

# 施用溶磷菌肥料對茶樹生長及製茶品質之影響 (第一年初報)

戴佳如<sup>1</sup> 林秀榮<sup>1,\*</sup> 林金池<sup>2</sup> 邱垂豐<sup>3</sup> 蔡憲宗<sup>1</sup>

## 摘要

國內目前微生物肥料在登記時得免附肥料效果試驗報告，且無訂定定量的微生物活性指標規範，使微生物肥料商品在田間施用時，常出現有效與無效兩極化反應，使得農民對微生物肥料缺乏信心。因此，本試驗以市售 2 種溶磷菌產品搭配化學肥料施用於土壤有效性磷含量為低、中、高之茶園，探討施用溶磷菌肥料對茶樹生長及製茶品質之影響。試驗結果顯示，施用兩種溶磷菌肥料後，雖然根圈與非根圈土壤之溶磷菌有效菌數都較施用前明顯增加，但在各處理間並沒有顯著性差異，施用溶磷菌肥料對茶菁產量和茶葉養分含量亦無顯著性差異，但在感官品評部分，低、中、高磷三個試驗區皆以施用菌劑 A 搭配施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦用量/低磷區施 0.75 倍磷推薦用量) 之處理最佳，可提升綠茶製茶品質，故依據土壤特性選用適合之微生物肥料才能有效提升茶葉品質。

**關鍵字：**茶、有效性磷、溶磷菌肥料

## 前言

磷是植物正常生長的必要大量元素之一，會影響許多主要代謝過程，如植物的細胞分裂和發育、能量傳遞、信號傳導、巨型分子的合成、光合作用和呼吸作用 (Shenoy and Kalagudi, 2005; Ahemad *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2009)。相較於其他主要養分，在大部分的土壤狀況中，磷最難移動且對植物的有效性最低 (Khan *et al.*, 2007)。土壤中磷的固定和沉澱通常與 pH 和土壤型態具有高度相關，因其在酸性土壤中磷主要被游離氧化物和鋁、鐵的氫氧化物所固定；而在鹼性土壤則是被鈣固定，導致可溶性磷肥的利用率很低 (Goldstein, 1986; Johns *et al.*, 1991)。由於土壤的固定作用，可溶性磷肥施入農田後大部分迅速轉變為作物難以吸收的無效磷，無法被植物直接吸收利用，導致作物施入磷肥的當季利用率僅為 5~25% (謝等, 2014)。而把土壤中的無效磷釋放出來對於提高土壤有效性磷含量和減少磷肥使用量具有重要意義 (Bashan *et al.*, 2013)，充分利用土壤中的溶磷微生物，為增進磷肥利用率的對策之一。

- 
1. 行政院農業委員會茶業改良場 助理研究員、副研究員、研究員兼茶作技術課課長。臺灣 桃園市。
  2. 行政院農業委員會茶業改良場 研究員兼產業服務課課長。臺灣 桃園市。
  3. 行政院農業委員會茶業改良場 研究員兼副場長。臺灣 桃園市。
- \* 通訊作者。

土壤微生物中，具有溶磷能力的微生物總稱為「溶磷微生物」(phosphate solubilizing microorganism) 或「溶磷菌」(phosphate solubilizing bacteria)，可將土壤中的無效性磷轉變為有效性磷，目前已知可溶解難溶性磷之微生物包括細菌、放線菌及真菌類，一般以細菌類最為常見 (楊，2011)。這些微生物除了供應可溶性磷給植物外，也對植物的生長有益，其作用機制如合成吲哚乙酸 (IAA)、激勃素 (gibberellins)、細胞分裂素 (cytokinins)、離層酸 (abscisic acid)、1-胺基環丙烷-1-羧酸脫氨酶 (1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase)、載鐵物質 (siderophores) 和氰化氫 (hydrogen cyanide) (Khan *et al.*, 2014)。

溶磷菌溶解難溶性磷酸鹽能力主要受菌株遺傳特性的影響，同時也與其生長的各種環境因素有關 (Zhao *et al.*, 2002)。當環境條件適宜時，微生物能進行正常的新陳代謝、生長繁殖。相反，當環境條件不太適宜時，微生物的代謝活動也會發生改變。國內目前微生物肥料登記時得免附肥料效果試驗報告，而微生物肥料商品在田間施用時，常出現有效與無效兩極化之反應，因此，為了解市售溶磷菌產品於茶園施用之效果，本試驗以市售2種不同劑型的溶磷菌產品施用於土壤有效性磷含量為低、中、高之茶園，探討施用溶磷菌對茶樹生長及製茶品質之影響。

## 材料與方法

### 一、試驗地點基本資料

1. 低磷區：茶樹品種為臺茶 20 號，桃園市楊梅區本場茶園 (二圃)。
2. 中磷區：茶樹品種為臺茶 20 號，桃園市楊梅區本場茶園 (新七圃)。
3. 高磷區：茶樹品種為臺茶 12 號，桃園市楊梅區本場茶園 (二圃)。

### 二、溶磷菌肥料種類

1. 菌劑 A：液狀，*Bacillus licheniformis* (地衣芽孢桿菌)，溶磷菌有效活菌數為  $1 \times 10^9$  CFU/公克 (產品包裝標示)，全氮 1.0%、全磷酐 0.5%、全氧化鉀 0.5%。
2. 菌劑 B：粒狀，*Bacillus licheniformis* (地衣芽孢桿菌)，溶磷菌有效活菌數為  $1 \times 10^8$  CFU/公克 (產品包裝標示)，全氮 2.1%、全磷酐 5.1%、全氧化鉀 5.1%。
3. 菌劑 A 基質：將菌劑 A 經滅菌釜高壓滅菌 ( $121^\circ\text{C}$ ，20min，冷卻，再滅菌，共滅菌 3 次)，確認樣品達到滅菌要求後，供試驗用。
4. 菌劑 B 基質：將菌劑 B 經滅菌釜高壓滅菌 ( $121^\circ\text{C}$ ，20min，冷卻，再滅菌，共滅菌 3 次)，確認樣品達到滅菌要求後，供試驗用。

### 三、試驗設計處理

1. 處理一：菌劑 A + 施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦量/低磷區施 0.75 倍磷推薦量)
2. 處理二：菌劑 B + 施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦量/低磷區施 0.75 倍磷推薦量)
3. 處理三：菌劑 A (滅菌) + 施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦量/低磷區施 0.75 倍磷推薦量)
4. 處理四：菌劑 B (滅菌) + 施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦量/低磷區施 0.75 倍磷推薦量)
5. 處理五：施肥 (氮、鉀依推薦用量施用，高磷區不施磷肥/中磷區施 0.5 倍磷推薦量/低磷區施 0.75 倍磷推薦量)

6. 處理六：不施磷肥 (氮、鉀依推薦用量施用)  
每處理各 4 重複，每一重複之試區大小為 30m<sup>2</sup>。

#### 四、化學肥料及溶磷菌肥料施用量與施用方式

1. 依據茶園推薦施肥手冊 (張, 1999) 做為施肥之推薦用量，肥料種類為硫酸銨、硫酸鉀和磷酸一銨。
2. 溶磷菌肥料之施用量及施用時期如下：
  - (1) 菌劑 A (液狀)：每分地施用 670 毫升原液，原液稀釋 800 倍，澆灌於茶樹兩側，距離主幹 30-40 公分處。
  - (2) 菌劑 B (粒狀)：根據產品推薦用量每分地 20 公斤換算每試區之施用量，均勻撒施於茶樹兩側，距離主幹 30-40 公分處。
  - (3) 本試驗茶園並無設置灌溉系統，茶園灌溉主要來自降雨。
  - (4) 溶磷菌施用時期及春茶採收時間如下：

	菌劑 A			菌劑 B	
	施用時間		春茶採 收日期	施用時間 一次	春茶採 收日期
	第一次	第二次			
低磷區	2017.03.01	2017.03.30	2017.04.25	2017.03.01	2017.04.25
中磷區	2017.03.01	2017.03.30	2017.04.19	2017.03.01	2017.04.19
高磷區	2017.03.02	2017.03.30	2017.04.10	2017.03.02	2017.04.10

#### 五、試驗期間氣象紀錄：

	2 月			3 月			4 月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
氣溫℃									
旬平均	14.9	16.2	13.9	14.9	16.6	17.9	21	22.2	19.7
降水量 mm									
旬總計 (10 天)	5	2.5	103.5	75	53.5	75.5	13.5	54	60

資料來源：交通部中央氣象局農業氣象旬報，氣象站站名為茶業改良場。

#### 六、採樣及分析方法

##### (一) 土壤根圈與非根圈土之採樣：

1. 根圈土：採集茶樹樹冠下方位於土壤深度 0-10 公分處之茶樹細根，收集附著於細根上之土壤。
2. 非根圈土：採集茶樹行間 0-10 公分深之表土土壤。
3. 採樣時間：為施用溶磷菌肥料之前一天及春茶採收前一天。
4. 保存：將採集好的根圈土與非根圈土放置 4℃ 冰箱冷藏，並於三天內完成分析。

##### (二) 土壤性質分析

1. 酸鹼度：以酸鹼度計 (WTW inoLab pH720) 測定，水土比為 1:1 (McLean, 1982)。

2. 導電度：以導電度計 (SUNTEX SC-2300) 測定，水土比為 1:1。
  3. 有機質含量：高溫灰化法 (Ben-Dor and Banin, 1989)。
  4. 磷、鉀、鈣、鎂：以孟立克 3 號萃取法 (Mehlich, 1984) 萃取，以 ICP (Perkin Elmer Optima 2000) 測定之。
- (三) 茶葉養分分析：茶乾以硫酸分解法分解後進行分析，全氮以氮自動分析儀 (ASTORIA AAS-307) 測定之，磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅和鋁以 ICP 測定之。
- (四) 溶磷菌有效菌數分析：培養基配方如下

溶磷菌培養基	g/L
葡萄糖 (Glucose)	10
硫酸銨 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5
氯化鈉 (NaCl)	0.2
氯化鉀 (KCl)	0.02
硫酸鎂 (MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O)	0.1
硫酸錳 (MnSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O) <sup>(1)</sup>	0.002
硫酸亞鐵 (FeSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O) <sup>(1)</sup>	0.002
酵母抽出物 (Yeast extract)	0.5
瓊脂 (agar)	15
磷酸鐵 (FePO <sub>4</sub> ) <sup>(2)</sup>	
Bromophenol blue	0.015
純水	加至 1,000mL

調整 pH 值至 (6.5 ± 0.1) 後，再於 121°C 下滅菌 15 分鐘。

註<sup>(1)</sup> 秤取 100 mg 硫酸亞鐵或硫酸錳，溶入蒸餾水中，添加蒸餾水至 100mL，配成母液。使用時，每公升培養基中加入量為 1 mL。

註<sup>(2)</sup> 添加 5.0 g/L 磷酸鐵 (FePO<sub>4</sub>)。磷酸鐵應與瓊脂分開殺菌後，再合併使用，以避免瓊脂在高溫殺菌時水解而失去凝固力。

七、統計分析方法：以 SAS Enterprise Guide 7.1 統計分析軟體進行 Fisher 的最小顯著差異法檢定。

## 結果與討論

### 一、施用市售溶磷菌肥料對土壤溶磷菌有效菌數之影響

本研究選擇低、中、高磷土壤進行田間試驗，探討土壤有效性磷含量之高低對溶磷菌施用效果之影響，試驗前土壤基本性質分析如表一，低磷區之有效性磷含量為 13.4~27.9 mg/kg，平均為 20.4 mg/kg；中磷區之有效性磷含量為 64.3~112.3 mg/kg，平均為 90.0 mg/kg；高磷區之有效性磷含量為 107.1~299.5 mg/kg，平均為 224.4 mg/kg。溶磷菌溶解難溶性磷酸鹽的能力，主要受菌株本身特性的影響，也與培養條件有關，培養基中的碳源、氮源、無機鹽等都是影響溶磷菌溶解難溶性磷酸鹽能力的因素 (馮等, 2009)。溴酚藍為酸鹼指示劑，低於 pH3.0 時為黃色，高於 pH4.6 時為藍色，因溶磷菌會釋放有機酸造成 pH 下降，使難溶性磷酸鹽溶解，因而在菌落的周圍會產生黃色的暈圈，

因此，在溶磷菌培養基配方中添加溴酚藍，可使之便於觀察 (Gupta *et al.*, 1994)。本研究並無追蹤施用到土壤中之該溶磷菌消長情形，僅探討施用溶磷菌後，對土壤溶磷微生物消長情形進行討論，因此，僅測定土壤溶磷有效菌數。

土壤溶磷微生物的種類繁多，不同土壤類型、不同作物根圈等條件下，溶磷微生物分布均有所不同 (孫等, 2016)，茶園根圈土壤溶磷細菌主要為假單孢菌屬 (*Pseudomonas*) 及芽孢桿菌屬 (*Bacillus*) (張, 1991; Sood *et al.*, 2008)。本研究使用之溶磷菌肥料共 2 種，兩者之菌株相同，皆為 *Bacillus licheniformis*，惟製成的劑型及養分含量不同，菌劑 A 為液狀，作為追肥使用，每四週施用一次，於第一次施用後四週，採樣進行溶磷菌有效菌數分析，再施用第二次，然後於春茶採收後採樣分析。菌劑 B 為粒狀，養分含量較高，做為基肥使用，僅施用一次，於春茶採收後採樣。有些微生物肥料之養分含量較高，為釐清此類肥料之效用是因為溶磷菌之效果或是養分供應所造成，因此，處理三和處理四為將菌劑 A 和菌劑 B 分別滅菌後再施用。

茶樹適合生長在酸性土壤，因此，本試驗使用之溶磷菌配方為測定溶鐵磷菌。低、中、高磷試區各處理之根圈與非根圈土壤溶鐵磷菌有效菌數分析結果如表二至表四所示，施用兩種溶磷菌肥料後，雖然根圈與非根圈土壤之溶鐵磷菌有效菌數都較施用前明顯增加，但在各處理間並沒有顯著性差異。溶磷菌施入土壤之作物根圈後，很難長期維持高的菌數，因為溶磷菌在土壤有相生相剋之現象或被捕食之問題 (楊, 2011)，而且土壤中有數種溶磷菌，通常它們的數量並沒有高到足以和已建立在根圈的其他微生物相抗衡 (Rodríguez and Fraga, 1999)，這可能是造成處理間溶磷菌之有效菌數沒有顯著性差異之原因。

## 二、施用溶磷菌肥料對茶樹生長之影響

低、中、高磷三個試區之茶樹品種、樹齡及樹勢強弱皆不同，導致三個試區之茶菁產量差異大，因此，僅就同一試區不同處理進行比較，結果顯示各處理間之茶菁產量並無顯著性差異 (表五)，此與張和楊 (1999) 之試驗結果相同，有無施用溶磷菌對茶菁產量無明顯差異。氮為決定茶菁產量高低的主要因素，磷、鉀對茶菁產量的影響不甚明顯 (吳, 1997)。三個試區之茶葉養分分析結果如表六~表八所示，低、中、高磷試區不同處理間各養分含量並無顯著性差異。各處理之茶葉磷含量並無顯著性差異，且都在適宜範圍內 (張, 1999)，此結果與 Salehi and Hajiboland (2008) 之結論相同，該研究指出茶樹是對磷缺乏有極高耐受性的物種，其體內對磷的利用效率會隨著外部磷供應的減少而強烈的增加。

## 三、施用溶磷菌肥料對製茶品質之影響

在製茶品質部分，將不同試驗處理之茶菁製成綠茶，進行感官品評，並以等級排序，結果如表九所示，施用菌劑 A (處理一) 的茶湯滋味濃稠、甘醇，排序為第一名，在低、中、高磷試區皆有相同趨勢；施用菌劑 A 基質 (處理三) 之感官品評在中、高磷區排序為第二，在低磷區排序為第三，顯示施用菌劑 A 對製成綠茶品質有促進效果，而即使施用滅菌後之菌劑 A 肥料，其感官品評排序仍優於不施溶磷菌之處理 (處理五、六)，顯示菌劑 A 肥料中的載體或代謝產物對製成綠茶品質具有提升之效果；施用菌劑 B (處理二) 的茶湯滋味苦、澀，在中、高磷試區之排序僅優於處理四，而在低磷區之排名則為第二名，施用菌劑 B 基質 (處理四) 之感官品評在中、高磷區排名皆為最後一名，在低磷區排名為第四，顯示施用菌劑 B 相較於施用菌劑 B 基質佳，但在中、高磷區施用菌劑 B 之表現比不施溶磷菌之處理 (處理五、六) 差，反而對品質具有負面效果，而在低磷區之感官品評則優於不施溶磷菌之處理。菌劑 A 適用於低、中、高磷試區，且對茶葉品質有提升效果，而菌劑 B 僅適用低磷試區，因此，微生物肥料的施用會影響茶葉的品質，且需視土壤肥力狀態、微生物肥料的種類選擇合適之商品。

## 結 論

不同溶磷菌產品及施用方式對茶葉品質影響不一，本試驗以菌劑 A 搭配化學肥料施用，在春茶生長期間澆灌稀釋液兩次，對綠茶品質有提升效果，亦可降低磷肥施用量 25~50%。溶磷菌肥料施用到土壤後，須維持高菌數以達到顯著的功能，故施用一段時間後，要再進行追施，且施用位置要在茶樹根圈範圍內才會有明顯效果。因此，若茶園有設置滴灌系統，亦可搭配滴灌系統施用，以降低人力成本。另外，市面上之溶磷菌肥料所使用之菌株不盡相同，且劑型（如粉狀、粒狀、液態）及養分含量亦不同，施用方式亦會有所差異。因此，需選擇合適之微生物肥料才能有助於茶葉品質之提升，進而提升茶農之收益並降低磷肥的投入。

## 參考文獻

1. 吳振鐸. 1997. 臺灣茶園土壤及茶樹需肥情形報告。吳振鐸茶學研究論文選集. 臺北市：科學農業出版社。
2. 孫合美、王春紅、盧冬雪、劉晶晶、岳勝天、楊美英. 2016. 土壤溶磷微生物及其對植物促生作用研究進展. 河南農業科學 45(5): 1-6。
3. 張鳳屏. 1994. 茶園土壤管理對溶磷細菌之影響. 臺灣茶業研究彙報 13: 61-69。
4. 張鳳屏、楊秋忠. 1999. 磷肥及溶磷細菌對茶葉磷素吸收與茶葉品質之研究. 土壤與環境 2(1): 35-44。
5. 馮瑞章、姚拓、周萬海、龍瑞軍. 2009. 不同生存環境和磷酸鹽對 4 株溶磷菌溶磷能力的影響. 應用與環境生物學報 15(6): 856-860。
6. 楊秋忠. 2011. 微生物的肥料-溶磷菌的應用與要領. 苗栗區農業專訊 53: 3-5。
7. 謝亞萍、李愛榮、閔志. 2014. 不同供磷水平對胡麻磷素養分轉運分配及其磷肥效率的影響. 草業學報 23(1): 158-166。
8. Ahemad, M., Zaidi, A., Khan, M. S. and Oves, M. 2009. Biological importance of phosphorus and phosphate solubilizing microorganisms—an overview. In: M. S. Khan and A. Zaidi (Eds). "Phosphate solubilizing microbes for crop improvement". Nova, New York, pp. 1-4.
9. Bashan, Y., Kamnev, A. A. and de-Bashan, L. E. 2013. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: A proposal for an alternative procedure. Biol. Fertil. Soils. 49(4): 465-479.
10. Ben-Dor, E. and Banin, A. 1989. Determination of Organic Matter Content in Arid Zone Soils Using a Simple "Loss-on-Ignition" Method. Commun. Soil Sci. Plant anal. 20: 1675-1695.
11. Goldstein, A. H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. Am. J. Altern. Agric. 1: 51-57.
12. Gupta, R., Singal, R., Sankar, A., Chander, R. M. and Kumar R. S. 1994. A modified plate assay for screening phosphate solubilizing microorganisms. J. Gen. Appl. Microbiol. 40: 255-60.
13. Rodríguez, H. and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. 17: 319-339.
14. Jones, D. A., Smith, B. F. L., Wilson, M. J. and Goodman, B. A. 1991. Solubilizer fungi of phosphate

- in rice soil. Mycol. Res. 95: 1090–1093.
15. Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – A review. Agron. Sustain. Dev. 27: 29-43.
  16. Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A., Ahemad, M. and Oves, M. 2009. Functional diversity among plant growth-promoting rhizobacteria. In: M. S. Khan, A. Zaidi, J. Musarrat (Eds) “Microbial strategies for crop improvement”. Springer, Berlin, pp. 105–132.
  17. McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In A. L. Page et al. (Eds). “Methods of soil Analysis”. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
  18. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 Soil Test Extractant: A Modification of Mehlich 2 Extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15(12): 1409–1416.
  19. Salehi, S. Y. and Hajiboland, R. 2008. A high internal phosphorus use efficiency in tea (*Camellia sinensis* L.) plants. Asian Journal of Plant Sciences 7(1): 30-36.
  20. Shenoy, V. V. and Kalagudi, G. M. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. Biotechnol. Adv. 23: 501–513.
  21. Sood, A., Sharma, S., Kumar, V. and Thakur, R. L. 2008. Established and abandoned tea (*Camellia sinensis*) rhizosphere: dominant bacteria and their antagonism. Polish journal of Microbiology. 57(1): 71-76.
  22. Zhao, X. R., Lin, M. Q., Li, B. G. 2002. Effect of C, N sources and C/N ratio on the solubilization of rock phosphate by some microorganisms. Plant Nutr & Fertil Sci. 8 (2): 197-204.

表一、試驗前土壤基本性質

Table 1 Soil properties before experiment

	pH (1:1)	EC(1:1)	OM	Available P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
		dS m <sup>-1</sup>	%	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
<b>低磷區</b>							
處理一	3.8±0.1	0.44±0.22	3.5±0.46	26.9±36.3	92.1±21.4	141±18	12.3±3.2
處理二	4.1±0.3	0.30±0.11	3.4±0.24	21.9±1.4	96.1±7.5	176±102	14.1±6.6
處理三	4.1±0.2	0.24±0.07	3.4±0.47	13.4±11.6	74.4±20.3	112±41	9.0±1.4
處理四	3.9±0.1	0.38±0.03	2.9±0.85	12.7±10.3	91.9±15.2	120±45	8.9±2.5
處理五	4.2±0.2	0.21±0.08	3.5±1.1	27.9±22.5	84.8±12.8	146±8	13.0±2.8
處理六	4.1±0.2	0.29±0.11	3.4±0.65	19.5±22.5	91.1±8.2	179±36	16.3±6.3
<b>中磷區</b>							
處理一	4.1±0.2	0.60±0.32	4.0±1.1	81.2±58.5	166±45	427±152	29.6±10.8
處理二	4.1±0.1	0.62±0.21	4.5±0.8	112±37.2	189±26	497±88	35.2±6.8
處理三	4.1±0.1	0.75±0.18	4.4±0.4	105±31.6	191±18	537±58	35.8±3.0
處理四	4.1±0.2	0.64±0.35	4.7±1.0	64.3±53.2	139±31	404±147	27.2±9.3
處理五	4.1±0.2	0.75±0.29	5.7±0.9	92.4±66.8	167±40	535±365	35.7±21.4
處理六	4.1±0.03	0.74±0.50	5.1±1.3	84.7±64.0	150±40	482±353	34.4±23.4
<b>高磷區</b>							
處理一	3.7±0.2	0.31±0.21	5.2±0.2	107±66	111±30	218±105	15.8±6.4
處理二	3.6±0.4	0.63±0.41	6.3±0.7	291±86	164±56	233±162	16.7±6.5
處理三	3.9±0.4	0.32±0.24	5.8±1.5	184±209	116±41	241±175	18.7±9.0
處理四	3.9±0.3	0.59±0.64	5.4±2.0	240±195.3	135±74	337±189	20.5±8.0
處理五	3.8±0.2	0.62±0.40	5.5±1.3	300±161	134±39	195±80	15.9±4.3

Treatment 1: PSB\_A with fertilization (N and K were applied according to the recommended rates; high phosphorus area with no phosphate fertilizer/medium phosphorus area with 0.5 times P recommended rate/low phosphorus area with 0.75 times P recommended rate)

Treatment 2: PSB\_B with fertilization (the same as treatment 1)

Treatment 3: sterilized PSB\_A with fertilization (the same as treatment 1)

Treatment 4: sterilized PSB\_B with fertilization (the same as treatment 1)

Treatment 5: fertilization (the same as treatment 1)

Treatment 6: no phosphorus (N and K were applied according to the recommended rates)

表二、低磷區根圈與非根圈之溶鐵磷菌有效菌數

Table 2 Viable ferrous-phosphate solubilizing bacteria of rhizosphere and non-rhizosphere soils in tea field with low available phosphorous content

單位：× 10<sup>4</sup> CFU / g 乾土

	試驗前		施用後四週		春茶採收	
	根圈	非根圈	根圈	非根圈	根圈	非根圈
處理一	16.5 <sup>a</sup>	13.8 <sup>a</sup>	128.2 <sup>a</sup>	93.8 <sup>a</sup>	135.4 <sup>ab</sup>	43.5 <sup>a</sup>
處理二	18.6 <sup>a</sup>	16.9 <sup>a</sup>	114.0 <sup>a</sup>	85.5 <sup>a</sup>	94.8 <sup>ab</sup>	29.3 <sup>a</sup>
處理三	12.1 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	139.9 <sup>a</sup>	98.9 <sup>a</sup>	88.8 <sup>ab</sup>	43.3 <sup>a</sup>
處理四	14.4 <sup>a</sup>	12.1 <sup>a</sup>	127.4 <sup>a</sup>	148.6 <sup>a</sup>	175.2 <sup>a</sup>	41.8 <sup>a</sup>
處理五	20.1 <sup>a</sup>	9.8 <sup>a</sup>	108.7 <sup>a</sup>	145.5 <sup>a</sup>	61.8 <sup>b</sup>	50.0 <sup>a</sup>
處理六	19.1 <sup>a</sup>	10.7 <sup>a</sup>	162.6 <sup>a</sup>	94.5 <sup>a</sup>	157.4 <sup>ab</sup>	85.7 <sup>a</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表三、中磷區根圈與非根圈之溶鐵磷菌有效菌數

Table 3 Viable ferrous-phosphate solubilizing bacteria of rhizosphere and non-rhizosphere soils in tea field with medium available phosphorous content

單位：× 10<sup>4</sup> CFU / g 乾土

	試驗前		施用後四週		春茶採收	
	根圈	非根圈	根圈	非根圈	根圈	非根圈
處理一	17.8 <sup>a</sup>	17.3 <sup>ab</sup>	83.8 <sup>c</sup>	108.3 <sup>bc</sup>	118.5 <sup>a</sup>	73.9 <sup>a</sup>
處理二	16.6 <sup>a</sup>	12.2 <sup>bc</sup>	112.4 <sup>bc</sup>	175.6 <sup>ab</sup>	87.1 <sup>ab</sup>	26.9 <sup>ab</sup>
處理三	16.8 <sup>a</sup>	11.7 <sup>bc</sup>	217.6 <sup>a</sup>	143.2 <sup>abc</sup>	95.3 <sup>a</sup>	43.2 <sup>ab</sup>
處理四	17.0 <sup>a</sup>	19.7 <sup>a</sup>	142.8 <sup>bc</sup>	71.3 <sup>c</sup>	119.3 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>
處理五	22.4 <sup>a</sup>	11.5 <sup>bc</sup>	154.9 <sup>ab</sup>	131.0 <sup>bc</sup>	34.0 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>
處理六	19.9 <sup>a</sup>	9.8 <sup>c</sup>	173.2 <sup>ab</sup>	219.2 <sup>a</sup>	86.6 <sup>ab</sup>	52.1 <sup>ab</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表四、高磷區根圈與非根圈之溶鐵磷菌有效菌數

Table 4 Viable ferrous-phosphate solubilizing bacteria of rhizosphere and non-rhizosphere soils in tea field with high available phosphorous content

單位：× 10<sup>4</sup> CFU / g 乾土

	試驗前		施用後四週		春茶採收	
	根圈	非根圈	根圈	非根圈	根圈	非根圈
處理一	28.4 <sup>a</sup>	16.5 <sup>b</sup>	161.0 <sup>a</sup>	119.1 <sup>a</sup>	138.9 <sup>a</sup>	35.4 <sup>b</sup>
處理二	21.3 <sup>a</sup>	22.3 <sup>ab</sup>	83.9 <sup>c</sup>	113.4 <sup>a</sup>	104.1 <sup>a</sup>	65.1 <sup>ab</sup>
處理三	22.7 <sup>a</sup>	15.6 <sup>b</sup>	145.3 <sup>ab</sup>	150.6 <sup>a</sup>	126.0 <sup>a</sup>	55.7 <sup>b</sup>
處理四	28.9 <sup>a</sup>	23.4 <sup>ab</sup>	138.3 <sup>ab</sup>	108.8 <sup>a</sup>	103.4 <sup>a</sup>	66.0 <sup>ab</sup>
處理五	22.5 <sup>a</sup>	28.1 <sup>a</sup>	97.3 <sup>bc</sup>	123.3 <sup>a</sup>	93.4 <sup>a</sup>	108.8 <sup>a</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表五、不同試驗區之茶菁產量

Table 5 Yield of fresh tea leaves in three experimental areas

	低磷區	中磷區	高磷區
	----- g / 30 m <sup>2</sup> -----		
處理一	2407 <sup>ab</sup>	6078 <sup>ab</sup>	1921 <sup>a</sup>
處理二	2424 <sup>ab</sup>	5674 <sup>b</sup>	1865 <sup>a</sup>
處理三	2693 <sup>a</sup>	6003 <sup>ab</sup>	1723 <sup>a</sup>
處理四	2581 <sup>ab</sup>	6021 <sup>ab</sup>	1718 <sup>a</sup>
處理五	2034 <sup>b</sup>	6894 <sup>a</sup>	1938 <sup>a</sup>
處理六	2888 <sup>a</sup>	6226 <sup>ab</sup>	-

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表六、低磷區處理之茶葉養分含量

Table 6 Nutrient content of tea in tea field with low available phosphorous content

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
	-----mg g <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
處理一	33.8 <sup>a</sup>	3.09 <sup>a</sup>	10.4 <sup>ab</sup>	2.60 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>	104.5 <sup>a</sup>	580.5 <sup>a</sup>	7.20 <sup>a</sup>	22.8 <sup>a</sup>	353.6 <sup>a</sup>
處理二	33.8 <sup>a</sup>	3.07 <sup>a</sup>	10.3 <sup>ab</sup>	2.75 <sup>a</sup>	1.59 <sup>a</sup>	96.7 <sup>a</sup>	567.7 <sup>a</sup>	7.18 <sup>a</sup>	22.2 <sup>a</sup>	357.7 <sup>a</sup>
處理三	34.0 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	2.70 <sup>a</sup>	1.57 <sup>a</sup>	120.2 <sup>a</sup>	595.2 <sup>a</sup>	7.37 <sup>a</sup>	22.5 <sup>a</sup>	347.9 <sup>a</sup>
處理四	33.6 <sup>a</sup>	3.04 <sup>a</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	2.63 <sup>a</sup>	1.51 <sup>a</sup>	128.5 <sup>a</sup>	652.1 <sup>a</sup>	7.17 <sup>a</sup>	21.3 <sup>a</sup>	360.5 <sup>a</sup>
處理五	34.3 <sup>a</sup>	3.06 <sup>a</sup>	10.6 <sup>a</sup>	2.62 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	128.2 <sup>a</sup>	600.8 <sup>a</sup>	6.85 <sup>a</sup>	21.1 <sup>a</sup>	342.4 <sup>a</sup>
處理六	34.8 <sup>a</sup>	2.99 <sup>a</sup>	10.0 <sup>b</sup>	2.69 <sup>a</sup>	1.51 <sup>a</sup>	113.9 <sup>a</sup>	557.0 <sup>a</sup>	6.74 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	332.9 <sup>a</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表七、中磷區處理之茶葉養分含量

Table 7 Nutrient content of tea in tea field with medium available phosphorous content

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
	-----mg g <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
處理一	32.2 <sup>b</sup>	3.64 <sup>c</sup>	10.2 <sup>b</sup>	2.55 <sup>bc</sup>	1.47 <sup>c</sup>	163.7 <sup>a</sup>	594.5 <sup>a</sup>	6.50 <sup>ab</sup>	21.2 <sup>a</sup>	259.9 <sup>a</sup>
處理二	36.4 <sup>b</sup>	3.75 <sup>bc</sup>	10.5 <sup>b</sup>	2.53 <sup>bc</sup>	1.53 <sup>bc</sup>	119.6 <sup>ab</sup>	664.7 <sup>a</sup>	6.78 <sup>a</sup>	21.9 <sup>a</sup>	261.3 <sup>a</sup>
處理三	42.0 <sup>a</sup>	3.86 <sup>ab</sup>	11.0 <sup>a</sup>	2.70 <sup>ab</sup>	1.59 <sup>ab</sup>	75.9 <sup>b</sup>	631.2 <sup>a</sup>	6.43 <sup>ab</sup>	21.6 <sup>a</sup>	267.3 <sup>a</sup>
處理四	43.6 <sup>a</sup>	3.91 <sup>a</sup>	11.3 <sup>a</sup>	2.89 <sup>a</sup>	1.61 <sup>a</sup>	78.5 <sup>b</sup>	600.3 <sup>a</sup>	6.22 <sup>ab</sup>	21.5 <sup>a</sup>	257.8 <sup>a</sup>
處理五	33.3 <sup>b</sup>	3.66 <sup>c</sup>	10.4 <sup>b</sup>	2.41 <sup>c</sup>	1.45 <sup>c</sup>	129.7 <sup>ab</sup>	606.5 <sup>a</sup>	6.27 <sup>ab</sup>	21.7 <sup>a</sup>	252.9 <sup>a</sup>
處理六	32.5 <sup>b</sup>	3.64 <sup>c</sup>	10.3 <sup>b</sup>	2.48 <sup>bc</sup>	1.49 <sup>c</sup>	105.1 <sup>ab</sup>	597.8 <sup>a</sup>	5.97 <sup>b</sup>	21.4 <sup>a</sup>	275.0 <sup>a</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表八、高磷區處理之茶葉養分含量

Table 8 Nutrient content of tea in tea field with high available phosphorous content

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
	-----mg g <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
處理一	27.8 <sup>a</sup>	3.02 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	3.74 <sup>a</sup>	1.34 <sup>b</sup>	135.6 <sup>a</sup>	1232 <sup>a</sup>	11.4 <sup>a</sup>	19.3 <sup>a</sup>	417.0 <sup>a</sup>
處理二	27.6 <sup>a</sup>	3.05 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	3.80 <sup>a</sup>	1.39 <sup>ab</sup>	136.4 <sup>a</sup>	1223 <sup>a</sup>	10.4 <sup>b</sup>	18.6 <sup>a</sup>	398.8 <sup>a</sup>
處理三	26.6 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>	11.4 <sup>a</sup>	3.87 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>	121.5 <sup>a</sup>	1246 <sup>a</sup>	10.7 <sup>ab</sup>	18.8 <sup>a</sup>	401.0 <sup>a</sup>
處理四	26.5 <sup>a</sup>	3.10 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	3.85 <sup>a</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	114.6 <sup>a</sup>	1230 <sup>a</sup>	10.6 <sup>ab</sup>	18.5 <sup>a</sup>	406.3 <sup>a</sup>
處理五	27.1 <sup>a</sup>	3.14 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	3.61 <sup>a</sup>	1.35 <sup>b</sup>	127.0 <sup>a</sup>	1113 <sup>b</sup>	10.3 <sup>b</sup>	18.2 <sup>a</sup>	377.3 <sup>a</sup>

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's least significant difference (LSD) test.

表九、不同試驗處理之茶菁製成綠茶後之感官品評等級排序及評語

Table 9 Green tea sensory evaluation ranking and comments in different experimental treatments

處理	低磷區		中磷區		高磷區	
	等級 排序	評語	等級 排序	評語	等級 排序	評語
一	1	滋味濃稠、甘醇， 香氣下沉。	1	滋味濃稠、甘醇。	1	滋味濃稠、甘醇。
二	2	香氣揚、滋味甘 醇。	5	滋味淡、澀。	4	菁、苦、澀。
三	3	香氣為六處理中 最香，滋味微菁苦 澀。	2	濃稠度提升。	2	微菁、苦、澀。
四	4	微菁苦澀。	6	菁、苦、澀。	5	菁、苦、澀明顯。
五	6	欠活性、澀感明 顯、滋味淡。	3	滋味淡、菁澀味 明顯。	3	清香、滋味淡、 乾淨、微菁澀。
六	5	微澀、滋味淡。	4	清香、滋味淡。		—

# Effects of Phosphate-solubilizing Bacteria Fertilizers on Tea Plant Growth and Tea Quality (Report of 1<sup>st</sup> Year)

Jia-Ru Dai<sup>1</sup> Shiou-Ruei Lin<sup>1,\*</sup> Jin-Chih Lin<sup>2</sup> Chui-Feng Chiu<sup>3</sup>  
Hsien-Tsung Tsai<sup>1</sup>

## Summary

In Taiwan, it is not requested to submit an experiment report of fertilizer effect whenever application for registration of microbial fertilizer. Furthermore, there is no regulation for the quantitative test of activity indicators. All of these factors could explain why both of effective and non-effective responses resulted from field trials. This contradictory response has made farmers lose their confidence for the microbial fertilizers. Therefore, in this study, two commercial phosphorus-solubilizing bacteria fertilizer products were selected for this study, applied to tea fields with low, medium, and high available phosphorus levels and the effects of phosphate-solubilizing bacteria fertilizers with reduced phosphate fertilizer on tea plant growth and quality were investigated. Results showed that after using two commercial phosphate solubilizing bacteria fertilizers, population of phosphate solubilizing bacteria of rhizosphere and non-rhizosphere soils were both higher than those before application but there were no significant difference among treatments. There were of no effect on the yields of tea leaves and nutrients content of tea with phosphate solubilizing fertilizers. For sensory evaluation, the treatment 1 was the best consistently in the three different levels of soil available phosphate experimental areas, which means to promote green tea quality. Therefore, the selection of a suitable microbial fertilizer based on soil properties can effectively improve tea quality.

**Key words:** Tea, Available phosphorous, Phosphorus-solubilizing bacteria fertilizer

---

1. Assistant Researcher, Associate Researcher, Chief of Tea Agronomy Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

2. Chief of Industry Service Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

3. Researcher and deputy director, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

\* Corresponding author

