

溶磷菌肥料在茶樹之肥 (功) 效評估及驗證

戴佳如^{1,*}、林秀榮²、林金池³、邱垂豐⁴、蔡憲宗⁵

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，本試驗目的為 (1) 以市售 2 種溶磷菌肥料 (菌種為 *Bacillus amyloliquefaciens* 和 *Bacillus subtilis*) 搭配化學肥料並減量施用，(2) 以市售 1 種溶磷菌肥料 (菌種：*Bacillus licheniformis*) 搭配化學肥料和有機質肥料並減量施用，探討其對茶樹生長及製茶品質之影響，以建立田間驗證評估模式。試驗結果顯示，施用兩種溶磷菌肥料後，在各處理間之溶磷菌有效菌數並沒有顯著性差異；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，以處理四 (1/2 化學肥料推薦量+菌劑二) 之茶湯滋味表現最佳，排序為第一名。在搭配化學肥料和有機質肥料施用部分，肥料種類對製茶品質之影響大於施用溶磷菌肥料之影響。

關鍵字：茶、溶磷菌肥料、感官品評

前言

茶樹是臺灣重要的葉用經濟作物，多年生木本，年採收 2-5 次，適合生長在 pH 4.0-5.5 的酸性土壤，營養需求以氮素最高，磷鉀次之，成木茶園之施肥推薦用

* 通訊作者：tres620@ttes.gov.tw

¹ 行政院農業委員會茶業改良場 助理研究員。臺灣 桃園市。

² 行政院農業委員會茶業改良場 副研究員。臺灣 桃園市。

³ 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。

⁴ 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。

⁵ 行政院農業委員會茶業改良場 研究員兼茶作技術課課長。臺灣 桃園市。

量為氮-磷鉀-氧化鉀 450-160-160 公斤/公頃/年。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。

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 (楊秋忠 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)。

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 種溶磷菌產品施用於茶園，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、溶磷菌施用於茶園之肥(功)效評估試驗

1. 試驗茶樹品種：臺茶 17 號；桃園市楊梅區。

2. 溶磷菌肥料：

(1) 菌劑一：液態，菌種為 *Bacillus amyloliquefaciens*。

(2) 菌劑二：粉劑，菌種為 *Bacillus subtilis*。

(3) 菌劑一基質：將菌劑一經滅菌釜高壓滅菌 (121°C，20 min，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) 菌劑二基質：將菌劑一經滅菌釜高壓滅菌 (121°C，20 min，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。

3. 試驗設計處理：

處理一：全量化學肥料推薦量

處理二：1/2 化學肥料推薦量

處理三：1/2 化學肥料推薦量+菌劑一

處理四：1/2 化學肥料推薦量+菌劑二

處理五：1/2 化學肥料推薦量+菌劑一基質

處理六：1/2 化學肥料推薦量+菌劑二基質

處理七：完全不施肥

處理八：依據菌劑一基質之 N, P, K 含量，以等量之化學肥料施用

處理九：依據菌劑二基質之 N, P, K 含量，以等量之化學肥料施用

每處理 3 重複，採 CRD 設計。

4. 溶磷菌施用方式：

(1) 原液稀釋 800 倍，澆灌於茶樹兩側，距離主幹 30-40 cm 處，溶磷菌稀釋液施用量為 16.8 L/30 m²。

(2) 沒有施用溶磷菌肥料之處理，亦需添加等量灌溉水。

(3) 2 個禮拜澆灌 1 次，至採收前共澆灌 2 次。

5. 生育調查與分析項目

(1) 產量調查

(2) 植體養分分析

(3) 土壤性質分析

(4) 茶樹根圈土壤之溶磷活菌數分析

(5) 製茶品質：各處理之茶菁採摘後，製成綠茶，進行感官品評。

二、溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用

1. 試驗茶樹品種：臺茶 20 號；桃園市楊梅區。

2. 肥料種類：

(1) 溶磷菌肥料：液態，菌種為 *Bacillus licheniformis*。

- (2) 化學肥料：硫酸銨、硫酸鉀、磷酸一銨。
- (3) 有機質肥料：花生粕。
3. 試驗設計處理：
 - 處理一：全量推薦量 (化學肥料)
 - 處理二：1/2 推薦量 (化學肥料)
 - 處理三：1/2 推薦量 (化學肥料)+溶磷菌
 - 處理四：3/4 推薦量 (化學肥料)+溶磷菌
 - 處理五：全量推薦量 (有機質肥料)
 - 處理六：1/2 推薦量 (有機質肥料)
 - 處理七：1/2 推薦量 (有機質肥料)+溶磷菌
 - 處理八：3/4 推薦量 (有機質肥料)+溶磷菌每處理 3 重複，採 CRD 設計。
4. 溶磷菌施用方式：
 - (1) 原液稀釋 800 倍，澆灌於茶樹兩側，距離主幹 30–40 cm 處，溶磷菌稀釋液施用量為 16.8 L/30 m²。
 - (2) 沒有施用溶磷菌肥料之處理，亦需添加等量灌溉水。
 - (3) 2 個禮拜澆灌 1 次，至採收前共澆灌 3 次。
5. 生育調查與分析項目：
 - (1) 產量調查
 - (2) 植體養分分析
 - (3) 土壤性質分析
 - (4) 茶樹根圈土壤之溶磷活菌數分析
 - (5) 製茶品質：各處理之茶菁採摘後，製成綠茶，進行感官品評。

三、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、溶磷菌施用於茶園之肥(功)效評估試驗

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 1994; Sood *et al.* 2008)。本研究使用之溶磷菌肥料共 2 種，菌劑一為 *Bacillus amyloliquefaciens*，菌劑二為 *Bacillus subtilis*，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一和菌劑二分別滅菌後再施用。菌劑和菌劑基質每兩週施用一次，於春茶採收後，採集根圈土壤進行土壤溶磷有效菌數分析，因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。茶樹適合生長在酸性土壤，本試驗使用之溶磷菌配方為測定溶鐵磷菌。試驗前土壤性質分析結果如表 1，根圈土壤溶鐵磷菌有效菌數分析結果如表 2 所示，試驗前後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 & 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。

各處理間之茶菁產量並無顯著性差異(表 3)，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

表 1. 試驗前土壤基本性質

| 處理項目 | pH (1:1) | EC(1:1) dS m ⁻¹ | OM % | Available P mg kg ⁻¹ | Exch. K mg kg ⁻¹ | Exch. Ca mg kg ⁻¹ | Exch. Mg mg kg ⁻¹ |
|------|----------|-------------------------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 處理一 | 3.91 | 0.14 | 5.27 | 254 | 135 | 125 | 13.0 |
| 處理二 | 3.99 | 0.15 | 3.98 | 163 | 136 | 124 | 12.3 |
| 處理三 | 3.91 | 0.15 | 4.75 | 158 | 161 | 88 | 11.1 |
| 處理四 | 3.89 | 0.10 | 4.44 | 227 | 132 | 76 | 10.7 |
| 處理五 | 3.86 | 0.16 | 4.51 | 326 | 124 | 96 | 10.3 |
| 處理六 | 3.93 | 0.15 | 6.30 | 246 | 137 | 119 | 13.2 |
| 處理七 | 3.96 | 0.15 | 6.04 | 243 | 130 | 122 | 13.4 |
| 處理八 | 4.01 | 0.19 | 5.30 | 195 | 160 | 149 | 16.6 |
| 處理九 | 3.81 | 0.16 | 4.54 | 297 | 129 | 84 | 10.6 |

因素，磷、鉀對茶菁產量的影響不甚明顯 (吳 1997)。茶葉養分分析結果如表 4 所示，各處理之茶葉磷含量並無顯著性差異，且都在適宜範圍內。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 (Salehi & Hajiboland 2008)，這可能是各處理間茶葉磷含量無顯著性差異之原因。

表 2. 試驗前後之根圈土壤溶鐵磷菌有效菌數

單位：x 10⁴ CFU / g 乾土

| 處理項目 | 試驗前 | 試驗後 |
|-------------------|------------------|--------------------|
| 全量化肥 | 73 ^a | 95 ^{bc} |
| 1/2 化肥 | 106 ^a | 85 ^c |
| 1/2 化肥加菌劑一 | 102 ^a | 96 ^{bc} |
| 1/2 化肥加菌劑二 | 72 ^a | 101 ^{bc} |
| 1/2 化肥加菌劑一基質 | 109 ^a | 95 ^{bc} |
| 1/2 化肥加菌劑二基質 | 97 ^a | 105 ^{bc} |
| 不施肥 | 114 ^a | 126 ^{ab} |
| 菌劑一基質之等量 NPK 化學肥料 | 114 ^a | 147 ^a |
| 菌劑二基質之等量 NPK 化學肥料 | 116 ^a | 110 ^{abc} |

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 3. 不同處理之茶菁產量

單位：g/30 m²

| 處理項目 | 產量 |
|-------------------|-------------------|
| 全量化肥 | 4266 ^a |
| 1/2 化肥 | 5147 ^a |
| 1/2 化肥加菌劑一 | 4669 ^a |
| 1/2 化肥加菌劑二 | 4627 ^a |
| 1/2 化肥加菌劑一基質 | 4255 ^a |
| 1/2 化肥加菌劑二基質 | 5174 ^a |
| 不施肥 | 4415 ^a |
| 菌劑一基質之等量 NPK 化學肥料 | 5120 ^a |
| 菌劑二基質之等量 NPK 化學肥料 | 4259 ^a |

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

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 5 所示，以處理四 (1/2 化學肥料推薦量+菌劑二) 之茶湯滋味表現最佳，茶湯濃稠度高且甜度夠，排序為第一名；處理二 (1/2 化學肥料推薦量) 之香氣揚，排序為第二名；處理五 (1/2 化學肥料推薦量+菌劑一基質) 排序為第三名。

表 4. 各處理之茶葉養分含量

| 處理項目 | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Mn | Cu | Zn | Al |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | mg g ⁻¹ | | | ----- | | | mg kg ⁻¹ | | | |
| 處理一 | 32.0 ^a | 4.08 ^{ab} | 17.9 ^c | 2.94 ^a | 1.59 ^{ab} | 131 ^c | 814 ^a | 11.3 ^{ab} | 35.4 ^a | 270 ^a |
| 處理二 | 31.9 ^a | 4.05 ^{ab} | 18.1 ^{bc} | 2.84 ^{ab} | 1.59 ^{ab} | 116 ^c | 847 ^a | 11.1 ^{ab} | 33.3 ^{ab} | 273 ^a |
| 處理三 | 32.2 ^a | 4.16 ^a | 18.6 ^{abc} | 2.92 ^a | 1.63 ^a | 120 ^c | 844 ^a | 11.7 ^a | 34.2 ^{ab} | 265 ^a |
| 處理四 | 32.7 ^a | 4.14 ^{ab} | 18.4 ^{bc} | 2.76 ^{ab} | 1.63 ^a | 135 ^c | 763 ^a | 11.5 ^{ab} | 36.1 ^a | 275 ^a |
| 處理五 | 31.9 ^a | 3.89 ^{ab} | 18.8 ^{abc} | 2.68 ^b | 1.56 ^{ab} | 270 ^{ab} | 781 ^a | 11.2 ^{ab} | 33.7 ^{ab} | 272 ^a |
| 處理六 | 32.1 ^a | 4.08 ^{ab} | 19.7 ^a | 2.66 ^b | 1.61 ^{ab} | 319 ^a | 757 ^a | 11.2 ^{ab} | 35.2 ^{ab} | 270 ^a |
| 處理七 | 31.3 ^{ab} | 3.88 ^b | 19.1 ^{ab} | 2.74 ^{ab} | 1.54 ^b | 239 ^b | 759 ^a | 11.0 ^b | 32.9 ^{ab} | 287 ^a |
| 處理八 | 31.4 ^{ab} | 4.06 ^{ab} | 18.7 ^{abc} | 2.94 ^a | 1.61 ^{ab} | 238 ^b | 899 ^a | 11.3 ^{ab} | 33.1 ^{ab} | 299 ^a |
| 處理九 | 30.3 ^b | 4.07 ^{ab} | 18.8 ^{abc} | 2.90 ^a | 1.60 ^{ab} | 279 ^{ab} | 873 ^a | 11.4 ^{ab} | 32.1 ^b | 300 ^a |

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 5. 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

| 處理項目 | 等級 排序 | 評語 |
|-------------------|----------|--------------------------|
| 全量化肥 | 6 | |
| 1/2 化肥 | 2 | 香氣揚 |
| 1/2 化肥加菌劑一 | 5 | 氣味強、帶苦 |
| 1/2 化肥加菌劑二 | 1 | 濃稠度高、帶苦味、甜度夠。茶湯乾淨度較處理六佳。 |
| 1/2 化肥加菌劑一基質 | 3 | 濃稠度高、苦味較處理四強。茶湯乾淨度較處理三佳。 |
| 1/2 化肥加菌劑二基質 | 4 | 微悶菁、淡菁澀、濃稠度適中 |
| 不施肥 | 8 | 淡菁澀 |
| 菌劑一基質之等量 NPK 化學肥料 | 7 | 濃稠度適中、菁澀 |
| 菌劑二基質之等量 NPK 化學肥料 | 9 | 淡、菁苦澀 |

二、溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用

溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用之試驗結果顯示，各處理之茶菁產量在統計上並無顯著差異(表6)。茶葉養分分析結果顯示，施用有機質肥料處理之綠茶氮含量皆比化學肥料處理高，而其他元素則無顯著性差異(表7)。綠茶感官品評結果顯示，以施用全量有機質肥料之處理等級排序為第1，3/4用量有

表6. 溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用之不同處理茶菁產量

單位：g/30 m²

| 處理項目 | 產量 |
|----------------|--------------------|
| 全量(化肥) | 3724 ^{ab} |
| 1/2施肥(化肥) | 2920 ^b |
| 1/2施肥(化肥)+溶磷菌 | 4712 ^{ab} |
| 3/4施肥(化肥)+溶磷菌 | 4249 ^{ab} |
| 全量(有機肥) | 4116 ^{ab} |
| 1/2施肥(有機肥) | 4823 ^a |
| 1/2施肥(有機肥)+溶磷菌 | 4360 ^a |
| 3/4施肥(有機肥)+溶磷菌 | 4261 ^{ab} |

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7. 溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用之不同處理茶葉元素含量

| 處理項目 | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Mn | Cu | Zn | Al |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | mg g ⁻¹ | | | ----- | | | mg kg ⁻¹ | | | |
| 處理一 | 29.9 ^d | 3.89 ^{ab} | 15.5 ^a | 2.78 ^{ab} | 1.51 ^{ab} | 253 ^{ab} | 932 ^{ab} | 7.92 ^b | 37.0 ^a | 410 ^{abc} |
| 處理二 | 29.5 ^d | 3.79 ^{ab} | 15.3 ^a | 2.80 ^a | 1.54 ^{ab} | 226 ^{abc} | 845 ^{ab} | 7.88 ^b | 37.4 ^a | 443 ^{ab} |
| 處理三 | 30.9 ^{cd} | 3.61 ^b | 15.1 ^a | 2.71 ^{abc} | 1.49 ^b | 211 ^{bc} | 965 ^a | 7.60 ^b | 35.7 ^a | 454 ^a |
| 處理四 | 32.1 ^{bc} | 3.85 ^{ab} | 15.3 ^a | 2.54 ^{bc} | 1.55 ^{ab} | 267 ^a | 859 ^{ab} | 8.03 ^b | 36.7 ^a | 402 ^{abc} |
| 處理五 | 33.0 ^b | 3.95 ^{ab} | 15.4 ^a | 2.62 ^{abc} | 1.57 ^a | 248 ^{ab} | 883 ^{ab} | 9.14 ^a | 37.9 ^a | 368 ^{cd} |
| 處理六 | 34.9 ^a | 4.04 ^a | 15.4 ^a | 2.52 ^c | 1.54 ^{ab} | 191 ^c | 916 ^{ab} | 8.41 ^{ab} | 37.3 ^a | 318 ^d |
| 處理七 | 35.0 ^a | 3.76 ^{ab} | 15.1 ^a | 2.73 ^{abc} | 1.54 ^{ab} | 176 ^c | 823 ^b | 7.87 ^b | 35.5 ^a | 378 ^{bcd} |
| 處理八 | 35.4 ^a | 3.83 ^{ab} | 15.0 ^a | 2.65 ^{abc} | 1.53 ^{ab} | 211 ^{bc} | 853 ^{ab} | 7.90 ^b | 36.9 ^a | 380 ^{bcd} |

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

機質肥料搭配溶磷菌之處理等級排序為第2，施用全量化學肥料之處理等級排序為第3，施用3/4用量化學肥料搭配溶磷菌之處理等級排序為第4(表8)，顯示減施肥料並搭配溶磷菌處理並不會優於全量施肥處理，肥料種類對製茶品質之影響大於微生物菌劑之影響。相關研究亦指出，施用有機肥比施化肥的茶樹新梢中纖維素減少，芽葉持嫩性好，葉底柔軟，且能顯著提高茶多酚、兒茶素類、咖啡因和可溶分等的含量，單施化肥不利這些成分的累積(羅1994)。

結論

目前市售溶磷菌產品之溶磷活性主要是針對磷酸鈣及磷礦石，茶園土壤為酸性土壤，主要之難溶性磷酸鹽類為磷酸鐵或磷酸鋁，施用目前市售之溶磷菌產品至茶園土壤，對茶葉磷含量並無顯著性影響，但會提升綠茶製茶品質，推測可能是溶磷菌對植物生長有益之其他作用機制所造成。在溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用部分，減施肥料並搭配溶磷菌處理並不會優於全量施肥處理，肥料種類對製茶品質之影響大於微生物菌劑之影響。

表8. 溶磷菌肥料與化學肥料和有機質肥料搭配施用之不同處理茶菁製成綠茶後之感官品評等級排序及評語

| 處理項目 | 等級排序 | 評語 |
|----------------|------|-------------|
| 全量(化肥) | 3 | 香、微菁 |
| 1/2施肥(化肥) | 8 | 澀、淡 |
| 1/2施肥(化肥)+溶磷菌 | 7 | 微悶菁 |
| 3/4施肥(化肥)+溶磷菌 | 4 | 清 |
| 全量(有機肥) | 1 | 香 |
| 1/2施肥(有機肥) | 5 | 微菁 |
| 1/2施肥(有機肥)+溶磷菌 | 6 | 微菁、空、淡、滋味乾淨 |
| 3/4施肥(有機肥)+溶磷菌 | 2 | 香揚、滋味強 |

引用文獻

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。科學農業出版社。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 羅淑華。1994。茶葉品質與施肥。福建茶葉 2:24-27。
7. 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.
8. Goldstein A.H.1986.Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. Am. J. Altern. Agric. 1:51-57.
9. Khan M.S., Zaidi A, and Ahmad E. 2014. Mechanism of Phosphate Solubilization and Physiological Functions of Phosphate-Solubilizing Microorganisms. In: Khan MS, Zaidi A, Musarrat J (eds) Phosphate Solubilizing Microorganisms Principles and Application of Microphos Technology. Springer, pp 31-62.
10. Jones D.A., Smith B.F.L, and Wilson M.J., and Goodman B.A.1991.Solubilizer fungi of phosphate in rice soil. Mycol. Res. 95:1090-1093.
11. Rodríguez H and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. 17:319-339.
12. 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.
13. 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.

Evaluation and Verification of Phosphorus-solubilizing Bacteria Fertilizer on Tea Plant

Jia-Ru Dai^{1,*}, Shiou-Ruei Lin², Jin-Chih Lin³, Chui-Feng Chiu⁴, and Hsien-Tsung Tsai⁵

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 to the microbial fertilizers. Therefore, in this study, (1) two commercial phosphorus-solubilizing bacteria fertilizer products were selected and used with chemical fertilizers, (2) one commercial phosphorus-solubilizing bacteria fertilizer product was selected and used with chemical and organic fertilizers to discuss its effect on tea production and quality to establish a field verification and evaluation model. Results showed that after using two commercial phosphate solubilizing bacteria fertilizers, population of phosphate solubilizing bacteria of rhizosphere soils were no significant difference among treatments. There were of no effect on the yields and nutrients content of tea with phosphate solubilizing fertilizers. For sensory evaluation, the treatment 4 was the best. In the application of chemical fertilizer and organic fertilizer, the effect of fertilizer type on tea quality is greater than the effect of applying phosphorus-solubilizing bacteria fertilizer.

Keywords: Tea, Phosphorus-solubilizing Bacteria Fertilizer, Sensory Evaluation

* Corresponding author, e-mail: tres620@ttes.gov.tw

¹ Assistant Researcher, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

² Associate Researcher, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

³ Chief of Tea Extension Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

⁴ Researcher and Deputy Director, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.

⁵ Chief of Tea Agronomy Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.