茶園土壤中溶磷細菌生態調查及其應用

張鳳屏[1]　楊秋忠[2]
[1] 台灣省茶業改良場
[2] 中興大學

摘　要

茶土園土壤中溶磷細菌族群活動受土壤管理、肥料施用與氣候環境等因素之影響。經調查發現查省茶園土壤中溶磷細菌主要菌屬爲*Pseudomonas* sp.及*Bacillus* sp.。氣溫高，雨量充足，有利溶磷細菌繁殖；氣溫下降與雨量減少，則降低其活動。溶磷細菌數量在茶園根圈土壤較非根圈土爲高，且根圈土壤pH亦較非根圈土壤低，可能爲根系分泌有機酸及溶磷細菌相互作用的關係。相同環境土壤管理下，不同品種茶樹根圈土壤中溶磷細菌數量無多大改變。施用極低量與過量化學肥料將降低溶磷細菌數量，有機質肥料與化學肥料適量配合使用，可增進溶磷細菌族群繁殖，土壤有機質豐富可提供溶磷細菌能源而大量增殖。土壤pH、有效性磷(Mehlich No.3)、交換性鉀、鈣、鎂、錳、鋅及鋁含量與溶磷細菌數量無明顯相關，但土壤pH低於3.8，交換性鈣低於50 mg/kg或高於1000 mg/kg、土壤排水不良且施肥量過多，將減少溶磷細菌數量。

以塑膠袋扦插育苗方法，利用扦插過苗床之舊土與未耕種過茶之新土，接種囊叢枝菌根菌與溶磷細菌，以探討對茶苗生長之影響。試驗結果顯示新土中接種囊叢枝菌根菌、溶磷細菌或兩者同時接種，對青心烏龍及台茶12號扦插苗生長較無明顯增進效果，但在舊土中單獨接種囊叢枝菌根菌或溶磷細菌，則可增加台茶12號扦插苗生長，對青心烏龍則較不明顯。若二者同時接種則明顯促進青心烏龍與台茶12號扦插苗生長，達到累加的功效。

關鍵字：溶磷細菌、茶園根圈土壤、茶樹扦插苗

前　言

土壤中磷素的來源有兩種，其一是有機性磷酸鹽如動物或植物殘體組織中的植酸鹽、磷脂質、核酸磷、醣磷酸脂及輔酵素等有機化合物，此等有機化合物可經微生物礦質化(mineralization) 作用而釋出磷酸，以供作物吸收之磷素; 另一則爲無機性磷酸鹽如過磷酸鈣、磷礦石及含磷爐渣等磷肥或土壤粘粒中所吸附的難溶性磷酸鹽，經微生物分泌有機酸溶解(solubilization)此等難溶性磷酸鹽而改變其溶解度，使易於溶入土壤溶液中，而利於作物吸收之磷素。以上具有礦質化有機磷及溶解難溶性磷酸鹽功能之微生物，稱爲溶磷菌(phosphorus-solubizing microorganisms)，包括細菌如*Pseudomonas* sp.、*Mycobacterium* sp.、*Micrococus* sp.、*Bacillus* sp.、與*Flavobacterium* sp.等[19]; 眞菌如*Aspergillus* sp.與*Penicillum* sp.等[9]，放線菌如*Streptomyces* sp.等[18]。

影響溶磷細菌族群之分佈密度與組成，主要因子有土壤理化性質、施肥種類與方法、氣候條件、耕作方式及種植作物種類之不同而有所變動，鹼性土壤中約有90%以上之溶磷細菌存在，並依種植作物種類的不同，溶磷細菌族群分佈亦異[20]。含蒙特石類較多之土壤，因粒子微細、比面積大、吸附陽離子能力強及吸水力與塑性高，爲提供溶磷細菌族群繁殖之良好介質[13]。土壤有機質含量低於1%或土壤有效水分低於10%，將抑制溶磷細菌之活動[17]。耕作方式改善土壤團粒構造、孔隙度與通氣性及有機養分之提供，亦增強溶磷細菌活動。在乾燥或半乾燥地區較濕潤地區溶磷細菌密度爲低，可能與有機質低及氣溫有關[18]。

Gerretsen(1948)報告指出未經根部消毒處理之植物吸收土壤中磷量比根部經消毒處理之植物爲高，自此對根圈(rhizosphere)溶磷菌之研究甚多，但所得結果不太一致，可能因土壤管理與施肥方式、作物種類、環境條件及實驗技術的不同而有所差異。

有關溶磷細菌對作物生長之影響，有甚多報告指出接種溶磷細菌在石灰質土壤(calcareous soil)可增進大麥[11]、高粱[16]、蠶豆[10]、豌豆[8]及林木[21]等作物生長及磷素吸收。

茶樹適合生長在pH4.0～5.5之極強酸土壤中[2]，然此土壤中所含鐵及鋁之活性甚高，對磷之固定能力甚強，使土壤中可溶性磷大量轉變成難溶性磷酸鐵與磷酸鋁，茶樹爲吸收磷素乃利用根系分泌各種有機酸以吸收被固定之磷酸鐵與鋁[6]，雖然茶樹葉片含多量鋁，但並未發現鋁毒害，可能因茶樹葉片含多量多酚類及有機酸與鋁形成錯合物之故，若土壤中鋁含量低時茶樹生長反而不良[12]。至於溶磷細菌在茶園根圈土壤中之生態研究，資料甚少，故以調查土壤性質、土壤採樣位置、長期磷肥試驗、施肥管理方式及氣候季節與溶磷細菌之關係加以研究，冀能瞭解溶磷細菌在茶園根圈土壤中之分佈及對茶樹生長之關係，並從調查中篩選出具有溶磷能力強又適合茶園土壤中長期存活之溶磷細菌，大量培養繁殖，供茶樹扦插育苗上應用。

材料與方法

一、 茶園土壤中溶磷細菌菌落數

依Paul和Sundara Rao(1971)以平板計數法(Plate count)測數。

二、 土壤理化性質分析

土壤樣本經風乾磨細過2mm篩網供理化分析，質地以比重計法(王，1981)pH(1:1)用玻璃電極測定，有機質用比色法，有效性磷、交換性鉀、鈣、鎂、錳、鋅與鋁用Mehlich No.3法，以ICP測定[14]。

三、 葉片分析

茶葉經70℃熱風乾燥箱乾燥12小時，取出磨細供分析。全氮用Kjeldahl法，P、K、Ca、Mg、Mn、Zn與Al測定，則將葉片放入高溫灰化爐灰化，先以200℃，2小時上升至500℃，6小時，冷後以酸液(300 ml HCl加100 ml HNO_3加去離子水稀釋至1升)溶解，過濾，濾液以ICP測定[7]。

四、 茶園根圈土壤中溶磷細菌之消長：

試驗地點設於鹿谷凍頂工作站及楊梅埔心茶改場二處，茶樹品種爲台茶12號(6年生)採樣日期於1989年每二個月調查一次(即2、4、6、8、10及12月)。採取距茶樹主幹30至50公分處，深度爲0～20公分之根圈土壤，隨機採三點，混勻取約600克土壤。

五、 溶磷細菌在茶樹主幹不同距離及不同深度根圈土壤中之分佈

採樣地點於楊梅埔心茶改場，茶樹品種爲青心大冇(7年生)，採樣日期爲1991年1月7日，採樣方法利用鏟子與移植鏝分別採集距茶樹主幹0～10公分、10～20公分、20～30公分、30～40公分、40～50公分、50～60公分、60～70公分及70～80公分之根圈土壤，深度爲0～15公分。不同深度根圈土壤取樣以距茶樹主幹30至50公分處，以不同深度0～10公分、10～20公分、20～30公分、30～40公分、40～50公分及50～60公分。

六、 不同品種茶樹根圈溶磷細菌之分佈

於1992年5月採取茶改場各品種(青心烏龍、青心大冇、武夷、台茶12、13、14及17號)一心三葉茶菁與根圈土壤供化學成分分析及溶磷細菌測數。

七、 長期磷肥對溶磷細菌之影響

試區設於楊梅埔心茶改場，茶樹品種爲台茶12號(8年生)，試驗採用水泥方形框盆栽(80公分x80公尺x100公分)，五處理、四重複，隨機完全區集設計，肥料處分幼木及成木(1988)用量，成木磷肥分五等級即P_2O_5爲0、4、8、16及32(克/株)，氮肥N 36(克/株)，鉀肥K_2O爲16(克/株)。磷肥用過磷酸鈣、氮肥用尿素、鉀肥用氯化鉀、肥料每年分二次施用即春肥(2月)及秋肥(7月)，土壤採樣日期1990年12月21日。

八、 不同化學肥料量對溶磷細菌之影響

試區在茶改場，以水泥方形框盆栽試驗(80公分ξ80公分ξ100公分)，從1989年定植至1993年爲第4年，品種爲台茶12號。肥料用台肥1號複肥，肥料量分六等級即5、20、60、100、150及200(克/株)，三重複，肥料年分三次施用即春、秋及冬肥。於1993年4月採茶菁一心三葉調查產量及分析養分含量。土壤於採茶後採樣，分析化學性質及溶磷細菌測數。

九、 有機質肥料對溶磷細菌之影響

試區在茶改場凍頂工作站，品種爲青心烏龍(4年生)，肥料處理

(一) 化肥區：採用台肥1號複肥(20-5-10)，全年施用量1250公斤/公頃，年分三次施用即春、夏與秋肥。

(二) 半量化肥加半量有機肥區：台肥1號複肥625公斤/公頃，加雞糞有機堆肥4公噸/公頃及豆粕1.3公噸/公頃。

(三) 有機肥區：完全用雞糞有機堆肥8公噸/公頃，春肥一次施用，另加豆粕2.6公噸/公頃，春與秋肥施用。

1992年12月採土壤樣本，分析理化性質及溶磷細菌測數。

十、 全省主要茶區土壤理化性質與溶磷細菌之關係

1991年9～11月調查全省主要茶區包括10縣48鄉鎮茶園根圈土壤，分析其理化性質及溶磷細菌測數。

十一、 正常與不正常茶園根圈土壤中溶磷細族群之分佈

1991年9月調查全省四地區茶園包括嘉義梅山、南投鹿谷、苗栗大湖及台北坪林，各選一處正常與不正常茶園，採取其土壤分析理化性質及溶磷細菌族群分佈。

十二、 接種溶磷細菌對塑膠袋茶樹扦插苗生長之影響

試驗地點在茶改場簡易溫室，試驗期間自1989年1月扦插至同年9月調查茶苗根、莖與葉乾物重。溶磷細菌菌屬爲*Pseudomonas* sp.囊叢枝菌根菌接種劑爲*Glomus* sp.孢子、根外菌絲與菌根片段。

(一) 塑膠袋規格：黑色底部旁有2個孔洞，長x寬=17公分x9公分，可裝土約450克。

(二) 處理方法：土壤採自楊梅平鎮系紅壤，分耕種過之舊土及未耕種過之新土二種，土壤經風乾後過2毫米篩網。扦插苗品種爲台茶12號及青心烏龍二種，處理方式爲土壤(2)x品種(2)x肥料處理 Ⅰ.對照 Ⅱ.過磷酸鈣 Ⅲ.接種VAMF Ⅳ.接種PSB Ⅴ.接種VAMF+PSB共20個處理，每處理重複10次。

(三) 使用方法：土壤裝入塑膠袋中，以扦插枝條插一個穴，將VAMF接種劑1克(約含30個孢子)放入穴中，再將扦插枝條插入土中，後澆水至濕潤止。PSB接種劑於扦插完後以每株1毫升(PSB原液稀釋10倍)施入。過磷酸鈣先與土壤混合，施用量爲80 P_2O_5毫克/公斤土壤，再扦插枝條。扦插六個月全部處理皆加棒狀台肥1號有機質肥料，每株加2克，以補充養分。

結果與討論

一、 茶園根圈土壤中溶磷細菌的種類

調查本省茶園根圈土壤中發現大部分皆具有溶解磷酸鈣$Ca_3(PO_4)$的溶磷細菌及少部分具有溶解磷酸鋁($AlPO_4$) 的溶磷細菌，經委託食品工業研究所鑑定菌種爲*Pesudomonas* sp及*Bacillus* sp此二種菌屬與其他國所鑑定之常見菌屬相似[18]。

二、 茶園根圈土壤中溶磷細菌之消長

1989年每二個月調查楊梅與鹿谷二地區茶園根圈土壤中溶磷細菌菌落數之分佈(圖一)。2月在楊梅根圈土壤中溶磷細菌菌落數最低爲$1.5x10^4$個/克乾土，4月緩慢增加到$8.7x10^4$個/克乾土，至6月達到最高峰爲$7.3x10^5$個/克乾土，8月、10月及12月又漸趨減少至$2.9～8.3x10^4$個/克乾土。鹿谷地區亦以2月溶磷細菌菌落數最低爲$1.2x10^4$個/克乾土，4月及6月又急速增多，約在$2.2～2.8x10^5$個/克乾土，8月以後又漸降低，此可能4月及6月氣溫高加上降雨量分佈均勻，有利溶磷細菌族群繁殖，7、8至9月則降雨量過多，12月及2月降雨量稀，氣溫又低，皆降低溶磷細菌之繁殖。

三、 不同深度根圈土壤中溶磷細菌之分佈

根圈土壤深度在20～30公分處，溶磷細菌菌落數最多有$1.4x10^5$個/克乾土(圖二)，因該處茶根生長旺盛分佈最多，土壤養分供應充足及通氣良好，故溶磷細菌族群最高。土層在0～10公分及10～20公分處溶磷細菌菌數分佈相似約$5.0x10^4$個/克乾土，40～50公分處則漸減約$1.6x10^4$個/克乾，50～60公分仍有溶磷細菌存在約$4.0x10^3$個/克乾土，顯示該處種植茶樹前有深耕並掩埋綠肥田菁，茶樹根系伸展深度加深且廣，有助溶磷細菌之生存。

四、 茶樹主幹不同距離根圈土壤中溶磷細菌之分佈

以距茶樹主幹20～30公分處溶磷細菌族群最多約$1.0x10^5$個/克乾土，因該處在茶樹冠覆蓋下，土壤水分含量較高，通氣較佳，根系分佈密集，有利溶磷細菌繁殖。而離主幹40～80公分處土壤常受人爲施用肥料與農藥，耕作走動，土壤水分含量較低，根系分佈亦較稀疏，溶磷細菌族群因而降低(圖三)。溶磷細菌菌落數與土壤中pH、有機質及有效性磷亦無明顯相關，顯示土壤化學性質在茶樹主幹不同距離根圈土壤中變化程度甚緩，而溶磷細菌族群變化甚大，因此不易顯現相關，故土壤採樣位置不同，溶磷細菌族群分佈亦異。

五、 根圈與非根圈土壤中溶磷細菌之分佈

採茶改場平鎮系紅壤，茶樹品種爲台茶12號，分根圈土與非根圈土分析pH、有效性磷及溶磷細菌菌落數，結果如表一所示，根圈土pH較非根圈土pH稍低，其原因爲茶樹對氮素吸收主要以氨態氮爲主，茶樹體內細胞爲維持電荷平衡，使根系分泌出各種有機酸[6]，而降低根圈土壤pH值。土壤微生物藉茶根分泌物提供之能源，而加以利用，使得根圈土溶磷細菌數量較非根圈土高出約30倍，土壤有效性磷含量根圈土亦較高。因此土壤中養分的有效性仍由土壤物理、化學和生物特性所主導，尤其根圈pH值、根系分泌物、微生物種類、數量與活性的改變，而決定根圈養分的動態。

表一、根圈與非根圈土壤 pH、有效性磷及溶磷細菌之比較

Table 1. Comparison of pH， P and P-solubilizing bacteria in rhizospheric and non-rhizospheric soils

	pH	P	溶磷細菌
		mg/kg	$x10^3$ cfu/g soil
根 圈 土	4.2	24	276
非根圈土	4.3	18	10

六、 不同品種茶樹與溶磷細菌之關係

不同品種茶樹對養分之吸收受到各種因素之影響，其中台茶12號及青心烏龍葉磷含量似較其他品種爲高[4]，本試驗亦得相同結果如表二。各品種土壤中有效性磷(Mehlich No.3)含量稍低，交換性鉀與鎂則適中，交換性鈣則偏低，溶磷細菌數量在各品種間根圈土中無明顯差異，顯示在相同氣候、土壤及栽培管理下，溶磷細菌族群在不同品種茶樹根圈土中活動力相似無多大改變。

表二、不同品種茶樹葉片成分、土壤成分含量與溶磷細菌之關係

Table 2. The relationship between contents of varieties leaves with number of P-solubilizing bacteria in tea rhizospheric soils

品　種	葉片成分					土壤成分				溶磷細菌
	N	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	
	----------%----------					----------mg/kg----------				$x10^3$ cfu/g soil
青心烏龍	4.23	0.34	1.57	0.41	0.21	26	137	76	18	64
青心大冇	4.05	0.30	1.63	0.42	0.22	35	125	86	16	98
武夷	3.79	0.27	1.49	0.38	0.18	29	120	70	19	83
台茶12號	4.43	0.32	1.56	0.30	0.17	40	137	92	12	146
台茶13號	4.16	0.30	1.53	0.30	0.18	56	109	98	26	85
台茶14號	4.10	0.28	1.50	0.40	0.19	35	111	72	16	120
台茶17號	4.05	0.30	1.70	0.32	0.20	28	100	80	12	60

七、 長期磷肥對溶磷細菌之影響

連續八年不施用磷肥(無磷肥區)，茶樹雖能正常生長，但產量與品質仍較有施磷肥區低且差。經調查無磷肥區土壤中溶磷細菌菌落數約爲$5x10^4$個/克乾土(表三)，少量磷肥區4 P_2O_5(克/株)溶磷細菌菌落數則達$4.5x10^5$個/克乾土，施用量增加到8 P_2O_5(克/株)溶磷細菌菌落數則逐漸降低，約爲$1.3x10^5$個/克乾土，再增加磷肥16及32 P_2O_5(克/株)，溶磷細菌菌落數則降到$4\sim8x10^4$個/克乾土，約與無磷區相近。可見施磷肥過量將限制溶磷細菌族群，適量施用磷肥則有利溶磷細菌活動。但目前茶園施用磷肥有過量之虞，加上茶園土壤嚴重酸化，大部分磷素被固定成難溶性，茶樹吸收利用率降低，爲幫助茶樹更能有效利用土壤中大量難溶性磷，似有必要篩選耐磷肥及溶磷能力強之溶磷細菌，並能大量培養，以接種到田間茶園，冀能改善茶樹對磷素之吸收與茶葉品質之提升，此方面仍須再繼續研究。

表三、茶園不同磷肥用量對溶磷細菌族群之影響

Table3.Effects of P application on the population of P-solubilizing bacteria (PSB) in tea plantation.

	P_2O_5 applied(g/plant)				
	0	4	8	16	32
溶磷細菌 x10^4 cfu/g soil	5±2*	45±12	13±4	8±3	4±2

八、 不同化學肥料量對溶磷細菌之影響

以盆栽試驗不同化學肥料量對茶樹養分含量、土壤pH、有效性磷及溶磷細菌之影響結果如表四，全氮含量隨肥料量增加而顯著提高，磷與鋅含量則無明顯趨勢，鉀以極低肥料量台肥1號複肥5(克/株)爲最低，其餘處理差異不顯著，鈣、鎂、錳與鋁則以極低肥料量5(克/株)爲最高，其餘差異亦不顯著。土壤pH值隨施肥量之增加而降低有效性磷(Mehlich No.3)隨肥料量增加而提高，溶磷細菌數量以20(克/株)處理區最高，菌落數在3x10^5個/克乾土與60(克/株)及100(克/株)處理區則無明顯差異，5(克/株)及150(克/株)處理區則降低在2x10^4個/克乾土，200(克/株)極高肥料量區則無溶磷細菌菌落出現，可能與該試驗無施用有機質肥料之故有關。以上顯示施用適量化肥有助茶樹養分吸收，並可提供溶磷細菌活動生存，過低及過高化肥則降低其繁殖。

表四、不同化學肥料量對茶樹葉片成分、土壤成分與溶磷細菌之影響

Table 4. Effects of different amounts of chemical fertilizer on tea leaves ingredients, soil elements, and P-solubilizing bacteria

肥料量*	葉片成分								土壤成分		溶磷細菌
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Zn	pH	P	
克/株	----------%----------					--------ug/g--------			mg/kg		x10^3 cfu/g soil
5	3.26c**	0.35ab	1.49b	0.49a	0.24a	920a	427a	63a	4.7a	9c	20b
20	4.45b	0.38a	1.55a	0.27b	0.17b	676b	315b	60a	4.6a	15bc	310a
60	4.55b	0.33b	1.55a	0.30b	0.19b	770a	300b	63a	4.4b	26b	136a
100	4.66b	0.37a	1.60a	0.25b	0.18b	882a	332b	70a	4.4b	32ab	120a
150	4.94a	0.36a	1.56a	0.26b	0.18b	730b	289b	65a	4.2c	37a	25b
200	5.22a	0.34b	1.60a	0.23b	0.17b	584b	226b	63a	4.1c	49a	0c

＊ 施用台肥 1號複肥(N-P_2O_5-K_2O= 20-5-10)

＊＊ 直行英文字母相同者，表未達5%顯著差異。

九、 有機質肥料對土壤化學性質及溶磷細菌之影響

本試區在本場凍頂工作站進行，有機肥區連續施用雞糞有機堆肥及豆粕二年，而無施用化學肥料，致茶菁產量稍爲減少，但與化肥區及各半量化肥與有機肥區產量並無明顯差異。表五顯示土壤pH在有機肥區呈明顯升高，土壤有機質、磷、鉀、鈣與鎂亦明顯增加，溶磷細菌菌落數在$8x10^3$個/克乾土。化肥區土壤pH4.4土壤有機質及其他養分含量充足，溶磷細菌菌落數在$1.6x10^4$個/克乾土。半量化肥與有機肥區，溶磷細菌菌落數較高約在$9.5x10^4$個/克乾土，土壤pH亦上升，其他養分含量亦豐富。以上顯示茶園施肥仍應化肥與有機肥兩者配合調節施用，才能維持茶樹養分需求，確保茶菁產量與品質。若完全施用有機肥時，必須考慮其種類及成分，以免常年固定施用同種類肥料，而改變土壤pH過高，因pH高於6.5以上時，對茶樹生理反應會有不良影響，尤其對養分吸收會不均衡，而導致提早衰老茶菁產量降低。因此適量施用化肥與有機肥可保持土壤肥力，且適合土壤中各種有益微生物活動，如囊叢枝菌根菌[3]與溶磷細菌即是其中一例。

表五、有機質肥料對土壤化學性質及溶磷細菌之影響

Table5.Effects of organic fertilizer on the chemical properties of soils and number of P-solubilizing bacteria in tea rhizospheric soils

處　理	pH	OM	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Zn	溶磷細菌
		g/kg	----------mg/kg----------							$x10^3$ cfu/g soil
化肥	4.4c*	20b	80b	88b	211b	28c	81a	1323a	2a	16b
1/2化肥＋1/2有機肥	5.7b	23a	248a	229a	1062a	88b	96a	1184b	4a	95a
有機肥	6.3a	23a	237a	267a	1375a	127a	121a	1136b	5a	8b

＊ 直行英文字母相同者，表未達5%顯著差異。

十、 全省主要茶區土壤理化性質與溶磷細菌之關係

採集全省10縣48鄉鎮茶園根圈土壤，經分析理化性質變異甚大，pH在3.6～5.1，有機質8～56g/kg，有效性磷12～500mg/kg，交換性鉀70～404mg/kg，交換性鈣60～1100mg/kg，交換性鎂10～160mg/kg，交換性錳4～80mg/kg，交換性鋅2～13mg/kg，交換性鋁1008～1765mg/kg，而溶磷細菌菌落數從無到106個/克乾土。經統計分析結果，如表六，土壤中有機質含量與溶磷細菌族群呈顯著正相關，顯示土壤有機質含量豐富，可提供溶磷細菌大量繁殖。其他土壤性質如pH、有效性磷、交換性鉀、鈣、鎂、錳、鋅與鋁，則與溶磷細菌菌落數無明顯相關。本省茶園分佈大部分在山坡地，高溫多雨，土壤有機質消耗較速，加上化學肥料施用過多，有機質肥料補充較少，導致甚多茶園土壤有

機質含量偏低，因此爲保持及提高土壤肥力與水資源免受污染，應加強有機質肥料之施用，尤其要使用政府登記有案(註明肥料登記字號)之有機質肥料，以確保有機質肥料之品質。

表六、土壤化學性質與溶磷細菌菌落數之相關

Table 6. The correlation between chemical properties of soils with number of P-solubilizing bacteria in tea rhizospheric soils

	pH	OM	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Al
溶磷細菌菌落數	0.16	0.38*	0.21	0.09	0.18	0.10	-0.14	0.20	-0.11

十一、正常與不正常茶園土壤中溶磷細菌之分佈

選擇四地區正常與不正常茶園，調查其土壤理化性質與溶磷細菌族群分佈結果如表七所示。梅山地區正常茶園(7年生青心烏龍)土壤中溶磷細菌菌落數甚高約在106個/克乾土，土壤中有效性磷57mg/kg，交換性鈣160mg/kg與鎂25mg/kg適中，有機質24g/kg、土壤pH4.5皆適宜茶樹生長，該茶園每年施用化學肥料(台肥1號複肥)約2000公斤，有機質肥料(醱酵堆肥)施用量約10公噸/公頃，土壤管理、施肥方式與茶園管理皆相當勤奮細心，製茶技術亦優秀，故產製茶葉品質與產量皆佳。另一處茶園(6年生青心烏龍)則根系粗短淺發育不良，地上部易開花且不萌芽伸展，茶菁產量極低，經採樣與詢問調查發現該茶園幼木期即施用過多化學肥料與有機質肥料，並分析土壤中交換性鈣含量結果甚豐(Ca 840mg/kg)、溶磷細菌菌落數約在$6.9x10^4$個/克乾土。

鹿谷正常與不正常茶園(皆爲10年生青心烏龍)溶磷細菌菌落數皆在$4\sim6x10^4$個/克乾土，無明顯差異。惟不良茶園土壤pH3.6爲極強酸性，加上土壤底層有硬盤排水較不易，且施用肥料又多，皆爲限制茶樹生長之重要因子。大湖不正常茶園(12年生台茶12號)可能經年施用化學肥料，致土壤中養分含量甚豐，尤其交換性鈣含量達3920 mg/kg，土壤有機質含量較低(19g/kg)，溶磷細菌菌落數亦低約$3.8x10^4$個/克乾土。正常茶園(10年生台茶12號)則土壤養分適宜，溶磷細菌族群亦較多約$5x10^5$個/克乾土。

坪林正常與不正常茶園溶磷細菌菌落數亦無明顯差異，皆約爲$3.0x10^4$個/克乾土。然不正常茶園(15年生青心烏龍)土壤pH3.8呈極強酸性，土壤交換性鈣(20 mg/kg)與鎂(8 mg/kg)偏低，有機質含量亦低(16 g/kg)，顯然該茶園長年僅施用化學肥料，且該區雨量較爲豐沛，致土壤偏極強酸性，吸收土壤中養分不平衡，加上茶樹樹齡已高有老化之現象，故產量低。正常茶園(8年生青心烏龍)土壤有機質含量高(39 g/kg)，土壤交換性鈣與鎂含量偏低，使溶磷細菌菌落數較少約在$3.0x10^4$個/克乾土。

由以上四地區茶園可見土壤pH值若低於3.8，交換性鈣低於50mg/kg，或高於1000mg/kg，及土壤排水不良等問題皆影響溶磷細菌族群之活動，因此保持良好茶園必須適時、適量、適法的土壤管理與施肥技術，配合當地氣候條件、栽培方法及茶農親身體驗與勤勉的心力才可達成。如此默默耕耘的土壤有益微生物(如溶磷細菌)才能發揮其所長，助茶樹生長與茶菁品質一臂之力。

表七、正常與不正常茶園土壤性質與溶磷細菌族群比較
Table 7. Population density of P-solubilizing bacteria in normal and abnormal tea garden soils

地點	茶樹生長	質地	pH	OM	P	K	Ca	Mg	溶磷細菌
				g/kg	----------mg/kg----------				x10^3 cfu/g soil
梅山	正　常	SL	4.5	24	57	100	160	25	960
	不正常	SL	5.1	20	23	230	840	39	69
鹿谷	正　常	L	4.1	50	112	80	40	9	65
	不正常	L	3.6	24	168	80	30	5	42
大湖	正　常	SCL	4.3	25	234	360	560	149	506
	不正常	SCL	5.0	17	118	200	3920	144	38
坪林	正　常	CL	4.1	39	16	240	50	15	30
	不正常	CL	3.8	16	27	140	20	8	32

十二、　接種溶磷細菌(PSB)對塑膠袋茶樹扦插苗生長之影響

(一)　接種VAMF與PSB對青心烏龍扦插苗生長之影響

新土中施用過磷酸鈣(80 P_2O_5毫克/公斤)將會抑制青心烏龍扦插苗根部之生長，以致地上部發育不良。單獨接種VAMF或PSB，或二者同時接種對根、葉與整株乾物重與未接種對照處理比較無顯著差異，但對莖部乾物重則有增加(表八)。在舊土中磷含量較高，若再施用過磷酸鈣更會抑制扦插枝條之發根，單獨接種VAMF或PSB與對照處理比較，根及葉部乾物重無明顯差異，但對莖部乾物重則有增加。二者同時接種較單獨接種明顯增加根、葉及整株乾物重(表八)，顯示同時接種VAMF與PSB對青心烏龍扦插苗生長有累加促進效果。

一般舊土上之扦插苗生長均較新土上者差，此可能受土壤養分太豐富(尤其鈣含量太高)或其他有害病原菌危害，而使扦插枝條發根受阻。由本試驗得知發根不易又易受病蟲害危害之青心烏龍扦插苗，若同接種VAMF與PSB使造成優勢族群，將有助其生長之功效。

(二) 接種VAMF與PSB對台茶12號扦插苗生長之影響

台茶12號扦插苗在新土上，其根、莖、葉及整株總乾物重，各處理間皆未達顯著差異(表九)。施用過磷酸鈣處理扦插苗生長雖較差，但仍能忍受所施之磷肥量，而照常發根生長，顯示台茶12號耐肥能力較青心烏龍強，因台茶12號扦插枝條較粗且生長勢亦較強。在舊土中因含磷量已高，再施用磷肥將會抑制扦插苗發根，台茶12號亦然。因此塑膠袋扦插育苗時，化學肥料應不要施用，要等到扦插枝條發根且地上部已長出新芽，這時約要6個月才可施用少量的緩效性複肥或有機質肥料。

在舊土中單獨接種VAMF或PSB，或二者同時接種，扦插苗生長皆較未接種對照處理爲優(表九)，單獨接種PSB對扦插枝條發根效果最佳。接種VAMF或PSB對台茶12號扦插苗生長效果在新土與舊土間無明顯差異，但未接種對照處理則仍以新土較佳，示舊土中仍有限制扦插苗生長之因子，此可能非土壤肥力所造成而是有土壤病蟲害存在。本試驗結果在舊土中接種VAMF或PSB，或二者同時接種對台茶12號扦插苗生長皆有改善之效果。

表八、接種囊叢枝菌根菌與溶磷細菌對青心烏龍扦插苗生長之影響
Table 8. Effects of P-solubilizing bacteria(PSB) and VA mycorrhizal fungi (VAMF) inoculation on the growth of tea cuttings of Chin-Hsin-Oolong.(g/plant)

	Treatment	Root	Stem	Leaf	Total
Uncultivated Soil	Control	0.21a*	0.43b	0.26a	0.90ab
	Superphosphate	0.10bc	0.40b	0.15c	0.65c
	VAMF	0.20a	0.49a	0.28a	0.97a
	PSB	0.21a	0.50a	0.27a	0.98a
	VAMF+PSB	0.23a	0.52a	0.30a	1.05a
Cultivated Soil	Control	0.10bc	0.40b	0.21b	0.71bc
	Superphosphate	0.08c	0.40b	0.15c	0.63c
	VAMF	0.14b	0.48a	0.22b	0.84b
	PSB	0.14b	0.47a	0.21b	0.82b
	VAMF+PSB	0.21a	0.50a	0.27a	0.98a

* Means within columns followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) by Duncan's multiple-range test.

表九、接種囊叢枝菌根菌與溶磷細菌對台茶12號扦插苗生長之影響
Table 9. Effects of P-solubilizing bacteria(PSB) and VA mycorrhizal fungi (VAMF) inoculation on the growth of tea cuttings of TTES No.12.(g/plant)

	Treatment	Root	Stem	Leaf	Total
Uncultivated Soil	Control	0.27a*	0.91a	0.32a	1.50a
	Superphosphate	0.21ab	0.90a	0.28ab	1.39ab
	VAMF	0.23a	0.96a	0.34a	1.53a
	PSB	0.32a	1.02a	0.36a	1.70a
	VAMF+PSB	0.24a	1.04a	0.38a	1.66a
Cultivated Soil	Control	0.18b	0.80ab	0.26b	1.24b
	Superphosphate	0.09c	0.63b	0.21b	0.93c
	VAMF	0.22a	0.99a	0.37a	1.58a
	PSB	0.37a	1.02a	0.39a	1.78a
	VAMF+PSB	0.26a	1.00a	0.38a	1.64a

* Means within columns followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) by Duncan's multiple-range test.

參考文獻

1. 王新傳 1981 鮑氏土壤機械分析法.作物需肥診斷技術。台灣省農試所特刊 13:27-29。
2. 張鳳屏 1989 茶樹營養診斷與施肥管理。台灣省茶業改良場編。
3. 張鳳屏、楊秋忠 1992 囊叢枝菌根菌在茶園土壤中之生態調查。台灣茶業研究彙報 11:63-77。
4. 張鳳屏 1993 茶園土壤特性對新品種茶樹產量與品質之影響。台灣茶業研究彙報 12:93-102。
5. Gerretsen , F.C. 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. Plant Soil 1:51-81.
6. Jaymann , T.C. , and S. Sivasubramaniam. 1975. Release of bound iron and aluminium from soil by the root exudates of tea (*Camellia sinensis*) plants. J. Sci. Fd. Agric. 26:1985-1898.
7. Jones , J.B.Jr. 1985. Soil testing and plant analysis : Guides to the fertilization of horticultural crop p.1-68.
8. Kabesh , M.O. , M.S. Saber , and M. Yousry. 1975. Effect of phosphate-dissolving bacteria and phosphatic fertilization on the P uptake by pea plants cultivated in calcareous soil. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 6:605-611.
9. Khan , J.A. , and R.M. Bhatnagar. 1977. Studies on solubilization of insoluble phosphates by microorganisms. I. Solubilization of Indian phosphate rocks by *Aspergilius niger*; and *Penicillium*; sp. Fertil. Technol. 14:329-333.

10. Khalafallah, M.A., M.S.M. Saber, and H.K. Abd-El-Maksoud. 1982. Influence of phosphate-dissolving bacteria on the efficiency of superphosphate in a calcareous soil cultivated with *Vicia faba*. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 145:455-459.

11. Khalafallah, M.A., M.S.M. Saber, and H.K. Abd-El-Maksoud. 1983. Effect of phosphate-dissolving bacteria on P-uptake by barley plants grown in a salt affected calcareous soil. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 146:545-550.

12. Konishi, S., S.Miyamoto, and T. Taki. 1985. Stimulatory effects of aluminium on tea plants grown under low and high phosphorus supply. Soil Sci. Plant Nutr. 31:361-368.

13. Marshall, K.C. 1975. Clay mineralogy in relation to survival of soil bacteria. Annu. Rev. Phytopathol. 13:357-373.

14. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3-soil test extractant : modification of Mehlich 2 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 15(2)1409-1416.

15. Paul, N.B., and W.V.B. Sundara Rao. 1971. Phosphate-dissolving bacteria in the rhizosphere of some cultivated legumes. Plant Soil 35:127-132.

16. Saber, M.S., A.G. El-Sherif., and A.Z. Osman. 1975. Studies on microbial fertilizers. III. Effect of phosphate and silicate dissolving bacteria on uptake of phosphorus and potassium from calcareous soil by *Sorghum helepensis*. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. 6:613-619.

17. Stotzky, G. 1986. Influence of soil mineral colloids on metabolic processes, growth, adhesion, and ecology of microbes and viruses. In P.M. Huang, and M. Schnitzer (eds.) Interation of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisc. USA.

18. Subba Rao, N.S. 1982. Biofertilizers in agriculture. Sunil Printers, New Delhi. p.128-136.

19. 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.

20. Yahya, A.I. and S.K. Al-Azawi. 1989. Occurrence of phosphate-solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant Soil 117:135-141.

21. 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.

討　　論

糖研所李松伍先生問:

採土壤樣品, 如何界定根圈與非根圈土壤?

茶葉改良場助理研究員張鳳屏答:

一般說根圈土壤是指離根系幾公分內的土壤, 我採的根圈土壤差不多在離一公分以內, 因爲茶樹有的根系非常的多, 從根系就可以把它振抖下來我們所要的。

中興大學植病系吳文川教授問:

1. *Bacillus*和*Pseudomonas* spp.應該分開來調查那一屬的細菌比較優勢?
2. *Bacilus*細菌從土壤分離而來的或*Clostridium*, 假若在anaerobically conditions的話很多研究病原細菌的人要多注意這一點!

茶葉改良場助理研究員張鳳屏答:

其實這一方面的菌種鑑定，是請食科所幫忙我們鑑定。

台大農化系楊盛行教授問:

土壤磷含量對溶磷菌之影響較大, 而土壤有機物對溶磷菌之數目影響較小, 但在PSB與OM之correlation爲0.38, 而與磷之爲0.19如何解釋?

茶葉改良場助理研究員張鳳屏答:

有效性磷測出和溶磷細菌菌落數關係, 因爲磷在一般土壤比較不均勻性, 所以磷在同樣的地點, 變異也非常的大, 我想這個影響的原因可能變異數比較小一點, 這個方面如果說, 溶出來高不高的話在營養方面來講用同位數來追蹤比較合理一點, 對它的吸收比較容易找的出來。

Ecological Survey of Phosphorus-Solubilizing Bacteria and Their Application in Tea Garden Soils

Feng-Ping Chang[1] and Chiu-Chung Young[2]

[1] Taiwan Tea Experiment Station

[2] Department of Soil Science, National Chung Hsing University

Abstract

Effect of season, soil sampling position, soil properties and fertilizer on phosphorus-solubilizing bacteria (PSB) population in tea rhizospheric soils were investigated. Based on date of a surface soil sampling(0-20 cm), the dominant PSB species were *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp..The PSB population density was higher in spring season than in winter season. This might be due to better soil temperature and moisture which resulted in better root activity. Population of P-solubilizing bacteria sp.(PSB) in rhizospheric soils of tea garden was apparently higher than that of non-rhizospheric soils. pH of rhizospheric soils was lower than that of non-rhizospheric soils, suggesting that the interaction between root-excreted acids and P-solubilizing bacteria may play an important role in the phenomena. Under the same soil management, the PSB number (based on the plate count) in the rhizopheric soils did not vary with varieties. Low or high application of fertilizers resulted in reducing the PSB number in soils. Appropriate application of chemcial and organic fertilizers benefited the increase of PSB population. PSB number was significantly correlated with soil organic matter content. Low soil pH (<3.8), inappropriate soil Ca (exchangeable, <50 mg/kg or >1, 000 mg/kg) and bad soil drainage with over dosage of fertilizers would lower down the PSB number in tea soils.

Effects of Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF) and Phosphorus-solubilizing bacteria(PSB) being inoculated in cultivated and uncultivated soils on tea cuttings grown in plastic bags were investigated. Uncultivated soils inoculated respectively with VAMF and PSB or both microorganisms had no promoting effects on the growth of tea cuttings of cvs. Chin-Hsin Oolong and TTES No.12. However, in tea cultivated soils inoculation of VAMF or PSB alone obviously enhanced seedling growth of cuttings, cv. TTES No.12. No similar effects were found in cv. Chin-Hsin Oolong. Additive effects on seedling growth of cvs. Chin-Hsin Oolong and TTES No.12. were obtained if both VAMF and PSB were inoculated simultaneously in tea cultivated soils.

Keywords: Phosphorus-solubilizing bacteria, Tea rhizospheric soils, Tea cuttings