溶磷菌、溶鎂菌等）有待開發利用。菌根真菌增進作物吸收磷肥的效果良好，有待擴大作物之範圍。以上這些微生物之應用，在台灣已有相當基礎，部份研究成果並已示範推廣中，複合各種生物肥料有待開發大量生產之技術，並成立「生物及有機肥料開發中心」，推動大型發展計畫。

二、有機分解菌之發展

有機物是有機農業生產的主要肥料，發酵或未發酵之有機材料都被利用，由於環保工作的重要，大量堆肥生產可能引起環境污染，因此，直接利用有機物是必然及方便之趨勢，有機農業直接利用有機物又不添加化學肥料下，有機分解菌之添加似乎不能避免，開發高品質之有機與微生物之複合肥料，以便順利的提供作物充分的營養。

三、輪作栽培系統下的微生物相之研究

選擇適合當地之優良輪作系統是有機農業的一項重要工作，除了重視對作物之影響，土壤微生物及其活動在不同輪作栽培下，將會有不同程度的影響，對土壤長期肥力及作物生產也將受影響，從輪作系統中之微生物相可以尋求最佳供應充分營養，或改善微生物相所引起的缺失。

四、微生物防治病蟲及雜草之研究

生物防治的成效是有機農業成敗的命脈，微生物防治病蟲害及雜草研究是需要儘速發展研究，否則，作物病蟲害發生時無法控制。天然殺草劑是利用植物相剋物質，對未來雜草防治上，將有助益，另外天然殺菌劑及殺蟲劑，也將是防止蟲害發生的良藥。微生物肥料所應用的菌種，需要研究或篩選有抗病，抗蟲或殺草之功能，使一接種菌或一接種劑中具有多項效用，是未來整合研究的重要方向。

結 論

有機農業在避免應用合成化學物之肥料及農藥的前提下，為了增加氮素的來源，增進養分循環效率及病蟲害與雜草防治，多效微生物的應用是需要的，將是有機農業的成敗之重要關鍵，尤其在環境污染下，默默的微生物，有待多方重視。完全依賴「天生天長」的有機農業生產是有限的，吾人需要

發展現代化、科學化、自然化及整體化的有機農業，發揮團隊研究之精神，為造福人類而努力。

參考資料

- 1.吳敏慧 1958 台灣豆科根瘤菌人工接種問題之研究 農林學報 7:1-48。
- 2.楊秋忠、趙震慶、張永輝 1986 台灣酸性土壤接種菌根菌及施用磷礦石粉對玉米生長之影響。中華農學會報 新 136:15-24。
- 3.楊秋忠、林鴻淇、黃明得 1987 生物的固氮作用 農業新興科技之評估 行政院農委會，台北。
- 4.Agnihotri, V. P. 1970. Solubilization of insoluble phosphates by some soil fungi isolated from nursery seedbeds. Can. J. Microbiol. 16:977-880.
- 5.Aleksandrow, V. G., and G. A. Zak. 1950. Bacteria which destroy aluminosilicates (silicate bacteria). Mikrobiologiya 19:99-104.
- 6.Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology, 2nd. edition, John Wiley & Sons, New York.
- 7.Banik, S., and B. K. Dey. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate solubilizing microorganisms. Plant and Soil 169:353-364.
- 8.Carling D. E. and M.F. Brown 1980. Relative effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and yield of soybeans. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:528-532.
- 9.Cline, G. R., P. E. Powell, P. J. Szanislo, and C. P. P. Reid. 1983. Comparison of abilities of hydroxamic and other natural organic acids to chelate iron and other ions in soil. Soil Sci. 136:145-157.
- 10.Cook, R. J. 1982. Use of pathogen-suppressive soils for disease control. in Suppressive Soils and Plant Disease. R. W. Schneider (ed.). Amer. phytopatholog. Soc., St. Paul. p. 51-65.
- 11.Dommergues, Y. R., and H. G. Diem. 1982. Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity. Martinus Nijhoff/Dr. W. Jung Rub., Hague.
- 12.Dommergues, Y. R., and S. V. Krupa. 1981. Interactions Between Non-pathogenic Soil Microorganisms and Plant. Elsevier Sci. Pub. Co., New York.
- 13.Duke, S. O. 1986. Microbially produced phytotoxins as herbicides-a perspective. in The Science of Allelopathy. Wiley & Sons, Inc. New York. p. 287-304.
- 14.Greenland, D. J., G. R. Lindstrom, and J. P. Quirk. 1961. Role of polysaccharides in stabilization of natural soil aggregates. Nature 191:1283-1284.
- 15.Hayman, D. S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathol. 72:1119-1125.
- 16.Jackson, T. A., and G. K. Voigt. 1971. Biochemical weathering of calcium bearing minerals by rhizosphere microorganisms and its influence on calcium accumulation in trees. Plant and Soil 35: 655-658.
- 17.Jones, D., and E. Griffiths. 1967. Microbial aspects of soil structure. Plant and Soil 27:187-199.
- 18.Khan, J. A., and R. M. Bhatnagar. 1977. Studies on solubilization of insoluble phosphates by microorganisms. I. Solubilization of Indian phosphate rocks by *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. Fert. Technol. 14:329-333.
- 19.Kucey, R. M. N. 1987. Increase phosphorus uptake by wheat and field beans inoculated with a

- phosphorus-solubilizing *Penicillium bilaji* strain and with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Apl. Environ. Microbiol.* 53:2699-2707.
- 20.Kuo C. G., and R. S. Huang. 1982. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth and yield of rice-stubble cultured soybeans. *Plant Soil* 64:325-330.
- 21.Liebhart, W., and R. Harwood. 1985. Organic farming. in *Technology, Public Policy, and the Changing Structure of American Agriculture*, USDA.
- 22.Mosse, B., C. Li. Powell, and D. S. Hayman. 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX. Interactions between VA mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *New phytol.* 76:331-342.
- 23.Papendick, R. I., L. L. Boersma, D. Colacicco, J. M. Kla, C. A. Kraerle, P. B. Marsh, A. S. Newman, J. F. Parr, J. B. Swan, and I. G. Youngberg. 1980. Report and recommendations on organic farming. *Sci. and Educ. Admin.*, USDA Beltsville, MD. p. 94.
- 24.Parsons, J. W. 1985. Organic farming. in *Soil Organic Matter and Biological Activity*. D. Vanghan and R. E. Malcolm (eds.) Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk pub., Dordrecht.
- 25.Patriquin, D., D. Burton, and N. Hill. 1981. Strategies for achieving self-sufficiency in nitrogen on a mixed farm in eastern Canada based on the use of the faba bean. in *Genetic Engineering of Symbiotic Nitrogen Fixation and Conservation of Fixed Nitrogen*. Lyons J., T. Valentine, D. Phillips, D. Rains, and R. Huffaker (eds.). Plenum, NY. p. 651-671.
- 26.Rao. A. V., B. Benkateswarlu, and P. Kaul. 1982. Isolation of a phosphate dissolving soil actinomycete. *Curt. Sci.* 51:1117-1118.
- 27.Rice. E. L., and S. K. Pancholy, 1974. Inhibition of nitrification by climax ecosystem. III. Inhibitors other than tannins. *Amer. J. Bot.* 61:1095-1103.
- 28.Robert, M., and J. Berthelin. 1986. Role of biological and biochemical factors in soil mineral weathering. in *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. P. M. Hung, and M. Schnitzer (ed.). Soil Science Society of America, Inc., Madison. P. 453-495.
- 29.Rovira, A. D. 1982. Organisms and mechanisms involved in some soils suppressive to soilborne plant diseases. in *Suppressive Soil and Plant Disease*. R. W. Schneider (ed.). Amer. Phytopatholog. Soc., St. Paul. p. 23-33.
- 30.Sampson, R. N. 1981. *Farmland or Wasteland*. Rodale Press, Inc. Emmaus, PA.
- 31.Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry*. Wiley, New York.
- 32.Stevenson, F. J. 1986. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*, John Wiley & Sons, New York.
- 33.Subba Rao, N. S. 1982. *Biofertilizers in Agriculture*. Sunil Printers, New Delhi. p. 128-136.
- 34.Taha, S. M., A. S. Z. Mahmoud, A. Halim El-Damaty, and A. M. Abd El-Hafez. 1969. Activity of phosphate-dissolving bacteria in Egyptian soils. *Plant Soil* 31:149-160.
- 35.Webley, D. M., M. E. K. Henderson, and I. F. Taylor. 1963. The micro-biology of rocks and weathered. *J. soil Sci.* 14:102-112.
- 36.Young, C. C., and C. C. Chao. 1983. Legume production and application of *Rhizobium* in Taiwan. in *Proceedings ROC-JAPAN Seminar on Promoting Nitrogen Fixation in Agriculture*, K. H. Houg, and C. K. Lien (ets.) p. 39-44.
- 37.Young, C. C., M. H. Wu, and T. C. Juang. 1982. Selection and use of *Rhizobium* in Taiwan. *Food and Fertilizer Technology Center, Tech Bull* 66:1-9.

38. Young C. C., T. C. Juang, and H. Y. Guo. 1986. The effect of inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean yield and mineral phosphorus utilization in subtropical soils. *Plant Soil* 95:245-253.
39. Young, C. C., J. Y. Chang, and C. C. Chao 1988a. Physiological and symbiotic characteristics of *Rhizobium fredii* isolated from subtropical-tropical soils. *Biology and Fertility of Soils* (Germany) 5:350-354.
40. Young, C. C., T. C. Juang, and C. C. Chao. 1988b. Effects of *Rhizobium* and vesicular-arbuscular mycorrhiza inoculations on nodulation, symbiotic nitrogen fixation, and yield of soybean in subtropical-tropical fields. *Biology and Fertility of Soils* (Germany) 6:165-169.
41. Young, C. C. Effects of phosphorus-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. (submitted to *Biology and Fertility of Soils*).

Application of Microorganisms in Organic Farming

Chiu-Chung Young

Department of Soil Science

National Chungshing University

Summary

Organic farming relies upon crop rotation, crop residues, animal manures, green manures, legumes, off-farm organic wastes, mineral rock and biological control to maintain soil productivity. From the scope of organic farming, soil microorganisms play many important roles in organic farming systems. The growth and development of crops are directly or indirectly affected by various soil microorganisms in the fields. The roles of soil microorganisms are involved in the activities such as increasing the sources of soil N, improving the availability and solubility of soil nutrients, releasing plant hormone, increasing root growth and nutrient absorption, decomposing organic matters and toxic substance, anti-pathogen, and polymerization of humic substances.

As organic farming mainly relies on the use of organic matter for agricultural production, it is important to apply soil microorganisms to improve nutrient cycles and supplies. The agricultural production is limited under the ancient organic practices. The application of biofertilizer is necessary to increase the agricultural production in the modern organic farming.